

# 1 Pracovní úkol

1. Pomocí osciloskopu změřte špičkovou hodnotu napětí na sekundáru převodního transformátoru a porovnejte ji s hodnotu naměřenou voltmetrem.
2. Podle vlastní volby sledujte činnost jednocestného nebo dvoucestného usměrňovače s křemíkovými diodami KY711
  - (a) při maximální hodnotě zatěžovacího odporu  $10k\Omega$  sledujte závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě  $C$  v intervalu  $0 - 10\mu F$ . Hodnotu usměrněného napětí při  $C = 10\mu F$  srovnajte se špičkovou hodnotou pulzního průběhu
  - (b) změřte závislost filtrační kapacity  $C$ , potřebné k tomu, aby střídavá složka usměrněného napětí tvořila 10% špičkové hodnoty (tj. asi 1V), na odebíraném proudu. U jednocestného usměrňovače měřte do proudu 0,6 mA, u dvoucestného do proudu 1 mA
  - (c) naměřené závislosti zpracujte graficky. Do grafu uvádějícího závislost filtrační kapacity  $C$  na proudu vynesete také závislost časové konstanty  $\tau = R_z C$  na proudu.
3. Charakteristiku vakuové diody EZ81 a Zenerovy diody KZ703 zobrazte na osciloskopu podle schématu připojeného k úloze. Orientačně načrtněte pozorované charakteristiky a vyznačte měřítka na osách. Odhadněte napětí na diodách při proudu 20 mA v propustném směru. Určete Zenerovo napětí.

## 2 Teoretický úvod

### 2.1 Střední hodnota napětí

Je-li napětí nezávislé na čase, je jeho střední hodnota rovna okamžité hodnotě. Pokud se mění periodicky s časem, pak je střední hodnota definovaná vztahem

$$U_e = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (1)$$

kde  $u$  je okamžitá hodnota napětí,  $t$  čas a  $T$  doba jedné periody.

Na stejnosměrných rozsazích analogových i digitálních měřících přístrojů měříme vždy střední hodnotu. Při periodicky se měnícím signálu je údaj na přístroji časově nezávislý, pokud je doba  $T$  signálu podstatně menší než doba kmitu systému přístroje. Pokud je doba kmitu  $T$  signálu velmi dlouhá, pak sleduje přístroj okamžité hodnoty.

### 2.2 Efektivní hodnota napětí

Efektivní hodnota napětí  $U$  souvisí s okamžitou hodnotou napětí  $u(t)$  vztahem:

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt \quad (2)$$

ve kterém je opět  $T$  perioda a  $t$  čas.

Je-li závislost napětí na čase harmonická, plyne ze vztahu (2):

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

Stejný vztah by platil i mezi efektivní  $I$  a špičkovou  $I_0$  hodnotou proudu. U běžně používaných měřicích přístrojů je výchylka úměrná střední hodnotě proudu, který jimi protéká. Stupnice je však udělána tak, abychom mohli při harmonickém průběhu číst přímo efektivní hodnoty.

## 2.3 usměrňovač

Měření jsme prováděli s jednocestným i dvoucestným usměrňovačem. Schémata zapojení viz obr.1 resp. obr.2 (příloha 1).

Jednocestný usměrňovač propustí proud do zátěžového odporu  $R_z$  pouze tehdy, je-li na horní straně transformátoru kladná půlvlna střídavého napětí. Při záporné půlvlně bude spád napětí na zatěžovacím odporu nulový.

V zapojení dvoucestného usměrňovače propouští v každé půlvlně střídavě proud jedna z diod. Je-li např. u daném okamžiku na horní svorce kladné napětí, propouští dioda  $D_1$ , dioda  $D_2$  je zapojena v závěrném směru. V následující půlperiodě povede proud dioda  $D_2$ , dioda  $D_1$  je uzavřena. Směr proudu  $I$  zátěží však zůstane stále stejný.

## 2.4 Filtrace napětí

Usměrněné napětí z diod je pulzující. Je možné je vyhladit, pokud k zatěžovacímu odporu  $R_z$  připojíme paralelně kondenzátor o kapacitě  $C$ . Má-li však odpor  $R_z$  konečnou hodnotu, vybíjí se kondenzátor  $C$  přes odpor  $R_z$  s časovou konstantou  $\tau = R_z C$ .

V čase mezi dvěma pulzy je časový průběh napětí popsán vztahem

$$u(t_0) = U_0(1 - \frac{t_0}{R_z C}) \quad (4)$$

kde  $U_0$  je špičková hodnota napětí, na které se nabije kondenzátor a  $t$  je čas.

Výpočet časové závislosti napětí na zatěžovacím odporu je obecně složitý. Pro zjednodušení budeme předpokládat, že časová konstanta vybíjení  $\tau$  je podstatně delší než doba mezi po sobě následujícími pulzy a že doba, po kterou se nabíjí, je zanedbatelně krátká. Tyto předpoklady jsou poměrně dobře splněny, pokud je činitel filtrace velký. Činitel filtrace  $k_f$  je definován vztahem

$$k_f = \frac{U_0}{U_0 - u(t_0)} = \frac{R_z C}{T} \quad (5)$$

pro jednocestný usměrňovač, resp.

$$k_f = 2 \frac{R_z C}{T} \quad (6)$$

pro dvoucestný usměrňovač.

