

3.8 Тұрақты тогы. Тұрақты электр тогының болу шарттары. Ом заңы. Өткізгіштердің кедергісі

Зарядталған макроскопиялық денелерді немесе электрлік зарядтардың қозғалысы туралы құбылыстар мен процестерді, электр тогы сияқты негізгі ұғымды қарастыратын бөлім – **электр динамикасы** деп аталады.

Өткізгіште электр өрісін туғызатын болсақ, онда зарядтар реттелген қозғалыста болады. Оның оң зарядтары өріске (яғни, кернеулік бағытына) бағытталса да, теріс зарядтар оған қарама-қарсы қозғалады. **Электр тогы** деп электрлік зарядтардың бағытталған қозғалысын айтамыз.

Электр тогы оң заряд тасушыларының да, теріс заряд тасушыларының да қозғалысы әсерінен туындауы мүмкін. Теріс зарядтың бір бағыттағы қозғалысы, шама жағынан сондай қарама-қарсы бағыттағы оң зарядтың қозғалысына тең. Ток бағытына оң тасушылардың орын ауыстыру бағыты алынады. Потенциалдар айырымы теңескенге дейін ток болады.

Өткізгіштегі ток деп өткізгіштерде өріс әсерінен пайда болатын токтарды айтамыз. Ал зарядтары өзі тұрған ортамен қоса көшіретін болса, онда бұл кезде пайда болған токты **конвекциялық ток** деп атайды.

Электр тогы **ток күші** деп аталатын шамамен сипатталады. Ток күші – уақыт бірлігі ішінде берілген өткізгіштің көлденең қимасынан өтетін зарядтар шамасы. Яғни, ток болудың шарттары: біріншіден, еркін зарядтардың болуы (металдарда – электрондар, электролиттерде – иондар, газдарда – иондар және электрондар) ал, екіншіден электр өрісінің болуы (өткізгіштің екі ұшы арасында потенциалдар айырымы болу керек).

Егер токтың күші мен бағыты уақыт өтуіне сәйкес өзгермейтін болса, онда мұндай ток **тұрақты ток** деп аталады: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$. Бұл өрнек токтың лездік мәнін сипаттайды. Ток күші I – Δt уақыт аралығында өткізгіштің көлденең қимасынан өткен ΔQ зарядтың осы Δt уақыт аралығына катынасаны тең скалярлық физикалық шама. Ток күшінің өлшем бірлігіне – **1 ампер (А)** алынады. Электр тогы өзі өткен бет бойынша біркелкі тарамдауы да мүмкін. Электр тогы сан жағынан **ток тығыздығы** деген шамамен сипатталады. **Ток**

ТЫҒЫЗДЫҒЫ деп өткізгіштің бірлік көлденең қимасынан өтетін ток күшін айтамыз, егер де ток өткізгіштің көлденең қимасынан біркелкі өтпесе, онда ток тығыздығы (ток тығыздығы – векторлық шама) ток бағытына, яғни бірыңғай бағытталған оң зарядтар қозғалысына бағыттас болады. тұрақты ток – күші және бағыты өзгермейтін ток. Ток күшін және оның тығыздығын өткізгіштегі зарядтардың реттелген қозғалысының жылдамдығы арқылы өрнектейміз. Егер өткізгіштегі заряд тасушылар саны n және оның әрқайсысының заряды e болса, онда бірлік t уақыт ішінде S көлденең арқылы өтетін зарядтар шамасы, ал ток концентрациясы n , заряды e бөлшектермен $\langle v \rangle$ орташа реттелген жылдамдықпен көлденең қимасының ауданы S арқылы тасылмалданғанда оның күші

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{Ne}{t} = \frac{n \cdot V \cdot e}{t} = \frac{nS \langle v \rangle t e}{t} = e \cdot n \langle v \rangle \cdot S \quad (3.60)$$

Ал өткізгіштегі ток тығыздығы

$$\vec{j} = \frac{I \langle \vec{v} \rangle}{S |\langle \vec{v} \rangle|} = e \cdot n \cdot \langle \vec{v} \rangle \quad (3.61)$$

Егер ток кез келген S тұйық контур арқылы өтсе, онда оны векторлық ағып ретінде қарастырамыз.

Электр қозғаушы күші

Электр тогы тұрақты болу үшін өткізгіштің ұштарындағы потенциалдар айырымы (немесе кернеу) тұрақты болу қажет. Өткізгіштердің тұрақты кернеуін болдыру үшін белгілі бір энергия қоры қажет. Тұрақты кернеуді әдетте ток көздері немесе **кернеу көздері** деп атайды. Ток көздерінде энергияның басқа түрі электр энергиясына айналады.

