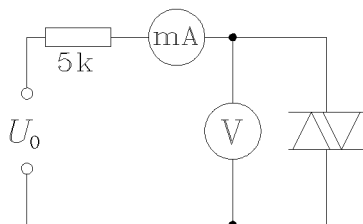


Úloha

1. Premerajte voltampérovú charakteristiku diaku KR 105 a z nej určte:
 - a) Spínacie napätie pri oboch polaritách U_{BO1} , U_{BO2}
 - b) pokles napätia na diaku pri prekročení spínacieho napätia ΔU (pri oboch polaritách)
 - c) tzv. symetriu diaku $|U_{BO1} - U_{BO2}|$.
2. Zapojte diak ako zdroj relaxačných kmitov a odmerajte závislosť periódy týchto kmitov T na časovej konštante $\tau = RC$ obvodu pri pri konštantnom napätí zdroja (cca 40 V). Kmitočet relaxačných kmitov ν merajte čítačom, periódu T a zhášacie napätie U_{zh} osciloskopom.
3. Odmerajte závislosť frekvencie kmitov ν na napätí zdroja U_0 a sledujte Lissajousove obrazce s pomocou frekvenčného generátora.

Teória

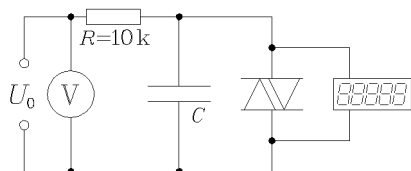
Diak je symetrická polovodičová súčiastka štruktúry PNP, ktorá slúži na zopnutie obvodu pri prekročení určeného napätia U_{BO} . Po zopnutí, kvôli lavínovému efektu, klesá úbytok napätia na diaku s rastúcim prúdom. V tejto oblasti teda diak prejavuje záporný odpor, čo možno využiť na konštrukciu oscilátora.



Obr. 1: Meranie voltampérovej charakteristiky

Pre meranie daného diaku KR 105 som použil nastaviťelný stabilizovaný zdroj konštantného napätia, digitálny voltmeter a ručičkový ampérmetr (obr. 1). Voltmeter je zaradený až za ampérmetr, pretože jeho odpor je v obvode zanedbateľný (rádu $M\Omega$), na rozdiel od nezanedbateľného odporu ampérmetra pri opačnom zapojení. Pri postupnom zvyšovaní napätia zdroja z 0 V sa po prekročení napätia U_{BO} diak zopne a obvodom začne prechádzať prúd.

Odchýlky od symetrie vyjadruje číslo, tzv. symetria diaku, $|U_{BO1} - U_{BO2}|$. Ďalej som meral voltampérovú charakteristiku nastavením napätia tak, aby diakom prechádzalo 10 mA, a jeho postupným znižovaním až do vypnutia diaku.



Obr. 2: Relaxačné kmity

Jednoduchý oscilátor s diakom (obr. 2) pracuje nasledovne: Najprv je kondenzátor vybitý. Po zapojení zdroja napätia sa cez odpor začne nabíjať

$$U = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

a po prekročení napätia U_{BO} sa zopne diak pripojený paralelne.

Kondenzátor sa vybije za čas t_2 až na hodnotu zhášacieho napätia U_{zh} , kedy sa diak vypne a kondenzátor sa začne opäť nabíjať (počas t_1) a cyklus sa opakuje. Odpor R sa volí dostatočne vysoký, aby platilo $t_2 \ll t_1$ a periódu kmitov potom možno vypočítať [1]:

$$T \approx t_1 = RC \cdot \ln \frac{U_0 - U_{zh}}{U_0 - U_{BO}} \quad (2)$$

Pri zvýšení napätia U_0 hodnota spínacieho napätia U_{BO} zostáva konštantná, a preto sa bude (podľa (1) aj (2)) zvyšovať frekvencia oscilátora a kmity získajú zreteľnejšie pílovitý tvar (lineárnejšie nabíjanie kondenzátora, zo vzorca (1): $1 - e^{-\frac{t}{RC}} \approx \frac{t}{RC}$).

