



**Коммерциялық емес
акционерлік
қоғам**

**АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ
БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Теориялық
электртехника
негіздері кафедрасы

ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ МЕН ЭЛЕКТР ӨРІСТЕРІН ТАЛДАУ

5B071800- Электр энергетикасы мамандығы үшін № 1-3 есептеу- сызбалық жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар

Алматы 2017

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: Болдырева Л.П., Смагулова Г.К. Электр тізбектері мен электр өрістерін талдау. 5B071800- Электр энергетикасы мамандығы үшін № 1-3 есептеу-сызбалық жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар. - Алматы: АЭЖБУ, 2017. – 26 б

Әдістемелік нұсқаулық 5B071800- Электр энергетикасы мамандығы үшін ЭТжЭӨТ курсының «Динамикалық жүктемесі бар үшфазалы сызықты электр тізбектері» «Сызықты емес электр және магнит тізбектері» «Электрмагнитті өрістің теориясы» тақырыптары бойынша есептеу-графикалық жұмыстарына тапсырмалар мен әдістемелік нұсқаулар келтірілген.

Есептеу-графикалық жұмыстар бакалавр 5B071800 - Электр энергетикасы мамандығы бойынша оқитын үшінші курс студенттеріне арналған.

Без. 32, кесте.12, әд. көрсеткіші - 8 атау.

Пікір жазған: т.ғ.к., доцент Гали К.О.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2017 жылғы жоспары бойынша басылады.

©«Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2017 ж.

Мазмұны

1 Есептеу – графикалық жұмыстарды орындауға және рәсімдеуге арналған әдістемелік нұсқаулар.....	4
2 № 1 – тапсырма. Үш фазалық тізбектің симметриялы емес режимдерін симметриялық құрастырушылар тәсілімен есептеу.....	5
3 № 2 – тапсырма. Сызықты емес электр және магнит тізбектері.....	8
4 № 3 – тапсырма. Электрмагнитті өрістің теориясы.....	15
Әдебиеттер тізімі.....	25

1 Есептеу–сызбалық жұмыстарды орындауға және рәсімдеуге арналған әдістемелік нұсқаулар

Электр тізбектері мен электр өрістерін талдау (ЭТжЭӨТ) курсының оқу барысында есептеу–сызбалық жұмысы өте маңызды болып табылады. ЕГЖ орындау арқылы студент жүргізілген тәжірибелік есептеулерді теориялық кезеңдерге пайдалана алады, соңғы қорытындысында электр тізбегіне өз бетінше талдау жасап ЭТжЭӨТ курсының меңгеруде жақсы нәтижеге жетеді.

Ұсынылған әдістемелік өңдеу ЭТжЭӨТ негізгі бөлімдеріне байланысты үш ЕСЖ тұрады, бесінші семестрда оқытылады.

№1 ЕСЖ сызықты электр тізбегіндегі динамикалық жүктемесі бар үш фазалы тізбектің симметриялы емес режимдерін симметриялық құрастырушылар тәсілімен есептеуге арналған.

№2 ЕСЖ тұрақты токтың сызықты емес магнит және электр тізбектерін есептеуге арналған.

№3 ЕСЖ электрмагнитті өрістің теориясын есептеуге арналған.

Есептеу-графикалық жұмыстарды орындаған кезде келесі талаптарды орындау қажет:

- есептеу –сызбалық жұмыстың тапсырмасын сынақ кітапшасының нөмірі және тегінің бірінші әріпі бойынша таңдап, тапсырманың мәтінін қысқартуларсыз анықтамалық қағазға көшіру;

- есептеу - сызбалық жұмыстың әр кезеңі аталуы қажет. Жұмыс парақтың бір жағында ғана орындалады;

- анықтамалық қағазда тек қана есептеу формулаларымен соңғы нәтижелер ғана емес, сонымен қатар аралық есептеулер жасалған әрекеттерді түсінуге арналған анықтаулар болуы қажет;

- нұсқа нөмірі, топ, студенттің аты-жөні жұмыстың бірінші бетінде жазылуы тиіс;

- әр көрсеткіштерге өзінің өлшем бірлігін, комплекс үстіне нүкте қойылуы керек;

- түйін атаулары, резисторлардың, индуктивтіліктердің, сыйымдылықтардың көрсеткіштерін, кернеу мен токтардың шартты бағыттарын өзгертпеу керек;

- лездік мөлшердің қисықтары, векторлық, топографиялық және айналмалы диаграммалар миллиметрлі қағазда салынуы тиіс;

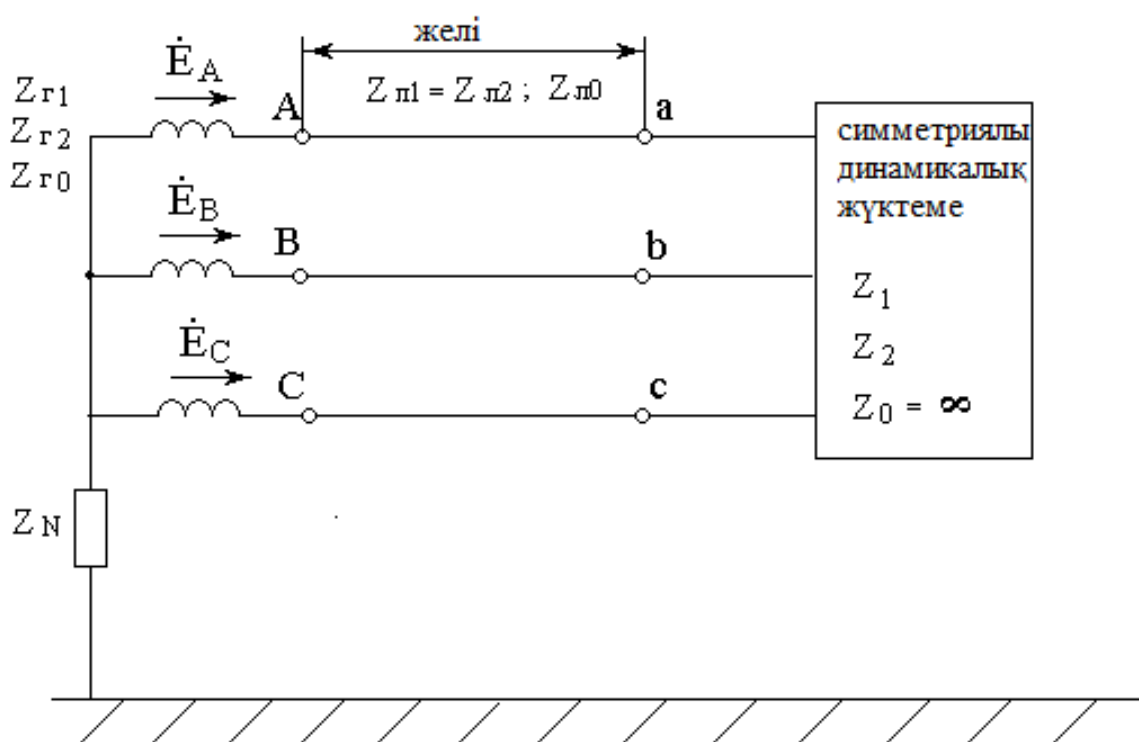
- бейнеленген мөлшердің атауларын сызбада көрсету. Сызбада немесе диаграммаларда масштабтарды таңдап алу, анықтамалық қағаздағы сұлбалар қалам, сызғыш және циркульді қолдану арқылы сызылуы керек;

- есептеу-сызбалық жұмысты рәсімдеу «Оқу жұмыстары. Жалпы тұрғызылу міндеттері, безендіру мен мазмұнында», фирмалық стандартқа сәйкес орындалады.

