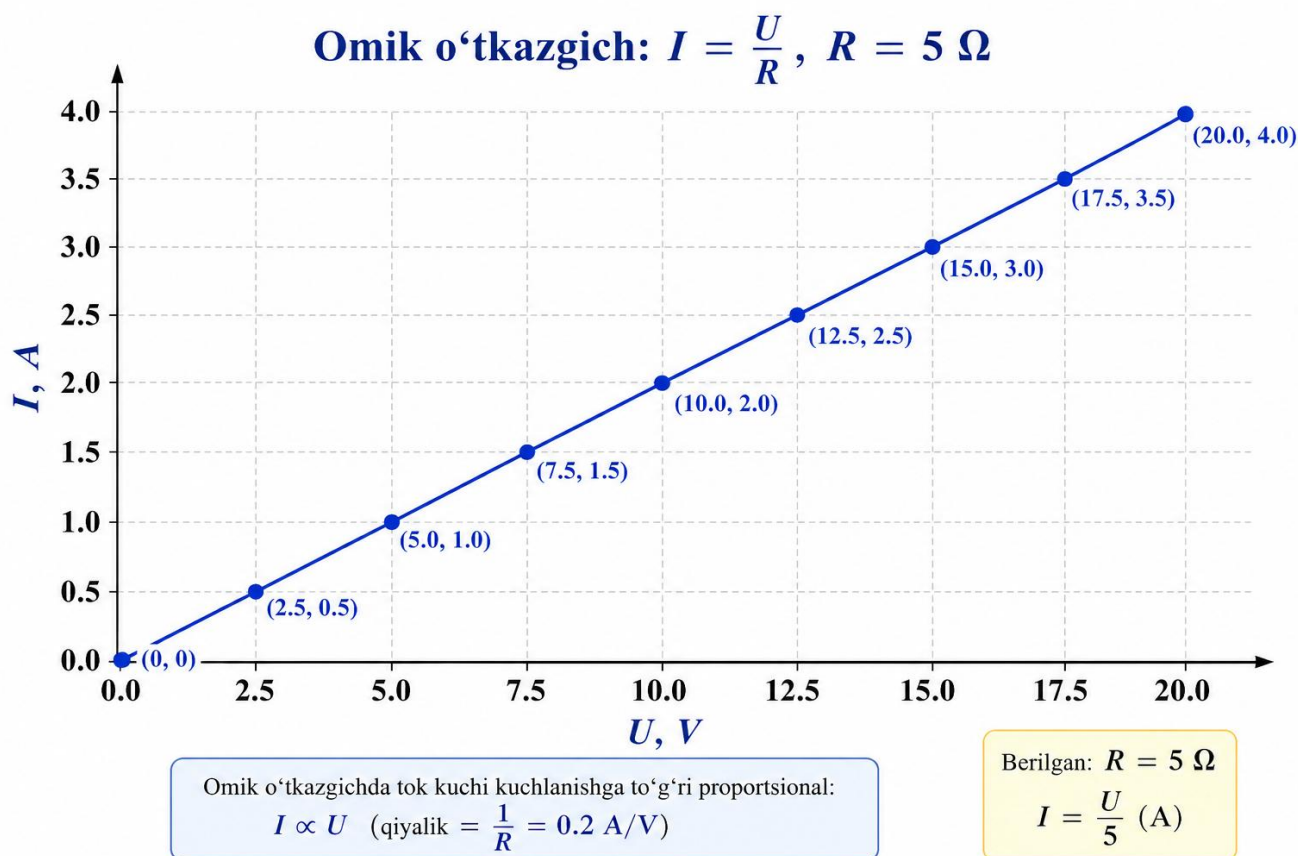


OM QONUNLARI. OM QONUNNING DIFFERENSIAL KO'RINISHI. BERK ZANJIR UCHUN OM QONUNI

Om qonuni elektr toki nazariyasining fundamental qonunlaridan bo'lib, elektr maydon, tok zichligi, kuchlanish, qarshilik va tok manbai parametrlarini o'zaro bog'laydi. Makroskopik zanjir qismi uchun $I=U/R$ ko'rinishidagi qonun o'tkazgich uchlaridagi potentsiallar farqi bilan tok kuchi orasidagi bog'lanishni ifodalasa, $j=\sigma E$ differensial ko'rinish elektr maydonning har bir nuqtasidagi lokal o'tkazuvchanlik jarayonini tavsiflaydi. Real tok manbai berk zanjirda esa tashqi qarshilik bilan bir qatorda manbaning ichki qarshiligi ham hisobga olinadi.

