

Az MSc képzés programja

a villamosmérnöki szakon

Érvényes: 2023. február 1-től felmenő rendszerben

(V 5.2)

BUDAPEST, 2023



Tartalom

I. BEVEZETÉS.....	3
II. TANTERVI KERET	5
II.1 A villamosmérnöki mesterszak tantervi hálója	6
III. TERMÉSZETTUDOMÁNYOS ALAPISMERETEK.....	8
III.1 Felsőbb matematika villamosmérnököknek	8
III.2 Választható természettudományos ismeretek	13
III.3 Közös tantárgyak	20
IV. GAZDASÁGI ÉS HUMÁN ISMERETEK	26
V. SZAKMAI TÖRZSANYAG.....	28
V.1 Elektronikai rendszerintegráció főspecializáció (EET-ETT).....	29
V.2 Intelligens beágyazott rendszerek főspecializáció (MIT).....	35
V.3 Intelligens hálózatok főspecializáció (HIT)	40
V.4 Irányító és látórendszerek főspecializáció (IIT).....	48
V.5 Számítógép-alapú rendszerek főspecializáció (AUT)	54
V.6 Vezetéknélküli kommunikációs rendszerek főspecializáció (HVT)	60
V.7 Villamosenergia-rendszerek főspecializáció (VET).....	65
V.8 Főspecializációk kötelezően választható (C-típusú) tantárgyai.....	70
VI. SZAKMAI TÖRZSANYAG VÁLASZTHATÓ ISMERETEI.....	81
VI.1 Mellékspecializációk.....	81
VI.1.1 Akusztika és hangtechnika mellékspecializáció (HIT).....	82
VI.1.2 Alkalmazott elektronika mellékspecializáció (AUT)	86
VI.1.3 Alkalmazott szenzorika mellékspecializáció (ETT).....	91
VI.1.4 E-mobilitás mellékspecializáció (VET-VME)	95
VI.1.5 Épületvillamosság mellékspecializáció (VET-NF)	98
VI.1.6 FPGA alapú rendszerek mellékspecializáció (MIT).....	102
VI.1.7 Nukleáris rendszertechnika mellékspecializáció (VIK-NTI)	105
VI.1.8 Okos város mellékspecializáció (TMIT)	110
VI.1.9 Rádiófrekvenciás zavarvédelem – EMC mellékspecializáció (HVT)	113
VI.1.10 Robotrendszerek mellékspecializáció (IIT)	116
VI.1.11 Zöld villamos energetika mellékspecializáció (EET-VET)	120
VI.2 Projektantárgyak.....	123
VII. SZABADON VÁLASZTHATÓ TANTÁRGYAK	129

I. Bevezetés

A képzés célja olyan mérnökök képzése, akik a villamos, elektronikus és számítástechnikai eszközökhöz, berendezésekhez és rendszerekhez kapcsolódó magas szintű természettudományos és specifikus műszaki ismeretek birtokában képesek új villamos, elektronikus és számítástechnikai rendszerek, berendezések és eszközök tervezésére, fejlesztésére és integrálására, a szakterületen kutatási-fejlesztési feladatok ellátására, koordinálására, alap- és alkalmazott kutatási feladatok kidolgozásában való részvételre, tanulmányaik PhD képzés keretében való folytatására.

Felvétel a villamosmérnöki mesterszakra: a mesterképzésbe történő belépés előzményeként elfogadott szak a villamosmérnöki (BSc) alapszak. A mesterfokú diplomához a mintatantervben szereplő kreditek megszerzésén felül szükséges, hogy a hallgatónak a kredit megállapításának alapjául szolgáló ismeretek – felsőoktatási törvényben meghatározott – összevetése alapján elismerhető legyen legalább 80 kredit a korábbi tanulmányai szerint az alábbi ismeretkörökben:

<i>természettudományos ismeretek</i> matematika (min. 12 kredit), fizika, villamos ipari anyagismeret;	20 kredit
<i>gazdasági és humán ismeretek</i> közgazdaságtani és menedzsment ismeretek, környezetvédelem, minőségbiztosítás, munkavédelem, szaknyelv, társadalomtudomány;	10 kredit
<i>elektrotechnikai, elektronikai és informatikai ismeretek</i> elektrotechnika, jelek és rendszerek, elektronika, digitális technika, informatika, programozás;	30 kredit
<i>villamosmérnöki szakmai alapismeretek</i> híradástechnika, méréstechnika, irányítástechnika, mikroelektronika, elektronikai technológia, villamos energetika, laboratórium.	20 kredit

A táblázat szerinti ismeretkörökben korábban megszerzett kreditek elismerése az előzményként elfogadott szak esetében automatikusan teljesül. Más szakokról történő jelentkezés esetében az elismerés elsősorban a következő alaplomával rendelkezők esetében lehetséges: a gépészmérnöki, a közlekedésmérnöki, a mechatronikai mérnöki, a had- és biztonságtechnikai mérnöki, az energetikai mérnöki és a mérnökinformatikus alapszak.

A mesterképzésbe való felvétel feltétele, hogy a felsorolt ismeretkörökben legalább 50 kredittel rendelkezzen a hallgató. A hiányzó krediteket a mesterfokozat megszerzésére irányuló képzéssel párhuzamosan, a felvételtől számított két féleven belül, a felsőoktatási intézmény tanulmányi és vizsgaszabályzatában meghatározottak szerint meg kell szerezni.

A mesterképzés során megszerzendő ismeretek (120 kredit):

<i>természettudományos alapismeretek</i> matematika, fizika, számítástudomány, rendszerelmélet, valamint szakmaspecifikus alaptárgyak;	20-35 kredit
<i>villamosmérnöki szakmai ismeretek</i> villamos, elektronikus és számítástechnikai eszközök, berendezések, továbbá összetett rendszerek fejlesztéséhez, tervezéséhez, kivitelezéséhez, gyártásához és minőség-ellenőrzéséhez, és az ezekkel létrehozott komplex szolgáltatásokhoz kapcsolódó, a szakterületi mesterképzést megalapozó, átfogó elméleti ismeret, amely a villamosmérnöki szakma képzésében reprezentált szakterületei valamelyikének műveléséhez szükségesek;	15-35 kredit
<i>a szakmai törzsanyag kötelezően választható ismeretkörei</i> a választható specializációkat is figyelembe véve a villamosmérnöki szakma képzésben reprezentált szakterületei valamelyikének műveléséhez szükséges anyag-, eszköz-, készülék-, berendezés-, rendszer-, technológiai és tervezési ismeret területeiről szerezhető speciális ismeret. Szakmaspecifikus szakterületek: a beágyazott információs rendszerek, az energiaátalakító rendszerek, az infokommunikációs rendszerek, az irányítórendszerek és robotinformatika, a mikroelektronika és elektronikai technológia, a számítógép-alapú rendszerek, a multimédia rendszerek és szolgáltatások, a villamosenergia-rendszerek, a folyamatok automatizálása és informatikája, a távközlés és ipari kommunikáció; diplomamunka (30 kredit);	40-60 kredit

<i>gazdasági és humán ismeretek</i> gazdasági, vezetési és menedzsment ismeretek, minőségbiztosítás, ergonómia, kommunikációelmélet, műszaki tudományok kultúrtörténete, környezetvédelem;	10-20 kredit
<i>szabadon választható tantárgyak ismeretkörei</i>	min. 6 kredit

A szak orientációja: kiegyensúlyozott (a gyakorlati jellegű ismeretátadáshoz aránya 40-60 százalék).

Előtanulmányi rend:

A kar által kötelezően előírt MSc előtanulmányi rend szerint

- Az egyes specializáció-tantárgyak adatlapjai előtanulmányi rend előírásokat tartalmazhatnak, elsősorban saját laboratóriumi tantárgyaik felvételére vonatkozóan.
- Az Önálló labor 1, Önálló labor 2, Diplomatervezés 1 és Diplomatervezés 2 tantárgyak
 - csak az adott szak MSc képzésének hallgatói számára vehetők fel,
 - csak a felsorolás sorrendjében vehetők fel, a felsorolásban őket megelőző tantárgyak kreditjeinek teljesítése után.
- A Diplomatervezés 2 tantárgy felvételének feltételeit a „BME VIK MSc diplomaterv, záróvizsga, oklevél szabályzata” tartalmazza.

Specializálódás, specializáció váltás:

A szakon a képzés teljes ideje alatt a hallgatók fő- és mellékspecializációkhoz kapcsolódva végzik tanulmányaikat. A specializációkra a jelentkezésüket (a választani kívánt fő és mellékspecializációk sorrendjét) még felvételük előtt, a felvételi írásbeli ill. szóbeli vizsga alkalmával kell leadniuk.

A hallgató – méltányossága terhére – egy alkalommal, a specializációba kerülés kezdetétől számított fél éven belül, a BME Tanulmányi és Vizsgaszabályzatában meghatározott tanulmányi nyilvántartó rendszerben (TR) benyújtott kérvénnyel kérheti specializációja megváltoztatását. A kérelem elfogadása esetén a hallgató a következő félévtől kikerül az eredeti specializációról, és átkerül az általa megjelölt új specializációra (amennyiben az elindult). A specializációt váltó hallgatónak az eredeti specializáción elvégzett tantárgyai ügyében a Kari Kreditáviteli Bizottság hoz döntést.

Szakmai gyakorlat: A képzés hallgatói számára a diploma megszerzésének feltétele egy legalább 4 hetes egybefüggő szakmai gyakorlat sikeres teljesítése is. A szakmai gyakorlat lehetséges időpontjait, helyszíneit, tartalmát és lebonyolításának rendjét, a kar szabályzatai határozzák meg.

II. Tantervi keret

A mesterszak tantervi hálója két változatban készült el annak érdekében, hogy a tanulmányok a tavaszi és az őszi félévben is megkezdhetőek legyenek, de a tantárgyakat – kevés kivétellel – ne kelljen mindkét félévben meghirdetni. Ezzel biztosítani tudjuk, hogy a BSc képzést 7 (ill. páratlan számú) félév alatt teljesítő hallgatók félévkihagyás nélkül megkezdjék MSc tanulmányaikat.

A tanulmányaikat a tavaszi félévben megkezdő hallgatók mintatantervének féléveit 1-től 4-ig sorszámoztuk. Ugyanez a számozás az őszi félévben induló képzésnél 0-tól 3-ig terjed, ily módon valamennyi tavaszi félévet páratlan, valamennyi őszi félévet páros szám jelöl. A tantárgyakat igyekeztünk a különböző félévekben induló, de egyébként azonos szakon zajló képzések esetében úgy elhelyezni, hogy egy-egy tantárgy lehetőleg csak páros vagy csak páratlan félévben forduljon elő. Ezzel elérhető lett az a racionális cél, hogy az adott tantárgyat mindkét képzés számára csak évente egyetlen alkalommal (vagy tavasszal, vagy ősszel) kelljen meghirdetni. Amennyiben ugyanaz a tantárgy nem azonos sorszámú, de azonos párosságú félévben fordul elő a két mintatantervben (pl. 0 és 2), a fentiek alapján azt jelenti, hogy a tantárgynak a többi tantárgyhoz viszonyított helyzete („a tantárgyak sorrendje”) megváltozik ugyan a kétféle kezdés szerinti képzés mintatanterveiben, a tantárgy mégis közösen tartható meg a kétféle képzés (eltérő évfolyamai) számára.

Minden tantárgy bemutatásánál a következő tájékoztató jelölésrendszert alkalmazzuk:

Tantárgy címe

([Tantárgykód](#), szemeszter - őszi kezdés: kezdés x., tavaszi kezdés: y., e/g/l/szk/kr kredit, Tanszék)
ahol:

- **Tantárgykód:** a tantárgy Neptun kódja, egyben link a tantárgy adatlapjára
- **Szemeszter:** mintatanterv szerinti haladás esetén
 - **őszi kezdés** esetén a tantárgyat az x. félévben,
 - **tavaszi kezdés** esetén az y. félévben kell felvenni.
- **e/g/l/szk/kr:** heti előadás, gyakorlat, labor óraszám, számonkérés módja (félévközi jegyes vagy vizsgás), a tantárgy kredit száma
- **Tanszék:** a tantárgyat felkínáló tanszék kari szokások szerinti rövidített jelölése

A következő alfejezetben a mesterképzési szak mintatanterveit (ún. tantervi kereteit) mutatjuk be áttekinthető jelleggel. Az egyes tantárgycsoportokban kötelező, kötelezően választható és szabadon választható tantárgyak is előfordulnak, ezek számát és kreditkorlátait az MSc képzés Képzési és kimeneti követelményei szabályozzák.

II.1 A villamosmérnöki mesterszak tantervi hálója

a) Kezds a tavaszi félévben (1)

	Tárgynév	Szemeszter			
		1	2	3	4
Természettudományos alapismeretek (20 kredit)					
1	Felsőbb matematika villamosmérnököknek	4/0/0/v/5	4/0/0/v/5		
2	Választható term. tud. tantárgy		3/1/0/v/5		
3	Közös tantárgy	3/0/0/v/5			
Gazdasági és humán ismeretek (10 kredit)					
4	Mérnöki menedzsment ¹				4/0/0/v/4
5	Köt. vál. gazd. hum. tantárgy 1	2/0/0/f/2			
6	Köt. vál. gazd. hum. tantárgy 2	2/0/0/f/2			
7	Köt. vál. gazd. hum. tantárgy 3				2/0/0/f/2
Szakmai törzsanyag kötelező ismeretkörei (30 kredit)					
8	Főspecializáció A1 tantárgy	2/1/0/v/5			
9	Főspecializáció A1 labor		0/0/3/f/5		
10	Főspecializáció A2 tantárgy		2/1/0/v/5		
11	Főspecializáció A2 labor			0/0/3/f/5	
12	Főspecializáció B tantárgy			2/1/0/v/5	
13	Főspecializáció C tantárgy (vál.)			2/1/0/v/5	
Szakmai törzsanyag köt. választható ismeretkörei (54 kredit)					
14	Mellékspecializáció A tantárgy	2/1/0/v/5			
15	Mellékspecializáció A labor			0/0/3/f/4	
16	Mellékspecializáció B tantárgy		2/1/0/v/5		
17	Önálló laboratórium	0/0/3/f/5	0/0/3/f/5		
18	Diplomatervezés			0/3/0/f/10	0/7/0/f/20
Szabadon választható tantárgyak (6 kredit)					
19	Szabadon választható tantárgy ²			2/0/0/f/2	
20	Szabadon választható tantárgy ²				2/0/0/f/2
21	Szabadon választható tantárgy ²				2/0/0/f/2
Kritérium tantárgy (0 kredit)					
22	Szakmai gyakorlat			4 hét/a/0	
Összes heti óraszám		20	20	17	17
Előadás/gyakorlat/labor óraszám		15 / 2 / 3	11 / 3 / 6	6 / 5 / 6	10 / 7 / 0
Összes kredit-pontszám		29	30	31	30
Vizgaszám		4	4	2	1

¹ A Mérnöki menedzsment c. tantárgy az őszi félévekben magyar, a tavaszi félévekben angol nyelven indul.

² A szabadon választható tantárgyak bármilyen kredit számmal felvehetők, min. 6 kreditnyi teljesítendő a képzés során

Jelmagyarázat: előadás/gyakorlat/laboratórium/v=vizsga, f=félévközi jegy, a=aláírás/kreditpont

Összesítés: ea / gyak / lab: 42 / 17 / 15 = 74 óra (ea / gyak+lab = 42 / 32 = 56,8% / 43,2%)

b) Kezds az őszi félévben (0)

	Tárgynév	Szemeszter			
		0	1	2	3
Természettudományos alapismeretek (20 kredit)					
1	Felsőbb matematika villamosmérnököknek	4/0/0/v/5	4/0/0/v/5		
2	Választható term. tud. tantárgy	3/1/0/v/5			
3	Közös tantárgy		3/0/0/v/5		
Gazdasági és humán ismeretek (10 kredit)					
4	Mérnöki menedzsment ¹			4/0/0/v/4	
5	Köt. vál. gazd. hum. tantárgy 1	2/0/0/f/2			
6	Köt. vál. gazd. hum. tantárgy 2	2/0/0/f/2			
7	Köt. vál. gazd. hum. tantárgy 3				2/0/0/f/2
Szakmai törzsanyag kötelező ismeretkörei (30 kredit)					
8	Főspecializáció A1 tantárgy		2/1/0/v/5		
9	Főspecializáció A1 labor			0/0/3/f/5	
10	Főspecializáció A2 tantárgy	2/1/0/v/5			
11	Főspecializáció A2 labor		0/0/3/f/5		
12	Főspecializáció B tantárgy				2/1/0/v/5
13	Főspecializáció C tantárgy (vál.)			2/1/0/v/5	
Szakmai törzsanyag köt. választható ismeretkörei (54 kredit)					
14	Mellékspecializáció A tantárgy		2/1/0/v/5		
15	Mellékspecializáció A labor				0/0/3/f/4
16	Mellékspecializáció B tantárgy	2/1/0/v/5			
17	Önálló laboratórium	0/0/3/f/5	0/0/3/f/5		
18	Diplomatervezés			0/3/0/f/10	0/7/0/f/20
Szabadon választható tantárgyak (6 kredit)					
19	Szabadon választható tantárgy ²			2/0/0/f/2	
20	Szabadon választható tantárgy ²			2/0/0/f/2	
21	Szabadon választható tantárgy ²			2/0/0/f/2	
Kritérium tantárgy (0 kredit)					
22	Szakmai gyakorlat				4 hét/a/0
Összes heti óraszám		21	19	19	15
Előadás/gyakorlat/labor óraszám		15 / 3 / 3	11 / 2 / 6	12 / 4 / 3	4 / 8 / 3
Összes kredit-pontszám		29	30	30	31
Vizsgaszám		4	4	2	1

¹ A Mérnöki menedzsment c. tantárgy az őszi félévekben magyar, a tavaszi félévekben angol nyelven indul.

² A szabadon választható tantárgyak bármilyen kreditszámmal felvehetők, min. 6 kreditnyi teljesítendő a képzés során

Jelmagyarázat: előadás/gyakorlat/laboratórium/v=vizsga, f=félévközi jegy, a=aláírás/kreditpont

Összesítés: ea / gyak / lab: 42 / 17 / 15 = 74 óra (ea / gyak+lab = 42 / 32 = 56,8% / 43,2%)

III. Természettudományos alapismeretek

III.1 Felsőbb matematika villamosmérnököknek

A természettudományos alapismereteken belül 4 felsőbb matematika tantárgy jelenik meg a villamosmérnök mesterképzés kínálatában, melyek közül kettőt kell teljesíteni.

A felsőbb matematika tantárgyak listája:

Tantárgy neve	Tantárgykód	Indítás féléve
Haladó lineáris algebra	BMETE90MX78	tavaszi
Kombinatorikus optimalizálás	BMEVISZMA09	tavaszi
Sztochasztika	BMETE90MX80	ősz
Analízis	BMETE90MX79	ősz

A hallgatók szabadon választhatnak a matematika tantárgyak közül, a fő- és mellékspecializáció felvételétől függetlenül.

Haladó lineáris algebra

([BMETE90MX78](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 4/0/0/v/5 kredit, TTK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a lineáris algebra azon fejezeteibe nyújt bevezetést, amelyek fontosak a haladó mérnöki tanulmányok szempontjából. Fontos cél, hogy a hallgatók alkalmazni tudják a lineáris algebra módszereit, eszközeit a felmerülő szakmai problémák megoldása során. A tantárgy követelményeit eredményesen teljesítő hallgatótól elvárható, hogy értse, és konkrét feladatokban, példákön alkalmazni tudja a tanult fogalmakat, ismereteket, a gyakorlatban felmerülő helyzetekben ismerje fel a tanult módszerek alkalmazási lehetőségeit, legyen képes a szakirodalomra támaszkodva önállóan bővíteni a kapcsolatos ismereteit.

2. A tantárgy tematikája

A lineáris algebra eddig tanult alapfogalmainak áttekintése

Vektortér, mátrix, lineáris egyenletrendszer és megoldása. Mátrix determinánsa, rangja, sajátérték, sajátvektor, karakterisztikus polinom, Cayley-Hamilton-tétel, hasonlóság.

Bilineáris formák, euklideszi terek. Speciális mátrixok (szimmetrikus, Hermite-, ortogonális, unitér, (szemi-definit). Jordan-normálforma, főtengetlytétel.

A Moore-Penrose-inverz és alkalmazásai

Projekciók. Az általánosított inverz mátrix fogalma, a Moore-Penrose-tétel. Inkonzisztens lineáris egyenletrendszerek közelítő megoldása.

Nevezetes lineáris mátrixegyenletek ($AXB=C$, $AX-XB=C$, $AX-YB=C$) és megoldásuk az MP-inverz segítségével.

Normák és mátrixfüggvények

A spektrális és az euklideszi (Frobenius-) mátrixnorma, p-normák, kapcsolatuk, egyenlőtlenségek. Sajátértékekre vonatkozó egyenlőtlenségek (Gersgorin, Schur). Alul- és túlhatározott lineáris egyenletrendszerek. Legkisebb négyzetek módszere.

Mátrixfüggvények, előállításuk polinomokkal, a mátrix-exponenciális. Mátrixfüggvények differenciálása, lineáris differenciálegyenlet-rendszerek. A Lax-egyenlet.

Nem negatív elemű mátrixok

Pozitív, reducibilis és irreducibilis mátrixok. Frobenius és Perron tételei (irreducibilis nemnegatív mátrixokra). Egyenlőtlenségek a spektrálsugárra.

Sztochasztikus és duplán sztochasztikus mátrixok. Kapcsolat a Markov-láncokkal. Birkhoff tétele, kapcsolat a párosítási feladattal, a Frobenius-König-tétel.

Optimalizálás, lineáris mátrixegyenlőtlenségek

Lineáris mátrix egyenlőtlenségek, alkalmazási példák (stabilitás, SV-minimalizálás, Leontyev-modell). Megoldásuk ellipszoid-módszerrel és belső pontos algoritmusokkal.

Szinguláris értékek szerinti felbontás (SVD)

Az SVD létezése, egyértelműsége, kapcsolata a poláris felbontással. SVD és alacsony rangú közelítések, Eckart-Young-tétel. Az SVD számítása.

Az SVD néhány alkalmazása (pszeudoinverz számítása, homogén lineáris egyenletrendszer megoldása, legkisebb négyzetek módszere). A QR-felbontás fogalma. Householder-tükrözések, alkalmazásuk a QR-felbontás számítására.

További alkalmazások

Nemnegatív és szimmetrikus mátrixok az internetes lapokat rangsoroló algoritmusokban. SVD az információkeresés gyakorlatában (vektorteres indexelés, a mögöttes szemantikájú indexelés lineáris algebrai vonatkozásai)

Véges testek és alkalmazásaik

Véges test konstrukciója, az aritmetika implementációja. Az additív és a multiplikatív csoport struktúrája. Polinomok gyökei, irreducibilitás. Általánosított Fibonacci-sorozatok. Lineáris visszacsatolásos léptetőszámológók, periódus, álzaj. Galois-számológók és alkalmazásaik.

A hibajavító kódolás alapfogalmai

Lineáris kódok, paraméterek, Singleton-korlát, gömbpakolási korlát, MDS kódok. A Reed-Solomon-kód paraméterei, a Berlekamp-Massey hibajavító algoritmus. Résztest részkódok, kód alapú posztkvantum kriptográfia.

Kombinatorikus optimalizálás

([BMEVISZMA09](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/2/0/v/5 kredit, SZIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy az operációkutatás és a kombinatorikus optimalizálás néhány területére nyújt bevezetést. A téma legfontosabb algoritmusainak, módszereinek és ezek korlátainak ismertetése mellett célul tűzi ki, hogy ezek műszaki alkalmazásaiba is betekintést nyújtson. Így területekre kerülnek olyan átfogó algoritmikus megközelítéseket kínáló területek, mint a hálózati folyamatok elmélete és a lineáris és egészértékű programozás, de emellett a tantárgy betekintést nyújt a megbízható hálózatok tervezése során felmerülő magasabb összefüggéssel kapcsolatos problémák mellett az közelítő algoritmusok és az ütemezésemélet világába is. A tantárgy további célja, hogy a villamosmérnök BSc képzés A számítástudomány alapjai című tantárgya során korábban megszerzett ismereteket alkalmazza, elmélyítse, azok elméleti háttérét jobban megvilágítsa.

2. A tantárgy tematikája

Hálózati folyamatok, Ford-Fulkerson-algoritmus, egészértékűségi lemma, a folyamprobléma egyszerű általánosításai.

Páros gráfok karakterizációja, maximális méretű párosítás páros gráfban. König, Frobenius és Hall tételei. Gráfszínezések. Alsó és felső korlát a kromatikus számra. Gráfok élszínezése, Vizing tétele. Páros gráfok élszínezése az egészértékűségi lemma segítségével

Egerváry algoritmus maximális összsúlyú párosítás és teljes párosítás keresésére páros gráfban.

Lineáris egyenlőtlenségrendszerek, a lineáris programozás alapfeladata, kétváltozós feladatok megoldása grafikus módszerrel. Lineáris egyenlőtlenségrendszerek megoldása Fourier-Motzkin eliminációval. Szükséges és elégséges feltételek lineáris egyenletrendszerek nemnegatív változókkal való, illetve lineáris egyenlőtlenségrendszerek megoldhatóságára: a Farkas-lemma.

A lineáris programozás alapfeladata mátrixos alakban. Szükséges és elégséges feltételek a lineáris program célfüggvényének korlátosságára. Lineáris program duálisának fogalma, különféle alakban felírt lineáris programok duálisai.

A lineáris programozás dualitástétele. A lineáris programozás feladatának algoritmikus bonyolultsága. Az egészértékű programozás alapfeladata, annak bonyolultsága. Optimalizálási problémák formalizálása egészértékű programozási feladatként.

Egészértékű programozás totálisan unimoduláris együtthatómátrixszal. Alkalmazások a páros gráfok párosításainak és a hálózati folyamproblémák területéről: maximális folyam, minimális költségű folyam, ill. többtermékes folyam feladatok.

Lokális él- és pontösszefüggőség, illetve globális él- és pontösszefüggőség fogalma, a vonatkozó Menger-tételek (ismétlés). Max-vissza sorrend, Nagamochi-Ibaraki algoritmus az élösszefüggőség meghatározására.

Algoritmus gráfok 2-élösszefüggővé növelésére, alsó becslés a szükséges élek számára. Algoritmus minimális költségű feszítő fenyő keresésére. Fűlfelbontás, gráfok erősen összefüggővé irányítása.

Közelítő algoritmusok. Élkromatikus szám, síkgráf kromatikus szám közelítése additív hibával, leghosszabb kör additív hibával való közelíthetlensége. 2-közelítés a lefogó ponthalmaz méretére, logaritmikus közelítés a halmazfedési problémára.

Ütemezési problémák. Alapfogalmak, jelölésrendszer, hasznos módszerek: SPT sorrend és listás ütemezés. FD és FFD heurisztikák a ládapakolási problémára.

Sztochasztika

([BMETE90MX80](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 4/0/0/v/5 kredit, TTK)

1. A tantárgy célkitűzése

A valószínűségi számítás és sztochasztikus folyamatok elmélete néhány haladóbb témakörének bemutatása a villamosmérnöki mesterképzésben résztvevő hallgatóknak. A hangsúlyokat a jelenségek megértésére és az alkalmazásokra helyezzük. Széles körben (a tantárgy témakörén kívül is) alkalmazható technikákat prezentálunk, rávilágítunk más matematikai és matematikán kívüli természettudományos és műszaki területekkel való összefüggésekre. Alapelv: minden egyes témához sok konkrét példát, számolást, konkrét alkalmazást mutatunk be. Bizonyításokat többnyire csak vázlatosan prezentálunk, viszont hangsúlyt helyezünk a szemléletre és a (matematikai és egyéb) jelenségekre.

2. A tantárgy tematikája

Valószínűségi számítási alapok ismétlése: Események és valószínűségük. Valószínűségi változó, diszkrét valószínűség-eloszlás, eloszlásfüggvény, sűrűségfüggvény. Várható érték, szórásnégyzet, magasabb momentumok. Függetlenség, feltételes valószínűség; teljes valószínűség és teljes várható érték tétel. Nagy számok törvénye. Nevezetes eloszlások.

Együttesen értelmezett valószínűségi változók, együttes eloszlás- és sűrűségfüggvény. Várható érték vektor, kovariancia mátrix, alaptulajdonságai, Cauchy-Schwarz-egyenlőtlenség. Nevezetes többdimenziós eloszlások. Sűrűségfüggvények transzformációja leképezésekkel. Többdimenziós normális eloszlás.

Generátorfüggvény, alaptulajdonságai. Konvolúció és keverék-eloszlások generátorfüggvénye. Alkalmazások. Galton-Watson elágazó folyamatok.

Poisson folyamat: ekvivalens jellemzések és konstrukciók; Poisson pontfolyamat és számláló folyamat. Poisson folyamat intenzitása, mint az exponenciális óra rátája. Poisson folyamatok ritkítása, színezése, egyesítése.

Normális eloszlás és centrális határeloszlás tétel, az alkalmazás korlátai. Berry-Esseen tétel. A nagy eltérések problémája.

Nagy eltérések elemei: Bernstein egyenlőtlenség, Chernoff korlát, Hoeffding egyenlőtlenség. Momentumgeneráló függvények, Cramér féle nagy eltérés tétel. Alkalmazások sorbanállási problémákra és kapacitás méretezésre.

Sztochasztikus folyamatok elemei: Markov-láncok és Markov-folyamatok. Mi is egy sztochasztikus folyamat? Véges állapotterű Markov-láncok, állapotok osztályozása, irreducibilitás, periódus, aperiodicitás. Stacionárius mérték, hosszú idejű viselkedés, ergodicitás és keverés.

Megszámlálható állapotterű Markov-láncok, a rekurrencia és stabilitás problémája. Alkalmazás születési-halálozási folyamatokra és sorbanállási problémákra.

Folytonos idejű Markov-láncok elemei: tiszta ugró folyamatok ekvivalens konstrukciói, ugrási ráták, szemléletes jellemzés. Kolmogorov-Chapman egyenletek, infinitezimális generátor. Hosszú távú viselkedés, ergodicitás, keverés. Sorbanállási alkalmazások.

A matematikai statisztika elemei: Mintavétel, momentumbecslések, Lineáris és nemlineáris regresszió. Maximum likelihood becslés.

Statisztikai hipotézisek, statisztikai próbák: u-próba, t-próba, F-próba, khi-négyzet-próba.

Gyengén stacionárius folyamatok: spektrál-felbontás, spektrál-elmélet elemei: Gyengén stacionárius folyamatok Z-n, R-en, jellemzésük a kovariancia-függvénnyel, realizációjuk Gauss-folyamatként.

Trigonometrikus folyamatok, autoregresszív és mozgó átlag folyamatok. Stacionárius folyamat spektrális felbontása. Példák. Szűrés, példák szűrőkre.

Analízis

([BMETE90MX79](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 4/0/0/v/5 kredit, TTK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a villamosmérnöki MSc képzésben felmerülő analízis jellegű matematikai ismeretek széles körét mutatja be, alapvetően feladat- és alkalmazás-centrikus tárgyalásban. A következő témákat dolgozzuk fel: a funkcionálanalízis alapjai (függvények mint függvényterek elemei), integrál egyenlőtlenségek, skaláris szorzat és norma függvénytereken, ortogonális függvényrendszerek, Banach fixponttétel alkalmazása integrál és differenciálegyenletek iteratív megoldására, a Fourier és egyéb függvénytranszformációk szerepe és alkalmazása, a disztribúciók (mint általánosított függvények) fogalma, feltételes optimalizálás és variációszámítás illetve ezek alkalmazása fizikai példákban, numerikus egyenletmegoldás és optimalizálás (elmélet és algoritmusok).

A tantárgy követelményeit eredményesen teljesítő minden hallgatótól elvárható, hogy:

- értse és konkrét feladatokban, példákon alkalmazni tudja a tárgyalt fogalmakat és ismereteket,
- a gyakorlati élet által felvetett problémákban felismerje a tanult módszerek alkalmazási lehetőségeit.

2. A tantárgy tematikája

I. A funkcionálanalízis alapjai

Függvények, mint függvényterek vektorai. Az L_p és l_p terek fogalma. Norma, (komplex) skaláris szorzat, Cauchy-Schwarz, Hölder és Minkowski egyenlőtlenségek. Banach fixponttétel alkalmazásokkal: differenciál- és integrálegyenletek iteratív megoldása hibabecsléssel. Ortogonális függvényrendszerek, ortogonális vetítés, mint egy elem legjobb közelítése egy adott altérbe eső elemmel, ortogonális rendszer szerinti kifejtés, Parseval egyenlőség, a Fourier sorfejtés mint ortogonális rendszer szerinti kifejtés.

II. Függvénytranszformációk

A Fourier transzformáció, mint a Fourier sorfejtés határesetete, mint unitér transzformáció, stb. Alapvető tulajdonságok, néhány konkrét függvény Fourier transzformáltja, a Fourier transzformáció felhasználása feladatokban (pl.: függvényegyenletek megoldása). Fourier transzformáció több dimenzióban, Fourier vetítési tétel és annak felhasználása a tomográfiában. „Határozatlansági reláció” (mint összefüggés a „jel időbeli és frekvenciatérben vett szétfolytsága között”), a függvény, illetve Fourier transzformáltjának „lecsengésének gyorsasága” és „simasága” közötti kapcsolat, a Schwarz féle függvénytér. Kitekintés (csak „mesélve”, pontos fogalmak, állítások és bizonyítások nélkül): egyéb függvénytranszformációk (wavelet, Laplace, diszkrét Fourier), azok szerepe, illetve a diszkrét Fourier esetén a számolási sebesség ("gyors Fourier transzformáció") és annak jelentősége a képfeldolgozásban.

III. Disztribúciók

A disztribúciók, mint általánosított függvények, mint lineáris leképezések a Schwarz téren, a disztribúciók különböző „természetes” megjelenési módja; pl. mint egy „hagyományos” (de nem L_2 -beli) függvény

Fourier transzformáltja. Dirac delta és Dirac fésű, műveletek disztribúciókkal (disztribúció deriváltja, Fourier transzformáltja stb.) a disztribúciók jelentősége pl. a differenciálegyenletek megoldásában. (Csak kitekintés szintjén; az idő szűkössége miatt ebben a témakörben a cél inkább csak a fogalom megértése, mint a disztribúciókkal való számolási készség tényleges elsajátítása.)

IV. Optimalizálás

Optimalizálás feltételek mellett, Lagrange multiplikátor, optimalizálás függvényterben, variációszámítás, Euler-Lagrange egyenletek. Fizikai példák és alkalmazások.

V. Numerikus analízis

Iteratív egyenletmegoldási módszerek. Felezős módszer, Newton iteráció hibabecsléssel. Kitekintés: Newton iteráció több változóval, a Newton iteráció szerepe az optimalizálásban, egyéb optimalizációs módszerek (pl. gradiens), a "dimenzió átka" és a véletlent is fölhasználó, illetve sztochasztikus módszerek szerepe.

III.2 Választható természettudományos ismeretek

Választható természettudományos ismeretek területén a hallgatónak az alábbi listában szereplő tantárgyak közül egyet kell kötelező jelleggel teljesítenie. Valamennyi tantárgy az őszi félévekben kerül indításra.

A választható természettudományos tantárgyak listája:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Fizika 3 – Modern fizika villamosmérnököknek	BME TE15MX81
Elektromágneses terek	BMEVIHVMA19
Fotonikai eszközök	BMEVIETMA13
Kvantuminformatika és -kommunikáció	BMEVIHIMA18
Nanotudomány	BMEVIETMA14
Villamos szigetelések és kisülések	BMEVIVEMA19

Fizika 3 – Modern fizika villamosmérnököknek

([BME TE15MX81](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 3/1/0/v/5 kredit, TTK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a modern fizika azon fejezeteibe nyújt bevezetést, amelyek fontosak a haladó mérnöki tanulmányok szempontjából. Fontos cél, hogy a hallgatók alkalmazni tudják a modern fizika módszereit, eszközeit a felmerülő szakmai problémák megoldása során.

A tantárgy követelményeit eredményesen teljesítő hallgatótól elvárható, hogy értse, és konkrét feladatokban, példákon alkalmazni tudja a tanult fogalmakat, ismereteket, a gyakorlatban felmerülő helyzetekben ismerje fel a tanult módszerek alkalmazási lehetőségeit, legyen képes a szakirodalomra támaszkodva önállóan bővíteni a kapcsolatos ismereteit.

2. A tantárgy tematikája

A kvantummechanikában használt matematikai eszközök rövid összefoglalása: Az (absztrakt) Hilbert tér és fontosabb jellemzői. Kötött és nem kötött állapotok tárgyalása. A klasszikus mechanika és a kvantummechanika kapcsolata. Az atomok elektronszerkezete. Az elektron-spin és leírása Pauli mátrixokkal. Atomok mágneses térben. Az „egyrészecske” közelítés. Kötéstípusok. Molekulapályák.

A kvantumstatisztikák, Fermion- és Bozon- rendszerek. A „fotongáz”. Rugalmas hullámok és a fononok. Szilárd testek fajhője alacsony hőmérsékleten. Kristályos anyagok sáv szerkezete, vezetők, szigetelők, félvezetők. „Kristályelektronok” fogalma és azok viselkedése külső tér hatására. Az Ehrenfest tétel alkalmazása. A Boltzmann egyenlet stacionárius esetben. A relaxációs idő és a lineáris közelítés. Az elektromos vezetőképesség meghatározása kvantummechanikai modellben.

A szilárd anyagok optikai tulajdonságainak atomi elmélete, az oszcillátor-modell. Fémek optikai tulajdonságai. A plazmafrequencia. Elektromágneses hullám terjedése vezetőkben. Transzmissziós tényező. Atomok dia-mágnessége, a szabad elektrongáz paramágnessége. A paramágneses szuszceptibilitás, a ferromágnesség átlagtér elmélete. A szupravezetés kísérleti alapjai, a Meissner effektus. Fenomenológikus elmélet A BCS elmélet alap gondolata és kísérleti igazolása, fluxuskvantálás.

Kvantum-interferometria.

A kvantum-optika és a lézerfizika alapjai.

Elektromágneses terek

([BMEVIHVMA19](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 3/1/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése:

A tantárgy fő célkitűzése az elektromágneses jelenségek kvalitatív és kvantitatív tárgyalása deduktív módon, a Maxwell-egyenletekből kiindulva. Az elektromágneses terek elméletének magasabb szintű tárgyalása, az alapképzésben megszerzett ismeretek elmélyítése. Az elektromágneses mezők számítógépes szimulációjára alkalmazott módszerek megismertetése, egyes modellezési kérdések tárgyalása. A modellezés alapján történő eszköz tervezési folyamat megismertetése. Néhány elektromágneses eszköz működési elvének ill. térelméleti alapjainak bemutatása az alacsony frekvenciás, villamosenergetikai alkalmazásoktól a nagyfrekvenciás, mikrohullámú eszközökön keresztül egyes optikai és nanoelektronikai alkalmazásokig bezárólag.

2. A tantárgy tematikája

I. Bevezetés, az eddigi ismeretek rendszerezése

Matematikai áttekintés. A Maxwell-egyenletek. Elektromágneses térjellemzők, erőhatások. Anyagjellemzők, térbeli és időbeli diszperzió. A beiktatott elektromos térerősség értelmezése. Makroszkopikus és mikroszkopikus Maxwell-egyenletek és ezek kapcsolata. A térjellemzők viselkedése különböző anyagállandójú térrészek határán.

Energiatétel, teljesítménysűrűség. Kezdetiérték- és peremérték-feladatok fogalma. Speciális időfüggés figyelembevétele lineáris közegekben: periodikus gerjesztés állandósult állapotban, tetszőleges időfüggés passzív közegben, belépő időfüggés. Komplex teljesítmény, a komplex teljesítménymérleg.

II. Az elektrodinamika peremérték-feladatai

Maxwell-egyenletek egyértelmű megoldhatósága, a sugárzási feltétel. Az elektrodinamika peremérték-feladatai (PDE, perem- és folytonossági feltételek megadása, ezek fizikai értelmezése). Időben állandó (sztatikus) terek: Laplace-Poisson egyenletre vezetők, skalárpotenciállal leírható problémák: (i) elektrosztatikus tér, (ii) stacionárius áramlási tér (a Kirchhoff-hálózat n -pólusának térelméleti modellje), (iii) magnetosztatikus tér. A Laplace-Poisson egyenlet egyértelmű megoldhatóságának feltételei, a peremfeltételek fizikai tartalma.

Az elektrodinamika további peremérték-feladatai: (iv) stacionárius áramok mágneses terének analízise vektorpotenciál és redukált skalárpotenciál segítségével. 2D-s problémák az elektrodinamikában. A stacionárius áramok mágneses terének peremérték-feladata 2D-ben, az egy komponensű vektorpotenciál használata planáris és hengerszimmetrikus elrendezésekben.

További peremérték-feladatok: (v) örvényáramú problémák és egyéb kvázistacionárius terek, (vi) elektromágneses hullámok.

III. Peremérték feladatok numerikus megoldása, a mérnöki gyakorlatban használt szimulációs programok működésének alapjai és használata

Peremérték-feladatok numerikus megoldási módszereinek áttekintése (globális- és lokális közelítések, integrális- és differenciális megfogalmazások, stb.). A végeelem módszer (FEM) alkalmazása peremérték-feladatok megoldására. Reziduum-elv, diszkrétizált egyenlet levezetése a Poisson-feladatra. Példák a végeelem módszerhez használt formafüggvényekre.

Green-függvények skalárral leírható peremérték-problémák esetében. Néhány 1-dimenziós Green-függvény. A skaláris Poisson- és hullámegyenlethez tartozó szabadtéri Green-függvény. Diadikus Green-függvények, a vektoriális Poisson- és hullámegyenlethez tartozó szabadtéri Green-függvények.

Az integrálegyenletek módszere az elektrodinamika peremérték-feladatainak megoldására. Időbeli véges differencia módszer (FDTD). A differenciál-operátor diszkrétizálása, a Yee-algoritmus vázlata 1- és 3-dimenziós esetekben.

IV. A villamosmérnöki gyakorlatban előforduló klasszikus térszámítási problémák

Tranziens folyamatok veszteséges távvezetéken, a Fourier-transzformáció alkalmazása. Ideális távvezeték tranziens jelenségei a Laplace-transzformáció alkalmazása, a menetdiagram értelmezése.

Elektromágneses inverz és optimalizációs feladatok (avagy: tervezés és képkeltés). Alapfogalmak: modelltér, adattér, direkt és inverz feladat. Gyengén meghatározottság fogalma, definíciója. Regularizálás célja, módszerei: dimenzió-kontroll, additív büntetőfüggvény (Tikhonov). Néhány klasszikus és modern optimalizálási algoritmus.

Hullámtani problémák. Síkhullámok: ferdén beeső síkhullámok, teljes visszaverődés, tetszőleges hullámtér előállítása síkhullámok szuperpozíciójaként.

Hullámvezetők: sajátérték-problémák, a módus fogalma, tetszőleges peremgörbével határolt csőtápvonalak, négyszög keresztmetszetű csőtápvonal módusai. Hertz-dipólus: közel- és távotér, iránykarakterisztika, sugárzási ellenállás, irányhatás, nyereség. Patch antenna. Elektromágneses hullámok periodikus közegben, bizonyos típusú meta-anyagok viselkedésének vizsgálata. Homogenizálás. Elektromágneses hullámok modellezésére használható aszimptotikus módszerek (hullámkövetéses eljárások) áttekintése.

Fotonikai eszközök

([BMEVIETMA13](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 3/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célkitűzése, hogy bemutassa és megismertesse a gyakorlatban használt fény és anyag kölcsönhatáson alapuló eszközök működési elvét és az egyes eszközök karakterisztikus jellemzőit.

2. A tantárgy tematikája

Bevezető: A fény alapvető fizikai tulajdonságai megismerése, az elektromágneses hullámterjedés alapjainak átvizsgálása.

Passzív optikai elemek: Aktív energiaellátást nem igénylő optikai elemek tulajdonságainak ismertetése. Tükrök, lencsék, prizmák, optikai szálkábelek, diffrakciós rácsok leképezésének áttekintése.

Optikai anyagok fizikai tulajdonságai: Optikai üvegek szerkezeti tulajdonságainak ismertetése. Üveggyártástechnológia bemutatása. Különböző katalógus üvegek tulajdonságai bemutatása és alkalmazási területek ismertetése.

Optikai kristályok előállítása: Optikai kristályok szerkezeti tulajdonságainak ismertetése. Egykristály növesztési eljárások bemutatása. Optikai kristályok speciális tulajdonságainak bemutatása és alkalmazási területek ismertetése.

Nemkoherens fényforrások: Termikus és lumineszcens sugárzók, világító diódák, fénykeltési módjának ismertetése. Az így keltett sugárzás tulajdonságainak ismertetése. Fény érzékelésre használható fotodetektorok működési elvének ismertetése

Koherens fényforrások: Bevezetés. A lézerműködés alapfeltételei tárgyalása. A lézerek osztályozása lézer aktív közeg szerint. A különböző típusú lézerek tulajdonságainak összehasonlítása

Szilárdtest lézerek és alkalmazásai: Direkt sávszerkezetű félvezető anyagok leírása. Lézerdiódák szerkezeti felépítései ismertetése. A félvezető lézerek fizikai paramétereinek és alkalmazásainak bemutatása

Optikai célú multirétegek: Vékonyréteg technológia áttekintése, vákuumpárolgatás és a porlasztás tárgyalása. Speciális tulajdonságokkal rendelkező vékonyréteg struktúrák bemutatása: dielektrikum tükrök, modulátorok, deflektorok.

Optikai elemek: A fény polarizációs tulajdonságának ismertetése. Kettőtörő anyagok szerkezetének ismertetése. Különböző elven működő polarizátorok, szűrők működésének áttekintése. Nemlineáris optikai eszközök frekvenciaváltoztató elemek bemutatása.

Optikai adatátvitel: Optikai hullámvezető struktúrák bemutatása. Egy és a többmódusú optikai szálkábelek és a felületi hullámvezetők ismertetése. Optikai szálkábelek gyártástechnológiai áttekintése. Az optikai szálkábelek fizikai sajátosságainak bemutatása.

Optikai kapcsolók: A mágneses tér kölcsönhatása fénnel és akuszttikus hullámokkal. Magnetooptikai és akusztooptikai eszközök ismertetése és működési elvének áttekintése.
Folyadékkristályok: A folyadékkristályos anyagok szerkezeti felépítésének és optikai jellemzői áttekintése, folyadékkristályos kijelzők típusai és azok összehasonlítása optikai és egyéb tulajdonságaik alapján.
CMOS és CCD eszközök a fényérzékelésben: CMOS és CCD képalkotó szenzor működési alapjainak áttekintése. A szenzorelemek strukturális felépítésének bemutatása. A két szenzortípus összehasonlítása különböző tulajdonságaik alapján.

Kvantuminformatika és -kommunikáció

([BMEVIHIMA18](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 3/1/0/v/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

Napjaink számítástechnikai eszközei teljesítőképességük elvi határához éreztek, mivel az áramköri elemek a jelenlegi technológiával tovább nem csökkenthetők lényegesen. Ugyanakkor egyre több informatikai és távközlési feladat vár megoldásra, melyeket a jelenlegi számítástechnikai kapacitásokkal reménytelen megoldani, csupán szuboptimális megoldások alkalmazhatók. E kettős problémakörre kínál megoldást a kvantummechanikai alapokra épülő ún. kvantum informatika és kommunikáció, mely egyfelől atomi méretekre zsugorítja az áramköri elemeket, másfelől nagyfokú párhuzamosíthatóságot tesz lehetővé, ezáltal lényegesen redukálva a számítási időt, harmadrészt pedig a klasszikus világban szokatlan megoldási lehetőségeket is kínál (pl. teleportálás). A tantárgy célja, hogy megismertesse a hallgatóságot a kvantum informatika fogalomrendszerével, információ elméleti vonatkozásaival és alkalmazási példákon keresztül informatikai és távközlési környezetben való alkalmazhatóságával. A tantárgy röviden ismerteti a gyakorlati megvalósítás alapjait is.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés.

A kvantuminformatika motivációja. A Moore-törvény korlátja és a kvantummechanika kapcsolata. A kvantuminformatika alkalmazásának lehetőségei. A gyök NOT kapu rejtélye (kvantum interferométer) Kvantuminformatika jelölésrendszere és posztulátumai.

A Hilbert-tér és a kvantummechanika kapcsolata, egyszerűsített leírás. Kvantuminformatikai jelölések, komplex valószínűségi amplitúdók. A kvantummechanika posztulátumai. Kvantumbit és kvantumregiszter, szuperpozíció elve. Ábrázolás a Bloch-gömb segítségével. Alap kvantum kapuk és leírásuk.

Műveletek kvantumbitekkel és kvantumregiszterekkel

N-bites kapuk. N-bites Hadamard-kapu és a szuperpozíció elve. Interferométer leírása. Összefonódás (entanglement). CNOT-kapu

Összefonódás

Bell-állapotok. Környezettel való összefonódás (dekoherencia) és következményei. EPR paradoxon. No cloning.

Projektív mérés

Mérés: kapcsolat a kvantum és a klasszikus világ között. Projektív mérés tulajdonságai és konstrukciója.

POVM mérés

POVM mérés tulajdonságai és konstrukciója. Kapcsolat a különböző mérések között.

Egyszerű kvantum protokollok

Tetszőleges kvantumbit előállítás alap kvantumkapuk segítségével. Szupersűrűségű tömörítés. Teleportálás.

Kvantum párhuzamosság

A kvantum párhuzamosság alapjai. A Deutsch-Jozsa-algoritmus leírása. Simon algoritmus

Kvantum prímfaktorizáció – Shor-algoritmus

Prímfaktorizáció, rendkeresés és a Shor-algoritmus kapcsolata és működésük ismertetése. Hatékonyság elemzése.

Infokommunikációs problémák kvantum alapú megoldásai (1)

Kvantum alapú véletlenszám-generátorok

Infokommunikációs problémák kvantum alapú megoldásai (2)

Kvantum alapú kulcsszétosztás. A BB84 protokoll működése és megvalósítása. A B92 protokoll működése.

Infokommunikációs problémák kvantum alapú megoldásai (3)

Hatékony keresés rendezetlen adatbázisban: a Grover-algoritmus. Működés és blokkdiagramm. Hatékonyság elemzése.

Kvantum számlálás és szélsőérték keresés

Kvantum-számlálás elméleti háttere. Kvantum-számlálás elemzése, komplexitása, értékelése, Minimum/maximum keresés elméleti háttere. Minimum/maximum keresés elemzése, komplexitása, értékelése.

Kvantumkriptográfia gyakorlati alkalmazásai

2. generációs folytonos változós kulcsszétosztás. A jelenlegi vezetékes kvantumkulcsszétosztó rendszerek bemutatása.

A Grover-algoritmus általánosítása

Általánosított Grover-algoritmus mely lehetővé teszi a tévesztési hiba megszüntetését.

Kvantum számítógépek, hol tart ma a világ

Kvantum számítógép építésének aktuális helyzete: foton, elektron, atom, molekula alapú megközelítések, jelenlegi elképzelések és kutatási irányok.

Kvantum információelmélet alapjai

Sűrűségmátrixos leírás, posztulátumok megfogalmazása a sűrűségmátrixos leírás segítségével. Összefonódás és teleportálás értelmezése sűrűségmátrixok segítségével.

Kvantuminternet építőkövei

A kvantuminternet architektúrája és protokollkészlete. Repeaterek és memóriák.

Műholdas kvantumkommunikáció

Szabadtéri és műholdas kvantumkommunikáció

Összefoglalás és kitekintés

A tanult témakörök összegzése. A kvantummechanika rövid története. A kvantummechanika és filozófia kapcsolata.

Nanotudomány

([BMEVIETMA14](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 3/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A nanotudomány elsődleges célja jelenségek tanulmányozása szerves és szervesetlen rendszerekben, amelyek néhány szántól néhány millió atomból állhatnak (0,2...100 nm-es tartományba tartoznak). A tantárgy három fő tematikai részre különíthető. Az első rész elméletileg tekinti át a nanotartományba eső rendszerek fizikáját, a skálázással kapcsolatos kérdéseket, a vonatkozó alapvető kvantummechanikai és szilárdtest fizikai jelenségeket. A második rész a nanoanyagok fizikai tulajdonságaival, előállítási technológiájukkal és fő alkalmazási területeivel foglalkozik, beleértve szerves és szervesetlen rendszereket is. A harmadik rész célja a nanometrológia bevezetése, a nano méretskálán alkalmazható mikroszkópos és spektroszkópiás eljárások megismertetése.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés, a nanotudomány elhelyezése, fontosabb eddigi eredményei. A nanotudomány által használt fogalmak definiálása. A nano mint mérettartomány különlegességei. Az anyagok felépítése bottom-up megközelítésben.

A fizikai tulajdonságok megváltozása a nano-méretskálán. A geometriai skálázás hatásai. A top-down tervezés skálázási problémái. Makroszkopikus fizikai jellemzők (mechanikai, elektromos, optikai, termikus, mágneses), ezek mikroszkopikus értelmezése (újdomságok a nanovilágban).