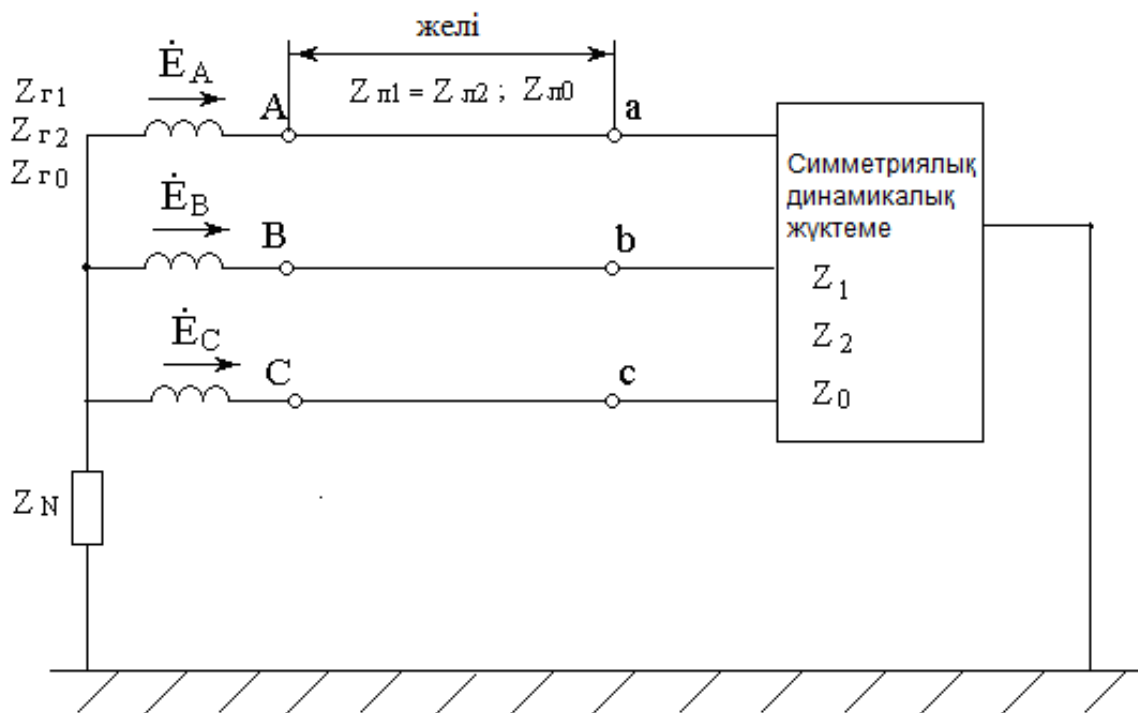
2 Тапсырма №1. Үш фазалық тізбектің симметриялы емес режимдерін симметриялық құрастырушылар тәсілімен есептеу

Симметриялық динамикалық жүктеме E_Φ фазалық ЭҚК-ші бар симметриялық үш фазалық генераторға қосылған (2.1 және 2.2 суреттер).

Генератордың, жүйенің, жүктеменің параметрлері 2.1, 2.2, 2.3 – кестелерінде келтірілген. Үш фазалық тізбекте (2.1 сурет) жүктеменің қысқышының бір фазасы жерге қысқаша тұйықталған болады, ал үш фазалық тізбекте (2.2 сурет) жүйенің бір сымы үзіледі. Нұсқаға сәйкес 2.1 - кестенің тапсырмасы бойынша симметриялық құрастырушылар әдісімен тізбектің барлық учаскелерінде токтар мен кернеулерді, генератордың активті, реактивті, толық қуаттарын есептеу керек.



2.1 сурет



2.2 сурет

2.1 кесте

Түскен жылы	Тегінің бірінші әрпі									
	АН	БО	ВПЯ	ГР	ДСИ	ЕТ	УЖ	ЗФ	ЧХ	КЦ
Тақ	МӘ	Ю	І	ШҒ	Ү	Щ	Ұ	Қ	Л	ЭӨ
Жүп	ЧХЛ	КЦЭ	АН	БО	ВПЯ	ЗФ	ГР	ЕТ	ДС	УЖ
		Ө	МӘ	Ю	І	Қ	ШҒ	Щ	ИҮ	Ұ
Сулбаның №	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2
Фазаның жерге қысқаша тұйықталуы	В	-	А	-	С	-	В	-	С	-
кесіндінің үзілуі	-	А	-	С	-	В	-	С	-	В
E_{ϕ} , В	300	500	250	127	220	200	450	350	400	380
Z_0 , Ом	∞	$j0,5$	∞	$j0,7$	∞	$j0,4$	∞	$j0,8$	∞	$J0,9$

2.2 кесте

Түскен жылы	Студенттік кітапшаның соңғы саны									
	9	0	8	1	7	3	5	4	6	2
Тақ	9	0	8	1	7	3	5	4	6	2
Жұп	7	8	3	2	4	9	6	1	5	0
$Z_1, \text{ Ом}$	$5 + j5$	$5 + j4$	$4 + j6$	$4 + j3$	$4 + j5$	$3 + j5$	$6 + j5$	$5 + j6$	$3 + j4$	$6 + j3$
$Z_2, \text{ Ом}$	$0,3 + j0,4$	$0,4 + j0,6$	$0,6 + j0,7$	$0,5 + j0,7$	$0,6 + j0,9$	$0,3 + j1$	$0,4 + j0,8$	$0,25 + j0,7$	$0,45 + j0,8$	$0,35 + j1$
$Z_{Л1} = Z_{Л2}, \text{ Ом}$	$j3,5$	$j4$	$j2,5$	$j5$	$j4,5$	$j3,8$	$j4,3$	$j4,7$	$j3,2$	$j3$
$Z_{Л0}, \text{ Ом}$	$j14$	$j12$	$j9$	$j10$	$j11$	$j13$	$j16$	$j15$	$j8$	$j9$

2.3 кесте

Түскен жылы	Студенттік кітапшаның соңғы санының алдындағы саны									
	7	1	6	2	5	3	4	8	9	0
Тақ	7	1	6	2	5	3	4	8	9	0
Жұп	9	1	0	7	8	6	4	2	5	3
$Z_{Г1}, \text{ Ом}$	$0,25 + j2$	$0,2 + j1,5$	$0,3 + j2,5$	$0,33 + j2,8$	$0,4 + j2,3$	$0,22 + j1,8$	$0,38 + j2,2$	$0,23 + j1,4$	$0,45 + j3$	$0,28 + j1,7$
$Z_{Г2}, \text{ Ом}$	$j0,2$	$j0,18$	$j0,15$	$j0,25$	$j0,16$	$j0,14$	$j0,19$	$j0,23$	$j0,24$	$j0,17$
$Z_{Г0}, \text{ Ом}$	$j0,05$	$j0,08$	$j0,06$	$j0,09$	$j0,07$	$j0,1$	$j0,11$	$j0,12$	$j0,13$	$j0,14$
$Z_N, \text{ Ом}$	$j0,6$	$j0,2$	$j0,5$	$j0,3$	$j0,35$	$j0,25$	$j0,4$	$j0,15$	$j0,45$	$j0,55$ 5

Әдістемелік нұсқаулар.

Динамикалық жүктемесі бар үш фазалы электр тізбегінің симметриялы емес тізбегін есептеу үшін қарымталау теоремасы мен бірге симметриялы құраушылар әдісін пайдаланады. Тізбектің симметриялы емес бөлігін (мысалға, бір фазаның жерге қысқаша тұйықталуы немесе жүйенің бір сымының үзілуі) ЭҚК-тері бар эквивалентті үшфазалы симметриялы емес кернеу көздері $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ ауыстырады. Бұл көздер үш симметриялы үшфазалы көздердің қосындысын береді тура, кері және нөлдік реттіліктерге сәйкес. Тура, кері және нөлдік реттіліктердің токтары мен кернеулерін есептеулерде беттесу принципі қолданады. Бұл әдісті пайдаланудың негізі әртүрлі реттілік үшін үшфазалы тізбектің симметриялы режим болып табылады.

Есептеудің реті:

1) Тізбектің симметриялы емес бөлігін электр қозғаушы күші бар $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ үшфазалы эквивалентті симметриялы емес көздермен ауыстырамыз. Бұл реттіліктері байланысқан үш түрде көруге болады,

$\dot{U}_{A1}, \dot{U}_{B1}, \dot{U}_{C1}$ тура үшфазалы симметриялы көздер, $\dot{U}_{A2}, \dot{U}_{B2}, \dot{U}_{C2}$ кері және $\dot{U}_{A0}, \dot{U}_{B0}, \dot{U}_{C0}$ нөлдік реттіліктерге байланысты.

