КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН БИЛИМ БЕРҮҮ, ИЛИМ ЖАНА ЖАШТАР САЯСАТЫ МИНИСТРЛИГИ

И.РАЗЗАКОВ АТЫНДАГЫ КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК УНИВЕРСИТЕТИ

Электротехниканын теориялык негиздери жана жалпы электротехника (ЭТН жана ЖЭ) кафедрасы

ЭЛЕКТРОТЕХНИКАНЫН ТЕОРИЯЛЫК НЕГИЗДЕРИ

Энергетика адистиктериндеги студенттерге лабораториялык иштерди аткаруу үчүн “Электротехниканын теориялык негиздери” курсунун I – бөлүгү боюнча усулдук көрсөтмө.

Бишкек 2019 ж.

“ЭТН жана ЖЭ” кафедрасынын отурумунда каралды жана бекитилди
пр. №   2019 ж.   тартып.

Энергетикалык факультетинин усулдук комиссиясы тарабынан басмага сунуш кылынды
№_______________2019 ж. тартып.

Түзүүчүлөр: т.и.к., доценти Исакеева Э.Б., т.и.к., доценти Асанова С.М., окутуучу Бекбоев А.Б., окутуучу Аскарбек уулу Нурлан

УДК 621.311

Электротехниканын теориялык негиздери: И. Раззаков атындагы КМТУнун энергетика адистигинин студенттери үчүн “ЭТН” курсунун I – бөлүгү боюнча лабораториялык ишти аткарууга усулдук көрсөтмө, Бишкек 2019ж.- 45 бет.

Электр чынжырындагы байкалган физикалык процесстер боюнча кыскача теориялык маалымат, орнотмолордун схемасы, лабораториялык иштерди аткаруу медотикасы.

Күндүзгү жана сырттан окуу формасынын студенттери үчүн жасалган.

Рецензент   т.и.к., доценти Асанов М.С.

МАЗМУНУ

	бет
Кафедрадагы лабораторияларда иштөө жана коопсуздук техникасынын эрежелери …………………………………………………..	*4*
Лабораториялык иштерди аткаруунун тартиби ………………………...	*5*
№1 Лабораториялык иш. Эки уюлдуу активдүү элементти жана турактуу ток электр берүү чубалгысын изилдөө ……………………..…...	*6*
№2 Лабораториялык иш. Омдун жана Кирхгофтун мыйзамдарын тажрыйба жүзүндө текшерүү...	*11*
№3 Лабораториялык иш. Үстү – үстүнө кошуу ыкмасы. Потенциалдык диаграммасы ……………………………………………………........................	*16*
№4 Лабораториялык иш. Синусоидалык токтун электр чынжырындагы кош уюлдук пассивдүү элементтер жана алардын жөнөкөй вектордук диаграммалары ....……………..	*20*
№5 Лабораториялык иш. Синусоидалык токтун тармакталбаган электр чынжырларын изилдөө.Чыңалуулардын резонансы..................................	*28*
№6 Лабораториялык иш. Синусоидалык токтун тармакталган электр чынжырларын изилдөө. Токтордун резонансы ………………………...	*34*
№7, 8 Лабораториялык иш. Өз ара индуктивдүү байланышкан электр чынжырлары. Аба трансформатору...................................………………	*38*
Адабияттар...	*45*

КАФЕДРАСЫНДАГЫ ЛАБОРАТОРИЯЛАРДА ТЕХНИКАЛЫК КООПСУЗДУК ЖАНА ИШТӨӨ ЭРЕЖЕЛЕРИ

1. Студенттерге техникалык коопсуздук эрежелери менен тааныштыргандан кийин лабораторияда иштөөгө уруксаат берилет.
2. Лабораторияда колдонулуучу чыңалуу булактары адам өмүрүнө коркунуч алып келет ошондуктан лабораторияларда иштеген учурда студент жумушту сергек, көнүл коюп аткаруу керек жана универсалдуу лабораториялык стендтерде иштөө эрежелерин бекем сактоо керек.
3. Студент иштөөнүн алдында лабораториялык стендте жайгашкан электрдик түзүлүштөрдүн баардыгы электр энергия булагынан ажыратылгандыгын жана бөтөн буюмдардын жоктугун так-даана билүү керек.
4. Электр чынжырын чогултуу төмөнкү тартипте жүргүзүү шарттуу: биринчи кезекте токтук чынжырды чогултуу, андан соң чыңалуу чынжырын чогултуу. Жумушчу столдо зымдардын ашыкча кайчылашуусун жана бир нече зымдын бир точкада чогулуусун болтурбоо зарыл.
5. Электрэнергия булагын кошуудан мурда анын жөндөгүч аппаратын нөлдүк абалга келтириш керек, жөндөлүүчү элементтерде (резисторлордо, конденсаторлордо (сыйымдуулук), индуктивдүү зым түрмөктө) берилген параметрлери орнотулушу керек.
6. Чынжырдын туура чогултулганын жумуштун жетекчиси (окутуучу же лаборант) тарабынан текшерилгенден кийин гана анын уруксаты менен чынжырды электр энергия булагына туташтырса болот.
7. Чынжырдын түзүлүшүндөгү баардык өзгөртүүлөрдү электр энергия булагынын өчүрүлгөн абалында гана жасоо керек. Түзүлүшү өзгөртүлгөн чынжырды электр энергия булагына экинчи ирет туташтыруу жумуштун жетекчисинин уруксаты менен болуш керек.
8. Студент эксперимент жүргүзүү учурунда, ачык изоляциясы жок электрдик түзүлүштөрүн, жылуулук радиаторлорун жана суу түтүкчөлөрүн колу менен кармоого мүмкүн эмес.
9. Эксперименталдык изилдөөлөр бүткөндөн кийин анын жыйынтыгы текшерүүгө жана бекитүүгө окутуучуга студент тарабынан тапшырылат.
10. Окутуучу же лаборант жок учурда лабораториялык стендде эксперимент жүргүзүүгө тыюу салынат.
11. Жумушчу орунда электр тогунун терс таасирин тийгизүүчү түзүк эместиктер же болбосо жабдуулардын бузулуусу аныкталса тез аранын ичинде электрэнергия булагын өчүрүп абалды тез арада окутуучуга же лаборантка жеткириш керек.
12. Күтүлбөгөн кырсык учурунда тез арада электр энергия булагын өчүрүп, мугалим же лаборанка кабарлаш жибериш керек жана жабырлануучуга биринчи медициналык жардам көрсөтүш керек.

ЛАБОРАТОРИЯЛЫК ИШТЕРДИ АТКАРУУНУН ТАРТИБИ

Лабораториялык ишти аткаруу эки этапка бөлүнөт:

Биринчи этап лабораториялык ишке алдын-ала өз алдынча даярдануу.

Алдын ала өз алдынча иштөөгө каралган убакыттын ичинде аткарылат. Студенттин бул этаптагы милдеттери:

1) лабораториялык иштин мазмунун жана максатын билүү;
2) лабораториялык иштин теориялык жоболорун конспект же китеп аркылуу окуп үйрөнүү;
3) лабораториялык иш боюнча отчеттун эсептик бөлүгүн жол-жоболоо тактап айтканда титулдук бетти толтуруу, чынжырдын схемаларын жана таблицаларды тартуу;

Лабораториялык иш боюнча эсептик бөлүк даяр болмоюнча студент эксперименталдык бөлүкө өтүүгө уруксат берилбейт.

Экинчи этап. Эксперименталдык жана жыйынтыктарды анализдөө этабы. Эксперименталдык бөлүк окуу лабораториясындагы жумушчу ордунда сабактын санжабынын убактысында аткарылат. Берилген тапшырмага ылайык 2-3 студенттен турган бригада эксперименталдык бөлүктү аткарууга мугалимден уруксат алгандан кийин изилдөөчү чынжырды чогултуп жана андагы физикалык чоңдуктарды ченей башташат. Ченөөнүн жыйынтыгы иштелип даярдалат жана тийешелүү таблицаларга түшүрүлөт. Эксперимент жүргүзүү учурунда коопсуздук эрежелерин жана электр орнотмолордогу иштөө эрежелерин сактоо керек. Эксперименталдык изилдөө бүткөндөн кийин аткарылган жумуштун жыйынтыгын анализдөө жүргүзүлөт, эксперименталдык жыйынтыктар эсептик жыйынтыктар менен салыштырылат жана жазуу түрүндө жумуш боюнча корутунду дардалат. Жумуш боюнча толук жол-жоболонгон отчет учурдагы сабактын аягында мугалимге текшерүүгө жана жумуш боюнча зачет алууга берилет. Студентке жасалган жумуш боюнча отчетун коргоо учурунда теориялык бөлүктөн же болбосо эксперименталдык бөлүктөн суроолор берилиши мүмкүн.
Лабораториялык иш боюнча отчет өзүнчө баракчада же болбосо өзүнчө дептерде жол-жоболонот жана ичинде төмөнкү элементтерди камтыйт:

1) титулдук бет;
2) жумуштун максаты;
3) баштапкы берилмелер (эквиваленттүү схемалар жана алардын элементтеринин параметрлери);
4) эсепте колдонулуучу негизиги теңдемелер жана формулалар;
5) ченөө жана эсептердин жыйынтыгынын таблицасы;
6) тапшырмада каралган графикалык жана вектордук диаграммалар;
7) жумуш боюнча жыйынтык.

ЭТН боюнча лабораториялык иштер универсалдуу стендтерде фронталдык ыкма менен аткарылат, ал учурда 30 студенттен турган тайпа бирдей тапшырма аткарышат. Стендтердеги жөндөгүч элементтеринин бар болгондугунан улам 2-3 студенттен турган ар бир бригада ар бир жумушка өзүнүн баштапкы берилмелери менен өздүк вариантын аткарса болот.

Универсалдуу стенд жабдуусу электротехниканын теориялык негиздери боюнча бардык лабораториялык иштерди аткарууга материалдык базаны камсыз кылат жана ар кандай түзүлүштөгү жана электр чынжырынын параметриндеги комплекстүү изилдөөлөрдү жүргүзүүгө мүмкүнчүлүк берет.

№1 Лабораториялык иш

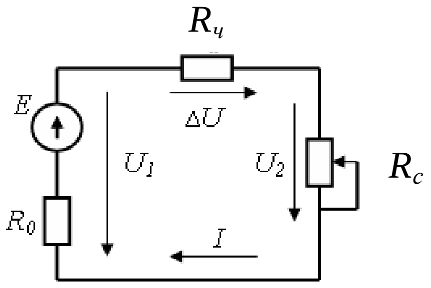
Эки уюлдуу активдүү элементти жана турактуу токтун электр берүү чубалгысын изилдөө.

1. *Иштин максаты*

Чубалгынын аягында жүгү бар турактуу токтун электр берүү чубалгысын изилдөө. Жумушту аткаруунун жыйынтыгында студент электр чынжырынын иштөө режимин, зымдагы чыңалуунун жоготууларын, зымдын ПАКын жана жоготулган энергиянын кубатуулугун окуп үйрөнүү, эсептөөнү билүү керек.

2. *Негизги теориялык жоболор*

Турактуу токтун электрэнергиясын булактан колдонуучуга узун аралыктагы чубалгылар менен жөнөткөн учурда электрэнергия өткөргүч чубалгылардын каршылыгына чыңалуунун жоготуусу аныкталат.



1-сүрөт

№1 сүрөттө электр чынжырынын алмаштырма схемасы көрсөтүлгөн, андагы $R_ч$ каршылыгы электр берүүчү чубалгынын каршылыгын көрсөтүп турат, R_c – энергия керектегичтин (сарптагычтын) каршылыгы.

Чыңалууну жоготуу

$$\Delta U = U_1 - U_2 = R_ч I, \quad \text{барабар} \tag{1}$$

U_1 и U_2– электр берүү чубалгысынын башындагы жана аягындагы чыңалуу.

Кубаттулук төмөнкү формула аркылуу аныкталат

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \Delta U I = I^2 R_ч, \tag{2}$$

P_1–электрэнергия булагынын кубаттуулугу же болбосо электр берүү чубалгысынын башындагы кубаттуулук, ал

$$P_1 = U_1 I = (R_ч + R_с) I^2 \quad \text{барабар} \tag{3}$$

P_2–жүк аркылуу колдонулган энергиянын кубаттуулугу же болбосо электр берүү чубалгысынын аягындагы кубаттуулук, ал

$$P_2 = U_2 I = R I^2 = \frac{R U_1^2}{(R_ч + R_с)^2} \quad \text{барабар} \tag{4}$$

ПАК

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I}{U_1 I} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_с I}{(R_ч + R_с) I} = \frac{R_с}{R_ч + R_с} \tag{5}$$

Электр берүү чубалгыларынын ПАКын көтөрүү үчүн, электр берүү чубалгыларындагы жоготулган энергиянын кубаттуулугун азайтыш керек. Электэнергия булагынын кубаттуулугунун туруктуу шартында P_1 (3)дөн чынжырдагы токту таап алабыз жана (2)ге коёбуз.

$$\Delta P = R_ч I^2 = \frac{P_1^2 R_ч}{U_1^2} \tag{6}$$

ΔP ченемин азайтуу үчүн электр берүү чубалгынын башындагы чыңалууну U_1 көтөрүү анык. Ошондуктан электрэнергияны электр берүү чубалгылар аркылуу алыс аралыка ташууда электр берүү чубалгыларынын башындагы чыңалуу көбөйтүлгөн болушу керек. Электр чынжырынын режимин жүктүн каршылыгы аныктайт $R_с$ (рис.1). Куру же бош жүрүш режиминде чынжырда ток болбойт, себеби $R \to \infty$ (чынжыр ажыратылган), ал эми чукул туташууда $R=0$. Макулдашылган режимде колдонуучу тараптан колдонулган энергиянын кубаттуулугу P_2 максималдуу болуш керек, андай учур чынжырдын параметрлеринин белгиленген макулдашууларынан кийин жасалат. P_2 кубаттуулугу максималдуу болуп жана $R_с$ каршылыгынын ченемин табуу үчүн (4) формуланы $R_с$ боюнча дифференциалоо жана нөльгө барабар кылуу керек.

$$\frac{dP_2}{dR} = \frac{U_1^2}{(R_ч + R_с)^2} - \frac{2U_1^2 R}{(R_ч + R_с)^3} = \frac{U_1^2(R_ч + R_с - 2R_с)}{(R_ч + R_с)^3} = \frac{U_1^2(R_ч - R_с)}{(R_ч + R_с)^3}$$

Алынган туюнтма нөльгө барабар, эгерде $R_ч - R_с = 0$, анда

$$R_ч = R_с \tag{7}$$

Мындан улам, жүктүн каршылыгы $R_с$ электр берүү чубалгысынын каршылыгына $R_ч$ болгондо колдонуучу короткон энергиянын кубаттуулугу максималдуу болот.

