



ELEKTRONIKA

Meno a priezvisko: _____

Trieda:_____

1. FYZIKÁLNE VELIČINY A JEDNOTKY

Každá fyzikálna veličina má číselnú hodnotu a jednotku. Pri výpočtoch sa jednotky nesmú vynechať.

$$U = R \cdot I$$

Správne:  $U = 5\Omega \cdot 5A = 25V$

Nesprávne:  $U = 5 \cdot 5 = 25V$

1.1 Medzinárodná sústava jednotiek SI

Zo základných jednotiek SI sú odvodené všetky ďalšie jednotky. Okrem jednotiek v elektronike využívame aj predpony, vďaka ktorým skracujeme zápis súčiastok.

Napríklad:

$$10\,000\,\Omega = 10k\Omega$$

$$0.000\,001F = 1\mu F$$

Zápis elektrických súčiastok:

$$3M3 = 3.3M\Omega = 3\,300\,000\Omega$$

$$\mu 1 = 0.1\mu F = 100nF$$

$$4m7 = 4.7mF = 0.004\,7F$$

$$5k6 = 5.6k\Omega = 5\,600\Omega$$

Jednotka	Značka jednotky	Veličina	Značka veličiny
meter	m	dĺžka	l
kilogram	kg	hmotnosť	m
sekunda	s	čas	t
ampér	A	elektrický prúd	I
kelvin	K	termodynamická teplota	T
mol	mol	látkové množstvo	n
kandela	cd	svietivosť	E

Tab. 1 Základne jednotky sústavy SI

T	tera
:	
G	giga
:	
M	mega
:	
k	kilo
:	
□	jednotka
:	
m	mili
:	
μ	mikro
:	
n	nano
:	
p	piko

Predpony			
Skratka	Názov	Hodnota	Hodnota
Y	yotta	1 000 000 000 000 000 000 000 000	10 ²⁴
Z	zetta	1 000 000 000 000 000 000 000 000	10 ²¹
E	exa	1 000 000 000 000 000 000 000	10 ¹⁸
P	peta	1 000 000 000 000 000	10 ¹⁵
T	tera	1 000 000 000 000	10 ¹²
G	giga	1 000 000 000	10 ⁹
M	mega	1 000 000	10 ⁶
k	kilo	1 000	10 ³
h	hekto	100	10 ²
da	deka	10	10 ¹
--	--	1	10 ⁰
d	deci	0,1	10 ⁻¹
c	centi	0,01	10 ⁻²
m	mili	0,001	10 ⁻³
μ	mikro	0,000 001	10 ⁻⁶
n	nano	0,000 000 001	10 ⁻⁹
p	piko	0,000 000 000 001	10 ⁻¹²
f	femto	0,000 000 000 000 001	10 ⁻¹⁵
a	atto	0,000 000 000 000 000 001	10 ⁻¹⁸
z	zepto	0,000 000 000 000 000 000 001	10 ⁻²¹
y	yokto	0,000 000 000 000 000 000 000 001	10 ⁻²⁴

Tab. 2 Predpony

Elektrické fyzikálne veličiny:

Názov odvodenej fyzikálnej veličiny	Symbol veličiny	Názov odvodenej jednotky	Symbol jednotky	Vyjadrenie jednotky v iných jednotkách SI	Rozmer
Elektrické napätie	U	Volt	V	$\text{W}\cdot\text{A}^{-1}$ ($\text{J}\cdot\text{C}^{-1}$)	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$
Elektrický náboj	Q	Coulomb	C	$\text{J}\cdot\text{V}^{-1}$ (F.V)	A.s
Rezistencia (činný elektrický odpor)	R	Ohm	Ω	$\text{V}\cdot\text{A}^{-1}$	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-2}$
indukčná reaktancia (induktancia)	X_L				
kapacitná reaktancia (kapacitancia)	X_C				
Impedancia (zdanlivý odpor)	Z				
Konduktancia (činná elektrická vodivosť)	G	Siemens	S	Ω^{-1}	$\text{m}^{-2}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^3\cdot\text{A}^2$
Susceptancia (jalová vodivosť)	B_L, B_C				
Admitancia (zdanlivá vodivosť)	Y				
Rezistivita	ρ	Ohm.meter	$\Omega\cdot\text{m}$	$(\Omega\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1})$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-2}$
Konduktivita	γ	Siemens/meter	S.m	$(\text{S}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{m})$	$\text{m}^{-3}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^3\cdot\text{A}^2$
Vlastná indukčnosť	L	Henry	H	$\text{Wb}\cdot\text{A}^{-1}$ ($\Omega\cdot\text{s}$)	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-2}$
Vzájomná indukčnosť	M	Henry	H	$\text{Wb}\cdot\text{A}^{-1}$	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-2}$
Elektrická kapacita	C	Farad	F	$\text{C}\cdot\text{V}^{-1}$	$\text{m}^{-2}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^4\cdot\text{A}^2$
Frekvencia	f	Hertz	Hz	---	s^{-1}
Hustota elektrického prúdu	J	Ampér/meter štvorcový	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$	---	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
Intenzita elektrického poľa	E	Volt/meter	$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$	$\text{N}\cdot\text{C}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$
Činný výkon	P	Watt	W	$\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$
Jalový výkon	Q	Var	var	V.A	---
Zdanlivý výkon	S	Volt.ampér	V.A	V.A	---
Elektrická práca, energia	W	Joule	J	N. m (W. s)	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
Fázový posun	φ	radián (stupeň)	rad (°)	---	$\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$
Účinník	$\cos \varphi$	---	---	---	---

Tab. 3 Odvođené jednotky sústavy SI

Základne veličiny:	Značka	Jednotka	(čítame)	
Elektrické napätie	U	V	(Volt)	
Elektrický prúd	I	A	(Ampér)	
Elektrický výkon	P	W	(Watt)	
Elektrický odpor	R	Ω	(Ohm)	Súčiastka: Rezistor
Elektrická kapacita	C	F	(Farad)	Súčiastka: Kondenzátor
Vlastná indukčnosť	L	H	(Henry)	Súčiastka: Cievka
Frekvencia	f	Hz	(Hertz)	

Základne vzťahy:

Ohmov zákon:	$U = R \times I$	[V, Ω , A]
Výpočet výkonu:	$P = U \times I$	[W, V, A]
Prúdové zosilnenie:	$I_C = I_B \times h_{FE}$	[A, A, -]
Frekvencia:	$f = 1 / t$	[Hz, s]
Uhlová rýchlosť:	$\omega = 2\pi \times f$	[rad/s, Hz]
Indukčná reaktancia:	$X_L = \omega \times L$	[Ω , rad/s, H]
Kapacitná reaktancia:	$X_C = 1 / \omega \times C$	[Ω , rad/s, F]
Vodivosť:	$G = 1 / R$	[s (siemens), Ω]

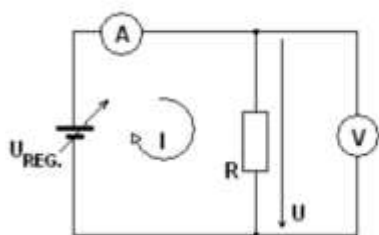
$$\frac{U}{R \times I}$$

$$\frac{P}{U \times I}$$

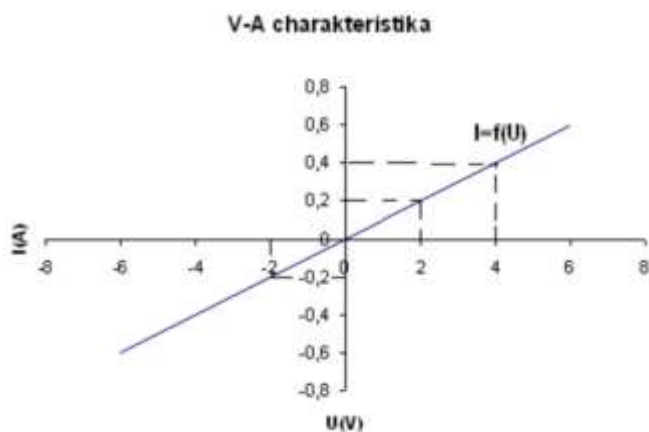
$$\frac{I_C}{I_B \times h_{FE}}$$

1.2 Lineárne súčiastky

Ak medzi napätím a prúdom prechádzajúcim súčiastkou je vo VA charakteristike výslednicou priamka, ide o lineárnu závislosť. Tejto závislosti zodpovedá lineárna rovnica $I=f(U)$. Patria sem rezistor, cievka, kondenzátor a transformátor.



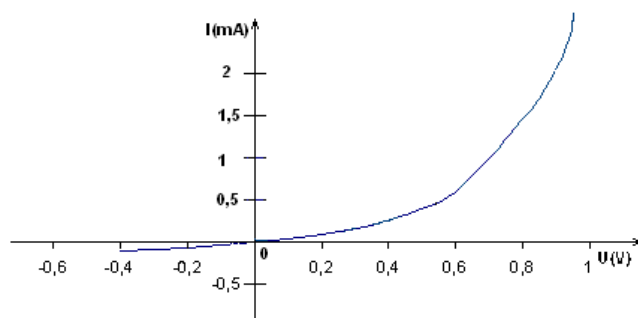
Obr. 1



Graf. 1 Lineárna VA charakteristika

1.3 Nelineárne súčiastky

Majú zakrivenú Volt-Ampérovú charakteristiku. Závislosť funkcie $U=f(I)$ nie je lineárna. Väčšinou je graf zostrojený z nameraných hodnôt. Patria sem všetky polovodičové súčiastky.



Graf. 2 Nelineárna VA charakteristika

2. POLOVODIČE

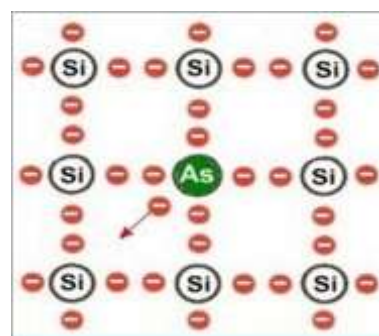
Polovodiče sú látky, ktoré majú merný odpor oveľa väčší ako kovové vodiče, ale menší ako izolanty. Merný odpor polovodičov závisí od teploty, osvetlenia, prímiesi, tlaku, elektrického a magnetického poľa a tak ďalej. Na rozdiel od kovov, v ktorých elektrický prúd prenášajú len elektróny, u polovodičov vedú elektrický prúd elektróny a „diery“. Najvýznamnejším polovodičom je kremík, ďalej germanium, selén, fosfor, arzén a iné.

Existujú dva typy vodivosti: **vlastná vodivosť** (bez prímiesi) a **nevlastná vodivosť**, ktoré vznikajú primiešaním prímiesi do kryštálovej mriežky polovodiča.

2.1 Nevlastná vodivosť

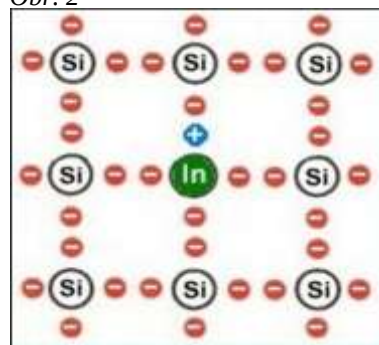
Nevlastná vodivosť vzniká, ak je kryštálová mriežka "znečistená" nepatrným množstvom prímiesi. Vhodným výberom prímiesi môžeme dosiahnuť, aby v polovodiči bol elektrický prúd vedený voľnými elektrónmi alebo "dierami".

V kremíku s prímiesou päťmocného prvku (As) je nadbytok voľných elektrónov, ktoré po pripojení k zdroju spôsobujú elektrónovú vodivosť typu **N**. Päťmocný prvok nazývame **donor** (darca). Prúd v polovodiči vedú elektróny (záporný náboj -).



Obr. 2

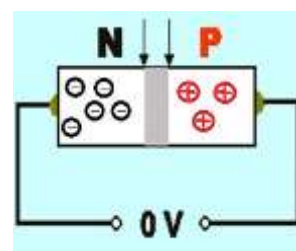
Prímes trojmocného prvku (In) vytvára v kryštáli kremíka nadbytok kladných "dier", ktoré po pripojení k zdroju spôsobujú dierovú vodivosť typu **P**. Trojmocný prvok nazývame **acceptor** (príjemca). Elektrický prúd v polovodiči P prenášajú voľné kladné náboje (diery - hole).



Obr. 3

2.1.1 PN prechod bez zdroja napätia

V oblasti styku oboch polovodičov **P** a **N**, sa časť elektrónov z oblasti **N** dostane do oblasti **P** a časť "dier" z oblasti **P** prejde do oblasti **N**. Voľné elektróny **rekombinujú** s "dierami", takže okolo prechodu **PN** sa vytvorí nevodivá oblasť bez voľných nábojov.

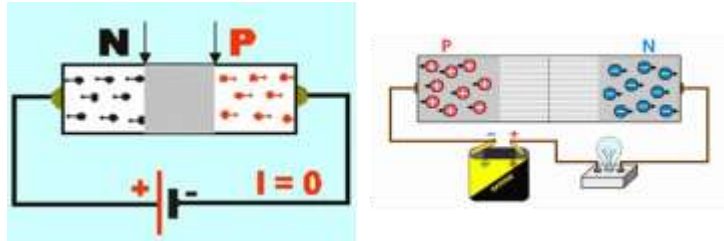


Obr. 4

2.1.2 Záverný smer

Ak pripojíme k polovodiču **P** záporný pól a k polovodiču **N** kladný pól zdroja, sa pôsobením elektrických síl voľné náboje vzdľahujú od prechodu **PN**. Oblasť bez voľných nábojov sa rozšíri, čo spôsobí, že odpor vzrastie a elektrický prúd prechodom **PN** nemôže prechádzať.

Nevodivej oblasti bez voľných nábojov hovoríme **hradlová vrstva**.

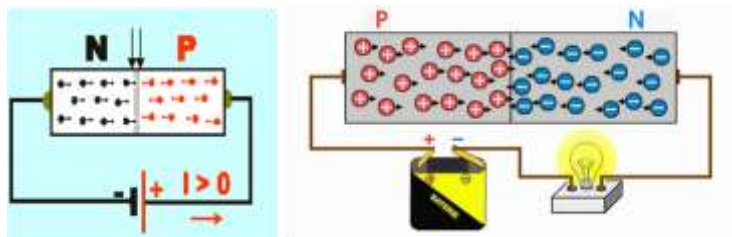


Obr. 5

2.1.3 Priepustný smer

Ak zmeníme polaritu pripojeného zdroja, prechádzajú pôsobením elektrických síl voľné elektróny cez prechod **PN** ku kladnému pólu a "diery" sú priťahované k zápornému pólu. Výsledkom je zúženie hradlovej vrstvy a zmenšenie jej odporu.

Takto zapojeným prechodom **PN** prechádza elektrický prúd.



Obr. 6

2.2 Vlastná vodivosť

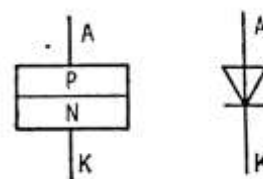
Polovodič bez prímiesí. Pri nízkych teplotách sú valenčné elektróny silne pripútané v mriežke - kremík prúd nevedie. Pri zahriatí (alebo vystavení svetlu, atď..) sa ióny v kryštálovej mriežke rozkmitajú a dochádza k uvoľňovaniu valenčných elektrónov – kremík je vodivý.

Polovodičmi je možné:

- merať svetelný tok a osvetlenie - využitím (Stoletovho) fotoelektrického javu (luxmetre a expozimetre),
- merať magnetické pole (Hallow jav),
- merať teplotu (termistor),
- premieňať elektrickú energiu na teplo a chlad (Peltierov jav) a naopak,
- premieňať svetelnú energiu na elektrickú (Stoletov objav – fotoelektrické články),
- premieňať mechanickú (tlakovú) energiu na elektrickú a naopak (piezoelektrický jav),
- premieňa jadrovú energiu na elektrickú,
- využívanie neelektrických vlastností:
 - luminofory – luminiscenčné javy v žiarivkách, CRT, atď. Premieňajú neviditeľné lúče na viditeľné,
 - feromagnetické – jadro feritovej antény je tiež polovodič.

3. DIÓDA

Polovodičová dióda - je dvojvrstvová polovodičová súčiastka tvorená jedným prechodom PN s dvoma elektródami: **anódou** a **katódou**. Vede elektrický prúd len jedným smerom. Najčastejšie ju využívame ako usmerňovač.



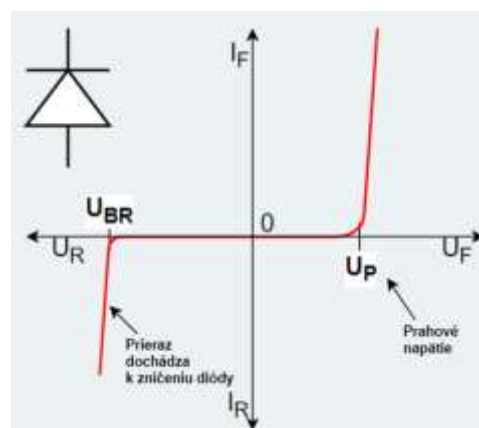
Obr. 7

Diódový jav - je jav závislosti elektrického odporu polovodiča s prechodom PN od polarity vonkajšieho zdroja napätia pripojeného k polovodiču.

3.1 Usmerňovacia dióda

Usmerňovacia dióda je primárne určená na usmernenie striedavého napätia. V elektronike sa diódy, kvôli svojim vlastnostiam, využívajú aj na iné účely. Ako napríklad detektor AM, tvarovanie sínusoidy, napäťový posun, teplotná kompenzácia a iné.

Pre väčšie prúdy sa diódy vyhotovujú v puzdrách, ktoré sa môžu namontovať na chladič.

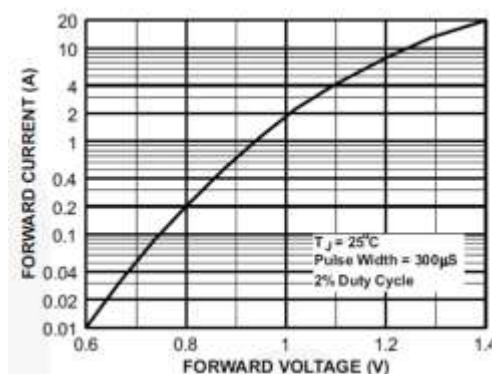


Obr. 8

Pre diódy určené na usmernenie sú dôležité tieto parametre:

- U_{MAX} (V_{RRM}) – maximálne napätie, pri ktorom môže dióda ešte fungovať ($U_{MAX} < U_{BR}$),
- I_{FMAX} (I_F) – maximálny prúd, ktorý dióda dlhodobo vydrží v priepustnom smere,
- P_{MAX} (P_D , P_{TOT}) – maximálny stratový výkon,
- U_F (U_{FMAX} , V_F , U_P) – úbytok napätia na dióde pri maximálnom prúde I_F .

Charakteristika vyjadruje úbytok napätia na dióde U_F , ktorá závisí od prúdu I_F prechádzajúcim diódou. Tento graf je charakteristický pre kremíkové diódy (z katalógového listu 1N4007).



Graf. 3

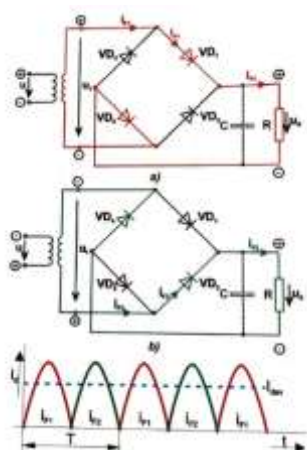
- kremík,
- germánium,
- selén.

Graph 4 shows the forward and reverse characteristics of Silicon and Germanium diodes. The forward current (mA) is plotted against forward voltage (V). The reverse current (μA) is plotted against reverse voltage (V). Silicon has a higher forward voltage drop (around 0.6V) compared to Germanium (around 0.2V). Both materials show very low reverse current.

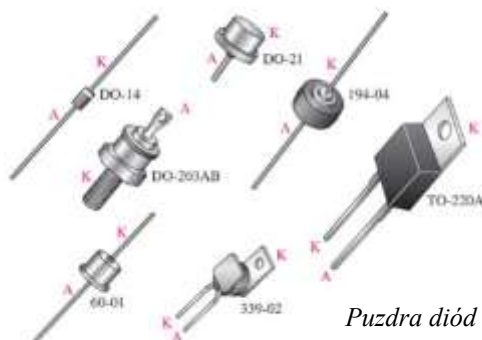
Graf. 4

The diagram shows a circuit with an AC voltage source u connected in series with a thyristor and a resistor R . A parallel combination of a capacitor C and a resistor R_2 is connected across the output terminals. The output voltage is u_c . Below the circuit, the current i_c through the load is shown as a periodic waveform consisting of sinusoidal pulses followed by zero current intervals. The period of the pulses is T , and the total period is t .

Sch. 2 Dvojcestný usmerňovač



Sch. 4 Dióda ako ochrana proti spätnému napätiu indukčnosti

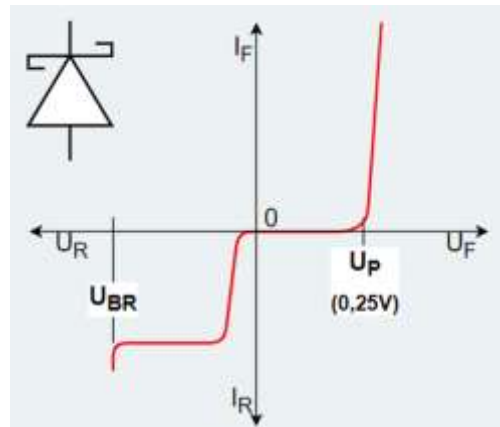


Puzdra diód



3.2 Schottkyho dióda

V podstate má rovnaké vlastnosti ako usmerňovacia dióda. Oproti bežným usmerňovacím diódam majú Schottkyho diódy nižší úbytok napätia v priepustnom smere (U_F : $\sim 0,3$ V oproti $\sim 0,7$ V pri kremíkových diódach), sú však schopné odolávať nižším napätiam v závernom smere (U_R : $\sim 10 - 150$ V) a dokonca v závernom smere diódou preteká maličký prúd. Sú podstatne rýchlejšie ako usmerňovacie diódy. Preto sa často využívajú v impulzných zdrojoch, či VF obvodoch.

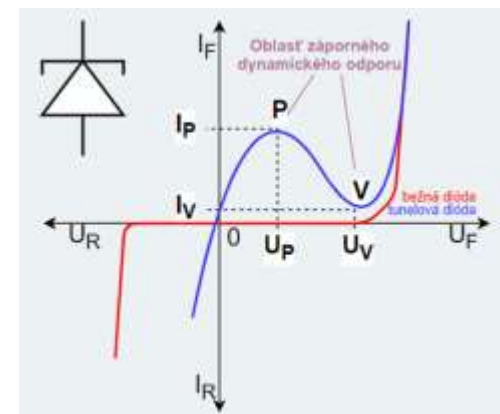


Obr. 9



3.3 Tunelová dióda

Tunelová dióda alebo Esakiho dióda vykazuje na Volt-Ampérovej charakteristike oblasť záporného diferenciálneho odporu – tunelový jav. Tunelové diódy sa používajú v oscilátoroch a zosilňovačoch až do veľmi vysokých frekvencií ($f = 10$ GHz).



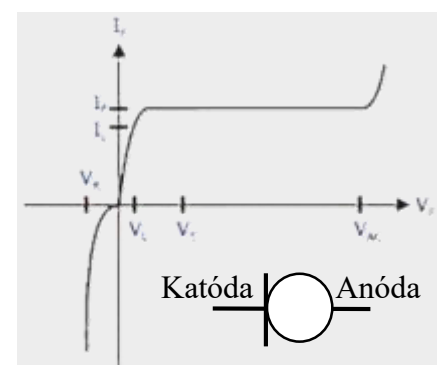
Obr. 10

Anóda Katóda (1N3716)

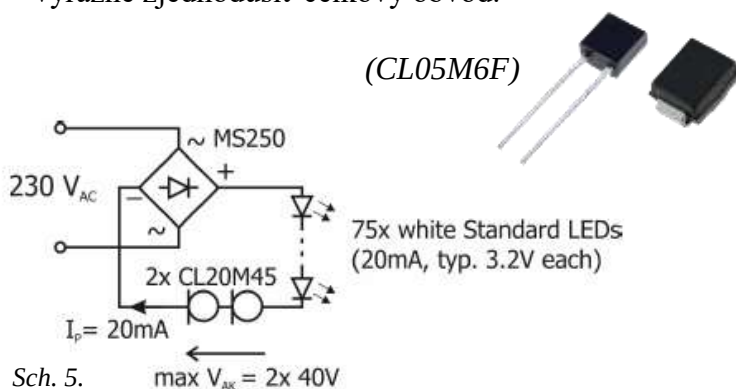


3.4 Dióda CLD

Prúd obmedzujúca dióda - current limiting diode (CLD) je súčiastka schopná nahradiť obvod regulujúci elektrický prúd. Prúd cez CLD je takmer nezávislý na priloženom napätí. Umožňuje priamo napájať LED, a tak výrazne zjednodušiť celkový obvod.



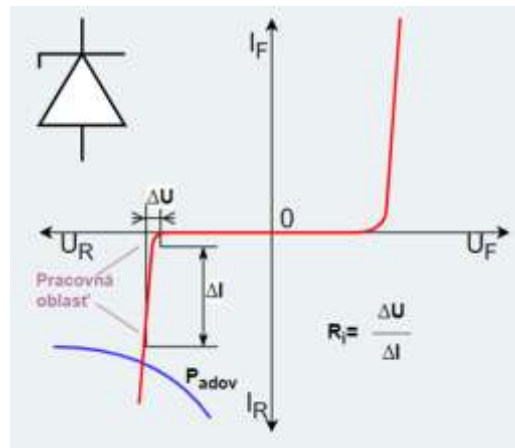
Obr. 11



Sch. 5.

3.5 Zenerova dióda

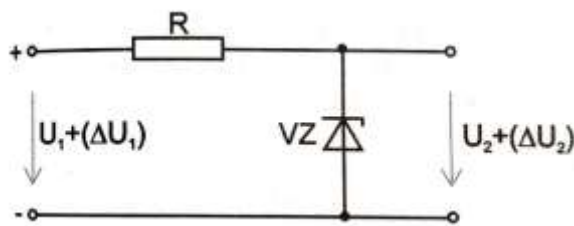
Zenerova dióda (lavínová dióda) je špeciálne navrhnutá dióda, ktorá sa prierazom v závernom smere nezničí. Jej prierazné napätie je konštrukčne nastavené na presnú hodnotu rádovo voltov, až desiatok voltov. Zenerove diódy sa využívajú na stabilizáciu napätia. V priepustnom smere sa zenerova dióda správa ako usmerňovacia dióda. Pre stabilizáciu napätia sa dióda zapája v závernom smere. Niekedy zenerovú diódu v elektronike využívame aj na napäťový offset (posun).



