

ЭЛЕКТР ӨРІСІ

1.1. ЭЛЕКТР ӨРІСІНІҢ НЕГІЗГІ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН СИПАТТАМАЛАРЫ

Электр өрісі (статикалық) — қозғалмайтын, зарядтары уақыт бойынша өзгермейтін, электрлік зарядталған өріс.

Электр өрісі зарядталған денелердің өзара күштік әрекеттесуі ретінде анықталады. Бұл ретте зарядтар оң және теріс зарядтар болып бөлінеді. Бірдей таңбадағы зарядтар бір-бірінен тебілсе, әртүрлі таңбадағы зарядтар тартылады.

Электр өрісінің қасиеттерін сипаттау негізінде тәжірибе жүзінде дәлелденген Кулон заңы жатыр.

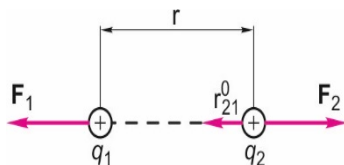
Кулон заңы. *Зарядтардың көбейтіндісіне пропорционалды, олардың арақашықтығының квадратына кері пропорционалды және бір зарядтан екінші зарядқа дейін түзу сызық бойымен бағытталған күш тыныштықтағы нүктелік зарядтар арасында әрекет етеді* (1.1-сурет):

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_{21}^0 = -F_2 \quad (1.1)$$

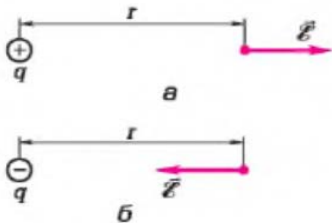
мұндағы F_1 — q_1 зарядына әсер ететін күш; r — q_1 және q_2 зарядтары арасындағы арақашықтық; F_2 — q_2 зарядына әсер ететін күш; r_{21}^0 — бірінші зарядтан екінші зарядқа қарай бағытталған бірлік векторы; $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — *электр тұрақтысы*.

Нүктелік зарядтар деп мөлшері олардың арақашықтығымен салыстырғанда өте кішкентай болатын зарядталған денелерді есептейміз.

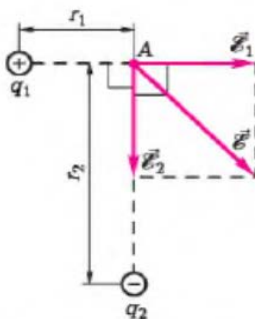
Халықаралық бірліктер жүйесіндегі (ХБЖ) күштің негізгі өлшем бірлігі – Ньютон (Н); заряд — кулон (Кл): 1 Кл = 1 А • с; ұзындықтар — метр (м) деп алынады.



1.1-сурет



1.2-сурет



1.3-сурет

Кернеулік, электр потенциалы және потенциалдар айырымы немесе кернеу электр өрісін сипаттайтын негізгі шамалар болып табылады.

Электр өрісінің кернеулігі деп өрістің қарастырылып отырған нүктесіне енгізілетін q_0 сынама оң нүктелік зарядқа әсер ететін $\vec{F}$ күшінің заряд мәніне қатынасына тең күш қарқындылығы өлшемін айтамыз:

$$\vec{\xi} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1.2)$$

$\vec{F}$ күш секілді $\vec{\xi}$ электр өрісінің кернеулігі – векторлық шама, яғни әсер ету мәні мен бағыты арқылы сипатталады.

СИ-дегі электр өрісінің негізгі өлшем бірлігі – вольттың метрге қатынасы (В/м).

(1.1)-формуладан, r қашықтықтағы q нүктелік зарядының электр өрісінің кернеулігі дегеніміз

$$\xi = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{|q|}{4\pi r^2} \quad (1.3)$$

екендігі және заряд оң болған жағдайда зарядтың кернеулігі анықталатын орналасу нүктесінен (1.2-сурет, а) бастап, ал теріс болған жағдайда қарама-қарсы бағытта (1.2-сурет, б) бағытталғандығын анықтаймыз.

Егер электр өрісін тудыратын зарядтар бірнеше болса, онда өрістің кез-келген нүктесіндегі кернеулік, олардың әрқайсысынан жеке-жеке алынатын кернеуліктерінің қосындысына тең болады.

1.1-мысал. $q_1 = 1,11 \cdot 10^{-10}$ Кл және $q_2 = -4,44 \cdot 10^{-10}$ Кл нүктелік зарядтарынан $r_1 = 1$ м және $r_2 = 2$ м қашықтықта орналасқан A нүктесіндегі электр өрісінің кернеулігінің әсер ету мәні мен бағытын анықтау (1.3-сурет).