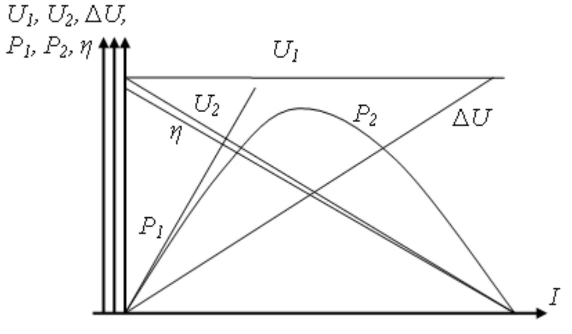
$$P_2 = P_{2max} = \frac{U_1^2}{4R} \tag{8}$$

Макулдашылган режимде жоготуулардын кубаттуулугу

$$\Delta P = \Delta UI = \frac{U_1 I}{2} = \frac{P_1}{2} \text{ барабар} \tag{9}$$

Ал эми ПАК

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I}{U_1 I} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_с I}{(R_ч + R_с) I} = \frac{R_с}{R_ч + R_с} = \frac{R}{2R} = 0{,}5 \text{ барабар.} \quad (10)$$



2-сүрөт

Макулдашылган режим энергетикалык көз караштa орду жок ($\eta = 0{,}5$), бирок бул режим кубаттуулуктун абсолюттук аз ченемдигинин айынан экинчи кезекте турган ПАКтын аз болушу, ошол себептен максималдуу кубаттуулукту алуу маанилүү болгон тараптарда колдонулат. Мисалы: кээ бир радиотехникалык түзүмдөрдө, автоматикада жана ченөөчү техникаларда. U_1, U_2, ΔU, P_1, P_2, η чоңдуктарынын I ток күчүнөн болгон көз карандылык графиктери төмөнкү сүрөттө берилген (2-сүрөт).

Керектөөчүнүн же электр энергия сарптагычтын $R_С$ каршылыгынын аркандай маанилеринде чубалгынын башталышындагы чыңалуу өзгөрүүсүз турактуу бойдон калат ($U_1 = const$). Куру же бош жүрүш режимде $R_С = \infty$ болгондуктан, чубалгыдагы I toktun күчү нөлгө барабар, анда чыңалуунун ΔU жана кубаттуулуктун ΔP жоготуулары дагы нөлгө барабар болот. Ал эми чубалгынын ПАКти $\eta = \frac{U_2}{U_1} = 1$. Электр чынжырынындагы чубалгысынын аягына $R_С$ керектөөчүсү туташтырылса, анда чубалгыдагы токтун күчү каршылыктын чоңдугунан $R_С$ көз каранды,

$$I = \frac{U}{R_ч + R_с}$$

Макулдашылган режиминде $R_С$ каршылыгынын азайуусу менен электр берүү чубалгысындагы токтун күчү көбөйөт, чубалгынын аягындагы чыңалуу U_2 жана ПАК η азайат, андан соң жүкгө корогон энергиянын кубаттуулугу биринчи көтөрулуп анана кайра өзүнүн эң бийик ченемине жетип P_{2max} азаят. Чукул туташтыруу режимде керектөөчүнүн каршылыгы $R_С = 0$ болсо, ток максималдык мааниге ээ анда, чыңалуу $U_{2,}$ кубаттулук $P_{2,}$ ПАК η маанилери нөлгө барабар болот.

3. Лабораториялык иштин жабдылышы

Турактуу токтун чубалгысын тажрыйба жүзүндө изилдөөгө керек болгон элементтер жана өлчөөчү приборлор универсалдуу стенддин бетинде жайгашкан.

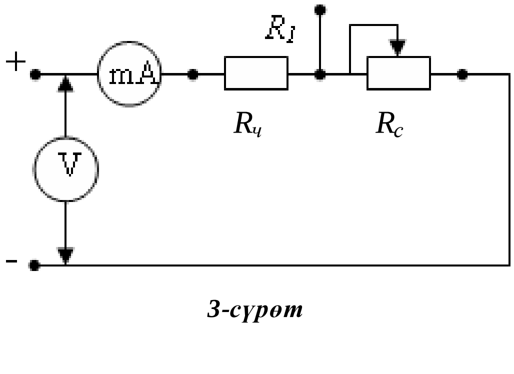
Чынжыр 12 вольттук турактуу чыңалуулу турукташтыруулган булактан камсыз кылынат, анын жүгүнүн максималдуу тогу 200 mA.

R_1 резистору удаалаш туташтырылган эки резистордон турат. Биринчи турган резистор $R_ч$ чубалгынын зымдарынын каршылыгын, ал эми өзгөрүлмө резистор $R_С$ чубалгынын аягындагы керектөөчүнүн каршылыгын алмаштырат.

Чыңалууну В7-17 же В7-26 универсалдуу вольтметрлери, ал эми токтун күчүн өлчөө үчүн миллиамперметр (нөлдүк бөлүгү ортодо жайгашкан) колдонулат.

4. Ишти аткаруунун эрежелери

1. 3-сүрөт боюнча электр чынжырын чогултуу.
2. Жүктүн каршылыгын $R_С$ чексиздиктен нөльгө чейин өзгөртүү менен U_1 – чыңалуусун электр берүү чубалгынын башында, U_2 – чыңалуусун электр берүү чубалгынын аягында жана I – токту 7-8 ирет ченөө.
3. Макулдашылган режим жүктүн кандай өлчөмүндө болот экендигин эсептөө.
4. Алынган берилмелер аркылуу масштаб боюнча ΔU, P_1, P_2, ΔP, $R_С$, η, U_1; U_2; ΔU; P_1; P_2;$\eta = f(I)$ көз карандылык графиктерин түзгүлө.



3-сүрөт

Таблица

№	ченелген			эсептелген					
	U_1	U_2	I	ΔU	P_1	P_2	ΔP	$R_С$	η
	В	В	А	В	Вт	Вт	Вт	Ом	%
1									
2..									

5. ***Отчеттун мазмуну***

Отчеттун мазмунунда иштелген схема, өлчөнгөн жана эсептелген чоңдуктардын маанилерине толтурулган таблица, чубалгыны мүнөздөөчү чоңдуктардын ток күчүнөн болгон көз карандылык графиктери жана жазалган жумуш боюнча кыскача корутунду көрсөтүлүүгө тийиш.

6. ***Текшерүү суроолору***

1. Өзгөрүлбөгөн булактын кубаттуулугунда, туруктуу ток берүү чубалгыларындагы жоготуунун кубаттуулугун кантип азайтса болот?
2. Чубалгынын ПАК (пайдалануу аракет коэффициенти) кантип көбөйтсө болот?
3. Электротехникалык орнотмонун кандай режими номиналдык деп аталат?
4. Электротехникалык орнотмонун кандай режими макулдашылган режим деп аталат?
5. Эки уюлдук элементке аныктама бергиле?
6. Активдүү жана пассивдүү эки уюлдуктун схемасын тарткыла жана түшүндүрүп бергиле?
7. Электр берүү чубалгыларынан максималдуу кубаттуулукту жиберүүнүн шартын кыскача айтып бергиле?
8. Электр тогу деп эмне айтылат жана анын ченем бирдиги?
9. Электр чыңалуусу деп эмне айтылат жана анын ченем бирдиги?
10. Потенциал деп эмне айтылат жана анын ченем бирдиги?
11. Чыңалуунун төмөндөшүсү деп эмне айтылат жана анын ченем бирдиги?
12. Булактын, чыңалуунун жана токтун оң багыты деген эмне?
    Өзүнөрдүн жообуңарды мисал менен түшүндүргүлө.

№2 Лабораториялык иш

Омдун жана Кирхгофтун мыйзамдарын тажрыйба жүзүндө текшерүү.

1. *Иштин максаты*

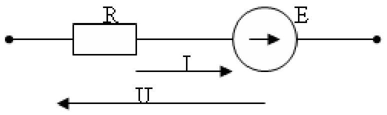
Омдун жана Кирхгофтун мыйзамдарын эксперименттин негизинде текшерүү. Туруктуу токтун жөнөкөй электр чынжырларындагы чыңалуулардын жана токтордун ортосундагы катыштарды изилдөө.

2. *Негизги теориялык жоболор*

Электр энергиясын иштеп чыгууда, алыскы аралыкка берүүдө, өзгөртүүдө, керектөөдө колдонулган электрдик түзүлүштөрдүн жыйындысы жана электромагниттик процесстердин ЭКК (электр кыймылдаткыч күч), чыңалуу, ток күчү чоңдуктары аркылуу мүнөздөлүшү электр чынжыры деп аталат.

Электр чынжырынын графикалык сүрөттөлүшү электр чынжырынын схемасы деп аталат жана элементтердин шарттуу белгиленишин жана алардын туташтырылышын камтыйт.

Электр чынжырдагы реалдуу процесстерди анализдөөнү жеңилдетүү үчүн идеалдык элементтерден турган эсптөө схемасынын математикалык модели түзүлөт. Идеалдык элемент реалдык элементтен касиеттери же параметрлери боюнча айырмаланат.



1-сүрөт

Идеалдык элементтерден турган электр чынжырынын графикалык сүрөттөлүшү, электр чынжырынын алмаштыруу схемасы деп аталат. Эки түйүндүн арасында камтылган бир же бир нече удаалаш туташтырылган элементтерден турган чынжырдын бөлүгү *бутак* деп аталат, үч же андан көп бутактын чогулган жери *түйүн* деп аталат. Бутак аркылуу өткөн ток күчүнүн мааниси убакыттын каалагандай моментинде туруктуу болот.

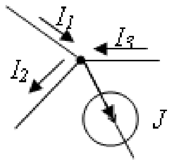
Түйүндөрдөн жана бутактардан турган туюк электр чынжыры *контур* деп аталат.

Омдун мыйзамы боюнча берилген электр чынжырынын бөлүгүндөгү токтун күчү төмөнкүчө аныкталат

$$I = \frac{U+E}{R} \qquad (1)$$

Кирхгофтун биринчи мыйзамы:

$$\sum_k I_k = 0,$$

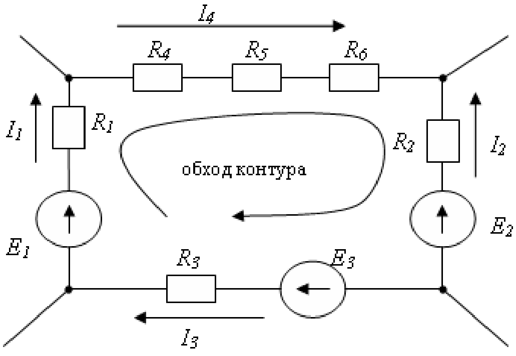


2-сүрөт

электр чынжырынын каалагандай түйүнүндөгү ток күчтөрүнүн алгебралык суммасы нөлгө барабар (2-сүрөт). Бул мыйзам электр заряддардын сакталуу мыйзамына негизделген, атап айтканда түйүндө бир белгидеги электр заряддар топтолбойт жана азайбайт. Түйүнгө кирген ток күчтөрүн теңдемеге оң *(+)* белги, ал эми түйүндөн чыккан ток күчтөрү терс белги *(-)* менен жазылат.

$$I_1 - I_2 + I_3 - J = 0 \qquad (2)$$

Бир же андан көп түйүндөрдөн турган татаал электр чынжырларына Кирхгофтун 1-мыйзамынын негизинде көз каранды эмес теңдемелерди түзүүдө жана теңдемелердин санын аныктоодо $n_1 = m - 1$ формуласы колдонулат.



3-сүрөт

n_1 - Кирхофтун биринчи мыйзамы боюнча теңдемелердин саны,

m - электр чынжырындагы түйүндөрдүн саны.