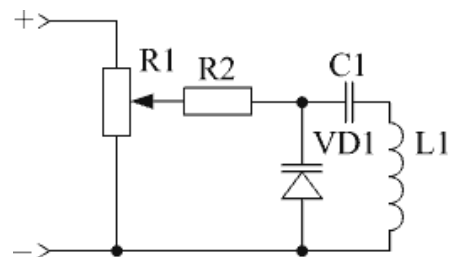
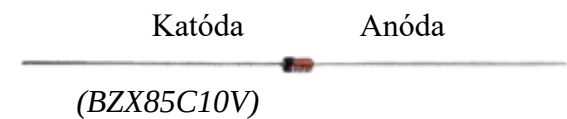
Obr. 12

Pre zenerove diódy sú dôležité tieto parametre:

- U_Z (V_Z , U_R) – stabilizačné napätie,
- P_{MAX} (P_D , P_{TOT}) – maximálny stratový výkon.



Sch. 6. Zapojenie zenerovej diódy



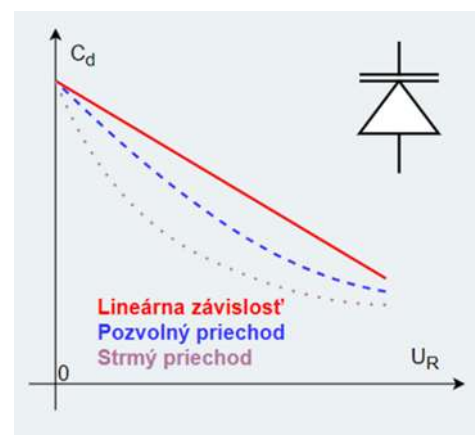
Sch. 7 Zapojenie varikapu

3.6 Varikap – kapacitná dióda

Varikap je dióda u ktorej sa využíva kapacita PN prechodu. Tá sa mení v závislosti od napätia na varikape - teda od stupňa otvorenia diódy. Varikapy sa používajú v napäťovo riadených kmitavých obvodoch (oscilátoroch), napríklad v kanálovom voliči, v ladiacom obvode tranzistorového prijímača, v mobilnom telefóne, a tak ďalej.

Pre varikap sú dôležité tieto parametre:

- U_R (V_R) – maximálne reverzné napätie, (KB113) Anóda
- $C_{MIN} .. C_{MAX}$ – kapacitný rozsah (čím vyššie napätie, tým menšia kapacita).



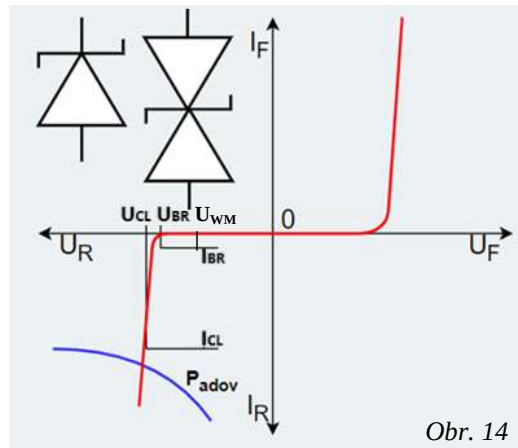
Obr. 13



3.7 Transil

Transil (anglicky Transient voltage suppression diode) je polovodičový prvok slúžiaci na ochranu elektronických obvodov pred elektrostatickými výbojmi a prepätím. Je konštruovaný na veľké impulzné prúdy. Pri veľkom preťažení sa nepreruší, ale naopak skratuje, teda ochráni pripojené obvody pred prepätím.

Súčiastka (VA charakteristika) je veľmi podobná zenerovej dióde. Jednosmerný transil chráni proti prepätiu závernej polarita. Pri opačnej polarite sa chová ako dióda v priepustnom smere. Obojsmerný transil chráni proti prepätiu v oboch smeroch - dve antisériovo zapojené jednosmerné transily.



Pre transil sú dôležité tieto parametre:

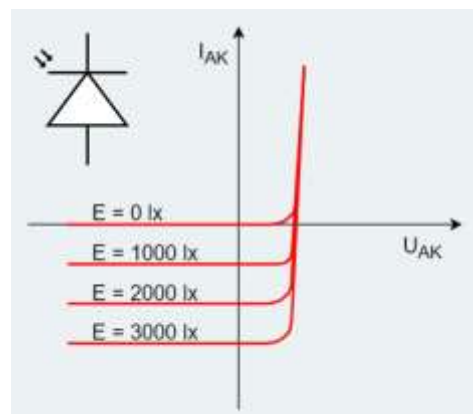


- U_{BR} (V_{BR}) – prahové napätie, pri ktorom už začína transilom prechádzať prúd,
- U_{WM} (V_{WM}) – bezpečné napätie, pri ktorom ešte transil neodoberá prúd,
- P_{MAX} (P_{PPM} , P_{TOT}) – maximálny výkon.

3.8 Fotodióda

Fotodióda je špeciálne upravená dióda s otvoreným puzdrom a šošovkou, ktorá sústreďuje dopadajúce svetlo na prechod PN. Pri dopadajúcom svetle môžu nastať dva javy:

- **Fotovoltaiický režim** - pri použití v režime s nulovým napätím v obvode, vzniká dopadom svetla na polovodič napätie. Tento režim využíva fotovoltaiický efekt, ktorý je základom solárnych článkov.
- **Fotovodivý režim** - v tomto režime je dióda zapojená v opačnom smere. V tomto režime je prúdu lineárne úmerný osvetleniu.



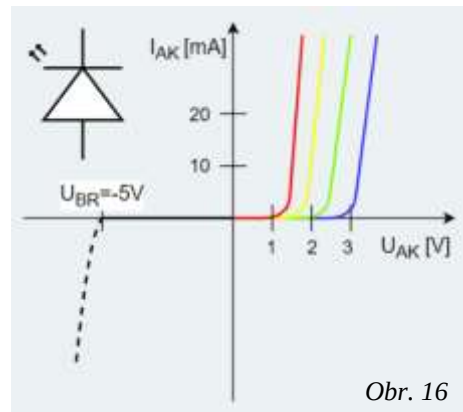
Medzi základne parametre patrí vlnová dĺžka λ_D . Ide o farbu (spektrum) svetla, na ktoré fotodióda reaguje.



3.9 Dióda LED a LD

- LED (light emitted diode) - svetlo emitujúca dióda - je určená na osvetlenie a signalizáciu.
- LD (laser diode) - laserová dióda - vyžaruje úzke svetelné spektrum (šírka 1 nm), využíva sa v prenosovej technike (optické káble), výpočtovej technike, a tak ďalej.

Pri rekombinácií sa uvoľní energia vo forme fotónu (častočky svetla). Uvoľnený fotón prejde cez obal diódy a my ho vnímame ako svetlo.



Obr. 16

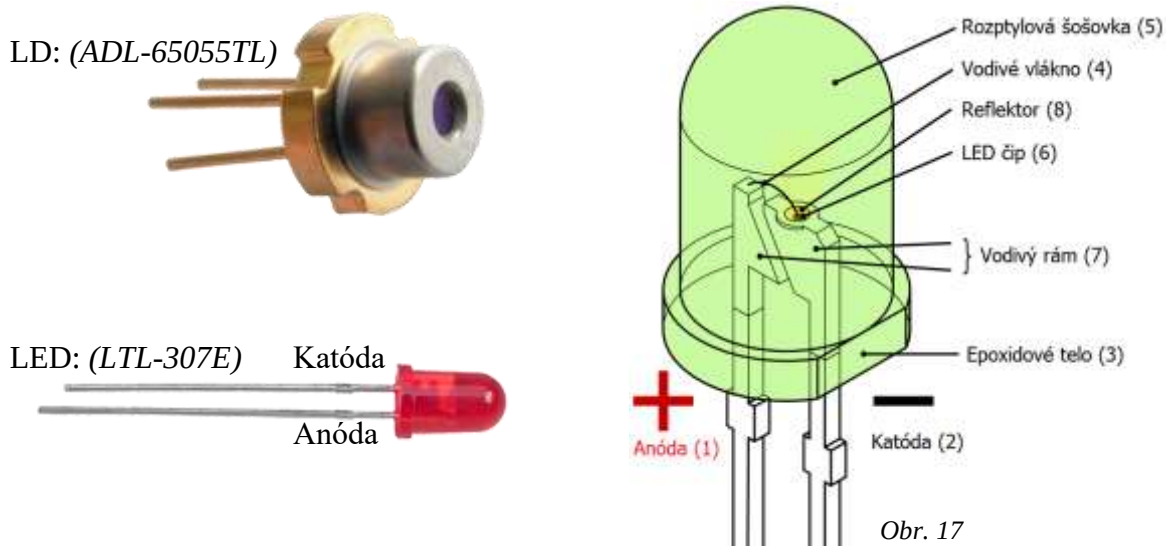
Pre LED a LD diódy sú dôležité tieto parametre:

- U_F (V_F) – napätie v priepustnom smere,
- I_{FMAX} (I_F) – maximálny prúd, ktorý dióda dlhodobo vydrží v priepustnom smere,
- P_{MAX} (P_D , P_{TOT}) – maximálny stratový výkon,
- λ (farba) – svetelné spektrum (farba), ktoré LED, či LD vyžaruje.

Napätie U_F závisí od farby LED. Pre bežné LED pri $I_F = 10\text{mA}$ platí:

- **Červená, infračervená:** $U_F = 1.8\text{V}$
- **Oranžová, žltá:** $U_F = 1.8\text{V}$
- **Zelená:** $U_F = 2\text{V}$
- **Modrá, Biela:** $U_F = 3.3\text{V}$

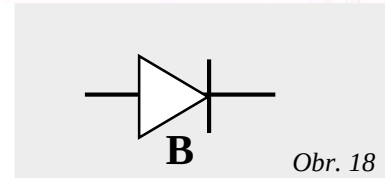
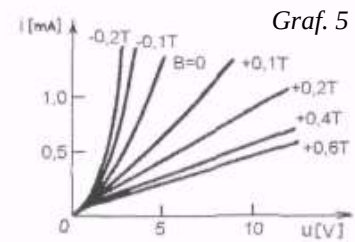
Bežné LED sú konštruované na maximálny prúd 20mA. V praxi sú LED zaťažované 10mA, popripade 5mA. Výkonové LED sú konštruované na 320mA. V praxi sa napájajú prúdovým zdrojom o veľkosti 300mA.



Obr. 17

3.10 Magnetodióda

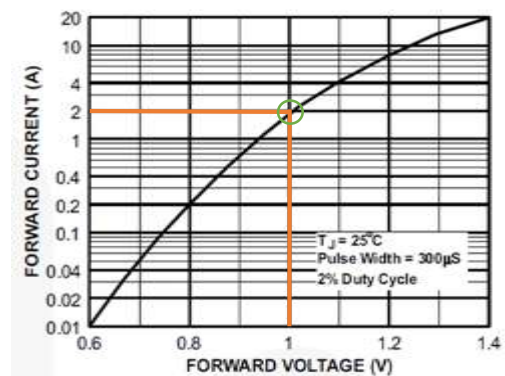
Magnetodiódy sú magneticky citlivé polovodičové súčiastky, ktoré menia svoj vnútorný odpor v závislosti na vonkajšom magnetickom poli. Magnetodióda býva tvorená napr. z kvádra germánia, ktorý má na jednom konci kremík s vodivosťou P a na druhom s vodivosťou N. Základný materiál má vlastnú vodivosť, pričom okrajová oblasť je vytvorená takým spôsobom, že sa v nej objavuje vyšší počet rekombinácií ako v samotnej oblasti s vlastnou vodivosťou.



Príklad 1:

Cez diódu, ktorej charakteristika je na obrázku, prechádza prúd $I_F = 2A$. Vypočítajte výkon, ktorý sa stratí na dióde.

Elektrický výkon sa počíta podľa vzorca $P = U \cdot I$. Pre výpočet výkonu potrebujeme vedieť prúd tečúci diódou a úbytok napätia na dióde. Prúd tečúci diódou je stanovený v zadaní. Úbytok napätia diódy vyčítame z grafu.



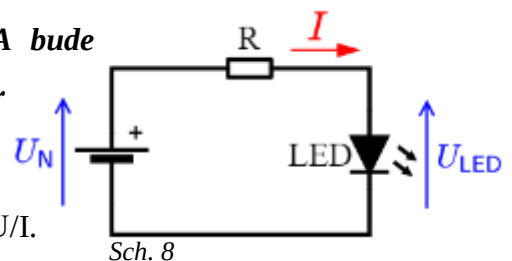
Graf. 6

- Pri prúde $I_F = 2A$ je úbytok napätia na dióde $U_F = 1V$ (oranžové čiary).
- Napätie a prúd dosadíme do vzorca na výpočet výkonu: $P = U_F \cdot I_F = 1V \cdot 2A = 2W$.

Na dióde vznikne stratový výkon $P = 2W$.

Príklad 2:

LED dióda s parametrami $U_{LED} = 2V$, $I_F = 10mA$ bude pripojená cez rezistor R k batérii $U_N = 12V$. Vypočítajte odpor rezistora R .



Pre výpočet odporu rezistora použijeme vzťah $R = U/I$.

Potrebujeme vedieť napätie U_R , ktoré sa na rezistore stratí a prúd I , ktorý rezistorom preteká. V našom obvode preteká jediný prúd. V zadaní máme definovaný prúd $I = I_F = 10mA = 0.01A$. Batéria dodáva do obvodu $12V$ a LED dióda odoberá z obvodu $2V$, preto sa musí na rezistore stratiť napätie $U_R = U_N - U_{LED} = 12V - 2V = 10V$. Podľa Ohmového zákona vypočítame $R = U_R / I = 10V / 0.01A = 1000\Omega = 1k\Omega$. **Rezistor R má odpor $1k\Omega$.**

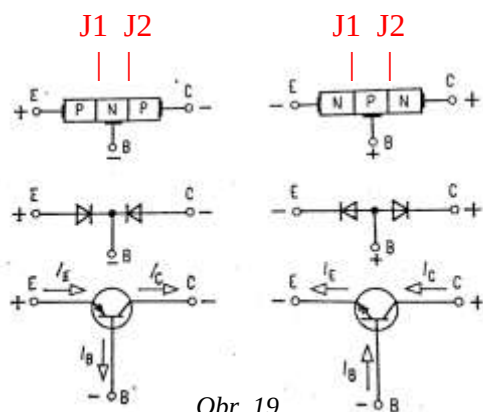
4. TRANZISTOR

Tranzistor (transconductance-resistor) je polovodičová trojvývodová súčiastka, ktorá je určená na zosilnenie signálu (napätia, prúdu, výkonu), alebo na bezkontaktné spínanie elektrického prúdu. Tranzistory sa delia na unipolárne a bipolárne.

4.1 Bipolárny tranzistor

Tranzistor je trojvrstvová polovodičová súčiastka tvorená dvoma prechodmi PN s tromi elektródami nazývanými **Emitter, Báza, Kolektor**. Bipolárne tranzistory delíme na **NPN** a **PNP**.

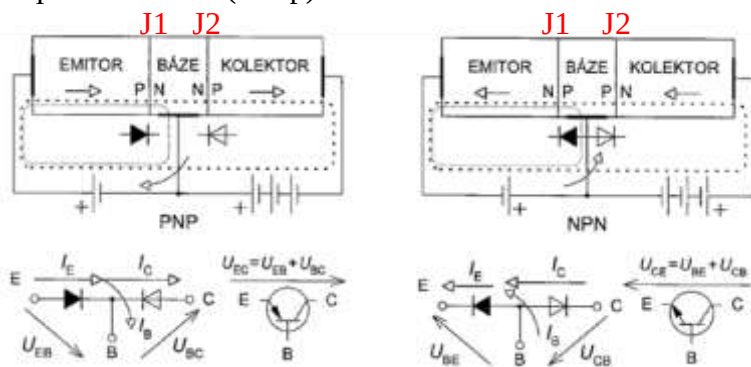
Pracovná činnosť tranzistora vyplýva z jeho štruktúry. Využíva tranzistorový jav. To znamená, že veľkosť prúdu, ktorý prechádza záverne polarizovaným prechodom **J2** (výstup), je výrazne ovplyvňovaný prúdom, ktorý prechádza priepustne polarizovaným prechodom **J1** (vstup).



Obr. 19.

V bipolárnom tranzistore platia obvodové rovnice:

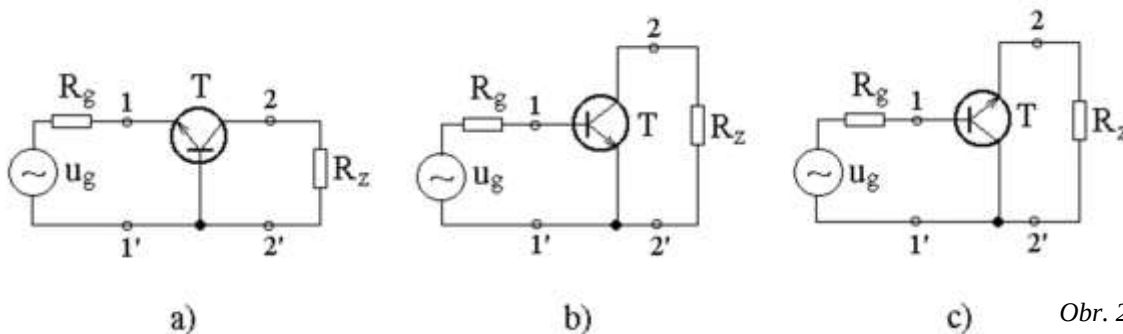
- $I_E + I_B + I_C = 0$;
- $U_{EC} + U_{EB} + U_{BC} = 0$;



Obr. 20

Zapojenie bipolárneho tranzistora

- SB – zapojenie so spoločnou bázou. Veľké napäťové zosilnenie.
- SE – zapojenie so spoločným emitorom. Prúdové aj napäťové zosilnenie. Otáča fázu.
- SC – zapojenie so spoločným kolektorom. Veľké prúdové zosilnenie.



Obr. 21

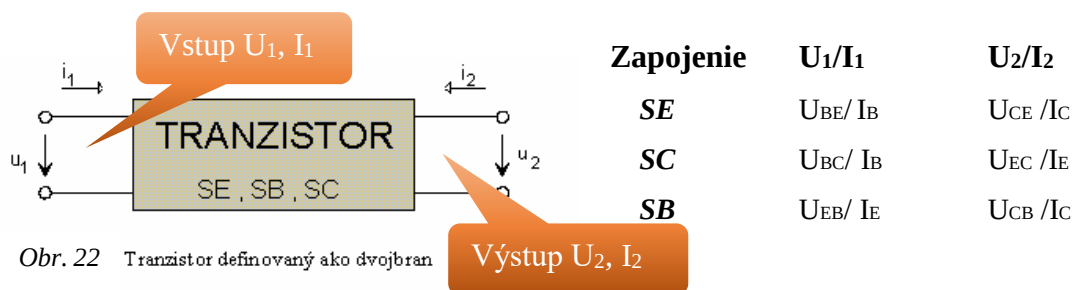
Najčastejšie sa využíva zapojenie so spoločným emitorom SE. Ide o jediné zapojenie, v ktorom zosilňovač otáča fázou o 180° . V tabuľke sú parametre zosilňovača ako vstupný (R_{vst}) a výstupný ($R_{výst}$) odpor, zosilnenie napätia (A_u), prúdu (A_i) a výkonu (A_p) v jednotlivých zapojeniach tranzistora.

Parameter	SB	SE	SK
$R_{vst} [\Omega]$	$10^1 \div 10^2$	$10^3 \div 10^4$	$10^5 \div 10^6$
$R_{výst} [\Omega]$	$10^5 \div 10^6$	$10^4 \div 10^5$	$10^2 \div 10^3$
$A_u [-]$	$10^1 \div 10^2$	$(-10^1) \div (-10^2)$	< 1
$A_i [-]$	< 1	$10^1 \div 10^2$	$10^1 \div 10^2$
$A_p [-]$	$10^1 \div 10^2$	$10^3 \div 10^4$	$10^1 \div 10^2$

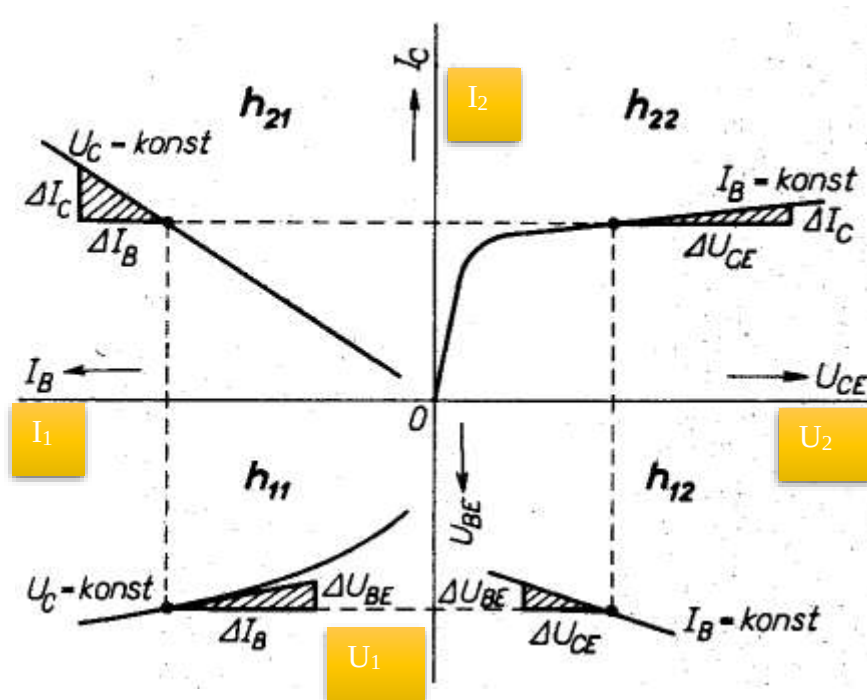
Tab. 4

4.1.1 Volt-Ampérové charakteristiky bipolárneho tranzistora

Vlastnosti tranzistora sa určujú z jeho statických jednosmerných charakteristík, ktoré udávajú vzťahy veličín charakterizujúce tranzistor ako štvorpól (dvojbran).



Obr. 22 Tranzistor definovaný ako dvojbran



Graf. 7 Volt-Ampérové charakteristiky a príslušné hybridné parametre tranzistora so spoločným emitorom

Pri zapojení tranzistora so spoločným emitorom **SE** sa najčastejšie vyjadrujú závislosti napätia **U** a prúdu **I** pomocou 4-pólových hybridných parametrov „**h**“:

- **Vstupná charakteristika** $I_1 = f(U_1)$ pri konštantnom U_2 .

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{u_1}{i_1} \quad \text{při } U_C = \text{konst}; \quad u_2 = 0$$

vstupná impedancia (statický vstupný odpor) tranzistora pri výstupe nakrátko

- **Výstupná charakteristika** $I_2 = f(U_2)$ pri konštantnom I_1 .

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} = \frac{i_2}{u_2} \quad \text{při } I_B = \text{konst}; \quad i_1 = 0$$

výstupná admitancia (statická výstupná vodivosť) tranzistora pri vstupe naprázdno

- **Napät'ová prevodová charakteristika – Spätná prevodová charakteristika**

$U_2 = f(U_1)$; pri konštantnom I_1 .

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{při } I_B = \text{konst}; \quad i_1 = 0$$

jednosmerný spätný napät'ový zosilňovací činiteľ tranzistora pri vstupe naprázdno

- **Prúdová prevodová charakteristika** $I_2 = f(I_1)$ pri konštantnom U_2 .

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{při } U_C = \text{konst}; \quad u_2 = 0$$

jednosmerný prúdový zosilňovací činiteľ tranzistora pri výstupe nakrátko

4.1.2 Prúdové zosilnenie bipolárneho tranzistora

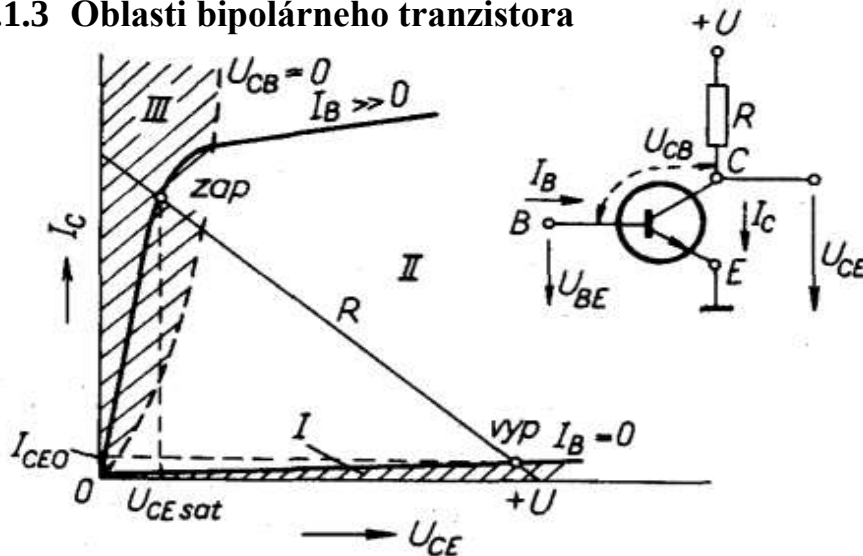
Hlavnou vlastnosťou bipolárneho tranzistora je prúdové zosilnenie. Prúdové zosilnenie tranzistora popisuje zosilnenie v kvadrante h_{21} (pre zapojenie so spoločným emitorom sa označuje charakteristika h_{21E}). Väčšia časť tejto charakteristiky tvorí priamka. Teda je lineárna. Preto je možné zosilnenie tranzistora (ktorý pracuje v spomínanej lineárnej oblasti) vyjadriť číslom – **zosilňovacím činiteľom**, ktorý označujeme **h_{FE}** , alebo **β** .

