

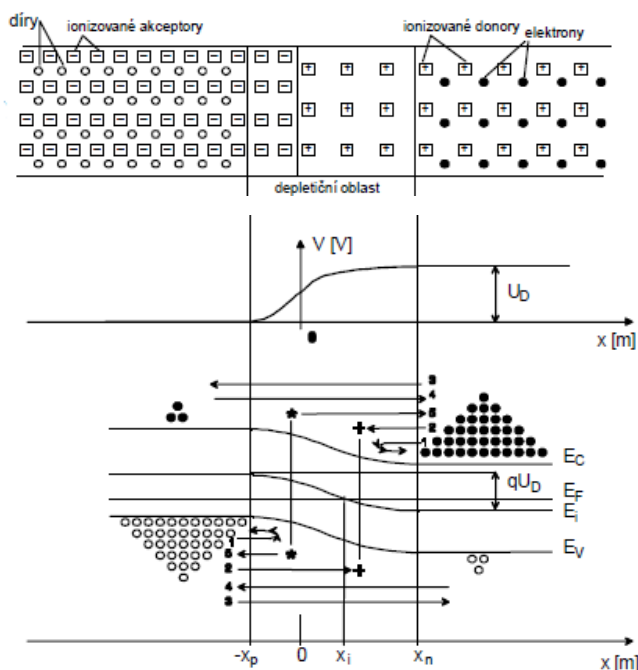
## Pokročilé praktikum z elektroniky

### Úloha 1. : Tepelná závislost PN přechodu

#### Teorie

Dioda je polovodičová součástka obsahující zpravidla jeden PN přechod, tedy přechod mezi oblastmi typu P, kde jsou majoritními nositeli náboje díry, a typu N, kde jsou většinovými nositeli elektrony. V místě tohoto přechodu tak nastává prudká změna v koncentraci volných nosičů. Z tohoto důvodu díry z oblasti typu P difundují do oblasti typu N. V opačném směru probíhá difuze elektronů. Díry pak v oblasti typu N rekombinují s majoritními nositeli náboje, elektrony, stejně tak elektrony v oblasti typu P rekombinují s děrami. Z tohoto důvodu je v oblasti přechodu koncentrace nosičů výrazně nižší, proto se tato vrstva nazývá ochuzenou, depleční.

Vlivem difuze za sebou zanechávají volné nosiče záporný, respektive kladný prostorový náboj. Následkem tohoto vnitřního elektrického pole vzniká v oblasti přechodu rozdíl potenciálu, takzvané difúzní napětí  $U_D$ . Takto vytvořené elektrostatické pole zabraňuje další difuzi volných většinových nosičů a umožňuje přechod menšinových nosičů až do vyrovnání difuzních a driftových sil a nastolení rovnovážného stavu. Po připojení vnějšího napětí dochází k narušení tohoto stavu související se změnou šířky PN přechodu a tedy potenciálové bariéry a nastolení nového rovnovážného stavu. Je třeba si uvědomit, že proud majoritních nosičů na rozdíl od proudu minoritních nosičů nezávisí na výšce potenciálové bariéry.



Obr.1: Schematické znázornění PN přechodu, průběhu potenciálu a pásového diagramu [1].