Кирхгофтун экинчи мыйзамы:,

$$\sum_k E_k = \sum_k I_k R_k ,$$

каалагандай татаал электр чынжырдын контурундагы ЭКΚлардын алгебралык суммасы, ушул эле контурда жайгашкан пассивдүү элементтердеги чыңалуулардын төмөндөшүнүн алгебралык суммасына барабар. Бул мыйзам энергиянын сакталуу мыйзамынын негизинде чыгарылган, атап айтканда контурдагы потенциалдардын өзгөрүшү нөлгө барабар. Кирхгофтун 2-мыйзамынын боюнча ЭКΚнын жана токтун багыттары контурду айланып чыгуу

багыты менен дал келсе оң “+”, тескерисинче дал келбесе “−” терс белги менен жазылат, көз карандысыз контурдун саны көз карандысыз теңдеменин санына барабар атап айтканда теңдемелердин саны

$n_2 =$ б − б$_J$ - $(m - 1)$ боюнча алынат.

n_2 – Кирхгофтун экинчи мыйзамы боюнча теңдемелердин саны

б – жалпы бутактардын саны

б$_J$ – ток булагын камтыган бутактар

m – түйүндөрдүн саны.

$$E_1 - E_2 + E_3 = I_1 \cdot R_1 + I_4 \cdot (R_4 + R_5 + R_6) - I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 \qquad (3)$$

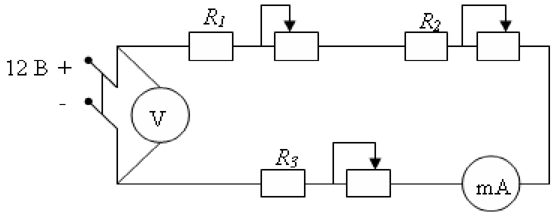
3. Лабораториялык иштин жабдылышы

Кирхгофтун жана Омдун мыйзамдарын эксперименттин негизинде изилдөө үчүн электр чынжырынын элементтери жана өлчөөчү приборлор универсалдык стендде жайгашкан. Изилденип жаткан электр чынжырына 200 mA максималдык ток күчүнө ылайыкталган, стабилизацияланган турактуу ЭКК булагынан 12 В чыңалуу берилет. Тажрыйбаны өткөрүү үчүн стенддин бетине R_1, R_2, R_3 жөндөлүүчү, эки удаалаш туташтырылган жөндөлүүчү каршылыктардан жана түйүн катары пайдалануу үчүн штепселдик тешикчелерден турган резисторлор жайгаштырылган.

Ток күчүн өлчөө үчүн үч миллиамперметрлер колдонулат, алардын нөлдүк шкаласы шкалалардын ортосуна жайгашкан, себеби бутактагы toktun багытын билүүгө мүмкүндүк берет.Чынжырдын бөлүктөрүндөгү чыңалуунун маанилерин В7–26 универсалдык вольтметри менен өлчөнөт.

4. Лабораториялык ишти аткаруунун тартиби.

1. Берилген схеманын (4-сүрөт) негизинде электр чынжырын чогулткула.
2. Элементтердеги токтун күчүн жана чыңалууларды өлчөгүлө.

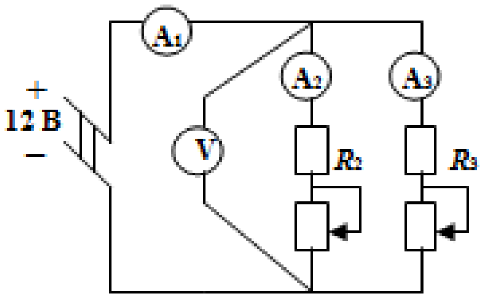


4-сүрөт

№1 таблица

№	өлчөнгөн					эсептелген				
	I	U	U_1	U_2	U_3	R_1	R_2	R_3	$R_{экв}$	$G_{экв}$
	А	В	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт

3. Берилген схеманын (5-сүрөт) негизинде электр чынжырын чогулткула.

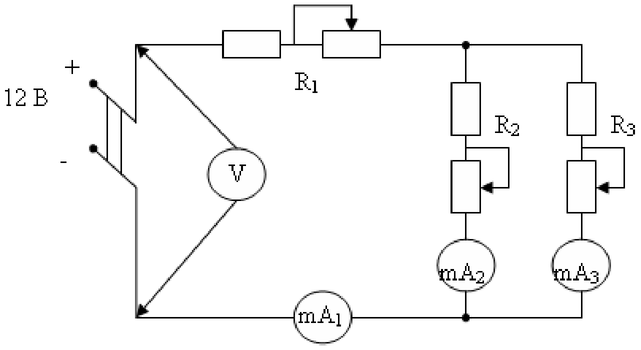


5-сүрөт

№2 таблица

№	өлчөнгөн				эсептелген				
	U	I_1	I_2	I_3	R_2	R_3	$R_{экв}$	$G_{экв}$	$P_{экв}$
	В	А	А	А	Ом	Ом	Ом	Сим	Вт

4. Чынжырдагы токтун күчтөрүн жана чыңалууну R_2, R_3 каршылыктардын ар кандай маанилеринде өлчөгүлө.
5. Берилген схеманын (6-сүрөт) негизинде электр чынжырын чогулткула.



6-сүрөт

№3 таблица

№	өлчөнгөн							эсептелген					
	U	U_1	U_2	U_3	I_1	I_2	I_3	R_1	R_2	R_3	$R_{экв}$	$G_{экв}$	$P_{экв}$
	В	В	В	В	А	А	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Сим	Вт

6. Элементтериндеги R_1, R_2, R_3 каршылыктарды өзгөртүп жана алардын ар кандай маанилериндеги ток күчтөрүнүн, чыңалуулардын маанилерин өлчөгүлө.
7. Тажрыйбадан алынган жыйынтыктардын 2, 5, 8-пункттары боюнча Омдун жана Кирхгофтун мыйзамдарын текшергиле.
8. Таблицада берилген каршылыктардын маанилери боюнча Кирхгофтун мыйзамдарынын негизинде ток күчтөрүн эсептегиле. Эсептөөнүн жыйынтыгын эксперименттин жыйынтыгы менен салыштыргыла.

5. *Отчеттун мазмуну*

Отчетто иштелген схемалар, эсептөөнүн жыйынтыгы менен толтурулган таблицалар, эсептөөдө колдонулган формулалар, лабораториялык иш боюнча кыскача корутунду келтирилет.

6. Текшерүү суроолору

1. Электр чынжыры, түйүн, бутак жана контур деп эмнени атайбыз?
2. Кандай контурлар өз ара көз карандысыз контурлар деп аталат?
3. Электр чынжырын “эсептөө” деген эмне?
4. Кирхгофтун мыйзамдары боюнча электр чынжырын эсептөө үчүн канча теңдеме түзүү керек?
5. Эмне үчүн Кирхгофтун мыйзамдарында “алгебралык сумма” деген сөз колдонулат?
6. Кандай учурда электр чынжырында элементтер удаалаш туташтырылган?
7. Кандай учурда электр чыжырындагы элементтер жарыш жана аралаш туташтырылган?

№ 3 Лабораториялык иш.
Үстү-үстүнө кошуу ыкмасы. Потенциалдык диаграмма.

1. *Иштин максаты*

Бир нече электрэнергия булактарынан турган турактуу токтун сызыктуу тармакталган электр чынжырын эсептөө ыкмаларынын бири үстү-үстүнө кошуу ыкмасын эксперименталдык жүзүндө текшерүү. Берилген электр чынжырына потенциалдык диаграмманы тургузуу жана анын жардамы менен эки чекиттин ортосундагы чыңалууну аныктоо.

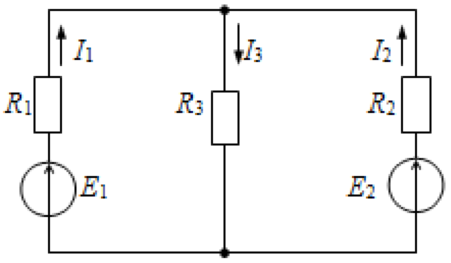
2. *Негизги теориялык жоболор.*

Кирхгофтун мыйзамдары боюнча түзүлгөн сызыктуу теңдемелердин негизинде үстү-үстүнө кошуу ыкмасы же суперпозиция принциби аткарылат.

Сызыктуу электр чынжырлары үчүн бул принцип боюнча бир элементке бир нече булактардын таасир берүүсүн ошол эле элементке ар кайсыл булактын, токтун ар бири өз-өзүнчө таасир берүүсүнүн жыйынтыгы деп карасак болот.

Бир нече электр энергия булактарынан турган татаал электр чынжырындагы токторду аныктоо үчүн, чынжырда ар бир электр энергия булагын өзүнчө бирден калтырып, ар бир электр энергия булагынын таасири астындагы толук эмес токторду эсептөө керек. Ар бир электр энергия булагынын таасири астында чынжырда өтүп жаткан толук эмес токтордун багытын эске алып, токтордун алгебрлалык суммасын эстеп чыныгы же толук токторду таап алабыз. Жогорудагы эсептөө ыкмасы татаал электр чынжырын жөнөкөйлөтүү супер позиция принцибине келет. Эгерде татаал электр чынжыры бир гана ЭКК булактарынан турса чынжырды жөнөкөйлөтүү учурунда бир ЭКК булагын калтырып, калганын кыска туташтыруу, ал эми чынжырда ЭКК булактары менен ток булагы болсо, ток булагы катышкан булакты чынжырдан ажыратуу керек, себеби ток булагынын ички каршылыгы чексиз чоң, электр тогу өтпөйт. Жөнөкөйлөнгөн чынжырды эсептөөдө эквиваленттик өзгөртүү ыкмасын колдонобуз, белгисиз толук эмес токторду аныктоо керек. Үстү-үстүнө же

суперпозиция ыкмасы сыяктуу элементтерден турган сызыктуу электр чынжырлары үчүн гана колдонулат.

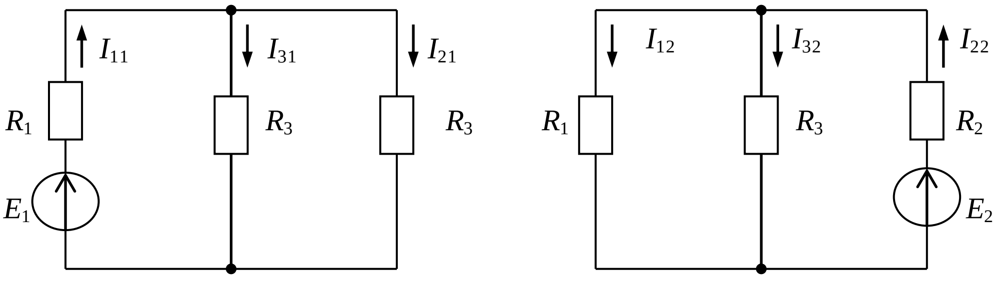


1-сүрөт

Мисалы. Элементтеринен турган электр чынжырынын схемасы (1-сүрөт) берилген. Параметрлери $E_1 = 12$ В; $E_2 = 9$ В; $R_1 = R_2 = R_3 = 2$ Ом. Үстү-үстүнө кошуу ыкмасын колдонуп бутактардагы токторду аныктагыла.

2-сүрөттө а) чынжырдагы толук эмес токторду аныктоо үчүн ЭКК булагын E_1 калтырып, ЭКК E_2 чынжырдан алып,аны кыска туташтырабыз дагы, ЭКК E_1 дин таасири астындагы токторду аныктайбыз.

2-сүрөттө б) көрсөтүлгөн схема боюнча ЭКК E_1 алып, аны кыска туташтырып, ЭКК E_2 таасири астындагы толук эмес токторду аныктайбыз.



а) ***б)***

2-сүрөт

2а - сүрөттөгү толук эмес токтор E_1ден:

$$R_{11} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 2 + \frac{2 \cdot 2}{2+2} = 3 \text{ Ом};$$

$$I_{11} = E_1/R_{11} = 12/3 = 4A; \qquad I_{21} = I_{31} = 2\text{А}.$$

2б - сүрөттөгү толук эмес токтор E_2ден:

$$R_{22} = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 2 + \frac{2 \cdot 2}{2+2} = 3 \text{ Ом};$$

$$I_{22} = E_2/R_{22} = 9/3 = 3A; \qquad I_{12} = I_{32} = 1{,}5\text{А}.$$

Толук эмес токтордун алгебралык суммасы бутактардагы чыныгы толук токторду берет:

$$I_1 = I_{11} - I_{12} = 4 - 1{,}5 = 2{,}5 \text{ А}$$

$$I_2 = -I_{21} + I_{22} = -2 + 3 = 1 \text{ А}$$

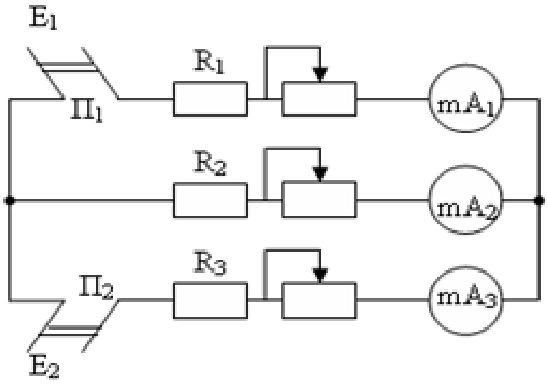
$$I_3 = I_{31} + I_{32} = 2 + 1{,}5 = 3{,}5 \text{ A}$$

3. Лабораториялык иштин жабдылышы

Үстү-үстүнө кошуу ыкмасын тажрыйба жүзүндө текшерүү үчүн электр чынжырынын элементтерди жана өлчөөчүприборлор универсалдык стенддин бетинде жайгашкан. Ток күчүн өлчөө үчүн үч миллиамперметр колдонулат, алардын нөлдүк шкаласы шкалалардын ортосуна жайгашкан, себеби бутактагы токтун багытын көрүп-билүүгө мүмкүндүк берет. Чынжырдын бутактарындагы чыңалууларды өлчөөдө В7-26 тибиндеги вольтметр колдонулат. Тажрыйбаны өткөрүү үчүн R_1, R_2, R_3 жөндөлүүчү резисторлор стенддин бетине жайгаштырылган. Ар бир резистор эки удаалаш туташтырылган жөндөлүүчү каршылыктардан жана түйүн катары пайдалануу үчүн штепселдик тешикчелерден турат. Панелдин оң жагында E_1 жана E_2 ЭКК булактары жана электр чынжырына кошуу үчүн коммутациялык (ажыратуучу, кошуучу ачкычтар) түзүлүштөр $К_1$, $К_2$ орун алган.

4. Лабораториялык ишти аткаруунун тартиби.

1. Берилген схема үчүн электр чынжырын 3-сүрөт боюнча чогулткула.