Шешімі. (1.3) формула бойынша A нүктесіндегі q_1 және q_2 нүктелік зарядтары әсерінен алынатын электр өрісінің кернеулігін анықтаймыз:

$$\xi_1 = \frac{1,11 \cdot 10^{-10}}{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 1^2} \approx 1 \text{ В/м}$$

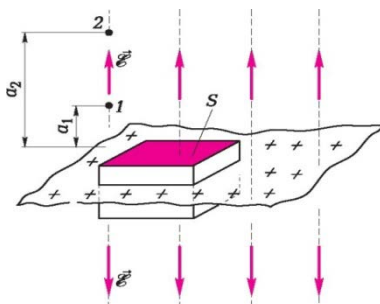
$$\xi_2 = \frac{4,44 \cdot 10^{-10}}{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 2^2} \approx 1 \text{ В/м}$$

$\vec{\xi}_1$ және $\vec{\xi}_2$ кернеулік векторларының бағыты, сынама оң нүктелік зарядты A нүктесіне орналастырған жағдайдағы бағытымен сәйкес келеді.

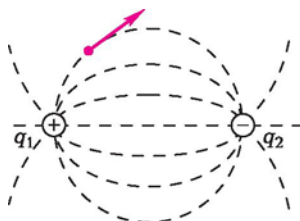
A нүктесіндегі қорытынды электр өрісінің $\vec{\xi}$ кернеулігі, катеталары $\vec{\xi}_1$ және $\vec{\xi}_2$ кернеулік векторлары болып табылатын, тікбұрышты үшбұрыштың гипотенузасы бойымен бағытталған және оның мәні:

$$\xi = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2} = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} \text{ В/м}$$

$\vec{\xi}$ векторының өрісі туралы айтуға және осы өрісті *вектор сызықтарымен* – *күштік сызықтармен* бейнелеуге болады. Егер электр өрісінің кернеулігі барлық нүктелерде бірдей болса, онда өріс *біртекті*, мысалы шексіз өлшемді біртекті зарядталған жазық пластинаның өрісі (1.4-сурет), ал егер әртүрлі болса, онда өріс *біртектісіз* болады, мысалы екі нүктелік зарядтардың өрісі (1.5-сурет).



1.4-сурет



1.5-сурет

q заряды ұзындығы l еркін учаскенің бойымен электр өрісінде орын ауыстырған кезінде $\mathbf{F}$ өрісі күші әсерінен

$$A = \int_l \mathbf{F} d\mathbf{l} = q \int_l \vec{\xi} d\mathbf{l} \quad (1.4)$$

жұмыс атқарылады. Бұл ретте еркін тұйықталған контур бойымен зарядтың тасымалдау бойынша жұмыс нөлге тең. Шыныменде, өрістің барлық қасиеттері зарядтардың салыстырмалы орналасуына қатысты анықталатындықтан, зарядты тұйықталған контур бойынша тасымалдау және бастапқы нүктеге қайтару, зарядтардың бастапқы үлестірілуін және энергия запасын білдіреді. Бұл сонымен бірге, (1.4)-ті ескерсек, кернеулік векторының айналуы нөлге тең екендігін білдіреді:

$$\oint \vec{\xi} d\mathbf{l} = 0 \quad (1.5)$$

(1.5) шарты электр өрісін әрбір нүктеде оның координаттарының функциясымен – электр потенциалымен сипаттауға мүмкіндік береді.

Электр өрісінің берілген нүктесіндегі *электр потенциалы*

$$\mathbf{V} = \int_l \vec{\xi} d\mathbf{l} \quad (1.6)$$

(1.4)-ті ескерсек, бірлік оң зарядты берілген нүктеден, потенциалы нөлге тең деп алынған нүктеге тасымалдау кезінде электр өрісінің күштері атқаратын жұмысқа саны жағынан тең.

Электр өрісінің 1-ші және 2-ші нүктенің *потенциалдар айырымы*, немесе 1-ші және 2-ші нүктелер арасындағы *кернеулік*

$$V_1 - V_2 = U_{12} \quad (1.7)$$

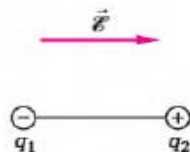
бірлік оң зарядты 1-ші нүктеден 2-ші нүктеге тасымалдаған кезде электр өрісі күштері атқара алатын жұмысқа сан жағынан тең.

Электр потенциалының СИ-дегі өлшем бірлігі — *вольт* (В).

1.2. ЭЛЕКТР ӨРІСІНІҢ ӨТКІЗГІШТЕР МЕН ДИЭЛЕКТРИКТЕРГЕ ӘСЕРІ

Өткізгіштер деп емін еркін қозғала алатын зарядтардан (*еркін зарядтардан*) тұратын заттарды айтады. Мұндай заттарға, мысалы, бос электрондардан тұратын металлдар (2.1-кестені қараңыз) және оң және теріс зарядталған бос иондардан тұратын электролиттер жатады.

