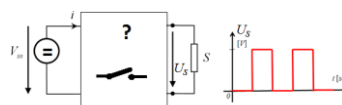


Pr.:



Ako zrealizovať „?“ ak na vstupe je zdroj jednosmerného napätia a na spotrebiči sa má objaviť PWM signál????

Riešenie: Použijeme diódy a tranzistory zapojené v obvode ako spínací prvok.

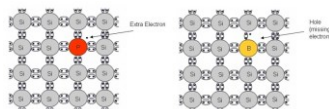
1

2

Polovodiče: Dióda, Tranzistor

Látky podľa vodivosti rozdeľujeme na:
Vodiče: striebro, meď, hliník, zinok, volfrám, ...

Nevodiče, izolanty:
 sklo, sľuda, olej, keramika, ...



Polovodiče:
 kremík - Si, germánium - Ge, selén, ...
 Vodivosť polovodičov s rastúcou teplotou stúpa. Vodivosť závisí od prítomnosti prímiesi v kryštálovej mriežke polovodiča. Atómy (bez prímies) Si alebo Ge sú štvormocné prvky (majú 4 valenčné elektróny). Dvojica susediacich atómov má vždy dva spoločné elektróny (kovalentná väzba). To znamená, elektróny nie sú voľné. Pri nízkych teplotách sa polovodič správa ako izolant. Pri vyšších teplotách valenčné elektróny získajú energiu a niektoré elektróny opustia valenčné pásmo. Prázdne miesto, ktoré vznikne uvoľnením elektrónu sa nazýva **diera**. Diera nie je častica ako elektrón, navonok sa správa ako kladný elektrický náboj. Po pripojení vonkajšieho zdroja napätia polovodičom tečie elektrický prúd. Elektróny tečú jedným a diery opačným smerom (atómy si „kradnú“ elektróny).

3

Polovodiče

Nevlastné polovodiče:
 Elektrické vlastnosti polovodiča môžeme upravovať pomocou prímiesi. Časť atómov kryštálovej mriežky čistého polovodiča sa nahradí atómami prímiesi. Používajú sa :

3-mocné prvky:
 bór (B), hliník (Al), gálium (Ga), indium (In)
 Tieto prvky majú len 3 valenčné elektróny, ktoré vytvorili len 3 väzby s okolitými atómami. Jedna väzba chýba. V materiály vzniká nadbytok dier. Vlastná vodivosť je dierová, „pozitívna“. Tieto polovodiče nazývame polovodičmi typu **P**.

5-mocné prvky :
 fosfor (P), arzén (As), antimón (Sb), bizmut (Bi)
 Valenčné elektróny vytvorili 4 väzby s okolitými atómami. Jeden elektrón zostáva neobsadený kovalentnou väzbou. Na jeho odtrhnutie stačí malá energia. Po jeho odtrhnutí sa vytvorí kladný ión. Takýto materiál má nadbytok elektrónov. Nosičmi prúdu sú elektróny. Elektrón má záporný (negatívny) elektrický náboj. Tieto polovodiče nazývame polovodičmi typu **N**.

4

Dióda:

- je polovodičová súčiastka. Je to vlastne PN prechod
 Elektróny z typu N snažia dostať do typu P a naopak, čím sa vytvorí elektrické pole na rozhraní P a N prechodu.

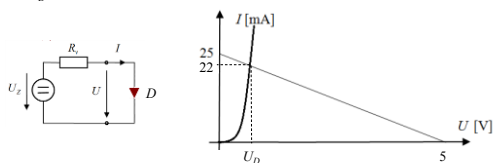
- VACHA diódy je nelineárna. Obvod podľa obr. treba riešiť graficky.



Najskôr nakreslíme VA charakteristiku zdroja a rezistora (postačujú dva body).

Zdroj napätia a rezistor považujeme za reálny napáňový zdroj:
 Nezaťažovaný zdroj má napätie $U_z = 5V$. Prúd rezistorom je nulový.
 Skratneme: $U = 0V$ a $I = U/R = 5V/2000\Omega = 2.5mA$.