3-сүрөт

2. Төмөнкү тартипте үч эксперимент жүргүзгүлө:

Таблица

Биринчи эксперимент, $E_1 = 0$ боюнча.					Экинчи эксперимент, $E_2 = 0$ боюнча.					Үчүнчү эксперимент, эки ЭККны туташылган кезде.					
U'	U_{ab}'	I_1'	I_2'	I_3'	U''	U_{ab}''	I_1''	I_2''	I_3''	φ_1	φ_2	φ_3	I_1	I_2	I_3
В	В	А	А	А	В	В	А	А	А	В	В	В	А	А	А

- E_1 ЭКК булагын схемадан алып, анын ордун өткөргүч менен кыска туташтырып, E_2 ЭКК булагынын таасири астында пайда болгон токторду амперметрлердин жардамы менен өлчөп таблицага жазгыла;
- E_2 ЭКК булагын схемадан алып, анын ордун өткөргүч менен кыска туташтырып, E_1 ЭКК булагынын таасири астында пайда болгон токторду амперметрлердин жардамы менен өлчөп таблицага жазгыла;
- E_1 менен E_2 ЭКК булактарын схемада калтырып, алардын таасири астында пайда болгон токторду амперметрлердин жардамы менен өлчөп таблицага жазгыла;

3. Үстү–үстүнө кошуу ыкмасы текшерүү үчүн теңдеме түзүп, эсептөө жүргүзгүлө жана эсептөөнүн жыйынтыгын эксперименттен алынган жыйынтык менен салыштыргыла.
4. Схемада E_1 жана E_2 ЭКК булактары туташтырылган учур үчүн эксперименттин жана эсептөөлөрдүн жыйынтыгынын негизинде потенциалдык диаграмманы тургузула. Потенциалдык диаграмманы тургузууда адегенде электр чынжырынын каалаган бир чектинин потенциалын нөлгө барабарлап алып, эксперименттен алынган потенциалдардын жардамы менен каршылыктарды аныктагандан кийин түзгүлө.

5. *Отчеттун мазмуну.*

Лабораториялык иштин отчеттунда иштин аты, максаты, бутактардагы шарттуу белгиленген ток күчтөрүнүн багыттары менен берилген изилденүүчү электр чынжырынын схемасы, E_1 жана E_2ЭКК булактарынан турган электр чынжырындагы чыныгы токтордун маанисин табуудагы эсептөөлөр, толтурулган таблица, потенциалдык диаграмма, эсептөөдө колдонулган формулалар, эксперимент боюнча кыскача жыйынтык көрсөтүлүүгө тийиш.

6. *Текшерүүчү суроолор*

1. Кандай ыкма жана өлчөө менен каршылыктын маанисин аныктоого болот.
2. Электр чынжырына үстү-үстүнө кошуу ыкмасын колдонууда эсептөөнү кандай ирээтте аткаруу керек?
3. Үстү-үстүнө кошу ыкмасынын маңызы, мааниси эмнеде?

4. Сызыктуу электр чынжырларында кубаттуулукту табууда үстү-үстүнө кошуу ыкмасын колдонууга болобу?
5. Пассивдүү эки уюдуу элементтин кирүү каршылыгы деген эмне?
6. Кайсы учурда электр чынжырдагы ток күчтөрүн эсептөө үчүн эквиваленттик генератор ыкмасын колдонуу ылайыктуу.
7. Кандай электр энергия булагы ЭКК булагы деп аталат? Көз каранды жана көз каранды эмес булактарга мисал келтиргиле.
8. Кандай электр энергия булагы ток булагы деп аталат? Көз каранды жана көз каранды эмес булактарга мисал келтиргиле.
9. Потенциалдык диаграмма деген эмне?

№ 4. Лабораториялык иш

Синусоидалык токтун чынжырындагы пассивдүү кош уюлдук жана жөнөкөй вектордук диаграммалар.

1. Иштин максаты

Энергия менен камсыз кылуу жыштыгын өзгөртүүгө пассивдүү элементтердин ар кандай айкалышта ыраттуу чынжырдагы режимдерди изилдөө. Өлчөө боюнча кабыл алуучу каршылык көлөмүн жана мүнөзүн аныктоо жана багыттуу диаграммаларды куруу.

2. Негизги теориялык жоболор

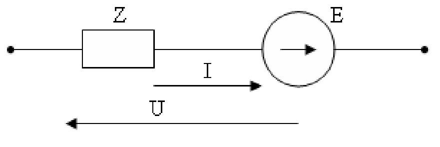
Заманбап электротехникада фундаменталдык ролду гармоникалык, атап айтканда синусоидалык же косинусоидалык өзгөрүүлөр ойнойт. Өзгөрмө ток деп убакытта өзгөрүүчү ток аталат. Синусоидалык токтун дароо мааниси, төмөнкү маани берүү аркылуу аныкталат

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

I_m – токтун амплитудасы (максималдык сан), А;

$(\omega t + \psi_i)$- толук фаза (фазалык бурч, фаза), рад;

t- убакыт, с; ψ_i - баштапкы фаза.



1-сүрөт

Өзгөрмө токтун электр чынжырчасында ток

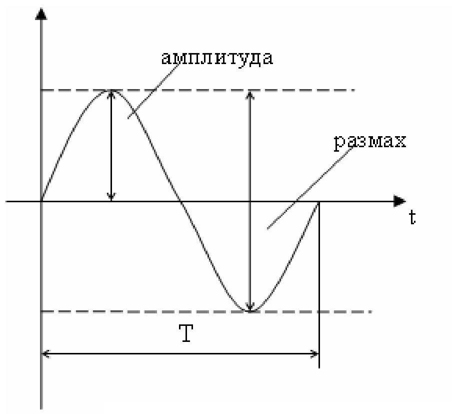
үчүн жана чыңалуу үчүн оң багыттарды көрсөтүү зарыл (1-сүрөт).

ЭКК, токтун жана чыңалуунун дароо маанилери төмөнкү маани берүү менен көрсөтүлгөн:

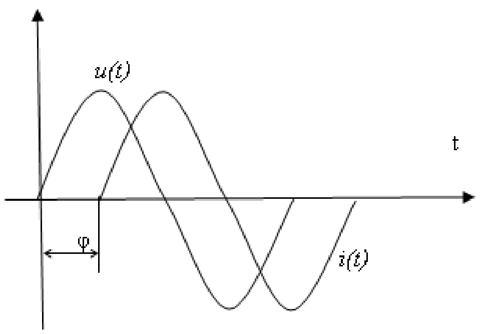
$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \psi_e), \quad i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i), \quad u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

Чыңалуунун көз ирмемдик маанилеринин ийрилерин осцилографтын жардамы менен байкоого болот (2-сүрөт).

Бир жыштыкта эки биргелешкен синусоидалык сигналдарды кароодо, алардын фазасынын айырмасы, баштапкыч фазанын айырмасына барабар болсо фазалардын жылышы деп аталат жана φ менен белгиленет (3-сүрөт).



2-сүрөт



3-сүрөт

Чыңалуунун жана токтун фазаларынын айырмасы $u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$, $i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ барабар $\varphi = \psi_u - \psi_i$. *эгерде* $\varphi = 0$ ток жана чыңалуу фаза боюнча дал келет, эгерде $\varphi \pm \pi$ анда алардын фазалары карама каршы, эгерде $\varphi = \pm\pi/2$ анда фазалар квадратурада.

Эки солкунун фазаларынын айырмасы эсеп башталгычынан көз каранды эмес, анткени акыркынын өзгөрүүсү эки солкунун баштапкы фазаларынын маанилерин бирдей санга өзгөрүшүнө алып келет, эгерде $\varphi>0$ ток *i(t)* чыңалуудан *u(t)* фаза боюнча φ бурчка артта калат, эгерде $\varphi<0$ ток *i(t)* чыңалуудан *u(t)* фаза боюнча φ бурчка ашып өтөт.

Синусоидалык токтун чынжырларынын электрдик абалы туруктуу токтун чынжырлары сыяктуу эле Кирхгофтун теңдемелери менен баяндалат, бирок тригонометриялык функцияларды камтыгандыгы үчүн эсеп абдан татаал болуп калат.

Электротехникада теңдемелерди жөнөкөйлөтүү үчүн комплекстүү сандардын математикалык аппараты кеңири колдонулат.

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = Ze^{j\varphi} = R + jX$$

$\dot{U}$ - чыңалуунун комплекстүү мааниси, В; $\dot{I}$ - комплекстүү ток, А;

$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \geq 0$ - толук каршылык, Ом;

R –активдүү каршылык, Ом; Х –реактивдүү каршылык, Ом.

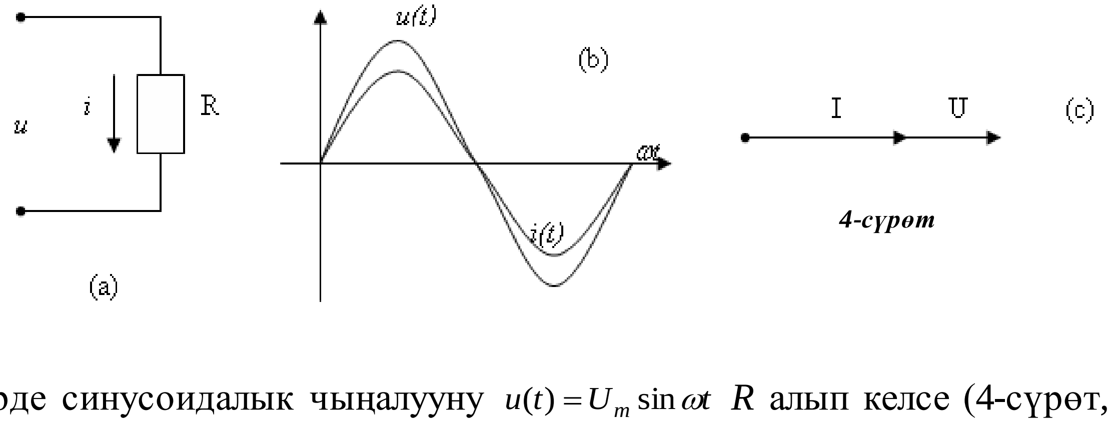
Комплекстүү сан эки түрдө алгебралык жана көрсөтмө формасында жазылышы мүмкүн.

Алгебралык формада жазылган бар жок комплекстүү сандар $\underline{A}=a+jb$, буюмдук a жана курулай jb түзүлүштөн турат, көрсөтмө формасында $\underline{A}=Ae^{j\varphi}$, - модуль A и аргумент φ жазылат.

Ар бир конкреттүү учурда тигил же бул формасын тандоо математикалык операцияларды комплекстүү сандар менен жүзөгө ашырууну мажбурлайт: кошууда алгебралык формасы көбөйтүүдө көрсөтмө формасы ыңгайлуу.

Синусоидалык токтун чынжырындагы каршылык.

Резистивдүү элемент активдүү каршылык менен мүнөздөлөт жана идеалдашкан элемент катары өзүн көрсөтөт анын ичинде электромагниттик энергияны башка энергияга алмаштыруунун артка кайтарылбаган процесси жүрөт.



4-сүрөт

Эгерде синусоидалык чыңалууну $u(t) = U_m \sin \omega t$ R алып келсе (4-сүрөт, а), анда Омдун мыйзамы боюнча токтун дароо мааниси төмөнкү теңдеме менен аныкталат $i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t$. Ошондуктан R каршылыгынан өткөн чыңалуу

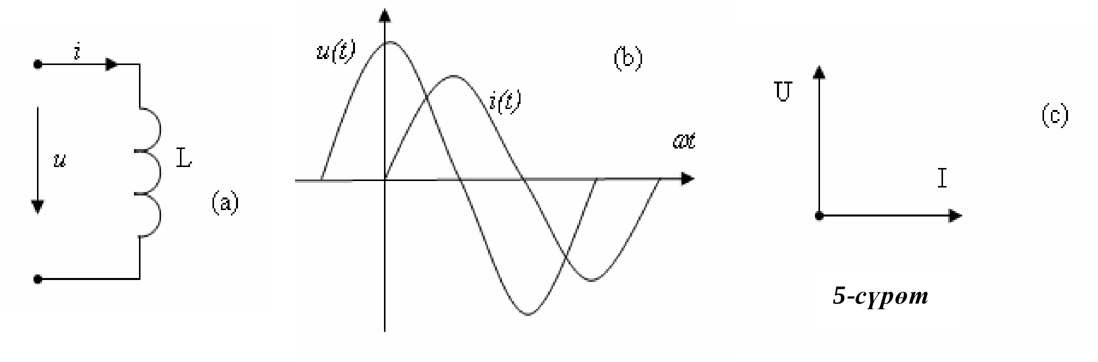
жана ток бирдей баштапкы жыштыкты камтыйт же болбосо фазалары менен дал келет: алар бир убакта өздөрүнүн максималдуу маанисине жетет жана ошондой эле бир убакта нөльдөн өтүшөт (4-сүрөт, b). 4(c) сүрөтүндө вектордук диаграмма көрсөтүлгөн. Резистивдүү элементте чыңалуунун формасы токтун формасын так өзүндөй кайталайт.

Резистивдүү каршылыка келген ирмем кубаттуулук эки эселүү жыштык менен өзгөрөт жана 0дон 2ге *UI аралыгында болот.*

$$p = u \cdot i = U_m I_m \sin^2 \omega t = UI(1 - \cos 2\omega t)$$

Синусоидалык токтун чынжырындагы индуктивдүүлүк

Индуктивдүү элемент өз алдынча магниттик агым *Ф* жана ага ылайык агым илешүү ψ менен мүнөздөлгөн, магниттик талаа козголгон индуктивдүү зым түрмөктүн сыпаттарына окшош идеалдашкан элементти элестетет. Индуктивдүү элементте магниттик талаанын энергиясынын чогулуусунун камы жүргүзүлөт.



