

ELEKTR TOKINING ISHI VA QUVVATI. TOK MANBAINING FOYDALI ISH KOEFFITSIENTI. TOKNING ISSIQLIK TA'SIRI

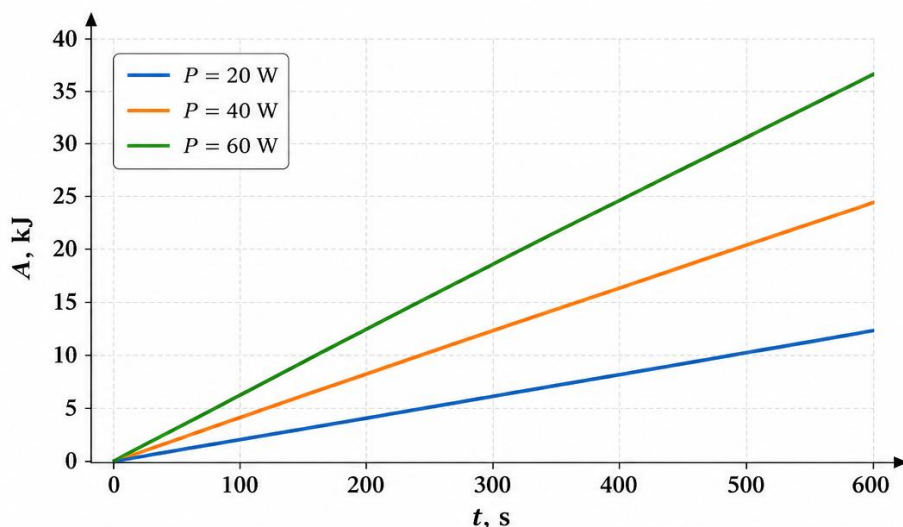
Elektr toki energiyaning zanjir bo'ylab uzatilishi va boshqa energiya turlariga aylanishi bilan bog'liq fizik jarayondir. Elektr maydon zaryadlarni ko'chirishda ish bajaradi; bajarilgan ishning vaqt birligiga nisbati elektr quvvatini, rezistiv muhitda elektr energiyaning ichki energiyaga aylanishi esa tokning issiqlik ta'sirini ifodalaydi. Real tok manbaida energiyaning bir qismi tashqi iste'molchiga uzatiladi, bir qismi esa manbaning ichki qarshiligida yo'qotiladi. Shu sababli manbaning foydali ish ko'effitsienti elektr zanjirlarining energetik samaradorligini baholashda muhim kattalik hisoblanadi.

Darsning maqsadi

Talabalarga elektr tokining ishi va quvvati, Joule-Lenz qonuni, EYuK va manba quvvati, ichki energiya yo'qotishlari, foydali quvvat va foydali ish ko'effitsientining fizik mazmunini tushuntirish; formulalarni energiyaning saqlanish qonuni asosida keltirib chiqarish va amaliy misollarda qo'llash ko'nikmasini shakllantirish.

Elektr toki ishining vaqtga bog'liqligi: $A = Pt$

Quvvat P o'zgarmas bo'lsa, elektr toki ishi A vaqt t ga to'g'ri proporsional.



Asosiy tenglama:

$$A = Pt$$

A – elektr toki ishi, J (joule)

P – quvvat, W (vatt)

t – vaqt, s (sekund)

Xususiyatlar:

- P katta bo'lsa, A ning o'rtish tezligi katta bo'ladi.
- Grafik to'g'ri chiziq bo'lib, boshlang'ich nuqtadan (0,0) o'tadi.
- A ning o'sish tezligi grafikning qiyaligiga teng va u P ga teng.

Izoh:

- Grafikda uch xil quvvat qiymati uchun $A = Pt$ bog'lanish ko'rsatilgan.
- $P = 20 \text{ W}$ bo'lganda, $t = 600 \text{ s}$ da $A = 12 \text{ kJ}$.
- $P = 40 \text{ W}$ bo'lganda, $t = 600 \text{ s}$ da $A = 24 \text{ kJ}$.
- $P = 60 \text{ W}$ bo'lganda, $t = 600 \text{ s}$ da $A = 36 \text{ kJ}$.

