

# 1 DISKRETNE ELEKTRONSKE KOMPONENTE

## 1.1 SPLOŠNO O ELEKTRONSKIH KOMPONENTAH

### 1.1.1 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI KOMPONENT

Elektronske komponente ( upori, kondenzatorji, int. vezja, kvarčevi filtri,...) so nameščene v različnih tehničnih napravah in lahko delujejo pod najrazličnejšimi delovnimi pogoji. Delovni pogoji večinoma vplivajo negativno na zanesljivost delovanja in skrajšujejo življensko dobo, kar je tudi potrebno upoštevati pri zasnovi oz. konstrukciji elektronskega vezja. Delovne pogoje lahko razvrstimo glede na vpliv motnje **na električne** (npr. impulzna obremenitev stikalnega transistorja pri vklopu induktivnega bremena), **na mehanske** -delovanje pri neprestanih vibracijah ali mehanskih sunkih- (npr. elektronsko vezje blizu motorja z notranjim izgorevanjem), temperaturne- visoke, nizke ali spremijajoče se v širokem razponu. **Temperaturne** pogoje je še posebej potrebno upoštevati in kompenzirati vpliv temperature na spremembo parametrov komponente pri profesionalnih napravah v industrijskem okolju ali na terenu (npr. elektronski senzorji nameščeni na napravah za žičnice, elektronsko vezje v bližini peči z visoko temperaturo,...). Delovne pogoje predstavljajo tudi ostali **klimatski** parametri kot so npr. voda, vlaga in zračni tlak. Elektronsko vezje v vlažnih prostorih mora biti ustrezno zaščiteno, da je vpliv vlage onemogočen. Zračni tlak je potrebno upoštevati v primeru, da mora vezje zanesljivo delovati tudi na višjih nadmorskih višinah (npr. uporaba v letalstvu, antenski sistemi na oddajnikih). Posebne delovne pogoje predstavlja tudi specifično delovno okolje, kjer je potrebno upoštevati posebne vplive (npr. delovanje vezja v rudniškem, petrokemijskem ali morskem okolju). Za opremo, ki se npr. uporablja na morju, obstajajo še posebni predpisi, ki definirajo kriterije za vgradnjo na ladjah (t.i. *Brodski registar -YU*). Podobno je predpisano tudi za opremo, ki se uporablja v eksplozivnem okolju, kjer mora biti vsaka vgrajena komponenta atestirana in mora imeti certifikat o zagotovljenih lastnostih, ki so zahtevane. Seveda je potrebno pri serijski proizvodnji potem uporabljati samo certificirane komponente in je zato uporaba substitutov mogoča le na osnovi ustreznih testiranj in soglasij.

Na delovne pogoje elektronskega vezja lahko vplivajo tudi drugi dejavniki, ki so specifični glede na področje uporabe (npr. pesek-kamnolomi, gradbeni stroji, prah- stroji za obdelavo lesa, agresivna atmosfera – prisotnost kislin in lugov, galvanotehnika, plesen- uporaba v kletnih prostorih, sneg, insekti, sevanje,...).

Tudi industrijsko okolje, kjer je veliko elektromagnetnih motenj (npr. od varilnih naprav), mehanskih vibracij, induciranih napetosti na kablilih v kanalih, predstavlja specifične delovne pogoje. Za vgradnjo komponent v medicinske aparate mora biti upoštevan tudi kriterij o nestrupenosti.

Delovni pogoji so razvrščeni v razrede in se skupaj z zanesljivostjo uporabe označujejo s črkovno kodo (DIN 40040).

#### Označevanje razredov uporabe komponent glede na delovne pogoje

Področje uporabe in zanesljivost delovanja definira oznaka v obliki sledeče črkovne kode:

črkovna oznaka →  $\begin{matrix} \text{X X X} / \text{X X} / \text{X X X} \\ 1 \ 2 \ 3 \quad 4 \ 5 \quad 6 \ 7 \ 8 \end{matrix}$

**1. mesto- minimalna temperatura-** [ -65° C (E) ÷ +5° C (L)] korak je po 15° C

**2. mesto- maksimalna temperatura** - [ +400° C (A) ÷ +40° C (Y)] korak je po 50° C

**3. mesto- največji % zračne vlage** -  
 A → r ≤ 100% (mokro);  
 C, R, D → r = 85% (rosno);  
 E → r ≤ 75% (rahlo rosno);  
 F, G, H → (suho)

**4. mesto- kvocient izpada** (številko je potrebno pomnožiti z  $10^{-9}$ )

Zanesljivost je potrebno izmeriti pri predpisanih pogojih (npr:  $\theta=40^{\circ}\text{C}$ ;  $r=65\%$ )

$$\text{Kvocient izpada} = \frac{\text{Stopnja odpovedi}}{\text{Čas trajanja obremenitve}} [0,1(\mathbf{D}) \div 30 \cdot 10^6 (\mathbf{W})] \text{ enota: št. odpovedi } / 10^9 \text{ komponent ur}$$

Pri čemer je stopnja odpovedi definirana kot razmerje:

$$\text{Stopnja odpovedi} = \frac{\text{Število odpovedanih komponent}}{\text{Število preizkušanih komponent}} [r < 1]$$

**5. mesto- čas trajanja obremenitve-** - [  $300 \cdot 10^3 \text{h} (\mathbf{Q}) \div 1000 \text{h} (\mathbf{V})$  ]**6. mesto- mehanske zahteve** [  $\mathbf{Q} \div \mathbf{W}$  ]

- **vibracijske obremenitve** → pospešek [  $500 \text{ m/s}^2 (\mathbf{Q}) \div 20 \text{ m/s}^2 (\mathbf{W})$  ]  
→ frekvenca [  $10 - 20000 \text{ Hz} (\mathbf{Q}) \div 10 - 55 \text{ Hz} (\mathbf{W})$  ]
- **udarne obremenitve** → pospešek [  $1000 \text{ m/s}^2 (\mathbf{Q}) \div 150 \text{ m/s}^2 (\mathbf{W})$  ]  
→ čas trajanja [  $6 \text{ ms} (\mathbf{Q}) \div 11 \text{ ms} (\mathbf{W})$  ]

**7. mesto – zračni tlak** [  $\mathbf{N} \div \mathbf{Y}$  ]

- spodnja meja zračnega tlaka (840 mbar  $\div$  20mbar)
- zgornja meja zračnega tlaka (1000mbar  $\div$  26000mbar)

**8. mesto- posebne zahteve** [  $\mathbf{Z}$  ]

- škropeča voda, sneg, led, dež, vodni curek, voda pod pritiskom, morska atmosfera,
- pesek, prah, plesen, umazanija, insekti, sevanje

**Označevanje datumov proizvodnje** ( za kondenzatorje in upore po DIN IEC 62)

Datum proizvodnje je za komponente napisan v obliki črkovne kode, ki vsebuje leto in mesec proizvodnje. Za nekatere komponente (npr. elektrolitski kondenzatorji, primarne in sekundarne baterije) je ta podatek bistvenega pomena, saj so elektroliti (kemični procesi) podvrženi hitremu staranju. Pri zahtevani visoki stopnji zanesljivosti naprave, jih lahko na podlagi predvidene delovne dobe zamenjamo še pred izpadom (npr. elektrolitske kondenzatorje v stikalnem napajalniku je najbolje zamenjati vse, takoj ko izpade prvi; ali zamenjava akumulatorskih baterij v računalniku, UPS napravi, medicinskem aparatu po določenem številu obratovalnih ur). Pri baterijah je navadno označena številka, ki označuje v katerem tednu v letu je bila izdelana.

- Črkovna koda za leto:  
 $\mathbf{A} \rightarrow 1990, \mathbf{B} \rightarrow 1991, \mathbf{C} \rightarrow 1992, \mathbf{D} \rightarrow 1993, \dots \mathbf{G} \rightarrow 2000, \mathbf{H} \rightarrow 2001, \dots$
- Črkovna koda za mesec:  
 $\mathbf{1} \rightarrow \text{jan.}; \mathbf{2} \rightarrow \text{feb.}; \mathbf{3} \rightarrow \text{mar.}; \mathbf{4} \rightarrow \text{apr.}; \mathbf{5} \rightarrow \text{maj.}; \dots \mathbf{9} \rightarrow \text{sept.}; \mathbf{O} \rightarrow \text{okt.}; \mathbf{N} \rightarrow \text{nov.}; \mathbf{D} \rightarrow \text{dec.}$

*Primer:* oznaka **E9** pomeni, da je komponenta bila proizvedena septembra 1994

Natančnejše oznake so na voljo npr. v elektrotehniškem priročniku FRIEDRICH (stran 4-1 in 4-2)

## 1.1.2 ZANESLJIVOST IN OBRATOVALNA PRIPRAVLJENOST

(za komponente oz. tehniške sisteme)

Od funkcije zanesljivosti posameznih vgradnih komponent je odvisna zanesljivost celotne naprave. Definiramo lahko še tri kriterije, ki določajo »kvaliteto« tehniškega sistema:

- zanesljivost komponente,
- zanesljivost sistema glede na povezavo posameznih komponent,
- obratovalna pripravljenost sistema.

Komponente v elektronski napravi (tehniškem sistemu) so lahko povezane na najrazličnejše načine v smislu zaporednih in vzporednih povezav. Pri zaporednih povezavah je zanesljivost tem manjša čim večje je število komponent, seveda pa bistveno zavisi od najšibkejšega člana v verigi, torej od komponente z najmanjšo zanesljivostjo. Komponenta z najmanjšo zanesljivostjo ni nujno tudi najslabša, ampak je »zanesljivost« navidezno manjša zaradi večje obremenjenosti (npr.: VN transformator pri TV sprejemniku; visokonapetostni stikalni tranzistor pri induktivnem bremenu) ali pa zahtevnejših delovnih pogojev (npr.: visoka temperatura, slabo odvajanje toplote, ostali negativni vplivi). V takšnih primerih komponente ni dovoljeno obremeniti do nazivnih pogojev (npr.: moči), ampak je potrebno obremenitev za sorazmerni korekcijski faktor zmanjšati.

