



Úloha č. 11

Měření kapacity PN přechodu polovodičové součástky

1 Zadání úlohy

V rámci laboratorní úlohy zjistěte napětovou závislost bariérové kapacity PN přechodu předložené kapacitní diody (varikapu) zapojené v závěrném směru. Pro určení kapacit při určitých napětích nastavených na stejnosměrném zdroji využijte dvě odlišné metody. První je Ohmova metoda, při které je měřen úbytek napětí na definovaném rezistoru při konkrétním nastavení stejnosměrného zdroje a signálového generátoru. Druhou metodou je rezonanční metoda založená na zjišťování rezonanční frekvence (frekvence nastavovaná na signálovém generátoru), při které je dosaženo maximální amplitudy napětí na definovaném rezistoru.

Napětové závislosti kapacity varikapu zjištěné Ohmovou a rezonanční metodou vynesete do grafu a všechny naměřené a vypočítané hodnoty (napětí, proudu, kapacity atd.) zapišete do tabulek. Určete poměr kapacit $C_T(U_{SS} = 2 \text{ V}) / C_T(U_{SS} = 15 \text{ V})$ pro měřenou kapacitní diodu z měření Ohmovou i rezonanční metodou.

Z dostupného katalogového listu pro danou kapacitní diodu zjistěte základní parametry (např. proud v propustném směru, maximální závěrné napětí a kapacity diody při určitých napájecích napětích). Z katalogového listu (z grafu napětové závislosti kapacity C_T) také zjistěte přibližné hodnoty C_T pro nastavovaná napětí v rozsahu od 2 V do 17 V a porovnejte je s vypočítanými hodnotami pro Ohmovou a rezonanční metodu. Z porovnání hodnot vypočítaných pro obě metody určete, kterou metodu lze považovat za přesnější a čím mohou být způsobeny případné rozdíly v získaných hodnotách kapacit.