5-сүрөт

Индуктивдүүлүктөн L (5а -сүрөт,) ток $i(t) = I_m \sin \omega t$ өтүп жатат. Ошол убакта индуктивдүүлүктө чыңалуу токту 90° бурчтука ашып өтөт.

$$u_L = L\frac{di}{dt} = \omega L I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_{mL} \sin(\omega t + 90^\circ).$$

Ошондуктан, азыркы учурда чыңалуу жана токтун ортосундагы фазанын жылышуусу $\varphi=\psi_u-\psi_i=90°$ түзөт. 5(b,c)-сүрөттө убакыттык жана вектордук диаграммалар көрсөтүлгөн. Амплитуда дагы колдонуудагы чыңалуунун жана токтун маанисиндей эле бул катыш менен байланыш $U_L = \omega L \cdot I = I \cdot X_L$. Чыңалуунун жана токтун амплитудасын байланыштырып турган – бул чоңдук $X_L=2\pi \cdot f \cdot L$ индуктивдүү зым түрмөктүн реактивдүү индуктидүү каршылыгы деп аталат.

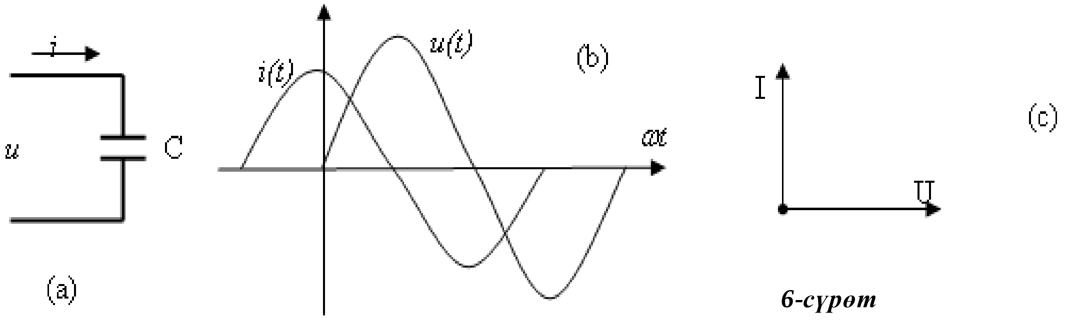
Индуктивдүүлүккө келген ирмем кубаттуулугу:

$$p = u_L \cdot i = U_{Lm} I_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) = UI \sin 2\omega t ,$$

Синусоидалык мыйзам боюнча *UI* амплитудасын камтып *2ω* бурчтук жыштыгы менен солкулдайт. Ошондон улам индуктивдүү чынжырда булак менен индуктивдүүлүк ортосундагы энергия солкулдоосу, ал убакта активдүү кубаттуулук нөльгө барабар.

Синусоидалык токтун чынжырындагы сыйымдуулук.

Сыйымдуулук элементи өз ара электр талаасынын энергиясы чогулган идеалдашылган конденсаторду элестетет. Диэлектриктердеги жана пластинадагы жоготууну эске албаганда конденсаторду ылдыйкы жыштыктарда жалгыз сыйымдуулук параметри менен мүнөздөлгөн сыйымдуулук элементиндей карасак болот $C = \frac{q}{u_C}$ (6а-сүрөт).



6-сүрөт

Сыйымдуулукта $u(t) = U_m \sin \omega t$ чыңалуусу болсо, анда

$$i_C = C\frac{du}{dt} = \omega C U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_{mC} \sin(\omega t + 90^\circ) .$$

Бул мааниде ток *i* коюлган чыңалууну *u π/2 бурчуна ашып өтүп жатат.*

Бул жерде $\omega C U_m = I_{mC}$ же болбосо $I = \frac{U}{X_C}$, X_C – реактивдүү сыйымдуулук каршылыгы.

Токтун баштапкы фазасы *90°* чыңалуунун баштапкы фазасынан көп экенин сүрөттөн жана мааниден көрсө болот, токтун вектору чыңалуунун векторун *90°* ашып өтүп жатат. Убакыттык жана вектордук диаграммалары 6 (b,c) - сүрөттө көрсөтүлгөн.

Сыйымдуулукка кирген ирмем кубаттуулугу:

$$p = u \cdot i = U_m I_m \sin\omega t \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) = UI \sin 2\omega t\,,$$

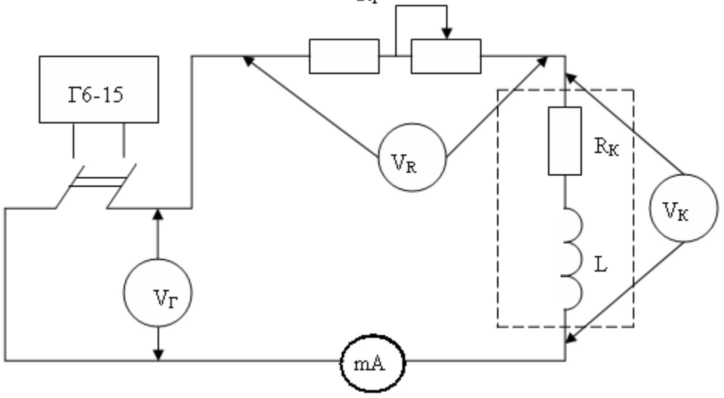
UI амплитудасын камтып *2ω бурчтук жыштыгы менен* синусоидалуу солкундайт.

3. Лабораториялык иштин жабдылышы.

Лабораториялык стендде: Г6-15 атайын формадагы сигналдарды бөлүп чыгарууну генератор, прибору токтун күчүн өлчөөчү жана өлчөөнүн бир нече комбинациясын аткаруучу прибор, В7-26 универсалдык вольтметр, элементтердин түргөн панели жайгашкан. Лабораториялык иште энергия кабыл алгычтар катарында каршылыкка ээ резистор R,C параметрлеринен турган эки уюлдуу пассивдүү элемент, R_L, L параметрлеринен турган индуктивдүү зым түрмөк колдонулат. Жогорудагы аталган элементтерден тышкары электр сыйымдуулугунун жана зым түрмөктүн индуктивдүүлүгүн өзгөртүү үчүн бир нече тумблер колдонулат.

4. Лабораториялык иштин аткаруу тартиби

1. Эки удаалаш туташылган элементтен турган электр чынжырын чогултуу, схема боюнча резистор *R* жана индуктивдүү зым түрмөк (R_L, L) (7-сүрөт). Ушул схемага приборлордун көрсөткөн сандарын 1-таблицага толтуруу. Белгилүү үч чыңалуу аркылуу $U_Г$, U_R и U_K, башкача айтканда *үч вольтметр ыкмасы* менен индуктивдүү зым түрмөктүн параметрлерин аныктоо.



7-сүрөт

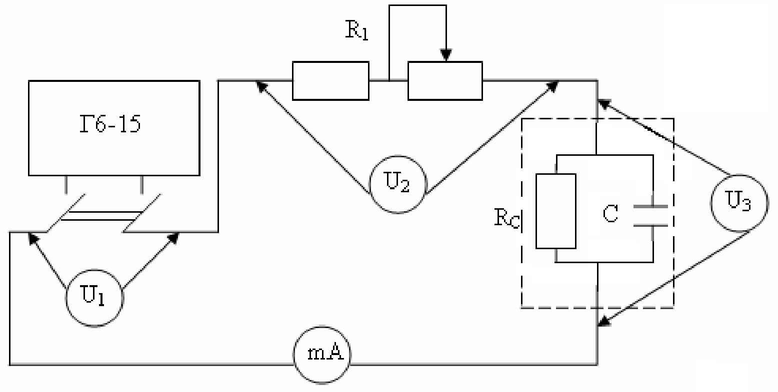
1 таблица

ченелген					эсептелген				
$U_Г$	U_R	$U_К$	I	f	R_1	$R_К$	X_L	L	Z
В	В	В	А	Гц	Ом	Ом	Ом	Гн	Ом

2 таблица

	ченелген			эсептелген			
	f	$U_К$	I	$R_К$	X_L	L	Z
цепь R-L	Гц	В	А	Ом	Ом	Гн	Ом

2. Ошол эле схемага (7-сүрөт) белгиленген генератордун жыштыгында вольтметр жана миллиамперметр менен алынган маанилердин негизинде индуктивдүү зым түрмөктүн параметрин таап (R_L, L) 2 таблицага жазуу. *Эки жыштык ыкмасы* менен параметрди аныктоо.



8-сүрөт

3 таблица

ченелген					эсептелген				
U_1	U_2	U_3	I	f	R_1	R_C	X_C	C	Z
В	В	В	А	Гц	Ом	Ом	Ом	Ф	Ом

4 таблица

	ченелген			эсептелген			
	f	U_C	I	R_C	X_C	C	Z
цепь R-C	Гц	В	А	Ом	Ом	Ф	Ом

3. Эки удаалаш туташылган элементтен турган электр чынжырын чогултуу, схема боюнча резистор R жана пассивдүү эки уюлдук (R_C, C) (сүрөт. 8). Ушул

схемага приборлордун көрсөткөн сандарын 3 таблицага толтуруу. Белгилүү үч чыңалуу аркылуу $U_Г$, U_R и U_C, башкача айтканда *үч вольтметр ыкмасы* менен индуктивдүү зым түрмөктүн параметрлерин аныктоо.

4. Ошол эле схемага (8-сүрөт) белгиленген генератордун жыштыгында вольтметром жана миллиамперметр менен алынган маанилердин негизинде конденсатордун параметрин таап (R_C, C) 4 таблицага жазуу. *Эки жыштык ыкмасы* менен параметрди аныктоо.

5. Масштабда вектордук диаграммаларды жана каршылык үч бурчтугун тургузуу.

6. Зым түрмөк менен конденсатордун параметрлеринин эксперименталдык аныктоосунун жыйынтыгын эки ыкма менен салыштыруу. Жыйынтыктагы айырмачылык боюнча түшүндүрмө берүү.

5. Отчеттун мазмуну

Отчетто изилдөөдөгү электр чынжырынын схемалары, толтурулган таблицалары, зым түрмөк жана конденсатордун параметринин эсеби, чыңалуулардын вектордук диаграммалары жана каршылык үч бурчтугу, эсептөөдө колдонулган формулалар жана иш боюнча корутунду көрсөтүлөт.

Текшерүү суроолор

1. Кандай солкундоолор гармоникалык деп аталат?
2. Өзгөрмө ток, амплитуда, фаза, бурчтук жыштык деп эмнени айтабыз? Гармоникалык сигналдын ийрисин тартып бергиле.
3. Жыштык, бурчтук жыштык жана гармоникалык сигналдын мезгили кандай байланышат?
4. ω жыштыгы менен болгон гармоникалык таасирде индуктивдүү каршылыктын $X=\omega L$, жана сыйымдуулуктун $X=1/\omega C$ барабар экенин далилдегиле.
5. Комплекстүү сандарды кандай жол менен көбөйтүп, бөлүп, кошуп, алат көрсөткүлө?
6. Комплекстүү сандын алгебралык, көрсөтмө жана тригонометриялык формаларын көрсөткүлө?
7. Электр сыйымдуулугу деген эмне?

8. Жалпак конденсаторунун электр сыйымдуулугу эмнеден көз каранды?
9. Конденсатордун электр талаасынын энергиясы кантип аныкталат?

№5 Лабораториялык иш.
Өзгөрмө токтун тармакталбаган чынжырын изилдөө.
Чыңалуулардын резонансы.

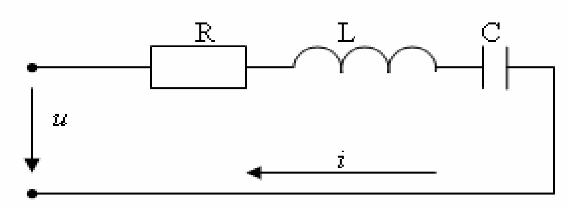
1. *Иштин максаты*

Активдүү каршылык, индуктивдүү зым түрмөк жана электр сыйымдуулук элементтери удаалаш туташкан контурдагы процессин жыштык мүнөздөмөлөрүн, чынжырда электр тогунун жыштыгын өзгөртүү жана ошол учурдагы өлчөөнүн ыкмаларын окуп үйрөнүү.

Өлчөөдөн алынган чоңдуктардын маанилеринин негизинде эсептөөлөрдү жүргүзүүнү вектордук диаграммалардан практика жүзүндө ыкмаларын өздөштүрүү.

2. *Негизги теориялык жоболор.*

Термелүү контуру – радиотехникалык түзүлүштөрдө атап айтканда радиоалуучуларда керектүү радиостанциянын үн алгы жыштыгын тандоодо, ал эми радио берүүдө радиосигналды мейкиндикте таратууда, күчөтүүчү элементтин чынжырын кошулган генераторлордо, башкача айтканда баардык электр термелүүсүнө контур көңүлүн бурган жерлерде жүрүшү каптаган. Термелүү контурдагы резонанстык куулуштун бар болгону радиотехникалык түзүлүштөрдү проектөөдө алмашкыс болуп саналат.



1-сүрөт

Активдүү каршылык R, индуктивдүү түрмөк L, электр сыйымдуулук C удаалаш туташкан электр чынжырында фазалары бөлөкчө чыңалуу жана ток күчү дал келген режим – *чыңалуулардын резонансы* деп аталат.

Чыңалуулар резонансынын негизги шарты аткарылыш үчүн толук комплекстик каршылык теңдемеси минималдык бөлүгү нөлгө барабар болууга тийиш.

$$Z = R + jX_L - jX_C\ , \qquad \text{б.а.} \qquad X_L - X_C = 0$$

Демек $X_L = X_C$ же $\omega L = \dfrac{1}{\omega C}$, кайда $\omega = 2\pi \cdot f$, барабардыгынан мында резонанстык жыштык $f_p = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ же $\omega_p = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ формуласы менен аныкталат.