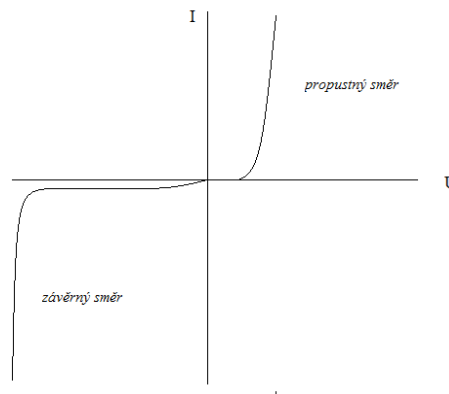
Hlavní praktickou vlastností diody je její usměrňovací schopnost vyplývající ze závislosti potenciálové bariéry na polaritě a velikosti přiloženého napětí. Pokud je dioda zapojena v závěrném směru, protéká jí do průrazu pouze nepatrný proud. Toho chování je dáno tím, že připojením oblasti typu P, anody, na záporné napětí a oblasti typu N, katody, na kladné napětí dochází ke zvýšení potenciální bariéry rozšířením depletiční oblasti. Přes PN přechod tak prochází pouze minimální proud tvořen minoritními nositeli náboje. V případě zapojení v propustném směru, tedy anody na kladné napětí a katody na záporné napětí, naopak dochází ke snížení potenciální bariéry v důsledku zúžení ochuzené oblasti. Hodnota prahového napětí závisí na šířce zakázaného pásu daného polovodiče. Pro křemík se tato hodnota pohybuje okolo hodnoty 0,7 V. Po překročení tohoto napětí je pak šířka depletiční vrstvy prakticky nulová (obr. 2, 3)

Voltampérovou charakteristiku ideální diody teoreticky popisuje Schockleyho vztah

$$I = qAn_i^2 \exp\left(\frac{D_n}{N_A L_n} + \frac{D_p}{N_D L_p}\right) \left[ \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right] = I_s \left[ \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

kde  $I$  představuje proud tekoucí diodou,  $q$  elementární náboj,  $A$  plochu přechodu,  $n_i$  intrinzičnou koncentraci,  $D_n$  a  $D_p$  difúzní koeficienty,  $L_n$  a  $L_p$  difúzní délku minoritních nosičů,  $N_A$  a  $N_D$  koncentraci příměsí,  $I_s$  saturační proud,  $k$  Boltzmannovu konstantu,  $U$  přiložené napětí a  $T$  teplotu. Lze pozorovat, že významný proud začne diodou procházet při překročení tak zvaného prahového napětí.

Charakteristickou vlastností diod je tepelná závislost PN přechodu. V závěrné části voltampérové charakteristiky tak pozorujeme zpravidla dvojnásobný závěrný proud při každém ohřátí o 10°C, v propustné části voltampérové charakteristiky pak posun prahového napětí k nižším hodnotám, a to zhruba o 2-3mV/°C.



**Obrázek 2:** Voltampérová charakteristika diody.



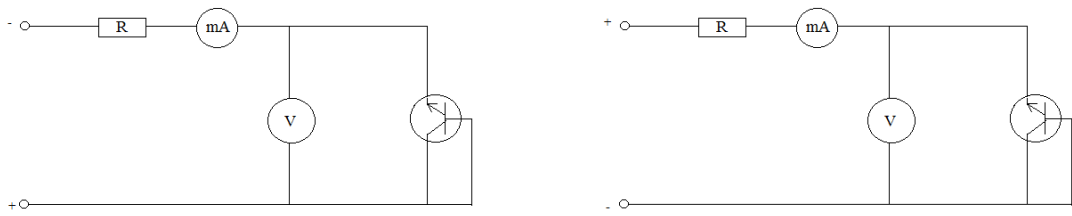
**Obrázek 3:** Zapojení diody v propustném směru (vlevo) a závěrném směru (vpravo).

# Úkol 1

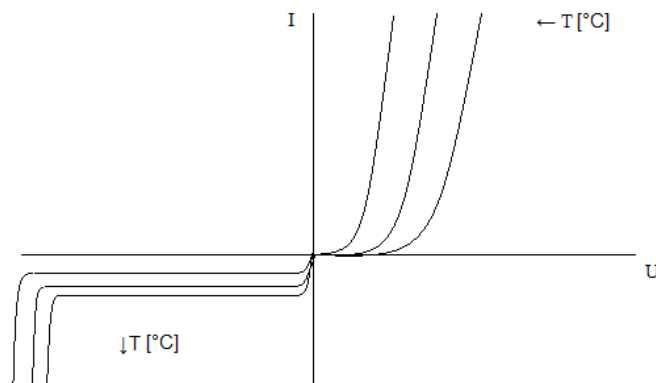
## Tepelná závislost PN přechodu tranzistoru

Tranzistor zapojte do obvodu v propustném směru jako diodu, a to spojením báze a kolektoru (obr. 4), a proměřte jeho voltampérovou charakteristiku při pokojové teplotě. Následně tranzistor položte na rozehřátou plotýnku a sledujte vývoj napětí PN přechodu na teplotě měřené kontaktním teploměrem, a to do hodnoty 80°C. Nakonec proměřte voltampérovou charakteristiku zahřátého tranzistoru. Měření provedte i pro závěrný směr.

