4. Stavki (Teoremi)

Stavek Thevenina in Nortona. To sta pomembna stavka v elektrotehniki in se pogosto uporabljata. Theveninov stavek »pravi«, da je mogoče poljubni del linearnega vezja nadomestiti z realnim napetostnim virom, torej z idealnim napetostnim virom (ki ga imenujemo Theveninov) in notranjo (Theveninovo) upornostjo.

Nortonovo nadomestno vezje pa je sestavljeno in idealnega tokovnega (Nortonovega) vira in vzporedne notranje upornosti.

SLIKA: Shematski prikaz Theveninovega in Nortonovega nadomestnega vira.

Kako določimo Theveninovo nadomestno napetost in upornost?
Napetost Thevenina določimo kot napetost odprtih sponk na mestu vezja, ki ga želimo nadomestiti, Theveninovo upornost pa kot notranjo upornost vezja, merjeno (računano) s sponk, pri čemer napetostne vire kratko sklenemo (kratek stik), tokovne pa razklenemo (odprte sponke).

> Primer: Kot primer odklopimo iz vezja upor R_3 in na njegovih sponkah vezje nadomestimo s Theveninovim nadomestnim vezjem.
>
> Če iz vezja odklopimo upor R_3 in zapišemo zančno enačbo dobimo
> $-U_g + J\left(R_1 + R_2 + R_4 + R_5\right) - I_g\left(R_1 + R_2\right) = 0$
> Po ustavitvi vrednosti določimo zančni tok J = 30,91 V, Theveninova napetost pa je $U_{Th} = (J - 2\text{A})5\Omega + J40\Omega = \underline{\underline{30,91\,\text{V}}}$.
>
> Upornost Thevenina je $R_{Th} = (R_1 + R_4)\|(R_2 + R_5) = \underline{\underline{14,32\,\Omega}}$.
>
> Sedaj lahko tvorimo nadomestno vezje in dodamo upor R_3 ter izračunamo tok skozi upor: $I_3 = \dfrac{U_{Th}}{R_3 + R_{Th}} = 1,270\,\text{A}$.

Drugi način določanja Theveninove nadomestne upornosti je s pomočjo izračuna toka kratkega stika med sponkama nadomestitve. Ta način pride v poštev predvsem tedaj, ko ne moremo preprosto seštevati vzporedne in zaporedne vezave uporov. S pomočjo računalnika najlaže uporabimo kar matriko za izračun tokov po metodi Kirchoffovih zakonov pri čemer bo upornost R_3 = 0 Ω. Dobimo I_K = 2,1587 A in $R_{Th} = \dfrac{U_{Th}}{I_K} = \dfrac{30,91\text{V}}{14,32\,\text{A}} \doteq 14,32\ \Omega$.

© DK

Omenimo še tretjo možnost. Upornost vezja med sponkama pri izklopljenih virih lahko dobimo tako, da na sponki priključimo poljubno izbrano napetost in izračunamo tok v vezje. Iz količnika med napetostjo in tokom sledi upornost. V našem konkretnem analiziranem primeru je ta način v osnovi enak prvemu načinu, saj izračunamo upornost Thevenina kot

$$R_{Th} = \frac{U_{sponk}}{I_{sponk}} = \frac{I_{sponk} \cdot (R_1 + R_4) \| (R_2 + R_5)}{I_{sponk}} = (R_1 + R_4) \| (R_2 + R_5) = \underline{\underline{14{,}32\,\Omega}}.$$

Bi pa prišel ta način v poštev, če upornosti v vezju ne bi mogli kar preprosto seštevati.

Maksimalna moč na bremenu – drugič. Theveninov stavek je posebno primeren za izračun **maksimalne moč na uporu (bremenu)**. Pri analizi maksimalne moči bremena priključenega na realni napetostni vir smo ugotovili, da bo moč na bremenskem uporu največja tedaj, ko bosta bremenska in generatorska upornost enaki. Da dosežemo maksimalno moč, mora biti upornost bremena torej enaka upornosti Thevenina:

$$R_{b(P\max)} = R_{Th},$$

maksimalna moč pa bo tedaj

$$P_{\max} = \frac{U_{Th}^2}{4R_b}.$$

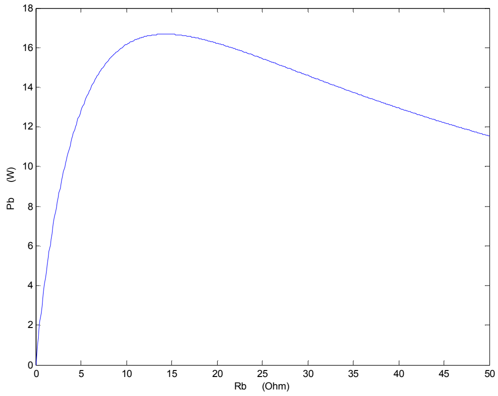
> Primer: V našem vezju smo analizirali razmere moči na bremenskem uporu R_3. Tedaj bo torej $R_{b(P\max)} = 14{,}32\,\Omega$, maksimalna moč pa $P_{\max} = \frac{U_{Th}^2}{4R_b} = \frac{(30{,}91\,\mathrm{V})^2}{4 \cdot 14{,}32\,\Omega} = 16{,}68\,\mathrm{W}$.

Pogosto rečemo tudi, da je breme **prilagojeno** na vir, če je upornost bremena enaka upornosti Thevenina $R_b = R_{Th}$, torej tedaj, ko je na breme prenešena maksimalna moč iz vira.

Izrišimo moč na bremenu s pomočjo računalnika, pri čemer si bomo zopet pomagali s programom Matlab. Vzemimo izračunani vrednosti U_{Th} = 30,91 in R_{Th} = 14,32 Ω in spreminjajmo R_b od 0 Ω do 50 Ω in izračunajmo moč na bremenu. Z Matlabovimi ukazi:

```
Rb=0:0.1:50       % tvorimo niz vrednosti Rb od 0 do 50 s korakom 0,1
Uth=30.91
Rth=14.32
P=Rb*Uth^2./(Rth+Rb).^2   % Izracun moci
plot(Rb,P)              % izris
xlabel('Rb    (Ohm)')
ylabel('Pb    (W)')
```

Ugotovimo lahko, da izris ustreza našim pričakovanjem, da bo torej maksimalna moč na bremenu tedaj, ko bo upornost bremena enaka upornosti Thevenina. Ugotovimo tudi, da vrednost največje moči ustreza izračunani. Kako to ugotovimo z uporabo Matlaba? Z ukazom *max(P)* izvemo največjo vrednost niza P, v katerem so shranjene vrednosti moči. Dobimo 16,68. Kaj pa vrednost upornosti pri maksimalni moči? Najprej ugotovimo indeks, pri katerem nastopa v nizu maksimalna moč z uporabo ukaza *i=find(P==max(P)),* nato pa z *Rb(i)* dobimo vrednost 14,3. Dobljena vrednost se razlikuje od točne za 0,02, kar je za pričakovati, saj smo numerično izračunavali moči le za vrednosti upornosti, ki se razlikujejo za 0,01 Ω. Namen tega pojasnjevanja je v tem, da bi vzpodbudil bralca k uporabi in raziskovanju izjemnih zmožnosti programa.



SLIKA: Moč na bremenu pri spreminjanju bremenske upornosti.

Da se prepričamo v pravilnost izračunov, lahko uberemo še eno pot. Izhajajmo direktno iz izračunavanja tokov v vezju s pomočjo metode Kirchoffovih zakonov ter določimo moč na uporu R_3 pri različnih vrednostih te (bremenske) upornosti. Preprosto, s pomočjo enačbe $P_3 = I_3^2 R_3$. S pomočjo računalnika lahko zelo hitro določimo maksimalno moč, tudi če formule ne poznamo. Iz že znane matrike:

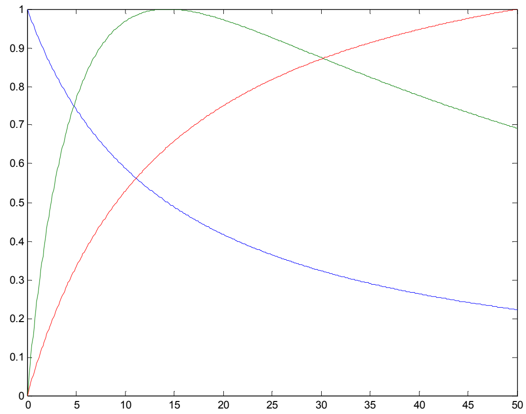
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ R_1 & 0 & R_3 & -R_4 & 0 \\ 0 & R_2 & -R_3 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -I_g \\ 0 \\ I_g \\ U_g \\ 0 \end{bmatrix}$$

spreminjajmo R_3 od 0 Ω do 50 Ω in izračunavajmo tokove ter moč na uporu R_3 in rezultate izrišimo. Dobimo (Matlab):

```
b=[-2;0;2;10;0] % vektor znanih vrednosti / desna stran enacbe
II=[]  % prazen vektor, potreben za shranjevanje izračunanih vrednosti moči
for R3=0:0.1:50   % zanka povecuje upornosti
   A=[1,0,0,1,0;-1,1,1,0,0;0,-1,0,0,1;20,0,R3,-1,0;0,5,-R3,0,40]

   I=A\b     % izracun tokov za dolocen R3

   II=[II,I(3)]  % shranjevanje vrednosti toka I3 v vektor, ki se zaporedno polni
end

R3=0:0.1:50   % vektor upornosti
P=II.^2.*R3     % izracun moci
plot(R3,P)   % izris
```

Iz primerjave dobljenega grafa in prejšnjega ugotovimo, da sta identična, kar smo seveda tudi pričakovali.

© DK



SLIKA: Slika prikazuje normirane krivulje toka, napetosti in moči na uporu R_3 v že znanem vezju. Sami ugotovite, katera krivulja prikazuje določeno veličino. To boste ugotovili zelo hitro, če si zamislite Theveninovo nadomestno vezje (Normiranje izvedemo tako, da poiščemo največjo vrednost v nizu (določene veličine) in delimo vse vrednosti s to vrednostjo.) Ukazi v Matlabu: U=R3.*II; plot(R3,II/max(II),R3,P/max(P),R3,U/max(U))

Stavek Tellegena. Stavek Tellegena pravi preprosto to, da je moč bremen enaka moči virov. Pri tem lahko vir deluje v generatorskem načinu (pozitivna moč) ali v bremenskem načinu (negativna moč). To zapišemo kot

$$\sum_i P_g(i) = \sum_j P_b(j).$$

V našem konkretnem primeru je moč generatorjev enaka

$$P_g = U_g(-I_4) + I_g(V_3 - V_1) = 41{,}6822 \text{ W}$$

moč na bremenih pa

$$P_b = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = 41{,}6822 \text{ W}$$

Reševanje z Matlabom (vrednosti tokov imamo shranjene v vektorju *x*, potencialov pa v *V,* v vektor R shranimo vrednosti uporov.):

```
Pg=10*(-x(4))+2*(V(3)-V(1))
R=[20;5;10;1;40]
Pb=sum(x.^2.*R)
```

Izkoristek vezja. Ker velja zakon o ohranitvi energije, bo določen del energije virov prenešen na bremena, drugi del pa lahko smatramo kot izgubna energija:

$$W_{vhodna} = W_{izhodna} + W_{izgubna}.$$

Izkoristek lahko definiramo kot kvocient izhodne in vhodne energije

$$\eta = \frac{W_{izhodna}}{W_{vhodna}}.$$

Ker pa je energija pri enosmernih vezjih sorazmerna moči $W = P \cdot T$. Torej lahko definiramo izkoristek tudi kot kvocient moči na bremenu in moči vira (virov):

$$\eta = \frac{P_b}{P_g}$$

Izkoristek pogosto zapišemo v procentih, torej kot

$$\eta = \frac{P_b}{P_g} \cdot 100\% .$$

SLIKA: Vhodna energija se prenese (transformira v) na izhodno in izgubno.

