

# 1 Teoretický úvod

Zenerova dioda neboli referenční či lavinová dioda, je polovodičová dioda s přechodem PN speciálně navrženým tak, aby nebyl poškozen kladným napětím v závěrném směru. Toho je dosaženo vytvořením tzv. tenké závěrné vrstvy mezi krystali N a P. Ta je vytvořena pomocí vhodného dopování příměsemi. Díky této vrstvě dodází k průrazu při podstatně nižších napětích než u diod usměrňovacích. Většinou se jedná o napětí v rozmezí  $1\text{ V} - 50\text{ V}$ . U usměrňovacích diod se toto napětí pohybuje většinou v intervalu  $80\text{ V} - 1,5\text{ kV}$ . Zenerové diody se používají v závěrném směru, protože jejich pracovní bod leží v oblasti průrazného napětí. V propustném směru se chovají podobně jako klasické usměrňovací diody a obvykle mají v propustném směru úbytek napětí okolo  $0,7\text{ V}$ . Zenerovi diody můžeme rozdělit do dvou skupin:

## 1.1 Zenerovy diody se zenerovým napětím $< 5\text{ V}$

Tyto diody pracují na principu kterému se říká Zenerův jev nebo-li Zenerův průraz. K Zenerovu průrazu dochází při překročení intenzity elektrického pole na  $200\text{ kV cm}^{-1} - 500\text{ kV cm}^{-1}$ , což má za následek vytrhnutí elektronů z krystalové mřížky a následné prudké zvýšení vodivosti.

Vztah pro Intenzitu elektrického pole někdy též nazývaný spád napětí:

$$E = \frac{U}{l} \quad (1)$$

kde:

$U$  ..... napětí ve Voltech  
 $l$  ..... délka vodiče v jednotkách SI v metrech

## 1.2 Zenerovy diody se zenerovým napětím $> 6\text{ V}$

Tyto diody se někdy označují jako lavinové diody. Jejich VACH je v závěrném směru strmější než u diod fungujících na principu Zenerova jevu. Fungují na principu lavinového průrazu. K lavinovému průrazu dochází pokud je elektrické pole dostatečně silné aby urychlilo elektrony na takovou rychlost, která by způsobila že při kolizi s krystalovou mřížkou uvolní další elektrony které se zapojí do tohoto procesu. Na rozdíl od diod fungujících na Zenerově průrazu tyto diody nepotřebují tenkou extrémě dopovanou vrstvu mezi krystali N a P. Tento jev je způsoben pouze elektrickým polem.

## 1.3 Zenerova dioda jako stabilizátor napětí.

Část VA charakteristiky Zenerovi diody v závěrném směru od určitého napětí poměrně prudce klesá. Toho se dá využít při návrhu stabilizátoru napětí. Protože v této části charakteristiky má Zenerova dioda při relativně velké změně proudu malou změnu napětí. Umístíme-li pracovní bod právě na tuto část charakteristiky, tak poté můžeme odebírat ze stabilizátoru takřka konstantní napětí při změnách proudu. Schéma zapojení stabilizátoru napětí viz. schéma č. 2.

Výpočet Předřadného rezistoru je dán vztahem:

$$R = \frac{U - U_{ZD}}{I} \quad (2)$$

kde:

$U$  ..... vstupní napětí [V]

$U_{ZD}$  ..... úbytek napětí na Zenerově diodě [V]

$I$  ..... proud procházející obvodem [A]