Oba body spojíme a získame VACHA reálneho zdroja – zaťažovací priamku.
 Dokreslíme VACHA diódy. Prísečník dá pracovný bod. Hľadané hodnoty prúdu a napätia sú: $U_D = 0.7V$ a $I = 22 mA$.



5

Polovodičové prvky:

Termistor
 je polovodičová súčiastka, ktorej odpor závisí od teploty, častejšie odpor s teplotou klesá. Označuje sa **NTC**. Používa sa ako snímač teploty. Má neline. prevodovú charakteristiku.

Pozistor je termistor, ktorého odpor s teplotou stúpa. Označuje sa niekedy **PTC**.

Fotorezistor je súčiastka, ktorej odpor s osvetlením klesá.

Varistor je súčiastka, ktorej odpor závisí od napätia. Používa sa ako prepäťová ochrana.

Niektoré typy diód:

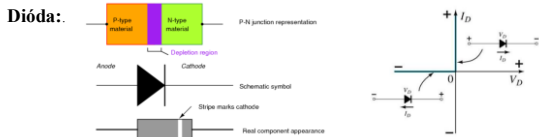
Shottkyho dióda: Usmerňovací účinok sa u nich dosahuje kombináciou polovodičov. V prípustnom smere majú menší úbytok napätia, menší sériový odpor a sú rýchlejšie ako diódy s PN prechodom.

Fotodióda – dopadajúce svetlo spôsobí zvýšenie vodivosti.

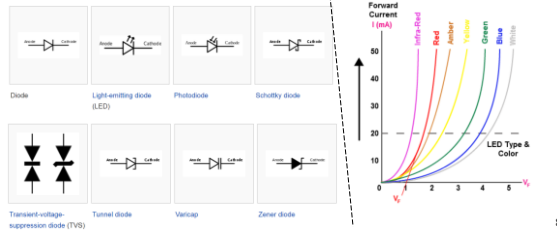
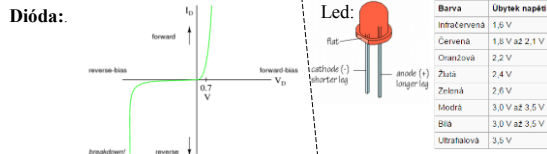
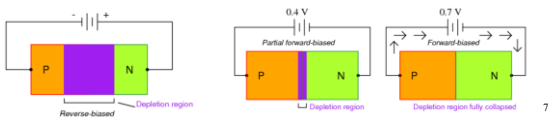
LED – svietiacia dióda. Prúd v prípustnom smere spôsobí generovanie svetla.

Zenerová dióda – je konštruovaná tak, že v závernom smere dochádza pri napätí niekoľko voltov k neštruktúrnemu prerazu. V dôsledku tohto javu môže pracovať ako stabilizátor napätia.

6

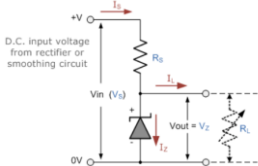


- má usmerňovacie vlastnosti
 ak pripojíme na P + pól a na N - pól, už pri malom napätí (napätie PN prechodu vytvoreného pri výrobe), sa dióda stáva vodivá - prepúšťa prúd
 Tento smer je **priepustný**.
 ak pripojíme na N + pól a na P - pól, dióda je nevodivá a aj keď zvyšujeme napätie prúd nevedie. Tento smer sa volá **záverný**. **Pri veľkom U** sa prerazí - zhorí.
 Žiaden materiál nie je dokonale čistý. To znamená, že aj v polovodiči P sú elektróny a v N diery. Týchto nečistôt je veľmi málo. Z toho dôvodu je PN prechod aj v závernom smere vodivý. Záverný prúd je zanedbateľne malý.



