



Středoškolská technika 2012

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Rozbor metod měření impedancí

Antonín Bohdanecký

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola
elektrotechnická Františka Křižíka

Praha 1, Na Příkopě 16

1 ANOTACE

Mojí snahou v této práci je najít spolehlivé měření jakékoli neznámé impedance při různých frekvencích použitelné i v silnoproudých aplikacích. Existuje totiž hodně způsobů zjištění velikosti impedance (*metoda voltmetru, ampérmetru a wattmetru; metoda tří ampérmetrů a voltmetrů, případně obecný můstek*). Každá tato metoda má své využití, svoji určitou přesnost a také více či méně složitý postup zjištění výsledných hodnot.

Snažil jsem se rozebrat výhody a nevýhody těchto metod a pak porovnat se mnou vybranou metodou. Prakticky jsem vyzkoušel měření impedancí v obvodu RL, kde jsem měnil velikosti odporů i indukčností.

V první části své práce jsem popsal metody, které se používají k měření impedancí, a zároveň jsem rozebral chyby, ke kterým při těchto metodách dochází. Některé metody jsme užili i ve škole, takže k tomuto tématu mám blízko.

Druhá část se bude věnovat měření upravenou metodou 3 voltmetrů za pomoci osciloskopu. Tento způsob jsem si vybral, protože mi přijde velmi zajímavá, poučná a také hlavně použitelná. Tuto část jsem zpracoval jako protokol z tohoto měření.

A v poslední části této práce jsem se pokusil mé výsledky shrnout a porovnat. Myslím, že má práce může přispět k obohacení metod měření impedancí.

Obecně platí, že se při měření jakýchkoli hodnot a veličin snažíme, aby výsledky odpovídaly co nejvíce skutečnosti. Takové přesnosti samozřejmě dosáhnout lze za pomoci (speciálních) měřících přístrojů, jako jsou například přesné digitální multimetry, které dnes mají chybu opravdu malou. V dnešní době tudíž hraje roli spíše cena, protože takové dobré přístroje umí vytvořit hezkou díru v naší peněžence.

Na naší škole (Střední průmyslová škola elektrotechnická Františka Křižíka) se samozřejmě měření impedancí provádí v rámci výuky. Ale učí se taková základní zapojení, jako jsou metody zmíněné v úvodu. Tato moje vybraná metoda měření neznámé impedance spolu se zjištěním charakteru měřené impedance, popřípadě zátěže (indukční nebo kapacitní) je zajímavá v tom, že tak trochu kombinuje metodu tří voltmetrů a měření fázového posunu. Hlavně se mi líbí, že tento postup je velmi názorný a jednoduchý (pro nás studenty) a navíc je reálně použitelný v praxi vzhledem ke svému širokému rozsahu použitelnosti a dobré přesnosti.

Obsah

1 anotace.....	2
2 metody měření impedancí.....	4
3 měření impedancí upravenou metodou 3 voltmetrů.....	8
3.1 Úkol.....	8
3.2 Schéma:.....	8
4 závěr.....	13
5 zhodnocení.....	13