Voltampérovou charakteristiku pro pokojovou teplotu a teplotu 80 °C vynesete do grafu a srovnáte s očekávaným výsledkem (obr. 5). Dále sestrojíte graf závislosti napětí na teplotě a ze směrnice určete koeficient posunu prahového napětí při ohřátí o 1 °C.



**Obrázek 4:** Zapojení tranzistoru v propustném (vlevo) a závěrném (vpravo) směru.



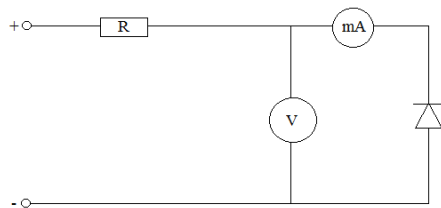
**Obrázek 5:** Tepelná závislost PN přechodu.

## Úkol 2

### Tepelná závislost PN přechodu Zenerových diod

Zenerovy diody se v praxi používají ke stabilizaci, neboť voltampérová charakteristika vykazuje v závěrném směru ostrý zlom při překročení Zenerova napětí  $U_z$ , přičemž tento nedestruktivní průraz je způsoben dvěma jevy, a to Zenerovým (tunelovým) průrazem při napětí do 6 V a lavinovitým průrazem při napětí nad 6 V. Z hlediska stabilizace se oba mechanismy projevují stejně, rozdíl je však v teplotní závislosti napětí. V případě Zenerova průrazu napětí při zvyšující se teplotě klesá, u lavinovitého průrazu naopak roste. Pro hodnotu napětí okolo 6 V se pak projevují oba typy průrazu zároveň a navzájem se kompenzují, nedochází tak k posunu napětí a voltampérová charakteristika je teplotě nezávislá.

Zenerovy diody BZX 55C8V2 a BZX 55C2V7 zapojte do obvodu (obr. 6) a sledujte hodnotu napětí pro pokojovou teplotu a teplotu 80°C. Na základě získaných výsledků určete, k jakému typu průrazu u konkrétního typu dochází, a koeficient změny napětí při zahřátí o 1°C. Získaný výsledek srovnajte s hodnotami uvedenými v katalogovém listu (obr. 7).



Obrázek 6: Zapojení Zenerovy diody.

Type	Zener Voltage Range <sup>1)</sup>			Dynamic Resistance			Reverse Leakage Current			Temp. coefficient of Zener Voltage
	$V_{znom}$ V	$I_{zT}$ mA	for $V_{zT}$ <sup>2)</sup> V	$r_{zIT}$ $\Omega$	$r_{zIK}$ $\Omega$	at $I_{zK}$ mA	$T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$ $\mu\text{A}$	$T_a = 125\text{ }^\circ\text{C}$ $\mu\text{A}$	$I_R$ at $V_R$ V	$TK_{Vz}$ %/K
BZX 55/C 2V7	2.7	5	2.5...2.9	<85	<600	1	<10	<50	1	-0.09...-0.06
BZX 55/C 8V2	8.2	5	7.7...8.7	<7	<50	1	<0.1	<2	6.2	0.03...0.08

Obrázek 7: Výřez z katalogového listu pro Zenerovy diody BZX 55C8V2 a BZX 55C2V7.

[1] J. Brzobohatý, V. Musil, A. Bajer, J. Boušek, *Elektronické součástky*, VUT Brno, 2002.

[2] J. Doleček, *Moderní učebnice elektroniky 2: Polovodičové prvky a elektronky*.