2) Ақаулық сипатын сипаттайтын (қысқа тұйықталу немесе сымның үзілуі), бастапқы үш теңдеуді құру.

3) Эквивалентті орын басу сұлбасын салу және осыған байланысты тура реттіліктегі электр қозғаушы күш, кернеу және токтар үшін теңдеулер құру. Сұлбада симметриялы режим болғандықтан, тізбектік бірфазалы есептік сұлбасын құрған жөн. Ережеге сәйкес негізгі фаза ретінде «А» фазасын алады.

4) Бірфазалы орынбасу сұлбасын құрып және осыған сәйкес «А» фазасы үшін тура, кері және нөлдік реттіліктердегі электр қозғаушы күштің, кернеудің және ток теңдеулерін құру қажет.

5) Нәтижесінде $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_0, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_0$ белгісіз шамаларға қатысы алты теңдеулер жүйесін аламыз. Әдетте, алдымен токтарды содан кейін кернеулерді табамыз.

6) Тура, кері және нөлдік реттіліктерге сәйкес бірфазалы сұлбаны пайдалана отырып, одан әрі үшфазалы тізбектің барлық бөліктеріндегі симметриялы құраушылардың токтары мен кернеулерін табамыз.

7) Бастапқыдағы үшфазалы тізбектің барлық бөліктеріндегі нақты токтар мен кернеулерді симметриялы құраушылардың қосындысы ретінде табады. Мысалы:

$$\dot{I}_{ak3} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0, \dot{I}_{bk3} = a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0, \dot{I}_{ck3} = a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 + \dot{I}_0, \dot{U}_{an} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0,$$

$$\dot{U}_{bn} = a^2 \dot{U}_1 + a \dot{U}_2 + \dot{U}_0, \dot{U}_{cn} = a \dot{U}_1 + a^2 \dot{U}_2 + \dot{U}_0,$$

$$\text{мұндағы } a = e^{j120^\circ}, a^2 = e^{-j120^\circ} = e^{j240^\circ}, 1 + a + a^2 = 0.$$

8) Генератордың, желінің және жүктеменің активті, реактивті және толық қуаттарын есептеп токтар мен кернеулердің векторлық диаграммасын тұрғызамыз.

3 Тапсырма № 2. Сызықты емес магнит және электр тізбектері

Магнит тізбектерінің сұлбалары 3.1 – 3.10 – суреттерінде келтірілген. Магниттелуші I тогының мәні, w ораманың орам саны, магнит тізбегінің әр бөлігіндегі магнит желісінің орташа ұзындығы ℓ , магнитті сым бөліктерінің кесіндісі S 3.1 – 3.3 – кестелерінде берілген.

Магнит тізбекті жасаған болаттың магниттік қасиеттері негізгі магниттелуші қисықпен анықталады, ол 3.4 – кестесінде берілген.

Магнит тізбегі үшін келесіні орындау қажет :

- берілген магнит тізбегінің эквивалентті тізбегін көрсету;
- Кирхгоф заңы бойынша теңдеулер жүйесін құру ;
- екі түйінді графикалық әдіс арқылы магнит тізбектерін есептеп және Φ_1, Φ_2, Φ_3 магнит ағындарын анықтау;

3.1 кесте

Түскен жылы	Студенттің билетінің соңғы саны										
	Тақ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
сұлба №	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	
I_1, A	0.5	-	0.6	-	1.25	0.4	1.3	0.95	1.45	-	
w_1	60	-	30	-	40	70	25	15	50	-	
I_2, A	-	0.5	-	0.9	0.4	0.8	-	-	-	0.35	
w_2	-	60	-	20	40	55	-	-	-	50	
I_3, A	0.7	0.5	0.6	0.8	-	-	0.85	0.75	0.55	1.1	
w_3	25	30	15	65	-	-	60	45	35	40	
Жүп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
сұлба №	3.8	3.5	3.6	3.1	3.3	3.2	3.9	3.10	3.7	3.4	
I_1, A	0.6	0.55	0.7	0.8	0.9	-	0.85	-	1.5	-	
w_1	25	40	30	15	50	-	40	-	60	-	
I_2, A	-	0.3	0.6	-	-	0.45	-	0.35	-	0.8	
w_2	-	25	50	-	-	15	-	20	-	35	
I_3, A	1.8	-	-	1.25	0.9	0.8	0.75	0.7	0.6	1.3	
w_3	40	-	-	25	30	15	25	20	35	50	

3.2 кесте

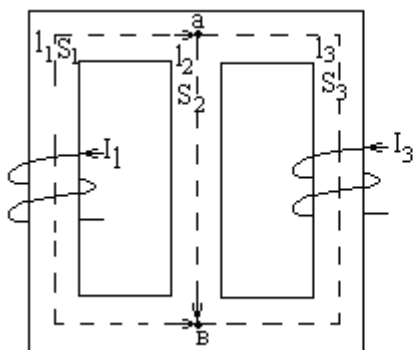
Түскен жылы	Студенттің билетінің соңғы санының алдындағы саны										
	Тақ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Жүп	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$l_1, см$	5	9	20	11	7	10	13	20	23	13	
$l_2, см$	10	14	15	6	12	5	8	15	17	7	
$l_3, см$	15	19	25	17	18	15	18	10	11	20	

3.3 кесте

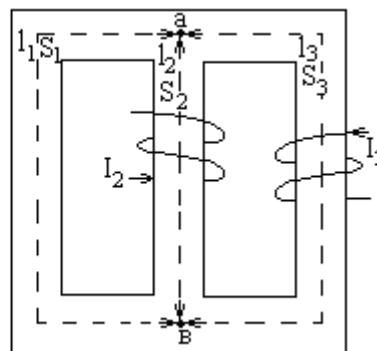
Түскен жылы	Тегінің бірінші әріпі									
	АЛ	БМ	ВН	ГО	ДП	ЕР	ЖС	ЗТ	ИУ	КФ
Тақ	М	Ц	Ч	Щ	Ш	Э	Ю	Я		
Жүп	ЕР	АЛ	ЖС	БМ	ЗТ	ВН	ИУ	ГО	КФ	ДП
	Э	Х	Ю	Ц	Я	Ч		Щ		Ш
$S_1, см^2$	12.6	4.3	18.5	6.3	8.6	5.7	10.7	7.4	20.5	15.3
$S_2, см^2$	8.2	5.8	10.2	5.2	6.3	6.3	8.4	5.6	10.3	10.2
$S_3, см^2$	12.6	4.3	18.5	6.3	8.6	5.7	10.7	7.4	20.5	15.3

3.4 кесте

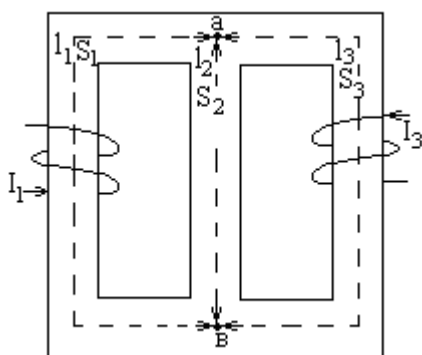
H, A/м	20	40	60	80	120	200	400	600	800	1200
B, Тл	0.22	0.75	0.93	1.02	1.14	1.28	1.47	1.53	1.57	1.6



