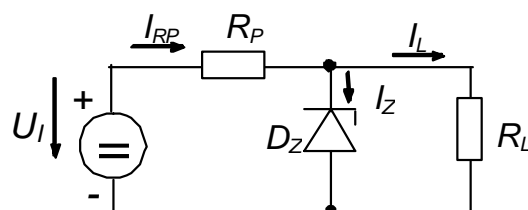


## Téma 4. : Stabilizačné diódy (L, R)

### Zadanie:

1. Oboznámte sa so základnými vlastnosťami a s katalógovými parametrami predložených stabilizačných diód.
2. Zmerajte VA-charakteristiky stabilizačných diód v priepustnom i v závernom smere a znázornite graficky  $I_D = f(U_D)$ :
  - a) pre diódu s  $U_Z < 5V$
  - b) pre diódu s  $U_Z > 6V$
3. Z nameraných *VACH* predložených stabilizačných diód určte typ nedeštruktívnych mechanizmov napäťového prerazu v predložených stabilizačných diódach.
4. Vypočítajte dynamický odpor  $r_Z$ , jednosmerný odpor  $R_Z$  a činiteľ nelinearity  $n$  predložených stabilizačných diód. Porovnajte nameranú hodnotu  $r_Z$  s katalógovou hodnotou.
5. Vypočítajte akú veľkú hodnotu odporu musí mať predradný rezistor  $R_P$  v jednoduchom stabilizátore pre jednu z predložených stabilizačných diód, aby vznikol spoľahlivý stabilizátor napätia ak na vstupe uvažujete napätie  $U_I = 14V$ .
6. Overte činnosť jednoduchého stabilizátora - použite jednosmerné napájacie napätie od 0V do 20V, vypočítaný predradný odpor a záťaž o veľkosti  $R_{L1}$ ,  $R_{L2}$  a  $R_{L3}$ .
7. Navrhňte jednoduchý stabilizátor so Zenerovou diódou na stabilizáciu napätia  $U_O$ . Uvažujte s prúdom cez záťaž  $I_L$ , so záťažovým rezistorom  $R_L$  a vstupným napätím  $U_I$ .



Obr. 4.1. Schéma zapojenia jednoduchého stabilizátora napätia so stabilizačnou diódou.

Štúijná literatúra: ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY-PREDNÁŠKY, skriptá : Žiška, M. - Stuchlíková, Ľ.: Elektronické prvky<sup>1</sup> str. 111-118 ,

<sup>1</sup> V skriptách si prosím opravte uvedené preklepy : str.115 vzt'ah (6.30)

$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{(U - U_L)}{R}, \text{ súčasne je nutné doplniť zátvorky aj pri príslušných číselných vyjadreniach.}$$

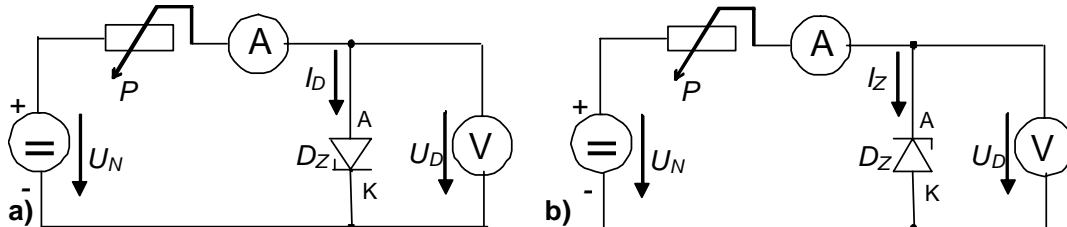
## Podklady k realizácii úloh zadania

### K bodu 1:

Uveďte katalogové údaje predložených polovodičových diód: Zenerovo napätie  $U_Z$ , maximálny prúd v závernom smere  $I_{Zmax}$  dynamický odpor  $r_Z$  v pracovnom bode ( $U_Z, I_Z$ ).

