

POKROČILÉ PRAKTIKUM Z ELEKTRONIKY

Návod k úloze č. 1: Tepelná závislost PN přechodu

Zadání úlohy číslo 2

Měření tepelné závislosti VA charakteristiky PN přechodu v propustném i závěrném směru signálové diody a tepelné závislosti průrazného napětí Zenerovy diody pro dvě velikosti proudu (např. 0,1 mA a 5,0 mA).

Rozsah teplot měření od 20°C do 80°C.

Průrazné napětí Zenerových diod: BZX 55C8V2 $U_Z = 2,7 \text{ V}$
BZX 55C2V7 $U_Z = 8,2 \text{ V}$

1. Teorie

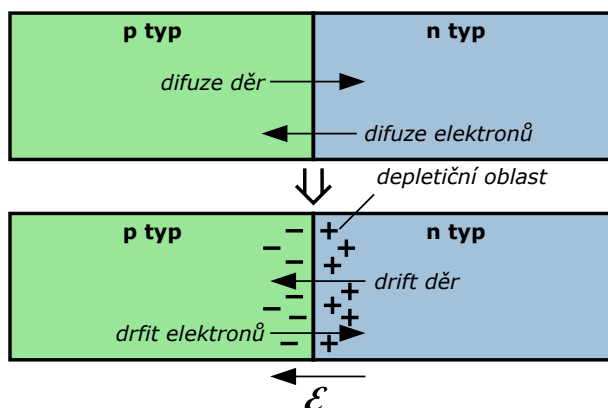
Dioda je nejjednodušší polovodičová součástka, má dva vývody (katoda, anoda). Je tvořena spojením dvou typů polovodičů na mikroskopické úrovni, typem P a typem N. Na rozhraní polovodičů P a N vzniká tzv. PN přechod, který má zásadní význam v elektronice.

1.1. PN přechod – dioda

Polovodiče typu N a typu P se odlišují typem majoritních nosičů volného náboje. Polovodič typu P má vyšší koncentraci děr, polovodič typu N má vyšší koncentraci elektronů. Kvůli gradientu koncentrací začne docházet k difuzi děr do polovodiče N a elektronů do polovodiče P – vznikne difuzní proud (viz obrázek 1).

Kvůli difuzi majoritních nosičů náboje dochází ke vzniku nepohyblivých iontových zbytků, které vytvoří v oblasti přechodu vlastní elektrické pole. Elektrické pole způsobí injektáž minoritních nosičů náboje, děr do typu N a elektronů do typu P – vznikne driftový proud.

Dojde k ustálení do rovnovážného stavu, kdy difuzní a driftový proud je stejně velký. Díry a elektrony v oblasti přechodu rekombinují, a vytváří se tak depletiční zóna – zóna bez volných nosičů náboje.



Obrázek 1: Schématicky znázorněný PN přechod.

1.2. VA charakteristika diody

Mějme jednoduchý obvod se stejnosměrným zdrojem napětí, diodu do něj můžeme zapojit dvěma způsoby. Kladnou větev můžeme zapojit na katodu (polovodič typu N) nebo na anodu (polovodič typu P). V obou případech je ovlivněna šířka depletiční zóny v přechodu.

V případě, že připojíme kladné napětí na anodu, vznikne elektrické pole v opačném směru vlastního el. pole PN přechodu. Dojde k oslabení celkového el. pole v oblasti přechodu, a tedy snížení driftového proudu. Zmenší se depletiční zóna, difuzní proud začne mít hlavní význam a PN přechodem začne téct proud.