Misol:

Agar $P = 40 \text{ W}$ bo'lsa, turli vaqtlar uchun A qiymatlari:

t, s	0	100	200	300	400	500	600
A, kJ	0	4	8	12	16	20	24

Hisoblash: $A = Pt = 40 \times 300 = 12\,000 \text{ J} = 12 \text{ kJ}$

1-rasm. Doimiy quvvatda elektr toki ishining vaqt bo'yicha ortishi

Grafik $A=Pt$ munosabatni ko'rsatadi: quvvat qancha katta bo'lsa, bir xil vaqt ichida elektr maydon shuncha ko'p ish bajaradi.

1. Elektr tokining ishi

Potensiallar farqi U bo'lgan zanjir qismidan q zaryad o'tganda elektr maydonning bajargan ishi $A=qU$. Doimiy tok uchun $q=It$ bo'lgani sababli:

$$A = UI t$$

Om qonuni $U=IR$ ni hisobga olsak, ishning ekvivalent ko'rinishlari:

$$A = I^2 R t$$

$$A = U^2 t / R$$

SI tizimida ish joullarda o'lchanadi: $1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{C} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$. Maishiy energetikada ko'pincha kilovatt-soat ishlatiladi:

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

Kattalik	Belgi	SI birligi	Mazmun
Elektr ishi	A	J	Elektr maydon bajargan ish
Kuchlanish	U	V	Birlik zaryadga to'g'ri keladigan ish
Tok kuchi	I	A	Vaqt birligidagi zaryad oqimi
Vaqt	t	s	Jarayon davomiyligi

1-misol

$U=12 \text{ V}$, $I=2 \text{ A}$ tok 5 minut davomida oqsa, $t=300 \text{ s}$ va $A=12 \cdot 2 \cdot 300=7200 \text{ J}=7.2 \text{ kJ}$.

2-misol

2 kW quvvatli elektr qurilma 3 soat ishlasa, iste'mol qilingan energiya $A=Pt=6 \text{ kWh}=21.6 \text{ MJ}$.

2. Elektr quvvati

Quvvat bajarilgan ishning vaqt bo'yicha tezligini ifodalaydi:

$$P = dA/dt$$

Doimiy tok zanjirida:

$$P = UI$$

Om qonunidan foydalanib:

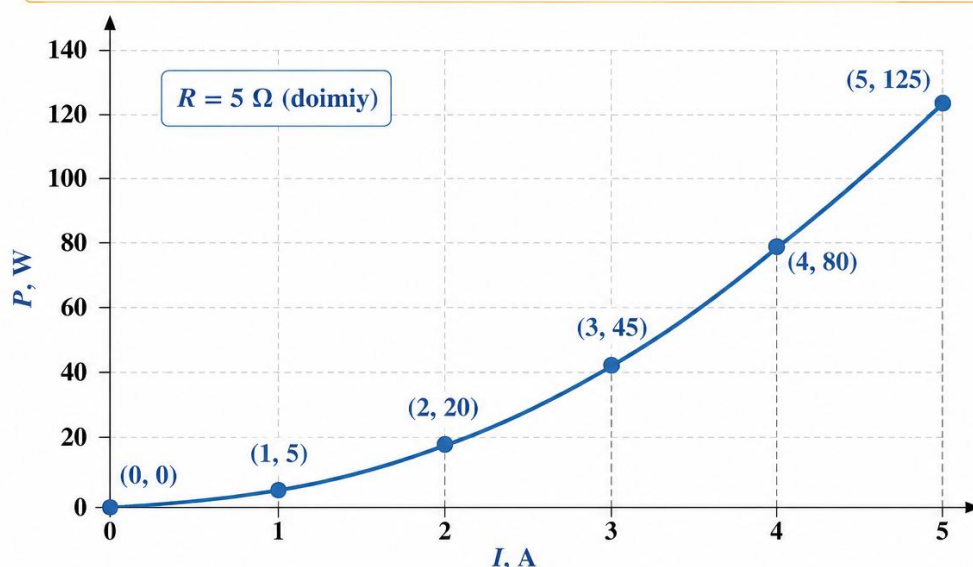
$$P = I^2 R$$

$$P = U^2 / R$$

Quvvatning SI birligi watt: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$. Qaysi formuladan foydalanish masaladagi doimiy kattaliklarga bog'liq. Masalan, R o'zgarmas bo'lsa P tokning kvadratiga proporsional.

