

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 dānu 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 vztahované k nastavenému kmitočtu).

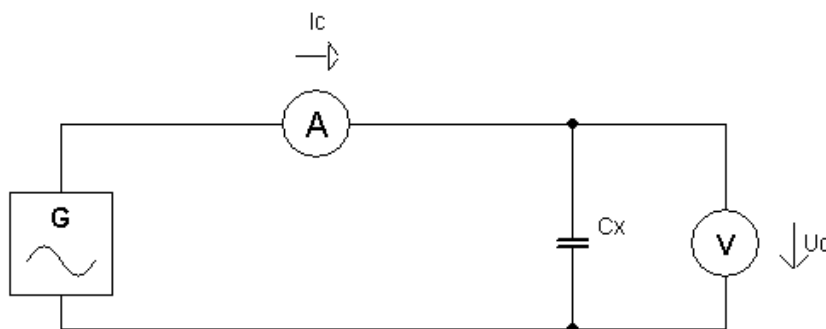
Absolutní chybu pak lze spočítat podle vztahu:

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_x 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	0,01 μ F
C_2	0,10 μ F
C_3	100 pF
$C_1 C_2 C_3$ par.	$1,163 \cdot 10^{-7}$ F
$C_1 C_2 C_3$ sér.	9,402 nF

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)	0	0,02	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,45	0,48

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)	0	0,01	0,07	0,11	0,14	0,17	0,21	0,24	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39

Výpočty a odvození

Měření Ohmovou metodou – výpočet kapacity

$$C_1 = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{\dots\dots\dots 64}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F) \dots\dots -7$$

$$C_2 = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{\dots\dots\dots 1,69}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F) \dots\dots -5$$

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

$$C_s = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{\dots\dots\dots \text{Nelze} \dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F) \dots\dots \text{O}$$

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

$$C_p = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U} = \frac{\dots\dots\dots 1,13}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots (F) \dots\dots -5$$

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

Výpočet reaktance

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

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{\dots\dots\dots 4}{\dots\dots\dots 0,26} = \dots\dots\dots 15,38 (\Omega) \dots\dots$$

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

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{\dots\dots\dots 5}{\dots\dots\dots 0,32} = \dots\dots\dots 15,625 (\Omega) \dots\dots$$

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	0,01 F	0 F	0%
C_2	0,10	0 F	0%
C_3	100 F	10 F	0%
$C_1 C_2 C_3$ par.	1,165 F		
$C_1 C_2 C_3$ sér.	4,02		

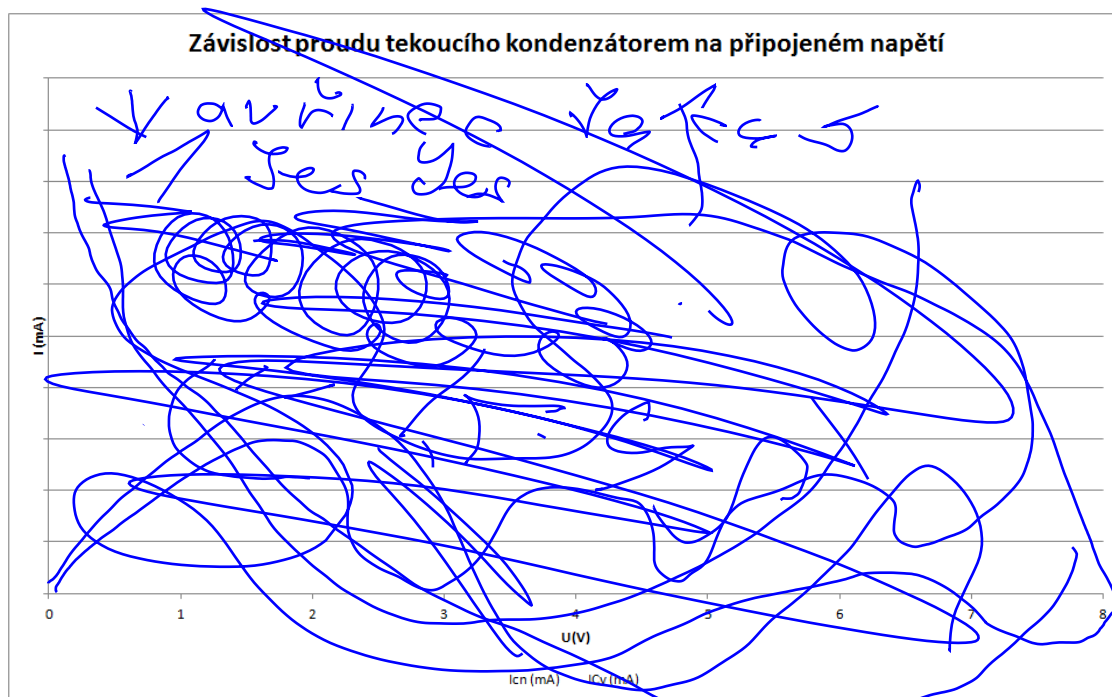
Tabulka 6: Výpočet závislosti reaktance na napětí

