

2 DIÓDA - NELINEÁRNY JEDNOBRAN

UČEBNÉ CIELE

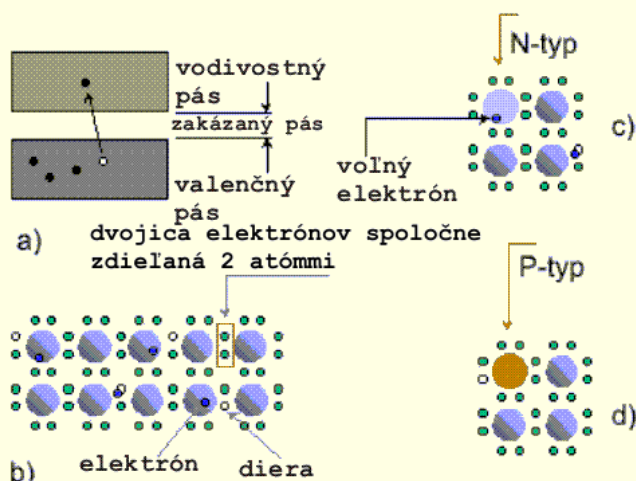
Zoznámiť sa s statickými a dynamickými parametrami náhradného obvodu diódy, pomocou ktorých možno aproximovať tento nelineárny jednobran na lineárny prvok. Pochopiť javy, ktorými sa riadi transport náboja v okolí PN prechodu. Vedieť vypočítať prúdy a napätia v obvode s diódou po linearizovaní jej V-A charakteristiky.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

PN prechod, donor, akceptor, intrinická vodivosť polovodiča, rekombinácia, minoritný a majoritný nosič náboja, ochudobnená oblasť, difúzne pole a barierový potenciál, priamy a záverný smer polarizovania diódy, náhradný obvod diódy z hľadiska veľkej amplitúdy signálu, náhradný obvod diódy z hľadiska malej amplitúdy signálu, doba života minoritných nosičov, doba zotavenia spínacej diódy.

2.1 POLOVODIČOVÝ PN PRECHOD

Polovodiče sú tuhé látky, ktoré majú medzi valenčným a vodivostným pásmom zakázaný pás energie nie väčšej šírky ako 2 eV (obr.2-1a). Polovodiče sa odlišujú od vodičov, ktoré majú vodivostné pás len čiastočne zaplnený a od nevodičov, ktoré sa vyznačujú len prázdny a úplne zaplnenými pásmi energie.



Obr.2-1.
a) Pásové spektrum energií v kryštále,
b) Vlastná vodivosť v polovodiči.
c) Polovodič s vodivosťou typu N
d) Polovodič s vodivosťou typu P

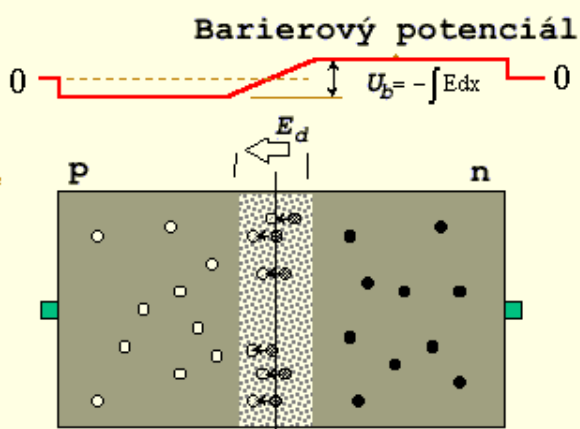
Absorbovaním dodatočnej energie, napr. tepelnej, môžu elektróny v polovodičovom kryštále preskočiť z valenčného do vodivostného pásu a vznikne tak stav podobný ako vo vodiči. Koncentrácia voľných elektrónov vo vodivostnom páse sa potom rovná koncentrácii voľných dier, t.j. koncentrácii neobsadených miest vo valenčnom páse - **vlastná (intrinická) vodivosť** polovodiča (obr.2-1b).

Rozličnými technologickými úpravami možno dosiahnuť, že v polovodiči prevažuje elektrónová vodivosť nad dierovou - takýto polovodič sa nazýva **elektrónový polovodič typu N** (obr.2-1c). V opačnom prípade sa jedná o **dierový polovodič** alebo **polovodič typu P** (obr.2-1d). Dopovacia prvok (napr. 5 mocný P v