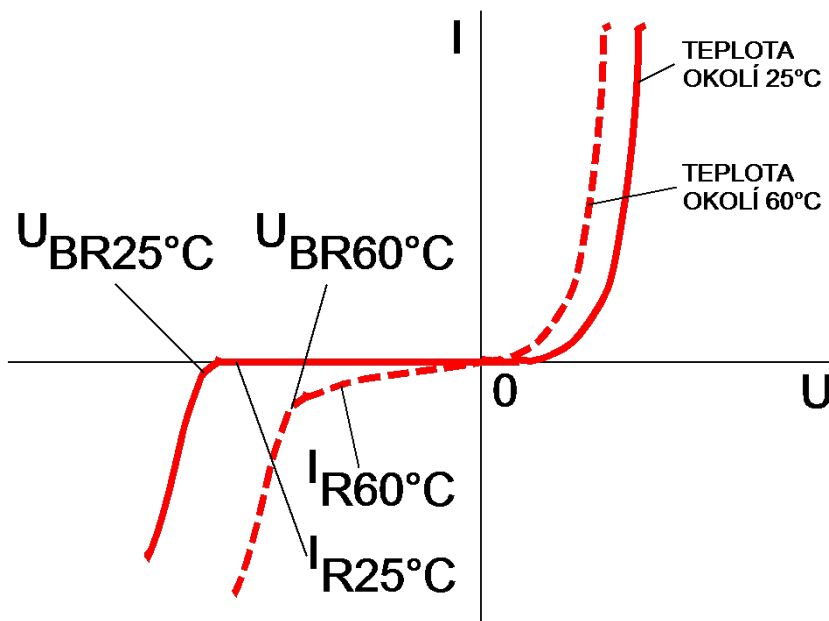
V druhém případě kdy připojíme na anodu záporné napětí, dojde k posílení vlastního el. pole PN přechodu a rozšíření depletiční zóny. PN přechodem prochází jen malý závěrný proud, který je tvořen driftovým proudem.

Závislost proudu na napětí popisuje Shockleyho rovnice pro ideální diodu

$$I = I_0 \left(e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1 \right), \quad U_T = \frac{kT}{e}, \quad (1)$$

ve které I_0 je proud v závěrném směru, U_D přiložené napětí na diodě a U_T je teplotní napětí PN přechodu.

Na obrázku 2 je znázorněna voltampérová charakteristika diody v závislosti na teplotě okolí diody. Maximální proud diodou je dán konstrukcí PN přechodu. Při vysokém propustném proudu dojde k přehřátí diody vedoucí k jejímu zničení. V závěrném směru propouští dioda malý závěrný proud. Závěrný proud prudce vzroste při překonání průrazné napětí, kdy dochází u klasických diod k jejich zničení.

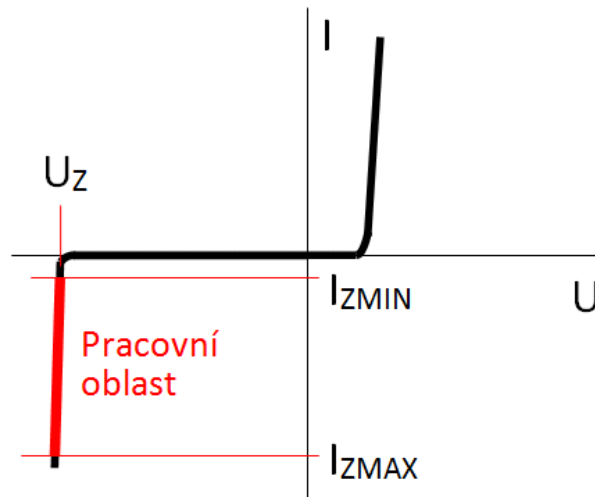


Obrázek 2: VA charakteristika křemíkové diody v závislosti na teplotě okolí.

Teplotní závislost vyplývá z vlastností mikroskopické struktury P a N polovodičů. Přechod elektronů z valenčního do vodivostního pásu je spojen s Fermi-Diracovou statistikou, která je závislá na teplotě. Při zvýšení okolní teploty dochází k častější generaci páru elektron-díra. V diodě se tedy nachází více nosičů náboje, a proto proud roste.

1.3. Zenerova dioda

Zenerova dioda má speciálně konstruovaný PN přechod tak, aby se dala používat v průrazné režimu. Klasické diody po překonání průrazného napětí jsou dále k usměrnění signálu nepoužitelné. Pracovní oblast Zenerovy diody se nachází právě v oblasti průrazu, tento průraz je však vratný. Na následujícím grafu je vidět VA charakteristika Zenerovy diody s vyznačenou pracovní oblastí.



Obrázek 3: Pracovní oblast Zenerovy diody.

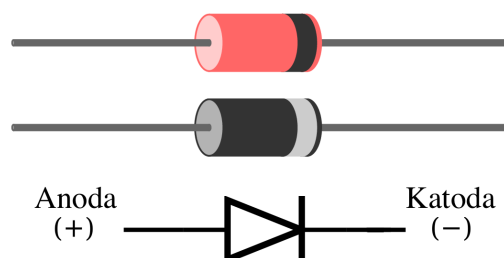
Nejčastěji se Zenerovy diody využívají jako stabilizátory napětí, protože mají dobře definované průrazné napětí (Zenerovo napětí). V obvodu jsou tak tyto diody nejčastěji zapojeny v závěrném směru.