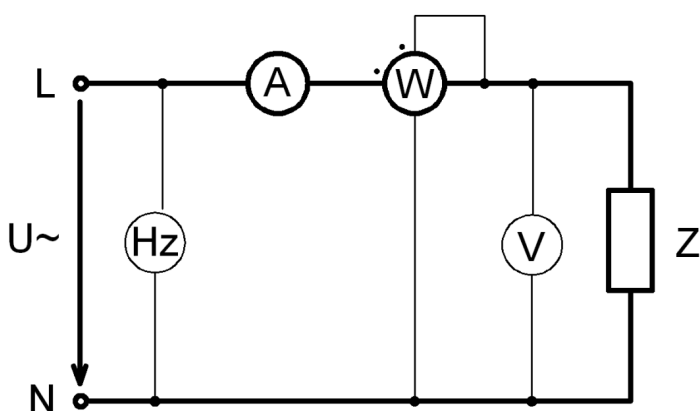
2 METODY MĚŘENÍ IMPEDANCÍ

a) Metoda voltmetru, ampérmetru a wattmetru

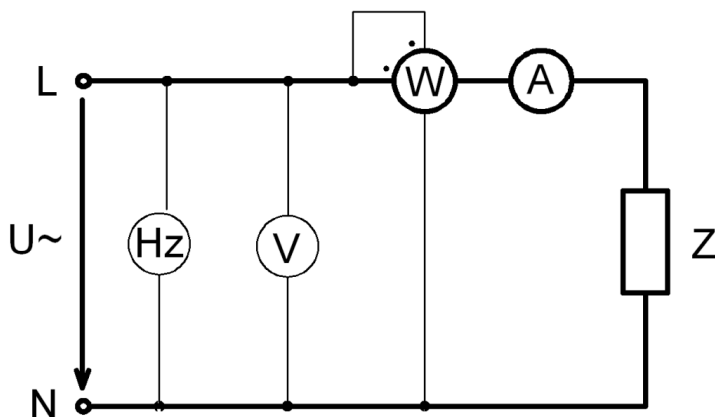
V této metodě je použito zapojení s voltmetrem, ampérmetrem a wattmetrem. Zde se vlastně využívá základních elektrotechnických vztahů pro určení velikosti neznámé impedance. Podíl efektivních hodnot napětí U a proudu I nám při výpočtu dá absolutní hodnotu impedance, velikost fázového posunu pak spočítáme ze změřeného výkonu. Další veličiny jako kapacita nebo indukčnost zjistíme z opět vypočtené reaktance.

Stejně jako u Ohmovy metody měření odporů i zde se rozlišuje zapojení pro malé a velké impedance, což samozřejmě volíme odhadem, protože nevíme přesně hodnotu neznámé impedance. Dokážeme zjistit jen hraniční impedanci a dle toho rozpoznat, jestli je vhodné použít zapojení pro malé nebo velké impedance.

zapojení pro malé impedance



zapojení pro velké impedance

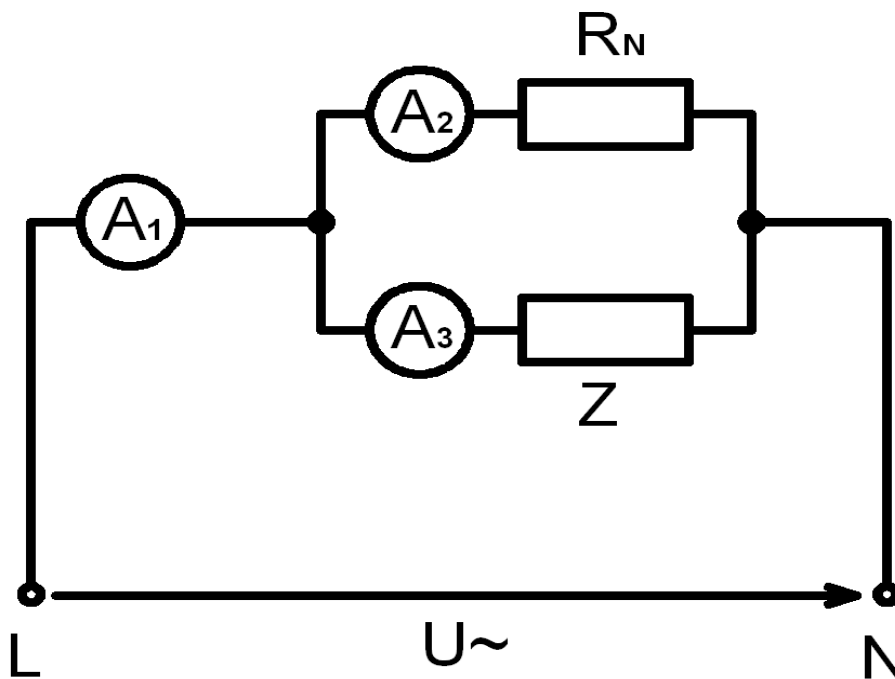


Co se týče přesnosti, tato metoda není příliš přesná kvůli více výpočtům, při nichž se dopouštíme určité chyby. Třídy přesnosti měřících přístrojů v tom samozřejmě hrají také svoji roli. A ještě když naše neznámá impedance má velikost blízkou hraniční impedanci Z_H , tak potom chyba dál narůstá. Proto se toto zapojení užije pouze pro orientační měření.

