



Электротехниканың теориялық негіздері I

2-дәріс

Тұрақты ток электр тізбектерінің негізгі ұғымдары, элементтері және Ом заңы

Оқытушы: Мамадияров Максат Муратович, PhD, қауымдастырылған профессор

«Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар» кафедрасы

m.mamadiyarov@satbayev.university

01

Электр тізбегі және оның құрамдас бөліктері

02

Сұлбалардағы шартты белгілер

03

Негізгі шамалар: ток, кернеу, потенциал, ЭҚК

04

Кедергі, өткізгіштік және олардың температураға тәуелділігі

05

Ом заңы: тізбек бөлігі және толық тізбек үшін

06

Кернеу көзі мен ток көзі; көздің сыртқы сипаттамасы

07

Қуат, энергия, қуат балансы және ПӘК

Дәріс соңында студент:

1

Тізбектің элементтерін және олардың шартты белгілерін ажыратады

2

Ток, кернеу, ЭҚК, кедергі ұғымдарын физикалық тұрғыдан түсіндіреді

3

Ом заңын тізбек бөлігі және толық тізбек үшін қолданады

4

Нақты кернеу көзін E және r арқылы модельдейді

5

Қуат балансын құрып, ПӘК-ті есептейді

6

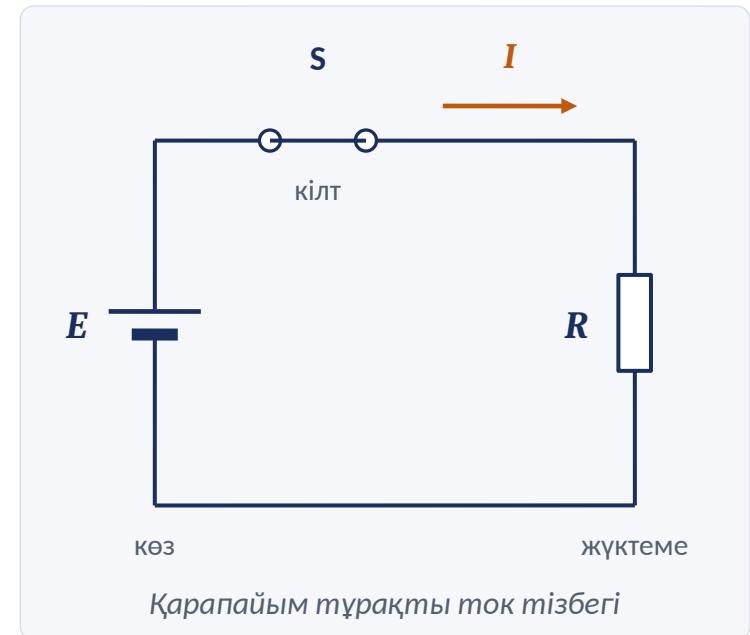
Есеп нәтижесін өлшем бірлігі мен физикалық мағынасы бойынша тексереді

Электр тізбегі дегеніміз не?



Электр тізбегі — электр энергиясын өндіретін, беретін, түрлендіретін және тұтынатын құрылғылардың жиынтығы; ондағы үдерістер ЭҚК, ток және кернеу ұғымдарымен сипатталады.

- **Тұрақты ток** режимінде ток пен кернеудің шамасы мен бағыты уақыт бойынша өзгермейді
- Тұрақты ток тізбектері: аккумуляторлық жүйелер, автоматика, релелік қорғаудың оперативті тізбектері, электроника қорегі
- Тізбек тек **тұйық** болғанда ғана ток жүреді
- Талдау үшін нақты құрылғы **орынбасу сұлбасымен** (идеал элементтер жиынымен) алмастырылады



НЕГІЗГІ ОЙ

Барлық есептеу әдістері нақты құрылғыны емес, оның **идеалдандырылған моделін** — орынбасу сұлбасын талдайды.

Кез келген электр тізбегі функциясы бойынша үш топ элементтен тұрады.

1 Энергия көздері

- генераторлар
- аккумуляторлар мен гальваникалық элементтер
- күн батареялары
- түзеткіштер

2 Қабылдағыштар (жүктеме)

- резисторлар, қыздырғыштар
- қыздыру шамдары
- электр қозғалтқыштар
- электролиз ванналары

3 Көмекші элементтер

- байланыстырушы сымдар, кабельдер
- ажыратқыштар, кілттер
- сақтандырғыштар
- өлшеу аспаптары

НЕГІЗГІ ОЙ

Көз басқа энергия түрін электр энергиясына, қабылдағыш электр энергиясын басқа түрге (жылу, жарық, механикалық) айналдырады.

