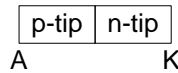


VJEŽBE 2

Dioda – kratak izvod iz teorije neophodan za rješavanje zadataka

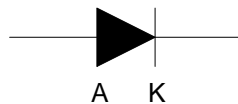
Napomena: Izvod iz teorije koji se daje na početku vježbi je neophodan za rješavanje zadataka. Ova teorija nije dovoljna za odgovaranje na teorijska pitanja na kolokvijumima i završnom ispitu.

Dioda je poluprovodnički element koji se sastoji od dva tipa poluprovodnika, p i n tipa, i često se naziva p-n spoj. U p tipu poluprovodnika većinski nosioci naelektrisanja su šupljine, dok su u n tipu poluprovodnika većinski nosioci naelektrisanja elektroni.



Slika 1: p-n spoj sa označenom anodom (A) i katodom (K)

Simbol za diodu koji se koristi u šemama je dat na slici 2.

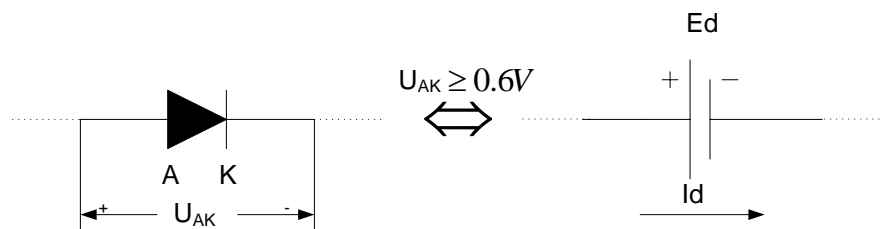


Slika 2: Simbolička oznaka za diodu koja se koristi u električnim šemama

U zadacima ćemo koristiti ili diodu sa zadatim padom napona na direktno polarisanom spoju AK ili idealnu diodu. Koji se slučaj razmatra u konkretnom zadatku, biće jasno naglašeno.

Ukoliko je zadata dioda sa datim padom napona na direktno polarisanom spoju AK, koji iznosi $Ed = 0.6V$, mogu postojati dva slučaja:

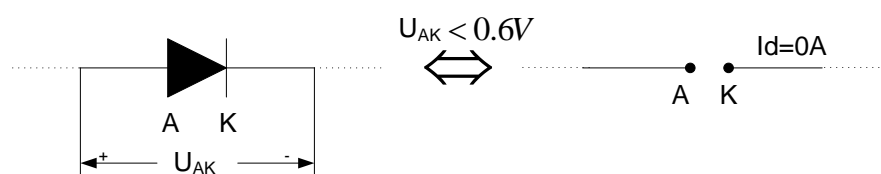
1. Dioda je direktno polarisana i napon $U_{AK} \geq 0.6V$, što je dovoljno da se savlada potencijalna barijera p-n spoja. U ovom slučaju dioda provodi, **smjer struje je od anode ka katodi i dioda se zamjenjuje baterijom čija je elektromotorna sila jednaka padu napona na direktno polarisanoj diodi $Ed = 0.6V$** , slika 3.



Slika 3: Dioda sa zadatim padom napona na direktno polarisanom spoju A-K u slučaju kada provodi

Smjer struje kroz diodu mora biti od anode ka katodi.

2. Napon na p-n spoju $U_{AK} < 0.6V$ nije dovoljan za savladavanje potencijalne barijere ili je dioda inverzno polarisana. U ovom slučaju dioda ne provodi, nema struje kroz nju $Id = 0A$, i predstavlja prekid u kolu (otvoreni prekidač), slika 4.

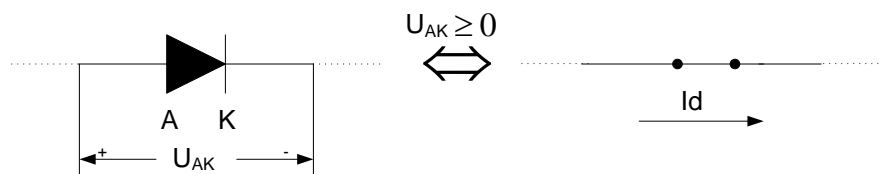


Slika 4: Dioda sa zadatim padom napona na direktno polarisanom spoju A-K u slučaju kada ne provodi

IDEALNA DIODA

Ukoliko je u postavci zadatka rečeno da se posmatra idealna dioda, opet se razlikuju dva slučaja.