Meranie

Meral som U_{BO1} , U_{BO2} podľa obrázka 1 s odporom $5 \text{ k}\Omega$. Index 1 označuje, že vývod diaku označený 1 bol zapojený ako anóda a vývod 2 ako katóda (v tomto zapojení som meral ďalšie úlohy). Index 2 označuje opačné zapojenie. Neistota určenia napätia digitálnym voltmetrom bola zhruba 0,5% (podľa bežnej presnosti), miliampérmeter mal triedu presnosti 0.2 a použité rozsahy boli 1,5 mA, 3 mA, 15 mA. Namerané hodnoty spínacieho napätia U_{BO} a poklesu napätia ΔU boli:

$$U_{BO1} = (32,7 \pm 0,2) \text{ V}$$

$$\Delta U_1 = 32,7 - 23,2 = (9,5 \pm 0,3) \text{ V}$$

$$U_{BO2} = (32,4 \pm 0,2) \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = 32,4 - 23,2 = (9,2 \pm 0,3) \text{ V}$$

$$\text{symetria: } |32,7 - 32,4| = (0,3 \pm 0,3) \text{ V}$$

Posledné hodnoty v tabuľkách 1 a 2 udávajú prúdové prúdy. Šípky v grafe 1 udávajú priebeh spínania.

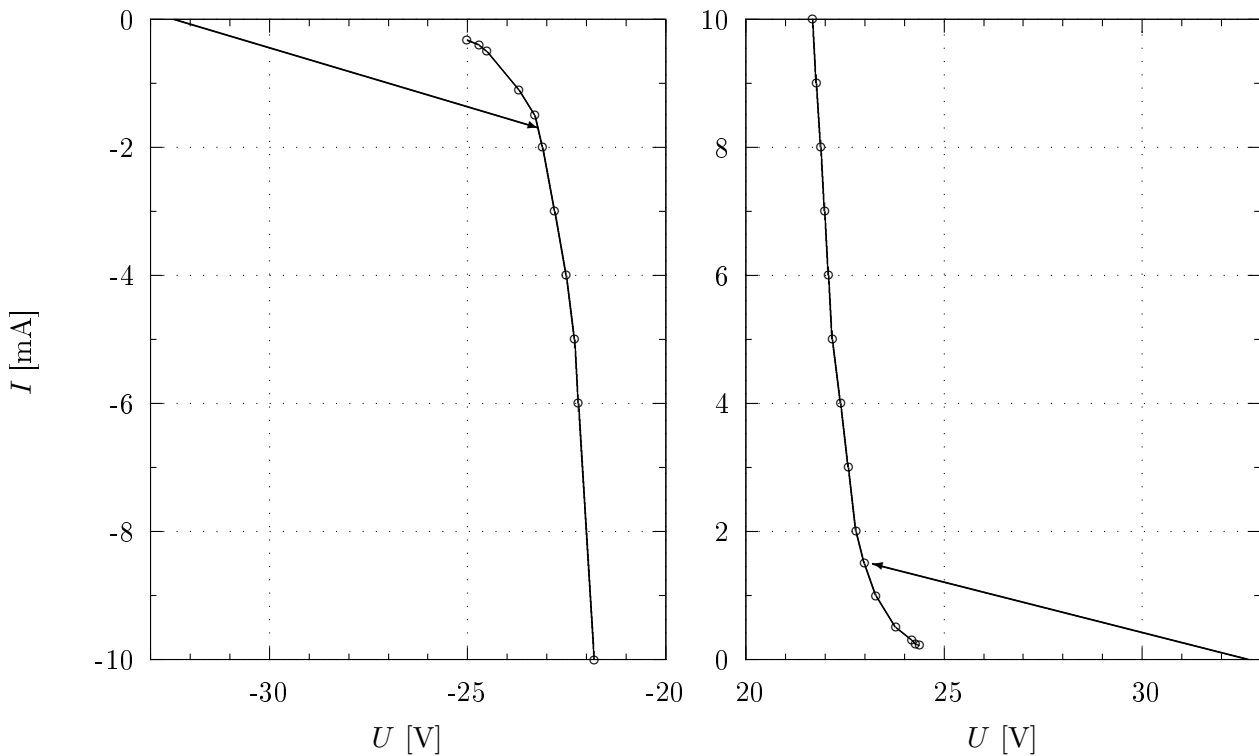
U_1 [V]	I_1 [mA]
21,7(2)	10,01(3)
21,8(2)	9,00(3)
21,9(2)	8,00(3)
22,0(2)	7,00(3)
22,1(2)	6,00(3)
22,2(2)	5,00(3)
22,4(2)	4,00(3)
22,6(2)	3,00(1)
22,8(2)	2,00(1)
23,0(2)	1,500(3)
23,3(2)	1,000(3)
23,8(2)	0,500(3)
24,2(2)	0,300(3)
24,3(2)	0,240(3)
24,4(2)	0,220(20)

