

je, že stanovená hodnota výstupní práce bude zatížena relativně velkou chybou ($\sim 50\%$).

Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983
čl. 4.3.5.1 4.5.2.1

13. STUDIUM DOUTNAVKY

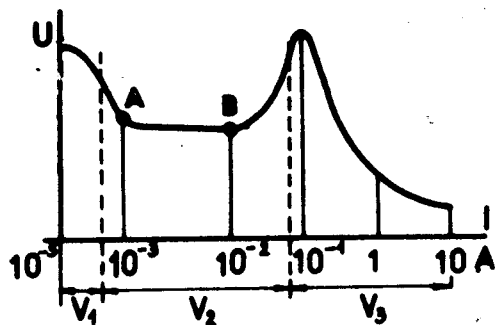
Pracovní úkol

- Změřte voltampérovou charakteristiku doutnavky a z ní určete
 - zapalovací napětí U_{zap}
 - provozní napětí U_{st}
 - zhasací napětí U_{zh}
 - vnitřní odpor R_i
 - maximální a minimální provozní proud I_{max} , I_{min} .
- Změřte zatěžovací charakteristiku stabilizátoru (tj. závislost provozního napětí U_{st} doutnavky na proudu tekoucím zatěžovacím odporem R_z při konstantním napětí zdroje E). Z této charakteristiky určete vnitřní odpor stabilizátoru a srovnajte s hodnotou naměřenou v bodu 1.
- Změřte změnu provozního napětí doutnavky ΔU_{st} vyvolanou změnou napětí zdroje o ΔE při konstantním odporu zátěže. Výsledek měření porovnejte s teoretickými vztahy.
- Zapojte doutnavku jako zdroj relaxačních kmitů a změřte závislost periody těchto kmitů T na časové konstantě RC obvodu.
- Naměřené výsledky zpracujte graficky.

Doutnavka

Je to plynem plněná elektronka s dvěma elektrodami. Tlak plynu je několik set pascalů. Přiložíme-li k elektrodám napětí vyšší než U_{zap} , nasadí v doutnavce samostatný výboj a doutnavkou teče proud. Závislost napětí na proudu je pro širokou oblast proudů vyznačena na obr.1. Oblast V_1 představuje tmavý výboj, který není doprovázen světélkováním plynu. Oblast V_2 představuje doutnavý výboj, který je doprovázen světelným zářením plynu. Konečně v oblasti V_3 dojde k obloukovému výboji.

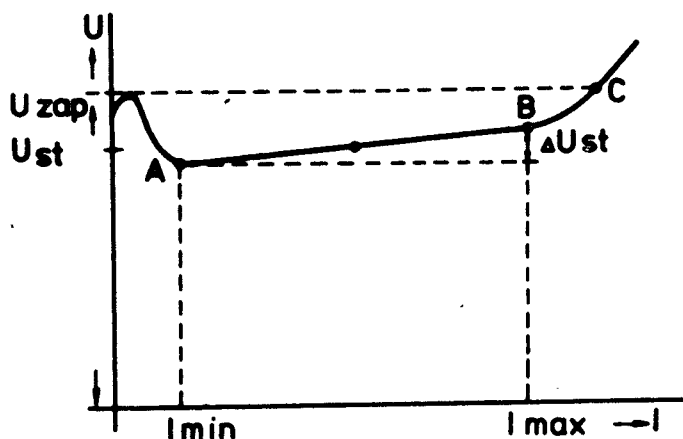
Doutnavky se používají v elektrotechnice jako indikátory napětí, v elektronice pro stabilizaci napětí řádově $10^{-1} - 10^{-2}$ V (stabilitrony).



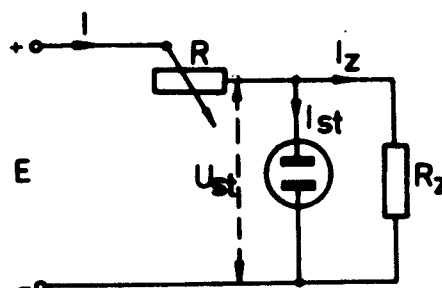
Obr. 1

V obvodech s tranzistory je nahrazují Zenerovy diody (viz úloha 11).

