

Měření kapacity kondenzátorů

Úkol měření

1. V rámci domácí přípravy nastudujte problematiku kondenzátorů jako součástek elektronických obvodů, dále problematiku elektrostatického pole a základní a charakteristické vlastnosti izolantů.
2. Do závěrečných poznámek zpracujte v rámci domácí přípravy přehled druhů vyráběných kondenzátorů (výpis z katalogových listů), jejich vlastnosti, orientační cenové relace apod. Dále zpracujte přehled veličin používaných pro popis elektrostatického pole a vztahů mezi nimi.
3. Změřte kapacitu kondenzátorů C_1 , C_2 a C_3 multimetrem.
4. Vypočítejte výslednou kapacitu jejich sériové a paralelní kombinace. Také hodnoty těchto kombinací změřte multimetrem.
5. Změřte kapacitu jednotlivých kondenzátorů dále sériové a paralelní kombinace nepřímo Ohmovou metodou.
6. Vypočítejte chybu měření kapacity.
7. Zjistěte závislost proudu procházejícího kondenzátorem C_1 na napětí při napájení kondenzátoru střídavým napětím s konstantním kmitočtem.
8. Zjistěte závislost kapacitní reaktance X_C na kmitočtu f v rozsahu 20 až 150 Hz.
9. Výše uvedené závislosti zpracujte graficky.
10. Zhodnoťte měření.

Obecná část

Kapacity kondenzátorů lze měřit přímou metodou (nejčastěji pomocí můstku, např. Scheringova nebo multimetrem) nebo nepřímou metodou (Ohmova metoda).

Ohmova metoda spočívá v měření napětí na kondenzátoru a proudu jako jeho následku. Zanedbáváme tak ztrátový činitel $\tan \delta$.

V případě použití můstku je potřeba můstek kalibrovat na nulovou hodnotu podle návodu výrobce můstku.

V případě paralelní kombinace kondenzátorů obdržíme výslednou kapacitu součtem jednotlivých kapacit:

Rovnice 1

$$C_p = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Sériová kombinace dvou kondenzátorů má celkovou kapacitu danou vztahem:

Elektrická měření – laboratorní cvičení

Rovnice 2

$$C_{s2} = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$$

Výše uvedený vztah lze jednoduše odvodit z obecného vztahu pro celkovou kapacitu sériové kombinace obecného množství kondenzátorů:

Rovnice 3

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

Kapacitní reaktance je nepřímo úměrná kmitočtu i kapacitě kondenzátoru podle vztahu:

Rovnice 4

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C}; (\Omega)$$

Pro střídavě napájený ideální kondenzátor z Ohmova zákona platí:

Rovnice 5

$$X_C = Z_C = \frac{U}{I}$$

Úpravou po vzájemném dosazení výše uvedených vztahů obdržíme vztah pro kapacitu měřenou nepřímo Ohmovou metodou:

Rovnice 6

$$C = \frac{I}{2 * \pi * f * U}; (F)$$

Měření kapacity je zatíženo chybou všech použitých měřicích přístrojů, dále chybou metody způsobenou spotřebou těchto přístrojů, chybou odečtu (zaokrouhlování) z displeje nebo stupnice. Výsledná chyba je dána součtem:

Rovnice 7

$$|\delta_C| = |\delta_{MP1}| + |\delta_{MP2}| + |\delta_{MET}| + |\delta_G|,$$

kde δ_{MP1} je relativní chyba měřicího přístroje vypočtená za pomoci informací ze stupnice nebo manuálu měřicího přístroje, δ_{MET} je chyba metody a δ_G je relativní chyba generátoru (rozlišení vztahené k nastavenému kmitočtu).