Электр сұлбаларындағы шартты белгілер



Сұлбалар MEMCT 2.710 / IEC 60617 талаптарына сай шартты белгілермен сызылады.



Резистор

Әріптік белгі: R



ЭҚК көзі (идеал)

Әріптік белгі: E



Ток көзі (идеал)

Әріптік белгі: J



Аккумулятор, гальваникалық элемент

Әріптік белгі: GB



Конденсатор

Әріптік белгі: C



Индуктивтілік орамы

Әріптік белгі: L



Амперметр / вольтметр

Әріптік белгі: PA / PV



Ажыратқыш (кілт)

Әріптік белгі: S, QF

Ток — зарядталған бөлшектердің реттелген қозғалысы. Шамасы бойынша — уақыт бірлігінде өткізгіш қимасы арқылы өтетін заряд:

$$i = dq/dt, \quad I = q/t$$

Шама	Мағынасы	Өлшем бірлігі
i, I	лездік және тұрақты ток	А (ампер)
q	өткізгіш қимасы арқылы өткен заряд	Кл (кулон)
t	уақыт	с
$J = I/S$	ток тығыздығы, S — өткізгіш қимасы	А/мм ²

ФИЗИКАЛЫҚ МАҒЫНАСЫ

Токтың оң бағыты ретінде **оң зарядтардың** қозғалыс бағыты алынады — металдағы электрондар қозғалысына қарама-қарсы.

ҚОЛДАНЫЛУ ШАРТЫ

Тұрақты токта $I = q/t$. Сымның қыздырылуын бағалауда ток тығыздығы J қолданылады (мыс үшін бірнеше А/мм²).

Кернеу (потенциалдар айырымы)

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = A/q$$

- Электр өрісінің q зарядты a нүктесінен b нүктесіне тасымалдаудағы жұмысы
- Элементтің **қысқыштарында** өлшенеді
- Бағыты: жоғары потенциалдан төменге
- Өлшем бірлігі — **вольт (В)**

Электр қозғаушы күші (ЭҚК)

$$E = A_{\text{бөг}}/q$$

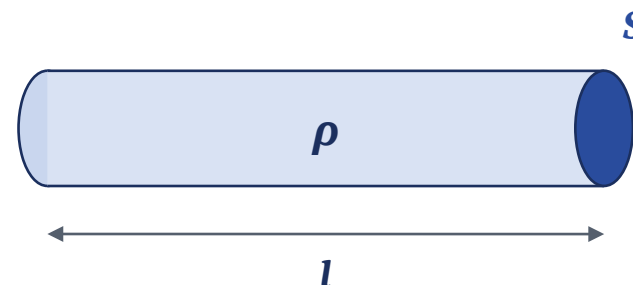
- **Бөгде күштердің** (химиялық, механикалық) зарядты көз ішінде тасымалдаудағы жұмысы
- Тек **энергия көзіне** тән
- Бағыты: көз ішінде «-»-тен «+»-ке
- Өлшем бірлігі — **вольт (В)**

НЕГІЗГІ ОЙ

ЭҚК — энергияның **себебі**, кернеу — оның тізбек бөлігіндегі **салдары**. Бос жүрісте ($I = 0$) көз қысқыштарындағы кернеу $U = E$.

$$R = \rho l / S, \quad G = 1 / R$$

Шама	Мағынасы	Өлшем бірлігі
R	кедергі	Ом
ρ	меншікті кедергі (материал қасиеті)	Ом·мм ² /м
l	өткізгіш ұзындығы	м
S	көлденең қима ауданы	мм ²
G	өткізгіштік	См (сименс)



ФИЗИКАЛЫҚ МАҒЫНАСЫ

Кедергі — өткізгіштің токқа қарсы әсері. Ұзын әрі жіңішке сым үлкен кедергіге ие.

ҚОЛДАНЫЛУ ШАРТЫ

Біртекті, тұрақты қималы өткізгіш үшін. Параллель тармақтарды есептегенде G ыңғайлы.