Na obr.2 je schematicky zakreslen ve zvětšeném měřítku začátek charakteristiky. Pro stabilizační účely se používá části charakteristiky ležící mezi proudy I_{\min} a I_{\max} , kde je charakteristika prakticky lineární. Vlastnosti doutnavky charakterizuje dynamický vnitřní odpor. V pracovní části charakteristiky je roven



Obr. 2



Obr. 3

$$R_i = \frac{\Delta U_{\text{st}}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (1)$$

Typická hodnota vnitřního odporu doutnavky je $\sim 10^2 \Omega$.

Ve stabilizačních zařízeních je doutnavka zapojena paralelně ke spotřebiči R_z (obr.3).

Doutnavku je nutno zapojit přes odpor R , pomocí něhož se nastaví správný pracovní režim. Aby doutnavka zapálila, musí být napětí zdroje $E > U_{\text{zap}}$. Jestliže by nebyl zapojen odpor R , pracovala by doutnavka v oboru nevýhodném pro stabilizaci (např. v bodě C na obr.2), nebo by přešla do režimu obloukového výboje a došlo k jejímu zničení. Hodnotu odporu R volíme tak, aby při $R_z \rightarrow \infty$ tekla doutnavkou proud jen o málo menší než I_{\max} . Velikost odporu R odhadneme z podmínky

$$R \doteq \frac{E - U_{\text{st}}}{I_{\max}} \quad (2)$$

Protože proud I odebíraný ze zdroje je roven součtu proudu doutnavkou I_{st}

a zátěži I_z ($I = I_{st} + I_z$), platí pro obvod na obr.3 rovnice

$$E = U_{st} + R (I_{st} + I_z) \quad (3)$$

Změní-li se napětí zdroje o dE , bude tato změna rovna součtu změn napětí na doutnavce a odporu R .

$$dE = dU_{st} + R dI_z + R dI_{st} \quad (4)$$

Protože platí

$$dI_z = \frac{dU_{st}}{R_z} \quad ; \quad dI_{st} = \frac{dU_{st}}{R_i} \quad (5)$$

vyjadřuje relaci mezi změnami napětí na zdroji a zátěži (doutnavce) vztah

$$dE = dU_{st} \left(1 + \frac{R}{R_z} + \frac{R}{R_i} \right) \quad (6)$$

Má-li doutnavka stabilizovat napětí na zátěži, musí být splněno $R_i \ll R_z$. Předchozí vztah je pak možno zjednodušit a psát

$$dU_{st} \doteq dE \left(\frac{R_i}{R + R_i} \right) \quad (7)$$

Kdyby v obvodu nebyla zapojena doutnavka, způsobila by změna napětí zdroje dE změnu napětí na odporu R_z

$$dU_z = dE \frac{R_z}{R + R_z} \quad (8)$$

Zapojením doutnavky se kolísání napětí na zátěži zmenší v poměru

$$\frac{dU_{st}}{dU_z} = \frac{R + R_z}{R + R_i} \cdot \frac{R_i}{R_z} \quad (9)$$

Při praktické realizaci stabilizačního obvodu bývají odpory R a R_z řádově stejné hodnoty. Ze vztahu (9) je pak zřejmé, že stabilizační účinek doutnavky určuje především poměr R_i / R_z .