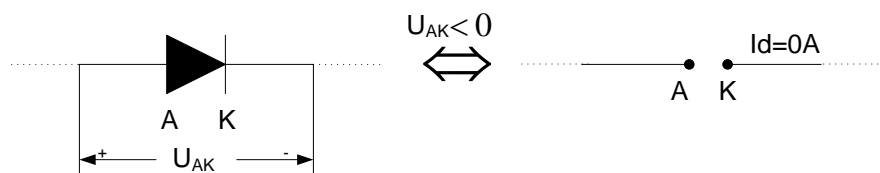
1. Dioda je direktno polarisana i napon $U_{AK} \geq 0$, što je dovoljno da se savlada potencijalna barijera p-n spoja. U ovom slučaju dioda provodi, **smjer struje je od anode ka katodi i dioda se zamjenjuje kratkim spojem (zatvorenim prekidačem)** slika 5.



Slika 5: Idealna dioda u slučaju kada provodi

Smjer struje kroz diodu mora biti od anode ka katodi.

2. Dioda je inverzno polarisana $U_{AK} < 0V$. U ovom slučaju dioda ne provodi, nema struje kroz nju $I_d = 0A$, i predstavlja prekid u kolu (otvoreni prekidač), slika 6.

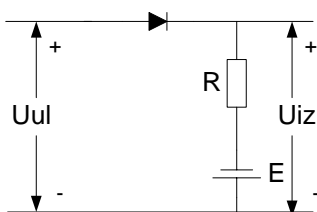


Slika 6: Idealna dioda u slučaju kada ne provodi

**** Važno je zapamtiti da u slučaju kada dioda ne provodi ne znamo tačno vrijednost za napon U_{AK} , znamo samo da nije dovoljna za savladavanje potencijalne barijere, ali znamo da nema struje $I_d = 0A$.

ZAD. 1 Za kolo sa slike 7 odrediti struju kroz diodu I_d i izlazni napon U_{iz} . Poznate su vrijednosti: $E = 4.5V$, $R = 10K\Omega$, dioda je idealna.

a) $U_{ul} = 6V$, b) $U_{ul} = -6V$

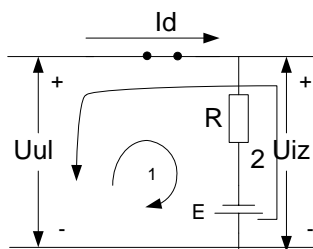


Slika 7

Rješenje:

Sa slike 7 se vidi da na diodu djeluje i ulazni napon i baterija. U ovakvim slučajevima najčešće ne možemo bez proračuna sa sigurnošću utvrditi da li dioda provodi ili ne, pa pretpostavimo da provodi. Nakon uvođenja pretpostavke da dioda provodi crtamo odgovarajuću zamjensku šemu i računamo struju kroz diodu. Ukoliko je dobijeni rezultat pozitivan, pretpostavka je dobra - dioda provodi, i ovu šemu možemo koristiti za dalji proračun. Ukoliko se dobije negativna vrijednost za intenzitet struje dioda ne provodi, jer bi negativna vrijednost značila da struja teče od katode ka anodi što je nemoguće kod standardnih dioda. U ovom slučaju crtamo zamjensku šemu u kojoj dioda predstavlja otvoreni prekidač i tu šemu koristimo za dalje proračune.

Dakle, i za dio zadatka pod a) i pod b) pretpostavljamo da dioda provodi. Pošto je dioda idealna zamjenjujemo je zatvorenim prekidačem i znamo da ako ima struje kroz diodu smjer joj mora biti od anode ka katodi, pa dobijamo šemu datu na slici 8.



