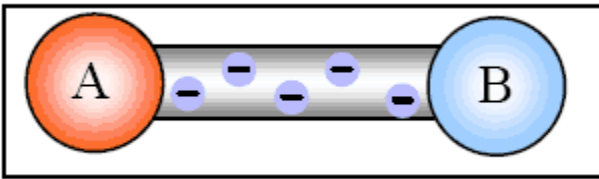


Curentul electric

Prin **curent electric** se înțelege deplasarea ordonată a purtătorilor de sarcină electrică, liberi într-un conductor (mediu), sub acțiunea unui câmp electric.

Trebuie subliniat faptul că mișcarea ordonată a purtătorilor de sarcină electrică, liberi, din conductor nu este o simplă mișcare rectilinie uniformă, ci reprezintă un fenomen complex, deoarece purtătorii de sarcină din conductor se găsesc într-o continuă mișcare haotică de agitație termică, suferind multiple accelerări, frânări și devieri datorită ciocnirilor dintre ei cât și datorită ciocnirilor cu ionii rețelei cristaline ce formează conductorul. Din aceste motive, putem vorbi numai de viteză medie a mișcării ordonate a purtătorilor de sarcină în conductor, sub acțiunea câmpului electric, care se numește viteză drift sau de antrenare. Această viteză are o valoare foarte mică: pentru un curent de 10A printr-un conductor de cupru cu secțiunea de 10mm^2 are valoarea $v_d=0,06\text{mm/s}$. Totuși, un curent electric se transmite cu o viteză foarte mare datorită faptului că printr-un conductor se propagă câmpul electric pe toată lungimea conductorului și acesta antrenează electronii sau ionii pe care îi întâlnește în cale. Din acest motiv conductorii se mai numesc și ghiduri de câmp electric.



Pentru a realiza un curent electric este necesar să se creeze un câmp electric într-un spațiu în care să se găsească purtători de sarcină liberi (electroni, ioni).

Realizarea câmpului electric se face cu ajutorul unei diferențe de potențial $\Delta V = V_A - V_B$. Purtătorii de sarcină se vor mișca până ce se va ajunge la echilibrul celor două potențiale, după care curentul electric încetează.

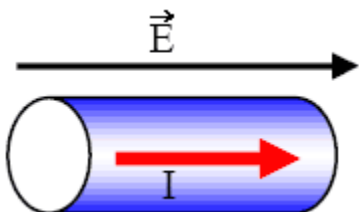
Efectele curentului electric

- efectul termic
- efectul magnetic
- efectul chimic

Intensitatea curentului electric I , este o mărime fizică scalară care măsoară sarcina electrică ce străbate secțiunea transversală a unui conductor în unitatea de timp:

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$
$$\langle I \rangle_{SI} = A$$

Indiferent de tipul purtătorilor de sarcină mobili, sensul convențional al curentului electric este dat de sensul intensității câmpului electric, adică sensul scăderii potențialului.

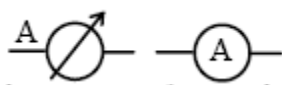


Măsurarea intensității curentului electric se face cu ajutorul ampermetrului care se conectează în serie cu circuitul prin care este curentul electric.

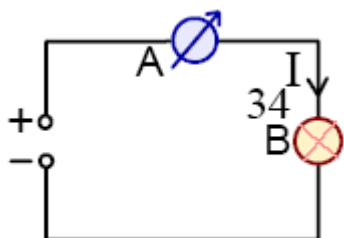
Ampermetrul este aparat electric care măsoară intensitatea curentului prin efectele sale. Astfel, există:

- ampermetre magnetoelectrice
- ampermetre feromagnetice
- ampermetre termice
- ampermetre cu semiconductoare

Simbolul de reprezentare al ampermetrului este:



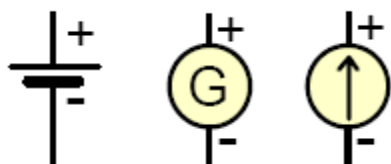
Pentru menținerea curentului electric, trebuie ca tensiunea electrică pe porțiunea AB să fie menținută constantă. Acest lucru se va putea realiza dacă purtătorii de sarcină sunt readuși la cele două capete ale conductorului, printr-un alt traseu.