Vztahem (6) v úloze 11 jsme definovali stabilizační činitel Zenerovy diody. Obdobně lze psát

$$S_u = \frac{dE}{dU_{st}} \frac{U_{st}}{E} = \frac{U_{st}}{E} \left(\frac{R_i + R}{R_i} \right) \quad (10)$$

Mění-li se odpor zátěže, mění se pochopitelně i proud I_z . Zůstává-li napětí zdroje konstantní ($dE = 0$), plyne z rovnice (4)

$$dI_z = -dI_{st} - \frac{dU_{st}}{R} \quad (11)$$

Použijeme-li druhé z rovnic (5), platí

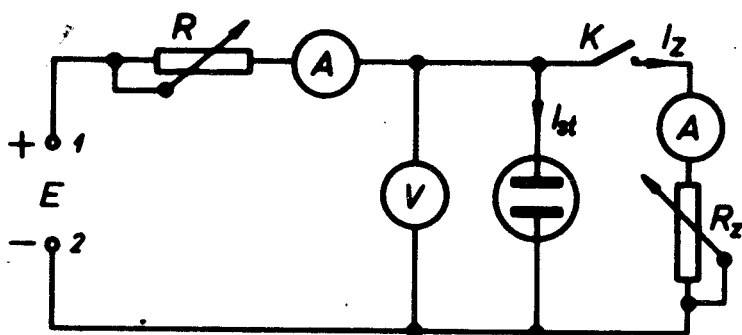
$$dI_z = -dU_{st} \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R} \right) \quad (12)$$

Pokud je $R \gg R_i$, zjednoduší se předchozí vztah na tvar

$$dI_z = -\frac{1}{R_i} dU_{st} \quad (13)$$

Tohoto vztahu můžeme použít k určení vnitřního odporu doutnavky, obdobně jako (1). Z rovnice (11) je zřejmé, že při $R \gg R_i$ způsobí změna proudu zátěží přibližně stejně velkou změnu proudu doutnavkou, ovšem opačného znamení.

Měření vlastností doutnavky



Obr. 4

Použijeme zapojení na obr.4. Na svorky 1,2 je připojen regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí $0 \div 200$ V. Charakteristiku výbojky změříme při rozepnutém klíči K. Nastavíme velkou hodnotu odporu R a zvyšujeme napětí zdroje až doutnavka zapálí. To se

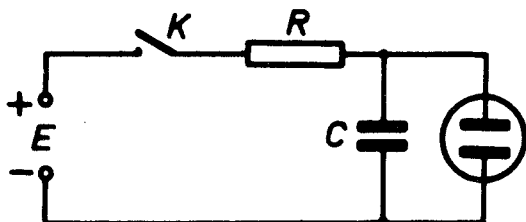
projeví vzrůstem proudu v obvodu a poklesem napětí na doutnavce. Postupným snižováním odporu R a případně i zvyšováním napětí zdroje zvyšujeme proud doutnavkou až po maximální přípustný proud 30 mA. Odečítáme na přístrojích hodnoty proudu a napětí. Napětí musíme ovšem měřit přístrojem s velkým vnitřním odporem, elektronkovým voltmetrem, případně i přístrojem Avomet II, jehož vnitřní odpor je $50 \text{ k}\Omega / \text{V}$.

Stabilizační vlastnosti doutnavky lze prověřit měřením

- závislosti napětí na elektrodách stabilizátoru U_{st} na I_z při konstantním napětí zdroje E
- závislosti napětí U_{st} na napětí zdroje E při konstantním proudu zátěží I_z

Obě tato měření provádíme v zapojení podle obr.4 ovšem při zapnutém klíči K . Odpor R nastavíme na hodnotu $7 \text{ k}\Omega$. Maximální dovolený proud doutnavkou je 30 mA , zatěžovacím odporem (dekádou) může téci proud maximálně 25 mA . Měření podle pracovního úkolu 3 provádějte při nastavení takového odporu, aby proud zátěží byl 15 mA . Výsledky měření porovnáme se vztahy (7) a (13) .