Slika 8

Iz konture 1, imamo:

$$U_{ul} - RId + E = 0$$

$$U_{ul} + E = RId$$

$$Id = \frac{U_{ul} + E}{R}$$

Sada zamjenjujemo brojne vrijednosti i gledamo da li je tačno da dioda provodi.

a) $U_{ul} = 6V$

$$Id = \frac{6V + 4.5V}{10K\Omega} = \frac{10.5V}{10K\Omega}$$

$$Id = 1.05mA > 0$$

Struja je veća od nule pa zaključujemo da je tačna pretpostavka da dioda provodi i da šemu datu na slici 8 možemo koristiti za dalji proračun. Iz konture 2 ćemo odrediti izlazni napon:

$$U_{iz} - U_{ul} = 0$$

$$U_{iz} = U_{ul}$$

$$U_{iz} = 6V$$

Birali smo konturu 2 za izračunavanje izlaznog napona na ovaj način da bi što manje računali, i da smo prošli kroz otpornik R i bateriju E dobili bi isti rezultat (provjerite).

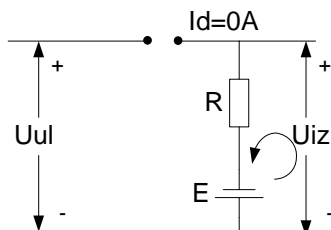
b) $U_{ul} = -6V$

$$Id = \frac{U_{ul} + E}{R}$$

$$Id = \frac{-6V + 4.5V}{10K\Omega} = \frac{-1.5V}{10K\Omega}$$

$$Id = -0.15mA < 0$$

Struja je manja od nule pa zaključujemo da nije tačna pretpostavka da dioda provodi i da šemu datu na slici 8 ne možemo koristiti za dalji proračun, već **moramo** crtati šemu u kojoj je dioda zamijenjena otvorenim prekidačem, obzirom da ne provodi. Dakle, crtamo šemu na slici 9 i iz nje računamo izlazni napon.



Slika 9

Obilazeći konturu u smjeru koji je prikazan na slici 9 dobijamo:

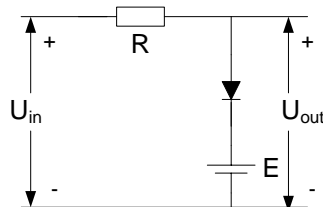
$$U_{iz} + E = 0$$

$$U_{iz} = -E$$

$$U_{iz} = -4.5V$$

ZAD. 2 Za kolo sa slike 10 odrediti struju kroz diodu I_d i izlazni napon U_{out} . Poznate su vrijednosti: $E = 1.3V$, $R = 47K\Omega$ i pad napona na direktno polarisanoj diodi $E_d = 0.6V$.

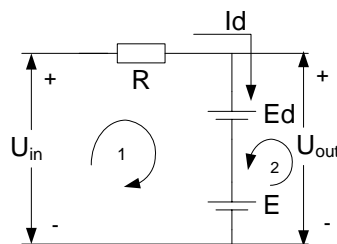
a) $U_{in} = 5V$, b) $U_{in} = -5V$



Slika 10

Rješenje:

I u ovom zadatku na diodu djeluju istovremeno ulazni napon i baterija. Stoga, pretpostavljamo da dioda provodi. Nije idealna pa je zamijenjujemo baterijom čija je elektromotorna sila $E_d = 0.6V$ (plus kraj na mjestu gdje je bila anoda diode, a minus na mjestu gdje je bila katoda). Ukoliko dioda provodi smjer struje mora biti od anode ka katodi, dobijamo sliku 11.



Slika 11

Obilazimo konturu 1 da bi izračunali I_d , dobijamo:

$$U_{in} - RI_d - E_d - E = 0$$

$$U_{in} - E_d - E = RI_d$$

$$I_d = \frac{U_{in} - E_d - E}{R}$$

a) $U_{in} = 5V$, zamijenimo brojne vrijednosti i dobijemo vrijednost za intenzitet struje:

$$I_d = \frac{5V - 0.6V - 1.3V}{47K\Omega}$$

$$I_d = \frac{3.1V}{47K\Omega}$$

$$I_d = 0.066mA$$

$I_d > 0$, dakle tačna je pretpostavka da dioda provodi i možemo šemu sa slike 14 koristiti za postavljanje relacija za izračunavanje izlaznog napona U_{out} . Obilazeći konturu 2 na slici 11, pišemo:

$$U_{out} - E_d - E = 0$$

$$U_{out} = Ed + E$$

$$U_{out} = 0.6V + 1.3V$$

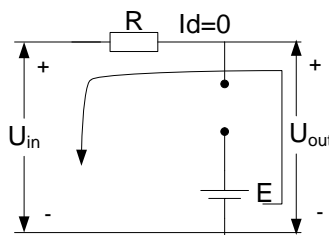
$$U_{out} = 1.9V$$

a) $U_{in} = -5V$, zamijenimo brojne vrijednosti u izrazu za I_d i dobijemo:

$$I_d = \frac{-5V - 0.6V - 1.3V}{47K\Omega}$$

$$I_d = \frac{-6.9V}{47K\Omega} < 0$$

Dobili smo da je struja manja od nule što bi značilo da je smjer suprotan od pretpostavljenog. Obzirom da je u pitanju standardna dioda smjer je ili od anode ka katodi ili nema struje kroz diodu. Dakle, zaključujemo da nema struje kroz diodu i da se za izračunavanje izlaznog napona ne može koristiti šema sa slike 11. Dioda ne provodi, pa crtamo šemu u kojoj je zamjenjujemo otvorenim prekidačem (slika 12).



Slika 12

Na osnovu šeme sa slike 12, obilazeći konturu u smjeru koji je prikazan na slici, izračunavamo izlazni napon:

$$U_{out} - U_{in} = 0$$

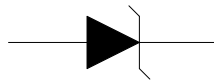
$$U_{out} = U_{in}$$

$$U_{out} = -5V$$

Primjetite da prilikom obilaženja konture nismo uzeli u obzir pad napona na otporniku R . Postupili smo na ovaj način jer kroz otpornik ne protiče struja $I_d = 0A$, pa samim tim nema ni pada napona na njegovim krajevima.

ZENNER DIODA

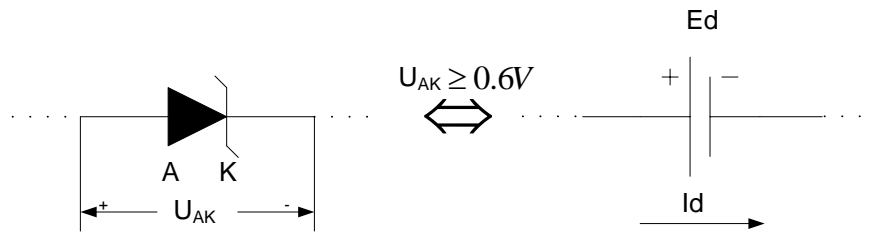
Simbol za Zenner diodu je:



Svaka Zenner dioda se karakteriše naponom zenner-ovog proboja V_z .

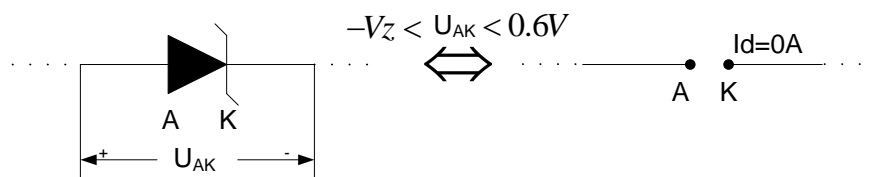
Postoje tri režima rada:

1. Dioda je direktno polarisana i napon $U_{AK} \geq 0.6V$, što je dovoljno da se savlada potencijalna barijera p-n spoja. U ovom slučaju dioda provodi, **smjer struje je od anode ka katodi i dioda se zamjenjuje baterijom čija je elektromotorna sila jednaka padu napona na direktno polarisanoj diodi $Ed = 0.6V$** , slika 13.



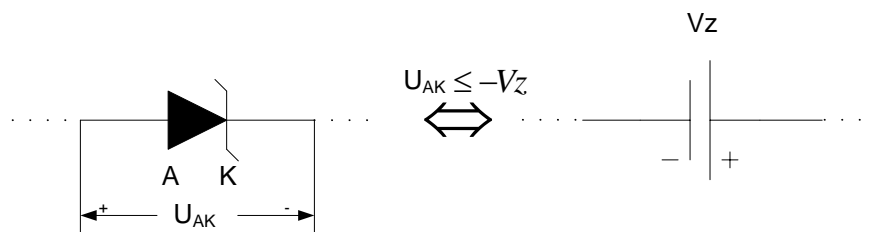
Slika 13

2. Napon na p-n spoju $U_{AK} < 0.6V$ nije dovoljan za savladavanje potencijalne barijere ili je dioda inverzno polarisana ali naponom $U_{AK} > -V_Z$ koji nije dovoljan da dovede do zenner-ovog proboja. U ovom slučaju dioda ne provodi, nema struje kroz nju $I_d = 0A$, i predstavlja prekid u kolu (otvoreni prekidač), slika 14.