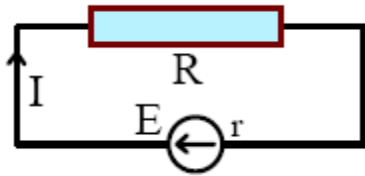
Pentru aceasta este necesar să se cheltuiască energie ca să se învingă lucrul mecanic al forțelor electrice. Rezultă că, pentru a întreține un curent electric constant, printr-un conductor, este nevoie de o **sursă electrică de energie**, cu denumirea de **generator electric**, care este conectat prin conductori de legătură la capetele conductorului AB, astfel se realizează un circuit electric.

Generatorul electric este un dispozitiv care transformă o formă de energie: chimică, mecanică, optică, termică etc. în energie electrică. Astfel, ele se numesc: pile, dinamuri, alternatoare, celule fotoelectrice.

Simbolul de reprezentare al unui generator electric este redat în figura de mai jos.



Sursele de curent electric asigură o diferență de potențial ΔV constantă, adică un câmp electric sub acțiunea căruia electronii de pe întregul circuit sunt antrenați într-o mișcare ordonată cu viteză constantă.

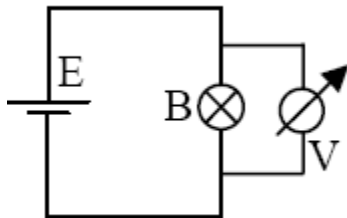


Schema unui circuit electric trebuie să cuprindă: un generator, conductoare de legătură și consumatorii electrici. Generatorul electric este caracterizat de tensiunea electromotoare E necesară pentru a produce lucrul mecanic în deplasarea sarcinilor electrice pe întregul circuit, atât în interiorul lui cât și pe porțiunea exterioară a acestuia. Se poate scrie relația energetică pe un astfel de circuit: $W = W_{\text{ext}} + W_{\text{int}}$

Dacă raportăm energiile la unitatea de sarcină electrică se obține:

$$E = U + u$$

unde " E " este tensiunea electromotoare a sursei, " U " este tensiunea la bornele consumatorului iar " u " este căderea de tensiune din interiorul generatorului.



Măsurarea tensiunilor se face cu ajutorul voltmetrului V care trebuie conectat în paralel cu elementul de circuit (generator, consumator, conductori de legătură, rezistor, etc.). Din cele relatate mai sus rezultă că din întreaga energie cheltuită $W = E \cdot q$ numai o parte este utilă $W_{\text{ext}} = U \cdot q$ deci randamentul unei surse electrice este:

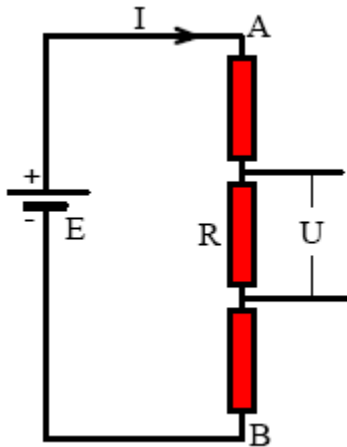
$$\eta = \frac{U}{E}$$

Cu cât căderea de tensiune în interiorul sursei este mai mare, cu atât randamentul acesteia este mai mic. Pentru aceasta se proiectează generatoare care să aibă pierderi cât mai mici în interiorul lor.

Legea lui Ohm

"... ești om cu mine, sunt om cu tine" :)

A. Legea lui Ohm pe o porțiune de circuit



Considerând un circuit electric format din mai mulți consumatori și un generator electric, se poate aprecia ușor că între punctele A și B potențialul electric scade, deoarece curentul electric circulă de la A către B. Măsurând tensiunea U la bornele unui consumator și intensitatea I a curentului electric prin el se constată că rapoartele:

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \dots = \text{ct} \quad \text{sau} \quad \frac{U}{I} = R$$

Căderea de tensiune U pe o porțiune de circuit este proporțională cu intensitatea I a curentului electric prin acea porțiune a circuitului.

$$U = RI$$

Constanta de proporționalitate dintre căderea de tensiune și intensitatea curentului electric se numește rezistență electrică și se notează cu R. Unitatea de măsură pentru rezistența electrică se deduce din expresia:

$$R = \frac{U}{I}$$
$$\langle R \rangle_{\text{SI}} = \frac{\langle U \rangle_{\text{SI}}}{\langle I \rangle_{\text{SI}}} = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega$$

Rezistența electrică R caracterizează orice consumator electric și depinde de elementele constructive ale acestuia:

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

unde ρ caracterizează materialul din care este confecționat consumatorul și se numește **rezistivitate electrică**.