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)	0															

Tabulka 7: Výpočet závislosti reaktance na kmitočtu

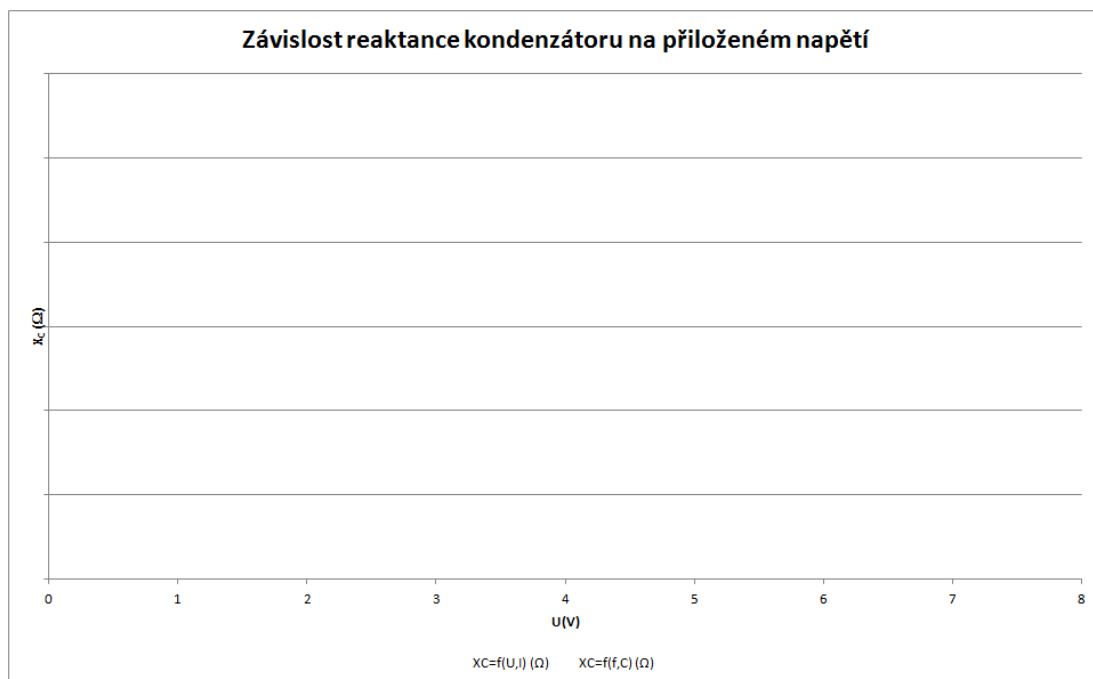
f (Hz)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
X_c (Ω)														