b) *Metoda tří ampérmetrů*

U zapojení s ampérmetry zapojujeme neznámou impedanci paralelně s námi zvoleným odporovým normálem, popřípadě odporovou dekádou. Pak se zapojí ampérmetry do obou větví před impedancí a odpor a pak na začátek pro změření celkového proudu. Poté si můžeme nakreslit fázorový diagram, ze kterého zjistíme výpočtem neznámou impedanci. Ze změřených hodnot početně (přes kosinovou větu) určíme $\cos \varphi$ a pak spočítáme reálnou a imaginární složku impedance. Zjistil jsem, že se z tohoto měření dá vypočítat i činný výkon, když sebou zrovna nemáme wattmetr.

Schéma:

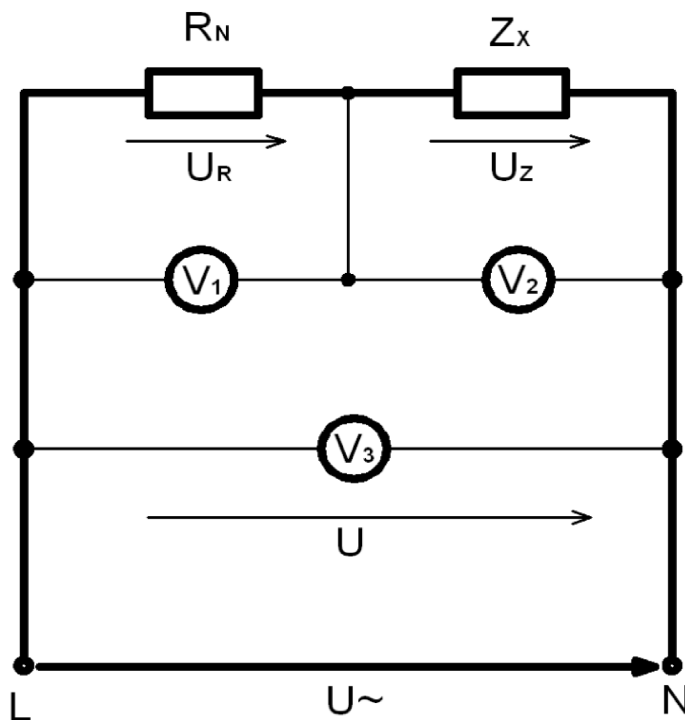


Přesnost této metody se odvíjí jednak od třídy přesnosti použitých měřicích přístrojů (v tomto případě ampérmetrů), a jednak od velikosti I_R , I_Z a fázového posunu φ (když je φ velký, pak je metoda více přesná). Je lepší měřit tímto způsobem větší impedance (nebo kde čekáme velké hodnoty impedance), potom můžeme s přehledem zanedbat impedance ampérmetrů. Tato metoda je také vhodná pro měření indukčností cívek s feromagnetickým jádrem, protože je pak můžeme snadno měřit při různých proudech.

c) *Metoda tří voltmetrů*

Svým postupem měření je podobná předchozí metodě. Také se zde počítá za pomoci fázorového diagramu, kosinové věty a opět je možné spočítat reálnou a imaginární část měřené impedance spolu s činným výkonem. Zapojení je samozřejmě jiné, voltmetry se dávají paralelně k odporu a impedanci (R a Z jsou v sérii) a pak na celkové napětí.

Schéma:



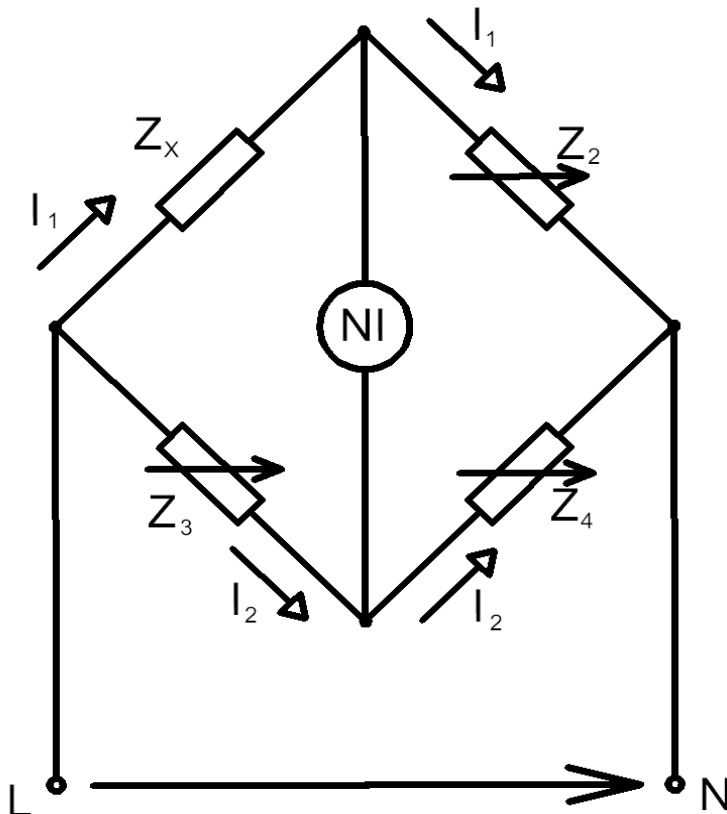
Musím se opakovat, přesnost tohoto měření ovlivňuje opět přesnost voltmetrů a i velikost impedance (čím menší, tím lepší a přesnější hodnoty). Chceme totiž, aby byl odpor voltmetru mnohem větší než velikost impedance. U této metody je nejlepší, když jsou napětí U_Z a U_R co nejvíce podobná (co se týče velikosti samozřejmě), téměř shodná. Potom je tato metoda nejpřesnější a této podobnosti (nebo rovnosti) dosáhneme nejlépe odporovou dekadou.

U obou těchto metod se počítá pomocí složitějších vzorců, a tak přirozeně dochází k většímu či menšímu zaokrouhlování, což už jen toto způsobuje chybu měření. Dále je potřeba dobře zvolit metodu – pro menší (3 voltmetry) nebo větší (3 ampérmetry) impedance. Pomůže nám v tom spočítání hraniční impedance, nebo také metoda pokus – omyl.

d) Měření za pomoci můstku

Můj posledně zmíněný postup měření impedancí je za pomoci „Wheatstonovského“ můstku, ovšem místo čistých odporů jsou v zapojení obecně impedance (to ale neznamená, že odpory tam nemůžou být). Základní princip můstku je jeho rovnováha, kterou nám potvrdí v příčné větvi (viz schéma) nulový indikátor. Na toto místo můžeme dát galvanometr či třeba jen „obyčejný“ ampérmetr – pokud jím nic neteče, můstek je vyvážen. Pak platí rovnice $Z_X \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$, ze které poměrně lehce spočítáme neznámou impedanci.

Schéma:



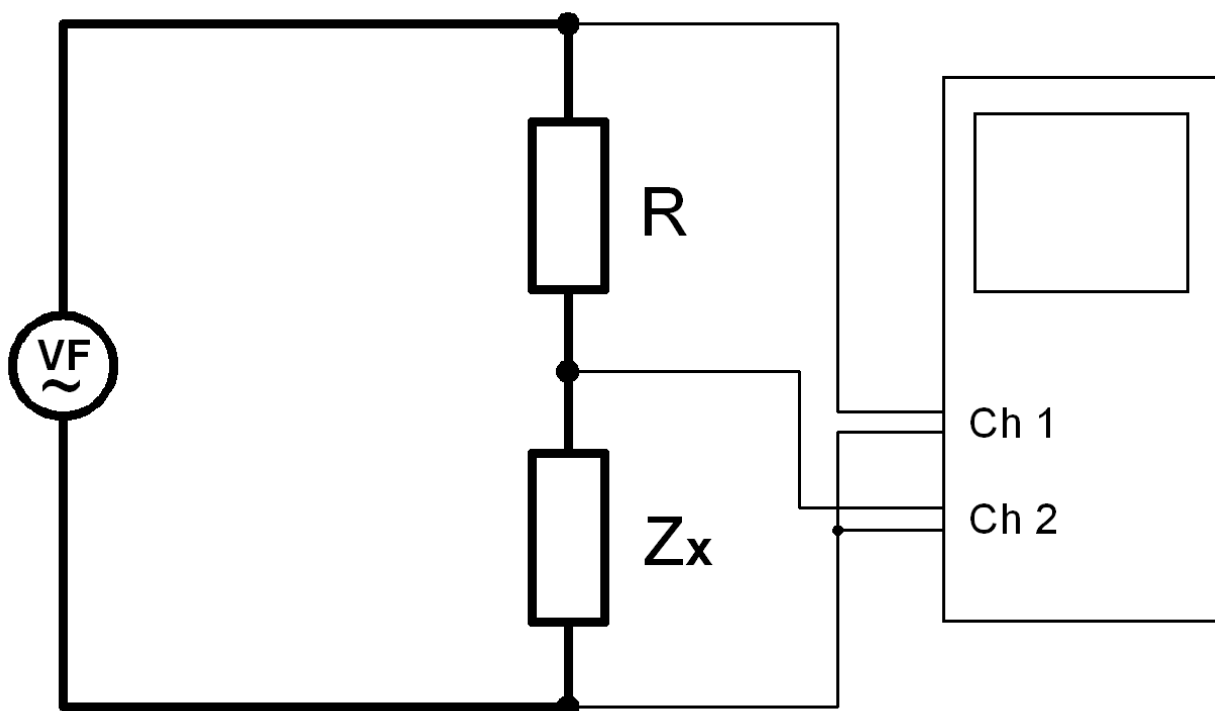
Přesnost měření za pomoci tohoto můstku závisí na přesnosti, s jakou je vyvážený můstek. Neboli, jak přesně známe ostatní impedance v můstku. A ovšem na přesnosti nulového indikátoru. V dnešní době se v praxi tato měření pomocí tohoto jednoduchého zapojení prakticky nepoužívají. Na druhou stranu, je dobré vědět, jak toto zapojení funguje a na čem závisí, protože princip dne používaných můstků obecně (například v moderních měřících přístrojích) se nezměnil.

3 MĚŘENÍ IMPEDANCÍ UPRAVENOU METODOU 3 VOLTMETRŮ

3.1 Úkol

Já jsem se tedy zaměřil na určitou modifikaci metody tří voltmetrů, kterou bych nazval „Metoda dvou voltmetrů“ navíc s měřením fázového posunu pomocí osciloskopu, díky němuž se dá určit i charakter neznámé zátěže. Mým cílem bylo změřit impedanci v obvodu RL pro různé hodnoty odporů, indukčností a kmitočtů. Výsledky tohoto měření je možné vidět z mého projektu.

3.2 Schéma:



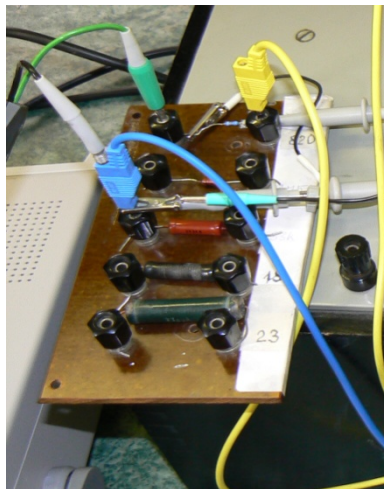
A) Měřené obvody RL:

Viz tabulka vpravo

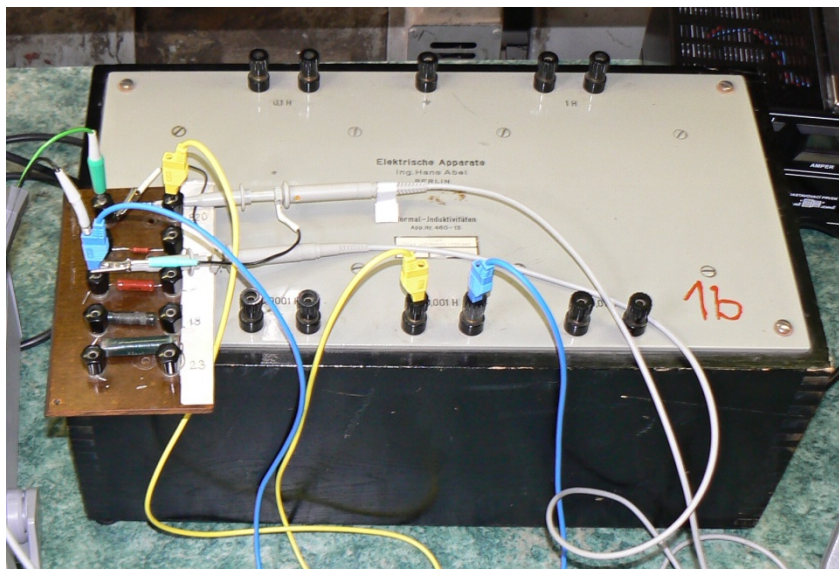
Použité kombinace obvodu RL	
R (Ω)	L (H)
816	1
120	1
120	0,1
120	0,01
120	0,001
220	0,1
220	0,01

B) Použité přístroje:

- Rezistory 816, 220 a 120 Ω



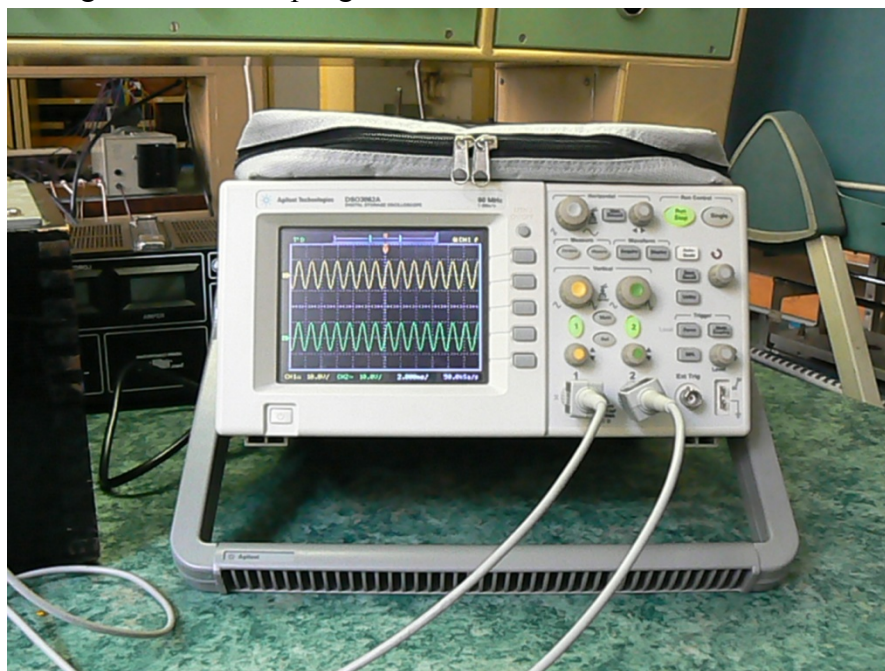
- Indukčnosti 1, 0,1, 0,01 a 0,001 H



- Generátor Metex MXG-9810A



- Digitální osciloskop Agilent DSO3062A



C) Popis měření

Ted' bych tedy konečně napsal pár řádek k mnou použité metodě. Jak už jsem tedy zmínil na začátku, je to určitá „modifikace“ měření za pomoci voltmetrů, v tomto případě jen dvou. Já jsem vyzkoušel zapojení s osciloskopem, který nahradil i voltmetry, ovšem zapojení ještě navíc s nimi je jistější.

Použil jsem proměnný vysokofrekvenční generátor jako zdroj, kterým jsem různě upravoval frekvenci dle potřeby.