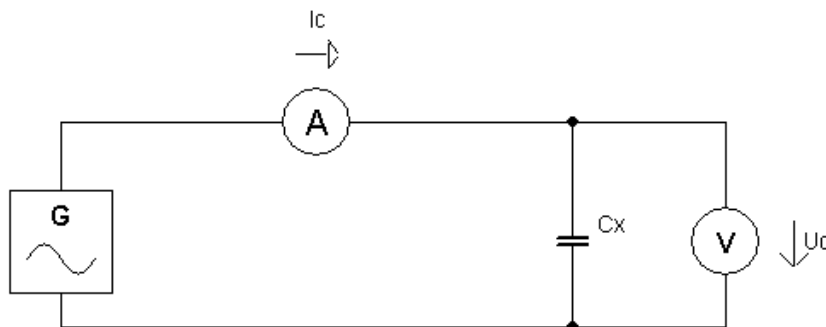
Absolutní chybu pak lze spočítat podle vztahu:

Elektrická měření – laboratorní cvičení

Rovnice 8

$$\Delta_C = \frac{\delta(\%) }{100} * C_x$$

Schéma zapojení



Obrázek 1: Měření kapacity Ohmovou metodou

Postup měření

1. Měříme kapacitu jednotlivých kondenzátorů i jejich kombinací přímo. Změřené hodnoty zapíšeme do tabulky.
2. Kapacitu jednotlivých kondenzátorů i jejich kombinací měříme Ohmovou metodou; hodnoty napětí, proudu a kmitočtu zapíšeme, hodnotu kapacity, absolutní a relativní chybu měření vypočteme.
3. Kondenzátor C_1 zapojíme do schématu, na generátoru nastavíme kmitočet 100 Hz (tuto hodnotu po celou dobu měření udržujeme), nastavujeme napětí dle tabulky, měříme a zapisujeme hodnoty proudu. Vypočteme hodnoty reaktance v závislosti na napětí. Závislost proudu na napětí zpracujeme graficky.
4. Vybereme kondenzátor s největší hodnotou kapacity a zapojíme jej do schématu. Nastavíme takovou amplitudu, aby voltmetr ukazující napětí na kondenzátoru ukazoval 4V (tuto hodnotu po celou dobu měření udržujeme, stabilitu amplitudy lze kontrolovat také pomocí osciloskopu), nastavujeme kmitočty dle tabulky, zapisujeme hodnoty proudu. Vypočteme hodnoty reaktance, závislost reaktance na kmitočtu pak zpracujeme graficky.

Otázky

1. Popište příčiny a následky tzv. „stárnutí“ dielektrik.
2. Popište rozdíl (z hlediska sledovaných vlastností materiálů) mezi použitím materiálu jako dielektrika a jako izolace.
3. Popište vliv elektrického pole na dielektrický materiál.
4. Na čem závisí linearita závislosti proudu kondenzátorem v závislosti na napětí?

Elektrická měření – laboratorní cvičení

5. Popište základní rozdělení kondenzátorů a jejich použití.
6. Popište princip změny kapacity u tzv. kapacitní diody. Kde se používá?
7. Vysvětlete odchylky vypočtených a naměřených charakteristik v grafech.
8. Popište konstrukci elektrolytických kondenzátorů, výhody a nevýhody jejich použití.
9. Popište elektrostatické ekvivalenty Kirchhoffových zákonů známých z proudového pole.
10. Definujte pojem „elektrická pevnost“, popište fyzikální jevy provázející její překročení.
11. Popište konstrukční provedení kondenzátorů pro vysokofrekvenční zařízení.

Tabulky naměřených hodnot

Tabulka 1: Měření multimetrem (C_{LCR} je kapacita změřená LCR můstkem, případně multimetrem, nebo jmenovitá hodnota)

| | C_{LCR} (F) |
|--------------------|---------------|
| C_1 | |
| C_2 | |
| C_3 | |
| $C_1 C_2 C_3$ par. | |
| $C_1 C_2 C_3$ sér. | |

Tabulka 2: Měření Ohmovou metodou (při kmitočtu 100 Hz)

| | U_c (V) | I_c (A) |
|--------------------|-----------|-----------|
| C_1 | | |
| C_2 | | |
| C_3 | | |
| $C_1 C_2 C_3$ par. | | |
| $C_1 C_2 C_3$ sér. | | |

Tabulka 3: Měření závislosti proudu na napětí

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| U (V) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 |
| I_c (A) | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabulka 4: Měření závislosti proudu na kmitočtu