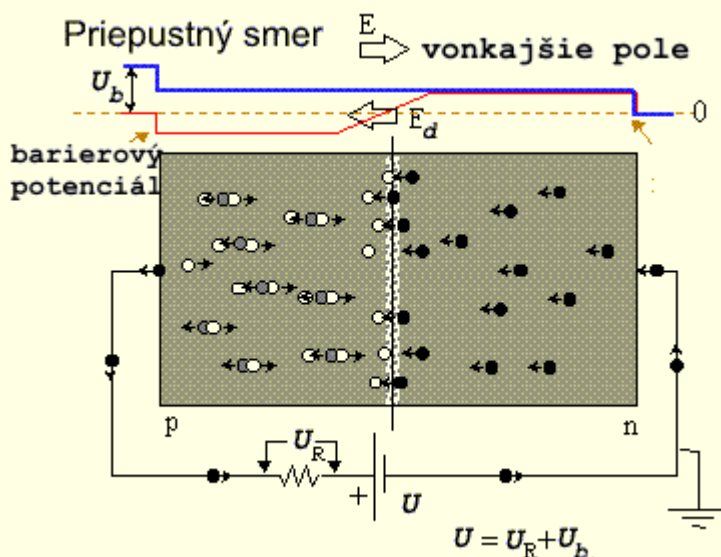
Ge mriežke), ktorý je zdrojom valenčných elektrónov sa nazýva **donor**. Dopovacia prvok, ktorý na seba viaže valenčné elektróny (napr. 3 mocný B v Ge mriežke) sa nazýva **akceptor**.

V rovnovážnom stave vo vlastnom polovodiči je prírastok elektrónov vo vodivostnom páse kompenzovaný ich úbytkom pri ich zachytení vo väzbách s dierami - **rekombináciou**. V dopovanom polovodiči prevažuje jeden typ vodivosti - **majoritné nosiče náboja**, napr. diery v polovodiči typu P.

Na rozhraní polovodiča s vodivosťou N a P vznikne PN prechod. Difúziou voľných elektrónov z oblasti N a úbytkom dier z oblasti P dôjde k vytvoreniu difúzneho poľa E_d . **Barierový potenciál U_b** po čase zastaví tento difúzny tok a vytvorí sa rovnovážny stav. V tesnej blízkosti prechodu PN sa vytvorí tzv. **ochudobnená oblasť** s podstatne menšou koncentráciou voľných nosičov náboja (obr. 2-2).



Obr. 2-2. Ochudobnená oblasť v okolí PN prechodu s podstatne menšou koncentráciou voľných nosičov náboja.



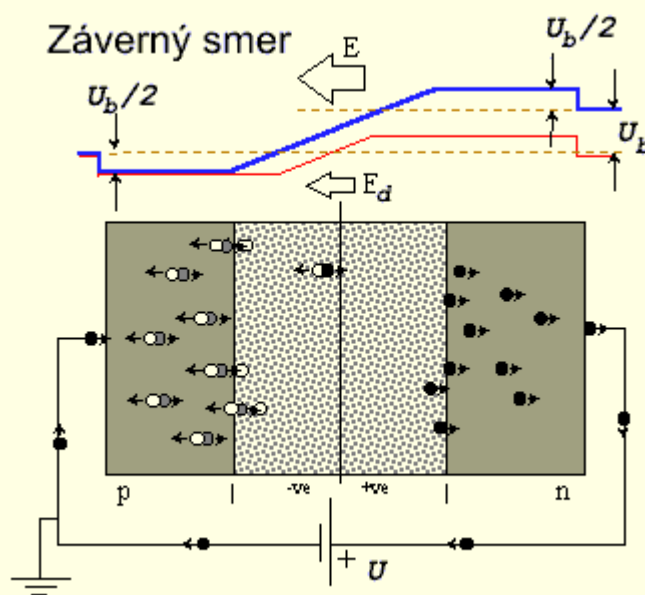
Obr. 2-3. Priepustný smer PN prechodu – vonkajšie pole E znižuje vplyv vnútorného difúzneho poľa E_d .

Na rozhraní kovu a polovodiča v dôsledku rozdielnej hustoty voľných nosičov náboja a gradientu koncentrácie vznikne difúzia elektrónov podobne ako cez PN prechod. Smer difúzie závisí od typu polovodiča. Z polovodiča typu P tečie prúd elektrónov do kovu v dôsledku rozdielu výstupnej práce týchto dvoch materiálov. V

dôsledku existencie tohto **kontaktného potenciálu** nie je možné merať barierový potenciál PN prechodu priamo pomocou pripojenia voltmetra.

Po pripojení napájacieho zdroja napätia U na obr. 2-3 sa vytvorí na ochudobnenej vrstve PN prechodu elektrické pole E opačne polarizované voči vnútornému poľu E_d . Majoritné nosiče náboja z oboch strán PN prechodu môžu potom po prekonaní barierového potenciálu U_b prechádzať cez PN prechod. Ak je v tomto elektrickom obvode ešte zaradený ochranný odpor R bude amplitúda prúdu $I=(U-U_b)/R$.