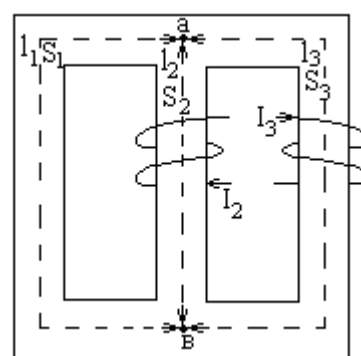
3.1 сурет



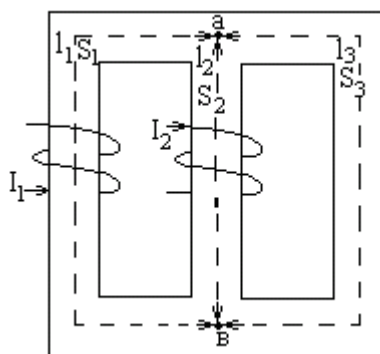
3.2 сурет



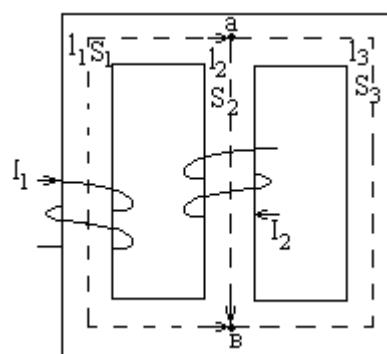
3.3 сурет



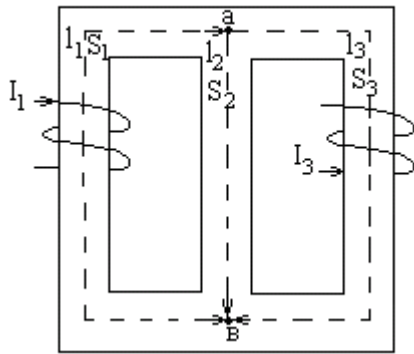
3.4 сурет



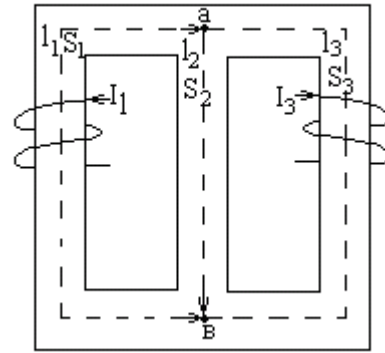
3.5 сурет



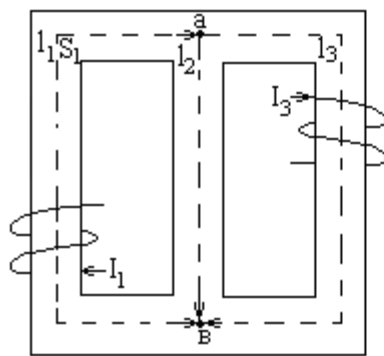
3.6 сурет



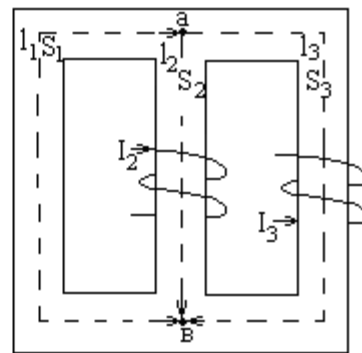
3.7 сурет



3.8 сурет



3.9 сурет



3.10 сурет

Әдістемелік нұсқаулар.

Магнит өрісін көру мүмкін емес, сезіну, иіскеу немес есту, сондықтан елестету қиын. Майкл Фарадей магнит өрісін графикалық түрде көруге ұсыныс жасады, өрісті магнит ағынының сызықтарынан тұратындай етіп бейнелеп, оны өріс тығыздығы және таралуына мүмкіндік берді.

Негізгі анықтауыштар.

Магнит ағыны магнит көздерінен шығарылған магнит өрісінің сандық мөлшері болып табылады (немесе күштік сызықтар саны). Магнит ағынының белгіленуі Φ (грек әріпі «фи»). Магнит ағынының өлшем бірлігі Вебер, *Вб*.

Магнит ағынының тығыздығы – ағынның бағытына перпендикуляр орналасқан, белгіленген ауданның қиылысуынан өтетін, ағынның сандық мөлшері:

$$\text{Магнит ағынының тығыздығы} = \frac{\text{магнит ағыны}}{\text{аудан}}.$$

Магнит ағынының тығыздығы B болып белгіленеді. Магнит ағынының тығыздығының өлшем бірлігі Тесла, T . $1T = \text{Вб}/\text{м}^2$. Сәйкесінше

$$B = \frac{\Phi}{S}, \text{ Тл (Тесла)},$$

Мұндағы S (m^2) – көлденең қиманың ауданы.

Магнит қозғаушы күш (МҚК) F_M магнит тізбегіндегі магнит ағынының пайда (көздердің) болуына себеп болады.

$$MMF, F_M = w \cdot I, A \text{ (Ампер)},$$

Мұндағы w – өткізгіштердің саны (немесе орамалардың) және I ток Ампермен анықталады. МҚК нің өлшем бірлігі «орамдар-Ампері». Әдетте, «орамдардың» өлшемі жоқ, ал F_M Си жүйесінде Ампермен анықталады.

Магнит өрісінің кернеулігі (магниттелуші күш),

$$H = \frac{w \cdot I}{l}, \frac{A}{m} \left(\frac{\text{Ампер}}{\text{метр}} \right)$$

мұндағы l – метрмен анықталған магнит ағынының траекториясының орташа ұзындығы. Сол себепті, магнит кернеулігі $U_m = H \cdot l$, Ампер.

Ауа үшін немесе магнит емес ортада магнит ағынының тығыздығының қатынасы B магниттелуші күштің H тұрақта шамасы болып табылады, яғни $B/H = \mu_0$ - тұрақты.

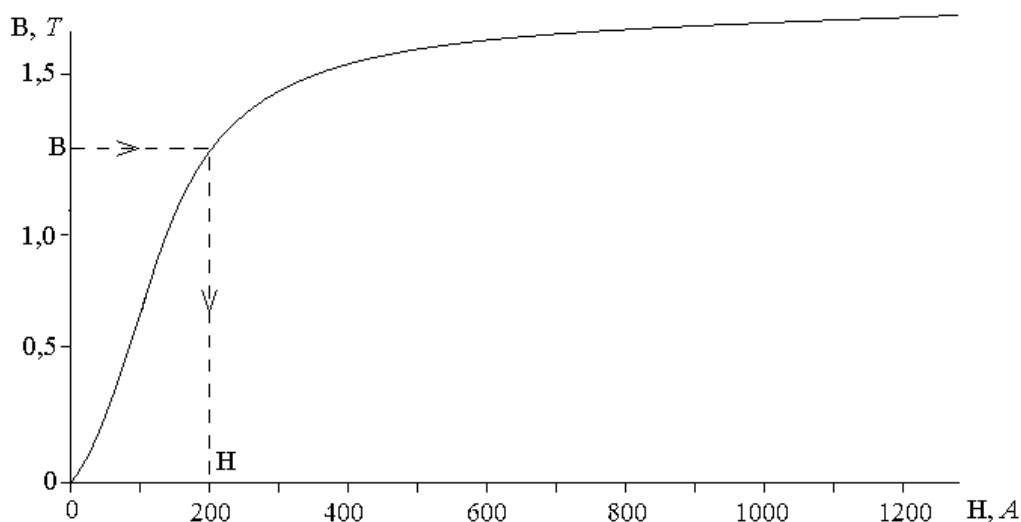
Бұл тұрақтылық μ_0 – вакуумның магнит өтімділігі (немесе магнит тұрақтысы) болып табылады, ауа үшін $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м тең немесе кез келген магнит емес орта үшін, $B/H = \mu_0$ қатынасы ауаны қосқанда барлық магнит емес материалдарға қарағанда магниттік қасиетке ие болады. Барлық орта үшін, вакуумнан айырмашылығы $B/H = \mu_0 \cdot \mu_r$ қатынасында.

$$\mu_r = \frac{\text{Материалдағы магнит өрісінің индукциясы}}{\text{Вакуумдағы магнит өрісінің индукциясы}}$$

Мұндағы μ_r – магнит өтімділігі, анықталуы μ_r шамасы магнит материалының типіне тәуелді, сол себептен магнит ағынының тығыздығының қатынасы болып табылады, өлшем бірліксіз. μ_r вакуум үшін бірге тең.

$$\mu_0 \cdot \mu_r = \mu \text{ абсолютті магнит өтімділік.}$$

Магнит ағынының тығыздығының B анықталған мәнін ескере отырып магнит өрісінің кернеулігіне H тәуелді магниттелу қисығын алады (немесе B - H қисығы). Магнит емес материалдар үшін бұл тәуелділік тек түзу сызықты көрсетеді. Электротехникалық болат үшін бұл тәуелділік (магнит материалы) 2.4 кестеде және төменгі суретте көрсетілген.