Slika 14

3. Ukoliko je dioda inverzno polarisana i taj napon je veći (po apsolutnoj vrijednosti) od napona V_Z $U_{AK} \leq -V_Z$ dioda će provesti. Zenner dioda se najčešće koristi upravo u ovom režimu rada za stabilizaciju napona. Kada dođe do zenner-ovog proboja, dioda se zamjenjuje baterijom čija je elektromotorna sila jednaka naponu zennerovog proboja V_Z , koji je praktično konstantan, slika 15.

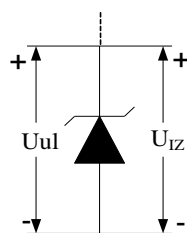


Slika 15

Obratite pažnju na polaritet baterije. Suprotan je od onog za bateriju u slučaju kada je dioda direktno polarisana i provodi.

Zad. 1 Koliki je izlazni napon U_{IZ} ako je poznat napon Zenner-ovog proboja $V_Z = 5V$? Poznato je:

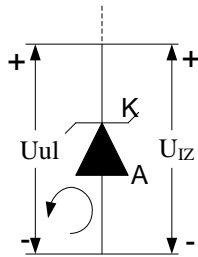
- a) $U_{ul} = 7V$, b) $U_{ul} = -7V$.



Slika 16

Rješenje:

Potrebno je odrediti koliki je napon U_{AK} da bi vidjeli u kojem je režimu dioda, slika 17.



Slika 17

Na osnovu slike 17 pišemo:

$$-U_{AK} - U_{ul} = 0$$

$$-U_{AK} = U_{ul}$$

$$U_{AK} = -U_{ul}$$

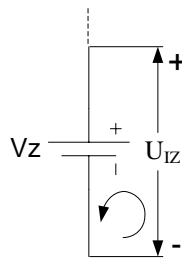
Pa zavisno od vrijednosti ulaznog napona dobijamo:

a) $U_{in} = 7V$, pa će biti:

$$U_{AK} = -U_{ul}$$

$$U_{AK} = -7V < -V_z = -5V$$

Dakle, dioda je inverzno polarisana naponom koji je dovoljan da dodje do Zennerovog proboja, što odgovara III režimu. Dioda se zamjenjuje baterijom čija će elektromotorna sila biti $E = -V_z = -5V$, dobijamo šemu datu na slici 19.



Slika 19

Na osnovu slike 19 pišemo:

$$U_{iz} - V_z = 0$$

$$U_{iz} = V_z$$

$$U_{iz} = 5V$$

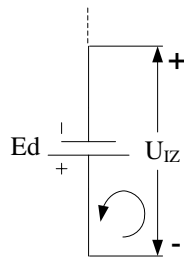
b) Ako je $U_{in} = -7V$, znajući da je $U_{AK} = -U_{ul}$, dobijamo:

$$U_{AK} = -U_{ul}$$

$$U_{AK} = -(-7V)$$

$$U_{AK} = 7V$$

Dakle, dioda je direktno polarisana i zamjenjujemo je baterijom čija je elektromotorna sila $E_d = 0.6V$. Dobijamo sliku 20.



Slika 20

Na osnovu slike 20 pišemo:

$$U_{iz} + Ed = 0$$

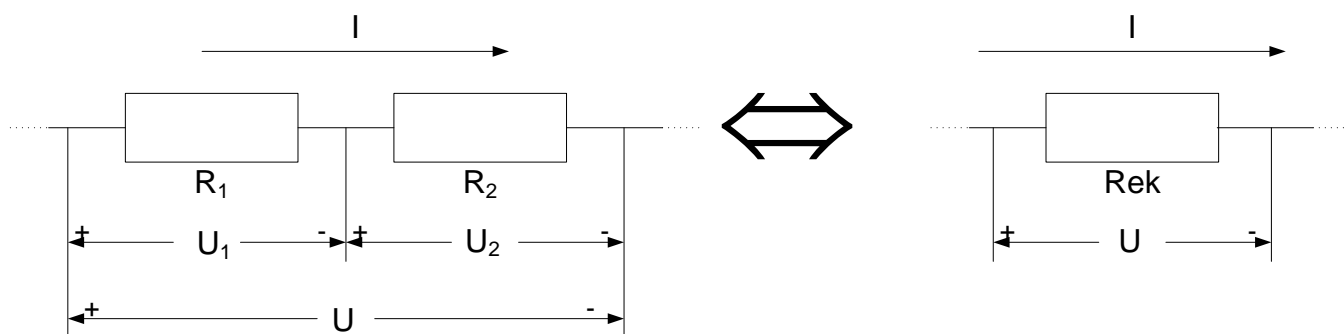
$$U_{iz} = -Ed$$

$$U_{iz} = -0.6V$$

PODSJEĆANJE – REDNA I PARALELNA VEZA OTPORNIKA

Redno vezani otpornici prikazani na slici 21 se mogu zamijeniti ekvivalentnom otpornošću Re_k , pri čemu je:

$$Re_k = R_1 + R_2$$



Slika 21: Redna veza otpornika i ekvivalentna otpornost

Prethodna formula se može izvesti ukoliko se posmatra lijeva šema na slici 21, odakle slijedi:

$$U = U_1 + U_2$$

$$U = R_1 I + R_2 I$$

$$U = I(R_1 + R_2)$$

Sa desne šeme na istoj slici slijedi:

$$U = Re_k \cdot I$$

Da bi ove dvije šeme bile ekvivalentne mora biti zadovoljen uslov:

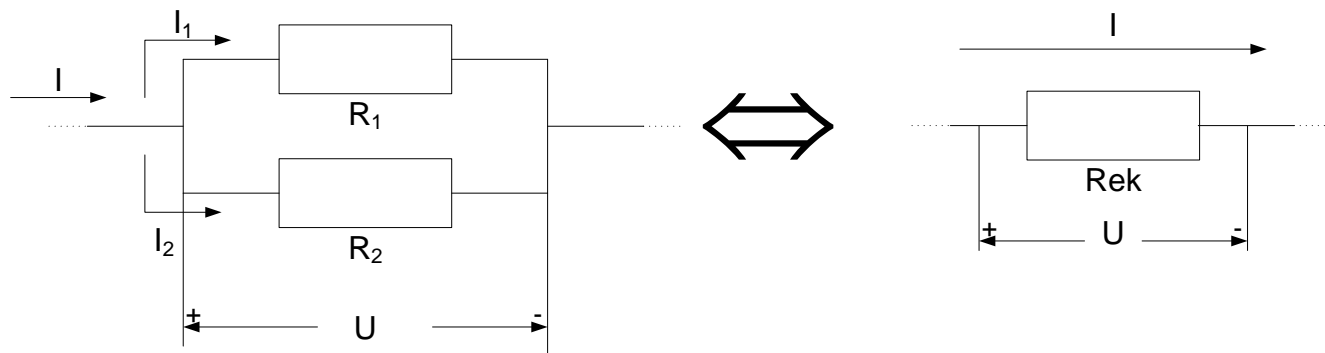
$$Re_k = R_1 + R_2$$

Redna veza N otpornika:

$$Re_k = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

Paralelno vezani otpornici prikazani na slici 22 se mogu zamijeniti ekvivalentnom otpornošću Re_k , pri čemu je:

$$R_{ek} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



Slika 22: Paralelna veza otpornika i ekvivalentna otpornost

Prethodna formula se može izvesti ukoliko se posmatra lijeva šema na slici 22, odakle slijedi:

$$I = I_1 + I_2$$

$$U = R_1 I_1, \quad U = R_2 I_2$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

Sa desne šeme na istoj slici slijedi:

$$U = R_{ek} \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R_{ek}}$$

Da bi ove dvije šeme bile ekvivalentne mora biti zadovoljen uslov:

$$\frac{1}{R_{ek}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{ek} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Ekvivalentna otpornost za N paralelno vezanih otpornika:

$$\frac{1}{R_{ek}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$