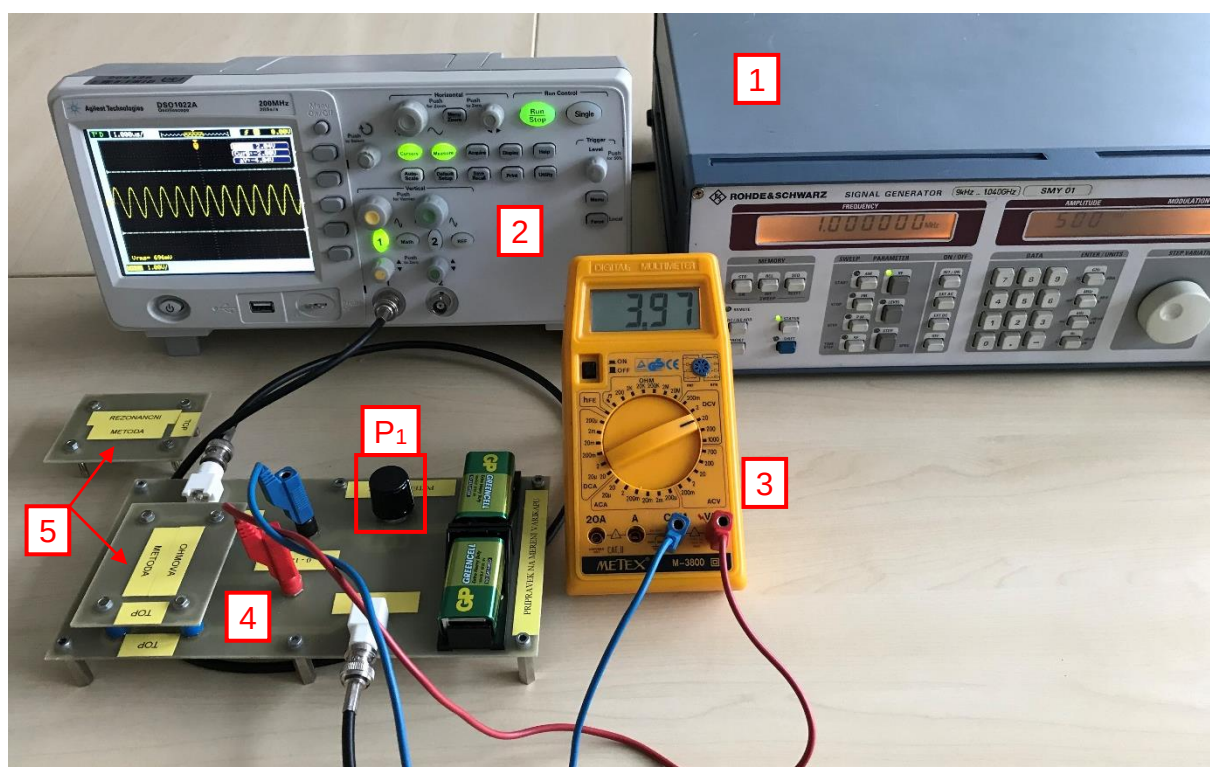
2 Teoretický rozbor problematiky

Vypracujte teoretický rozbor tematiky týkající se primárně PN přechodu v polovodičových součástkách a určování jeho parametrů v rozsahu **2 normostrany** (1 normostrana = 1800 znaků včetně mezer). Zaměřte se na definování kapacity PN přechodu a možnosti jejího ovlivňování. Je možné blíže specifikovat bariérovou a difuzní kapacitu a zaměřit se na popis kapacitní diody (varikapu) jako součástky, u které je žádoucí ovlivňování kapacity přiloženým napětím. Pozornost lze věnovat také metodám využívaným pro měření kapacity PN přechodu (Ohmova metoda, rezonanční metoda, Clappův oscilátor). V textu **aktivně používejte** citace na použitou odbornou literaturu. Použitou literaturu formátujte v souladu s normou ČSN ISO 690 Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů.