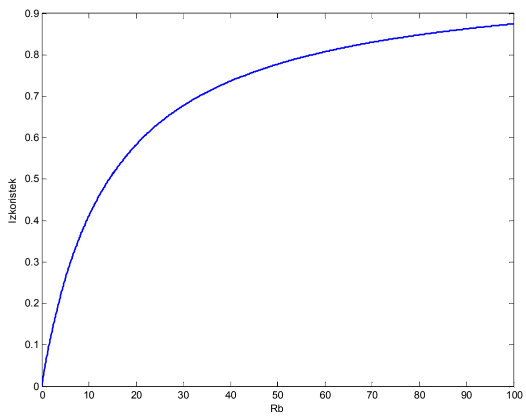
Poglejmo, kako se spreminja izkoristek vezja pri bremenu, priključenem na realni napetostni vir. Izkoristek opisuje enačba

$$\eta = \frac{P_b}{P_g} = \frac{I^2 R_b}{I^2 \left(R_b + R_g\right)} = \frac{R_b}{R_b + R_g} .$$

Pri majhnih bremenskih upornostih gre izkoristek proti nič, pri velikih pa proti vrednosti 1 (100%).

Primer z Matlabom:

```
Rg=14.32
Rb=0:0.1:100
plot(Rb,Rb./(Rb+Rg))
```

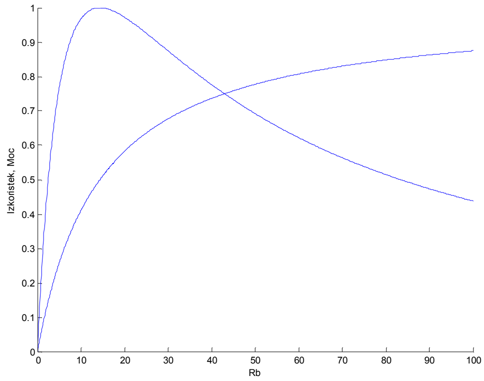


SLIKA: Povečevanje izkoristka z večanjem bremenske upornosti.

Dodajmo še spremembo moči z ukazi

```
hold on
P=Rb./(Rb+Rg).^2
plot(Rb,P/max(P))
```


© DK



SLIKA: Izkoristek vezja in moč na bremenu.

Ugotovimo, da je izkoristek vezja nekaj drugega kot maksimalna moč na bremenu. Največji izkoristek dosežemo pri čim večji upornosti bremena vendar je tedaj moč na bremenu majhna v primerjavi z maksimalno. Pri maksimalni moči pa je izkoristek vezja ravno 50%.

Če imamo dva zaporedno vezana sistema, lahko izkoristek določimo kot

$$\eta = \frac{P_{izh(2)}}{P_{vh(1)}} = \frac{P_{izh(2)}}{P_{vh(1)}} \cdot \frac{P_{iz(1)}}{P_{vh(2)}} = \eta_1 \eta_2 ,$$

torej kot produkt posameznih izkoristkov.

Pomembnejše oblike vezij

1) **Neobremenjen in obremenjen napetostni delilnik.** Napetostni delilnik smo že spoznali. Za napetost na uporu R_2, ki je priključen na zaporedno vezavo uporov smo dobili

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} .$$

Običajno ga uporabimo za to, da zmanjšamo maksimalno napetost na določeno vrednost. Ta enačba nam da ustrezno vrednost, če je upornost bremena dosti večja od upornosti upora R_2. V nasprotnem primeru pa je potrebno upoštevati tudi samo bremensko upornost. Vzemimo, da imamo podano breme z določeno bremensko napetostjo in močjo: U_b/P_b = 9 V/ 30 W, ki ga želimo priključiti na napetost U = 12 V, pri čemer je R_2 = 10 Ω. Kolikšen mora biti R_1? Tok bremena bo 30 W / 9 V = 3,33 A, tok na uporu R_2 pa I_2 = 9 V/10 Ω = 0,9 A. Skupni tok je I_1 = 4,233 A. Zapišemo $12\,\mathrm{V} = I_1 R_1 + 9\,\mathrm{V}$ od koder sledi R_1 = 0,7087 Ω. Nekoliko bolj zapleteno je, če imamo določeno breme R_1 in želimo poiskati pravo vrednost R_2. Poiščite rešitev sami ali si jo preberite v ARS, Elektrotehnika 2.

© DK

SLIKA: Obremenjen napetostni delilnik.

2) **Neobremenjen in obremenjen potenciometerski delilnik.** Potenciometer je pogost element v elektrotehniki. Je v osnovi upor, katerega vrednost določamo z lego drsnika (gumba). V praksi imamo na razpolago linearne in logaritemske potenciometrske upore. Kot že ime pove, se pri linearnem uporu upornost med drsnikom in enim ali drugim kontaktom spreminja linearno, pri logaritemskem pa se spreminja logaritemsko. Z določeno natančnostjo seveda.