Po pripojení batérie U na obr. 2-4, ktorá vytvorí vonkajšie elektrické pole E , zhodnej polarizácie ako je vnútorné pole E_d , budú majoritné nosiče náboja ešte viac vytláčané od stredu PN prechodu, **šírka ochudobnenej oblasti sa zväčší**, čím vzrastie aj jej odpor a cez prechod bude tiecť len nepatrný prúd minoritných nosičov náboja.



Obr. 2-4. Záverný smer PN prechodu vytvorený vplyvom vonkajšieho poľa E .

2.2 STATICKÉ PARAMETRE DIÓDY AKO VENTILU

2.2.1 Náhradný obvod diódy pri malej amplitúde

Typický priebeh volt - ampérovej charakteristiky diódového PN prechodu je znázornený na obrázku 2-5. Ak je napätie na dióde polarizované tak, že anóda je kladná a katóda je záporná, t.j. v **tzv. priepustnom smere**, prechádza cez diódu prúd. Pri opačnej **tzv. závernej polarite** tečie aj pri značnom napätí len veľmi malý prúd. Dióda sa chová podobne ako ventil, prepúšťajúci prúd len v jednom smere.

Pre malé amplitúdy napätia a prúdu možno aproximovať vodivú časť charakteristiky diódy pomocou exponenty

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{k\theta}\right) - 1 \right]$$

V tomto výraze je:

I_0 nasýtený prúd v závernom smere, t.j. prúd tvorený tepelne generovanými dvojicami elektrón – diera,

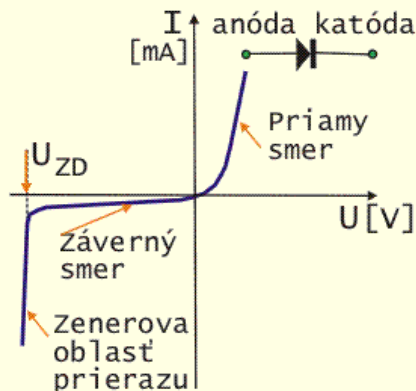
k – Boltzmannova konštanta,

q – náboj elektrónu a Θ - teplota. Pri izbovej teplote $\Theta=300\text{K}$ je tzv. teplotné napätie $(q/k\Theta)=40$ a $I \sim I_0 \exp(U/40)$.

Vodivá dióda pre malé zmeny signálu v okolí nastaveného pracovného bodu, určenom jednosmerným prúdom I_{DF} [mA], sa chová ako diferenciálny parameter - "**dynamický**" odpor

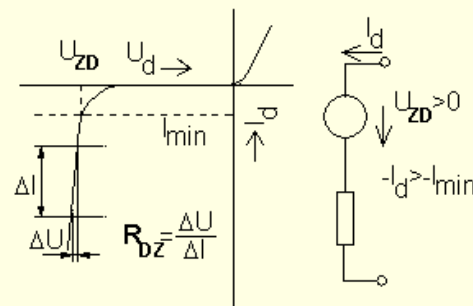
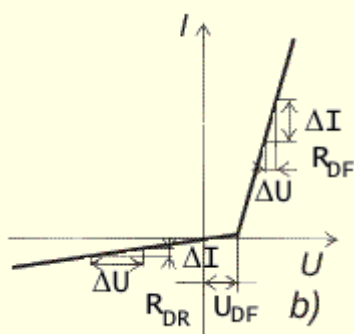
$$r_{DF} = dU/dI = 25/I_{DF} [\Omega].$$

V závernom smere je nasýtený prúd v závernom smere $I \sim I_0$ veľmi malý, rádovo niekoľko μA . Navrhnutá aproximácia volt – ampérovej charakteristiky si nevšima prudký vzrast záverného prúdu pri väčšom závernom napätí (obr. 2-5), ku ktorému dochádza v dôsledku lavínovej ionizácie a ktorý v špeciálne konštruovaných tzv. **Zenerových** diódach možno využiť pri stabilizácii napätia.



Obr. 2-5a.

V-A charakteristika diódy



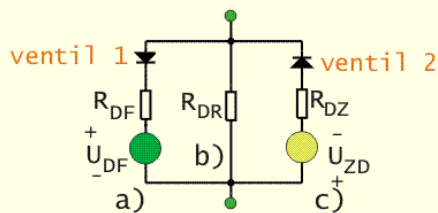
Obr. 2-5b.

Aproximácia V-A charakteristiky diódy pre „veľký signál“.

2.2.2 Náhradný obvod diódy pri veľkej amplitúde

Náhradný obvod diódy pre veľký signál je založený na aproximácii skutočnej charakteristiky diódy lomenými úsečkami. V priepustnom smere je aproximácia exponenty založená na priamke so sklonom $1/R_{DF}$, ktorá začína od napätia U_{DF} ($U_{DF} \sim 0,2\text{V}$ pre Ge a $U_{DF} \sim 0,6\text{V}$ pre Si), teda náhradným obvodom podľa obr. 2-6a, pozostávajúceho z zdroja napätia U_{DF} a odporu R_{DF} . V nepriepustnom smere, až po

napätie prierazu možno časť charakteristiky aproximovať veľmi veľkým odporom R_{DR} (obr. 2-6b) a teda zanedbateľným zvodovým prúdom.