Darsning maqsadi

Talabalarga Om qonunining fizik mohiyati, zanjir qismi uchun va differensial ko'rinishlari, EYuK, ichki qarshilik, klemma kuchlanishi hamda berk zanjir uchun Om qonunini ilmiy asosda tushuntirish; formulalarni keltirib chiqarish va amaliy masalalarda qo'llash ko'nikmasini rivojlantirish.



1-rasm. Omik o'tkazgichning volt-amper xarakteristikasi

Chiziqli $I(U)$ bog'lanish omik element uchun xos. Grafik qiyaligi $1/R$ ga teng.

1. Zanjir qismi uchun Om qonuni

Bir jinsli metall o'tkazgichning temperaturasi va boshqa fizik sharoitlari o'zgarmaganda tajriba tok kuchining kuchlanishga to'g'ri proporsional ekanini ko'rsatadi:

$$I = U/R$$

R — o'tkazgichning elektr qarshiligi. Qonun $U=IR$ va $R=U/I$ ko'rinishlarda ham yoziladi. Om qonuni materialning I–U xarakteristikasi chiziqli bo'lgan diapazonda amal qiladi.

Kattalik	Belgi	SI birligi	Fizik mazmun
Tok kuchi	I	A	Vaqt birligida kesimdan o'tuvchi zaryad
Kuchlanish	U	V	Birlik zaryadga to'g'ri keladigan maydon ishi
Qarshilik	R	Ω	Tokka qarshilik ko'rsatish o'lchovi
O'tkazuvchanlik	$G=1/R$	S	Zanjir qismining tok o'tkazish qobiliyati

1-misol

$R=8\ \Omega$ rezistorga $U=24\text{ V}$ berilsa, $I=24/8=3\text{ A}$.

2-misol

$I=0.4\text{ A}$ va $U=12\text{ V}$ bo'lsa, $R=U/I=30\ \Omega$.

Om qonunini qo'llashda qarshilikning temperatura bilan o'zgarishi yoki elementning noxiziqli xarakteristikasi mavjudligini tekshirish zarur.

2. Om qonunining differensial ko'rinishi

Makroskopik $I=U/R$ munosabat o'tkazgichning butun qismiga tegishli. Elektr maydonning har bir nuqtasidagi lokal tok hosil bo'lishini tavsiflash uchun tok zichligi j va maydon kuchlanganligi E orasidagi munosabat ishlatiladi:

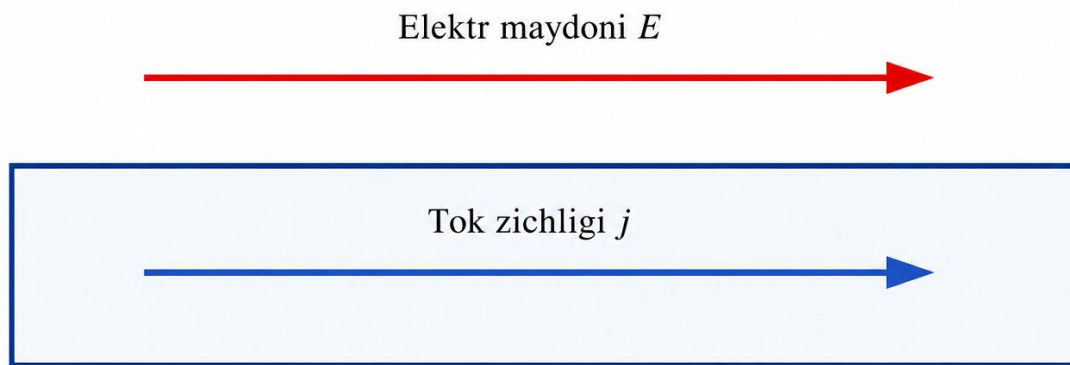
$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