Zenerova dióda:

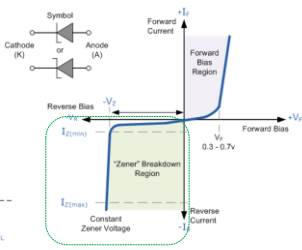
Stabilizátor napätia:



Pr: $V_m = 12V$ a požadujeme $V_{out} = 5V$;
 Použijeme ZD s $P_Z = 2W$

$$R_S = \frac{12V - 5,0V}{400mA} = 17,5\Omega$$

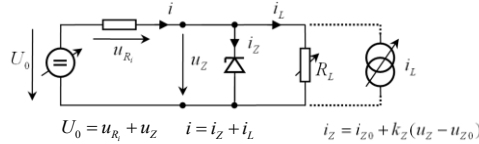
Ak pripojíme záťaž $R_L = 1k\Omega$ potečie ZD prúd $I_Z = I_S - I_L$



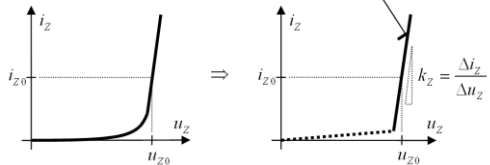
$$\Rightarrow I_{Zmax} = \frac{2W}{5V} = 400mA$$

$$I_Z = 400mA - \frac{5V}{1k\Omega} = 395mA$$

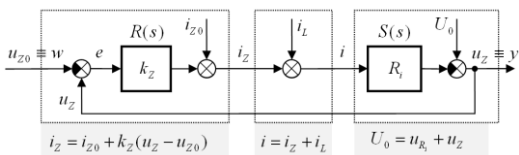
Zenerova dióda: Stabilizátor napätia: Regulačný obvod.



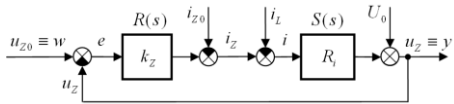
$$U_0 = u_{R_S} + u_Z \quad i = i_Z + i_L \quad i_Z = I_{Z0} + k_Z(u_Z - U_{Z0})$$



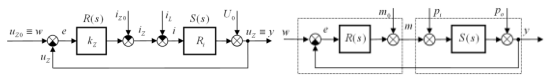
Zenerova dióda: Stabilizátor napätia: Regulačný obvod.



Pôvodne, podobne ako v tejto schéme regulačného obvodu, bola regulačná odchýlka počítaná ako: $e = y - w = -w + y$



Zenerova dióda: Stabilizátor napätia: Regulačný obvod.



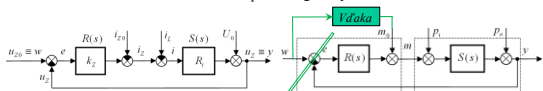
Pre dobre navrhnutý regulačný obvod platí:
 - $y = w = I(t) * w \Rightarrow$ ideálny sledovač.
 - $y = 0(t) * p_i$, resp. $y = 0(t) * p_o$

Dá sa to zapísať aj takto:

$$\left. \begin{aligned} e_w &= 0(t) * w \\ e_{p_i} &= 0(t) * p_i \\ e_{p_o} &= 0(t) * p_o \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{ideálny útlmový člen.}$$

$$e = \frac{u_{Z0} - U_0 + i_{Z0}R_i + i_L R_i}{1 + k_Z R_i} \quad \text{!! Neriešime algebraické slučky!!}$$

Zenerova dióda: Stabilizátor napätia: Regulačný obvod.



Nech $i_L = 0$; bez záťaže $\Rightarrow e = \frac{u_{z0} - U_0 + i_{z0}R_i + i_L R_i}{1 + k_z R_i} \left[V; \frac{V}{1} \right]$

Rozmerová skúška: " $u_{z0} - U_0 + i_{z0}R_i$ " $\hat{=}$ [V, V, A, Ω]

" $1 + k_z R_i$ " $\hat{=}$ [bez rozmeru, Ω^{-1}, Ω]

