

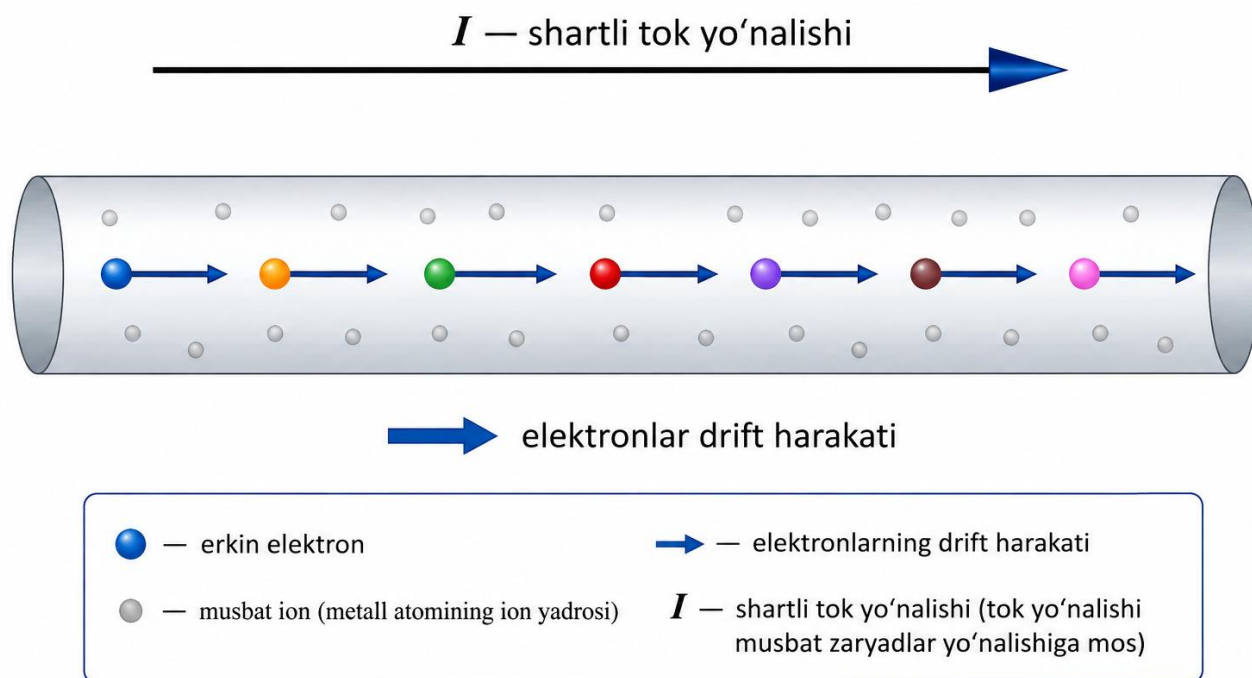
DOIMIY ELEKTR TOKI. ELEKTR TOKNING XARAKTERISTIKALARI. O'TKAZUVCHANLIK, QARSHILIK VA UNING TEMPERATURAGA BOG'LIQLIGI

Doimiy elektr toki zaryadlangan zarrachalarning elektr maydon ta'sirida tartibli harakati bo'lib, vaqt davomida tok kuchi va uning yo'nalishi o'zgarmas bo'lgan holatni ifodalaydi. Elektr toki metallarda erkin elektronlar, elektrolitlarda ionlar, yarimo'tkazgichlarda elektron va kovaklar, gazlarda esa ionlar va elektronlar harakati hisobiga yuzaga keladi. Tok hodisasini miqdoriy tavsiflash uchun tok kuchi, tok zichligi, drift tezligi, elektr o'tkazuvchanlik, qarshilik, solishtirma qarshilik va quvvat kabi kattaliklardan foydalaniladi.

Darsning maqsadi

Talabalarga doimiy tokning fizik tabiatini, tok kuchi va tok zichligini, metallardagi o'tkazuvchanlik mexanizmini, Ohm qonunini, qarshilikning geometrik va moddiy omillarga hamda temperaturaga bog'liqligini formulalar, grafiklar, jadvallar va yechilgan misollar asosida tushuntirish.