Grafické závislosti

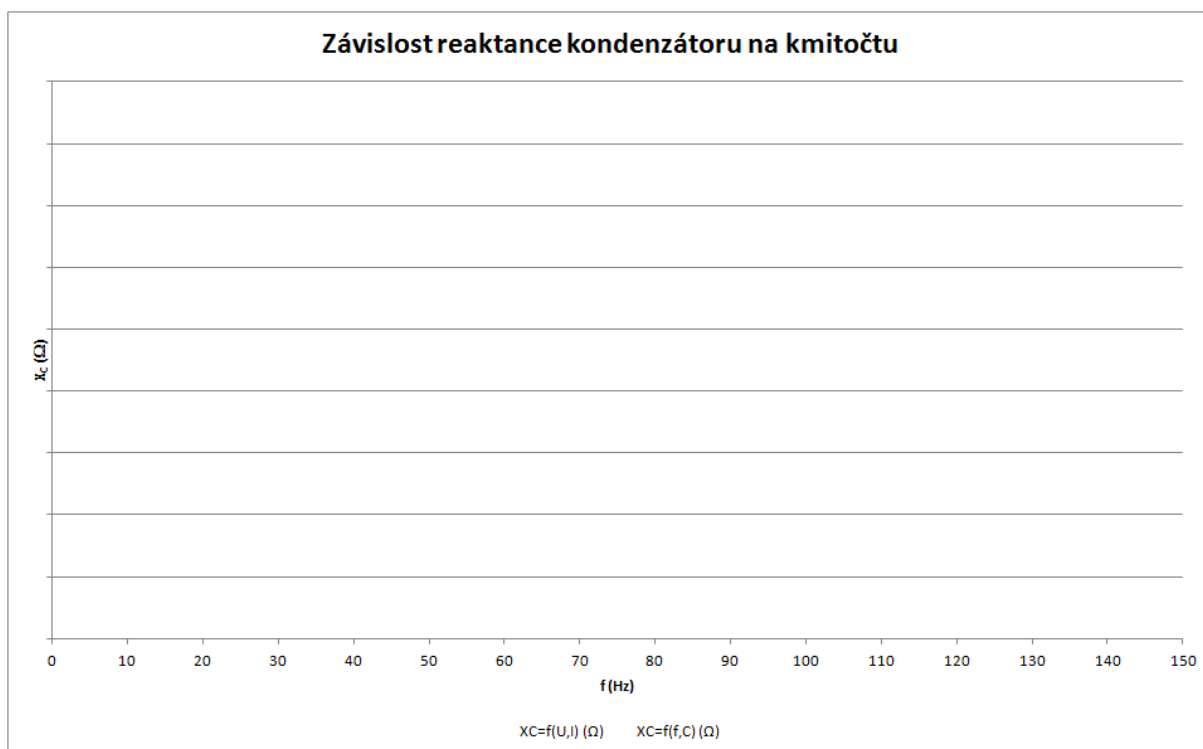


Obrázek 2: $I = f(U)$ (index „n“ značí naměřenou hodnotu, index „v“ značí hodnotu vypočtenou ze jmenovité kapacity)

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)

Elektrická měření – laboratorní cvičení

Odpovědi na otázky

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

Závěr

Mezi vyráběné druhy kondenzátorů patří svitkové (kovové fólie jsou proloženy dielektrikem tvořeným kondenzátorovým papírem), z metalizovaného papíru (tvořeny z dvou papírových pásků s vakuově napařeným kovem), svitkové plastové (kovové fólie jsou proloženy dielektrikem tvořeným plastovou fólií), keramické (dielektrikum je keramická hmota), elektrolytické (jako dielektrikum vrstvičku oxidu hlinitého a elektrolytem,

Elektrická měření – laboratorní cvičení

který je napuštěn do svého papíru) a proměnné (složen z jedné pevné a jedné pohyblivé elektrody mezi nimiž je dielektrikum). Ceny kondenzátorů se liší podle velikosti, typu a využití (elektrolytický SMD za cca 24,55 CZK, rozběhové za cca 98,90 CZK)

.....

.....

.....

.....

.....

Informační prameny použité pro zpracování protokolu

1. <https://www.mylms.cz/5-kondenzatory-druhy-jednotky-znacení/>
2. https://www.tme.eu/cz/katalog/elektrolyticke-kondenzatory-smd_112341/
3. <https://www.gme.cz/c/14985/rozbahove-kondenzatory>
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

Přístroj	Typ	Výrobní číslo	Inventární číslo	Poznámka
generátor				
ampérmetr				
voltmetr				
kondenzátory				
kabely				
multimetr				

Elektrická měření – laboratorní cvičení

Hodnocení

Etapa hodnocení úlohy	Bodovaná část	Maximální počet bodů	Získané body
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	
Celkové hodnocení	protokolu o laboratorním cvičení	100	

Přiřazení klasifikace	
Počet získaných bodů	Hodnocení ⁴
řádný termín	
0 až 49	5
50 až 60	4
61 až 70	3
71 až 85	2
86 až 100	1
Uzavření klasifikace protokolu dne:	
Podpis:	

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

Přístroj	Typ	Výrobní číslo	Inventární číslo	Poznámka
generátor				
ampérmetr				
voltmetr				
kondenzátory				
kabely				
multimetr				

Poznámky

Verifikace

Podpis vyučujícího:.....

⁵ Nehodící se škrtněte!