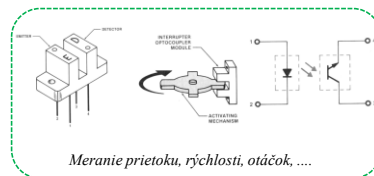
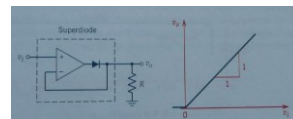
Ak $i_L = 0 \Rightarrow e = 0$ $e = \frac{u_{z0} - (i_{z0}R_i + u_{z0}) + i_{z0}R_i + i_L R_i}{1 + k_z R_i} = 0$

Ak $i_L > 0 \Rightarrow e = \frac{i_L R_i}{1 + k_z R_i}$ Navrhujeme $k_z R_i \gg 1 \Rightarrow e \hat{=} \frac{i_L R_i}{k_z R_i} = \frac{i_L}{k_z}$

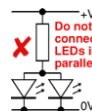
Čím bude k_z väčšie, tým bude e menšie: $e = u_{z0} - u_z$ 13

Aplikácie s diódami:

- Sériové zapojenie !?!
- Paralelné zapojenie !?!
- Sérioparalelné zapojenie !?!



Meranie prietoku, rýchlosti, otáčok, ...



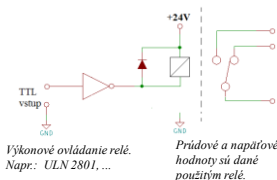
14

Aplikácie s diódami:

Príklad:

Galvanicky oddelené binárne výstupy.

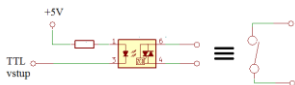
Najjednoduchšie realizácia: **Relé**



Výkonové ovládanie relé. Napr.: ULN 2801, ...

Prúdové a napätové hodnoty sú dané použitým relé.

Bezkontaktná verzia rele je Solid State Relay Napr.: S201S02 (spína „v nule“)

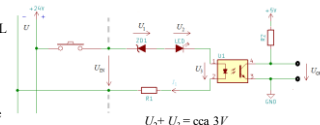


15

Príklad:

Binárne vstupy v úrovni inej ako TTL (galvanicky oddelené)

Oddelovací prvok – optočlen.



Najjednoduchšie sa realizujú binárne vstupy pre signály v úrovni 5, resp. 24V.

Funkciu rezistora R1 je zabezpečiť v obvode prúd cca 10 mA.

Funkciu zenerovej diody ZD1 je nastaviť hranicu medzi kontakt **ON/OFF**.

$U_{IN} > 15V$ (napr.) $\Rightarrow U_{OUT} = „\log. 0“$

$U_{IN} < 10V \Rightarrow U_{OUT} = „\log. 1“$

Záporná logika

V praxi sa zapájajú I/O vstupy nasledovne:

Zenerova dioda BZX83V012
 $U_{ZM} = 12V$
 $I_{Zmax} = 42mA$
 $P_{max} = 0.5W$
 $R1 = 1k\Omega$
 Púzdro = DO35

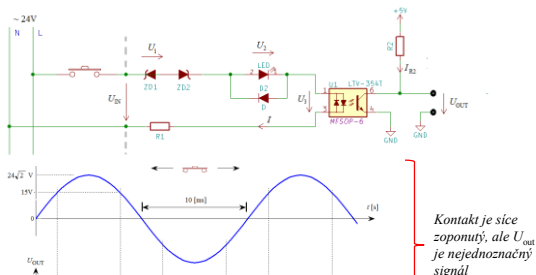
t.j. spoločný vodič má potenciál +, resp. -.



16

Príklad:

Ďalším problém vznikne, ak namiesto =24 V použijeme ~24 V, ~230 V.



Filtrácia – vyhladenie sa dá realizovať na oboch stranách optočlena.

17

Príklad:

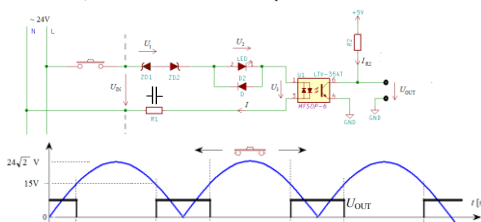
Filtrácia – vyhladenie sa dá realizovať na oboch stranách optočlena.