Obr. 2-6.
Náhrada diódy pri veľkom signále pre rôzne úseky aproximácie na obr. 2-5:
a) v priepustnom smere
b) v závernom smere
c) v Zenerovej oblasti

2.2.3 Prierazné napätie nevodivej diódy

Skutočné diódy sa riadia aproximačným exponenciálnym vzťahom len približne a to len v obmedzenom rozsahu napätí. Najzrejmější nesúhlas je v závernej vetve charakteristiky diódy. Ak prekročí záverné napätie určitú veľkosť U_{ZD} (obr. 2 - 5a), ktorá závisí na druhu a čistote použitého polovodiča a na jeho teplote, nastáva jednak vytrhávajúce ďalších elektrónov elektrickým poľom v okolí prechodu PN, efekt známy ako tzv. **Zenerov jav** a dochádza tiež k ionizácii neutrálnych atómov nárazmi prechádzajúcich minoritných nosičov. Obidva procesy spôsobia, že prúd v závernom smere sa pri prekročení napätia U_{ZD} začne neúmerne zväčšovať. Tým sa oteplí prechod PN a preto sa záverný prúd ešte ďalej zväčšuje, čo by u teplotne citlivých polovodičov mohlo viesť k elektrickému prierazu. U diód z kremíku alebo iných tepelne odolných polovodičov možno docieľiť, že po prekročení tzv. **Zenerovho napätia** má dióda len veľmi malý diferenciálny odpor r_{DZ} , niekedy menší ako diferenciálny odpor r_{DF} v priepustnej oblasti. Dióda vďaka sklonu charakteristiky v Zenerovej časti, nedovolí, aby napätie na dióde prekročilo určitú veľkosť, čo ju robí vhodnou napr. ku stabilizácii napätia alebo ako referenčný zdroj. Zenerove napätie možno ovládať výrobnou technológiou v rozmezí od troch do niekoľko sto voltov. Pritom toto napätie málo závisí na teplote (teplotný súčiniteľ sa pohybuje od $-0,05$ až do $+0,12\%$ a je najmenší u diód s Zenerovým napätím okolo 6V). Pretože pri prechode záverného prúdu I_{ZD} pri Zenerovom napätí U_{ZD} sa v dióde stráca pomerne značný výkon $P_{ZD}=U_{ZD}I_{ZD}$, vyrábajú sa Zenerove diódy pre rôzne odoberané výkony (od miniaturných s dovoleným stratovým výkonom 0,1W až k výkonovým stratám 10 a viac W).

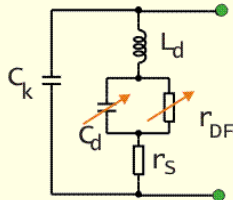
Pre záverné napätia $U > U_{ZD}$ v Zenerovej oblasti prierazu možno použiť na aproximáciu charakteristiky priamku so sklonom $1/R_{DZ}$, teda náhradný obvod podľa obr. 2-6c, pozostávajúceho z zdroja napätia U_{ZD} a odporu R_{ZD} .

Sklon v Zenerovej oblasti má menšiu strmosť ako sklon v priepustnej vetve charakteristiky a je zaujímavý aj po ďalšej stránke. Zatiaľ čo trvanie prechodového javu pri zmene napätia z priepustnej do závernej vetve je ovplyvnené hromadením minoritných nosičov náboja a trvá pomerne dlho, nevykazuje zmena polarizácie cez Zenerov ohyb takmer žiadny prechodový jav, čo je významná prednosť pre rýchle **spínacie obvody**.

2.2.4 Dynamický náhradný obvod diódy

Okrem statických parametrov, úbytku napätia v priepustnom smere a prúdu v závernom smere sú veľmi dôležité aj parametre dynamické, lebo ovplyvňujú vzťah

medzi časovými priebehmi napätia a prúdu na diode pri prechodných javoch. Oneskorenie reakcie prechodového javu na diode spôsobujú **dynamické parametre** ilustrované na obr 2-7, predovšetkým kapacita prechodu $C_d \sim 1/(U)^n$, ktorá závisí na priloženom napätí U , kde mocnitél má veľkosť $n=1/2 - 1/3$, podľa typu technológie výroby prechodu. Ďalšie dynamické parametre ako indukčnosť prechodu L_d (10 až 30 nH), alebo parazitná kapacita púzdra a vývodov C_k (0,3 až 3pF) majú len malý vplyv.



Obr.2-7.