Dále jsem do série dal rezistor (ten jsem také měnil), za něj indukčnost a pak zapojil zpět do generátoru. Sondy osciloskopu jsem použil jako svorky voltmetrů - do kanálu 1 (do 1. svorky) jsem dal celkové napětí, do kanálu 2 napětí na měřené impedanci (viz schéma). Na osciloskopu se mi po zapnutí objevily 2 průběhy, které jsem si vertikálně posunul na sebe, aby byl vidět případný posun mezi fázemi. Pak jsem si pomocí dvou svislých os manuálně změnil posun mezi fázemi a dále v podrobnostech dané fáze jsem odečetl hodnotu napětí.

Do mého měření jsem se dále snažil dát takové hodnoty kmitočtu, aby byl na osciloskopu viditelný a měřitelný vůbec nějaký posun. Kdyby byl na displeji titěrný, chyba měření by tak byla větší, protože bych nebyl schopen přesně nastavit osy. Také jsem se ale snažil, aby rozsah použitých frekvencí byl co nejvíce široký, aby byla vidět použitelnost v širokém kmitočtovém rozsahu.

D) Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

ZMĚŘENÉ HODNOTY					
f (Hz)	fázový posun $\text{①} \mu\text{s}$	U _L (V)	U _{celk} (V)	R (Ω)	L (H)
200	380	14	18,8	816	1
500	78	18,8	17,6	816	1
250	256	15,2	18,4	816	1
152	580	12,8	18,8	816	1
22,45	1120	6,8	8,88	120	1
290	280	11,6	14,6	120	0,1
717	104	15,2	18	220	0,1
39	2080	2,76	15,6	220	0,1
202	680	7,6	16	220	0,1
1002	50	16,8	18,4	220	0,1
76,9	840	1,07	1,24	120	0,01
1002	216	4,64	15,6	220	0,01
46	800	0,808	15,2	220	0,01
460	392	2,16	15,4	220	0,01
9108	6,4	18,4	17,2	220	0,01
1144	164	0,46	6,88	120	0,001
1002	188	0,78	13,2	120	0,001
10000	18	6,88	14	120	0,001
100000	0,36	18,2	18	120	0,001

VYPOČÍTANÉ HODNOTY					
T (s)	fázový posun $\text{①} \diamond$	R _x (Ω)	Z (Ω)	X _L (Ω)	L (H)
0,005	27,36	376,1	1262,1	1204,8	0,959
0,002	14,04	-1248,3	3331,1	3088,4	0,983
0,004	23,04	391,7	1674,6	1628,1	1,037
0,00658	31,74	308,5	1005,2	956,7	1,002
0,04454	9,052	275,6	337,9	195,5	1,386
0,00345	29,23	30,5	192,8	190,4	0,104
0,00139	26,84	43,1	409,1	406,8	0,090
0,02564	29,2	37,5	45,8	26,3	0,107
0,00495	49,45	30,1	134,0	130,6	0,103
0,001	18,04	78,1	644,0	639,2	0,102
0,013	23,25	36,4	259,7	257,1	0,532
0,001	77,92	-6,0	66,6	66,4	0,0105
0,02174	13,25	12,0	12,3	3	0,0103
0,00217	64,92	9,7	32,5	31	0,0107
0,00011	20,98	-218,2	614,3	574,2	0,0100
0,00087	67,54	2,7	8,2	7,8	0,0011
0,001	67,82	2,4	7,2	6,8	0,0011
0,0001	64,8	-4,7	65,0	64,8	0,0010
0,00001	12,96	-86,0	534,0	527	0,0008

E) Příklady výpočtu

Nejdříve jsem si musel spočítat periodu z frekvence, abych si následně mohl vypočítat fázový posun ve stupních. Náš osciloskop totiž počítá posun v časových jednotkách (ms, μ s a ns), takže my si to nejdříve musíme převést na stupně. Pomohla mi v tom znalost obyčejné trojčlenky a přímé úměry:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1002} = 0,001 \text{ s}$$

0,001 s 360°
50 · 10⁻⁶ s x°

tudíž:

$$x = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 360}{0,001} = 18^\circ$$