Pri »vzporednih« vezavah se praviloma zanesljivost poveča, seveda pa morajo biti povezave izvedene tako, da izpad ene vzporedne poti ne povzroči izpada celotnega sistema.

Zanesljivost komponente je definirana kot:

$r_i=0$ , če  $i$ -ta komponenta ne deluje

$r_i=1$ , če  $i$ -ta komponenta deluje

Zanesljivost sistema je definirana glede na povezavo komponent z vidika prenosa in obdelave signala in sicer kot:

$$R=f(r_1, r_2, r_3, \dots, r_i, \dots, r_n)$$

a) pri »zaporedni« povezavi komponent velja:

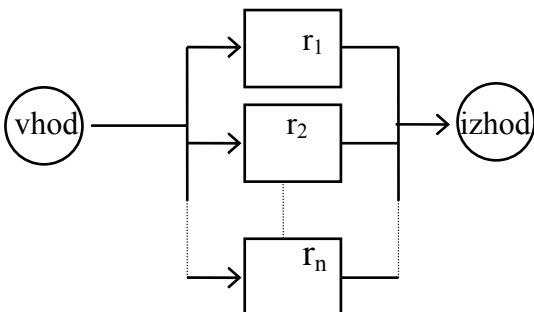
$$R=\prod (r_1, r_2, r_3, \dots, r_i, \dots, r_n)$$

$$R= \prod * r_i = r_1 * r_2 * r_3 * \dots * r_n$$



b) pri »vzporedni« povezavi komponent pa velja:

$$R=1- \prod(1- r_i)=1-(1-r_1)* (1-r_2)* (1-r_3)* \dots * (1-r_n)$$



V praksi se za preverjanje zanesljivosti največkrat poslužujemo kriterija obratovalne pripravljenosti.

**Obratovalna pripravljenost** je podatek, ki se na podlagi rezultatov preizkusa izračuna po sledečem obrazcu:

$$a_i = \frac{b}{b + c}$$

Kjer je:

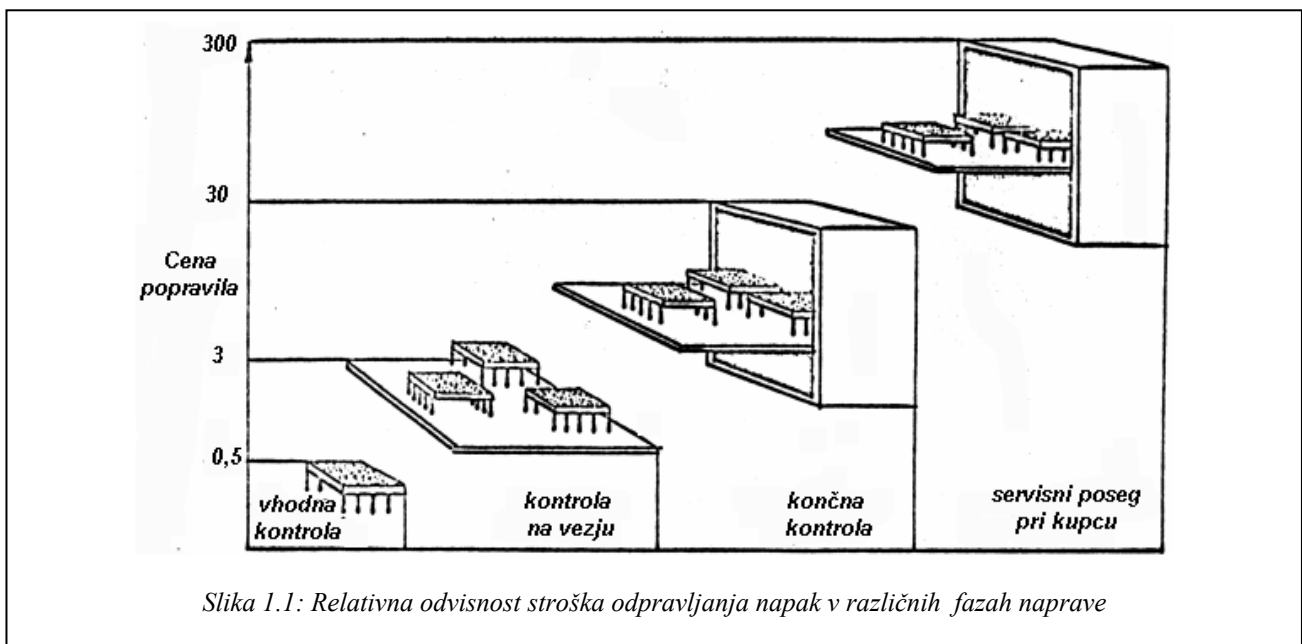
- $a_i$  ... obratovalna pripravljenost (za posamezno komponento)
- $b$  ... MTBF ( Meantime between Failure )-srednji čas med dvema izpadoma
- $c$  ... MTTR (Meantime to Repair) -srednji čas izpada komponente

**Obratovalna pripravljenost - A** (za celotni sistem) je odvisna od oblike povezave posameznih komponent:

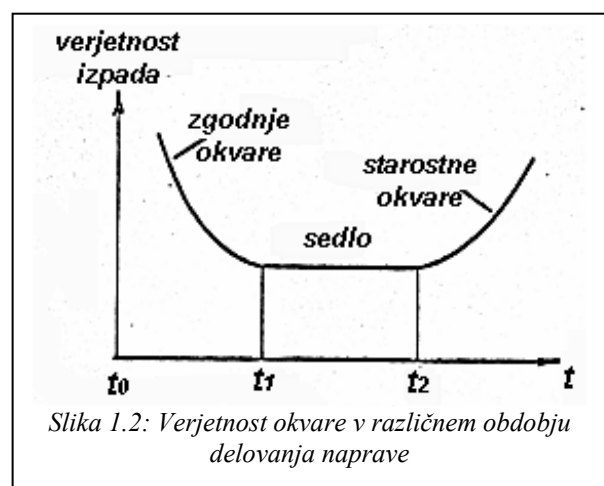
a) Za sistem »serijsko« vezanih komponent:  $A_z = \prod a_i = a_1 * a_2 * a_3 * \dots * a_n$

b) Za sistem »vzporedno« vezanih komponent:

$$A_v = 1 - \prod (1 - a_i) = 1 - (1 - a_1) * (1 - a_2) * \dots * (1 - a_n)$$



Strošek za povečanje zanesljivosti delovanja je najmanjši v začetni fazi (vhodna kontrola, kontrola na vezju). V primeru okvare pri končni kontroli je strošek že bistveno večji, saj je potrebno več časa za iskanje napake, vračanje naprave nazaj na montažo in ponovna končna kontrola. Najdražji je poseg zaradi izpada pri kupcu, saj je lahko le ta zelo oddaljen in posledično lahko nastane še posredna škoda zaradi zastoja naprave. Pogosti izpadi lahko pomenijo izgubo trga. Zato se zgodnje okvare rešujejo v že v tovarni oz. v garanciji. Za normalne obratovalne izpade je potrebno zagotovljati rezervne dele in servisno mrežo.



Vendar vedno ni možno naknadno popravljanje. Pri elektronskih vezjih, ki so zalita z zalivno maso (npr. razni senzorji) elektronskega vezja ni mogoče več popravljati zato morajo predhodne kontrole v največji meri izločiti možnost izpada.

### 1.1.3 NAZIVNE VREDNOSTI IN TOLERANČNE VRSTE KOMPONENT

Nazivne vrednosti za glavne parametre komponent so razdeljene glede na zahtevnost vgradnje na več skupin-lestvice. Skupini, ki ima bolj podrobno delitev običajno pripada tudi ožje tolerančno področje. Za diskretne komponente, v standardnih ohišjih definira standard DIN IEC 63 značilne prednostne lestvice E6 ( $\pm 20\%$ ), E12 ( $\pm 10\%$ ) in E24 ( $\pm 5\%$ ), ki jih uporabljamo v manj zahtevnih vezjih (npr. elektronika široke potrošnje). Za zahtevnejše naprave (npr. merilni instrumenti, medicinski aparati, profesionalne naprave) uporabljamo lestvice z ožjo delitvijo E48 ( $\pm 20\%$ ), E96 ( $\pm 20\%$ ) in E 192 ( $\pm 20\%$ ). Za posebne namene (SMD vezja, debeloplastna vezja) se vrednosti ne nanašajo več na te lestvice, temveč se njihova dejanska vrednost nastavi v vezju, glede na nastavitev delovne točke (npr. lasersko umerjanje – nastavljanje vrednosti upornosti). Sicer pa je postal nabor SMD komponent v novejšem času izredno raznolik kar omogoča izvedbo večine elektronskih vezij v SMD tehnologiji.

Za cevne in miniaturne varovalke predpisuje standard DIN 323 lestvice R5, R10 in R20.

Npr. za lestvico R5 je značilna delitev na sledeča števila:

1,00; 1,25; 1,60; 2,00; 2,50; 3,15; 4,00; 5,00; 6,30; 8,00;

### 1.1.4 NAČINI OZNAČEVANJA KOMPONENT

Komponente lahko označujemo s števkami in črkami (govoreča koda), s števkami in črkami (negovoreča koda- npr. za SMD komponente ali pa preko barvne kode.