Bevezető a kvantummechanikáról, kvantummechanikai problémák és megoldásuk: A kvantummechanika alapelveinek áttekintése, egyszerű problémák esetében a megoldás menete és eredménye.

Szilárdtestfizikai alapok: Hogyan jutunk el a szilárdtestfizika villamosmérnöki szempontból lényeges modelljeihez és a kapott eredmények értelmezéséhez.

Félvezetők elmélete Áramvezetés jelensége a félvezetőkön belül. A különböző jellegű félvezetők közötti különbségek és a makroszkópikus egyenletek előállítása.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 1: gőzfázisú módszerek. Fizikai és kémiai gőzfázisú rétegleválasztás, valamint kondenzáció és ezek speciális változatai (pl. PVD, CVD, CCVD, ALD, GPC, CVC). Lézeres abláció, kriogénolvasztás, permethóbontás.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 2: folyadékfázisú módszerek. Nanorészecskék előállítása szol-gél eljárással. Alak- és méretkontrollált kémiai redukció. Felületkémia, önszerveződő rétegek, bevonatok. Elektrokémiai és árammentes rétegleválasztás.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 3: nanolitográfia 1. A projekciós és direktírasos litográfiák alapelvei, a felbontóképesség korlátjai. Optikai (UV) litográfia, röntgen-litográfia, elektronsugaras és ionsugaras eljárások.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 4: nanolitográfia 2. Haladó litográfias eljárások. Nanoimprint litográfia és replikáció. Lézerinterferencia litográfia. Litográfia pásztázó tűszondás mikroszkópokkal (STM, AFM). Nanodiszpenzálás.

Szén allotróp módosulatai: fullerének, nanocsövek, grafén. Kristálytani leírás, fizikai tulajdonságok, főbb előállítási technológiák. Megvalósult és potenciális alkalmazási területek a nanoelektronika, szenzorika, kijelzők, kompozit anyagok stb. Terén.

Nanoanyagok vizsgálati lehetőségei, a nanometrológiai eljárások áttekintése. A mikroszkópos eljárások alapjai, a felbontóképesség korlátjai az egyes eljárásoknál. A pásztázó tűszondás mikroszkópok működése (STM, AFM).

Elektronsugaras mikroszkópos eljárások áttekintése. A pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópia (SEM és TEM) alapjai, lehetőségei és korlátjai. Anyag elektron kölcsönhatás, származtatott jelek, detektortípusok és képalkotási módok.

Az anyagösszetétel vizsgálat lehetőségei a nano-méretskálán. Spektroszkópiai módszerek (SEM-EDS, XRF, XPS, AES, Raman-spektroszkópia, SERS, FT-IR) alapjai, az egyes eljárások előnyei, hátrányai.

Villamos szigetelések és kisülések

([BMEVIVEMA19](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 3/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A villamosmérnöki tudományok egyik klasszikus ágának számít a villamos szigeteléstechika. Azonban a XI. század új lendületet adott a területnek, mivel a legtöbb alkalmazás egyre különlegesebb igénybevételeknek ellenálló szigetelések és a szigetelőanyagok alkalmazását igényli. Ezen kihívásokra válaszul megjelentek a különleges polimerek, azok kompozitjai, valamint a nanokompozit polimerek, mivel kiderült, hogy a polimerek előnyös tulajdonságai nanoméretű anyagok megfelelő adagolásával tovább javíthatók. A kurzus során hallgatóságot megismertetjük a villamos szigetelőanyagokban és szigetelésekben lezajló villamos folyamatokkal. Áttekintjük a dielektromos polarizáció jelenségét különböző anyagokban, továbbá az elemi folyamatokat leíró modellek alapjait. Bemutatjuk a villamos kisülések és a villamos szilárdság letörésének folyamatát különböző halmazállapotú szigetelőanyagokban. Mind a kisülési, mind a dielektromos folyamatok esetén bemutatjuk a gyakorlati vonatkozásokat, a villamosmérnöki tudományok azon területeit, ahol a szigeteléseket extrém villamos és környezeti igénybevételek érik.

2. A tantárgy tematikája

A villamos szigeteléstechika alapjai, a szigetelések alaptípusai és a villamos szilárdság letörése. Az átalakuló energetika szigeteléstechikai problémái.

Szigetelőanyagok villamos erőterben, rétegzett szigetelések, dielektromos refrakció és jelentősége a szigetelésekben, tervezérlés megoldásai. Kompozit szigetelőanyagok

Dielektromos polarizáció: a térjellemző mennyiségek és a töltések kapcsolata. A polarizáció makro és mikrojellemzői. A polarizálhatóság.

Elemi polarizációs folyamatok I.: Elektronpolarizáció és modelljei. A Clausius-Mossotti összefüggés. Az ioneltolódási polarizáció

Elemi polarizációs folyamatok II.: a hőmérsékleti orientációs polarizáció és a hőmérsékleti ionpolarizáció
A dielektromos válasz-függvény és tulajdonságai, idő és frekvencia tartományban.

A dielektromos válasz mérése idő és frekvenciatartományban, áram- és feszültségméréssel. A dielektromos válasz kapcsolata szigetelés állapotával

A villamos kisülések kialakulása gázokban (az ütközési, foto- és hőionozás kialakulása, törvényszerűségei), villamos ív. A töltéshordozókat termelő és fogyasztó fizikai folyamatok.

Részleges kisülések: koronakisülések (elektronlavina, pamatos kisülés, csatorna kisülés), üregkisülések, kúszókisülések, villámszerű kisülések. Teljes kisülések: átütés és átívelés, szikrakisülés, villamos ív.

Az elektrosztatikus kisülések (fojtott szikrakisülések, terjedő kisülések, lerakódott porréteg felületén fellépő kisülések). A kisülések okozta káros hatások (tüzek, robbanások, ESD). A kisülések ipari alkalmazása.

Átütési folyamatok kialakulása szigetelő folyadékokban. Nagy tisztaságú és technikai tisztaságú folyadékok átütése.

A villamos szilárdság letörése szilárd szigetelőanyagokban. Villamos átütés esetei: intrinsic átütés, elektromechanikai átütés, hő-villamos átütés, villamos öregedés

Az átütés statisztikus elmélete, a feszültségigénybevétel és az időtartam hatása a villamos szilárdságra.

III.3 Közös tantárgyak

A természettudományos alapismereteken belül öt közös tantárgy jelenik meg a villamosmérnöki mesterképzés programjában, valamennyi a tavaszi félévben kerül meghirdetésre. A közös tantárgyak a következők:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Hírközléelmélet	BMEVIHVMA18
Méréselmélet	BMEVIMIMA23
Minőségbiztosítás a mikroelektronikában	BMEVIETMA12
Szoftvertervezés	BMEVIIIIMA20
Nagyfeszültségű technika és rendszermenedzsment	BMEVIVEMA27

Az öt tantárgy közül a hallgatóknak egy tantárgyat kell teljesíteniük specializációválasztásuktól függetlenül.

Hírközléelmélet

([BMEVIHVMA18](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 3/0/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A híradástechnika, a hírközlés szerteágazó fogalmai és feladatai többé-kevésbé egységes elmélet segítségével írhatók le. A tantárgy célkitűzése bemutatni ennek az elméletnek az alapfogalmait, alapjait és gondolkodásmódját. A tantárgy elsősorban az információelmélet, a döntés- és becsléelmélet, valamint a digitális hírközlés alapjaival foglalkozik.

Ennek keretében a hallgatók megismerkednek fontos fogalmakkal (illetve egyes, már megismert fogalmakkal mélyebben foglalkoznak). A fogalmak alkalmazását a rádióhírközlésből és a mobil eszközök közötti hírközlésből vett gyakorlati példák részletes tárgyalásával mutatjuk be.

Az előadások, a gyakorlófeladatok és a számonkérés módszere együttesen arra törekszik, hogy a hallgatók a megismert elemeket, módszereket és eljárásokat egyrészt alkotó módon tudják alkalmazni, másrészt elegendően sok fix pontot kapjanak ahhoz, hogy a számukra újdonságnak tűnő vagy ténylegesen új hírközlő rendszereket kevés utánolvasással, utánjárással megértsék. A tantárgy így megalapozza a későbbi szakirányú tantárgyakban oktatott digitális hírközlési ismereteket, valamint a digitális hírközlés önálló elsajátítását.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés: A hírközlés feladata, információforrások, üzenetek, zajok, zavarok fogalomköre, hírközlő rendszerek főbb alkotóelemeinek funkciója, a digitális és az analóg hírközlési feladatok bemutatása.

Matematikai bevezetés: A sztochasztikus folyamatok elemei.

Az információelmélet alapjai: Alapfogalmak (források, információelméleti alapfogalmak stb.) definíciója, bemutatásuk példákön

Forráskódolás: Célja, hatékonysága, memóriamentes és memóriával rendelkező források kódolása, Shannon I. forráskódolási tétele.

Forráskódolási eljárások: Huffman-kód, LZW-kód, aritmetikai kódoló.

Az átviteli csatorna: Kölcsönös információ, csatornakapacitás fogalma, BSC, DMC, additív Gauss-zajos csatorna (AWGN), Shannon korlát, Shannon II. csatornakódolás tétele.

Csatornakódolás: Üzenettér, kódtér fogalma, hibák osztályozása, Hamming távolság, kódkonstrukciós törvények (Singleton, Hamming korlátok, MDS, perfekt kód).

Bináris lineáris csatornakódolási eljárások: heurisztikus kódolás, kódvektorok, generátormátrix és polinom, paritásellenőrző mátrix és polinom, Hamming kódok.

Nembináris lineáris csatornakódolási eljárások: Véges testek fogalma, műveletek Galois testek felett, nembináris Hamming kódok, Reed-Solomon kódok, ciklikus kódok.

A döntésemélet alapjai: Döntési feladatok a hírközlésben, bináris döntés, a Bayes-féle (min. risk) döntés, MAP kritérium, ML kritérium, elégséges statisztika. A becslésemélet alapjai: Becslési feladatok, Bayes, MMSE, MAP, ML becslések, becslők jellemzése, a Cramer-Rao egyenlőtlenség, CRB
Digitális jelek átvitele analóg csatornán: A komplex burkoló fogalma, digitális jelkészlet, jeltér fogalma, kétdimenziós jelkészletek, PSK és QAM moduláció, több dimenziós (ortogonális, biortogonális, szimplex) jelterek, optimális vétel AWGN csatornában, vevőstruktúrák.
Zaj hatása a PSK és QAM átvitelre, modulációk összehasonlítása, sávkorlátozott csatornák, jelalakok megválasztása, Nyquist-kritérium.
Memóriával rendelkező csatornakódolási és modulációs eljárások: Konvolúciós kódolás, folytonos fázisú modulációs eljárások, Viterbi algoritmus.
Fadinges csatornák: Rayleigh- és Rice-csatorna, hibaarány fadinges csatornán, a kiterjesztett spektrumú átvitel alapjai, DS és FH rendszer.

Méréselmélet

([BMEVIMIMA23](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 3/0/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

Rendszeresen mérünk/becslünk távolságot, időt, nyomást, lázat, költséget – meg más is. Méri vércukorszintünket, súlyunkat, elégedettségünket. A mérések megismerési folyamataink szerves részei. Közben minden szakmának létezik a maga mérés technikája, létezik egy közös szemléleti háttér és technikai apparátus is, amelynek ismerete nagyban segíti a különféle szakterületek megismerési folyamatainak elsajátítását, és a hatékony együttműködést. Ennek bemutatására vállalkozik a Méréselmélet.

A tantárgy bemutatja a környező anyagi világ megismerését, valamint kvantitatív és kvalitatív jellemzését segítő mérnöki módszerek elméleti háttérének alapjait. Jel- és rendszerelméleti, becslés és döntéseméleti továbbá adat- és jelfeldolgozási módszereket tekint át azzal az igénnyel, hogy elősegítse komplex mérési, modellezési és információfeldolgozási feladatok megoldását. Elsősorban folytonos és hibrid rendszerekhez kapcsolódóan jelentős mértékben fejleszti a tudatos modellalkotási és problémamegoldó készséget. Mindezt a mérési és modellezési problémák egységes szemléleti keretbe helyezésével éri el. Ez a keret a jelátviteli rendszerek alapkonceptjeit is befogadja. A tantárgy keretében elsajátított módszerek megalapozásként és háttérként szolgálnak kutatási és fejlesztési feladatok megoldásához.

A tantárgy követelményeit eredményesen teljesítő hallgatóktól elvárható, hogy:

1. Ismerjék a mérés és modellezés helyét, szerepét és egymáshoz való viszonyát a megismerési folyamatokban;
2. Gyakorlati problémák megoldása során alkalmazni tudják az alapvető jel- és rendszerelméleti, valamint becslés- és döntéseméleti eljárásokat;
3. Tisztában legyenek a modellillesztés (identifikáció és adaptáció) alapvető módszereivel, továbbá az optimalizálás különböző technikáival, különös tekintettel a való időben megvalósítható, rekurzív eljárásokra;
4. Ismerjék a leggyakrabban használt rekurzív jelfeldolgozási technikákat és azok implementációs vonatkozásait.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés. A tantárgy célkitűzése. Adatfajták. Mérési pontosság, mérési bizonytalanság. A mérési eljárás: Megfigyelés determinisztikus csatorna esetén. Megfigyelés zajos csatorna esetén.

A döntésemélet alapjai: kéthipotézises Bayes döntés. Példák: konstans jel detektálása, változó amplitúdójú jel detektálása. A döntésemélet alapjai. Példák: véletlen amplitúdójú jel detektálása zajban.

A becslésemélet alapjai: Bayes becslők. Minimális átlagos négyzetes hibájú, minimális átlagos abszolút hibájú, maximum a posteriori becslés. Bayes becslő Gauss eloszlások esetén. Maximum likelihood becslő. Gauss-Markov becslő. Becslők determinisztikus modellel jellemzett paraméterek esetén. Becslések minősítése. Minimális varianciájú, torzítatlan becslők. Cramer-Rao alsó korlát. Példák skalár- és vektor-paraméteres esetekre. Gauss eloszlású, fehér zajjal terhelt lineáris modellek esete. Példák: diszkrét időindex polinomja, diszkrét Fourier sorfejtés, FIR szűrő, lineáris modell színes zaj

esetén, lineáris modell ismert komponens esetén. A legjobb lineáris torzítatlan becslő (BLUE). Maximum Likelihood (ML) becslők. Legkisebb négyzetes hibájú (LS) becslők. Összetett példák: célkövetés, irányszög mérése. Összefoglalás.

Modellillesztés: regresszió számítás. Teljesen specifikált teljesen, ill. részben specifikált statisztikai jellemzőkkel, lineáris regresszió, lineáris regresszió mérési adatok alapján. Adaptív lineáris kombinátor: Wiener-Hopf egyenlet. A regressziós mátrix vizsgálata: sajátérték, sajátvektor probléma. Iteratív modellillesztési módszerek: Newton, legmeredekebb lejtő, LMS, alfa-LMS, LMS-Newton, LMS-Newton a regressziós mátrix iteratív becslésével. Iteratív modellillesztés a kritériumfüggvény Taylor sorfejtése alapján. Adaptív IIR rendszerek. Stabilitáseméleti megközelítés.

Szűréselmélet alapjai. Optimális nemrekurzív becslő: skalár Wiener szűrő. Rekurzív becslő az optimális nemrekurzív becslőből. Optimális rekurzív becslő: skalár Kalman becslő. Példa. Optimális rekurzív prediktor. Kalman szűrő vektoros esetben.

LS becslők rekurzív számítása: Lineáris megfigyelési modell esete. LS becslők kényszerfeltételek esetén. Nemlineáris megfigyelési modell esete.

Modell-alapú jelfeldolgozás. Az alapok felidézése. Egyszerű átlagolás, exponenciális átlagolás, csúszó-ablakos átlagolás, idő- és frekvenciatartománybeli viselkedés. Jelek reprezentációja jelterekben: lineáris vektortér, lineáris tér, integrál transzformáció. Megfigyelő jelfeldolgozási feladatra. Keverés-integrálás-keverés helyett sávszűrés. A rezonátoros struktúra származtatása, tulajdonságai. Kapcsolat a Lagrange struktúrával és a frekvencia-mintavételi eljárással. Tetszőleges diszkrét transzformáció rekurzív előállítás. A rezonátor alapú diszkrét Fourier transzformátor. A rezonátor alapú megfigyelő, mint univerzális jelfeldolgozó eszköz. Kapcsolat az interpolációs struktúrákkal. Másodfokú valós együttthatos rezonátor alaptagok: direkt, ortogonális, hullám-digitális. A passzivitás feltétele rezonátor alapú megfigyelőknél. A korlátosság feltétele rezonátor alapú megfigyelőnél. A tulajdonságokat megőrző tervezés menete. Jelfeldolgozó algoritmusok energiaviszonyai. Példa mindentáteresztő hálózatok/számítások energiaviszonyaira. Hatékonyan implementálható ortogonális transzformáció. A rekurzív DFT és az LMS eljárás (formális) kapcsolata. Átkapcsolások tranzien্স jelenségeinek struktúrafüggése. Passzivitás az irányítástechnikában: szabályozás hálózaton keresztül. Az ortogonális struktúrák általában. Ortogonális transzformáció adatredukciós céllal (Főkomponens analízis.).

A nemlineáris jelfeldolgozás alapjai: speciális vizsgálójelek, speciális struktúrák, homomorf jelfeldolgozás, sorfejtések alkalmazása. Polinomiális szűrő. Kitekintés: méréselméleti módszerek komplex feladatokban. A tantárgy anyagának összefoglalása.

Minőségbiztosítás a mikroelektronikában

([BMEVIETMA12](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 3/0/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célkitűzése megismertetni a hallgatókat a minőségbiztosítás, minőségirányítás fogalmával, eszmerendszerével és szükséges eljárásaival. Bemutatja az elektronikai anyagok villamos jellemzőinek, mikromechanikai tulajdonságainak vizsgálatára alkalmas villamos és nem villamos módszereket. Foglalkozik az elektronikai alkatrészipar és az elektronikai szerelőipar jellegzetes minőségbiztosítási feladataival, módszereivel. A minőségbiztosítás általános fogalmainak és módszereinek megismerése után a tantárgy kitér a mikroelektronika speciális minősítési módszereinek tárgyalására. Tárgyalja a legfontosabb eszközvizsgálati módszereket, és azok eszközeit. Bemutatja a mikroelektronikai tesztelhetőre való tervezés fontosságát ill. annak elemeit. A hallgatók megismerkednek a megbízhatóság előrejelzésének matematikai módszereivel és a hibamechanizmusok felderítésére alkalmas legfontosabb vizsgálatokkal.

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy és a félévközi követelmények bemutatása. A minőségügy statisztikai alapjai. Valószínűség számítás és a statisztika, Valószínűségi változók és eloszlások, az ingadozás paraméterei, nagyszámok törvényei.

A minőség fogalma, a minőségbiztosítási elvek és rendszerek. A TQC, TQM és ISO 9xxx keletkezése, alapelvei. Egyéb minőségbiztosítási rendszerek, MES stb.

Statisztikai adatok grafikai reprezentációi és hibatípusok fajtái. Normalitás-vizsgálat, Idősorok és „bar chart”-ok.

Mintavételezés alapjai és a mintavételes ellenőrzés Az AQL módszer és alkalmazása, példák.

Mintaértékelés, Becslésmélet, Mintavételes becslésének pontossága, hipotézis vizsgálatok, összefüggőség vizsgálatok.

Az SPC (Statistic Process Control) módszer, Az SPC alapjai, adatgyűjtés és osztályozás, Folyamatparaméterek és szabályozókártyák, elfogadási és beavatkozási határok, SPC döntési algoritmusok, példák.

Gép- és folyamatképesség vizsgálatok. Hibarata fogalma, Gép- és folyamatképességi indexek, Minőségkapacitás, Stabilitás, Példák

Passzív elektronikai alkatrészek minősítési módszerei. Rrezisztív, kapacitív, induktív struktúrák. Szeretlen áramköri hordozók (összeköttetés-rendszerek és passzív hálózatok) vizsgálata. Kötések, tokozások minősítése.

Gyorsított megbízhatósági vizsgálatok. A legfontosabb gyorsító tényezők. A gyorsított vizsgálatok módszerei és eszközei. Termékek várható élettartamának meghatározása.

Termékek megbízhatósága. A meghibásodás okai és fajtái. Az állományfüggvény. A megbízhatósági függvények. A várható működési idő. A megbízhatósági jellemzők becslési módszerei. Rendszerek megbízhatósága, tartalékolás.

Roncsolásmentes tesztelési és hibaanalitikai módszerek. Optikai vizsgálatok, röntgen vizsgálatok, akusztikus mikroszkópia és ezek alkalmazásai az elektronikai anyagok, alkatrészek és szerelt egységek minősítő folyamataiban.

Az integrált áramkörök minősítési módszerei. A mikroelektronikai struktúrák vizsgálati módszerei. A mikroelektronikai eszközök jellegzetes vizsgálati módszerei. Struktúrák vizsgálata: mikroszkópi vizsgálat optikai, elektron-, atomerő és alagútáram-mikroszkópia. Felületi potenciál térképezés.

Eszkövizsgálati módszerek. Sztatikus karakterisztika és paraméterek mérése áramerősítés, küszöb feszültség, áram-állandó, küszöb feszültség alatti áram stb. Dinamikus jellemzők mérése, határfrekvencia, kapacitás stb. Hőmérsékletfüggés mérése, impulzusmérés.

A technológia tesztelése: Mikroelektronikai tesztelő struktúrák tervezése. A technológia tesztelésére szolgáló legfontosabb módszerek: tesztábrák adalékdózis, illesztési hiba, küszöb feszültség stb. mérésére. A tesztáramkörök (pl. ring oszcillátor) szerepe és fontosabb megvalósítása.

Termikus teszt. A termikus tesztelés fontossága a mai mikroelektronikában. A termikus tesztelés módszerei: termovízió, folyadékkristályos hőterképezés, sztatikus és dinamikus termikus tokminősítés, termikus tranziensteszt, kompakt modellezés.

Szoftvertervezés

([BMEVIIIIMA20](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 3/0/0/v/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a modern szoftvertervezés elméleti és gyakorlati alapjainak ismertetése, a szoftver rendszerek fejlesztése során alkalmazott legfontosabb elvek és módszerek, valamint azok gyakorlatban történő alkalmazásának bemutatása. A hallgatók közvetlenül alkalmazható tudást szereznek az objektum-orientált szoftvertervezés gyakorlatából, megismerhetik a szoftvertervezési minták alkalmazását. Képesek lesznek átlátni a szoftvertervezés és fejlesztés folyamatát, a szoftverek létrehozása során alkalmazott különböző típusú követelményeket, valamint az azokat kielégítő szoftver rendszer megvalósításának folyamatát.

2. A tantárgy tematikája

A szoftver rendszerek létrehozásának folyamata. A software engineering fogalmának meghatározása. Alapfogalmak definíciója: szoftver, szoftverfejlesztési módszertan, életciklus modell. A szoftverfejlesztési módszertanok és szoftverfejlesztési környezetek fejlődésének bemutatása. A

- szoftver életciklus modelljeinek bemutatása és azok összehasonlítása: vízesés modell, V modell, iteratív-inkrementális fejlesztés, spirál modell. Modell vezérelt fejlesztés jellemzői.
- Modern szoftverfejlesztési módszertanok jellemzői, agilis fejlesztési módszertanok meghatározása. Néhány elterjedt agilis tervezés módszertan és módszer bemutatása: SCRUM, Extreme Programming, Test First Development, Test Driven Development.
- SCRUM keretrendszer: A keretrendszer mint módszertan bemutatása, az agile szemléletmód és annak megvalósítása a fejlesztés során. A Product Backlog és annak használata a fejlesztés során. A Scrum Folyamat és a Scrum Csapat bemutatása. Az egyes szerepkörök ismertetése: Scrum Master szerep, Product Owner szerep, Fejlesztő (Developer) szerep. A Scrum folyamat végrehajtása a gyakorlatban, ceremóniák és fogalmak. A Product Backlog kezelésének részletei, különböző típusú Backlog Item-ek definiálása, azok leírásának kezelése a fejlesztés során. User Story fogalma és használata. A ráfordítás becslése és előrejelzése a Scrum folyamat végrehajtása során.
- Objektum orientált szoftver fejlesztés meghatározása. Objektum orientált megközelítés, ill. szoftver fejlesztési elvek alkalmazása az elemzés, a tervezés és a megvalósítás során: legfontosabb alapelvek és módszerek ismertetése. Unified Process (UP) fejlesztési módszertan bemutatása. A UP fázisai, diszciplínák vagy munkafolyamatok, a UP során létrejövő szoftverfejlesztési termékek. A sikeres fejlesztés kockázatainak kezelése. Unified Modelling Language (UML) bemutatása.
- A Unified Process Előkészítés (Inception) fázisa. Jellemző termékek tartalmának meghatározása: Vízio, Use Case modell, Kiegészítő követelmények leírása (Supplementary Specification), Glossary. A funkcionális és nem funkcionális követelmények meghatározásának módszerei. A FURPS+ modell a követelmények meghatározására.
- A Use Case modellezés meghatározása. A Use Case-ek és Aktorok definiálása és azok leírása. A Use Case diagramok felépítése és azok strukturálása. A System Sequence Diagram (SSD) szintaktikája és elkészítése. Az SSD viszonya más fejlesztési termékekkel. Gyakorlati példa ismertetése.
- Az Aktivitás diagram és annak használata a Use Case modellezés során. Az Aktivitás diagram és a Use Case leírás viszonya. Gyakorlati példa ismertetése.
- Az UML osztály diagram. A Domain modell felépítése, értelmezése és létrehozásának módszerei. Gyakorlati példa ismertetése.
- A Unified Process Kidolgozás (Elaboration) fázisa. Felelősségek meghatározásának és kiosztásának módszerei. Gyakorlati példa ismertetése.
- Az UML interakciós diagramjainak (szekvencia és kommunikációs, ill. együttműködési diagramok) szintaktikája, azok alkalmazása a tervezés során. A Unified Process Design Modell elemei és azok létrehozásának módszerei. Gyakorlati példa ismertetése.
- A szoftverfejlesztés során alkalmazott szoftver tervezési minták fogalma, típusai, alkalmazásuk. Tervezési minták a szoftver felelősségek meghatározásához: General Responsibility Assignment Software Patterns (GRASP). Gyakorlati példák ismertetése.
- A Unified Process Megvalósítás (Construction) és Átadás (Transition) fázisai. Modellek és a szoftver kód viszonya, kódgenerálás módszerei és lehetőségei. UML modellek és alkalmazásuk a Megvalósítás és Átadás fázisaiban. A szoftver rendszerek verifikációja és validációja: a feladatok meghatározása, helyük a fejlesztési folyamatában, jellemző típusai. A szoftver verifikáció és validáció során felhasznált legfontosabb módszerek.

Nagyfeszültségű technika és rendszermenedzsment

([BMEVIVEMA27](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 3/0/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A fenntartható energetika új kihívások elé állítja a villamosenergia-rendszer öregedő infrastruktúráját, emiatt elengedhetetlen az iparágban dolgozó mérnökök számára is állapotmenedzsment fogalomkörének és módszereinek alapos ismerete. Ennek megfelelően a tantárgyban bemutatjuk az öregedésmenedzsment alapjait, a minősítés és állapotellenőrzés módszereit, továbbá a karbantartás és a feszültség alatti munkavégzés legújabb technológiáit és technikáit, valamint a műszaki és a gazdasági előnyeit, hátrányait. Kiemelten foglalkozunk a kérdés nagyfeszültségű technikai vonatkozásával is.

2. A tantárgy tematikája

A fenntartható energetika és a villamos villamosenergia-rendszer öregedő elemeinek problémája. A rendszer fenntarthatóságának háttere

Az öregedésmenedzsment alapjai, hálózati elemek állapotának ellenőrzése, minősítése

Az eszközmanagement módszerei: top-down és bottom-up megközelítés. A módszerek előnyei és hátrányai.

Az állapotvizsgálatok elméleti háttere, főbb villamos vizsgálati módszerek, azok eredményeinek kapcsolata a berendezés állapotával. Villamos vizsgálati módszerek nehézségei

Nagyfeszültség előállításának módszerei: egyen-, váltó- és impulzusfeszültség esetén.

Nagyfeszültségű mérés technika I.: Nagyfeszültség mérésének módszerei.

Nagyfeszültségű mérés technika II.: Anyagjellemzők mérése, Nagyfeszültségű mérőhidak, részkisülések mérése

Túlfeszültségek a villamosenergia-rendszerben. Túlfeszültségvédelem és a szigetelési szintek koordinációja

Berendezések főbb karbantartási és javítási technikái I.: Tipikus meghibásodások, transzformátorok, távvezetékek

Berendezések főbb karbantartási és javítási technikái II.: Kompozit szigetelők tipikus meghibásodásai és diagnosztikai módszerei

A feszültség alatti munkavégzés (FAM) műszaki és gazdasági előnyei és hátrányai

A szakszemélyzetet érő erőterek és az ellenük való védekezés

Robotok alkalmazhatósága a nagyfeszültségű technikában

Dinamikus távvezeték-terhelhetőség (DLR)

IV. Gazdasági és humán ismeretek

A mérnökinformatikus MSc képzésben a gazdasági és humán ismeretek tantárgyblokkja két részből tevődik össze: egy kötelező tantárgyból (ez a 4/0/0/v/4 kiméretű Mérnöki menedzsment c. tantárgy) és a hallgatók által kötelezően választható tantárgylistából további 3 x 2/0/0/f/2 kiméretű tantárgyból. A kötelezően felveendő tantárgy kari tanszék (TMIT) gondozásában van, a választható tantárgyak a Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar (GTK) valamint a Villamosmérnöki és Informatikai Kar (VIK) által kerülnek felkínálásra.

Kötelezően felveendő gazdasági és humán ismeret tantárgy:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Mérnöki menedzsment	BMEVITMMB03

Mind a BSc, mind az MSc képzésben szerepelnek kötelezően választható tantárgyak a gazdasági és humán ismeretek témakörében. A két tantárgylistából (egyetlen tantárgy kivételével) különböző tantárgyakat tartalmaz, a hallgatók csak a saját képzési formájuknak megfelelő listából választhatnak. A mindkét listán szereplő Pénzügyi technológiák (FinTech) alapjai (BMEVITMAK50) c. tantárgy csak az egyik képzési szinten teljesíthető. A választható gazdasági és humán ismeretek tantárgyak listája:

Tantárgy neve	Tanszék	Tantárgykód
Befektetések	Pénzügyek	BMEGT35M004
Érvelés, tárgyalás, meggyőzés	Filozófia- és Tudománytörténeti	BMEGT41MS01
Információs társadalom joga	Üzleti Jog	BMEGT55M005
Minőségmenedzsment	Menedzsment és Vállalatgazdaságtan	BMEGT20M002
Projektmenedzsment	Menedzsment és Vállalatgazdaságtan	BMEGT20M400
Vállalati jog	Üzleti Jog	BMEGT55M002
Vezetői számvitel	Pénzügyek	BMEGT35M005
Pénzügyi technológiák (FinTech) alapjai	Távközlési és Médiainformatikai	BMEVITMAK50

A felsorolt tantárgyak tematikái a Kar és a GTK honlapján megtalálhatók.

Mérnöki menedzsment

([BMEVITMMB03](#), 4/0/0/v/4 kredit, TMIT)

A tantárgy az őszi félévekben magyar, a tavaszi félévekben angol nyelven indul.

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a villamosmérnök, mérnök- és gazdaságinformatikus, valamint egészségügyi mérnök szakok hallgatói számára technológia- és innovációmenedzsment módszerek, üzleti stratégiák, döntési modellek ismertetése, a jellemző mérnöki vezetői szerepek, feladatok, helyzetek és eszközök bemutatása, valamint a sajátos technológiák és piac szabályozási elveinek és modelljeinek tárgyalása, életszerű példák felsorakoztatása, mindezekkel a sikeres pályakezdés elősegítése.

2. A tantárgy tematikája

Mérnöki menedzsment a tudásgazdaságban: A mérnöki menedzsment általában: helye, szerepe, területei. Az információs, kommunikációs és média technológia (ICT) sajátosságai, trendje, kihívásai és mérnöki menedzsmentje. A digitális ökoszisztéma kialakulása. A mérnöki tevékenység menedzsment elemei. A vezetői tevékenység jellegzetességei, összetevői, a sikeresség komponensei. Vezetési helyzetek és módszerek. Stratégiai menedzsment. A stratégiák felépítése és alkotóelemei. Üzleti stratégiatervezési

módszerek. Versenystratégiák osztályai. Stratégiai példák: az Internet jövőképe, a digitális üzleti stratégia. A stratégia megvalósítása: sikertényezők, az előrehaladás követése. Stratégiai irányítás és kontroll módszerei. Összetett mérnöki döntési problémák megoldása, ügyfél- és rendszerszemléletű megközelítések, a játékelmélet alkalmazása. Erőforrások tervezése, allokálása. Multiprojekt-menedzsment. Szervezet menedzsment. Szervezetek vezetése, szervezet típusok. Szervezetek életciklusa, döntési kultúrája, változtatások menedzselése. Vezetés a gyakorlatban. Vezetési stílusok és kultúrák. Mikor, hol melyik vezetési stílus a hatásos? Tudásmenedzsment. Tudásfolyamatok. Szakmai kompetencia. Tudásmegosztás. Tudásalapú rendszerek. Tudásmenedzsment rendszer bevezetése egy piaci vállalatnál. A szellemi tulajdon fajtái, védelmének alapelvei. Szabad hozzáférésű szoftverek. A szellemi tulajdon hasznosítása. Szellemi közjavak.

ICT specifikus mérnöki menedzsment: Technológia menedzsment. Technológiai tervezés, előrejelzés, transzfer, bevezetés, beépítés és váltás. Technológiai jövőkép-készítés, hajtóerő elemzés, scenáriók összevetése. Technológia-hajtott üzleti stratégiák. Vállalati ICT funkciók. Az ICT alkalmazása: új üzleti stratégiák, globális munkafolyamatok, hatékonyabb szervezeti struktúrák kialakítása. Innováció menedzsment. A kutatás-fejlesztés és innováció célkitűzései. Innovációs modellek és metrikák. Az innovációs folyamat, a kutatás-fejlesztés és a minőség menedzselése, a kockázatok kezelése. Innovációs lánc. A K+F+I menedzsment többszintű szervezete, összekapcsolódó cselekvései. Az innováció finanszírozása. Technológiai inkubátorok, innovációs centrumok, start-up cégek, technológiai konzorciumok. Termékmenedzsment. A termékfejlesztés célkitűzései és folyamata. Az ICT termékek és szolgáltatások piaci helyzete. A piac szereplői. A piaci versenykörnyezet. Piacszegmentálás. A termékek életfázisai, a termék-életciklus menedzselése. A termékek árazása, a fogyasztók érzékenysége. Marketing-kutatási, termékértékesítési és értékesítés-támogatási módszerek. Üzleti folyamatok menedzselése. Folyamatok elemzése, tervezése, szabályozása, javítása, átalakítása. Folyamatok fejlesztésének módszerei. Informatika a vállalati értékteremtésben. Ügyfélkapcsolatok menedzselése. Működéstámogató rendszerek. Az ellátási lánc menedzselése. Üzletmenet folytonosság menedzselése. Egy szolgáltató cég informatikai rendszerének általános felépítése.

A szabályozási környezet: Az ágazati szabályozás. A szabályozás célja, elvei általában, valamint a hálózatos ágazatokban. Versenyszabályozás, fogyasztóvédelem. A szabályozás intézményei és eljárásai, ex-ante és ex-post szabályozás. Önszabályozás, egyezmények, szabványok. Az ICT szektor technológiai és piacsabályozásának modelljei. A verseny és a digitális konvergencia kibontakoztatásának szabályozási feladatai. Az elektronikus hírközlő hálózatok és szolgáltatások, az informatika és a média közösségi és hazai keretszabályozása. Szolgáltatók együttműködésének szabályai. Korlátos erőforrások gazdálkodásának szabályozása, frekvencia- és azonosító-gazdálkodás. Adatvédelem, információbiztonság és tartalom szabályozása.

V. Szakmai törzsanyag

A képzés hallgatóinak hét főspecializáció közül kell egyet elvégezniük. A főspecializációk mindegyike egy-egy szakmai területre fókuszálva ad át elméleti és gyakorlati ismereteket és alakít ki készségeket. A főspecializáció valamennyi tantárgyából meg kell szerezni a kreditet az MSc fokozat elnyeréséhez. Valamennyi főspecializációban a témakörre alkalmazva kerülnek tárgyalásra a képzésben kötelező olyan elméleti alapok, mint

- tervezői szintű elektronikai alkatrész- és mikroelektronikai ismeretek,
- analóg és digitális áramkörök analízise, tervezése és kivitelezése,
- rendszermodellezés, méréstervezés, adat- és jelfeldolgozás tervezése,
- irányítástechnikai eszközök és rendszerek ismerete, tervezése,
- híradástechnikai és infokommunikációs rendszerek ismerete, tervezése,
- a villamos energiaellátás és -átalakítás folyamatának ismerete, tervezése,
- főbb villamosipari anyagok és technológiák ismerete, fejlesztése,
- számítógép-hardver és -szoftver ismeretek, számítógépek és számítógép-hálózatok alkalmazástechnikája,
- elektronikai berendezések és számítógépes rendszerek tervezése, analizálása,
- technológiai gépek és folyamatok illesztési, biztonsági funkcióit ellátó rendszerek ismerete, tervezése,
- alkalmazásszintű ismeretek (tervezés, fejlesztés, integrálás, üzembe helyezés, gyártás, minőségbiztosítás, üzemeltetés, szolgáltatás, karbantartás) a kiválasztott szakterületen,
- a fogyasztóvédelem, a termékfelelősség, az egyenlő esélyű hozzáférés elve és alkalmazása, a munkahelyi egészség és biztonság, a műszaki és gazdasági jogi szabályozás, valamint a mérnöketika alapvető ismeretei.

Minden főspecializáció hat tantárgyat tartalmaz:

A tantárgy típusa	A tantárgy betűjele	Magyarázat
elmélet és gyakorlat	A1	kötelező elméleti tantárgy laborral
	A2	kötelező elméleti tantárgy laborral
	B	kötelező elméleti tantárgy labor nélkül
	C	választható elméleti tantárgy labor nélkül
labor	A1	az A1 elméleti tantárgy laborja
	A2	az A2 elméleti tantárgy laborja

A főspecializáció teljesítéséhez a hallgatónak mind a hat tantárgyat teljesítenie kell. Az A1, az A2 és a B jelű tantárgyak az adott specializáció kötelezően teljesítendő tantárgyai, a C tantárgyak egy, valamennyi főspecializáció számára közös listából választhatók (ezek között található csak a tavaszi és csak az őszi félévben induló tantárgyak is). A C tantárgyak listája a főspecializációkat követő fejezetben található.

A hallgatóknak a főspecializáció mellett a felkínált tizenegy mellékspecializáció egyikét is el kell végezni. A mellékspecializációk célja egy szűkebb szakterületen hasonló, mint a főspecializációké. A mellékspecializációk leírása a Szakmai törzsanyag kötelezően választható ismeretei c. fejezetben található.

A fő- és mellékspecializációk tetszőlegesen párosíthatók.

V.1 Elektronikai rendszerintegráció főspecializáció (EET-ETT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Elektronikai rendszerintegráció
(*Electronics Systemintegration*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Elektronikus Eszközök Tanszéke (EET) és
Elektronikai Technológia Tanszék (ETT)
- 4. Oktató tanszékek:** EET, ETT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Krammer Olivér egyetemi docens (ETT)

6. A specializáció célkitűzése:

A specializáció alapvető célkitűzése, hogy a magyar ipar egyik meghatározó húzóágazatát képező, a globális elektronikai iparba szorosan beágyazott hazai elektronikai és mikroelektronikai tervező és gyártó cégek leendő szakemberei számára olyan komoly, elméleti megalapozottságú, a gyakorlati vonatkozások tekintetében a legmodernebb módszereket, eljárásokat és eszközöket felölelő versenyképes tudást adjon, amellyel akár egy multinacionális nagyvállalati, akár kis és közepes vállalkozási vagy vezető ipari környezetben megállják a helyüket. A főspecializáció tantárgyai ismertetik azokat az elektronikai rendszerintegrációs eljárásokat, mikro- és nanotechnológiai tervezési módszereket, amelyek lehetővé teszik a nagy alkatrész sűrűségű elektronikus rendszerek fejlesztését, gyártásba vitelét és folyamatos gyártását. A specializáció által lefedett témák magukba foglalják az integrált áramkörök és mikroelektromechanikai rendszerek (MEMS) tervezésének és modellezésének, korszerű 2.5D és 3D elektronika tokozások és heterogén integrált áramköri rendszerek konstrukciójának, elektronikai ipari folyamatok menedzsmentjének, a komplex elektronikai rendszerek és gyártástechnológiák szimulációjának, valamint az elektronikai rendszerek hibaanalitikai módszereinek ismereteit.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Chiptervezés	A1 tantárgy	BMEVIEEMA09
Chiptervezés laboratórium	A1 labor	BMEVIEEMA10
Elektronikai rendszerek vizsgálati módszerei	A2 tantárgy	BMEVIETMA11
Elektronikai rendszerek vizsgálata laboratórium	A2 labor	BMEVIETMB02
Heterogén integráció a mikroelektronikában	B tantárgy	BMEVIEEMB02
Választott főspecializáció tantárgy	C tantárgy	ld. tantárgylista

Chiptervezés

Főspecializáció A1 tantárgy

([BMEVIEEMA09](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, EET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy megismertesse a hallgatókat az olyan integrált áramkörök (chipek) tervezésének módszereivel, amelyek mikro- elektromechanikus rendszereket (MEMS), és az azok kiolvasásához vagy mozgatásához szükséges áramköröket tartalmazzák. Bemutatjuk a főbb különbségeket a chiptervezés és a diszkrét komponensekkel való áramkörtervezés között.

A tantárgy első felében az analóg integrált áramkörtervezés alapjait sajátíthatják el a hallgatók, amely tudást egy modern, az iparban széleskörűen elterjedt mikroelektronikai tervezőrendszer használata segítségével mélyíthetnek el. A tervezés alapjául szolgáló integrált áramköri technológia (PDK-t) szintén ismertetésre kerül, különös figyelmet fordítva az elérhető speciális komponensekre. A tervezés során használható analóg integrált áramköri blokkok megismerése után az integrált áramkörtervezés speciális ellenőrzési és szimulációs módszerek bemutatása és alkalmazása következik, fontos szerepet adva a robusztus működésre és a gyárthatóságra való tervezésre.

A tantárgy második fele a MEMS eszközök gyártástechnológiáinak ismertetésével indul, majd az így elkészíthető eszközök bemutatása, és azok tervezési módszerei következnek. Különös figyelmet fordítunk az elektro-mechanikus és elektro-termikus hatások megismerésére, valamint az ilyen fizikai elveken alapuló MEMS eszközök bemutatására. A félév végén a MEMS eszközök számítógépes tervezését sajátíthatják el a hallgatók, amely magába foglalja a tervezési stratégiák, a csatolt fizikai modellezés, a digitális iker létrehozásának, és a redukált rendű modellezés főbb kérdéseit és kihívásait.

A hallgatók az elméleti ismereteket a gyakorlati foglalkozások alkalmával mélyíthetik el.

2. A tantárgy tematikája

Bevezető előadás: az integrált áramkörök és a diszkrét komponenseken alapuló áramkörök különbségei, előnyök-hátrányok, lehetőségek és korlátok.

A méretcsökkentés (scale down) fizikai és technológiai vívmányai. Modern MOS-FET tranzisztorok és új technológiai megoldások (gate engineering, high K, low K, strained silicon, multi Vt technique, tri-gate és GateAllAround tranzisztorok stb.) megismerése. A fejlődés további motivációs tényezői, kitekintés a jövőbe a tervező szemszögéből. Modern fotolitográfia újszerű technológiai megoldásai nanométeres mérettartományban történő alakzat kialakításához.

Integrált áramkör (IC) tervező rendszer bemutatása. Egy választott technológia szerinti tervezési folyamat (design flow) részletes ismertetése. A Process Design Kit (PDK) fogalma. Egy választott process részletes megismerése (rendelkezésre álló eszközök, modellek, opcionális bővítési lehetőségek (HVMOS-FET, PolyR, MIM stb.), maszkrétegek stb.).

Tipikus analóg integrált áramkörök és működésük ismertetése I.: egytranzisztoros alapkapcsolások, áramtükör és differenciál-pár.

Tipikus analóg integrált áramkörök és működésük ismertetése II.: többfokozatú erősítők és OTA / OpAmp, Tipikus analóg integrált áramkörök és működésük ismertetése III.: fokozatok közötti csatolások, visszacsatolt erősítő kapcsolások, munkaponti és stabilitási kérdések.

Integrált áramkörök fizikai ellenőrzésének fontossága, gyárthatóságra való tervezés. DRC, LVS, Extract, DFM, QRC, PVS, ERC fogalmi. Tipikus technológia hibák és kiküszöbölésük érdekében tett tervezői megfontolások. Legfontosabb DRC szabályok ismertetése.

Integrált áramkörök maszk rajzolatának (layout) tervezésének ismertetése, különös figyelemmel az analóg layout kialakítási szabályokra. Analóg és vegyesjelű (mixed-signal) áramkörök layout tervezésének módszertana és gyakorlata. Paraméter szórás becslése és figyelembevétele integrált áramköri technológiák esetén. Process szórás és mismatch fogalmi. Monte-Carlo analízis lehetőségei. Analóg áramkörök (diff.pár, áramtükör) tervezése során a mismatch minimalizálása érdekében tett tervezési megfontolások. PVT sarokpontok és modern ellenőrző eszközök.

MEMS eszközök gyártástechnológiái.

Szilárdságtan alapjai, MEMS gyorsulásérzékelők koncepciója, fizikai háttere.

Elektrosztatikus mozdulat és érzékelés; Fésűs meghajtó, mikrotükör felépítése és működésük fizikai leírása. Elektro-mechanikus átalakítás: piezorezisztivitás és piezoelektromosság; Giroszkópok és elektromechanikus kapcsolók működése;

Elektro-termikus keresztteffektusok, hőmérsékletérzékelés, infravörös szenzorok, elektro-termikus aktuátorok.

Csatolt fizikai modellezés kérdései, multidomén helyettesítő képek analízise, digitális iker létrehozása, áramköri helyettesítő képek megalkotása, redukált rendű modellezés.

MEMS tervezési stratégiák ismertetése, MEMS-ek számítógépes tervezése, modellezése és szimulációja.

Chiptervezés laboratórium

Főspecializáció A1 labor

([BMEVIEEMA10](#), szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit, EET)

1. A tantárgy célkitűzése

A laboratórium tantárgy célja, hogy lehetőséget teremtsen a Chiptervezés tantárgy során elsajátított elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazására és az ott szerzett tudás elmélyítésére, valamint készség

szintre történő emelésére. A laboratóriumi munka során a hallgatók korszerű mikrorendszerek (MEMS) tervezésének modern, számítógépes tervezőrendszerekkel és korszerű szimulációs környezetekkel támogatott módszereivel ismerkednek meg. Egy, a szemeszter során esettanulmány jellegű (egyedileg vagy csapatban) megoldandó tervezési projektfeladat segítségével a laboratóriumi munka során a hallgatók készség szinten elsajátítják a tervezőrendszerek használatát. A feladat elvégzése során azokkal az ipari projektekben is felmerülő problémákkal szembesülnek, amelyek megoldásához magas szintű problémamegoldó képesség szükséges, amelyet ezen laborgyakorlatokon szerezhhetnek meg. A megtervezett eszközök a specifikációban foglaltaknak megfelelő működését különböző szimulációs eljárásokkal igazolják, amely módszerek más, a mikroelektronikában felmerülő kérdésre is választ adhat.

2. A tantárgy tematikája

A MEMS tervezés projektfeladat során a hallgatók megismerkednek az iparban elterjedten alkalmazott, korszerű MEMS tervező és modellező rendszerekkel. A MEMS eszköz végeselemes mechanikai szimulációit FEM eszköz segítségével hajtják végre a hallgatók.

- Ismerkedés MEMS tervezőrendszerekkel;
- Egy széleskörűen használt tervezőrendszer használatának elsajátítása.
- Ismerkedés a MEMS tervezésben használatos szimulációs módszerekkel.
- Önálló tervezési projektfeladat végrehajtása a bemutatott tervező programok (pl. ANSYS) egyikével
 - A megvalósítandó MEMS eszköz kiválasztása az előzetes specifikációnak megfelelően
 - A MEMS eszköz az előállításához alkalmazott gyártástechnológia részletes megismerése, kidolgozása
 - A MEMS eszköz 3D geometriai modelljének elkészítése
 - Szimulációs környezet beállítása csatolt szimulációk futtatása
 - FEM szimulációk futtatása különböző kialakítások (változó geometriai- és anyagparaméterek) és gerjesztések mellett
 - Szimulációs eredmények exportálása, előzetes számításokkal és becslésekkel való összevetése
 - Féléves munka prezentálása

Elektronikai rendszerek vizsgálati módszerei

Főspecializáció A2 tantárgy

([BMEVIETMA11](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy megismertesse a hallgatókat azokkal a vizsgálati módszerekkel és technikákkal, amelyek az elektronikai rendszerek meghibásodása során keletkező hibák gyökérokainak feltárását segítik, valamint, hogy használható tudás adjon a hallgatóknak az elektronikai rendszerek működésének, megfelelőségének vizsgálatára irányuló modellezési és szimulációs lehetőségeiről.

Az elektronikai rendszerek rutin vizsgálati eszköztárának, mikroszkópos módszerek (optikai, röntgen, pásztázó elektronmikroszkóp, akusztikus mikroszkóp), elemi és anyagösszetétel meghatározási módszereinek bemutatása. Készülék, nyomtatott áramköri és integrált áramköri szintű vizsgálati módszerek. Gyakorlati példák bemutatása hiba gyökérok meghatározásra és folyamatvalidációs tesztekre. Az elektronikai rendszerekben leggyakrabban előforduló fizikai, kémiai, és elektrokémiai jelenségek bemutatása, modellezése. Valós folyamatok, rendszerek elemzése: több jelenség egyidejű megjelenése, a törvények „egymásba kapcsolódása”. A hallgatók modellezési készségének fejlesztése modellezési problémák bemutatása segítségével.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés. A tantárgy követelményeinek ismertetése. A vizsgálati és hibaanalitikai tevékenység motivációi, helye és szerepe az elektronikai gyártás és minőségbiztosítás területén. Alkalmazott módszerek csoportosítási lehetőségei. A modellezés alapjainak bemutatása, története: a modellezés

- fogalma, célja, kapcsolata a természetes emberi gondolkodással. Modellek csoportosítása több szempont szerint, a gyártási folyamatok modellezésének elhelyezése.
- Optikai vizsgálatok. Optikai mikroszkópia, mikroszkóp típusok, felépítésük, megvilágítási módok. Az optikai rendszerek hibái, a felbontást és mélységélességet korlátozó tényezők.
- Röntgenes szerkezetvizsgálatok. Röntgensugárzás keletkezése, jellemzői. Röntgenmikroszkópok megvalósítási formái, felépítésük. Detektor típusok, képalkotási, képfeldolgozási lehetőségek. előadás)
- Pásztázó elektronmikroszkópia. Elektronmikroszkóp felépítése, az elektronoptikai rendszer hibái. Gerjesztett térfogot, szekunder és visszaszórt elektronok, karakterisztikus röntgensugárzás keletkezése. Válaszjelek detektálása. Elektronsugaras mikroanalízis.
- Anyagösszetétel meghatározási módszerek. Gerjesztő és válaszjel (elektronok, ionok, röntgen fotonok) kapcsolata, módszerek csoportosítása. XRF-röntgenfluoreszcens spektroszkópia. Infravörös spektroszkópia. A módszerek összehasonlítása alkalmazási terület, detektálási határok, detektálható elemek, felbontás szempontjából.
- Modellezési alapok az elektronikai termékek validációjához. A modellezés szerepe és helye a termékek fejlesztésében és vizsgálatában. A numerikus és analitikus deriválás kapcsolata. A numerikus deriválás hibái, a hiba közelítésnek lehetőségei és a hiba csökkentése. Numerikus deriválási formulák (előre és hátra lépő, centrális). Numerikus integrálási módszerek és közelítési hibáik. Differenciálegyenletek szerepe, fajtái, bemutatása (szemléletesen, a technológia folyamatainak gyakorlati példáin keresztül). Modellek csoportosítása a leíró differenciálegyenletek szerint.
- Áramkörök modellezése. Áramköri szimuláció szerepe. Szimulációs programok felépítése. Áramköri szimulációk fontosabb típusai. Alkatrész modellek. Az összekapcsolási kényszerek, hálózati egyenletek kezelése, admittancia és incidenciamátrix jelentősége. Ágegyenletek (karakterisztikák) kezelése. Lineáris és nem lineáris egyenáramú hálózatok leírása, valamint kisjelű váltakozóáramú vizsgálat.
- Hőterjedés és diffúzió. A hőterjedés (hővezetés, konvekció és radiáció), a hőátadás és a diffúzió jelenségének a bemutatása és matematikai leírásuk tárgyalása. Termikus modellezés szerepe az elektronikai technológiában. A termikus-villamos analógia ismertetése.
- Áramlástan. Hűtési megoldások az elektronikus eszközökben (hűtőbordák, folyadék és fázisátalakulásos hűtés). Áramlástan esetek megközelítése és csoportosítása. Skalár és vektor mennyiségek szerepe az áramlástan matematikai leírásában. Folytonossági tétel értelmezése az áramlástanban. Lamináris áramlások leírása a Bernoulli, Euler és Navier-Stokes egyenletekkel. Turbulens áramlások értelmezése és a szerepe a mérnöki gyakorlatban. CFD (Computational Fluid Dynamics) módszerek bemutatása, különösen a RANS módszeré. Turbulens áramlások numerikus szimulációja a k-e módszerrel.
- Mechanika és termomechanika. A szilárdságtan fogalma és elhelyezése a mechanikában. Mechanikai feszültség felírása általános esetben. A feszültség hatása a szilárd testekre, feszültség elméletek (Coulomb, Mohr és Mises Modell. Mechanikai feszültség kialakulása hő hatására (hőtágulás). Szakító vizsgálatok: a tartós folyás és általános kúszás ismertetése. Termomechanikai szimulációk az elektronikai technológiában.