3.11 сурет– Электротехникалық болаттың магниттелу қисығы

Магнит емес материалдар үшін $\mu_r = 1$, сәйкесінше, магнит ағынының тығыздығы $B = \mu_0 \cdot H$. Магнит материалдары үшін ағын тығыздығы $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$.

Магнит ағыны $\Phi = B \cdot S$, мұндағы S (м^2) –көлденең қиманың ауданы.

Магнит тізбегіндегі магнит ағынының пайда болуындағы R_M белгіленуі «магнит кедергісін» береді.

$$R_M = \frac{F_M}{\Phi} = \frac{w \cdot I}{\Phi} = \frac{H \cdot l}{\Phi} = \frac{H \cdot l}{B \cdot S} = \frac{l}{S \cdot (B/H)} = \frac{l}{S \cdot \mu_r \cdot \mu_0}.$$

Магнит кедергісінің өлшем бірлігі $1/\text{Гн}$ (Гн^{-1}) немесе А/Вб .

Ферромагнитті материалдар төменгі магнитті кедергілерге ие болады және магнит экраны ретінде қолдануға болады, экранның ішкі материалдарына магнит өрісінің әсер етуіне әкеп соғады.

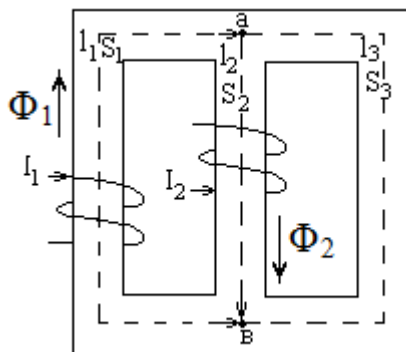
Электрлік және магниттік өлшемдердің арасындағы ұқсастық 3.5 кестеде келтірілген.

3.5 кесте

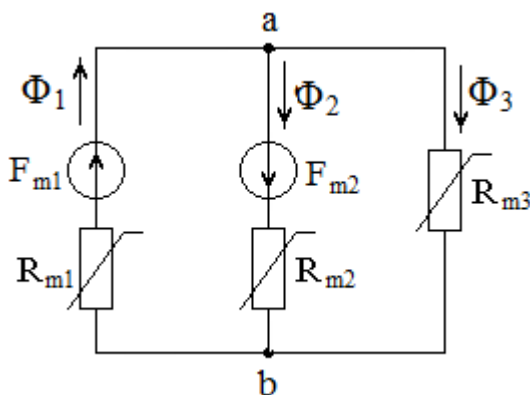
Электр тізбегі	Магнит тізбегі
E (В) ЭҚК	F_M (А) МҚК
I (А) Электрлік ток	Φ (Вб) Магнит ағыны
R (Ом) Электрлік кедергі	R_M ($\text{Гн}^{-1} = \text{А/Вб}$) магниттік кедергі
$I = \frac{E}{R}$	$\Phi = \frac{F_M}{R_M} = \frac{U_M}{R_M}$
$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$	$R_M = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S}$

Екі түйіндік потенциалдар әдісі арқылы графоаналитикалық жолмен алынған есептеу реттілігі.

Эквивалентті электр тізбегі және магнит тізбегі берілген



3.12 сурет – Магнит тізбегі



3.13 сурет – Эквивалентті тізбек

Берілген магнит тізбегі үшін теңдеулер жүйесі

$$\begin{cases} \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 \\ U_{abm}(\Phi_1) = F_{m1} - H_1(B) \cdot l_1 \\ U_{abm}(\Phi_2) = -F_{m2} + H_2(B) \cdot l_2 \\ U_{abm}(\Phi_3) = H_3(B) \cdot l_3 \end{cases}$$

Есептеп және Вебер-Амперлік сипаттаманы тұрғызу керек $U_{abm}(\Phi_1)$, $U_{abm}(\Phi_2)$, және $U_{abm}(\Phi_3)$. Вебер-Амперлік сипаттаманы есептеуді кесте түрінде жасауға кеңес беріледі, мысалға 3.6. кесте көрсетілген.

3.6 кесте

№ п/п	Φ , Вб	$B = \frac{\Phi}{S}$, Тл	$H(B)$, А/м В-Н Қисығы бойынша	$U_{abm}(\Phi_1)$, А	$U_{abm}(\Phi_2)$, А	$U_{abm}(\Phi_3)$, А
1						
...						
15						

Одан әрі, U_{abm} бірнеше мәндерін бере отырып және соған сәйкес Φ_2 және Φ_3 магнит ағынының мәндерін қосып $U_{abm}(\Phi_2 + \Phi_3)$ эквивалентті сипаттаманы тұрғызу қажет. Алынған $U_{abm}(\Phi_2 + \Phi_3)$ қисықтың $U_{abm}(\Phi_1)$, қиылысу нүктесі есептің шешімі болып табылады, яғни тізбектің Φ_1 магнит ағынын және U_{abm} магнит кернеуінің мәнін анықтайды. Φ_2 және Φ_3 магнит

ағындары табылған U_{abm} мәндеріне сәйкес $U_{abm}(\Phi_2)$, және $U_{abm}(\Phi_3)$, қисықтары мен анықталады.

4 Тапсырма № 3. Электрмагнитті өрістің теориясы

Тапсырма мына тақырыптардағы екі есепті қамтиды:

- электр өрістерін есептеу;
- тұрақты токтың магнит өрістерін есептеу.

Студент есептейтін есептің нөмірі және есептеудің мәліметтері 4.1, 4.2, 4.3 – кестелерінде көрсетілген.

4.1 – есеп.

Диэлектрик өтімділіктері ε_1 және ε_2 екі ортаның бөлігінің жазықтыққа параллель шекарасында шекаралық жазықтықтан h_1 және h_2 ара қашықтығында, бір-бірінен d ара қашықтығында R радиусы бар кесінділері бірдей екі ұзын параллель сым тартылған. Сымдарда τ_1 және τ_2 зарядтар бар. Екі ортаның сымдар жазықтықтарының орналасуы 4.1 – суреттерінде көрсетілген.

Есептеу керек:

- a нұсқасы үшін: сымдар арасындағы кернеуді анықтау;
- b нұсқасы үшін: шекаралық жазықтықтағы $K(X_K, Y_K = 0)$ нүктесіндегі байланысқан зарядтың тығыздығын анықтау;

4.2 – есеп. Екі жіңішке, шексіз ұзын параллельді радиусы R сымдар ауада, жер бетіне параллель h_1 және биіктігінде орналасқан. Сымдар арасындағы қашықтық d . Жерге тұйықталмаған қоректендіру көзінен сымдарға U кернеуі салынған (4.2 сурет).

Есептеу керек:

- потенциалды және сыйымдылық коэффициенттерін есептеу;
- әр сымның зарядтарының сызықтық тығыздықтарын анықтау;
- екі сымды желінің жұмыс сыйымдылығын есептеу.

4.3 – есеп. Жарты сфералық жерлестіргіш меншікті өткізгіштігі γ_1 топыраққа тайызбен бірдей көмілген. Жерлестіргіш радиусы R_3 . Жерлестіргішке I тұрақты тогы әкелінген (4.3 сурет).

Есептеу керек:

- $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ кадамдық кернеуді анықтау. A және B нүктелері жерлестіргіш ортасынан R_A және $R_B = R_A + 0.8$ м қашықтықта орналасқан;
- жайылу кедергісін анықтау;
- жерлестіргіш ортасынан R_C қашықтығында топырақта орналасқан C нүктесіндегі электр өрісінің кернеулілігін анықтау [9];

4.4 – есеп. R_3 радиусты сфералық жерлестіргіш меншікті өткізгіштігі γ_1 , екі ортаның γ_1 және γ_2 меншікті өткізгіштігі бар бөліну шекарасынан d қашықтығында терең топыраққа көмілген. Жерлестіргіш I тогы әкелінген (4.4 сурет). Топырақтың әсер етуіне көңіл бөлмеуге болады.

Есептеу керек:

- U_p жайылу кернеуін анықтау;
- A және D нүктелеріндегі электр өрісінің кернеуліктің векторын анықтау.