Zosilňovací činiteľ prúdového zosilnenia **h_{FE}** vyjadruje pomer medzi bázovým prúdom **I_B** a kolektorovým prúdom **I_C** . Platí vzťah:

$$I_C = I_B \cdot h_{FE}$$

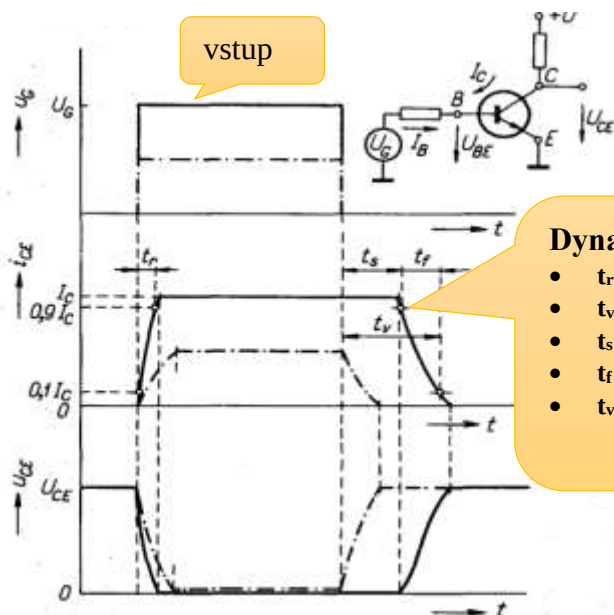
$$I_C = I_B \cdot \beta_{FE}$$

4.1.3 Oblasti bipolárneho tranzistora



Graf. 8 Výstupná charakteristika činnosti tranzistora v zapojení spoločným emitorom

- **I. Oblasť záverná (nevodivého stavu)** - je ohraničená čiarou pre $I_B = 0$, obidva priechody J_1 a J_2 sú polarizované v nepriepustnom smere, tranzistor je nevodivý (prechádza iba nepatrný prúd), chová sa ako pasívny prvok (veľký R_{EC}). Tranzistor je v tejto oblasti najčastejšie v režime vypnutého bezkontaktného spínača.
- **II. Oblasť aktívna (aktívneho lineárneho zosilnenia)** - je ohraničená medzi čiarou $I_B = 0$ a čiarkovanou $U_{CB} = 0$. Priechod Emitor-Báza je polarizovaný priepustne, priechod Báza-Kolektor je polarizovaný nepriepustne. Tranzistor pracuje ako lineárny zosilňovač v spínacom režime sa táto oblasť využíva iba v okolí krivky $U_{CB} = 0$, kedy spínací tranzistor nemá pracovať v nasýtení, aby sa dosiahlo krátkych spínacích dôb.
- **III. Oblasť nasýtenia (saturácie)** - je ohraničená čiarkovanou čiarou $U_{CB} = 0$ a maximálnym prúdom I_{Cmax} , ktorý obmedzuje iba záťaž tranzistora R . Obidva priechody sú orientované v priepustnom smere. Tranzistor je v zapnutom (vodivom) stave, chová sa ako pasívny prvok (veľmi malý R_{CEsat}). U_{CE} je od medze nasýtenia takmer konštantné (je to vlastne úbytok napätia v zapnutom stave takzvané saturačné napätie U_{CEsat}). **Saturácia** (presýtenie) je stav, kedy je v báze nadbytok voľných nosičov nábojov, ktorý už nemôže vyvolať ďalšie prúdové zosilnenie A_I vstupného signálu, ale vyvolá prepolarizáciu kolektorového PN, ktorý je polarizovaný priepustne. Pri vypnutí saturovaného tranzistora (prechod z oblasti III do I) je treba odčerpať nadbytočný náboj z bázi, aby sa kolektorový PN prechod polarizoval záverne. K tomu je treba nadbytočná doba zotavenia t_s , ktorá predlžuje dobu vypnutia t_v tranzistora. Pri presýtení platí: $I_C < I_B \cdot h_{FE}$.



Dynamické vlastnosti spínača:

- t_r doba zapnutia je totožná s dobou nábehu,
- $t_v = t_s + t_f$ doba vypnutia z nasýteného režimu,
- t_s doba zotavenia z nasýteného stavu,
- t_f doba dobehu,
- $t_v = t_f$ doba vypnutia z nenasýteného stavu.

Obr. 23 Časový priebeh tranzistora v režime spínača.

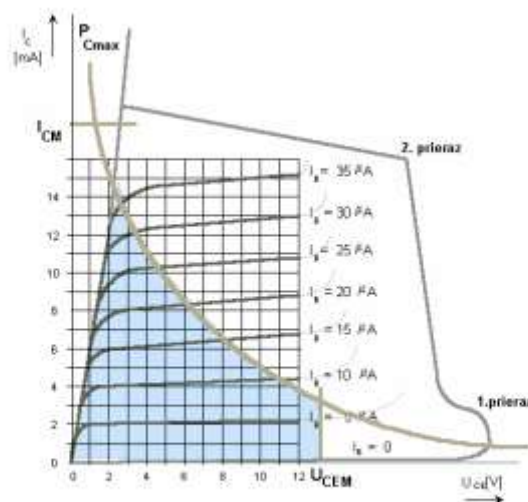
(plná čiara – režim saturácie, bodkočiarkovaná čiara – aktívny režim)

Oblasť bezpečnej činnosti tranzistora (SOAR – Safe Operating Area)

Výstupnú charakteristiku tranzistora opisuje kvadrant h_{22} . Popisuje závislosť výstupného napätia a prúdu. Súčinom týchto hodnôt vzniká stratový výkon ($P_T = I_C \times U_{CE}$) tranzistora. Ten sa v tranzistore mení na teplo, ktoré je nutné z tranzistora odvieť chladením.

Bezpečnú oblasť vymedzujú tieto parametre:

- celkový maximálny prúd kolektora I_{CM} ,
- maximálne prípustné napätie U_{CE0} (pri $I_B = 0$),
- maximálny dovolený stratový výkon P_{MAX} (P_{Cmax} , P_{tot}) = $U_{CE} \times I_C$ (z hľadiska oteplenia prechodu Kolektor-Emitor pri trvalej prevádzke)



Parametre tranzistora:

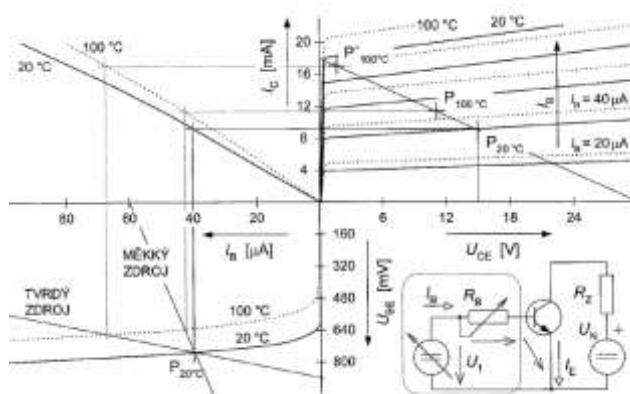
Graf. 9 Výstupná charakteristika. Vyznačená bezpečná oblasť

- I_{CE0} – zbytkový prúd tranzistora pri vypnutom stave ($I_B = 0$),
- U_{CEsat} – úbytok na spínači v zapnutom stave v oblasti nasýtenia,
- U_{CEmax} – max. hodnota, ktorá sa môže na vypnutom spínači vyskytnúť,
- I_{Cmax} – vrcholová hodnota prúdu, ktorá môže spínačom trvale prechádzať.



Tranzistor (BC546)

Polovodiče sú všeobecne závislé od teploty. Teplota mení charakteristické vlastnosti tranzistora. To môže mať za následok posuv pracovného bodu zosilňovača, a tak ďalej. Preto musia byť obvody s tranzistormi navrhnuté tak, aby iný polovodičový prvok (ktorý má podobné tepelné vlastnosti - dióda) kompenzoval odchýlku tranzistora spôsobenú teplotom.

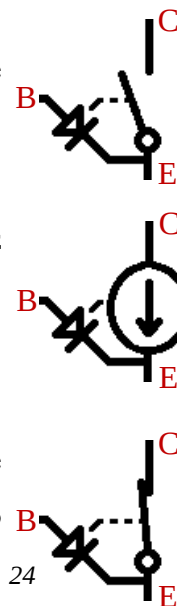


Graf. 10 Tepelná závislosť tranzistora

Náhradná schéma bipolárneho tranzistora

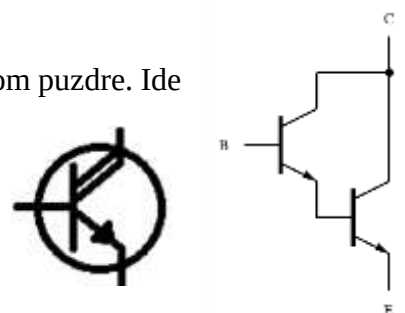
Prechod tranzistora Báza-Emitor sa správa ako dióda. Parameter diódy U_F je v našom prípade U_{BE} . Tento úbytok napätia je u kremíkových polovodičov okolo **0,7V** (pri malom prúde). Prúd, ktorý prechádza týmto prechodom (diódou) Báze-Emitor ovplyvňuje napätie U_{BE} a najmä výstupný kolektorový prúd I_C .

- Ak prúd bázy $I_B=0$ aj kolektorový prúd I_C bude nulový. Tranzistor je zavretý. Prechod Kolektor – Emitor sa správa ako vypnutý spínač.
- Ak prúd bázy $I_B>0$, kolektorový prúd I_C bude o prúdové zosilnenie h_{FE} násobne väčšie ako prúd bázy I_B ($I_C = I_B \times h_{FE}$). Tranzistor je v aktívnej oblasti. Prechod Kolektor – Emitor sa správa ako prúdový zdroj.
- Ak prúd bázy $I_B > I_C / h_{FE}$, tranzistor je naplno otvorený. Tranzistor je v saturácii (presýtený). Prechod Kolektor – Emitor sa správa ako zopnutý spínač s úbytkom (o niečo menším ako na bežnej dióde).



4.1.1 Darlingtonov tranzistor

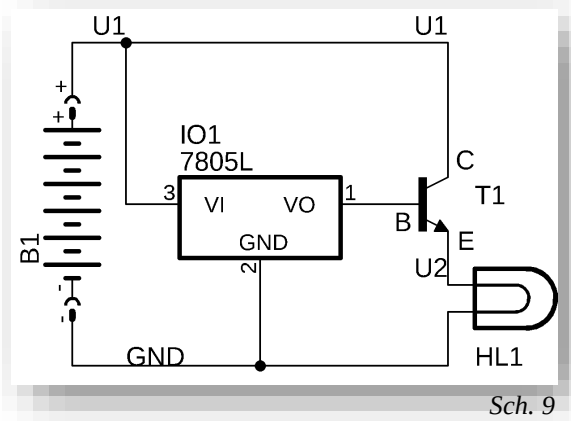
Darlingtonov tranzistor je dvojica tranzistorov v jednom puzdre. Ide spravidla o dva tranzistory rovnakej polaritý (PNP alebo NPN), vyznačujú sa vysokým stupňom zosilnenia.



Obr. 25 Schematická značka a vnútorné zapojenie Darlingtonovho tranzistora

Príklad 1:

Máme stabilizátor napätia IO1 typu 7805L, ktorý stabilizuje napätie 5V. Maximálny výstupný prúd stabilizátora je 100mA. Pre zosilnenie prúdu použijeme tranzistor typu 2SC5200, ktorý má zosilnenie $h_{FE}=100$. Tranzistor je v zapojení so spoločným kolektorom (kolektor je napojený na zdroj a emitor tvorí výstup, ktorý napája lampu). Vypočítaj aký maximálny prúd môže odoberať lampu (žiarovka).



Sch. 9

Výstup stabilizátora je priamo napojený na bázu tranzistora. Teda bázou môže tiecť iba taký veľký prúd, koľko dokáže zniesť stabilizátor:

$$I_B = I_{IO1(max)} = 100mA = 0,1A; \text{ Maximálny prúd tečúci bázou tranzistora.}$$

Kolektorový prúd vypočítame zo vzťahu prúdového zosilnenia:

$$I_C = I_B \times h_{FE} = 0,1A \times 100 = 10A; \text{ Kolektorový prúd pri bázovom prúde 100mA.}$$

V tomto zapojení môže lampu odoberať maximálne 10A.

Príklad 2:

Vypočítajte rezistory v obvode. Jedná sa zosilňovač v triede A, z čoho vyplýva, že tranzistor je otvorený na polovicu. Dané je: napájacie napätie $U_1 = 10V$, $I_C = 50mA$. Použitý je tranzistor BC546A, ktorého zosilnenie je $h_{FE} = 150$ a $U_{BE} = 0,8V$.

Tu je nutné dať na správnu mieru, že prúd, ktorý tečie rezistorom R2 sa delí na prúd tečúci R1 a prúdom tečúci tranzistorom I_C . Keďže pomer prúdov I_{R1} (sa rovná I_B) a I_C je v pomere zosilnenia 1:150 (čo je pod 0,7%), je pre náš výpočet I_{R1} zanedbateľný. Preto si výpočet zjednodušíme a pri výpočte rezistora R2 nebudeme brať do úvahy prúd tečúci R1.

Výpočet rezistora **R2**:

$$U_{R2} = U_{CE} = U_1 / 2 = 10V / 2 = 5V;$$

$$I_{R2} = I_C + I_{R1} = 50mA = 0,05A;$$

$$R_2 = U_{R2} / I_{R2} = 5V / 0,05A = 100\Omega;$$

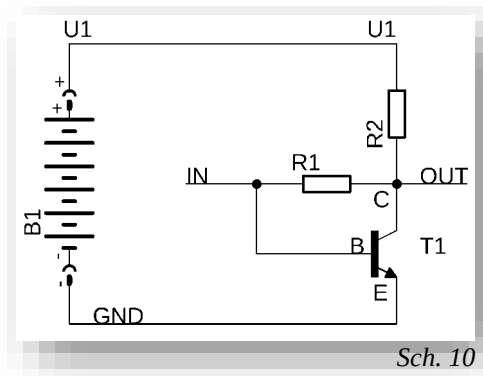
Výpočet rezistora **R1**:

$$U_{R1} = U_{CE} - U_{BE} = 5V - 0,8V = 4,2V;$$

$$I_{R1} = I_C / h_{FE} = 0,05A / 150 = 0,0003A;$$

$$R_1 = U_{R1} / I_{R1} = 4,2V / 0,0003A = 14000\Omega = 14k\Omega;$$

Rezistor R1 = 14kΩ a rezistor R2 = 100Ω.



Sch. 10

4.2 Unipolárny tranzistor

V unipolárnych tranzistoroch vedú elektrický prúd len majoritné nosiče (na rozdiel od bipolárnych tranzistoroch, kde prúd viedli aj minoritné nosiče) náboje v jednom type materiálu P alebo N. Prúd sa ovláda pomocou napätia medzi riadiacou elektródou **Gate** (obdoba bázy) a **Source** (obdoba emitora). Podľa spôsobu ovládania sa tieto tranzistory nazývajú tranzistory ovládané elektrickým poľom ***field effect transistor*** (FET). Cez riadiacu elektródu neprechádza prakticky žiaden prúd, FET majú vysoký vstupný odpor. **Drain** FET tranzistora je obdoba kolektora.

Pre prúd elektrónov cez kanál N musí byť **Drain** kladnejší než **Source**. Z hľadiska pripojenia polarita napájacieho zdroja je FET s kanálom N podobný bipolárnemu tranzistoru typu NPN.

Základné typy unipolárnych tranzistorov:

- FET tranzistor s riadiacou elektródou oddelenou PN prechodom (junction) - **JFET**.
- FET tranzistor s riadiacou elektródou oddelenou izolačnou vrstvou (insulated gate - *IGFET*, metal insulator semiconductor - *MISFET*). Ak tú vrstvu tvorí SiO₂, ide o tranzistor **MOSFET** (metal oxid semiconductor).

Výhody FET tranzistorov:

- Vstupný odpor 10^{10} - $10^{15} \Omega$, vstupná kapacita 2 pF.
- Výstupný obvod je oddelený od vstupného,
- Veľmi malý vlastný šum v nf a vf zosilňovačoch,
- Veľmi malé nelineárne skreslenie a veľmi dobré spínacie vlastnosti,
- Pre malé hodnoty napätia medzi drainom a source sa FET-y chovajú ako rezistory riadené napätím.

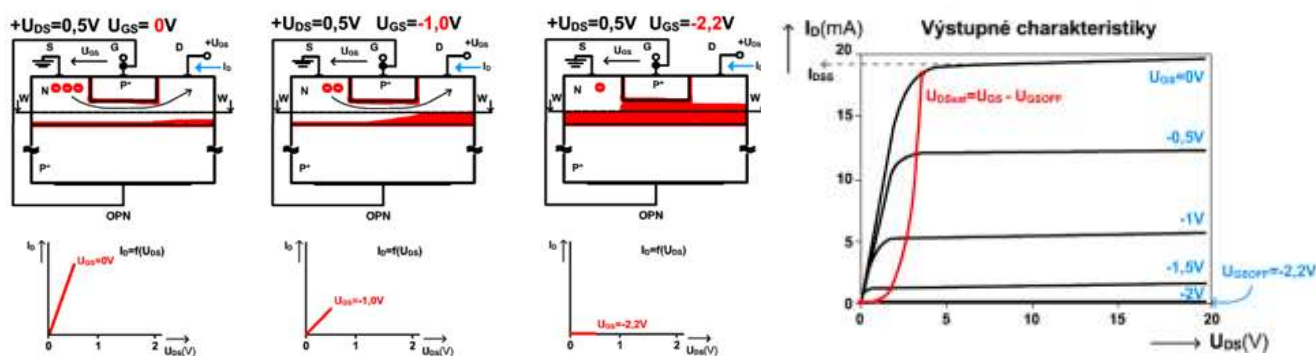
Nedostatky FET tranzistorov (v porovnaní s bipolárnymi tranzistorami):

- Veľký rozptyl parametrov (až niekoľko voltov prahového napätia),
- Horšia linearita niektorých typov,
- Riziko poškodenia vstupu (statické napätie),
- Klasické FET tranzistory majú nižšiu hornú hraničnú frekvenciu,
- Kapacita riadiacej elektródy gate.

4.2.1 JFET

Elektróda **Source** je zdrojom voľných nosičov privádzaných z vonkajšieho obvodu do kanálu. Po prechode **kanálom** sú tieto nosiče odberané späť do vonkajšieho obvodu elektródou **Drain**. Kanál je oblasť jedného typu vodivosti, ktorou sa pohybujú **elektróny** (**kanál N**) alebo **diery** (**kanál P**) medzi **Source** a **Drain**. Prúd nosičov kanálom môžeme riadiť pomocou elektródy **hradla Gate**.

Aby tranzistor správne fungoval, musí byť priechod **PN** stále udržaný v závernom smere, aby bol schopný izolovať oblasť medzi **hradlom Gate** a **kanálom**. Preto sa napätie U_{GS} pohybuje v záporných hodnotách: $U_{GS} \leq 0$. S rastúcim U_{GS} sa oblasť zníženého potenciálu rozširuje do kanálu, narastá energetická bariéra v kanále a rastie jeho efektívny odpor. K úplnému uzavretiu (*cut-off*) pre nosiče náboja dochádza, ak U_{GS} dosiahne **uzatváracie napätie** U_{GSOFF} (*cut-off voltage*).

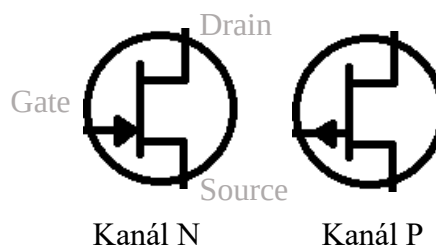


Obr. 26 Princíp JFET

Pre $U_{GS}=0V$ a $U_{DS}>U_{DSsat}$ dostávame najväčší možný prúd tečúci tranzistorom **JFET**, ktorý je v katalógu označovaný ako I_{DSS} . Červeno vyznačená krivka (vo výstupnej charakteristike) zaškrteného kanála oddeľuje oblasť **odporového režimu** (naľavo) a **saturácie** (napravo).



JFET (J111)



Obr. 27 Schematická značka JFET

Parametre tranzistora:

- U_{BRDS} - Prierazné napätie - spôsobené nárazovou ionizáciou na prechode Gate – Drain
- P_{Dmax} ($U_{DS} \times I_D$) maximálny stratový výkon.
- U_{BRGSS} prierazné napätie (definované pre $U_{DS}=0V$ a $I_G=1\mu A$)

4.2.2 MOSFET

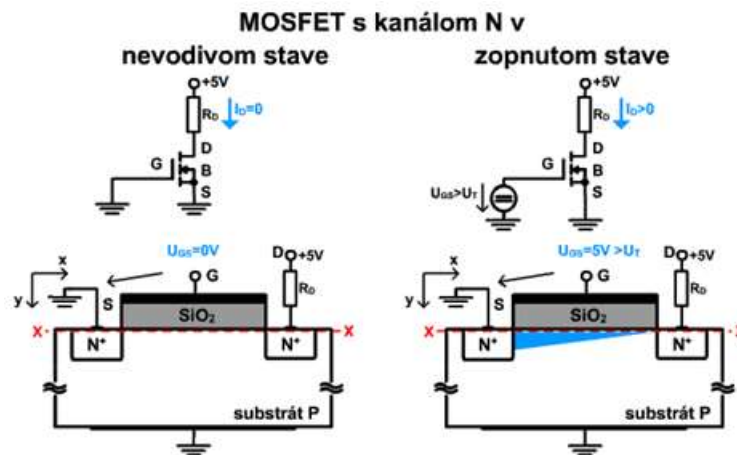
Tranzistor **MOSFET** je poľom riadený tranzistor, kde vodivosť *kanála* medzi elektródami **Source** a **Drain** je ovládaná elektrickým poľom vytváraným v štruktúre **kov** (M) – **oxid** (O) – **polovodič** (S) napätím priloženým medzi **hradlo** **Gate** a **Source**.



Obr. 28 Schematická značka MOSFET

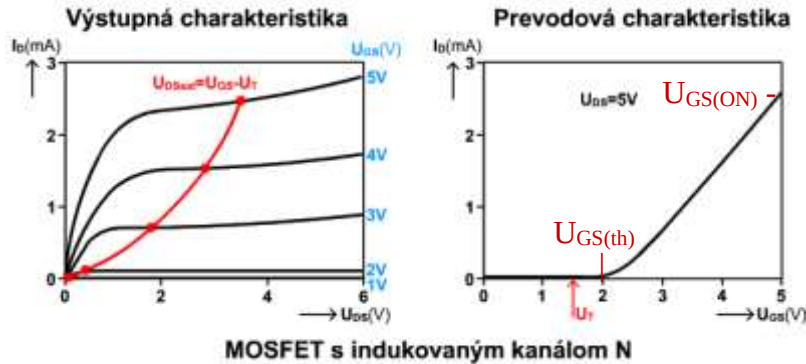
- **DMOS** – (Depletion MOSFET) vodivý kanál aj pri $U_{GS}=0V$, jedná sa o **MOSFET so zabudovaným kanálom**.
- **EMOS** – (Enhancement) Pre vytvorenie kanálu vodivosti **N** (**P**) je nutné priviesť napätie $U_{GS}>0V$ ($U_{GS}<0V$), jedná sa o **MOSFET s indukovaným kanálom**.

S tranzistorom MOSFET so zabudovaným kanálom (DMOS) sa len ťažko stretneme. Väčšinou býva zabudovaný v integrovaných obvodoch. Napríklad v koncových stupňoch. Naopak tranzistor MOSFET s indukovaným kanálom (EMOS) je jeden s najpoužívanejších tranzistorov a tvorí ikonu tranzistorov MOSFET. Pri označení MOSFET sa má na mysli EMOS.



Obr. 29 Princíp MOSFET

Z obr. 28 je zrejmé, že pre U_{GS} **menšie ako prahové napätie** U_T (U_{GSth}), bráni prechodu elektrónov zo **Source** do **Drain** energetická bariéra **P-N** prechodu **substrát-source**. Pre U_{GS} **väčšie ako prahové napätie** U_T nastane v polovodiči pod hradlom rozloženie potenciálu, ktoré spôsobí ohýb pásma v smere **osi y**. Čím väčšie je napätie U_{GS} , tým viac sa bariéra zníži a tým väčšia je koncentrácia elektrónov **n**, respektíve pohyb náboja v kanáli.

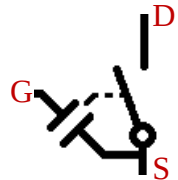


Obr. 30 Charakteristiky MOSFET

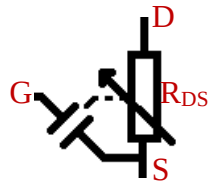
Náhradná schéma tranzistora MOSFET

Prechod tranzistora Gate-Source sa správa ako kondenzátor s malou kapacitou. Preto sa pri vyšších frekvenciách, alebo pri rýchlom spínaní musí používať budič (driver). Vstupná kapacita C_{GS} sa pohybuje okoli 1nF. Napätie U_{GS} ovplyvňuje odpor prechodu R_{DS} .

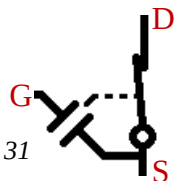
- Ak riadiace napätie $U_{GS}=0$ (presnejšie $U_{GS}<U_T$, či $U_{GS}<U_{GS(th)}$), vnútorný odpor R_{DS} bude maximálny (vodivosť bude nulová). Tranzistor je zavretý. Prechod Source – Drain sa správa ako vypnutý spínač.



- Ak riadiace napätie U_{GS} bude medzi prahovým $U_{GS(th)}$ a napätím kedy je už tranzistor zopnutý $U_{GS(ON)}$ ($U_{GS(th)} < U_{GS} < U_{GS(ON)}$), tranzistor je v aktívnej oblasti. Prechod Drain – Source sa správa ako rezistor s odporom R_{DS} , ktorý je nepriamo úmerný napätiu U_{GS} .



- Ak riadiace napätie U_{GS} je rovné, alebo väčšie ako napätie zopnutia $U_{GS(ON)}$ ($U_{GS} \Rightarrow U_{GS(ON)}$), tranzistor je naplno otvorený. Prechod Drain – Source sa správa ako zopnutý spínač s malým odporom $R_{DS(ON)}$.



Parametre tranzistora:

- $U_{GS(th)}$ – prahové napätie riadiacej elektródy, kedy sa tranzistor začína zopínať,
- $U_{GS(ON)}$ – napätie na riadiacej elektróde, kedy je už tranzistor zopnutý,
- $R_{DS(ON)}$ – odpor na spínači v zapnutom stave v oblasti nasýtenia,
- U_{DSmax} – max. hodnota, ktorá sa môže na vypnutom spínači vyskytnúť,
- I_{Dmax} – vrcholová hodnota prúdu, ktorá môže spínačom trvale prechádzať.

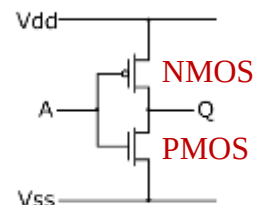


MOSFET (IRF610)

4.2.3 CMOS

CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) je technológia výroby logických integrovaných obvodov zložených z dvoch typov tranzistorov **MOSFET** (**NMOS** a **PMOS**). Najcharakteristickejšou vlastnosťou obvodov vyrobených touto technológiou je takmer nulový prúd pretekajúci obvodom, keď sa logické úrovne na vstupoch a výstupoch nemenia - statickom stave. **CMOS** obvod odoberá prúd len pri zmene stavu. Preto sú **CMOS** obvody mnohonásobne úspornejšie ako obvody vyrobené staršou technológiou (napríklad založenými na bipolárnych tranzistoroch). Prakticky všetky logické integrované obvody sú dnes vyrábané technológiou **CMOS**.

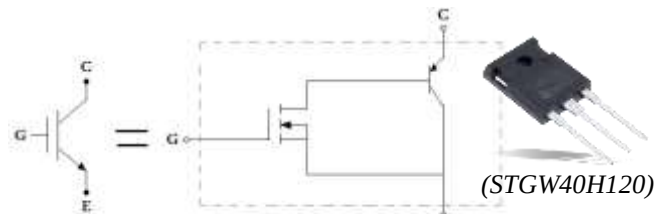
- **NMOS** časť je zopnutá pri log. 0 a vypnutá pri log. 1.
- **PMOS** časť je zopnutá pri log. 1 a vypnutá pri log. 0.