Өткізгіште жүріп тұратын тұрақты ток алу үшін оның ұштарында потенциалдар айырымын белгілі бір ток көздері арқылы жүзеге асыруға болатын белгілі. Енді ток көзінің ролі мен оның негізгі сипаттамаларына тоқталайық. Кез келген ток көзінің ішкі кедергісі (r) болады. Ток көзінің екі полюсі, оның жоғарғы потенциалы бар жағы оң, төменгі потенциалы теріс деп аталады. Осы полюстердің арасында потенциалдар айырымы болады. Яғни, ток көздерінің полюстеріндегі кернеу

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (3.62)$$

Әдетте, электр өрісі өткізгіште потенциалдың кему жағына қарай бағатталған токты туғыздады. Электр кернеуінің бағыты да осы потенциалдың кему жағына бағытталады. Егер ток көзінің ішінде электрлік E кернеуліктен басқа ешқандай әсер болмасы, онда зарядтар қозғалысы оң полюстен теріс полюске бағыттталып, ішкі кедергі арқылы ток жүреді де, потенциалдары теңескеннен кейін токтың жүруі тоқтайтын еді. Ал шын мәнінде ток көзі сыртқы тізбекке қосылмағандықтан, оның кернеуі ұзақ сақталады, сондықтан онда ешқандай ток болмайды. Себебі, біз айтқан ток көзінде өзінің табиғаты жөнінен электростатикалық күштерден басқа күштер, яғни **бөгде күштер** деп аталатын күштер бар. Сондықтан тізбекке қосылмаған ток көзінде электр өрісі осы бөгде күштермен теңесіп тұрады. Сөйтіп, электр өрісі күштердің оң заряды q полюстен теріс полюске тасымалдау жұмысы A шама жағынан бөгде күштердің жұмысына тең де, бағыты жағынан қарама-қарсы болады. Зарядтарды тасымалдау жұмысын жасайтын бөгде күштерді **электр қозғаушы күштер (ЭҚК)** деп атайды. Сонымен, ток көздерін **ЭҚК** көздері дейді. **ЭҚК**-нің өлшемі кернеу (потенциал) өлшеміндей, яғни 1 кл зарядты тасымалдау үшін істелетін жұмыс 1 Дж болатын **ЭҚК** өлшеміне 1 В алынады: $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ кл}$. Тізбекке қосылмаған ток көзінің электр кернеуі электр қозғаушы күштерге (**ЭҚК** – ке) тең болады. Егер де тізбекте ток болса, онда **ЭҚК**-і кернеуден үлкен болады.

Егер ұзындығы l өткізгіш бөлігін ток көзіне қоссақ, оның бойынан I ток жүреді де, ұштарындағы потенциалдар айырымы (немесе кернеу) $U = \varphi_1 - \varphi_2$

Ток потенциалдың кему жағына қарай бағатталған. Өткізгіштің S қимасы арқылы q заряды өтсе, онда берілген бөлік үшін электр күштері арқылы орын ауыстырған зарядтың жұмысы

$$A=q (\varphi_1 - \varphi_2) \quad (3.63)$$

Сонымен, өткізгіштің бөлігіндегі кернеу осы бөліктің көлденең қимасы арқылы заряд орын ауыстырғанда істелетін жұмыстың заряд шамасымен қатынасына тең болады. Ток көзінің ЭҚК – інің теңдеуі заряд орын ауыстырғанда сан жағынан электростатикалық және бөгде күштердің істелген жұмысына тең шама кернеудің түсуі немесе жай ғана тізбектің осы бөлігіндегі кернеуі деп саналады.

Тұйықталған тізбектегі әсер етуші ЭҚК бөгде күштер өрісінің кернеулік векторының циркуляциясы ретінде анықталуы мүмкін. Зарядқа бөгде күштерден басқа электростатикалық өріс күші де әсер етеді $F=qE$

Өткізгіштердің кедергісі. Ом заңдары

Неміс ғалымы Ом (1787–1857)көптеген тәжірибелерінің нәтижесінде 1827 жылы өз қорытындысын шығарады: тұрақты температурада ($T=const$) өткізгіштің ұштарындағы кернеудің ток шамасына қатынасы әр уақытта тұрақты болады: $U/I=R$, мұндағы R шамасы **өткізгіштің кедергісі** деп аталады. Өткізгіштің кедергісі оның пішініне және мөлшеріне, сол сияқты табиғаты мен температурасына да тәуелді. Осы формула арқылы кедергінің өлшем бірлігін тағайындауға болады. Кедергінің бірлігі үшін кернеуі $1В$ өткізгіштегі ток $1А$ болатын өткізгіштің кедергісі алынады. Оны **Ом** деп атайды. **$1Ом=1В/1А$** .

$$I=U/R \quad (3.64)$$

Бұл өрнек **Ом заңының формуласы** болып табылады.