### K bodu 2:

Zapojte stabilizačnú diódu do obvodu podľa obr. 4.2.



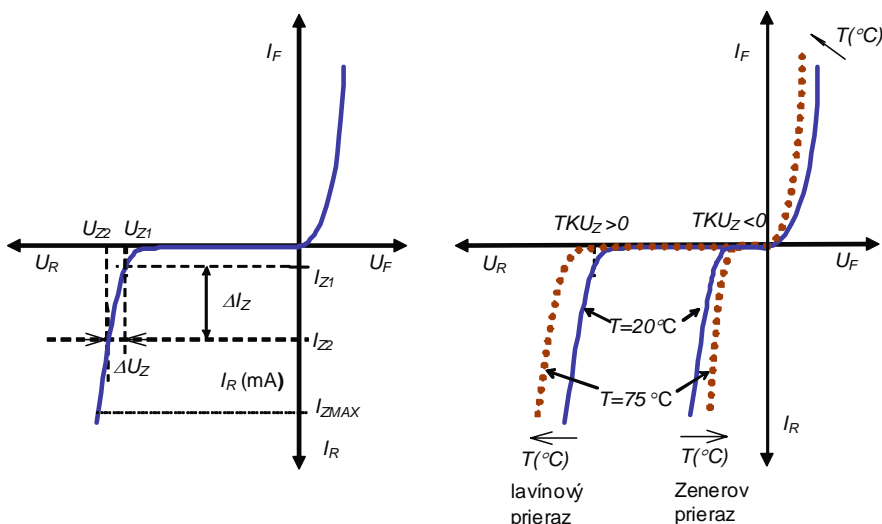
Obr. 4.2. Schéma zapojenia na meranie  $VACH$  diódy a) v priepustnom a b) závernom smere

Zmerajte  $V-A$  charakteristiky diód v priepustnom (min 4 body,  $I_{Fmax}=10\text{ mA}$ ) a v závernom smere (min 8 bodov;  $I_{Zmax}$ ), Grafické závislosti oboch diód vynášajte do jedného grafu!!!  $I_D=f(U_D)$  Vzájomne porovnajte namerané závislosti z hľadiska mechanizmu prierazu.

- Uvedomte si, že vo  $VACH$  sledujete ako sa mení prúd tečúci diódou  $I_D$  v závislosti od veľkosti napätia  $U_D$  pripojeného na diódu.
- Pri meraní  $VACH$  diódy v oboch smeroch sa odporúča nastavovať hodnoty prúdu  $I_D$  a sledovať odpovedajúce hodnoty napätia  $U_D$ . Na citlivejšiu reguláciu prúdu diódou je vhodné zaradiť do meracieho obvodu namiesto rezistora potenciometer.
- Pri voľbe meracích bodov vychádzajte z toho, že je nutné detailne zmapovať oblasť okolo „kolena“, t.j. keď sa začína prieraz v závernom smere!! Voľte body tak, aby ste vystihli podstatu  $VACH$  – v nelineárnej oblasti voľte meracie body hustejšie, lineárne časti charakteristiky stačí popísať dvoma bodmi (obr. 3.3).

Odporúčané hodnoty  $I_D$  pri meraní  $VACH$  v priepustnom smere  $I_D=10\mu\text{A}, 100\mu\text{A}, 250\mu\text{A}, 500\mu\text{A}, 1\text{mA}, 2\text{mA}$ .

Odporúčané hodnoty  $I_Z$  pri meraní  $VACH$  v závernom smere  $I_Z=10\mu\text{A}, 50\mu\text{A}, 100\mu\text{A}, 250\mu\text{A}, 500\mu\text{A}, 1\text{mA}, \text{PB}, \text{PB}+2\Delta, 5\text{mA}, 10\text{mA}, 20\text{mA}$ .



Obr. 4.3.  $VACH$  stabilizačnej diódy s napätovým prierazom v závernom smere s naznačenou teplotnou závislosťou pre jednotlivé typy nedeštruktívneho prierazu.