## 2 Schéma

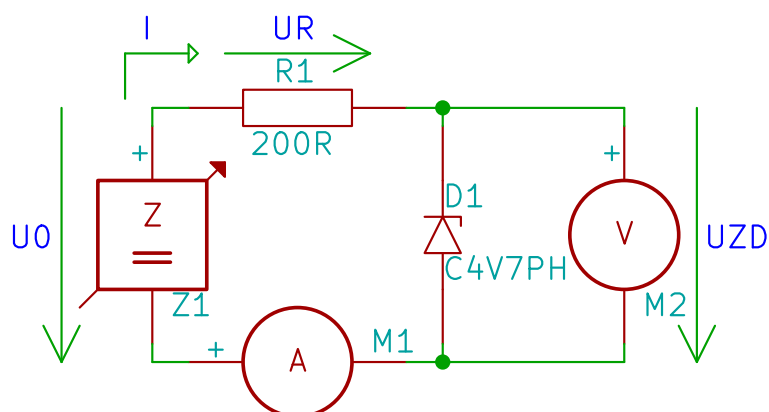


Schéma č. 1: Měření VA charakteristiky

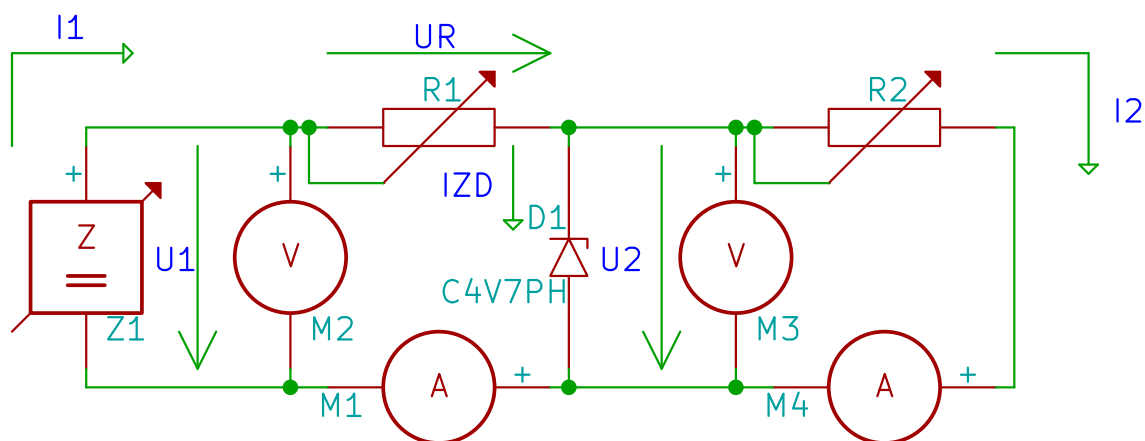


Schéma č. 2: Stabilizátor napětí

### 3 Tabulka použitých přístrojů

Označení v zapojení	Přístroj	Typ	Evidenční číslo	Poznámka
$M1$	DMM	MASTECH MY-64	0653	vyb. baterie
$M2$	DMM	MASTECH MY-64	0661	vyb. baterie
$M3$	DMM	MASTECH MY-64	0659	vyb. baterie
$M4$	DMM	MASTECH MY-64	0657	vyb. baterie
$Z1$	zdroj s.s. napětí	TESLA BK-127	0137	—
$R1$	reostat	$250\Omega / 500 V$	0055	—
$R2$	reostat	$105\Omega / 500 V$	0037	—

Tabulka č. 1: Tabulka použitých přístrojů

## 4 Postup měření

### 4.1 Měření VACH Zenerovy diody

- Zapojíme úlohu podle schématu č. 1. Ochranný rezistor  $R_1$  dáme na maximum.
- Postupně zvyšujeme napětí zdroje  $Z_1$ . Pokud se nám ani při maximálním napětí zdroje nepodaří dosáhnout proudu  $I_{MAX}$ , tak snížíme hodnotu ochranného rezistoru  $R_1$ .
- Po nalezení vhodné hodnoty rezistoru  $R_1$  stáhneme napájecí napětí  $U_0$  na minimum a můžeme začít měřit.
- Budeme postupně zvyšovat napětí zdroje  $Z_1$ , když proud  $I$  dosáhne hodnoty: (0, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70)  $mA$  tak si zaznameneáme hodnotu napětí  $U_{ZD}$ .

### 4.2 Měření mezních hodnot stabilizátoru

- Zapojíme úlohu podle schématu č. 2.
- Nastavíme zdroj  $Z_1$  napětí  $U_1$  na 9  $V$  a z ampérmetru  $M_4$  zjistíme proud která nám protéká zátěží.
- Nastavíme zdroj  $Z_1$  napětí  $U_1$  na 11  $V$  a z ampérmetru  $M_4$  zjistíme proud která nám protéká zátěží.
- Nastavíme zdroj  $Z_1$  napětí  $U_1$  na takovou hodnotu, aby proud protékající zátěží  $I_2$  byl roven 55  $mA$ , poté pomocí voltmetru  $M_3$  zjistíme úbytek napětí na Zenerově diodě.
- Nastavíme zdroj  $Z_1$  napětí  $U_1$  na takovou hodnotu, aby proud protékající zátěží  $I_2$  byl roven 45  $mA$ , poté pomocí voltmetru  $M_3$  zjistíme úbytek napětí na Zenerově diodě.
- Z VACH zjistíme, jestli Zenerova dioda zvládne takový proud, který byl měřen ampérmetrem  $M_1$ . Pokud ano, odpojíme zátěž a změříme proud procházející Zenerovou diodou pomocí ampérmetru  $M_1$  a napětí na Zenerově diodě pomocí voltmetru  $M_3$ .