Elektronikai rendszerek vizsgálata laboratórium

Főspecializáció A2 labor

([BMEVIETMB02](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy gyakorlati ismereteket nyújtson elektronikai alkatrészek és termékek minőségbiztosításának stratégiájáról, minőségi és hibaanalitikai vizsgálatainak megtervezéséről, laboratóriumi és numerikus szimulációs kísérletek végrehajtásáról, kiértékeléséről és dokumentálásáról.

2. A tantárgy tematikája

A laborfoglalkozás során a hallgatók megismerkedhetnek az alábbi vizsgálatok lehetőségeivel, korlátaival, továbbá az egymást kiegészítő jellegükkel:

- Röntgen-fluoreszcens spektrométeres (XRF) vizsgálatok.
Elektronikai alkatrészek, nyomtatott huzalozású lemezek és a forrasztóanyag ötvözetek anyagösszetétel vizsgálata. Az anyagok összehasonlítása a specifikációban és a szabványban rögzített értékekkel.
- Szerelőlemez mechanikai deformációjának vizsgálata.
Végeselem szimulációk segítségével különböző kényszerek mellett áramköri szerelőlemez deformációjának vizsgálata
- Nyúlásmérő bélyeges vizsgálatok
Szerelt és szeretlen áramköri hordozók előkészítése nyúlásmérő bélyeges vizsgálatokra. A panelt érő mechanikai hatások függvényében a panel felületén mérhető megnyúlás és annak hatásainak vizsgálata.
- Infravörös spektroszkópiás (FT-IR) vizsgálatok
Szerves eredetű szennyezők vizsgálatára FT-IR berendezéssel. Az infra elnyelési spektrumok utófeldolgozása és a spektrumokból levonható következtetések vizsgálata.
- Röntgenes struktúravizsgálat.
Elektronikai alkatrészek röntgenmikroszkópos vizsgálata. A röntgenmikroszkóppal készíthető képek értelmezése és dokumentálása a rejtett forrasztott kötések elemzéséhez.
- Computer tomográfiás (CT) vizsgálatok
A CT vizsgálatok alapjainak áttekintése és a rekonstruált 3D modellből nyerhető információk vizsgálata.
- Pásztázó akusztikus mikroszkópos (SAM) vizsgálatok
SAM vizsgálatok megtervezése, elvégzése és értelmezése az integrált áramköri tokon belüli delaminációk és repedések feltérképezésére.
- Optikai mikroszkópos és penetrációs vizsgálatok
Keresztcsiszolatok készítése és kiértékelésük elvégzése. Különleges kontrasztnövelő és festékpenetrációs minta előkészítési módszerek alkalmazása a gyakorlatban.
- Pásztázó elektronmikroszkópiás (SEM)
SEM vizsgálatok alapjainak áttekintése. Elektronsugaras mikroanalízis (EDS) vizsgálatok gyakorlati alkalmazása elektronikai eszközök hibakeresésében. Elektron-anyag kölcsönhatás vizsgálata Monte Carlo szimulációk segítségével. Az elektronmikroszkópos vizsgálatok korlátainak visszavezetése az elektron anyag kölcsönhatásra.
- Vizsgamérés
Önálló problémamegoldás elektronikai gyártásból származó valós mintákon. A félév során megismert analitikai módszerek alapján egy példára vonatkozó vizsgálati terv összeállítása és az eredményekből levonható következtetések kiértékelés.

Heterogén integráció a mikroelektronikában

Főspecializáció B tantárgy

([BMEVIEEMB02](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, EET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy keretében a hallgatók megismerkednek a korszerű elektronikai tokozásokkal, azok felépítésével, kialakításuk és alkalmazhatóságuk előnyeivel, korlátaival és a felépítésükhöz szükséges félvezető- és szereléstechológiai háttérrel. Különösen nagy hangsúlyt fektetünk a More-than-Moore 3D integráció és a különböző integrációs szintek (System-on-Chip, System-in-Package, System-on-Package) megismerésére és összehasonlítására, a 2.5D és 3D integrált eszközök kialakítási technológiájának, termikus és konstrukciós kérdéseinek vizsgálatára.

Megismerkednek a mikroelektronikában széles körűen alkalmazott heterogén integrációval, az áramköri tokozások tervezésének módszertanával és gyakorlati, készségi szintű ismereteket szereznek az áramköri tokozások kialakításának technológiájában. Ennek keretében megismerik a különböző köztes hordozó megvalósításokkal, és elsajátítják a különböző szeletkötési, chip beültetési módszereket.

A korszerű tokozások kialakításánál a termikus szempontú tervezés (thermal aware) módszertanának, lépéseinek megismerése elengedhetetlenül fontossá vált. A tantárgy keretében az újszerű hűtési és termikus menedzsment eljárásokkal is megismerkednek a hallgatók.

2. A tantárgy tematikája

System-on-chip és System-on-Package (U)VLSI rendszerek felépítése, tervezésük módszertana, az alkalmazott tervezési lépéssor (design-flow) részletes bemutatása, fejlődési trendek, korlátok, jövőbeli lehetőségek.

Áramköri tokozás fogalma. Klasszikus elterjedten alkalmazott homogén, 2D tokozások. Korszerű homogén és heterogén; 2.5D és 3D tokozási technológiák. Stacked die struktúrák, System-on-Chip, System-in-Package, System-on-Package, Wafer-level-Packaging, Fan-Out WLP packaging fogalma. 3D integráció tervezési szempontjai és elterjedt technológiái.

Vegyesjelű rendszerchip (SoC) eszközök alkalmazásának és kialakításának előnyei. Új részegységek a SoC rendszerekben. Neurális hálózatok (NPU), gépi tanulás hardver kialakítási lehetőségei, Edge Computing előnyei.

Heterogén integráció a mikroelektronikában. Eltemetett szilícium réteget tartalmazó köztes hordozós kialakítások és passzív/aktív szilícium köztes hordozót alkalmazó tokozások. EMIB, Foveos, C2C bonding, chiplet fogalma és alkalmazásának előnyei, hátrányai, chipkek közötti kommunikáció kialakítása, chipkek közötti kommunikációs szabványok megismerése, optikai kommunikáció kialakításának lehetőségei.

IC tervezés és a tokozás kapcsolata a tervező szemszögéből. Hard-IP, soft-IP és chiplet alapú tervezés fogalmainak megismerése, összehasonlításuk a tervezés és megvalósítás szemszögéből. Korszerű tokozások tervezésének lépései (packaging design-flow), összeköttetések kialakítása, path finding és dynamic timing delay tuning fogalma, IBIS modell generálása, cross-domain integration, gyártásba küldendő fájlok.

Tokozások parazita hatásainak vizsgálata RF, termikus és egyéb fizikai szempontok alapján: IBIS modell, Delphi modell, 2R modell.

Az elektronikai tokozások kialakításának termikus kérdései. Alkalmazott termikus interfész anyagok (TIM) jellemzői, a RTH_{JC} hőellenállás csökkentésének lehetőségei, domináns hőutak meghatározása, jellemző hőátadási mechanizmusok.

Aktív és passzív hűtési megoldások, mikrocsatornás hűtőeszközök és ezek karakterizációs és modellezési lehetőségei.

Gyártástechnológiai alapok: marási technológiák, szilícium szeletek vékonyítása, darabolása, TSV kialakítása, szilícium szeletek kétoldalas megmunkálása, szeletkötési eljárások, RDL réteg kialakítása. Die bonding technológiák bemutatása, huzalkötési eljárások, felhasználási lehetőségeik heterogén integrált rendszerek kialakításánál.

Flip-chip kötések – technológiák, illesztési módszerek, microbumpok/micropillarok kialakítása, C4 kötési eljárások.

Mikroméretű csatornák kialakítási technológiája (in die, in conduction layer, in interposer), csatornák és aktív elemek együttes kialakítása Si interposerben.

Esettanulmány bemutatása, aktuálisan alkalmazott integrált tokozás példáján

Kitekintés, ipari trendek, várható fejlődési irányok.

V.2 Intelligens beágyazott rendszerek fősPECIALIZÁCIÓ (MIT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Intelligens beágyazott rendszerek
(*Intelligent Embedded Systems*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék (MIT)
- 4. Oktató tanszékek:** MIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Dabóczi Tamás egyetemi tanár (MIT)

6. A specializáció célkitűzése:

A fősPECIALIZÁCIÓ azon fejlesztőmérnökök képzését tűzi ki célul, akik beágyazott rendszerekre épülő intelligens alkalmazásokat fejlesztenek, mesterséges intelligencia módszereket alkalmaznak. Ilyenek az autópálya területéről az Advanced driver assistance systems (ADAS) alkalmazások, az autonóm vezetés különböző szintjeinek támogatása, a vibroakusztikai jelek intelligens feldolgozása, az egészségügy területéről az orvosi jelfeldolgozás, a viselhető elektronika segítségével sport/életvitel támogatás, a gyártás (smart manufacturing) területéről a prediktív karbantartás, a fejlesztés területéről a HIL, SIL, MIL tesztelés. Az ezen területen aktív mérnököknek mind a beágyazott rendszerekhez, mind az azokon futó intelligens jelfeldolgozási módszerekhez, mesterséges intelligencia algoritmusokhoz érteniük kell.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Érzékelők és jelfeldolgozás	A1 tantárgy	BMEVIMIMA20
Intelligens beágyazott rendszerek laboratórium	A1 labor	BMEVIMIMA21
Beágyazott mesterséges intelligencia	A2 tantárgy	BMEVIMIMA22
Beágyazott mesterséges intelligencia laboratórium	A2 labor	BMEVIMIMB05
Adatfeldolgozó alkalmazások	B tantárgy	BMEVIMIMB06
Választott fősPECIALIZÁCIÓ tantárgy	C tantárgy	Id. tantárgylista

Érzékelők és jelfeldolgozás

FősPECIALIZÁCIÓ A1 tantárgy

([BMEVIMIMA20](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a fizikai jelek érzékelési lehetőségeinek és ezen információ beágyazott rendszerek számára történő előfeldolgozási módszereinek bemutatását tűzi ki célul. Megismertet a leggyakrabban alkalmazott szenzorokkal, a környezet megfigyelésének zavaró és torzító hatásaival. Bemutatja a jelfeldolgozás alkalmazástól független közös lépéseit, az információ előfeldolgozását.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés a beágyazott rendszerekbe: környezet érzékelése, adatok feldolgozása. Tipikus jelút vizsgálata: szenzorok, érzékelés és jelkondicionálás, mintavételezés, adatfeldolgozás. Tipikus beágyazott feldolgozó architektúrák: mikrokontroller, DSP, FPGA, GPU.

Hőmérsékletszenzorok: pl. termoelem, NTC/PTC, infra, félvezető. Fényerősség mérése, pl. fotodióda, fototranzisztor, fotoellenállás, fotovoltaiikus. Szenzorok speciális tulajdonságainak és felhasználási köreinek ismertetése.

Vibroakusztikai szenzorok: MEMS és hagyományos analóg szenzorok (piezo, electret, geophone). Töltés és feszültségkimenetű eszközök, jelkondicionálási kérdések, tipikus specifikációk.

Pozíció, elmozdulás, elfordulás mérése: inkrementális jeladók, LVDT, optikai szenzorok, time-of-flight szenzorok, Hall-elemes és magneto rezisztív szenzorok, induktív szenzorok. Erő és nyomaték mérése: nyúlásmérő bélyegek, piezo, force-sensitive resistor.

Áram mérése: söntellenállás (alsó és felső oldali), áramtranszformátor/Rogowski tekercs, mágneses téren alapuló (Hall szenzor, fluxgate, magneto-rezisztív) érzékelők. EKG és fotopletizmográfias jelek mérése. Digitális szűrők csoportosítása. IIR és FIR szűrők tulajdonságainak áttekintése. Amplitúdó és fáziskarakterisztika jellegzetességei. Szűrőtípusok ismertetése: FIR: LS és egyenletes ingadozású; IIR: Butterworth, Chebyshev, elliptikus, Bessel-Thomson.

Szűrőtervezési eljárások ismertetése FIR és IIR szűrőkre (LS, Parks-McClellan, ablakozásos, bilineáris transzformáció, impulzusinvariáns transzformáció). Digitális szűrők realizációs formái, biquad implementáció. Kitekintés: lattice szűrőstruktúrák.

Fixpontos tört számábrázolás specialitásai, műveletek végzése fix pontos tört számábrázolással, tervezési nehézségek. Nemlineáris szűrők és outlier detekció: medián szűrő és változatai, Hampel szűrő.

Eltérő mintavételi frekvenciákból adódó problémák áttekintése. Decimálás és interpolálás megvalósítása idő- és frekvenciatartományban. Decimáló és interpoláló szűrő tervezése, polifázisú szűrő. Polinomiális interpolálás.

DFT értelmezése periodikus és sztochasztikus jelekre. Ekvivalens zajsáv szélesség, jel/zaj viszony számítása. Koherens/nem koherens mintavételezés, torzító hatások. Diszkrét Fourier transzformáció (DFT) alternatív értelmezési formái: mátrixtranszformációs alak, szűrőbank, LS becslés (általánosítás tetszőleges frekvenciájú szinuszos komponensekre).

DFT alkalmazása: konvolúció gyorsítás, valós DFT számítása komplex DFT segítségével, cepstrum számítás. Wavelet transzformáció, waveletek ismertetése, implementáció. Diszkrét koszinusz transzformáció.

Numerikus optimalizációs feladatok ismertetése: gyök helykeresés, szélsőérték-keresés. Matematikai probléma megfogalmazása, költségfüggvény típusai, értelmezése. Egy és többparaméteres problémák, feltételes szélsőérték-keresés. Első és másodrendű deriváltakat felhasználó módszerek.

Különböző heurisztikákon alapuló optimalizáló módszerek. Lokális szélsőértékek problémája. Konvergencia problémák, rosszul kondicionált esetek. Numerikus optimalizáció illusztrálása az LMS (Least-Mean Square) algoritmuson, mint valós idejű beágyazott rendszerekben használható adattív szűrőn keresztül.

Intelligens beágyazott rendszerek laboratórium

Főspecializáció A1 labor

([BMEVIMIMA21](#), szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A laboratóriumi mérések célja a beágyazott rendszerekben előforduló információ-feldolgozási algoritmusok és a hozzájuk tartozó, illetve azokat kiegészítő szoftver eszközök ismeretének elmélyítése. A mérések során a hallgatók felhasználják az elemi jelfeldolgozási ismereteket, de a mérések célja összetett rendszerek létrehozása és vizsgálata. A mérési feladatok többségét valamilyen valóságos fizikai rendszer vagy annak modellje mint mintarendszer támogatja.

2. A tantárgy tematikája

A laboratóriumban rendelkezésre álló jelfeldolgozó processzoros fejlesztői környezet képességeinek, erőforrásainak megismerése. A jelfeldolgozó programok általános struktúrájának megismerése, a fejlesztés, hibakeresés lépéseinek gyakorlása egy egyszerű feladat megvalósítása során.

Digitális szűrők tervezése és implementálása: a hallgatók különböző struktúrájú és specifikációjú digitális szűrőket terveznek, implementálnak, bemérnek és alkalmazzák valós jeleken.

A hallgatók egy szabadon választott komplex jelfeldolgozási feladatot oldanak meg önállóan jelfeldolgozó processzor felhasználásával.

LMS-algoritmus megvalósítása. Az LMS-algoritmus változatai, az XLMS-algoritmus vizsgálata. Adaptív visszhangcsökkentés (echo cancellation) megvalósítása elektronikus és akusztikus csatornában..

Rezgésanalízis. A mérési feladatok megoldása során megismerhetők a gyorsulásérzékelők, mikrofonok és a hozzájuk szükséges elektronikus eszközök, továbbá a feszültséggé alakított jelek feldolgozásának

eszközei. Példát láthatunk a beágyazott rendszerek prediktív karbantartás területén történő alkalmazására.

Beágyazott adatgyűjtő rendszer megvalósítása: egy beágyazott eszközökből felépített adatgyűjtő rendszer implementálására, amely képes analóg jelek mérésére, azok továbbítására és tárolására valamilyen adatbázisban további feldolgozás céljára.

Beágyazott mesterséges intelligencia

Főspecializáció A2 tantárgy

([BMEVIMIMA22](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a beágyazott rendszerekhez kapcsolódó információfeldolgozás mesterséges intelligencia algoritmusait mutatja be. Specialitása, hogy információ alatt alapvetően fizikai folyamatokból nyert adatot értünk, és az algoritmusok implementálása során külön foglalkozunk a beágyazott platformokon történő realizálás lehetőségével.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés, a tantárgy követelményeinek ismertetése. A mesterséges intelligencia területeinek, beágyazott rendszerekben történő alkalmazásának, továbbá a tantárgy fókuszpontjainak áttekintése.

Információfeldolgozás beágyazott mesterséges intelligencia rendszerekben.

Az adatelemzés munkafolyamatának ismertetése. Outlier detekció és adattisztítás, hiányos adatok kezelése, tudásmodellezés lehetőségeinek vizsgálata.

Regresszió és osztályozás problematikájának és megoldásának elemzése hardveres környezetben, az ehhez kapcsolódó lineáris, illetve logisztikus modellek bemutatása.

Klaszterezés feladatának vizsgálata, dimenziócsökkentés lehetőségeinek tanulmányozása.

A mesterséges intelligencia szenzorfüziós módszereinek ismertetése beágyazott alkalmazásokhoz.

Neurális hálózatok bemutatása. Zaj hatásának ismertetése a tanulási folyamatra. A túltanulás, korai leállás, illetve a visszametszés problematikájának vizsgálata különböző platformokon. A mintahalmaz felbontása tanító-, teszt- és validáló halmazokra

Konvolúciós neurális hálózatok működésének ismertetése. Beágyazott környezetben futtatható mintafelismerő rendszer bemutatása.

Visszacsatolt neurális hálózatok tanulmányozása. Predikció lehetőségeinek ismertetése.

A neuronok kimenetének értelmezése. A reprezentációtanulás jelentőségének bemutatása, autoencoder ismertetése.

Beágyazott platformok mesterséges intelligencia alkalmazásokhoz

Általános célú eszközök (mikrokontroller, FPGA, általános célú processzor) alkalmazási korlátainak áttekintése.

Céldharverek bemutatása a mesterséges intelligencia beágyazott platformokon történő megvalósításához.

Okos eszközök, okos órák beágyazott mesterséges intelligenciához kapcsolódó képességeinek ismertetése.

Beágyazott mesterséges intelligencia laboratórium

Főspecializáció A2 labor

([BMEVIMIMB05](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A laboratórium a Beágyazott mesterséges intelligencia tantárgyban megszerzett ismeretek gyakorlati alkalmazását tűzi ki célul. A laboratórium elsődleges fókuszusa, hogy a hallgatók valódi fizikai méréseken, illetve adathalmazokon önállóan legyenek képesek mesterséges intelligencia módszereket alkalmazni,

illetve gyakorlati tapasztalatot szerezzenek ezek előnyeiről, illetve korlátairól. Az algoritmusok implementálását beágyazott platformokon valósítjuk meg.

2. A tantárgy tematikája

Neurális hálózatok hibavisszaterjesztési algoritmusának gradiensalapú vizsgálata beágyazott környezetben, a tanulási tényező paraméterezése a momentum, a batchméretek és a pillanatnyi meredekség alapján.

Különböző aktivációs függvények hatása a tanulás sebességére, illetve a modell teljesítményére. Neurális hálózat modellek robusztusságának vizsgálata dropout, illetve ablation módszerekkel.

Bias-variancia dilemma vizsgálata gépi tanulási módszerekben. A tanító adathalmaz zajkomponensének azonosítása, és ennek hatása a legjobb elérhető modellteljesítményekre.

Neurális hálózat architektúrák GPU-alapú gyorsítása, ezek aspektusai mind tanítási, mind lekérdezési használat során. Mátrixműveletek elvégzése SIMD architektúrákon, a párhuzamosíthatóság korlátai.

Alkalmazott együttes idő- és frekvenciabeli transzformációk tervezése hardveres környezetben. Periodikus jelek feldolgozása, főbb paraméterek kinyerése.

Osztályozó rendszer megvalósítása többszintű feldolgozással, osztályozás neurális hálós és fuzzy megközelítéssel.

Adatelemzés munkafolyamata (outlier detekció, adattisztítás, hiányos adatok kezelése, tudásmodellezés).

Modern beágyazott szenzorplatformok (okos, hordható eszközök) fizikai mérési tartományainak vizsgálata.

Kálmán-szűrők alkalmazása offline szenzorfüzió megvalósítására. A giroszkóp, magnetométer és gyorsulásmérő integrálásából elérhető hely- és helyzetmeghatározás alkalmazhatóságának elemzése.

Valós idejű szenzorfüzió megvalósításának lehetőségei és korlátai alkalmazott beágyazott rendszereken.

Modellkomplexitás és fogyasztás kapcsolata, egyes hardverarchitektúrákon elérhető számítási teljesítmény vizsgálata.

Konvolúciós neurális hálózatok tanítása, modell robusztusságának növelése augmentált (eltolt/zajos/forgatott/tükrözött) mintahalmazzal.

Adatfeldolgozó alkalmazások

Főspecializáció B tantárgy

([BMEVIMIMB06](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a beágyazott rendszerekhez kapcsolódó információfeldolgozás modellalapú algoritmusait mutatja be.

2. A tantárgy tematikája

Intelligens adatfeldolgozás néhány mintaalkalmazása:

Digital twin (digitális ikerpár) koncepciója, alkalmazásának lehetőségei.

Predictive maintenance (prediktív karbantartás) koncepciója, alkalmazásának lehetőségei.

Szenzor nélküli méréstechnika koncepciója, az analitikai redundancia, ezek alkalmazása hibatűrő rendszerekben ill. költségtakarékos rendszerekben.

HIL/SIL/MIL szimuláció koncepciója, az ehhez szükséges szimulált rendszer modellezési feladatai.

Modellezés/identifikáció:

Lineáris dinamikus rendszerek modellezése, identifikációja. Parametrikus és nem parametrikus identifikáció. Idő- és frekvenciatartománybeli illesztés.

Nemlineáris rendszerek modellezése. Statikus nemlinearitás, modellillesztés, kompenzáció lookup table alapján és interpoláció a nem tárolt pontokban. Nemlineáris dinamikus rendszerek.

Gerjesztőjel tervezés lineáris és nemlineáris rendszerek identifikációjához.

Információfeldolgozás:

Szenzorfüzió szűrő alapú módszerei. A szenzor véges sávszélességének, átviteli karakterisztikájának figyelembevétele a fúzió során.

Inverzszűrés, mérőrendszer frekvenciafüggő torzításának kompenzálása rosszul kondicionált esetekben. A regularizáció fogalma. Regularizáció alkalmazása rosszul kondicionált mátrixegyenletek megoldására.

Predikció, kieső adatok pótlása idősorok korábbi mintái alapján.

Order analízis koncepciója, módszerei.

Mintafelismerés módszerei.

Információredukció:

Modellalapú információ redukció, compressed sensing koncepciója, alkalmazásának lehetőségei.

V.3 Intelligens hálózatok főspecializáció (HIT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Intelligens hálózatok
(*Intelligent Networks*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék (HIT)
- 4. Oktató tanszékek:** HIT, TMIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Bokor László egyetemi docens (HIT)

6. A specializáció célkitűzése:

A hálózatok által biztosított magas szintű kooperáció ma már valamennyi IT infrastruktúra létfontosságú részét képezi, alapvető összetevőjét jelenti. A folyamatosan bővülő alkalmazási területek és az egyre komplexebb igényrendszer miatt azonban a telekommunikációs hálózatok fejlődése napjainkra sem állt meg, a távközlési rendszerek egyes komponensei forradalmi változásokon mennek keresztül, és a fejlett mobil/vezeték nélküli infrastruktúrák, a felhőszolgáltatások, a hálózatüzemeltetés, a helymeghatározási módszerek és a teljesítményelemzés összetett elegendő képezve multidiszciplinárisá válnak. Az Intelligens hálózatok specializáció a legmodernebb megoldásokra összpontosítva tárja fel a hallgatók számára azokat a kulcsfontosságú technológiákat és koncepciókat, amelyek várhatóan vezető szerepet nyernek a közeljövő globális hálózati ökoszisztémájában. A specializációt elvégző hallgatók korszerű, időtálló, hálózatos szemléletet követő, tudományosan megalapozott, gyakorlatias tudást szereznek a hálózatba integrált komplex informatikai rendszerekről, tervezésükről és üzemeltetésükről. Az egyes tantárgyak keretében mély ismeretekkel gazdagodnak a hálózatok legújabb fejlesztéseiről, megismerik a vezeték nélküli kommunikáció legújabb technológiáit, és átható, a teljes funkcionális hálózati architektúrára vonatkozó ismeretanyagot sajátíthatnak el az IoT felhő alapú digitális szolgáltatási környezetektől a rádiós helymeghatározás megvalósításain át a különböző típusú modern mobilhálózatokig (pl. 5G/6G cellás, ITS-G5/WiGig/WiHD) és integrált hálózatüzemeltetési rendszerekig. Mindezt szervesen egészítik ki a hálózatok tervezési és hatékony működtetési feladataihoz kapcsolódó teljesítménymodellezési ismeretek és azok alkalmazási módszerei. Az előadások mellett a gyakorlatok során a hallgatók a hálózatok tervezési, elemzési, üzemeltetési, optimalizációs és modellezési feladatainak megoldásával foglalkoznak, a specializáció laboratóriumi tantárgyainak keretein belül pedig méréseket végezve mélyítik el a fejlett mobil és vezeték nélküli architektúrákkal és a felhő alapú szolgáltatásokkal kapcsolatos ismereteiket.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Felhőszolgáltatások intelligens eszközök támogatására	A1 tantárgy	BMEVITMMA14
Felhőszolgáltatások laboratórium	A1 labor	BMEVITMMA24
Fejlett mobil- és vezeték nélküli hálózatok	A2 tantárgy	BMEVIHIMA16
Fejlett mobil- és vezeték nélküli hálózatok laboratórium	A2 labor	BMEVIHIMB11
Hálózatok tervezése és üzemeltetése	B tantárgy	BMEVIHIMB04
Választott főspecializáció tantárgy	C tantárgy	ld. tantárgylista

Felhőszolgáltatások intelligens eszközök támogatására

Főspecializáció A1 tantárgy

([BMEVITMMA14](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A digitalizációs folyamat sajátossága, hogy számos iparágban, az iparágra jellemző eszközöket összekötik a felhőbe telepített alkalmazásokkal. Ennek eredményeképpen elmosódik a határ a villamosmérnöki rendszerek és az információs infrastruktúra között és megvalósul a felhő rendszerrel integrált okos eszközök által képzett digitalizált környezet. Egy ilyen rendszer tervezése, megvalósítása és üzemeltetése során egyaránt fontos a villamosmérnökök számára megérteni az informatikai

infrastruktúra meghatározó elemének, a felhő alapú hálózatnak a sajátosságait. További feladat az okos eszközök felhő rendszerbe történő integrációjának alternatíváinak megismerése. A tantárgy célja a fenti ismeretek átadása, felhasználási esetek segítségével történő szemléltetése, gyakorlása.

A tantárgy első részében a felhő rendszerek tulajdonságai kerülnek ismertetésre, különös tekintettel egy felhő alapú infrastruktúrára és a felhő hálózatra. A második részben ezen elvek gyakorlati megvalósítása kerül bemutatásra, a fókusz a rendszer elemeinek megismerésén és használatán lesz. A harmadik részben a tanszéki kutatási és fejlesztési projekteken használt IoT alkalmazásokon keresztül konkrét esettanulmányokon keresztül lesznek tárgyalva az okos eszközök felhő rendszerbe történő integrációjának kérdései.

2. A tantárgy tematikája

Motiváció: az iparágak digitalizációja. Felhasználási környezet: az Dolgok Internetje (Internet of Things - IoT) eszközei, a hálózatba kapcsolt eszközök lehetőségei, kommunikációs igényei. Okos eszközök: az intelligencia feladata és szerepe IoT rendszerekben. Trendek.

A felhő alapú rendszerek kialakításának háttere, motiváció. A felhő rendszerek definíciója, kategóriái, felhasználási esetek, biztonság, monitoring.

A felhő szolgáltatási modellek: IaaS, PaaS, SaaS. A mikroszolgáltatások modellje (microservices). Virtuális gép és konténer alapú rendszerek. Orkesztráció funkciói, komplex szolgáltatások kialakítása, szolgáltatás láncok.

Felhő rendszerek és adatközpontok. Felhő rendszer architektúrájának bemutatása, szemléltetése egy OpenStack felhőn keresztül. A nagy nyilvános szolgáltatók (hyperscaler: AWS, Google Cloud és Azure) és funkciói.

Konténer alapú virtuálizáció (Docker, Podman, Containerd). Konténer menedzsment keretrendszerek (Kubernetes). Kubernetes és a felhő rendszerek viszonya (Amazon EKS).

Felhő alapú IoT platformok szerepe, jellemző funkciói. Esetpélda: Amazon IoT Device Management és Amazon IoT Core szolgáltatások bemutatása és összehasonlítása.

A peremhálózati számítási modell (Edge Computing). Edge computing az IoT szolgáltatások számára.

Okos eszközök távoli vezérlésének minőségi követelményei. Az 5G hálózatok tulajdonságai, gépi kommunikáció számára nyújtott feltételei.

IoT támogatás 5G rendszerekben a virtualizált funkciók és MEC segítségével. Okos eszközök, ipari alkalmazások 5G privát hálózatokba telepítésének szempontjai.

Esettanulmány: vezérlési feladatok IoT Ipar 4.0 munkavégzése során. A feladatvégzés feltételei, a kommunikációs és számítási igények.

Távoli eszközvezérlés kommunikációs feltételeinek bemutatása. A QoS követelmények elemzése.

Erőforrás- és szolgáltatás orkesztrációs feladatok bemutatása. Távoli eszközvezérlés erőforrásigényeinek biztosítása dinamikus környezetben. Szolgáltatás minőség fenntartása, automatikus adaptáció biztosítása a felhő rendszerben.

Valós idejű feladatok megvalósítási problémái a felhő rendszerekben. A valós idejű kommunikáció megvalósítási lehetősége a felhő hálózati környezetben. Késleltetés-érzékeny hálózati (Time-Sensitive Networking - TSN) integrálása a felhő rendszerekbe.

Felhőszolgáltatások laboratórium

Főspecializáció A1 labor

([BMEVITMMB06](#), szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A laboratórium a Felhőszolgáltatások intelligens eszközök támogatására tantárgyban megszerzett ismeretek gyakorlati alkalmazását tűzi ki célul. A tantárgy célja, hogy a hallgatók megértsék a folyamatot, amely során egy virtualizált környezetből egy program segítségével egy kézzelfogható hardver eszközt lehet vezérelni. Továbbá, a laboratórium során a hallgatók gyakorlati tapasztalatot szerezzenek a felhőkbe telepített távoli vezérlési és monitoring alkalmazások kezelésével, a virtualizált rendszer és a vezérelt eszköz közti kommunikációs elvárásokkal, megtapasztalva ezen módszerek előnyeit és korlátait.

2. A tantárgy tematikája

Felhő rendszerek kezelése

Egy OpenStack felhő használata, a felhasználók és általuk telepített alkalmazások kezelése.
Alkalmazások skálázása.

Kubernetes rendszer kezelése.

Egy Kubernetes rendszer kezelése, alkalmazások indítása podokban. A podok életciklusa, a hálózati kapcsolatok biztosítása.

Erőforrásmenedzsment Kubernetes rendszerben.

Podok erőforrásainak kezelése. Podok skálázása.

AWS IoT Device Management

Az Amazon Web Services IoT platformjának megismerése egy IoT eszköz vezérlésén keresztül.

Üzenetküldés cloud IoT platformokban

Az MQTT alapú eseménykezelés a felhőben.

Intelligencia biztosítása az IoT eszközök számára

Intelligens feladatvégzés biztosítása hálózatba kötött IoT eszközzel.

Kubernetesbe telepített intelligens IoT rendszer

Az intelligens feladatvégzés, valamint az eseménykezelést biztosító elemek Kubernetes podként történő megvalósítása. A virtualizált környezet hatása a feladatvégzésre (podok konfigurálása, hálózati korlátok).

Eszközök koordinálása közös feladatvégzés céljából

IoT eszközök együttműködésének biztosítása: több, egyidejű feladatvégzés során a felhőbe telepített vezérlési logika koordinálása.

Felhő natív 5G rendszer

Egy felhő natív 5G teszthálózatba telepített, valós idejű okos eszköz vezérlése. A feladatvégzéshez szükséges minőségi paraméterek értékelése.

Vezérlés időzítése TSN segítségével

Valós idejű feladatvégzés korlátai egy virtualizált rendszerben. Késleltetés-érzékeny hálózati (Time-Sensitive Networking - TSN) megoldások alkalmazása az üzenetek időzítése céljából.

Fejlett mobil- és vezeték nélküli hálózatok

Főspecializáció A2 tantárgy

([BMEVIHIMA16](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy mélységében mutassa be a hallgatóknak a mobil és vezeték nélküli kommunikáció legújabb hálózati technológiáit, és komplex, a teljes architektúrára vonatkozó ismeretanyagot adjon át minden vonatkozó technológiacsalád esetén. Az előtanulmányokhoz illeszkedő bevezetés és egy megfelelően pozicionált evolúciós/történeti visszatekintés után a legfontosabb felhasználási eseteken keresztül közelítjük meg az elérhető megoldásokat. Ennek érdekében bemutatjuk többek között az ipar 4.0, a különböző küldeték-kritikus forgatókönyvek, a kooperatív intelligens közlekedési rendszerek szolgáltatásai és az erőforrás-kritikus alkalmazások által körülírható hálózathasználati specifikumokat, és segítségükkel definiáljuk a támogató hálózati környezetekre vonatkozó követelményrendszereket. Az új felhasználási esetek és követelmények mentén először az IEEE 802.11 fejlett technológiáinak (11ac, 11ah, 11af, 11r, 11p, 11bd...), majd a 60GHz-es, milliméter hullámhosszú, multi-gigabit vezeték nélküli hálózatoknak (WiGig, WiHD) a részletezése következik. A mobil celluláris infrastruktúrák 4G és 5G képviselőinek a bemutatása a következő modul, melyben a hangsúly az 5G NR szabványokon, a legújabb spektrumhasználati technológiákon (pl. 3D beamforming, DAS, LAA), az energiahatékony megközelítéseken (DTX, antenna muting), az alkalmazás-specifikus fejlesztéseken (IoT, streaming, V2X), és az 5G maghálózat technológiáin (SDN, NFV, slicing, MEC, stb.) van, kitéréssel a 6G irányaira. A járműkommunikációs ad-hoc hálózatok (VANET) rendszereire rátérve az alapvető architektúráis megfontolásokkal alapozunk meg a jelenleg legelterjedtebb szabványos megoldások (ITS-G5/DSRC, WAVE) ismertetésének, kitérve a 4G és 5G celluláris V2X, valamint a hibrid V2X kommunikáció

sajátosságaira, végül az IP és V2X világ jelenlegi viszonyára (IPWAVE és kérdései). Utolsó modulként az IoT speciális technológiáinak a bemutatása következik, szintén a teljes protokoll rétegszerkezet és vonatkozó komplett architektúrák jellemzésével, az alkalmazási rétegtől a rádiós megoldásokig (pl. MQTT, CoAP, 6LoWPAN, 6Lo, RPL, CARP, ZigBee, LoRa, Sigfox, NB-IoT), megfelelően szelektált protokoll-ismertető és a 802.11 valamint a mobil celluláris rendszerekre való hatékony visszautalások/kiegészítések segítségével.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés

Motivációk, használati esetek (ipari hálózatok, intelligens közlekedés, logisztika, küldetés- és erőforrás-kritikus forgatókönyvek, követelmények, a technológiák csoportosítási módszerei, a kurzus során érintett területek felosztása, történet visszatekintés (miért „fejlett”), trendek (hype görbék, Global Mobile Data Forecast).

A mobil és vezeték nélküli kommunikáció alapelvei

Alapvető hálózati elvek (áramkör- és csomagkapcsolás, réteges architektúra, TCP/IP és ITS stack, cross-layer optimalizálás szerepe, rádiós alapok, mobil vs. vezeték nélküli), a vezeték nélküli és vezetékes hálózatokat megkülönböztető legfontosabb kérdések összefoglalása (mobilitás, hívásátadás, konnektivitás).

Feltörekvő Wi-Fi technológiák

Wi-Fi alapok (funkciók, phy, mac, architektúra), komponensek (AP, WLC, access / trunk portok), topológiák, SSID, AP módok, legacy Wi-Fi szabványok (802.11a/b/g/n/ac), Wi-Fi technológiák evolúciója, feltörekvő technológiák részletezése (802.11ac/ax/ah/af/r).

60 GHz multi-gigabit Wi-Fi hálózatok

60 GHz-es milliméter hullámhosszon működő multi-gigabit vezeték nélküli hálózatok alapjai (frekvenciakiosztás, teljesítménykorlátok, előnyök/hátrányok, alkalmazási területek), 60 GHz-et célzó vezeték nélküli szabványok, WiGig (802.11ad és 802.11ay), WiHD/WirelessHD/UltraGig (PHY /HRP, MRP, LRP/, OFDM specifikumok, MAC).

5G hálózati alapelvek és architektúra

Mobil celluláris hálózatok evolúciója (generációk összehasonlítása), az 5G hálózati architektúra alapelvei, 5G definíció és képességek, 3GPP/ITU-R idővonal, 5G vertikumok, általános alkalmazási területek és követelmények (eMBB, URLLC, mMTC), alkalmazás-specifikus fejlesztések bevezetése (IoT, streaming, V2X), 5G spektrum, a szolgáltatás-alapú architektúra elve, 5G hálózati architektúra opciók (NSA, SA) és funkcionális építőelemek, 5G FMC és FWA architektúrák.

5G rádiós hozzáférési technológiák

A skálázható OFDM alapjai, 5G többszörös hozzáférési technológiák, az NR szabvány és fejlődése (rel 15/16/17), keretstruktúra, massive MIMO, új spektrumhasználati módszerek (3D beamforming, DAS, LAA), energiahatékony megoldások (DTX, antenna muting).

5G maghálózati technológiák

CapEx/OpEx csökkentés és egyéb motivációk, az 5G hálózatokban használt virtualizációs megoldások alapjai, és telco specifikumok (telco cloud/edge cloud, SDN, NFV /VNF, CNF/, MEC), DRAN/C-RAN/vRAN/O-RAN szervezésű rádiós hozzáférési hálózatok, cloud-native szolgáltatási környezetek, felhasználási jellemzőkre szabott erőforrás-kezelés (network slicing, 5G QoS, hálózatszeletek életciklusa, orkesztráció).

6G

6G iparági víziók, használati esetek (AR/VR/MR/XR, digitális iker/replika, telepresence), 6G szabványosítás és ütemezés, 6G követelmények, 6G kutatási és szabványosítási területek, potenciális 6G technológiák (OFDM-alapú és/vagy új megoldások, cm/mm hullámhosszak és THz-es spektrum, extrém lefedettség, új NW topológia, továbbfejlesztett mMIMO/URLLC/mMTC, AI minden funkcionalitásban).

Wi-Fi alapú járműkommunikációs technológiák

VANET architektúrák és technológiák alapjai, bevezetés a V2X világába (kontextusok, használati esetek, kihívások/követelmények, evolúció, szabványosítás, aktuális helyzet), a szabványos C-ITS architektúra és protokoll stack, 802.11p megoldásra támaszkodó ITS G5/DSRC valamint WAVE

szabványok (IEEE 1609), 802.11bd evolúció, IPWAVE és kérdéskörei (simultaneous multi-access, IP mobility management, access network discovery, handover optimization, stb.)

Celluláris alapú járműkommunikációs technológiák

3GPP, AECC és 5GAA által azonosított járműkommunikációs felhasználási esetek, a járműkommunikáció és a MEC kapcsolódása, 4G LTE alapú járműkommunikációs megoldások, rel14/15/16 evolúció, 5G NR V2X, hibrid (3GPP + non-3GPP) V2X kommunikáció, 6G V2X.

A tárgyak internete (IoT) és gépek közötti kommunikáció (M2M) alapelvei

Az Internettől a dolgok internetéig (lehetőségek, kihívások, új szolgáltatások), speciális IoT és M2M enablers (ipar 4.0, PAN, egészségügy, közlekedés, energia, intelligens megoldások és eszközök, integrációs kérdések, szabványok), IoT/M2M architektúrák, hálózatok és kommunikáció, RFID technológia, intelligens érzékelők és szenzorhálózatok, IoT/M2M szolgáltatások és alkalmazások.

Az IoT/M2M világ fejlett vezeték nélküli technológiái

Infrastruktúra és ad-hoc kommunikációs mód, QoS és mobilitás támogatása, PAN protokollok (IEEE 802.15.4, ZigBee, 6LowPAN) WAN protokollok (802.11, Wi-Fi), WMAN/WWAN megoldások (IEEE 802.16, mMTC, cMTC).

Felsőbb rétegbeli IoT/M2M protokollok

IoT ökoszisztéma a szolgáltatások szempontjából, speciális IoT protokollok az alkalmazási és egyéb rétegekben (CoAp, HTTP, MQTT, LwM2M), IoT/M2M szabványosítás (kihívások és problémák, szabványosítási erőfeszítések a CASAGARAS, W3C, oneM2M, ANEC és további szervezetekben).

Fejlett mobil- és vezeték nélküli hálózatok laboratórium

Főspecializáció A2 labor

[\(BMEVIHIMB11\)](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A laborgyakorlatok célja a vonatkozó specializációs főtantárgyban (Fejlett mobil és vezeték nélküli hálózatok) tanított elméleti ismeretek gyakorlati kiegészítése, elmélyítése. Ennek keretében a hallgatók mérések elvégzése során szereznek kézzelfogható tapasztalatokat a modern mobil és vezeték nélküli hálózatokról, illetve a kapcsolódó műszaki kihívásokról és azok megoldásairól.

2. A tantárgy tematikája

Mobilitás támogatás az Internet Protokollban (MCL)

Az informatikában manapság az a trend, hogy a legnépszerűbb szolgáltatásokat IP alapon szeretnék megvalósítani. Ezt a technológiát nevezik All-IP-nek. A jelenleg működő IPv4 (IP version 4) rendszerek már nem tudják kielégíteni a megnövekedett igényeket, biztosítani a megfelelő QoS (Quality of Service) paramétereket, ezért új rendszereket kell kifejleszteni. Az egyik ilyen rendszer az IPv6, a mérés célja a Mobil IPv6 protokoll működésének bemutatása.

GeoNetworking protokoll mérés (MCL)

A mérés célja, hogy bemutassa a hallgatóknak a GeoNetworking protokollt és az általa nyújtott lehetőségeket. A hallgatók a mérés során megismerkednek az IWCU egységgel, amelyen elvégzik a működéshez elengedhetetlenül szükséges konfigurációkat, majd lehetőségük adódik GeoNetworking kommunikációt megvalósító program(ok) megírására és kipróbálására. A mérés mérnöki életben is gyakran előforduló feladat végrehajtására inspirálja a hallgatót, vagyis egy eddig ismeretlen eszközzel és protokollal kell megismerkednie korlátozott idő alatt.

LTE rádiós interface és szimuláció (MCL)

Az LTE (Long Term Evolution) vezeték nélküli adatátviteli szabvány már teljes mértékben IP-alapú, csomagkapcsolt technológiát biztosít a felhasználók számára. 2011-től LTE-Advanced verziója már a közismert "4G"-ként terjedt el a köztudatban és a jövőben is biztosan a használatban lévő mobil kommunikációs megoldások között fog szerepelni. A hallgatók a mérés során korszerű műszerek segítségével megismerkednek a mobil kommunikációra jellemző legfőbb modulációs fajtákkal, majd a MATLAB LTE Toolbox segítségével szimulálnak egy negyedik generációs adatátvitelt az átvitelre jellemző paraméterek vizsgálatával.

TCP over Wireless (MCL)

Az ISO/OSI rétegstruktúrában, a hálózati réteg (network layer) felett elhelyezkedő szállítási réteg feladata a sorrendhelyes, duplikációmentes és megbízható átvitel biztosítása a felhasználói alkalmazástól függően. Számos transzport protokoll áll rendelkezésünkre, amelyek közül az alkalmazás típusától függően választjuk ki a legalkalmasabbat. A hallgató a mérés során megismerkedik a TCP transzport protokoll és különböző változatainak részletes működésével, illetve megvizsgálja azok teljesítőképességét különböző szimulált hálózati viszonyok között.

Kvantumkommunikációs laboratórium 1. (MCL): kvantumkommunikáció alapjai, vezetett optikai csatorna tulajdonságai

Optikai átviteli közeg csillapításának, sugárzási veszteségeinek, egyéb minőségrontó hatásainak vizsgálata és mérése. A laboratórium során a hallgatók megismerkedhetnek a fényvezető szál mérés technikájának alapjaival.

Kvantumkommunikációs laboratórium. (MCL): kvantuminformatikai alapjelenségek, szabadtéri kvantumkommunikáció

A mérés során a hallgatók megismerkednek az alapvető kvantuminformatikai jelenségekkel, valamint betekintést nyernek a szabadtéri kvantumkommunikáció alapjaiba gyakorlati elrendezések példáján keresztül.

MapReduce teljesítőképességi mérések (AddICT)

A mérés célja a MapReduce paradigma ismertetése Apache Hadoop keretrendszerben (Apache Hadoop Yarn, HDFS). A mérés során megismerkedünk a MapReduce folyamattal, valamint a HDFS-nek MapReduce-ra való hatásaival az applikációk végrehajtása során.

Jelzési protokoll eljárások az 5G core hálózatban (AddICT)

A mérés során a hallgatók megismerkednek az 5G szolgáltatások igénybevételéhez szükséges, 5G előfizetői mobil készülék (UE) és az 5G mag (5G core) közötti jelzési eljárásokkal. A kísérleti környezetben vizsgálják a szolgáltatási minőséget befolyásoló tényezőket. Alapvető NAS és NG-APs jelzési üzenetváltások megfigyelése és megértése.

5G core funkciók erőforrás-menedzsmentje (AddICT)

A mérés során a hallgatók megismerkednek az 5G core funkciók hatékony üzemeltetésének gyakorlati szempontjaival. Utána pedig egy kísérleti környezetben az erőforrás-menedzsment algoritmusok beállítási lehetőségeit megvizsgálják.

V2X Facilities protokollok a gyakorlatban (MEDIANETS)

A mérés során a hallgatók megismerkednek a legfontosabb C-ITS/V2X alkalmazásokkal és azok megvalósítását közvetlenül lehetővé tevő un. Facilities protokollok (pl. CA, DEN, IVI, MAP/SPAT, stb.) működésével. Megvizsgálják a releváns V2V és V2I/I2V C-ITS üzenetek felépítését és a fejlécsztruktúrák, valamint a hordozott adatelemek segítségével gyakorlati szempontból elemzik a protokollmechanizmusokat.

Hálózatok tervezése és üzemeltetése

Főspecializáció B tantárgy

([BMEVIHIMB04](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy alapvető célja, hogy betekintést nyújtson a hallgatóknak az infokommunikációs hálózatok tervezésének és üzemeltetésének módszertanába. A tantárgy különös hangsúlyt fektet a kapcsolódó gyakorlati ismeretekre az elemi tervezési és üzemeltetési/konfigurálási módszerek gyakoroltatásán és kész megoldások analízisének keresztül.

A tantárgy keretében áttekintésre kerülnek az IP alapú hálózatok felépítésének és működésének elméleti alapjai az adatkapcsolt kommunikációtól kezdve az útvonalválasztáson át a hálózati szolgáltatásokig. Részletesen tárgyalásra kerül a szabványos megközelítésekre alapozott feladat-orientált hálózatmodellezés, valamint a hatékony tervezési és analízis módszerek kiválasztása és alkalmazása. A hálózat-nyilvántartás, konfigurálás és üzemeltetés témaköre az automatikus orkesztrációt támogató modern, DevOps szemléletű módszerek tárgyalásán keresztül kerül feldolgozásra.

2. A tantárgy tematikája

Hálózatok felépítése, működése 1.

Hálózati alapfogalmak áttekintése.

Hálózati szintek, architektúrák: hozzáférés – metro – gerinc, centralizált – elosztott.

IP alapú hálózatok felépítése: AS, transit – peering.

Adatsík, menedzsment sík, vezérlő sík.

Hálózatok felépítése, működése 2.

Címzés: IPv4, IPv6.

Útvonalválasztás, útvonalválasztó protokollok: OSPF, BGP.

Hálózati szolgáltatások: ARP, DHCP, ICMP, NAT.

Korszerű hálózati technikák: virtualizáció, automatizáció, SDN, NFV, 5G+.

Hálózatok tervezési szempontjai

Tervezési alapok áttekintése.

Tervezési követelmények, alkalmazások követelményei: CDN, Cache, 5G szempontok, Cloud-Native, Edge-Cloud, Data Center.

SRLG, fokszám korlát, távolsági korlátok, fizikai jelromlás alapú útvonalválasztás.

Hálózati forgalom és szolgáltatásminőség

Hálózati forgalom kezelése: forgalommatrix, tranzit forgalmak, háttér forgalmak.

Szolgáltatásminőség szempontjai, mérése: QoS/QoE (sávszélesség, throughput, késleltetés, késleltetésingadozás).

Hálózat szeletelés (network slicing) és megvalósításának módjai.

Hálózatok megbízhatósága

Rendelkezésre állás (availability).

Hálózatok védelme, hibavédelem és helyreállítás (dual/multi-homing, dual/multi-connectivity).

Hálózatok szinkronizálása.

Hálózat modellezés

Gráf, útvonal, fa, hálózat, hálózati folyamatok.

Hálózati algoritmusok

ILP (Integer Linear Programming - egészértékű lineáris programozás),

SiAn (Simulated Annealing - szimulált lehűtés),

SiAl (Simulated Allocation - szimulált allokáció),

GA (Genetic Algorithm - genetikus algoritmus).

Zöld hálózatok

Hálózatok energiafogyasztása.

Energiafogyasztás optimalizálása: megújuló energia használata, "energia-aratás", konszolidáció, szelektív kikapcsolás.

Hálózatmenedzsment és üzemeltetés alapok

Hálózatmenedzsment és üzemeltetés alapismeretek.

Hálózati infrastruktúrák életciklus menedzsmentje.

Hagyományos menedzsment megközelítések áttekintése: FCAPS, TMN/TOM/eTOM, ITIL.

Hálózat monitorozás 1.

Hálózat monitorozás alapismeretek.

Népszerű monitorozó eszközök áttekintése: ping, traceroute, SNMP, syslog.

Hibaelhárítás, hibakövetés.

Hálózat monitorozás 2.

NetFlow alapok.

SPAN alapok, lokális/távoli SPAN, ERSPAN.

Hálózat programozás

Hálózat programozás alapismeretek, CLI, API.

API használat, REST API, Postman.

Adat formátumok: XML, JSON.

Adatmodellek és protokollok: YANG, NETCONF, RESTCONF.

Orkesztrációs eszközök

Orkesztrációs alapismeretek.

Ügynök alapú eszközök áttekintése: Puppet, Chef, SaltStack.

Ügynök nélküli eszközök áttekintése: Ansible, Puppet Bolt, SaltStack Salt SSH.