σ — moddaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi, S/m. Uning teskarisi solishtirma qarshilik ρ :

$$\sigma = 1/\rho$$

$$\vec{E} = \rho \vec{j}$$

Om qonunining differensial ko‘rinishi: $j = \sigma E$



σ, ρ

j — tok zichligi (A/m^2)

E — elektr maydon kuchlanganligi (V/m)

σ — solishtirma o‘tkazuvchanlik (S/m)

ρ — solishtirma qarshilik ($\Omega \cdot m$)

$j = \sigma E$ — Om qonunining differensial ko‘rinishi

$\sigma = \frac{1}{\rho}$, — o‘tkazuvchanlik va solishtirma qarshilik orasidagi bog‘lanish

$[j] = A/m^2, [E] = V/m, [\sigma] = S/m, [\rho] = \Omega \cdot m$

2-rasm. Bir jinsli izotrop o‘tkazgichda j va E vektorlarining yo‘nalishi

Izotrop omik muhitda j va E bir yo‘nalishda. Anizotrop kristallarda esa σ tensor bo‘lib, j va E yo‘nalishlari mos kelmasligi mumkin.

3-misol

$\sigma = 5.8 \times 10^7 S/m$ va $E = 0.02 V/m$ bo‘lgan metall uchun $j = \sigma E = 1.16 \times 10^6 A/m^2$.

3. Differensial ko‘rinishdan integral Om qonuniga o‘tish

Uzunligi l , kesimi S va o‘tkazuvchanligi σ bo‘lgan bir jinsli silindrsimon o‘tkazgichni ko‘raylik. Bir jinsli maydonda $j = I/S$ va $E = U/l$. $j = \sigma E$ ga qo‘yib:

$$I/S = \sigma U/l$$

$$I = (\sigma S/l)U$$

$\rho = 1/\sigma$ bo‘lgani uchun:

$$R = \rho l/S$$

$$I = U/R$$

Shunday qilib, zanjir qismi uchun Om qonuni lokal differensial qonunning ma’lum geometriyadagi integral natijasidir.

4-misol

$\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, $l = 20 m$, $S = 2 mm^2$ bo‘lgan mis simning qarshiligi $R = \rho l/S \approx 0.17 \Omega$. $U = 3.4 V$ bo‘lsa $I = 20 A$.

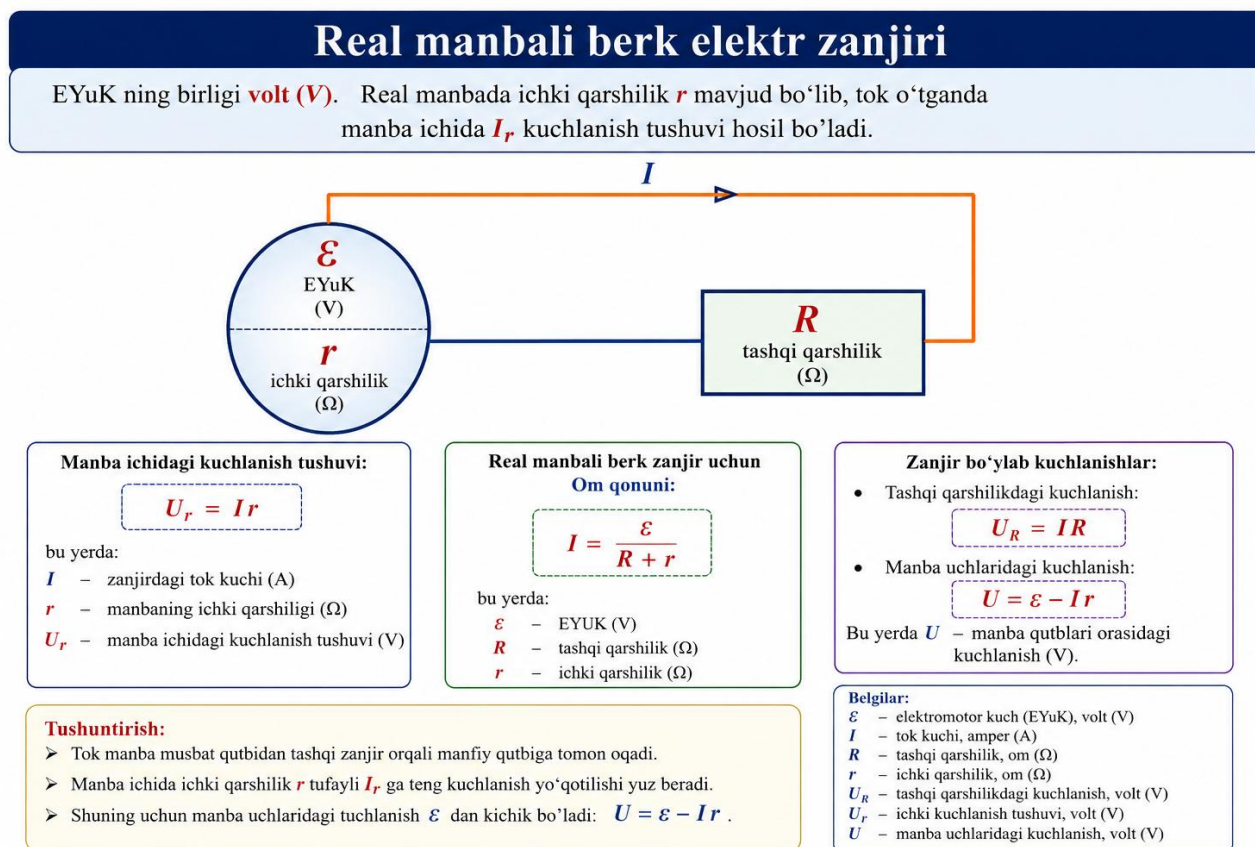
Ko‘rinish	Formula	Qo‘llanish darajasi
Differensial	$j = \sigma E$	Maydonning alohida nuqtasi