- S števkami in črkami (govoreča koda)

npr.:	p39	⇒	0,39pF	;	M39	⇒	0,39mΩ
	3n9	⇒	3,9nF	;	104	⇒	$10 \cdot 10^4$ pF= 100nF
	μ39	⇒	0.39μF	;	152	⇒	$15 \cdot 10^2$ pF= 150pF
	n3961	⇒	0,3961nF				

- S števkami in črkami (negovoreča koda- *marking code*) npr.: Z11; 6B; 3B; 5A, pri čemer je potrebno imeti katalog ali datoteko, iz katere lahko na podlagi šifrirane oznake razberemo parametre za komponento (npr: <http://www.marsport.demon.co.uk/smd/select.htm> )
- Z barvno kodo, kjer prva dva ali prvi trije pasovi označujejo mantiso, naslednji pas (3. oz. 4.) predstavlja vrednost eksponenta, naslednji pas označuje tolerančno skupino (npr: 2%-rdeča, 5%-zlata) in naslednji (kadar je) označuje vrednost temperaturnega koeficienta.  
(npr.: [http://www.webhome.indirect.com/~jadams/electronics/resistor\\_codes.htm](http://www.webhome.indirect.com/~jadams/electronics/resistor_codes.htm))

Pri kondenzatorjih je odstopanje lahko podano v **pF** ( $C < 10\text{pF}$ ) oz. v **%** za kondenzatorje s kapacitivnostmi  $C > 10\text{pF}$

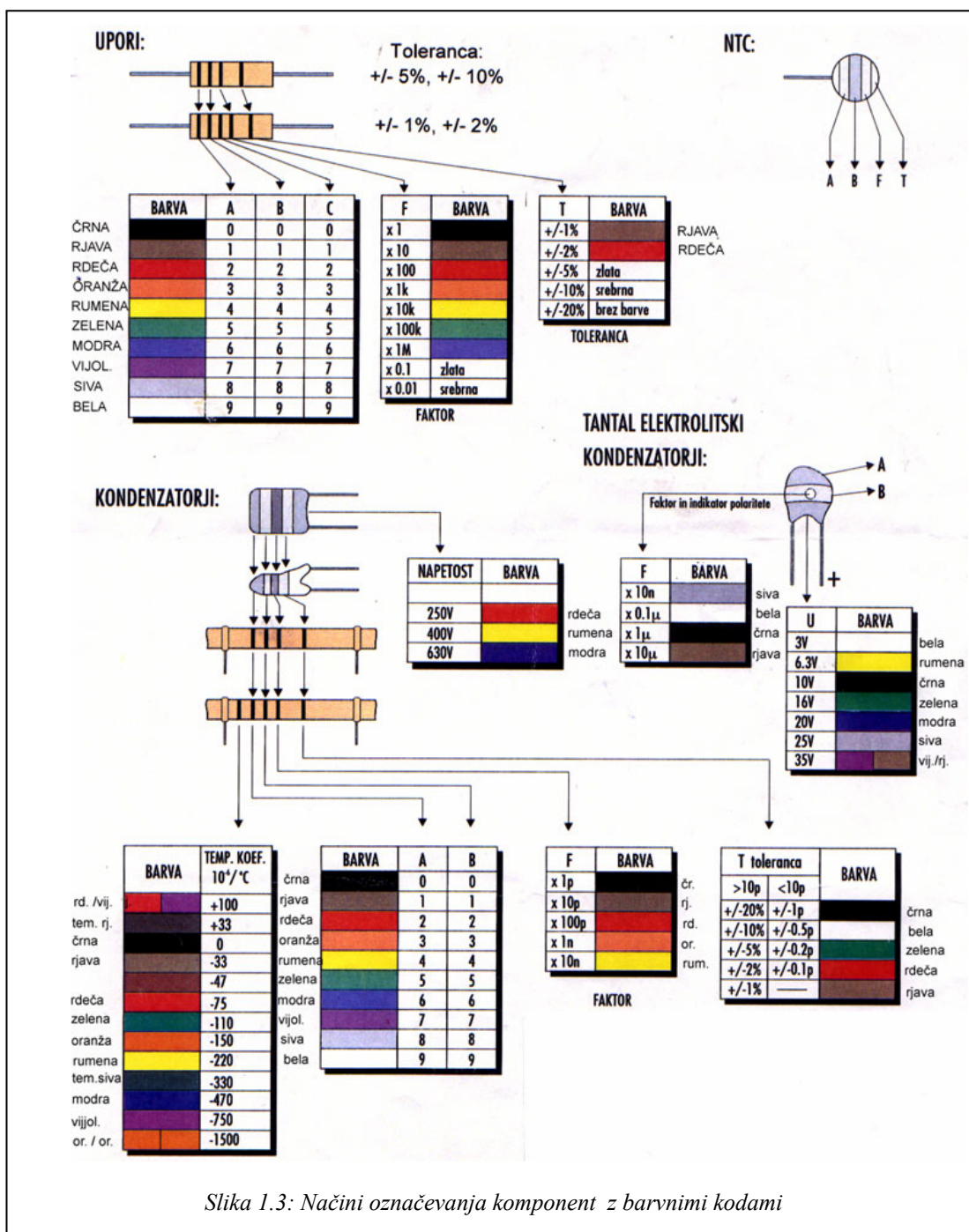
*Črkovne oznake pomenijo:*

<b>E</b> → ( $\pm 0.005$ ),	<b>L</b> → ( $\pm 0.01$ ),	<b>P</b> → ( $\pm 0.02$ ),
<b>W</b> → ( $\pm 0.05$ ),	<b>B</b> → ( $\pm 0.1$ ),	<b>C</b> → ( $\pm 0.25$ ),
<b>D</b> → ( $\pm 0.5$ ),.....	<b>N</b> → ( $\pm 30$ ),	<b>Q</b> → ( $+30, -10$ ),
<b>T</b> → ( $+50, -10$ ),	<b>S</b> → ( $+50, -20$ ),	<b>Z</b> → ( $+80, -20$ )

*Barvne oznake pomenijo:* (ppm=  $10^{-6}$ )

črna	→ ± 250ppm	rumena	→ ± 25ppm
rjava	→ ± 100ppm	zelena	→ ± 20ppm
rdeča	→ ± 50ppm	modra	→ ± 10ppm
oranžna	→ ± 35ppm	vijoličasta	→ ± 5ppm
		siva	→ ± 1ppm

*Primer:* oznaka 6p8D pomeni, da je  $C=6,8\text{pF}$  in toleranca  $\pm 0,5\text{pF}$  oziroma oznaka 6n8D pomeni, da je  $C=6,8\text{nF}$  in toleranca  $\pm 0,5\%$



Slika 1.3: Načini označevanja komponent z barvnimi kodami

### 1.1.5 TEMPERATURNA ODVISNOST GLEDE NA TEMPERATURNI KOEFICIENT

Temperaturni koeficient -  $\alpha$  je lahko POZITIVEN ali NEGATIVEN, odvisno od komponente. Običajno ga označujemo na dva načina in sicer :

$$\alpha = 2,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C} \quad \text{ali pa}$$

$$\alpha = 2,5\text{ppm (partes per milion} = 1 \cdot 10^{-6}\text{),}$$

kar pomeni enako vrednost spremembe vrednosti parametra na  $^\circ\text{C}$ .

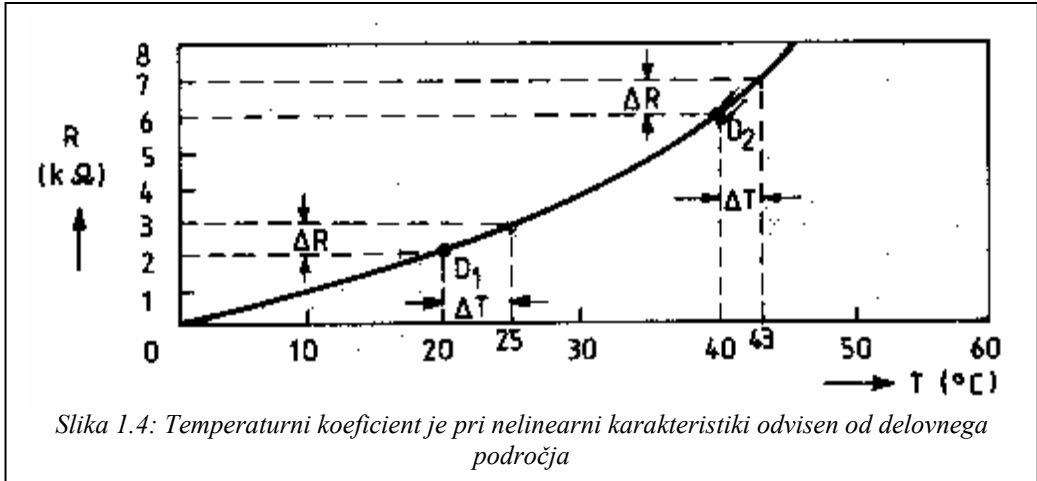
Elektronske komponente so različno temperaturno občutljive vendar pogosto smatramo, da imajo v določenem oz. manjšem temperaturnem razponu relativno linearno odvisnost. V tem primeru lahko na podlagi temp. koeficienta in izhodiščne vrednosti izračunamo spremembo nazivnih parametrov (upornost, kapacitivnost, napetost kolena PN spoja,...) glede na spremembo temperature.