$R = 5 \Omega$ bo'lganda quvvat: $P = I^2 R$

Qarshilik R doimiy bo'lganda, quvvat P tokning kvadratiga proporsional: $P \sim I^2$.



Asosiy tenglama:

$$P = I^2 R$$

P – quvvat, W (vatt)

I – tok, A (amper)

R – qarshilik, Ω (om)

Agar $R = 5 \Omega$, u holda:

$$P = 5 I^2$$

Xususiyatlari:

- P tokning kvadratiga bog'liq.
- Parabola ko'rinishidagi grafik.
- I 2 marta ortsa, P 4 marta ortadi.
- $I = 0$ da $P = 0$.

Izoh:

- Qarshilik R doimiy bo'lsa, quvvat P faqat tok I ga bog'liq bo'ladi.
- Tok oshgani sari quvvat kvadratik qonun bo'yicha ortadi.
- Misol: $I = 3$ A da $P = 5 \cdot 3^2 = 45$ W.

Misol ($R = 5 \Omega$):

I, A	0	0	1	2	3	4	5
$P = I^2 R, W$	0	0	5	20	45	80	125

Hisoblash: $P = I^2 R = 5 I^2$ ($R = 5 \Omega$ doimiy).

2-rasm. Qarshilik o'zgarmas bo'lganda quvvatning tokka kvadratik bog'lanishi

3-misol

$R=10 \Omega$ rezistordan $I=3$ A tok o'tsa, $P=I^2 R=90$ W. Rezistordagi kuchlanish $U=IR=30$ V va $UI=90$ W natija bilan mos.

4-misol

220 V tarmoqqa ulangan 1.1 kW qurilma uchun $I=P/U=1100/220=5$ A. Uning ish rejimidagi ekvivalent qarshiligi $R=U^2/P=44 \Omega$.

3. Elektr tokining issiqlik ta'siri. Joule-Lenz qonuni

Metall o'tkazgichda elektr maydon erkin elektronlarga yo'nalgan harakat beradi. Elektronlar kristall panjara bilan to'qnashganda maydondan olgan energiyaning bir qismini panjaraga uzatadi. Natijada o'tkazgichning ichki energiyasi va temperaturasi ortadi. Rezistiv elementda elektr ishining issiqlikka aylanishi Joule-Lenz qonuni bilan ifodalanadi:

$$Q = I^2 R t$$

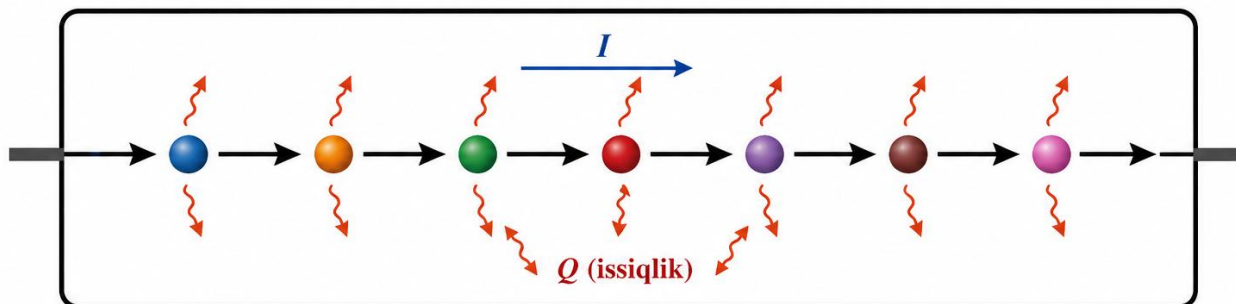
Agar barcha elektr energiya issiqlikka aylansa, $Q=A=UIt$. Shu sababli:

$$Q = UIt = I^2 R t = U^2 t / R$$

Tokning issiqlik ta'siri – Joule-Lenz hodisasi

Elektr energiya zanjirdagi qarshilikda **issiqlik** energiyaga aylanadi.

