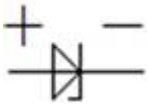
## Zenerova (stabilizační) dioda

Zenerova dioda, jejíž schéma je zobrazeno na obr. 91, se používá v elektrických obvodech ke stabilizaci napětí. Princip činnosti Zenerovy diody je založen na **Zenerově průrazu** přechodu PN, který nastává při zapojení diody do obvodu v závěrném směru.

Zenerova dioda tedy vede elektrický proud při zapojení, při kterém se „normální“ dioda ( usměrňující dioda) ničí.



Obr. 91

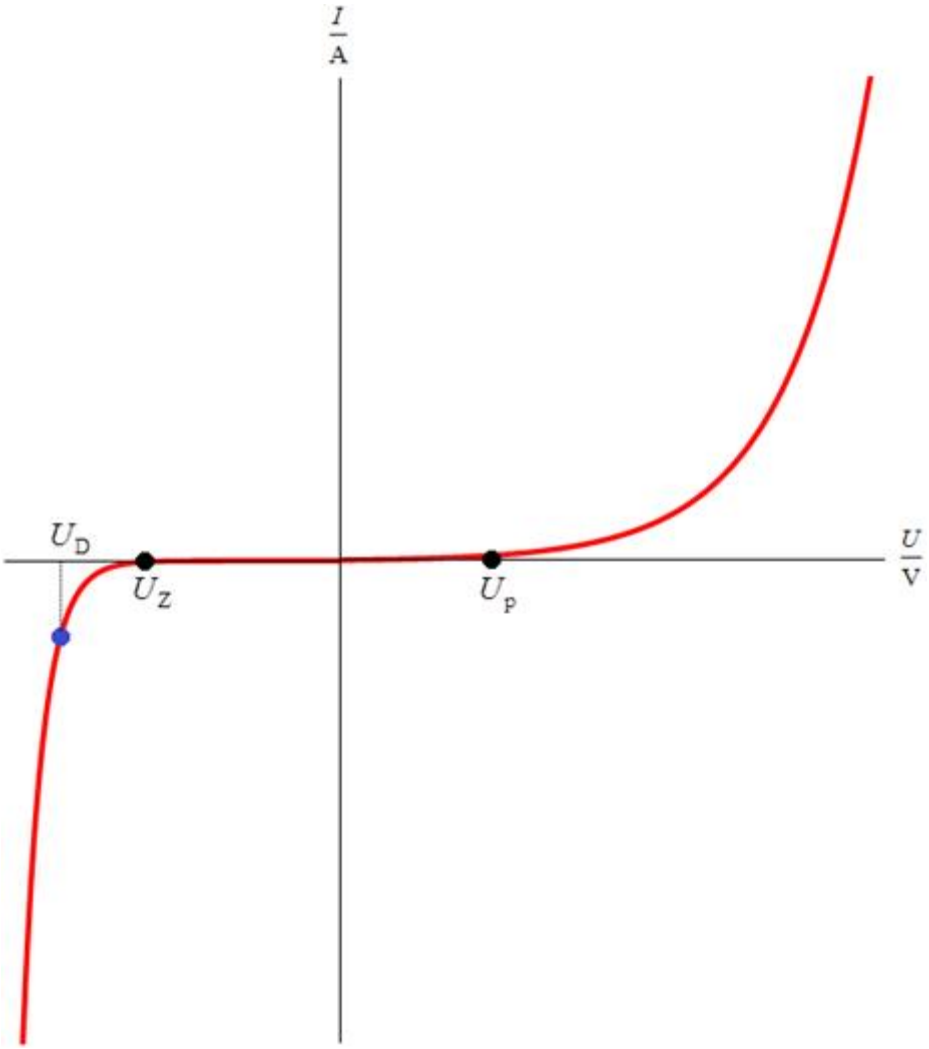
Přechod PN je oblast, ve které nejsou žádné volné vodivostní částice; jeho odpor je tedy velmi velký. Na přechodu proto vzniká elektrostatické pole, jehož elektrická intenzita má při zapojení přechodu PN v závěrném směru velkou velikost (řádově $500\,\mathrm{kV\cdot m^{-1}}$). V důsledku toho vzniká elektrostatická síla působící na elektrony v krystalu polovodiče a její velikost je dostatečná na vytržení elektronů z vazeb v těchto krystalech. Vytržené elektrony se pohybují prostorem přechodu PN a tím se prudce zvyšuje jeho vodivost (tj. klesá jeho elektrický odpor o několik řádů na hodnotu několika ohmů). Proto přechodem PN začíná procházet elektrický proud při zapojení v závěrném směru při téměř konstantním napětí. Napětí, při kterém tento jev nastává, se nazývá **Zenerovo napětí**.