Резонансттык режимди (окуу үчүн) L, C жана ω өзгөртүү менен алдында резонансттык жыштык учурундагы элементтердин каршылыктарына маанисин мүнөздөөчү каршылык деп аталат $\rho = 2\pi \cdot f_p L = \dfrac{1}{2\pi \cdot f_p C} = \sqrt{\dfrac{L}{C}}$.

Эгерде чынжырга гармоникалык ток берилсе анда толук комплексттик каршылык аныкталат.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}\ .$$

Контурдагы чыңалуунун, ток күчүнүн фазаларынын баллга бирдей айырмасы бул каршылыктын аргументи,

$$tg\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

барабар.

Жогорудагы 1-сүрөттө көрсөтүлгөн чынжыр үчүн жалпы чыңалуунун көз ирмеминдеги:

$$u = u_R + u_L + u_C\ .$$

Ошондо $$u = RI_m \sin \omega t + \omega L I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{\omega C}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Бул жерде $$U_m = I_m\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}\ .$$

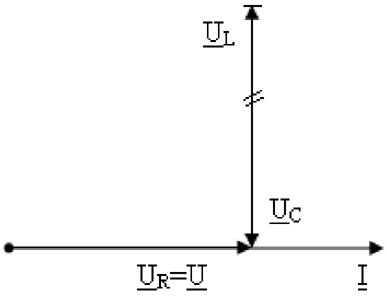
Чыңалууну модулу

$$U = \sqrt{U_R{}^2 + (U_L - U_C)^2}\ ,$$

Анда контурдан токтун мааниси

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}.$$

Резонанс режим учурунда чынжырда же контурда ток максималдык мааниге ээ. $I_p = \frac{U}{R}$ жана ал чыңалуу менен фазалары боюнча дал келет.



2-сүрөт

Чыңалуу резанансы үчүн вектордук диаграмма 2-сүрөттө көрсөтүлгөн. Конденсатордагы чыңалуу U_{cp} жана зым түрмөктөгү чыңалуу U_{Lp}, резонанс учурунда $U_{CP} = U_{LP} = I_P \omega_P L = \frac{I_P}{\omega_P C}$, эгерде $\frac{1}{\omega_P C} > R$ жана шарты аткарылса, анда чыңалуусу чынжырга берилүүчү чыңалуудан чоң болот. Контурда же электр чынжырда резистивдүү каршылык нөлгө барабар болсо, анда контурда электр тогунун энергиясынын жылуулук энергиясына айлануусу токтойт, биз карап жаткан контур идиалдык котур болот, демек бул учурда конденсатордагы зым түрмөктөрү энергиянын кезек –кезеги менен алмашуусу жүрөт. Ал эми контурда резистивдүү элементтин болушу каршылыгынын өсүшү менен электр тогунун энергиясын жылуулук энергиясына айлануусу өсөт. Демек, энергия жоготууга учурайт. Радиотехникада жана электромеханикада эң резистивдүү каршылыктын маанисинде эмес, анын реактивдүү элементтердин каршылыктары менен катышы.

Резонанстык жыштык учурунда реактивдүү каршылыктардын резистивдүү каршылыкка болгон катышы контурдун тандоо сапаттуулугу деп аталат.

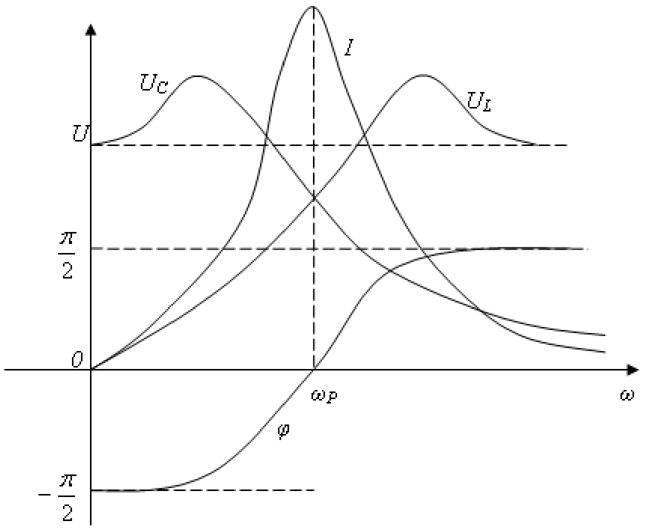
$$\frac{\omega_P L}{R} = \frac{1/\omega_P C}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{\rho}{R} = Q$$

Мында $\boldsymbol{\rho}$- мүнөздөмө каршылык, $\boldsymbol{Q}$- теңдөө сапаттуулук.

Теңдөө сапаттуулук чоңдугу индуктивдүү зым түрмөктөгү же конденсатордогу чыңалуу чынжырга берилүүчү чыңалуудан канча эсе чоң экендигин көрсөтөт. Жогорудагы формуладан көрүнүп тургандай контурда

резистивдүү каршылыктын мааниси канчалык аз болсо берилген L,C реактивдүү элементтердин маанилери ошончо жогору болот.

Резонанстык жыштыгы, тандоо сапаттуулугу резистивдүү каршылыгын аз же көп экендигинен айырмаланат. Тандоо сапаттуулугу аркылуу контурдун тандоо чөңдугун аныктоого болот б.а. контурдун тандоо чөңдугу ар кандай жыштыкта чыңалуунун бирдей эмес маанилери азайышы. Тандоосу төмөн контурга караганда тандоосу жогору контур резонанстык жыштыкка дал келбеген горманикалык термелүүлөрдү басаңдатат. Дагы бир контурдун мүнөздөмөлөрүнүн бири бул – жыштыкты өткөрүү тилкеси.



3-сүрөт

Резонанс жыштыгы, өткөрүү тилкеси контурдун тандоо сапаттуулугу параметрлерин радио кеңири колдонушат. Жыштык мүнөздөмөсү, ар кандай жыштыктардагы контурдун өзүнүн алып барарын көрсөтүп турат. Чыңалуулардын резонансын изилдөөдө эң негизги чоңдуктардын жыштыктан болгон көз карандылыгын жана чыңалуу менен ток күчүнүн ортосундагы фазалык жыштыктан болгон көз карандылыгынын кызыгуу жаратат.

График түрүндө бул көз карандылык 3-сүрөттө көрсөтүлгөн. $\boldsymbol{I\omega}$ резонанстык ийри сызык параметрлер таасири $\boldsymbol{Q}$ тандоо сапаттуулугу аркылуу билүүгө болот.

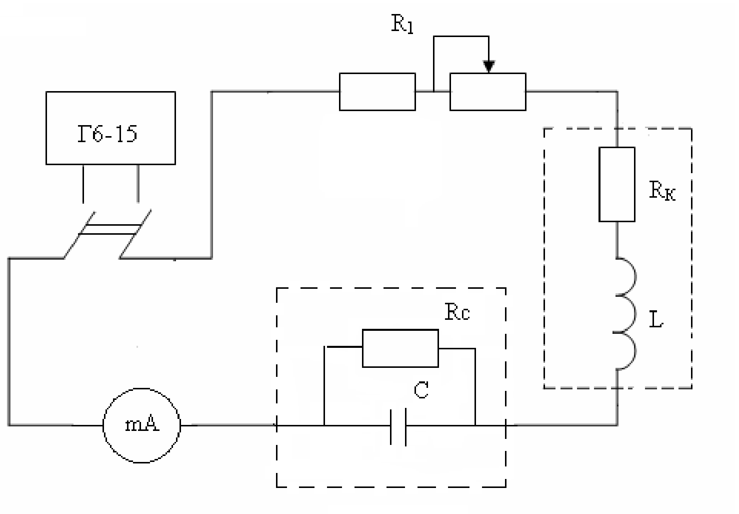
3. Лабораториялык иштин жабдылышы.

Лабораториялык стендде: Г6-15 формасындагы атайын формадагы сигналдарды бөлүп чыгарган генератору, токтун күчүн өлчөөчү жана өлчөөнүн бир нече комбинациясын аткаруучу прибору, В7-26 универсалдык вольтметр, электр схемасынын элементтеринен турган панели жайгашкан.

Лабораториялык иште энергия кабыл алгычтар катарында каршылыкка ээ резистор R,C параметрлеринен турган эки уюлдуу пассивдүү элемент, R_L, L параметрлеринен турган индуктивдүү зым түрмөк колдонулат. Жогорудагы аталган элементтерден тышкары электр сыйымдуулугунун жана зым түрмөктүн индуктивдүүлүгүн өзгөртүү үчүн бир нече тумблер колдонулат.

4. Лабораториялык ишти аткаруунун тартиби

1. 4-сүрөттө көрсөтүлгөн схема боюнча электр чынжырын чогулткула.



4-сүрөт

Таблица

	ченелген						эсептелген									
№	U	U_K	U_C	U_R	I	f	b_C	C	X_L	L	R_K	R_1	$Z_{экв}$	$Z_к$	Y_C	g_C
	В	В	В	В	А	Гц	См	Ф	Ом	Гн	Ом	Ом	Ом	Ом	См	См
X_L=X_C																
X_L<X_C																
X_L>X_C																

2. L жана C өзгөртпөй, генератордон (берилүүчү сигналды) синусоидалык токтун жыштыгын өзгөртүү менен чыңалууну резонансына алып келүү, бул учурда чынжырда ток максималдык мааниге ээ I_P болот, ал эми ток күчү менен чыңалуунун ортосундагы фазалык жылыш (айырмасы) $\varphi_u - \varphi_i = 0$ өлчөөнүн жыйынтыгын таблицага жазгыла.
3. Генератор аркылуу синусоидалык токтун жыштыгын өзгөртүү менен X_L<X_C шартына алып келип тажрыйбасын бир нече жолу кайталайбыз, жыйынтыгын таблицага толтурабыз.

4. Генератор аркыруу синусоидалык токтун жыштыгын өзгөртүү менен $X_L > X_C$ шартына алып келип өлчөөнү бир нече жолу кайталайбыз, жыйынтыгын таблицага түшүрөбүз.

5. *Отчеттук мазмунун*

Лабораториялык иштин отчетунда изилденүүчү электр чынжырдын схемасы, толтурулган таблица, конденсатордун жана индуктивдүү зым түрмөктүн параметрлерин аныктоо үчүн жүргүзүлгөн эсептөөлө белгилүү масштабда түзүлгөн көз карандылык графиги, вектордук диаграммалары эсептөө үчүн колдонулган формулалар, иштин корутундусу.

6. *Текшерүү суроолору*

1. Индуктивдүү зым түрмөктүн жана конденсатордун параметрлерин аныктоо үчүн кандай өлчөөлөрдү жүргүзүү керек?
2. Кайсы приборлордун жардамы менен электр чынжырындагы чыңалуунун резонансын аныктоо болот?
3. Токтун жана чыңалуунун активдүү жана реактивдүү түзүүчүсү деп эмнени түшүнөбүз?
4. Формалык жылыш бурчунун белгиси кандай аныкталат?
5. Чыңалуулар резонанстын шарттарын жазуу ?
6. Осцилограф жардамы менен ток күчү менен чыңалуунун ортосундагы фазалык айырманы кандай аныктоо керек.
7. Контурдун тандоо сапаттуулугуна активдүү каршылыктын тийгизген таасири?
8. Индуктивдүү жана электр сыйымдуулук каршылыктарынын жыштык мүнөздөмөлөрүн көрсөткүлө.
9. Чыңалуулардын резонансынын кубулушун түшүндүрүп бергиле.

№ 6 Лабораториялык иш

Синусоидалык топтун тармакталган электр чынжырын изилдөө. Токтордун резонансы.

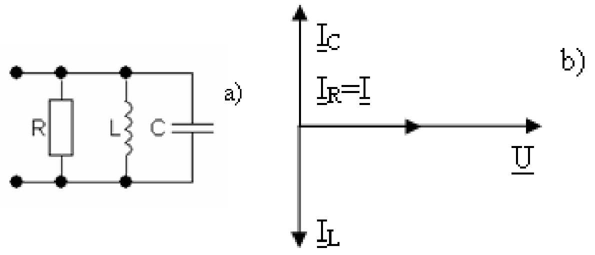
1. *Иштитн максаты.*

Жарыш туташтырылган пассивдүү эки уюлдуу лементтерди изилдөө. Элементтери жарыш туташтырылган контурдагы резонанстык кубулушту жана анын жыштык мүнөздөмөлөрүн тургузууну окуп үйрөнгүлө.

2. *Негизки теориалык жоболор.*

Индуктивдикти жана сыйымдуулукту камтыган бутактагы өзгөрмөлүү токтун тармакталган электр чынжырында токтордун резонанс кубулушу байкалат. (1а-сүрөт). Реактивдүү өткөрүмдүлүктөрү нөлгө барабар электр чынжырындагы режим, резонанстык режим деп аталат.

Бир нече жыштыкта биз аны резонанстык деп атайбыз жана f_p деп белгилейбиз, бутактардын реактивдүү өткөрүмдүлүктөрү $b_L = 1/X_L$ жана $b_C = 1/X_C$ барабар болот, ошондуктан жалпы реактивдүү өткөрүмдүлүктөр $b = b_C - b_L = 0$ нөлгө барабар. Резонанс учурунда, берилген чыңалуунун амплитудасында контурдагы реактивдүү элементтүү бутактарында контурдун кireберишинде токтун амплитудасы кескин өзгөрөт. Бирок токтор фазалары боюнча карама-



1-сүрөт

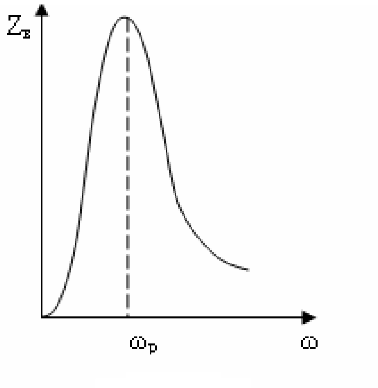
каршы болгондуктан, бирин-бири жоет дагы жалпы ток резистордогу токко барабар. Чынжырдагы токтун күчүн жана чыңалуунун фазаларынын айырмасы нөлгө барабар, чынжыр активдүү кубаттуулугун керектейт (1b-сүрөт).