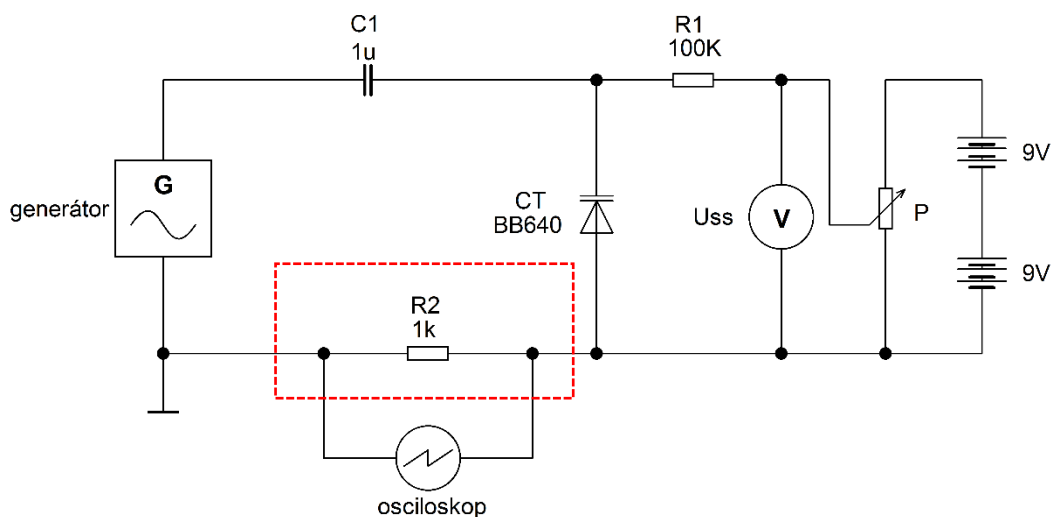


3 Používané laboratorní vybavení a jeho stručný popis

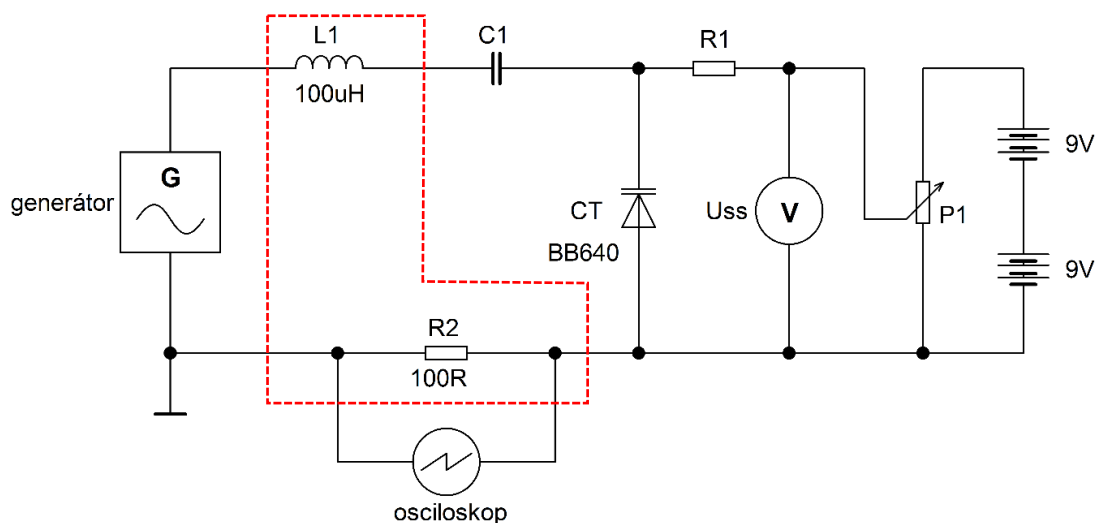
- Signálový generátor
- Digitální osciloskop (dostačuje jedнокanálový osciloskop)
- Multimetr ve funkci voltmetru
- Přípravek se základem měřeného obvodu a regulovatelným stejnosměrným zdrojem
- Vyměnitelné přípravky pro Ohmovu a rezonanční metodu měření kapacity varikapu



Obr. 1: Realizace zapojení obvodu pro určování kapacity varikapu Ohmovou a rezonanční metodou (1 – signálový generátor, 2 – osciloskop, 3 – multimetr pro měření nastavovaného napětí U_{ss} , 4 – hlavní přípravek se základem měřeného obvodu a se stejnosměrným zdrojem regulovatelným potenciometrem P_1 , 5 – vyměnitelné přípravky pro Ohmovu a rezonanční metodu měření).



Obr. 2: Schéma zapojení obvodu pro měření kapacity varikapu Ohmovou metodou (červeně vyznačen vyměnitelný přípravek).



Obr. 3: Schéma zapojení obvodu pro měření kapacity varikapu rezonanční metodou (červeně vyznačen vyměnitelný přípravek).

4 Postup měření

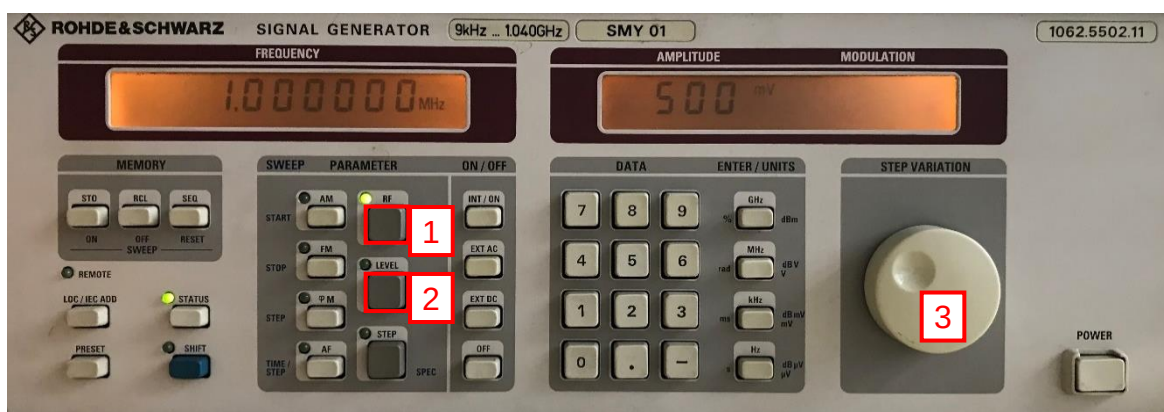
Ohmova metoda

1. Sestavte měřicí obvod (viz Obr. 1), jehož schéma zapojení je znázorněno na Obr. 2. Pro sestavení obvodu použijte přípravek s elektronickými součástkami C_1 , C_T , R_1 a P_1 a se