**K bodu 3:**

**Zenerov jav:** prierazné napätia sú nízke, typicky od 0 do 5,6 V, po prieraze pozvoľný pokles  $V_{ACH}$ .

**Lavínový jav:** prierazné napätia sú nad 5,6 V, po prieraze strmý pokles  $V_{ACH}$ .

**Zenerov jav a lavínový jav** sa uplatňujú súčasne pri prieraznom napätí 5,6 V. (vplyv teploty je minimálny,  $TKU_Z$  je nulové).

**K bodu 4:**

**Diferenciálny odpor**  $r_z$  je definovaný v prac. bode ( $U_Z, I_Z$ )  $r_z = \frac{dU}{dI}$ .

Graficky sa určuje ako smernica dotyčnice v pracovnom bode.

**Statický odpor**  $R_Z$

$$R_Z = \frac{U}{I}$$

**Činiteľ nelinearity**  $n$

$$n = \frac{R_Z}{r_z}$$

**K bodu 5:**

Podmienky pre návrh spoľahlivého stabilizátora napätia sú uvedené v skriptách : Žiška, M. - Stuchlíková, Ľ.: Elektronické prvky, str. 114-118.

**Hodnotu predradného odporu  $R_P$  volíme tak, aby cez stabilizačnú diódu tiekol maximálne prúd  $0,2 I_{ZMAX}$  a nesmie poklesnúť pod úroveň hodnoty  $0,1 I_{ZMAX}$**

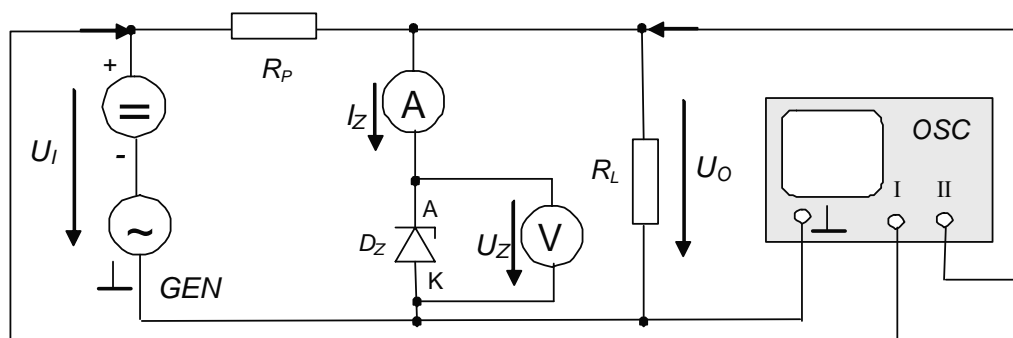
Postup pri výpočte hodnoty odporu predradného rezistora  $R_P$ :

- vyberte si jednu z predložených stabilizačných diód
- zvoľte si hodnotu  $I_Z$  (z katalógu odčítajte hodnotu  $I_{ZMAX}$  a určite si interval dovolených prúdov cez stabilizačnú diódu  $I_Z$ )
- z nameranej  $V_{ACH}$  odčítajte  $U_Z$  pri zvolenom  $I_Z$
- pre danú záťaž  $R_L$  a napájacie napätie  $U_I$  vypočítajte pomocou Kirhoffových zákonov  $R_P$

$$R_P = \frac{U_I - U_Z}{I_{RP}} = \frac{U_I - U_Z}{I_Z + I_{RL}} = \frac{U_I - U_Z}{I_Z + U_Z/R_L}$$

**K bodu 6:**

Zapojte stabilizačnú diódu do obvodu podľa obr. 4.4.