V splošnem lahko za »linearni« del karakteristike, na podlagi podane vrednosti pri začetni temperaturi (npr: 20°C), vrednosti temperaturnega koeficienta in razlike temperature, izračunamo spremenjeno vrednost parametra komponente (npr: upornosti upora) po sledečem obrazcu:

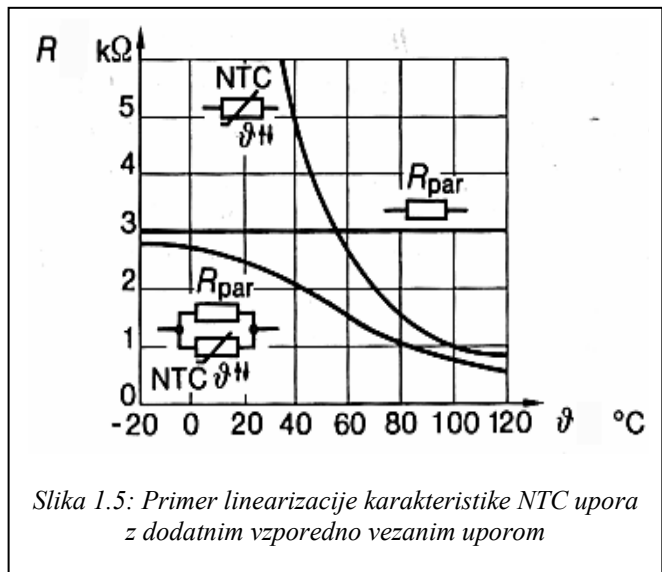
$$R_{(T)} = R_{(20)} \cdot [1 + \alpha_R (T - T_{(20)})]$$

pri čemer je  $\alpha_R$  definiran kot:

$$\alpha_R = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\Delta T}$$



V nekaterih primerih zaradi močne nelinearnosti karakteristike, širokega temperaturnega razpona ali povišanih zahtev (npr: merjenje temperature s pomočjo NTC upora) ne moremo poenostavljati in računati po gornji enačbi. V takšnih slučajih je potrebno z različnimi vezavami aproksimirati (linearizirati) nelinearno odvisnost, da je v želenem območju spremembe temperature, pogrešek v okviru dovoljenega. V novjšem času je pri proizvajalcih takšnih komponent (npr. SIEMENS) na razpolago že izdelana programska podpora, s katero lahko na podlagi izbranega tipa in želenih zahtev, izračunamo vrednosti ostalih komponent v vezju.



Podobni računalniški programi obstajajo za meritev temperature s pomočjo termistorjev, za izračun oz. načrtovanje PLL vezij, za načrtovanje stikalnih (SWITCH-MODE) napajalnikov, ipd.)

1.1.6 PRAVILA ZA RISANJE ELEKTRIČNIH SHEM (vir: El. pr. Friedrich, stran 3.30)

### 3.17 Pravila za risanje tokovnih shem

#### Velikost in debelina črt grafičnih simbolov

V isti tokovni shemi uporabljamo enake debeline črt skladno z DIN 6774 (glej stran 13–2!).

Če želimo tokokroge poudariti oz. ločevati, lahko za povezovalne črte uporabljamo črte različnih širin.

Velikost in širina črt nimata odločilnega vpliva na pomen simbola. Včasih je primerno uporabiti simbole različnih velikosti:

- za poudarjanje pomembnosti predstavljene opreme,
- da olajšamo dodajanje informacij (napisov),
- da omogočimo risanje večjega števila priključkov.

Pri izbiri velikosti simbola moramo paziti na določena razmerja stranic oz. dolžin:

#### Prikaz priključkov

Priključkov na napravah ne prikazujemo posebej. Kot priključek velja konec povezovalne črte na simbolu oz. presečišče povezovalne črte s črto obrisa.

Posebni priključki, ki ne pripadajo nobeni napravi, kot npr. vrstne sponke na letvi, vtično-spojne naprave in letve za spajkanje, prikazujemo enotno kot točke.

Pri ločilnih črtah so povezovalna mesta dopolnjena z dodatno oznako priključka.

#### Položaj napisov ob grafičnih simbolih

Pri navpičnem poteku tokokroga, vpisujemo posameznemu simbolu prirejene podatke, levo ob pripadajočem simbolu. Oznaka priključka je zabeležena izven simbola, pri vodoravnem zapisu desno, pri vertikalno ležečem pa levo od povezovalne črte.

Oprema	Simbol	Velikost
upor		1: ≥ 2
navitje		1: ≥ 2
varovalka		1: 3
kondenzator		 $a = 1/5 \text{ do } 1/3$ dolžine $l$
elektromehanski pogon dodatno polje za posebne lastnosti		1: 2
		1: 1 do 1: 2
stikalni mehanizem		1: 1
primarni element, baterija		 $l_1 = 2 \cdot l_2$

V standardih predstavljene priključne črte so le primer, lahko pa jih razporedimo tudi drugače.

V nekaterih primerih ima razporeditev priključnih črt določen pomen, zato ga ne smemo spreminjati:

ali

tuljava kontaktorja

Pri prikazu priključnih črt ne upoštevamo razporeda povezovalnih črt oz. razporeda priključkov.

#### Tehnični podatki in pojasnila

Enote (npr. V, Ω, F) in predpone (npr. μ in k) običajno vnašamo.

Pri pogosto uporabljenih simbolih lahko navedbo enot izpustimo, če je enota prepoznavna s simbolom.

V neposredno bližino merilnega simbola lahko vpišemo tudi tehnične podatke (npr. napetosti in prestavna razmerja transformatorjev), merilne veličine in nastavitvene vrednosti (npr. vrednosti s skale potenciometra in nastavljenih vrednosti časovnih relejev).

#### Napotki za proizvodnjo

Kadar za proizvodnjo niso izdelani dodatni načrti, je smiselno vnesti v obstoječe načrte napotke za proizvodnjo, npr. podatke o materialu, načinu polaganja vodnikov in zaslanjanju.



## 1.2 UPORI

### 1.2.1 NESPREMENLJIVI UPORI

Ohmski upori predstavljajo v elektronskih vezjih osnovne komponente za nastavitev delovnih pogojev vezja (režim delovanja, delovne točke, enosmerne razmere,...). Na področju širše elektrotehnike ohmski upori omogočajo omejitev toka oziroma ustvarjanje potrebnega padca napetosti. Glede na področje uporabe obstaja več vrst, ki se razlikujejo po moči, temp. stabilnosti, obliki, tehnologiji montaže, stranskih učinkih, toleranci,... Obstajajo izvedbe različnih moči, kar moramo upoštevati tudi pri dimenzioniranju v vezju. Po tehnologiji izdelave jih lahko delimo v sledeče skupine:

- **Plastni** - ogljenoplastni ( $\alpha_R = -150\text{ppm} \div 1500\text{ppm}$ )  
- metalplastni ( $\alpha_R = \pm 150\text{ppm} \div \pm 15\text{ppm}$ )
- **Žični** – (omogočajo večje tokove in moči, imajo boljše linearnost pri spremenljivih izvedbah, stranski učinek predstavlja induktivnost).
- **SMD** - značilni so po miniaturnosti, nizka induktivnosti in cenenosti

### 1.2.2 NASTAVLJIVI UPORI

Razlikujejo se po različnem poteku spreminjanja upornosti. Potenciometre v novejšem času zaradi digitalne obdelave signalov vedno redkeje uporabljamo. Nadomeščajo jih inkrementalni enkoderji ki so po zunanem izgledu podobni potenciometrom. Značilnejše karakteristike so sledeče:

- linearni potek
- karakteristika po naraščajočem eksponentu...+e
- karakteristika po padajočem eksponentu.....e
- povdarjeno naraščajoča logaritemska.....+log
- povdarjeno pojemajoča logaritemska .....-log
- karakteristika »S« oblike
- naraščujoča z dvema linearnima odsekoma
- padajoča z dvema linearnima odsekoma

Vendar pa se upori za enkratno nastavitev (trimerji), še vedno pogosto uporabljajo. So različnih oblik (pokončna, ležeča, precizna-*multiturn*) in tudi v SMD izvedbah.

Glede na vrsto podlage na kateri je nanešena uporovna snov se spremenljivi upori (potenciometri, trimerji) razlikujejo po temperaturnem koeficientu in sicer:

- pri podlagi iz keramike je: ( $\alpha_R = -1 * 10^{-3} / ^\circ\text{K} \div + 1 * 10^{-3} / ^\circ\text{K}$ )
- pri podlagi iz papirnega laminata je: ( $\alpha_R = -2 * 10^{-3} / ^\circ\text{K} \div + 1 * 10^{-3} / ^\circ\text{K}$ )

### 1.2.3 UPORI S POSEBNIMI KARAKTERISTIKAMI

Za posebne upore je značilna odvisnost upornosti glede na spremembo različnih veličin, ki neposredno ali posredno delujejo na upor (npr.: temperatura, svetloba, magnetno polje, napetost). Taki upori se uporabljajo večinoma kot senzorji za merilne ali regulacijske namene.

#### 1.2.3.1 NTK upori

Za NTK upore je značilen izrazit negativen temperaturni koeficient. Zaradi relativno velike nelinearnosti karakteristike, je pri vezjih za »meritev« temperature (do 300°C) potrebna linearizacija karakteristike s pomočjo kombinacije uporov. Temperaturni koeficient je v sledečem razponu:  $\alpha_R = -2,5 \text{ \%} / ^\circ\text{K} \div -5,5 \text{ \%} / \text{K}$ . Nelinearnost karakteristike je mogoče aproksimirati s sledečo enačbo:

$$R_1 = R_2 \cdot e^{\alpha_R \left( \frac{T_2}{T_1} \right)}$$

Če naj bo pri uporabi NTK upora (*termistorja*) za spremembo upornosti odločilna temperatura okolice, je potrebno **preprečiti lastno segrevanje** zaradi toka skozenj. Če obstaja možnost dodatnega lastnega segrevanja termistorja je potrebno upoštevati sledeča kriterija:

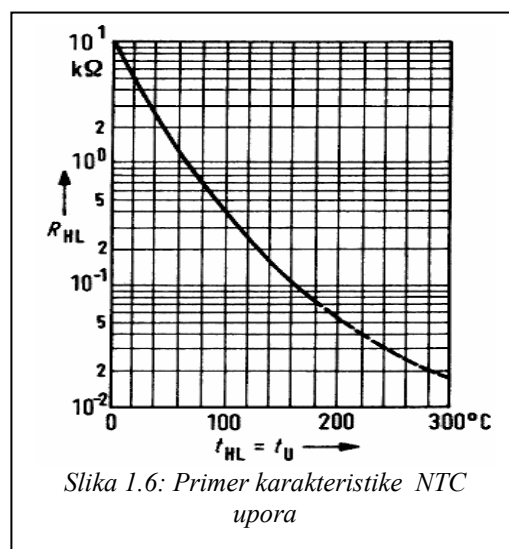
$$I_{max} = \sqrt{\frac{G_{Th} + \Delta T}{R_{Hl}}} \quad U_{max} = \sqrt{G_{Th} \cdot R_{Hl} \cdot \Delta T}$$