Диэлектриктер деп бос зарядтары жоқ заттарды атайды. Алайда, өздерінің электрлі бейтарап молекулалары ішінде, олар өзара байланысқан оң және теріс зарядтардан тұрады. Мұндай заттарға, мысалы, эбонит, гетинакс, асбестті цемент және т.б. жатады. (1.1-кестені қараңыз).



1.6-сурет

Өткізгіштер мен диэлектриктер бар болған кезде, өткізгіштер мен диэлектриктер жоқ болып, ал олардың электр өрісіне әсері, осы заттарда электр өрісі әсерінен орын ауыстырған және өз кезегінде электр өрісін тудыратын қосымша зарядтардың пайда болуына әкелетін кездегідей, сол вакуумда электр өрісі бар болады.

Бос зарядтар өткізгіштерде статикалық электр өрісі әсерінен, өткізгіштердің жоғарғы бетіне орналаса отырып, еркін қозғалады. Статикалық электр өрісі өткізгіштерде бола алмайды, себебі керісінше жағдайда бос зарядтардың орын ауыстыруы болатын еді.

Электр өрісі әсерінен диэлектриктерде, байланысқан зарядтардың молекулалары ішінде серпімді ығысу — *поляризация* жүреді (1.6-сурет, оң зарядтар — өріс бағытының бойымен, теріс зарядтар — кері бағытта).

Гаусс заңы. *S тұйықталған бетімен шектелген көлем ішіне алынған барлық бос және байланысқан зарядтардың қосындысы, осы бет арқылы өтетін электр өрісінің кернеулік векторы ағынына пропорционалды*

$$\oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum q_{\text{бос}} + \sum q_{\text{байл}}}{\epsilon_0} = \frac{\sum q_{\text{бос}}}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (1.8)$$

мұндағы ϵ_r — диэлектриктердің салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігі (өлшемсіз шама). Вакуум үшін $\epsilon_r = 1$.

ϵ_r салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігін ϵ_0 электрлік тұрақтылығына көбейту абсолютті диэлектрлік өткізгіштік деп аталады:

$$\epsilon_a = \epsilon_r \epsilon_0$$

1.2-мысал. Заряд тығыздығы $\delta = 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$ болатын біркелкі зарядталған пластинаның біртекті электр өрісінің кернеулігін және өрістің күш сызығы бойымен зарядталған пластинадан $a_1 = 1$ м мен $a_2 = 3,5$ м аралықта орналасқан 1 және 2 нүктелер арасындағы потенциалдар айырымын анықтау (1.4-суретті қараңыз).

Шешімі. Гаусс теоремасы (1.8) бойынша, қырларының ауданы S болатын, текше беті арқылы өтетін электр өрісінің кернеулік

векторының ағыны

$$\xi \cdot 2S = \delta S / \varepsilon_0$$

тең, осыдан

$$\xi = \frac{\delta}{2\varepsilon_0} = \frac{10^{-10}}{2 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} \approx 5,5 \text{ В/м}$$

(1.6) және (1.7) формулалар бойынша 1 және 2-нүктелер арасындағы потенциалдар айырымы:

$$V_1 - V_2 = \xi(a_2 - a_1) = 5,5(3,5 - 1) = 13,75 \text{ В}$$

1.3. ЭЛЕКТР СЫЙЫМДЫЛЫҒЫ, КОНДЕНСАТОРЛАР МЕН СЫЙЫМДЫЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

Конденсатор деп зарядтарды жинақтайтын құрылғыны атайды.

1.7, а суретінде әрқайсысының ауданы S -ке тең, бір-бірінен d арақашықтықта вакуумда орналасқан екі параллелді қоршауға ие, қарапайым жазық конденсатор бейнеленген. Егер конденсатордың жоғарғы және төменгі қоршауларының арасына $u_{ab} > 0^*$ кернеуді салса, онда конденсатордың жоғарғы және төменгі қоршауларында бірдей оң және теріс бос зарядтар $\pm q_\delta = \pm q$ жиналады.

Конденсаторда жинақталған q заряд, салынған кернеуге пропорционал $u_{ab} = u_C$:

$$q = C u_{ab} = C u_C \quad (1.9)$$

мұндағы C пропорционалдық коэффициенті конденсатордың *электрлік сыйымдылығы* (сыйымдылығы) деп аталады.

Сыйымдылықтың СИ-дегі өлшем бірлігі — *фарад* (Ф): $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В} = 1 \text{ А} \cdot \text{с/В}$.

Жазық конденсатордың қоршаулары арасындағы электр өрісі

$$\xi = u_{ab} / d = q / \varepsilon_0 S \quad (1.10)$$

кернеулігіне ие, (егер шектік әсерін ескермесек) біртекті болады (1.2-мысалды қараңыз).