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| f (Hz) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| U_c (V) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| I_c (A) | | | | | | | | | | | | | | |

Výpočty a odvození

Měření Ohmovou metodou – výpočet kapacity

$$C_1 = \frac{I}{2 * \pi * f * U} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F)$$

$$C_2 = \frac{I}{2 * \pi * f * U} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F)$$

$$C_3 = \frac{I}{2 * \pi * f * U} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F)$$

$$C_s = \frac{I}{2 * \pi * f * U} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F)$$

Pozn.: C_s – kondenzátory $C_1 C_2 C_3$ spojeny sériově

$$C_p = \frac{I}{2 * \pi * f * U} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F)$$

Pozn.: C_p – kondenzátory $C_1 C_2 C_3$ spojeny paralelně

Výpočet reaktance

Zde proveďte vzorové dosazení (pro napětí: V) z tabulky 4 zachycující závislost $I = I(U)$:

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (\Omega)$$

Zde proveďte vzorové dosazení (pro kmitočet: Hz) z tabulky 3 zachycující závislost $I = I(f)$:

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (\Omega)$$

Tabulky vypočtených hodnot

Tabulka 5: Měření Ohmovou metodou - výpočet neznámé kapacity, absolutní a relativní chyby měření kapacity

| | C_x (F) | Δ_c (F) | δ_c (%) |
|--------------------|-----------|----------------|----------------|
| C_1 | | | |
| C_2 | | | |
| C_3 | | | |
| $C_1 C_2 C_3$ par. | | | |
| $C_1 C_2 C_3$ sér. | | | |

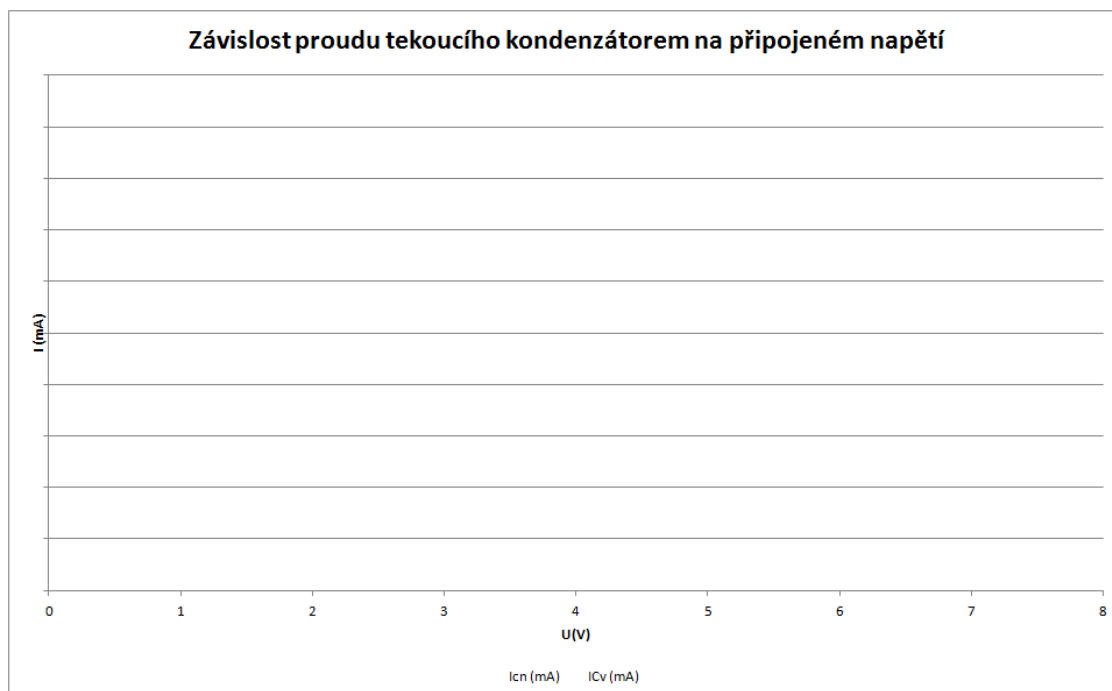
Tabulka 6: Výpočet závislosti reaktance na napětí