Материалдардың меншікті кедергісі және температуралық коэффициенті



Кедергі температураға тәуелді: $R = R_0[1 + \alpha(t - t_0)]$, мұндағы α — кедергінің температуралық коэффициенті.

Материал	ρ (20 °C), Ом·мм ² /м	α , 1/°C	Қолданылуы
Мыс	0,0175	0,0043	Кабельдер, орамалар
Алюминий	0,028	0,0042	ЭБЖ сымдары
Болат	0,10 ... 0,14	0,006	Болат-алюминий сымдардың өзегі
Нихром	1,1	0,0001	Қыздырғыш элементтер
Константан	0,5	$\approx 0,00001$	Дәл резисторлар, шунттар

ЕСКЕРТУ

Металдардың кедергісі қызғанда **артады**; константан сияқты қорытпалар температураға іс жүзінде тәуелсіз.

Есептік мысал: кабель кедергісі



БЕРІЛГЕНІ

мыс, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
 $l = 100 \text{ м}$, $S = 2,5 \text{ мм}^2$
 $\alpha = 0,0043 \text{ 1/}^\circ\text{C}$
 $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

ТАБУ КЕРЕК

R_{20} , R_{70}

Кабель қызғанда кедергісі өседі → кернеу түсуі мен шығын артады.

ШЕШУІ

20 °C-тағы кедергі

1 $R_{20} = \rho l / S = 0,0175 \cdot 100 / 2,5 = 0,70 \text{ Ом}$

Температура өсімі

2 $\Delta t = 70 - 20 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

70 °C-тағы кедергі

3 $R_{70} = 0,70 \cdot (1 + 0,0043 \cdot 50) = 0,70 \cdot 1,215 \approx 0,85 \text{ Ом}$