SLIKA: Potenciometrski delilnik predstavimo kot dva zaporedno vezana upora.

Celotno skalo dolžine l razdelimo na dve (neenaki)polovici. Dolžina enega dela je x drugega pa l-x. Tako celotno upornost R_p razdelimo na $R_2 = R_p.x/l$ in $R_1 = R_p(l-x)/l$. Če uporabimo potenciometer kot napetostni delilnik, je napetost na delu upora dolžine x enaka: $U_2 = U\frac{R_2}{R_p} = U\frac{R_p \cdot x/l}{R_p} = U\frac{x}{l}$.

Dobimo linearno zvezo med razdaljo x in napetostjo U_2.

Če upoštevamo še priključitev bremena na upor $R_2 = R_p\frac{x}{l}$, velja

$\frac{U-U_p}{R_1} = \frac{U_p}{R_2} + \frac{U_p}{R_b}$. Po preureditvi dobimo (preverite še sami)

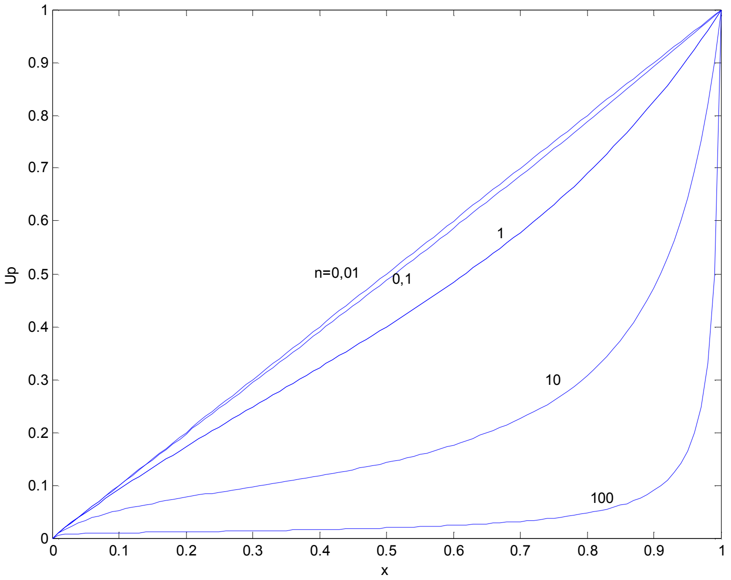
$U_p = U\frac{x}{x(1-x/l)n+l}$,

kjer je $n = R_p / R_b$.

© DK

Izrišimo nekaj krivulj vrednosti U_p za različna razmerja $n = R_p / R_b$. Vzemimo U = 1 in spreminjajmo x od 0 do 1 (l=1) in izrišimo vrednosti U_p za vrednosti n = 1, 10, 100. Matlabovi ukazi so

```
x=0:0.01:1;
for n=[0.01,0.1,1,10,100]
Up=x./(1+x.*(1-x)*n)
plot(x,Up)
hold on
end
xlabel('x');
ylabel('Up');
```



SLIKA: Različne vrednosti U_p pri razmerjih n = 0,1, 1, 10, 100. Večjo linearnost se doseže pri $n \ll 1$, torej tedaj, ko bo bremenska upornost dosti večja od upornosti uporovnega delilnika.

3) Tokovni delilnik. Pogosto uporabljamo tudi tokovni delilnik, ki smo ga že spoznali predhodno, zato navedemo le rezultat. Tok I razdelimo v dve veji z uporoma R_1 in R_2. Tok v veji z uporom R_1 je

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

4. Transformacija zvezda – trikot.

Pogosto se srečamo z vezavo uporov v obliko, ki ji rečemo trikot, saj so trije upori nameščeni v obliki trikotnika. Druga oblika vezave pa je taka, da so trije upori vezani v skupno spojišče – taki vezavi pravimo vezava v zvezdo. Pogosto si za lažjo analizo vezij pomagamo s transformacijo vezave trikot v zvezdo in obratno. Če imamo v vezavi zvezda tri spojišča z upori R_1, R_2 in R_3, potem ob transformaciji dobimo vezavo trikot z upori R_{12}, R_{23} in R_{32}, katerih vrednosti so

$$R_{12} = \frac{R^2}{R_3} \quad R_{23} = \frac{R^2}{R_1} \quad \text{in} \quad R_{31} = \frac{R^2}{R_2},$$

pri čemer je $R^2 = R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1$.