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| U (V) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 |
| X_c (Ω) | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabulka 7: Výpočet závislosti reaktance na kmitočtu

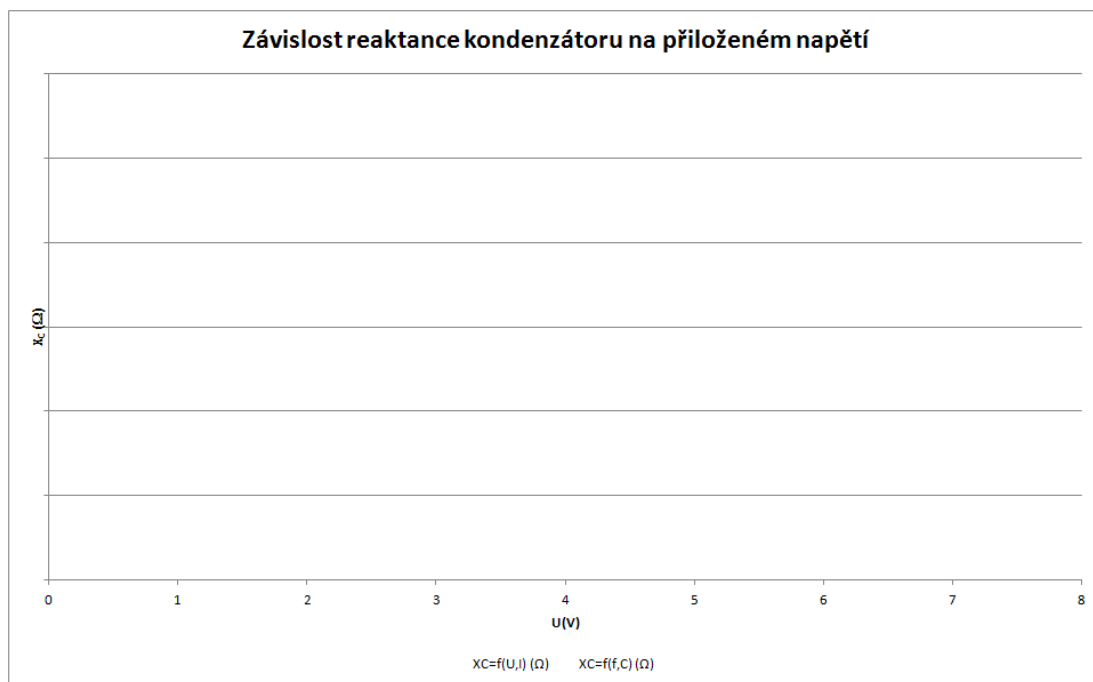
| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| f (Hz) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| X_c (Ω) | | | | | | | | | | | | | | |