* Бұл жерде және бұдан әрі уақытқа тәуелді электрлік шамаларды *лездік мән* деп атаймыз және кіші әріптермен белгілейміз: u кернеу, i ток, e ЭҚК және т.с.с.

(1.9) бен (1.10) қатынастарын салыстыра отырып, жазық вакуумдық конденсатор сыйымдылығы үшін

$$C = \varepsilon_0 S / d$$

өрнегін аламыз.

Жазық конденсатордың сыйымдылығын арттыру үшін оның қоршауларының арасындағы кеңістікті диэлектрикпен толтырады (1.7-мысал, б).

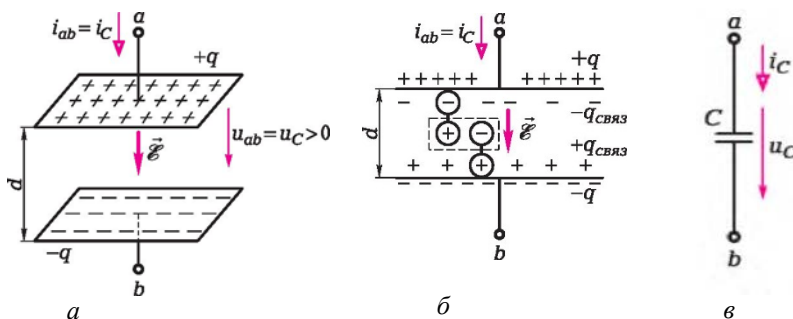
Электр өрісінің әсерінен кеңістікте бейберекет бағытталған диэлектриктердің дипольді молекулалары бағдарланудың басым бағытын иеленеді. Бұл ретте, біртекті диэлектрик ішіндегі дипольді молекулалардың оң және теріс зарядтары бір-бірінің орынын толтырады (1.7, б суретінде штрих сызықтармен белгіленген), ал жазық конденсатордың қоршауларының шекарасында $q_{\text{байл}}$ байланысқан зарядтардың орыны толтырылмаған қабаттары қалып қалады. Оң (теріс) зарядталған қоршау шекарасында теріс (оң) байланысқан зарядтардың қабаты орналасады. Байланысқан зарядтар бар болған кезде конденсатор ішіндегі электр өрісінің кернеулігі

$$\xi = u_{ab} / d = (q - q_{\text{байл}}) / \varepsilon_0 S \quad (1.10)$$

Осыдан шығатыны, электр өрісінің сондай кернеулігінде, демек $u_{ab} = u_C$ кернеулерінде, q заряды көбірек болуы қажет. Сондықтан (1.8) бен (1.9) шығатындай, жазық конденсатордың сыйымдылығы осындай вакуумдық конденсатордың сыйымдылығымен салыстырғанда артады:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 S / d \quad (1.11)$$

Кейбір диэлектриктердің параметрлерінің мәндері 1.1-кестеде; конденсаторлардың шартты графикалық белгілері 1.2-кестеде;



1.7-сурет

1.1-кесте. Диэлектрлік өткізгіштік (салыстырмалы), электрлік беріктілік және кейбір материалдардың меншікті көлемдік кедергісі

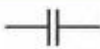
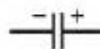
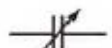
Зат	ε_r	ξ_{II} , МВ/м*	ρ_v , Ом м
Трансформатор майы	2,1 – 2,4	15 – 20	$10^{12} - 10^{13}$
Совол	4,8 – 5,0	14 – 18	$10^{11} - 10^{13}$
Вазелин	2,2 – 2,6	20 – 25	$5 \cdot 10^{12} - 10^{13}$
Полиэтилен	2,2 – 2,4	35 – 60	$10^{13} - 10^{15}$
Лавсан	3,0 – 3,5	80 – 120	$10^{14} - 10^{16}$
Поливинилхлориді (пластикаттар)	6,0 – 8,0	6 – 15	$10^{10} - 10^{12}$
Парафин	2,0 – 2,2	22 – 32	$10^{14} - 10^{16}$
Эбонит	3,0 – 3,5	15 – 20	$10^{12} - 10^{14}$
Гетинакс	6 – 8	20 – 40	$10^9 - 10^{11}$
Слюда (мусковит)	6,5 – 7,2	98 – 175	$10^{12} - 10^{13}$
Мрамор	8 – 9	1 – 4	$10^7 - 10^8$
Шифер	6 – 8	0,5 – 1,5	$10^6 - 10^7$
Асбестті цемент	6 – 8	2 – 3	$10^6 - 10^7$

* Барлық материалдардың электрлік беріктігі синусоидалді кернеудің қолданыстағы мәндері үшін көрсетілген (4.4-бөлімшені қараңыз).