Сонымен, ток шамасы өткізгіштің ұштарындағы кернеуге тура пропорционал да, кедергісіне кері пропорционал болады:

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = \frac{U}{R}, \quad (3.65)$$

Өткізгіштің кедергісіне кері шама **өткізгіштік** деп аталады. Өткізгіштік *сименспен (См)* өлшенеді. Өртүрлі өткізгіштер үшін ток пен кернеу арасында байланыс бар

$$I = (fU) \quad (3.66)$$

Бұл байланыс өткізгіштің **вольт-амперлік сипаттамасын** көрсетеді. Сондықтан Ом заңы өткізгіштің ұштарындағы кернеу мен токтың сызықтық байланысын бірдіреді. Ом заңы металдар мен электролиттерде кең қолданылады. Ом көптеген өткізгіштерді зерттей отырып, біртекті цилиндр тәрізді басқа өткізгіштердің кедергісі оның ұзындығына тура пропорционал да, көлденең қимасына кері пропорционал да, көденең қимасына кері болатындығын көрсетті

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (3.67)$$

мұндағы: ρ – пропорционалдық коэффициент, l – өткізгіштің ұзындығы, R – өткізгіштің кедергісі, ол өткізгіштің қандай заттан жасалғанын көрсетеді. Меншікті кедергінің кері шамасы **меншікті өткізгіштік**

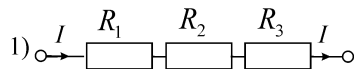
деп аталады: $\gamma = 1/P$ мұның өлшем бірлігі сименс бөлінген метр (**См/м**). Ал меншікті кедергінің өлшеміне **Ом·м** алынады. Өткізгіштердің меншікті кедергісі зат құрамындағы қоспаларға байланысты. Өткізгіштерді тізбекке қосудың екі түрі бар: егер өткізгіштерді **тізбектей қоссақ**, онда олардың толық кедергісі

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (3.68)$$

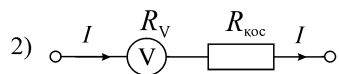
$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$U = u_1 + u_2 + \dots + u_n$$

$$R = \frac{u}{I} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



$$R = \sum_{i=1}^n R_i, \text{ егер } R_1 = R_2 = \dots = R_n \text{ сонда } R = nR_1$$

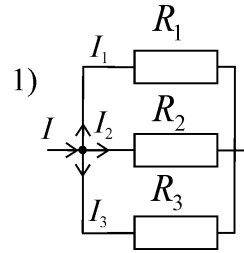


Қосымша кедергі – кедергісі R_v вольтметрдің өлшеу диапазоннын n есе кеңейту үшін оған кедергісі R_k резистор қосылады.

$$R_k = R_v(n - 1)$$

Егер өткізгіштерді **параллель қоссақ**, онда олардың толық кедергісі

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (3.69)$$



$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

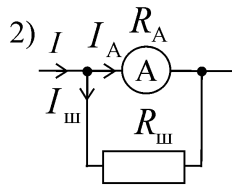
$$U = u_1 = u_2 = \dots = u_n$$

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

$$R = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}},$$

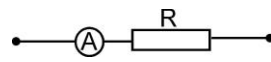
екі кедергі үшін $R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ болады. Егер $R_1 = R_2 = \dots = R_n$, онда $R = \frac{R_1}{n}$ Шунт – кедергісі R_A

амперметрдің өлшеу диапазонын n есе кеңейту үшін оған кедергісі $R_{ш}$ резисторды параллель қосады



$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}$$

Ескерту: Амперметр – ток күшін өлшейтін құрал, ол тізбектен қосылады.



Оның кедергісі $R_A \ll R$ болу керек.

Вольтметр– тізбек бөлігіндегі кернеуді өлшейтін құрал. Оны түзбекке параллель қосады. Болу керек $R_v \gg R$

Өткізгіштің кедергісіне кері шама оның электр өткізгіштігі екені белгілі, ендеше тізбекке параллель қосылған өткізгіштердің толық электр өткізгіштігі олардың жекелеген электр өткізгіштерінің қосындысына тең болады. Ом заңына сәйкес өткізгіштің ішкі бөлігі үшін кернеудің шамасы немесе кернеудің түсуі мынаған тең $U_1=Ir$, мұндағы: r -ішкі кедергі, I – ток күші.