4.5 – есеп. Оңаша шексіз ұзын дөңгелек кесіндісі бар радиусы R сымнан тұрақты I тогы ағып жатыр. Сымның магнит өтімділігі - μ , қоршаған орта – ауа. Сым кесіндісі бойынша ток тығыздығы біркелкі (4.5 сурет).

Есептеу керек:

- a нұсқасы үшін: сым ішіндегі және сыртындағы магнит индукциясын \vec{B} және магнит өрісінің \vec{H} кернеулігін есептеу, $H(r)$ және $B(r)$ графиктерін тұрғызу (мұндағы r - сым білігінен қашықтық);
- b нұсқасы үшін: $\ell = 1m$ ұзындықты сым бөлігінің ішкі индуктивтілігін анықтау;
- b нұсқасы үшін: сым осінен: $r_{ішкі} = 0.5R$ және $r_{сыртқы} = 2R$ қашықтықта, сым ішіндегі және сыртындағы векторлық \vec{A} векторлық потенциалды анықтау.

4.6 – есеп. Екі сымды желі ұзын цилиндрлі дөңгелек кесіндісі бар сымнан тұрады. Сымдардың радиустары R бірдей. Сымдар бір-біріне параллель d қашықтығында орналасқан. Желі ішіндегі ток – I , қоршаған орта-ауа (4.6 сурет).

Есептеу керек:

- a нұсқасы үшін: $N(X_N, Y_N)$ нүктесіндегі \vec{H} магнит өрісінің кернеулілік векторын анықтау;
- b нұсқасы үшін: $N(X_N, Y_N)$ нүктесі үшін \vec{A} векторлық потенциалын анықтау;
- b нұсқасы үшін: желі ұзындығының бірлігіне сыртқы индуктивтілікті анықтау;

4.7 – есеп. d қашықтығында тұрақты I тогы бар ұзын жіңішке сымнан төртбұрышты a және b қабырғалары, w орам саны бар оқшауланған жіңішке сымдардан құралған рамка орналасқан (4.7 сурет).

Есептеу керек:

- рамкадан өтіп кететін магнит ағынын есептеу;

- рамка мен сым арасындағы өзара индуктивтілікті анықтау;
- рамкаға әсер ететін \vec{F} күшін анықтау;

4.1 кесте

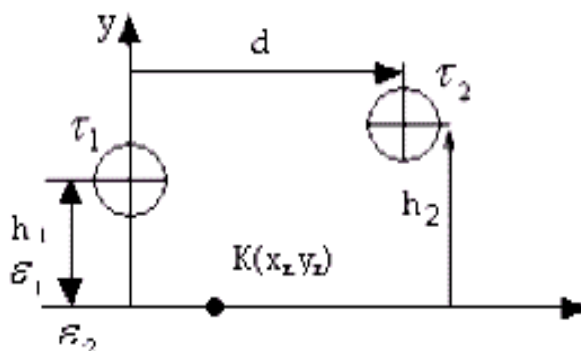
Түскен жылы	Тегінің бірінші әріпі									
Жүп	АБВ	ЕТД	ИЗЖ	ЦХ	ЩШЧ	ЯЮЭ	ЛК	ОНМ	СРП	ФУТ
Тақ	ЮТ	ЭИУ	СЗ	ПРЖ	ОЩЕ	НШД	МЧГ	ЛЦВ	КХБ	АЯФ
Есеп №	4.1а 4.6а	4.2 4.5в	4.3 4.6а	4.1б 4.7	4.4 4.5б	4.1а 4.5а	4.2 4.6б	4.3 4.5а	4.1б 4.5б	4.4 4.6в
ε_1	9	-	-	6	-	6	-	-	3	-
ε_2	7	-	-	4	-	8	-	-	5	-
$\tau_1, Кл / м$	$5 \cdot 10^{-9}$	-	-	$2 \cdot 10^{-9}$	-	$-5 \cdot 10^{-9}$	-	-	$-6 \cdot 10^{-9}$	-
$\tau_2, Кл / м$	$-3 \cdot 10^{-9}$	-	-	$-4 \cdot 10^{-9}$	-	$5 \cdot 10^{-9}$	-	-	$8 \cdot 10^{-9}$	-
$X_K, м$	0,5	-	-	0,2	-	0,4	-	-	0,3	-

4.2 кесте

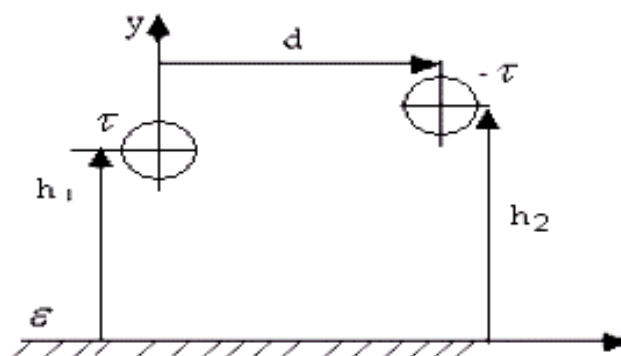
Түскен жылы	Студенттің билетінің соңғы саны									
Жүп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тақ	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$d, м$	0,8	0,88	0,66	0,64	0,74	0,90	0,78	0,86	0,68	0,76
$R, м$	0,006	0,005	0,008	0,009	0,004	0,007	0,008	0,004	0,006	0,007
$h_1, м$	0,34	0,56	0,38	0,46	0,44	0,58	0,60	0,44	0,48	0,30
$\gamma_1, См \cdot м^{-1}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$
$I_1, А$	28	18	35	20	25	10	16	25	15	30
$R_D, м$	0,86	0,95	0,96	0,88	0,80	1,15	0,89	1,00	1,20	0,90
$\gamma_2, См \cdot м^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$
μ	150	180	280	350	250	90	300	80	260	200
$X_N, м$	0,30	0,50	0,40	0,25	0,45	0,2	0,48	0,60	0,50	0,35
$v, м$	0,85	0,68	0,58	0,80	0,76	0,64	0,70	0,55	0,60	0,55

4.3 кесте

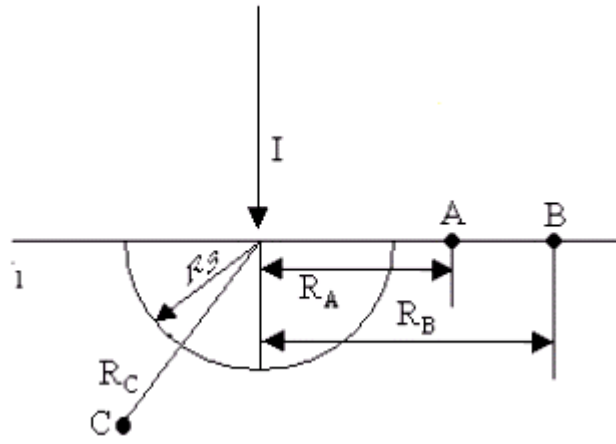
Түскен жылы	Студенттің билетінің соңғы санының алдындағы саны									
	0	9	1	8	7	2	6	3	4	5
Жүп	0	9	1	8	7	2	6	3	4	5
Тақ	5	4	3	6	2	7	8	1	9	0
$h_2, м$	0,88	0,76	0,68	0,96	0,98	0,70	0,85	0,74	0,98	0,86
$U, В$	500	750	600	300	400	900	220	380	800	700
$R_3, м$	0,20	0,14	0,25	0,18	0,10	0,15	0,16	0,26	0,24	0,12
$R_A, м$	0,36	0,40	0,45	0,25	0,20	0,30	0,36	0,28	0,40	0,22
$R_C, м$	0,45	0,35	0,40	0,50	0,38	0,36	0,50	0,60	0,55	0,30
$I, А$	50	85	60	40	65	90	75	95	70	80
$Y_N, м$	0,90	0,66	0,77	0,60	0,80	0,86	0,78	0,96	0,64	0,70
W	550	350	450	700	500	250	300	200	600	650
$a, м$	0,24	0,30	0,38	0,40	0,36	0,20	0,40	0,28	0,42	0,34