V.4 Irányító és látórendszerek főspecializáció (IIT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Irányító és látórendszerek
(Control and Vision Systems)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Irányítástechnika és Informatika Tanszék (IIT)
- 4. Oktató tanszékek:** IIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Harmati István egyetemi docens (IIT)

6. A specializáció célkitűzése:

Az érzékelési, döntési és beavatkozási feladatokat önműködően megvalósító irányítórendszerek alkalmazása elengedhetetlen a gyártási és energiatermelési folyamatok hatékony és környezetbarát működtetésében, az önvezető járművekben és más autonóm, komplex rendszerekben. A többek között mesterséges intelligencia alapú technológiákra épülő, korszerű irányítástechnikai megoldásokat ismerő és alkalmazni képes szakemberekre az elkövetkező időszakban növekvő szükség lesz, hiszen a piacra kerülő berendezések és rendszerek számos funkciójának ellátásához valamilyen irányítási feladatot is meg kell oldani. A dinamikusan változó környezetről optikai úton 2D és 3D információkat gyűjtő rendszerek gyors fejlődése lehetővé tette tömeges alkalmazásukat irányítási célokra is, ez indokolja az irányító- és látórendszerek bemutatásának összekapcsolását.

A specializáció célja olyan mérnökök képzése, akik átfogó szemléletbeli és rendszertechnikai alapokkal, naprakész irányításelméleti, jelfeldolgozási és architektúrális ismeretekkel rendelkeznek a korszerű elosztott, intelligens irányítórendszerek és azok egyes funkcióinak fejlesztése területén, továbbá magas szintű természettudományos és szakmai ismeretek birtokában képesek ezeken a területeken új rendszerkomponensek és rendszerek tervezésére és integrálására.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Dinamikus rendszerek modellezése és szimulációja	A1 tantárgy	BMEVIIIIMA17
Irányítórendszerek laboratórium	A1 labor	BMEVIIIIMA18
Számítógépes látórendszerek	A2 tantárgy	BMEVIIIIMA19
Látórendszerek laboratórium	A2 labor	BMEVIIIIMB05
Mesterséges intelligencia alapú irányítások	B tantárgy	BMEVIIIIMB06
Választott főspecializáció tantárgy	C tantárgy	Id. tantárgylista

Dinamikus rendszerek modellezése és szimulációja

Főspecializáció A1 tantárgy

([BMEVIIIIMA17](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy bemutassa az irányítórendszerek fejlesztése során alkalmazott modellezési és szimulációs eljárásokat, illetve a komplex, elosztott irányításokban fontos szerepet játszó diszkrét eseményű rendszerek kezelésének alapjait.

A tantárgy modellezési és szimulációs eljárások bemutatásával alapozza meg a korszerű irányítási módszerek tárgyalását. Ismerteti a többek között villamos, mechanikai és hidraulikai rendszerek egységes modellezésére használt Bond gráfok formalizmusát, a rendszer állapotegyenleteinek és jelfolyamgráf-reprezentációinak meghatározását, valamint a folytonosidejű dinamikus rendszerek szimulációjára szolgáló differenciálegyenlet-megoldó módszereket. A jelfolyamgráf-alapú eszközökre alapozva az irányítási algoritmusok prototípus-implemetálására szolgáló automatikus kódgenerálási eszközök is bemutatásra kerülnek.

A fentieken túl a tantárgy ismerteti a felügyeleti irányításokban használt diszkrét eseményű rendszerek modellezésére szolgáló, véges állapotú automatákon alapuló módszereket, a komplex irányítórendszerekben is használatos StateCharts formalizmust, valamint a diszkrét eseményű rendszerek szimulációjának alapjait.

A tantárgyat sikeresen abszolváló hallgatók képesek bekapcsolódni a korszerű irányítórendszerek tervezésébe és fejlesztésébe, valamint általános és hosszútávon alkalmazható tudással rendelkeznek a modellezés, a szimuláció és a diszkrét eseményű rendszerek integrációjának területén.

2. A tantárgy tematikája

Dinamikus rendszerek modellezése Bond gráfokkal

A Bond gráfok alapelemei, kötések, egy- és kétkapuk, csomópontok. Villamos, mechanikai és hidraulikus rendszerek egységes modellezése Bond gráfok segítségével. Kauzalitás fogalma és meghatározása, állapotegyenletek és jelfolyamgráf-reprezentáció meghatározása Bond gráf alapján.

Folytonos rendszerek szimulációja

Numerikus integrálási módszerek, differenciaegyenlet-megoldó algoritmusok és azok paraméterezése. Alapfogalmak, konvergencia és stabilitás értelmezése. Fix és változó lépésközű explicit Runge-Kutta algoritmusok, többlépéses módszerek. Merev (sStiff) rendszerek kezelése, implicit differenciálegyenletek megoldása. A statikus optimum analitikus feltétele korlátozások mellett, Lagrange multiplikátor szabály. Numerikus optimalizálás: gradiens, konjugált gradiens és Newton-Raphson módszerek. Szimulációs módszerek és azok paramétereinek megválasztása a gyakorlatban, azok hatása a szimuláció eredményére

Automatikus kódgenerálás

Az automatikus kódgenerálás fogalma és menete diagram alapú fejlesztői környezetekben. A diagram/modell futtatásának fázisai. Köztes kód és futtatható kód előállítása jelfolyamgráf-modell alapján. Felhasználói kód integrálása, valós idejű követelmények figyelembevétele.

Diszkrét eseményű rendszerek

Diszkrét eseményű rendszerek fogalma, modellezése véges állapotú automatákkal. A StateCharts formalizmus: hierarchia és párhuzamosság kezelése, broadcast-kommunikáció. Állapotok és pseudo-állapotok, feltételek, akciók kezelése. A StateChart-diagram végrehajtásának szemantikája.

Diszkrét eseményű rendszerek szimulációja

A diszkrét eseményű szimuláció alapjai, szimulációs módszerek: eseménygráf, aktivitásciklus-diagram, entitásfolyam-gráf. Sztochasztikus rendszerek szimulációja. Szimulációs szoftverek szolgáltatásai, szimulációs eredmények hasznosítása az optimalizálás során.

Irányítórendszerek laboratórium

Főspecializáció A1 labor

([BMEVIIIIMA18](#), szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy a hallgatók jártasságot szerezzenek az irányítórendszerek fejlesztését és gyakorlati megvalósítását támogató, a kutatás-fejlesztési munka során alkalmazható korszerű eszközök és tervezési módszerek használatában.

A tantárgyat sikerrel abszolváló hallgatók gyakorlati ismeretekkel és készségekkel rendelkeznek a gyors prototípustervező környezetek és korszerű szimulációs szoftverek használatában, valamint képesek a feladatok megoldásához rendelkezésre álló környezetek hatékony használatára.

2. A tantárgy tematikája

A hallgatók a félév során tíz alkalommal mérési feladatokat oldanak meg a tanszék laborjaiban kis létszámú mérőcsoportokban. A tíz mérési alkalom tematikája az alábbi:

Dinamikus rendszerek jelfolyamgráf-alapú modellezése: a Simulink környezet felépítésének és szolgáltatásainak megismerése, modell felépítése csomópontok, alrendszerek és jelvezetékek segítségével

Mechatronikai rendszerek teljesítményáramlás-alapú modellezése és szimulációja 1: a Simulink Simscape kiegészítőjének megismerése, villamos és mechanikai rendszer modellezése és szimulációja
Mechatronikai rendszerek teljesítményáramlás-alapú modellezése és szimulációja 2: multi-domain mechatronikai rendszer modellezése, szimulációja és irányítása Simulink-Simscape környezetben
Diszkrét eseményű és hibrid irányítás: diszkrét eseményű, illetve hibrid rendszerek irányítása StateCharts-alapon a Simulink Stateflow eszközeinek használatával
Gyors prototípustervezés és automatikus kódgenerálás 1: a Simulink automatikus kódgeneráló szolgáltatásának használata a megtervezett irányítórendszer implementálása során
Gyors prototípustervezés és automatikus kódgenerálás 2: irányítórendszer paramétereinek hangolása és működésének ellenőrzése Hardware-In-The-Loop teszt segítségével
Diszkrét eseményű szimuláció: komplex, sztochasztikus folyamat szimulációja Arena környezetben. A modell megalkotása, a szimuláció paraméterezése, az eredmények vizualizációja és analízise.
Dinamikus rendszerek identifikációja: egy ismeretlen dinamikus rendszer modelljének meghatározása identifikáció módszerével. Az identifikációhoz szükséges mérések elvégzése, identifikációs algoritmusok vizsgálata.
Optimális irányítások: optimális irányítás tervezése és megvalósítása többváltozós rendszerekhez
Prediktív irányítások: modell-prediktív irányítás tervezése és megvalósítása többváltozós rendszerekhez

Számítógépes látórendszerek

Főspecializáció A2 tantárgy

([BMEVIIIIMA19](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a hallgatókat megismertetni a számítógépes látás létező technikáival, mind a rutinszerűen megoldható egyszerűbb, mind a bonyolultabb módszerekkel, egyensúlyban tartva az elméleti és gyakorlati kérdéseket. Célunk azt biztosítani, hogy a hallgatók a kapott ismeretek alapján a későbbiekben képesek legyenek a tanult módszerek alternatíváit a választáshoz szükséges mértékben megérteni, mind az elmélet, mind a praktikum szempontjából. A tematikát a két- és háromdimenziós látás, a tanuló látórendszerek és a képfeldolgozó HW megválasztásának kérdései szerint tagoljuk.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés, a számítógépes látás alapfeladatai és problémái, szemantikus gát. Képzékelés alapjai, emberi látás, fotodióda, CCD, CMOS, színlátás. Képi zajok és hibák forrása, homályosság, fókusz, képtárolási technikák. Színkomponensek szerepe, szinterek. Képjavítási eljárások, intenzitás-transzformációk, hisztogram, hisztogram-transzformációk.

Szűrések képtartományban, konvolúció, simító, élesítő és élkereső szűrések, nemlineáris szűrők. Éldetektálás, Canny algoritmus. Képi matematika, interpolációs technikák, illesztések. Képfeldolgozás a frekvenciatartományban, 2D Fourier transzformáció, képi spektrum vizsgálata. Szűrések frekvenciatartományban, ideális és egyéb szűrők tulajdonságai. Osztályozás spektrum alapján, periodikus zajok vizsgálata. DCT, JPEG tömörítés, Wiener-dekonvolúció.

Képjellemzők fajtái és kinyerése. Mintaillesztés, hasonlósági metrikák. Sarokdetektálás, lokális struktúra mátrix, KLT, Harris. Invarianciák transzformációkra, SIFT, ORB. Osztályozás módszerei: Haar-jellemzők, Viola-Jones, Bag of Visual Words, Deformable parts. Követés megoldásai: Pixel-alapú követés, Optical flow, LK és Farneback módszerek. Iteratív és piramis optical flow. HMM és Kálmán-szűrő alkalmazása, objektumpárosítás affinitás alapján.

Szegmentálási módszerek csoportosítása. Intenzitás alapú szegmentálás, küszöbözés, hisztogram-alapú megoldások. Klaszterezés módszerei, k-Means, MoG, Mean-shift. Régiónövesztés, Split & Merge, SRM. Watershed, gráfágás, mozgásszegmentálás.

Bináris képek feldolgozása, morfológiai alapműveletek, nyitás, zárás, kontúrkeresés. Távolság és szomszédosság, Jordan-tulajdonság. Csontvázasítás. Bináris objektumleírók, Euler-szám, lenyomat, pozíció, orientáció. Objektumszámlálás és -címkézés. Hough transzformáció.

Gépi tanulás alapjai, tanuló rendszerek felépítése, tanulás típusai. Példák tanuló rendszerekre, kNN, SVM. Felügyelet nélküli tanulás, Eigenfaces. Neurális hálózatok, tanulás alapvető nehézségei, overfitting, adatok minősége. Felügyelt tanulás lépései. Perceptron modell, döntésfüggvény.

Hibafüggvények, gradiens módszer, magasabb rendű módszerek. MLP és backpropagation. Konvolúciós hálók felépítése. Híres architektúrák, VGG, Inception, ResNet, DenseNet, EfficientNet. Neurális hálók vizualizációja, adversarial támadások. Deep Learning a gyakorlatban, Konvergencia biztosítása, overfitting elkerülése. Hiperparaméterek keresése, modelltömörítés, ritkítás és együttesek.

Detektáló architektúrák, R-CNN variánsok, YOLO. Fontos metrikák és adatbázisok, anchor-alapú és anchor nélküli megoldások. Mask- és egyéb R-CNN kiegészítések. Szegmentáló módszerek, U-Net, felskálázási technikák. ASPP és CRF kiegészítések.

Videók feldolgozása, fúziós szintek, 3D konvolúció. Visszacatolt architektúrák, RNN, BPTT, eltűnő gradiens. LSTM és GRU, puha figyelem megoldások. Ön-figyelem, és vision-transformer megoldások.

Projektív geometria alapjai, transzformáció típusok és tulajdonságai. Képkalkotás geometriája, pinhole kamera modell, külső és belső paraméterek. Kamerakalibrációs módszerek, 3D markeres és sakktáblás megoldás, önkalibráció. Sztereo elrendezés, epipoláris geometria, esszenciális, fundamentális mátrix. Sztereo kalibráció, rektifikáció.

Diszparitás fogalma és meghatározására való módszerek, BM, SGBM, BP. 3D rekonstrukció és invarianciái, gyakorlati esetek. SLAM és SfM, többnézetű rekonstrukció. 3D információk feldolgozása, tárolási, ábrázolási módszerek, voxel, pontfelhő, mesh. Szűrések, szomszédkeresés, kd-fa. Szegmentációs módszerek, RANSAC Lokális és globális jellemzők, regisztráció. Mélytanuló technikák.

Hardveres gyorsítás paradigmái, SIMD architektúrák. GPU hardver felépítése, SM. GPU programozási nyelvek, SL és GPGPU megoldások. CUDA nyelv alapjai: futási és memóriamodell, hardveres lehetőségek kihasználása.

Egyéb képfeldolgozó hardverek: TPU felépítése, szisztolikus tömb, architektúrák, VPU megoldások. Programozható hardverek alapjai, FPGA és szeletek felépítése, tervezés folyamata. Adatutak rendszere, szuperskalár és újrakonfigurálható csővezeték.

Látórendszerek laboratórium

Főspecializáció A2 labor

([BMEVIIIIMB05](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy a hallgatók a képfeldolgozás és számítógépes látás technikák gyakorlati módszereinek használatát készségszinten elsajátítsák. A tantárgy keretein belül összetett gépi látás feladatok megoldását egy több lépcsős csoportos együttműködésen keresztül lehetséges abszolválni, amelyhez tárgyi és gyakorlati segítséget biztosítunk. A technikák és a módszertan megismerésével a mérnöki gyakorlati gondolkodásmódot és a magas szintű képfeldolgozási perspektívát egyaránt el tudják sajátítani a tantárgy hallgatói. A mérések tematikáját a klasszikustól a modern képfeldolgozás eszköztárához illesztjük.

2. A tantárgy tematikája

Számítógépes látás alapjai

Python programozási nyelv alapjai, az OpenCV és a NumPy könyvtárak használata. Automatikus dokumentumfeldolgozás megvalósítása.

Képosztályozás

Közlekedési táblák osztályozása mélytanulás segítségével.

Szemantikus szegmentálás

Mélytanulás alapú szegmentáló rendszer megvalósítása közlekedési szituációkban.

Objektumdetektálás

Gyalogosok és járművek detektálása mély neurális hálókkal.

CUDA

Egyszerű képfeldolgozási algoritmusok hatékony megvalósítása GPU-n a CUDA környezet segítségével

Sávkövetés

Sávkövetés, pozícióbecslés és sávtartás megvalósítása egy mobilis jármű segítségével.

Akadálydetektálás

Automatikus akadálydetektálás és -kerülés megvalósítása mélységkép segítségével autonóm járművekben.

3D Rekonstrukció

Többnézetű 3D rekonstrukció elkészítése egy mélységképre alapuló egyidejű lokalizációs és térképkészítő (RGB-D SLAM) algoritmus segítségével.

Objektumkövetés

Egyszerű objektumkövetés megvalósítása RGB-D kamerakép segítségével.

Vizuális visszacsatolás vizsgálata

Hat szabadságfokú robotkar megfogójára rögzített kamera szem-kéz kalibrációja, a robotkar irányítása a kamera képe alapján.

Mesterséges intelligencia alapú irányítások

Főspecializáció B tantárgy

([BMEVIIIIMB06](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy a hallgatók ismereteket szerezzenek komplex rendszerek mesterséges intelligencia módszerekkel történő irányításának és identifikációjának legújabb, a gyakorlatban is használt módszereiről. A hallgatók megismerkednek az alábbi legelterjedtebb mesterséges intelligencia módszerek koncepciójával és elméleti hátterével:

- Fuzzy rendszerek
- Genetikus algoritmusok
- Neurális hálózatok
- Neuro-fuzzy rendszerek
- Rajintelligencia módszerek
- Megerősítéssel tanulás

A tantárgy megmutatja, hogy a fent említett módszerek hogyan alkalmazhatók elsősorban (de nem kizárólagosan) irányítástechnikai, rendszermodellezési és optimalizálási problémák megoldására korszerű, számítástudományt támogató programozási platformok (elsősorban MATLAB) alkalmazásával.

2. A tantárgy tematikája

Fuzzy rendszerek alapjai. A fuzzy rendszer fogalma, a fuzzy következtetés elméleti alapjai. Fuzzy elven működő szabályozások felépítése, szabálybázisa, algoritmusai. MacVicar-Whelan metaszabályok.

Genetikus algoritmusok felépítése. Genetikus operátorok: szelekció, rekombináció, mutáció, visszahelyettesítés, migráció. Szabályozótervezés genetikus algoritmussal.

Lineáris és nemlineáris paraméterbecslés. Batch és rekurzív eljárásokon alapuló paraméterbecslési eljárások lineáris és nemlineáris rendszermodellekre.

Klaszterezési eljárások. Grid particionálás, Szubtraktív klaszterezés, fuzzy c-mean klaszterezés elméleti alapjai, az algoritmusok felépítése.

Visszacsatolatlan sekély neurális hálózatok felépítése, tanulás hiba visszaterjesztéssel. Mély tanulási módszerek alapjai. Autokódoló, sztochasztikus neurális hálózatok, konvolúciós hálózatok szabályozási feladatokban. Visszacsatolt (RNN, LSTM) hálózatok dinamikus feladatok megoldására.

Adaptív Neuro-fuzzy rendszerekkel való identifikáció, a módszer felépítése, hangolási szabályok, ANFIS. Adaptív fuzzy irányítás. Névleges és felügyelő szabályozó tervezés, indirekt (modellre alapozott) és direkt (modellt nem használó) adaptív irányítás, stabilitásvizsgálat és paraméterhangolási szabályok.

A megerősítéssel tanulás alapjai. Ismert és ismeretlen/nagyméretű Markov Döntési folyamatok predikciója, irányítása: Dinamikus programozás, Monte Carlo, Temporal Difference alapú tanulások, Sarsa, Q-

learning. A mély megerősítéses tanulás alapjai: DQN, REINFORCE, Actor-Critic hálók a predikcióban és irányításban.

Rajintelligencia módszerek. Hangyakólónia algoritmusok felépítése és alkalmazásaik diszkrét optimalizációs problémák megoldására. Részecske-raj optimalizáció elméleti háttere és az algoritmus lépései. Rajintelligencia módszereken alapuló optimalizáció, rendszer identifikáció és szabályozótervezés.

V.5 Számítógép-alapú rendszerek főspecializáció (AUT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Számítógép-alapú rendszerek
(*Engineering of Computer-Based Systems*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék (AUT)
- 4. Oktató tanszékek:** AUT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Tevesz Gábor c. egyetemi tanár (AUT)

6. A specializáció célkitűzése:

A specializáció célja, hogy olyan elméleti és gyakorlati ismeretanyagot biztosítson a hallgatók számára, amely széles körben hasznosítható alapot képez a mikroszámítógépeken alapuló irányítórendszerek kutatásához és fejlesztéséhez. Az elsajátított kompetenciák közé tartoznak a nagyteljesítményű beágyazott rendszerek architektúráinak ismerete, programozható hardvereszközök (FPGA, SoC, hard és soft processzorok) és nagysebességű buszrendszerek alkalmazása, valamint a komplex automatizált rendszerek megkerülhetetlen részét képező szerelő- és mobil robotok, autonóm járművek architektúrái és irányítása. A beágyazott rendszerekben a hardver és a szoftver elválaszthatatlan egységet képez, ezért a specializáció nagy hangsúlyt fektet a szoftveres kompetenciák fejlesztésére is. Ide tartoznak a beágyazott operációs rendszerek programozási és rendszerszolgáltatásai, a multiprocesszoros rendszerek specialitásai, magas szintű osztálykönyvtárak és tervezési minták alkalmazása a szoftverfejlesztésben, automatikus tesztelés, verziókezelés és dokumentációs módszerek. Ezen kívül a hallgatók betekintést kapnak olyan speciális szoftverfejlesztési irányokba is, mint a grafikus processzorok programozása, illetve robotprogramozási nyelvek, robotikai szoftverrendszerek alkalmazása. A specializáció hidat alkot az ipari hardver és szoftver technológiák között, irányt mutat a korszerű irányítástechnikai kutatások felé.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Nagyteljesítményű mikrokontrollerek és interfészek	A1 tantárgy	BMEVIAUMA18
Nagytelj. mikrokontrollerek és interfészek laboratórium	A1 labor	BMEVIAUMA17
Robotirányítás rendszertechikája	A2 tantárgy	BMEVIAUMA16
Robotirányítás rendszertechikája laboratórium	A2 labor	BMEVIAUMB05
Beágyazott operációs rendszerek	B tantárgy	BMEVIAUMB06
Választott főspecializáció tantárgy	C tantárgy	ld. tantárgylista

Nagyteljesítményű mikrokontrollerek és interfészek

Főspecializáció A1 tantárgy

([BMEVIAUMA18](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy széleskörű ismereteket nyújtson a számítógépes rendszerek és a nagyteljesítményű mikrokontrollerek architektúráiról, ill. építőelemeiről. A hagyományos architektúrák elemzését követően bemutatja a teljesítőképesség növelése céljából megalkotott modern megoldásokat, amelyek a végrehajtás párhuzamosításának különféle lehetőségeit foglalják magukban. Speciális architektúrák (ARM, grafikus processzorok, GPGPU) jellemzőit is tárgyalja, s összeveti ezeket a szoft- és hardprocesszoros SoC eszközökkel. A tantárgy hallgatói megismerkednek a teljesítményt és megbízhatóságot növelő, s a fogyasztást csökkentő módszerekkel. Részletesen foglalkoznak az irányítórendszer részeit összekapcsoló nagysebességű buszrendszerek (USB, SATA, PCI-Express) jellemzőivel, működésével.

2. A tantárgy tematikája

Nagyteljesítményű mikrokontrollerek

Számítógép-architektúrák alapvető fogalmainak átisméltése: utasításkészlet-architektúra és mikroarchitektúra, CISC és RISC processzorok. Processzorok teljesítőképességének fogalma, Iron Law, Amdahl-törvény. A teljesítőképesség mérése és növelésének lehetőségei.

Csővezeték-szervezés (pipelining) alapjai. Közönséges és szuperskalár utasítás-csővezeték. Szuperskalár szervezés típusai: egységes szerkezetű, diverzifikált és dinamikus csővezetékek. Utasítások egymásra hatása: RAW, WAW, WAR és vezérlési függőségek és kiküszöbölésük, operandus-előreccatolás, regiszter átnevezés, elágazásbecslés.

VLIW processzorok felépítése és működése. Szálszintű párhuzamosság támogatása a mikroprocesszorokban, időosztásos és szimultán többszálúság. Fizikai és logikai processzormagok.

Nagyteljesítményű ARM processzorok. Az ARM utasításkészlet általános jellemzői, ARM ISA kiegészítések. Újdonságok az ARMv8 architektúrában, az AArch32 és AArch64 végrehajtási állapotok különbségei. ARM Cortex-A mikroarchitektúrák.

Többprocesszoros rendszerek, osztályozásuk feladat-hozzárendelési mód, processzorok közti kapcsolat, memóriamegosztottság, processzorok típusa és kezelése szerint. Gyorsítótárak multiprocesszoros környezetben: Többszintű gyorsítótárak, gyorsítótár-koherencia, a MESI koherencia-protokoll. Az Intel Nehalem mikroarchitektúra multiprocesszoros tulajdonságai, többmagos ARM processzorok, ARM big.LITTLE és ARM DynamIQ technológia.

Grafikus processzorok története, kialakulása, a CPU és GPU kapcsolata, 3D grafikai feladatok (raszterizálás, sugárkövetés) architekturális támogatása, grafikus csővezeték. GPU memóriák, jelentősebb GPU architektúrák. GPU-k nem grafikus alkalmazásai, univerzális shader-ek.

Az AMD TeraScale és az AMD GCN architektúra tulajdonságai. GPU-k programozása, vertex és pixel shader-ek, compute shader-ek, OpenCL, CUDA. Neurális hálók alkalmazásának architekturális támogatása.

Buszok és interfészek

A SATA interfész. A háttértárolók fontosabb jellemzői. Az ATA (IDE) és a SATA interfészek általános jellemzői. A SATA rétegszerkezete, a fizikai réteg (mechanikai és elektromos jellemzők), az adatkapcsolati réteg (keret küldése és fogadása, összekeverés, 8b/10b kódolás, primitívek), a transzport réteg (FIS összeállítás és szétbontás, kommunikáció az adatkapcsolati réteggel, a puffer/FIFO tartalom menedzselése). Native Command Queuing.

Universal Serial Bus (USB). Bevezetésének előzményei. Általános jellemzők: rendszerarchitektúra (busz topológia, eszközök és végpontok) rendszer konfiguráció, fel- és lecsatlakozás, adatfolyam típusok, sebesség, sáv szélesség allokáció, a hardver és szoftver réteges szerkezete, az USB helye egy PC-ben. A mechanikai interfész jellemzői: Csatlakozótípusok, kábelek. Elektromos jellemzők: adók és vevők, jelszintek, J és K állapotok, a HUB és az eszközök kapcsolata, sebesség identifikáció, meghajtó- és vevőáramkörök, kódolás. Logikai jellemzők: az adatátvitel elemei, a tranzakciók csomagjai (token, adat és kézfogásos csomagok), az IN, OUT, SETUP és speciális csomagok, a tranzakciók lefolyása, USB leírók és konfigurálás. Az USB 3.x és USB4 szabványok jellemzői.

A PCI buszcsalád. A PCI busz bevezetésének előzményei, a család tagjai. A PCI busz mechanikai, elektromos és logikai jellemzői, PCI busz jelek, parancsok és tranzakciók. A rendszer konfigurálása, arbitráció, megszakítások. A PCI-X busz.

A PCI Express busz: a soros technológia előretörése, rendszerarchitektúra, réteges felépítés. A fizikai réteg elemei: elektromos és logikai alrendszer, pufferek, multiplexerek, bájt szétszedő és összerakó modulok, összekeverők és visszaállítók, 8b/10b kódoló-dekódoló, órajel kinyerés, szóhatár felismerés, sávelcsúzás kompenzálás, vevő detektálás, karakter egymásrahatás kompenzálása. Csomag alapú réteges protokoll (tranzakciós és adatkapcsolati réteg csomagok). Korszerű soros buszok kapcsolódása. A DisplayPort interfész, a HDMI interfész, a Thunderbolt interfész. Nagyteljesítményű soros interfészek közös tulajdonságai és kapcsolódása.

System-on-Chip rendszerek

Egylapkás rendszerek általános tulajdonságai. Történeti áttekintés, System-on-Chip (SoC), Network-on-Chip (NoC), System-in-Package (SiP), System-on-Module (SoM) rendszerek. Intellectual

property (IP): soft, hard, firm és analóg IP blokkok. RTL és HDL leírás. A Verilog nyelv áttekintése. FPGA alapú SoC rendszerek. Xilinx 7-es FPGA család bemutatása. Lapkán belüli kommunikációs buszok. Buszrendszerek általános felépítése, ARM AMBA buszcsalád bemutatása: APB, AHB és AXI buszok, AXI4-Stream és AXI4-Lite megoldások.

Nagyteljesítményű mikrokontrollerek és interfészek laboratórium

Főspecializáció A1 labor

([BMEVIAUMA17](#), szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

Az elvégzendő mérések a Nagyteljesítményű mikrokontrollerek és interfészek tantárgyhoz kapcsolódnak, kiegészítik és a gyakorlatban is bemutatják a megelőző félévben előadásokon és gyakorlatokon hallottakat. A mérések az előzménytárgy főbb tématerületeit lefedve gyakorlatias, naprakész tudást biztosítanak. A hallgatók a mérések során gyakorlatban is megismerkednek a grafikus processzorok (GPU) programozásával, megvizsgálják a népszerű USB interfész használatát. Ezenkívül megvizsgálják a párhuzamos végrehajtás különböző lehetőségeit egy heterogén SoC áramkör (Xilinx Zynq) segítségével. További mérések során a hallgatók betekintést nyerhetnek a nagyobb teljesítményű, ARM architektúrájú mikrovezérlőkre történő szoftverfejlesztésbe FreeRTOS és Linux operációs rendszer alkalmazásával.

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy első mérése során a processzor mikroarchitektúrák alapvető funkcionális elemeinek működését vizsgálják meg a hallgatók gyakorlati példákon keresztül. A következő két mérés a grafikus processzorok (GPU) programozásával foglalkozik. A harmadik és negyedik mérésen a hallgatók megismerkednek az USB interfész használatával mind a host, mind az eszköz oldaláról. A hatodik és hetedik mérés a párhuzamos végrehajtás különböző lehetőségeit vizsgálja meg képfeldolgozási feladatok példáin keresztül, egy Xilinx Zynq PSoC segítségével összehasonlítva az FPGA-ban megvalósított hardveres, valamint a SIMD utasításokkal gyorsított processzor alapú feldolgozás tulajdonságait. A nyolcadik és kilencedik mérésen a beágyazott rendszerekre történő szoftverfejlesztés objektumorientált megközelítésének, illetve a beágyazott operációs rendszerek (esetünkben FreeRTOS) alkalmazásának előnyeit mutatjuk be ARM architektúrájú mikrovezérlőkön. Az utolsó mérésen a hallgatók a Linux alapú szoftverfejlesztést ismerhetik meg többmagos processzorok esetén.

A labormérések témái a következők:

- Processzorok funkcionális egységeinek vizsgálata
- Grafikus processzorok általános célú programozása 1.
- Grafikus processzorok általános célú programozása 2.
- USB kommunikáció megvalósítása és vizsgálata 1.
- USB kommunikáció megvalósítása és vizsgálata 2.
- Párhuzamosan végrehajtható algoritmusok megvalósítása Zybo platformon 1.
- Párhuzamosan végrehajtható algoritmusok megvalósítása Zybo platformon 2.
- Objektumorientált alkalmazásfejlesztés beágyazott környezetben
- FreeRTOS operációs rendszer alkalmazása ARM mikrovezérlőn
- Alkalmazásfejlesztés multiprocesszoros környezetben

Robotirányítás rendszertechnikája

Főspecializáció A2 tantárgy

([BMEVIAUMA16](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy a hallgatók ismereteket szerezzenek a komplex automatizált rendszerek egyik nagy családjának, a robotirányítási rendszerek területén használatos hardver és szoftver eszközökről,

elsajátítsák a használatos architektúrák és irányítási algoritmusok főbb jellegzetességeit. Megismerkednek a robotok mozgását leíró modellekkel, irányítási architektúráikkal, a robotprogramozási nyelvek szerkezetével és tulajdonságaival. A tantárgy kétféle hatszabadságfokú, általános célú szerelőrobot példáján keresztül szemlélteti a tanultakat. Áttekinti a robotikában alkalmazott digitális szabályozások elméletét, algoritmusait, realizálási kérdéseit. Bevezeti a hallgatókat napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő robotikai területébe, a mobil robotok és autonóm járművek világába, bemutatva szenzoraikat, tájékozódásuk és irányításuk alapelveit, algoritmusait.

2. A tantárgy tematikája

Robotirányítási alapismeretek

A robot, mint komplex irányítandó folyamat. Robotkarok típusai. Mobil robotok osztályozása.

Robotmanipulátorok geometriája

Direkt és inverz geometriai feladat. Lineáris transzformációk. Koordináta-transzformáció. Az orientáció jellemzése Euler-szögekkel és kvaterniókkal. Merev testek relatív helyzetének jellemzése homogén koordinátákkal. Merev, nyílt láncú elágazás nélküli robotkar leírása, Denavit-Hartenberg-alak.

Robotmanipulátorok kinematikája, dinamikája és irányítási módszerei

Robotkarok differenciális mozgása, a robot Jacobi-mátrixa. Direkt és inverz kinematikai feladat. Statikus erők és nyomatékok transzformálása. Robotkarok dinamikai modelljének rövid áttekintése. Robotirányítási módszerek összefoglalása: Decentralizált szervóhajtások, kiszámított nyomaték (nemlineáris szétcsatolás) módszere, hibrid pozíció- és erőirányítás.

Robotmanipulátorok belső érzékelői

Csuklópozíció és csuklósebesség-érzékelés. Inkrementális adók, abszolút szöghelyzet adók, rezolverek. Az érzékelők illesztése mikrokontrollerekhez, pozíció- és sebességszámítás.

Robotmanipulátorok beavatkozási és szabályozása 1.

Szabályozók és programozásuk. Alapfogalmak, a szabályozók típusai és kiválasztása. Nemlinearitások: kotyogás, érzéketlenségi sáv, telítődés. Az elintegrálódás és kiküszöbölése. Az egyenáramú szervomotor szabályozási modellje.

Robotmanipulátorok beavatkozási és szabályozása 2.

Állandómágneses szinkronmotorok (PMSM) felépítése és modellezése. A mezőorientált szabályozás alapjai. Digitális szabályozó algoritmusok implementációja.

Robotmanipulátorok architektúrája és programozása 1.

A KUKA KR Agilus robotcsalád architektúrája, felépítése, tulajdonságai, programozásának alapjai (KRL nyelvi elemek).

Robotmanipulátorok architektúrája és programozása 2.

A Mitsubishi MELFA ipari robotcsalád architektúrája és programozása. A MELFA robot szimulátora.

Mozgástervezés 1.

Mozgástervezési módszerek alapjai. Diszkrét mozgástervezés: szélességi és mélységi keresés, Dijkstra-algoritmus, A* algoritmus.

Mozgástervezés 2.

A konfigurációs tér. Ütközésmentes globális pályatervezés folytonos térben: láthatósági gráf, celladekompozíció, PRM, RRT, RRT* módszerek.

Mobil robotok lokalizációja 1.

Abszolút és relatív helymeghatározási módszerek. Odometria: inkrementális adók használata, kalibráció. Inerciális szenzorok, lidar szenzorok működési elve, alkalmazásuk a helymeghatározásban.

Mobil robotok lokalizációja 2.

Globális műholdas navigációs rendszerek (GNSS): Működő rendszerek és főbb jellemzőik, a helymeghatározás elve. Pontosság és annak növelési lehetőségei. GPS, DGPS, RTK GPS.

Mobil robotok akadályelkerülése

Virtuális erőter (VFF), vektormező hisztogram (VFH) és dinamikus ablak (DWA) módszerek. Mobil robotok hierarchikus navigációs rendszerének felépítése.

Robotirányítás rendszertechnikája laboratórium

Főspecializáció A2 labor

([BMEVIAUMB05](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

Az elvégzendő mérések a Robotirányítás rendszertechnikája tantárgyhoz kapcsolódnak, kiegészítik és a gyakorlatban is bemutatják a megelőző félévben előadásokon és gyakorlatokon hallottakat. A mérések az előzménytárgy főbb tématerületeit lefedve gyakorlatias, naprakész tudást biztosítanak. A mérések során a hallgatók többféle ipari szerelőrobottal is dolgoznak, és alapvető robotmozgásokat valósítanak meg. Megismerkednek az ipari folyamatszabályozások alapjaival egy PLC-vel irányított desztillációs folyamatmodell segítségével, valamint a kerekeken guruló mobil robotok szabályozásával. További mérések keretében a hallgatók betekintést nyerhetnek a mobil robotok lokalizációjának, környezetérzékelésének és akadályelkerülésének módszereibe.

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy első három mérése az ipari robotkarok programozásával foglalkozik egy KUKA és egy Mitsubishi manipulátor esetén, és alapvető robotmozgásokat (pick and place, palettázás stb.) valósítanak meg. Az ezt követő három mérés különböző digitális szabályozási feladatokat vizsgál, beleértve a PLC-vel történő ipari folyamatirányítást, valamint mobil robotokhoz kapcsolódó mozgási feladatokat longitudinális (pályamenti sebesség) és laterális (pályakövető) szabályozás esetén. A hetedik mérés egy robotmodell felépítésének és programozásának lépéseit mutatja be egy differenciális mobil robot példáján keresztül Robot Operating System (ROS) keretrendszerben. Az utolsó három mérés során a hallgatók betekintést nyerhetnek a mobil robotok navigációs feladatainak megvalósításába, ami magában foglalja a dead-reckoning alapú lokalizációt, a LIDAR alapú környezetérzékelést és a lokális (reaktív) akadályelkerülést.

A labormérések témái a következők:

- Ipari szerelőrobot programozása 1. – KUKA KR 10 R1100-2
- Ipari szerelőrobot programozása 2. – KUKA KR 10 R1100-2
- Ipari szerelőrobot programozása 3. – Mitsubishi MELFA RV-3SDB
- Digitális szabályozó algoritmusok 1. – Ipari folyamatszabályozás
- Digitális szabályozó algoritmusok 2. – Sebességszabályozás
- Digitális szabályozó algoritmusok 3. – Pályakövetés
- Mobil robotok programozása ROS keretrendszerben
- Mobil robotok navigációja 1. – A dead-reckoning elv
- Mobil robotok navigációja 2. – LIDAR alapú környezetérzékelés
- Mobil robotok navigációja 3. – Lokális akadályelkerülés

Beágyazott operációs rendszerek

Főspecializáció B tantárgy

([BMEVIAUMB06](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célkitűzése bemutatni azokat az operációs rendszereket, ill. a hozzájuk kapcsolódó eszközöket, amelyek a korszerű beágyazott rendszerekben megvalósítandó komplex szoftverrendszerek hatékony végrehajtását lehetővé teszik. A tantárgy egyrészt a kisebb – mikrokontroller kategóriájú – eszközökön alkalmazható operációs rendszereket mutatja be, melyek segítségével egyszerűbb szenzorok, IoT eszközök szoftverrendszerei megvalósíthatók. Kitér ezek legfőbb tulajdonságaira, szolgáltatásaira, alkalmazási lehetőségeikre. Másrészt a kifejezetten komplex, akár többprocesszoros rendszerekben alkalmazható Linux operációs rendszert részletesen ismerteti. A Linux operációs rendszerrel kapcsolatban bemutatja a rendszer alapvető felépítését, működését, a hatékony driver és alkalmazásfejlesztés sajátosságait. A megszerzett ismeretek használatával a hallgatók képesek lesznek komplex rendszerek (pl. mobil robotok, autonóm járművek stb.) különböző komponenseinek Linux alapon történő megvalósítására, ill. a rendszerhez illesztésére.

2. A tantárgy tematikája

Beágyazott szoftver architektúrák. Operációs rendszerek alapvető szolgáltatásai, a beágyazott rendszerekben történő alkalmazásuk sajátosságai.

Operációs rendszerek elterjedtsége, kiválasztási szempontjaik. Operációs rendszerek alkalmazása többprocesszoros rendszerekben. A uCos-II, uCos-III operációs rendszerek felépítése és szolgáltatásai. Ütemező algoritmus, taszkok nyilvántartása, elérhető szolgáltatások, taszkok közötti kommunikáció

A FreeRTOS operációs rendszer felépítése és szolgáltatásai. Ütemező algoritmus, taszkok nyilvántartása, elérhető szolgáltatások, taszkok közötti kommunikáció. Heap kezelés, stack overflow detektálás és kezelése.

A GNU/Linux operációs rendszer általános jellemzőinek bemutatása. Megismerkedés a Kernel legfőbb jellemzőivel úgymint ütemezés, memóriakezelés, taszkok nyilvántartása. Az operációs rendszer felépítésének elemzése.

Az alapvető Unix parancsok áttekintése. A BASH shell parancssori és programozási funkcióknak részletes tárgyalása. A klasszikus jogosultság kezelés. Egyszerű reguláris kifejezések.

A minimális beágyazott Linux rendszert felépítő legfontosabb komponensek bemutatása. Boot manager, Linux Kernel, glibc, busybox, konfigurálásának és fordításának lépései. Állományrendszerek típusai és a kezelésük.

Automatizált beágyazott Linux rendszert generáló eszközök áttekintése úgy mint Buildroot, OpenEmbedded, Yocto Project. A Yocto Project rendszer felépítésének bemutatása.

A Yocto Project rendszer generálási folyamatába saját komponensek, kiegészítések, javítások beillesztése. Az SDK generálása. Az SDK generálás kiegészítése az egyéni komponensekkel. Szimulációs rendszer létrehozása fejlesztéshez, teszteléshez.

Ismerkedés a fejlesztő eszközökkel: fordító (gcc), fejlesztői könyvtárak, Makefile szintaktikája, autotools.

Az állományabsztrakció bemutatása, és az állománykezelő rendszerhívások áttekintése, beleértve az inode kezelő függvényeket, I/O multiplexálást, az ioctl rendszerhívást is. Socket kezelés.

A Linux kernel fejlesztés alapjai. Kernel modulok írása, fordítása, használata. Paraméterátadás a modul számára. Karakteres eszközezőrlő felépítésének rövid bemutatása. Megszakítás kezelés.

Linux eszközezőrlő modell bemutatása, GPIO, I2C, SPI buszokra kapcsolódó eszközök Kernel-space drivereinek felépítése, megvalósítása. Eszköz erőforrás menedzsment.

Device Tree bemutatása. Device Tree támogatás implementálása az eszközmeghajtókban. Kernel szálak.

Megszakítás kezelés kernel szálakkal. Konkurencia kezelés a kernelben: atomi műveletek, spinlock, semaphore, mutex.

V.6 Vezetéknélküli kommunikációs rendszerek főspecializáció (HVT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Vezetéknélküli kommunikációs rendszerek
(*Wireless Communication Systems*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék (HVT)
- 4. Oktató tanszékek:** HVT, TMIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Nagy Lajos egyetemi docens (HVT)

6. A specializáció célkitűzése:

A vezeték nélküli kommunikáció napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő területe. Napjaink fő kutatási iránya a földi és műholdas mobil kommunikációs és műsorszóró rendszerek, valamint az Internet integrációja. A cellás mobil rendszerek mellett a kooperatív és önszervező hálózatok (SON) már jelenleg is, de a jövőben még inkább kiterjesztik az igénybe vehető szolgáltatásokat a beszédkommunikáció mellett a nagysebességű adatkommunikáció irányába nemcsak video/audio átvitelre, de mobil internet és eszközök közötti kommunikáció (IoT) biztosítására is.

A szélessávú kommunikáció megvalósítása megköveteli a rendelkezésre álló frekvencia spektrum minél hatékonyabb kihasználását az antennák, hullámterjedési ismeretek, mikrohullámú áramköri továbbá kognitív, kooperatív és szoftver rádiós (SDR) megoldások által. A vezetéknélküli helyi hálózatok jelentős számú rádiós megoldása ugyancsak a mobil számítástechnika nélkülözhetetlen tényezőjévé vált. Ezen növekvő komplexitású fix és mobil vezetéknélküli rendszerek fejlesztése, kiépítése, optimális tervezése és üzemeltetése azonban magasan képzett szakembereket igényel. Az alkalmazásfejlesztés ezen hálózatokra ugyancsak jelentős számú villamosmérnököt és informatikust foglalkoztat, akik hatékony munkája a rendszer fizikai rétegének ismerete nélkül nem képzelhető el.

Hazánkban az infokommunikációs rendszereknek jelentős kutatási és fejlesztési háttere van, számos olyan hazai és multinacionális szolgáltatónak és gyártónak van K+F részlege, akik a globális piacra terveznek termékeket. Ennek köszönhetően az Vezetéknélküli kommunikációs rendszerek specializáción végzett mérnököknek számos elhelyezkedési lehetőség kínálkozik, nemcsak ezen szolgáltatóknál és gyártóknál, de az értéknövelt szolgáltatásokat előállító kis- és középvállalkozásoknál egyaránt.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Mikrohullámú áramkörök	A1 tantárgy	BMEVIHVMA17
Mikrohullámú áramkörök laboratórium	A1 labor	BMEVIHVMA16
Antennák és hullámterjedés	A2 tantárgy	BMEVIHVMA15
Antennák és hullámterjedés laboratórium	A2 labor	BMEVIHVMB08
Szélessávú kommunikációs rendszerek és alk.	B tantárgy	BMEVITMMB08
Választott főspecializáció tantárgy	C tantárgy	ld. tantárgylista

Mikrohullámú áramkörök

Főspecializáció A1 tantárgy

([BMEVIHVMA17](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a korszerű vezeték nélküli hírközlést megalapozó nagyfrekvenciás és mikrohullámú áramkörök működésének megismerése, tervezési módszereik, számítógépes szimulációjuk, méréstechnikájuk elsajátítása. A tantárgy keretében a hallgatók megismerkednek az elosztott paraméterű hálózatok sajátágaival, áttekintik a mikrohullámú technika klasszikus építőelemeit, és elsajátítják a mikrohullámú gyakorlatban fontos áramköranalízis/áramkörszintézis módszereket. A tantárgy épít az iparban elterjedt korszerű számítógépes mikrohullámú tervezőprogramok használatára, valamint

bevezetést ad a digitális jelfeldolgozás egyes speciális, a digitális rádiós implementációkban kiterjedten alkalmazott területeihez.

2. A tantárgy tematikája

Reflexió, átvitel, zaj, szórás mátrix, passzív N-kapu jellemzése.

Hullámvezető struktúrák, mikrosztrip és planár tápvonalak, impedanciaillesztés.

Alapvető passzív mikrohullámú áramkörök: szűrők, iránycsatolók, hibridek.

Mikrohullámú aktív áramkörök, mikrohullámú erősítők: kisjelű, nagyjelű, erősítőosztályok, párhuzamos működés.

Nagyfrekvenciás és mikrohullámú oszcillátorok: szabadonfutó RC, LC, tápvonalas; kristály; VCO.

Aktív és passzív keverők, detektorok, frekvenciasokszorozók, PLL, DDS.

PIN-diódás kapcsolók, szintszabályozók, analóg és digitális fázistolók.

Analóg modulátorok és demodulátorok.

Adás irányú adaptív antenna rendszerek.

Vétel irányú adaptív antenna rendszerek.

Digitális rádiók technológiája (mintavételezés, decimálás, kiterjesztett spektrum).

Digitális KF (digitális szűrés, multirate jelfeldolgozás, digitális modulátorok, demodulátorok).

Konkrét mikrohullámú alrendszerek és rendszerek bemutatása: passzív radar.

Konkrét mikrohullámú alrendszerek és rendszerek bemutatása: műholdas mikro-link.

Mikrohullámú áramkörök laboratórium

Főspecializáció A1 labor

([BMEVIHVMA16](#), szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a „Nagyfrekvenciás áramkörök” tantárgy gyakorlati / laboratóriumi mérési irányból történő megközelítése előzetesen már megvalósított eszközök műszeres mérésén keresztül, így kiegészítve a tantárgyat, illetve alátámasztva az abban tanultakat.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő méréseket tartalmazza:

- Koaxiális tápvonal, mikrosztrip tápvonal, impedancia illesztés – Smith diagram.
- Teljesítmény osztó hibrid, fázistoló hibrid.
- Mikrosztrip iránycsatoló, SWR mérőhíd.
- Mikrosztrip szűrő, koncentrált paraméterű szűrő.
- Nagyfrekvenciás kisjelű erősítő mérés.
- Nagyfrekvenciás nagyjelű erősítő mérés.
- Nagyfrekvenciás rezgékeltők: PLL/DDS.
- Passzív és aktív nagyfrekvenciás keverők.
- Digitális KF: analóg AM/FM vevő.
- Digitális KF: digitális modem - GMSK.

Antennák és hullámterjedés

Főspecializáció A2 tantárgy

([BMEVIHVMA15](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A távközlő (mobil, műholdas), távérzékelő rendszerek mind szélesebb köre alkalmazza a vezeték nélküli összeköttetéseket. A rendszerek kutatása, fejlesztése és üzemeltetése egyaránt igényli az antennák és hullámterjedés ismeretét. A tantárgy fő feladata a különféle rádiórendszerek tervezéséhez és létrehozásához szükséges ismeretek megadása a hullámterjedés és antennák témakörben az

alkalmazáshoz, rádióhálózat tervezéshez szükséges mélységben. Az anyag tartalmazza a szükséges frekvencia gazdálkodási ismereteket és szemléletmódjában az EMC alapelvei érvényesülnek. A tantárgy áttekintést ad az antennák és a legfontosabb alaptípus antennák működési elveiről, továbbá elsődleges célként tűzi ki rádióösszeköttetések méretezési és antennaválasztási kérdéseinek megtárgyalását. A tantárgy további célja, hogy megismertesse a hallgatókkal az antennafejlesztés legújabb irányait és eredményeit.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés. A rádiórendszerek alapjai, a rádióösszeköttetések legfontosabb rendszerlemei. A vezetett és kisugárzott hullámok leírása, típusai, a polarizáció leírása, speciális polarizációs típusok.

Az antennák jellemzői. Alapfogalmak, irány-karakterisztika, nyereség, irányhatás, hatásos felület, hatásos hossz, polarizációs jellemzők, antenna zajhőmérséklet. A dualitás elve

A huzalantennák típusai. Dipól és monopól árameloszlása, iránykarakterisztikája, sugárzási ellenállása, bemeneti impedanciája, hatásos hossza, kölcsönös impedanciája. Reflektor típusú antennák, sík- és sarokreflektor.

Haladóhullámú antennák. A haladóhullámú vezeték árameloszlása, iránykarakterisztikája.

Apertura antennák. Az apertura tere, paraboloid antennák, tölcsérantennák, lencseantennák elvi működése.

Az antennarendszerek. Antennarendszerek elmélete, adaptív antennák, MIMO.

Antennarendszerek megvalósítása. Dipólfüggönyök és dipólrácsok. Yagi antennák. Mikro-szalagvonalas antennarendszerek.

Szélessávú antennák. Vastag lineáris antennák, kúpos antennák, log-spirál antennák, log-periodikus antennák. Az antennák miniaturizálásának korlátai.

Hullámterjedési módok. Szabadtéri rádióhullám terjedés, földreflexió, rétegezett közeg reflexiója és transzmissziója, reflektált hullám, felületi hullám, diffrakció, refrakció, troposzférikus szórás. Ionoszférikus terjedés. Kétutas terjedés, sík föld felett homogén levegőben. Földi atmoszféra refrakciós leírása, rádió meteorológia. A hullámterjedés gyakorlati terjedési modelljei. Frekvenciagazdálkodás, spektrumkihasználás. Rádióösszeköttetések méretezése.

Összegzés, kitekintés.

Antennák és hullámterjedés laboratórium

Főspecializáció A2 labor

([BMEVIHVMB08](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy fő célkitűzése az „Antennák és hullámterjedés” tantárgyban tanult ismeretek gyakorlati elsajátítása. A hallgatók végigkövetik a rádiórendszerek építőelemeinek egyedi, és a teljes rádióösszeköttetés mérését. A gyakorlatok során megismerkednek a feladat számítógépes modellezésével, valamint a mérés gyakorlati végrehajtással, a mérések hardver eszközeinek megválasztásától a mérési eredmények értékeléséig.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő méréseket tartalmazza:

- Bevezető, tájékoztató, a mikrohullámú laborműszerek kezelése, az antenna mérőszoba bemutatása
- Mikrohullámú passzív építőelemek mérése, szűrők, iránycsatolók, lezárók, teljesítményszótlók
- Antennatervezés 4nec2 alkalmazásával (dipól, reflektorfalas dipól)
- A megtervezett antenna mérése (WiFi sávú antenna)
- Mobil hírközlésben alkalmazott antennák tulajdonságainak mérése
- Rádióhullámok terjedése épületen belüli hírközlésnél
- Vezetett rádiófrekvenciás zavarkibocsátás és immunitás vizsgálata mintaberendezéseken
- Sugárzott rádiófrekvenciás zavarkibocsátás és immunitás vizsgálata mintaberendezéseken

- Koaxiális kábelek vizsgálata FMCW radar elven megvalósított mérőeszközzel – diszkontinuitások okozta reflexiók a távolság függvényében és az ebből meghatározott Sparaméterek
- Közeltéri antennamérés, közeltéri térerősség, Közeltér-távoltér transzformáció az antenna iránykarakterisztika meghatározására

Szélessávú kommunikációs rendszerek és alkalmazások

Főspecializáció B tantárgy

([BMEVITMMB08](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, TMIT-HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A Hírközlésemélet tantárgyban előadott elméleti alapokra építve a szélessávú vezeték nélküli kommunikációs rendszerek alapvető eljárásainak, valamint alkalmazásainak ismertetése az alábbi témakörök szerint.