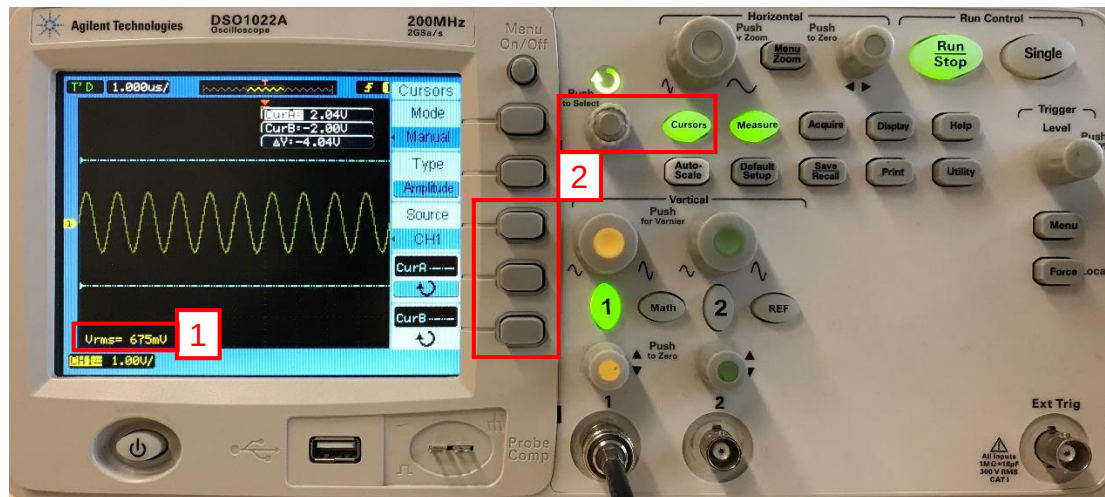
stejnosemným zdrojem. Dále použijte vyměnitelný přípravek pro Ohmovu metodu s rezistorem R_2 s odporem $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Zapojení si nechte zkontrolovat vyučujícím.

- Na generátoru nastavte sinusový průběh napětí s efektivní hodnotou napětí $U_{GEN} = 500 \text{ mV}$ a frekvencí $f = 1 \text{ MHz}$. Pomocí osciloskopu změřte přesnější hodnotu nastaveného napětí U_{GEN} (upřesnění hodnoty 500 mV). Bližší informace o připojení generátoru k osciloskopu vám poskytne vedoucí cvičení.



Obr. 4: Čelní panel signálového generátoru (1 – tlačítko volby regulace frekvence, 2 – tlačítko volby regulace napětí, 3- regulátor pro plynulou změnu frekvence nebo napětí po stisknutí tlačítka 1 nebo 2).

- Pomocí potenciometru P_1 na hlavním přípravku nastavujte napájecí napětí U_{SS} od 2 V do 17 V s krokem 1 V a na osciloskopu odečítejte úbytek napětí na rezistoru R_2 pro všechna nastavená napětí U_{SS} . Zjištěné efektivní hodnoty napětí (U_{RMS}) zaznamenejte do tabulky. Napětí U_{RMS} lze zobrazit na osciloskopu přímo nebo jej lze určit pomocí horizontálních kurzorů (CurA a CurB dle Obr. 5). Při určování U_{RMS} kurzory je nejjednodušší určit napětí mezi minimem a maximem sinusového průběhu ($2U_{MAX}$) a vypočítat U_{RMS} jako $U_{MAX}/\sqrt{2}$. Zkontrolujte, zda je správně nastaven vstup signálu na 1. kanálu (Probe 1X – vstupní a zobrazované napětí v poměru 1:1).



Obr. 5: Čelní panel osciloskopu (1 – U_{RMS} zobrazeného průběhu, 2 – ovládání kurzorů).

4. Na základě změřeného úbytku napětí na rezistoru R_2 spočítejte podle Ohmova zákona protékající proud I (1). Napětí na kapacitní diodě vypočítejte dle vztahu (2) a výslednou kapacitu kapacitní diody C_T lze stanovit na základě vztahu (3).