**Obr. 4.4.** Schéma zapojenia na overenie činnosti jednoduchého stabilizátora.

Pozorujte a zakreslite priebehy napätí na vstupe a výstupe pri rôznych hodnotách  $I_Z$  a  $R_L$ . Pre zvolenú záťaž  $R_L$  odčítajte hodnotu napájacieho napätia, pri ktorom sa stabilizačná dióda otvára

a veľkosť prúdu tečúceho cez záťaž po otvorení stabilizačnej diódy. Odčítané hodnoty porovnajte z hľadiska veľkosti  $R_L$ .

Odporúčaná tabuľka:

$U_I$ (V)	$I_Z$ (mA)	$U_Z$ (V)	$R_L$ (k $\Omega$ )	nákres $U_I$ (t)	nákres $U_O$ (t)
	0,1		$R_L$		
	1		$R_L$		
	PB		$R_L$		
	PB		$R_{Lmin}$		
	PB		$R_{Lmax}$		

**K bodu 7:**

Návrh jednoduchého stabilizátora so Zenerovou diódou na stabilizáciu napätia  $U_O$  (obr. 4.1.)

Príklad <b>Postup návrhu</b> © Miroslav Toman	$U_O=5V, I_L=33mA, R_L=150\Omega,$ $U_I=10V$	$U_O=6,5V, I_L=87mA, R_L=75\Omega,$ $U_I=12V$
Podľa žiadaného $U_O$ volíme diódu s $U_Z = U_O$	$U_Z = 5V$	$U_Z = 6,5V$
Podmienka správnej činnosti $U_I \geq 1,5U_Z$	$10V \geq 1,5 \cdot 5V$	$12V \geq 1,5 \cdot 6,5V$
Podľa žiadaného $I_L$ a $U_Z$ volíme $I_{Zprac} \cong I_L$ $I_{Zmax} \cong 2I_L$ $P_{diódy} (P_D = I_{Zmax} \cdot U_Z)$	$I_{Zprac} \cong 33mA$ $I_{Zmax} \cong 2 \cdot 33mA = 66mA$ $P_D = 66mA \cdot 5V = 330mW$	$I_{Zprac} \cong 87mA$ $I_{Zmax} \cong 2 \cdot 87mA = 174mA$ $P_D = 174mA \cdot 6,5V = 1131mW$
Výber diódy podľa katalógu	<u>KZ141 (400mW),</u> <u>KZ260/5V1(1,3W)</u>	<u>KZ260/6V8 (1,3W)</u>
Overenie voľby diódy	<u>KZ141 (400mW),</u> $I_{Zmax} \cong 400mW/5V = 80mA >$ $66mA$ Vyhovuje požiadavke	<u>KZ260/6V8 (1,3W),</u> $I_{Zmax} \cong 1300mW/6,5V =$ $200mA > 174mA$ Vyhovuje požiadavke
Výpočet $R_P$ $R_P = \frac{U_I - U_Z}{I_{RP}}$	$R_P = (10V - 5V)/($ $33mA + 33mA)$ $R_P = 75,7\Omega$	$R_P = (12V - 6,5V)/($ $87mA + 87mA)$ $R_P = 31,6\Omega$
Voľba $R_P$	$R_P = 75\Omega$	$R_P = 32\Omega$
Určenie $r_d$ (katalóg, VACH)	$r_d = 8\Omega$ (pre $I_Z = 30mA$ )	$r_d = 3,6\Omega$ (pre $I_Z = 80mA$ )
Určenie činiteľa napät'ovej stabilizácie $s$ $s = \frac{dU_I}{dU_Z} = \frac{dI(R_P + r_d)}{dI r_d} = \frac{R_P + r_d}{r_d} > 1$	$s = \frac{75\Omega + 8\Omega}{8\Omega} = 10,4$	$s = \frac{32\Omega + 3,6\Omega}{3,6\Omega} = 9,89$
Určenie možného rozkmitu $I_L$ ( $U_I = \text{konšt}$ ) Rozkmit $I_Z \rightarrow 0,1 \cdot I_{Zmax} \div I_{Zmax}$ $\Rightarrow$ rozkmit $I_L$ je doplnok do konšt $I_{RP}$ roz kmit $I_L$	$I_Z$ 6,6mA $\div$ 66mA $I_{RP} = 66mA$ $I_L$ 0mA $\div$ 60mA	$I_Z$ 17,4mA $\div$ 174mA $I_{RP} = 174mA$ $I_L$ 0mA $\div$ 156,6mA
Určenie možného rozkmitu $U_I$ ( $I_L = \text{konšt}$ ) $U_{Imax} = U_{RP} + U_Z = I_{Imax} \cdot R_P + U_Z =$ $= (I_{Zmax} + I_L) R_P + U_Z$ $U_{Imin} = U_{RP} + U_Z = I_{Imin} \cdot R_P + U_Z =$ $= (I_{Zmin} + I_L) R_P + U_Z$	$U_{Imax} = (66mA + 33mA) \cdot 75\Omega$ $+ 5V = 12,42V$ $U_{Imin} = (6,6mA + 33mA) \cdot 75\Omega$ $+ 5V = 7,97V$ $U_I$ 7,97V $\div$ 12,42V	$U_{Imax} = (174mA + 87mA) \cdot 32\Omega$ $+ 6,5V = 14,85V$ $U_{Imin} = (17,4mA + 87mA) \cdot$ $32\Omega + 6,5V = 9,84V$ $U_I$ 9,84V $\div$ 14,85V