„Dynamický“ náhradný obvod vodivej diódy:

r_{DF} - odpor vodivého PN prechodu;

r_s - odpor prívodov k báze;

C_d - barierová kapacita PN prechodu;

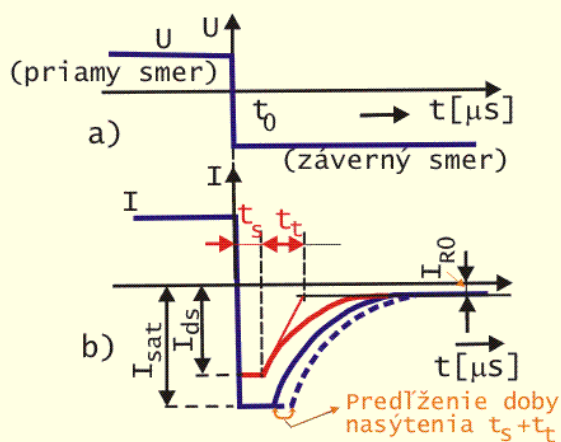
L_d - indukčnosť prívodov;

C_k - parazitná kapacita púzdra a prívodov.

$$R_{DF} = r_{DF} + r_s$$

Okrem oneskorenia, spôsobeného prechodovým javom v obvode s diódou, vysvetliteľným vplyvom uvedených dynamických parametrov, reaguje napätie na diode, pri náhlej zmene prúdu s oneskorením, ktoré sa nedá vystihnúť náhradným obvodom na obr. 2-7, pretože závisí od rýchlosti rekombinácie nosičov náboja po uzavretí PN prechodu.

Na obr. 2-8 pôsobí na diode najprv v napätie U v priepustnom smere a prechodom PN tečie určitý prúd I . Časť tohto prúdu tvoria elektróny, ktoré prechádzajú z časti N do P. V časti N sú elektróny majoritné nosiče náboja. Po ich prechode cez bariéru do časti P sa tu stávajú minoritnými nosičmi náboja. Existujú tu určitú krátku dobu, **tzv. dobu života minoritných nosičov**, pokiaľ nezrekombinujú s diarami tejto časti. Druhú časť prúdu tvoria diery, ktoré prechádzajú z časti P do N a tam existujú ako minoritné nosiče až do svojej rekombinácie s elektrónmi.

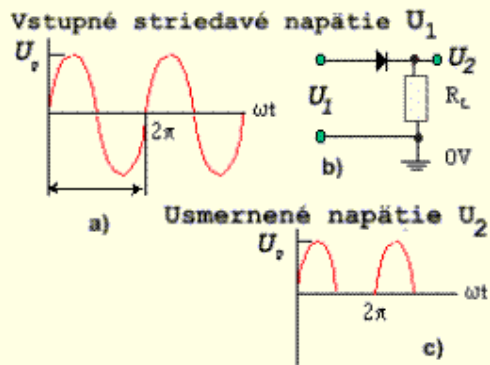


Obr. 2-8.

Oneskorená reakcia prúdu diódy pri rýchлом prepólovaní PN prechodu z priepustného do záverného smeru. napätie na vstupe diódy prúd cez diódu

Ak sa za týchto podmienok zmení rýchlo polarita vonkajšieho napätia tak, že bude brániť ďalšiemu prechodu majoritných nosičov náboja, stane sa teraz tento PN prechod prechodný pre doposiaľ nezrekombinované minoritné nosiče náboja, nahromadené na oboch stranách PN prechodu. Preto v prvom okamihu, po skokovej zmene napätia prechádza cez diódu, až do vyčerpania nahromadených nosičov, omnoho väčší prúd ako v ustálenom stave. Po prepolarizovaní napätia sa nezmenší prechádzajúci prúd na hodnotu I_{R0} , ktorá by mala zodpovedať priloženému závernému napätiu, ale najprv sa zväčší na hodnotu I_{ds} , potom za okamih t_s začne

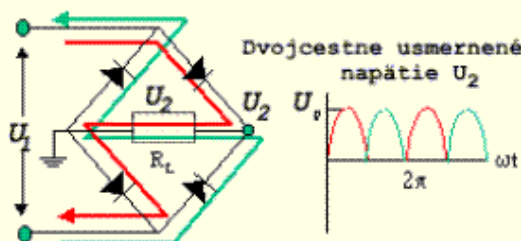
klesať s časovou konštantou τ . Trvanie aktívneho tyla tohto impulzu je $t_{ta}=2,2\tau$. Celková doba zotavenia $t_s + t_{ta}$ sa podľa druhu diódy pohybuje od nanosekúnd do desiatky mikrosekúnd. Dióda má ešte na okamih po prepólovaní snahu zachovať si svoju predošlú vodivosť. U diódy na obr. 2-8 je prechádzajúci prúd I_{ds} tým väčší, čím bol väčší predtým prechádzajúci priepustný prúd a čím väčšie je priložené záverné napätie. Ďalšie zväčšovaním prúdu I_{ds} , je ohraňované nasýtením pri prúde I_{sat} a predlžuje sa už len **doba zotavenia** t_s , počas ktorej prechádza nasýtený prúd.