Tabuľka 1

U_2 [V]	I_2 [mA]
21,8(2)	10,00(3)
22,2(2)	6,00(3)
22,3(2)	5,00(3)
22,5(2)	4,00(3)
22,8(2)	3,00(1)
23,1(2)	2,00(1)
23,3(2)	1,500(3)
23,7(2)	1,100(3)
24,5(2)	0,500(3)
24,7(2)	0,400(3)
25,0(2)	0,320(20)

Tabuľka 2

Graf 1: Voltampérová charakteristika



Relaxačné kmity podľa obr. 2

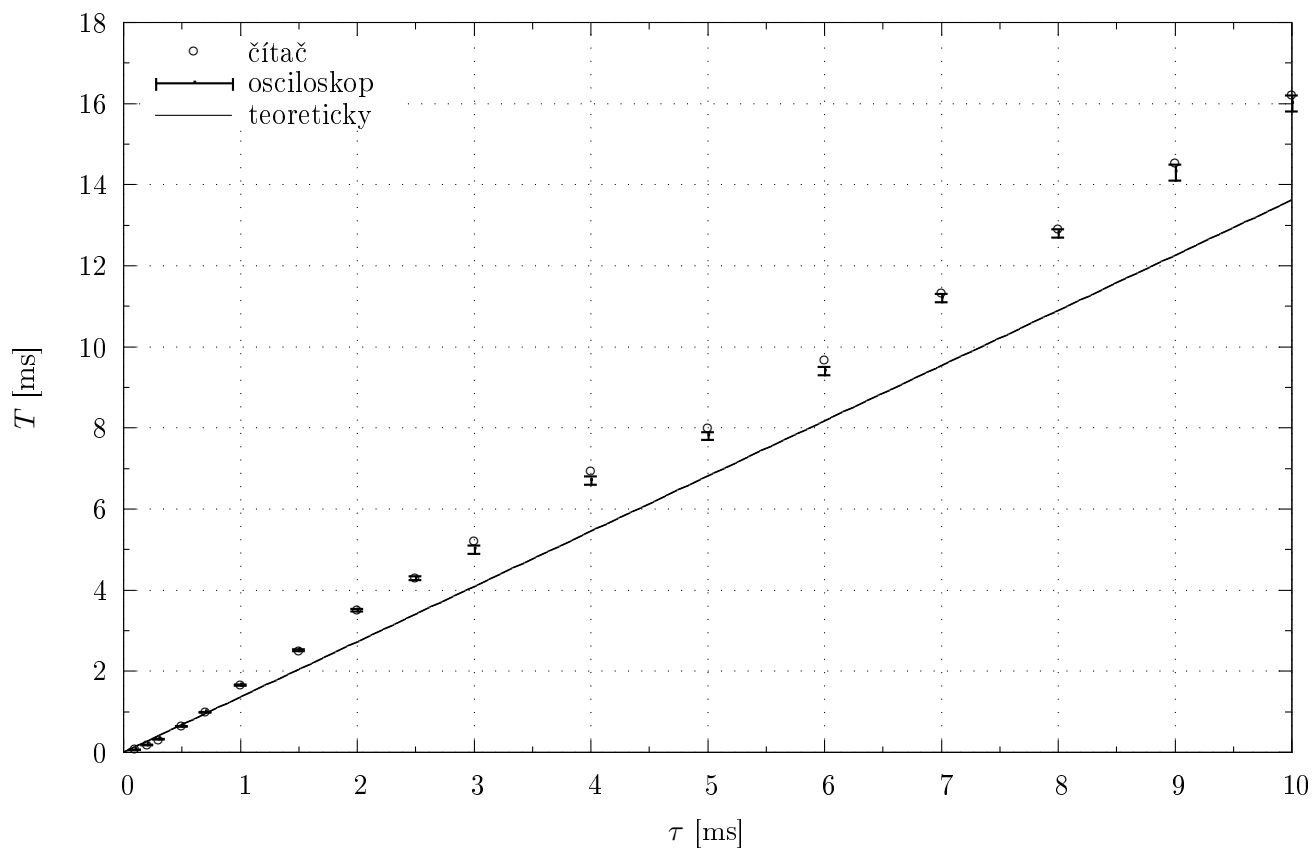
Konštantné parametre: $R = 10,00 \text{ k}\Omega$, $U_0 = 40,0 \text{ V}$. T' v tabuľke je perióda vypočítaná z frekvencie čítača. Kapacita C sa nastavuje kapacitnou dekádou, o ktorej predpokladám, že má zanedbateľnú odchýlku. Odchýlka u frekvencie na čítači ν určená ako interval, v ktorom sa pohybovala meraná honota počas merania.