---

# Teória

## Reálne diódy - napäťový prieraz

Napäťový prieraz je prudké zvýšenie prúdu v závernom smere po prekročení určitého **prierazného napätia**  $U_P$ . Prierazný mechanizmus môže byť tepelný, Zenerov alebo lavínový.

**Tepelný prieraz** je spôsobený lokálnym prehriatím polovodičového materiálu z dôvodu veľkej výkonovej straty koncentrovanej do malého objemu polovodiča pri nedostatočnom odvode tepelnej energie. Tepelný prieraz je deštruktívny, súčiastka je ďalej nefunkčná.

**Zenerov jav** nastáva pri silnej závernej polarizácii strmého  $pn$  priečodu. Z dôvodu strmosti  $pn$  priečodu sú prierazné napätia nízke, typicky od 0 do 5,6 V. Na rozhraní  $pn$  priečodu, v oblasti priestorového náboja, vzniká veľmi vysoké elektrické pole. V silnom elektrickom poli sú valenčné elektróny vytrhávané z atómových väzieb a stávajú sa voľnými (vnútorný emisný jav)<sup>2</sup>. Zvýšenie počtu voľných elektrónov v polovodiči spôsobuje prudký nárast elektrického prúdu. Tento prieraz sa nazýva aj ako jav tunelovania cez  $pn$  priečod, keďže ho je možné vysvetliť pomocou pásmového modelu. Všeobecne platí, že zakázané pásmo sa v elektrickom poli zošikmuje. Vyplýva to zo skutočnosti, že potenciál, a teda aj potenciálna energia sa v elektrickom poli  $\xi$  mení s polohou  $x$  úmerne  $-e\xi x$ . Ak je elektrické pole dostatočne veľké, pásmo sa zošikmí natoľko, že potenciálová bariéra zakázaného pásma sa stane natoľko úzkou, až nastane tunelovanie.

Podstatou **lavínového javu** je urýchľovanie voľných elektrónov v silnom elektrickom poli na veľmi vysoké rýchlosti. Skôr než dôjde k zrážke elektrónu s atómom, elektróny získajú kinetickú energiu dostatočnú na ionizáciu základných atómov polovodiča. Urýchlené elektróny vyrážajú ďalšie elektróny z väzieb a znásobujú počet voľných elektrónov i dier. Nové i pôvodné - zabrzdnené voľné elektróny sú ďalej urýchľované elektrickým polom, takže po získaní dostatočnej energie, opäť vyrážajú viazané elektróny a opäť znásobujú počet voľných elektrónov a dier. Koncentrácia voľných nosičov náboja sa tak zvyšuje geometrickým radom, čo spôsobuje prudký nárast elektrického prúdu. Typické sú prierazné napätia nad 5,6V.