1-сүрөттө идеалдык R, L, C элементитери жарыш туташтырылган жөнөкөй термелүү контуру көрсөтүлгөн. Бул контур үчүн өткөрүмдүүлүк:

$$Y = \frac{1}{R} + j\omega C - j\frac{1}{\omega L} = g + jb_C - jb_L$$

$$jb_C - jb_L = 0 \rightarrow b_C = b_L \rightarrow \omega C = \frac{1}{\omega L} \rightarrow$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{LC}}, \qquad (1)$$



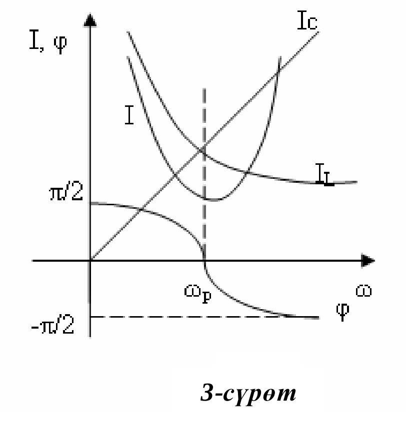
2-сүрөт

(1) теңдеме *R*, *L*, *C* элементтери удаалаш туташтырылган контурдун теңдемесине окшоп дал келет.

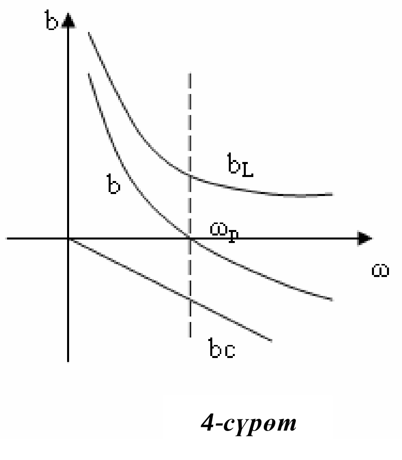
2-сүрөттө көрсөтүлгөндөй $Z_к$ каршылыгы резонанс учурунда максималдык мааниге ээ болот. Токтордун резонансы учурунда $\omega=\omega_p$, ток $I_0 = \frac{U}{Z_{K.P}} = d\frac{U}{\rho}$ максималдык мааниге чыңалуу менен дал келет. Бул учурда контурдун бутактарындагы токтордун модулу

$$I_{10} = \frac{U}{\sqrt{R_1^{\,2} + (\omega_0 L)^2}} = \frac{U}{\rho}\ , \qquad I_{20} = \frac{U}{\sqrt{\frac{1}{\omega_0^{\,2} C^2}}} = \frac{U}{\rho}.$$

Демек бутактардын өтүүчү токтордон $I_0 = \frac{I_{10}}{Q} = \frac{I_{20}}{Q}$ резонанс учурундагы энергия булагынан керектелүүчү ток *Q* эсе кичине болот. 3-сүрөттө контурундагы токтордун жыйынтыктан болгон көз карандылык графиги, ал эми өткөрүмдүлүктөрдүн жыштыктан көз карандысыз графиги 4-сүрөттө көрсөтүлгөн.



3-сүрөт



4-сүрөт

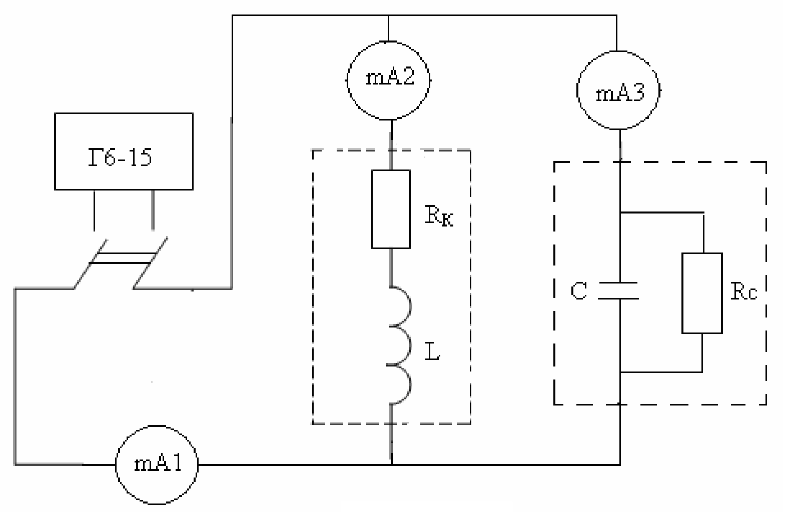
3. Лабораториялык иштин жабдылышы

Синусоидалык чыңалуунун булагы катарында Г6-15 генератору колдонулат. Иште энергия алгычтар катарында колдонулат, турукту жана өзгөрүлмө

каршылыкка ээ резисторлор, туруктуу, өзгөрүлмө электр сыйымдуулукка ээ конденсатор, зым түрмөктүн оромдорунун салым өзгөртүү үчүн тумблерден турган R_L, L параметрлерин өлчөөгө индуктивдүү зым түрмөктөр колдонулат. Стендде чыңалууну жана ток күчүн өлчөөчү приборлор жайгашкан.

4. Иштин аткаруунун тартиби

1. 3-сүрөттө көрсөтүлгөн схема боюнча электр чынжырын чогулткула.
2. L жана C туруктуу белгиленген маанилеринде генератордун жардамы менен жыштыкты өзгөртүү аркылуу токтордун резонансына алып келүү, бул учурда I_p минималдык мааниге ээ болот, ал эми $u = 0$ өлчөөнүн жанан эсептөөнүн жыйынтыгын таблицага толтургула.
3. Генератордун жардамы менен жыштыкты өзгөртүү аркылуу $b_L < b_C$ шарты аткарылгандай учурга алып келгиле өлчөөнү бир нече жолу кайталанткыла жана анын жыйынтыгын таблицага толтургула.
4. Генератордун жардамы менен жыштыкты өзгөртүү аркылуу $b_L > b_C$ шарты аткарылгандай учурга алып келгиле өлчөөнү бир нече жолу кайталанткыла жана анын жыйынтыгын таблицага толтургула.



5-сүрөт

Таблица

	ченелген					эсептелген									
	I_1	I_2	I_3	U	f	L	$R_к$	C	g_C	$X_к$	$Z_к$	Y_c	$Z_{экв}$	b_c	φ
	А	А	А	В	Гц	Гн	Ом	Ф	См	Ом	Ом	См	Ом	См	г
$b_L=b_C$															
$b_L<b_C$															
$b_L>b_C$															

5. Отчеттун мазмуну

Лабораториялык иштин аталышы, максаты изделүүчү электр чынжырларынын схемасы индуктивдүү зым түрмөктөрүн жана конденсатордун параметрлерди аныктоодо колдонулган формулалар, эсептөөлөрдү жыйынтыгында толтурулган таблицалар токтордун вектордук диаграммалары $I_1=f(\omega)$, $I_2=f(\omega)$, $I_3=f(\omega)$, $Z=f(\omega)$. Көз карандылык графиктери, иштин корутундусу отчеттун мазмунунда көрсөтүлүү керек.

6. Текшерүү суроолору

1. Толук комплекстик өткөрүмдүүлүктү кандайча, кантип эсептөө керек.
2. Амперметр, вольтметрди колдонуп эксперимент жүзүндө өткөрүмдүүлүктү кантип аныктоого болот.
3. Кайсы учурда электр чынжыры индуктивдүү мүнөздө болот.
4. Электр чынжырынын кандай иштөө режими токтордун резонансы деп аталат.
5. Кандай шартта эки уюлдук түйүндүн жарыш туташтырылган бутактарында резонанс пайда болот.
6. Чынжырда токтордун резонансынын жүрүшүн, эмнеден байкоого болот.
7. Контурдук талдоо сапаттуулугуна Q жана жымырт өчүүгө аныктама бер. Q жана d чоңдуктары эмнени мүнөздөйт.
8. Индуктивдүү жана электр сыйымдуулук өткөрүмдүлүктөрүнүн жыштыктан болгон көз карандылык мүнөздөмөлөрү кандай.
9. I(ω) резонанстык ири сызыкка басаңдатуучу чоңдуктун тийгизген таасири.
10. Элементтери жарыш туташтырылган контурдагы резонанс, эмне үчүн токтордун резонансы деп аталат.
11. Татаал контурлар үчүн токтордун резонансынын шартын жазгыла.

№ 7, 8 Лабораториялык иш

Өз ара индуктивдүү электр чынжырлар.

Аба трансформатору.

1. Иштин максаты

Индуктивдүү байланышкан зым түрмөктөрдү удаалаш, жарыш туташтырууда чыңалуу менен ток күчүнүн ортосунда катышкан өз ара индуктивдүүлүктүн тийгизген таасирин, индуктивдүү зым түрмөктөрдү бирдей жана карама каршы туташтыруу учурундагы жүргүзүлгөн эсептөөлөрдү изилдөө. Аба трансформатырынын биринчи жана экинчи түрмөктөрүндөгү чыңалуу күчтөрү менен токтун ортосундагы катыштарды изилдөө, трансформациялоо коэффициентин жана өз ара индукция коэффициентин аныктоо, бош жүрүш жана экинчи түрмөккө керектөөчүнү туташтыруу учурлары үчүн эксперимент өткөрүү.

2. Теориялык жоболор.

Электротехникалык түзүлүштөрдө индуктивдүү элемент бири бирине жакын жайгаштырылат, бул учурда биринчи элементтин магнит агымы, экинчи элементтин оромдорун кесип өтүп эки элементтин ортосунда магниттик байланыш өз ара индукциянын негизинде элементтерди ортосундагы электромагниттик байланыш индуктивдүү байланыш деп аталат. Индуктивдүү зым түрмөктүн моделин тургузууда алардын активдүү жана индуктивдүү каршылыктарын эске алынып, ал эми электр сыйымдуулук өтө аз болгондуктан эске алынбайт. Зым түрмөктөрдүн индуктивдүү байланышы сандык түрүндө өз ара *индуктивдүүлүк M* аркылуу мүнөздөлөт, демек M өз ара индуктивдүүлүгү жалпы магнит агым чырмалышынын же өз ара индукциянын агымдарынын Φ_{M1}, Φ_{M2} аларды пайда кылган ток күчтөрүнүн катышына барабар.

$$M_{12} = \frac{\psi_{12}}{i_2} = \frac{\omega_1 \Phi_{M2}}{i_2}, \qquad M_{21} = \frac{\psi_{21}}{i_1} = \frac{\omega_2 \Phi_{M1}}{i_1} \tag{1}$$

Эгерде чөйрө бир тектүү же сызыктуу болсо $M_{12} = M_{21}$эки зым түрмөктүн өз ара индуктивдүүлүктүн алардын индуктивдүүлүктөрүнө болгон катышы зым түрмөктөрдүн *байланыш коэффициентти* деп аталат.

$$K_б = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \qquad (2)$$

Байланыш коэффициенти реалдуу индуктивдүү байланышкан элементтерде ар дайым $К_б<1$ болот ал эми теориялык шартта биринчи зым түрмөктөн агымы экинчи зым түрмөктү толук чырмаган учурда гана $К_б=1$ болот. Эки индуктивдүү $К_б<1$ зым түрмөк, кайсы бутакка же электр чынжырына тиешелүү болбосун, аларды туташтыруунун эки түрү: бирдей жана карама-каршы багыттагы туташтыруулары.

$$e_м = e_L + e_M = -L\frac{di}{dt} - M\frac{di}{dt} \qquad (3)$$

$$e_к = e_L - e_M = -L\frac{di}{dt} + M\frac{di}{dt} \qquad (4)$$

Бирдей багытта туташтырууда ***M>0*** себеби өздүк индукциянын жана өз ара индукциянын магнит агымдары кошулат, ал эми карама-каршы туташтырууда ***M<0*** себеби өздүк индукциянын агымы өз ара индукциянын агымына кемитилет зым түрмөгү магнит агымынын багыты ток күчүнүн багытына жана ооромдордун оро багытынан көз каранды.

Схемада зым түрмөктөрдүн оромдорунун оролуу багыттары башталыштары жылдызча же чекит аркылуу белгиленип жана бирдей белгидеги зым түрмөктөрдүн кыскычтары деп аталат.

Эгерде эки индуктивдүү байланышкан зым түрмөктөрдүн оромдорунун башталыштарындагы бирдей болсо, өздүк индукцияларды магнит агым чырмалуулары жана өз ара индукцатордун магнит агым чырмалуулар менен кошулат. Мындай зым түрмөктөрүн кыскычтары бирдей билгизет кыскычтар деп аталат.

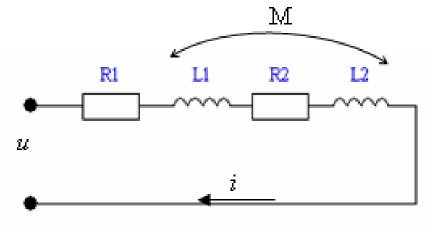
Электр чынжырын анализдөөнүн жыйынтыгына өз ара индуктивдүүлуктүн тийгизген таасири чоң.

Удаалаш жана паралеллелдүү туташтырылган эки индуктивдүү байланышкан зым түрмөктөрү L_1 менен L_2 жана саптары боюнча чыгымдары R_1 жана R_2 таасири астында турган гармоникалык чыңалуу: $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$.

Индуктивдүү байланышкан зым түрмөктөрдү удаалаш туташтыруу.