Физикалық тексеру

4 Кедергі ~21 %-ға өсті — металл үшін қалыпты нәтиже

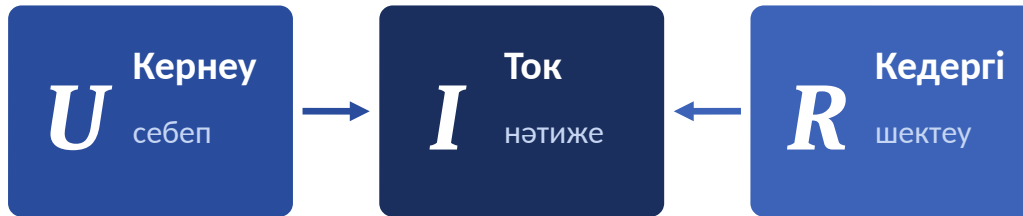
ЖАУАБЫ

$R_{20} = 0,70 \text{ Ом}$; $R_{70} \approx 0,85 \text{ Ом}$

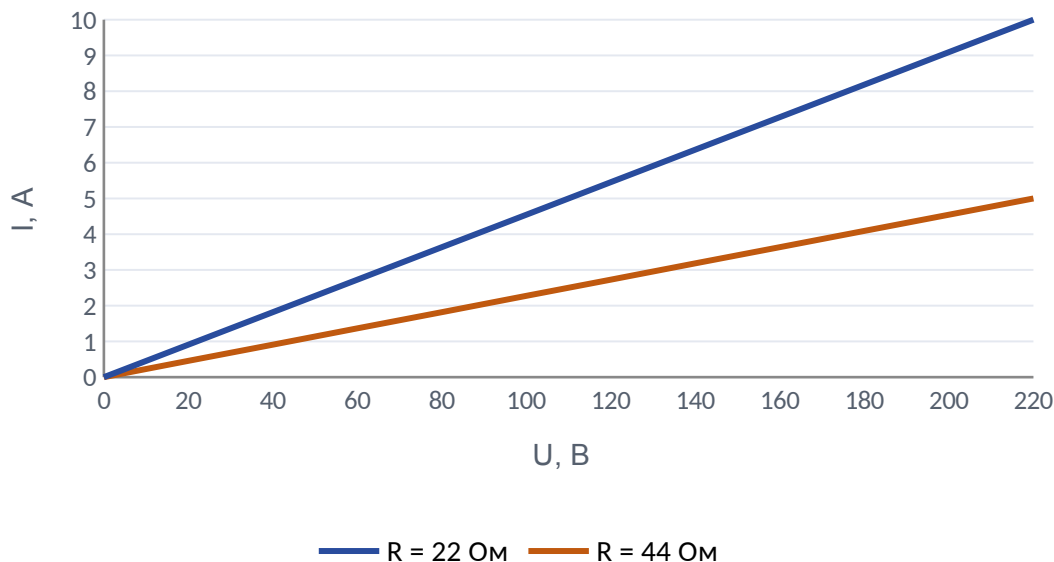
Ом заңы тізбек бөлігі үшін



Сызықты резистордағы кернеу ток пен кедергінің көбейтіндісіне тең: $U = IR$, $I = U/R$

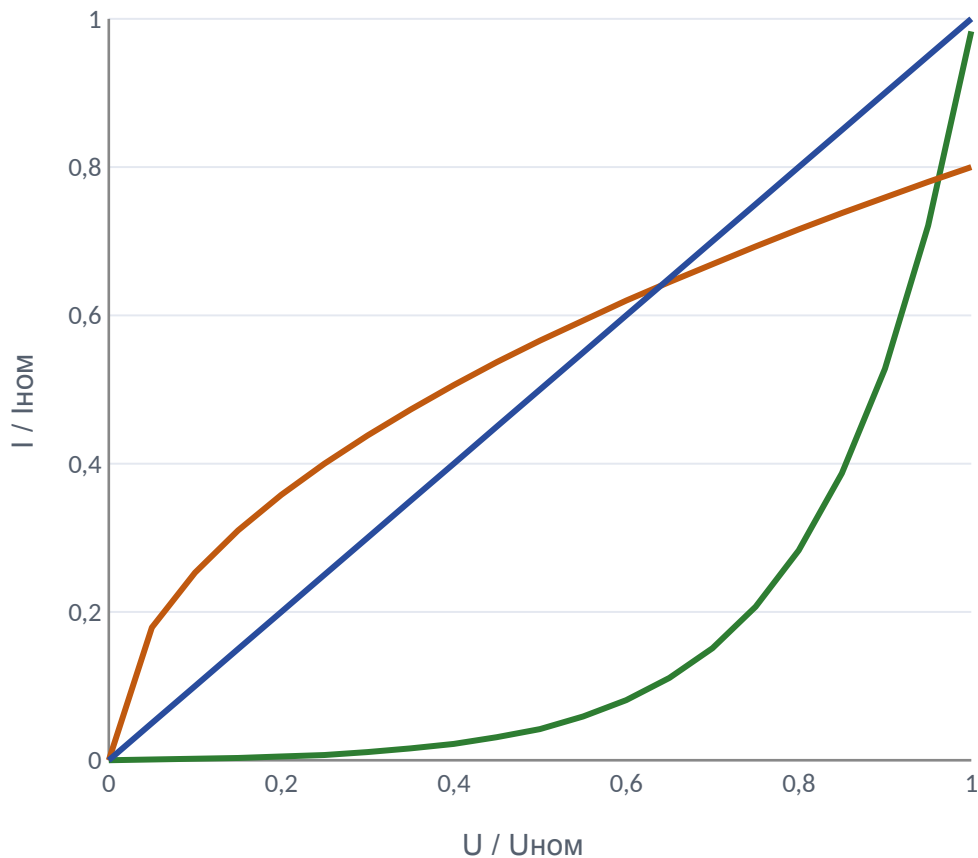


Вольт-амперлік сипаттама $I(U)$



Түсіндірме

- ВАС түзу сызық — элемент **сызықты**
- Түзудің еңісі — өткізгіштік $G = 1/R$
- Кедергі екі есе артса, ток екі есе азаяды
- Мысал: $U = 220$ В, $R = 44$ Ом $\Rightarrow I = 5$ А



— Резистор (сызықты) — Қыздыру шамы
— Диод (тура бағыт)