Zenerov a lavínový jav sú nedeštruktívne mechanizmy napäťového prierazu citlivé na zmeny teploty. Zenerov jav reaguje na zmenu šírky zakázaného pásma vplyvom teploty. Zvýšenie teploty spôsobuje zúženie zakázaného pásma a teda aj zúženie potenciálovej bariéry zakázaného pásma  $pn$  priečodu v silnom elektrickom poli. V dôsledku toho, pri rovnakom napätí sa zvýšením teploty zvyšuje elektrický prúd. To znamená, že pri zvýšení teploty sa prierazné - Zenerovo napätie posúva smerom k nižším hodnotám. Vplyv teploty na Zenerovo napätie kvantifikujeme **teplotným**

**koeficientom Zenerovho napätia**  $TKU_Z$   $TKU_Z = \frac{1}{U_{Z0}} \cdot \frac{U_{Z1} - U_{Z0}}{T_1 - T_0}$ , ktorý je pri Zenerovom jave

záporný.  $U_{Z1}$  a  $U_{Z0}$  predstavujú Zenerove napätia pri teplote  $T_1$  a  $T_0$ . V prípade lavínovho javu si musíme uvedomiť, že najväčší podiel pri elektrónovom rozptyle majú zrážky elektrónov s fonónmi, tepelnými kmitmi kryštalickej mriežky. Preto pravdepodobnosť zrážky so zvyšovaním teploty rastie. To znamená, že lavínový prúd pri vyššej teplote klesá a prierazné lavínové napätie rastie,  $TKU_Z$  je kladné.

## Jednoduchý stabilizátor napätia

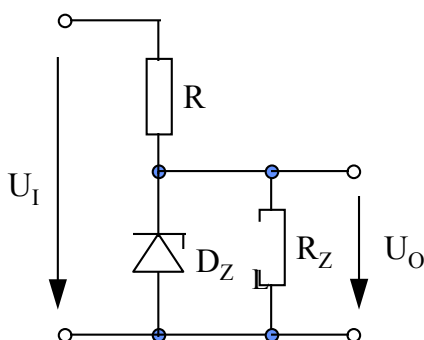
**Stabilizátory napätia** sú elektronické zariadenia, slúžiace k stabilizácii napätia. Najčastejšie sa používajú v napájacích zdrojoch k stabilizácii zvlneného napätia za kapacitným filtrom usmerňovača. Vstupom zväčša býva zdroj jednosmerného zvlneného napätia, napríklad dvojcestný mostíkový usmerňovač s kapacitným filtrom.

---

<sup>2</sup> Polovodič je vysokodotovaný, čo má za následok vznik veľmi tenkej oblasti priestorového náboja a pomerne vysokého difúzneho napätia.

**Zapojenie jednoduchého stabilizátora** napätia spočíva na princípe napät'ového deliča pozostávajúceho s predradného odporu a stabilizačnej diódy. Schéma jednoduchého stabilizátora je znázornená na obr. 4.1. V sérii so zdrojom napätia je zapojený odpor  $R$  a paralelne k záťaži stabilizačná dióda  $D_Z$ .