Integral/zanjir qismi	$I=U/R$	Butun o'tkazgich yoki zanjir qismi
Geometrik	$R=\rho l/S$	Bir jinsli sim

4. EYuK va tok manbaining ichki qarshiligi

Berk zanjirda tokni uzluksiz saqlash uchun tok manbai zarur. Manba ichida kimyoviy, mexanik yoki boshqa tabiatli tashqi kuchlar zaryadlarni elektrostatik kuchlarga qarshi ko'chiradi. Elektr yurituvchi kuch:

$$\mathcal{E} = A_{\text{tash}}/q$$



3-rasm. EYuK $\mathcal{E}$ va ichki qarshilik r ga ega real manbali berk zanjir

Tashqi yuklama R bo'lsa, energiyaning bir qismi tashqi zanjirda, bir qismi manbaning ichki qarshiligida issiqlikka aylanadi.

5-misol

$\mathcal{E}=9$ V, $r=0.5$ Ω va zanjirdagi tok $I=1$ A bo'lsa, manbaning klemma kuchlanishi $U=\mathcal{E}-Ir=8.5$ V.

5. Berk zanjir uchun Om qonuni

Berk zanjir bo'ylab energiya balansi asosida manbaning EYuK i tashqi va ichki qarshiliklardagi kuchlanish tushuvlari yig'indisiga teng:

$$\mathcal{E} = IR + Ir$$

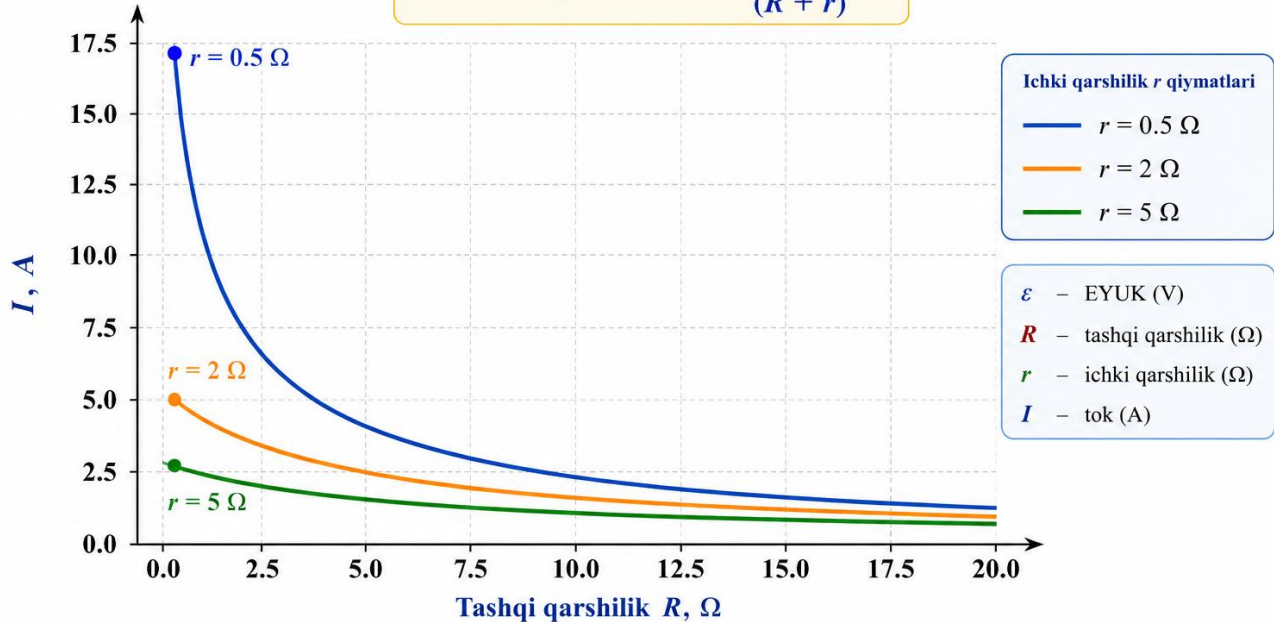
I ni ajratib:

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

Bu berk yoki to'liq zanjir uchun Om qonunidir. Tok tashqi R va ichki r qarshiliklarning yig'indisi bilan cheklanadi.

Berk zanjir toki

$$\text{Berk zanjir toki: } I = \frac{\mathcal{E}}{(R + r)}$$



Tahlil:

- Tashqi qarshilik R ortishi bilan tok kuchi I kamayadi.
- Ichki qarshilik r kichik bo'lsa, tok kattaroq bo'ladi.

Xulosa:

Berk zanjirda tok I kuchi R va r ga teskari proporsional bo'lib, R ortganda yoki r ortganda I kamayadi.

4-rasm. $\mathcal{E}=12$ V bo'lganda tokning tashqi qarshilikka va ichki qarshilikka bog'liqligi

6-misol

$\mathcal{E}=12$ V, $R=5 \Omega$, $r=1 \Omega$. Tok:

$$I = 12/(5+1) = 2 \text{ A}$$

Tashqi kuchlanish $U=IR=10$ V, ichki tushuv $Ir=2$ V. Tekshiruv: $10+2=12$ V.

7-misol

$\mathcal{E}=6$ V, $r=0.2 \Omega$ va $R=2.8 \Omega$ bo'lsa $I=6/3=2$ A; klemma kuchlanishi $U=IR=5.6$ V.

6. Klemma kuchlanishi va qisqa tutashuv

Manba tok berayotgan rejimda uning tashqi klemmlaridagi kuchlanish:

$$U = \mathcal{E} - Ir$$

Tok ortgan sari ichki qarshilikdagi kuchlanish tushuvi ortadi va klemma kuchlanishi kamayadi.

Manba klemma kuchlanishi: $U = \mathcal{E} - Ir$

Manba klemma kuchlanishi tok kuchi ortishi bilan kamayadi.
Bog'lanish chiziqli bo'lib, grafigi to'g'ri chiziq ko'rinishida.



Izoh:

- $I = 0$ bo'lganda $U = \mathcal{E}$ (klemma kuchlanishi manbaning EYuK ga teng).
- Tok ortishi bilan Ir kuchlanish tushuvi ortadi, shuning uchun U kamayadi.

Grafik ma'nosi:

To'g'ri chiziqning qiyaligi $-r$ ga teng.
(nishab = $-r$)

5-rasm. Real manbaning $U(I)$ xarakteristikasi

Zanjir qisqa tutashtirilganda $R \approx 0$. Berk zanjir qonunidan:

$$I_{qt} = \mathcal{E}/r$$

Ichki qarshilik kichik bo'lgani uchun qisqa tutashuv toki juda katta bo'lishi va manba hamda simlarni qizdirishi mumkin.