Elektr energiya → Ichki energiya (issiqlik)



Izoh:

- Tok o'tganda zarralar qarshilikka duch kelib, kinetik energiyasini yo'qotadi.
- Yo'qotilgan elektr energiya ichki energiyaga (issiqlikka) aylanadi.
- Zanjirdagi hosil bo'lgan issiqlik miqdori:

Joule-Lenz qonuni:

$$Q = I^2 R t$$

Q – issiqlik miqdori, J (joule)

I – tok kuchi, A (amper)

R – qarshilik, Ω (om)

t – vaqt, s (sekund)



Xulosa:

Zanjirdagi hosil bo'lgan issiqlik tok kuchining kvadratiga, qarshilikka va vaqtga to'g'ri proporsionaldir.

3-rasm. Rezistiv o'tkazgichda elektr energiyaning issiqlikka aylanishi

5-misol

$R=8 \Omega$ spiral orqali $I=2.5 \text{ A}$ tok 4 minut oqsa, $t=240 \text{ s}$. Ajralgan issiqlik $Q=2.5^2 \cdot 8 \cdot 240=12000 \text{ J}=12 \text{ kJ}$.

Issiqlik ta'sirining qo'llanilishi

Elektr isitgichlar, dazmol, elektr pech, suv qizdirgich, rezistiv sensor va saqlagichlarda Joule-Lenz hodisasi amaliy asos bo'lib xizmat qiladi. Elektr uzatish liniyalarida esa $I^2 R$ issiqlik yo'qotishlari nomaqbul bo'lib, ularni kamaytirish uchun tokni kichraytirish va uzatish kuchlanishini oshirish qo'llanadi.

4. Tok manbaining energiyasi va quvvati

Tok manbai ichida tashqi kuchlar q zaryadni ko'chirishda $A_{\text{tash}} = \mathcal{E}q$ ish bajaradi. t vaqt ichida $q=It$ bo'lsa, manba bajargan to'liq ish:

$$A_{\text{manba}} = \mathcal{E}It$$

Manbaning to'liq quvvati:

$$P_{\text{manba}} = \mathcal{E}I$$

Real manba ichki qarshilik r ga ega. Shuning uchun manba quvvatining bir qismi tashqi R yuklamada foydali sarflanadi, bir qismi manba ichida issiqlikka aylanadi:

$$P_{\text{manba}} = P_{\text{foydali}} + P_{\text{ichki}}$$

$$\mathcal{E}I = I^2 R + I^2 r$$

Berk zanjir uchun $I = \mathcal{E}/(R+r)$, klemma kuchlanishi esa $U = \mathcal{E} - Ir = IR$.

Quvvat turi	Formula	Fizik mazmun
-------------	---------	--------------

Manbaning to'liq quvvati	$\mathcal{E}I$	Manba bergan jami quvvat
Foydali quvvat	$UI=I^2R$	Tashqi iste'molchiga berilgan quvvat
Ichki yo'qotish	I^2r	Manba ichida issiqlikka aylangan quvvat
Balans	$\mathcal{E}I=I^2R+I^2r$	Energiya saqlanishi

6-misol

$\mathcal{E}=12\text{ V}$, $r=1\ \Omega$ va $R=5\ \Omega$ bo'lsa $I=2\text{ A}$. $P_{\text{manba}}=24\text{ W}$, $P_{\text{foydali}}=I^2R=20\text{ W}$, $P_{\text{ichki}}=I^2r=4\text{ W}$. Quvvat balansi $24=20+4\text{ W}$.