A félév első fele az átviteli közegek tulajdonságait ismerteti, áttekintve a földi és műholdas mikrohullámú közeg, a mobil, valamint a fix telepítésű és műsorszóró (földfelszíni és műholdas) rádiócsatorna tulajdonságait (pl. WSSUS), kitérve a pont-pont, pont-többpont (pl.: MIMO) csatornákra is. Ezután a rádiócsatornáknál alkalmazott szélessávú rendszereket tárgyalja, kitérve a többvívős modulációs eljárások - OFDM, FBMC, kiterjesztett spektrumú rendszerekkel (konstans és változó sebességű szolgáltatások esetére is), a többszörös hozzáférésű rendszerekkel (CDMA, FDMA, TDMA, SDMA), többfelhasználós vételi eljárásokra is. Ugyancsak szemléltetjük ezen rendszerek alapsávi rendszerábrázolását, modellezési és szimulációs eljárásait, adott sztochasztikus jellemzőkkel rendelkező valós és komplex jelek előállítását, a rendszerjellemzők szimulációs becslését.

A félév második felében áttekintjük a fontosabb szélessávú kommunikációs rendszereket, megvizsgáljuk átviteli tulajdonságaikat, a közeghozzáférési mechanizmusokat, valamint az erőforrás menedzselment lehetőségeket. Kiemelten tárgyaljuk a 802.11-alapú vezeték nélküli hálózatokat és az 5. generációs mobilhálózatokat. Az előadások során támaszkodunk a félév első felében megszerzett elméleti tudásra. Ezekon felül áttekintjük a kommunikációs hálózatok és a rájuk épülő alkalmazások (szolgáltatások) tervezési, megvalósítás és üzemeltetési szempontrendszerét.

A félév végére a hallgatók birtokába jutnak azon ismereteknek, melyekkel képesek lesznek a jövő szélessávú kommunikációs rendszereinek alapvető – fizikai és felsőbb rétegbeli – tulajdonságainak tervezésére, modellezésére és vizsgálatára. Ezekon felül megismerkednek a szélessávú kommunikációs hálózatokra épülő szolgáltatások átviteli követelményeivel.

2. A tantárgy tematikája

Rádióátviteli közegek tulajdonságai: a földi és műholdas mikrohullámú közeg, a mobil, valamint a fix telepítésű rádiócsatorna tulajdonságai. Az ilyen idővariáns lineáris rendszerek analitikus vizsgálata.

Szorzó típusú (multiplikatív) fédinges rádiócsatorna statisztikai leírása közvetlen rálátású (LOS, Rice féding) és e nélküli (NLOS, Rayleigh féding) esetben. Doppler kiterjedés, Jakes spektrum.

Többutas terjedésű rádiócsatornák, mint idővariáns rendszerek leírása Bello-féle sztochasztikus rendszerfüggvényekkel. A Bello függvények korrelációs vizsgálata, időben gyengén stacionárius, korrelálatlanul szóró csatorna (WSSUS) jellemzése; koherencia idő/sávszélesség, Doppler/késleltetés kiterjedés. Szélessávú rendszerek definiálása.

WSSUS csatorna modellezése. Diverziti eljárások a féding ellen: idő/frekvencia/tér diverziti; SISO, SIMO, MISO, MIMO rendszerek. RAKE vevőkészülék.

Kiterjesztett spektrumú és többszörös hozzáférésű rendszerek: SS (kódok, közvetlen kódsorozatú rendszerek, lassú, gyors frekvenciaugratásos rendszerek); többszörös hozzáférésű rendszerek (CDMA, FDMA, TDMA, SDMA), többfelhasználós vételi eljárások.

Többcsatornás, többvívős rendszerek: OFDM (ortogonalitás, csatornakorrekció OFDM-rendszerekben, védelmi idő stb.), FBMC.

Pont-pont, pont-többpont, multi-link rendszerek (SISO, SIMO, MISO, MIMO) csatornákra, egyfelhasználós és masszív MIMO rendszerek.

Vezeték nélküli technológiák strukturált áttekintése: osztályozás, összehasonlítás, fizikai rétegek jellemzői, korlátok.

802.11 helyi hálózatok: szabványok, átviteli tulajdonságok, generációk összehasonlítása, közeghozzáférés, erőforrás menedzsment.

802.11 helyi hálózatok: vállalati WiFi, hozzáférés-szabályozás, központosított infrastruktúra, szolgáltatásminőségi garanciák, roaming.

5. generációs mobilhálózatok: 4G, 5G, generációk és fejlődésük, architektúra, GTP-C/U, S1AP és S1U, mobilhálózati interfészek és szerepük.

5. generációs mobilhálózatok: 5G+, LPWA, 4G/5G privát hálózatok, felhasználási esetek, eMBB, URLLC, MMTC.

Alkalmazás-specifikus technológiák: DECT, LoRa, SIGFOX, átviteli jellemzők, közeghozzáférés, specifikus alkalmazási területek, integrálhatóság.

Szolgáltatások és kiszolgáló architektúrák: szolgáltatások tervezési szempontjai, követelményspecifikáció, architekturális tervezés, integráció, szolgáltatásminőség, teljesítménymutatók, benchmarking.

V.7 Villamosenergia-rendszerek főspezializáció (VET)

- 1. A specializáció megnevezése:** Villamosenergia-rendszerek
(Power Systems)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Villamos Energetika Tanszék (VET)
- 4. Oktató tanszékek:** VET
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Raisz Dávid egyetemi docens (VET)

6. A specializáció célkitűzése:

A specializáció azon hallgatók érdeklődésére épít, akik az intelligens elosztó és átviteli hálózatok, a megújuló energiatermelő rendszerek integrációjával, a villamosenergia piacok működésével, a műszaki, szabályozási és döntéstámogató rendszerekkel kapcsolatos ismereteket kívánják megszerezni. A specializáció céljai az alábbiak: A villamosenergia-rendszerek tervezésével, üzemeltetésével, védelmi és irányítási rendszereivel, a hagyományos és megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos technológiák és vizsgálati módszerek ismeretanyagának elsajátítása. A villamosenergia-technológia trendek megértéséhez nélkülözhetetlen rendszerszemlélet elsajátítása. Betekintés a smart hálózatok, az okos mérés, az elektromobilitás és az elosztott energiátárolás aktuális kérdéseibe. Az energetikai technológiákhoz kapcsolódó fizikai folyamatok elméleti háttérének megértése, az ismeretek alkalmazása a számítógéppel támogatott tervezésben, valamint a hatékony és biztonságos üzemeltetésben.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Villamosenergia-rendszer üzeme és irányítása	A1 tantárgy	BMEVIVEMA15
Villamosenergia-rendszerek laboratórium 1	A1 labor	BMEVIVEMA16
Védelmi rendszerek és mérés-technika	A2 tantárgy	BMEVIVEMA17
Villamosenergia-rendszerek laboratórium 2	A2 labor	BMEVIVEMB03
Hálózati tranziensek	B tantárgy	BMEVIVEMB04
Választott főspezializáció tantárgy	C tantárgy	ld. tantárgylista

Villamosenergia-rendszer üzeme és irányítása

Főspezializáció A1 tantárgy

([BMEVIVEMA15](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A villamosenergia-rendszer kialakításának, működésének és irányításának megértéséhez szükséges rendszerszemlélet elsajátítása, a kapcsolódó fizikai jelenségek és folyamatok elméleti háttérének megértése, a folyamatok befolyásolására alkalmas eszközök megismerése, az ismeretek alkalmazása a számítógéppel támogatott tervezésben, irányításban és a biztonságos üzemeltetésben.

2. A tantárgy tematikája

Az európai villamosenergia-rendszer, villamosenergia-rendszerek együttműködése. Európai rendszerek, szervezetek. Az európai rendszerek és a magyar VER fő jellemzői. Átviteli és elosztó hálózat Magyarország, határkereszteszű távvezetékek.

Villamosenergia-rendszer üzemi követelményei. Villamosenergia-szolgáltatás. Folyamatok, működések. Minőség, minőségbiztosítás. Rendszerbiztonság, stabilitás (n-1 elv, szinkronstabilitás, frekvenciastabilitás, feszültség-stabilitás).

Rendszerállapotok, átmenetek. Üzemállapot kategóriák, átmenetek. (normál, veszélyeztetett, veszélyes, üzemszünet, visszatérítés) Az üzemzavarok kiterjedésének megakadályozása.

- Szinkrongenerátor villamos üzeme állandósult állapotban. A szinkrongenerátor kialakítása. Jelleggörbék, paraméterek, modellek. A generátor kapocsteljesítménye. Terhelési szög. Generátormodell d-q komponensekkel. Teljesítmények d-q komponensekkel. Az Up-Xd modell. Szinkronozás, lekapcsolás a hálózatról. Kompenzátor üzem. Generátoros üzem. A generátor tartós terhelhetősége (határértékek állandósult üzemben, P-Q terhelhetőségi diagram). A generátor hálózati üzeme (szigetüzem, hálózati szinkron üzem). Kapocsfeszültség-meddőteljesítmény üzemállapotok (Ug-Qg szabályozása, A gerjesztésszabályozás hatása).
- Turbina-generátor egység elektromechanikai lengései. Generátor általános d-q modell (Szubtranzien mélységű d-q modell. Generátor villamos paraméterek. Tranziens modell: 3F kapocsárlat és lekapcsolása) Generátor E'-X' modell (Áramköri modell és fázorábra). Hálózatredukciós eljárás. Villamos és mechanikai egyenletek (A generátor hálózatba táplált teljesítménye. Lengési egyenlet). Munkapontra linearizált lengési egyenlet (Lengési egyenlet kis változásokra. Karakterisztikus egyenlet. A sajátlengés frekvenciája). Elektromechanikai lengési frekvenciák.
- Szinkrongenerátor üzemének stabilitása. A stabilitás-instabilitás értelmezése. A szinkronstabilitás és vizsgálatának kategóriái. A lengési egyenlet megoldása, tranziens lengés. Tranziens stabilitás, az egyenlő területek módszere.
- Többgépes rendszer elektromechanikai lengései. Az elektromechanikai lengések kialakulása. A lengéseket befolyásoló hatások. Villamos szögek és forgórész szöghelyzetek: a szöghelyzetek értelmezése, mérése. Követő koordináta-rendszer. Tömegközéppont, lengésközéppont.
- A fogyasztói terhelések feszültség- és frekvenciafüggése. A függés fizikai háttere. A leképezés elve, összefüggései. Jellemző paraméterek. Statikus és dinamikus modell. Példa U és f függésre.
- Teljesítmény-egyensúly, P-f szabályozás. Szinkron frekvencia. A hatásos teljesítmény és a frekvencia kapcsolatának energetikája szinkrongenerátoros rendszerben (statikus és dinamikus egyensúly, rendszerfrekvencia hálózati csomópont frekvenciája). A P-f szabályozás rendszere (szabályozási szintek és feladatok, fogalmi meghatározások, a szabályozások időbelisége). Szabályozási blokkok a kontinentális európai rendszerben.
- Primer és szekunder szabályozás. Primer szabályozás - statikus egyensúly, terhelésvétel a P-f karakterisztika szerint. A turbinaszabályozó P-f karakterisztikája. Primer és szekunder szabályozás egygépes rendszerben. Primer szabályozás többgépes rendszerben. A szinkron rendszer statikus dP-df karakterisztikája. Erőmű blokk és P-f szabályozásának funkcionális sémái.
- Frekvenciafüggő fogyasztói korlátozás (FTK) Az FTK elvi működése (Frekvencialépcsős, időlépcsős FTK) Az optimális FTK rendszer kialakításának alapkérdései. Az ENTSO-E ajánlása frekvencialépcsős FTK-ra.
- Szekunder és tercier szabályozás együttműködő rendszerekben. Szekunder szabályozás többgépes rendszerben. Jellemző erőmű-terhelések, generátor terhelési szintek. Csereteljesítmény-frekvencia szabályozás (A felelősségi elv. Területi szabályozási hiba. A szabályozási igény grafikus ábrázolása. Szabályozási hurkok. Gyakorlati szabályozás ACE alapján. A szükséges termelés elosztása a gépegységek között). Szabályozások együttműködése, új eljárások.
- Lengéscsillapítás. Stabilitásmentés. Lengéscsillapítás: Lengésképek, Csillapító teljesítmény. A PSS hatásmechanizmusa. PSS kialakítások. Stabilitásmentés: A stabilitásmentés elve, módszerei.
- Reszinkronizáció. Aszinkron rendszerek összekapcsolása. Frekvencia regisztrátum reszinkronizációról. Az összekapcsolási folyamat elvi háttere. Alapfolyamatok szimulációja elvi modellen. A reszinkronizáció sikerességének feltételei. ENTSO-E ajánlások reszinkronizációhoz.
- Automatikus szinkronozó és szinkronellenőrző készülék (ASZK). Az ASZK feladata. Biztonságos bekapcsolás. ASZK üzemmódok a frekvencia-eltérés szerint. Jellemző beállítási értékek.
- Európai együttműködések a villamosenergia-rendszer irányításában. Szabályozói keretek. TSC. Hálózati üzembiztonságra irányuló együttműködések: CGM, OPC, CCC, CSA. Rendszeregyensúlyra irányuló együttműködések: STA, IGCC, MARI/TERRE/PICASSO. TYNDP.
- Az AC teljesítmény-átvitel korlátai. Feszültség stabilitás, szinkron stabilitás. Az átvivő képesség növelése. Határkeresztező átviteli kapacitások. A feszültség stabilitás-instabilitás dinamikája (szimulációk).
- VER meddőteljesítmény-egyensúlya. Meddőteljesítmény-egyensúly rendszerszinten. Egy rendszertag egyensúlya és ennek összetevői: 120 kV/KÖF transzformátorállomások, 120-220-400 kV-os átviteli és

elosztóhálózat (távvezetékek, NAF/NAF transzformátorok, söntfojtók), meddőteljesítmény export-import, erőművek és erőművi generátorok. A rendszerterhelés hatása.

Az átviteli hálózat U-Q szabályozása. Az átviteli hálózat U-Q szabályozása: alapelvek, eszközök, szabályozási szintek. FACTS eszközök működési elve.

Modellezési feladatok és számítási módszerek a villamosenergia-rendszerben. Állapotbecslés: algoritmusok, számítási példa. WAMS. Állandósult állapotbeli számítások: optimális load-flow (példa). Záratszámítás. Tranziens stabilitás számítása (példa).

Az inercia jelentősége a villamosenergia-rendszerben, inverteres csatlakozású termelőegységek szabályozástechnikája. Az inercia szerepe, ROCOF, termelőegységeknél rendelkezésre álló inercia. Grid-forming, grid-feeding, grid-supporting inverterek. A dq-koordináta-rendszer. Grid-feeding invertereket leíró rendszeregyenletek, PLL, szabályozási egyenletek.

Átviteli hálózat üzemvitele. A rendszerirányító alapfeladatai. Számítógépes támogatás: SCADA és EMS rendszerek (modulok, kommunikációs protokollok, felépítés. EMS funkciók).

Villamos elosztó hálózatok, nagyvárosi villamosenergia-ellátás. Hálózati topológiák, kábeles és szabadvezetékes hálózatok. Bontási lehetőségek (TMOK, ETM). Budapest ellátási sajátosságai. Megbízhatóság, redundancia. Kiesési mutatók (SAIDI, SAIFI). Garantált szolgáltatások. Közvilágítás.

Elosztóhálózat üzemvitele. Irányítástechnikai eszközök. Megfigyelhetőség, állapotbecslés elosztóhálózaton. Kisfeszültségű üzemi irányítás.

Elosztóhálózati üzemvitelt támogató megoldások: GIS, munkairányítási megoldások, naplózási funkciók, beruházástámogatás, kiszolgáló egységek támogatása

Villamosenergia-rendszerek laboratórium 1

Főspecializáció A1 labor

([BMEVIVEMA16](#), szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A laboratórium célja a specializáció tantárgyainhoz (elsődlegesen a Villamosenergia-rendszer üzemé és irányítása c. tantárgyhoz) kapcsolódva a tananyag elmélyítése, gyakorlati vonatkozásainak bemutatása, labormérések és szimulációk keretében.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő méréseket tartalmazza:

- Teljesítményáramlás vizsgálata számítógépen: Nagyfeszültségű hosszú távvezeték üzemé (PowerWorld) - Load-flow, feszültségszabályozás, számítógépi modellen.
- Nagy hálózatok üzemeltetésének vizsgálata DigSilent szoftverrel.
- Szinkrongenerátor elektromechanikai lengései; lengéscsillapítás – A turbógenerátort a hálózati oldalról érő hatások által iniciált elektromechanikai lengések vizsgálata -zárlatok, P, f változások-, lengések csillapítása.
- EMTP – Hálózati tranziensek vizsgálata.
- Túlfeszültség-védelmi eszközök vizsgálata – Varisztor, gáztöltésű levezető, szupresszor dióda karakterisztikájának felvétele, védelmi hatásának vizsgálata.
- Kapcsolási tranziensek mérése – Toroid transzformátor kapcsolási áramlökéseinek mérése.
- Elektromágneses összeférhetőség (EMC) – Alállomási EMC mérések külső helyszínen.
- Terhelésbecslés neurális hálózatokkal – Rövidtávú terhelésbecslés MATLAB szoftverrel.
- Kisfeszültségű kapcsolókészülékek vizsgálata
- Hálózati inverterek szabályozása

Védelmi rendszerek és mérés technika

Főspecializáció A2 tantárgy

([BMEVIVEMA17](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy megismertesse a hallgatókkal a villamosenergia-rendszerben, az erőművekben, az ipari és kommunális hálózaton fellépő meghibásodások hátrítására szolgáló védelmek elveit, beállításait, a korszerű megvalósításhoz szükséges mérés technikai és mikroprocesszoros jelfeldolgozáshoz kapcsolódó ismereteket, a rendszerirányítással kommunikálni képes intelligens védelmekkel bezárólag, továbbá a VER megbízható működését fenntartó üzemviteli és üzemzavar elhárító automatikák feladatait és kialakítását.

2. A tantárgy tematikája

Védelmi alapfogalmak, védelmekkel és védelmi rendszerekkel szemben támasztott követelmények, generációk, védelmi rendszer tervezése. Védelmi tartalékolás, távoli, közeli tartalékvédelem, megszakító beragadási védelem. Védelmi filozófia és stratégia, megoldások. Túláramvédelem.

Automatikák felosztása, feladatuk, szerepük a villamosenergia-rendszerben. Visszakapcsoló, átkapcsoló és rendszerautomatikák. Zárlati teljesítményirány érzékelés.

Differenciál elvű védelmek és megoldások.

Távolsági védelmek.

Védelmi parancsátvitel. Hálózati inverterek védelmei.

Komplex transzformátor védelem funkciói: túláramvédelem, differenciál védelem, felharmonikus reteszelés, védelem a bekapcsolási áramlökések ellen. Komplex generátor védelem jellemző funkciói: 100 %-os testzárlat védelem, aszimmetria védelem, forgórész védelem, szinkronozás.

Primer és szekunder mérőváltók, a jelek galvanikus leválasztása. Áramváltó méretezése.

VER mennyiségek speciális mérés technikai megoldásai, védelmekben alkalmazott korszerű mérés technikai és SW technológiai megoldások.

A védelmek illesztése az alállomási üzemirányítási rendszerbe. Az üzemirányítási rendszer feladata, felépítése. A védelmek és az üzemirányítási rendszer összeolvadása. Az üzemirányítási feladatok megvalósítása komplex védelmi készülékekkel.

A digitális védelmek a korszerű alállomási információs rendszerben. A szerver-kliens kapcsolat az Ethernet rendszerben. WAMS. A kommunikációs feladatok az információs rendszerben. Hagyományos és korszerű megoldások. Kommunikációs szabvány és megvalósítása a korszerű védelmekben. Fejlődési tendenciák az alállomási szekunder technológiában.

Elektromágneses összeférhetőség (EMC) fogalma, zavarjelenségek, EMC megvalósításának módja, EMC tervezés.

Alállomási elektromágneses zavartípusok, környezetek és jelvezetékek osztályozása, zavartűrés vizsgálati eljárások.

Alállomási árnyékolási megoldások, földelés és EMC.

Villamosenergia-rendszerek laboratórium 2

Főspecializáció A2 labor

([BMEVIVEMB03](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A laboratórium célja a specializáció tantárgyaihoz (elsősorban a Védelmi rendszerek és mérés technika c. tantárgyhoz) kapcsolódva a tananyag elmélyítése, gyakorlati vonatkozásainak bemutatása, labormérések és szimulációk keretében.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő méréseket tartalmazza:

- Túláramvédelem – ETIVA és DTIVA védelem beállítása, zárlatképzés modellen, működésvizsgálat különböző üzemi állapotokban.

- Távolsági védelem – ETV és DTVA védelem beállítása, zárlatképzés modellen, működésvizsgálat különböző üzemállapotokban.
- Digitális túláramvédelem, digitális távolsági védelem – Védelmek beállítása, nyomtatása generátorral, karakterisztika ellenőrzése.
- Transzformátor-differenciálvédelmek vizsgálata – Modellen zárlatképzés, védelem működésének ellenőrzése.
- Digitális motorvédelem – Védelem beállítása, nyomtatása generátorral, ellenőrzése
- Kezelőközponti tréningsszimulátor megismerése – Különböző védelmi működések szimulációja, kiértékelése tréningsszimulátor szoftveren.
- Villamosenergia kereskedelmi szimuláció: tőzsdei ajánlatok értelmezése, beadása, klíring elemzése, árazás és ajánlatadás.
- Szekunder mérőváltók vizsgálata – ETV 5A áramváltó áttételi és fázishibájának, valamint a szekunder oldali feszültségnek a mérése a lezáró ellenállás függvényében, névleges és 10x-es áramnál; ETV 100 V feszültségváltó gerjesztési impedancia változásának mérése a feszültség és a frekvencia függvényében, a mérőváltók alkalmazhatósági területeinek felmérése.
- Feszültség alatti munkavégzés.
- Szélerőművi generátorok és szabályozásuk.

Hálózati tranziensek

Főspecializáció B tantárgy

([BMEVIVEMB04](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A villamosenergia-rendszerben lezajló elektromágneses tranziens folyamatokat kiváltó okoknak, a folyamatok fizikájának és a tranziensek következményeinek megismertetése. Az előadások a villamosenergia-hálózat rendellenes üzemállapotai, zárlatai során fellépő folyamatai, a túlfeszültségek elleni védelem kialakításához, a rendszer egyes korszerű megoldásai működésének mélyebb megértéséhez kívánnak segítséget nyújtani. A gyakorlatok célja az egyszerűsített fizikai kép kialakítására alkalmas módszerek és a tranziensek szimulációjára alkalmas számítási eljárások, technikák bemutatása.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés, tantárgykövetelmények. Elektromágneses tranziensek szerepe a villamosenergia-rendszer működésében és megbízhatóságában.

Tranziensek a villamosmérnöki gyakorlatban, tranziensek főbb jellemvonásának áttekintése. Elosztott és koncentrált paraméterű hálózatok tulajdonságai.

Hullámterjedés ideális egyvezető-föld rendszerben, hullámreflexió és áthatolás diszkontinuitási pontokon. Sorozatos hullámreflexiók számítása: Bergeron- és Bewley módszer áttekintése.

Szerkesztési módszerek korlátai, visszamaradó töltés hatása a bekapcsolás sikerességére. Védekezés a visszamaradó töltés ellen. Kábeles bevezetésű alállomások túlfeszültségvédelme.

Cancellation wave, steady-state waves módszerek. Kis távolságú zárlatok tisztázása.

Referencia áramkörök: egyszerű és bonyolult referencia kapcsolások kialakításának elmélete. Hullámalak hatása a referencia áramkör pontosságára.

Veszteségek hatása a hullámterjedésre. Sodrony- és koronakisülés hullámtorzító hatása. A veszteséges föld hullámtorzító hatása.

Hullámterjedés két, illetve n-vezetős rendszerben. Modusok kialakulásának fizikai magyarázata. Több vezető, reális rendszer hullámfolyamatainak visszavezetése egy vezető-föld rendszer tranzienseire.

Elektromágneses összeférhetőség I: (EMC) fogalma, zavarjelenségek osztályozása, terjedési módjai.

Elektromágneses összeférhetőség II: Alállomások, kábelvonalak, távvezetékek földelési rendszerei, a földelési mód kihatása a tranziens- és földzárlati potenciálemelkedésre. Nemzetközi gyakorlat áttekintése, a potenciálemelkedés számítási módszerei. Szakaszos tranziensek, alállomási árnyékolási megoldások.

Szinkrongenerátorok tranziensei: háromfázisú, szimmetrikus zárlatok tranziens jellemzői.

Szinkrongenerátorok tranziensei: aszimmetrikus zárlatok tranziens jellemzői.

V.8 Főspecializációk kötelezően választható (C-típusú) tantárgyai

A szakmai törzsanyagot képező főspecializációk részét képezik az ún. C típusú tantárgyak, melyek közül egyet – a főspecializációjától függetlenül – minden hallgatónak teljesítenie kell. Ez a tantárgy egy adott tantárgylistából választható (ún. kötelezően választható típus), a tantárgyak vagy a tavaszi, vagy az őszi félévekben kerülnek meghirdetésre. A tantárgyak valamennyi főspecializáció számára a következők:

Tantárgy neve	Meghirdető tanszék	Tantárgykód	Meghirdetés féléve
Alkalmazásfejlesztés	AUT	BMEVIAUMB07	tavaszi
Nanoelektronika, nanotechnológia	EET-ETT	BMEVIEEMB03	tavaszi
Korszerű fejlesztési folyamatok menedzsmentje	ETT	BMEVIETMB03	tavaszi
Kommunikációs hálózatok teljesítményének elemzése	HIT	BMEVIHIMB05	őszi
Mikrohullámú távérzékelés	HVT	BMEVIHVMB09	tavaszi
Nemlineáris és robusztus irányítások	IIT	BMEVIIMB07	őszi
Biztonságkritikus beágyazott rendszerek	MIT	BMEVIMIMB07	őszi
Véges matematika villamosmérnököknek	SZIT	BMEVISZMA08	tavaszi
Rádiós helymeghatározási technológiák	TMIT	BMEVITMMB07	őszi
Villamosenergia-piac	VET	BMEVIVEMB05	őszi

Alkalmazásfejlesztés

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVIAUMB07](#), tavaszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja megismertetni a hallgatókkal azokat az eszközöket, melyek a programozási alapismereteken túl a nagyobb szoftverfejlesztési projektek esetében szükségesek. Ide tartoznak a magas szintű osztálykönyvtárak, az automatikus tesztelés, a verziókezelés és dokumentációs módszerek. A tantárgy első részében a C# és .NET Core, majd az Universal Windows Platform (UWP) lehetőségeit mutatjuk be, utána pedig a szoftverfejlesztésben széles körben megjelenő tervezési mintákat tekintjük át. Mindezek során a tantárgy kiemelt hangsúlyt fektet a beágyazott rendszerekhez kapcsolódó feladatokra, valamint az ezekből származó speciális környezetekre.

2. A tantárgy tematikája

C# és .NET alapok

Git és github.com, github classroom rövid áttekintése a házi feladathoz, C# nyelvi alapok, IEnumerable interface, sorosítás, Linq technológia

Kommunikáció (HTTP protokoll felett), adat perzisztencia (XML, Entity Framework)

Grafikus felhasználói felület UWP alapokon

XAML alapú felhasználó felület fejlesztés alapjai

Adatkötés és ItemsControl, rajzolás, MVVM architektúra

Grafikonok készítése, multithreading eszközök.

Az egyes technológiákat több, összetettebb példaalkalmazáson keresztül nézzük meg.

Tesztelés, dokumentáció, clean code elvek

Unit tesztelés, mockolás, Test Driven Development, mutation testing

Clean Code és SOLID elvek áttekintése, Hibakezelési technikák összefoglalása

UML alapok, DocFx használata

Tervezési minták, refaktorálás

A szoftvertervezés fontossága, az előre tervezés és a változó igények összeegyeztetése a gyakorlatban. Tipikus szoftver architektúrák, Tervezési minta, mint eszköz, előre és utólagos felismerésük, refaktorálás

Létrehozási minták (dependency injection, singleton, abstract factory, factory method)

Parancsvégrehajtási minták (command, command processor, memento)

Egyéb gyakori minták (observer, adapter, facade, composite, proxy)

Tervezési minták beágyazott környezetben, C++ alapú esettanulmány

Nanoelektronika, nanotechnológia

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVIEEMB03](#), tavaszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, EET-ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja azon új szemlélet és új leírási módszertan ismertetése, amely a nanométeres mérettartományhoz közelítő mikroelektronikai eszközök működésének és a mikro-megmunkálási technológiák folyamatának mélyebb megértéséhez, tervezéséhez szükséges. Az elektronikus eszközökben és alkatrészekben a nanométeres térbeli, és a nano- ill. femtoszekundumos időbeli tartományban érvényesülő fizikai jelenségek tárgyalása alapvető fontosságú, különös tekintettel az ezeken alapuló új eszközökre és azok működési elveire.

Az elektronikai technológia területén az alkalmazott anyagtudományi alapok nanotechnológia orientált elmélyítése, a nanométeres strukturáltság miatt fellépő különleges fizikai, kémiai anyagtulajdonságok, valamint a nanométeres tartományában alkalmazható vizsgálati és megjelenítési módszerek megismertetése a cél.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés a nanotechnológiába, a fizikai tulajdonságok megváltozása a nano méretskálán. Elektronikai rendszerek előállításának fizikai, kémiai és nano-technológiai megközelítése, az előállítási folyamatok áttekintése és csoportosítása.

Félvezető (Si) „top down” technológia 1: egykristályok előállítása, epitaxiális rétegnövesztés, oxidnövesztés, fotoreziszt technológiák.

Félvezető (Si) „top down” technológia 2: marási technikák, kémiai rétegleválasztás, diffúzió, ionimplantáció, vezető és szigetelő rétegek kialakítása.

Alkatrész és moduláramkör technológiák alapjai. Vegyület-félvezető struktúrák technológiája és alkalmazásai: III-V és II-VI típusú vegyület-félvezetők, direkt és indirekt sávszerkezet, optikai tulajdonságok és alkalmazásuk, vegyület-félvezető multirétegek előállítása és alkalmazása.

Kvantumvölgyes szerkezetek és azok gyakorlati alkalmazásai (pl. LED-ek). A nanotechnológia alkalmazása a klasszikus félvezető eszközökben a termikus problémák kezelésére.

Izotróp és anizotróp maratási technológiák térbeli szerkezetek előállítására (üregek, mikroszatornák, membránok, csövek, tű, híd, konzol, felfüggesztett tömeg). A tömbi és felületi mikromegmunkálás technológiai változatai.

Vékonyréteg technológiák alkalmazása passzív hálózatok, optikai rétegszerkezetek, és kijelzőkben való (képernyők stb.) előállításában.

A nanotechnológia alapjai. Nanocsövek, nanovezetékek, speciális multiréteg struktúrák. Nanoobjektumok létrehozása félvezetőkön. Szilárdtestek és vékonyrétegek nanomechanikai tulajdonságai. A szén allotrop módosulatai és nanotechnológia alkalmazásuk. Fémes nanoszerkezetek létrehozása és alkalmazása.

A méretcsökkentés következtében fellépő fizikai jelenségek, elektronikus eszközökben és áramkörökben, az eszközök működését alapvetően meghatározó karakterisztikus távolságok és idők, a másodlagos hatások (kvantum, termikus...) erősödése és befolyása az eszközök és áramkörök jellemzőire.

Speciálisan nanoelektronikához kapcsolódó elektronikus eszközök és alkatrészek (méretcsökkentett MOS tranzisztorok, vákuum-mikroelektronika, egy-elektronos áramkörök, memóriacellák, spintronika,

kvantumelektronika, szén nanocsöves tranzisztorok, grafén, oxid-elektronika, termikus-elektromos integrált áramkörök).

A nanométeres mérettartományban alkalmazható különleges technológiai eljárások, a top-down és bottom-up elv, nanolitográfia, önbeállítás, önszerelés.

A nanométeres tartományában alkalmazható vizsgálati és megjelenítési módszerek: pásztázó felületvizsgálati eljárások (AFM, STM, KFM, NSOM).

Szimuláció fontossága a nanoelektronikában, részecske dinamika elvén működő szimulációs módszerek áttekintése.

A nanotechnológia legújabb eredményei és előrejelzések az ITRS alapján.

Korszerű fejlesztési folyamatok menedzsmentje

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVIETMB03](#), tavaszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy bevezesse a hallgatókat azokba a folyamatokba, amelyek rendszerbe szervezik a fejlesztő, valamint gyártó cégek szakmai munkáját és együttműködését, valamint, hogy megismertesse a hallgatókat azon statisztikai módszerekkel, amelyek az elektronikai ipar folyamatainak elemzésére használatosak, és segítséget nyújtanak a hatékony vezetői döntéshozatalban.

Termékfejlesztési modellek, a professzionális fejlesztési folyamatok eszköztára (pl. követelménymenedzsment, verzió követés, változás menedzsment) bemutatása. Biztonságkritikus elektronikai termékek fejlesztési szempontjai. A szakmai és pénzügyi szempontok kölcsönhatásának menedzsmentje a gyártásban: termékárazás, költségek, minőségi mutatószámok. Matematikai statisztikai módszerek ismertetése a gyártási folyamatok monitorozása során kapott eredmények kiértékelése és az ez általi döntéshozatal megkönnyítésére.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés

A tantárgy követelményeinek ismertetése. Ipari korszakváltások példái (a belsőégésű motoroktól az elektromos autókig, a mutatóktól a kijelzőkig). A cégstratégiától a termékbevezetésig (milyen jövőre és milyen jelenre koncentrálnak az erőforrásokat).

Fejlesztési folyamatmodellek és menedzsmentjük

Alapvető fejlesztési modellek ismertetése (pl. V modell, vízésés modell, agilis módszerek). Fejlesztési folyamatok szabványai, minősítések (SPICE, CMMI, ISO26262). Követelmény menedzsment, verzió- és konfiguráció menedzsment. Fejlesztési projektek menedzsmentje (tervezés, projekt követés, agilis módszertanok).

A hardverfejlesztés folyamatai

A hardverfejlesztés lépései. Analízisek a fejlesztés során (FMEA, WCA). Tesztelhetőségre, gyárthatóságra tervezés. Környezeti feltételekre való tervezés (termikus tervezés, EMC, kapcsolódás a mechanikai kialakításhoz).

A szoftverfejlesztés folyamata

A szoftverfejlesztés lépései. Agilis szoftverfejlesztés, folyamatos integrálás, folyamatos tesztelés. Tesztelhetőségre tervezés, szoftver karbantarthatóság (szoftverkomplexitás metrikák, coding guideline).

A tesztfejlesztés folyamata

A tesztfejlesztési lépései. A fejlesztés során és a gyártás során elvégzendő tesztek célja és módszerei. Szoftvertesztek (Unit tesztek, integrációs tesztek, rendszerteszt, HIL, MIL, BB teszt, WB teszt.) Tesztlefedettségi metrikák. Hardvertesztek. Gyártási tesztek fejlesztése (pl. AOI, ICT).

Gyártási folyamatok tervezésének folyamata

Termékéletciklus mérföldkövei. A termékfejlesztés és a gyártástervezés kapcsolata. Gyártási költségek és a gyártási stratégiák és technológiák meghatározása, kiválasztása, lokális és globális szinergiák. Az I4.0 szerepe a költségek csökkentésében.

A gyártás működtetésének folyamatai

Gyártósor elindításának lépései, sorozatgyártásra felkészítése. Termelés irányítás mutatószámai példákkal (fluktuáció és elégedettség, gép jellegű költségek, emberi jellegű költségek, minőségi mutatószámok, vevői elégedettség, logisztikai eredmények, üzleti eredmények). A pótkomponensgyártás kötelezettségei és kihívásai.

A minőség fogalma

Minőségbiztosítási elvek és rendszerek az elektronikai iparban. A TQC, TQM és ISO 9000 keletkezése, alapelvei. Az ISO 9000 minőségi ügyi szabványrendszer felépítésének részletes bemutatása. Egyéb minőségbiztosítási rendszerek, MES stb.

A minőségügy statisztikai alapjai.

Valószínűség számítás és a statisztika, Valószínűségi változók és eloszlások, az ingadozás paraméterei, nagyszámok törvényei. Statisztikai adatok grafikai reprezentációi (normalitás-vizsgálat, hisztogram, idősorok és „bar chart”-ok stb.) Hatékony döntéshozatal grafikai reprezentációk alapján.

Minőségbiztosítási módszerek

Alap minőségbiztosítási módszerek bemutatása és alkalmazás az elektronikai gyártástámogatásban: Six Sigma elvek, Failure mode effects analysis (FMEA) módszer, halszálka diagram, Pareto diagramm, hisztogram, szórás diagram, stratifikációs vizsgálat, szabályozó- és ellenőrző kártya.

Statisztikai adatgyűjtés és osztályozás

A minőségbiztosítás sajátosságai a mikroelektronikában. Statisztikai mintavételezés alapjai és a mintavételes ellenőrzés bemutatása. Mintavételi eljárások bemutatása és mintanagyság meghatározása. Az AQL (acceptable quality level) módszer és alkalmazása.

Statisztikai minták kiértékelési módszerei.

Becslésmélethez (pont és intervallum becslés), a mintavételes becslésének pontossága. A konfidencia intervallum és hipotézis vizsgálatok alkalmazása az elektronikai iparban. Összefüggőség vizsgálatok bemutatása. A döntéshozatal és annak korlátai statisztikai minták alapján.

Az SPC (Statistic Process Control) módszer

Az SPC alapjai, adatgyűjtés és osztályozás. Folyamatparaméterek és szabályozókártyák, elfogadási és beavatkozási határok, és az SPC döntési algoritmusok bemutatása. Gép- és folyamatképesség vizsgálatok. Hibaráta fogalma, gép- és folyamatképességi indexek, minőségkapacitás, és stabilitás ismertetése.

Kommunikációs hálózatok teljesítményének elemzése

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVIHIMB05](#), őszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy a számítógép és távközlő hálózatok tervezési és hatékony működtetési feladataihoz kapcsolódó teljesítmény modellezési ismereteket és azok gyakorlati alkalmazását ismertesse. A tantárgy foglalkozik az infokommunikációs hálózatok jellegzetes sorbanállási modelljeivel, bemutatja a teljesítményjellemzők matematikai és szimulációs meghatározásánál alkalmazott módszereket, valamint a sorbanállási hálózati modellek pontos és közelítő megoldási technikáit. A gyakorlatokon a megismert elméleti hálózati modelleket fix és mobil hálózatok gyakorlati teljesítőképességi problémáinak elemzésével is illusztrálják.

2. A tantárgy tematikája

Bevezető jellegű ismeretek.

A teljesítményelemzés jellegzetes kérdései. A hálózatok teljesítőképességének fő jellemzői (kihasználtság, veszteség, késleltetés).

A teljesítmény modellezés jellegzetes mérnöki kérdései (diszkrét és folytonos idő, véges és végtelen populáció, igényjellemzők, kiszolgálási folyamat).

A sorbanállásmélethez alapvető matematikai modelljei. Markov-láncok és azok speciális esetei (Születési-halálozási folyamatok, Poisson-folyamat).

A véletlen folyamatok jellemzői és azok meghatározása.
Sorbanállási alapfogalmak, Little-formula. Sorbanállási alapmodellek.
A legegyszerűbb sorbanállási model (M/M/1 sor). Sorbanállási modellváltozatok (több kiszolgáló, véges várakozó sor, ...)
M/M/1 sorra épülő teljesítményoptimalizálási esettanulmányok
Megszakításos és prioritásos kiszolgálás alapmodelljei.
Összetett sorbanállási rendszerekre épülő teljesítmény optimalizálási esettanulmányok
Sorbanállási hálózatok, matematikai és szimulációs módszerek alkalmazása.
Jellegzetes fix és mobil hálózati teljesítményelemzési problémák elemzése, pl. QoS (quality of service) paraméterek meghatározása és biztosítása SLA (service level agreement).

Mikrohullámú távérzékelés

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVIHVMB09](#), tavaszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A mikrohullámú távérzékelő rendszerek és annak alrendszerei területeken Magyarország meghatározó kutatói, fejlesztői és gyártó potenciállal rendelkezik, számos hazai és nemzetközi nagyvállalat épített ki K+F, gyártás és üzemeltetést végző központokat, ahol élvonalbeli, komplex munkalehetőséget biztosítanak a hazai mérnököknek.

A tantárgyat hallgató, később MSc diplomát szerző mérnökök a fenti hazai és multinacionális távérzékelési (pl. radar) vállalatoknál, fejlesztő és gyártó cégeknél, továbbá kutatóközpontokban helyezkedhetnek el.

A tantárgy a korszerű távérzékelő rendszerek rendszerszintű, továbbá a rendszerek jel- és adatfeldolgozási algoritmusainak megismerését tűzi ki célként. A rendszerek leírása után a rendszerelemek szerepét és feladatait részletezi egészen a tervezés mélységéig. Foglalkozunk az aktív és passzív mikrohullámú távérzékelés útján megszerezhető információkkal, azok minőségi paramétereinek az elemzésével. A tantárgy részletesen tárgyalja a napjainkban nagy jelentőséggel bíró távérzékelési alkalmazások elméletével és algoritmusával (pl. Synthetic Aperture Radar (SAR), Drón radar, gépjármű radar, Over the Horizon Radar (Oth radar)).

A hallgatók a tantárgy keretében készség szintű ismereteket szereznek a mikrohullámú távérzékelő rendszerek elmélete, algoritmusai és alkalmazása területeken. A tantárgy hallgatói tisztában lesznek a mikrohullámú távérzékelő rendszerek működésével és felépítésével, továbbá képesek lesznek ezen rendszerek alapvető hardver és algoritmus elemeit megtervezni.

2. A tantárgy tematikája

Mikrohullámú távérzékelés alapjai

Mikrohullámú távérzékelés rendszerezése, eljárásai. Minőségi paraméterek, döntés és becslésméleti aspektusok.

SAR képképzés és jelfeldolgozás

SLAR képképzés részletes bemutatása. Geometriai torzítások és kompenzációs lehetőségeik.

SAR holografikus képképzés elmélete és jelfeldolgozása. Alkalmazható antennák követelményei.

Normál és SPOT üzemmódok. Inverz SAR. Interferometrikus SAR.

Ionoszférikus hullámterjedés

Az ionoszféra rétekei és azok jellemzői az Oth radarok frekvencia sávjaiban.

Oth radarok

Működési elv, modulációs módok. Speciális antenna követelmények. Iránymérés.

Passzív radar

Passzív és szemi-passzív radarok. Különböző pozíció meghatározási elvek. Multilateráció.

Illuminátorok vizsgálata. STASP jelfeldolgozás elemei.

Meteorológiai radar

Marshall-Palmer egyenlet. MET radar hatótávolságának levezetése. Doppler radar által mérhető alap és származtatott paraméterek.

Gépjármű radarok

Alkalmazások és műszaki követelményei. Frekvenciák és modulációs hullámformák. Antenna szkennelési stratégiák. Céltárgy klasszifikáció alapjai.

Drón felderítő radar

Drón kategóriák és radar hatásos keresztmetszetek. Mikro-Doppler jelenség. Madár-drón megkülönböztetés elve. Modulációs és szögbeli letapogatási eljárások.

Speciális katonai alkalmazások

EW-ESM-ECM-ECCM. Zavarási és manipulatív megtévesztési módszerek.

Nemlineáris és robusztus irányítások

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVIIMBOZ](#), őszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy az alapképzésben korábban megismert szabályozástechnikai fogalmakat, modell alapú analízis és tervezési módszereket általánosítsa és kibővítsen összetettebb – így többváltozós és nemlineáris – rendszerekben is alkalmazható megoldásokkal. A bemutatott módszerek alkalmazott matematikai háttere a mesterszintű képzésnek felel meg. Célkitűzés továbbá, hogy a megszerzett tudás birtokában a hallgató képes legyen a szakirodalom folyamatos feldolgozására és ismeretei további bővítésére, ahogy az egyes tervezési módszerek korszerűsödnek. A tantárgyat sikeresen teljesítő hallgatók képesek: 1) több bemenetű és több kimenetű lineáris rendszerekhez optimális performanciát biztosító visszacsatolások tervezésére idő és frekvencia tartományban; 2) lineáris rendszerek esetében a paraméterbizonytalanságok modellezésére és kezelésére lineáris tört transzformációk használatával, valamint a performanciát és a robusztus stabilitást egyaránt biztosító (H_2 és H_∞ -végtelen normákra alapuló) visszacsatolások tervezésére; 3) az irányíthatóság és stabilitás fogalmak kiterjesztésére és azok ellenőrzésére szolgáló kritériumok alkalmazására nemlineáris rendszerekhez; 4) egzakt linearizáláson alapuló visszacsatolások tervezésére egyes egyváltozós nemlineáris rendszerekhez; 5) csúszómód szabályozás tervezésére a csattogást mérséklő eljárásokkal; 6) irányító Ljapunov-függvények (control-Lyapunov function) meghatározására alapuló technikák alkalmazására egyes nemlineáris rendszerosztályokhoz.

2. A tantárgy tematikája

Előadások a lineáris és robusztus irányítások anyagrészből

Szabályozástechnikai alapfogalmak ismételése. Rendszerek leírása, átviteli függvények és állapotteres realizációk egyváltozós rendszerek esetében. Többváltozós (több bemenetű és kimenetű), rendszerek rendszertechnikai jellemzése. Jelek L_2 , H_2 és H_∞ terei, a normák számítása. (A szükséges alkalmazott matematikai alapok részletes tárgyalása rögzített előadásvideókban külön is hozzáférhető). Lineáris rendszerek, mint operátorok a H_2 és H_∞ tereken, indukált normák. Belső stabilitás és jól meghatározottság.

Performancia kritériumok többváltozós, lineáris szabályozási körökben. A hurokátviteli, az érzékenységi, a komplementer érzékenységi átviteli mátrixok és kívánt tulajdonságaik a zaj- és zavarelnyomás, a megfelelő követési tulajdonságok és a stabilitás biztosítása érdekében. Az előírások egymás közötti kompatibilitása, a kitériumoknak megfelelő súlyozómátrixok megválasztása és a megnövelt szakasz átviteli mátrixának meghatározása. Zárt szabályozási kör szabályozójának méretezése optimális performancia biztosításához. Soros és kétszabadságfokú struktúrák.

Paraméterbizonytalanságok reprezentációja lineáris rendszerek esetén, additív, multiplikatív és frekvenciafüggő bizonytalanságok. A kis erősítések tétele és bizonyítása. Stabilitás strukturált és strukturálatlan bizonytalanságok esetén. Az LFT (Linear Fractional Transformation) alakok bevezetése, Redheffer-csillag szorzat. Algebrai Ricatti-egyenletek (ARE), Hamilton-mátrixok és tulajdonságaik, az ARE stabilizáló megoldása és a megoldás létezésének feltételei. A H_∞ szintézis

- problémák. A vegyes érzékenységi H_2 és H_∞ szintézis probléma. Az optimális és szuboptimális H_∞ probléma fogalma. A szuboptimális H_∞ probléma megoldásának visszavezetése ARE megoldására.
- Előadások a nemlineáris irányítások anyagrészből
- Nemlineáris dinamikus rendszerek matematikai leírása vektormezők felhasználásával. Rendszerosztályok. Műveletek vektormezőkkel és a vektormezőkből származtatható struktúrák (A szükséges alkalmazott matematikai alapok részletes tárgyalása rögzített előadásvideókban külön is hozzáférhető).
- A disztribúciókra kimondható Frobenius-tétel és az annak segítségével bevezethető irányíthatóság és megfigyelhetőség fogalmak nemlineáris rendszerekhez, kapcsolat a lineáris rendszerek irányíthatóságával és megfigyelhetőségével.
- Állapottér-transzformáció és állapotvisszacsatolás nemlineáris rendszereknél, kimenet relatív fokszáma, a fokszám fogalma a lineáris rendszerek esetében és kiterjesztése többváltozós esetben (relatív fokszám vektor). Globális, egzakt linearizálás állapotvisszacsatolással, az egzakt linearizálhatóság szükséges és elégséges feltétele egyváltozós rendszereknél. Alapjelkövetés biztosítása egzakt linearizálással.
- Nemlineáris rendszerek egyensúlyi pontjai és stabilitása. Az attraktor fogalma, Ljapunov-stabilitás, Ljapunov direkt és indirekt módszere, LaSalle tétele. Centrális sokaság tétele. Gyors és lassú időskálák szétválasztása nemlineáris rendszereknél.
- Csúszómód szabályozások (Sliding Mode Control - SMC). A csúszófelület fogalma, a csúszófelület stabilitásának biztosítása visszacsatolással egyes nemlineáris rendszerosztályok esetén, a csúszómód szabályozás robusztussága és az ún. csattogás jelenségének csökkentésére szolgáló eljárások. Pályakövető szabályozások, a hibarendszer és a hozzá tartozó csúszófelület megadása. A csúszómód szabályozások stabilitása.
- Irányító Ljapunov-függvények (control Lyapunov-function - cLf) alapján történő stabilizáló visszacsatolások tervezése egyes nemlineáris rendszerek esetében. Inkrementális (visszalépéses) technikák alkalmazása speciális struktúrájú rendszerek esetében. Alkalmazás pályakövető szabályozás esetében.

Biztonságkritikus beágyazott rendszerek

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVIMIMBOZ](#), őszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a funkcionális biztonság szempontjából kritikus beágyazott rendszerek fejlesztési módszereinek bemutatása. Az ilyen rendszerek (amelyeket nagy számban találunk például járműipari, közlekedési, folyamatirányítási alkalmazásokban) működése hozzájárulhat veszély, illetve adott környezeti feltételek mellett baleset vagy anyagi kár kialakulásához, így speciális tervezési, analízis és tesztelési technikák alkalmazására van szükség. A hallgatók megismerik a biztonságkritikus rendszerek fejlesztési szabványokban is rögzített életciklus modelljét, konstrukciós alapelveit, a tervezői döntéseket igazoló biztonsági és megbízhatósági analízist, valamint a szisztematikus tesztelés és verifikáció módszereit. A tantárgy előadásai és gyakorlatai konkrét eszközöket és technológiákat mutatnak be a követelménykezelés, architektúra tervezés, veszély analízis, forráskód ellenőrzés, komponens- és integrációs tesztelés, rendszertesztelés tipikus feladatainak elvégzéséhez.

2. A tantárgy tematikája

Biztonságkritikus rendszerek alapfogalmi: Baleset, kockázat, funkcionális biztonság fogalma. A biztonságintegritási szint (SIL). A megbízhatóság, rendelkezésre állás és a biztonságosság kritériumai és mérőszámai. A biztonságosság (safety) és az informatikai biztonság (security) fogalmak különbsége és kapcsolata. A biztonsági szabványok jelentősége.

A fejlesztési folyamatok, életciklus modellek és a minőségbiztosítás szerepe: A CMMI és az ASPICE folyamatmodellek áttekintése. A fejlesztést támogató és menedzsment folyamatok beépülése a

- fejlesztési életciklusba: projekttervezés; követelmények, követhetőség, verziók és konfigurációk kezelése. Hibajegyek és veszélynapló szerepe.
- Biztonságkritikus rendszerek fejlesztésének tipikus életciklus modelljei a biztonsági szabványok (pl. ISO 26262) és a folyamat szabványok (pl. ASPICE) alapján. A V-modell szerinti fejlesztési életciklus lépései. Az agilis fejlesztési módszerek megjelenése.
- Az architektúra tervezésének lépései a követelmények analízise alapján: Logikai és technikai architektúra. Hardver és szoftver együttes tervezés. Modell alapú tervezés (pl. Simulink, Stateflow). Hardver és szoftver komponensek specifikálása, tervezése és integrációja.
- Hardver komponensek hibáinak detektálási és diagnosztikai módszerei (az ISO 26262 alapján), a hibafedés jellemzése. A kommunikációs hibák kezelése.
- Az architektúra kialakításának tipikus megoldásai biztonságkritikus rendszerek esetén: Architektúrák fail-stop működéshez. Hibatűrő architektúrák állandósult és tranziens hardver hibák esetén. Hibatűrés szoftver tervezési hibák esetén.
- A veszély analízis módszerei: Hibafa, eseményfa, ok-következmény analízis, hibamód és hatás analízis (FMEA, FMECA) az architektúra alapján. A kockázati mátrix felépítése, az általános kockázatcsökkentési módszerek áttekintése. A biztonságosság (safety) és az informatikai biztonság (security) együttes elvárásai, ezek közös tervezése.
- Megbízhatósági analízis módszerek: Kombinatorikus modellek használata, a megbízhatósági blokk diagram felépítése. Redundáns architektúrák analízise.
- Formális modelleken alapuló tervezés és helyességigazolás: Időfüggő viselkedésű beágyazott vezérlők tervezése időzített automatákkal. A követelmények formalizálása temporális logikákkal és verifikációjuk modellellenőrzéssel.
- A biztonságos szoftver implementációhoz alkalmazott kódolási szabálykészletek, nyelvi korlátozások: A MISRA C szabálykészlet bemutatása.
- Tesztelési alapfogalmak áttekintése (az ISTQB ajánlásai alapján). A szisztematikus tesztelési folyamat bemutatása. A tesztfedtség mérésének szerepe.
- Tesztelési és tesztervezési módszerek: Forráskód ellenőrzés (review, hibaminta keresés, kódolási szabályok ellenőrzése). Specifikáció alapú (fekete doboz) tesztelési módszerek. Struktúra alapú (üvegdoboz, vagy fehér doboz) tesztelési módszerek. Beágyazott rendszerekben alkalmazott szürke doboz módszerek.
- Tesztelési módszerek alkalmazása: Komponens szintű (unit) tesztelés. Integrációs tesztelés inkrementális, illetve funkcionális integrációval. A rendszertesztelés és a validációs tesztelés tipikus módszerei. Monitorozás és debuggolás.
- Integrációs tesztelés model-, software-, processor-, hardware-in-the-loop (MIL, SIL, PIL, HIL) módszerekkel. A hibakezelés és hibatűrés tesztelése. A Continuous Integration megjelenése és alkalmazása beágyazott rendszerek esetében.