түрлі диэлектриктер негізіндегі конденсаторлардың кейбір типтерінің сипаттамалары 1.3-кестеде келтірілген.

Құрамында, мысалға алюминийдің жұқа оксидті пленкасы қолданылатын электролиттік конденсаторлар ең үлкен сыйымдылыққа (15 000 мкФ дейін) ие. Оксидті пленка электр өрісінің кернеулігінің тек бір бағытында ғана диэлектрик болып табылады. Осы себепті электролиттік конденсаторлар, салыстырмалы түрде аз салынған кернеуде (5—450 В) тек бір полярлықта ғана жарамды.

1.2-кесте. Конденсаторлардың шартты графикалық белгілері

Конденсатор атауы	Шартты белгісі
Тұрақты сыйымдылықты	
Электролиттік	
Айнымалы сыйымдылықты	
Сызықтық емес өздігінен реттелетін, мысалы Π параметріне	

1.3-кесте. Конденсаторлардың кейбір типтерінің сипаттамалары

Конденсатор типі	Сыйымдылығы, мкФ	Максималды жұмыс кернеуі, В	Максималды температурасы, °С	Оқшаулау кедергісі, МОм
Слюдалық	$10^{-6} - 10^{-1}$	50	150	10^5
Қағаз	$5 \cdot 10^{-4} - 50$	10^6	125	10^2
Полистиролдық	$5 \cdot 10^{-5} - 10$	10^3	85	10^4
Керамикалық	$10^{-6} - 2,2$	$6 \cdot 10^3$	125	10^3
Шыны	$10^{-5} - 0,15$	$6 \cdot 10^3$	125	10^5

Электр өрісі электрлі-техникалық құралдардың кернеу астында тұрған түрлі бөлшектері арасында бар болатындықтан, олардың арасында электрлік сыйымдылық бар.

Сызықтық сыйымдылық элементі заряд мәні кернеуге пропорционал болатын, электр-техникалық құрылғылардың кез-келген бөлігінің алмастыру схемасының құраушысы болып табылады. Оның параметрі ретінде $C = \text{const}$ сыйымдылығы қолданылады.

Егер зарядтың кернеуге тәуелділігі сызықтық емес болса, онда алмастыру схемасы, $q(u_C)$ сызықтық емес *кулон-вольттық сипаттамамен* берілетін *сызықтық емес сыйымдылық элементінен* тұрады. Оның сыйымдылығы оған салынған $C(u_C) = q(u_C) / u_C$ кернеуінің мәніне тәуелді болады.

1.8-ші суретте сызықтық (a сызығы) мен сызықтық емес (b сызығы) сыйымдылық элементтерінің кулон-вольттық сипаттамалары, және де олардың алмастыру схемасындағы шартты белгілері келтірілген.

Егер сыйымдылық элементіне салынған кернеу өзгертін (артатын немесе азаятын) болса, онда зарядта өзгереді, яғни сыйымдылық элементінде ток бар. Сыйымдылық элементінде токтың оң бағытын оған салынған кернеудің оң бағытымен сәйкес келетіндей етіп таңдап аламыз (1.7, в суретін қараңыз). Анықтамасы бойынша, ток зарядтың өзгеру жылдамдығына тең:

$$i_{ab} = i_C = dq / dt \quad (1.12)$$

(1.9)-ды ескере отырып, сызықтық сыйымдылық элементінде ток

$$i_C = C du_C / dt \quad (1.13)$$

тең. Егер t_1 уақытында сыйымдылық элементіндегі кернеу нөлден u_{C1} -ге дейін өзгертін болса, онда элементтің электр өрісінде

$$W_{эл} = \int_0^{t_1} i_C u_C dt$$

немесе (1.12)-ні ескерсек

$$W_{эл} = \int_0^{q_1} u_C dq = \int_0^{u_{C1}} u_C C(u_C) du_C \quad (1.14)$$

энергиясы жиналады, мұндағы q_1 — $u_C = u_{C1}$ кернеуі кезіндегі еркін зарядтың мәні.

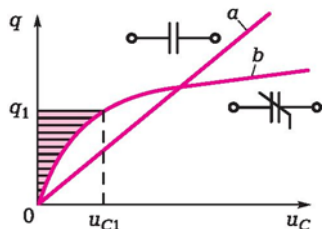
Сыйымдылық элементінің u_C ((1.14) формуласын қараңыз) кернеуі кезіндегі электр өрісінің энергиясы, кулон-вольттық сипаттама мен ординаттар осы арасында бекітілген (u_{C1} кернеуі кезінде сызықтық емес сыйымдылық элементінің электр өрісінің энергиясына пропорционал штрихтелген аудан бейнеленген 1.8 суретті қараңыз), сәйкес ауданға пропорционал.