Rozlišujeme dva typy průrazu, lavinový a tunelový. Lavinový průraz je typický kladným teplotním součinitelem. V principu dochází k ionizaci nárazem, kdy jednotlivé nosiče získají dostatečnou energii ke generování dalších párů elektron-díra.

Tunelový průraz je způsoben kvantově mechanickým jevem, kdy nosiče nábojů jsou schopné tunelovat skrz potenciálovou bariéru ve formě depletiční zóny. Tunelový průraz kvůli odlišnému principu má oproti lavinovému průrazu záporný teplotní součinitel.

2. Postup měření

Úkolem je určit tepelné závislosti PN přechodu (tepelnou závislost VA charakteristiky a tepelnou závislost Zenerova napětí). K dispozici máte pole nepájivých spojů, ampérmetr, voltmetr a regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí, sadu rezistorů, sestava tranzistoru s chladičem a několik Zenerových diod.



Obrázek 4: Znázornění diody a umístění katody na diodě.

2.1. Měření tepelné závislosti VA charakteristiky diody

Pro měření VA charakteristiky musíte zároveň určit napětí na součástce a proud, který jí prochází. Obvod zapojte podle schématu 1, zapojení slouží k měření v závěrném a propustném směru. Zdroj napětí je nastavitelný a rezistor R je dělič napětí.

Při měření využijete místo standardní diody tranzistor, který má spojenou bázi a kolektor. Tranzistor je pevně umístěn na chladiči, který v tomto případě slouží jako termostat.

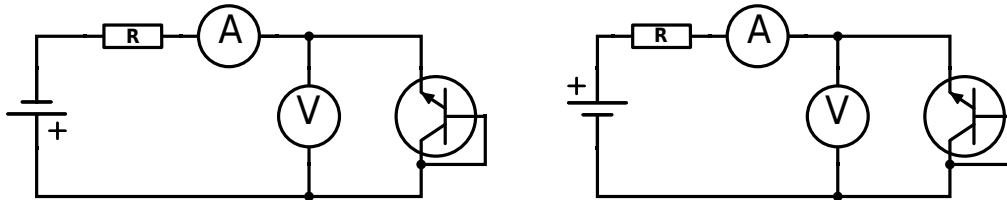


Schéma 1: Měření VA charakteristiky v propustném (vlevo) a závěrném směru PN přechodu.

Nejprve změřte okolní teplotu tranzistoru kontaktním termočlánkem a určete VA charakteristiku pro pokojovou teplotu. Následně umístěte sestavu tranzistoru a termostatu na ohříváč a zapněte ohřívání. Nezapomeňte měřit teplotu na tranzistoru. Určete tepelnou závislost napětí na PN přechodu při konstantním proudu. Po zahřátí na cca 80°C znovu změřte VA charakteristiku.

2.2. Měření tepelné závislosti průrazného napětí Zenerovy diody

K dispozici máte několik Zenerových diod, u kterých máte určit chování Zenerova napětí při zvýšení teploty. Zenerovu diodu zapojte do obvodu v závěrném směru.

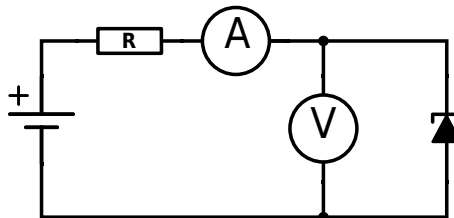


Schéma 2: Měření tepelné závislosti průrazné napětí Zenerovy diody.

Za pokojové teploty určete Zenerovo napětí a následně umístěte diodu do termostatu. Ohřejte její opět na cca 80°C a určete U_Z . Z měření určete o jaký typ Zenerovy diody se jedná a porovnejte zpracovaná s údaji v katalogovém listu.

2.2.1 Výřez z katalogového listu pro použité Zenerovy diody

Typ	U_{znom} [V]	I_{zT} [mA]	U_{zT} [V]	TK_{vz} [%/K]
BZX 55/C 2V7	2.7	5	2,5 – 2,9	-0,09 – -0,06
BZX 55/C 8V2	8.2	5	7,7 – 8,7	0,03 – 0,08

U_{znom} nominální Zenerovo napětí

U_{zT} rozsah Zenerova napětí při testovacím proudu I_{zT}

TK_{vz} teplotní koeficient v procentech U_{znom}