

III. ZENEROVA DIODA A STABILIZÁTORY NAPĚTÍ

Zenerovy diody se vyrábějí z křemíku tak, aby měly v závěrném směru dobře definované průrazné napětí a zlom charakteristiky ostrý. V propustném směru se průběh charakteristiky neliší od charakteristik běžných diod používaných např. v usměrňovačích. Zenerových diod se používá k omezování a stabilizaci napětí.

Důležitým parametrem je diferenciální odpor diody v oblasti průrazu

$$R_d = \frac{\Delta U_d}{\Delta I_d} \quad (3.1)$$

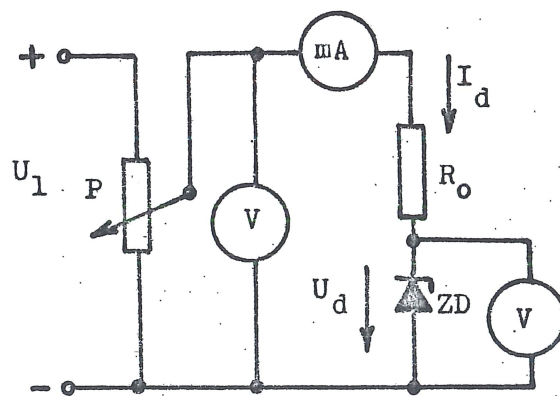
Čím má R_d menší hodnotu, tím je dioda vhodnější pro stabilizaci napětí. Jiným důležitým parametrem diody je relativní teplotní součinitel změny napětí - s_Z , daný vztahem

$$s_Z = \frac{1}{U_Z} \cdot \frac{\Delta U_Z}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Teplotní koeficient bývá řádu 10^{-4} a je pro $U_Z < 5$ V záporný, pro $U_Z > 5$ V kladný.

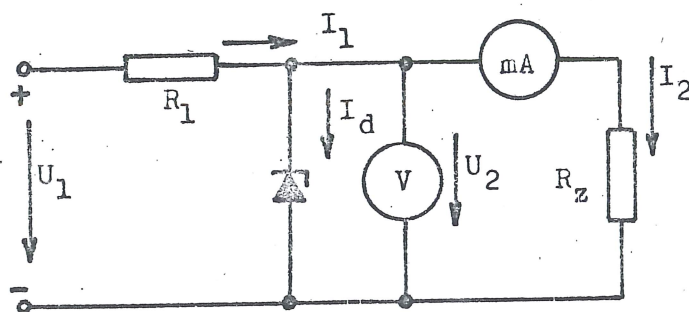
Charakteristika Zenerovy diody

Charakteristiku Zenerovy diody měříme v zapojení podle obr. 10. Napájecí napětí U_1 volíme podle druhu diody, v praxi používáme 17 V. Místo pevného zdroje s potenciometrem lze použít přímo zdroj proměnného napětí. Odpor R_0 je ochranný a zamezuje prudkému nárůstu proudu po překročení průrazného napětí. Aby nedošlo ke zničení diody nesmí proud přesáhnout jistou mez doporučenou výrobcem.



Obr. 10

Zapojení Zenerovy diody v jednoduchém stabilizátoru napětí je na obr. 11.



Obr. 11

V obrázku jsou zakresleny i přístroje pro kontrolu výstupního napětí stabilizátoru a proudu zatěžovacím odporem R_Z .

Charakteristickou veličinou pro stabilizátor je činitel stabilizace S definovaný poměrem

$$S = \frac{\frac{\Delta U_1}{U_1}}{\frac{\Delta U_2}{U_2}} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \cdot \frac{U_2}{U_1} \quad (3.3)$$

Poměr změn napětí $\Delta U_1/\Delta U_2$ je možno vyjádřit z poměru velikosti odporu diody R_d a R_1 , takže pro činitel stabilizace S platí přibližně

$$S = \frac{U_Z}{U_1} \cdot \frac{R_1 + R_d}{R_d} \approx \frac{U_2 \cdot R_1}{U_1 \cdot R_d}, \quad (3.4)$$

přičemž $R_1 \gg R_d$ a $U_Z \approx U_2$.

K dosažení velké hodnoty činitele stabilizace je tedy výhodné volit hodnotu odporu R_1 co nejvyšší. To je nutné opět vyvážit volbou dostatečně vysokého napětí na vstupu U_1 .

