

MERANIE VOLT-AMPÉROVÝCH CHARAKTERISTÍK POLOVODIČOVÝCH DIÓD

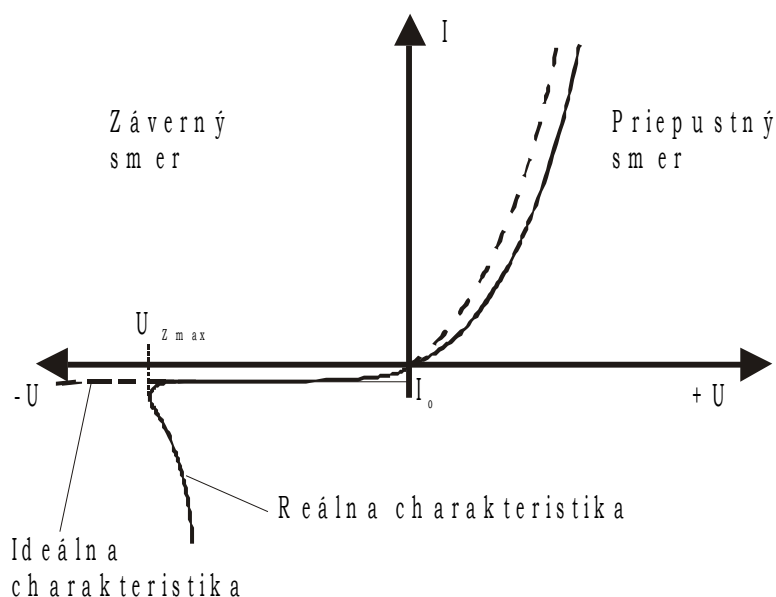
doc. Ing. Július Štelina, CSc.

Teoretický úvod:

Oblasť vo vnútri polovodiča, v ktorej sa mení elektrická vodivosť jedného typu na druhý nazývame P-N priechodom. Typom P nazývame taký polovodičový materiál, v ktorom výrazne prevažujú kladné nosiče náboja (diery). Polovodič typu N je taký, kde výrazne prevažujú záporné nosiče náboja (elektróny). Tiež hovoríme o majoritných nosičoch náboja v polovodiči. Keď k P-N priechodu pripojíme zdroj elektrického napätia tak, že kladný pól zdroja je na oblasti P a záporný na oblasti N, hovoríme o zapojení v priepustnom smere. V opačnom prípade hovoríme o zapojení v smere závernom (nepriepustnom). Súvisí to s experimentálnou skutočnosťou, že v priepustnom smere je odpor takto usporiadaného polovodiča malý, kým v závernom smere je o niekoľko rádov väčší, takže pri danom napätí na P-N prechode v priepustnom smere tečie prúd väčší než v smere závernom. Táto vlastnosť P-N priechodu sa využíva v polovodičových diódach. Podľa spôsobu realizácie P-N priechodu potom hovoríme o diódach hrotových alebo plošných. Prvé z nich slúžia napr. na detekovanie vlnových signálov, kým druhé využívame ako usmerňovače.

Diódy sa môžu vzájomne líšiť veľkosťou tzv. záverného napätia, ktoré u jednotlivých typov môže byť desiatky až stovky volt (u kremíkových diód až napr. 1500 V i viac).

Typická volt-ampérová charakteristika je znázornená na obr. 1. V priepustnom smere pri napätí okolo jedného voltu môže tečť prúd desiatky až stovky miliampér (napr. u germániových diód). V závernom smere je prúd podstatne menší. Pri určitej hodnote napätia sa na charakteristike objaví „koleno“, pri ktorom sa charakteristika obracia, a pri ďalšom zvyšovaní prúdu začína napätie klesať (obr. 1).



Obr.1

Z mikroskopického hľadiska je možné chovanie volt-ampérovej charakteristiky v závernom smere vysvetliť dvoma javmi. Je to Zenerov a lavínový jav. Obidva javy vedú kvzrastu elektrického prúdu v závernom smere. Následkom silného poľa dochádza k vytrhávaniu valenčných elektrónov z väzieb, tieto potom preskakujú do vodivostného pásma. Tým sa zväčší koncentrácia voľných nosičov náboja, a teda aj vodivosť polovodiča (odpor klesne). Táto zmena je relatívne veľká pretože do vodivostného pásma odrazu pri istej kritickej hodnote elektrického poľa preniká veľký počet elektrónov.

Podstatou lavínového javu je nárazová ionizácia neutrálnych atómov, pri ktorej vzniká voľný elektrón a voľná diera. Nárazovú ionizáciu spôsobujú elektróny urýchlené silným elektrickým poľom, pritom nie všetky elektróny súčasne sa jej účastnia. Preto elektrický prúd vzrastá najprv pomaly a až potom dôjde k „prierazu“ ako dôsledok lavínového priebehu ionizácie. Uvedené javy sa využívajú na konštrukciu Zenerových a lavínových diód.