Relaxační kmity v obvodu s doutnavkou



Obr. 5

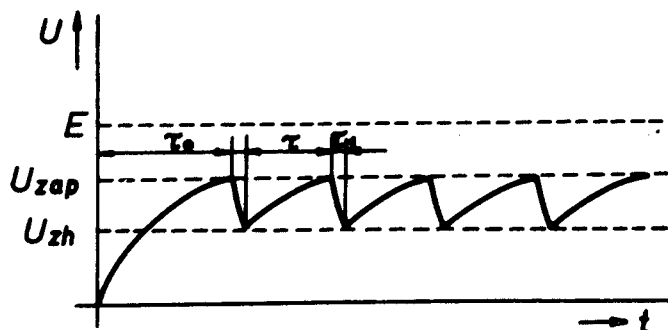
$E > U_{\text{zap}}$. Po zapnutí klíče K (v okamžiku $T = 0$) počne na kondenzátoru vzrůstat napětí podle vztahu

$$U = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) . \quad (14)$$

Jakmile dosáhne hodnoty U_{zap} (v čase τ_0), zapálí v doutnavce výboj, doutnavkou počne téci proud a kondenzátor se bude rychle vybíjet. Kondenzátor se bude vybíjet tak dlouho, až napětí na něm poklesne na hodnotu U_{zh} odpovídající nejnižšímu bodu charakteristiky doutnavky (bod A na obr.2) . V tomto okamžiku výboj v doutnavce zhasne a kondenzátor se počne opět nabíjet ; tentokrát však bude na něm napětí U vzrůstat podle vzorce

$$U - U_{\text{zh}} = (E - U_{\text{zh}}) \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) . \quad (15)$$

Po dosažení hodnoty U_{zap} se bude celý děj opakovat. Napětí na kondenzátoru



Obr. 6

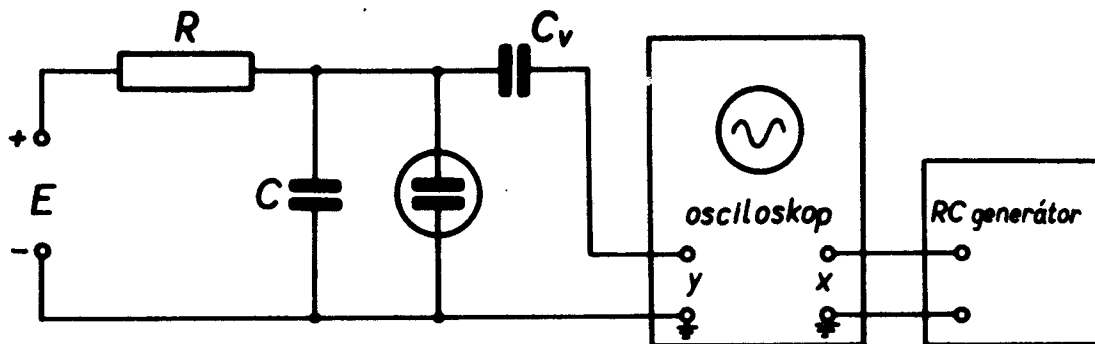
C bude mít průběh podle obr.6 . Vhodnou volbou E a R můžeme dosáhnout toho, že doba vybíjení bude zanedbatelná proti době nabíjení. Za tohoto předpokladu můžeme pro periodu kmitů psát

$$T = \tau + \tau_1 \doteq \tau$$

a podle vzorce (15) dostaneme

$$T = RC \ln \frac{E - U_{zh}}{E - U_{zap}} \quad (16)$$

K ověření funkce zapojení a vzorce (16) můžeme použít zapojení podle obr. 7 .



Obr. 7

Doba kmitu je závislá především na hodnotě součinu RC . Abychom vybudili relaxační kmitu, nelze volit napětí E , odpor R a kapacitu C libovolně . Pro doutnavku používanou v praxi jsou doporučené hodnoty $E \sim 160 \text{ V}$, $R \sim 0,1 - 1 \text{ M}\Omega$ a $C = 0,05 - 0,5 \mu\text{F}$.

Připojíme-li k elektrodám doutnavky (přes vazební kondenzátor C_v , který oddělí stejnosměrnou složku napětí) osciloskop, můžeme na jeho obrazovce pozorovat průběh relaxačních kmitů.