Obr. 32 Obvod CMOS

4.2.4 IGBT

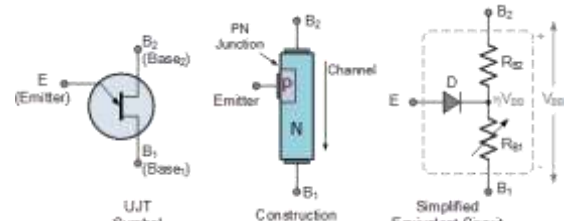
Izolovaný bipolárny tranzistor (IGBT) kombinuje izolované **hradlo** MOSFET (teda prvú časť svojho názvu) s výstupnými charakteristikami bipolárneho tranzistora (teda druhú časť jeho názvu). Výsledkom tejto hybridnej kombinácie je, že "IGBT tranzistor" má výstupné spínacie a vodivé charakteristiky bipolárneho tranzistora, ale s riadeným napätím ako MOSFET. Využíva sa ako výkonový spínač v indukčných doskách, frekvenčných meničoch, a tak ďalej.



Obr. 33 Schematická značka a vnútorné zapojenie

4.2.5 Jednoprechodový tranzistor

Jednoprechodový tranzistor (**UJT - Unijunction Transistors**), alebo dvojbázová dióda, je súčiastka, ktorá sa skladá z polovodičovej doštičky, obvykle typu **N**, na ktorej je vytvorený jeden usmernovací prechod **PN** s emotorovým vývodom **E**. Na obidvoch stranách doštičky sú dva neusmerňujúce kontakty ako príklady báz **B1** a **B2**. Využíva sa v oscilátoroch.



Obr. 34 Schematická značka a vnútorné zapojenie

UJT (2N2646)



5. VIACVRSTVOVÉ POLOVODIČOVÉ SÚČIASTKY

Sú súčiastky, ktoré obsahujú viacero PN priechodov. Tieto súčiastky sa vyznačujú takzvaným **tyratronovým** zapínacím javom. To znamená, že po *zapnutí zostanú vo vodivom stave, pokiaľ pretekajúci prúd neklesne pod určitú hodnotu*.

- Majú dva stabilné stavy:
 - blokovací – nevodivý stav,
 - priepustný – vodivý stav.
- Z blokovacieho do priepustného stavu sa dostanú pomocou ovládacieho (nevýkonového) signálu do riadiacej elektródy.
- Z priepustného do blokovacieho stavu sa dostanú, keď pretekajúci prúd silovou vetvou neklesne pod určitú hranicu.

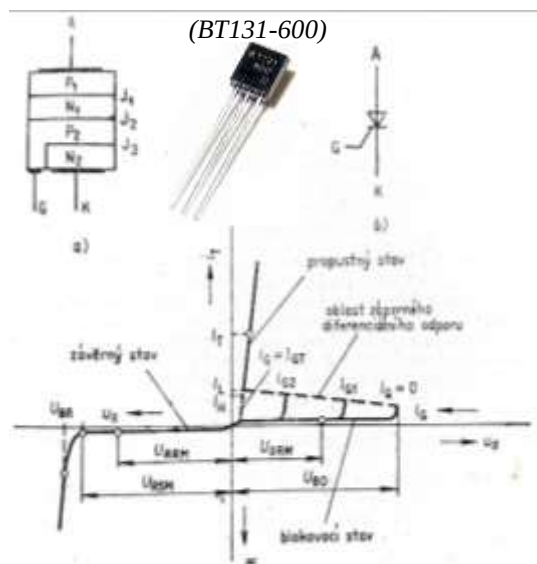
5.1 Tyristor

Je štvorvrstvová polovodičová spínacia súčiastka s tromi elektródami **Anódou**, **Katódou**, **Gate**, vyrobená z kremíka, v ktorej sú vytvorené tri priechody **PNPN**.

- Hlavný prúd I_A preteká medzi dvoma okrajovými elektródami **A** (anóda) a **K** (katóda).
- I_A ovládame malým riadiacim prúdom I_G tečúcim cez riadiaci prívod (hradlo) **G** (Gate)
- Má väčší prúdový zosilňovací činiteľ ako tranzistor > 1000

Tyristor má 3 ustálené prevádzkové stavy:

1. **Záverný {R}** - nevodivý stav, napätie U_{AK} je záporne, pracuje ako dióda v závernom smere, veľký vnútorný odpor $R_{iT} \uparrow$.
2. **Blokovací {D}** - nevodivý stav, kladné napätie U_{AK} , bez riadiaceho (impulzu) prúdu I_G , veľký vnútorný odpor $R_{iT} \uparrow$.
3. **Priepustný {T}** - vodivý stav, kladné napätie U_{AK} , po otvorení vodivej cesty Anóda-Katóda s riadiacim prúdom alebo impulzom I_G , malý vnútorný odpor $R_{iT} \downarrow$.

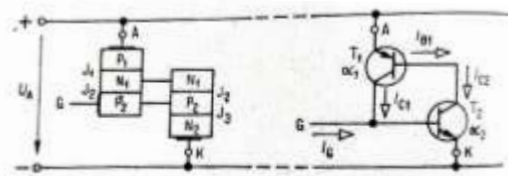


Obr. 35 Tyristor

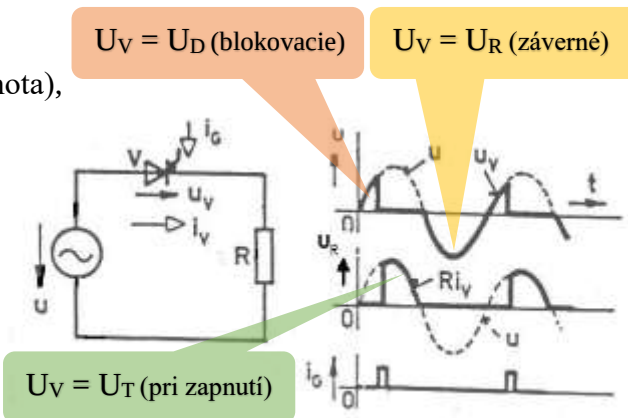
Tyristor sa z priepustného do blokovacieho stavu vráti len po zmenšení hodnoty anódového prúdu I_A pod hodnotu takzvaného vratného (prídržného) prúdu I_H . Prakticky to znamená, že tyristor sa vypína pri každom prechode prúdu I_A nulou. Preto sa musí v každej kladnej polperióde striedavého prúdu U_{AK} privádzať do vodivého stavu riadiacim impulzom I_G .

Medzné a riadiace hodnoty:

- U_{DRM} - opakovateľné blokovacie napätie,
- U_{RRM} - opakovateľné záverné napätie,
- I_H - prídržný prúd (holding),
- I_N - menovitý prúd (stredná hodnota),
- I_{GT} - spínací prúd,
- U_{GT} - spínacie napätie.



Obr. 36 Náhradná schéma tyristora



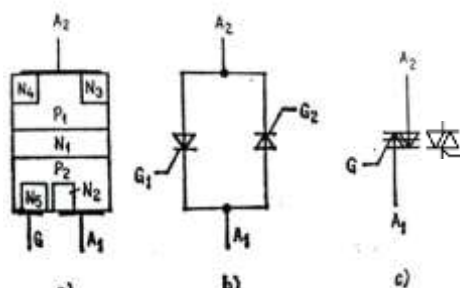
Obr. 37 Využitie tyristora

Využíva sa najmä ako riadený spínač najmä v striedavých obvodoch, reguláciu elektrického príkonu impulzným spôsobom.

5.2 Triak

Triak je päťvrstvová polovodičová súčiastka typu **NPNPN**. Tento prvok obsahuje v jednom polovodičovom kryštáli dva tyristory spojené **antiparalelne**.

Funguje rovnako ako tyristor, akurát nemá záverný stav. Triak sa využíva na spínanie, riadenie a reguláciu v obvodoch striedavého prúdu. Napríklad ako stmievač osvetlenia, alebo na reguláciu otáčok komutátorového motora. Triaky sa často používajú aj ako spínače, napríklad na ovládanie ventilov (v práčkach).



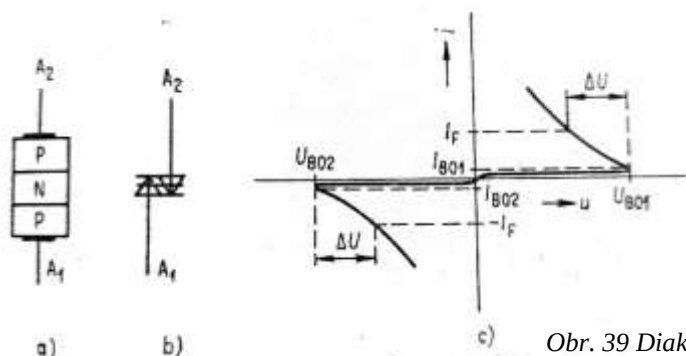
Obr. 38 Triak



Triak (BT136)

5.3 Diak

Diak (z angl. skratky *DIAC* - diode for alternating current - dióda pre striedavý prúd) je trojvrstvová polovodičová spínacia súčiastka. Pri malom napätí medzi vývodmi má diak veľký odpor - ako dióda v



Obr. 39 Diak

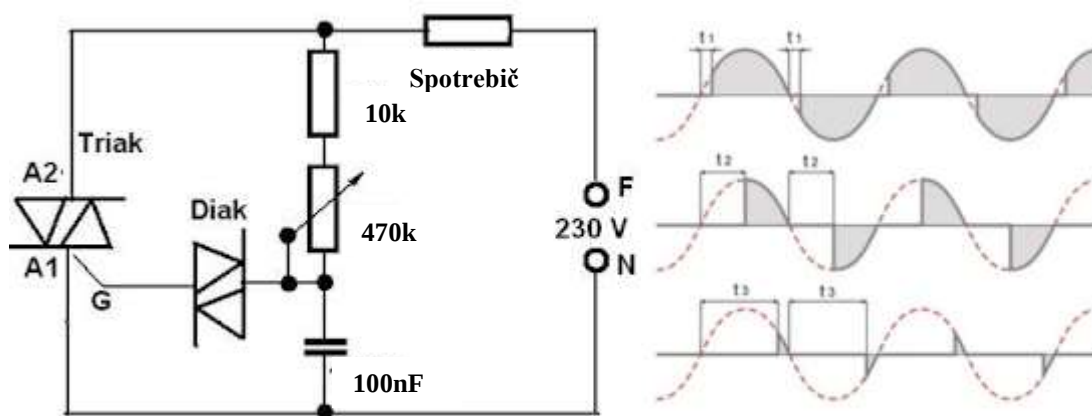
závernom smere. Po dosiahnutí spínacieho napätia U_{BO} nastane ionizácia kryštálovej mriežky v okolí priechodu, ktorý bol uzavretý. Odpor sa náhle zmenší a prúd v obvode prudko vzrastie. Rovnako sa súčiastka správa aj pri opačnej polarite napätia, činnosť oboch priechodov sa vymení.

- U_{BO} spínacie napätie,
- I_{BO} spínacích napätí, spínací prúd, ktorý prechádza diakom tesne pred zopnutím,
- ΔU najmenší pokles po zopnutí.

Diak sa používa ako pomocná spínacia súčiastka na riadenie tyristorov a triakov. Niekedy sa používa aj ako prepäťová ochrana.



Diak (DB3)



Obr. 40 Využitie súčiastok Triak a Diak v obvode stmievača



Puzdra tranzistorov, tyristorov a triakov

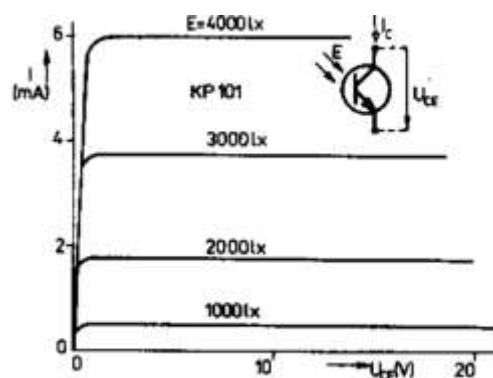
6. OPTOELEKTRONICKÉ SÚČIASTKY

Optoelektronika je oblasť elektroniky, ktorá sa zaoberá interakciou svetla s elektronickými prvkami. Optoelektronické prvky sa delia na:

- **optoelektronické zdroje svetla** (LED, polovodičový laser. **Strana 12**),
- **fotosenzory** (fotodióda, fototranzistor, plošné senzory),

6.1 Fototranzistor

Fototranzistor je druh polovodičového fotodetektora, konštrukciou zhodný s bežným bipolárnym tranzistorom. Využíva rovnako ako fotodióda vnútorný fotoelektrický jav. Podstatná je generácia nosičov náboja v báze tranzistora, vďaka čomu nastáva zosilňovací jav rovnako ako u bežného použitia tranzistora. Vďaka tomuto je citlivosť fototranzistora pri rovnakom osvetlení väčšia ako u fotodiódy, avšak iné parametre (rýchlosť, šumové parametre) sú horšie.

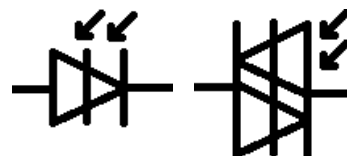


Obr. 41 Fototranzistor

L-93

6.2 Fototyristor a fototriak

Sú to polovodičové súčiastky, ktoré majú rovnaké vlastnosti ako tyristor, či triak s tým rozdielom, že sa do vodivého stavu dostanú za pomoci svetla. Väčšinou sú súčasťou optočlena.

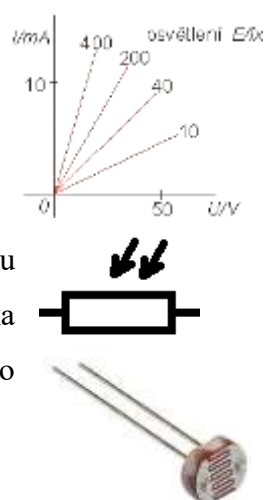


Obr. 42 Fototyristor a fototriak

6.3 Fotorezistor

Fotorezistor (hovorovo tiež **fotoodpor**) je pasívna elektronická súčiastka. Jeho elektrický odpor klesá s rastúcou intenzitou dopadajúceho svetla (*elektrická vodivosť rastie*).

Fotorezistor je vyrobený z polovodiča s vysokým elektrickým odporom. Ak fotón svetla dostatočne krátkej vlnovej dĺžky narazí do elektrónu vo valenčnom pásme atómu, odovzdá mu svoju energiu. Elektrón tak získa dostatok energie na prekonanie zakázaného pásma a preskočí z valenčného pásma do vodivostného.



Obr. 43 Fotorezistor

(LDR5549)

6.4 LED displej

LED displej je zobrazovacie zariadenie, ktoré využíva svetlo vyžarované diódami LED na zobrazenie obrazu, textu alebo iných informácií.

- **7 – segmentový displej** je typ elektronického zobrazovacieho zariadenia, ktoré sa používa na zobrazovanie číslíc a niektorých písmen. Skladá sa zo siedmich segmentov, ktoré sú usporiadané do tvaru číslice **8**. Každý segment je tvorený samostatnou LED.



Obr. 43 7-seg displej (KEMING 23101)

- **Maticový displej** je typ zobrazovacieho zariadenia, ktoré využíva maticu LED diód na vytvorenie obrazu, alebo textu. LED diódy sú usporiadané do mriežky (*matice*) a každá dióda predstavuje jeden **pixel** obrazu.



Obr. 44 maticový displej (KWM-20881)

- **OLED displej** (*Organic Light-Emitting Diode display*) je typ displeja, ktorý využíva organické zlúčeniny, ktoré po prechode elektrického prúdu vyžarujú svetlo. Vďaka tejto vlastnosti nepotrebujú OLED displeje podsvietenie, čo im umožňuje dosiahnuť tenšie a ľahšie prevedenie v porovnaní s LCD displejmi.



Obr. 45 OLED displej (NHD-1.8-160128)

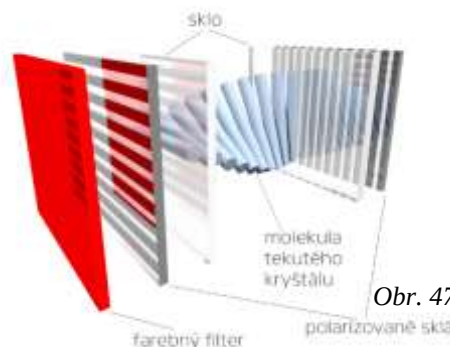
6.5 LCD displej

LCD displej (*Liquid Crystal Display*) je typ zobrazovacieho zariadenia, ktoré využíva tekuté kryštály na zobrazenie obrazu. Tieto kryštály sa nachádzajú medzi dvoma vrstvami skla a ich usporiadanie sa mení v závislosti od elektrického napätia. Táto zmena usporiadania umožňuje alebo blokuje prechod svetla, čím sa vytvára obraz.



Obr. 46 LCD displej

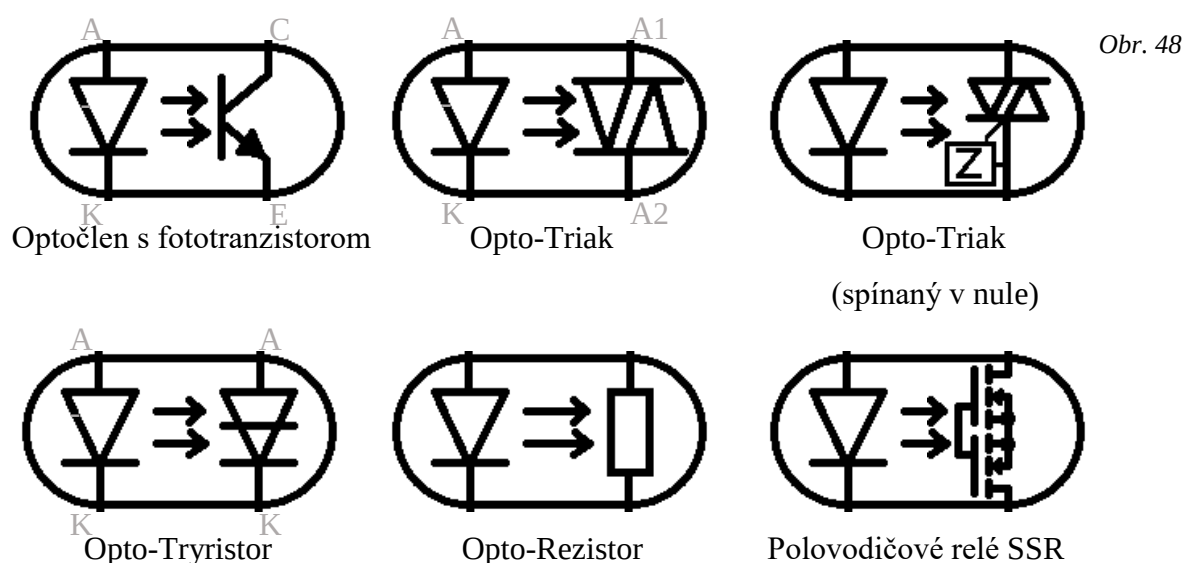
- Svetlo z podsvietenia prechádza cez prvý polarizačný filter, ktorý ho polarizuje.
- Polarizované svetlo dopadá na vrstvu tekutých kryštálov.
- Usporiadanie molekúl tekutých kryštálov je ovplyvnené elektrickým napätím privedeným cez elektródy.
- V závislosti od usporiadania molekúl svetlo buď prechádza cez kryštály, alebo je blokové.
- Ak svetlo prechádza, dopadá na farebný filter, ktorý mu dodá farbu.
- Následne svetlo prechádza cez druhý polarizačný filter, ktorý prepustí len svetlo s určitou polarizáciou.
- Kombinácia prechádzajúceho a blokovaneho svetla vytvára na displeji obraz.



Obr. 47

6.6 Optočlen

Optočlen slúži na galvanické oddelenie dvoch obvodov. Je zložený zo **zdroja svetla**, napríklad **LED** (najčastejšie *Infra-LED*) a **fotocitlivej polovodičovej súčiastky**, napríklad **fototranzistora**. Keď privedieme na vstup optočlena malý prúd potrebný na rozsvietenie LED, začne sa fototranzistor otvárať podľa prúdu prechádzajúceho LED. Čím väčší prúd prechádza LED, tým viac svetla vyžaruje a tým sa viac otvorí tranzistor. Otvorený prechod tranzistora medzi **emitorom** a **kolektorom** spôsobí zopnutie obvodu na výstupe. Vďaka galvanickému oddeleniu je možné ovládať obvody, ktoré sa medzi sebou líšia napäťovou úrovňou v rádoch stoviek voltov. Ako fotocitlivý prijímač môže byť použitý aj tranzistor v Darglintonovom zapojení, fototriak, fotorezistor, alebo aj komplikovanejší fotocitlivý obvod.



- Bežný **optočlen** je zostavený z LED a fototranzistora. Využíva sa na oddelenie dvoch obvodov. Napríklad na vstupoch priemyselných počítačoch, či impulzných zdrojoch, a tak ďalej.
- **Optotriak** je optočlen, pozostávajúci z LED a fototriaku. Ovladajú sa ním výkonové triaky. Samotný optotriak je schopný zopnúť v okamihu, keď sa LED dióda rozsvieti. To je vhodné, ak chceme v obvode ovládať triakom výkon spotrebiča. Ak chceme triakom spotrebič len spínať, je vhodné použiť **optotriak so spínaním v nule**.
- Polovodičové relé, často známe aj ako **SSR** (*solid state relay*), je bezkontaktný spínač. Ide o typ optočlena s výstupnou časťou tvorenou technológiou MOSFET.
- **Optorezistor** sa využíva v zosilňovačoch na limitáciu signálu.



Obr. 49 Optočleny

7. TEPLOTNE ZÁVISLÉ SÚČIASTKY

Tepelne závislé súčiastky sa v elektronike primárne využívajú na meranie teploty, či tepelnú kompenzáciu. Okrem toho sa v elektronike tepelná závislosť súčiastok využíva aj na ochranné účely.

Vo všeobecnosti teplota ovplyvňuje parametre všetkých polovodičových súčiastok. Aby obvod s polovodičmi nebol tepelne závislý, využíva sa takzvaná **tepelná kompenzácia** inou tepelne závislou súčiastkou, ktorá v obvode vyrovnáva nežiaduci parameter.

7.1 Termistor

Termistor (*thermal resistor*) je pasívna elektronická súčiastka, ktorej elektrický **odpor je závislý od teploty**. Preto sa termistory najčastejšie používajú na snímanie teploty. Podľa povahy teplotnej závislosti sa termistory delia na dva druhy:



- **PTC** termistor - **pozistor** (*pozitívny teplotný koeficient*), ktorého odpor pri zahrievaní rastie $R \uparrow \approx t^\circ$.

Okrem snímania teploty sa špeciálne upravené **PTC** termistory používajú ako **vratné poistky**. To znamená, že ak termistorom preteká väčší prúd, termistor sa ohreje a zväčší svoj odpor. Tým obmedzí pretekajúci prúd.



- **NTC** termistor - **negastor** (*negatívny teplotný koeficient*), ktorého odpor pri zahrievaní klesá $R \downarrow \approx t^\circ$.

Špeciálne upravené **NTC** termistory sa využívajú v silových obvodoch na potlačenie nárazového prúdu - takzvaný **mäkký štart** (*soft start*). Termistor má odpor radovo v ohmoch. Pretekajúci prúd je obmedzený odporom termistora. Tým, že prúd preteká termistorom sa termistor zahrieva a tým klesá jeho odpor. To spôsobí, že termistor prestane obmedzovať pretekajúci prúd.



V priemysle sa už od roku 1931 (dodnes) využívajú platinové PTC termistory rady Pt100. V názve číslo 100 vyjadruje ohmickú hodnotu pri 0°C. Tento termistor pracuje v teplotnom rozsahu od -200°C do +600°C (až do +1000°C – podľa prevedenia).

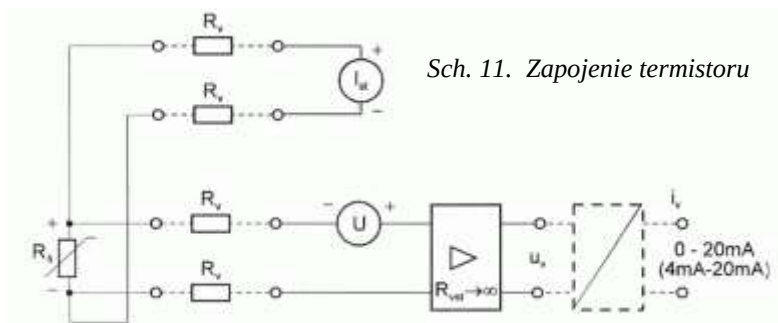


Schematická značka



Obr. 53

Termistor, ako snímač teploty sa vkladá do dvoch obvodových slučiek. Prvá slučka je napájaná zdrojom prúdu. Tá zabezpečuje stály a nemenný prúd. Druhá slučka odoberá z termistora úbytkové napätie. To sa následne zosilní a napäťovo upraví na požadovanú úroveň.



Sch. 11. Zapojenie termistoru

7.2 Tepelne závislá dióda

V poslednej dobe sa často začala využívať špeciálne upravená dióda, ktorej vnútorný odpor je priamo úmerný teplote. Tieto senzory sa využívajú v teplotnom rozmedzí -40°C do $+300^{\circ}\text{C}$. Odpor sa pohybuje 250Ω do $3.2\text{k}\Omega$.



Obr.54

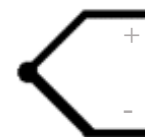
7.3 Termočlánok

Termočlánok, alebo **termočlánková sonda**, premieňa rozdiel teploty na napätie vďaka termoelektrickému (*Seebeckovému*) javu. Veľkosť napätia je úmerná rozdielu teplôt. Koeficient sa udáva v $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ a určuje napätie, ktoré sa vytvorí na svorkách termočlánku pri rozdieli teploty (zvar – konce vodičov) o jeden stupeň. Veľkosť koeficientu závisí od typu termočlánku, teda od použitia kovu, alebo zliatin. Typy termočlánku sa označujú písmenom. Najpoužívanejšie sú:



Obr. 55

Termočlánok



Schematická značka

- **Typ E** (chromel-konštantán; $58,6 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$; -200°C do $+900^{\circ}\text{C}$) - silný výstupný signál a vysoká presnosť merania.
- **Typ J** (železo-konštantán; $50,3 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$; -40°C do $+750^{\circ}\text{C}$) - kvôli železu nie je vhodný do oxidačného prostredia.
- **Typ K** (chromel-alumel; $39,4 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$; -200°C do $+1350^{\circ}\text{C}$) - veľmi presný. Preto sa najčastejšie používa do teploty 1260°C .
- **Typ N** (nicrosil-nisil; $25,9 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$; 0°C do $+1260^{\circ}\text{C}$) - vynovený termočlánok Typu K.
- **Typ T** (meď-konštantán; $38,7 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$; -200°C do $+370^{\circ}\text{C}$) - vhodný do oxidačného prostredia, určený pre nízke teploty.
- **Typ S, R, B** (zliatiny konštantánu; $1,9\text{-}5,4 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$; -200°C do $+1700^{\circ}\text{C}$) – určený pre vysoké teploty.