5. Tok manbaining foydali ish koeffitsienti

Tok manbaining foydali ish koeffitsienti tashqi zanjirga uzatilgan foydali quvvatning manba ishlab chiqargan to'liq quvvatga nisbatidir:

$$\eta = P_{\text{foydali}}/P_{\text{manba}}$$

$P_{\text{foydali}}=UI$ va $P_{\text{manba}}=\mathcal{E}I$ bo'lgani uchun:

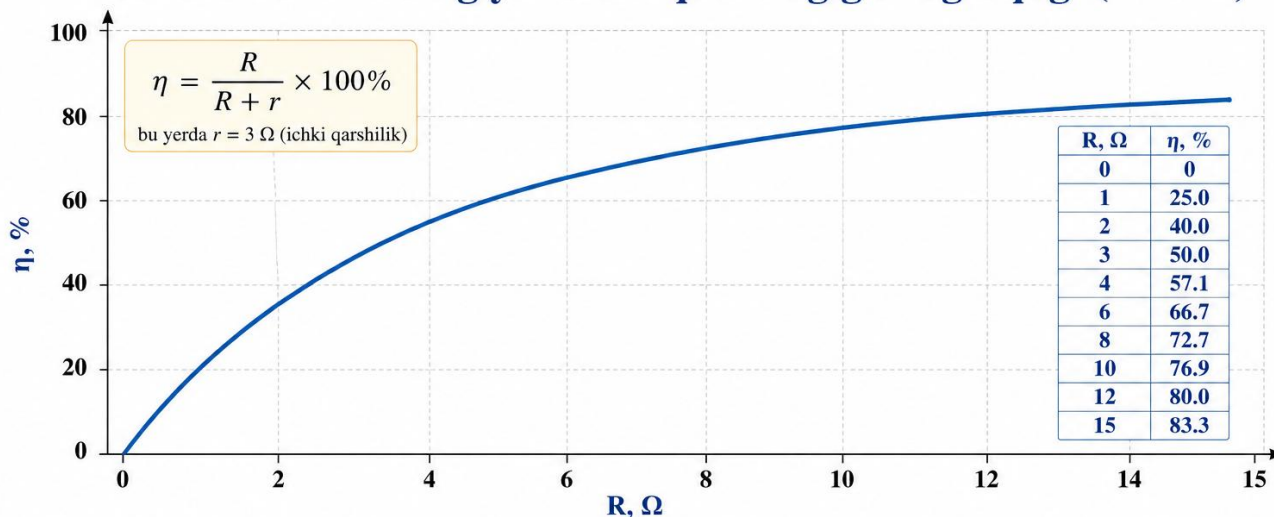
$$\eta = U/\mathcal{E}$$

$U=IR$, $\mathcal{E}=I(R+r)$ munosabatlardan:

$$\eta = R/(R+r)$$

Foizlarda $\eta\%=100 \cdot R/(R+r)$. Ichki qarshilik tashqi qarshilikka nisbatan qanchalik kichik bo'lsa, FIK shunchalik yuqori.

Tok manbai FIKning yuklama qarshiligiga bog'liqligi ($r = 3\ \Omega$)



Izoh:

- FIK (η) – foydali ish koeffitsienti, % da ifodalanadi.
- Yuklama qarshiligi R ortgani sayin, FIK ortadi.
- $R \rightarrow 0$ da $\eta \rightarrow 0\%$ (qisqa tutashuv).
- $R \rightarrow \infty$ da $\eta \rightarrow 100\%$.

Xususiyatlar:

- $R = r$ (ya'ni $3\ \Omega$) bo'lsa, $\eta = 50\%$.
- $R > r$ bo'lganda, $\eta > 50\%$.
- Amaliy jihatdan: $R \approx (5 \div 10) r$ oralig'ida FIK 70% dan katta bo'ladi.

Xulosa:

Tok manbai FIKning yuklama qarshiligiga bog'liqligi monoton ortuvchi bo'lib, R ortishi bilan η 100% ga yaqinlashadi. Ichki yo'qotishlar R kichik bo'lganda katta bo'ladi.



Eslatma: Foydali quvvat $P_{\text{foyd}} = UI = I^2R$, manba to'liq quvvati $P_{\text{to'liq}} = UI = I^2(R+r)$, shundan $\eta = \frac{P_{\text{foyd}}}{P_{\text{to'liq}}} = \frac{R}{R+r} \times 100\%$ kelib chiqadi.