Při výpočtu hodnot odporů R_1 a R_Z je nutné vycházet z těchto podmínek. Pracuje-li stabilizátor bez zatížení, $R_Z \rightarrow \infty$ a mění-li se vstupní napětí od $U_{1\min}$ do $U_{1\max}$, smí mít odpor R_1 hodnotu nejvýše

$$R_1 \leq \frac{U_{1\min} - U_2}{I_{oz}} \quad (3.5)$$

kde I_{oz} značí závěrný proud diodou v začátku strmé části charakteristiky. Zároveň nesmíme ani při nejvyšším napájecím napětí překročit dovolený ztrátový výkon diody P_{\max} , takže

$$P_{\max} \geq U_2 \cdot \frac{U_{1\max} - U_2}{R_1}, \quad (3.6)$$

z této nerovnosti plyne druhé omezení pro velikost R_1 . Bude-li mít zatěžovací odpor R_Z stálou hodnotu potom pro velikost odporu R_1 můžeme použít vztahů

$$\frac{(U_{1\max} - U_Z)U_Z}{P_{\max} + U_Z I_2} \leq R_1 \leq \frac{U_{1\min} - U_Z}{I_2 + I_{oz}}, \quad (3.7)$$

kde I_2 je proud tekoucí zátěží, tedy U_Z/R_Z . Při proměnné zátěži musíme počítat s maximální a minimální hodnotou proudu I_2 . Proud diodou nesmí klesnout pod hodnotu I_{oz} a nesmí ani překročit takovou hodnotu, při které by došlo k přetížení diody. Společný proud diodou a zátěží určuje velikost napětí U_1 a naopak.

Stabilizační účinek diody měříme v zapojení podle obr. 11. Velikost odporu R_1 bude zadána. Vstupní napětí měníme v mezích od zadané maximální hodnoty k nižším a to dokud obvod stabilizuje.

Úkoly:

1. Změřte závěrnou charakteristiku Zenerovy diody. Z grafu $I_d = f(U_d)$ stanovte hodnotu Zenerova napětí a odpor R_d .
2. Změřte závislost výstupního napětí na napětí vstupním pro pevné hodnoty odporů R_1 a R_z . Měřte pro několik hodnot R_z .
3. Pro pevnou hodnotu vstupního napětí a odporu R_1 změřte závislost výstupního napětí na proudu zátěží. Určete vnitřní odpor zdroje a činitel stabilizace S a to jak z výsledků měření tak i výpočtem podle vztahu (3.4).

Stabilizátor s tranzistorem a Zenerovou diodou

Stabilizátory se samotnou Zenerovou diodou nemohou dodávat do zátěže velké proudy. Rovněž jejich provoz je nevhodný. Proto se často používá složitějších zapojení Zenerových diod a tranzistorů, které odstraňují uvedené nevýhody. Nejjednodušší zapojení podobného stabilizátoru je na obr. 12. Výstupní napětí je zde velmi přibližně rovno

$$U_2 = U_Z - U_{be}$$

Při stálém odběru proudu je napětí U_{be} stálé, stabilizované napětí je tedy poněkud nižší než napětí U_Z .

Zařízení bude pracovat potud, pokud Zenerovou diodou poteče alespoň minimální proud, pro který je pracovní bod za zlomem charakteristiky. Napětí báze je pak udržováno na téměř stálé hodnotě napětí závislé na proudu diodou.

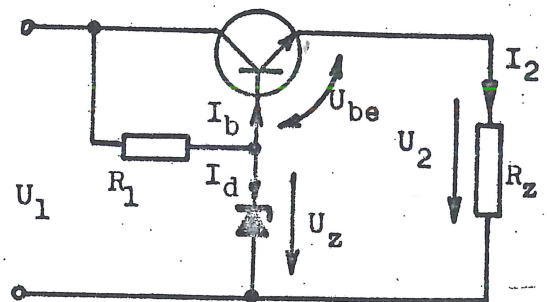
Maximální proud zátěží, který stabilizátor může dodávat, závisí na použitém tranzistoru

$$I_{2max} = I_{bmax} \cdot \beta$$

kde β je proudový zesilovací činitel tranzistoru při zapojení se společným emitorem (h_{21e}) a proud $I_{2max} < I_{emax}$, tedy výstupní proud musí být menší než maximální dovolený proud emitorem. I_{bmax} představuje maximální proud, který může dodat stabilizátor se samotnou Zenerovou diodou a je

$$I_{bmax} = I_{dmax} - I_{dmin}$$

Stabilizátor s tranzistorem může dodávat do zátěže h_{21e} -krát větší proud než jednoduchý stabilizátor podle obr. 11.