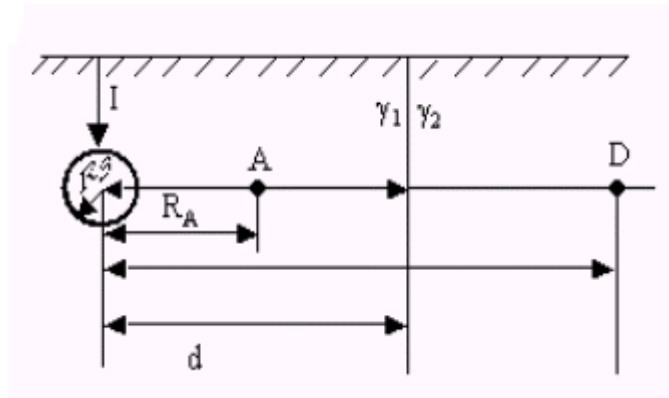
4.1 сурет



4.2 сурет

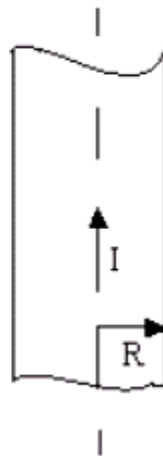


4.3 сурет

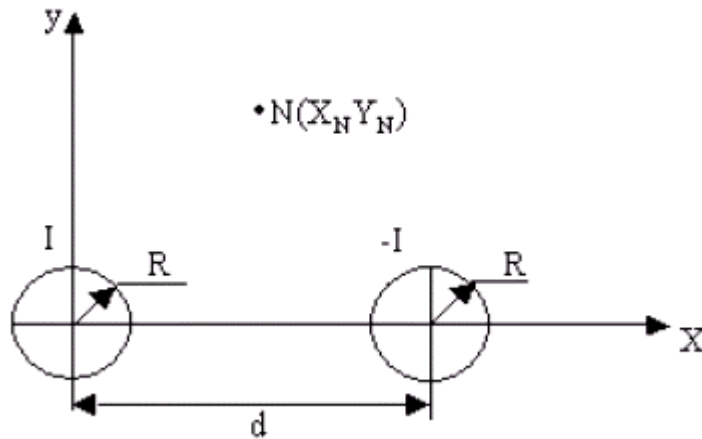


4.4 сурет

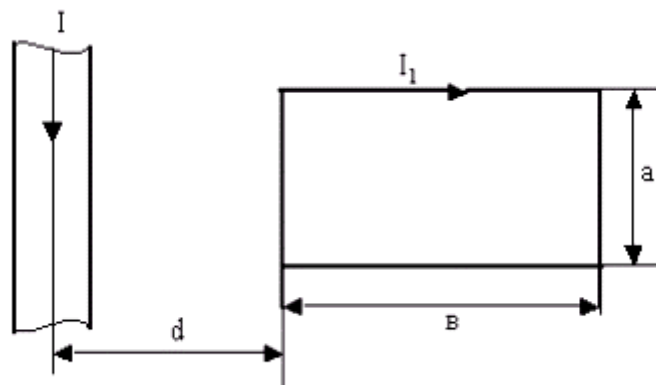
□



4.5 сурет



4.6 сурет



4.7 сурет

Әдістемелік нұсқау.

Орта арқылы өтетін тұрақты токтың электр өрісін және тұрақты токтың магнитстатикалық өрісін, электрстатикалық өрісті есептеу.

Электрстатикалық өріс.

Негізгі анықтамалар:

\vec{E} , В/м (Вольт метрмен) – электр өрісінің кернеулік векторы;

\vec{D} , Кл/м² (Кулон метр квадратқа) – электр ығысуының векторы (электрлік индукция):

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \vec{E};$$

\vec{P} , Кл/м² – электрлік поляризация векторы:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} \quad \text{және} \quad \vec{P} = \vec{D} - \varepsilon_0 \cdot \vec{E} = \varepsilon_0 \cdot \chi_e \cdot \vec{E},$$

мұндағы: χ_e – ортаның диэлектрлік өтімділігі;

$\varepsilon = 1 + \chi_e$ – ортаның диэлектрлік өтімділігінің қатынасы

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрлік тұрақтылық немесе вакуумның диэлектрлік өтімділігі;

q , Кл (Кулон) – заряд;

τ , Кл/м (метр Кулон) – электр өсіндегі зарядтың сызықтық тығыздығы;

$\sigma_{\text{ерк}}$, Кл/м² (метр квадрат Кулон) – еркін зарядтардың беттік

тығыздығы.

ε_1 және ε_2 екі диэлектриктің шекараның бөліктеріндегі шекаралық шарттар.

$$\sigma_{\text{ерк}} = D_{1n} - D_{2n} \text{ және } E_{1t} = E_{2t},$$

мұндағы D_{1n} және D_{2n} электрлік ығысудың нормалды вектордың құраушысы;

E_{1t} және E_{2t} 1 және 2 ортаның арасындағы шекаралық бөліктердегі электр өрісінің кернеулік векторының тангенциалды құраушысы.

Байланысқан зарядтардың беттік тығыздығы $\sigma_{\text{байл}}$ Кл/м² (Кулон метр квадрат):

$$\sigma_{\text{байл}} = -(P_{1n} - P_{2n}) = -(D_{1n} - D_{2n}) + \varepsilon_0 \cdot (E_{1n} - E_{2n}),$$

Мұндағы E_{1n} және E_{2n} 1 және 2 ортаның арасындағы шекаралық бөліктердегі электр өрісінің кернеулік векторының нормалды құраушысы.

Екі диэлектриктің жазық бөліктерінде байланысқан зарядтар жоқ, сондықтан

$$\sigma_{\text{байл}} = D_{1n} - D_{2n} = 0.$$

Өткізгіштер мен диэлектриктер арасындағы шекаралық бөліктердің шекаралық шарттары:

$$\sigma_{\text{ерк}} = D_n \text{ және } E_t = 0$$

Гаусс теоремасы

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}.$$

Потенциалдар айырымы

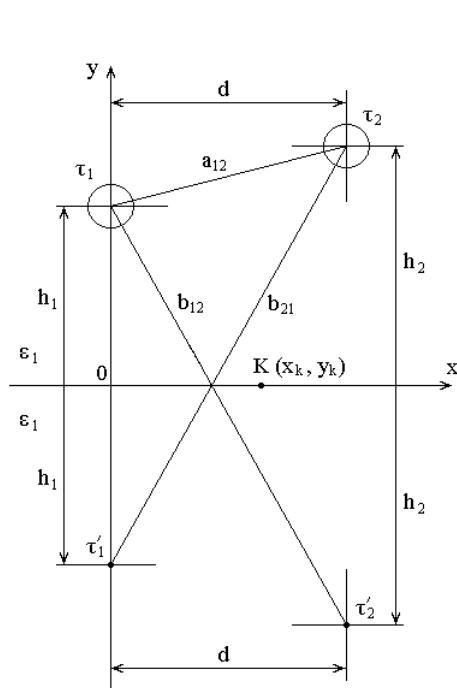
$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}.$$

Электр өрісінің векторлық потенциалы потенциалдың градиент түрінде

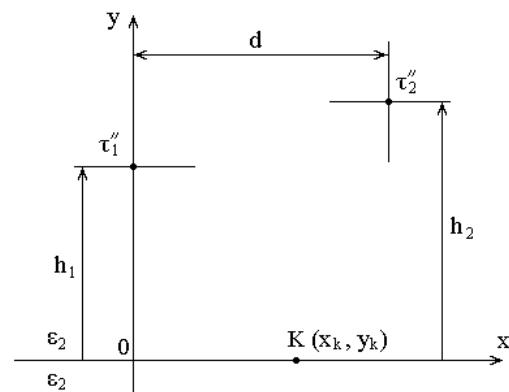
$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi.$$

Айналық бейнелеу әдісі.

Есептік эквивалентті сұлба, 4.1 есеп, ε_1 және ε_2 диэлектрлік өткізгіштері бар орта үшін пайдаланылады 4.8 және 4.9 суреттерде келтірілген.