Obr. 2-9. Ilustrácia funkcie jednocestného usmerňovača.
 a) vstupné striedavé napätie;
 b) usmerňovač;
 c) výstupné jednocestne usmernené napätie.

Opísaný prechodový jav, vyskytujúci sa pri striedaní priepustnej a závernej polarity, obmedzuje frekvenčnú použiteľnosť diód. V niektorých prípadoch možno túto vlastnosť zámerne využiť, napr. pri tvarovaní veľmi krátkych impulzov.

V nanosekundovej impulznej technike sa polovodičové diódy používajú predovšetkým ako **spínače**. Okrem malého spínacieho odporu r_{DF} a vysokého odporu v záverom smere r_{DR} by mali diódy pre tieto obvody mať malý čas zopnutia, určený krátkou dobou zotavenia t_s .



Obr. 2-10. Dvojcestnený usmerňovač v mostíkovom zapojení.

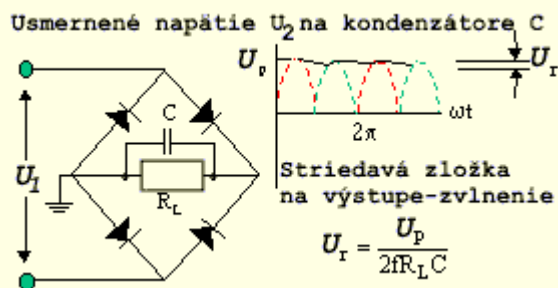
2.3 POUŽITIE DIÓDY

2.3.1 Usmerňovač

Najbežnejšou aplikáciou diódy je jej použitie v usmerňovači. Obrázok 2-9b ilustruje najjednoduchšie zapojenie jednocestného usmerňovača, kde ku zdroju striedavého napätia U_1 cez diódu D je pripojený zaťažovací odpor R_L . Počas trvania priepustnej polovlny cez odpor vodivej diódy R_{DF} a záťaž R_L tečie usmernený prúd tvaru polovln sinusovej funkcie (obr. 9c). Počas záverne pólovanej polovlny bude dióda uzavretá.

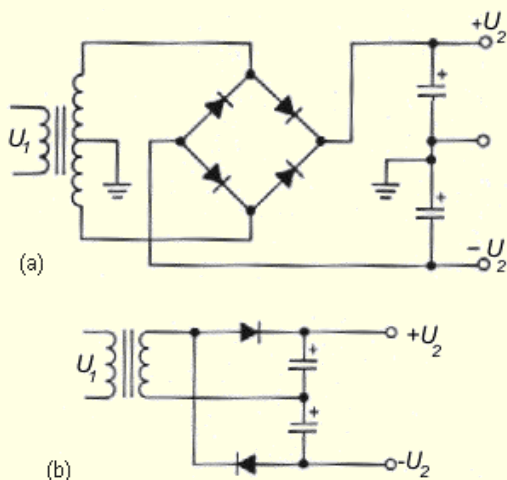
Pri dvojcestnom usmernení sa funkcie diód striedajú, takže usmernený prúd a napätie majú priebeh podľa obrázku 2-10.

Vďaka použitiu filtračného kondenzátora C na výstupe usmerňovača so záťažou R_L na obr. 2-11 možno zmenšiť striedavú zložku s frekvenciou f - **zvlnenie** $U_r = U_p / (2fR_L C)$. Striedavá zložka U_r , má v dôsledku dvojcestného usmernenia, dvojnásobnú frekvenciou f ako vstupné striedavé napätie U_1 .



Obr. 2-11.
Mostíkový usmerňovač s filtračným kondenzátorom.

Na obrázku 2-12 je zobrazené často používané zapojenie mostíkového "dvojfázového" dvojcestného usmerňovača, na výstupe ktorého možno, vďaka použitiu vstupného transformátora, lepšie "rozfázovať" prístup jednotlivých polovín striedavého napätia a tak získať na výstupe symetrické napätia s opačnou polaritou. Zapojenie na obr. 2-12a je efektívnejšie ako „jednofázové“ zapojenie na obr. 2-12b, pretože pri každej polovlne využíva obe polovice sekundárneho vinutia tak, ako pri dvojcestnom usmernení. V zapojení na obr. 2-12b je kvalita usmernenia rovnaká ako pri jednocestnom usmerňovaní.