Fakt, že při zapojení v závěrném směru roste elektrický proud při téměř konstantním napětí, je zobrazen i ve voltampérové charakteristice Zenerovy diody (viz obr. 92): křivka popisující zapojení v závěrném směru (levá část grafu) je téměř kolmá k ose napětí. Tj. napětí se skoro nemění, ale elektrický proud ano.

Velikost elektrické intenzity elektrostatického pole na přechodu PN je nepřímo úměrná šířce přechodu PN. Proto je právě popsaný Zenerův průraz typický pro velmi úzké přechody PN (řádově do šířky $1\,\mu\mathrm{m}$ ) a pro napětí do 3 V. Při zvětšování šířky přechodu PN roste i Zenerovo napětí. V důsledku většího napětí získají uvolněné elektrony vyšší energii, kterou si nesou ve formě kinetické energie. Narazí-li takový elektron (s velkou kinetickou energií) na jiný elektron, který je dosud vázán v krystalové mříži materiálu polovodiče, může se tento dosud vázaný elektron uvolnit. Tímto způsobem uvolněné elektrony mohou na základě své velké kinetické energie uvolňovat další elektrony. Tak nastává další typ průrazu přechodu PN: lavinový průraz. Ten je typický pro vyšší napětí (od 6 V).

Z hlediska stabilizace se oba popsané průrazy projevují stejně. Rozdíl je pouze v teplotní závislosti Zenerova napětí. V případě Zenerova průrazu napětí při zvýšení teploty klesá, zatímco u lavinového průrazu napětí při zvýšení teploty roste. Při napětí přibližně 6 V se teplotní závislosti navzájem kompenzují, a proto je stabilizace Zenerovou diodou při napětí 6 V téměř nezávislá na teplotě.

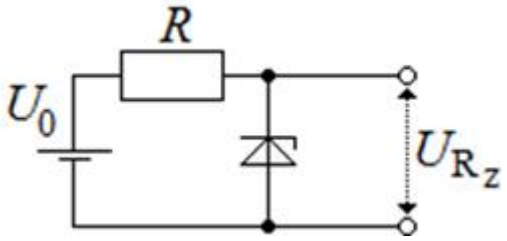
Voltampérová charakteristika Zenerovy diody v propustném směru je podobná jako u usměrňující diody (viz obr. 95). Dioda je vyrobena tak, aby mohla v závěrném směru pracovat i po překročení průrazného napětí $U_z$, které se nazývá **Zenerovo napětí**.




Obr. 92

Schéma nejjednoduššího stabilizačního obvodu je zobrazeno na obr. 93. Zenerova dioda je připojena v závěrném směru přes rezistor o odporu *R* ke zdroji napětí $U_0$. Označíme-li elektrický proud procházející diodou symbolem $I_D$, můžeme psát podle Ohmova zákona: $U_0 = R \cdot I_D + U_D$, kde $U_D$ je napětí měřené na Zenerově diodě.

V případě zapojení, kdy na výstupu stabilizačního obvodu není připojena žádná zátěž (tj. elektrický odpor mezi výstupními svorkami obvodu je velmi velký), je napětí na diodě stejné jako napětí na výstupu stabilizačního obvodu.




Obr. 93

V obvodu, jehož schéma je na obr. 93, je vstupní napětí $U_0$ regulováno tak, aby výstupní napětí $U_Z$ (v tomto případě stejné jako napětí $U_D$ na diodě) bylo stabilní. Průrazné napětí (v tomto případě Zenerovo napětí) diody je stabilní i přes relativně velký rozsah elektrického proudu a udržuje tedy

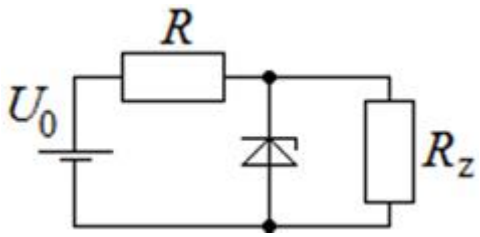
výstupní napětí $U_{R_Z}$ na relativně konstantní hodnotě. A to i přes to, že vstupní napětí se může značně měnit. Kvůli nízké impedanci diody v tomto zapojení je nutné použít rezistor o odporu *R* ke snížení hodnoty elektrického proudu procházejícího diodou.