Pri čemer pomeni:

$G_{th}$  ..... toplotna prevodnost (mW/K)

$R_{hl}$  .....podana upornost NTK upora

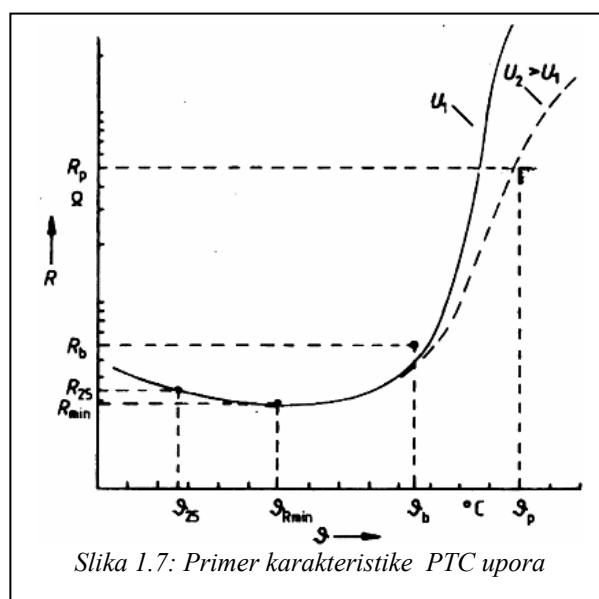
$\Delta T$ .....temp. razlika med uporom in okolico(K)



Slika 1.6: Primer karakteristike NTC upora

### 1.2.3.2 PTK upori

Za kovinske PTK upore je značilen močan temperaturni koeficient, ki pa ni v celotnem temp. območju pozitiven. Za nižje temperature je koeficient negativen, pri t.i. Curijevi temperaturi pa preide v pozitivnega. Nad Curijevo temperaturo, je temperaturni koeficient izrazito pozitiven in prav v tem področju je PTK nabolj uporabljiv. PTK upori za razliko od NTK uporov omogočajo dosti večje obremenitve, saj lahko skozi njih steče trenutni tok več deset amperov kar povzroči, da se v trenutku segreje, posledično se drastično poveča upornost in v končni fazi omeji tok. PTK upor omeji tok na tolikšno vrednost, da se ustvari ravnovesje, ko je dovedena energija enaka odvedeni. Takrat se PTK vzdržuje na sorazmerni temperaturi (podobno kot je omejen tok skozi žarnico z Wolframovo nitko).

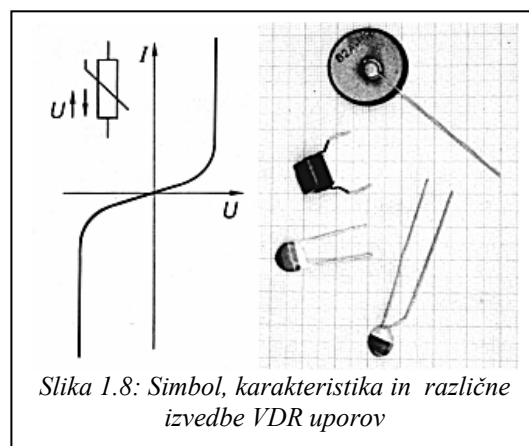


Slika 1.7: Primer karakteristike PTC upora

V novejšem času se veliko uporabljajo PTK varovalke (npr. *PolySwitch*), ki so izdelane na osnovi tehnologije polimerov. Upornost začne pri doseženi kritični temperaturi močno naraščati. Kritična temperatura je lahko dosežena posredno zaradi okolice (npr. termična zaščita pri NiCd baterijah) ali neposredno z lastnim segrevanjem zaradi prekoračenega toka (tokovna zaščita).

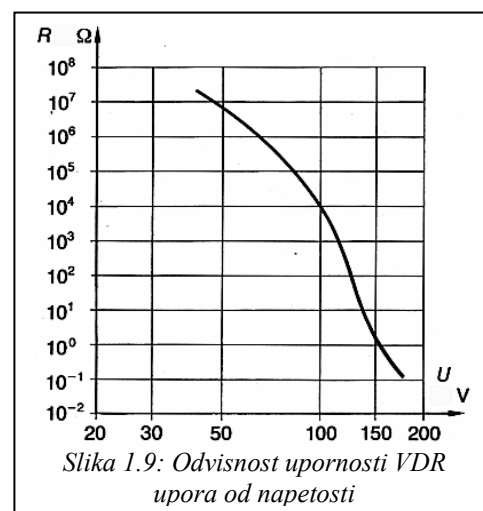
### 1.2.3.3 VDR upori

Za VDR upore (varistorje) je značilna napetostna odvisnost upornosti. Karakteristika je simetrična z izrazitim »kolenom«, kjer se upornost drastično zmanjšuje. Tehnološko so narejeni iz znc silicijevega karbida, ki so sintrani z veznim materialom ali pa sintrani iz cinkovega oksida z dodatki (metaloksidni varistorji). VDR upori so po obliki podobni ploščatim keramičnim kondenzatorjem, so pa tudi paličaste izvedbe, v obliki tabletk ali pa v ohišjih za posebne namene (npr: za razmagnetenje slikovne cevi, za startni rele enofaznega asinhronskega elektromotorja,...). Odlikuje jih velika obremenljivost in hiter odzivni čas.



Slika 1.8: Simbol, karakteristika in različne izvedbe VDR uporov

V ekstremnih primerih se lahko upornost VDR uporov zmanjša iz več kot  $1\text{M}\Omega$  na manj kot  $1\Omega$  pri povišani napetosti. To omogoča proces pri katerem se zaradi napetosti spreminjajo kontaktne upornosti med sintranimi kristali kovinskih oksidov. Napetosti kolena so v širokem razponu od nekaj 10V do nekaj 1000V. Največkrat se uporabljajo za omejevalnike napetostnih konic ( zaščita pred atmosferskimi razelektritvami, za omejevanje induciranih napetosti induktivnih bremen, za zmanjšanje iskrenja pri kolektorskih elektromotorjih,..).



### Izbira in dimenzioniranje varistorjev v praksi

Izbiramo v treh korakih:

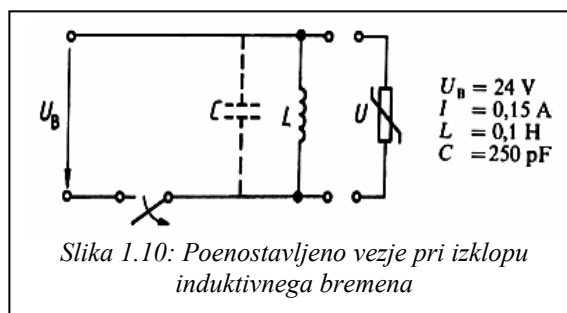
- Iskanje varistorjev, ki so primerni za predvideno obratovalno napetost. Pri omejevanju napetosti izberemo varistor, ki ima najvišjo obratovalno napetost enako predvidenemu nivoju napetosti, pri katerem naj nastopi omejevanje.
- Najprimernejši varistor izberemo glede na vrednost maksimalne trajne obremenitve, najvišje dovoljene absorpcije energije in največji dovoljeni udarni tok (zadnji dve vrednosti glede na ocenjeno pričakovano pogostnost in trajanje impulzov).
- Primerjamo največji porast napetosti za primer prenapetosti na izbranem varistorju in ga primerjamo z napetostno trdnostjo komponente (naprave), ki jo ščiti varistor.

Primer:

### Omejitev inducirane napetosti pri izklopu tuljave

Z varistorjem želimo omejiti previsoko inducirano napetost pri izklopu relejskega navitja.

Pri izklopu induktivnega bremena, energija tuljave napolni vzporedno kapacitivnost (lastna kapacitivnost tuljave). Magnetna energija tuljave se izmenoma pretvarja v električno energijo kondenzatorja in nazaj, iz tega pa lahko izračunamo višino inducirane napetosti.



$$\frac{1}{2}L \cdot i^2 = \frac{1}{2}C \cdot u^2 \rightarrow u_{\max} = i \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$u_{\max} = 0,15\text{ A} \cdot \sqrt{\frac{0,1\text{ H}}{250\text{ pF}}} = 3000\text{ V}$$

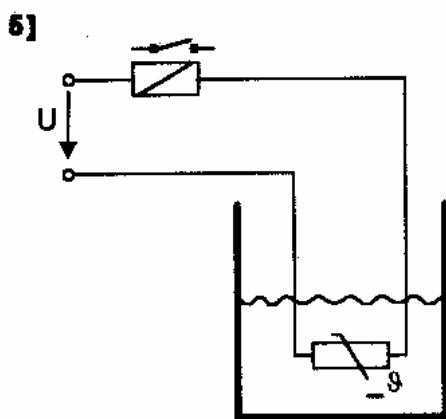
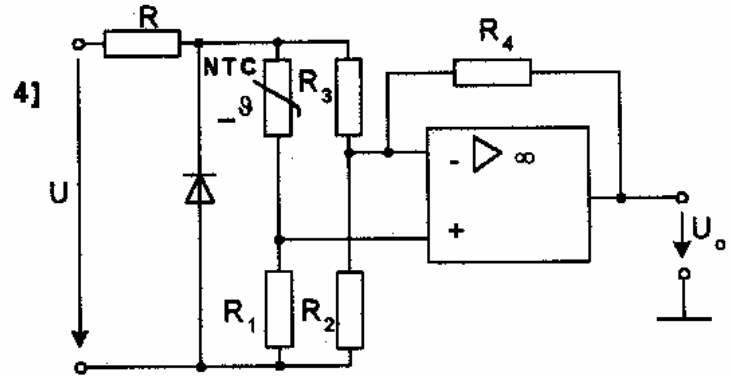
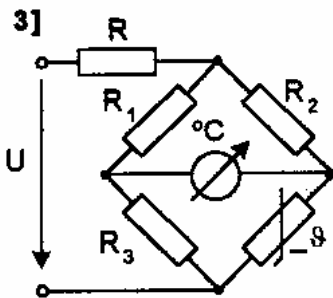
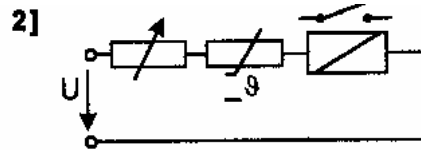
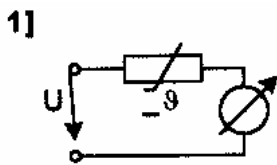
Primer izračuna in izbire usterznega varistorja je v Elektrotehniškem priručniku na strani 4-12.