Rezistivitatea electrică depinde de temperatura conductorului:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$

unde ρ_0 este rezistivitatea la 0°C , iar α este coeficientul termic al rezistivității.

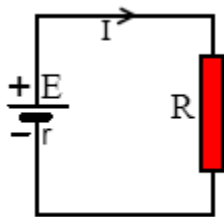
Rezistența electrică depinde și ea de temperatură:

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

Tabel cu caracteristici electrice ale unor substanțe

Substanța	$\rho_0 (\Omega \cdot m)$	$\rho (\Omega \cdot m) (20^\circ)$	$\alpha (\text{grd}^{-1})$
Nichelină	$3 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	0,0001
Aur	$1,92 \cdot 10^{-8}$	$2,24 \cdot 10^{-8}$	0,0083
Cupru	$1,48 \cdot 10^{-8}$	$1,68 \cdot 10^{-8}$	0,0068
Fier	$8,59 \cdot 10^{-8}$	$9,71 \cdot 10^{-8}$	0,0065
Argint	$1,42 \cdot 10^{-8}$	$1,59 \cdot 10^{-8}$	0,0061
Wolfram	$5,02 \cdot 10^{-8}$	$5,47 \cdot 10^{-8}$	0,0045
Platină	$9,83 \cdot 10^{-8}$	$10,6 \cdot 10^{-8}$	0,0039
Aluminiu	$2,44 \cdot 10^{-8}$	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,0043
Mercur	$94,1 \cdot 10^{-8}$	$95,8 \cdot 10^{-8}$	0,0009

B. Legea lui Ohm pe întregul circuit



Pentru un circuit electric simplu, format dintr-un generator cu tensiunea electromotoare E și rezistența internă r , care alimentează un consumator electric R , se poate scrie:

$$E = U + u$$

Aplicând legea lui Ohm pe fiecare porțiune de circuit: $U = RI$ și $u = rI$ și după înlocuiri se obține:

$$E = I(R + r)$$

sau:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Intensitatea curentului electric, printr-un circuit electric închis, este direct proporțională cu tensiunea electromotoare E a sursei și invers proporțională cu rezistența electrică totală a circuitului.

Tensiunea la bornele sursei, în circuit închis, este:

$$\mathbf{U=E-rI}$$

Pentru un circuit deschis (întrerupt) curentul electric este nul, deci:

$$\mathbf{U=E}$$

Pentru scurtcircuit rezistența exterioară devine nulă, iar curentul este:

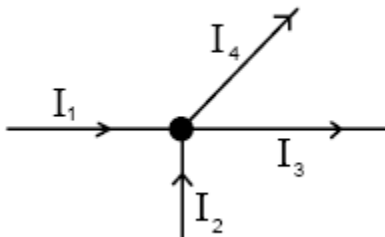
$$\mathbf{I_{sc}=E/r}$$

Curentul de scurtcircuit este curentul maxim pe care îl poate furniza un generator electric.

Legile lui Kirchhoff

În tehnica modernă se utilizează circuite electrice mult mai complicate, cu multe ramificații, numite rețele electrice, ce au următoarele elemente:

- nodurile** reprezintă puncte din rețea în care se întâlnesc cel puțin trei curenți electrici;
- ramurile** de rețea sunt porțiuni din rețeaua electrică cuprinse între două noduri succesive;
- ochiurile** de rețea sunt contururi poligonale închise, formate dintr-o succesiune de rezistori și surse.



Prima lege a lui Kirchhoff este o expresie a conservării sarcinii electrice într-un nod al unei rețele electrice. Este evident că sarcina electrică totală ce pătrunde într-un nod de rețea trebuie să fie egală cu sarcina electrică ce părăsește acel nod:

$$Q_1+Q_2=Q_3+Q_4$$

Mișcarea sarcinilor electrice efectuându-se în același timp, se poate scrie:

$$I_1+I_2=I_3+I_4$$

$$\mathbf{I_1+I_2 - I_3 - I_4 = 0}$$

sau

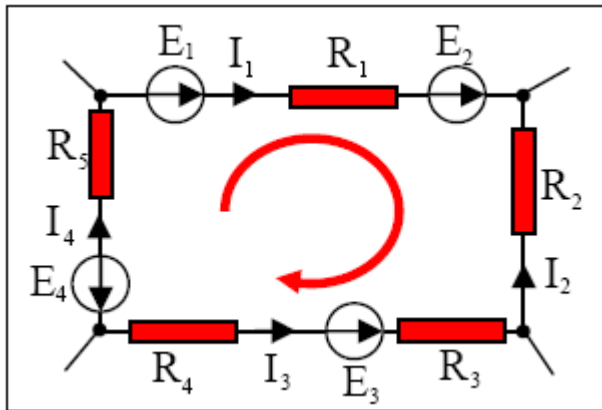
Suma algebrică a intensităților curenților electrici care se întâlnesc într-un nod de rețea este egală cu zero.

$$\sum I_k = 0$$

A doua lege a lui Kirchhoff se referă la ochiuri de rețea și afirmă că:

suma algebrică a tensiunilor electromotoare dintr-un ochi de rețea, este egală cu suma algebrică a căderilor de tensiune pe rezistorii din acel ochi de rețea

$$\sum E_k = \sum R_k I_k$$



Pentru scrierea ecuației se alege un sens de referință și se consideră pozitive tensiunile care au același sens cu cel de referință, la fel și pentru intensitățile curenților:

$$E_1 + E_2 - E_3 - E_4 = R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_3 I_3 - R_4 I_3 + R_5 I_4$$

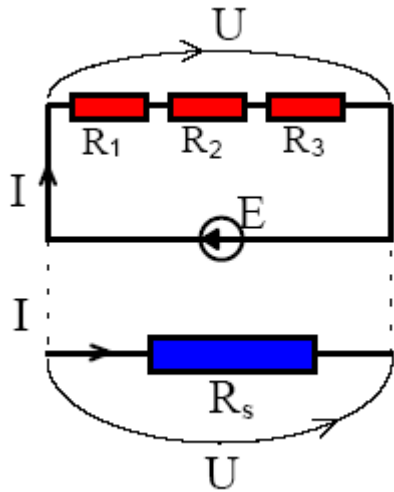
Gruparea rezistoarelor

Orice porțiune a unui circuit electric comunică cu restul circuitului printr-un număr oarecare de borne. Cea mai simplă situație este cazul în care porțiunea de circuit este un dipol. Dacă dipolul este pasiv (nu conține generatoare), fiind format numai din rezistoare, atunci el poate fi înlocuit cu un singur rezistor, numit rezistor echivalent, astfel încât restul circuitului să nu "simtă" înlocuirea.

Un rezistor este echivalent unei grupări de rezistoare dacă, la aplicarea aceleiași tensiuni la bornele rezistorului echivalent ca și la bornele grupării, circulă un curent electric cu aceeași intensitate.

A. Gruparea serie

Două sau mai multe rezistoare sunt conectate în serie dacă aparțin aceleiași ramuri dintr-o rețea electrică. Rezistoarele grupate în serie sunt parcurse de același curent electric.



Considerând un grup de trei rezistori conectați în serie, la bornele fiecărui rezistor se va regăsi câte o tensiune U_1 ; U_2 și U_3 încât se poate scrie:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Pe baza legii lui Ohm pe fiecare rezistor rezultă:

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$\text{sau } U = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

Aplicăm aceeași lege la circuitul echivalent:

$$U = IR_s$$

Rezultă următoarea relație: $R_s = R_1 + R_2 + R_3$

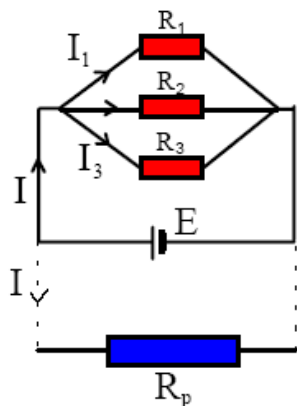
În cazul general, când sunt conectate n rezistoare în serie

$$R_s = \sum_{k=1}^n R_k$$

Rezistența echivalentă R_s este întotdeauna mai mare decât oricare dintre rezistențele R_k .

B. Gruparea paralel

Două sau mai multe rezistoare sunt grupate în paralel dacă sunt conectate între aceleași două noduri.