Véges matematika villamosmérnököknek

Főspecializáció C tantárgy

([BMEVISZMA08](#), tavaszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, SZIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A villamosmérnök BSc "Számítástudomány alapjai" tantárgy folytatásaképp további gráfelméleti, számelméleti és algoritmuselméleti ismeretek oktatása, ezen ismeretek (elsősorban villamosmérnöki) alkalmazásainak bemutatása: A gráfelméleten belül főleg a színezési problémák (és alkalmazásaik a chip-tervezésben), a gráfok mátrix-reprezentációi (és alkalmazásaik a hálózatanalízisben), a számelmélet alapalgoritmusai (és alkalmazásaik a kriptográfiában), valamint az algoritmuselmélet legfontosabb bonyolultságosztályai.

2. A tantárgy tematikája

Pontszínezés, mohó színezés $\Delta+1$ színnel, klikkszám és kromatikus szám kapcsolata, Mycielsky-konstrukció.

Perfekt gráfok, a gyenge és erős perfekt gráf tétel (biz. nélkül). Intervallumgráfok, Gallai tétele. Alkalmazás chip-huzalozáshoz
Élszínezés, Vizing tétele, Shannon tétele (biz. nélkül), teljes gráfok élkromatikus száma. Órarend készítése, körmérközések szervezése.
Ramsey-tétel, Erdős-Szekeres tétel, általánosítás kettőnél több színre, Schur-tétel.
Turán-tétel. Erdős-Simonovits tétel (biz. nélkül)
Gráfok mátrixai I. Szomszédsági és illeszkedési mátrix, Kirchhoff-Cayley tétel
Gráfok mátrixai II. Körmátrix és vágásmátrix, alkalmazások a villamos hálózatok analizésében
A számelmélet alapfogalmai, oszthatóság, prímek.
Kongruenciák, diofantikus egyenletek, szimultán kongruenciák.
Egyszerű számelméleti algoritmusok, az euklideszi algoritmus, prímtesztelés. Az RSA algoritmus P, NP, co-NP, jó karakterizáció, NP-teljesség.
Nevezetes NP-teljes gráfelméleti feladatok, visszavezetések.

Rádiós helymeghatározási technológiák

Főspecializáció C tantárgy

[\(BMEVITMMB07\)](#), őszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

Az ipari gyártástechnológia, a közlekedés és természetesen a végfelhasználói szolgáltatások digitalizációjának rohamos fejlődésével egyre inkább terjednek azok a technológiai megoldások, amelyek lehetővé teszik eszközök, járművek, személyek helyének és akár helyzetének egyre pontosabb meghatározását.

A tantárgy célja, hogy áttekintse a helymeghatározás megvalósításához szükséges elméleti, rádiós terjedési, irányszög és távolság becslési alapokat, ezek matematikai háttérét, azokat a technológiákat, melyek segítségével a helymeghatározás problémaköre a gyakorlatban is megvalósítható. Ennek kapcsán részletesen bemutatásra kerülnek a beltéri, illetve lokális környezetben használható rádiós technológiák és azokon alkalmazható helymeghatározási módszerek. A technológiák megismerésével a hallgató mélyebb és a mérnöki gyakorlatban is felhasználható tudást szerezhet a rádiós technológiák működéséről, használatáról. Az előadások során bemutatásra kerülnek a mobil hálózatokban alkalmazott és alkalmazható megoldások, valamint a globális helymeghatározás során használt módszerek is.

A tantárgy elméleti előadásait, az elméleti órákhoz szorosan kapcsolódó gyakorlatok egészítik ki. A gyakorlatok tematikája egyrészt segíti az elméleti anyag hatékonyabb megértését, valamint bemutatja az elméletben megszerzett tudáselemek gyakorlati felhasználásának lehetőségeit is.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés

A motivációs környezet és a helymeghatározással kapcsolatos technológiai, módszertani fejlődés bemutatása. A helymeghatározással kapcsolatos alapvető fogalmak (módszer, technológia, architektúra) definiálása, egyes jellemző követelmények meghatározása.

Alapvető helymeghatározási esettanulmány, mely során bemutatásra kerülnek a legalapvetőbb problémák, fogalmak. Ezen problémák mentén tematikusan meghatározásra kerülnek azok az elemi feladatok, melyeket a helymeghatározás során meg kell oldani. Az esettanulmányban definiált struktúrára támaszkodunk a félév során.

Helymeghatározás alapjai

A helymeghatározás alapvető matematikai elemei; a tér, a hely, és a helyzet leírása, modellezése
Térgeometria, koordináta rendszerek (ECEF, ECI, lokális)

Helymeghatározási módszerek bemutatása, formalizálása; távolság, távolságkülönbség, beérkezési szög, differenciális, odometria alapú helymeghatározási módszerek

Hely származtatása mérésekből, alapvető minimalizációs és becslési módszerek

Bayes-szűrők, Kalman-szűrők, részecskeszűrők áttekintése, alapvető alkalmazása helybecslési feladatok megvalósítására.

Rádiós terjedés alapjai

LOS - egyutas terjedés leírása, fázor, rádió link teljesítmény viszonyai, műholdas kommunikációs példa

NLOS - többutas terjedés leírása, ennek hatásai, alapvető fading jelenségek

Távolságbecslési és közelségérzékelési módszerek rádiós RSSI alapján

Helybecslés beérkezési irányszög alapján (DOA); Antenna rendszerek és rádiós beérkezési irány becslési eljárások

Helybecslés beérkezési idő alapján; TOA és TDOA alapú helybecslés alapjai

Helymeghatározás lokális környezetben

Helymeghatározás RSSI alapon Bluetooth technológia segítségével; technológia és módszer bemutatása

Iránymeghatározás a Bluetooth 5.1 szabványban; technológia és módszer bemutatása

UWB helymeghatározás beérkezési idő és időkülönbség (TOA és TDOA) segítségével

WiFi helymeghatározás beérkezési iránymeghatározás segítségével és RSSI alapon

Helymeghatározás városi környezetben

A mobil hálózatok és technológiák helymeghatározási képességeinek, az alkalmazott módszerek megismerése.

LTE és 5G hálózatok helymeghatározási lehetőségei (felhasználási esetek, LPP, NG-RAN, LRF, NR PRS, U-TDOA)

Globális helymeghatározás

A globális helymeghatározás felépítése, alapvető működése, a szinkronizáció megvalósítása és a pozíció meghatározás alapelveinek részletei.

GPS (moduláció, C/A, P(Y) kódok, pszeudo távolságok, korrelátor és a jelszinkronitás, RTK)

Villamosenergia-piac

Főspecializáció C tantárgy

[\(BMEVIVEMB05\)](#), őszi félévben indul, 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy megismertesse a hallgatókkal a villamosenergia-rendszer üzemirányításával mára szervesen integrálódott villamosenergia-kereskedelem alapfogalmait, szereplőit és kapcsolatrendszerüket, a piacok felépítését, jogi, műszaki és kereskedelmi szabályrendszerét, a gazdaságosság elveinek érvényesülését, a villamos energiával kapcsolatos termékek és szolgáltatások árának kialakulását, regulációs elveit és a beruházás-ösztönző rendszereket. A tantárgy nem csak az európai, hanem nemzetközi perspektívát ad, s nagy hangsúlyt fektet a szabályok mögötti matematikai modellek alkalmazására.

2. A tantárgy tematikája

Energiapolitika, európai uniós jogszabályok. A harmadik energiacsomag és annak hazai átültetése. Az európai piacintegrálási törekvések (IEM), az egységes szabályozáshoz vezető út (network codes).

Villamosenergia-piac főbb jellemzői. A villamos energia, mint áru. A hazai villamosenergia-piaci szereplők jogszabály szerinti csoportosítása, a hálózati és kereskedelmi feladatok szétválasztása.

Kiskereskedelem: Kereskedelmi szerződések, profilos és idősoros felhasználók, egyetemes szolgáltatás, árszabások és tarifarendszerek.

Nagykereskedelem: Mérlegköri rendszer, kiegyenlítő energia, kiegyenlítő és valós idejű piac.

Szervezett villamosenergia-piac működése. Termékek és korlátok. Európai megvalósítások. A klíringalgoritmusok feladatai, és matematikai alapjai, algoritmus (AMPL). Határidős termékek piaca.

A villamosenergia-kereskedelem működése: előrejelzési technikák, ajánlatok készítése. T-görbe. Kockázatok és kezelésük. Vendégelőadás.

Termelés: energiapiaci trendek. Termelés-támogatási rendszerek, a megújuló energiatermelés támogatási modelljei. A hazai kötelező átvétel és árprium alapú támogatások története, működése és ösztönzői.

Hálózati korlátok: A rendszerszintű szolgáltatások piaca. A rendszerszintű szolgáltatások bemutatása, piaci alapú beszerzése, igénybevétele és elszámolási szabályai Magyarországon. Európai kitekintés a tartalékpiacon modellek tekintetében. Rendszerirányítói együttműködések (GCC). Kooptimalizálás.

Hálózati korlátok: Nemzetközi villamosenergia-piac, a határkeresztező kapacitások piaca, kapacitás aukciók típusai. Áramlásalapú allokáció.

Energiapiaci modellek, várható kihívások és válaszok. Európai kitekintés. Vendégelőadás.

Hálózati korlátok: veszteség kezelése. Rendszerirányítók közötti elszámolás (ITC). Piac-összekapcsolás: ár- és mennyiség alapon. Gyűjtősínárazás (LMP)

Reguláció: Monopóliumok a villamosenergia-piacon, a hálózati feladatok a piacon. Az árszabályozás célja, korlátai és nehézségei. Monopolszabályozás alapvető módszerei.

Reguláció: Az árszabályozás hazai módszertana. Villamosenergia-díjszabás szerkezeti felépítése. A hatósági árszabályozás bemutatása.

Reguláció: a hazai gyakorlat és nehézségek. Vendégelőadás.

Minőségsszabályozás műszaki kritériumai és kereskedelmi szabályozása: SAIDI, SAIFI definíciója, megjelenése az elosztói ösztönzésben.

VI. Szakmai törzsanyag választható ismeretei

A szakmai törzsanyag kötelezően választható ismereteit a mellékspecializációk és a projektantárgyak képezik. A hallgatóknak a főspecializáció mellett a felkínált mellékspecializációk egyikét is el kell végezni. A mellékspecializációk célja egy szűkebb szakterületen hasonló, mint a főspecializációké. A mellékspecializációk esetén is valamennyi tantárgyból meg kell szerezni a kreditet az MSc fokozat elnyeréséhez. A fő- és mellékspecializációk tetszőlegesen párosíthatók. A specializációk keretein belül a hallgatók ún. projektantárgyakat is felvesznek, melyek az 1. szemeszertől kezdődően végigívelnek a képzésen. Ezen tantárgyakban a hallgatók néhány fős csoportokban, vagy önállóan oldanak meg nagyobb méretű műszaki feladatokat (projekteket), egy-egy téma akár több tantárgy keretein is átívelhet (minden egyes tantárgy számára konkrét, önállóan értékelhető részfeladatot megfogalmazva).

VI.1 Mellékspecializációk

A hallgatóknak a főspecializáció mellett a felkínált mellékspecializációk egyikét is el kell végezni. A mellékspecializációk célja egy szűkebb szakterületen hasonló, mint a főspecializációké. A mellékspecializációk egy A és egy B jelű elméleti tantárgyat tartalmaznak, az A tantárgyhoz itt is laboratórium kapcsolódik. Ebben a blokkban választási lehetőség nincs, a hallgatóknak mindhárom tantárgyat teljesíteniük kell a mellékspecializáció teljesítéséhez.

A fő- és mellékspecializációk tetszőlegesen párosíthatók.

VI.1.1 Akusztika és hangtechnika mellékspecializáció (HIT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Akusztika és hangtechnika
(Acoustics and Audio Technologies)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** HIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Rucz Péter adjunktus (HIT)

6. A specializáció célkitűzése:

A mellékspecializáció két elméleti tantárgya és az akusztika-hangtechnika laborgyakorlatok olyan ismeretekkel vértetik fel a hallgatókat, amelyek birtokában hangtechnikai, valamint akusztikai tervezési (környezeti zaj- és rezgésvédelmi, autóiipari, teremakusztikai) feladatokat megoldó cégek, rádió-, televízió- és filmstúdiók munkájában sikerrel vállalhatnak feladatokat. A Hangtechnika tantárgyat elvégző hallgatók megismerkednek a hangtechnika alapjaival, a hangosítás, illetve a stúdiótechnika elemeivel, rendszertechnikájával. Az Akusztika tantárgyat hallgatók megismerkednek a hangterjedés fizikájával és annak modelljeivel, a hangszórók és mikrofonok működési mechanizmusával és a teremakusztikai tervezés alapjaival. A laboratóriumi tantárgy az egyetemi laboratóriumban és külső helyszínen végzett méréseken keresztül mélyíti az akusztikai, illetve hangtechnikai ismereteket.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Akusztika	A tantárgy	BMEVIHIMA19
Hangtechnika	B tantárgy	BMEVIHIMA20
Akusztika és hangtechnika laboratórium	A labor	BMEVIHIMB06

Akusztika

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIHIMA19](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célkitűzése az akusztika, ezen belül különösen a műszaki akusztika alapfogalmainak és ezek összefüggéseinek megismertetése, az akusztikai rendszerekben lejátszódó folyamatok bemutatása és a gyakorlati alkalmazásokhoz, mérési és tervezési tevékenységhez szükséges alapismeretek átadása. Az oktatott témakörök súlypontja a hangterjedés fizikai mechanizmusa, a hullámterjedés matematikai leírása, és a megoldások gyakorlati akusztikai problémákra való alkalmazása. A tantárgy részletesen foglalkozik a koncentrált paraméteres mechanikai és akusztikai hálózatokkal, a hangtér modális leírásával, elektroakusztikai átalakítók analízisével és tervezésével, valamint érint teremakusztikai problémákat is.

2. A tantárgy tematikája

Szabadtéri hangterjedés. A hangtér leíró paraméterei, hangnyomás, sűrűség, kitérés, sebesség, gyorsulás, specifikus impedancia, hangnyomásszint, dB-skála. A homogén akusztikai hullámegyenlet egy, és három dimenzióban idő- és frekvenciatartományban.

A hullámegyenlet egyszerű megoldásai a változók szeparációjával: síkhullámok, hengerhullámok, gömbhullámok. Az inhomogén hullámegyenlet és megoldásai: a Green-függvény, monopólus és dipólus tere, iránykarakterisztika fogalma.

Hanghullámok viselkedése közeghatáron. Lokálisan reaktív felületek, felületi/bemeneti impedancia fogalma. Síkhullámok visszaverődése sík felületről, reflexiók, elnyelési tényező. Visszaverődés végtelen merev falról, tükrőforrások módszere.

Kültéri lesugárzási problémák. A Kirchhoff-Helmholtz-integrál. Végtelen merev síkba ágyazott sugárzó tere, a Rayleigh-integrál. Távtéteri leírás, iránykarakterisztika. Elsugárzott teljesítmény, sugárzási impedancia, sugárzási hatékonyság fogalma.

Síkhullám sorfejtés és alkalmazásai. Lemezek rezgései. Végtelen lemez rezgései és lesugárzott nyomásteret. Véges méretű lemez módusai és lesugárzott tere, a modális szuperpozíció elve.

Beltéri lesugárzási problémák, teremakusztika. Hullámterjedés zárt csőben, kisfrekvenciás 1D modellek. Koncentrált mechanikai paraméterek és azok összekapcsolása. Első- és magasabb fokú rezgőrendszerek analízise, akusztikai analógiák.

Hullámterjedés zárt csőben a változók szeparációjával. 1D hangtér merev, ideálisan szabad ill. szabad féltérbe való sugárzás esetén. Összetett akusztikai rendszerek tere: a Helmholtz-rezonátor jellemzői.

Hullámterjedés zárt térben (merev falú szobában). A 3D hullámegyenlet megoldása merev falú zárt térben a változók szeparálásával, modális szuperpozícióval. Téglalap alapú szoba módusai, a módusalakok értelmezése, teljes megoldás módusokkal.

A teremimpulzusválasz értelmezése, különböző szakaszai. A teremimpulzusválasz becslése (geometriai akusztika): tükörforrások módszere. A teremimpulzusválasz mérés technikája.

Zárt terek statisztikai jellemzése. EDC, és egyéb integrált RIR-energiajellemzők. Az utózengezési idő, Eyring-, Sabine-modellek. Szabványos teremjellemző paraméterek.

Zárt terek akusztikai tervezése, akusztikai anyagok. Akusztikus elnyelők elmélete. Abszorptív elnyelők jellemzői. Lemezrezonátorok jellemzői. Helmholtz-rezonátorok jellemzői. Összetett rendszerek jellemzése, a transzfermátrix-módszer. Elnyelők mérés technikája, a Kundt-cső elmélete.

Elektromechanikus átalakítók. A Dinamikus hangszóró. Kisfrekvenciás jellemzés: A hangszóró elektromechanikai helyettesítő képe, Thiele-Small paraméterek. A hangszóró átvitele. A sugárzási impedancia hatása, szabad ill. végtelen féltér esetekben. A dobozolás hatása. Nagyfrekvenciás jellemzés: körlemez módusai, a valós membrán lesugárzott tere.

Dinamikus és kondenzátormikrofonok. A kondenzátormikrofon kisfrekvenciás helyettesítőképe. A kondenzátormikrofon nagyfrekvenciás analízise. A kondenzátormikrofon saját zaja. Szabadtéri és nyomásmikrofonok.

Hangtechnika

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIHIMA20](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja azon tevékenységek alapvető, műszaki ismereteinek elsajátítása, amelyeket a magát „hangmérnöknek” valló gyakorló szakembertől elvárnak. Különös hangsúlyt kapnak az élő hangosítás kérdései, ugyanis ezen a téren a legszembeötlőbb az ezzel foglalkozók műszaki tudásának a hiánya. A tantárgy kitüntetett célja, hogy a villamosmérnöki alapismeretekkel már rendelkező hallgatók tudásukat hangtechnikai ismeretekkel kibővítve képesek legyenek hangosítási ill. egyéb hangtechnikai feladatokat kompetens módon ellátni.

2. A tantárgy tematikája

Akusztikai alapok rövid átvételése hangtechnikai szemszögből: hangnyomás, hangnyomásszint, hanghullám fajták.

Pszichoakusztika I: az emberi fül szerkezete és a hallás folyamata, hangosság, hangosság, phon ill. sone fogalmak, kritikus sávok.

Pszichoakusztika II: egyidejű elfedési jelenség, elő/utóelfedés, ill. ezek kihasználása pszichoakusztikus kódolásokban, tranziens-detekció.

Hangforrás lokalizáció (beérkező intenzitás/fázis alapján), sztereó irányhallás (fantomforrás lokalizáció) térhatású hanglesugárzás: Quadro, Dolby Stereo, -Surround (Pro Logic), -Digital Haas hatás (irányhallás teremben, kihasználása hangosítási feladatok során).

Virtuális akusztika – térhangzás (hanglesugárzás):
hangszóró alapú reprodukciós technikák: Ambisonics, WFS, Dolby Atmos

fejhallgató alapú hangtér-reprodukció, HRTF-ek mérés technikája, feldolgozása és alkalmazása
Hangsugárzók rendszerek alapelemei és azok jellemzői (normál, tölcséres, klaszter),
subwooferek/hangsugárzók falhoz/sarokba állításának hatása.
Irányított hanglesugárzás, iránykarakterisztika értelmezés. Elektronikus vezérlésű beszéd-célú
hangoszlop: nyalábszélesség, -döntés.
Line-array rendszerek, Nagykoncertek hangosítási nehézségei (oldalirányú lesugárzás, subwooferek
pozicionálása). Végfokokok teljesítmény-jellemzői: szinusz/zenei/csúcs teljesítmény, csúcs-rms
arány, koncerthangosításra optimalizálás, digitális végfok.
PA (=Public Addressed) ill. HiFi hangsugárzók összehasonlítása (hatásfok, dinamika, hanghűség). Aktív
és passzív hangsugárzók összehasonlítása (hatásfok, frekvenciaterjedelem, hanghűség, súly,
ár). Stúdió monitor, ill. HiFi hangsugárzók összehasonlítása.
Mikrofonok hangtechnikai alkalmazása: dinamikus ill. kondenzátor mikrofon, csoportosításuk felhasználás
célja szerint. Mikrofonok hangtechnika szempontjából fontos paraméterei: frekvenciamenet,
iránykarakterisztika.
Analog jelvezetés-technika. Szimmetrikus-aszimmetrikus jelvezetés, fantom-táplálás, jelszintek
(mikrofon, elektromos hangszerek, vonali szint), dB referenciák: dBV, dBm, dBu, földhurok, DI-Box,
digitális audio jelek továbbítása: AES/EBU, SPDIF, ADAT, MADI.
Hang-rendszer-technika. Mikrofon-keverő, effektek, hangsugárzó, monitorozás, rögzítés. Keverőpult
csatorna- és master szekció. digitális szinkronizálás, automatizálás.
Mobil hangosítás speciális kérdései. hangjelek vezeték nélküli továbbítása, hangsugárzók és egyéb
hangtechnikai elemek tápellátása.

Akusztika és hangtechnika laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIHIMB06](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy a hallgatók laboratóriumi mérések elvégzésével szerezzenek gyakorlati tudást az Akusztika és Hangtechnika c. tantárgyakban elsajátított ismeretekből. A tantárgy keretében szereplő laboratóriumi foglalkozások az akusztika és hangtechnika lehetséges alkalmazásait mutatják be. A mérések a korábbi tantárgyak ismeretanyagának elmélyítését, mérés-technikai és gyakorlati aspektusokkal való kiegészítését szolgálják. A laboratóriumi foglalkozásokon a hallgatók kis (2-3 fős) csoportokban vesznek részt, azzal a céllal, hogy közvetlenül megismerhessék, használhassák az akusztikai mérőeszközöket, hangtechnikai berendezéseket. A tantárgyban egy alkalommal ipari látogatást szervezünk, melynek célja, hogy a hallgatók olyan környezetekkel ismerkedhessenek meg, ahol a mellékspecializáció ismereteit a napi gyakorlatban is alkalmazzák.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő elvégzendő méréseket tartalmazza:

- Környezeti zajmérés és -feldolgozás
A hallgatók megismerkednek a terepi zajmérés gyakorlatával és eszközeivel. Saját maguk által rögzített zajesemények kiértékelésével sajátítják el a fontosabb akusztikai jellemzők (pillanatnyi és átlagos hangnyomásszintek, keskenysávú és tercsávú spektrumok) számításának menetét.
- Hangsugárzó paramétereinek meghatározása
E laboratóriumi mérésben egy hangszóró Thiele–Small paramétereinek meghatározása a hallgatók feladata. A mért mechanikai és elektromos jellemzők alapján paraméterillesztéssel határozzák meg a hallgatók a hangszóró ekvivalens paramétereit, melyek felhasználásával például doboz tervezhető a hangszóró beépítéséhez.
- Rezgésakusztikai móduselemzés

A mérés során a hallgatók a kísérleti móduselemzés gyakorlatával ismerkednek meg.
A laboratóriumi feladatban a hallgatók egy egyszerű rezgő rendszer sajátfrekvenciáit és módusalakjait mérik meg különböző peremfeltételek mellett.

- Hangszintézis és –analízis

Ebben a labormérésben a hallgatók a zenei jelfeldolgozás néhány feladatába nyernek betekintést. Megismerkednek frekvenciamérő módszerekkel, illetve a hangszintézis egyes technikáival (additív szintézis, ADSR).

- Akusztikai kamera

A mérés a sokcsatornás mikrofontömbbel végezhető forráslokalizációs, illetve –szeparációs feladatok gyakorlati alkalmazását mutatja be. A süketszobai mérésben a hallgatók mikrofontömbbel rögzítenek jeleket, majd utófeldolgozással megkeresik és a háttérzajból kiemelik a szobában elhelyezett hangforrásokat.

- Dolby surround keverés

A gyakorló stúdióban végzett mérésben a hallgatók az 5.1 hangrendszerre történő audio keverést gyakorolják előre elkészített, különböző mikrofonozási technikákkal rögzített felvételek segítségével.

- Virtuális hangtér szimuláció

A mérés célja, hogy a hallgatók megismerkedjenek a sokcsatornás hangtérreprodukció alapjaival, illetve valós hangterek fejhallgatón történő szimulációjának lehetőségeivel.

- Teremakusztikai mérések

A hallgatók a teremakusztikai jellemzők kísérleti meghatározásával, illetve geometriai jellemzők alapján történő becslésével ismerkednek meg. A mérés során különböző helyiségekben végzett mérésekkel határozzák meg a lecsengési időket, illetve azok frekvenciafüggését.

- Numerikus akusztikai számítások

A mérés célja az ipari gyakorlatban is gyakran alkalmazott számítógépes módszerekbe történő betekintés egyszerű példaszámításokon keresztül. A mérés során a hallgatók feladata egy rezgő test által lesugárzott hangtér kiszámítása, mely tartalmazza a geometria és a peremfeltételek megadását, a szimulációs paraméterek beállítását, a számítás elvégzését, illetve az eredmények kiértékelését.

- Ipari látogatás

Az ipari látogatás során a hallgatókkal olyan akusztikai vagy hangtechnikai műhelyhez látogatunk el, ahol a két elméleti és a laboratóriumi tantárgyban oktatott ismereteket a napi gyakorlatban alkalmazzák. A látogatás célja, hogy a hallgatók közelebbről is láthassák, milyen elhelyezkedési lehetőségekkel számolhatnak a hangtechnika, illetve az akusztika területein.

VI.1.2 Alkalmazott elektronika mellékspecializáció (AUT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Alkalmazott elektronika
(Applied Electronics)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** AUT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Balogh Attila egyetemi docens (AUT)

6. A specializáció célkitűzése:

Az elektronikus átalakítók szakterülete napjainkban dinamikus változásokon megy keresztül és reneszánszát éli a korszerű félvezető elemek és irányítási módszerek megjelenésének köszönhetően. Az elektronikus átalakítók mind a háztartás, mind az ipar teljes területén megtalálhatóak, ahol a rendelkezésre álló feszültség hullámformáját, értékét vagy frekvenciáját a táplálni kívánt eszközhöz illeszteni szükséges. A teljesség igénye nélkül a legnépszerűbb ipari területek közé tartoznak a megújuló energiaforrások átalakítói, LED-es fényforrások tápegységei, elektromos autótöltő rendszerek, energiatárolóval üzemeltetett szünetmentes energiaellátó és hálózati feszültségminőség javító berendezések, valamint járművek energiaellátó rendszerei. Az elektronikus átalakítók tervezéséhez, alkalmazásához és üzemeltetéséhez értő kvalifikált szakemberekre az ipar igénye egyre nagyobb. Az elvárások velük szemben igen magasak mind a szakterület szerteágazósága, mind az elméleti ismeretek dinamikus fejlődése és megújulása miatt. A mellékspecializáció hidat alkot az ipari hardver, elektronika és beágyazott szoftvertechnológiák között és irányt mutat a hallgatóknak a korszerű teljesítményelektronikai alkalmazások kutatása és megvalósítása felé.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Elektronikus tápegységek	A tantárgy	BMEVIAUMA19
Teljesítményátalakítók irányítása	B tantárgy	BMEVIAUMA20
Teljesítményelektronika laboratórium	A labor	BMEVIAUMB08

Elektronikus tápegységek

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIAUMA19](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy keretein belül a hallgatók megismerkednek a lineáris üzemű és a kapcsolóüzemű tápegységekkel, utóbbiak galvanikusan csatolt és galvanikusan leválasztott változataival, valamint a rezonáns és hálózatbarát tápegységek üzemviszonyaival és méretezési alapjaival. Ezt követően a tápegységek alapvető alkatrészeivel, azoknak főbb jellemzőivel és kiválasztási szempontjaival foglalkozunk. Az egyes részterületek kibontását a teljesítményelektronika napjainkban korszerű területeiből vett jellegzetes, érdeklődésre számot tartó ipari alkalmazási példák teszik plasztikussá.

2. A tantárgy tematikája

Bevezető előadás

Elektronikus tápegységek csoportosítása feszültségszint, leválasztási mód, átalakítási mód és a kimenetek száma szerint. Tápegységek alkalmazási területeinek, illetve a bennük alkalmazott tipikus félvezető elemeknek a bemutatása.

Galvanikusan csatolt DCDC konverterek

Feszültségcsökkentő, feszültségnövelő és polaritás fordító DCDC konverter folyamatos áramvezetési üzemének ismertetése, jellemző időfüggvények és a kimeneti feszültség meghatározása. A félvezető elemek, a beépítendő kapacitás és induktivitás paramétereinek meghatározása.

Forward konverter

A FORWARD konverter változatainak ismertetése, jellemző időfüggvények és a kimeneti feszültség meghatározása folyamatos és szaggatott áramvezetés esetén. A félvezető elemek, a beépítendő kapacitás, induktivitás és transzformátor paramétereinek meghatározása.

Flyback konverter

A FLYBACK konverter változatainak ismertetése, jellemző időfüggvények és a kimeneti feszültség meghatározása folyamatos és szaggatott áramvezetés esetén. A félvezető elemek, a beépítendő kapacitás, induktivitás és transzformátor paramétereinek meghatározása.

Galvanikusan leválasztott DCDC konverterek

A közbülső váltakozó áramú körös DCDC konverter ismertetése, jellemző időfüggvények és a kimeneti feszültség meghatározása folyamatos és szaggatott áramvezetés esetén. A félvezető elemek, a beépítendő kapacitás, induktivitás és transzformátor paramétereinek meghatározása.

Dual-Active-Bridge

A DAB (Dual-Active-Bridge) konverter és vezérlési módjainak ismertetése, jellemző időfüggvények és a kimeneti feszültség meghatározása. A félvezető elemek igénybevételeinek és a transzformátor paramétereinek meghatározása.

Rezonáns konverterek alapjai

A folyamatos üzemű és a kvázi rezonáns DCDC konverterek felépítésének, valamint a ZVS (Zero-Voltage-Switch) és ZCS (Zero-Current-Switch) működési tartományoknak az ismertetése, a kimeneti feszültség meghatározása rezonáns konverterek esetén.

ACDC tápegységek, hálózatbarát változatok

Az induktív és kapacitív szűrésű diódás egyenirányító hálózati visszahatásának meghatározása. Feszültségnövelő DCDC konverteren és egyfázisú hídkapcsolású inverteren alapuló szinuszos áramfelvételű hálózatbarát tápegységek ismertetése és a hálózati torzításuk meghatározása.

Mágneses körök alapjai

A mágneses alapfogalmak, valamint a mágneses körökben alkalmazható kemény és lágy mágneses anyagok tulajdonságainak áttekintése. Transzformátorokban és fojtókban alkalmazható tekercselőanyagok és szigetelőanyagok ismertetése, konstrukciós megoldások kis és nagyáramú alkalmazásokban.

Transzformátorok tervezése

Transzformátorok méretezési lépéseinek áttekintése, a minimálisan szükséges ferromágneses anyag méretének, a menetszámoknak, a tekercselőhuzal keresztmetszetének és felépítésének meghatározása a Skin és közelségi hatás figyelembevételével. A transzformátorban keletkező veszteségek számítása.

Fojtók tervezése

Diszkrét és elosztott légréses fojtók méretezési lépéseinek áttekintése, a minimálisan szükséges ferromágneses anyag méretének, a menetszámnak, a tekercselőhuzal keresztmetszetének és felépítésének meghatározása a Skin és közelségi hatás figyelembevételével. A fojtóban keletkező veszteségek számítása.

Félvezető-meghajtó áramkörök

Tápegységekben alkalmazott félvezető meghajtó áramkörök funkcióinak ismertetése, alsó oldali, felső oldali és teljes hídág meghajtása. Bootstrap és galvanikusan leválasztott meghajtó áramkör ismertetése és méretezése. A főáramkör parazita kapacitásának, induktitásának vezérlőkörre gyakorolt visszahatásának vizsgálata. AVC (Active-Voltage-Clamping) áramkörök ismertetése.

Konstrukciós kérdések, hűtés

Tápegységek tervezésénél használt főbb szabványok, érintésvédelmi módok, átütési feszültség, kúszóút, mechanikai és villamos védettségi fokozatok ismertetése. A félvezetők és mágneses elemek levegő, folyadék és hibrid hűtési megoldásainak áttekintése.

Tápegységek elektromágneses kompatibilitása

A tápegységekben fellépő vezetett és sugárzott zavarforrások meghatározása. Az induktívan és kapacitívan becsatolt zajok elleni védekezési lehetőségek ismertetése. Hálózat oldali differenciál és közös módú zavarűrlő tervezése.

Teljesítményátalakítók irányítása

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIAUMA20](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy keretein belül a tápegységekben alkalmazott érzékelési módszerekkel és a konverterek irányítástechnikai kérdéseinek, problémáinak körüljárásával foglalkozunk ipari szempontok figyelembevételével. A hallgatók gyakorlati megközelítésből megismerkednek a lineáris és kapcsolóüzemű tápegységek és inverterek szabályozástechnikai modelljeivel és irányítási módszereivel, betekintést kapnak a szabályozási elvek megvalósítására (modellvezérelt tervezés) és az implementáció valósídjú ellenőrzésére.

2. A tantárgy tematikája

Bevezető előadás

DCAC tápegységek csoportosítása feszültség szint, leválasztási mód és átalakítási mód szerint. Inverterek alkalmazási területeinek bemutatása.

Teljesítmény-átalakítók áramérezékelési módszerei

A tápegységekben alkalmazott áramérezékelési módszerek ismertetése. Söntös, áramváltós, Hall effektuson alapuló és Fluxgate elvű megoldások felépítése, alkalmazhatósági területeinek ismertetése és az elérhető pontosság meghatározása.

Teljesítmény-átalakítók feszültségérezékelési módszerei

A tápegységekben alkalmazott feszültségérezékelési módszerek ismertetése. Kompenzált feszültségosztó, differenciál erősítő közös módú és differenciál módú szűrővel, Hall effektuson alapuló megoldások felépítése, alkalmazhatósági területeinek ismertetése és az elérhető pontosság meghatározása.

Teljesítmény-átalakítók jeleinek galvanikus leválasztása

A tápegységekben előforduló analóg és digitális jelek leválasztási módjainak ismertetése. Optikai, induktív és kapacitív leválasztáson alapuló megoldások felépítése, alkalmazhatósági területeinek ismertetése és az elérhető pontosság meghatározása.

Szabályozástechnikai alapok – Lineáris szabályozók

Lineáris forrásról táplált soros belső feszültség – ellenállás – induktivitás áramkör irányítása arányos, integráló és PI szabályozóval. A szabályozási kör átviteli függvényének meghatározása, a paraméterek beállítása.

Szabályozástechnikai alapok – Kapcsolóüzemű szabályozók

Kapcsolóüzemű forrásról táplált soros belső feszültség – ellenállás – induktivitás áramkör irányítása impulzusszélesség modulációra épülő PI szabályozóval. A szabályozási kör átviteli függvényének meghatározása, a paraméterek beállítása.

Egyfázisú inverterek főáramkörének felépítése, vezérlési módszerek

Egyfázisú hídkapcsolású inverter felépítése és jellemző időfüggvényeinek meghatározása ellenütemű és eltolt vezérlés esetén. Az áramhullámosság kitöltési tényező függésének, illetve a félvezetők igénybevételének meghatározása.

Hálózatra kapcsolt egyfázisú inverter DC feszültségének szabályozása

Egyfázisú hídkapcsolású aktív egyenirányító felépítése és jellemző időfüggvényeinek meghatározása ellenütemű és eltolt vezérlés esetén. A feszültségszabályozási kör átviteli függvényének, valamint a szabályozó paramétereinek meghatározása.

Hálózatra kapcsolt egyfázisú inverter áramszabályozása, szinuszjel identifikátor

Hálózatra kapcsolt egyfázisú hídkapcsolású inverter áramszabályozási kör átviteli függvényének, valamint a szabályozó paramétereinek meghatározása. A hálózati feszültség amplitúdójának, frekvenciájának és fázishelyzetének meghatározása. A rezonáns szabályozó bevezetése.

Háromfázisú inverterek főáramkörének felépítése, kiadható feszültségek

Háromfázisú hídkapcsolású inverter felépítése és a kiadható feszültségek meghatározása egyszerű vezérlés esetén. A Clarke és Park transzformáció bevezetése, a csillagpont potenciáljának alakulása.

Háromfázisú modulációk

Háromfázisú hídkapcsolású inverterben alkalmazott modulációs technikák és felhasználási területeinek ismertetése. A fázisonkénti szinuszos, szimmetrikus és Flat-top moduláció bevezetése, a félvezetők veszteségének alakulása különböző modulációk esetén.

Hálózatra kapcsolt háromfázisú inverter d-q áramszabályozása

Hálózatra kapcsolt háromfázisú hídkapcsolású inverter vektoros áramszabályozása. A szabályozási kör átviteli függvényének, valamint a szabályozó paramétereinek meghatározása.

HIL rendszerek alapjai

A teljesítményelektronikában alkalmazott HIL (Hardware-in-the-loop) rendszerek felépítésének és tulajdonságainak ismertetése. A folytonos és diszkrét idejű modellek elkészítése egyszerű passzív áramkörök és ideális félvezetők esetén.

HIL rendszerek használata

A HIL rendszer alkalmazása a gyakorlatban. Teljesítményelektronikai áramkörök modelljének automatikus kódgenerálása MATLAB környezetből FPGA-ra és mikrokontrollerre.

Teljesítményelektronika laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIAUMB08](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, AUT)

1. A tantárgy célkitűzése

A mérések keretein belül a hallgatók megismerkednek a teljesítményelektronika vezető területeivel és korszerű ipari készülékeken végeznek méréseket és valósítanak meg új funkciókat. A mérések során lehetőségük nyílik az eddig megszerzett elméleti ismereteik gyakorlatba történő átültetésére.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő elvégzendő méréseket tartalmazza:

- Feszültségminőség javítása inverterekkel
Kapacitív és induktív meddőteljesítmény előállítása hálózatra kapcsolt inverter segítségével. A hálózati feszültség harmonikus tartalmának csökkentése, illetve feszültségbetörés és Flicker kompenzáció megvalósítása különféle szoftveres megoldások segítségével. Bemutató mérés.
- Háromfázisú szigetüzemű inverter irányítása
Feszültségszabályozásnak alárendelt áramszabályozás implementálása d-q koordinátarendszerben. A szabályozási kör paramétereinek beállítása és a zárt kör tesztelése passzív terheléssel.
- Egyfázisú hálózatra kapcsolt inverter irányítása
Hálózati feszültség amplitúdójának, frekvenciájának és fázishelyzetének meghatározása. PLL és rezonáns áramszabályozás implementálása. A szabályozási kör paramétereinek beállítása. Hatásos és meddő áram injektálása a hálózatba.
- DCDC konverter irányítása
Feszültségcsökkentő DCDC konverter kimeneti feszültségének vizsgálata vezérlésben. Áramszabályozó implementálása, a szabályozási kör paramétereinek beállítása és a zárt kör tesztelése LED-es terheléssel. Nemlineáris áramszabályozó és fölérendelt feszültségszabályozó implementálása és tesztelése.
- Tápegységek hálózati visszahatása
Egyfázisú hálózatra kapcsolt hídkapcsolású inverter hálózati visszahatásának vizsgálata. A felvett áram harmonikus tartalmának mérése. Különféle differenciál és közös módú hálózati zavaroszűrők tervezése és beépítése az áramkörbe, valamint azok szűrési tulajdonságainak vizsgálata.
- HIL szimuláció
Szinkron BUCK konverter és terhelésének offline MATLAB szimulációja folytonos időben lebegőpontos ábrázolással és diszkrét időben fixpontos ábrázolással. A MATLAB modellből automatikus kódgenerálás segítségével a HIL szimulátor kódjának generálása és tesztelése vezérelt és áramszabályozott üzemben.
- Tápegységek passzív áramköreinek vizsgálata

Diszkrét és elosztott légréses fojtók fluxus-áram, illetve induktivitás-áram görbéinek felvétele és kiértékelése. Kapcsolóüzemű tápegységekben használt kapacitások feszültség hullámosságra gyakorolt hatásának vizsgálata a belső soros ellenállásuk és induktivitásuk figyelembevételével. Transzformátor telítésének és a beiktatott légrés hatásának vizsgálata.

- Galvanikusan leválasztott konverterek irányítása
Egyfázisú teljes hídkapcsolású inverterrel táplált hídkapcsolású egyenirányítós közbülső váltakozó áramú körös DCDC konverter vezérlésének implementálása. Középfrekvenciás transzformátor indítása és elmágneseződés elleni védelme.
- Analóg tápegységek
Analóg vezérlőáramkörrel felépített DCDC konverter tervezése és mérése. Kereskedelmi forgalomban beszerezhető PWM vagy árammódú vezérlővel elektronikus DCDC tápegység építése, élesztése és paramétereinek vizsgálata.

VI.1.3 Alkalmazott szenzorika mellékspecializáció (ETT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Alkalmazott szenzorika
(Applied Sensors)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** ETT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Géczy Attila egyetemi docens (ETT)

6. A specializáció célkitűzése:

A mellékspecializáció célja, hogy a hallgató megismerkedjen a szenzorokkal kapcsolatos alapfogalmak rendszerével, szenzorok működési elveivel és előállítási technológiáival, szenzorok eszközstruktúráival. A technológiai megoldások, szenzorok példáján keresztül cél továbbá az alapeffektusok, mint a hőmérséklet, mechanikai terhelés, sugárzás és kémiai tulajdonságok mérési módszereinek bemutatása. Végezetül a beavatkozók áttekintésével egészül ki a mellékspecializáció tematikája.

A mellékspecializáció különös hangsúlyt fektet arra, hogy a hallgatók a rendszertechnikai alapokat is elsajátítsák, annak érdekében, hogy a bemutatásra kerülő orvosi- biológiai, autóiipari, gyártósori és további, kereskedelmi forgalomban elérhető szenzorrendszerekkel kapcsolatos esettanulmányok szemléleti értelmezése az önálló munkavégzésben is felhasználásra kerüljön.

Ezen túl cél a hallgató bevezetése a nanométeres méretskálán jellemző effektusok és speciális tulajdonságokat mutató anyagok világába. Szorosan kapcsolódva a specializáció megismerteti a hallgatót a nanométeres tartományban történő anyagvizsgálat (metrológia) alapjaival.

A multidiszciplináris tematika tanulmányozása során a hallgató naprakész ismeretekre tesz szert a 21. század jövőbeli érzékelőit meghatározó működési elvekről és technológiákról.

A gyakorlatok és laborfoglalkozások célja, hogy a hallgatók képesek legyenek a rendelkezésre álló alkalmazott szenzorikai fejlesztőeszközök megismerésével szenzor köré rendezett mérőrendszert építeni és azt mérnöki szemléletben, önállóan tesztelni, alkalmazni.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Szenzorok rendszertechnikája	A tantárgy	BMEVIETMA15
Bio- és nanoszenzorika	B tantárgy	BMEVIETMA16
Alkalmazott szenzorika laboratórium	A labor	BMEVIETMB04

Szenzorok rendszertechnikája

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIETMA15](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja megismertetni a hallgatókkal a villamos és optikai jeleket szolgáltató érzékelők és beavatkozók főbb típusait, működésük alapelveit, a technológiáikat és alkalmazási lehetőségeit.

A technológiai alapokon felül a tantárgy valós példákon keresztül, széles spektrumban mutatja be a szenzorok hasznosulását és alkalmazási lehetőségeit.

2. A tantárgy tematikája

A hallgató a tantárgy folyamán megismerkedik a szenzorokkal kapcsolatos alapfogalmak rendszerével.

Az előállítási technológiák mellett az eszközstruktúrák is bemutatásra kerülnek. A technológiai megoldások példáján keresztül bemutatásra kerülnek az alapeffektusok a hőmérséklet, mechanika, sugárzás és kémiai eseteken keresztül. A beavatkozók áttekintésével egészül ki a technológiai megoldások elemzése. A hallgatók a tantárgyat a rendszertechnikai alapok megismerésével folytatják. Ezek után bemutatásra kerülnek az orvosi, autóiipari, gyártósori és kommerciális alkalmazási

- lehetőségek. A tantárgy esettanulmányok és konkrét megoldások bemutatásával is szemlélteti az alkalmazás módszertanát, valamint a szenzorokban rejlő rendszerszintű lehetőségeket.
- Érzékelőkkel kapcsolatos alapfogalmak: az érzékelők fogalma, felosztása, jellemzői, intelligens és integrált érzékelők, újszerű követelmények.
- Előállítási technológiák. Speciális anyag típusok és technológiák (a szilícium anizotróp maratása, a felületi mikromegmunkálás). Szervetlen és polimer rétegek leválasztása.
- Eszközstruktúrák az érzékelőkben: Impedancia szerkezetek, félvezető eszközök, kalorimetrikus, rezonátor és száloptikai típusok.
- Alapeffektusok: A hőmérséklet hatásai: termorezisztív és termoelektromos, piroelektromos effektus. Mechanikai feszültség és deformáció hatásai: piezoelektromos, piezorezisztív effektus, kapacitásváltozás, elektret alkalmazása. Hagyományos mechanikai érzékelő típusok: elmozdulás, deformáció, erő-, nyomás- és gyorsulásérzékelők. Szilícium alapú erő-, nyomás- és gyorsulásérzékelők, a hőfokkompenzálás kérdései.
- Sugárzásérzékelők: termikus típusok és foton-detektorok. A mágneses tér hatásai: töltésselterítés Hall-effektus, magnetorezisztív effektus.
- A kémiai jelátalakítás molekuláris kölcsönhatásai: adszorpció, abszorpció, ioncserélődés, a kémiai optikai jelátalakítás lehetőségei, biokatalitikus folyamatok. Félvezető oxid alapú vékony- és vastagréteg gázérzékelők, a működés alapjai, jellemzők. Szilícium alapú kémiai érzékelő eszközök: gázérzékelő és ion-érzékelő FET-ek. A szelektív kémiai érzékelés problematikája, lehetséges megoldásai.
- A beavatkozók (aktuátorok) felosztása, működése. Piezoelektromos beavatkozók, mozgatók. Szervomotorok, léptetőmotorok. Magnetosztrikációs aktuátorok.
- A mikromechanika alapjai elektrosztatikus mikromotorok, szilícium alapú mikroaktuátorok, szelepek, optikai eltérítők, összetett beavatkozó rendszerek. Mikro-elektromechanikai rendszerek (MEMS).
- Rendszertechnikai alapok. Analóg szenzorok illesztése. Digitális szenzorok illesztése és kódolási módszerek. Speciális jelátviteli módszerek (fény, rádiófrekvencia). Távadók - analóg/digitális.
- Rendszertechnikai alapok, szenzorok vezeték és vezeték nélküli kommunikációja.
- Környezetvédelem és biztonság autóelektronikai érzékelőkkel megvalósítva; ABS, ASR, ESP; Gépjárművek káros anyag kibocsátásának szabályozása, előírások, lambda szondás szabályozási kör; Részecskeszűrők. Esettanulmány.
- Termikus érzékelők és alkalmazásaik; Kontakt és kontaktmentes hőmérők; Különböző gyártók termékeinek bemutatása. Ismerkedés a mérőeszközökkel.; Hőmérő elemek az elektronikai gyártástechnológiában;
- Nyomásmérők és alkalmazásaik, aktuátorok és nyomásmérők fúziója.

Bio- és nanoszenzorika

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIETMA16](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a hallgató bevezetése a nanométeres méretskálán jellemző effektusok és speciális tulajdonságokat mutató anyagok világába, valamint megismertetni őket ezek érzékelési célra történő felhasználásával. A hallgató megismerkedik a nano- és bioérzékelők főbb építőelemeivel, azok működési elveivel és alkalmazási lehetőségeivel. Az erősen multidiszciplináris tematika végigtanulmányozása során a hallgató naprakész ismeretekre tesz szert a 21. század jövőbeli érzékelő eszközeit meghatározó működési elvekről és technológiákról.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés: a bioérzékelők és nanoérzékelők definíciója. A bioérzékelők csoportosítása (affinitás és katalitikus típus; DNS alapú, immunoérzékelő, enzim alapú és élő sejt alapú érzékelők). Nanoméreteffektusok és kihasználásuk érzékelő és beavatkozó elemekben.

Jelölést alkalmazó bioérzékelő jelkiolvasási technikák. Jelölőmolekulák működése és típusaik. Elterjedt megoldások (pl. assay-k, ELISA, DNS-chip).

Jelölésmentes bioérzékelő jelkiolvasási technikák. Fontosabb jelkiolvasási (transzducer) eljárások (elektrokémia, optikai, akusztikus hullám alapú, félvezető alapú módszerek).

A bioérzékelőkben használt szerves nanoszerkezetek (DNS és fehérjék) alapvető tulajdonságai.

Önszerveződő rendszerek. Szerves, önszerveződő funkcionális rétegek (SAM, Self Assembled Monolayers) valamint bevonatok (pl. Langmuir-Blodgett) és alkalmazásuk. Előállítási technológiák, nanostruktúra optimalizálás, felhasználásuk szenzorokban.

Bioreceptor rétegek immobilizációs és regenerációs technikái.

Elektrokémiai alapfogalmak. A fontosabb nanoszenzorokban alkalmazott elektrokémiai eljárások (potenciometria, amperometria, voltametria, coulometria, elektrokémiai impedancia spektroszkópia).

Elektrokémiai elvű bioszenzorok. A jelgenerálás elektrokémiai elvei bioérzékelők esetén, alternatív jelátalakítási technikák (pl. nanopórusok).

Nanooptika, plazmonika. Optikai tulajdonságok változása a nano méretskálán. Plazmonok, plazmon rezonancia (SPR), lokalizált plazmon rezonancia (LSPR). Az optikai közeltér (evaneszcens régió) tulajdonságai és kiaknázása érzékelőkben.

Felületi plazmon rezonanciás képalkotás, mint bioérzékelő kiolvasási mechanizmus (SPRi). Nanoszerkezeteken lokalizált plazmonok alkalmazása érzékelőkben. SPRi rendszerfejlesztés és alkalmazási példák.

A nanoszenzorika építőelemei. Top-down vs. bottom-up strukturálás. Fém nanoszerkezetek, félvezetők, polimerek. Előállítási technológiák, tulajdonságok és alkalmazások érzékelőkben.

A szenzorok fontosabb paramétereinek (detektálási küszöb, érzékenység, szelektivitás, élettartam, regenerálhatóság stb.) javítása a különböző anyagcsaládokba tartozó nano-építőelemek felhasználásával. Klasszikus érzékelő konstrukciók módosítása nano-anyagokkal.

Mikro- és nanofluidika. Alapelvek, építőelemek, technológiák. A folyadékminta-kezelés evolúciójának öt állomása orvosi biológiai point-of-care eszközökben.

Kitekintés, meghívott ipari előadó.

Alkalmazott szenzorika laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIETMB04](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A laboratóriumi gyakorlatok célja a leggyakrabban alkalmazott szenzor típusok megismerése működés közben, az alkalmazástechnika és rendszerbeépítés problémáinak tanulmányozása, a hitelesítés és mérés módszereinek megismerése. A tantárgy célja továbbá, hogy a rendelkezésre álló korszerű fejlesztőeszközökön keresztül a hallgató képes legyen önállóan felépíteni egy alkalmazott szenzorikai mérőrendszert.

2. A tantárgy tematikája

A hallgatók a mérés-technikai környezetben alkalmazható szenzorokról, fejlesztőeszközökről kapnak ismertetést és gyakorlati példákat. A tematikus mérések során többek között az adatgyűjtés alapelveivel és eszközeivel, valamint a hozzájuk tartozó fejlesztőeszközökkel ismerkednek meg a méréseken részt vevő hallgatók. Ezek után a konkrét szenzorok és azok illesztési környezetének bemutatására kerül sor. A specifikus mérések a hőmérséklet-, fény-, nedvesség & páratartalom-, valamint nyomásérzékelés témakörét érintik gyakorlati példákon (pl. ipari érzékelés, lakossági szenzorok). A MEMS technológiák egyes szerkezetei, valamint az orvosi biológiai felhasználású eszközök fejlesztési- és alkalmazási technikái is megjelennek a tematikában. A tantárgy során a vezetett méréseken túl egy projekt végigvitelét / kifejeztetését is elvégzik a hallgatók.