Grafické závislosti

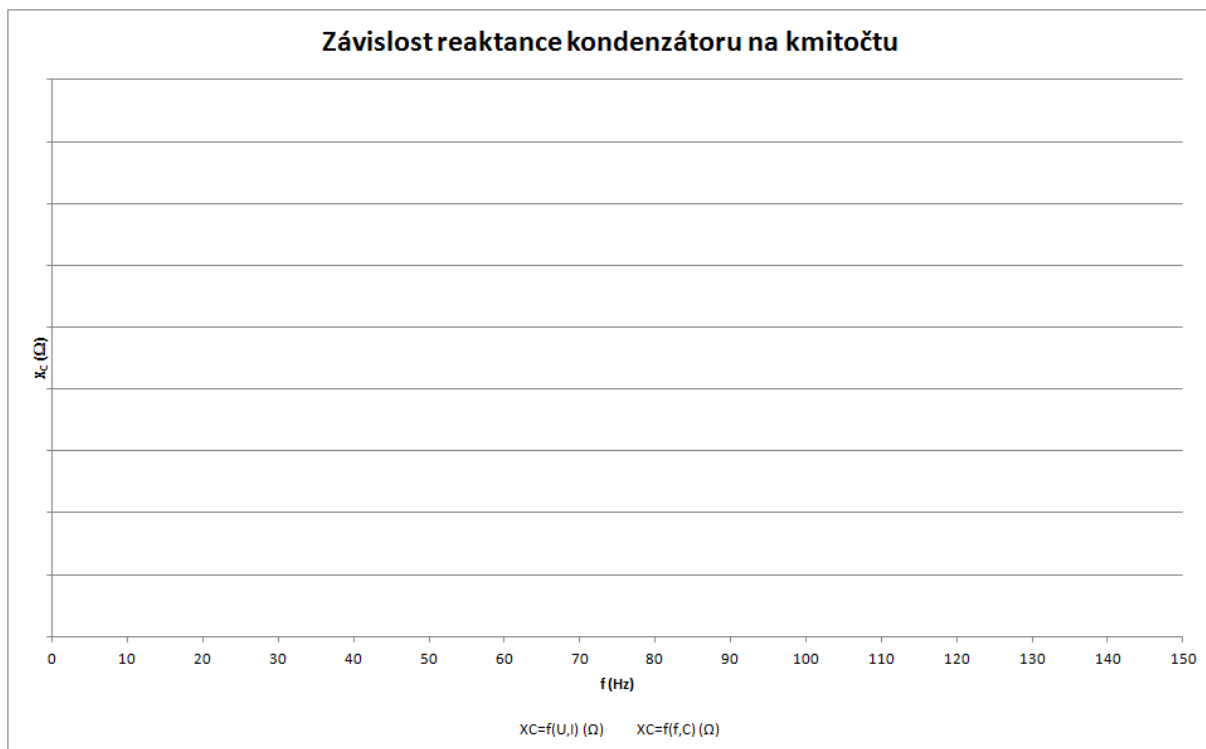


Obrázek 2: $I = f(U)$ (index „n“ značí naměřenou hodnotu, index „v“ značí hodnotu vypočtenou ze jmenovité kapacity)

Elektrická měření – laboratorní cvičení



Obrázek 3: $X_C = f(U)$ (index „n“ značí naměřenou hodnotu, index „v“ značí hodnotu vypočtenou ze jmenovité kapacity a kmitočtu)



Obrázek 4: $X_C = f(f)$ (index „n“ značí naměřenou hodnotu, index „v“ značí hodnotu vypočtenou ze jmenovité kapacity a kmitočtu)

Odpovědi na otázky

1.
.....
2.
.....
3.
.....
4.
.....
5.
.....
6.
.....
7.
.....
8.
.....
9.
.....
10.
.....
11.
.....

Závěr

.....
.....
.....
.....

Elektrická měření – laboratorní cvičení

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Informační prameny použité pro zpracování protokolu

1.
2.
3.
4.
5.
6.

| | |
|--------------------|---|
| Datum vypracování: | |
| Čestné prohlášení: | Prohlašuji, že jsem protokol zpracoval samostatně, veškeré použité prameny jsem uvedl ve stati „Informační prameny použité pro zpracování protokolu“. |
| | Podpis studenta: |

Použité přístroje

| <i>Přístroj</i> | <i>Typ</i> | <i>Výrobní číslo</i> | <i>Inventární číslo</i> | <i>Poznámka</i> |
|-----------------|------------|----------------------|-------------------------|-----------------|
| generátor | | | | |
| ampérmetr | | | | |
| voltmetr | | | | |
| kondenzátory | | | | |
| kabely | | | | |
| multimetr | | | | |
| | | | | |