(1.14)-тен алынған u_C кернеуі кезіндегі сызықтық сыйымдылық элементінің электр өрісінің энергиясы (1.9) ескерсек

$$W_{эл} = Cu_C^2 / 2 = qu_C / 2 \quad (1.15)$$

тең.

Сыйымдылық элементтерін энергия аккумуляторлары ретінде қарастыруға болады.



1.8-сурет

1.4. КОНДЕНСАТОРЛАРДЫ ЖАЛҒАУ ӘДІСТЕРІ

Конденсаторларды параллель және тізбектей жалғауға болады.

Параллель жалғау кезінде (1.9-сурет) барлық конденсаторлар бір U кернеу астында болады, ал олар энергия көзінен алатын заряд жеке конденсаторлардың зарядтарының қосындысына тең:

$$q = \sum_{k=1}^n q_k$$

мұндағы n — конденсаторлар саны; k — конденсатордың реттік нөмірі.

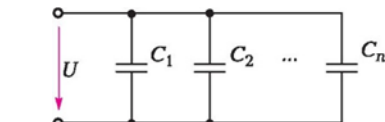
Демек, параллель жалғанған конденсаторлардың ортақ сыйымдылығы (1.9) бойынша жеке конденсаторлардың сыйымдылығының қосындысына тең:

$$C = \frac{\sum_{k=1}^n q_k}{U} = \sum_{k=1}^n C_k$$

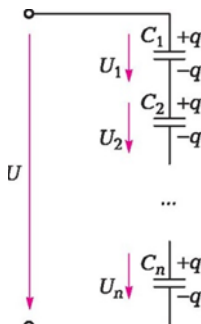
Конденсаторларды *тізбектей* жалғау кезінде (1.10-сурет) жалпы кернеу жеке конденсаторлардағы кернеу қосындысына тең:

$$U = \sum_{k=1}^n U_k$$

мұндағы n — конденсаторлар саны; k — конденсатордың реттік нөмірі.



1.9-сурет



1.10-сурет

Алайда энергия көздерінен зарядты тек екі шеткі конденсаторлардың сыртқы электродтары ғана алады. Өзге қос-қостан электрлік жалғанған электродтарда өзара тең оң зарядтың бір электродқа және теріс зарядтың екінші электродқа ауысуынан зарядтар туындайды. Осылайша, конденсаторларды тізбекті жалғаған кезде олардың зарядтары тең болады. Конденсатор заряды оның сыйымдылығының оған салынған кернеуге көбейтіндісіне тең болғандықтан

$$q = U_1 C_1 = U_2 C_2 = \dots = U_n C_n,$$

онда конденсаторлардағы кернеу

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; U_2 = \frac{q}{C_2}; \dots U_n = \frac{q}{C_n}$$

тең, ал тізбектей жалғанған конденсаторлардың жалпы сыйымдылығы

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{U_1 + U_2 + \dots + U_n} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Егер әрқайсысының сыйымдылығы C_0 болатын n бірдей конденсаторлар тізбектей жалғанған болса, онда олардың жалпы сыйымдылығы мынаған тең болады:

$$C = \frac{C_0}{n}$$

1.5. КОНДЕНСАТОРДЫ Ң ЗАРЯДТАЛУЫ ЖӘНЕ РАЗРЯДТАЛУЫ

Конденсатор энергиясын кенеттен көтерілу арқылы өзгерту үшін шексіз қуат көзі керек

$$P = \frac{\Delta W_{эл}}{\Delta t} \bigg|_{\Delta t \rightarrow 0} = \infty$$

ал бұл мүмкін емес. Сондықтан да, конденсатордың зарядталуы және зарядының бітіп қалуы кезінде оның энергиясы, демек ондағы u_C кернеуі кенеттен көтерілу арқылы өзгере алмайды. Бұл шарт *коммутация заңы* деп аталады және келесі түрде жазылады

$$u_C(t) = u_C(t_+), \quad (1.16)$$

мұндағы t және t_+ — t уақыт моментінің алдындағы және конденсатордың зарядталуы мен зарядының бітіп қалуы басталатын t уақытынан кейінгі уақыт моменті.

Конденсаторды зарядтау. Конденсатордың $E = U$ тұрақты кернеу көзінен (2.7-бөлімшені қараңыз) R кедергісіне ие резистор (2.4-бөлімшені қараңыз) арқылы K кілтінің $t = 0$ уақыт моментінде тұйықталу кезінде зарядталу процесін қарастырайық (1.11-сурет, а).

