

13. ročník, úloha III. S ... diodová charakteristika (5 bodů; průměr ?; řešilo 17 studentů)

Uvažujme reálnou křemíkovou diodu s přechodovým napětím 0,6 V při pokojové teplotě (fyzici pro jednoduchost považují za pokojovou teplotu 300 K, oproti normální 20 °C = 293 K, protože se s tím lépe počítá a lépe se to pamatuje). Pokuste se z uvedených rovnic (i v minulých dílech seriálu) odhadnout, jak se bude dioda chovat při zvýšení teploty o 10 K, 20 K a 40 K. Není třeba do puntíku počítat, co se přesně stane, jde pouze o kvalitativní odhady. Ti, kdo mají možnost, mohou odhady ověřit měřením — k měření voltampérové charakteristiky je třeba pouze dioda, ochranný odpor (nikdy nezapojujte diodu v propustném směru přímo na napětí!), zdroj napětí, voltmetr a ampérmetr. Odhady by měly být pro přehlednost aspoň schematicky nakreslené v nějakém grafu. Zaměřte se zejména na velikost závěrného proudu a polohu kolena v propustném směru.

Nejprve je třeba si uvědomit, že charakteristiku musíme rozdělit na část, kde platí diodová rovnice (nebo platí přibližně pro reálnou diodu), a na část, kde se charakteristika od předpovědi diodové rovnice zásadně liší díky vlivu, který jsme nezapočetali. Snadno zjistíme, že diodová rovnice dává správnou předpověď mimo průraz diody, tedy pro napětí větší než je Zenerovo. Proto musíme vyšetřovat odděleně charakteristiku pro $U > U_Z$ a pro okolí průrazu.

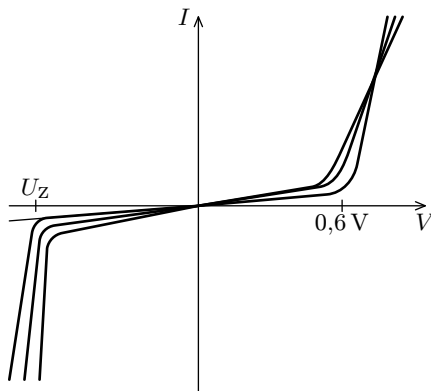
V oblasti nad Zenerovým napětím platí pro ideální diodu diodová rovnice. Neideální dioda má ještě navíc přidáný odpor sériově s ideální diodou. To znamená, že změna teploty může mít vliv na velikost odporu a na vlastnosti ideální diody. Zabývejme se nejdříve odporem — ten je ekvivalentní vnitřnímu odporu polovodičových vrstev v diodě. Vrstvy nejsou čisté polovodiče, mají donorové a akceptorové příměsi, proto se budou chovat podle grafu v druhém dílu seriálu. Protože nevíme nic konkrétního o příměsi, nemůžeme jednoznačně říci, jestli se zvýšením teploty se odpor polovodiče zvětší nebo naopak. Navíc v diodě jsou dvě vrstvy s odlišnou příměsí, takže celkový vliv je kombinací jednotlivých změn odporu. Rozumné je předpokládat, že příměsi jsou při pracovní teplotě ionizovány z velké části, takže změna odporu polovodičové vrstvy nebude se změnou teploty nijak drastická — pouze nevíme, jaké bude znaménko této změny.

Zabývejme se ideální diodou. V diodové rovnici vystupují dva členy, které by se mohly měnit v závislosti na teplotě. Jednak je to vlastní termodynamická teplota T , ta se mění určitě, a pak zbytkový proud I_0 . Ponechme prozatím zbytkový proud beze změny a zabývejme se vlivem explicitního dosazení teploty. Snadno ověříte, že způsobuje pouze lineární transformaci napěťové osy, tzn. při zvýšení teploty se charakteristika pouze „roztáhne“. Tím se posouvá koleno v propustném směru k vyšším napětím a snižuje se závěrný proud. A změny zbytkového proudu? V prvním dílu byl uveden vztah pro vodivost (uvažujeme jej pouze pro elektrony) $\sigma_e = en_e\mu_e = 1/\rho_e$, kde ρ_e je měrný odpor vzhledem k elektronům. Velikost zbytkového proudu bude jistě úměrná pohyblivosti a koncentraci nosičů, takže bude úměrný vodivosti. Změna zbytkového proudu je tedy opačná než změna odporu polovodiče a nevíme, jakým směrem se změní. Vliv zbytkového proudu je ten, že při zvýšení proudu se charakteristika roztáhne, tentokrát v proudové ose.

Stanovit posuv Zenerova napětí není jednoduché, protože neznáme všechny jevy spojené s průrazem. Uvolnění elektronů do vodivostního pásu můžeme vytvořením odlišného prostoro-
vého náboje v oblasti přechodu Zenerovo napětí ovlivnit. Převládat bude zřejmě tepelná excitace elektronů do vyšších energetických hladin, což způsobí, že část elektronů s vysokou energií přejde v závěrném směru snadněji. Pokud bude počet takových elektronů velký, tzn. zvýší se dostatečně teplota, mohou způsobit např. lavinový průraz již při nižším napětí, než

je Zenerovo napětí při teplotě 300 K. Výsledkem je posuv kolena v závěrném směru směrem k nižším napětím v absolutní hodnotě.

Jevy účastníci se na změně charakteristiky v propustném směru se míchají s různou vahou pro různé typy diod, proto není snadné určit, jak se obecně mohou diody chovat. Z hlediska užití v elektronice je vhodné konstruovat součástky, které se chovají „rozumně“, tzn. převažuje jeden typ deformace charakteristiky. Charakteristika obecné diody může vypadat i podle obrázku 1.



Obr. 1. Charakteristika obecné diody

Tomáš Ostatnický