Za odpravljanje (zniževanje) napetostnih konic v **izmeničnih tokokrogih** se v praksi uporabljajo tudi plinski napetostni odvodniki, vzporedno vezani z varistorji, zaporedne RC kombinacije in polprevodniške omejlne diode (*supressor diode*).

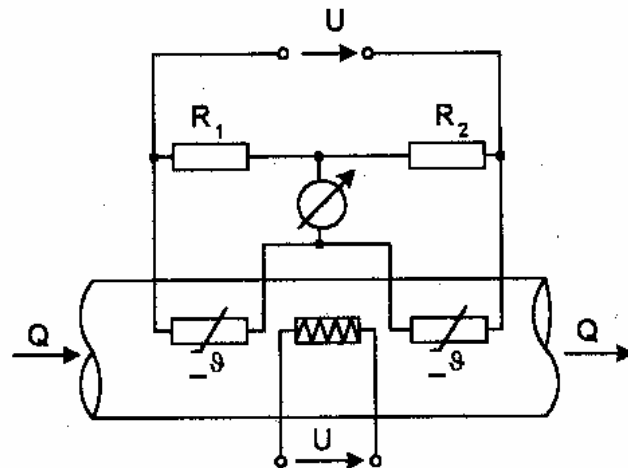
V **enosmernih tokokrogih** omejujejo inducirane napetosti antiparalelno k bremenu vezane diode oz. zener diode. V zahtevnejših vezjih (npr. pri stikalnih napajalnikih) se uporabljajo različne kombinacije vezave kondenzatorja, upora in diode (*CRD-snubber circuit*).

1.2.4 PRILOGA 1: Primeri uporabe NTK uporov v praksi

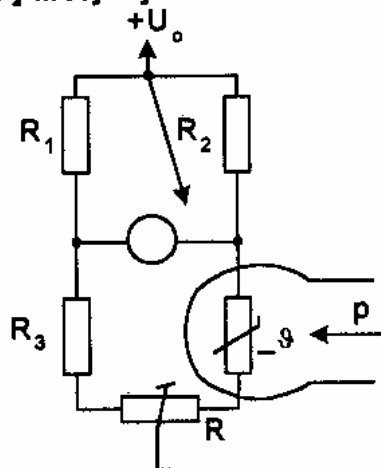
- Za merjenje (kontrolno) temperature
- Za kompenzacijo temperaturnih sprememb v elektronskih vezjih



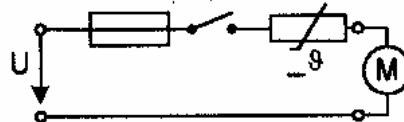
6] Merjenje pretoka tekočine



7] Merjenje tlaka



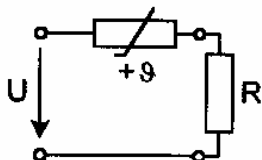
8] Tokovna zaščita



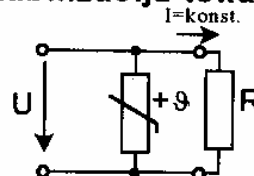
### 1.2.5 PRILOGA 2: primeri uporabe PTK uporov v praksi

- Za segrevanje medija in samoregulacijo temperature
- Za demagnetizacijo slikovnih cevi
- Za omejitev zagonskega toka pri enofaznih elektromotorjih
- Za temperaturno kompenzacijo

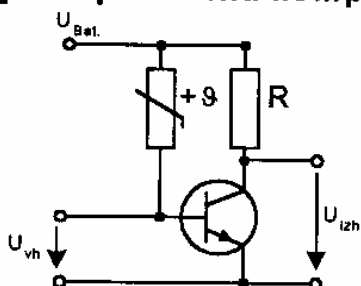
1] tokovna zaščita



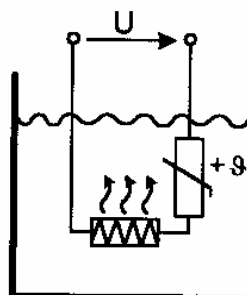
2] Stabilizacija toka



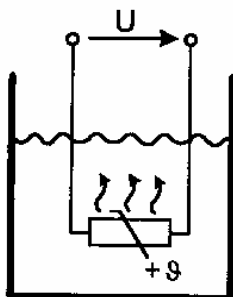
3] Temperaturna kompenzacija



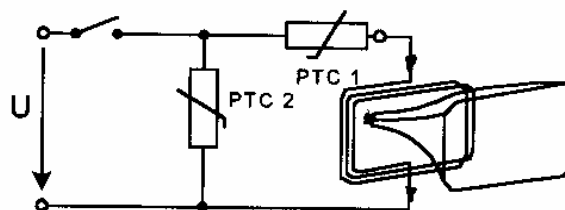
4] Kontrolni element



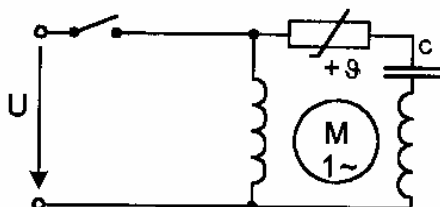
5] Kombinacija grela in kontrole



6] Demagnetizacija ekrana



7] Omejitev zagonskega toka pri elektromotorjih



### 1.3 KONDENZATORJI

#### 1.3.1 ZNAČILNI PARAMETRI

- Kapacitivnost- $C$  [F- Farad],
- Delovna napetost- $U_N$
- Temperaturno območje
- Temperaturni koeficient-  $\alpha_c$
- Izgubni faktor-  $\text{tg}\delta$
- Toleranca
- ESR faktor

$$\text{tg}\delta = \frac{I_{Rp}}{I_c} = \frac{1}{R_p \cdot \omega \cdot C}$$

(Ekvivalent Series Resistance)

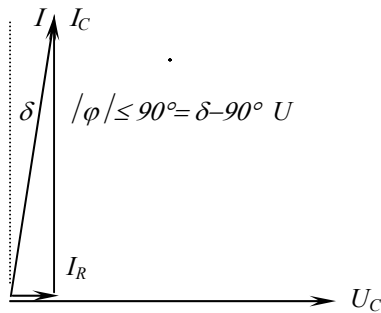
ESR faktor je definiran kot:  $ESR = \frac{\text{tg}\delta}{\omega \cdot C}$

- **Prečni tok (Leakage current):**

$$I_p \leq 0.02 C \cdot U [\mu A] < 3mA$$

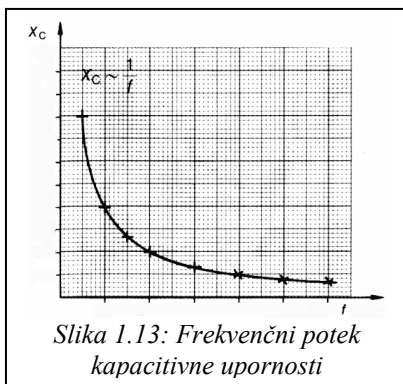
$U$ ...napetost na kondenzatorju

- **Preizkusna napetost -  $U_p$**
- **Kazalčni diagram:**



- **Kapacitivna upornost - $X_C$ :**

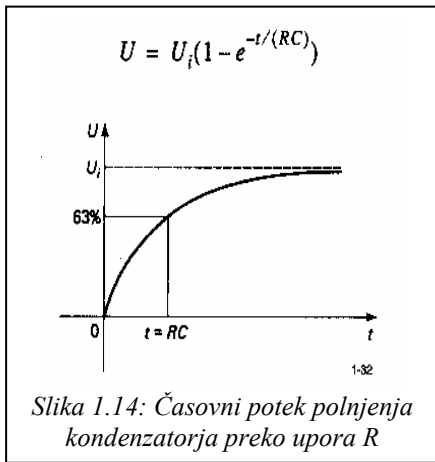
$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$



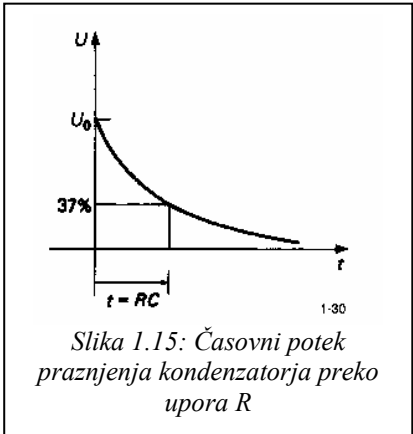
Slika 1.13: Frekvenčni potek kapacitivne upornosti

Trenutna vrednost toka  $i_c$  je:

$$i_c = C \cdot \frac{dU}{dt}$$



Slika 1.14: Časovni potek polnjenja kondenzatorja preko upora R

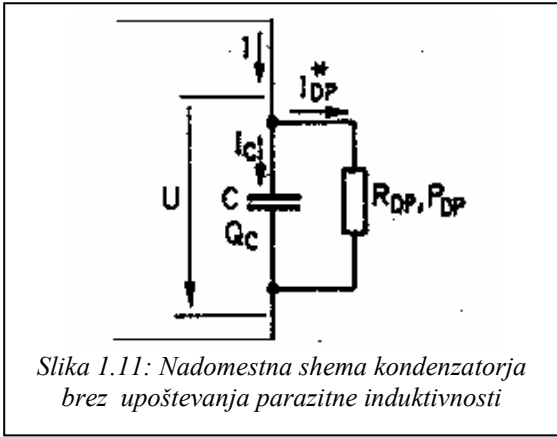


Slika 1.15: Časovni potek praznjenja kondenzatorja preko upora R

- **Prehodni pojav:**

Časovna konstanta pri  $RC$  oz.  $CR$  vezavi izračunamo kot:

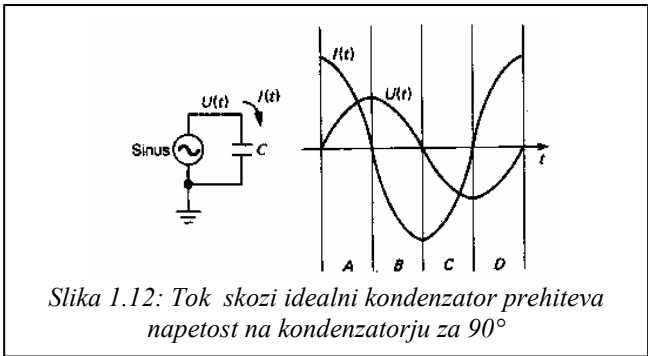
$$\tau = R \cdot C \quad [s]$$



Slika 1.11: Nadomestna shema kondenzatorja brez upoštevanja parazitne induktivnosti

$$Q_c = I^2 \cdot X_C \text{ (Jalova moč)}$$

Fazne razmere:



Slika 1.12: Tok skozi idealni kondenzator prehiteva napetost na kondenzatorju za 90°

- **Fazni kot je NEGATIVEN ( $\varphi \leq -90^\circ$ ),**
- **ker TOK prehiteva napetost**
- **Ohmov zakon za trenutne in maks. vrednosti NE velja.!**
- **Ohmov zakon velja le za efektivne vrednosti!**

### 1.3.2 VRSTE KONDENZATORJEV IN BISTVENE ZNAČILNOSTI

VRSTA	OZNAKA	ZNAČILNOSTI	tgδ
Keramični	Tip1(NP0,N220.N750)	C=0,5÷390pF (lin. temp. koef.)	1•10 <sup>-3</sup>
	Tip2(X7R)	190pF÷15nF (nel.α <sub>c</sub> )	35•10 <sup>-3</sup>
	Z zaporno plastjo	470pF÷1μF (nel.α <sub>c</sub> )	10•10 <sup>-3</sup>
Papirni	P	100pF÷1μF	35•10 <sup>-3</sup>
Metalizirani papirni	MP, HO	0,1μF÷100μF	6•10 <sup>-3</sup>
Poliesterski	KT, MKT	47pF÷100μF	6•10 <sup>-3</sup>
Polikarbonatni	KC, MKC	100pF÷10μF(mali temp. koeficient)	3•10 <sup>-3</sup>
Stirofleksni	KS, MKS	2pF÷10μF (zelo majhne izgube)	0,1•10 <sup>-3</sup>
Polipropilenski	KP, MKP	300pF÷30μF	0,3÷1•10 <sup>-3</sup>
Elektrolitski Al		0,1μF÷50000μF polarizirani in nepolarizirani	0,1÷2
Elektrolitski tantal		0,1μF÷2500μF nepolarizirani	0,02÷0,1
Double layer Gold cap		0,1μF÷100μF( memory backup) za nizke napetosti 1,5 –5,5V	Ni podatka
Sljudni		10pF÷1μF (za visoke napetosti)	2,5•10 <sup>-3</sup>
Nastavljivi		2pF÷1000pF	

Izgubni faktor tgδ je podatek, ki je frekvenčno odvisen. Zato je bistvenega pomena, da je izmerjen pri standardizirani (dogovorjeni) frekvenci, da je primerljiv. Največkrat je izgubni faktor podan za frekvenco 1000Hz ali pa 400Hz. Nekateri merilni instrumenti imajo možnost izbire frekvence pri meritvi.

### 1.3.3 KOREKCIJA OBREMENITVE ZARADI POVIŠANE DELOVNE TEMPERATURE

V zahtevnejših pogojih delovanja (povišana temperatura okolice, visoka frekvenca toka oz. napetosti, impulzna obremenitev) prihaja do segrevanja zaradi večjih izgub. V takšnih primerih je potrebno upoštevati korekcije obremenitve, ki jih poda proizvajalec med tehničnimi podatki. Natančnejši podatki in priporočila so navedena tudi v Elektrotehniškem priročniku Friedrich na straneh 4-15 do 4-20.

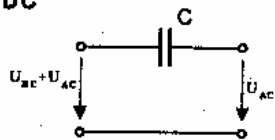
(Nazivno napetost je potrebno korigirati s procentualnimi vrednostmi iz tabele)

Primer za kondenzatorje tipa GPF in HPF:

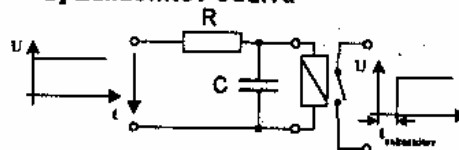
Temperatura okolice	dopustna obremenitev
do 40°C	100%
50°C	90%
60°C	80%
70°C	60%
80°C	40%
85°C	25%

1.3.4 PRILOGA 3: Pogostejši primeri vezav kondenzatorjev v praksi

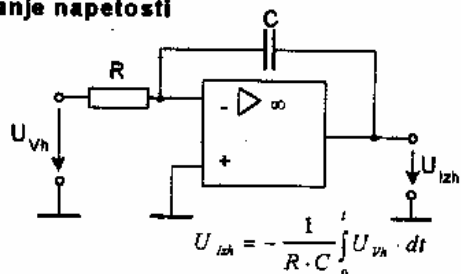
1) Ločitev AC in DC



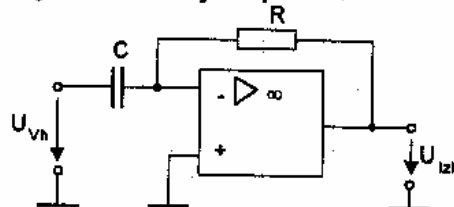
2) Zakasnitev odziva



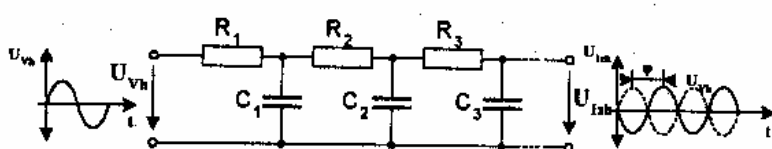
3) Integriranje napetosti



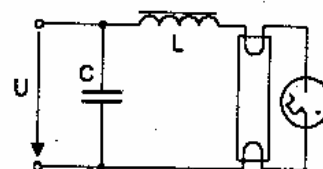
4) Diferenciranje napetosti



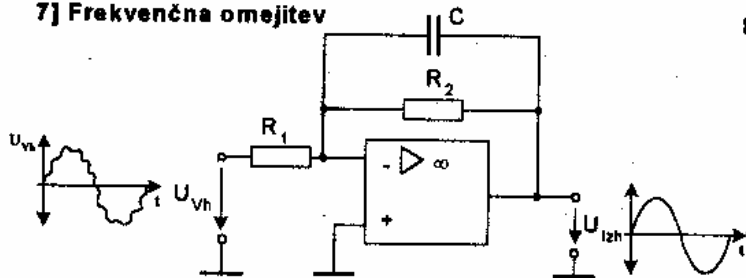
5) Ustvarjanje faznega premika



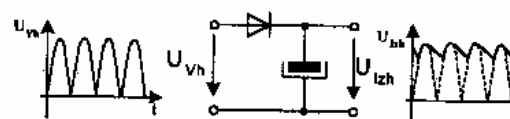
6) Kompenzacija jalove energije



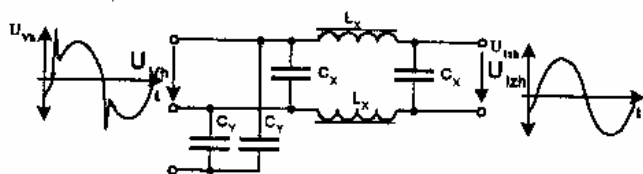
7) Frekvenčna omejitev



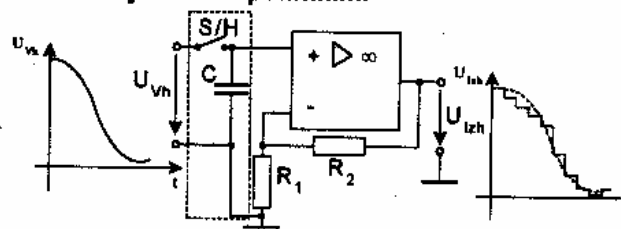
8) Glajenje valovitosti



9) Odprava RFM motenj



10) Začasni pomnilnik





## 1.4 INDUKTIVNE KOMPONENTE

### 1.4.1 ZNAČILNI PARAMETRI

- Induktivnost-  $L$  [H- Henry]
- Induktivna upornost-  $X_L$  [ $\Omega$ ]

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L$$

- Kvaliteta tuljave –  $Q$

$$Q = \frac{X_L}{R_L} = \frac{Q_L}{P_{CU}} ; Q = \frac{X_L}{R_{nad.}} = \frac{Q_L}{P_{CU} + P_{FE}}$$

$Q_L = I^2 \cdot X_L$  ....jalova moč na tuljavi

- Medsebojna induktivnost-  $M$
- Sklopni faktor-  $k$
- Prestavno razmerje  $n = N_2 / N_1$
- Izgubna upornost  $R_{CU}$ ... (**brez Fe jedra** !)