4-rasm. $r=3\ \Omega$ bo'lganda manba FIKning tashqi qarshilikka bog'liqligi

7-misol

$R=9\ \Omega$ va $r=1\ \Omega$ bo'lsa $\eta=9/(9+1)=0.9=90\%$. Demak, manba energiyasining 90% tashqi yuklamaga uzatiladi, 10% manba ichida yo'qotiladi.

8-misol

Manba EYuK i 10 V, klemma kuchlanishi 8 V bo'lsa $\eta=U/\mathcal{E}=0.8=80\%$.

6. Maksimal foydali quvvat va FIK o'rtasidagi farq

Tashqi yuklamaga uzatiladigan quvvat R ga bog'liq:

$$P_R = I^2 R = \mathcal{E}^2 R / (R+r)^2$$

Bu funktsiyani R bo'yicha maksimumga tekshirish natijasida maksimal quvvat uzatish sharti olinadi:

$$R = r$$

Shu holatda:

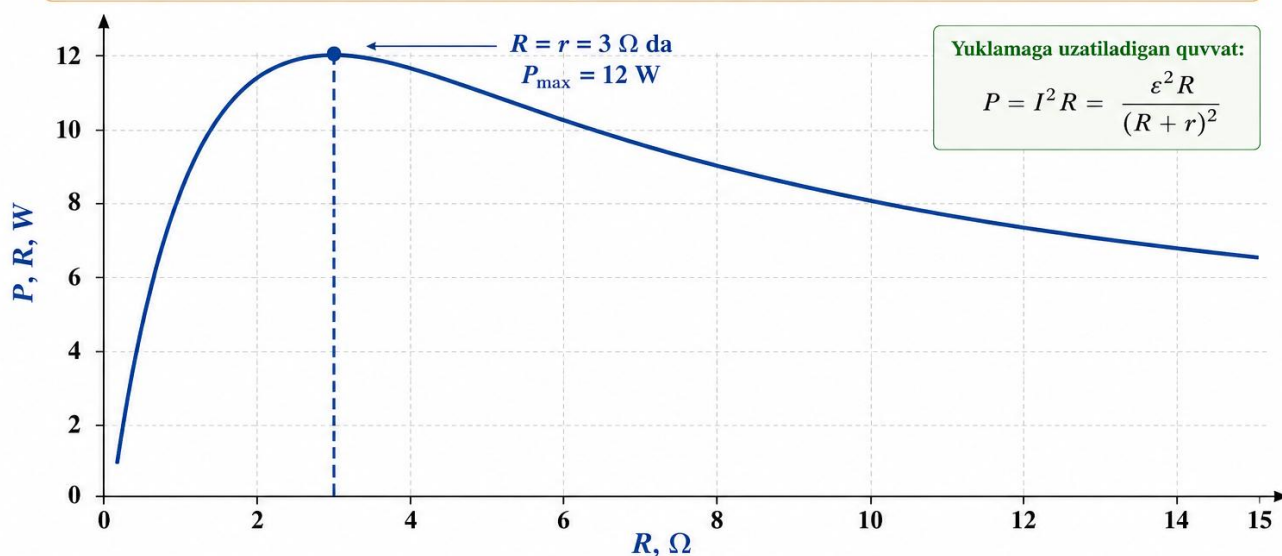
$$P_{\max} = \mathcal{E}^2 / (4r)$$

Ammo $R=r$ bo'lganda FIK:

$$\eta = R/(R+r) = 1/2 = 50\%$$

Yuklamaga uzatiladigan quvvat; maksimum $R = r$ da

Ichki qarshiligi r bo'lgan manbada yuklamaga uzatiladigan quvvat $R = r$ bo'lganda maksimum bo'ladi.



Xususiyatlar:

- R kichik bo'lganda P ortadi.
- $R = r$ da P maksimum bo'ladi.
- $R > r$ bo'lganda P kamayadi.
- $R \rightarrow 0$ da $P \rightarrow 0$; $R \rightarrow \infty$ da $P \rightarrow 0$.