8-misol

$\mathcal{E} = 12$ V va $r = 0.4$ Ω manba qisqa tutashtirilsa, $I_{qt} = 30$ A. Bu odatdagi yuklama tokidan ancha katta.

Rejim	Shart	Natija
Ochiq zanjir	$R \rightarrow \infty, I = 0$	$U = \mathcal{E}$
Yuklama	$0 < R < \infty$	$U = \mathcal{E} - Ir$
Qisqa tutashuv	$R \approx 0$	$I \approx \mathcal{E}/r, U \approx 0$

7. Quvvat va energiya nuqtai nazaridan Om qonuni

Berk zanjirda manba quvvati $P_{manba} = \mathcal{E}I$. Bu quvvat tashqi yuklama va ichki qarshilikdagi issiqlik quvvatlariga taqsimlanadi:

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

Tashqi yuklamaga beriladigan foydali quvvat:

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

Manbaning ichki yo'qotishi $P_r = I^2r$. Foydali ish koeffitsienti:

$$\eta = P_R / P_{manba} = R / (R+r)$$

9-misol

$\mathcal{E}=12\text{ V}$, $R=5\ \Omega$, $r=1\ \Omega$ bo'lgan oldingi zanjirda $I=2\text{ A}$. Manba quvvati 24 W , tashqi yuklama quvvati $I^2R=20\text{ W}$, ichki yo'qotish 4 W . $\eta=20/24\approx 83.3\%$.

Energiya balansi Om qonunining faqat zaryad oqimini emas, zanjirdagi energiya uzatilishini ham ifodalashini ko'rsatadi.

Maksimal quvvat sharti

Tashqi yuklamaga maksimal quvvat uzatilishi $R=r$ shartida yuz beradi. Bu holatda foydali ish koeffitsienti 50% bo'ladi; shu sababli energetik tizimlarda maksimal quvvat sharti har doim maksimal samaradorlik degani emas.

8. Om qonunining amal qilish chegaralari

Om qonuni fundamental va juda keng qo'llansa-da, $I=U/R$ chiziqli ko'rinish barcha elementlar uchun universal emas. Qarshilik temperatura, maydon kuchi yoki boshqa holat parametrlariga bog'liq bo'lsa, volt-amper xarakteristika nochiziqli bo'lishi mumkin.

Obyekt	Xarakteristika	Om qonuni
Metall rezistor, $T=\text{const}$	Chiziqli $I(U)$	Yaxshi bajariladi
Qizdiriluvchi filament	R temperatura bilan o'zgaradi	Nochiziqli
Yarimo'tkazgich diod	Asimmetrik nochiziqli	$I=U/R$ ko'rinishida bajarilmaydi
Elektrolit	Sharoitga bog'liq	Cheklangan diapazonda
Anizotrop kristall	j va E tensor bog'lanish	$j_i=\sum \sigma_{ij}E_j$

Differensial qarshilik nochiziqli elementda $r_d=dU/dI$ orqali aniqlanishi mumkin. Bu statik U/I nisbatidan farq qiladi.

10-misol

Agar elementning bir ish nuqtasida $U=4\text{ V}$ va $I=0.2\text{ A}$ bo'lsa, statik nisbat $U/I=20\ \Omega$. Lekin grafikning shu nuqtadagi dU/dI qiyaligi $8\ \Omega$ bo'lishi mumkin. Demak, nochiziqli elementda 'qarshilik' tushunchasining qaysi turi nazarda tutilayotgani ko'rsatilishi kerak.

9. Masala yechish algoritmi va metodik tavsiyalar

Bosqich	Bajariladigan amal
1	Masala zanjir qismi, lokal maydon yoki berk zanjirga tegishli ekanini aniqlash.
2	Zanjir qismi uchun $I=U/R$; lokal muhit uchun $j=\sigma E$ ni tanlash.
3	ρ , l , S berilsa $R=\rho l/S$ ni hisoblash.
4	Manba mavjud bo'lsa $\mathcal{E}$ va ichki r ni ajratish.
5	Berk zanjir uchun $I=\mathcal{E}/(R+r)$ ni qo'llash.