Matematicky môžeme V-A charakteristiku diódy vyjadriť funkciou $I = f(U)$. Je možné ukázať, že po pripojení relatívne malého napätia na diódu v priepustnom aj v závernom smere preteká diódou prúd podľa exponenciálneho zákona

$$I = I_0(e^{\beta U} - 1) . \quad (1)$$

I_0 je konštanta závislá od vlastností polovodiča a od vlastností prírodných kontaktov, $\beta = e/kT$, kde e je náboj elektrónu, k Boltzmannova konštanta a T absolútna teplota polovodiča. U predstavuje napätie na dióde, prakticky je sústredené na P-N prechode.

Pri väčšom napätí vznikajú odchýlky od tohoto zákona (pozri obr. 1) a to jednak vplyvom úbytku napätia na ohmickom odpore polovodičového materiálu, jednak ako následok zvýšenia teploty spôsobenej stratovým výkonom v dióde.

Rovnicu (1) pre závernú časť charakteristiky môžeme vyjadriť v tvare

$$I = -I_0 , \quad (2)$$

pretože ak $-U$ je dostatočne veľké potom platí $e^{-\beta U} \ll 1$. V priepustnom smere pre U dostatočne veľké je $e^{\beta U} \gg 1$, takže bude platiť

$$I = I_0 e^{\beta U} . \quad (3)$$

Keď rovnicu (3) zlogaritmuje dostaneme

$$\ln I = \ln I_0 + \beta U . \quad (4)$$

Táto nám umožňuje z jej grafického znázornenia stanoviť hodnoty β a I_0 .

Metóda merania a postup pri meraní:

Ako sme uviedli vyššie, dióda má v priestupnom smere väčší odpor než v smere závernom, a ak súčasne vezmeme do úvahy to, že vnútorný odpor ampérmetra je oveľa menší než vnútorný odpor voltmetra, pre zmeranie V-A charakteristiky diódy nevystačíme s jedným zapojením (pozri tiež úlohu „Meranie odporu pomocou voltmetra a ampérmetra“). Preto pre zmeranie V-A charakteristiky v priepustnom smere použijeme zapojenie znázornené na obr. 2. Použitý voltmeter musí mať malú vlastnú spotrebu. Pretože prúd v priepustnom smere je relatívne veľký, prúd voltmetra v porovnaní s ním je zanedbateľný.

Pre meranie V-A charakteristiky v závernom smere použijeme zapojenie znázornené na obr.3. V závernom smere je napätie na dióde veľké a úbytok napätia na miliampérmetri je proti nemu zanedbateľný. Za účelom ochrany diódy pred poškodením pri meraní vrcholu (kolena) záverného

Úlohy:

1. Zmerajte a graficky znázorníte V-A charakteristiku daných polovodičových diód.
2. Znázorníte graficky závislosť $\ln I = f(U)$ pre priepustný smer diódy (pozri rovnicu (4)) a z grafu určte konštanty I_0 a β .
3. Stanovte súčiniteľ usmernenia $K = I_p / I_z$ pre každú zmeranú diódu. (I_p , I_z je hodnota prúdu v priepustnom a závernom smere pri tej istej absolútnej hodnote napätia na dióde).

Spracovanie výsledkov:

1. Na milimetrový papier vyneste voltampérovú charakteristiku (pozri obr. 1).
2. Na ďalší graf vyneste závislosť $\ln I = f(U)$ v priepustnom smere. Výhodné je využiť semilogaritmický papier na ktorom táto závislosť daná rovnicou (4) je lineárna.
3. Z grafu podľa bodu 2 určte hodnoty konštant $\ln I_0$, resp. I_0 a konštantu β ako smernicu tejto priamky. Hodnota $\ln I_0$ je úsek na osi $\ln I$ pre napätie $U = 0$.
4. Určte čím je ovplyvnená presnosť merania a odhadnite chyby merania!

Kontrolné otázky:

1. Čo je to polovodičová dióda?
2. Čo rozumieme pod pojmom P-N priechod?
3. Aká je základná vlastnosť P-N priechodu?
4. Čo je to V-A charakteristika polovodičovej diódy?
5. Nakreslite typickú V-A charakteristiku.
6. Stručne zdôvodnite tvar V-A charakteristiky v závernom smere polovodičovej diódy.
7. Napíšte matematické vyjadrenie ideálnej V-A charakteristiky polovodičovej diódy.
8. Nakreslite a zdôvodnite zapojenie pre meranie V-A charakteristiky polovodičovej diódy v priepustnom a závernom smere.
9. Viete nakresliť a zdôvodniť schému zapojenia osciloskopického snímania V-A charakteristiky polovodičovej diódy?

Úloha je prevzatá, doplnená a opravená, zo skript:

Doc. RNDr. Drahoslav Vajda, CSc., Doc. Ing. Július Štelina, CSc., RNDr. Jaroslav Kovár, Ing. Ctibor Musil, CSc., RNDr. Ivan Bellan, Doc. Ing. Igor Jamnický, CSc. „Návody k laboratórnym cvičeniam z fyziky“, vydala Žilinská univerzita vo vydavateľstve EDIS, 2. nezmenené vydanie, rok 2003.