Při tomto měření použijeme vnitřní časové základny. Periodu kmitů můžeme měřit tak, že místo vnitřní časové základny připojíme na horizontálně vychylující destičky sinusové napětí z RC generátoru. V tomto uspořádání můžeme pomocí obrazců na obrazovce srovnávat kmitočty relaxačních kmitů s kmitočtem napětí RC generátoru. Dobu trvání kmitů můžeme ovšem měřit též přímo osciloskopem, který má cejchovanou rychlost časové základny (např. osciloskop BM 510). Nejpřesnějších výsledků však dosáhneme, změříme-li frekvenci kmitů čítačem (např. BM 520). Čítač zapojíme buď paralelně ke svorkám vertikálního zesilovače osciloskopu (svorky y na obr.7), nebo osciloskop i s generátorem odpojme a místo nich zapojíme čítač.

Doutnavka se již jako generátorů pilového napětí nepoužívá. Existuje řada obvodů, kterými lze dosáhnout daleko lineárnějšího průběhu napětí. V této části úlohy se máte především seznámit s obsluhou osciloskopu a poznat u úlohy používané způsoby měření doby kmitu periodicky se opakujícího průběhu.

Na závěr jedno upozornění. Doutnavku, kterou používáte k měření charakteristiky, nelze použít k vytvoření relaxačních kmitů. Při měření charakteristiky se v oblasti vyšších proudů ohřívají elektrody doutnavky. Z elektrod se uvolňují zbytkové plyny, dochází k znečištění atmosféry uvnitř doutnavky. Zmenší se rozdíl mezi zápalným a zhašecím napětím a obtížně se nastaví kmitu v obvodu.

Literatura

- [1] Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983
čl. 4.1.3.2 , 4.5.2.4 , 4.5.2.5

14. RELAXAČNÍ KMITY

Pracovní úkol

- Proměřte voltampérovou charakteristiku diaku a z ní určete :
 - spínací napětí při obou polaritách U_{B01} , U_{B02}
 - pokles napětí na diaku při překročení spínacího napětí ΔU (při obou polaritách)
 - tzv. symetrii charakteristiky diaku $|U_{B01} - U_{B02}|$Všechny určené hodnoty porovnejte s katalogovými hodnotami.
- Zapojte diak jako zdroj relaxačních kmitů a změňte závislost periody těchto kmitů T na časové základně $\tau = RC$ obvodu při konstantním napětí zdroje. Kmitočet relaxačních kmitů měřte běžně čítačem, při několika řádově různých hodnotách RC však též přímo osciloskopem a porovnáním s kmitočtem generátoru (pomocí Lissajousových obrazců).
V referátu porovnejte přesnost použitých metod měření kmitočtu.
- Změňte závislost frekvence kmitů f na napětí zdroje U_0 . Pomocí osciloskopu určete z amplitud relaxačních kmitů hodnoty zhasacího napětí U_{zh} a naměřené hodnoty ověřte výpočtem.
- Naměřené výsledky zpracujte graficky.

Diak

Diak je spínací třívrstvý symetrický polovodičový systém s dvěma elektrodami. Na obr.1 je zakresleno schema jeho struktury. Jedná se v podstatě o zapojení tranzistoru se společným emitorem s nulovým proudem bazí, který pracuje ve spínacím provozu na rozhraní aktivní oblasti a oblasti průrazu. Část charakteristiky mezi body O , A (obr.2), při opačné polaritě O , A' , je proto shodná s výstupní charakteristikou tranzistoru pro $I_B = 0$. Jakmile napětí na diaku překročí hodnotu spínacího napětí U_{B0} , dochází k lavinovému průrazu přechodu zapojeného v závěrném směru a napětí na diaku poklesne o ΔU , tj. zmenší se jeho stejnosměrný odpor. Hodnota ΔU je závislá na velikosti proudu diakem, s rostoucím proudem se ΔU zvětšuje. Pro diak KR 105 je při proudu 1A ΔU téměř rovné U_{B0} , což znamená, že $U_{zh} \approx 0$. Proud 1 A však nemůže téci diakem trvale, neboť maximální přípustný výkon přeměněný v teplo na diaku může být 300 mW. Charakteristika diaku je téměř