- Bevezető mérés, elvárások, projekt témák egyeztetése, munka- és balesetvédelem.
- Alkalmazott szenzorikai fejlesztőeszközök bemutatása. Arduino rendszer alapjainak ismertetése, digitális és analóg illesztés, shieldek, szenzor modul (breakout) élesztése, alapszintű mérésekkel.
- Szenzorok illesztése LabView rendszeren keresztül, virtuális műszerek alkalmazása szenzoros mérésekhez. Virtuális műszer validálása.

- Környezeti szenzorok vizsgálata ipari minőségű szenzorok segítségével. Ambiens hőmérsékletmérés, nyomás, páratartalom. Megjelenítési lehetőségek.
- Orvosbiológiai alkalmazású szenzorok vezetett mérés.
- MEMS szenzorok vezetett mérés (MFA 3D MEMS erőmérőchipje és/vagy MEMS pellisztor gázérezékelők).
- Projekt fejlesztési folyamat áttekintése, irodalmazás áttekintése, dashboard kialakítási lehetőségek bemutatása.
- Ipari hőmérséklet és nyomásmérés az elektronikai gyártás típuspéldáin keresztül. Kemencék bemérése szenzorok segítségével.
- Projekt fejlesztés bemérése, validáció, laboratóriumi és terepi mérések összehasonlítása.
- Projekt fejlesztés bemutatása, műszaki tanulságok levonása, továbbfejlesztési lehetőségek áttekintése.

VI.1.4 E-mobilitás mellékspecializáció (VET-VME)

- 1. A specializáció megnevezése:** E-mobilitás
(E-Mobility)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Villamos Energetika Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** VET
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Veszprémi Károly egyetemi tanár (VET)

6. A specializáció célkitűzése:

A világ egyre inkább arra felé halad, hogy a közlekedés villamos járművekkel fog történni. Ez a trend már napjainkban is jelentős mértékben tetten érhető, és a jövőben egyre gyorsulni fog várhatóan. Az E-mobilitás mellékspecializáció célkitűzése ennek a technológiai változásnak a megalapozása eszköz- és rendszeroldarról.

Ez a terület speciális energiaátalakítókat, energiatárolókat, energiaellátási rendszereket, szabályozásokat és speciális mérnöki kompetenciákat igényel. A mellékspecializáció felkészíti a hallgatókat a korszerű megoldási technikák, tervezési-fejlesztési elvek és vizsgálati módszerek használatára, a bevált mérnöki gyakorlatok önálló alkalmazására.

A specializáció célja megismertetni a hallgatókat elsősorban a villamos járművekben használt speciális villamos gépek, villamos hajtások, teljesítményelektronikai átalakítók működésével, elemzésével, tervezésével, irányításával, vizsgálati módszereivel. A tananyag tartalmazza ezek alkalmazásával kapcsolatos speciális technikákat, megoldásokat és eszközöket.

A specializáción keresztül a hallgatók elsajátíthatják az ipari feladatok megoldásához szükséges mérnöki szemléletet és módszertanokat: rendszermérnöki (System Engineering), minőségbiztosításmérnöki (Quality Engineering), követelménymérnöki (Requirement Engineering) verifikációs és validációs mérnöki (Verification and Validation Engineering), és biztonságimérnöki (Safety Engineering) tématerületeken, fókuszálva az elektromos és hibrid járművek specialitásaira. A rendszerszintű megközelítés révén az E-mobilitás mellékspecializációt teljesítő villamosmérnökök megalapozott tudással helyezkedhetnek el a járműiparban, felkészülve akár a tanulmányok PhD-képzés keretében történő folytatására.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Korszerű villamos gépek és hajtások	A tantárgy	BMEVIVEMA20
Elektromos és hibrid járművek	B tantárgy	BMEVIVEMA21
E-mobilitás laboratórium	A labor	BMEVIVEMB06

Korszerű villamos gépek és hajtások

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIVEMA20](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja megismertetni a hallgatókat elsősorban a villamos járművekben használt speciális villamos gépek, villamos hajtások, teljesítményelektronikai átalakítók működésével, elemzésével, tervezésével, irányításával, vizsgálati módszereivel. A tananyag tartalmazza ezek alkalmazásával kapcsolatos speciális technikákat, megoldásokat és eszközöket. Nagy hangsúlyt fektetünk az alkalmazható számítógépes tervezési, irányítási és vizsgálati módszerek megismertetésére. A tárgyat megoldásokat esettanulmányokkal illusztráljuk.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés a tantárgy témaköreibe. A korszerű alkalmazások speciális problémái.
Általános villamosgép-tervezési ismeretek. Igénybevételek és kihasználási számok.
Forgómezős tekercselés tervezése, a térbeli és időbeli mennyiségek kapcsolata.
Aszinkrongép tervezésének elmélete: kalickás és tekercselt forgórész.
Szinkrongép tervezésének elmélete I.: kiálló pólusú és hengeres forgórész.
Szinkrongép tervezésének elmélete II.: állandómágneses, reluktancia, hibrid forgórész.
Korszerű számítási módszerek és technológiai megoldások.
Váltakozó áramú villamos hajtások szabályozási feladatai.
Állandómágneses szinkrongépes hajtás mezőorientált áramvektor szabályozása I.
Állandómágneses szinkrongépes hajtás mezőorientált áramvektor szabályozása II.
Kalickás forgórészű aszinkrongépes hajtás közvetlen nyomaték és fluxus szabályozása.
Mikroszámítógépes hajtásszabályozások.
Modell alapú hajtásfejlesztés.
Esettanulmányok a tantárgy témaköreiből.

Elektromos és hibrid járművek

Mellékspecializáció B tantárgy

[\(BMEVIVEMA21\)](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja megismertetni a hallgatókkal a napjainkban egyre fontosabb mérnöki kompetenciákat és ismereteket: rendszermérnöki (System engineering), minőségbiztosításmérnöki (Quality engineering), követelménymérnöki (Requirement engineering) verifikációs és validációs mérnöki (Verification and validation engineering), és biztonságimérnöki (Safety engineering) tématerületeken, fókuszálva az elektromos és hibrid járművek specialitásaira.

A tantárgyban nagy hangsúlyt fektetünk az elmélet mellett a gyakorlati tudás elsajátítására, ezért a félév során valós példákon és esettanulmányokon keresztül ismerik meg a hallgatók az egyes tématerületeket. A rendszermérnöki kompetencia elsajátításhoz a hallgatók megismerkednek az elektromos és hibrid járműhajtások részegységeivel, rendszer szintű felépítéssel, szabályozással, energiatároló és energiaellátó rendszerekkel, valamint különböző hibrid-elektromos topológiákkal. A tantárgyban nagy hangsúlyt kapnak az elektromos és hibrid járművekkel kapcsolatos minőségbiztosítási rendszerek, ezen kívül a tantárgy gyakorlati példákon keresztül megismerteti a hallgatókat követelménymérnöki, verifikációs és validációs mérnöki, valamint biztonságimérnöki alapokkal és folyamatokkal.

2. A tantárgy tematikája

Elektromos és hibrid járművek fajtái. Vontatáshoz szükséges vonóerő-sebesség jelleggörbe, és vontatási teljesítmény. Vonóerő, utazási sebesség és fékerő szabályozás követelményei.

Elektromos és hibrid járművek felépítése, részegységei, a fő- és a segédüzem feladatai.

Járművek fedélzeti energiatárolói, töltési módok. Felsővezetékes energiaellátás megoldásai városi és vasúti járművekhez. Több áramnemes mozdonyok és motorvonatok.

Egyenáramú motoros járműhajtások: Jellegzetes járműtípusok villamos hajtásainak és fejlesztési irányainak ismertetése (földalatti metró, városi villamosok, mozdonyok).

Váltakozó áramú motoros járműhajtások: Városi villamosok, trolibuszok, metrók villamos szabályozott villamos hajtásai. Jellegzetes járműtípusok és fejlesztési irányok ismertetése.

Elektromos és hibrid autók, hajók, repülőgépek felépítése, jellemző topológiák, fejlesztési irányok.

Elektromos és hibrid járművekre vonatkozó minőségbiztosítási rendszerek alapjai és folyamatai, auditok típusai, kockázatok kezelése.

Elektromos és hibrid járművek követelményrendszere a rendszer szinttől a komponensekig, verifikációs és validációs módszerek alkalmazása

Funkcionális biztonsági alapok, szabványok. Biztonsági folyamatok (V modell, FHA, PSSA, FMEA, SSA).

E-mobilitás laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIVEMB06](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a szakirány elméleti tantárgyaiban tanított tananyag alkalmazása gyakorlati, kísérleti körülmények között, laboratóriumi mérések keretében. Cél a team-ben végzett munka gyakorlása is.

2. A tantárgy tematikája

A következő témakörökhöz kapcsolódó laboratóriumi mérések lesznek

- Négynegyedes tirisztoros egyenáramú hajtás vizsgálata (két, egyforma felépítésű szabályozott hajtásból álló, mechanikailag kapcsolt gépcsoport villamos jellemzői)
- Egyenáramú szaggató hajtás vizsgálata (a zárt fordulatszám szabályozási kör Bode diagramjának felvétele)
- Frekvenciaváltós mezőorientált szabályozású aszinkronmotoros hajtás vizsgálata (jellegzetes Park-vektor pályák és időfüggvények megfigyelése)
- Mikroszámítógépes irányítású aszinkronmotoros hajtás vizsgálata (korszerű hajtásirányító (motor control) DSP megismerése és használata)
- Mikroszámítógépes irányítású szinkronmotoros hajtás vizsgálata (digitális szabályozási algoritmusok vizsgálata)
- Állandómágneses szinkrongépes hajtások, járműhajtások vizsgálata (pozíció- és fordulatszám szabályozás, szimmetrikus optimum)
- Állandómágneses kerékagymotor vizsgálata (mérleggéppel terhelve, fordulatszám és nyomaték mérése)
- Lítium alapú akkumulátorok karakterisztikáinak mérése (üresjárás, terhelés, töltés, kisütés)
- Kapcsolt reluktancia motoros hajtások vizsgálata (számítógépes irányítás megismerése, a hajtás dinamikai tulajdonságainak vizsgálata)
- Számítógépes labor: FEM modellezés (a kapcsolt reluktancia motor példáján keresztül a FEM modellezés megismerése)

VI.1.5 Épületvillamosság mellékspecializáció (VET-NF)

- 1. A specializáció megnevezése:** Épületvillamosság
(*Building's Electricity*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Villamos Energetika Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** VET
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Kiss István egyetemi docens (VET)

6. A specializáció célkitűzése:

Mind a hallgatók, mind a szakma részéről jelentős igény mutatkozik arra, hogy az épületvillamossági tervezésben alapvető ismeretekkel rendelkező villamosmérnök hallgatók jelenjenek meg a munkaerőpiacon. A mellékspecializáció keretében a korszerű épületvillamossági tervezés alapismereteit kívánjuk átadni, amelyeknek részét képezik a modern világítástechnika ismeretei, az épületvillamosság intelligens megoldásaival kapcsolatos ismeretek, valamint a tervekészítés mára teljesen számítógép alapúvá vált folyamatával és az alkalmazott eszközökkel kapcsolatos ismeretek.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Intelligens épületek és világítási rendszerek	A tantárgy	BMEVIVEMA22
Épületvillamossági számítógépes tervezés	B tantárgy	BMEVIVEMA23
Épületvillamosság laboratórium	A labor	BMEVIVEMB07

Intelligens épületek és világítási rendszerek

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIVEMA22](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

Megismertetni a hallgatót a kis- és nagyépületek automatizálásának lehetőségeivel. A tantárgy keretében részletesebben foglalkozunk a központi épületgépészet elemeivel és ezek automatizálásának lehetőségeivel, az épület komfortterei automatizálásának lehetőségeivel, a különböző automatizálások megvalósítására használt buszrendszerek működésével, felépítésével. A világítási rendszerek automatizálása kapcsán megvizsgáljuk a különböző típusú fényforrásokat automatizálással szemben támasztott igényeit is.

2. A tantárgy tematikája

Komfort, biztonság és fenntarthatóság az épületekben

- Ideális belső terek követelményei, kihívásai
- Hőmérséklet, hőérzet
- Levegőminőség
- Beteg épületek (Sic building syndrome)
- Vizuális komfort

A hőenergia szállítása

- Hőcserélők és közvetítő közegek
- Szivattyúk, szivattyúk kapcsolása
- Szelepek típusai
- Hőközpont kialakítása
- Hőmérséklet szabályozás

A hőenergia előállítása

- Hőszivattyúk típusai, működése

- Variable Refrigerator Volume (VRV), Variable Refrigerator Flow (VRF)
 - Deresedés problémái
 - Kazánok típusai
 - Távhő fogadása
 - Napkollektorok
 - Chillerek és szabadhűtő gépek
- A hőenergia hasznosítása
- Radiátorok, konvekciós hőátadási folyamat
 - Padlókonvektor
 - Felületfűtés, felülethűtés
 - Harmpont miatt kialakuló problémák elkerülése
 - Ventilátoros hűtő- és fűtőtestek
- Légtechnika
- Épületek szellőztetése
 - Légcsatorna hálózat elemei
 - Légkezelők típusai, felépítésük, vezérlésük
 - Hővisszanyerés
 - Párásítás, páramentesítés
- Tűzvédelem, hő- és füstmentesítés; Használati melegvíz előállítása
- Hő és füstmentesítés elemei, vezérlésük
 - Túlnyomásos lépcsőház
 - JET ventilátor funkciói
 - HMV tartályok, cirkulációs rendszer
 - Csíramentesítés
- Épületek villamosenergia ellátása; Betáplálási lehetőségek; Kisfeszültségű energiaelosztás
- KöF betáplálás, KiF betáplálás
 - Megbízható villamosenergia ellátás
 - Túlterhelés- és zárlatvédelem
 - Érintésvédelem és földelési rendszerek
 - Túlfeszültség védelem
 - Fogyasztásmérés
 - Vezérlő és jelzőkészülékek
- Hagyományos világításvezérlés, villamos fűtés, kapcsolóeszközök
- Kioldók
 - Terheléskapcsolók
 - Kontaktor, kontaktor kiválasztás alapjai
 - Hagyományos világítási áramkörök
 - Villamos fűtés
- Épületautomatizálási alapok, terepi eszközök
- Folyamatműszerezés
 - Irányító és irányított rendszerek az épületekben
 - Buszrendszerek alapjai
 - Fizikai adatpontok
 - Terepi eszközök, érzékelők, beavatkozók, távadók
- Épületautomatika, DDC készülékek, vezérlőszekrények, felügyelet
- PLC és DDC eszközök, felépítésük
 - Központi vezérlések
 - Épületgépészeti vezérlőszekrények, szerelvények
 - Felügyeleti rendszerek
- Komfort terek automatizálása, a KNX szabvány
- Egyedi zónaszabályozás
 - KNX topológiai kialakítása
 - Fűtés, hűtés vezérlés

- Világítás vezérlés, kapcsolat a DALI busszal
- Világítási alapismeretek
- Világítástechnikai alapfogalmak
 - Elektromágneses spektrum, fény
 - Fénykeltés
 - Sugárzási törvények
 - Láthatósági függvények
 - Fényáram, megvilágítás, fényerősség, fénysűrűség
 - Fényelnyelés, reflexió
 - Fényhasznosítás
- Fényforrások és lámpatestek típusai
- Hőmérsékleti sugárzók
 - Kisülőlámpák
 - Szilárdtest sugárzók
 - Lámpatestek tervezési szempontjai
 - Lámpatestek fényeloszlásának mérése
 - Káprázás
- Fényforrások és vezérlési elveik
- Áramköri szerelvények fényforrásokhoz
 - Előtétek, gyűjtők
 - Fényforrások újragyújtása

Épületvillamossági számítógépes tervezés

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIVEMA23](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

Mind a hallgatók, mind a szakma részéről jelentős igény mutatkozik arra, hogy az épületvillamossági tervezésben alapvető ismeretekkel rendelkező villamosmérnök hallgatók jelenjenek meg a munkaerőpiacon. A mellékspecializáció keretében a korszerű épületvillamossági tervezés alapismereteit kívánjuk átadni, amelyeknek részét képezik a modern világítástechnika ismeretei, az épületvillamosság intelligens megoldásaival kapcsolatos ismeretek, valamint a tervekészítés mára teljesen számítógép alapúvá vált folyamatával és az alkalmazott eszközökkel kapcsolatos ismeretek.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés. A tervezés, mint műszaki kommunikáció. Alapfogalmak, általános szabályok.

A számítógépes tervezés területei. Készülékjelölések.

Az épületvillamossági tervezés tipikus feladatai. Szabványok, rendeletek. Házi feladatok kiadása

Egyszerű elosztószekrény tervezése motorvédelemhez. A feladat megoldásához szükséges lépések áttekintése mintaterv elemzésével.

Ábrázolási, rajzkészítési szabályok, rajpszámozási rendszerek

A dokumentáció részei: műszaki leírás, tervezői nyilatkozat, tervrajzok, műbizonylatok, mérési jegyzőkönyvek, kiviteli terv stb.

Tervfajták: energiaellátási hálózat, világítási hálózat, gyengeáramú hálózat, túlfeszültség- és zavarvédelem stb. Nyomvonaltervek, vonalas kapcsolási rajzok, elosztószekrény, homológképrajz.

Energiaigény meghatározását elősegítő eszközök. Világítástechnikai tervezőprogramok.

Méretezési és kiválasztási feladatokat segítő eszközök (keresztmetszet-kiválasztás, védelmi eszközök kiválasztása, ellenőrzés szelektivitás és áramütés elleni védelem szempontjából).

Villamos, mágneses és elektromágneses ellenőrző számítások.

Villámvédelmi tervezőprogramok 1. Működési alapok, MSZ EN 62305 szabvány áttekintése

Villámvédelmi tervezőprogramok 2. Alkalmazások.

Adatcsere az egyes tervezőrendszerek között. Tipikus adatformátumok.

AutoCAD programozási esettanulmányok.

Épületvillamosság laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIVEMB07](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

Laboratóriumi mérések keretében elmélyíteni az Intelligens épületek és világítási rendszerek és az Épületvillamossági számítógépes tervezés tantárgyakban tanult ismereteket.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő elvégzendő méréseket tartalmazza:

- Motorok hő- és áramvédelmének összehasonlító vizsgálata
- Koordinált túlfeszültségvédelmi rendszer vizsgálata
- Villámvédelmi felfogórendszer hatékonyságának vizsgálata
- Világításvezérlés KNX rendszer segítségével
- Fényforrások EMC vizsgálata GTEM cellával
- Épületinformatikai rendszer alkalmazása energiahatékonyság növelésére
- Nagyfeszültségű laboratórium áramütés elleni védelmének vizsgálata
- Épület villamos hálózatának intelligens mérése
- Megvilágítás mérés alapján állandó fényerőre szabályozás beállítása
- Épületekben előforduló AC és DC erőterek mérése

VI.1.6 FPGA alapú rendszerek mellékspecializáció (MIT)

- 1. A specializáció megnevezése:** **FPGA alapú rendszerek**
(FPGA-Based Systems)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** MIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Szántó Péter mesteroktató (MIT)

6. A specializáció célkitűzése:

A programozható logikai áramkörök (FPGA-k) jelentősége az elektronikai rendszerfejlesztés minden területén növekszik. Általános realizációs platformot kínálnak a komplex digitális eszközök, nagyteljesítményű beágyazott rendszerek, mesterséges intelligencia alkalmazások, multiprocesszoros SoC megoldások, nagysebességű kommunikációs berendezések és digitális jel/kép/video feldolgozó funkcionális egységek számára. Az újrakonfigurálható hardver a nagy számítási igényű feladatok jelentős részében nagyságrendi gyorsítási lehetőséget biztosít kiváló energiahatékonyság mellett. A közvetlen, feladatorientált számítási architektúrák a nagyfokú párhuzamosíthatósággal és a nagy sávszélességű interfészekkel extrém műveletvégzési teljesítményű HW gyorsító egységek tervezését biztosítják különböző tudományos és gyakorlati alkalmazásokban. A legújabb generációs eszközök a heterogén felépítésük következtében hatékonyan támogatják a legkedvezőbb HW-SW dekompozíció kiválasztását, a különböző tervezési követelmények érvényesítését. Az eszközök hatékony alkalmazása megköveteli a legkorszerűbb tervezési, fejlesztési technológiák, CAD módszerek, és eszközök megismerését. Az integrált fejlesztőrendszerek a tervezési specifikációtól, a magasszintű a feladatmegfogalmazáson át a szimulációs, implementációs és ellenőrzési, hibakeresési folyamaton keresztül minden fázisban a tervezési technológia legmodernebb módszerit biztosítják. Az összetett rendszerek kompozíciójában jelentős az IP alapú építkezés, a verifikációs ciklusban a szimuláció és a HIL tesztelés. A programozható logikai áramkörök használata a hazai elektronikai fejlesztésekben egyre jelentősebb és ez fokozódó igényt jelent a területen jártas tervezőmérnökök iránt.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
FPGA alapú rendszerek fejlesztése	A tantárgy	BMEVIMIMA24
Heterogén SoC rendszerek	B tantárgy	BMEVIMIMA25
FPGA tervezői laboratórium	A labor	BMEVIMIMB08

FPGA alapú rendszerek fejlesztése

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIMIMA24](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a komplex digitális rendszerek tervezési szempontjainak, eszközeinek és módszereinek bemutatása. Megismerteti a hallgatókat a digitális rendszertervezés korszerű módszereivel, bemutatja a modern, nagybonyolultságú programozható logikai áramköröket (CPLD-k, FPGA-k, SoC-k), demonstrálja a korszerű tervező környezetek szolgáltatásait és ezek hatékony használatát. Bemutatja az FPGA áramkörön megvalósított processzoros rendszerek alapvető tervezési kérdéseit, rendszertechnikai megoldásait. A tervezési módszereket a széles körben elterjedt, ipari szabványnak tekinthető eszközkészlet használatával konkrét tervezési példákon keresztül ismertetjük. Az elméleti ismereteket így közvetlen gyakorlati tapasztalatok is kiegészítik, illetve elmélyítik.

2. A tantárgy tematikája

Alapfogalmak. FPGA gyártók áttekintése (Achronix, Intel, Lattice, Microchip, Xilinx)

A logikai rendszerek tervezésének általános szempontjai. A tervezési folyamat lépései. Tervfeladatok specifikációja, dekompozíció. Rendszermegvalósítási alternatívák, technológiai áttekintés. Hardver leírás absztrakciós szintjei. Hardverleíró nyelvek szerepe, viselkedési és RTL leírás.

Verilog és VHDL szintetizálható részhalmaza.

Verilog és VHDL nem szintetizálható részhalmaza.

HDL szimuláció: szimulátorok működése, referencia modellek, viselkedési modellek. Gerjesztő jelek előállítása, megfigyelés és ellenőrzés.

Xilinx 7-es sorozatú FPGA-k architektúrája: logikai elemek, memória elemek, DSP blokkok.

Xilinx 7-es sorozatú FPGA-k architektúrája: I/O elemek, órajel kezelés.

Xilinx UltraScale(+), Versal, Intel Arria, Stratix és Agilex FPGA-k architektúrája.

Nagy sebességű szinkron interfészek megvalósítási kérdései.

Szinkron tervezési paradigma. Globálisan szinkron rendszerek, órajel tartományok, kommunikáció órajel tartományok között. Időzítési kényszerek, szintézis attributumok és megkötések. Időzítésanalízis és DRC.

FPGA-ban megvalósított processzoros rendszerek: soft-core processzorok.

Xilinx MicroBlaze.

Áramkörön belüli buszrendszerek. ARM AMBA buszrendszer részletes ismertetése.

Perifériák illesztése, IP alapú fejlesztés. BFM.

PCIe buszrendszer. PCIe interfész kialakítása FPGA-ban.

Külső memóriák (SRAM, DRAM). Memória hierarchia processzoros rendszerekben.

Standalone szoftver fejlesztés kérdései.

Fordítók, linkerek, assemblerek és használatuk.

Hardver-szoftver szétválasztás, profiling.

FPGA-k konfigurációs interfészei. JTAG interfész. Áramkörön belüli logikai analizátor. Hardver-szoftver együttes ellenőrzés, hibakeresés.

Heterogén SoC rendszerek

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIMIMA25](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a komplex, nagy teljesítményű, egy áramkörön belül megvalósított heterogén rendszerek tervezési és alkalmazási kérdéseinek bemutatása, különös tekintettel részfunkciók hardveres gyorsítására. A tantárgy ismerteti a feladatok hardver megvalósításának előnyeit, bemutatja a (részlegesen) újrakonfigurálható FPGA-k és a GPGPU eszközök által kínált nagyfokú párhuzamosításban és pipeline végrehajtásban rejlő gyorsítási lehetőségeket. Ismerteti a hardver-szoftver együttes tervezés és particionálás követelményeit, módszereit. Bemutatja a CPU, GPGPU és FPGA alapú feldolgozó egységek egységes használatának szoftveres hátterét (CUDA, OpenCL), valamint az FPGA-k magas szintű nyelven történő fejlesztését. Valós példákon (pl. video feldolgozás, mesterséges intelligencia alkalmazások) keresztül bemutatja a heterogén eszközök használatával elérhető teljesítmény- és hatékonyság növekedést.

2. A tantárgy tematikája

Linux operációs rendszer FPGA platformokon.

Operációs rendszer rétegei. BSP (Board Support Package) kialakítása, device-tree használata.

Linux boot folyamat, first stage bootloader, U-Boot.

Kernel fordítás saját hardver platformon. Kernel modul (driver) fejlesztése.

Heterogén SoC rendszerek áttekintése: Broadcom, NVIDIA, NXP, Rockchip, Microchip.

FPGA alapú SoC rendszerek áttekintése: Intel, Microchip, Lattice.

Xilinx Zynq és Versal család.

Processzor – FPGA kapcsolat: interfészek, nagysebességű adatátvitel.
Nagyteljesítményű processzoros alrendszerek, hard-core processzor magok és jellemző perifériák.
Többmagos megoldások, speciális utasításkészletek. Real-time magok.
SoC rendszerek boot folyamata. Biztonság, jogosultságok.
Az FPGA rész konfigurációja. FPGA-k parciális rekonfigurációja.
Vektor utasításkészletek (AVX, NEON, SVE).
Többszálú programok fejlesztése OpenMP segítségével.
Grafikus processzorok: bevezetés.
NVIDIA GPU-k hardveres felépítése. NVIDIA Jetson SoC-k.
GPU-k programozása: szálkezelés, szál hierarchia. Szinkronizáció. Memória modell.
OpenCL és CUDA: hoszt szoftver és kernel.
Magas szintű szintézis FPGA áramkörökre: Intel C2H, Xilinx HLS (C++ és OpenCL).
Xilinx HLS: egyedi adattípusok, teljesítmény növelése.
Xilinx HLS: erőforrás limitek, interfészek szintézise. IP generálás.
Xilinx HLS: hardver gyorsító integrálása.

FPGA tervezői laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIMIMB08](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célkitűzése, hogy egy konkrét tervezési projekt (FPGA alapú, digitális jelfeldolgozó egységet is tartalmazó SoC rendszer) megvalósításán keresztül segítse a tématerülethez tartozó ismeretek gyakorlati elsajátítását. A laboratóriumi foglalkozások során tematikus feladatok, tervezési lépések elvégzése, részben önálló specifikáción alapuló tervezés végrehajtása történik. A feladatok a mellékspecializáció tantárgyak során bemutatott módszereket felhasználva segítik a problémamegoldási, hibakeresési és tesztelési készségek fejlesztését.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő elvégzendő méréseket tartalmazza:

- Bevezetés, feladat definiálása, technikai specifikáció elkészítése. Mikroprocesszoros rendszer létrehozása.
- Egyszerű gyári IP-k integrálása.
- Buszciklusok vizsgálata logikai analizátorral.
- Egyedi IP fejlesztése HDL nyelven.
- Egyedi IP fejlesztése magas szintű szintézis segítségével.
- Egyedi IP-k integrálása.
- Linux operációs rendszer készítése a HW környezethez.
- AI feldolgozóegység integrálása.
- Alacsony szintű Linux szoftver komponensek megvalósítása.
- Magas szintű szoftver megvalósítása 1.
- Magas szintű szoftver megvalósítása 2.

VI.1.7 Nukleáris rendszertechnika mellékspecializáció (VIK-NTI)

- 1. A specializáció megnevezése:** Nukleáris rendszertechnika
(*Engineering of Nuclear Safety*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős:** Villamosmérnöki és Informatikai Kar
- 4. Oktató tanszékek:** MIT, BME Nukleáris Technika Intézet (NTI)
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Vörös András (MIT)

6. A specializáció célkitűzése:

A Paks II erőmű építése során számos olyan villamosmérnök szakemberre lesz szükség, akik nukleáris alapismeretekkel is rendelkeznek. A mellékspecializáció célja, hogy a specializációt választó villamosmérnök hallgatók megszerezzék azokat az ismereteket, amelyek megkönnyítik, hogy hatékonyabban tudjanak részt venni az erőműnek és kiszolgáló rendszereinek tervezési, kivitelezési és üzemeltetési feladataiban. A specializációban megszerezhető kompetenciák: Nukleáris fizika alapjainak áttekintő ismerete. Az atomerőművek működési elvének, az erőmű felépítésének, fő funkcionális elemeinek, primer és szekunder kör elemeinek megismerése. Ismeretek szerzése a nukleáris mérés-technika területén. A nukleáris biztonsági szabályzat, a nukleáris létesítményekre vonatkozó követelmények (felelősség, biztonsági célok, mélységben tagolt védelem, biztonsági politika...) hazai és nemzetközi szabályozása. A biztonságra tervezés alapjai, biztonsági osztályok, speciális tervezési követelmények. Kiemelten fontos villamos és irányítástechnikai rendszerek és komponensek tervezése. A specializációban szereplő tantárgyakat teljesítő hallgatók nukleáris szakképzettséget elismerő tanúsítványt kapnak diplomájuk mellékleteként.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Mag- és reaktorfizikai alapismeretek	Választható term. tud. tantárgy	BMETE80MX00
Atomerőművek termohidraulikája	A tantárgy	BMETE80MV03
Kritikus beágyazott rendszerek	B tantárgy	BMEVIMIMA30
Atomerőművi szimulációs gyakorlatok	A labor	BMETE80MV04

A mellékspecializáció valamennyi tantárgya angol nyelven kerül meghirdetésre, félévek szerinti ütemezésük némileg eltér a mintatantervben szereplő mellékspecializáció tantárgyak ütemezésétől:

1. Ezt a mellékspecializációt választó hallgatók kötelező jelleggel a Mag- és reaktorfizikai alapismeretek c. tantárgyat kell teljesítsék elsőként, a teljesítés természettudományos tantárgyként kerül elismerésre képzésükben. Ez a tantárgy az A típusú specializációtantárgyak számára nélkülözhetetlen alapismereteket tartalmaz.
2. Ezt követően teljesítendő az Atomerőművek termohidraulikája c. tantárgy (a meghirdetése félévében).
3. Utolsó tantárgyként teljesítendő az Atomerőművi szimulációs gyakorlatok c. tantárgy, amely gyakorlataiban nagymértékben épít az előző három tantárgyban elsajátított ismeretekre. A labortantárgy a többi mellékspecializáció labortantárgyaitól eltérően az őszi félévekben kerül meghirdetésre.

Fentiek alapján a tantárgyak előírt teljesítési sorrendje a következő:

Tantárgy neve	Tavaszi kezdés				Őszi kezdés			
	1 (t)	2 (ő)	3 (t)	4 (ő)	0 (ő)	1 (t)	2 (ő)	3 (t)
Mag- és reaktorfizikai alapismeretek		X			X			
Atomerőművek termohidraulikája			X			X		
Kritikus beágyazott rendszerek		X			X			
Atomerőművi szimulációs gyakorlatok				X			X	

*Azok a hallgatók, akik mind a 4 tantárgyat teljesítik, nukleáris szakképzettséget
elismerő tanúsítványt kapnak diplomájuk mellékleteként.*

Mag- és reaktorfizikai alapismeretek

A tantárgy kizárólag angol nyelven kerül meghirdetésre !

Vál. term. tud. tantárgy kizárólag a Nukleáris rendszertechnika mellékspecializáció számára
([BMETE80MX00](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 3/1/0/v/5 kredit, NTI)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgya célja, hogy megismertesse a hallgatókkal nukleáris energiatermelés megértéséhez szükséges alapvetőmagfizikai ismerteket, és reaktorfizikai háttérét, alapvető folyamatait, ezzel elősegítve a későbbi, atomenergetikához szorosan kapcsolódó tantárgyak elsajátítását.

2. A tantárgy tematikája

Az atommag alapvető (mérhető) tulajdonságai, cseppmodellje, stabilitása.

Radioaktivitás, bomlástörvény, a bomlási láncok tulajdonságai. Radioaktív egyensúlyok, radioaktív kormeghatározás.

A hatáskeresztmetszet fogalma, tulajdonságai (mikroszkopikus, makroszkopikus, kettős additivitás, kapcsolata a szabad úthosszal). Differenciális hatáskeresztmetszet, gerjesztési függvény. Speciális hatáskeresztmetszetek.

Magreakciók alapvető sajátosságai, megmaradó mennyiségek. Magreakciók energiaviszonyai, kinematikai leírása. Rugalmas szórás. Labor-rendszer, CM-rendszer. Reakciómechanizmusok.

Potenciálszórás, direkt és összetett mag képződésével járó atommag-reakciók és sajátosságai

Maghasadás folyamata, kritériumai, hasadóképes izotópok, a hasadás energiamérlege, prompt- és későneutronok.

Nukleáris mérések alapjai. Ionizáló részecskék kölcsönhatása az anyaggal. Detektorok (nyomdetektorok, gáztöltésű, szcintillációs és félvezető detektorok). Gamma-spektrumok és a gamma-spektroszkópia néhány jellegzetessége. Neutrondetektorok.

A láncreakció elve, sokszorozási tényező fogalma, 4- és 6-faktor formula. Exponenciális kísérlet.

Neutrontranszport alapvető mennyiségei: irányfüggő és skalárfluxus, áram, parciális áramok. Lineáris anizotrópia fogalma. Diffúzióelmélet alapjai, Fick-törvény.

Diffúzióegyenlet egycsoport, homogén közelítésben. Időfüggő és stacioner eset. Kritikuság feltétele. Helmholtz-egyenlet megoldása különböző geometriákba forrásos és forrás nélküli esetben.

Kétcsoport diffúzióelmélet, Fermi-kor. Heterogén reaktorok leírása, moderálási görbe, optimális, alul- és felülmoderáltság, reaktivitás-visszacsatolások, inherens biztonság.

Reaktorkinetika alapjai. Reaktivitás fogalma. Pontkinetikai egyenletrendszer, reciprokorra egyenlet, prompt kritikuság fogalma és a későneutronok szerepe a reaktorok szabályozhatóságában.

Reaktorokban zajló hosszú távú folyamatok. Kiegészítés, Pu-izotópok és másodlagos aktinidák keletkezése.

Reaktormérgek, Xe- és Sm-mérgezettség. Reaktivitásszabályozás eszközei. Reaktivitástartalék fogalma és alakulása egy kampány során.

Látogatás az Oktatóreaktorban

Atomerőművek termohidraulikája

A tantárgy kizárólag angol nyelven kerül meghirdetésre !

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMETE80MV03](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 3., 2/1/0/v/5 kredit, NTI)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy megismertesse a hallgatókkal az atomerőművekben történő hőelvonás technológia megvalósításának lehetőségeit, bemutassa a reaktorokban történő hőfejlődés folyamatát. A hallgatók elsajátítják a hőfejlődés térbeli leírására alkalmas analitikus és numerikus eszközöket, megismerkednek a hőterjedés különböző formáival, a hidraulikai elemzések alapjaival és betekintést nyernek az atomerőművek biztonságának témakörébe.

2. A tantárgy tematikája

Atomerőművi hőkörfolyamatok

Hőtani alapfogalmak, állapotjellemzők, hőkörfolyamatok

Erőművi hatások

Nyomottvizetes atomerőművek felépítése, teljesítménnyel kapcsolatos alapfogalmak

Atomreaktor mint hőforrás, hőátvitel különböző formái (önálló felkészüléssel elsajátítható)

Energiafelszabadulás az atomreaktorban

Hővezetés, hőszigetelés, konvektív hőátadás – alapismeretek

A reaktorfizika és termohidraulika kapcsolata

UO₂ termikus jellemzői, hőforrásmentes hővezetés

UO₂ hővezetési tényezőjének függése a hőmérséklettől, kiégéstől, Pu-tartalomtól, porozitástól stb.

A hővezetés általános differenciálegyenlete és speciális alakjai

A hőforrásmentes hővezetési egyenlet megoldása hasáb és hengeres fűtőelemek burkolatára jellemző hőmérséklet-eloszlás meghatározása céljából

Hőforrásos hővezetés

A hőforrásos hővezetési egyenlet megoldása hasáb és hengeres geometriák esetében

Hasáb és hengeres üzemanyag radiális hőmérséklet-eloszlásának meghatározása

Teljes radiális hőátvitel

Konvektív hőátadás atomerőművekben

Konvektív hőátadással kapcsolatos alapegyenletek felírása, kapcsolódó paraméterek definiálása

Hőátadási elemzés alapjai, áramlások fajtái

Konvektív hőátadás egyfázisú rendszerekben

Fűtőelem-pálca és szubcsatorna elemzés

Szubcsatornabeli axiális hőmérséklet-viszonyok alakulása

Maximális burkolat és üzemanyag-hőmérséklet meghatározása

A kiégés hatása a szubcsatornabeli hőmérséklet-viszonyokra

A hidraulikai egyenletrendszer

A hidraulikai egyenletrendszer felírása

Dimenziótlan számok

Nyomásvesztések

Hőcserélők (önálló felkészüléssel elsajátítható)

Hőcserélők típusai – ellenáramú, egyenáramú és keresztáramú hőcserélők

Hőcserélők méretezésének módszerei

Hőcserélők hatásossága

Kétfázisú áramlások

Kétfázisú áramlásokkal kapcsolatos alapfogalmak

Áramlási térképek

Áramlási képek – vízszintes/függőleges csövekbeli áramlások közti különbségek

Forrásos hőátadás

Forrás és kondenzáció alapjelenségei

Forrásos hőátadás elemzése

Forráskrizisek, DNBR

Atomerőművek biztonságával kapcsolatos alapfogalmak (önálló felkészüléssel elsajátítható)

Biztonsági célkitűzések, mérnöki gátak, mélységi védelem elve

Atomerőművi üzemállapotok, biztonságra való tervezés

Biztonsági kultúra

Atomerőművi üzemzavarok és súlyos balesetek

Hűtőközegvesztéssel járó üzemzavarok

Komplex üzemzavarok

Súlyos balesetek és kapcsolódó jelenségek

Termohidraulikai rendszerkódok (önálló felkészüléssel elsajátítható)

Termohidraulikai rendszerkódok által alkalmazott modellek

Főbb rendszerkódok bemutatása

Alkalmazási példák

Kritikus beágyazott rendszerek

A tantárgy kizárólag angol nyelven kerül meghirdetésre !

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIMIMA30](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, MIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A beágyazott rendszerek biztonságossága (safety) kiemelt jelentőségű az ún. kritikus rendszerek tervezésekor, amelyek meghibásodása közvetlen emberek életét, egészségét veszélyeztetheti vagy jelentős üzleti veszteséggel járhat. A tantárgy célja, hogy áttekintse a nagy megbízhatóságra tervezés és a biztonságigazolás modern módszereit, technológiáit és szabványait, elsősorban az elosztott és beágyazott alkalmazások területén. A tantárgy második fele kifejezetten a nukleáris biztonság (azon belül is specifikusan a villamosmérnöki és informatikai területhez legközelebb álló mérnöki területhez, a biztonság szempontjából fontos nukleáris irányítástechnikai rendszerek) kérdéseire koncentrálna.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés: kritikus beágyazott rendszerek tervezési metodikája, fejlesztési folyamatok és tervezést támogató nyelvek.

A biztonságosság alapfogalmai. Funkcionális biztonság (IEC 61508): Biztonsági követelmények specifikálása. Hardver biztonságintegritás. Szoftverek használata biztonságkritikus rendszerekben. Biztonságkritikus rendszerek architektúrájának tervezése: jellegzetes fail-stop illetve fail-operational architektúrák (hibatűrés).

Veszély analízis: ellenőrző listák, hibamód és -hatás analízis, hibafa, eseményfa, ok-hatás analízis, megbízhatósági blokkdiagramok.

Összetett analízisek, dinamikus analízis módszerek és analízis algoritmusok.

Tesztelési módszerek: a tesztervezés és a tesztelési folyamat specialitásai. Követelmény és architektúra modellezés biztonságkritikus rendszerekben.

Formális modellezés és verifikáció, modell alapú forráskód generálás.

Repülőgépipari beágyazott rendszerek. Szoftverfejlesztés repüléstechnikai területen a DO-178B szabvány keretein belül.

Biztonságigazolás (safety case) felépítése, összetevői. Szigorú (strukturált) érvelés módjai, kommunikálása. Grafikus jelölésrendszerek: GSN és ASCAD. Funkcionális biztonság (IEC 61508): Biztonsági követelmények specifikálása. Random és szisztematikus biztonságintegritás.

Bevezetés a nukleáris biztonság célkitűzéseibe és terminológiájába. Nukleáris energiatermelés alapjai, inherens biztonság, visszacsatolások. Nukleáris reaktorok típusai és a nyomottvízes erőművek felépítése.

A nukleáris biztonság fontosabb elvei. Kockázatalapú megközelítés, a funkcionális biztonság (61508) és nukleáris biztonság összevetése. Biztonsági célok, üzemállapotok.

Kialakítási alapelvek és biztonsági jellemzők az atomerőművi szinten. Nukleáris erőművek jellemzői. Biztonsági célok és alapvető védelmi stratégiák. Főbb védelmi rendszerek és feladataik. Fontos reaktorbalesetek, üzemzavarok (Three Mile Island, Chernobyl, Fukushima, súlyos üzemzavar Pakson 2003-ban). Tanulságok és a biztonsági követelmények változásai a balesetek következtében (specifikusan az irányítástechnikai területen). Modern erőművek: fontosabb Generation III+ reaktortípusok és főbb jellemzőik. A nukleáris irányítástechnikai rendszerek szerepe az atomerőművekben, jellemzőik. A nukleáris irányítástechnikai rendszerek alapvető funkciói. A nukleáris irányítástechnikai rendszerek hierarchikus és funkcionális csoportosítása. Szabályozó rendszerek, határoló szabályozások, reteszelvek, védelmek. Blokkteljesítmény szabályozás módjai, ezek jellemzői. Flexibilis működési módok. Jogi és szabályozási háttér (atomtörvény, NBSZ, 190-es kormányrendelet). NAÜ szabványok és útmutatók. Biztonsági kategorizálás, biztonsági osztályba sorolás (NAÜ, IEC és magyar). Nukleáris irányítástechnikai rendszerek főbb tervezési elvei. Nukleáris irányítástechnikai rendszerek megbízhatóságra tervezésének legfontosabb összetevői.

Atomerőművi szimulációs gyakorlatok

A tantárgy kizárólag angol nyelven kerül meghirdetésre !

Mellékspecializáció A labor

([BMETE80MV04](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, NTI)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja az atomerőművekkel kapcsolatos reaktorfizikai, termohidraulikai és egyéb műszaki ismeretek, különös tekintettel a reaktorok szabályozására, elmélyítése a BME NTI-nél rendelkezésre álló szimulátorok, rendszerkódok, valamint az Oktatóreaktor segítségével. A hallgatók a következő szoftverekkel folytatnak gyakorlatokat: PC2 v5.0 primerköri szimulátor; APROS és TRACE egydimenziós termohidraulikai rendszerkód.

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy keretében különböző laboratóriumi méréseket végeznek a hallgatók, egyenként négy órában az alábbi tartalommal:

- PC2 I: A reaktivitás-együtthatók üzemvitelre gyakorolt hatásának és a reaktor önszabályozó képességének vizsgálata.
- PC2 II: A xenonmérgeződésnek, mint reaktorfizikai jelenségnek a tanulmányozása.
- APROS I: Bevezető gyakorlat, a szoftver felhasználói felületének és alapvető használatának megismerése egy egyszerűbb modell megépítése révén.
- APROS II: Az AMDA tartály, illetve a 2003-as paksi üzemzavar egyszerűsített modellezése.
- TRACE I: Bevezető gyakorlat, a szoftver felhasználói felületének és alapvető használatának megismerése egy egyszerűbb modell megépítése révén.
- TRACE II: A térfogatkompenzátor modellezése, illetve animációs modell készítése.
- TRACE III: Egyszerűsített primerköri modell készítése és LOCA tranzienst vizsgálata.
- Neutrondetektorok – Neutrondetektálás alapjai gáztöltésű detektorokkal
- Reaktorüzemeltetési gyakorlat
- Termikusneutron-fluxus mérése

VI.1.8 Okos város mellékspecializáció (TMIT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Okos város
(Smart City)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** TMIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Vida Rolland egyetemi docens (TMIT)

6. A specializáció célkitűzése:

Bár a Smart City (okos város) koncepció néhány évvel ezelőtt még csak egy futurisztikus ötletnek tűnt, napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt helyeznek erre a területre, Európában és a világ többi fejlett régiójában egyaránt. Számos pilot rendszert már kiépítettek és tesztelnek, és a következő néhány évben ennek a területnek a támogatása drasztikusan növekedni fog. A mellékspecializáció célja az intelligens város koncepciójának és néhány kulcsfontosságú elemének (intelligens közlekedési rendszerek, szenzorhálózatok) a bemutatása, a hardware elemektől kiindulva, az infrastruktúra architektúráis, tervezési és megvalósítási kérdésein keresztül, a már létező vagy tervezett alkalmazásokig, szolgáltatásokig, illetve a létező pilot rendszerekig. A mellékspecializáció foglalkozik majd az intelligens környezet és a felhasználók közötti, új követelményekhez igazítandó ember-gép interfész kérdéseivel is, és külön hangsúlyt fektetünk a kontextus-függő és személyre szabott intelligens alkalmazások biztonsági és privacy aspektusaira is.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Okos városok infokommunikációs technológiái	A tantárgy	BMEVITMMA15
Okosváros szolgáltatások és alkalmazások	B tantárgy	BMEVITMMA16
Okos város laboratórium	A labor	BMEVITMMB09

Okos városok infokommunikációs technológiái

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVITMMA15](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

Az okos városok egyik alapkövetelménye, hogy képesek legyünk megfigyelni a város működését, az emberek és járművek mozgását, a környezeti paraméterek alakulását, a városban zajló folyamatokat, majd a begyűjtött nyers adatok feldolgozása után, az azokból kinyert információk alapján lehetőségünk legyen beavatkozni ezekbe a folyamatokba, hatékonyabbá téve a város üzemeltetését különböző adaptív szolgáltatások segítségével. Mindehhez elengedhetetlen a megfelelő infokommunikációs infrastruktúra, melynek kiemelten fontos elemei az érzékelési infrastruktúra, és a kommunikációs infrastruktúra. A tantárgy célja tehát egyfelől bemutatni az okos városokban használt különböző érzékelők (szenzorok) hardver és szoftver architektúráit, kommunikációs protokolljait, illetve a szenzorok hálózatba szervezésének specifikus kihívásait és dedikált megoldásait. Mindemellett a tantárgy kiemelt figyelmet fordít az okos városok intelligens közlekedési rendszereinek kommunikációs kérdéseire, a hálózatba kötött járművek és a járműkommunikáció különböző megoldásaira is.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés az okos városok világába. Mit értünk érzékelési és kommunikációs infrastruktúra alatt.

Intelligens érzékelők (szenzorok) hardver és szoftver architektúrái. Szenzor „mót”-ok hardver komponensei.

Szenzor operációs rendszerek (pl. Contiki, FreeRTOS, TinyOS).

Szenzorok kommunikációs protokolljai: fizikai réteg, alvás-ébrenlét ütemezése, idő szinkronizálás. Szenzor rádiók (LoRa, NB-IoT, 5G mMTC). Vezetékes megoldások (MODBUS, Ethernet/IP, Profinet). Adatkapcsolati réteg, közegehozzáférés vezérlése (szenzor-MAC). Hálózati réteg, energia- és helytudatos útvonalválasztás; attribútum alapú címzés, klaszterképzés; adatközpontú működés. Átviteli réteg (TCP-szerű, globális címzés nélküli, kis tárigényű protokollok). Szenzorhálózati architektúrák. Szenzorhálózatok tervezési kérdései. Topológia konstrukció és menedzsment, egy- és többugrásos kommunikáció, energiatakarékosság, topológia-kontroll. Intelligens járművek speciális szenzorjai: odométer, tachométer, radar, lidar, ultrahang alapú szenzorok, kamerák. Járműveken belüli kommunikációs technológiák: CAN bus, Flexray, LIN, MOST. WiFi alapú járműkommunikáció. DSRC, WAVE, IEEE 802.11p, IEEE 1609, ITS-G5. Cellás járműkommunikációs technológiák (C-V2x). 5G NR V2X, 6G V2X. Járművek közötti kommunikációs technológiák és protokollok. VANET (Vehicular Ad hoc Networks) hálózatok. Speciális mobilitás modellek, útválasztó és csoportformáló protokollok. Geográfiai alapú útválasztás, előnyök, hátrányok, és alkalmazhatóság. Hibrid kommunikációs megoldások. Önvezető járművek technológiai megoldásai.

Okosváros szolgáltatások és alkalmazások

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVITMMA16](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja bemutatni, hogy milyen adaptív, az aktuális környezeti viszonyokhoz, felhasználói igényekhez és infokommunikációs erőforrásokhoz szabott szolgáltatásokkal és alkalmazásokkal lehet a városok működtetését okosabbá, hatékonyabbá, fenntarthatóvá tenni. A tantárgy keretében egyfelől bemutatunk olyan szolgáltatásokat, melyek az okos városok érzékelési infrastruktúrájára, telepített szenzorokra és szenzorhálózatokra épülnek. Másfelől bemutatunk különböző intelligens közlekedési rendszereket, szolgáltatásokat. Érintjük az okos épületek, okos otthonok, és az intelligens elektromos hálózat tematikáját. Bemutatjuk a közösségi részvétel lehetőségeit és előnyeit, illetve a biztonság és az adatvédelem kérdéseit. Végezetül pedig áttekintünk különböző nemzetközi példákat, már megvalósult vagy tervezés alatt álló okosváros rendszereket.

2. A tantárgy tematikája

Okosváros célok, stratégiák, mestertervek. Szigetszerű rendszerek vs. egymásra épülő, egymással szinergiában lévő okosváros szolgáltatások és alkalmazások. Városi szenzorhálózatok működési modelljei. Esemény-, idő- és lekérdezés alapú vezérlés. Adat-aggregáció hálózaton belül. Mobilitás szenzorhálózatokban, bázisállomás vs. szenzor mobilitás, virtuális mobilitás. Lokalizáció és nyomkövetés városi szenzorhálózatokban, helytudatos működés. Szenzorhálózatok modellezése, szimulációs eszközök (tossim). Teszthálózatok (IoT-LAB). Szabványosítási kérdések. Intelligens közlekedési rendszerek az okos városokban. Hatékony közösségi közlekedés. Ride sharing megoldások, ösztönző mechanizmusok, HOV sávok. Matchmaking optimalizálás sofőrök és utasok között. Car sharing szolgáltatások. Station-based vs free floating, centralizált vs. peer-to-peer car sharing. Flotta méretezés kérdései. Okos parkolási rendszerek, beltérben és kültérben. Adaptív árazási megoldások. Nemzetközi esettanulmányok. Elektromos járművek az okos városokban. Töltőhálózat kiépítése, optimalizálása. Vehicle-to-Grid. Smart grid, smart metering. Kétirányú áramszolgáltatás, megújuló energiaforrások integrálása, szolgáltatási modellek.

Okos épületek, okos otthonok. Vízgazdálkodás és hulladékkezelés az okos városokban.
Környezetvédelem az okos városokban. A városok karbon lábnyomának csökkentése. Hőszigetek kialakulásának monitorozása, légszennyezés kérdései.
Okos városigazgatás. Közösségi részvétel ösztönzése. Crowdsourcing és crowdsensing alkalmazások. Közösségi finanszírozás (crowdfunding)
Okos városok biztonsága. Szenzorhálózatok és IoT rendszerek biztonsága. Biztonságos adattovábbítás. Járműkommunikáció biztonsága, car hacking. Kritikus infrastruktúra védelme, kibertámadások. Adatok nyilvánosságának kérdései, Open Data. A magánszféra védelme, anonimitás, privacy.
Esettanulmányok, okos városok a nagyvilágban. Szingapúr, Bécs/Aspern, Songdo, London, Barcelona, Santander, Toyota Woven City, Masdar, Dubai Expo City, Neom/The Line.