Maksimum shart:

$$\frac{dP}{dR} = 0 \Rightarrow R = r$$
$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

Berilgan grafika uchun:

$$r = 3\ \Omega$$
$$P_{\max} = 12\ \text{W} \ (R = 3\ \Omega \text{ da})$$



Xulosa: Yuklamaga uzatiladigan quvvat manbaning ichki qarshiligiga teng bo'lgan qarshilikda eng katta qiymatga ega bo'ladi.

5-rasm. Yuklama quvvatining maksimumi $R=r$ shartida yuz beradi

Demak, maksimal foydali quvvat va maksimal energetik samaradorlik bir xil tushuncha emas. Aloqa va elektronika tizimlarida quvvat moslashtirish muhim bo'lishi mumkin, energetik uzatishda esa yuqori FIK uchun odatda $R \gg r$ sharti maqsadga muvofiq.

9-misol

$\mathcal{E}=12\text{ V}$, $r=3\ \Omega$ manba uchun maksimal yuklama quvvati $R=3\ \Omega$ da: $P_{\text{max}}=12^2/(4\cdot3)=12\text{ W}$. Bu rejimda manba ichida ham 12 W yo‘qotiladi va FIK 50%.

7. Elektr energiyasini uzatish va issiqlik yo‘qotishlari

Elektr uzatish liniyasining qarshiligi R_1 bo‘lsa, liniyada issiqlik ko‘rinishidagi quvvat yo‘qotilishi:

$$P_{\text{yo‘q}} = I^2 R_1$$

Iste’molchiga P quvvat uzatilayotgan bo‘lsa, taxminan $I=P/U$. Shunda:

$$P_{\text{yo‘q}} = (P/U)^2 R_1$$

Demak, bir xil uzatiladigan quvvatda kuchlanishni oshirish tokni kamaytiradi va $I^2 R$ yo‘qotishlarni keskin pasaytiradi. Bu yuqori kuchlanishli elektr uzatish tizimlarining asosiy fizik sababidir.

10-misol

100 kW quvvat 1 kV kuchlanishda uzatilsa $I=100\text{ A}$. Liniya qarshiligi $2\ \Omega$ bo‘lsa $P_{\text{yo‘q}}=20\text{ kW}$. Shu quvvat 10 kV da uzatilsa $I=10\text{ A}$ va yo‘qotish atigi 200 W bo‘ladi. Kuchlanish 10 marta oshganda tok 10 marta, issiqlik yo‘qotish esa 100 marta kamaydi.

Jarayon	Asosiy formula	Natija
Rezistorda qizish	$P=I^2 R$	Tok ortsa yo‘qotish kvadratik ortadi
Quvvat uzatish	$I=P/U$	U ortsa I kamayadi
Liniya yo‘qotishi	$P_{\text{yo‘q}}=P^2 R_1/U^2$	U ortishi yo‘qotishni kamaytiradi
Manba ichki yo‘qotishi	$P_r=I^2 r$	Ichki qarshilik kichik bo‘lishi foydali

8. Masala yechish algoritmi va metodik tavsiyalar

Bosqich	Bajariladigan amal
1	Berilgan kattaliklarni SI birliklariga o‘tkazish.
2	Ish uchun $A=UIt$ yoki $A=Pt$ formulasini tanlash.
3	Quvvat uchun $P=UI$, $I^2 R$ yoki U^2/R dan mosini qo‘llash.
4	Issiqlik ajralishi uchun $Q=I^2 Rt$ dan foydalanish.
5	Real manbada $I=\mathcal{E}/(R+r)$ orqali tokni aniqlash.
6	$P_{\text{manba}}=\mathcal{E}I$, $P_f=I^2 R$, $P_r=I^2 r$ quvvatlarini ajratish.
7	FIKni $\eta=U/\mathcal{E}=R/(R+r)$ bilan hisoblash.