Odpor *R* zapojeného rezistoru přitom musí mít vhodnou hodnotu. Musí být dostatečně malý, aby umožňoval činnost diody v závěrném směru, tj. aby diodou zapojenou v závěrném směru procházel dostatečně velký proud. Hodnota tohoto proudu závisí na typu použité Zenerovy diody; typické hodnoty jsou mikroampéry až miliampéry. Současně musí být hodnota odporu *R* dostatečně velká, aby nebyla Zenerova dioda zničena průchodem velkého proudu.

Má-li Zenerova dioda skutečně stabilizovat napětí, musíme se ve voltampérové charakteristice pohybovat v její levé části tam, kde je graf téměř kolmý k ose napětí. Zmenší-li se hodnota proudu tak, že se v grafu dostaneme na téměř vodorovnou část charakteristiky, Zenerova dioda stabilizovat nebude.

Obvod zapojený podle schématu na obr. 93 nemá z praktického hlediska smysl. V praxi se uplatňuje obvod sestavený podle schématu na obr. 94, ve kterém rezistor o odporu $R_Z$ představuje většinou proměnnou zátěž (spotřebič). Podle prvního Kirchhoffova zákona pro elektrický proud $I_R$ procházející rezistorem o odporu *R*, elektrický proud $I_D$ procházející diodou a elektrický proud $I_Z$ procházející zátěží o odporu $R_Z$ platí $I_R = I_D + I_Z$. Vzhledem k tomu, že napětí $U_0$ je téměř konstantní, je téměř konstantní i hodnota elektrického proudu $I_R$. Změnou odporu $R_Z$ zátěže se mění hodnota elektrického proudu $I_Z$, a tedy se mění i hodnota elektrického proudu $I_D$. Aby Zenerova dioda fungovala jako stabilizátor elektrického napětí, musí se hodnota elektrického proudu $I_D$ měnit v určitých mezích (daných výrobcem diody). Pokud by byla hodnota elektrického proudu $I_D$ příliš vysoká, poškodí se dioda a přestane fungovat. Bude-li hodnota elektrického proudu $I_D$ příliš nízká, nebude dioda stabilizovat, tj. nebude na ní při různých hodnotách elektrického proudu téměř konstantní napětí.

To znamená, že hodnota elektrického proudu $I_D$ musí být taková, aby bod o souřadnicích $[U_D; I_D]$ ležel v grafu voltampérové charakteristiky diody v její téměř svislé části (tj. pro $U_D < U_Z$ resp. $|U_D| > |U_Z|$, kde $U_Z$ je Zenerovo napětí).




Obr. 94

Situací, v níž se může dobře nastavená Zenerova dioda použít, je předvánoční domácnost: maminka vaří, smaží a peče (střídavě zapíná a vypíná elektrický sporák, mění stupeň zapnutí daného vařiče sporáku, ...), tatínek střídavě rozsvěcí a zhasíná žárovičky na vánočním osvětlení, aby toto osvětlení dobře umístil do oken či na vánoční stromek, dcera se dívá na televizi a syn pracuje na počítači. Při střídavém zapínání a vypínání sporáku resp. vánočního osvětlení nesmí výrazně poklesnout ani vzrůst hodnota elektrického napětí na ostatních zapnutých spotřebičích (televizor, počítač). A těmto změnám napětí zabrání právě Zenerova dioda. Změnou odporu $R_Z$ (sporák, žárovičky, televizor, počítač) se změní hodnota proudu $I_Z$ a tedy i hodnota proudu $I_D$, ale napětí $U_D$ zůstane téměř konstantní. Proto zůstane téměř konstantní i napětí $U_{R_Z}$.

V uvedeném případě se ve skutečnosti používá jiný způsob stabilizace napětí, nicméně pro ilustraci konkrétního příkladu z praxe je postačující.

---

**© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička**
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.