C [μF]	ν [Hz]	T [ms]	ΔU [V]	T' [ms]	τ [ms]	U_{zh} [V]
0,01	13800(200)	0,068(1)	12,0(5)	0,072(1)	0,1	20,7(5)
0,02	5370(30)	0,183(2)	18,0(5)	0,186(1)	0,2	14,7(5)
0,03	3110(30)	0,323(3)	21,0(5)	0,322(3)	0,3	11,7(5)
0,05	1530(10)	0,64(1)	26,0(5)	0,654(4)	0,5	6,7(5)
0,07	1004(5)	0,99(1)	29,5(5)	0,996(5)	0,7	3,2(5)
0,10	603(3)	1,66(1)	30,5(5)	1,66(1)	1,0	2,2(5)
0,15	398(2)	2,52(2)	30,5(5)	2,51(1)	1,5	2,2(5)
0,20	286,0(1,5)	3,50(3)	30,0(15)	3,50(2)	2,0	2,7(15)
0,25	233,2(1,0)	4,29(5)	30,0(10)	4,29(2)	2,5	2,7(10)
0,30	192,0(0,5)	5,0(1)	30,0(10)	5,21(1)	3,0	2,7(10)
0,40	144,3(0,5)	6,7(1)	28,5(5)	6,93(2)	4,0	4,2(5)
0,50	125,0(0,3)	7,8(1)	28,5(5)	8,00(2)	5,0	4,2(5)
0,60	103,3(0,3)	9,4(1)	28,0(5)	9,68(3)	6,0	4,7(5)
0,70	88,25(0,20)	11,2(1)	28,0(5)	11,33(3)	7,0	4,7(5)
0,80	77,45(0,15)	12,8(1)	28,0(5)	12,91(3)	8,0	4,7(5)
0,90	68,87(0,15)	14,3(2)	28,0(5)	14,52(3)	9,0	4,7(5)
1,00	61,68(0,15)	16,0(2)	27,5(5)	16,21(4)	10,0	5,2(5)

Tabuľka 3

Do grafu 2 som ďalej vyniesol teoretickú závislosť T na τ podľa vzorca (2) s použitím $U_0 - U_{zh} = \Delta U = 28,5 \text{ V}$ a $U_0 - U_{BO} = 40,0 - 32,7 = 7,3 \text{ V}$

Graf 2: Závislosť periódy relaxačných kmitov na τ



V poslednej úlohe som meral závislosť frekvencie ν na napätí U_0 a pozoroval Lissajousove obrazce. Odpor a kapacita boli konštantné:

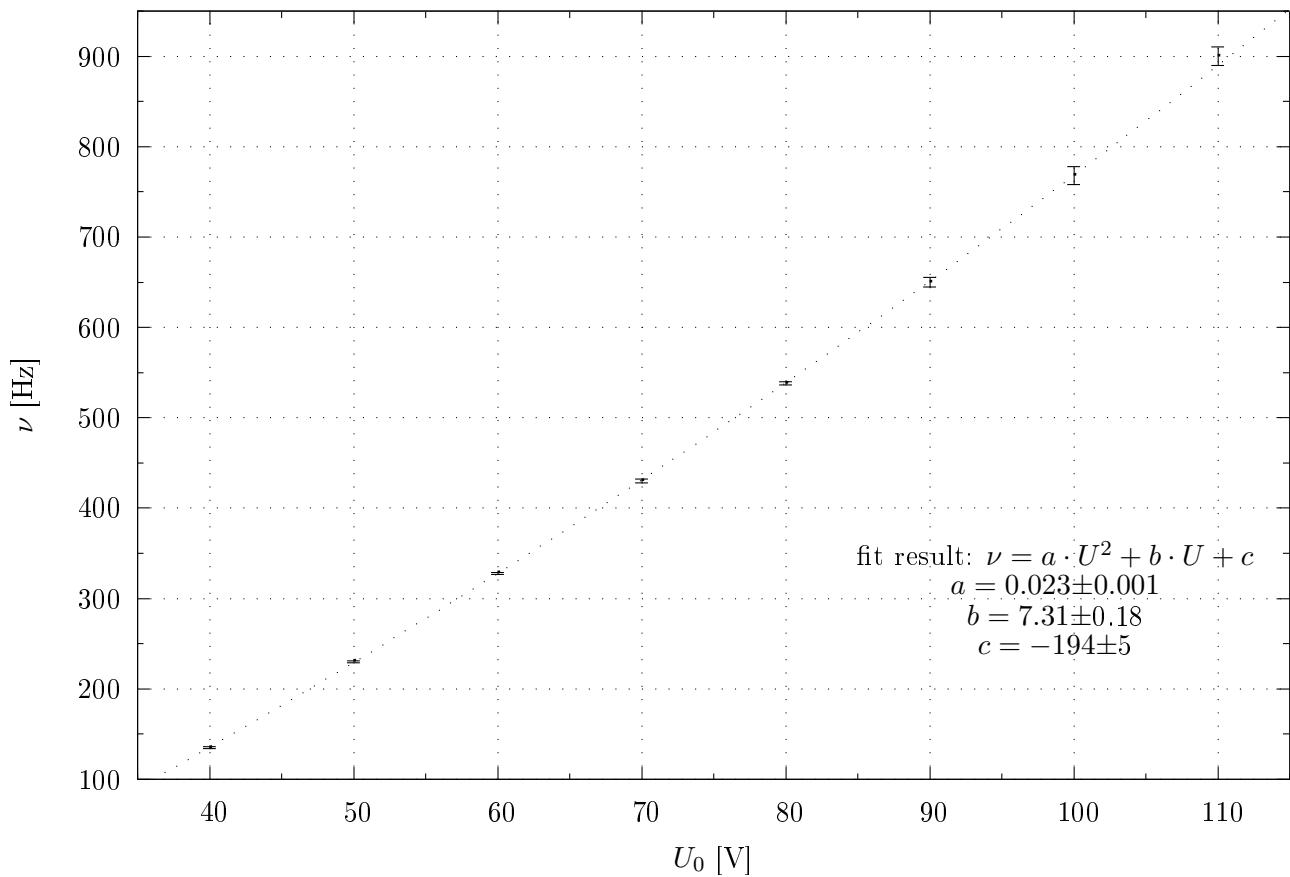
$$R = 10 \text{ k}\Omega \quad C = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$$

Pri nižšom napätí mali Lissajousové obrazce tvar deformovanej sínusoidy, pri vyšších napätiach sa skutočnej sínusoide stále viac podobali. Namerané hodnoty sú v tabuľke 4 a grafe 3.

U_0 [V]	ν [Hz]
40,0	135(1)
50,0	230(1)
60,0	328(1)
70,0	430(2)
80,0	538(2)
90,0	650(5)
100,0	768(10)
110,0	900(10)

Tabuľka 4

Graf 3: Závislosť frekvencie od napájacieho napätia



Diskusia

Meracie prístroje prispievali do odchýlok relatívne malou mierou. Najväčším zdrojom ochýlok bol samotný diak.

Pri meraní frekvencie sa ukázalo, že parametre diaku (asi najviac spínacie napätie) nie sú stabilné ani symetrické. Frekvencia na digitálnom čítači sa neustále menila a ak by som ju pozoroval dlhšiu dobu, zistené odchýlky by zrejme boli oveľa vyššie. Veľký vplyv má pravdepodobne teplota súčiastky, ktorá môže výrazne kolísať - pri vybíjaní kondenzátora tečie súčiastkou značný prúd, zatiaľ čo pri nabíjaní je prúd nulový.

Odchýlka nameranej periódy od teoretickej v grafe 2 je pravdepodobne spôsobená nezaned-

bateľnou veľkosťou t_2 , čo predpokladal vzorec (2).

Hodnota U_{BO} súhlasí s katalógovou hodnotou 22-33 V [2].

Záver

Spínacie napätie diaku KR 105 je $U_{BO1} = (32,7 \pm 0,2)$ V a $U_{BO2} = (32,4 \pm 0,2)$ V. Symetria je $(0,3 \pm 0,3)$ V. Diak možno použiť ako zdroj pílovitých kmitov s presnosťou frekvencie zhruba 2% za predpokladu použitia stabilizovaného zdroja napätia a predchádzajúcej kalibrácie oscilátora.

Literatúra

- [1] R. Bakule, J. Šternberk: Fyzikální praktikum II. SPN, Praha 1989
- [2] Katalog Tesla na <http://web.telecom.cz/owiesz/katalog.htm>