SLIKA: Transformacija vezja oblike zvezda v obliko trikot.

Zapišimo še obratno pot: če želimo iz vezave trikot preiti v vezavo zvezda, bomo upore določili iz
$R_1 = \dfrac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$, podobno pa tudi R_2 in R_3. Poskusite sami izpeljati te enačbe. Pot je ta, da mora biti nadomestna upornost med dvema sponkama enaka v obeh vezavah.

Ta vezava bi nam lahko koristila na primer pri analizi vezja s superpozicijo, kjer smo morali v drugem primeru »rešiti« vezje s primerno metodo, če pa bi uporabili transformacijo v trikot, bi lahko vezje rešili z vzporedno – zaporedno vezanimi upornostmi.

5. Mostično vezje. Pogosto elemente v vezju vežemo tako, imamo po dva upora v dveh vzporednih vejah. Vzemimo, da sta v eni veji upora R_1 in R_2, v drugi pa R_3 in R_4. Če med veji vključimo voltmeter, bo napetost voltmetra enaka nič, ko bo

$$U\frac{R_2}{R_1 + R_2} = U\frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

in

$$U\frac{R_1}{R_1 + R_2} = U\frac{R_3}{R_3 + R_4}.$$

Če delimo ti enačbi dobimo

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

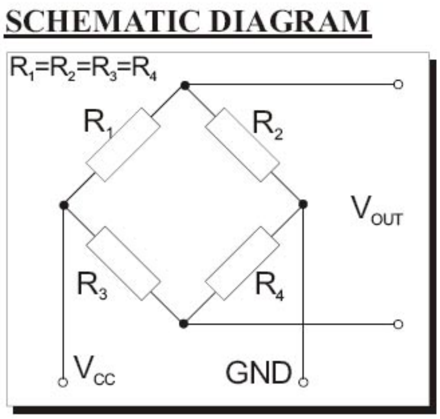
Ko velja to razmerje, rečemo, da je mostiček **uravnotežen**. Tedaj iskano upornost enostavno določimo iz preostalih treh. Pri tem je točnost rezultata odvisna od točnosti uporov v mostičku.

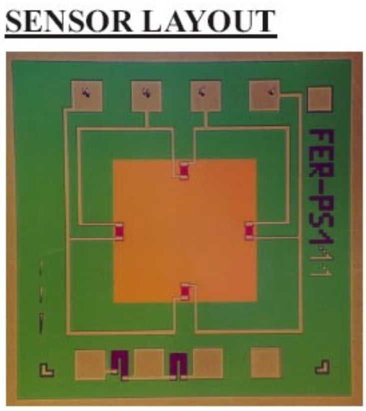
© DK

SLIKA: Wheatstonovo mostično vezje.

Pogosto se uporablja tudi neuravnotežene Wheatstonove mostičke. Torej iz izmerjene napetosti med sponkama uporov določimo eno od neznanih upornosti. Tedaj velja $U_V = U\dfrac{R_2}{R_1+R_2} - U\dfrac{R_4}{R_3+R_4}$. Ta princip merjenja je posebno primeren tedaj,ko merimo dinamične signale in ni časa za uravnoteženje mostiča.

Wheastonovo mostično vezavo ne uporabljamo le v enosmernih razmerah pa tudi pri izmeničnih signalih. Poznamo različne tipe mostičev, npr. Wienov, Owenov, Maxwellov, itd.





SLIKA: Primer uporabe vezave uporov v Wheatstonov mostič za realizacijo polprevodniškega senzorja tlaka. Vir: produkt Laboratorija za mikrosenzorske strukture na Fakulteti za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani.