Pak jsem teprve mohl vypočítat velikost impedance:

$$Z_X = \frac{R \cdot \frac{U_L}{U_{celk}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{U_L}{U_{celk}}\right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{U_L}{U_{celk}}\right) \cdot \cos \varphi}} = \frac{220 \cdot \frac{16,8}{18,4}}{\sqrt{1 + \left(\frac{16,8}{18,4}\right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{16,8}{18,4}\right) \cdot \cos 18^\circ}} = 645 \Omega$$

$$R_X = \frac{R \cdot \frac{U_L}{U_{celk}} - \cos \varphi}{2 \cdot \cos \varphi - \frac{U_L}{U_{celk}} - \frac{U_{celk}}{U_L}} = \frac{220 \cdot \frac{16,8}{18,4} - \cos 18^\circ}{2 \cdot \cos 18^\circ - \frac{16,8}{18,4} - \frac{18,4}{16,8}} = 78 \Omega$$

$$X_L = \sqrt{(Z_X)^2 - (R_X)^2} = \sqrt{645^2 - 78^2} = 639 \Omega$$

Z toho jsem si pak spočítal velikost indukčnosti L:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{639}{2 \cdot \pi \cdot 1002} = 0,101 \text{ H}$$

Tímto způsobem jsem došel ke všem hodnotám v tabulce. Štítkové a vypočítané velikosti indukčností jsou také prakticky totožné, z čehož je vidět, že metoda je velmi přesná.

4 Závěr

Mým cílem bylo jednak teoreticky prozkoumat metody měření impedancí a jejich problematiku, a jednak i prakticky zkusit změřit impedanci trochu speciální metodou.

Samotné měření proběhlo v pořádku bez komplikací, ale co je důležitější, změřené a vypočítané hodnoty jsou v drtivé většině případů shodné se skutečnými.

Jak je vidět z tabulky, i když jsem na generátoru nastavil jakoukoli hodnotu frekvence, přesto to neovlivnilo přesnost výsledku. Přestože je impedance frekvenčně závislá, v tomto zapojení vyšší nebo nižší frekvence nehraje roli v přesnosti tohoto měření. Ve výsledcích indukčnosti jsem našel dvě větší odchylky (označil jsem je červeně), netuším ale, čím mohly být způsobeny. Nejpravděpodobnější možnost je, že jsem špatně odečetl z osciloskopu nebo se překlepl, případně to mohlo být způsobeno jinou mojí chybou v průběhu měření.

Co se ale týče frekvence, při určitých kombinacích indukčnosti, odporu a nějakého kmitočtu jsem zjistil, že na displeji osciloskopu se mi průběhy prakticky překrývají. Toto je myslím největší slabina této metody, protože když je mezi průběhy neznatelný fázový posun, přesnost velmi klesá. Ovšem toto není pravidlem, ve většině případů je posun aspoň viditelný a to už nám stačí ke změření.

Přesto tato metoda je dle mého názoru velmi zajímavá, poučná a zároveň velmi přesná, což z ní dělá metodu použitelnou v silnoproudé praxi.

5 ZHODNOCENÍ

Na závěr bych konstatoval, že tato metoda mě naučila ohledně měření impedancí hodně věcí. Oproti jiným metodám, které jsme měřili ve škole, jsem si mnohem víc procvičil práci s přístroji jako osciloskop a generátor, pochopil jsem počítání impedance i jiným způsobem, takže tato práce pro mě určitě přínos měla.

Ještě jednou se vrátím ke mnou zmiňované použitelnosti v praxi. V dnešní době se už prodávají výborné měřicí přístroje, mj. i osciloskopy a přesné zdroje, takže dnes už nepřesnosti ze strany přístrojů můžeme téměř zanedbat – pokud ovšem takové přístroje máme. Ale mě osobně přijde tato metoda mnohem jednodušší než například metody tří ampérmetrů nebo můstková metoda. Teoreticky se dá k tomuto měření vytvořit početní „program“, do kterého bychom naházeli jen hodnoty v příslušných jednotkách a on nám vrátí rovnou výsledky bez našeho třeba nepřesného počítání. Tolik můj postřeh – minimálně se může zařadit do učebního plánu nebo i do měření v praxi. Mě osobně se navíc docela dost líbí práce s osciloskopem, i proto mě tato metoda zaujala.

Myslím tedy, že tato metoda měření impedancí určitě má budoucnost.