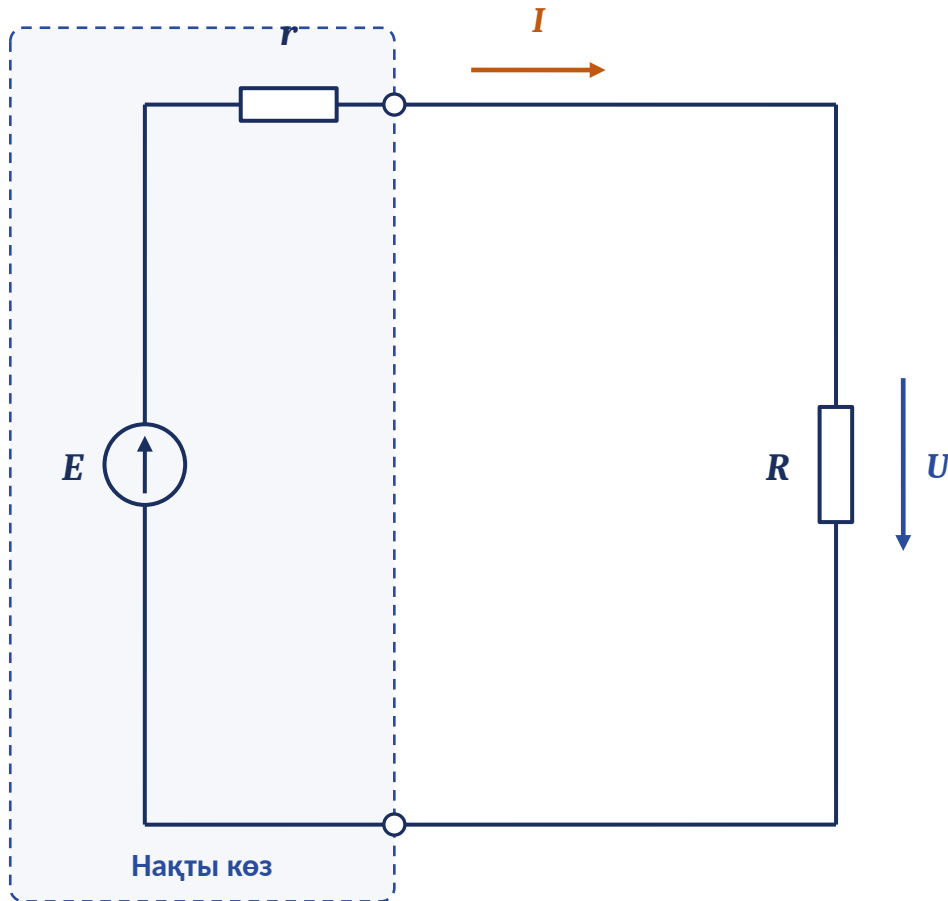
ВАС сапалық көрінісі (нормаланған осьтер)

Айырмашылығы

- **СЫЗЫҚТЫ** элемент: $R = \text{const}$, ВАС — түзу
- **СЫЗЫҚТЫ емес**: кедергі ток пен кернеуге тәуелді
- Шамның кедергісі қызған сайын өседі
- Диод кернеу шекті мәннен асқанда ғана ток өткізеді
- Ом заңы $U = IR$ тікелей тек сызықты элементке қолданылады

Толық тізбек үшін Ом заңы: нақты кернеу көзі

Нақты көз идеал ЭҚК E мен ішкі кедергі r -дің тізбектей қосылуымен модельденеді.