## 5 Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot

$I$ [mA]	rozsah [mA]	$\delta_{\%}$ [%]	$\Delta I$ [mA]
0	2	—	—
1	2	$\pm 0,900$	$\pm 0,009$
2	20	$\pm 1,300$	$\pm 0,026$
3	20	$\pm 1,133$	$\pm 0,034$
5	20	$\pm 1,000$	$\pm 0,050$
7	20	$\pm 0,943$	$\pm 0,066$
10	200	$\pm 6,500$	$\pm 0,650$
20	200	$\pm 4,000$	$\pm 0,800$
30	200	$\pm 3,166$	$\pm 0,950$
50	200	$\pm 1,000$	$\pm 1,250$
70	200	$\pm 0,714$	$\pm 1,550$

Tabulka č. 2: Tabulka změřených hodnot a chyb proudů ze zapojení dle schématu č. 1

$U_{ZD}$ [V]	rozsah [V]	$\delta_{\%}$ [%]	$\Delta U_{ZD}$ [mV]
0	20	—	—
3,26	20	$\pm 0,807$	$\pm 26,30$
3,51	20	$\pm 0,785$	$\pm 27,55$
3,66	20	$\pm 0,773$	$\pm 28,30$
3,86	20	$\pm 0,759$	$\pm 29,30$
3,98	20	$\pm 0,751$	$\pm 29,90$
4,10	20	$\pm 0,744$	$\pm 30,50$
4,33	20	$\pm 0,731$	$\pm 31,65$
4,44	20	$\pm 0,725$	$\pm 32,20$
4,55	20	$\pm 0,720$	$\pm 32,75$
4,62	20	$\pm 0,716$	$\pm 33,10$

Tabulka č. 3: Tabulka změřených hodnot a chyb napětí  $U_{ZD}$  ze zapojení dle schématu č. 1

$U_{ZD} [V]$	$I [mA]$	$P_{ZD} [W]$
0	0	0,000
3,26	1	0,003
3,51	2	0,007
3,66	3	0,011
3,86	5	0,019
3,98	7	0,028
4,10	10	0,041
4,33	20	0,087
4,44	30	0,133
4,55	50	0,226
4,62	70	0,323

Tabulka č. 4: Tabulka výkonových ztrát  $P_{ZD}$  na Zenerově diodě ze zapojení dle schématu č. 1

## 6 Vzory výpočtů

Výpočet relativní procentuální chyby digitu:

$$\delta_{digit\%} = \frac{\pm digit}{MH} \cdot 100 = \frac{\pm 5 \cdot 0,1}{20} \cdot 100 = \underline{\underline{\pm 2,5 \%}}$$

Celková procentuální chyba:

$$\delta_{\%} = \pm \delta_{MH\%} \pm \delta_{digit\%} = \pm 1,5 \pm 2,5 = \underline{\underline{\pm 4 \%}}$$

Celková absolutní chyba:

$$\Delta I = \frac{\delta_{\%}}{100} \cdot MH = \frac{4}{100} \cdot 20 = \underline{\underline{\pm 0,8 mA}}$$

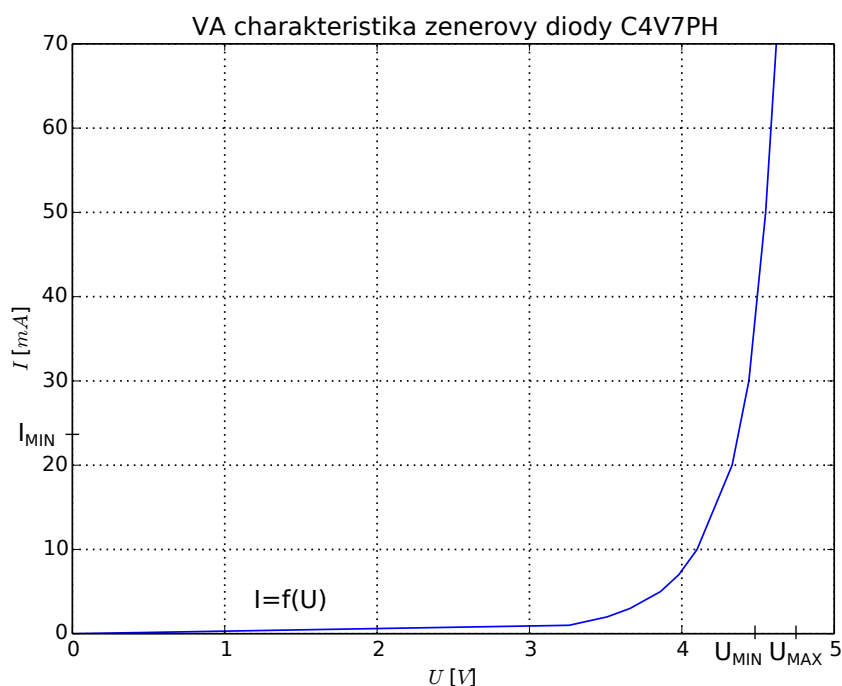
Ztrátový výkon na Zenerově diodě:

$$P_{ZD} = U_0 I = 4,33 \cdot 20 = \underline{\underline{86,6 mW}}$$

Předřadný odpor  $R_1$  vypočítáme z využitím vztahu (2), tento výpočet je jen orientační, protože předem neznáme jaký proud poteče Zenerovou diodou:

$$R_1 = \frac{U_1 - U_2}{I_1} = \frac{10 - 4}{70} \doteq \underline{\underline{85,7 \Omega}}$$

## 7 Grafy



Graf č. 1: Část VA charakteristika Zenerovi diody v závěrném směru

## 8 Závěr

### 8.1 Chyby měřících přístrojů

Procentuální chyba použitých DMM MASTECH-MY64 se pohybovala v intervalu  $\pm 0,714\%$  až  $\pm 6,5\%$ . Přičemž nejmenší procentuální chyby byly na rozsahu 20 V a největší chyby byli na rozsahu 200 mA. Naměřeným hodnotám bych ale nedával moc velkou váhu, protože na všech DMM blikala signalizace vybité baterie.

### 8.2 Zhodnocení

1. V úvodu jsem shrnul základní poznatky o Zenerových a lavinových diodách. Přičemž jsem se snažil zaměřit na jejich rozdíly a principy funkce.
2. Vytvořil jsem graf VACH s využitím vlastního scriptu v pythonu využívajícího knihovnu pylab. Do grafu jsem vyznačil hodnoty  $I_{ZD_{MIN}}$ ,  $U_{ZD_{MIN}}$  a  $U_{ZD_{MAX}}$ .  $I_{ZD_{MAX}}$  nebylo vyznačeno, protože v zadání bylo jen několik bodů na VA charakteristice.  $I_{ZD_{MAX}}$  se ale nachází až za hranicí kterou sme měli měřit.
3. Nakreslil jsem schéma zapojení paralelního stabilizátoru se Zenerovou diodou a vyznačil hlavní veličiny.

4. Navrhnul jsem velikost rezistoru  $R_1$  a to jak výpočtem tak experimentálně pomocí snižování hodnoty reostaru. Druhou jmenovanou metodou jsem došel k hodnotě  $84\ \Omega$ . Pomocí mého orientačního výpočtu jsem došel k hodnotě  $85,7\ \Omega$ , tato hodnota se sice od naměřené hodnoty liší o  $1,7\ \Omega$ , ale jako odhad je to velmi dobrý výsledek.
5. Sestavil jsem stabilizátor dle zadání a změřil jsem:
- (a) V zadaném režimu obvod stabilizuje výstupní napětí.
  - (b) Změnou výstupního proudu  $\Delta I_2 = 10\ mA$  se výstupní napětí změní o  $\Delta U_{ZD} = 0,36\ V$ .
  - (c) Změnou vstupního napětí  $\Delta U_1 = 2\ V$  se změní výstupní napětí o  $\Delta U_2 = 0,08\ V$
6. Obvod je odolný vůči odpojení zátěže, protože proud po odpojení zatěžovacího rezistoru  $R_Z$  nepřesáhne maximální nedestruktivní hodnotu danou výrobcem, proud ani nepřesáhne  $70\ mA$  na které byla dioda testována při měření VACH. Při odpojené zátěži a napájecím napětí  $U_1 = 10\ V$  obvodem protéká proud  $I_1 = 64\ mA$  a na Zenerově diodě vzniká úbytek napětí  $4,17\ V$ .