Pri termočlánku treba dávať pozor na to, že výstupné napätie termočlánku je rozdiel teplôt od meraného bodu po konce vodičov. Pre výpočet správnej hodnoty je nutné pripočítať teplotu na koncoch vodičov. Keďže konce vodičov nemajú 0°C, ale izbovú teplotu. Preto ak pri termočlánku typu E nameriame 5.86mV znamená, že: $5860\mu\text{V} : 58,6\mu\text{V}/^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}$ (teplota medzi meracím bodom a koncami vodiča). K tomu je nutné pripočítať teplotu koncov vodičov napríklad 25°C (izbová teplota) a výsledná teplota bude 125°C.

V dnešnej dobe existujú k termočlánkom špeciálne integrované obvody, ktoré napätie termočlánku zosilnia a hneď aj pripočítajú teplotu na bodoch pripojenia termočlánku.

7.4 Peltierov článok

Peltierov článok je elektronický stavebný prvok, ktorý pri pretekaní elektrického prúdu vyvinie rozdielne teploty na stykových plochách dvoch vodičov (*jedna plocha sa schladí a druhá sa zohreje* - **Peltierov jav**), alebo opačne, pri dodaní rozdielných teplôt vzniká elektrický prúd (*Seebeckov jav*). Peltierov článok je tvorený spojením dvoch rôznych vodičov alebo polovodičov. Na spoji vzniká kontaktné napätie U , ktoré závisí od spojených materiálov. Maximálny rozdiel teplôt na oboch stranách je 60 až 110 °C.



Obr. 56 Peltierov článok



Schematická značka

Peltierov článok sa najbežnejšie využíva ako spotrebič. Napríklad v autochladničkách, kde premieňa elektrickú energiu na presun tepla z jednej strany na druhú. Treba mať na pamäti, že ohrievaná časť pozostáva z preneseného tepla a tepla zo stratového výkonu. Ohrievanú časť treba preto poriadne chladiť.

Na druhej strane dokáže Peltierov článok premeniť rozdiel teplôt na elektrický prúd. Tento jav sa využíva pri krbových ventilátoroch. Ak je rozdiel teplôt medzi stranami článku 100°C, Peltierov článok dokáže do obvodu dodať 4.8V a 669mA.



7.5 Tepelný spínač

Tepelný spínač, alebo **termostat** využíva zmenu fyzikálnych vlastností materiálu v závislosti od teploty. Najčastejšie sa používajú bimetalové spínače, ktoré sa skladajú z dvoch kovových pásov s rôznou teplotnou rozťažnosťou. Pri zmene teploty sa pásiky ohýbajú a spínajú (**NO**) alebo rozpínajú (**NC**) elektrický obvod.



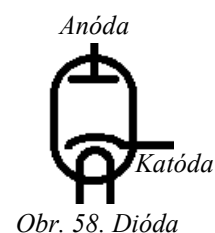
Obr. 57. (KSD 301)

8. VÁKUOVÉ ELEKTRÓNKY

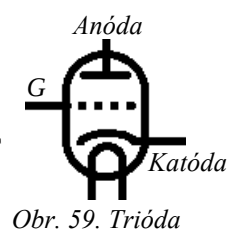
Vákuová elektrónka je elektrónická súčiastka, ktorá využíva riadený tok elektrónov vo vákuu. Princíp činnosti vákuovej elektrónky je založený na *termiónovej emisii elektrónov z katódy*. **Katóda** je zahriata na vysokú teplotu, čím sa uvoľňujú elektróny. Elektróny sú následne urýchľované a usmerňované elektrickým poľom medzi **katódou** a **anódou**. V závislosti od konštrukcie elektrónky môže elektrónka obsahovať aj ďalšie elektródy, ktoré slúžia na riadenie toku elektrónov.



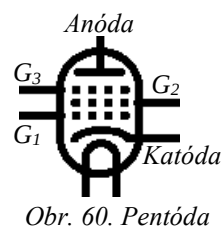
- **Dióda** - elektrónky, ktorá obsahuje dve elektródy: **katódu** a **anódu** umiestnené vo vákuovej trubici. Katóda je zvyčajne *žhavená*, čo spôsobuje emisiu elektrónov. **Anóda** je potom kladne nabitá a elektróny sú k nej priťahované. Dióda prepúšťa prúd iba v jednom smere a to od **katódy** k **anóde**. Obdobná súčiastka je polovodičová dióda.



- **Trióda** – je diódová elektrónka, do ktorej bola pridaná riadiaca elektróda: **Mriežka (Grid) G**. Najbližším ekvivalentom (náhradou) triódy je JFET tranzistor.

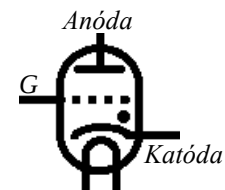


- Ak je **mriežka** na rovnakom potenciále ako **katóda** ($U_G = U_K$): trióda je priepustná a funguje ako dióda.
 - Ak je **mriežka** zápornejšia ako **katóda** ($U_G < U_K$): mriežka začne odpudzovať elektróny a tie sa ťažšie dostanú na Anódu. Trióda sa uzatvára a vzrastá jej vnútorný odpor. Keď U_G dosiahne maximálnu zápornú hodnotu, trióda sa úplne uzavrie a prestane byť vodivá.
- **Pentóda** – Je trióda do ktorej bola vložená druhá urýchľovacia elektróda **G₂**. Do urýchľovacej mriežky sa privádza vyššie kladné napätie. To spôsobí, že sú elektróny priťahované ku anóde väčšou elektrickou silou. To zvyšuje zosilnenie elektrónky. Elektrónka s riadiacou elektródou **G₁** a urýchľovacou elektródou **G₂** sa nazýva **Tetróda**. Tým, že urýchľovacia elektróda **G₂** priťahuje elektróny väčšou silou, elektróny sa nahromadia v oblasti **Anódy** a vzniká elektrónový mrak. To je dôvod, prečo sa tetródy nevyrábajú. Tento mrak elektrónov sa z pred Anódy zvedie na katódu pomocou tretej tieniacej mriežky **G₃**.



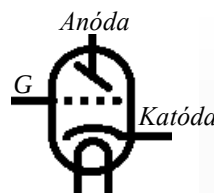
Aj keď je logické, že pentódy s vyšším zosilnením by mali nahradiť triódy, nestalo sa tak. V pentóde vznikajú vyššie harmonické frekvencie, ktoré sú v audio technike nežiaduce. Pentódy sa najčastejšie využívajú ako výkonové elektrónky. V audio technike sa využívajú iba ako koncové stupne.

- **Tyratrón** – Plynom naplnená trióda (výbojka s tromi elektródami). Ak má mriežka **G** veľké záporné napätie, neprepustí elektróny k **anóde**. Keď postupne mriežkové napätie **G** znižujeme, elektróny preniknú na anódu a nastane výboj. Mriežka prestane mať vplyv na výboj, nakoľko sa odtieni obklopenými ionizovanými časticami plynu. Výboj možno prerušiť len znížením U_A na hodnotu zhášacieho napätia (okolo 20V). Tyratrón je obdoba polovodičového tyristora.



Obr. 61. Tyratrón

- **Magické oko (ukazovať el' vyladenia)** - je vlastne trióda s veľkým zosilnením, ktorá sa nachádza v spodnej časti elektrónky. V hornej časti elektrónky je indikačná časť tvorená tienidlom potiahnutým **luminoforom** pripojeným k anóde. Uprostred tienidla je katóda a okolo katódy sa nachádza riadiaca elektróda.



Obr. 62. Magické oko (EM81)



- **Magnetrón** - je zariadenie vyrábajúce vysokofrekvenčné elektromagnetické vlnenie (mikrovlny). Pracuje na princípe ohýbania toku elektrónov pomocou silného magnetického poľa. V praxi sa využívajú dve základné vlastnosti mikrovln - **odraz od kovových predmetov** (radar) a **ohrievanie vody** a voľu obsahujúcich látok (mikrovlnná rúra).



Obr. 63 Magnetrón

- **Tlejivka (dutnavka)** - je plynom plnená výbojka so studenou katódou. Sklenená banka tlejivky je plnená riedkym plynom (najčastejšie neón alebo ďalšie inertné plyny). Banka obsahuje dve elektródy, medzi ktorými vzniká výboj. Okrem signalizácie sa tlejivka využíva na stabilizáciu napätia, alebo namiesto diaku.



Obr. 64 Tlejivka

Existuje ešte mnoho ďalších druhov elektrónok. Napríklad hexóda, či heptóda, elektrónková obrazovka CRT, fotónky, a tak ďalej.

Príklad 1:

Vypočítajte rezistory v obvode zosilňovača v triede A s elektrónkou ECC85. Pracovný bod je položený v polovici lineárnej časti prevodovej charakteristiky. Dané sú $U = 250V$, $I_A = 10mA$, $U_{AK} = 200V$.

V prvom rade musíme vyčítať veľkosť predpätia mriežky U_{G1} (alebo U_{GK}) z prevodovej charakteristiky elektrónky. Ak chceme dosiahnuť, aby elektrónkou tiekol prúd $I_A = 10mA$ pri úbytku napätia $U_{AK} = 200V$, musí byť napätie medzi mriežkou a katódou $U_{G1} = -1,5V$.

V našom zapojení záporne napätie nemáme. Riešenie je také, že zmeníme uhol pohľadu. Napätie mriežky voči katóde je $U_{G1} = U_{GK} = -1,5V$. Naopak napätie katódy voči mriežke je $U_{KG} = 1,5V$. Mriežka je cez rezistor R_g spojená so zemou. Preto nesie nulový potenciál voči zemi. Katóda musí mať preto o 1,5V viac. Teda $U_{RK} = 1,5V$. V obvode je jeden prúd I_A , ktorý tečie zo zdroja cez rezistor R_a do elektrónky a následne rezistorom R_k do zeme. Máme napätie na rezistore U_{RK} , prúd I_A , ktorý ním tečie, takže cez Ohmov zákon vypočítame odpor rezistora R_k . Na výpočet rezistora R_a potrebujeme ešte zistiť napätie na rezistore U_{RA} . To vypočítame z celkového napätia, keď odpočítame úbytkové napätie elektrónky U_{AK} a úbytkové napätie na rezistore U_{RK} .

Výpočet rezistora R_k :

$$U_{RK} = -U_{G1} = 1,5V;$$

$$I_{RK} = I_A = 10mA = 0,01A;$$

$$R_k = U_{RK} / I_A = 1,5V / 0,01A = 150\Omega;$$

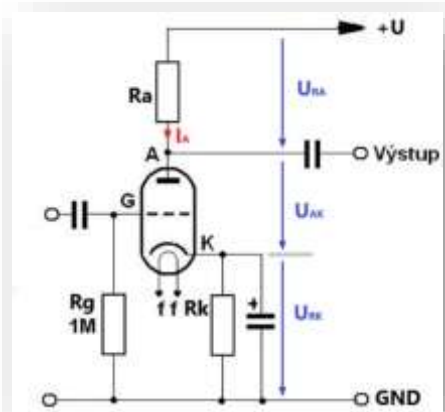
Výpočet rezistora R_a :

$$U_{RA} = U - U_{RK} - U_{AK} = 250V - 200V - 1,5V = 48,5V;$$

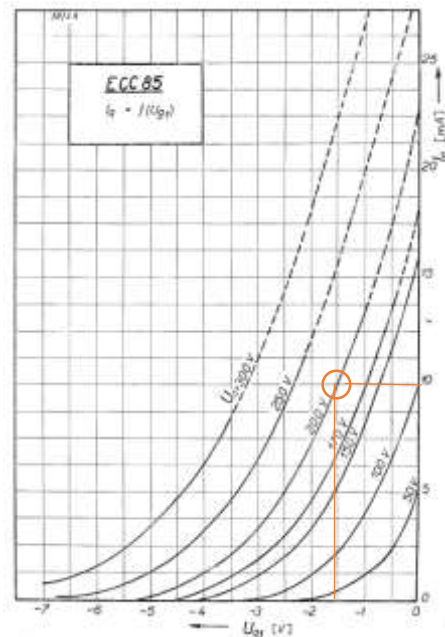
$$I_{RA} = I_A = 10mA = 0,01A;$$

$$R_a = U_{RA} / I_A = 48,5V / 0,01A = 4850\Omega = 5k\Omega;$$

Rezistor $R_a = 5k\Omega$ a rezistor $R_k = 150\Omega$.



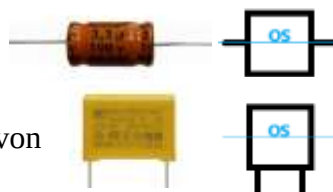
Sch. 11



PASÍVNE ELEKTRONICKÉ SÚČIASTKY

Pasívne súčiastky rozdeľujeme podľa uloženia vývodov na:

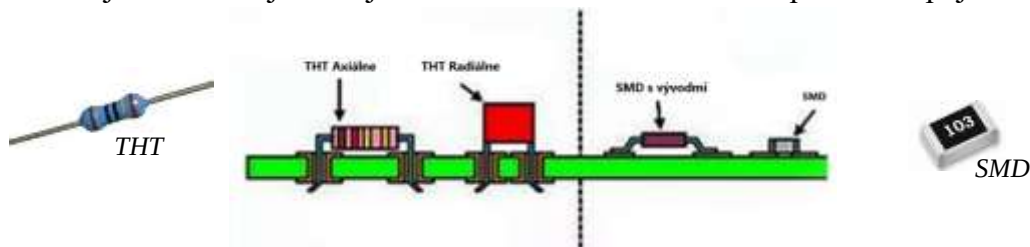
- **Axiálne** – vývody vychádzajú pozdĺž osi
- **Radiálne** – vývody vychádzajú z osi smerom von



Obr. 65

Podľa spôsobu osadenia súčiastky na dosku plošného spoja:

- **THT (Through-Hole Technology)** súčiastky majú vývody, ktoré sa prevlečú cez otvory v doske plošného spoja a následne sa na druhej strane dosky prispájajú. Tento typ montáže je starší a používa sa dodnes, najmä pri súčiastkach s väčšími rozmermi, kde je potrebná vyššia mechanická odolnosť kvôli tepelnej rozťažnosti materiálov.
- **SMD (Surface-Mounted Device)** súčiastky sú menšie a nemajú vývody. Montujú sa priamo na povrch dosky plošného spoja, kde sa prispájajú. Tento typ montáže je modernejší a umožňuje hustejšie osadenie súčiastok na dosku plošného spoja.



Obr. 66 Typy osadenia súčiastok

Niektoré súčiastky majú svoju hodnotu označenú na svojom puzdre v trojčifernom kóde.

- **Rezistory** – majú východiskovú hodnotu v Ω [ohmoch],
- **Kondenzátory** – majú východiskovú hodnotu v **pF** [piko faradoch],
- **Cievky, indukory, tlmivky** – majú východiskovú hodnotu v **μH** [mikro henry].

Prvé dve číslice označujú číselnú hodnotu a posledná číslica označuje počet núl za číselnou hodnotou. Niekedy sa používa štvorčiferné číslo. Tri číslice vyjadrujú hodnotu, posledná číslica označuje počet núl.



Cievka označená **101** = **10** **0** (jedna nula) = **100 μH**



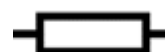
Kondenzátor označený **103** = **10** **000** (tri nuly) = 10 000 pF = **10 nF**



Rezistor označený **332** = **33** **00** (dve nuly) = 3 300 Ω = 3,3k Ω = **3k3**

9. REZISTOR

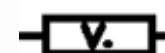
Rezistor, alebo **odpor**, je lineárna elektronická súčiastka, ktorej charakteristickou vlastnosťou je **elektrický odpor**. Používa sa k obmedzeniu prúdu, ako napäťový delič, prevodník prúd-napätie, a tak ďalej. Delia sa na pevné rezistory a premenlivé rezistory.



Obr. 67 Rezistor

Parametre rezistora:

- **R** – menovitý odpor v Ohmoch [Ω]
- **P** – výkon rezistora (výkon rezistora sa niekedy značí rímskymi číslicami do schematickej značky)

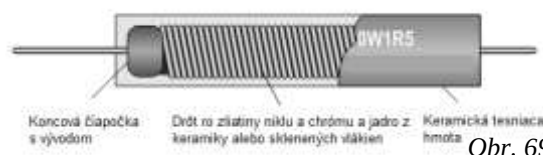


5W Rezistor
Obr. 68

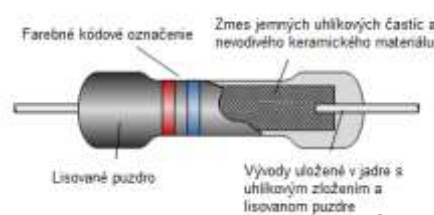
9.1 Pevný rezistor

Pevný rezistor je rezistor s pevným (nemenlivým) odporom. Poznáme:

- **Drôtové rezistory** sú určené pre obvody s vyšším menovitým zaťažením (až 100 W). Vyrábajú sa navinutím odporového drôtu na nosné telo, ktoré má podobu valca alebo rúrky. Vyznačujú sa nízkym šumom a sú teplotne stabilné. Kvôli parazitnej indukčnosti navinutého drôtu, nie sú vhodné pre aplikácie s frekvenciou nad 50kHz.
- **Uhlíkové rezistory** - odporovým materiálom pre odpor uhlíkového rezistora je zmes grafitu, keramického prachu a živice. Zmes sa lisuje do tyčiniek za vysokého tlaku a teploty. Spojovacie vodiče sú nalisované centrálne na oboch koncoch vodiča. Sú veľmi spoľahlivé, ale nie sú presné. Tolerancia nad 5%.
- **Vrstvové rezistory** sú určené pre aplikácie s nízkym menovitým zaťažením (do 2 W), sú tvorené keramickým jadrom, na ktorom je nanosená tenká vrstva materiálu uhlíka, kovu, alebo oxidu kovu.



Obr. 69



Obr. 70



Obr. 71

Vrstvové rezistory poznáme:

- **Rezistory s uhlíkovým filmom** sú lacné a majú široký rozsah odporových hodnôt. Ich nevýhodou je ich nízka presnosť a vysoká teplotná závislosť odporu.
- **Rezistory s metalickým filmom** sú presnejšie ako uhlíkové rezistory a majú nižšiu teplotnú závislosť odporu. Ich nevýhodou je ich vyššia cena.
- **Rezistory s metaloxidovým filmom** najpresnejšie zo všetkých troch typov a majú najnižšiu teplotnú závislosť odporu. Ich nevýhodou je ich veľmi vysoká cena.

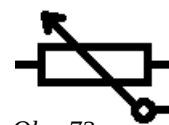
Vlastnosť	Uhlíkové rezistory	Metalické rezistory	Metaloxidové rezistory
Cena	Nízka	Stredná	Vysoká
Presnosť	Nízka	Stredná	Vysoká
Teplotný koeficient odporu	Vysoký	Nízky	Veľmi nízky
Šum	Vysoký	Nízky	Veľmi nízky
Stabilita	Nízka	Stredná	Vysoká
Odolnosť voči prepätiu	Nízka	Stredná	Vysoká
Použitie	Nenáročné aplikácie	Presné obvody	Náročné aplikácie
Maximálna teplota	150°C	250°C	350°C

Tab. 4. Porovnanie parametrov vrstvomých rezistorov

9.2 Premennivý rezistor

Úlohou premenlivých rezistorov je regulovať odpor v obvode na základe zvolenej charakteristiky a v danom rozsahu. V súčasnosti sú rozoznávajúce tri základné typy premenných rezistorov:

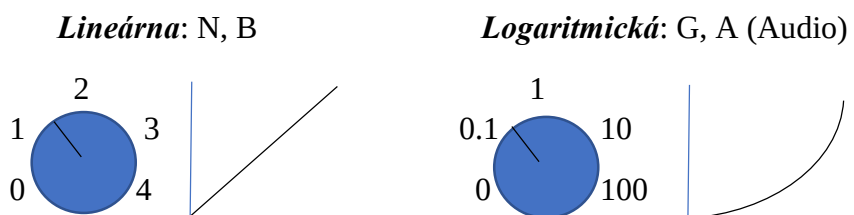
- **Potenciometre** sú určené pre reguláciu prúdu či napätia v obvode vo veľkom rozsahu, sú spravidla riešené ako vrstvomé a regulácia sa realizuje otočným alebo posuvným mechanizmom.



Obr. 72

Z principiálneho hľadiska sa potenciometer chápe ako regulovaný delič napätia. Potenciometre majú lineárnu, logaritmickú a exponenciálnu charakteristiku (*exponenciálna je opak logaritmickú*).

Charakteristika potenciometra:



Obr. 73 Charakteristiky potenciometra

- **Reostaty** sa používajú pri vyšších menovitých zaťaženiach a vyrábajú sa z odporového drôtu – regulačný rozsah býva menší, ale dosahuje relatívne veľké rozpätie.



Obr. 74

Z principiálneho hľadiska sa reostat chápe ako premenlivý odpor s dvoma vývodmi.

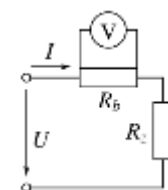
- **Trimer** je drobná súčiastka určená k doladeniu odporu v obvode v malom rozsahu. V podstate ide o montážny potenciometer s lineárnou charakteristikou. Existujú aj presné viacotáčkové trimre, na ktorých je možno presne nastaviť požadovanú hodnotu.



Obr. 75

9.3 Bočník

Bočník je výkonový rezistor s malým odporom, ktorý je určený na meranie elektrického prúdu. V podstate sa na ňom prevádza elektrický prúd na úbytkové napätie, ktoré sa následne spracováva.

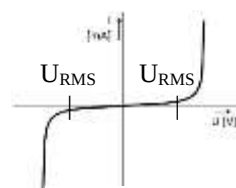


Obr. 75 Bočník FL2 200A/75mV a zapojenie

9.4 Varistor

Varistor je elektronická súčiastka, ktorá sa používa na ochranu obvodov pred prepätím. Je to nelineárny rezistor, čo znamená, že jeho **odpor sa mení v závislosti od napätia**. Pri nízkom napätí má varistor vysoký odpor a neprepúšťa prúd. Pri prekročení určitého napätia sa odpor varistoru prudko zníži a začne prepúšťať prúd, čím chráni obvod pred poškodením. Medzi základné parametre patrí:

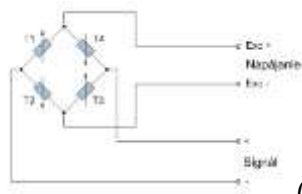
- U_{RMS} - Maximálne bezpečné napätie,
- I_{MAX} - Maximálny krátkodobý prúd.



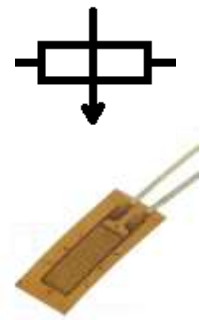
Obr. 76 Varistor (S20K250)

9.5 Tenzometer

Tenzometre sú pasívne čidlá, ktoré prevádzajú **mechanickú deformáciu na zmenu elektrického odporu**. Meranou veličinou je často sila: tenzometrické silomery, tenzometrické váhy, čidlá pre diagnostiku porúch, deformačné tlakomery, a tak ďalej. Na meranie hmotnosti (sily) sa zvyčajne používajú styri tenzometre (v jednom puzdre) zapojené do mostíka.



(SP4MC3MR) do hmotnosti 100kg



Obr. 78 Tenzometer

9.6 Vyhrievacie teleso

Vyhrievacie, alebo vykurovacie telesá, sú v podstate výkonové rezistory, ktoré premieňajú elektrickú energiu na teplo. Využívajú sa k ohrievaniu vody, telies, či priestoru.



Obr. 79 Vyhrievacie teleso

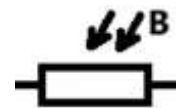
- **U** - Pracovné napätie,
- **P** - Menovitý výkon.



Vykurovací rezistor (GBR)

9.7 Magnetorezistor

Magnetorezistory sú magneticky riadené polovodičové odpory (*InSb*), ktorých je odpor závislý od magnetického poľa. Pri pôsobení magnetického poľa sa odpor magnetorezistoru (*kvadratický*) zväčšuje. Používajú sa ako snímače v automobilovom priemysle do teploty 170°C až 200°C.



Obr. 80
Magnetorezistor

9.8 Memristor a Memistor

Memristor je skratka pre "memory resistor" (*pamäťový rezistor vynájdený roku 1971*) a je to elektronická súčiastka, ktorá má schopnosť pamätať si predchádzajúce prúdové a napäťové stavy. Jednosmerným prúdom sa odpor memristora nastavuje a čítanie uloženej hodnoty sa číta striedavým prúdom (*aby sa zachovala uložená hodnota*). Memristor sa považuje za štvrtú pasívnu súčiastku (*rezistor, kondenzátor, cievka, memristor*).



Obr. 81
Memristor

Memistor je memristor s troma vývodmi. Teda má oddelenú vetvu pre nastavenie odporu a vetvu, z ktorej sa odpor striedavým prúdom číta. Existuje aj **memtranzistor**, ktorý vznikol spojením memristora a tranzistora. Využitelnosť týchto súčiastok je v pamätiach *RRAM*, analógových pamätiach a neurónových sieťach *NeuRRAM*.

9.9 Využitie rezistora

Rezistor sa využíva na zníženie napätia, prúdové obmedzenie, prevod prúdu na napätie a opačne, odporový delič a iné.

- **Zníženie napätia v obvode** – využíva sa, ak máme v obvode spotrebič, ktorý má nižšie napájacie napätie ako napájací zdroj. V princípe sa na rezistore musí stratiť napätie, ktoré je rozdielom medzi napätiami napájania a spotrebiča. Veľkosť odporu sa vypočíta pomocou vzťahu Ohmového zákona. Pre výpočet je nutné poznať prúd, ktorý rezistorom tečie.

Príklad 1

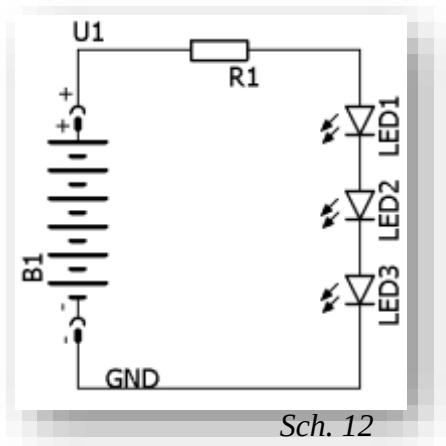
Obvod je napájaný batériou s napätím $U_1=12V$.

Úbytkové napätie na každej LED je $U_{LED} = 2V$ a prúd prechádzajúci LED je $I_{LED} = 10mA$.

Vypočítaj odpor rezistora R_1 .