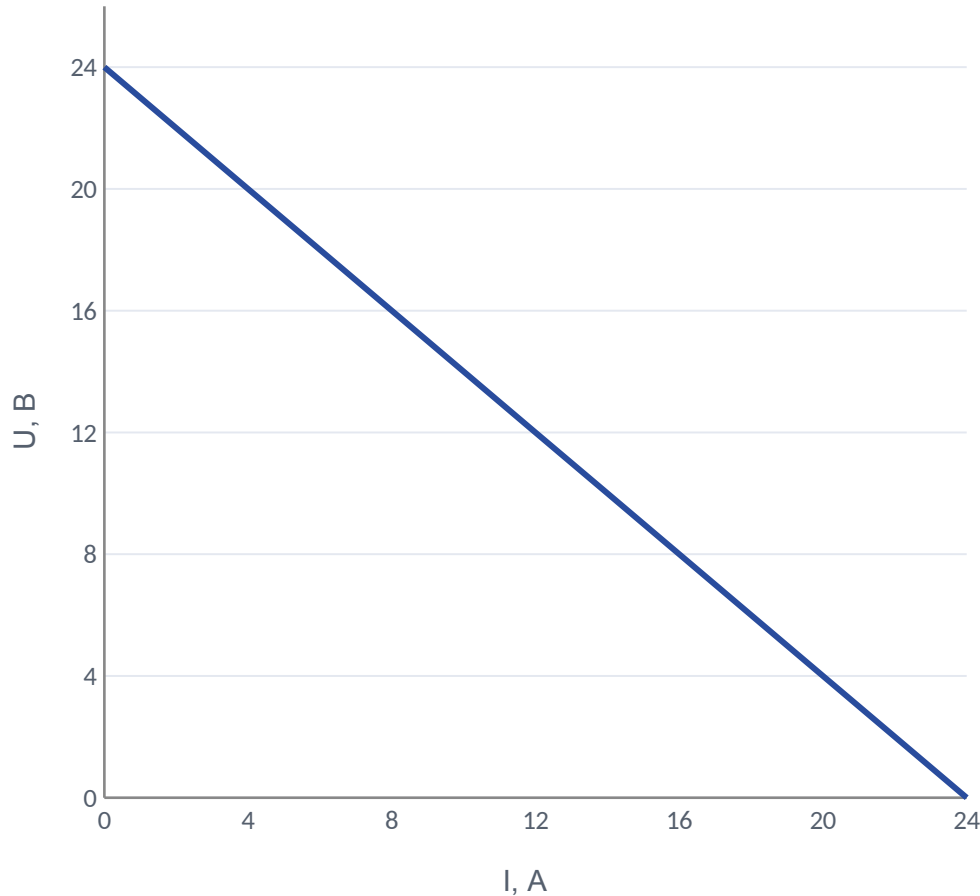
Формулалар

- $I = E / (R + r)$
- $U = IR = E - Ir$
- Ir — көз ішіндегі кернеу түсуі
- Жүктеме артса ($R \uparrow$): $I \downarrow$, $U \uparrow$

Көздің сыртқы сипаттамасы және жұмыс режимдері



$U(I) = E - Ir$ — көз қысқыштарындағы кернеудің жүктеме тогына тәуелділігі ($E = 24$ В, $r = 1$ Ом).



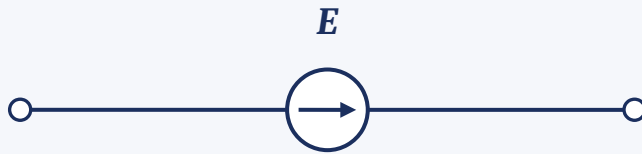
Үш сипатты режим

- **Бос жүріс:** $R \rightarrow \infty$, $I = 0$, $U = E = 24$ В
- **Номинал режим:** $R = 11$ Ом, $I = 2$ А, $U = 22$ В
- **Қысқа тұйықталу:** $R = 0$, $U = 0$, $I_{\text{КТ}} = E/r = 24$ А
- Сызықтың еңісі ішкі кедергіні көрсетеді: $r = E/I_{\text{КТ}}$

Идеал кернеу көзі және идеал ток көзі

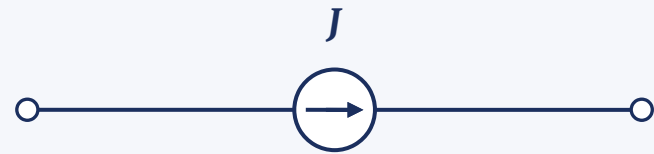


Кернеу көзі (ЭҚК көзі)



- Қысқыштарындағы кернеу жүктемеге тәуелсіз: $U = E$
- Ішкі кедергісі $r = 0$
- Нақты мысал: аккумулятор ($r \ll R$)

Ток көзі



- Беретін тогы жүктемеге тәуелсіз: $I = J$
- Ішкі өткізгіштігі $g = 0$ ($r \rightarrow \infty$)
- Нақты мысал: транзисторлық тұрақтандырғыш, ток трансформаторы

ЕСКЕРТУ

Нақты көздердің өзара түрлендірілуі: $J = E/r$, ішкі кедергі r ток көзіне **параллель** қосылады (5-дәрісте қолданылады).

$$P = UI = I^2R = U^2/R, \quad W = Pt$$

Шама	Мағынасы	Өлшем бірлігі
P	қуат — уақыт бірлігінде түрленетін энергия	Вт
W	t уақыт ішіндегі энергия	Дж, кВт·сағ
U, I	элемент кернеуі мен тогы	В, А
t	жұмыс уақыты	с, сағ

ФИЗИКАЛЫҚ МАҒЫНАСЫ

Резистордағы қуат толығымен жылуға айналады (Джоуль–Ленц заңы: $Q = I^2Rt$).