4.8 сурет– ε_1 бар орта үшін сұлба

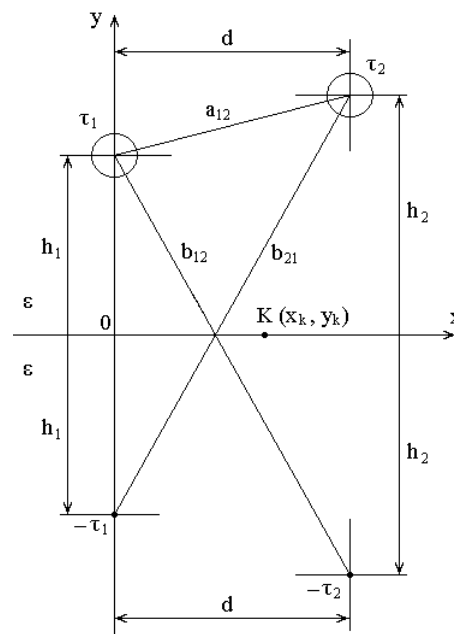


4.9 сурет– ε_2 бар орта үшін сұлба

Электр зарядтарының сызықты тығыздығы:

$$\tau' = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \cdot \tau \quad \text{және} \quad \tau'' = \frac{2 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \cdot \tau.$$

Есептік эквивалентті сұлба, 4.2 есеп, ε диэлектрлік өткізгіштері бар орта үшін пайдаланылады 4. 10 суреттерде келтірілген.



4.10 сурет– ε бар орта үшін эквивалентті есептік сұлба

Орта арқылы өтетін тұрақты токтың электр өрісі.

Негізгі анықтауыштар:

\vec{E} , В/м (Вольт метр) – электр өрісінің кернеулік векторы;

$\vec{\delta}$, А/м² (Ампер метр квадрат) – электр тогының векторлық тығыздығы:

$$\vec{\delta} = \gamma \cdot \vec{E},$$

γ – орта арқылы өтетін меншікті өткізшігітік;

γ_1 және γ_2 меншікті өткізгіштері бар екі ораның беттік бөліктерінің шекаралық шарттары:

$$\delta_{1n} = \delta_{2n} \text{ және } E_{1t} = E_{2t},$$

Потенциалдар айырымы:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}.$$

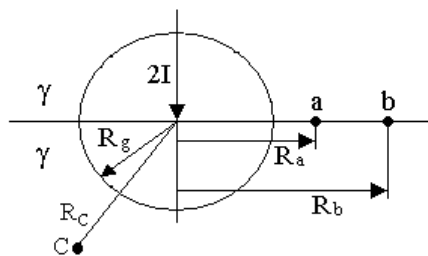
Электр өрісінің векторлық потенциалы потенциалдың градиент түрінде

$$\vec{E} = -grad\varphi.$$

Өткізгіш орта үшін айналық бейнелеу әдісін қолдану.

4.3 есеп үшін эквивалентті есептік сұлба.

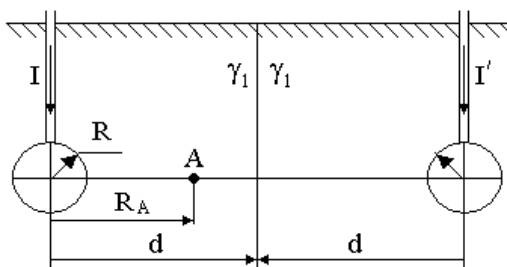
γ меншікті өткізгіштігі бар орта үшін пайдаланылатын эквивалентті есептік сұлба:



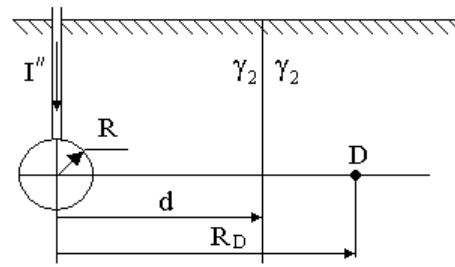
4.11 сурет – γ бар орта үшін эквивалентті есептік сұлба

4.4 есеп үшін эквивалентті есептік сұлба.

γ_1 және γ_2 меншікті өткізгіштігі бар орта үшін пайдаланылатын эквивалентті есептік сұлба:



4.12 сурет – γ_1 бар орта үшін сұлба



4.13 сурет – γ_2 бар орта үшін сұлба

Жалған токтар:

$$I' = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \cdot I \text{ және } I' = \frac{2 \cdot \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \cdot I$$

Тұрақты токтың магнитт өрісі.

Негізгі анықтауыштар:

\vec{H} , А/м (Ампер метр) – магнит өрісінің кернеулік векторы;

\vec{B} , Т (Тесла) – магнит индукциясының векторы (магнит ағынының тығыздығы):

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \vec{H};$$

μ – ортаның магнит өтімділігі;

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м (Генри метр) – вакуумның магнит өтімділігі немесе магнит тұрақтысы.

Магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы, Максвеллдің төрт теңдеуінің бірі болып табылады, тұйық беттегі магнит ағынының қосындысы нөлге тең:

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0.$$

Тұйықталған контур үшін Ампер заңы:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \vec{\delta} \cdot d\vec{S} = \sum I = w \cdot I$$

$\vec{\delta}$, А/м² – электр тоғының векторлық тығыздығы;

w , – орамадағы орамдар саны;

I , А – орамадағы ток;

$d\vec{l}$, м – контурдың интегралдауындағы бірлік ұзындық векторы.

μ_1 және μ_2 магнит өтімділіктері бар екі ортаның шекаралық бөліктеріндегі шекаралық шарттар:

$$B_{1n} = B_{2n} \text{ және } H_{1t} = H_{2t},$$

Мұндағы B_{1n} және B_{2n} магнит индукция векторының нормалды құраушысы, H_{1t} және H_{2t} – 1 және 2 екі ортаның арасындағы беттік бөліктердің магнит өрісінің кернеулік векторының тангенциалды құраушысы.

Магнит потенциалының айырымы:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \int_a^b \vec{H} \cdot d\vec{l}.$$

Векторлық потенциал \vec{A} және \vec{B} , магнит индукциясының векторы арасындағы байланыс:

$$\text{rot} \vec{A} = \vec{B}.$$

Өткізгіштің ішкі векторлық потенциалы \vec{A} өткізгіштің бойлық бағытына және шамасына ие:

$$A_{\text{ішкі}} = \frac{\mu_0 \mu_w I}{4\pi} \ln \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

Өткізгіштің сыртқы векторлық потенциалы \vec{A} өткізгіштің бойлық бағытына және шамасына ие:

$$A_{\text{сыртқы}} = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi} \ln \frac{R}{r}.$$

Әдебиеттер тізімі

- 1 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М., 2013.
- 2 Бессонов А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для бакалавров / А. Бессонов; доп. МО РФ.- 11-е изд.- М.: Юрайт, 2012.- 320 с.- (Бакалавр).
- 3 Гальперин М.В.. Электротехника и электроника [Текст]: Учебник доп. МОиН РФ.- М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2010.- 480 с.
- 4 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Издательство: Питер.Теоретические основы электротехники Том 1. 2009.
- 5 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Издательство: Питер. Теоретические основы электротехники. Том 2, 5-е издание. 2009.
- 6 Аршидинов М.М., Амиров Ж.Қ. Электротехниенің теориялық негіздері 4 (Дәріс жинағы). – Алматы: АЭЖБУ, 2010.
- 7 Аршидинов М.М., Амиров Ж.Қ. Электротехниенің теориялық негіздері 3 (Оқу құралы). – Алматы: АЭЖБИ, 2008.
- 8 Денисенко В.И., Аршидинов М.М., Болдырева Л.П. Теоретические основы электротехники: Учебное пособие.- Алматы: АУЭС, 2016.-98 с.

Гулдана Кашкинбаевна Смагулова
Любовь Павловна Болдырева

ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ МЕН ЭЛЕКТР ӨРІСТЕРІН ТАЛДАУ

5B071800-Электр энергетикасы мамандығы үшін № 1-3 есептеу-сызбалық жұмыстарға арналған әдістемелік нұсқаулар мен тапсырмалар

Редактор Ж. Изтелеуова
Стандарттау маманы Н.Қ. Молдабекова

Басуға ___ қол қойылды
Таралымы 150 дана
Көлемі 1,69 есеп.-баспа таб.

Пішімі 60x84 1/16
Баспаханалық қағаз №1
Тапсырыс . Бағасы 845 теңге.

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы
050013 Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126