Metall o'tkazgichda doimiy elektr toki



1-rasm. Metall o'tkazgichda elektronlarning drift harakati va shartli tok yo'nalishi

Metallarda elektronlar tok yo'nalishiga qarama-qarshi drift qiladi. Tokning shartli yo'nalishi musbat zaryadlarning tartibli harakat yo'nalishi sifatida qabul qilingan.

1. Elektr toki va uning mavjud bo'lish shartlari

Elektr toki hosil bo'lishi uchun muhitda erkin zaryad tashuvchilar va ularni tartibli harakatga keltiruvchi elektr maydon mavjud bo'lishi kerak. Yopiq zanjirda tokni uzoq vaqt saqlash uchun esa elektr energiya manbai potentsiallar farqini tiklab turadi.

$$I = dq/dt$$

Doimiy tokda $I = \text{const}$ bo'lib, Δt vaqt ichida kesimdan o'tgan zaryad $q = I\Delta t$. SI tizimida tok kuchining birligi amper: $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$.

$$\vec{j} = I/S \cdot \vec{n}$$

Bir jinsli kesimda tok zichligi $j = I/S$. Umumiy holda $I = \int j \cdot dS$. Tok zichligining birligi A/m^2 .

Kattalik	Belgi	Birlik	Mazmun
Tok kuchi	I	A	Kesimdan vaqt birligida o'tuvchi zaryad
Tok zichligi	j	A/m^2	Birlik yuzaga to'g'ri keladigan tok
Zaryad	q	C	Ko'chayotgan elektr zaryadi
Drift tezligi	v_d	m/s	Tashuvchilarning o'rtacha tartibli tezligi

1-misol

O'tkazgich kesimidan 20 s davomida 60 C zaryad o'tsa, tok kuchi $I = q/t = 60/20 = 3 \text{ A}$.

2-misol

$S = 2 \text{ mm}^2 = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ kesimdan $I = 4 \text{ A}$ tok o'tsa, $j = I/S = 2 \times 10^6 \text{ A/m}^2$.

2. Metallardagi o'tkazuvchanlik toki

Metall kristall panjarasida musbat ionlar tugunlar atrofida tebranadi, valent elektronlarning bir qismi esa kollektiv erkin elektronlar sistemasini hosil qiladi. Maydon bo'lmaganda elektronlarning issiqlik harakati tartibsiz va natijaviy tok nol. Elektr maydon qo'yilganda elektronlarning tartibsiz harakatiga kichik yo'nalgan drift qo'shiladi.

$$I = nqSv_d$$

Bu yerda n — birlik hajmdagi tashuvchilar soni, q — bir tashuvchining zaryad moduli, S — kesim yuzi, v_d — drift tezligi. Shundan:

$$j = nqv_d$$

Mikroskopik modelda drift tezligi maydonga proporsional bo'lib, $v_d = \mu E$ ko'rinishda yozilishi mumkin. μ — tashuvchilarning harakatchanligi. Natijada:

$$j = nq\mu E = \sigma E$$

$\sigma = nq\mu$ — elektr o'tkazuvchanlik. Uning SI birligi S/m. Bu munosabat Ohm qonunining differensial ko'rinishidir.

3-misol

$n = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$, $I = 2 \text{ A}$, $S = 1 \text{ mm}^2$ va $q = e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ bo'lsa:

$$v_d = I / (neS) \approx 1.47 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