ҚОЛДАНЫЛУ ШАРТЫ

$P = UI$ — кез келген элемент үшін; I^2R және U^2/R — тек резистор үшін. $1 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Есептік мысал: толық тізбек және қуат балансы



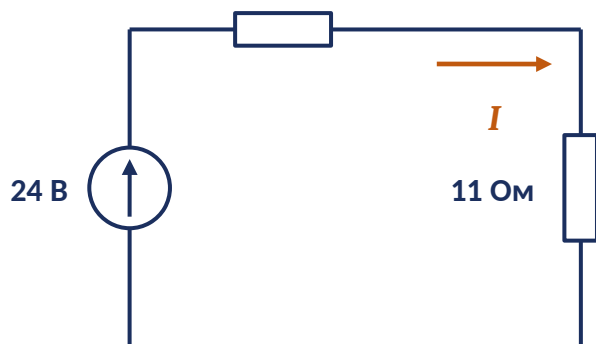
БЕРІЛГЕНІ

$$\begin{aligned} E &= 24 \text{ В} \\ r &= 1 \text{ Ом} \\ R &= 11 \text{ Ом} \end{aligned}$$

ТАБУ КЕРЕК

$$I, U, P_{\text{жүк}}, P_{\text{ішк}}, P_{\text{көз}}, \eta$$

$$r = 1 \text{ Ом}$$



ШЕШУІ

Ток

1

$$I = E / (R + r) = 24 / (11 + 1) = 2 \text{ А}$$

Жүктеме кернеуі

2

$$U = IR = 2 \cdot 11 = 22 \text{ В} \quad (\text{тексеру: } E - Ir = 22 \text{ В})$$

Қуаттар

3

$$P_{\text{жүк}} = I^2 R = 44 \text{ Вт}; \quad P_{\text{ішк}} = I^2 r = 4 \text{ Вт}$$

Көз қуаты

4

$$P_{\text{көз}} = EI = 24 \cdot 2 = 48 \text{ Вт} = 44 + 4 \text{ Вт} \quad \checkmark$$