Na vstupnej strane je problém udržať trvalý prúd a na výstupnej strane trvale signál „log. 0“.

Ak použijeme ~230 V, problémom je dimenzovanie rezistora R1. Prúdu cca 10mA odpovedá hodnota cca 22kΩ.

Týmto hodnotám odpovedá výkonová strata 2.2W. Čo je dosť veľký tepelný výkon.

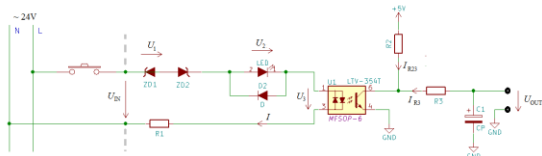
Náhrada rezistora kapacitorom (impedancia kapacitóra – cca 150 nF) vedie čas od času ku skratu. Podľa toho, v akom okamžiku sa kontakt zopne.



18

Príklad:

Filtrácia na výstupnej strane.



Ak je kontakt zopnutý, tranzistor optočlena je vstave zopnutý/rozopnutý. Rezistory R2, R3 a a kapacitor C1 treba navrhnuť tak, aby pri zopnutom kontakte U_{OUT} odpovedalo signálu „log.0“.

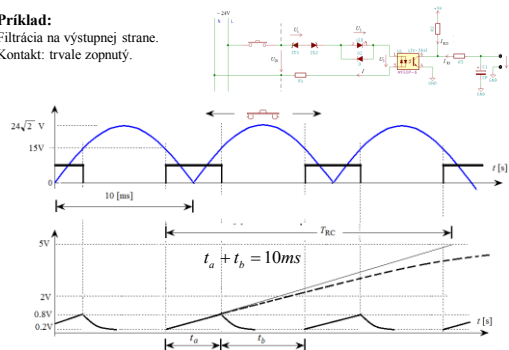
Cieľom je: Navrhnuť filter tak, aby U_{OUT} reagovalo na zmeny kontaktu za čas kratší ako $(1/50\text{Hz})/2 = 10\text{ms}$, čo odpovedá jednej polperiode kmitov.

19

Príklad:

Filtrácia na výstupnej strane.

Kontakt: trvale zopnutý.



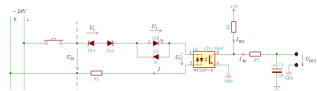
t_a vypočítame: $24\sqrt{2} \approx 34V$ vo vzťahu $\sin(2\pi f \cdot \frac{t_a}{2}) = \frac{15}{34} \Rightarrow t_a \approx 3\text{ms}$

Za čas t_b nesmie U_{OUT} opustiť „log.0“ !!!!!

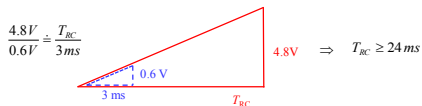
20

Príklad:

Filtrácia na výstupnej strane.



Kapacitor sa nabíja z napätia 0.2 V na hodnotu 0.8 V.



Časová konštanta $T_{RC} = (R_2 + R_3) \cdot C \Rightarrow$

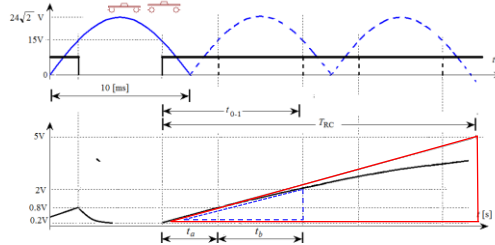
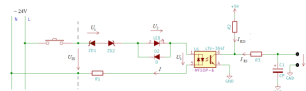
Zvoľme $C = 1\mu F$ potom $R_2 + R_3 = 24k\Omega$

21

Príklad:

Kontakt rozopne.