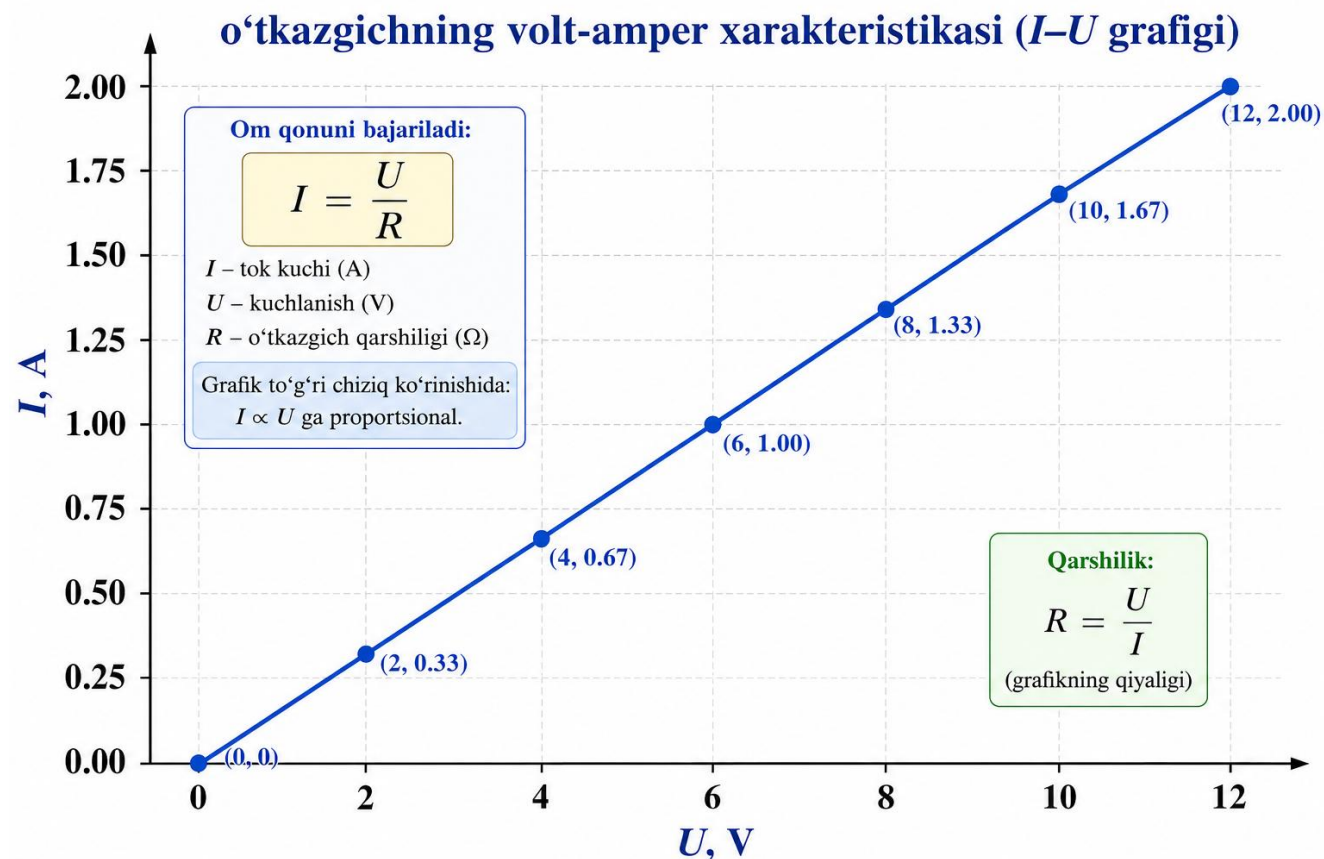
Drift tezligi juda kichik bo'lsa ham, elektr maydonning zanjir bo'ylab o'rnatilishi elektromagnit ta'sirning tarqalishi bilan bog'liq bo'lgani sababli lampaning yonishi uchun alohida elektronning manbadan lampagacha yetib kelishi talab qilinmaydi.

3. Ohm qonuni va volt-ampér xarakteristikasi

Zanjirning bir qismi uchun Ohm qonuni temperatura va boshqa fizik sharoitlar o'zgarmas bo'lgan omik o'tkazgichda tok kuchi kuchlanishga to'g'ri, qarshilikka teskari proporsional ekanini ifodalaydi:

$$I = U/R$$

Bundan $U = IR$ va $R = U/I$. Qarshilik birligi om: $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$.



2-rasm. $R = 6 \Omega$ omik o'tkazgich uchun $I(U)$ grafigi

$I(U)$ grafigining qiyaligi $1/R$ ga teng. Qarshilik qancha kichik bo'lsa, grafik shuncha tik bo'ladi. Nochiziqli elementlarda esa I va U proporsionalligi buziladi.