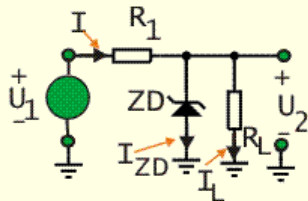
Obr. 2-12.
Zdvojovač napätia - v podstate ide o 2 v sérii zapojené
a) dvojcestné usmerňovače.
b) jednocestné usmerňovače.

2.3.2 Stabilizátor napätia so Zenerovou diódou

Zenerova dióda našla svoje uplatnenie pri stabilizácii jednosmerného napätia. Vďaka zlomu charakteristiky Zenerovej diódy na výstupe napäťového stabilizátora na obr. 2-13:

- sa prakticky nebude meniť napätie $U_2 = U_{ZD}$ ani pri podstatne väčších zmenách napájacieho napätia U_1 ,
- výstupné napätie $U_2 = U_{ZD}$ bude prakticky nezávislé na zmene odporu záťaže R_L .

Prúd I_L po pripojení záťaže R_L sa kompenzuje zmenšením prúdu I_{ZD} cez Zenerovu diódu tak, že sa celkový odber zo zdroja I_1 nemení – dôjde len k prerozdeleniu prúdu medzi I_{ZD} a I_L . Aby nedošlo k nedovolenému prehriatiu Zenerovej diódy, na ktorej je napätie U_{ZD} a tečie cez ňu prúd I_{ZD} nesmie dôjsť k prekročeniu maximálneho stratového výkonu Zenerovej diódy $P_{max}=U_{ZD}I_{ZDmax}$.



Obr. 2-13 k príkladu 2-1.
Stabilizátor napätia so Zenerovou diódou

Stabilizačnú schopnosť obvodu z obrázku 2-13 možno charakterizovať:

- pomocou tzv. **koefficientu napät'ovej nestability** N_U , na základe porovnania nestability vstupného ΔU_1 a výstupného napätia ΔU_2 pri stálom prúde I_L cez záťaž R_L :

$$N_U = [\Delta U_2 / \Delta U_1] , \text{ pri } I_L = \text{konst.}$$
- pomocou tzv. výstupného odporu stabilizátora:

$$R_{vyst} = [\Delta U_2 / \Delta I_L] , \text{ pri } U_1 = \text{konst.}$$

Výstupný odpor charakterizuje reakciu stabilizátora na zmenu záťaže R_L , podobne ako výstupný odpor zdroja napätia charakterizuje vlastnosti zdroja napätia - čím je nižší tým sa viac zdroj blíži svojimi vlastnosťami ideálnemu zdroju napätia. Podobne ako je pre tzv. "tvrdý" zdroj napätia optimum výstupný odpor blízky k 0, tak je optimálny stabilizátor napätia s minimálnym výstupným odporom.

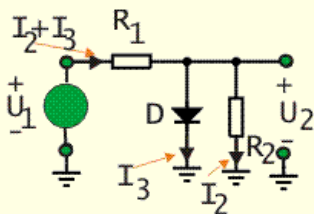
Príklad 2-1

Navhnite odpor R_1 v zapojení stabilizátora so Zenerovou diódou s napätím 4,8V na obr. 2-13 tak, aby pri napájacom napätí zo zdroja $U_1=10V$ nedošlo k prekročeniu maximálneho stratového výkonu Zenerovej diódy 25mW.

Riešenie

Na základe maximálneho dovoleného odoberaného výkonu $P_{max}=U_{ZD}I_{ZDmax}$ je maximálny prúd cez Zenerovu diódu $I_{ZDmax}=P_{max}/U_{ZD}=5,2mA$. Tento prúd $I_1=I_{ZDmax}$ musí prechádzať cez diódu a odpor R_1 vtedy, keď bude odpor R_L odpojený.

Potom hľadaný odpor $R_1=(U_1 - U_{ZD})/I_{ZDmax}=(10-4,8)/0,0057=1k\Omega$.



Obr. 2-14 k príkladu 2-2.

$U=1V$;
 $U_{DF}=0,6V$;
 $R_{DF}=0,5\Omega$;
 $R_1=1\Omega$;
 $R_2=1\Omega$;
 Určiť $I_3=?$

Príklad 2-2

K jednosmernému napätíu U je podľa obrázku 2-14 pripojený: odpor R_1 a paralelne zapojený odpor R_2 a dióda D . Cez odpor R_1 tečie prúd $I_1=I_2+I_3$. Cez odpor R_2 tečie prúd I_2 a cez dióda D tečie prúd I_3 . Treba určiť prúd $I_3=?$

Riešenie

Náhradný Theveninov obvod po odobratí diódy z výstupných svoriek má:

napätie naprázdno $U_T = UR_2 / (R_1 + R_2) = 0,5V$ a

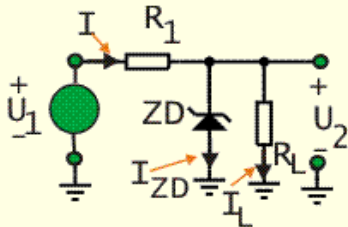
náhradný Theveninov odpor $R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 0,5\Omega$.