Тұрақты кернеу көзінің кернеуі резистор мен конденсатордағы кернеулер қосындысына тең

$$U = u_R + u_C,$$

немесе (2.1) және (1.13) ескерсек

$$U = RC \frac{du_C}{dt} + u_C \quad (1.17)$$

(1.17)-гі айнымалыларды жіктейік

$$\frac{dt}{RC} = \frac{du_C}{U - u_C} \quad (1.18)$$

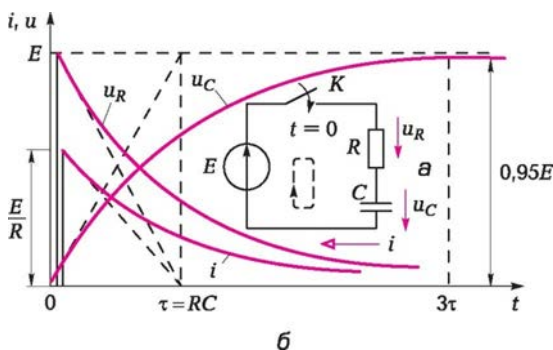
және (1.18)-ді интегралдайық

$$\frac{1}{RC} t = \ln(U - u_C) + \ln A \quad (1.19)$$

мұндағы интегралдаудың белгісіз тұрақтысы $\ln A$ түрінде жазылған.

(1.19) теңдеуінің екі жағын да (-1) -ге көбейтіп және логарифмдер айырымын жеке логарифммен алмастырғаннан кейін, потенциалдағаннан соң алатынымыз:

$$e^{-\frac{1}{RC}t} = \frac{U - u_C}{A}$$



1.11-сурет

немесе

$$u_C = U - Ae^{-\frac{1}{RC}t} \quad (1.20)$$

(1.20)-дан A тұрақтысын анықтау үшін (1.16) сыйымдылық элементіне арналған коммутация заңына жүгінейік. Кілттің тұйықталуына дейін, яғни $t=0_-$ уақыт моментінде де сыйымдылық элементі зарядталмаған болсын деп алайық. Сондықтан да

$$u_C(0_-) = 0 = u_C(0_+) = E - A,$$

бұдан

$$A = E.$$

A тұрақтысының мәнін (1.20)-ға қойып, зарядталу кезіндегі сыйымдылық элементіндегі кернеуді табамыз (1.11-сурет, б):

$$u_C = E(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1.21)$$

мұндағы $\tau = RC$ уақыт өлшемділігіне ие ($\text{Ом} \cdot \text{Ф} = \text{Ом} \cdot \text{А} \cdot \text{с}/\text{В} = \text{с}$) және тізбектің уақыт тұрақтысы деп аталады. Ол өту процесінің жылдамдығын анықтайды.

(1.21) сыйымдылық элементіндегі кернеу резистордағы заряд тогы мен кернеуінің уақытқа тәуелділігін анықтайды (1.11, б суретті қараңыз):

$$i = C \frac{du_C}{dt} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}; u_R = Ri = E e^{-t/\tau}$$

Кілт тұйықталғаннан кейін $t = 0_+$ бастапқы мезетте тізбектегі ток кенеттен $i(0_-)$ нөлден $i(0_+) = E/R$ -ге дейін артады. Тізбекте аз R кедергі кезінде токтың айтарлықтай кенеттен көтерілуі байқалуы мүмкін.

Зарядталу процесін, 3τ уақыт интервалынан кейін тіптен аяқталды деп санауға болады, ол мысалға уақыт релесінде – белгілі бір уақыт өткеннен кейін іске қосылатын құрылғыларда қолданылатын, жеткілікті ұзақ болуы мүмкін.

Конденсатордың разрядталуы. Зарядталған сыйымдылық элементінің электр өрісінде (1.15) энергия жинақталуы мүмкін, оның есебінен сыйымдылық элементінің өзі қандайда бір уақыт аралығында энергия көзі бола алады. $u_C = E$ кернеуіне дейін алдын ала зарядталған сыйымдылық элементін R кедергісіне ие резистивті элементке (1.12-сурет, а) қосқаннан кейін, тізбектегі ток сыйымдылық элементінің q зарядының өзгерісімен шартталады (1.13):

$$i = -\frac{dq}{dt} = -C \frac{du_C}{dt} = \frac{u_R}{R} = \frac{u_C}{R} \quad (1.22)$$

мұндағы «минус» таңбасы i тогы — бұл, суретте штрих сызықтармен белгіленген, сыйымдылық элементінде кернеуге қарай бағытталған тізбек контурындағы заряд біту тогы