Elektrická měření – laboratorní cvičení

Hodnocení

| <i>Etapu hodnocení úlohy</i> | <i>Bodovaná část</i> | <i>Maximální počet bodů</i> | <i>Získané body</i> |
|---------------------------------|--|-----------------------------|---------------------|
| Samostatná příprava | Ústní přezkoušení z měřené problematiky ¹ | 10 | |
| Měření v laboratoři | Zapojování schémat, průběh měření | 5 | |
| Konzultace | Nepovinná, proběhla dne:..... ² | 5 | |
| Zpracování protokolu | Úpravnost, struktura protokolu | 5 | |
| | Výpočty (dosazení, výsledky, jednotky) | 5 | |
| | Tabulky | 5 | |
| | Grafy (popis os, měřítko, vlastní graf) | 15 | |
| | Odpovědi na otázky | 10 | |
| | Závěr | 10 | |
| | Obhajoba ³ | 30 | |
| <i>Celkové hodnocení</i> | <i>protokolu o laboratorním cvičení</i> | 100 | |

| <i>Přiřazení klasifikace</i> | |
|---|------------------------------|
| <i>Počet získaných bodů</i> | <i>Hodnocení⁴</i> |
| <i>řádný termín</i> | |
| 0 až 49 | 5 |
| 50 až 60 | 4 |
| 61 až 70 | 3 |
| 71 až 85 | 2 |
| 86 až 100 | 1 |
| <i>Uzavření klasifikace protokolu dne:</i> | |
| <i>Podpis:</i> | |

Poznámky

Přehled druhů vyráběných kondenzátorů (výpisy z katalogových listů)

¹ Ústní přezkoušení prověřuje připravenost studenta. Nepřipravený student získá 0 bodů, obdrží náhradní práci, laboratorní úlohu měří po dohodě s vyučujícím v náhradním termínu. Pro náhradní termíny zůstává bodový stav 0, připravenost je již jen podmínkou k připuštění studenta k vlastnímu měření. Termín pro odevzdání protokolu se počítá od řádného termínu laboratorního cvičení.

² Údaj v kolonce získané body platí pouze s vyplněním data, kdy konzultace proběhla, vyučující potvrdil konzultaci svým podpisem.

³ Obhajoba je ústní (s přípravou) nebo písemná, povinná. Student, který neprokáže znalost problematiky, nezískává body, úloha je hodnocena **NEDOSTATEČNĚ!**

⁴ V případě neuzavření klasifikace protokolu v řádném termínu je postupováno dle pravidel pro odevzdávání protokolů, jejichž znalost student potvrdil svým podpisem.

Přehled veličin elektrostatického pole a vztahů mezi nimi

Záznam naměřených hodnot

| | |
|---------------|------------------------------|
| Úloha: | Měření kapacity kondenzátorů |
| Datum měření: | Příjmení a jméno studenta: |

Tabulka 8: Měření LCR můstkem (C_{LCR} je kapacita změřená LCR můstkem, případně multimetrem, nebo jmenovitá hodnota)

| | C_{LCR} (F) |
|--------------------|---------------|
| C_1 | |
| C_2 | |
| C_3 | |
| $C_1 C_2 C_3$ par. | |
| $C_1 C_2 C_3$ sér. | |

Tabulka 9: Měření Ohmovou metodou (při kmitočtu 100 Hz)

| | U_c (V) | I_c (A) |
|--------------------|-----------|-----------|
| C_1 | | |
| C_2 | | |
| C_3 | | |
| $C_1 C_2 C_3$ par. | | |
| $C_1 C_2 C_3$ sér. | | |

Tabulka 10: Měření závislosti proudu na napětí

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
| U (V) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 |
| I_c (A) | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabulka 11: Měření závislosti proudu na kmitočtu

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| f (Hz) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| U_c (V) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| I_c (A) | | | | | | | | | | | | | | |

Elektrická měření – laboratorní cvičení

Datum měření:.....Termín: řádný – náhradní (důvod:.....)⁵

Použité přístroje

| <i>Přístroj</i> | <i>Typ</i> | <i>Výrobní číslo</i> | <i>Inventární číslo</i> | <i>Poznámka</i> |
|-----------------|------------|----------------------|-------------------------|-----------------|
| generátor | | | | |
| ampérmetr | | | | |
| voltmetr | | | | |
| kondenzátory | | | | |
| kabely | | | | |
| multimetr | | | | |
| | | | | |

Poznámky

Verifikace

Podpis vyučujícího:.....

⁵ Nehodící se škrtněte!