Výpočet:

Pre výpočet odporu rezistora potrebujeme vedieť veľkosť prúdu, ktorý rezistorom tečie a napätie, ktoré sa na rezistore stratí. Keďže je obvod zložený iba z jednej vetvy, tečie ním ibaΩ jeden prúd. Ten máme daný $I_{LED} = 10mA = 0.01A$. Zdroj obvod napája napätím $U_1=12V$, jedna LED má úbytok napätia $U_{LED}=2V$. Na troch diódach LED bude úbytok $U_{3LED}=3 \times 2V = 6V$. Na rezistore sa nám musí stratiť $U_{R1} = U_1 - U_{3LED} = 12V - 6V = 6V$. Podľa Ohmového zákona vypočítame $R = U_{R1} / I_{LED} = 6V / 0.01A = 600\Omega$.



- **Prevod prúdu na napätie** – zvyčajne sa využíva pri meraní prúdu. Ak potrebujeme dostať informáciu o veľkosti prúdu vo forme napätia (napríklad pre procesor). Používajú sa rezistory s malým odporom a s veľkým výkonom, keďže pri veľkom prúde vzniká na rezistore veľký stratový výkon. Aby bolo meranie čo najpresnejšie, napätie sa odoberá čo najbližšie pri rezistore. Bočník je rezistor, ktorý je prispôsobený na meranie prúdu. Prevod výstupného napätia, meraného prúdu a odporu rezistora určuje vzťah Ohmového zákona. Čím väčšie výstupné napätie, tým väčší stratový výkon.

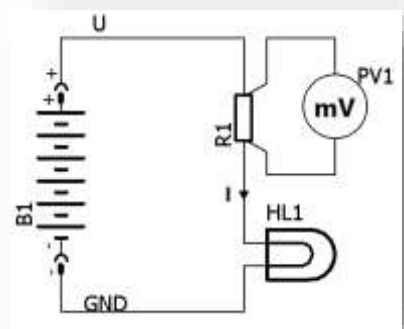
Príklad 2

Vypočítaj veľkosť rezistora R_1 , aby jeden ampér zodpovedal na meranej strane jednému mV. Aký bude stratový výkon na rezistore R_1 , ak ním bude pretekať prúd 10A.

Výpočet:

Pre výpočet odporu rezistora použijeme Ohmov zákon. Vieme, že odpor pri prúde $I_{R1} = 1A$ musí mať

na sebe úbytok $U_{R1} = 1mV = 0,001V$. Z toho $R_1 = U_{R1} / I_{R1} = 0,001V / 1A = 0,001\Omega = 1m\Omega$. Pri pretekajúcom prúde 10A bude na rezistore $1m\Omega$ úbytkové napätie $U_{R1_10A} = I_{10A} \times R_1 = 10A \times 0,001\Omega = 0,01V$. Stratový výkon vypočítame $P_{R1} = U_{R1_10A} \times I_{10A} = 0,01V \times 10A = 0,1W$.



Sch. 13

- **Odporový delič** - sa používa na zníženie napätia (signálu) v pomere, ktorý určujú rezistory. Využíva sa pri prepínaní meracích rozsahov v meracích prístrojoch, pri nastavení zosilnenia v spätnej väzbe. Potenciometer sa najčastejšie využíva ako odporový delič, napríklad v zapojení ovládania hlasitosti. Tým že jeden prúd prechádza rezistormi deliča môžeme delič popísať vzťahom: $I = U / (R_1 + R_2) = U_1 / R_1 = U_2 / R_2$; Po úprave: $U_2 / U = R_2 / (R_1 + R_2)$;

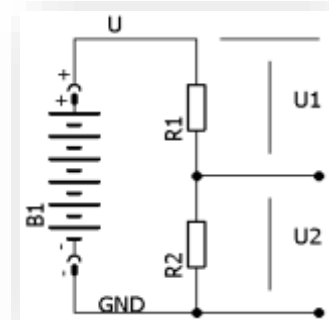
Príklad 3

Vypočítaj veľkosť výstupného napätia U_2 , ak obe rezistory majú odpor $R_1 = R_2 = 1k\Omega$, vstupné napätie je $U=10V$.

Výpočet:

Ak by sme už vyššie upravený vzťah ešte raz upravili tak, že vyjadríme U_2 (celú rovnicu vynásobíme U), dostaneme vzťah $U_2 = U \times R_2 / (R_1 + R_2)$. Po dosadení $U_2 = U \times R_2 /$

$(R_1 + R_2) = 10V \times 1k\Omega / (1k\Omega + 1k\Omega) = 10V \times 1000\Omega / (1000\Omega + 1000\Omega) = 10\,000 / 2000 = 5V$; Odpor nemusíme premieňať na základnú jednotku, no musia mať rovnakú predponu. Je to kvôli tomu, že odpory rezistorov v tomto vzťahu tvoria iba pomer.



Sch. 14

10. KONDENZÁTOR

Kondenzátor, alebo **kapacitor**, je lineárna elektronická súčiastka, ktorej charakteristickou vlastnosťou je **elektrická kapacita**. Kondenzátor možno chápať ako nabíjateľnú batériu, v ktorej môžeme uskladniť elektrickú energiu vo forme náboja. Používa sa na filtrovanie jednosmerného napätia, oddelenie jednosmernej zložky od striedavej, oscilátoroch, a tak ďalej. Delia sa na elektrolytické (unipolárne), fóliové, keramické (bipolárne) a premenlivé.



Obr. 82 Kondenzátor

Parametre kondenzátorov:

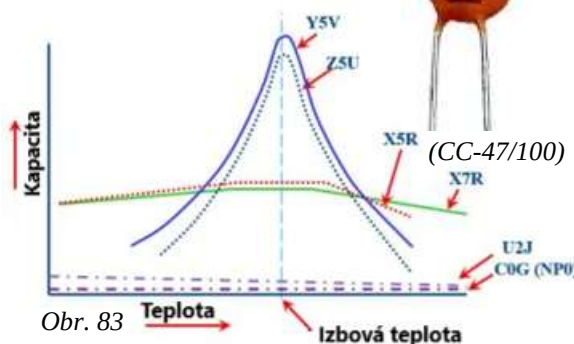
- **C** – menovitá kapacita vo Faradoch [F]
- **U** – maximálne napätie

10.1 Keramický kondenzátor

Keramické kondenzátory sú bipolárnym typom kondenzátorov, ktoré využívajú keramický materiál ako dielektrikum. Dielektrikum je izolačný materiál, ktorý oddeľuje dve vodivé platne kondenzátora. Rozmer súčiastky a jej tepelná stabilita závisí od použitého dielektrika.



- **C0G, MP0, CPH** - sú dielektriká s nízkou permitivitou. Preto sa osadzujú do kondenzátorov s nízkou kapacitou. Na druhej strane majú vysokú stabilitu kapacity v závislosti od teploty a napätia. Okrem toho majú nízky stratový faktor. Sú vhodné pre aplikácie s vysokými požiadavkami na presnosť a stabilitu, ako sú oscilátory, filtre a rezonančné obvody.
- **X7R, X5R, Y5P** – sú dielektriká so strednou permitivitou. Kondenzátory s týmto dielektrikom majú menšiu stabilitu kapacity v závislosti od teploty a napätia, vyšší stratový faktor. Sú vhodné pre aplikácie, kde nie je dôležitá presnosť a stabilita, ako sú väzobné a oddeľovacie obvody, blokovanie jednosmerného napätia.
- **Z5U, Y5V** - sú dielektriká s vysokou permitivitou. Kondenzátory s týmto dielektrikom majú nízku stabilitu kapacity v závislosti od teploty a napätia, vysoký stratový faktor. Vhodné pre aplikácie s požiadavkou na vysokú kapacitu v malých rozmeroch, ako sú napájacie obvody a filtračné obvody.



Obr. 83

Existujú dva typy vyhotovenia keramických kondenzátorov:

- **Diskové keramické kondenzátory** - majú tvar disku a sú vhodné pre aplikácie, kde je dôležitá vysoká stabilita a nízky stratový faktor. Vyrábajú sa v nízkych kapacitách a s vyšším menovitým napätím.
- **MLCC (Multi-Layer Ceramic Capacitor)** - viacvrstvové keramické kondenzátory sú najbežnejším typom keramických kondenzátorov. Skladajú sa z niekoľkých vrstiev keramického dielektrika, ktoré sú oddelené kovovými elektródami. MLCC kondenzátory majú malú veľkosť a vysokú kapacitu.

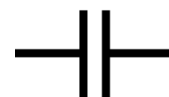


Obr. 84 Diskový
a MLCC kondenzátor

Keramické kondenzátory dobre znášajú vysoké frekvencie. Preto sa predovšetkým využívajú na filtrovanie napájacieho napätia proti zákmitom. Niekedy nazývané aj *blokovacie kondenzátory*. Vhodné sú na VF techniku, ako sú oscilátory, a tak ďalej.

10.2 Fóliový kondenzátor

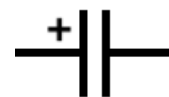
Fóliové kondenzátory, niekedy nazývané aj **zvitkové kondenzátory** sú bipolárne kondenzátory, ktoré ako dielektrikum využíva tenkú vrstvu plastovej fólie. Najčastejšie sa využíva polypropylén a polyester. Polypropylénové kondenzátory sú známe svojou vysokou kvalitou a stabilitou, zatiaľ čo polyesterové kondenzátory sú lacnejšie a majú menšie rozmery. Polypropylénové kondenzátory sa často používajú v audio technike, kde je dôležitá vysoká kvalita zvuku. Polyesterové kondenzátory sa používajú v rôznych elektronických zariadeniach, ako sú napríklad elektromotory, televízory a rádiá.



Obr. 85

10.3 Elektrolytické kondenzátory

Elektrolytické kondenzátory sú typom kondenzátorov, ktoré využívajú **elektrolyt** na dosiahnutie vysokej kapacity v relatívne malom objeme. Sú charakteristické svojou polaritou (sú *unipolárne* – majú *plus* a *minus*) a sú určené pre aplikácie, kde je dôležitá veľká kapacita, ale nie nutná presnosť a stabilita. Ich vnútorný odpor narastá pri vyšších frekvenciách. Preto sa k nim často pripája aj malý MLCC kondenzátor. Elektrolytické kondenzátory sa najčastejšie využívajú ako filtrácia jednosmerného napätia, alebo pomalých oscilátoroch. Tu je nutné dodať, že v dnešnej dobe existujú aj bipolárne elektrolytické kondenzátory.



Obr. 86

Tantalové kondenzátory sú typom elektrolytických kondenzátorov, ktoré sa vyznačujú použitím tantalu ako materiálu pre anódu. Tým sa líšia od bežnejších hliníkových elektrolytických kondenzátorov. Vďaka svojim špecifickým vlastnostiam sú tantalové kondenzátory vhodné pre určité aplikácie, kde sú dôležité menšie rozmery a lepšie frekvenčné vlastnosti.



Obr. 87

(T356H226K025AT)

10.4 Premennivý kondenzátor

Premennivé kondenzátory sú typy kondenzátorov, ktorého kapacitu je možné meniť. Skladajú sa z dvoch vodivých dosiek (elektród) oddelených dielektrikom (*niekedy iba vzduchom*), pričom aspoň jedna z dosiek je pohyblivá. Zmenou vzájomnej polohy dosiek, teda ich prekrývajúcej sa plochy alebo vzdialenosti, sa mení kapacita kondenzátora. Poznáme dva typy:

- **Ladiaci kondenzátor** – má vyvedenú hriadeľ na ovládanie kapacity užívateľom,



Obr. 88



- **Kapacitný trimer** – malý kondenzátor určený na doladenie kapacity.



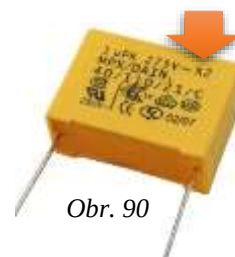
Obr. 89



10.5 Bezpečnostné označenie kondenzátorov

Značenie **X1**, **X2**, **X3** a **Y1**, **Y2**, **Y3** na kondenzátoroch sa spravidla spája s bezpečnostnými normami. Označenie znamená, že kondenzátor je určený pre použitie v obvodoch, ktoré sú vystavené prepätiu a rušeniu. Kondenzátory sú navrhnuté tak, aby odolali týmto vplyvom a minimalizovali riziko úrazu elektrickým prúdom.

- **X1, X2, X3** – sú kondenzátory určené priamo medzi fázové vodiče (**L-L**), alebo medzi fázový vodič a neutrálny vodič (**L-N**),
- **Y1, Y2, Y3** - sú kondenzátory určené medzi fázovým vodičom, alebo neutrálnym vodičom a zemou (**L/N-PE**).



Obr. 90

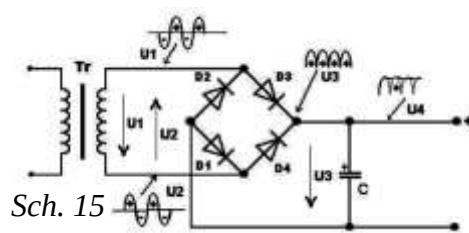
- **X1, Y1** - Prípustné špičkové pulzné napätie a úroveň prepätia do 4kV,
- **X2, Y2** - Prípustné špičkové pulzné napätie a úroveň prepätia do 2.5kV,
- **X3, Y3** - Prípustné špičkové pulzné napätie a úroveň prepätia do 1.2kV.

10.6 Vnútny odpor kondenzátora

ESR kondenzátora (Equivalent Series Resistance) je súčet všetkých vnútorných strát v kondenzátore, ktoré sa prejavujú ako odpor. ESR sa udáva v ohmoch a jeho hodnota sa mení v závislosti od typu kondenzátora, jeho kapacity, napätia a frekvencie. Hodnota ESR je dôležitá pre všetky typy kondenzátorov, ale najväčší význam má pre elektrolytické kondenzátory. Elektrolytické kondenzátory majú relatívne vysokú hodnotu ESR už od výroby a táto hodnota sa môže s vekom a používaním kondenzátora ešte zvyšovať.

10.7 Použitie kondenzátorov

Najčastejšie sa elektrolytické kondenzátory využívajú na vyhladenie pulzného napätia za usmerňovačom. Veľkosť kapacity kondenzátora závisí od frekvencie, odoberaného prúdu a veľkosti zvlnenia. Existuje niekoľko vzorcov na výpočet, no sú pomerne komplikované. V praxi platí pravidlo, že pri dvojcestnom usmerňovači, alebo Graetzovom mostíku a pri bežnej sieťovej frekvencii 50Hz sa na jeden Ampér odberu odporúča 2,2mF. Teda 2200μF na 1A.



Sch. 15

$$C \geq \left[\frac{\cos^{-1} \left(\frac{U_{min}}{U_{max}} \right)}{2\pi \cdot f \cdot (U_{max} - U_{min})} \right] \cdot I$$

Zo strany **elektrotechniky** (silnoprádu) sa kondenzátor v striedavom prúde najčastejšie využíva na vyrovnanie účinníka – kompenzuje sa ním jalová zložka elektrického výkonu v sieti. Okrem toho sa (rozbehový) kondenzátor používa na posuv fázy pri niektorých typoch jednofázových elektromotorov.



Obr. 91
Rozbehový kondenzátor

Zo strany **elektroniky** (slaboprádu) má kondenzátor v striedavom prúde širšie využitie. Vodivosť kondenzátora je priamo úmerná od frekvencie. Čím vyššia frekvencia, tým je kondenzátor vodivejší (zmenšuje sa jeho odpor). Táto vlastnosť sa využíva v pásmových priepustoch a výhybkách. Kondenzátor v obvode striedavého prúdu sa navonok môže správať ako rezistor. Vravíme o kapacitnej reaktancii. Kapacitná reaktancia nie je odpor, iba sa tak javí. Preto odpor rezistora a kapacitnú reaktanciu nemôžeme len tak spočítať. Počítajú sa ako vektory (skalár vektora), ktoré sú od seba posunuté o 90°.

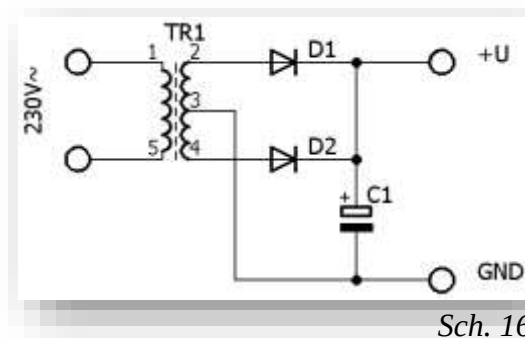
$$\text{Kapacitná reaktancia: } X_C = 1 / \omega \cdot C \quad [\Omega, \text{ rad/s, F}]$$

Kondenzátory sa v elektronike ďalej využívajú ako väzobné členy medzi jednotlivými stupňami zosilňovačov, alebo na tvarovanie signálu, či v rezonančných obvodoch.

Príklad 1

Máme zdroj tvorený dvojčinným usmerňovačom, ktorým chceme napájať zariadenie s odberom $I=3A$. Navrhni veľkosť kondenzátora $C1$.

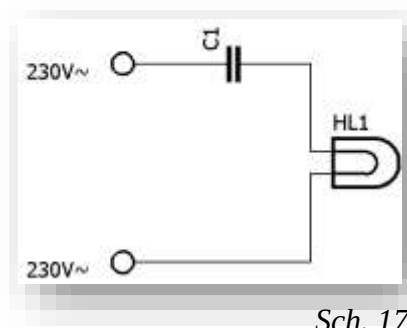
Keďže v zadaní sme nenašli žiadne podrobné informácie, ako maximálnu veľkosť zvlnenia a podobne, príklad vyriešime jednoduchým pravidlom **2.2mF na 1A**. Pri $I=3A$ to bude **$C1=3 \cdot 2.2mF=6.6mF$** .



Príklad 2

Žiarovka HL1 má parametre $U_{HL1}=10V$ a $P_{HL1}=20W$. Vypočítajte veľkosť kondenzátora $C1$, keď je obvod napájaný sieťovým napätím $230V\sim$ o frekvencii $50Hz$.

Najprv vypočítame prúd a odpor žiarovky $I_{HL1} = P_{HL1}/U_{HL1} = 20W/10V = 2A$; $R_{HL1} = U_{HL1}/I_{HL1} = 10V/2A = 5\Omega$;



Keďže sme v obvode so striedavým prúdom musíme najprv vypočítať impedanciu (Z - odpor) celého obvodu pri odbere prúdu $I_{HL1}=2A$: $Z = U / I = 230V / 2A = 115\Omega$; Kapacitnú reaktanciu kondenzátora $C1$ dostaneme tak, že z impedancie celého obvodu odpočítame odpor žiarovky. Ako bolo vyššie spomínané reaktancia a odpor sa počítajú ako vektory posunuté o 90° . $X_{C1} = \sqrt{(Z^2 - R_{HL1}^2)} = \sqrt{(115^2 - 5^2)} = \sqrt{13200} = 114.9\Omega$; Kapacitu kondenzátora dostaneme zo vzorca $C = 1 / \omega \cdot X_C$: $C_1 = 1 / (2\pi f \cdot X_C) = 1 / (2 \cdot 3.14 \cdot 50Hz \cdot 114.9\Omega) = 1 / 36\,078.6 = 0.0000277F = 27.7\mu F$;

Príklad 3

Aký reaktančný odpor bude mať $1\mu F$ kondenzátor pri frekvenciách $250Hz$, $1KHz$, a $4kHz$.

Údaje zo zadania vložíme do vzorca $X_C = 1 / \omega \cdot C$:

- **f=250Hz:** $X_C = 1 / \omega \cdot C = 1 / (2 \cdot 3.14 \cdot 250Hz \cdot 0.000001F) = 636.94\Omega$;
- **f=1kHz:** $X_C = 1 / \omega \cdot C = 1 / (2 \cdot 3.14 \cdot 1000Hz \cdot 0.000001F) = 159.24\Omega$;
- **f=4kHz:** $X_C = 1 / \omega \cdot C = 1 / (2 \cdot 3.14 \cdot 4000Hz \cdot 0.000001F) = 39.81\Omega$;

11. CIEVKA

Cievka, alebo **induktor** je lineárna elektronická súčiastka, ktorej charakteristickou vlastnosťou je **vlastná indukčnosť**. Cievka premieňa elektrickú energiu na magnetickú a naopak: zmenu magnetického poľa premení na elektrickú energiu. Cievka dokáže uskladniť elektrickú energiu vo forme magnetického poľa. Pri odoberaní energie z cievky sa polarita na svorkách otočí.



Cievky sa najčastejšie využívajú ako elektromagnety, filtre jednosmerného napätia, v oscilátoroch, a tak ďalej. Cievka s jadrom sa nazýva **tlmivka**, alebo **induktor**. Dve, alebo viac cievok navinutých na jednom jadre nazývame **transformátor**. Cievku s posuvným jadrom nazývame **premenlivý induktor**.

Parametre cievky:

- **L** – Vlastná indukčnosť v jednotkách Henry [H]

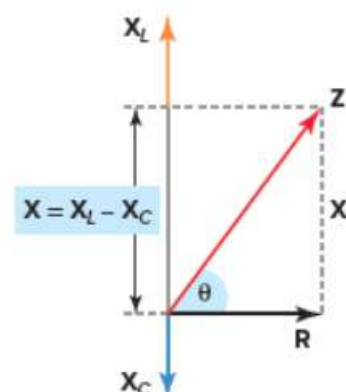
Cievka v obvode striedavého prúdu sa navonok môže správať ako rezistor. Vravíme o indukčnej reaktancii. Indukčná reaktancia a odpor sa sčítavajú ako skaláre vektora od seba posunuté o 90°. Kapacitná reaktancia a indukčná reaktancia sú od seba posunuté o 180°.

Indukčná reaktancia: $X_L = \omega \times L$ [Ω , rad/s, H]

Výpočet impedancie: $Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$

Rezonancia:

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ \omega \times L &= 1 / \omega \times C & / \times \omega \\ \omega^2 \times L &= 1 / C & / : L \\ \omega^2 &= 1 / L \times C \\ \omega &= 1 / \sqrt{LC} \\ 2\pi f &= 1 / \sqrt{LC} & / : 2\pi \\ f &= 1 / 2\pi \times \sqrt{LC} \end{aligned}$$



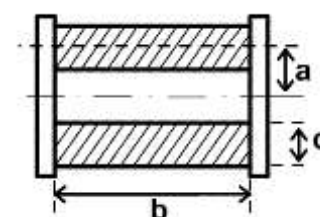
Obr. 94 Impedancia Z

11.1 Návrh a výpočet vzduchovej cievky

$$L = \frac{320 \times a^2 \times n^2}{6a + 9b + 10c} \times 10^{-6}$$

[cm, počet závitov]
[mH]
[cm, cm, cm]

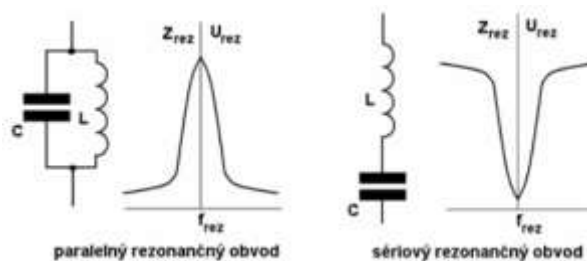
(**a**-polomer cievky, **b**-dĺžka cievky, **c**-hrúbka vinutia, **n**-počet závitov)



Obr. 93 Návrh cievky

11.2 Rezonancia

Cievka s kondenzátorom zapojené do serie, alebo paralelne sa dostanú do rezonancie ak $X_C = X_L$. V sériovom zapojení cievky a kondenzátora má obvod v rezonancii najmenší odpor (najvyššiu vodivosť) a pri paralelnom zapojení má



Obr. 95 Rezonančný

obvod v rezonancii najväčší odpor (najmenšiu vodivosť). Rezonančný obvod sa najčastejšie používa v prijímačoch ako ladiaci obvod, pásmový priepust, alebo pásmová zadrž.

11.3 Tlmivka

Tlmivky, alebo **induktory** sú cievky navinuté na jadre z feromagnetického materiálu, ako napríklad železo, alebo ferit. Majú podstatne väčšiu indukčnosť ako vzduchové cievky. Podľa typu jadra sa cievky (tlmivky) delia:



- cievky s feritovým otvoreným magnetickým obvodom ($f_{\max} < 20$ MHz),
- cievky s feritovým uzatvoreným magnetickým obvodom ($f_{\max} < 2$ MHz),
- cievky so železným alebo zliatinovým uzatvoreným magnetickým obvodom ($f_{\max} < 20$ kHz).

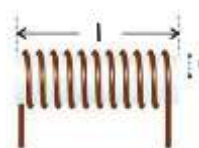
Obr. 96 Tlmivka (DPO-3.0-100)

Tlmivky sa využívajú na odfiltrovanie vyšších frekvencií, na obmedzenie prúdu (v obvode so striedavým prúdom), v impulzných zdrojoch, a tak ďalej.

Ak chceme vypočítať indukčnosť tlmivky, použijeme vzorec:

$$L = \mu N^2 (S/l) \text{ [H, H/m, -, m}^2, \text{m]} = \mu N^2 (\pi r^2 / l); \text{ [H, H/m, -, m, m]}$$

(μ - permeabilita jadra (*prostredia*), N – počet závitov, l – dĺžka, S – prierez, r – polomer)



11.4 Premennivý induktor

Premennivý induktor, alebo **nastaviteľná cievka** je tlmivka (induktor), ktorého indukčnosť L je možné meniť. Zvyčajne sa premennivé induktory používajú v elektrických obvodoch na ladenie rezonančnej frekvencie, filtrovanie signálov alebo na iné účely, kde je potrebná zmena indukčnosti.



Obr. 97 premennivý induktor (KB45)

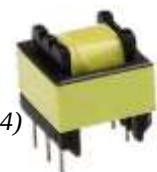
11.5 Transformátor

Transformátor je elektrické zariadenie, ktoré slúži na prenos elektrickej energie z jedného obvodu do druhého pomocou elektromagnetickej indukcie. Transformátor sa skladá z dvoch alebo viacerých cievok (*vinutí*) navinutých na spoločnom jadre z magneticky mäkkého materiálu (*napríklad: železo*). Keď striedavý prúd prechádza **primárnym** vinutím, vytvára v jadre striedavý magnetický tok. Tento tok indukuje striedavé napätie v **sekundárnom** vinutí. Pomer napätia na primárnom a sekundárnom vinutí je určený **pomerom počtu závitov** týchto vinutí. Existujú rôzne typy transformátorov:



Obr. 98 Transformátor

- **Autotransformátor** - je typ transformátora, ktorý má len jedno vinutie, ktoré slúži ako primárne aj sekundárne vinutie. Časť tohto vinutia je spoločná pre oba obvody. *Autotransformátor (SU120C-13)*
- **Regulačný autotransformátor** - býva konštruovaný na toroidnom jadre, sekundárne vinutie má potom jednu stranu odizolovanú a pohybuje sa po ňom bežec, plynulo prepínajúci „odbočky“ vinutia po jednom závine. *Regulovaný autotransformátor (ESS 102)*
- **Oddel'ovací (izolačný) transformátor** - je typ transformátora, ktorý sa používa na zabezpečenie elektrickej izolácie medzi dvoma obvodmi. Často je pomer vinutia 1:1. *Oddel'ovací transformátor (STM100/230/230V)*
- **Signálový transformátor** - Transformátor na prenos analógových alebo digitálnych signálov. Typickým príkladom sú mikrofónne transformátory na impedančné prispôsobenie signálu, alebo galvanické oddelenie. *Signálový transformátor (750342879)*
- **Vysokofrekvenčný transformátor** - je typ transformátora, ktorý je určený pre prácu s vysokými frekvenciami striedavého prúdu, typicky v rozsahu od niekoľkých kHz až po desiatky MHz. *(FTEFD16-004)*
- **Prúdový menič** - alebo transformátor prúdu je prístroj, ktorý sa používa na meranie striedavého prúdu vo vodiči. Je dôležitou súčasťou elektrických meracích a ochranných systémov. *Prúdový menič (TA1309-200)*
- **Výstupné transformátory (presytky, vystupáky)** - využívajú sa nelineárne vlastnosti materiálu jadra v okolí nasýtenia. Magnetické jadro nie je spojené. Využívajú sa v elektrónkových zosilňovačoch v triede A.