8	Energiya yoki quvvat balansi orqali natijani tekshirish.
---	--

11-misol: kompleks energetik masala

$\mathcal{E}=24\text{ V}$, $r=2\ \Omega$ manbaga $R=10\ \Omega$ yuklama ulangan. Tok $I=24/(10+2)=2\text{ A}$. Klemma kuchlanishi $U=20\text{ V}$. Manba quvvati $P_{\text{manba}}=48\text{ W}$, foydali quvvat $P_f=40\text{ W}$, ichki yo‘qotish $P_r=8\text{ W}$. FIK $\eta=40/48=83.3\%$. 5 minutda tashqi yuklamada $A_f=40\cdot300=12\text{ kJ}$ energiya sarflanadi, manba ichida esa $Q_r=8\cdot300=2.4\text{ kJ}$ issiqlik ajraladi.

Muammoli savollar

Nima uchun $P=I^2R$ va $P=U^2/R$ formulalari qarama-qarshi ko‘rinishiga qaramay bir-biriga zid emas? Manbaning ichki qarshiligi ortsa FIK qanday o‘zgaradi? Nega $R=r$ da foydali quvvat maksimum, ammo FIK atigi 50%? Elektr energiyasini uzoq masofaga yuqori kuchlanishda uzatish nima sababdan samarali?

9. Asosiy formulalar, mustahkamlash va xulosa

Formula	Mazmuni
$A=qU=UIt$	Elektr tokining ishi
$A=I^2Rt=U^2t/R$	Ishning Om qonuni orqali ko‘rinishlari
$P=UI$	Elektr quvvati
$P=I^2R=U^2/R$	Rezistordagi quvvat
$Q=I^2Rt$	Joule-Lenz qonuni
$A_{\text{manba}}=\mathcal{E}It$	Tok manbaining to‘liq ishi
$P_{\text{manba}}=\mathcal{E}I$	Manbaning to‘liq quvvati
$P_f=I^2R$	Foydali quvvat
$P_r=I^2r$	Ichki yo‘qotish
$\eta=U/\mathcal{E}=R/(R+r)$	Tok manbaining FIKi
$P_R=\mathcal{E}^2R/(R+r)^2$	Yuklamaga uzatiladigan quvvat
$R=r$	Maksimal quvvat uzatish sharti

Mustaqil yechish uchun topshiriqlar

- 24 V kuchlanishda 3 A tok 10 minut oqsa, bajarilgan ishni toping.
- 220 V tarmoqdagi 2 kW isitgichning toki va qarshiligini hisoblang.
- $R=12\ \Omega$ rezistordan 2 A tok 5 minut o‘tsa, ajralgan issiqlikni toping.
- $\mathcal{E}=12\text{ V}$, $r=1\ \Omega$, $R=3\ \Omega$ bo‘lsa manba toki, foydali va ichki quvvatlarni aniqlang.
- $R=8\ \Omega$, $r=2\ \Omega$ uchun tok manbaining FIKini hisoblang.
- $\mathcal{E}=20\text{ V}$, $r=4\ \Omega$ manbadan maksimal quvvat olish uchun R qancha bo‘lishi va P_{max} nechaga tengligini toping.

Xulosa

Elektr tokining ishi va quvvati elektr zanjirlarida energiyaning uzatilishi va aylanishini miqdoriy tavsiflaydi. $A=UIt$ va $P=UI$ munosabatlar elektr maydonning zaryadlar ustida bajargan ishini va energiya uzatish tezligini ifodalaydi. Rezistiv muhitda

elektr energiya Joule-Lenz qonuniga ko'ra $Q=I^2Rt$ issiqlikka aylanadi. Real tok manbaida $\mathcal{E}I$ to'liq quvvatning I^2R qismi tashqi yuklamaga foydali uzatiladi, I^2r qismi esa ichki yo'qotishga sarflanadi. Shu sababli $\eta=R/(R+r)$ manbaning energetik samaradorligini belgilaydi. $R=r$ shartida yuklama quvvati maksimum bo'lsa-da, FIK 50% bo'ladi; yuqori samaradorlik uchun ichki qarshilik tashqi yuklama qarshiligiga nisbatan kichik bo'lishi zarur.

Tavsiya etiladigan adabiyotlar

1. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. Wiley.
2. Young H. D., Freedman R. A. University Physics with Modern Physics. Pearson.
3. Serway R. A., Jewett J. W. Physics for Scientists and Engineers. Cengage.
4. Nilsson J. W., Riedel S. A. Electric Circuits. Pearson.