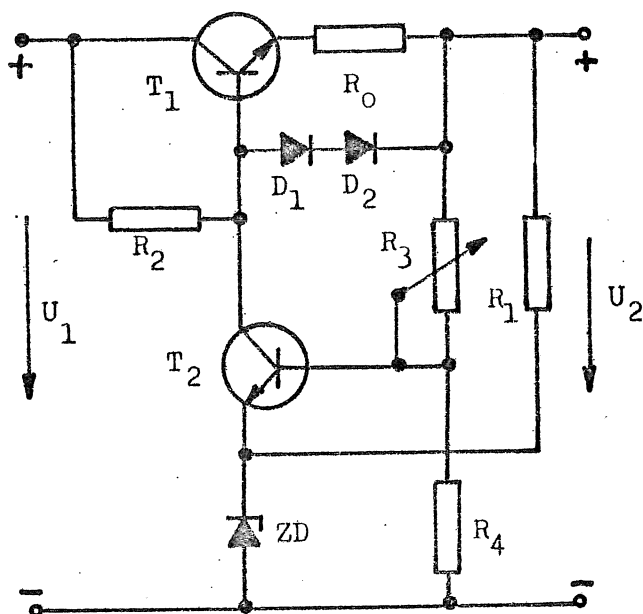
Obr. 12

Úkoly:

1. Pro pevnou hodnotu vstupního napětí určete závislost výstupního napětí U_2 na proudu I_2 . Odpor R_1 i Zenerova dioda jsou stejné jako v předchozím měření. Porovnejte výstupní napětí a zatižitelnost obou stabilizátorů. Určete vnitřní odpor stabilizátoru.
2. Pro stálou velikost zatěžovacího odporu R_Z určete závislost výstupního napětí U_2 na vstupním napětí U_1 . Určete činitel stabilizace.

Stabilizátor s regulovatelným napětím a elektronickou pojistkou

Nevýhodou předchozích stabilizátorů bylo, že výstupní napětí mělo pevnou hodnotu danou použitou Zenerovou diodou. V praxi však často potřebujeme zdroj stabilizovaného napětí proměnného v jistých mezích. Jednoduchý říditelný stabilizovaný zdroj napětí může být zapojen podle obr. 13.



Obr. 13

Zdrojem konstantního napětí je zase stabilizátor se Zenerovou diodou ZD v emitorovém obvodu tranzistoru T_2 . Na bázi tohoto tranzistoru je přivedena část výstupního napětí $k \cdot U_2$, kde

$$k = \frac{R_4}{R_3 + R_4} .$$

Napětí mezi bázi a emitorem tranzistoru je

$$U_{be2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_2 - U_Z .$$

Změny výstupního napětí U_2 vyvolají tedy i změny napětí U_{be2} . Zvětší-li se výstupní napětí, zvětší se i napětí U_{be2} , tranzistorem T_2 poteče větší proud, což má za následek pokles napětí na bázi tranzistoru T_1 .

Výstupní napětí tedy poklesne, neboť při stálém odběru proudu je napětí mezi bází a emitorem T_1 stálé. Klesne-li výstupní napětí, dochází k částečnému vyrovnání změny podobným procesem.

Zenerovou diodou může v uvedeném zapojení téci mnohem menší proud než diodami v zapojení podle obr. 11 a 12. Odpor R_1 je připojen k výstupu stabilizátoru, takže změny vstupního napětí U_1 vyvolají velmi malé změny proudu diodou ZD. K této stálé složce proudu se ovšem přičítá proměnná složka proudu emitorem tranzistoru T_2 . Výstupní napětí zdroje můžeme pohodlně regulovat změnou poměru k .

Diody D_1 a D_2 spolu s odporem R_0 jsou součástí pojistky proti přetížení zdroje nadměrným proudem I_2 . Tavné pojistky nestačí jistit obvody s tranzistory protože nereagují dostatečně rychle.

Proud I_2 vytváří na odporu R_0 napětí. Dosáhne-li jeho hodnota napětí na obou diodách (pro křemíkové diody asi $2 \times 0,7$ V), začne napětí mezi bází a emitorem tranzistoru T_1 klesat a proud tranzistorem nemůže více narůstat. Zařízení tedy pracuje jako omezovač výstupního proudu, výstupní napětí klesá.

Úkoly:

1. Pro stálou hodnotu výstupního proudu stanovte závislost výstupního napětí na napětí vstupním. Určete činitel stabilizace S .
2. Pro danou hodnotu vstupního napětí stanovte závislost výstupního napětí na proudu zátěží. Proudová pojistka je vyřazena.
3. Proveďte totéž měření jako v bodě 2 ale se zařazenou proudovou pojistkou. Měřte pro několik hodnot výstupního napětí.