Výstupný transformátor (1750Q)

Obr. 99

11.5.1 Prepočet transformátora

Výpočet transformátora závisí od niekoľkých faktorov, ako sú:

- **Vstupné napätie** (primárne napätie) U_1 :

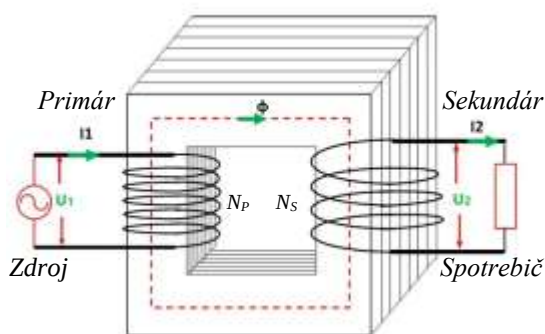
Napätie, ktoré privádzame do primárnej cievky transformátora,

- **Výstupné napätie** (sekundárne napätie) U_2 :

Napätie, ktoré získavame zo sekundárnej cievky transformátora,

- **Výkon transformátora**: Maximálny výkon, ktorý môže transformátor preniesť,

- **Frekvencia striedavého prúdu**: Frekvencia, s ktorou pracuje transformátor (bežne 50Hz).



Obr. 100. Transformátor

Základné vzorce pre výpočet transformátora:

- **Prevodový pomer** (transformačný pomer - n): Udáva pomer medzi počtom závitov primárnej cievky N_P a počtom závitov sekundárnej cievky N_S :

Vzťah medzi napätím, prúdom a počtom závitov:

$$n = N_S / N_P = U_2 / U_1 = I_1 / I_2;$$

Výkon transformátora:

$$P = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2;$$

- **Účinnosť transformátora** $[\eta]$ vyjadruje pomer výstupného výkonu P_S (sekundárna strana) k vstupnému výkonu P_P (primárna strana). Účinnosť vyjadruje vzťah $\eta = P_S / P_P$. Účinnosť malého transformátora je okolo $\eta = 0,7$.
- **Prierez jadra** $[S_J]$ transformátora sa vypočíta z príkonu P_P (výkon na primárnej strane) zo vzťahu $S_J = \sqrt{P_P} \text{ [cm}^2, \text{W]}$;
- **Počet závitov** $[N]$ vinutia sa vypočíta zo vzťahu pozostávajúceho z napätia na vinutí a prierezu jadra transformátora: $N = U \cdot 45 / S_J \text{ [- , V, cm}^2]$;
- **Prierez vodiča** $[S_v]$ v jednotlivých vinutiach je daný maximálnym prúdovým zaťažením vodiča (prúdovou hustotou $[J]$), ktorý sa vypočíta zo vzťahu $S_v = I / J \text{ [mm}^2, \text{A, A/mm}^2]$. Hustota prúdu medeného drôtu vo vinutí je v rozmedzí 2 až 3 A/mm^2 . Treba podotknúť, že ide o prierez (obsah) vodiča a nie priemer. Pre výpočet priemeru: $D_v = 2 \cdot \sqrt{(I / 2\pi J)}$;

Pri výpočte závitov je nutné dodať, že kvôli odporovým stratám na drôte je zvykom sekundárne vinutia navýšiť o 5%.

11.6 Konštrukcie a jadra

Tlmivky a transformátory môžu mať rôzne tvary jadra. Podľa tvaru ich rozlišujeme:

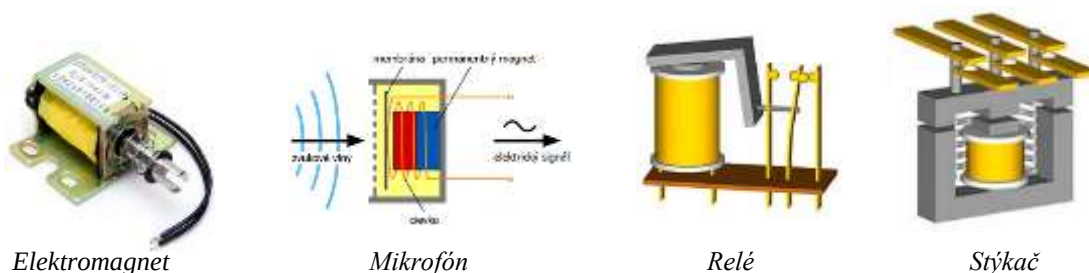
- **Jadro (plechy) typu EI** - Jadro je zložené z plechov tvaru E a I. Tie sú prekladané a tvoria tak konštrukciu pre bežný sieťový transformátor. Pri výstupných transformátoroch sú všetky plechy E na jednej strane a plechy I na druhej strane. Medzi plechmi E a I je vložený papier. 
- **Feritové jadro typu EE** - jadra sa lisujú zo zmesi železného prachu a izolačnej hmoty. Ferity sa správajú rovnako ako ostatné feromagnetické materiály, ale majú veľmi nízku elektrickú vodivosť, vďaka ktorej v nich ani pri vysokých frekvenciách nevznikajú straty vírivými prúdmi. 
- **Jadra typu C a UI** – Môže byť tvorené rôznymi tvarmi, napríklad **UU**, **UI** pre zatvorený magnetický okruh a tvar **C** pre otvorený magnetický okruh. 
- **Toroidné jadro** – Je jadro okrúhleho tvaru (*prstenec*), na ktorom je navinuté vinutie. Pre sieťové transformátory sa vyrábajú zo stočeného plechu. Pre vysokofrekvenčné aplikácie a tlmivky sa vyrábajú z feritu. 
- **Tyčové jadro** – sa najčastejšie používa pri solenoidoch, alebo pri feritových anténach. Ide o ferit v tvare okrúhlej tyče alebo hranola. 

Obr. 101

11.7 Elektromagnet

Jednoduchý elektromagnet sa skladá z cievky, ktorá je navinutá okolo jadra z mäkkého železa. Keď cez cievku prechádza elektrický prúd, vytvára magnetické pole. Železné jadro toto pole zosilňuje, čím vzniká silný magnet. Keď sa prúd preruší, magnetické pole zanikne.

Elektromagnety sa používajú v mnohých zariadeniach ako elektromotory, generátory, relé, akustické meniče, elektro ventily, zvončeky a tak ďalej.



Elektromagnet

Mikrofón

Relé

Stýkač

Obr. 102 Využitie elektromagnetu v praxi

Príklad 1

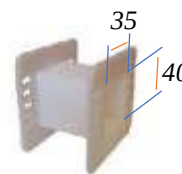
Navrhni sieťový transformátor pre elektrónkový zosilňovač s parametrami $U_P = 230V$, $U_{S1}=200V$, $I_{S1}=0.5A$, $U_{S2}=6.3V$, $I_{S2}=3A$.

Najprv vypočítame výstupný výkon: $P_S = P_{S1} + P_{S2} = U_{S1} \cdot I_{S1} + U_{S2} \cdot I_{S2} = 200V \cdot 0.5A + 6.3V \cdot 3A = 100W + 18.9W = 118.9W \sim 120W$; Výkon z transformátora je $P_S = 120W$;

Príkon transformátora vypočítame pomocou účinníka, ktorý je $\eta = 0,7$: $P_P = P_S / \eta = 120W / 0.7 = 171.43W \sim 172W$; Príkon transformátora je $P_P = 172W$;

Prierez jadra vypočítame zo vzťahu: $S_J = \sqrt{P_P} = \sqrt{172W} = 13.11cm^2 \sim 14cm^2$;

Náš transformátor bude mať jadro o veľkosti $S_J = 14cm^2$, čo môžeme rozložiť na rozmery $40 \times 35mm$ ($4 \times 3.5cm$) – vnútorné rozmery kostičky.



Počet závitov jednotlivých vinutí vypočítame zo vzťahu $N = U \cdot 45/S_J$:

- Primár: $N_P = U_P \cdot 45/S_J = 230V \cdot 45/14cm^2 = 739,28 \sim 740$ závitov;
- Sekundár 1: $N_{S1} = U_{S1} \cdot 45/S_J = 200V \cdot 45/14cm^2 = 642,85 \sim 643 \cdot 1.05 (+5\%) = 675z$;
- Sekundár 2: $N_{S2} = U_{S2} \cdot 45/S_J = 6.3V \cdot 45/14cm^2 = 20,25 \sim 21 \cdot 1.05 (+5\%) = 22z$;

Prierez vodiča vinutia vypočítame zo vzťahu $S_v = I / J$, pri hustote prúdu $J = 3A/mm^2$.

- Primár: $S_P = I_P / J = (P_P/U_P) / J = (172W/230V) / 3A/mm^2 = 0,25mm^2$;
- Sekundár 1: $S_{S1} = I_{S1} / J = 0.5A / 3A/mm^2 = 0,17mm^2$;
- Sekundár 2: $S_{S2} = I_{S2} / J = 3A / 3A/mm^2 = 1mm^2$;

Príklad 2

Aký reaktančný odpor bude mať 1mH induktor pri frekvenciách 250Hz, 1KHz, a 4kHz.

Údaje zo zadania vložíme do vzorca $X_L = \omega \cdot L$:

- **f=250Hz:** $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot 3.14 \cdot 250Hz \cdot 0.001H = 1.57\Omega$;
- **f=1kHz:** $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot 3.14 \cdot 1000Hz \cdot 0.001H = 6.28\Omega$;
- **f=4kHz:** $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot 3.14 \cdot 4000Hz \cdot 0.001H = 25.12\Omega$;

PRÍKLADY NA PRECVIČENIE

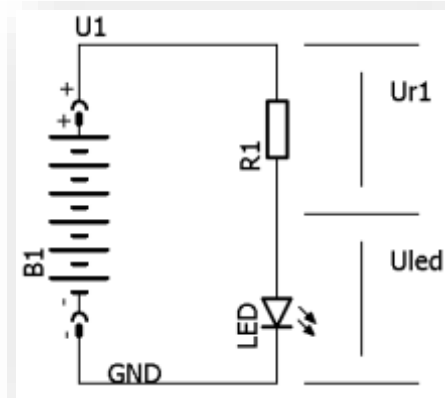
Príklad 1

Obvod je napájaný batériou s napätím $U_1=12\text{V}$.

Úbytkové napätie na zelenej LED je $U_{\text{LED}} = 2\text{V}$ a prúd prechádzajúci LED $I_{\text{LED}} = 10\text{mA}$.

- Vypočítaj odpor rezistora **R1**.
- Vypočítaj odpor rezistora **R1** pre červenú LED.
- Vypočítaj odpor rezistora **R1** pre modrú LED.

(Napätia iných farieb LED nájdeš v skriptách na strane 12.)

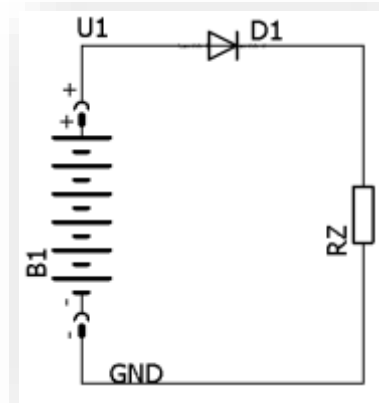


Obr. 1.

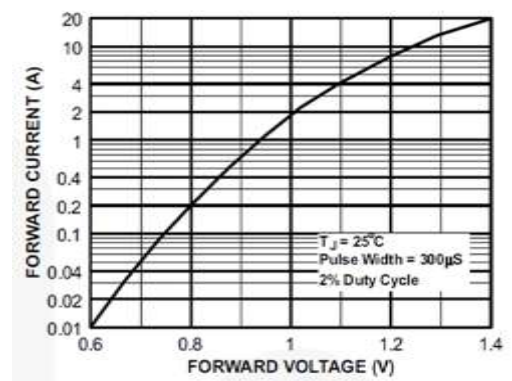
Príklad 2

Spotrebič R_Z odoberá prúd $I_{R_Z} = 0.8\text{A}$.

- Vyčítaj z grafu úbytok napätia U_F na dióde **D1**.
- Vypočítaj stratový výkon na dióde **D1**.



Obr. 2.

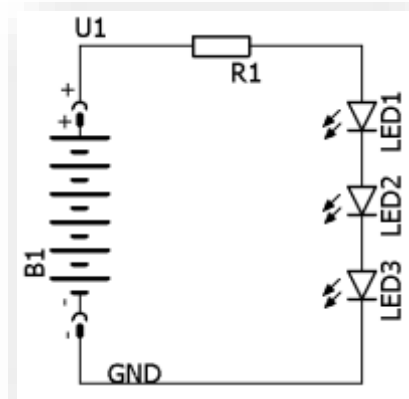


Príklad 3

Obvod je napájaný batériou s napätím $U_1=12V$.

Úbytkové napätie na každej LED je $U_{LED} = 2V$ a prúd prechádzajúci LED je $I_{LED}=10mA$.

- Vypočítaj odpor rezistora **R1**.
- Vypočítaj stratový výkon na rezistore **R1**.
- Vypočítaj stratový výkon na jednej LED dióde.



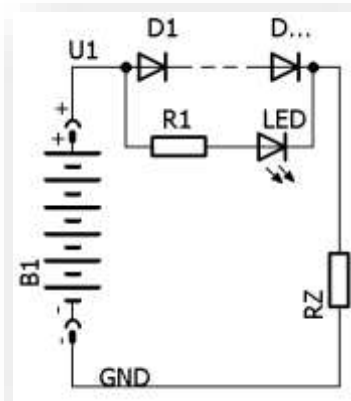
Obr. 3.

Príklad 4

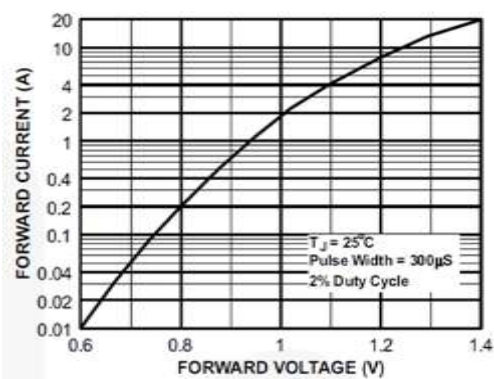
Vypočítaj, koľko diód treba zapojiť do série a veľkosť odporu rezistora R_1 , aby pri prúde $I_{Rz}=2A$ spotrebiča Rz sa rozsvietila LED dióda.

Je dané:

Úbytkové napätie na LED je $U_{LED} = 1,8V$ a prúd prechádzajúci LED je $I_{LED}=10mA$.



Obr. 4.



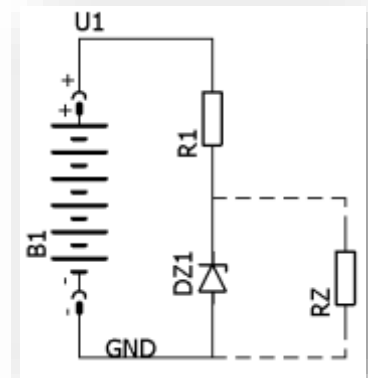
Príklad 5

Obvod je napájaný batériou s napätím $U_1=12V$.

Zenerova dióda **DZ1** má stabilizačné napätie $U_Z = 5V$.

Maximálny stratový výkon zenerovej diódy je $P_{DZ1}=1W$.

- Vypočítaj maximálny prúd, ktorý môže zeneovou diódou tiecť.
- Vypočítaj odpor rezistora **R1**.

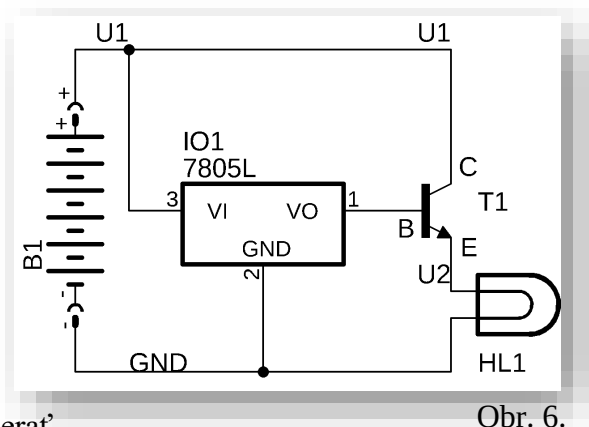


Obr. 5.

Príklad 6:

Máme stabilizátor napätia IO1 typu 7805L, ktorý stabilizuje napätie $U_{OUT}=5V$. Maximálny výstupný prúd stabilizátora je $I_{OUT} = 100mA$. Pre zosilnenie prúdu použijeme tranzistor typu 2SC5200, ktorý má zosilnenie $h_{FE}=100$. Tranzistor je v zapojení so spoločným kolektorom (kolektor je napojený na zdroj a emitor tvorí výstup, ktorý napája lampu).

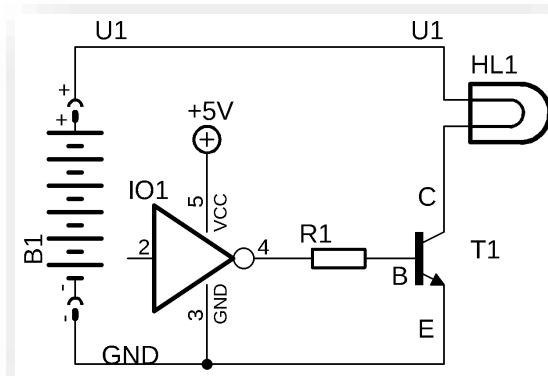
Vypočítaj aký maximálny prúd I_{HL1} môže odoberať lampa (žiarovka).



Obr. 6.

Príklad 7:

Lampa má parametre **24V/100mA**, výstup hradla integrovaného obvodu IO1 o veľkosti $U_{IO1out}=5V$ a maximálnym zaťažením $I_{IO1max}=20mA$. Tranzistor je použitý BC546C s $U_{BE} = 0,7V$, $I_{Bmax} = 200mA$ a $h_{FE} = 500$. Schéma zapojenia je na obr. 7. Vypočítajte odpor rezistora **R1**.



Obr. 7.

Príklad 8:

Na obr. 8 je schéma zapojenia zosilňovača v triede A – *výstupné napätie je polovica z napájania*.

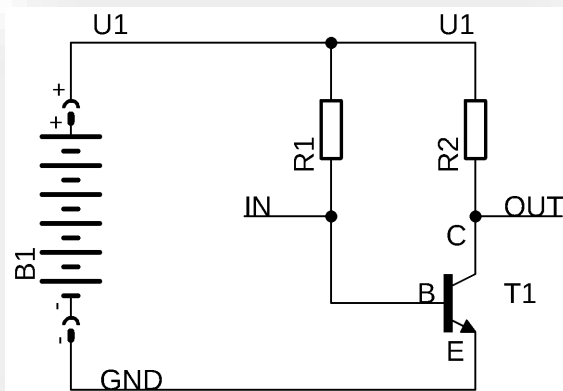
Vypočítajte hodnoty rezistorov **R1** a **R2**, keď je dané:

Napájacie napätie $U_1 = 20V$. Použitý tranzistor

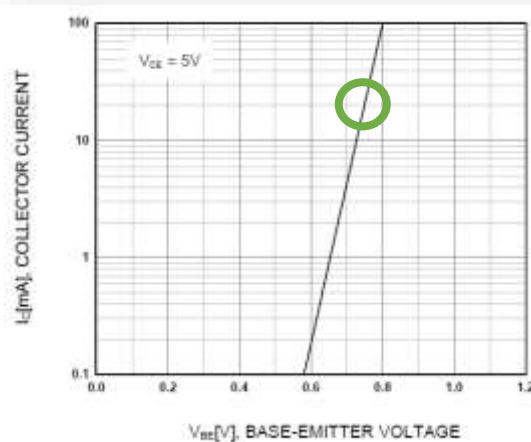
BC546C má zosilnenie $h_{FE} = 500$. Napätie U_{BE}

vyčítajte z prevodovej charakteristiky Tab. 8.

Zvolili sme prúd kolektora $I_C = 20mA$.



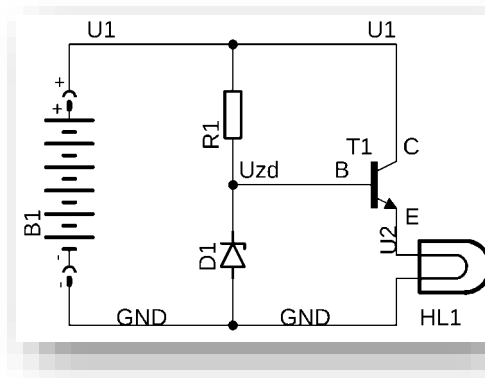
Obr. 8.



Tab. 8.

Príklad 9 – stabilizátor so zenerovou diódou:

Vypočítajte súčiastky v obvode stabilizátora, keď je dané:
Napájacie napätie batérie U_1 je v rozmedzí **18V až 24V**.
Lampa (žiarovka) s napätím $U_{HL1}=12V$ odoberá prúd $I_{HL1}=120mA$. Používame tranzistor typu „2SC5200 O“ so zosilnením $h_{FE} = 120$ a $U_{BE} = 0.7V$ (pri $I_C=120mA$).



Obr. 9.

- Vypočítaj stabilizačné napätie U_{ZD} zenerovej diódy,
- Vypočítaj odpor rezistora R_1 .
- Vypočítaj stratový výkon P_{D1} zenerovej diódy D_1 .
- Vypočítaj maximálny stratový výkon rezistora R_1 .
- Vypočítaj maximálny stratový výkon na tranzistore T_1 .

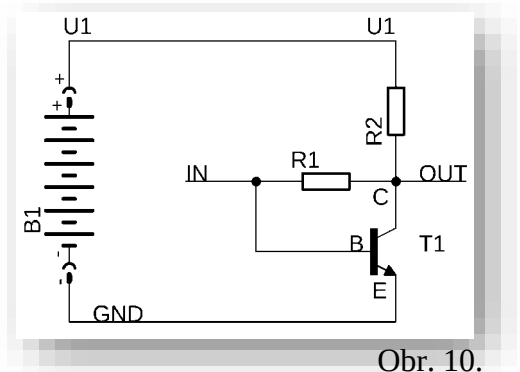
Príklad 10 – zosilňovač v triede A so spätnou väzbou:

Vypočítajte hodnoty rezistorov v obvode na obr. 10.

Jedná sa zosilňovač v triede A, z čoho vyplýva že tranzistor je na *pol otvorený*.

Dané je: napájacie napätie $U_1 = 10V$, $I_C = 50mA$.

použitý je tranzistor BC546A, ktorého zosilnenie je $h_{FE} = 150$.

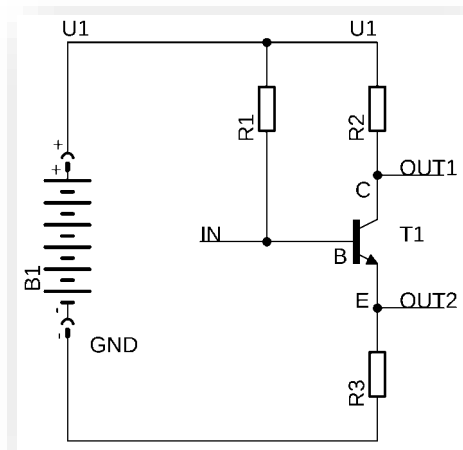


Obr. 10.

Príklad 11 – zosilňovač v triede A s kladným a záporným výstupom:

Vypočítajte rezistory v obvode na obr. 11. Jedná sa zosilňovač v triede A, kde tranzistor bude otvorený tak, aby nám vznikli tri rovnako veľké napätia U_{CE} , U_{R2} a U_{R3} .

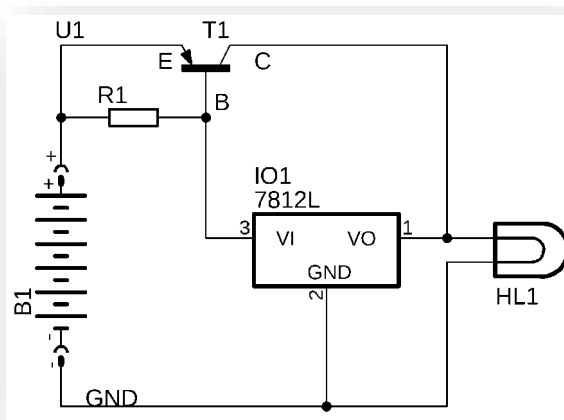
Dané je: napájacie napätie $U_1 = 15V$, $I_C = 50mA$.
použili sme tranzistor BC546B, ktorého zosilnenie je $h_{FE} = 300$ a $U_{BE} = 0,7V$.



Obr. 11.

Príklad 12 – rezistor medzi bázou a emitorom:

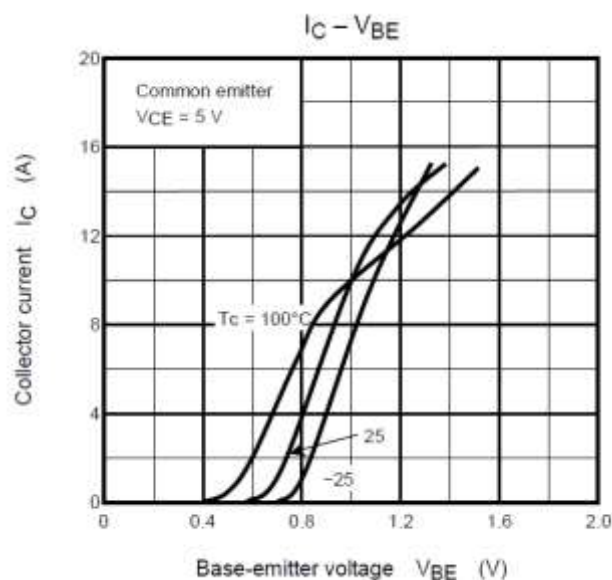
V prvom rade si treba všimnúť, že v schéme máme tranzistor typu PNP. Keďže emitor je pripojený na zdroj a kolektor tvory výstup, ide o zapojenie so spoločným emitorom. Tým, že je emitor priamo pripojený na kladný pól, je teda najkladnejší zo všetkých elektród. Tým aj od bázy. Vieme, že tranzistor PNP sa používa vtedy, keď tranzistor ovládame práve záporným napätím bázy (báza je zápornejšia od emitora).



Obr. 12.