Rezonanční metoda

1. Sestavte měřicí obvod (viz Obr. 1), jehož schéma zapojení je znázorněno na Obr. 3. Pro sestavení obvodu použijte přípravek s elektronickými součástkami C_1 , C_T , R_1 a P_1 a se stejnosměrným zdrojem. Dále použijte vyměnitelný přípravek pro rezonanční metodu (využívající sériovou rezonanci) tvořený rezistorem s odporem $R_2 = 100 \Omega$ a cívkou s indukčností $L_1 = 100 \mu\text{H}$. Zapojení si nechte zkontrolovat vyučujícím.
2. Na generátoru ponechte nastavený sinusový průběh napětí s výchozí frekvencí 1 MHz a pouze snižte efektivní hodnotu napětí na $U_{GEN} = 150 \text{ mV}$.
3. Pomocí potenciometru P_1 nastavujte napětí U_{SS} od 2 V do 17 V s krokem 1 V a pomocí regulace frekvence na generátoru nastavte pro všechna napětí U_{SS} takovou frekvenci f_R , aby byl obvod v rezonanci, tj. nastavte největší možnou výchylku napětí na R_2 .
4. Naměřené hodnoty rezonančních frekvencí zaznamenejte do tabulky.
5. Na základě podmínky rezonance a změřené rezonanční frekvence vypočítejte kapacitu kapacitní diody dle vztahu (4). Vzhledem k tomu, že se pohybujete v oblasti vyšších frekvencí, začíná se již projevovat parazitní kapacita cívky. Proto je nutné pro přesnost



výsledků dosadit do vztahu (4) fiktivní hodnotu indukčnosti L_1' , která je vypočítána podle vztahu (5) při znalosti skutečné indukčnosti L_1 a rezonanční frekvence použité cívky $f_{L1R} = 9 \text{ MHz}$.

Nezapomeňte si poznamenat parametry prostředí!

- Teplota ($^{\circ}\text{C}$):
- Vlhkost (%RH):
- Tlak (mbar nebo kPa):

5 Vztahy nutné k výpočtům

5.1 Ohmova metoda

Vztah pro výpočet proudu I (protékajícího přes rezistor R_2)

$$I = \frac{U_{R2}}{R_2} \text{ (A)}, \quad (1)$$

kde U_{R2} (V) je úbytek napětí na rezistoru R_2 (efektivní hodnota napětí) a R_2 (Ω) je odpor rezistoru R_2 použitého v zapojení pro měření Ohmovou metodou.

Vztah pro výpočet efektivní hodnoty napětí na kapacitní diodě U_{CT}

$$U_{CT} = \sqrt{U_{GEN}^2 - U_{R2}^2} \text{ (V)}, \quad (2)$$

kde U_{GEN} (V) je efektivní hodnota napětí nastaveného na signálovém generátoru a U_{R2} (V) je úbytek napětí na rezistoru R_2 .

Vztah pro výpočet kapacity diody C_T

$$X_{CT} = \frac{U_{CT}}{I} = \frac{1}{2\pi f C_T} \text{ (}\Omega\text{)} \rightarrow C_T = \frac{I}{2\pi f U_{CT}} \text{ (F)}, \quad (3)$$

kde I (A) je proud protékající přes rezistor R_2 a f (Hz) je frekvence napětíového průběhu.



5.2 Rezonanční metoda

Vztah pro výpočet kapacity C_T

$$X_L = X_C \rightarrow 2 * \pi * f_R * L_1' = \frac{1}{2 * \pi * f_R * C_T} (\Omega) \rightarrow C_T = \frac{1}{(2 * \pi * f_R)^2 * L_1'} (F), \quad (4)$$

kde f_R (Hz) je rezonanční frekvence a L_1' (H) je fiktivní hodnota indukčnosti cívky.

Vztah pro výpočet fiktivní hodnoty indukčnosti cívky L_1'

$$L_1' = \frac{L_1}{1 - \frac{f_R^2}{f_{L1R}^2}} (H), \quad (5)$$

kde L_1 (H) je skutečná hodnota indukčnosti, f_{L1R} (Hz) je rezonanční frekvence cívky a f_R (Hz) je naměřená rezonanční frekvence sériové rezonance zapojení podle Obr. 3.