4-misol

$R = 12 \Omega$ rezistorga $U = 24 \text{ V}$ kuchlanish berilgan. Tok $I = U/R = 2 \text{ A}$.

5-misol

O'tkazgichdan 0.5 A tok o'tganda kuchlanish 9 V bo'lsa, $R = U/I = 18 \Omega$.

Holat	I–U xususiyati	Misol
Omik element	Chiziqli	Metall rezistor, $T \approx \text{const}$
Nochiziqli element	Egri chiziq	Diod, qizdirilgan filament
Superoʻtkazuvchi holat	$R \approx 0$	Kritik temperaturadan past ayrim materiallar

4. Qarshilik va solishtirma qarshilik

Bir jinsli silindrsimon oʻtkazgichning qarshiligi uning uzunligiga toʻgʻri, koʻndalang kesim yuziga teskari proporsional:

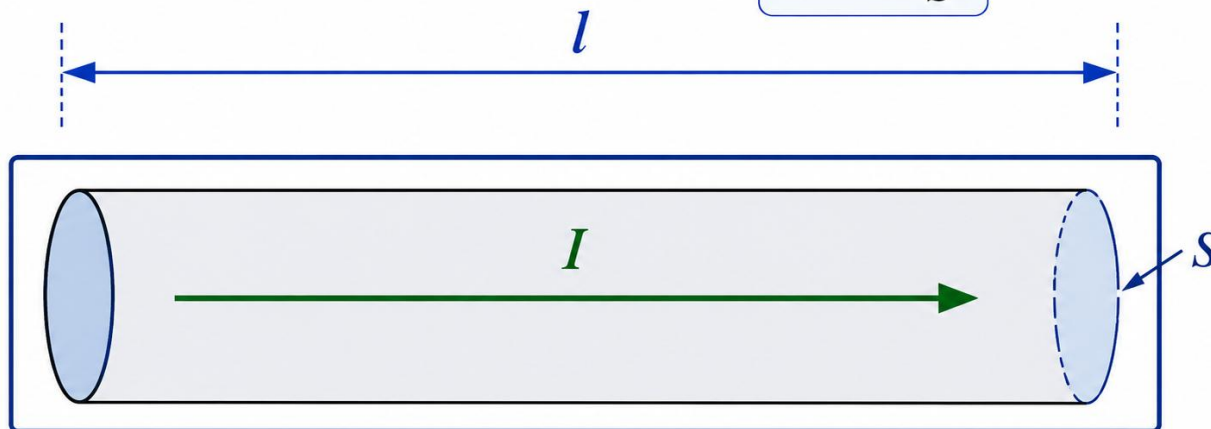
$$R = \rho l / S$$

ρ — moddaning solishtirma elektr qarshiligi, SI birligi $\Omega \cdot \text{m}$. Uning teskarisi elektr oʻtkazuvchanlik:

$$\sigma = 1/\rho$$

Oʻtkazgich geometriyasi:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



R — oʻtkazgich qarshiligi (Ω)

ρ — solishtirma qarshilik ($\Omega \cdot \text{m}$)

l — oʻtkazgich uzunligi (m)

S — oʻtkazgich koʻndalang kesim yuzi (m^2)

I — elektr toki (A)

Tok oʻtkazgich boʻylab l uzunlikda va S koʻndalang kesim yuziga ega holda yoʻnalgan.

3-rasm. Qarshilikning oʻtkazgich uzunligi va kesimiga bogʻlanishi

Uzunlik ortsa elektronlar kristall panjara bilan koʻproq toʻqnashadigan yoʻl uzunligi ortadi; kesim kattalashsa tok tashuvchilar uchun parallel oʻtish imkoniyati koʻpayadi.