**Princíp stabilizácie** spočíva v zaradení nelineárnej stabilizačnej diódy do napät'ového deliča obr.4.5. Napätie na vstupe stabilizátora  $U_I$  vtláča prúd  $I$  do stabilizátora. Prúd  $I$  vyvolá úbytok napätia na odpore  $R$  a rozdelí sa na prúd do stabilizačnej diódy  $D_Z$  a do záťaže  $R_L$ . Výstupné napätie  $U_O$  zodpovedá vstupnému napätiu  $U_I$  zníženému o úbytok napätia na odpore  $R$ . Ak sa zvýši vstupné napätie  $U_I$ , zvýši sa aj prúd tečúci do vstupu o  $\Delta I$ . Snahou odporového deliča  $R - R_L$  je zvýšiť priamoúmerne aj výstupné napätie. Nelinearita  $D_Z$  pripojenej paralelne k záťaži spôsobuje, že už pri malých zvýšeníach napätia na výstupe dochádza k rýchlemu nárastu prúdu cez stabilizačnú diódu  $D_Z$  a tým aj cez zaťažovací odpor  $R_L$ . Nárast prúdu na predradenom odpore  $R$  spôsobuje zvýšenie úbytku napätia a tým k tlmeniu napät'ových zmien vstupného napätia na výstupe.

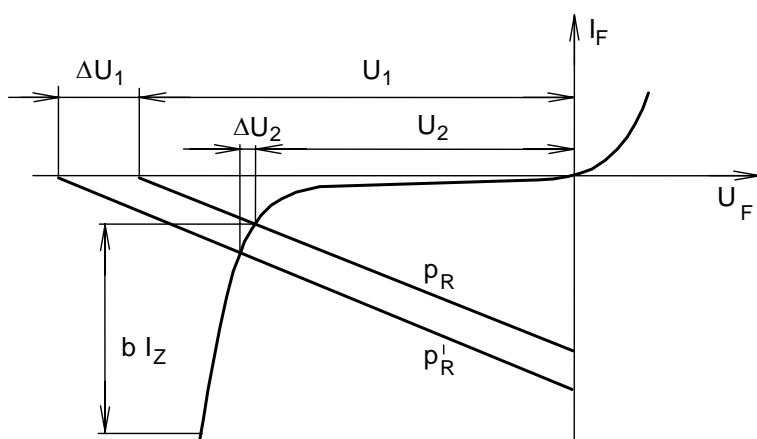


**Obr. 4.5.** Schéma zapojenia jednoduchého stabilizátora napätia so stabilizačnou diódou - princíp činnosti.

Činnosť jednoduchého stabilizátora bez záťaže možno ilustrovať na obr. 4.6. Obrázok znázorňuje grafické riešenie jednoduchého stabilizátora. Základom je  $VACH$  nelineárneho prvku - stabilizačnej diódy v závernom smere. Do grafu je zakreslená  $VACH$  predradného odporu  $R$  tak, že vytína hodnotu vstupného napätia  $U_I$  na napät'ovej osi a hodnotu maximálneho prúdu odporom  $R$  pri vstupnom napätí na odpore  $R$  podľa Ohmovho zákona ( $U_I/R$ ) na prúdovej osi. Súčet napätí na dióde a odpore dáva vstupné napätie  $U_I$ . Výstupné napätie je dané priesečníkom zaťažovacej priamky a volt - ampérovej charakteristiky. Pri zvýšení vstupného napätia o  $\Delta U_I$  dôjde k posuvu odporovej priamky, pričom jej sklon ostáva zachovaný nakoľko sa hodnota odporu nemení. Zmenou vstupného napätia dôjde aj k zmene polohy priesečníku odporovej priamky s volt - ampérovou charakteristikou diódy, zmena výstupného napätia  $\Delta U_O$  bude podstatne menšia ako zmena vstupného  $\Delta U_I$ .

Kvalitu stabilizácie môžeme kvantifikovať **činiteľom stabilizácie** v relatívnom tvare  $k_{st} = \frac{\Delta U_I / U_I}{\Delta U_O / U_O}$

Činiteľ stabilizácie vyjadruje podiel relatívnych zmien na vstupe stabilizátora k relatívnym zmenám na výstupe. Prakticky je vhodnejší stabilizátor s vyšším činiteľom. Typické hodnoty činiteľa stabilizácie pri jednoduchých stabilizátoroch pohybujú medzi 10 až 100.



**Obr. 4.5.** Grafické riešenie jednoduchého stabilizátora napätia.