Егер тізбек тұйықталған болса, онда ток көзінің ЭҚК –і (ε) ішкі бөлігіндегі кернеу мен сыртқы кернеудің қосындысына тең. $\varepsilon=Ir+U$. Бұл өрнек қарастырылып отырған дербес жағдай үшін энергияның сақталу заңын сипаттайды. Тұйық тізбекте электростатикалық күштердің жұмысы $A=0$ болады да, барлық жұмыс тек бөгде күштер арқылы істелінед, яғни

$U=\varepsilon-Ir$. Тізбек бөлігі үшін Ом заңын, яғни $U=IR$ ескеріп, тізбектегі ток күшін табамыз

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (3.70)$$

Бұл формула тұйық тізбек бөлігі үшін Ом заңы деп аталады және былайша тұжырымдалады: тұйық тізбектегі ток күші ЭҚК – і шамасына тура пропорционал да, тізбектің сыртқы және ішкі кедергілерінің қосындысына кері пропорционал болады.

ЭҚК-нің мәні $\varepsilon=IR+Ir$; мұндағы IR – зарядты сыртқы тізбекте тасымалдау үшін істелетін жұмыс; Ir – ток көзінің ішкі кедергісіне қарсы жасалатын жұмысты. Осыған байланысты ЭҚК-не басқаша анықтама беруге болады:

ЭҚК – і тұйық тізбектің барлық бөлігі арқылы зарядты тасымалдау үшін істелген жұмыс шамасы. Сонымен, тізбекте әр уақытта ток болу үшін электр өрісі де, ток көзі де міндетті түрде бар болуы және ондағы зарядтар электрлік күштер арқылы орын ауыстыруы керек.

Ом заңының дифференциал түрде жазып көрсетуге болады. Ток жүріп тұрған цилиндр тәрізді өткізгіштің екі көлденең қимасының арақашықтығы dl болсын, өткізгіш бөлігінің ұштарындағы потенциалдар айырымы

$$dU = U_1 - U_2 \quad (3.71)$$

Электр өрісінің кернеулігі $E = dU/dl$ болса, онда потенциалдар айырымы: $dU = Edl$. Токтың тығыздығы $j = I/S$ екенін ескерсек және $\gamma = \frac{1}{\rho}$ меншікті электр өнімділігі десек, онда соңғы өрнек мына түрде жазылады:

$\vec{j} = \gamma \vec{E}$, Осы формула ток тығыздығы үшін Ом заңының дифференциалдық түрі болып есептеледі.

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}, \quad (3.72)$$

мұндағы: γ – меншікті электр өтімділігі; \vec{E} – электр өрісінің кернеулігі Меншікті электрөткізгіштік $\gamma - \rho$ – ға кері шама $\gamma = \frac{1}{\rho}$.

Бұл өрнек өткізгіштің көлденең қимасындағы токтың біркелкілігіне және оның әр нүктесіндегі ток тығыздығының әртүрлі болуына қарамастан орындала береді.

Заттың ток өткізгіштік қабілеті оның меншікті кедергісімен немесе меншікті электр өткізгіштігімен сипатталады. Олардың шамасы заттың химиялық табиғатымен анықталады. Көптеген тәжірибелер металдар кедергілері температура өскен сайын артатындыған көрсетті

$$R_m = R_0(1 + \alpha t^0) \quad (3. 73)$$

Мұндағы: R_0 – 0°C температураға сәйкес келетін кедергі, R_t – белгілі бір температураға сәйкес келетін кедергі. Меншікті кедергінің температураға тәуелділігін **кедергінің температуралық коэффициенті** деп аталады. Кедергінің температуралық коэффициенті түрлі температуралар үшін әртүрлі болады, ал барлық металдар үшін меншікті кедергі температураға сызықты түрде тәуелді өзгереді: $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$, мұндағы ρ и ρ_0 – сәйкесінше t және 0°C кезінде меншікті кедергі.

Есте сақта!

Өткізгіштер жалғауларының кедергісі

Тізбектей $R = \sum_{i=1}^n R_i \quad I = I_1 = I_2 = \dots$

Параллель $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad U = U_1 = U_2 = \dots$

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы: $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$,

Тұйық тізбек үшін Ом заңы: $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$