6-misol

$\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, $l = 10 \text{ m}$ va $S = 1.5 \text{ mm}^2 = 1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ boʻlgan mis sim uchun:

$$R = 1.7 \times 10^{-8} \cdot 10 / (1.5 \times 10^{-6}) \approx 0.113 \Omega$$

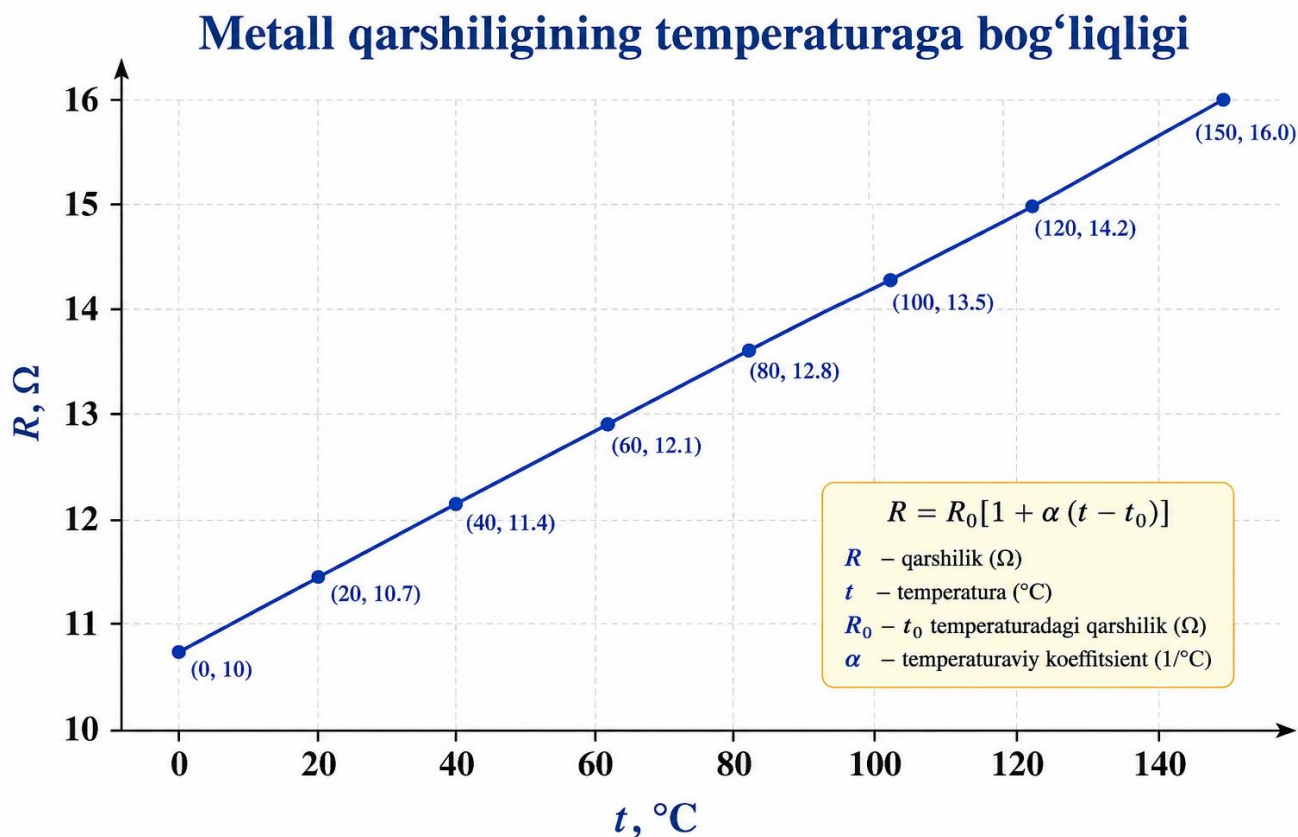
Agar shu simning uzunligi ikki marta oshirilsa R ikki marta ortadi; kesim ikki marta oshirilsa R ikki marta kamayadi.

5. Qarshilikning temperaturaga bog'liqligi

Metallarda temperatura ortishi kristall panjara ionlarining issiqlik tebranishlarini kuchaytiradi. Natijada o'tkazuvchan elektronlarning sochilishi ko'payib, o'rtacha erkin yugurish vaqti kamayadi va qarshilik ortadi. Cheklangan temperatura oralig'ida bu bog'lanish taxminan chiziqli:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Solishtirma qarshilik uchun ham $\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$. α — qarshilikning temperatura koeffitsienti, birligi K^{-1} .