Rezistoarele grupate în paralel au aceeași tensiune la borne. Conform legii I a lui Kirchhoff

$$I=I_1+I_2+I_3$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

sau

$$I = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

și

$$I = \frac{U}{R_p}$$

Pentru circuitul echivalent

De unde rezultă:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Sau în cazul în care sunt conectați în paralel n rezistori

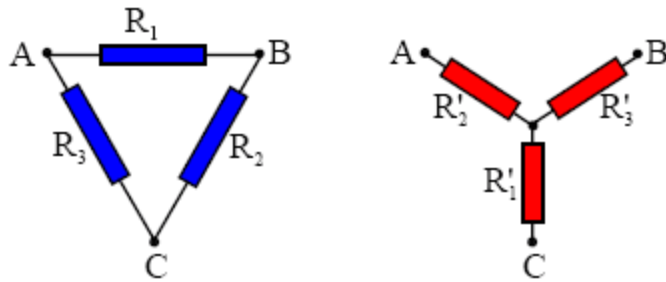
$$\frac{1}{R_p} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

Rezistența echivalentă R_p este întotdeauna mai mică decât oricare din rezistențele R_k . Pentru cazul în care sunt conectate doar două rezistoare în paralel este comod de calculat rezistența echivalentă folosind relația:

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

C. Transformarea stea-triunghi

Dacă o porțiune de circuit comunică cu restul circuitului prin trei borne, structurile cele mai simple sunt: gruparea în triunghi și gruparea stea.



Se poate demonstra că cele două grupări sunt echivalente dacă și numai dacă ele sunt echivalente în raport cu oricare două dintre borne, a treia fiind neconectată ("în aer"). Pentru gruparea triunghi, în raport cu bornele A și B, rezistența echivalentă este:

$$R_{AB}^{\Delta} = \frac{R_1 R_{23}}{R_1 + R_{23}} \quad \text{în care } R_{23} = R_2 + R_3$$

$$R_{AB}^{\Delta} = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

deci:

La gruparea stea, în raport cu bornele A și B (cu borna C neconectată) rezistența echivalentă este:

$$R_{AB}^Y = R_2' + R_3'$$

Impunând condiția de echivalență a celor două circuite:

$$R_{AB}^{\Delta} = R_{AB}^Y$$

rezultă:

$$R_2' + R_3' = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Relațiile corespunzătoare celorlalte perechi de puncte: B și C apoi C și A.

$$R_1' + R_3' = \frac{R_2 R_1 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_2' + R_1' = \frac{R_3 R_2 + R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Rezolvăm sistemul de ecuații în raport cu rezistențele R_1' , R_2' și R_3'

Obținem:

$$R_1' = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

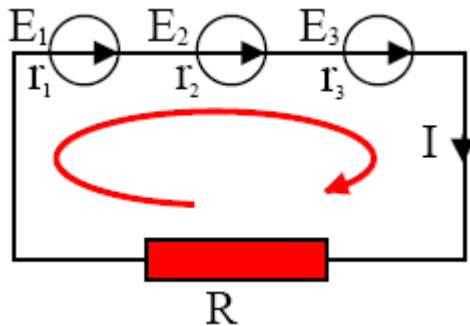
$$R_2' = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_3' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Gruparea generatoarelor

A. Gruparea serie

Pentru a grupa în serie mai multe generatoare se leagă borna negativă a unui generator cu borna pozitivă a următorului generator ș.a.m.d.



Să considerăm trei generatoare cu t.e.m. E_1 , E_2 și E_3 și cu rezistențele interne r_1 , r_2 și r_3 , conectate în serie și care alimentează un consumator rezistiv R . Prin aplicarea legii a II-a a lui Kirchhoff pe circuitul dat, se obține: $E_1 + E_2 + E_3 = IR + Ir_1 + Ir_2 + Ir_3$

$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{R + (r_1 + r_2 + r_3)}$$

de unde:

Prin comparație cu legea lui Ohm pe un circuit închis:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

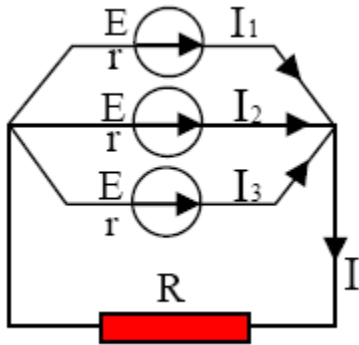
se constată că prin legarea în serie a generatoarelor:

- tensiunea electromotoare este egală cu suma t.e.m. a generatoarelor: $E = E_1 + E_2 + E_3$

- rezistența internă este egală cu suma rezistențelor generatoarelor: $r = r_1 + r_2 + r_3$

B. Gruparea paralel

Pentru gruparea paralel a generatoarelor, se leagă la un loc bornele pozitive și de asemenea se leagă împreună bornele negative.