### 3 Výsledky měření

#### 3.1 Špičková hodnota napětí

Špičková hodnota napětí změřená osciloskopem:  $U_{max} = (9.5 \pm 0.5)V$

Z ní vypočtená hodnota efektivního napětí:  $U_{ef} = (6.7 \pm 0.5)V$

Efektivní napětí změřené voltmetrem:  $U_V = (7.1 \pm 0.1)V$

#### 3.2 Závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě

Pro oba usměrňovače jsme měření prováděli pro zatěžovací odpor  $R = 5k\Omega$ .

##### jednocestný usměrňovač

tab.1

C( $\mu F$ )	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
U(V)	2,9	4,3	5,6	6,3	6,8	7,0	7,3	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,0
C( $\mu F$ )	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	
U(V)	8,1	8,1	8,2	8,2	8,3	8,3	8,3	8,4	8,5	8,6	8,6	8,7	8,7	

##### dvoucestný usměrňovač

tab.2

C( $\mu F$ )	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
U(V)	5,60	5,71	5,93	6,16	6,37	6,67	7,02	7,31	7,49	7,64
C( $\mu F$ )	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
U(V)	7,74	7,82	7,91	7,93	7,98	8,03	8,08	8,12	8,14	8,20
C( $\mu F$ )	0,85	0,90	0,95	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
U(V)	8,21	8,25	8,26	8,30	8,42	8,49	8,52	8,54	8,57	8,58

Grafické zpracování obou závislostí viz graf 1 (příloha 2).

#### 3.3 Závislost filtrační kapacity na odebíraném proudu

##### jednocestný usměrňovač

tab.3

C( $\mu F$ )	0,40	0,23	0,16	0,12	0,10	0,09	0,08
I(mA)	4,30	2,15	1,43	1,08	0,86	0,72	0,61
$\tau$	0,40	0,46	0,48	0,48	0,50	0,54	0,56

Grafické zpracování závislostí viz graf 2 (příloha 2).

### 3.4 Charakteristiky diod

Načrtnuté pozorované charakteristiky viz příloha 3.

Odhadnuté hodnoty napětí při proudu 20 mA:

vakuová dioda:  $U_{vak} = (10 \pm 1)V$

Zenerova dioda:  $U_{zen} = (0.8 \pm 0.1)V$

Zenerovo napětí:  $U_{zn} = (6.9 \pm 0.7)V$

## 4 Diskuze

Na osciloskopu naměřená špičková hodnota by měla být s hodnotou naměřenou na voltmetru, který měří efektivní hodnotu, ve vztahu podle rovnice (3). Odchylka je způsobená tím, že voltmetr je uzpůsoben na měření harmonické frekvence, kdežto signál vystupující z transformátoru je vlivem jádra transformátoru ořezaný.

Chyba určení velikosti špičkového napětí osciloskopem je poměrně velká - činí minimálně 1 mm, což je v našem případě 0,5 V. Měření hodnoty efektivního napětí voltmetrem je zatíženo (přes velkou přesnost samotného přístroje) relativně velkou chybou proto, že se hodnota na voltmetru pohybovala přibližně mezi 7,0-7,2 V.

Závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě vyšla v mezích chyb podle předpokladů.

Závislost filtrační kapacity na odebíraném proudu vyšla lineární, což odpovídá teoretickým předpokladům.

Charakteristiky diod vyšly dle teoretických předpokladů i přesto, že grafy nemají potřebnou přesnost a jsou pouze schematickým znázorněním.

Chyba odečtu napětí na diodách a Zenerova napětí byla odhadnuta s přihlédnutím k přesnosti, se kterou jsme hodnoty odečetli na osciloskopu.

## 5 Závěr

1. Napětí na transformátoru:

Špičková hodnota napětí na osciloskopu:  $U_{max} = (9.5 \pm 0.5)V$

Efektivní hodnota napětí z hodnoty na osciloskopu:  $U_{ef} = (6.7 \pm 0.5)V$

Efektivní hodnota napětí na voltmetru:  $U_V = (7.1 \pm 0.1)V$

2. Závislost stejnosměrného napětí na filtrační kapacitě vyšla v mezích chyb dle předpokladů
3. Závislost filtrační kapacity na odebíraném proudu vyšla lineární
4. Charakteristiky diod:

vakuová dioda:  $U_{vak} = (10 \pm 1)V$

Zenerova dioda:  $U_{zen} = (0.8 \pm 0.1)V$

Zenerovo napětí:  $U_{zn} = (6.9 \pm 0.7)V$

## 6 Literatura

- [1] Bakule,R., Šternberk,R.: Fyzikální praktikum II. - elektřina a magnetismus, SPN Praha 1989
- [2] Brož,J.:Základy fyzikálních měření, SPN Praha 1967