4-rasm. Musbat α ga ega metall qarshiligining temperatura bilan ortishi

7-misol

20 °C da $R_0=50 \Omega$ bo'lgan metall rezistor uchun $\alpha=0.004 K^{-1}$. 80 °C dagi qarshilik:

$$R = 50[1 + 0.004(80 - 20)] = 62 \Omega$$

Demak, temperatura 60 °C ga ortganda qarshilik 24% ga oshgan.

Yarimo'tkazgichlar bilan farq

Ko'plab yarimo'tkazgichlarda temperatura ortishi erkin tashuvchilar konsentratsiyasini keskin ko'paytiradi va qarshilik kamayadi. Shu sababli ularning samarali temperatura koeffitsienti ma'lum diapazonda manfiy bo'lishi mumkin.

6. Elektr toki ishi, quvvati va Joule–Lenz qonuni

Elektr maydon zaryadlarni ko'chirishda ish bajaradi. $q=It$ va $A=qU$ munosabatlardan:

$$A = UI t$$

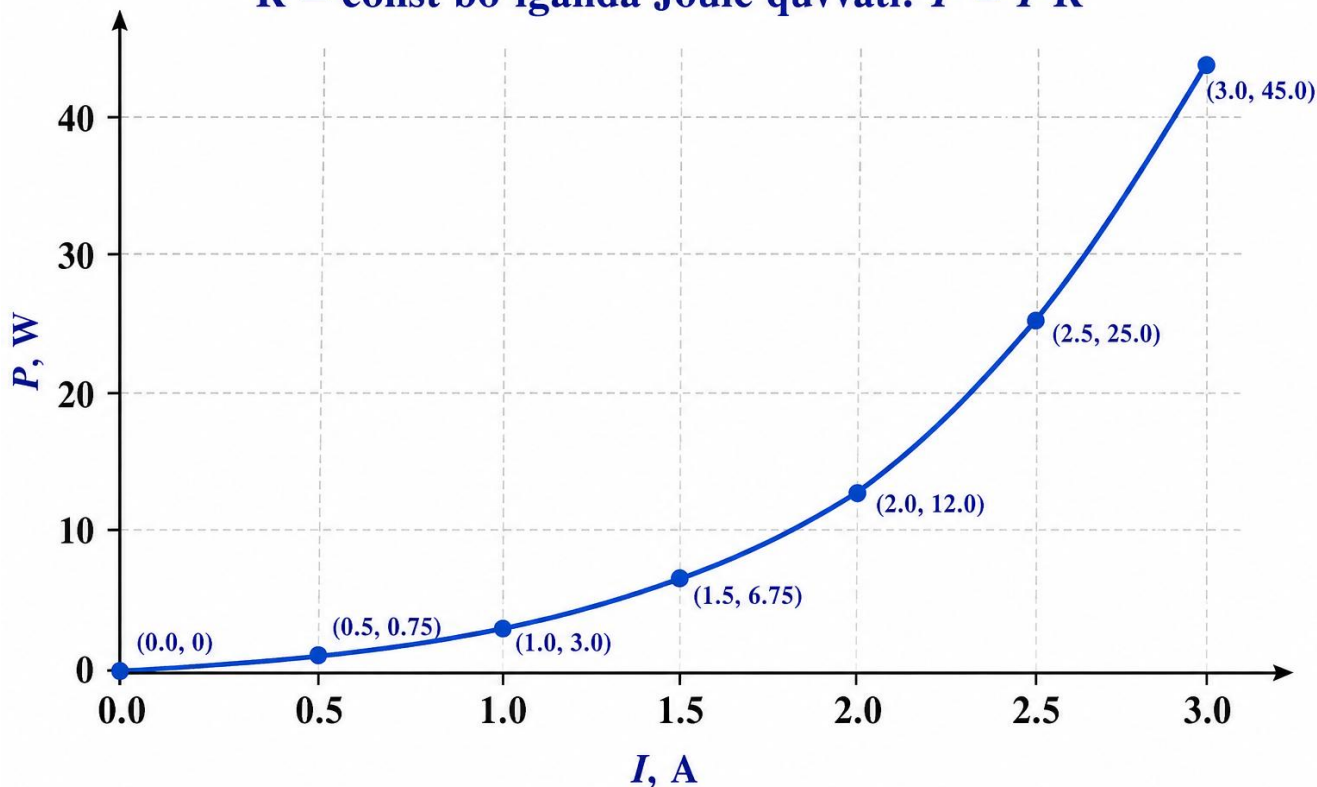
Quvvat — vaqt birligidagi ish:

$$P = UI = I^2R = U^2/R$$

Rezistiv o'tkazgichda elektr energiyaning ichki energiyaga aylanishi Joule–Lenz qonuni bilan ifodalanadi:

$$Q = I^2Rt$$

$R = \text{const}$ bo'lganda Joule quvvati: $P = I^2R$



5-rasm. R doimiy bo'lganda ajraladigan quvvatning tok kvadratiga bog'liqligi

8-misol

$R=10\ \Omega$ rezistordan $I=2\ A$ tok 5 min davomida o'tsa, quvvat $P=I^2R=40\ W$. Ajralgan issiqlik $Q=Pt=40\cdot 300=12000\ J=12\ kJ$.

9-misol

220 V tarmoqqa ulangan 100 W qurilma uchun tok $I=P/U\approx 0.455\ A$. Ekvivalent qarshilik $R=U^2/P=484\ \Omega$.

Quvvat formulalaridan foydalanishda qaysi kattaliklar doimiyligi muhim: masalan, R o'zgarmas bo'lsa $P\propto I^2$, U o'zgarmas bo'lsa $P=U^2/R$.

7. Tok manbai, EYuK va to'liq zanjir uchun Om qonuni

Tok manbai ichida elektrostatik bo'lmagan kuchlar zaryadlarni kichik potensialdan katta potensialga ko'chiradi. Manbaning elektr yurituvchi kuchi (EYuK) birlik musbat zaryadni manba ichida ko'chirishda tashqi kuchlar bajargan ish bilan aniqlanadi:

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

Real manbaning ichki qarshiligi r mavjud. Tashqi qarshilik R bilan yopiq zanjirda:

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

Manba klemmlaridagi kuchlanish tok berayotgan rejimda $U = \mathcal{E} - Ir$. r juda kichik bo'lsa ideal manba modeliga yaqinlashiladi.

10-misol

$\mathcal{E} = 12$ V, $r = 1$ Ω , $R = 5$ Ω bo'lsa $I = 12/(5+1) = 2$ A. Tashqi rezistordagi kuchlanish $U = IR = 10$ V. Manba ichidagi kuchlanish tushuvi $Ir = 2$ V va $\mathcal{E} = U + Ir$.

Kattalik	Formula	Mazmun
EYuK	$\mathcal{E} = A_{\text{tash}}/q$	Manbaning energiya berish qobiliyati
Ichki qarshilik	r	Manba ichidagi yo'qotish
Klemma kuchlanishi	$U = \mathcal{E} - Ir$	Yuklama ostidagi chiqish kuchlanishi
To'liq tok	$I = \mathcal{E}/(R+r)$	Yopiq zanjir toki

Qisqa tutashuvda $R \approx 0$ bo'lib, $I_{\text{qt}} \approx \mathcal{E}/r$ juda katta qiymatga chiqishi mumkin. Shu sababli elektr xavfsizligida himoya elementlari muhim.

8. Masala yechish algoritmi va dars metodikasi

Bosqich	Amal
1	Tok tashuvchilar va tok yo'nalishini aniqlash.
2	$I = q/t$, $j = I/S$ yoki $I = nqSv_d$ dan mosini tanlash.
3	Zanjir qismi uchun $I = U/R$ ni qo'llash.
4	Geometriya berilsa $R = \rho l/S$ dan foydalanish.
5	Temperatura o'zgarsa $R = R_0[1 + \alpha \Delta T]$ ni qo'llash.
6	Energetik masalada $P = UI$ va $Q = I^2 R t$ ni tanlash.
7	Manbaning r qiymati berilsa to'liq zanjir Om qonunini ishlatish.
8	Natijani birlik, tartib va fizik ma'no bo'yicha tekshirish.