Princíp tohto zapojenia tkvie v rezistore R1, ktorý vlastne prevádza prúd na napätie. Nim sa otvára tranzistor a ten následne vypomáha svojim prúdom stabilizátoru. Okrem zdrojov sa tento princíp používa aj pri audio zosilňovačoch.

V obvode použijeme tranzistor typu 2SC5200, ktorého prevodová charakteristika $U_{BE} - I_C$ je na **Tab. 12**. Stabilizátor IO1 znesie maximálny prúd $I_{IO1out}=1A$. Vypočítajte odpor rezistora R_1 tak, aby obvod bol schopný dodať do lampy HL1 (žiarovky) $I_{HL1}=11A$.



Tab. 12.

ZNAČENIE ELEKTRICKÝCH PRVKOV

Jednotné európske značenie elektrónok

Prvé písmeno rozlišuje typ žeraviaceho napätia:

A	Striedavé napätie 4V
G	Striedavé napätie 5V
E	paralelne napájanie 6,3V
P	sériové napájanie s prúdom 0,3A
K	batériové napájanie 2V

Ďalšie písmená označujú typ a oblasť použitia:

A	Jednoduchá (demodulačná) dióda
B	Dvojitá dióda (duodióda)
C	Trióda (nevýkonová)
D	Trióda koncová (výkonová)
E	Tetroda
F	Pentoda zosilňovacia (vf a nf)
H	Hexoda, heptoda
K	Oktoda (pentagrid)
L	Pentoda, koncová (výkonová)
M	Elektrónový indikátor vyladenia (magické oko)
N	Tyratron
Q	Enioda
W	Jednoduchá usmerňovacia dióda plnená plynom
X	Dvojitá usmerňovacia dióda plnená plynom
Y	Jednoduchá vákuová usmerňovacia dióda
Z	Dvojitá vákuová usmerňovacia dióda

Napríklad: **AZ11** - dvojitá usmerňovacia dióda napájaná 4V
 ECC82 - dva triódy napájané 6.3V
 PCL82 - trióda a výkonová pentóda napájaná 300mA

Jednotné európske značenie polovodičových súčiastok Pro-Electron

Prvé písmeno rozlišuje materiál:

A G	Ge – germánium (<i>G – označenie TESLA</i>)
B K S	Si – kremík (<i>K – označenie TESLA, S – označenie RFT</i>)
C V	GaAs – arzenid galia (<i>V – východonemecké značenie</i>)
D	InSb – antimonid india
R M	Zmiešaný, alebo iný materiál (<i>M – východonemecké značenie</i>)

Druhé písmeno označuje typ a oblasť použitia:

A	Dióda (všeobecná)
B	Kapacitná dióda – varikap, alebo väzobný člen
C	Nízkočfrekvenčný tranzistor
D	Nízkočfrekvenčný výkonový tranzistor
E	Tunelová dióda
F	Vysokočfrekvenčný tranzistor
G	Združené zariadenie (usmerňovací mostík)
H	Magnetodióda (dióda citlivá na magnetické pole)
K	Hallov generátor
L	Vysokočfrekvenčný výkonový tranzistor
M	Hallov generátor v uzavretom magnetickom poli
N	Optočlen
P	Prvok citlivý na svetlo
Q	Svetlo emitujúca dióda (LED)
R	Riadený usmerňovač (tyristor, diak, UJT)
S	Spínací tranzistor
T	Riadený výkonový usmerňovač (tyristor, triak), alebo viacvrstvová súčiastka
U	Výkonový spínací tranzistor
W	Zariadenie s povrchovou akustickou vlnou
X	Diódový násobič
Y	Usmerňovacia dióda
Z	Zenerova dióda

Například: **KA206** - kremíková všeobecná dióda (výrobca TESLA)
 BU508 - kremíkový výkonový spínací tranzistor
 GC510 - germaniový nízkočfrekvenčný tranzistor

Značenie elektrických prvkov

A funkčné bloky

- AA zosilňovače, opakovače
- AB vstupné a výstupné jednotky počítačov a strojov na spracovanie informácií
- AD rádiostanice
- AE vysielacie
- AF telegrafické prístroje
- AG záznamové a reprodukčné zariadenia
- AL lasery, masery
- AP dosky s plošnými spojmi
- AR stojany
- AS prijímače
- AT zásuvkové jednotky

B revodníky neelektrických veličín na el. a opačne

- BA elektroakustické meniče
- BC snímače polohy
- BD detektory žiarenia
- BG dynamometre
- BL fotoelektrické meniče
- BP snímače tlaku
- BQ snímače polohy; vzdialenosti, výšky hladiny, množstva, stavu
- BR snímače otáčania rotácie
- BT snímače teploty
- BV snímače rýchlosti
- BX piezoelektrické, magnetostrikčné meniče

C kondenzátory

D digitálne členy a zariadenia (číslícové)

- DD integrované logické členy
- DM mikroprocesory
- DS pamäte
- DT oneskorovacie vedenia

E rôzne

- EH výhrevné telesá
- EL svietidlá
- EV chladiace zariadenia

F istiacie a ochranné zariadenia

- FA prúdové ochrany
- FF zabezpečovacie zariadenia
- FK súpravy ochrán
- FU tavné poistky
- FV ochrany proti prepätiu

G zdroje energie a signálu

- GB články a batérie
- GF nevýkonné zdroje
- GG rotačné výkonové zdroje
- GS nerotačné výkonové zdroje
- GU nerotačné jednosmerné výkonové zdroje

H signálne zariadenia

- HA zvukové signálne zariadenia
- HL optické signálne zariadenia

K elektricky ovládané spínače

- K relé všeobecne
- KA pomocné relé
- KD bezkontaktné relé
- KH návestné a oznamovacie relé
- KM stýkače
- KT časové relé

L indukčnosti, reaktory, tlmivky, cievky

M motory, servomotory

N analógové členy a zariadenia (lineárne)

- NA operačné zosilňovače
- NF ovládacie a riadiace jednotky
- NP analógové počítače
- NR analógové regulátory

P meracie prístroje

- PA merače prúdu
- PC počítače impulzov
- PF merače frekvencie
- PH merače iných veličín, kombinované merače
- PJ elektromery činnnej energie
- PK elektromery jalovej energie
- PL merače úrovné
- PN merače neelektrických veličín
- PP merače na určenie uhlov
- PR merače odporu
- PT merače času
- PV merače napätia
- PW merače výkonu
- PZ merače impedancie

Q spínače v energetických silových obvodoch

- Q odpájače
- QE uzemňovače
- QF samočinné vypínače, motorové ističe
- QM vypínače
- QQ koncové vypínače v hlavných obvodoch
- QS odpínače
- QZ skratovače

- R** rezistory
- RN rezistory závislé od fyz. veličín
 - RP regulačné rezistory, potenciometre
- S** spínače v zoznam. a pom. obvodoch
- SA spínače a prepínače
 - SB tlačidlá so samočinným návratom, číselnice
 - SD bezkontaktné tlačidlá
 - SL sledovače hladiny
 - SP sledovače tlaku
 - SQ sledovače polohy
 - SR sledovače rotácie
 - ST sledovače teploty
 - SV otočné voliče, krížové spínače
- T** transformátory
- TA prístrojové transformátory prúdu
 - TC transformátory pre pomocné obvody
 - TM výkonové transformátory
 - TV prístrojové transformátory napätia
- U** prevodníky el. veličín na iné el. veličiny
- UA prevodníky prúdu
 - UF optoelektrické prevodníky
 - UM modulátory, demodulátory, diskriminátory, modemy
 - UV prevodníky napätia
 - UW prevodníky výkonu
 - UZ prevodníky frekvencie
- V** elektrovákuové a polovodičové súčiastky
- VD polovodičové diódy, selénové a kuproxové usmerňovače
 - VH elektrovákuové súčiastky
 - VL prijímacie, vysielacie, usmerňovacie elektrónky, snímacie obrazovky
 - VS tyristory
 - VT tranzistory
 - VZ stabilizačné diódy
- W** vedenia, antény, prípojnice
- W prípojnice a holé vedenia
 - WA antény a napájacie vedenia antén
 - WH energetické vedenia s napätím nad 1 kV
 - WL energetické vedenia s napätím do 1 kV
 - WS vedenia na ovládanie, meranie, signalizáciu
 - WT oznamovacie vedenia, svetlovody
 - WV vlnovody a ich spájacie prvky
 - WZ vedenia na špeciálne účely
- X** spájacie prvky a diely
- X radové svorkovnice
 - XC rozpojiteľné spájacie prvky, konektory
- XI skúšobné, meracie svorky, prípojnú plošky
 - XP kolíky, vidlice
 - XS zásuvky, zdierky
 - XT spájacie prvky rozoberateľné nástrojom
- Y** el. ovládané mechanické zariadenie
- YA elektromagnety
 - YB brzdy
 - YC spojky
 - YH upínacie dosky
 - YV elektromagnetické ventily
- Z** zakončovacie články; filtre, obmedzovače
- ZA aktívne filtre
 - ZB odrušovacie členy
 - ZF pasívne filtre
 - ZT útlmové články, zakončovacie členy, korektory, obmedzovače
 - ZV výhybky a vidlice

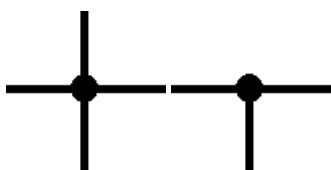
SCHEMATICKE ZNAČKY

Okrúhle zátvorky - (Označenie súčiastky)

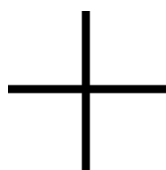
Hranaté zátvorky - [Základné parametre]



Vodič



Vodiče vodivo spojené



Vodiče nespojené



Ukončenie vodiča



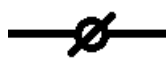
Banánik



Zdierka



Svorka



Vodiče spojené
svorkou (X)



Zem



Uzemnenie



Zbernica



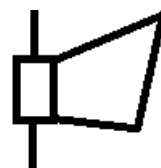
Anténa



Poistka (FU)
[Prúd - A]



Žiarovka (HL)
[V, W]



Húkačka (HA)
[V, dB]



Zvonček (HA)
[V]



Ampérmeter (PA)
[Prúd - A]



Voltmeter (PV)
[Napätie - V]



Wattmeter (PW)
[Výkon - W]



Galvanometer
[μV / μA]



Prúdový zdroj
[A]

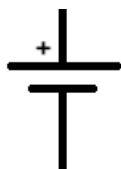


Zdroj jednosmerného napätia
[V - DC]

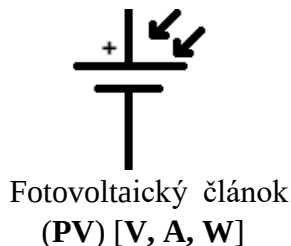


Zdroj striedavého napätia
[V - AC]





Suchý monočlánok Batéria článkov
(B) [V, A, Ah]



Fotovoltaiický článok
(PV) [V, A, W]



Regulovateľný zdroj
[V]

Rezistory



0.5W

Rezistor



0.125W

Rezistor



0.25W

Rezistor



1W

Rezistor



2W

Rezistor



5W

Rezistor

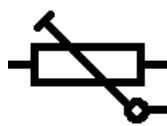
(Označujeme písmenkom **R**) [Odpor Ω , Stratový výkon **W**]



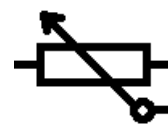
Bočník (B)
[m Ω , W]



Reostat (R)
{premenlivý odpor}



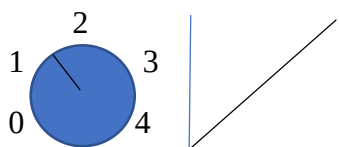
Odporový trimer (P)



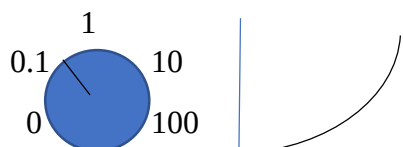
Potenciometer (RP, P)
[Ω , Charakteristika]

Charakteristika potenciometra:

Lineárna: N, B



Logaritmická: G, A (Audio)



Fotorezistor
(R, RF)
R sa mení
od svetla
 $R \downarrow \approx \uparrow \text{Lux}$



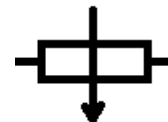
Magnetorezistor
(R, RM)
R sa mení
od mag. poľa
 $R \uparrow \approx \uparrow B$



Varistor
(RV, MOV, FV)
R sa mení
od napätia
 $R \downarrow \approx \uparrow U$



Termistor
(R, RT)
R sa mení
od teploty
PTC: $R \uparrow \approx \uparrow t^\circ$
NTC: $R \downarrow \approx \uparrow t^\circ$



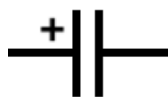
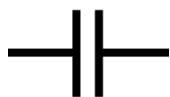
Tenzometer
(R, T)
R sa mení
od ohybu – tlaku
 $R \approx F$



Vykurovacie teleso, alebo Peltierov článok (EH, EV, E, R)

Memristor

Kondenzátory



Kondenzátor
keramický

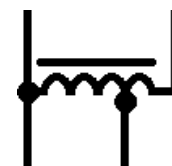
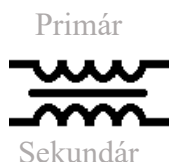
Kondenzátor
elektrolitický

Kapacitný trimer

Ladiaci kondenzátor

(Označujeme písmenkom C) [Kapacita F, Napätie V]

Cievky



Cievka (L)
[Indukčnosť H]

Transformátor
(T, TR)

Tlmivka, alebo induktor (L)
železné jadro *feritové jadro*

Premenlivý
induktor

Autotransformátor
(odbočka z vinutia)

Piezoelektrické súčiastky



Piezoelektrický kryštál (Q, X)
[Frekvencia Hz]

Piezoelektrický filter (Q, X)
[Frekvencia Hz]

Piezoelektrický menič

Akustické prvky

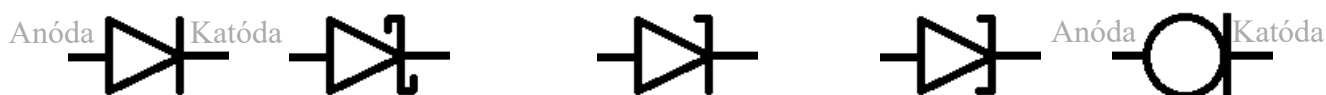


Mikrofón
{dynamický} (BA, MIC) {elektrotový}

Reproduktor
(BA, SPK) [Ω, W]

Slúchadlo

Diódy

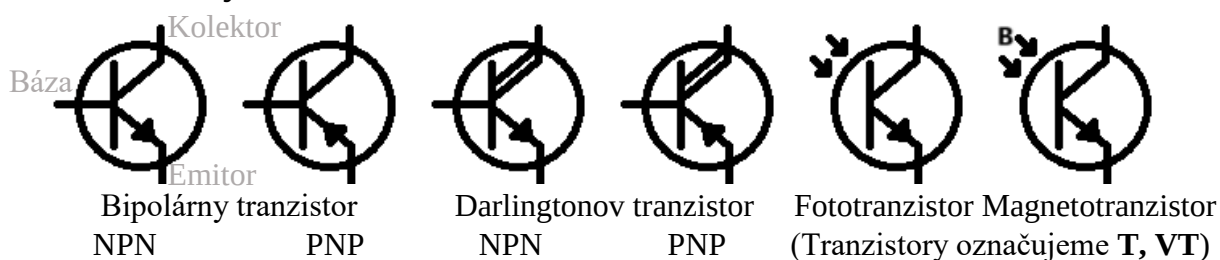


Dióda (**D**) Schottky dióda (**D**) Zenerova dióda (**DZ**) Tunelová dióda (**D**) CLD (**D**)
 [Prúd I_F A] [Zenerove napätie V, W] [mA]

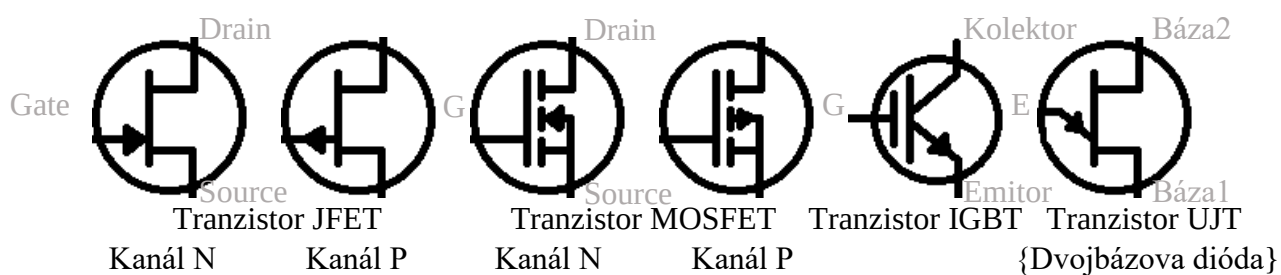


Jednosmerný Obojstranný (**D, F**) Varikap (**D**) LED dióda Fotodióda Magnetodióda
 transil transil
 [V, W] [V, W] [V, pF] (LED, D)

Tranzistory



Bipolárny tranzistor Bipolárny tranzistor Darlingtonov tranzistor Darlingtonov tranzistor Fototranzistor Magnetotranzistor
 NPN PNP NPN PNP (Tranzistory označujeme T, VT)



Tranzistor JFET Tranzistor MOSFET Tranzistor IGBT Tranzistor UJT
 Kanál N Kanál P Kanál N Kanál P {Dvojbazova dióda}

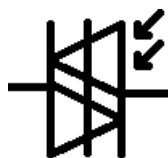
Viacvrstvé polovodičové súčiastky



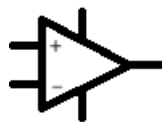
Tyristor (**TY, VS**) Triak (**TY, VS**) Diak (**D**)
 [A, V] [A, V] [V]



Fototryistor



Fototriak



Operačný zosilňovač (U, IO, IC)

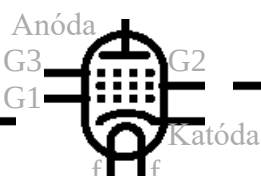
Elektrónky - elektrovákuové súčiastky



Dióda
{vákuová dióda}



Trióda
{vákuový tranzistor}



Pentóda



Tyratrón
{Tyristor}

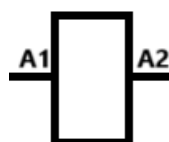


Magické oko
{Indikátor}

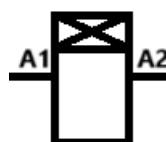


Magnetrón

Cievky relé



Cievka stykača (KM) Cievka relé (K, KA, KP)
[napájacie napätie V]



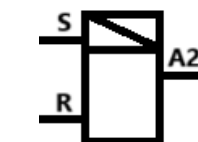
Oneskorený príťah
Delay ON (KT)
Časové relé



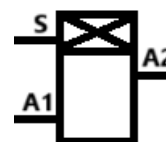
Oneskorený odpad
Delay OFF (KT)
Časové relé



Pulzné relé (K)

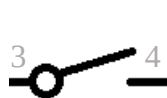


Bistabilné relé (K)



Časové relé so signálom (KT)

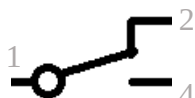
Spínacie prvky



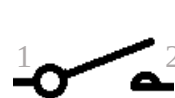
Spínací kontakt



Rozpínací kontakt



Prepínací kontakt



Silový kontakt



Oneskorený príťah
Delay ON



Oneskorený odpad
Delay OFF



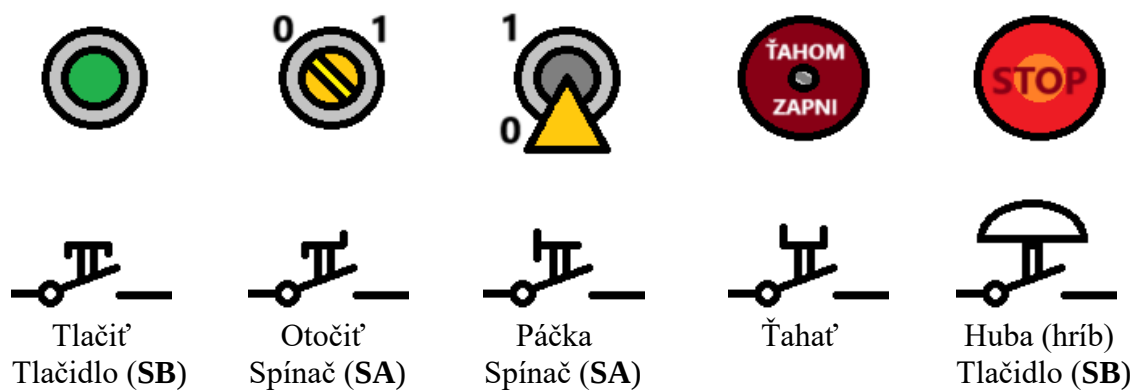
Koncový spínač
(SQ)



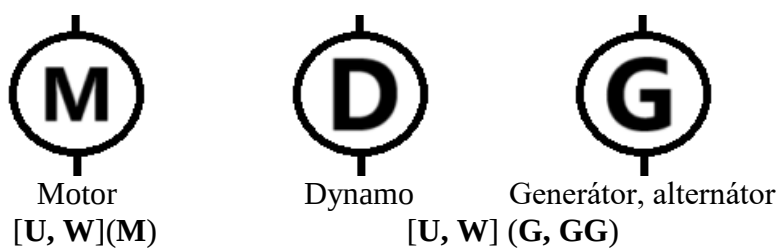
Ovládanie vačkou
(SQ)



Tepelné spínač
Termostat (ST)



Stroje



Špeciálne kontakty

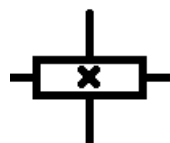


Jazýčkový kontakt

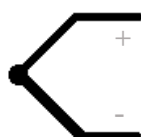
Snímače



Indukčný snímač



Hallov článok



Termočlánok

Výbojky

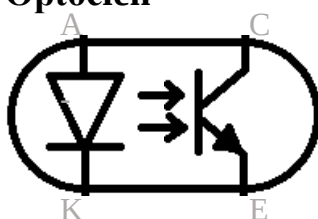


Tlejivka
(Dutnavka)

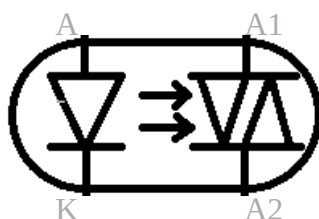


Výbojka
(so zapáľovaním)

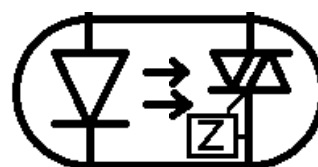
Optočlen



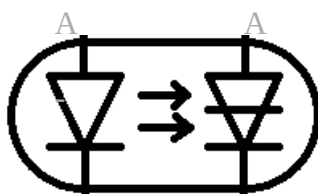
Optočlen



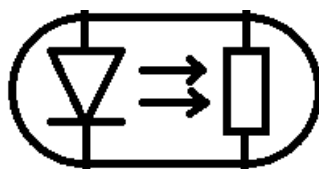
Opto-Triak



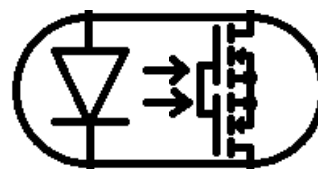
Opto-Triak
(spínaný v nule)



Opto-Tryistor



Opto-Rezistor



Polovodičové relé SSR

Obsah

1. FYZIKÁLNE VELIČINY A JEDNOTKY	2
1.1 Medzinárodná sústava jednotiek SI	2
1.2 Lineárne súčiastky	4
1.3 Nelineárne súčiastky	4
2. POLOVODIČE	5
2.1 Nevlastná vodivosť	5
2.1.1 PN prechod bez zdroja napätia	5
2.1.2 Záverný smer	6
2.1.3 Priepustný smer	6
2.2 Vlastná vodivosť	6
3. DIÓDA	7
3.1 Usmerňovacia dióda	7
3.2 Schottkyho dióda	9
3.3 Tunelová dióda	9
3.4 Dióda CLD	9
3.5 Zenerova dióda	10
3.6 Varikap – kapacitná dióda	10
3.7 Transil	11
3.8 Fotodióda	11
3.9 Dióda LED a LD	12
3.10 Magnetodióda	13
4. TRANZISTOR	14
4.1 Bipolárny tranzistor	14
4.1.1 Volt-Ampérové charakteristiky bipolárneho tranzistora	15
4.1.2 Prúdové zosilnenie bipolárneho tranzistora	16
4.1.3 Oblasti bipolárneho tranzistora	17
4.1.1 Darlingtonov tranzistor	19
4.2 Unipolárny tranzistor	21
4.2.1 JFET	22
4.2.2 MOSFET	23
4.2.3 CMOS	25
4.2.4 IGBT	25
4.2.5 Jednobrechodový tranzistor	25
5. VIACVRSTVOVÉ POLOVODIČOVÉ SÚČIASTKY	26
5.1 Tyristor	26
5.2 Triak	27
5.3 Diak	28
6. OPTOELEKTRONICKÉ SÚČIASTKY	29
6.1 Fototranzistor	29
6.2 Fototyristor a fototriak	29
6.3 Fotorezistor	29
6.4 LED displej	30

6.5	LCD displej	30
6.6	Optočlen	31
7.	TEPLOTNE ZÁVISLÉ SÚČIASTKY	32
7.1	Termistor	32
7.2	Tepelne závislá dióda	33
7.3	Termočlánok.....	33
7.4	Peltierov článok.....	34
7.5	Tepelný spínač.....	34
8.	VÁKUOVÉ ELEKTRÓNKY	35
9.	REZISTOR	39
9.1	Pevný rezistor	39
9.2	Premenlivý rezistor.....	40
9.3	Bočník	41
9.4	Varistor.....	41
9.5	Tenzometer.....	42
9.6	Vyhrievacie teleso	42
9.7	Magnetorezistor.....	42
9.8	Memristor a Memistor.....	42
9.9	Využitie rezistora	43
10.	KONDENZÁTOR	45
10.1	Keramický kondenzátor	45
10.2	Fóliový kondenzátor.....	46
10.3	Elektrolytické kondenzátory.....	46
10.4	Premenlivý kondenzátor	47
10.5	Bezpečnostné označenie kondenzátorov	47
10.6	Vnútny odpor kondenzátora.....	48
10.7	Použitie kondenzátorov	48
11.	CIEVKA	50
11.1	Návrh a výpočet vzduchovej cievky.....	50
11.2	Rezonancia	51
11.3	Tlmivka	51
11.4	Premenlivý induktor.....	51
11.5	Transformátor.....	52
11.5.1	Prepočet transformátora.....	53
11.6	Konštrukcie a jadra.....	54
11.7	Elektromagnet	54
	PRÍKLADY NA PRECVIČENIE.....	56
	ZNAČENIE ELEKTRICKÝCH PRVKOV	I.1
	Jednotné európske značenie elektrónok	I.1
	Jednotné európske značenie polovodičových súčiastok Pro-Electron.....	I.2
	Značenie elektrických prvkov	I.3
	SCHEMATICKÉ ZNAČKY	II.1