6	Klemma kuchlanishini $U = \mathcal{E} - Ir$ yoki $U = IR$ bilan tekshirish.
7	Quvvat masalasida $\mathcal{E}I = I^2R + I^2r$ balansini qo'llash.
8	Natijaning birliklari va fizik chegaralarini tekshirish.

11-misol: kompleks masala

$\mathcal{E} = 18$ V, $r = 1$ Ω manbaga 8 Ω rezistor ulangan. $I = 18/9 = 2$ A. Klemma kuchlanishi $U = IR = 16$ V. Tashqi quvvat $P_R = 32$ W, ichki yo'qotish $P_r = 4$ W, manba quvvati 36 W. FIK $\eta = 8/9 \approx 88.9\%$.

Muammoli savollar

Nima sababdan $j = \sigma E$ qonuni $I = U/R$ ga nisbatan lokalroq hisoblanadi? Ichki qarshilik nol bo'lmagan manbada nega $U < \mathcal{E}$? Qisqa tutashuv toki nimaga juda katta? R ortishi bilan tok qanday o'zgaradi? Maksimal quvvat va maksimal FIK nima sababdan bir xil shartda yuz bermaydi?

10. Asosiy formulalar, mustahkamlash va xulosa

Formula	Mazmuni
$I = U/R$	Zanjir qismi uchun Om qonuni
$j = \sigma E$	Om qonunining differensial ko'rinishi
$E = \rho j$	Differensial qonunning ekvivalent ko'rinishi
$\sigma = 1/\rho$	O'tkazuvchanlik va solishtirma qarshilik
$R = \rho l/S$	Bir jinsli o'tkazgich qarshiligi
$\mathcal{E} = A_{\text{tashq}}/q$	Elektr yurituvchi kuch
$I = \mathcal{E}/(R+r)$	Berk zanjir uchun Om qonuni
$U = \mathcal{E} - Ir = IR$	Klemma kuchlanishi
$I_{\text{qt}} = \mathcal{E}/r$	Qisqa tutashuv toki
$\mathcal{E}I = I^2R + I^2r$	Quvvat balansi
$\eta = R/(R+r)$	Manba-yuklama FIK

Mustaqil topshiriqlar

1. $U = 36$ V, $R = 12$ Ω bo'lsa I ni toping.
2. $\sigma = 4 \times 10^7$ S/m va $E = 0.05$ V/m bo'lsa j ni hisoblang.
3. $\rho = 2 \times 10^{-8}$ $\Omega \cdot \text{m}$, $l = 30$ m, $S = 1.5$ mm² simning R sini toping.
4. $\mathcal{E} = 10$ V, $r = 0.5$ Ω , $R = 4.5$ Ω zanjirda I va U ni aniqlang.
5. $\mathcal{E} = 12$ V, $r = 0.3$ Ω manbaning qisqa tutashuv tokini toping.
6. $\mathcal{E} = 15$ V, $r = 1$ Ω , $R = 4$ Ω bo'lsa tashqi quvvat, ichki yo'qotish va FIK ni hisoblang.

Xulosa

Om qonunlari elektr zanjirlaridagi zaryad va energiya oqimini turli darajada tavsiflaydi. $I=U/R$ makroskopik zanjir qismi uchun tok va kuchlanishni bog'laydi; $j=\sigma E$ esa o'tkazuvchi muhitning har bir nuqtasidagi lokal javobni ifodalaydi. Bir jinsli geometriyada differensial qonundan $R=\rho l/S$ va $I=U/R$ kelib chiqadi. Real manbali berk zanjirda ichki qarshilik hisobga olinib $I=\mathcal{E}/(R+r)$ qonuni olinadi. Klemma kuchlanishining $U=\mathcal{E}-Ir$ kamayishi, qisqa tutashuv toki va quvvat balansi ushbu qonunning muhim amaliy natijalaridir. Om qonunining amal qilish shartlari va chegaralarini tushunish elektr zanjirlarini ilmiy asosda tahlil qilish uchun 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. Griffiths D. J. Introduction to Electrodynamics. Cambridge University Press.