Temperaturne lastnosti uporov. Ko skozi upor teče tok, se nosilci naboja (v uporih običajno elektroni) ne gibljejo premočrtno od ene do druge sponke, pač pa »trkajo« z atomi v snovi. Gibljejo se z neko povprečno hitrostjo, ki pa je odvisna od temperature. Pri višji temperaturi je namreč nihanje atomov večje in s tem tudi število trkov, torej se povprečna hitrost nabojev zmanjša. S tem se tudi zmanjša tok, posredno pa se poveča električna upornost. Meritve pokažejo, da se temperaturna odvisnost upornosti spreminja skoraj linearno, po formuli

$R(T) = aT + b$,

kjer sta a in b konstanti, ki jih moramo določiti z meritvijo. Običajno nas zanima sprememba upornosti okoli okoljske temperature 20 ^{0}C, kjer bo $R(T_{20}) = aT_{20} + b$. Če enačbi odštejemo, dobimo

$R(T) = R(T_{20})\left(1 + a\dfrac{T - T_{20}}{R(T_{20})}\right)$. Vpeljemo konstanto α, ki jo imenujemo temperaturni koeficient in pišemo

$R(T) = R(T_{20})\left(1 + \alpha\left(T - T_{20}\right)\right)$.

Tipične vrednosti temperaturnih koeficientov so (v K^{-1}):

Železo 0,006
Aluminij 0.0041

 © DK

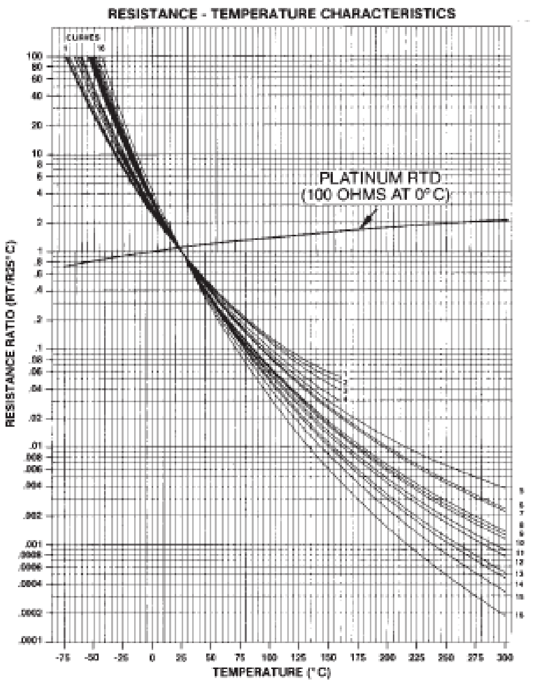
Baker 0,0039
Konstantan 0,00003

Vse zapisane vrednosti koeficientov so pozitivne, torej bo upornost železa, aluminija, bakra in konstantana večja pri višjih temperaturah. Okrajšava za pozitivni temperaturni koeficient je PTK, za negativnega pa NTK (ang. PTC in NTC).

<u>Primer</u>: Bakreni žici, ki ma pri 20 ^{0}C upornost, 10 Ω, bo imela pri 80 ^{0}C upornost $R(80\,^0\mathrm{C}) = 10\,\Omega\left(1+0{,}0039\ \mathrm{K}^{-1}\cdot 60\,\mathrm{K}\right) = 12{,}34\,\Omega$.

SLIKA: Linearna temperaturna odvisnost upora.

Obstaja vrsta elementov, katerim se upornost izrazito spreminja s temperaturo. Tem elementom pravimo termistorji (ang. thermistor = thermal resistor). Njihova uporaba v elektrotehniki je zelo pogosta, od merjenja temperature do kompenzacije temperaturnih lastnosti drugih elementov v vezju, regulacija amplitude, napetosti, alarm, ...



SLIKA: Upornost NTC termistorja se zmanjša z višanjem temperature. Za primerjavo je na sliki spreminjanje upornosti platine. Vir: katalog firme Murata.

© DK

Nelinearni elementi. Linearni element je samo poenostavitev, ki nam olajša analizo vezij. V osnovi so vsi elementi vsaj do določene mere nelinearni. Za upore navadno smatramo, da so linearni, čeprav poznamo tudi vrsto nelinearnih uporov. Najbolj znan nelinearni element je prav gotovo dioda. Dioda je običajno izdelana iz polprevodniškega materiala, ki omogoča prevajanje v eni smeri, v drugi pa ne. To povzroči izrazito nelinearno karakteristiko, ki jo v elektrotehniki s pridom uporabljamo. Bolj zapleteni so tranzistorji, ki so elementi z najmanj tremi kontakti od katerih je en običajno namenjen za kontrolo prevajanja toka med drugima kontaktoma.