11-misol: kompleks masala

20 °C da $R = 8$ Ω bo'lgan metall simning $\alpha = 0.004$ K⁻¹. U 70 °C gacha qizdirildi va 12 V manbaga ulandi. Avval yangi qarshilik:

$$R_{70} = 8[1 + 0.004(70 - 20)] = 9.6 \text{ } \Omega$$

Tok $I = 12/9.6 = 1.25$ A. Quvvat $P = UI = 15$ W. Agar temperatura hisobga olinmaganida $I = 1.5$ A chiqardi. Bu qarshilikning temperaturaga bog'liqligi real zanjir hisobida sezilarli ekanini ko'rsatadi.

Muammoli savollar

Nima uchun elektronlarning drift tezligi kichik bo'lsa ham elektr qurilma tez ishga tushadi? Nima uchun metall qiziganda R ortadi? I – U grafigining qiyaligi qarshilik bilan qanday bog'langan? Simning diametri ikki marta oshsa R necha marta o'zgaradi? Yarimo'tkazgichlarda temperatura ta'siri nima sababdan metallardan farq qiladi?

9. Asosiy formulalar, mustahkamlash va xulosa

Formula	Mazmuni
$I=dq/dt$	Tok kuchi
$j=I/S$	Tok zichligi
$I=nqSv_d$	Tokning mikroskopik ifodasi
$j=\sigma E$	Om qonunining lokal ko'rinishi
$I=U/R$	Zanjir qismi uchun Om qonuni
$R=\rho l/S$	O'tkazgich qarshiligi
$\sigma=1/\rho$	O'tkazuvchanlik
$R=R_0(1+\alpha\Delta T)$	Temperaturaviy bog'lanish
$P=UI=I^2R=U^2/R$	Elektr quvvati
$Q=I^2Rt$	Joule–Lenz qonuni
$I=\mathcal{E}/(R+r)$	To'liq zanjir uchun Om qonuni

Mustaqil yechish uchun topshiriqlar

1. 5 minutda 900 C zaryad o'tsa, tok kuchini toping.
2. $I=3$ A, $S=0.75$ mm² bo'lsa tok zichligini hisoblang.
3. $\rho=2.8\times 10^{-8}$ $\Omega\cdot m$, $l=15$ m, $S=2$ mm² sim qarshiligini toping.
4. 20 °C da 100 Ω bo'lgan metall rezistor $\alpha=0.0039$ K⁻¹. 120 °C dagi R ni toping.
5. 24 V kuchlanishda 6 Ω rezistorda tok, quvvat va 10 minutdagi issiqlikni hisoblang.
6. $\mathcal{E}=9$ V, $r=0.5$ Ω va $R=4$ Ω zanjirda tok va klemma kuchlanishini toping.

Xulosa

Doimiy elektr toki zaryad tashuvchilarning yo'nalgan harakati bo'lib, uning asosiy makroskopik xarakteristikalarini tok kuchi I va tok zichligi j hisoblanadi. Metallarda o'tkazuvchanlik erkin elektronlarning elektr maydondagi drift harakati bilan izohlanadi. Om qonuni $I=U/R$ elektr zanjirning asosiy bog'lanishini, $R=\rho l/S$ esa qarshilikning modda va geometriyaga bog'liqligini ifodalaydi. Metallarda temperatura ortishi panjara tebranishlari va elektronlar sochilishini kuchaytirib, qarshilikni oshiradi. Elektr toki energiya uzatadi va rezistiv muhitda Joule–Lenz qonuniga muvofiq issiqlikka aylanadi. Ushbu qonuniyatlar elektr zanjirlari, elektronika va keyingi elektromagnetizm mavzularini o'zlashtirish uchun fundamental asosdir.

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.