Okos város laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVITMMB09](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célkitűzése az Okos város koncepció megvalósítását támogató hardver és szoftver architekturális építőkövek széles spektrumából néhány reprezentatív elem bemutatása, ezek segítségével rendszerszintű mérések megtervezése és elvégzése, esettanulmányok kiértékelése.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő elvégzendő méréseket tartalmazza:

- Intelligens közlekedési rendszerekkel kapcsolatos forgalom szimulátorokkal való ismerkedés (jelenléti mérés)
- Forgalmi szimulációs feladat megoldása intelligens közlekedési rendszerekkel kapcsolatban (távolléti mérés)
- Okos városhoz kapcsolódó IoT szenzor hardver építése és beüzemelése. Szenzor, mikrokontroller és rádió összeillesztése. Adatok küldése és fogadása (jelenléti mérés)
- Okos városhoz kapcsolódó IoT platform használata. Szenzorból érkező adatok feldolgozása és megjelenítése (távolléti mérés)
- Képfelismerési, képfeldolgozási feladatok utcai kameraképekkel (jelenléti mérés)
- Okos városhoz kapcsolódó kamerakép vizsgálata és feldolgozása mélytanulás segítségével (távolléti mérés)
- Okos város szenzorokból származó adatsor (mérőórák, környezeti adatok) elemzése mesterséges intelligenciával. Becslések, előrejelzések készítése (jelenléti mérés)
- Okos városhoz kapcsolódó adatsor feldolgozása mesterséges intelligenciával (távolléti mérés)
- Önvezető autó szimulátor használata (CARLA), szenzorokból származó jelek feldolgozása. Lidar, radar, IMU, valamint nyers. mélységi és szegmentált kameraképek. Ismerkedés a szenzorokkal és a szimuláció kezelésével (jelenléti mérés)
- Szenzorok használatára épülő szimulációs feladat önvezető autóhoz (távolléti mérés)

VI.1.9 Rádiófrekvenciás zavarvédelem – EMC mellékspecializáció (HVT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Rádiófrekvenciás zavarvédelem - EMC
(Radio-frequency Interference Protection - EMC)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** HVT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Bilicz Sándor egyetemi docens (HVT)

6. A specializáció célkitűzése:

Az elektromos berendezések, számítógépes hálózatok, vezeték nélküli kommunikációs rendszerek az építőelemek érzékenységének növelésével fokozottan kitéttek a kölcsönös zavartatásra. A készülékek tervezése, a rendszerek kiépítése csak az elektromágneses kompatibilitási (EMC) szempontok figyelembevételével végezhető, mert utólagos hibafelderítés és javítás többszörös fejlesztési költséget jelent. A mellékspecializáció célja a rádiófrekvenciás tartományban jellemző zavarási és zavartatási jelenségek, valamint a vonatkozó mérés technikában alkalmazott elvek és megvalósítások fizikai hátterének és elektromágneses modellezésének bemutatása. Cél továbbá az elektromágneses jelenségek numerikus szimulációs lehetőségeinek áttekintése, az e célra elterjedten alkalmazott szoftverek bemutatásával együtt. Az átadott ismeretek birtokában a mérnökök felkészültek lesznek rádiófrekvenciás EMC problémák felismerésében, mérés technikájában, modellezésében és szimulációjában, valamint az alkalmazható EMC megoldási lehetőségek tekintetében.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Rádiófrekvenciás és EMC mérés technika	A tantárgy	BMEVIHVMA20
Rádiófrekvenciás jelenségek és eszközök modellezése	B tantárgy	BMEVIHVMA21
Rádiófrekvenciás és EMC laboratórium	A labor	BMEVIHVMB10

Rádiófrekvenciás és EMC mérés technika

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIHVMA20](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A vezeték nélküli kommunikációs rendszerek, számítógépes hálózatok az építőelemek érzékenységének növelésével fokozottan kitéttek a kölcsönös zavartatásra. Napjainkban az építőelemek, berendezések tervezése csak az Elektromágneses kompatibilitási (EMC) szempontok figyelembevételével végezhető, mert utólagos hibafelderítés és javítás többszörös fejlesztési költséget jelent.

A tantárgy célja az EMC mérési alapok megismertetésén túl olyan ismeretek nyújtása, amelyek segítségével a tantárgy hallgatói képesek lesznek az EMC problémák feltárására és olyan tervezés, mérés elvégzésére, melyek alapján az elektronikus eszközök és rendszerek zavarmentes működése biztosítható. A tantárgyban a hallgatók megismerik az EMC tervezés speciális kérdéseit, továbbá áttekintést kapnak a fejlesztés és végmérés során alkalmazott, érvényes EMC szabványokról.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés

- Az EMC témaköre, a legfontosabb EMC alapfogalmak
- Az EMC biztosítására használt szintek és tartományok, EMC szabványosítás, érvényes EMC szabványok
- Az elektromágneses kompatibilitás (EMC) zavarjelenségei
- A zavarjelenségek típusai, osztályozásuk, és jellemzőik

EMC emisszió és immunitás

- Az EMC emisszió jellemzői alkatrész, áramkör, készülék és rendszer szinten
- Az EMC immunitás jellemzői alkatrész, áramkör, készülék és rendszer szinten

Rádiófrekvenciás modellek és tervezés

- EMI alapmodelljei. Példák RF EM zavarokra.
- RF zavarok jellemzése. RF EMC általános megközelítési módszerei.
- Tápvonalak leírása, koncentrált és elosztott paraméterű modell
- Tápvonalak csatolása, áthallás
- Rövid dipól közel-, és távolterének jellemzése.
- Impedanciafogalom antennák terében,
- Impedanciafogalom síkhullámokban. Terjedés jó vezetőkhöz.
- Reflexió, többszörös reflexió, transzmisszió. Abszorbeáló rétegek tervezése.
- Árnyékoló rétegek ideális esetben. Az árnyékolás gyakorlati szempontjai.
- Apertúrák. Kábelek és csatlakozók.

Rádiófrekvenciás mérés technika

- Mérővevők (szuperheterodin elv, detekció)
- Vezetett zavarok mérése (műhálózat, áramtranszformátor)
- Sugárzott zavarok mérése: antennák (sávszélesség, nyereség, bemeneti impedancia), mérőkamrák (árnyékolás, reflexiómentesítés)
- Immunitásmérés elemei, műszerei (vezetett és sugárzott immunitásmérés)

Rádiófrekvenciás jelenségek és eszközök modellezése

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIHVMA21](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A rádiófrekvenciás tartományban jellemző zavarási és zavartatási jelenségek, valamint a vonatkozó mérés technikában alkalmazott elvek és megvalósítások fizikai hátterének és elektromágneses modellezésének bemutatása. Az elektromágneses jelenségek numerikus szimulációs lehetőségeinek áttekintése, az e célra elterjedten alkalmazott szoftverek bemutatásával együtt.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés

- Elektromágneses spektrum, rádiófrekvencia. Sztatikus, stacionárius, kvázistacionárius (EQS, MQS, EMQS) közelítések, elektromágneses hullámok és e közelítések szerepe elektromágneses kompatibilitási kérdésekben.

Elektromágneses mező és villamos hálózat kapcsolata

- Térelméleti jelenségek hálózati ekvivalensei. A koncentrált paraméterű modell érvényességi köre. Parazita elemek értelmezése és szerepe az EMC-ben.
- Szinuszos áramú kétkapuk, hullám- és szórás paraméterek. Átnormálás.
- Szórás paraméterek alkalmazása, teljesítményviszonyok. Reflexió és beiktatási csillapítás.

Vezetett hullámok

- A távvezeték-modell érvényességi köre és alkalmazása vezetett EMC zavarok modellezésére. Távvezeték-rezgőkör. Távvezeték-tranziensek.
- Hullámterjedés csőtápvonalban. Határhullámhossz, diszperzió. Ekvivalens feszültség és áramerősség értelmezése, teljesítményáramlás.
- A háromféle hullámimpedancia (közeg, hullámvezető és távvezeték). Effektív permittivitás. Többvezetős rendszerek, közös és differenciális módus, móduskonverzió.

Sugárzott hullámok

- Elemi árameloszlások elektromágneses tere. Retardált potenciálok. Általánosított Biot-Savart-törvény. Antenna bemeneti impedancia, energiamérleg antennára.

- Antenna elektromágneses terének felosztása. Közeltér, távoltér. A síkhullám-közelítés alkalmazhatósága és szerepe az EMC-ben.

Numerikus mezőszimuláció

- Peremérték-feladat kitűzése. A potenciálok szerepe. Mértékválasztás.
- A momentum módszer (MoM).
- A végeselem módszer (FEM) és az időbeli véges differenciák módszer (FDTD) alapelve.

Kitekintés

- Periodikus struktúrák, szűrők.

Rádiófrekvenciás és EMC laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIHVMB10](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy fő célkitűzése a Rádiófrekvenciás és EMC mérés technika c. tantárgyban tanult ismeretek gyakorlati elsajátítása. A hallgatók végigkövetik a nagyfrekvenciás és EMC méréseket, elsajátítják a mérések gyakorlati végrehajtását, a mérések hardver eszközeinek megválasztásától a mérési eredmények értékeléséig.

2. A tantárgy tematikája

A laboratórium a következő elvégzendő méréseket tartalmazza:

- Bevezető, tájékoztató, a mikrohullámú laborműszerek kezelése, az antenna mérőszoba bemutatása
- Passzív áramkört elemek (RLC) nagyfrekvenciás viselkedése. R és C feszültségosztó frekvenciafüggésének mérése
- Koncentrált elemű, hangolható passzív RC és LC szűrő mérése, behangolása
- Csőtápvonalas szűrő mérése, behangolása
- Passzív nagyfrekvenciás építőelemek vizsgálata, mérése (teljesítményosztó, hibrid, iránycsatoló
- Közeltéri hibák az antenna mérésekben
- Vezetett zavar emisszió mérés
- Vezetett zavar immunitás mérés
- Sugárzott zavar emisszió mérés
- Sugárzott zavar immunitás mérés

VI.1.10 Robotrendszerek mellékspecializáció (IIT)

- 1. A specializáció megnevezése:** Robotrendszerek
(*Robotic Systems*)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Irányítástechnika és Informatika Tanszék
- 4. Oktató tanszékek:** IIT
- 5. Specializációfelelős oktató:** Gincsainé Dr. Szádeczky-Kardoss Emese egyetemi docens (IIT)

6. A specializáció célkitűzése:

Az ipari robotok további elterjedésével, a járműipar fejlődésével, valamint a szolgáltató robotikai megoldások iránti igény robbanásszerű bővülésével az autonóm viselkedésre képes intelligens robotikai rendszerek és ember nélküli mobilis egységek fejlesztésére fordított erőforrások stabil növekedést mutatnak és ez a tendencia tartós marad a következő évtizedekben is. A mellékspecializáció tantárgyait sikeresen elvégző hallgatók megismerkednek a robotok (robotkarok, UGV típusok) felépítésével, modellezési és irányítási módszereivel, az autonóm viselkedéshez szükséges érzékelők működésével és a kapcsolódó jelfeldolgozási technikákkal, a navigáció és a pályatervezés során alkalmazott korszerű módszerekkel, illetve a több autonóm egységből álló multiágensű rendszerek jellemzőivel és magas szintű irányítási stratégiáival. A megszerzett tudás birtokában a hallgatók képesek bekapcsolódni a szakterülethez kapcsolódó fejlesztési és kutatási tevékenységek teljes spektrumába.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Robotkarok és mobilis robotok	A tantárgy	BMEVIIIIMA21
Multiágensű robotrendszerek irányítása	B tantárgy	BMEVIIIIMA22
Robotrendszerek laboratórium	A labor	BMEVIIIIMB08

Robotkarok és mobilis robotok

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIIIIMA21](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy összefoglalja az ipari robotrendszerek és az ember nélküli, autonóm mobilis robotok modellezésének, irányításának és intelligens rendszerteknikai megvalósításának elméleti és gyakorlati alapjait. A tantárgy bemutatja a legelterjedtebb robotok típusait, a modellezésük elméleti alapjait, a pályatervezésük és irányításuk módszereit. Ismerteti a mobilis robotok navigációjához használt modern érzékelőket és az alapvető szenzorfüziós megoldásokat, továbbá különböző mozgástervezési módszereket. A tantárgyat sikeresen teljesítő hallgatók közre tudnak működni komplex robotrendszerek összeállításában, irányító algoritmusainak fejlesztésében és megvalósításában.

2. A tantárgy tematikája

Mechatronikai alapfogalmak

Matematikai összefüggések, jelölések átisméltése, bevezetése. Merev testek pozíciójának, orientációjának leírás síkban és térben.

Robotkarok geometriai és kinematikai modellje

Robotkarok Denavit-Hartenberg-alakja. Direkt én inverz geometriai feladat. Robot Jakobi mátrixa. Redundáns és alulirányított esetek.

Robotkarok dinamikai modellje

Lagrange-egyenlet. Dinamikus modell felírása Lagrange-egyenlet alapján. Példa a 2-dof robotkarral.

Robotkarok irányítása

Decentralizált 3-hurkos kaszkádszabályozás. Kiszámított nyomatékok módszere. Hibrid pozíció és erő irányítás.

Robotkarok pályatervezési feladata

Pályatervezési feladat a csap-furat problémán illusztrálva. Polinomiális trajektóriatervezés csuklókoordinátákban.

Mobilis robotok bevezetés

Mobilis robotok típusai, matematikai modellek (kerekeken guruló, lépegető, repülő robotok).

Mobilis robotok navigációja

Navigációs módszerek bemutatása. Inerciális navigáció érzékelői, mért és számított mennyiségek. Környezet érzékelése.

Szenzorfüzió

LS becslés, Kalman filter, Particle filter, SLAM probléma megfogalmazása.

Mozgástervezés hierarchikus megvalósítása

Globális és lokális tervező módszerek. Térkép típusok és alkalmazható megoldások (determinisztikus és véletlenszerű), reaktív tervezők (pl. APF, Bug, VO módszerek).

Mobilis robotok optimális pályatervezése síkban

Optimális pálya Dubins és Reeds-Shepp típusú robotok esetén. Folytonos görbületű pálya tervezése.

Területfedési pályatervezés

Területfedési probléma megfogalmazása, alkalmazási területek, megoldási lehetőségek (véletlenszerű, szisztematikus területfedési módszerek).

Mobilis robotok pályakövető szabályozása

Hibatranszformáción alapuló szabályozás, simasági tulajdonságon alapuló irányítás, PI jellegű megoldások.

Robot Operating System

ROS architektúra alapjai: ROS 1 és ROS 2 röviden.

Multiágensű robotrendszerek irányítása

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIIIIMA22](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy összefoglalja a korszerű multiágensű rendszereken alapuló robotrendszerek jellemzőit, tárgyalja a konfliktussal terhelt környezetben a megvalósítandó cél által generált irányításelméleti problémákat és az optimális viselkedés megvalósításához szükséges döntéshozatali játékelméleti alapjait. A tantárgy ezen kívül ismerteti multiágensű robotrendszerekhez köthető fontosabb specifikus problémákat, azok megoldási módszereit, különös tekintettel az alábbi alkalmazási területekre fókuszálva:

- Dinamikus ütközésselkerülő stratégiák, Menekülő-Üldöző problémák
- Területvédelmező és területfoglaló stratégiák
- Dinamikus területmegfigyelési és területfelügyeleti stratégiák
- Mozgó célpont felderítése, követése, terelése
- Formáció irányítás
- Randevű problémák
- Ismeretlen környezet feltérképezése, beszínezése
- Csapatjátékok
- Erőforrás optimalizálás, célpontkijelölő stratégiák

A tantárgy hangsúlyt fektet a multiágensű rendszerek irányításában alkalmazott játékelmélet, optimális irányításelmélet és a mesterséges intelligencia módszerek közötti kapcsolat bemutatására. A tárgyalt algoritmusok lépéseinek demonstrálása Matlab programrendszerben történik. A tantárgyat sikeresen abszolváló hallgatók közre tudnak működni multiágens robotrendszerek és mobilis robotok számítógépes irányító és navigációs rendszereinek tervezésében, a működéshez szükséges algoritmusok kifejlesztésében és megvalósításában.

2. A tantárgy tematikája

Multiágensű robotrendszerek irányításának játékelméleti alapjai véges számú stratégia esetén.

Véges nulla összegű statikus és dinamikus játékok: Definíció normál és extenzív alakban. A biztonsági és nyeregponti stratégiák meghatározása tiszta, viselkedési és kevert stratégiák terében.

Véges nem nulla összegű statikus és (egy- illetve többakciós) dinamikus játékok: Definíció normál és extenzív alakban. Létraszerűen egymásba ágyazott extenzív alakok kezelése. Előre eldöntött és késleltetve eldöntött Nash-egyensúlyok. Információs szempontból alárendelt játékok Visszacsatolt játékok. A biztonsági, a Nash-egyensúlyi és Stackelberg-egyensúlyi stratégiák meghatározása tiszta, viselkedési és kevert stratégiák terében.

Multiágensű robotrendszerek irányításának játékelméleti alapjai végtelen számú stratégia esetén.

A végtelen statikus játék definíciója. Az optimális reakciós görbék meghatározása. Stabil és robusztus egyensúly fogalma. Versengő nem versengő és patthelyzetet generáló szituációk.

Optimális irányítás egy változóban: Hamilton-Jacobi-Bellman egyenlet, Pontryagin-féle maximum elv.

Optimális irányítás több változóban diszkrét és folytonos időben nemkooperatív környezetben: A nyeregpont és a Nash-egyensúly származtatása a Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) egyenletről és a Pontryagin-féle maximum elvről. Az eredmények alkalmazása multiágensű robotrendszerre.

Optimális irányítás versengő környezetben: Hamilton-Jacobi-Isaac egyenlet. Az eredmények alkalmazása multiágensű robotrendszerre.

Multiágensű robotrendszer ütközésmentes pályatervezése

A feladat leírása, minimális tört stratégiák. Pályatervezés fix útvonalak mentén (kötőpályás járművek), független térképek alapján (közúti járművek). Korlátozás nélkül (légiforgalom, földi járművek szabad térben)

Játékelméleti és mesterséges intelligencia módszerek adoptálása területbiztosítási és területfelügyeleti feladatok ellátása dinamikusan mozgó robotcsapattal

A területre belépő illetéktelen behatolók felfedezése, terelése, illetve elfogása

A területen keletkező anomáliák felfedezése járőrözéssel

A területen mozgó, ismeretlen pozíciójú objektum megtalálása (mentési feladatok)

Formáció irányítási módszerek

Mobilis robotok, földi, vízi és légi járművek formációba rendezése. Randevú problémák definíciója, lehetséges megoldási módszerei. Pályatervezési algoritmusok a randevúk meghatározásához.

Multiágensű robotrendszerek tanulása

Mesterséges intelligencia módszerek (megerősítéses tanulás, mély tanulás) és játékelméleti módszerek integrálása komplex környezetben és korlátozások mellett. Multiágensű megerősítéses tanulás.

Robotrendszerek laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIIIIMB08](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, IIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja, hogy a hallgatók jártasságot szerezzenek a robotika, a pályatervezés, a navigáció és a multiágens rendszerek területén elsajátított elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazásában, és hogy megismerjék az ezen a területeken a kutatás-fejlesztési munka során alkalmazható korszerű hardver- és szoftver eszközöket.

A tantárgyat sikerrel teljesítő hallgatók gyakorlati ismeretekkel és készségekkel rendelkeznek az ipari robotkarok használatának, a mobilis platformok irányításának, pályatervezésének és navigációjának területén, valamint képesek a feladatok megoldásához rendelkezésre álló környezetek hatékony használatára.

2. A tantárgy tematikája

A hallgatók a félév során tíz alkalommal mérési feladatokat oldanak meg a tanszék laborjaiban kis létszámú mérőcsoportokban. A tíz mérési alkalom tematikája az alábbi:

- Kétszabadságfokú robotkar inverz geometriai feladatának megoldása, pozíciószabályozás megvalósítása
- Hatszabadságfokú ipari robotkar Denavit-Hartenberg paramétereinek meghatározása, inverz kinematikai feladatának megoldása Simscape környezetben
- Robotprogramozási feladat megoldása hat-szabadságfokú robotkarral
- Mobilis robot irányítása: Odometria feladat megoldása, orientáció meghatározása Kalman szűrővel, akadálykerülés
- Navigációs célú jelfeldolgozás. Pozíció és orientáció meghatározása IMU és GPS mérések alapján Kalman szűrővel
- Mobilis robot mozgástervezése Matlab Navigation Toolbox segítségével
- Robotrendszer irányítása ROS támogatással
- Multiágens robotrendszerek ütközésmentes pályatervezése
- Formáció irányítás szimulációban
- Multiágensű robotrendszerek tanulása

VI.1.11 Zöld villamos energetika mellékspecializáció (EET-VET)

- 1. A specializáció megnevezése:** Zöld villamos energetika
(...)
- 2. MSc szak:** villamosmérnöki
- 3. Specializációfelelős tanszék:** Elektronikus Eszközök Tanszéke
- 4. Oktató tanszékek:** EET, VET
- 5. Specializációfelelős oktató:** Dr. Plesz Balázs egyetemi docens (EET)

6. A specializáció célkitűzése:

A mai világunk egyik legnagyobb kihívását a jövő energiaellátásának megteremtése jelenti. Az energetikai szektor az elmúlt évtizedben óriási változásokon ment keresztül, amelyet a jelenlegi gazdasági, politikai és nem utolsósorban társadalmi trendek tovább gyorsítanak: az energiafelhasználás egyre inkább a villamos energia irányába tolódik, az olcsó és megbízható energiaellátás fontossága mellett pedig egyre nagyobb az igény a környezetkímélő módon termelt energiára és az energiafüggetlenségre, továbbá egyre nagyobb szerepet kap a hatékony és tudatos energiahasználat. Ennek megfelelően megfigyelhető a fosszilis energiaforrások egyre kisebb és a megújuló energiaforrások egyre nagyobb arányú használata az energiamixben, amelyet azonban már nem csak központi nagy erőművekben állítanak elő, hanem nagyszámú lakossági tulajdonban lévő kiserőművekben is. Így az új energiatermelési technológiák terjedése mellett megfigyelhető, hogy a korábbi, centralizált energiatermelés és elosztás egyre jobban eltolódik a sokszereplős, decentralizált energiatermelés és hálózati elosztás irányába. Ez a jelenleg is folyamatosan változó és átalakuló energetikai környezet mind műszaki, mind gazdasági és szabályozási szempontból jelentősen túlmutat a korábban jellemző villamos energiagazdálkodáson, és a klasszikus villamos energetikai ismereteken túl számos új, egyéb szakterületekre is kiterjedő ismereteket igényel az új kihívások hatékony megoldásához.

A mellékspecializáció célkitűzése, hogy olyan elméleti és gyakorlati ismeretanyagot biztosítson a hallgatóknak, amelyekkel felkészülnek a villamos energetikai szektorban várható trendek és fejlődési irányok szakmai kihívásaira, mint például a megújuló energiaforrások egyre nagyobb mértékű alkalmazása, a decentralizált hálózatok kérdései és az otthonok önálló energiaellátása és energiahatékonysága. A mellékspecializáció a hangsúlyt a villamos energia megújuló energiaforrásokból történő termelésre és az energiamenedzsmentre fekteti. A tantárgyak keretében bemutatjuk az megújuló energiaforrások hasznosításának műszaki megoldásait (technológiák és komponensek), jellemzőit és korlátait, különös hangsúlyt fektetve a jelenleg legelterjedtebb és legnagyobb potenciállal rendelkező zöld villamosenergia-termelési technológiára, a napelemekre és azok gyakorlati alkalmazására (lakossági- és ipari méretű naperőművek felépítése, tervezése és karbantartása, napelemes rendszerek modellezése, termelésbecslés és előrejelzés). Az energiamenedzsment terén a tananyag lefedi a megújuló energiaforrások hálózatra csatlakoztatásából adódó problémák (teljesítményingadozások, hálózatszinkronizálás, decentralizált energiaelosztás) lehetséges megoldásait, a szigetüzemű rendszerek témakörét, az energiatárolási kérdéseket valamint a szabályozási környezetet. A mellékspecializáció tantárgyainak keretében a hallgatók ezen túlmenően mind az energiatermelés, mind az energiamenedzsment területén megismerkednek azokkal a várható fejlődési trendekkel és műszaki megoldásokkal, amelyek a közeljövőben alakítani fogják a szakterületet.

A specializáció tantárgyainak listája:

Tantárgy neve	Tantárgy típusa	Tantárgykód
Zöld villamosenergia-termelés	A tantárgy	BMEVIEEMA11
Megújulóenergia-menedzsment	B tantárgy	BMEVIVEMA24
Zöld energetika laboratórium	A labor	BMEVIEEMB04

Zöld villamosenergia-termelés

Mellékspecializáció A tantárgy

([BMEVIEEMA11](#), szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 1., 2/1/0/v/5 kredit, EET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a hallgatókat megismertetni a megújuló energiaforrásokból történő – főként villamos – energiaelőállítás műszaki megoldásaival. A tantárgy az átfogó áttekintés mellett főként a Magyarországon legjellemzőbben alkalmazott energiatermelő rendszerekre, azaz a szélerőművekre és a napelemekre helyezi a hangsúlyt, tárgyalva ezek jellemzőit, lehetőségeit, a technika jelen állását és jelenlegi fejlődési irányait. Emellett a tantárgy keretében ismertetjük a megújuló energiaforrásokból történő energiaelőállítás fejlődési trendjeit és jövőbeli lehetőségeit.

2. A tantárgy tematikája

Alapfogalmak: Energia, teljesítmény, energia fajták, energiaátalakítás, klasszikus energiatermelési formák. Megújuló energiaforrások, fajtái, jellemzői, energiamix, jövőbeli zöld energia tervek, kapcsolódó problémák, aktuális trendek a megújuló energiaelőállítás terén, épületenergetikai szempontok

Szélerőenergia, geotermia, víz- és napenergia mint primer energiaforrás, turbinatípusok, energiataralom, hatásfok, műszaki lehetőségek és kihívások, telepítési megfontolások

Forgógépes energiaátalakítás megújuló energiákból, leggyakrabban alkalmazott típusok, kétoldalról táplált, állandó mágneses szinkrongépek

Napenergia hasznosítása nem villamos formában, hidrogénfejlesztés, hidrolízis, fotokatalízis, napenergia átalakítása tárolható és szállítható formába, alternatív üzemanyag

Villamos energiaelőállítás napenergiából: fototermikus erőművek, napelemek működése, fajtái, elméleti maximális hatásfok, egydiódás napelemmodell és paraméterei

Cellatípusok, cellák előállítása, modulok felépítése

Napelemek üzemi viselkedése, elhelyezés, hőmérséklet, öregedés hatása. Modellezés és termeléselőrejelzés.

Napkövetés, koncentrátoros rendszerek.

Fotovoltaikus eszközök minősítése és méréstechnikája, alapvető jellemzők mérése, minősítési szabványok

Teljesítményelektronika a megújuló energetikában: alkalmazott teljesítményfelvezetők fajtái és jellemzői, DC/DC átalakítás, inverterek mint DC/AC konverter, alapvető invertertopológiák, MPPT

Háromfázisú inverter, gyakorlati megvalósítások, szűrés, hálózati szinkronizálás

Napelemes rendszerek fenntarthatósága, élettartam, megtermelt energia, kihasználtság, újrahasznosítás, modupra és teljes rendszerre

Spektrumbontásos rendszerek: spektrumbontás elve, többátmenetes napelemek, csatolt hő és villamos energiatermelés, napelemes és termoelektromos generátoros kombinált rendszerek

Hulladékenergia hasznosítása, mikroméretű energiatermelő rendszerek autonóm eszközökbe

Megújulóenergia-menedzsment

Mellékspecializáció B tantárgy

([BMEVIVEMA24](#), szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 2., 2/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a hallgatókat megismertetni a megújuló energiaforrásokra épülő energiagazdálkodás módszereivel és lehetőségeivel. Ennek során a tantárgy kitér az energiaelosztó rendszer sajátosságaira és szabályozási mechanizmusaira, a megújuló energiaforrások a jelen rendszerbe történő beillesztésének problémáira és lehetséges megoldásaira, valamint a további elterjedésükhöz szükséges rendszer- és felhasználói szintű szemléletváltásra, bemutatva a rendelkezésre álló és a jövőben várható műszaki megoldásokat és technológiákat.

2. A tantárgy tematikája

Megújuló energiaforrások hálózatra kapcsolása: szabályozási kérdések, energiaegyensúly, rendszerszintű szolgáltatások
Hálózati problémák kezelése
Energiatárolás: rövid/hosszú távú energiatárolás kérdései, energiatárolás elektromos és egyéb formákban, tározós erőművek, akkumulátortípusok, power to gas, vanadium redox akkumulátor
Szigetüzem/hálózatos üzem: áram- fesz szab. Inercia, gridforming gridfeeding megoldások
Műszaki reguláció, nemzetközi és hazai előírásrendszerek és szabványok
Piaci reguláció, piacok, termékek, szereplők
Megtérülés számítása, gazdasági szempontok (kiserőművek, piaciokon való részvétel, önálló vagy portfólióban való üzemeltetés)
Háztartási méretű Napelemes rendszerek méretezése, telepítési megfontolások
Napelemes rendszerek üzemeltetése és karbantartása, felügyeleti rendszerek
Pusztán DC alapú háztartási rendszerek
Nagyfeszültségű DC-rendszerek
Energiahatékonyság, esettanulmányon keresztül bemutatva
Megújuló energiaforrásokra épülő energetika és a szükséges szemléletváltás
Villamos energiaellátás pusztán megújuló energiaforrásokból

Zöld energetika laboratórium

Mellékspecializáció A labor

([BMEVIEEMB04](#), szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 3., 0/0/3/f/4 kredit, EET)

1. A tantárgy célkitűzése

A hallgatók vezetett laborgyakorlatok keretein belül sajátítják el a megújuló energiaforrásokkal történő energiatermelésben, valamint az energiaelosztásban alkalmazott gyakorlati módszereket. A tantárgy első felében a hallgatók egy napelem mérési és modellezési, valamint termeléselőrejelzési folyamatán haladnak végig, a második felében pedig a hálózatra kapcsolás módszereivel, inverter szabályozással és hálózatszámítással foglalkoznak.

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy 1 db bevezető/beosztási alkalomra és 10 db 4 órás laboralkalomra tagolódik.

- Napelemek minősítő mérései, spektrális válasz és áram-feszültségkarakterisztika felvétele napszimulátorban, napelemmodul karakterizálása különböző üzemi körülmények mellett (változó fényerő, hőmérséklet, árnyékolás)
- Egydiódás napelemmodell paramétereinek meghatározása az előző alkalom során mért I-V görbékből, görbeillesztéses eljárásokkal, egydiódás modell felállítása
- Szimulációs modell készítése Matlab szoftverkörnyezetben, csatolt elektromos és termikus modell felállítása modulre és rendszerre
- Kültéri adatgyűjtő rendszerek kezelése és adatgyűjtés
- Termelésszámítási eljárások alkalmazása historikus gyűjtött adatokkal és a felállított modellel
- Szélerőművek villamos rendszerei
- Klasszikus grid-feeding inverter szabályozás
- Szigetüzemű (grid-forming) inverter szabályozás
- Több inverter szigetüzemben (load-sharing, harmonikus stabilitás)
- NEPLAN hálózatszámítás

VI.2 Projektantárgyak

A mesterképzés keretein belül a hallgatók ún. projektantárgyakat vesznek fel, melyek vagy az általuk választott fő-, vagy a mellékspecializációhoz kapcsolódik. Ezek a tantárgyak rendre az első szemesztertől kezdődően az Önálló laboratórium 1, Önálló laboratórium 2, Szakmai gyakorlat (kritérium tantárgy), majd a Diplomatervezés 1 és Diplomatervezés 2. Ezen tantárgyakban a hallgatók néhány fő csoportokban, vagy önállóan oldanak meg nagyobb méretű műszaki feladatokat (projekteket), egy-egy téma akár több tantárgy keretein is átívelhet (minden egyes tantárgy számára konkrét, önállóan értékelhető részfeladatot megfogalmazva). A projektantárgyakat a hallgatók kizárólag valamelyik specializációra való besorolásukat követően vehetik fel, a felvétel szabályait részletesen az MSc specializációválasztási szabályzat tartalmazza.

Önálló laboratórium 1

(szemeszter - őszi kezdés: 0., tavaszi kezdés: 1., 0/0/3/f/5 kredit)

Tantárgykód	Tantárgynév	Tanszék
BMEVIAUML12	Önálló laboratórium 1	AUT
BMEVIEEML12	Önálló laboratórium 1	EET
BMEVIETML12	Önálló laboratórium 1	ETT
BMEVIHIML12	Önálló laboratórium 1	HIT
BMEVIHVML12	Önálló laboratórium 1	HVT
BMEVIIIIML12	Önálló laboratórium 1	IIT
BMEVIMIML12	Önálló laboratórium 1	MIT
BMEVISZML12	Önálló laboratórium 1	SZIT
BMEVITMML12	Önálló laboratórium 1	TMIT
BMEVIVEML12	Önálló laboratórium 1	VET

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy két féléve során a hallgatók komplex mérnöki feladatot oldanak meg, amelynek eredményeként olyan műszaki alkotás jön létre, amelyben a hallgató egyéni közreműködése jól elkülöníthető. Ennek során a mérnöki munka minden lényeges fázisával megismerkednek, és az egyes részfeladatokat a lehető legnagyobb mértékben önállóan végzik el. A két féléves Önálló laboratórium tantárgy felkészít a szintén két féléves Diplomatervezés tantárgy elvégzésére.

Az első félév programja a téma kiválasztása, a feladat részletes specifikálása, a rendszerterv elkészítése, valamint a megoldás során időarányos előrehaladás.

2. A tantárgy tematikája

Az oktatási időszak első hetében (a regisztrációs hetet követően) a hallgatók jelentkeznek a meghirdetett konkrét témákra, vagy témacsoportokra, a leendő konzulenssel egyeztetve a feladatot. Célszerű a téma kiválasztása ügyében a tanszéket a félévet megelőző vizsgaidőszakban felkeresni, amennyiben ez lehetséges.

A félév elején a hallgatók a konzulenssel közösen elkészítik a feladatok kiírását és ütemezését. A feladatkiírás konkrét formai követelményeit és leadásának módját a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

A tantárgy első félévének végén mindenkinek be kell számolni a félév során végzett munkáról. A beszámoló szóbeli és írásbeli részt tartalmaz. A beszámoló konkrét formai követelményeit és ütemezését a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a tanszék ahhoz konzulenszt biztosít. A külső konzulens – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű, illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A feladatot úgy kell kiválasztani,

illetve a dokumentációt úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a hallgató tevékenysége.

Az önálló laboratóriumi feladat külföldön is készíthető, a BME bármely oktatási nyelvén: magyar, angol, francia, német és orosz nyelven. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső témához hasonló módon előre egyeztetni kell a felvett tantárgyat gondozó tanszékkel. A hallgató munkájáról a külföldi konzulenzól rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a konzulens értékeli. A külföldön készített munkáról ugyanúgy kell beszámolni, mint az itthon kidolgozott feladatok esetében.

Két vagy több hallgató részére közös témát is lehet kiadni, de csak különválasztva, névre szólóan, ha a tevékenység és a munka eredménye egyértelműen elkülöníthető. A feladatkiírásban egyértelműen meg kell nevezni az önállóan, illetve a közös témán dolgozó többi hallgató által kidolgozandó részfeladatokat.

Önálló laboratórium 2

(szemeszter - őszi kezdés: 1., tavaszi kezdés: 2., 0/0/3/f/5 kredit)

Tantárgykód	Tantárgynév	Tanszék
BMEVIAUML13	Önálló laboratórium 2	AUT
BMEVIEEML13	Önálló laboratórium 2	EET
BMEVIETML13	Önálló laboratórium 2	ETT
BMEVIHIML13	Önálló laboratórium 2	HIT
BMEVIHVML13	Önálló laboratórium 2	HVT
BMEVIIIIML13	Önálló laboratórium 2	IIT
BMEVIMIML13	Önálló laboratórium 2	MIT
BMEVISZML13	Önálló laboratórium 2	SZIT
BMEVITMML13	Önálló laboratórium 2	TMIT
BMEVIVEML13	Önálló laboratórium 2	VET

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy két féléve során a hallgatók komplex mérnöki feladatot oldanak meg, amelynek eredményeként olyan műszaki alkotás jön létre, amelyben a hallgató egyéni közreműködése jól elkülöníthető. Ennek során a mérnöki munka minden lényeges fázisával megismerkednek, és az egyes részfeladatokat a lehető legnagyobb mértékben önállóan végzik el. A két féléves Önálló laboratórium tantárgy felkészít a szintén két féléves Diplomatervezés tantárgy elvégzésére.

A második félév programja a feladat megoldásának befejezése, valamint az elkészült műszaki alkotás tesztelése és dokumentálása.

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy második félévében a hallgatók általában az első félévben elkezdett feladatot folytatják, a feladatkiírásnak megfelelően.

Az első oktatási héten, értékelve a feladat készültségi fokát, dönteni kell a feladat esetleges módosításáról úgy, hogy a feladat a félév végéig befejezhető legyen. A módosított feladatkiírás konkrét formai követelményeit és leadásának módját a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

A tantárgy második félévének végén mindenkinek be kell számolni a félév során végzett munkáról. A beszámoló szóbeli és írásbeli részt tartalmaz. A beszámolók konkrét formai követelményeit és ütemezését a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a tanszék ahhoz konzulenz biztosít. A külső konzulenz – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű, illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A feladatot úgy kell kiválasztani, illetve a dokumentációt úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a hallgató tevékenysége.

Az önálló laboratóriumi feladat külföldön is készíthető, a BME bármely oktatási nyelvén: magyar, angol, francia, német és orosz nyelven. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső témához hasonló módon előre egyeztetni kell a felvett tantárgyat gondozó tanszékkel. A hallgató munkájáról a külföldi konzulensről rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a konzulens értékeli. A külföldön készített munkáról ugyanúgy kell beszámolni, mint az itthon kidolgozott feladatok esetében.

Két vagy több hallgató részére közös témát is lehet kiadni, de csak különválasztva, névre szólóan, ha a tevékenység és a munka eredménye egyértelműen elkülöníthető. A feladatkiírásban egyértelműen meg kell nevezni az önállóan, illetve a közös témán dolgozó többi hallgató által kidolgozandó részfeladatokat.

Szakmai gyakorlat

(1.-4. szemeszter, 0/0/0/a/0 kredit)

Tantárgykód	Tantárgynév	Tanszék
BMEVIAUMS01	Szakmai gyakorlat	AUT
BMEVIEEMS01	Szakmai gyakorlat	EET
BMEVIETMS01	Szakmai gyakorlat	ETT
BMEVIHIMS01	Szakmai gyakorlat	HIT
BMEVIHVMS01	Szakmai gyakorlat	HVT
BMEVIIIIMS01	Szakmai gyakorlat	IIT
BMEVIMIMS01	Szakmai gyakorlat	MIT
BMEVISZMS01	Szakmai gyakorlat	SZIT
BMEVITMMS01	Szakmai gyakorlat	TMIT
BMEVIVEMS02	Szakmai gyakorlat	VET

1. A tantárgy célkitűzése

A szakmai gyakorlat célja, hogy a hallgatók a gyakorlatban alkalmazzák az új villamos, elektronikus és számítástechnikai rendszerek, berendezések és eszközök tervezésével, fejlesztésével és rendszerbe integrálásával kapcsolatos ismereteiket, részt vegyenek szakterületük kutatási-fejlesztési feladatainak kidolgozásában. A legalább négy hetes szakmai gyakorlat során a hallgatók a tanszéki és vállalati konzulens által meghatározott feladatot oldanak meg. Feladatuk kapcsolódhat diplomatervükhöz, TDK dolgozatukhoz, önálló labor feladatukhoz, de azoktól jól elkülöníthetőnek kell lennie.

2. A tantárgy tematikája

Négy hét (húsz munkanap) kiméretű, az oktatási intézményben, vagy az oktatási intézményen kívül teljesítendő szakmai gyakorlati munka. A lehetséges helyszínekről és időpontokról a szakmai gyakorlat lebonyolításra vonatkozó szabályzat rendelkezik.

A hallgatók a szakmai gyakorlat alatt a tanszéki, vagy a vállalati konzulens felügyelete és irányítása mellett dolgoznak. A munkakezdésre, befejezésre a tanszéki, illetve a vállalati munkarend előírásai a mértékadók. A hallgatók a szakmai gyakorlat alatt napra lebontott munkanaplót vezetnek. A munkanapló hitelességét a szakmai gyakorlat végén a konzulens aláírásával igazolja.

A szakmai gyakorlat végén a hallgatók írásos beszámolót készítenek. A beszámoló a BME bármely oktatási nyelvén megírható (magyar, angol, francia, német és orosz nyelven), függetlenül attól, hogy a szakmai gyakorlat mely országban valósult meg, amennyiben a tanszéki/kari felelős ehhez előzetesen hozzájárul. A beszámolót a konzulens aláírásával igazolja, a munkáról rövid értékelést készít. A munkanaplót, a beszámolót és az értékelést arra a tanszékre kell benyújtani, amely a témát kiírta. A beadási határidőt a tanszéki szakmai gyakorlati felelős határozza meg, figyelembe véve az egyetemi munkarendet (pl. nyári leállás).

Diplomatervezés 1

(szemeszter - őszi kezdés: 2., tavaszi kezdés: 3., 0/3/0/f/10 kredit)

Tantárgykód	Tantárgynév	Tanszék
BMEVIAUMT12	Diplomatervezés 1	AUT
BMEVIEEMT12	Diplomatervezés 1	EET
BMEVIETMT12	Diplomatervezés 1	ETT
BMEVIHIMT12	Diplomatervezés 1	HIT
BMEVIHVMT12	Diplomatervezés 1	HVT
BMEVIIIIMT12	Diplomatervezés 1	IIT
BMEVIMIMT12	Diplomatervezés 1	MIT
BMEVISZMT12	Diplomatervezés 1	SZIT
BMEVITMMT12	Diplomatervezés 1	TMIT
BMEVIVEMT12	Diplomatervezés 1	VET

1. A tantárgy célkitűzése

A hallgatónak az oklevél megszerzéséhez MSc szinten diplomatervet kell készítenie. A diplomatervvel azt kell igazolni, hogy diplomázó önálló mérnöki munkára alkalmas, ismeri és alkalmazni tudja a mérnöki munkamódszereket, képes a feladatkiírást értelmezni, továbbá a választott megoldást értékelni és elemezni. Az első félév programja irodalomkutatás, a rendszerterv elkészítése, valamint a megoldás során időarányos előrehaladás.

2. A tantárgy tematikája

A diplomaterv témája a kar valamely (lehetőleg a hallgató által felvett szakiránynak megfelelő) tanszékén a tanszékvezető jóváhagyásával meghirdetett témák közül választható.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a kar valamely szakmailag illetékes tanszékének vezetője azt támogatja, és ahhoz tanszéki konzulenszt biztosít. A külső konzulens – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A diplomaterv témáját általában úgy kell kiválasztani, illetve a tervet úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a diplomázó tevékenysége. Kivételes esetben, a kutatás-fejlesztés terén vezető vállalatok, gazdasági szervezetek titkos diplomaterv-témákat írhatnak ki. A téma titkosságáról a hallgatót a témára jelentkezéskor tájékoztatni kell.

A diplomaterv külföldön is készíthető, a BME bármely oktatási nyelvén: magyar, angol, francia, német és orosz nyelven. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső diplomatervhez hasonló módon előre egyeztetni kell a kar valamely szakmailag illetékes tanszékével. A diplomatervnek meg kell felelnie az itthoni előírásoknak. A diplomatervező munkájáról és a diplomatervről a külföldi konzulensztől rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a záróvizsga bizottsághoz kell eljuttatni. A külföldön készült diplomatervet ugyanúgy meg kell védeni a záróvizsgán, mint az itthon készült terveket.

Két vagy több hallgató részére közös témájú feladatot is lehet kiadni, de csak különválasztva, névre szólóan, ha a tevékenység és a munka eredménye egyértelműen elkülöníthető. A feladatkiírásban egyértelműen meg kell nevezni az önállóan, illetve a közös témán dolgozó többi hallgató által kidolgozandó részfeladatokat. Közös feladat esetén lehetőség van csak egyes részfeladatok titkosítására. Ekkor az a diplomaterv-téma minősül titkosnak, amely legalább egy titkos részfeladatot tartalmaz.

Közös témájú diplomaterv esetében egyértelműen meg kell jelölni a nem önállóan megoldott részfeladatokat; figyelembe véve, hogy a diplomatervezés második félévére már nem adható ki közös feladat.

A munkabeosztás betartását, a munka előrehaladását és a hallgató felkészülését a konzulens folyamatosan ellenőrzi. Ha a munkavégzés nem a tanszéken történik, a hallgatónak akkor is rendszeresen be kell számolnia a tanszéki konzulensnek.

A félév végén a hallgató munkájáról írásos beszámolót készít és szekcióülésen előadást tart. Az írásos beszámolót a szóbeli beszámoló előtt 5 munkanappal korábban kell beadni. Terjedelme kb. 30 oldal. A szorgalmi időszak végén, egyeztetett időpontban a hallgató legalább 10 perces előadásban, szekcióülésen számol be az általa végzett munkáról.

Az írásos beszámolót a kari diplomaterv portálra is fel kell tölteni.

Diplomatervezés 2

(szemeszter - őszi kezdés: 3., tavaszi kezdés: 4., 0/7/0/f/20 kredit)

Tantárgykód	Tantárgynév	Tanszék
BMEVIAUMT13	Diplomatervezés 2	AUT
BMEVIEEMT13	Diplomatervezés 2	EET
BMEVIETMT13	Diplomatervezés 2	ETT
BMEVIHIMT13	Diplomatervezés 2	HIT
BMEVIHVMT13	Diplomatervezés 2	HVT
BMEVIIIIMT13	Diplomatervezés 2	IIT
BMEVIMIMT13	Diplomatervezés 2	MIT
BMEVISZMT13	Diplomatervezés 2	SZIT
BMEVITMMT13	Diplomatervezés 2	TMIT
BMEVIVEMT13	Diplomatervezés 2	VET

1. A tantárgy célkitűzése

A hallgatónak az oklevél megszerzéséhez MSc szinten diplomatervet kell készítenie. A diplomatervvel azt kell igazolni, hogy diplomázó önálló mérnöki munkára alkalmas, ismeri és alkalmazni tudja a mérnöki munkamódszereket, képes a feladatkiírást értelmezni, továbbá a választott megoldást értékelni és elemezni.

A második félév programja a feladat megoldásának befejezése, valamint a diplomaterv elkészítése.

2. A tantárgy tematikája

A diplomaterv témája a kar valamely (lehetőleg a hallgató által felvett szakiránynak megfelelő) tanszékén a tanszékvezető jóváhagyásával meghirdetett témák közül választható. A diplomatervezés második félévében az első félévben megkezdett munkát kell folytatni. A téma megváltoztatására csak akkor van lehetőség, ha a hallgató a második félévben a Diplomatervezés 1. tantárgyat javító célú tantárgyfelvétellel ismét felveszi. Ez esetben újra 30 kredit értékű feladatot kell kiírni.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a kar valamely szakmailag illetékes tanszékének vezetője azt támogatja, és ahhoz tanszéki konzulenszt biztosít. A külső konzulens – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A diplomaterv témáját úgy kell kiválasztani, illetve a tervet úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a diplomázó tevékenysége. Kivételes esetben, a kutatás-fejlesztés terén vezető vállalatok, gazdasági szervezetek titkos diplomaterv-témákat írhatnak ki. Az engedélyt a tanszéknek a Diplomatervezés 1. tantárgy felvétele előtt meg kell szereznie.

A diplomaterv külföldön is készíthető. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső diplomatervhez hasonló módon előre egyeztetni kell a kar valamely szakmailag illetékes tanszékével. A diplomatervnek meg kell felelnie az itthoni előírásoknak. A diplomatervező munkájáról és a diplomatervről a külföldi konzulensztől rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a záróvizsga bizottsághoz kell eljuttatni. A külföldön készült diplomatervet ugyanúgy meg kell védeni a záróvizsgán, mint az itthon készült terveket.

Diplomatervet magyar nyelven kívül a BME valamely idegen oktatási nyelvén (angol, francia, német és orosz nyelven) is lehet készíteni, amennyiben a tanszéki konzulens ehhez hozzájárul.

Két vagy több hallgató részére a tantárgy második félévében nem adható ki közös feladat.

A diplomatervből a hallgatónak nyilatkoznia kell arról, hogy az saját munkájának eredménye. Közös témájú diplomaterv esetében egyértelműen meg kell jelölni a nem önállóan megoldott részfeladatokat; figyelembe véve, hogy a diplomatervezés második félévére már nem adható ki közös feladat.

A munkabeosztás betartását, a munka előrehaladását és a hallgató felkészülését a konzulens folyamatosan ellenőrzi. Ha a munkavégzés nem a tanszéken történik, a hallgatónak akkor is rendszeresen be kell számolnia a tanszéki konzulensnek.

A félévközi jegy megszerzésének a diplomaterv beadása nem feltétele. Az érdemjegyet a tanszéki konzulens javaslata alapján a tantárgyfelelős adja.

A tantárgyat teljesíti a hallgató, ha a két félév során az előkészítő munkát elvégezte, és a diplomatervet ezután már várhatóan konzulensi segítség nélkül is el tudja készíteni.

A diplomaterv beadásának határideje annak a szorgalmi időszaknak az utolsó napja, amelyhez tartozó záróvizsga-időszakban a hallgató diplomatervét meg kívánja védeni.

A diplomaterv beadhatóságát a tanszéki konzulens minősíti. Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma esetén a külső konzulens ajánlást ad a beadhatóság minősítéséhez. A diplomaterv beadásának tartalmi feltétele: a diplomatervből be kell mutatni a feladatkiírásban megnevezett, összes önállóan kidolgozandó részfeladat megoldását. Ha egy részfeladat megoldása mégis ellehetetlenül, akkor kivételes esetben a diplomaterv tanszékvezetői engedéllyel beadható, de a részfeladatra vonatkozó alfejezetben deklarálni kell az ellehetetlenülés tényét, és meg kell adni az ellehetetlenülés okát.

A diplomaterv formai követelményei: A diplomatervet 1 példányban írásban, egy kötetben, keménynyitós borítással, szükség esetén mellékletekkel, valamint 1 példányban elektronikus formában, az érvényes kari előírások szerint kell beadni.

Két vagy több hallgató közös témájú diplomatervét külön kötetben és külön elektronikus példányban kell elkészíteni.

A diplomaterv nyilvános, kivéve, ha a diplomaterv-témát a dékán titkosította. Ez utóbbi esetben a diplomaterv a sikeres záróvizsgát követő 3 év múlva válik nyilvánossá. A nyilvánosságra-hozatalról a kari diplomaterv portál kezelője gondoskodik. A diplomaterv elkészítésével, beadásával és megvédésével kapcsolatos tudnivalókról a tanszék a kiadáskor tájékoztatja a hallgatót.

A tantárgy sikeres elvégzése során elkészített diplomaterv érdemjegyét a záróvizsga bizottság állapítja meg.

VII. Szabadon választható tantárgyak

A szabadon választható tantárgycsoportban a hallgatók ismereteik bővítésére általuk szabadon választott tantárgyakat vesznek fel - minimum 6 kreditpont kiméretben - a Kar, más karok, vagy más egyetemek tantárgyainak kínálatából.

A szabadon választható tantárgyakat a képzések szakbizottságai három kategóriába sorolják: **Ajánlott** egy tantárgy, ha azt a szakbizottság a hallgató szakmai ismereteit bővítő tantárgynak ítéli. **Befogadott** egy tantárgy, ha az a hallgató általános érdeklődésére tarthat számot, de szakmailag kevésbé kapcsolódik a képzéshez. **Tiltott** egy tantárgy, ha az a képzésben szereplő tantárgyakkal a TVSz-ben megengedett mértéknél nagyobb átfedést tartalmaz, így teljesítése kredittel nem elismerhető.

A kari honlapon található, szakonként elkülönülő táblázatok és a Neptun Egységes Tanulmányi Rendszerben található mintatanterv szabadon választható tantárgyi blokkja az **ajánlott** tantárgyakat tartalmazza. A **befogadott** tantárgyakat a Neptunban az intézményi tantárgyak között találja, a **tiltott** tantárgyak (egy részének) felvételét a Neptun megakadályozza.

Felhívjuk figyelmét, hogy az összes intézményi tantárgy listájában szereplő tantárgyak több-kevesebb átfedést is tartalmazhatnak más tantárgyakkal. Ha a mintatantervben szereplő kötelező, illetve a tantervi követelmények teljesítéséhez már figyelembe vett egyéb tantárgyak ismeretei együttesen egy tantárgy tananyagának nagyobb hányadát tartalmazzák, úgy a tantárgy felvehető ugyan, de a tantervhez kapcsolódó követelmények teljesítéséhez nem vehető figyelembe [NFTv 49.§ (5)]. Ezt a Neptun nem tudja ellenőrizni, ezért a megfelelő tantárgyfelvétel minden hallgató saját felelőssége: ha a tantárgyi adatlap alapján ez nem egyértelmű, kérjük, hogy felvétel előtt ki-ki konzultáljon közvetlenül a tantárgy előadójával vagy felelősével, szükség esetén a Kari Kreditátviteli Bizottsággal.