Pogosto se uporablja grafičen način za določanje delovne točke tudi pri uporabi nelinearnih elementov. Če si zamislimo, da priključimo nelinearen element na določene sponke vezja, lahko posebej narišemo karakteristiko vezja brez priključenega elementa, ki bo enaka Theveninovemu nadomestnemu vezju in dodamo karakteristiko nelinearnega elementa. V presečišču je delovna točka. Pogosto rišemo grafično karakteristiko nelinearnega elementa za več parametrov, na primer pri bipolarnem tranzistorju za različne bazne toke, pri MOS tranzistorju za različne vrednosti napetosti vrat itd.

Kirchoffova zakona sta splošno veljavna, tudi za vezja z nelinearnimi elementi. Večji problem je pri izračunavanju, saj je sistem linearnih enačb dosti lažje rešiti od nelinearnega. Pri slednjem se moramo poslužiti numeričnih metod, pa še v tem primeru ni uspeh zagotovljen.

Povzetek:

1) Razloži Theveninov in Nortonov stavek.

Med poljubnima dvema sponakama linearnega vezja lahko vezje nadomestimo z realnim napetostnim (Thevenimovim) ali realnim tokovnim (Nortonovim) virom.

2) Kako določimo Theveninovo napetost in upornost?

Theveninova napetost je napetost odprtih sponk med katerima želimo nadomestiti vezje z Theveninovim. Theveninova upornost je notranja upornost med sponkama, pri čemer napetostne vire kratko sklenemo, tokovne pa odklopimo (odprte splonke) od vezja.

3) Kako določimo Nortonov tok generatorija in upornost?

Tok generatorja je tok kratkega stika med sponkama vezja. Upornost Nortonovega nadomestnega vezja določimo enako kot upornost Thevenina. Torej sta ti upornosti enaki: $R_{\mathrm{N}} = R_{\mathrm{T}}$.

3) Ali velja povezava med Nortonovim in Theveninovim nadomestnim vezjem?

Obstaja. Velja $R_{\mathrm{N}} = R_{\mathrm{T}}$, pa tudi $U_{Th} = I_N R_{Th}$.

4) Kako določimo maksimalno moč na bremenu s pomočjo Thevenina?

© DK

Breme odklopimo iz vezja in izračunamo Theveninovo nadomestno napetost in upornost. Moč na bremenu bo maksimalna, ko bo $R_b = R_{Th}$. Tedaj bo maksimalna moč na bremenu

$$P_{\max} = \frac{U_{Th}^2}{4R_b}.$$

5) Kdaj velja, da je breme prilagojeno na vir?

Ko je na bremenu (prenešena) maksimalna moč.

6) Razloži stavek Tellegena.

Stavek Tellegena pove, da je moč generatorjev v vezju enaka moči bremen.

7) Kako je definiran izkoristek vezja?

Izkoristek vezja definiramo kot kvocient moči na bremenu in moči vira (virov)

$$\eta = \frac{P_b}{P_g}.$$

8) Razloži razliko med izkoristkom vezja in maksimalno močjo. Kdaj je izkoristek največji in kdaj je moč maksimalna? Kolikšen je izkoristek pri maksimalni moči?

Izkoristek na bremenu se veča z upornostjo bremena, moč pa je največja tedaj, ko je bremenska upornost enaka upornosti Thevenina. Pri maksimalni moči je izkoristek vezja 50%.

9) Zapišite enačbo za napetost neobremenjenega napetostnega delilnika. (glej tekst)

10) Razložite razliko med obremenjenim in neobremenjenim napetostnim delilnikom.

11) Razložite uporabo potenciometra kot napetostnega delilnika. (glej tekst)

12) Weatstonov mostiček: uravnotežen in neuravnotežen, uporaba.

13) Opišite temperaturne lastnosti uporov. Kaj je to pozitivni ali negativni temperaturni koeficient. Zapišite enačbo.

© DK