Considerăm trei generatoare identice cu t.e.m. E și rezistența interioară r , grupate în paralel și care alimentează un consumator cu rezistența R . Aplicând legile lui Kirchhoff pe circuit se obțin:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$E = I_1 r + IR$$

$$\text{Dar: } I_1 = I_2 = I_3 \text{ deci } I = 3I_1$$

Rezultă:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{3}}$$

Se constată că t.e.m. este E dar rezistența internă devine $r/3$.

Energia și puterea electrică

Câmpul electric creat de generator determină trecerea prin circuit a unui curent electric. Energia curentului electric măsoară lucrul mecanic necesar pentru a transporta o sarcină electrică q printr-o secțiune din circuit într-un interval de timp Δt , deci se poate scrie:

$$W = Uq$$

$$\text{sau } W = UI\Delta t$$

Dacă, consumatorul este caracterizat numai prin rezistență, energia este:

$$W = RI^2\Delta t$$

Sau după înlocuirea intensității curentului, din legea lui Ohm, se obține:

$$W_{\text{ext}} = \frac{R \cdot E^2}{(R + r)^2} \Delta t$$

În mod asemănător, se poate scrie energia pe circuitul interior:

$$W_{\text{int}} = \frac{rE^2}{(R + r)^2} \Delta t$$

Energia consumată pe întregul circuit se obține prin însumare și este:

$$W_{\text{gen}} = \frac{E^2}{(R + r)} \Delta t$$

Randamentul arată ce fracțiune din energia dată de generator este utilă. Pe baza celor trei energii disipate pe un circuit electric se poate calcula randamentul circuitului electric simplu:

$$\eta = \frac{W_{\text{ext}}}{W_{\text{gen}}} = \frac{R}{R + r}$$

Această relație arată că randamentul este are o valoare subunitară care depinde de valoarea rezistențelor din circuit (internă și externă).

Puterea curentului electric se poate exprima ținând cont de formula de definiție a puterii:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

Ținând cont de expresiile celor trei energii se obține:

$$P_{\text{gen}} = \frac{E^2}{R + r}$$

$$P_{\text{ext}} = \frac{RE^2}{(R + r)^2}$$

$$P_{\text{int}} = \frac{rE^2}{(R + r)^2}$$

Puterea pe care o furnizează generatorul către circuitul exterior este influențată de valoarea rezistenței exterioare R.

$$P = \frac{RE^2}{(R + r)^2}$$

de unde se obține următoarea ecuație cu variabila R

$$PR^2 + (2Pr - E^2)R + Pr^2 = 0$$

Această ecuație admite următoarele soluții pentru rezistența R:

$$R_{1,2} = \frac{E^2 - 2Pr \pm E\sqrt{E^2 - 4Pr}}{2P}$$

Pentru ca valorile să aibă sens fizic trebuie ca:

$E^2 - 4Pr \geq 0$ deci $E^2 \geq 4Pr$, de unde

$$P \leq \frac{E^2}{4r}$$

deci puterea maximă este

$$P_{\text{max}} = \frac{E^2}{4r}$$

Din compararea cu expresia puterii disipată pe circuitul exterior,

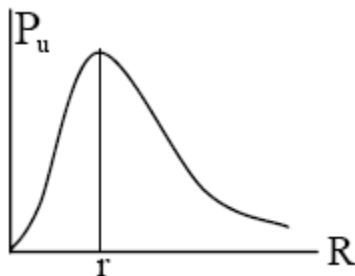
$$P = \frac{RE^2}{(R+r)^2}$$

se obține: $R^2 - 2Rr + r^2 = 0$

sau $(R-r)^2 = 0$

de unde: $R = r$

Aceasta reprezintă condiția pentru **transferul optim de putere** într-un circuit electric.



Pentru un circuit electric cu valori date pentru t.e.m. E și r rezistența internă a generatorului se poate reprezenta graficul puterii utile în funcție de valorile rezistenței externe, de unde se vede că acesta prezintă un maxim pentru valoarea $R=r$.