$R_{CU}$ ...za tuljavo **brez Fe** jedra

$R_{nad.}$ ...za tuljavo **s Fe** jedrom

- Izgubna moč (delovna):

$$P_{CU} = I^2 \cdot R_{CU} \dots \text{za tuljavo brez Fe jedra}$$

za tuljavo **s Fe** jedrom:

$$P_{CU} + P_{FE} = I^2 \cdot R_{nad.} \dots P_{FE} = P_V + P_H$$

$R_{nad.}$ .....ekvivalentna izgubna upornost

$P_V$  .....izgube zaradi vrtničnih tokov

$P_H$  .....izgube zaradi histerezne zanke

$$P_{izg} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

### Fazne razmere

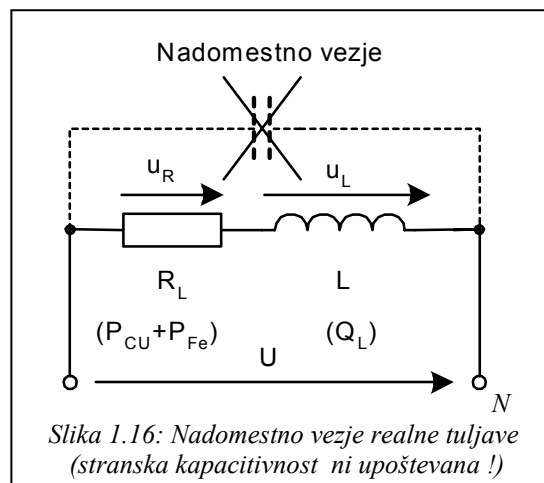
Velikost inducirane napetosti  $u_i$  v tuljavi je odvisna od hitrosti spreminjanja toka skozi tuljavo in od velikosti induktivnosti. Glede na sinusno obliko se tok najhitreje spreminja pri prehodu skozi ničelni nivo »zero crossing« zato je takrat  $u_i$  najvišja. Obratno velja, da v trenutku ko se tok ne spreminja (vrh sinusoide) ni inducirane napetosti. To je vzrok za fazni premik med napetostjo  $u_L$  in tokom  $i_L$ .

Na podlagi kazalčnega diagrama lahko ugotovimo, da je fazni kot zaradi izgub pri realni tuljavi v resnici vedno manjši od  $90^\circ$ .

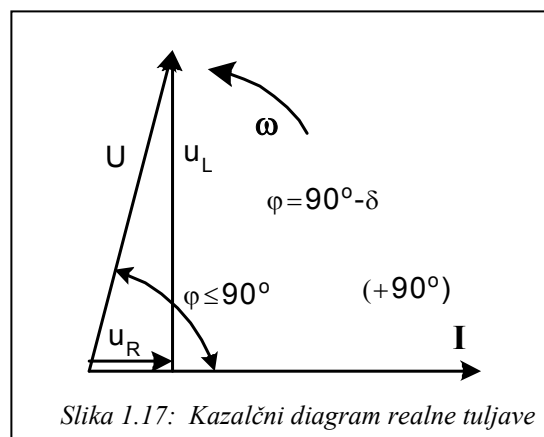
- Jalova moč:  $Q_L = I^2 \cdot X_L$

- Inducirana napetost je:  $u_i = -L \frac{d_i}{d_t}$

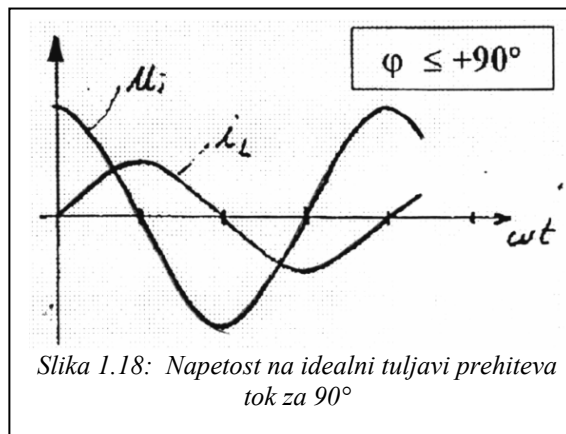
- Časovna konstanta pri  $RL$  oz.  $LR$  vezju (prehodni pojav):  $\tau = \frac{L}{R_{nad.}}$



Slika 1.16: Nadomestno vezje realne tuljave (stranska kapacitivnost ni upoštevana !)



Slika 1.17: Kazalčni diagram realne tuljave



Slika 1.18: Napetost na idealni tuljavi prehiteva tok za  $90^\circ$

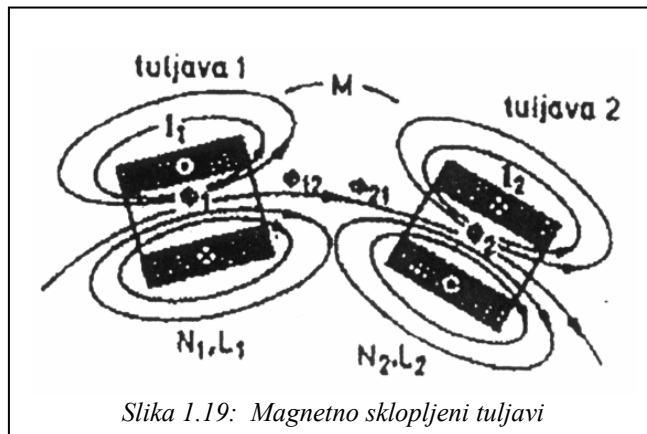
- Fazni kot je **POZITIVEN** ( $\varphi \leq 90^\circ$ )
- Napetost **PREHITEVA** tok
- Ohmov zakon za trenutne in maksimalne vrednosti **NE** velja
- Ohmov zakon velja le za efektivne vrednosti

### 1.4.2 MAGNETNO SKLOPLJENE TULJAVE

V praksi se za doseganje različnih učinkov koristijo tuljave, ki so med seboj magnetno spojene. V bistvu sta dve tuljavi na neki razdalji vedno bolj ali manj magnetno spojeni, kar je odvisno od medsebojne lege, vmesnega medija (železno ali feritno jedro, zrak,..) in seveda od medsebojne razdalje. tudi zelo oddaljeni tuljavi sta magnetno sklenjeni (npr. antenska tuljava oddajnika in antenska tuljava v radijskem sprejemniku).

Tudi tuljavi skozi kateri teče isti tok (v enaki ali nasprotni smeri) sta magnetno sklopljeni.

V električnih vezjih koristimo medsebojno sklopljene tuljave pri transformatorjih, varilnih aparatih (sekundarni tok se nastavlja posredno s spreminjanjem magnetnega sklopa) ali pa v elektroniki pri medfrekvenčnih stopnjah za doseganje željene frekvenčne karakteristike.



Slika 1.19: Magnetno sklopljeni tuljavi

#### Značilni parametri

- sklopni faktor-  $k$  ( $0 < k < 1$ )
- medsebojna induktivnost –  $M$

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

#### Kombinacije različnih magnetnih povezav

- Pri istosmiselni vezavi (a, b) velja:

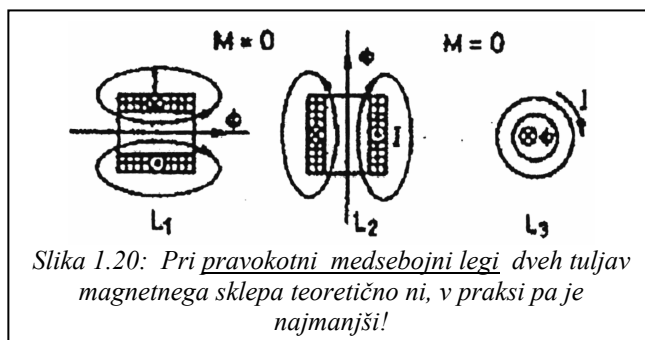
$$\text{a) } L_{12} = L_1 + L_2 + 2M$$

$$\text{b) } L_{12} = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$$

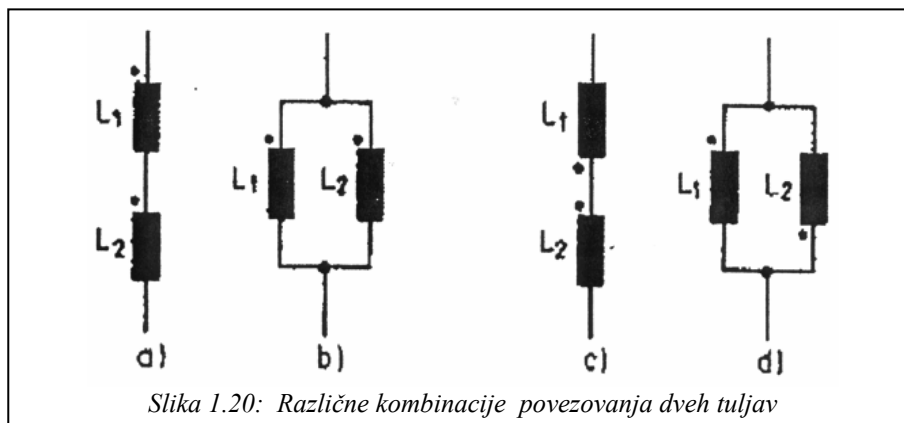
- Pri protistosmiselni vezavi (c,d) velja:

$$\text{c) } L_{12} = L_1 + L_2 - 2M$$

$$\text{d) } L_{12} = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$$



Slika 1.20: Pri pravokotni medsebojni legi dveh tuljav magnetnega sklepa teoretično ni, v praksi pa je najmanjši!



Slika 1.20: Različne kombinacije povezovanja dveh tuljav

V praksi se te vezave pojavljajo pri navitjih transformatorjev s čimer lahko spreminjamo skupno inducirano napetost na sekundarni strani (npr. pri varilnih transformatorjih). V nekaterih primerih povzročata magnetni fluks dve polovični tuljavi, ki morata biti vezani istosmiselno (npr. navitje satorja pri kolektorskih elektromotorjih).