Potom hľadaný prúd cez náhradný obvod diódy, pozostávajúceho s $U_{DF} = 0,6V$ a $R_{DF} = 0,5\Omega$:

$I_3 = (U_T - U_{DF}) / (R_T + R_{DF}) = (1 - 0,6) / (0,5 + 0,5) = 0,4A$.

Dióda ako spotrebič sa ohrieva výkonom $P_{DF} = U_{DF} I_3 = 0,6 \cdot 0,4 = 0,24W$,

takže aby to dióda vydržala musí byť dimenzovaná na stratový výkon $P \geq 0,24W$.



Obr. 2-15 k príkladu 2-3.

$U_1 = 21V$;

$U_{ZD} = 10V$;

$R_{ZD} = 0,5\Omega$;

$R_1 = 110\Omega$;

$R_L = 200\Omega$;

Určiť $U_2 = ?$

Príklad 2-3

Určite aké bude napätie U_2 na výstupe stabilizátora so Zenerovou diódou ($U_{zd} = 10V$, $R_{zd} = 0,5\Omega$), zapojenou podľa obr. 2-15 tak, že k jednosmernému napätiu $U_1 = 21V$ je cez odpor $R_1 = 110\Omega$ pripojená paralelne ZD so záťažovým odporom $R_L = 200\Omega$. Určite výstupné napätie U_2 ?

Riešenie

Namiesto Zenerovej diódy ZD použijeme náhradný obvod, pozostávajúci zo zdroja $U_{ZD} = 10V$ a odporu $R_{ZD} = 0,5\Omega$.

Bez záťaže R_L tečie cez ZD prúd $I_{ZDm} = (U_1 - U_{ZD}) / (R_1 + R_{ZD}) = (21 - 10) / 110,5 \sim 99,5mA$

a na výstupe stabilizátora je napätie $U_{20} = U_{ZD} + I_{ZDm} R_{ZD} = 10 + 99,5 \cdot 0,5 \sim 10,05V$

So záťažou $R_L = 200\Omega$ tečie cez diódu ZD prúd

$I_{ZD} = [U_1 R_L / (R_1 + R_L) - U_{ZD}] / (R_1 R_L / (R_1 + R_L) + R_{ZD}) \sim 17,86mA$

na výstupe stabilizátora napätie $U_{22} = U_{ZD} + I_{ZD} R_{ZD} \sim 10,009V$ a prúd cez záťaž $I_L = U_{22} / R_L \sim 50mA$.

KONTROLNÉ OTÁZKY

1. V obvode so zdrojom jednosmerného napätia $10V$ je v sérii s odporom $R = 1k\Omega$ zapojená germaniová dióda tak, že je polarizovaná v priepustnom smere. Aké napätie odmerá voltmeter na Ge dióde?
2. V obvode so zdrojom jednosmerného napätia $10V$ je v sérii s odporom $R = 1k\Omega$ zapojená germaniová dióda, tak že je polarizovaná v závernom smere. Aké napätie namerá voltmeter na Ge dióde?
3. V obvode so zdrojom jednosmerného napätia $10V$ je v sérii s odporom $R = 1k\Omega$ zapojená kremíková dióda, tak že je polarizovaná v priepustnom smere. Aké napätie namerá voltmeter na Si dióde?
4. Objasnite ako bude pracovať stabilizátor so Zenerovou diódou na obr. 2-13 pri vstupnom napätí $U_1 < U_{ZD}$? Aké bude výstupné napätie U_2 pri $U_1 = 5V$, $U_{ZD} = 10V$, $R_{ZD} = 0,5\Omega$ a $R_1 = 100\Omega$?
5. Objasnite prečo redukuje stabilizátor so Zenerovou diódou veľkosť zvlnenia z výstupu usmerňovača s filtračným kondenzátorom?

SÚHRN

Polovodičová dióda je nelineárny jednobran, ktorého fyzikálne vlastnosti vyplývajú z polovodičového PN prechodu. Vďaka svojej V-A charakteristike má pri

veľkej amplitude signálu dióda vlastnosti ventilu, čo sa využíva v usmerňovačoch, obmedzovačoch a pri stabilizácii napätia. Pri malých amplitúdach signálov, v okolí jednosmerne nastaveného pracovného bodu, možno diódu pokladať za lineárny jednobran, čo sa využíva pri demodulácii a spínaní signálu. Rýchlosť diódy ako spínača závisí okrem kapacity diódy aj od rýchlosti rekombinácie nosičov náboja v oblasti PN prechodu.



Návrat z acrobat readera -  (zatvorením okna)