1-сүрөттө көрсөтүлгөн схемага Кирхофтун экинчи мыйзамы боюнча теңдеме жазабыз:

$$u = R_1 i + L_1 \frac{di}{dt} \pm M \frac{di}{dt} + R_2 i + L_2 \frac{di}{dt} \pm M \frac{di}{dt} \tag{5}$$



1-сүрөт

Мында, биринчи кошулуучу $R_1 \cdot i$ – биринчи зым түрмөктүн активдүү каршылыгындагы чыңалуунун төмөндөшү, экинчи кошулуучу биринчи зым түрмөктөгү өздүк индукциянын ЭККнын таасиринен чыңалуунун төмөндөшү, үчүнчү кошулуучу– экинчи зым түрмөктөгү токтун өз ара индукциянын ЭККнын таасиринен пайда болгон чыңалуунун төмөндөшү, Mда белгиси (+) бирдей туташтыруу үчүн колдонулат. Ал эми калган кошулуучулар экинчи зым түрмөк үчүн жазылган.

Жогорудагы теңдемени формада жазабыз.

$$U = R_1 I + j\omega L_1 I \pm j\omega MI + R_2 I + j\omega L_2 I \pm j\omega MI \tag{6}$$

Мында $j\omega M$ – өз ара индукциянын каршылыгы, өлчөө бирдиги Ом, ал эми $j\omega M$ – өз ара индукциянын комплекстик каршылыгы.

Электр чынжырынын комплекстик каршылыгы Z багыттарын бирдей туташтырууда, чоң багыттары карама-каршы туташтырууга караганда чоң мааниге ээ. Демек, тажрыйбанын негизинде эки зым түрмөктөрүн кандай туташканын аныктоого болот.

$$Z = R_1 + j\omega L_1 \pm j\omega M + R_2 + j\omega L_2 \pm j\omega M = R_1 + R_2 + j(\omega L_1 + \omega L_2 \pm 2\omega M) \tag{7}$$

(6) - теңдемеден өз ара индуктивдүүлүктүн M төмөнкүчө аныктоого болот: зым түрмөктөрдү бирдей багытта туташтыруу чынжырдагы индуктивдүү каршылыкты $X_б$, ал эми карама-каршы багытта туташтыруудагы индуктивдүү каршылыгы $X_к$ белгилеп:

$$X_б = \omega L_1 + j\omega L_2 + 2j\omega M\,; \qquad X_к = \omega L_1 + j\omega L_2 - 2j\omega M \tag{8}$$

Экинчи барабардыктан, биринчи барабардыкты алсак, төмөнкү формуланы алабыз

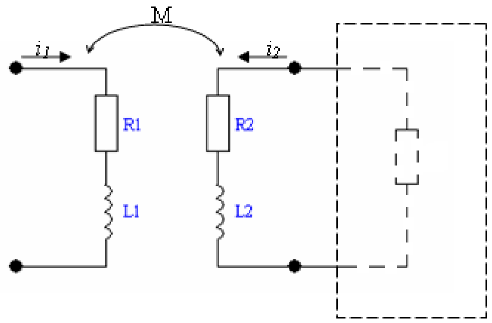
$$M = \frac{X_к - X_б}{4\omega} \qquad (9)$$

Удаалаш туташтырылган эки зым түрмөктү бирдей же карама-каршы багытта туташтырылганын чынжырдагы ток күчүнүн чоңдугун билүү болот, себеби зым түрмөктөрдүн бирөөсүнүн учтарын алмаштырсак бирдей багытта туташтырууда амперметрдин көрсөтүүсү башка туташтырууга караганда кичине болот.

Өзөкчөөсүз трансформатор, аба трансформатору.

Өзгөрүлмө токтун жана чыңалуунун маанилерин азайтууда жана чоңойтуу үчүн колдонулган электрдик түзүлүш трансформатор деп аталат. Эң жөнөкөй трансформатор, индуктивдүү байланышкан эки зым түрмөктөн L_1, L_2 турат өзгөрүлмөлүү ЭКК булагына туташтырылган зым түрмөк биринчи зым түрмөк, ал эми керектөөчүгө туташтырылган зым түрмөк экинчи зым түрмөк деп аталат. Эки индуктивдүү байланыш түрмөктүн өз ара индуктивдүүлүгүн жогорлотуу үчүн феромагниттик өзөкгө колдонулат.

Ал эми биз карап жаткан учур феромагниттик өзөкчөсү жок, аба трансформатору 2-сүрөттө көрсөтүлгөн.



2-сүрөт

Өзөкчөсүз аба трансформатордун схемасы 2-сүрөттө көрсөтүлгөн, берилген токтордун багыттын эске алуу менен Киргхофтун 2-мыйзамы боюнча теңдеме түзөбүз:

$$U_1 = R_1 I_1 + j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 \qquad \text{(биринчи контур үчүн)} \qquad (10)$$

$$0 = R_2 I_2 + j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 + U_2 \qquad \text{(экинчи контур үчүн)} \qquad (11)$$

Трансформатордун бош жүрүш учурунда (I_2=0; $Z_{ж}=\infty$), биринчи түрмөктөгү токтун күчүн $\boldsymbol{I_1}$ жана экинчи түрмөктөгү чыңалууну $\boldsymbol{U_2}$ өлчөө менен оңой эле зым түрмөктөрдүн өз ара индуктивдүүлүгүн аныктоого болот.

(11)- теңдемеден аныктайбыз:

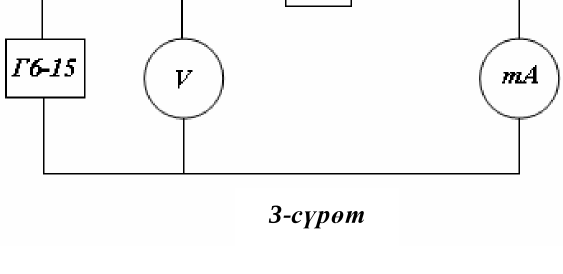
$$M = \frac{U_2}{\omega I} \; .$$

3. Лабораториялык иштин жабдылышы

Лабораториялык стендде Г6-15 чыңалуунун синусоидалык генератору, универсалдык вольтметр, миллиамперметр, өзгөрүлмө резистор R, индуктивдүү зым түрмөктөр L_1 жана L_2 жайгашкан. Схема боюнча аба трансформатордун чогултуу жана аларды удаалаш туташтырууда колдонулган.

4. Лабораториялык ишти аткаруунун милдети.

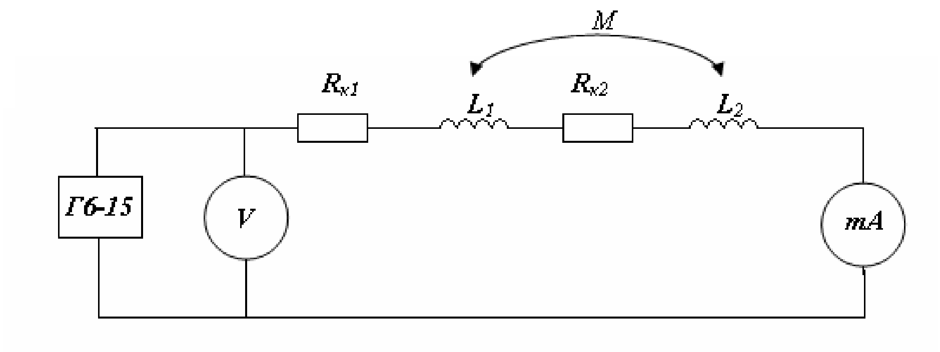
1. 3-сүрөттө көрсөтүлгөн схема боюнча электр чынжырларын чогултуп, тажрыйба түрүндө биринчи жана экинчи зым түрмөктөрүн R_1 $L_к$ параметрлерин аныктагыла.
2. Эки ар кандай жыйынтыктар үчүн прибор көрсөтүүсүн 1-таблицага толтургула.
3. 4-сүрөттө көрсөтүлгөн схема боюнча электр чынжырын чогулткула, аны генераторго кошкула. Зым түрмөктөрдү бирдей жана карама-каршы багытта туташтырууда өлчөөчү приборлордун көрсөтүүсүн жазгыла. Өлчөөнүн жыйынтыгын 2-таблицага жазгыла.
4. 2-(пунктагы) таблицадагы өлчөөнүн жыйынтыгынын негизинде M өз ара индукциянын коэффициентин аныктагыла жана бирдей карама-каршы туташтыруу учурлары үчүн масштаб боюнча вектордук диаграммаларды тургузгула.



3-сүрөт

1-таблица

иштин режими	*ченелген*			*эсептелген*							
	f	U	I	$Z_{к1}$	$R_{к1}$	$X_{к1}$	L_1	$Z_{к2}$	$R_{к2}$	$X_{к2}$	L_2
	Гц	В	А	Ом	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Ом	Гн
1 зым түрмөк											
2 зым түрмөк											



4-сүрөт

2-таблица

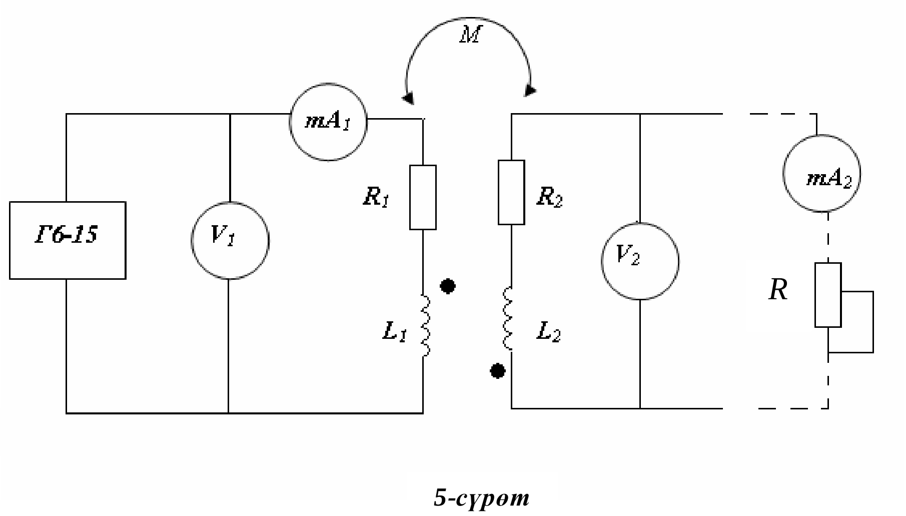
иштин режими	*ченелген*			*эсептелген*				
	f	U	I	$Z_к$	$R_к$	$X_к$	M	$Кс$
	Гц	В	А	Ом	Ом	Ом	Гн	-
зым түрмөктүн бирдей багытта туташтыруу								
зым түрмөктүн карама-каршы туташтыруу								

5. 5-сүрөттөгү схема боюнча электр чынжырын чогулткула. Өлчөөнүн жыйынтыгын 3-таблицага жазгыла.

6. Бош жүрүш режиминде *M* өз ара индукция коэффициентин аныктагыла.

7. Экинчи зым түрмөккө *R* активдүү каршылыкка ээ резисторду кошуп, 2чи жолу каршылыктын ар кандай маанилеринде өлчөөлөрдү жүргүзүп жыйынтыгын 3-таблицага жазгыла.

8. Өлчөөнүн жыйынтыгынын негизинде масштаб боюнча аба трансформаторунун вектордук диаграммасын тургузгула.



5-сүрөт

3-таблица

иштин режими	ченелген					эсептелген	
	f	U_1	I_1	U_2	I_2	M	$K_б$
	Гц	В	А	В	А	Гц	-
бош жүрүш							
активтүү каршылык							

5.Отчеттун мазмуну.

Отчетто изилденүүчү электр чынжырынын схемалары, өлчөөлөрү жана эсептөө жыйынтыктары менен толтурулган таблицалар зым түрмөктүн параметрлерин аныктоодогу эсептөөлөр, бирдей багытта жана карама-каршы туташтыруулардагы вектордук диаграммалары, ошондой эле аба трансформатордун вектордук диаграммалары, эсепке колдонулган формулалар жана иш боюнча жыйынтык.

6.Текшерүү суроолор.

1. Индуктивдүү байланышкан зым түрмөктөрдөгү M жана $К_б$ тажрыйба түрүндө кантип аныктоо керек?
2. Байланыш коэффициенти деген эмне? Байланыш коэффициенти бирден көп болушу мүмкүнбү?
3. Индуктивдүү байланышкан зым түрмөктөрдүн бирдей багытта жана карама-каршы туташтыруусу деген эмне?
4. Индуктивдүү байланышкан зым түрмөктөрдү жарыш кошууда токтун саны боюнча кантип кошулуунун мүнөзүн аныктаса болот?

5. Кантип тажрыйба жүзүндө аба трансформаторунун *М*ди аныктаса болот?
6. Өз ара индуктивдүүлүк куулушу деген кандай түшүнүк?
7. Эки зым түрмөктүн өз ара индукциясы деп эмнени түшүнөбүз?
8. Эки бирдей зым түрмөктүн байланыш коэффициенти k канчага барабар?
9. Байланыш каршылыгы деген эмне?
10. Аба трансформаторуна Кирхгофтун мыйзамдары боюнча тендеме түзгүлө?
11. Аба трансформаторунун бир контурдуу жана эки контурдуу алмашуу схемасын түшүндүргүлө?
12. Аба трансформаторун кандай техникалык максаттарга колдонот?

Адабияттар

1. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники.Т.1. Л.:Энергоиздат,1981.
2. Теоретические основы электротехники. Т1. Под ред. П.А.Ионкина. М.:Высшая школа,1976.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Ч.1. -М.:Высшая школа,1994.
4. Прянишников В.А. Теоретические основы электротехники (курс лекций). Санкт-Петербург, 2004.
5. Абдылдаев О.Т. Электротехниканын теориялык негиздери. Бишкек-2008.
6. Дарстар таратылуучу материалдар.