ПӘК

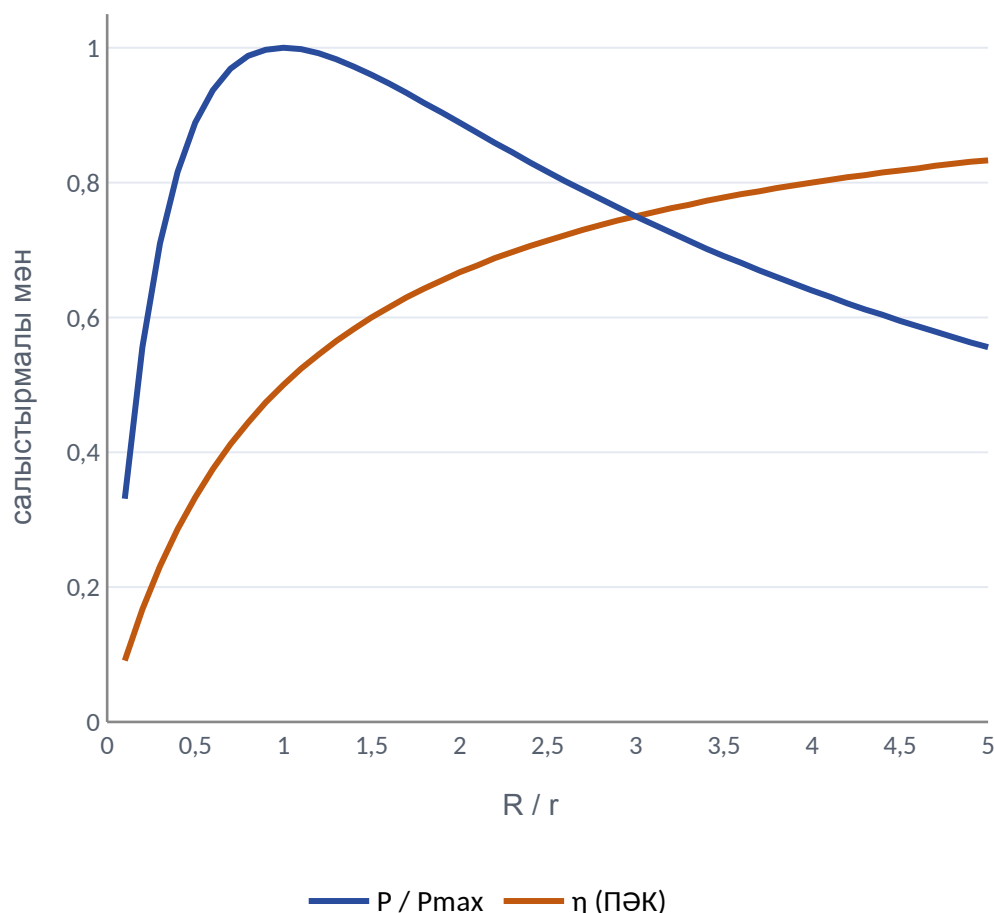
5

$$\eta = P_{\text{жүк}} / P_{\text{көз}} = 44 / 48 \approx 0,917 \text{ (91,7 \%)}$$

ЖАУАБЫ

$$I = 2 \text{ А}, U = 22 \text{ В}, P_{\text{жүк}} = 44 \text{ Вт}, \eta \approx 91,7 \%$$

$P_{\text{жүк}} = E^2 R / (R + r)^2$, $\eta = R / (R + r)$. Қуат $R = r$ болғанда максимал: $P_{\text{max}} = E^2 / (4r)$.



Инженерлік қорытынды

- $R = r$ кезінде қуат максимал, бірақ $\eta = 50 \%$
- Энергетикада $R \gg r$ — ПӘК жоғары болуы маңызды
- Байланыс пен электроникада қуатты келістіру ($R = r$) жиі қолданылады
- Айнымалы ток жағдайы 9-дәрісте

Кабель қимасын таңдау

Рұқсат етілген ток тығыздығы мен кернеу түсуі $\Delta U = IR_{\text{каб}}$ бойынша тексеріледі.

Аккумулятор диагностикасы

Ішкі кедергі $r = (E - U)/I$ өлшеу арқылы анықталады; r өсуі — ескіру белгісі.

Қорғаныс

Қысқа тұйықталу тогы $I_{\text{кт}} = E/r$ өте үлкен — сақтандырғыштар мен автоматтар соны ажыратуға есептеледі.

Өлшеу

Амперметр тізбекке **тізбектей** ($R_A \rightarrow 0$), вольтметр элементке **параллель** ($R_V \rightarrow \infty$) жалғанады.

1 ЭҚК мен кернеудің физикалық айырмашылығы неде? Олар қай кезде тең болады?

2 Неліктен мыс сымның кедергісі жазда қыстағыдан үлкен?

3 Ом заңын қыздыру шамына неге тікелей қолдануға болмайды?

4 Жүктеме кедергісі азайғанда көз қысқыштарындағы кернеу неге төмендейді?

5 Сыртқы сипаттамадан көздің E және r параметрлерін қалай анықтауға болады?

6 Неліктен энергетикада $R = r$ режимі (максимал қуат) қолданылмайды?

7 Қуаттың үш формуласының қайсысы кез келген элемент үшін жарамды және неге?

Қорытынды



Электр тізбегі көздерден, қабылдағыштардан және көмекші элементтерден тұрады; талдау орынбасу сұлбасы бойынша жүргізіледі



Ток — зарядтың реттелген қозғалысы, кернеу — потенциалдар айырымы, ЭҚК — бөгде күштердің жұмысы



Кедергі $R = \rho l / S$ материалға, өлшемге және температураға тәуелді



Ом заңы: тізбек бөлігі үшін $U = IR$, толық тізбек үшін $I = E / (R + r)$



Қуат балансы $EI = I^2 R + I^2 r$ орындалуы керек; ПӘК $\eta = R / (R + r)$

ӘДЕБИЕТ (силлабус бойынша)

[5] Floyd T. L., Buchla D. M. Principles of Electric Circuits, 10th ed. — 37–107 б.; [1] Alexander C. K., Sadiku M. N. O. Fundamentals of Electric Circuits, 7th ed. — 2-тарау