(1.22)-гі айнымалыларды бөліп

$$-\frac{dt}{RC} = \frac{du_C}{u_C} \quad (1.23)$$

(1.23)-гі интегралдайық

$$-\frac{1}{RC}t = \ln u_C - \ln A \quad (1.24)$$

мұндағы интегралдаудың белгісіз тұрақтысы $(-\ln A)$ түрінде жазылған. (1.24)-гі потенциалдағаннан кейін алатынымыз:

$$u_C = Ae^{-t/(RC)}. \quad (1.25)$$

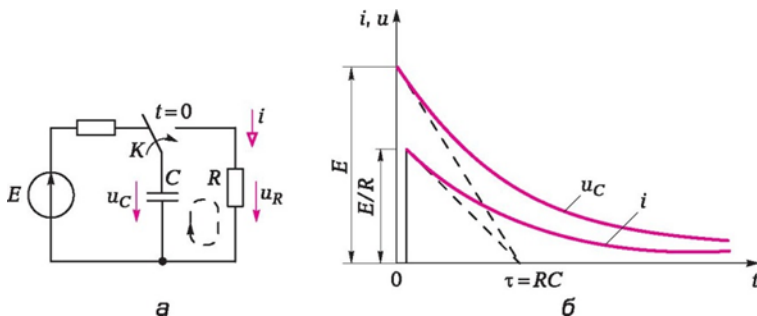
(1.25)-гі A тұрақтысын анықтау үшін (1.16) сыйымдылық элементіне арналған коммутация заңына жүгінейік. Коммутацияға дейін, яғни $t = 0_-$ уақыт моментінде де сыйымдылық элементі ток көзі кернеуіне дейін зарядталған болғандықтан, онда

$$u_C(0_-) = E = u_C(0_+) = A.$$

A тұрақтысының мәнін (1.25)-ке қойып, сыйымдылық элементінің зарядының бітуі кезіндегі кернеуінің өзгерісінің тәуелділігін аламыз (1.12-сурет, б):

$$u_C = Ee^{-t/\tau} \quad (1.26)$$

мұндағы $\tau = RC$ — тізбектің уақыт тұрақтысы.



1.12-сурет

Разрядталу тогын (1.22) бойынша табамыз:

$$i = -C \frac{du_C}{dt} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$$

Разрядталу тогы алдымен $i(0_-)=0$ нөлден $i(0_+)=E/R$ -ге дейін кенеттен артып, кейін экспоненциалды кемиді (1.12, б суретін қараңыз).

Тізбектегі токтың аз мәнідерінде және ЭҚК үлкен мәндерінде 1.12, а суретіндегі конденсатор заряды, импульсті көздерде үлкен токпен разрядталуы кезінде қолдануға болатын, өте көп энергияны жинақтауға мүмкіндік береді.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электр потенциалы мен электр потенциалының айырымына анықтама беріңіз.
2. Сызықтық және сызықтық емес сыйымдылық элементеріне анықтама беріңіз
3. Қандай заттар өткізгіштер деп аталады және олардың жақсы электр өткізгіштігі немен түсіндіріледі? Өткізгіштерге мысал келтіріңіз.
4. Қандай заттар диэлектриктер деп аталады және олардың нашар электр өткізгіштігі немен түсіндіріледі? Диэлектриктерге мысал келтіріңіз.
5. Неліктен электролиттік конденсаторлар оның қоршаулары арасына салынған кернеудің тек бір ғана полярлығында қолданылады?

ӨЗІНДІК ШЫҒАРУҒА АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕР

1. $q=1$ Кл зарядқа ие, сыйымдылығы $C=1$ Ф конденсатор $t=0$ уақыт моментінде $R=1$ Ом кедергісіне ие резистор арқылы заряды таусыла бастайды (1.12 суретті қараңыз). $t=0,5$ с уақыт моментіндегі резистордағы токты анықтаңыз.
Жауабы: 0,6085 А
2. 1.1-ші есеп шарттарын сақтай отырып, $t=0,5$ с уақыт моментіндегі конденсатор энергиясын анықтаңыз.
Жауабы: 0,183 Дж
3. 1.1-ші есеп шарттарын сақтай отырып, $t=0,5$ с уақыт

моментінде резисторда энергияның қанша мөлшері жылу түрінде бөлінетінін анықтаңыз.

Жауабы: 0,317 Дж

4. Жазық конденсатор (1.7, а суретті қараңыз) әрқайсысының ауданы 20 см^2 құрайтын, $\epsilon_r = 2,1$ салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігіне ие, қалыңдығы 0,05 мм парафин қабатымен бөлінген екі фольга қағазынан тұрады. Конденсатор сыйымдылығын анықтаңыз.

Жауабы: 0,745 нФ.

5. Параллель жалғанған екі конденсатордың жалпы сыйымдылығын анықтаңыз, әрқайсысының сыйымдылығы 1 мкФ (1.9-суретті қараңыз).

Жауабы: 2 мкФ.

6. Тізбектей жалғанған екі конденсатордың жалпы сыйымдылығын анықтаңыз, әрқайсысының сыйымдылығы 2 мкФ (1.10-суретті қараңыз).

Жауабы: 1 мкФ.