Za aký čas prejde U_{OUT} zo stavu „log.0“ do stavu „log.1“?



t_{0-1} vypočítame zo vzťahu: $\frac{4.8V}{1.8V} = \frac{T_{RC}}{t_{0-1}} \Rightarrow t_{0-1} \approx 9\text{ms}$

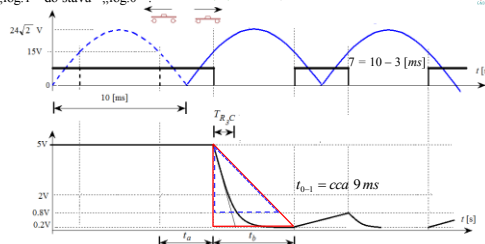
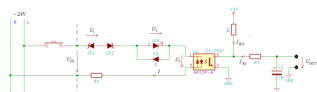
čo je menej ako jedna polperióda.

22

Príklad:

Kontakt zopneme.

Za aký čas prejde U_{OUT} zo stavu „log.1“ do stavu „log.0“?

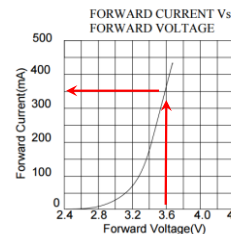
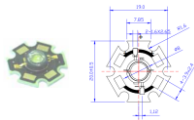


Pomer $\frac{4.8V}{4.2V} \approx 1 \Rightarrow$ musíme zobrať niekoľko časových konštánt, napr. tri.

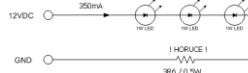
$\frac{4.8V}{4.2V} = \frac{3 \cdot T_{RC}}{7\text{ms}} \Rightarrow T_{RC} = 2.7\text{ms}$ Ak $R_3 = 2.7k\Omega$ Potom $R_2 \approx 22k\Omega$

23

Výkonová LED dióda biela



Zdroj konštantného prúdu: konštantné napätie/resistor
Lacné riešenie, ktoré zle stabilizuje prúd.



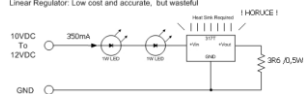
$R = \frac{12V - 3.6V * 3}{0.35A} = 3,43k\Omega \approx 3,6k\Omega (E24)$ $P_R \approx 0,5W$

24

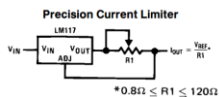
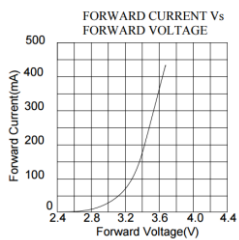
Výkonová LED dióda biela

Zdroj konštantného prúdu:
Lineárny stabilizátor
Lacné riešenie, ktoré zle stabilizuje prúd.

Linear Regulator: Low cost and accurate, but wasteful



$$R = \frac{1,25V}{0,35A} = 3,6\Omega (E24)$$



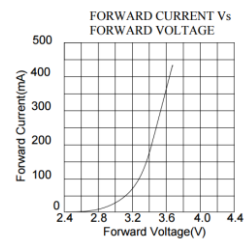
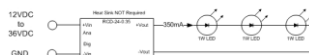
$$P_R \approx 0,5W$$

25

Výkonová LED dióda biela

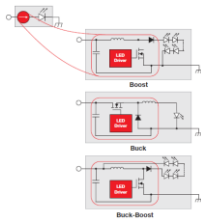
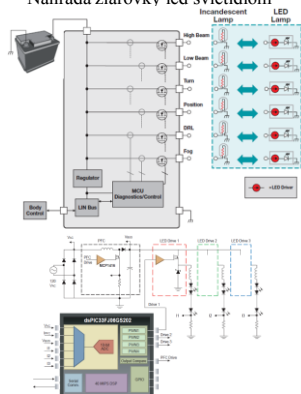
Zdroj konštantného prúdu:
Spinaný zdroj

Switching Regulator: Higher cost but accurate and efficient



26

Náhrada žiarovky led svetidlom



| Condition | Topology |
|-------------------|------------|
| VLED > VBATT | Boost |
| VLED < VBATT | Buck |
| VLED > or < VBATT | Buck-Boost |
| | SEPIC |
| | Flyback |
| | Cuk |

27