

16. Číslicový měřič impedancí a admitancí

16.1. Teoretický rozbor

Pro měření reálné a imaginární složky výstupního napětí U_2 využíváme řízený usměrňovač. Jako referenční napětí pro řízení přepínače použijeme při měření reálné složky napájecí napětí U_1 tvarované komparátorem.

Při měření imaginární složky použijeme pro řízení usměrňovače napětí z TTL výstupu napájecího generátoru, které je o 90° posunuto proti napětí zvýstupu harmonického signálu.

Řízený usměrňovač se chová při měření reálné složky napětí jako násobička posunutého průběhu $u_2(t)$ obdélníkem 1:1 s amplitudou $+1$ a -1 , který je ve fázi s napájecím napětím $u_1(t)$. Střední hodnota napětí U'_{2S} je v tomto případě úměrná reálné složce výstupního napětí. Pro impedanci induktivního charakteru vychází:

$$U'_{2S} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} U_{2m} \sin(\omega t - \varphi) dt = \frac{U_{2m}}{\pi} [-\cos(\omega t - \varphi)]_0^{\pi} = 2 \frac{U_{2m}}{\pi} \cos \varphi = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{2ef} \cos \varphi = \Re \hat{U}_2$$

16.1.1. Měření impedancí

Pro zapojení převodníku pro měření impedance cívky platí

$$\hat{I}_{RN} = \hat{I}_{ZX}, \quad \frac{U_1}{R_N} = -\frac{U_2}{R_X + j\omega L_X} \Rightarrow R_X + j\omega L_X = -\frac{R_N}{U_1} (\Re \hat{U}_2 + j \Im \hat{U}_2)$$

$$R_X = -\frac{R_N}{U_1} \Re \hat{U}_2, \quad L_X = -\frac{R_N}{\omega U_1} \Im \hat{U}_2$$

16.1.2. Měření admitancí

Pro zapojení převodníku pro měření admitance kondenzátoru platí

$$\hat{I}_{YX} = \hat{I}_{RN}, \quad U_1(G_X + j\omega C_X) = -\frac{U_2}{R_N} \Rightarrow G_X + j\omega C_X = \frac{\Re \hat{U}_2 + j \Im \hat{U}_2}{U_1 R_N}$$

$$G_X = -\frac{1}{U_1 R_N} \Re \hat{U}_2, \quad C_X = -\frac{1}{\omega U_1 R_N} \Im \hat{U}_2$$

16.2. Naměřené a vypočtené hodnoty

16.2.1. Měření na cívce

f [Hz]	R_N [Ω]	U_1 [mV]	$\Re \hat{U}_2$ [mV]	$\Im \hat{U}_2$ [mV]	L_X [H]	R_X [Ω]
159,2	100	994,03	-74,18	-954,8	$95,84 \cdot 10^{-3}$	7,46
1592	1000	995,94	-88,70	-919,0	$92,25 \cdot 10^{-3}$	89,06

Příklad výpočtu pro $f = 159,2$ Hz

$$R_X = -\frac{R_N}{U_1} \Re \hat{U}_2 = -\frac{100}{994,03} (-74,18 \cdot 10^{-3}) \Omega = 7,46 \Omega$$

$$L_X = -\frac{R_N}{\omega U_1} \Im \hat{U}_2 = -\frac{100}{2\pi \cdot 159,2 \cdot 994,03} (-954,8 \cdot 10^{-3}) \text{ H} = 95,84 \text{ mH}$$

Výpočet modulu a fáze pro L a pro $f = 1592$ Hz

- Modul $|\hat{U}_2|$

$$|\hat{U}_2| = \sqrt{(\Re \hat{U}_2)^2 + (\Im \hat{U}_2)^2} = \sqrt{(-88,70)^2 + (-919,0)^2} \text{ mV} = 923,32 \text{ mV}$$

- Fáze $\varphi_{\hat{U}_2}$

$$\varphi_{\hat{U}_2} = \arctg \frac{\Im \hat{U}_2}{\Re \hat{U}_2} = \arctg \frac{-919,0}{-88,70} = 84^\circ 29' 13,22'' = 1,4746 \text{ rad}$$

16.2.2. Měření na kondenzátoru

f [Hz]	R_N [Ω]	U_1 [mV]	$\Re \hat{U}_2$ [mV]	$\Im \hat{U}_2$ [mV]	C_X [nF]	G_X [μS]
159,2	1000	1013,7	-2,04	-466,4	466,27	2,37
1592	100	1017,6	-22,37	-466,0	465,87	21,98

Příklad výpočtu pro $f = 159,2$ Hz

$$G_X = -\frac{1}{U_1 R_N} \Re \hat{U}_2 = -\frac{1}{1,0137 \cdot 1000} (-2,04 \cdot 10^{-3}) \text{ S} = 2,37 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

$$C_X = -\frac{1}{\omega U_1 R_N} \Im \hat{U}_2 = -\frac{1}{2\pi \cdot 159,2 \cdot 1013,7 \cdot 1000} (-466,4 \cdot 10^{-3}) \text{ F} = 466,27 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

16.3. Závěr

Zprůměrováním hodnot vychází

- indukčnost cívky $L_X = 94,05$ mH
- kapacita kondenzátoru $C_X = 466,07$ nF

Hodnota odporu R_X a konduktance G_X součástek se vlivem změny kmitočtu, také měnila. Zvýšení kmitočtu v obou případech způsobilo nárůst hodnot těchto ztrátových vlastností, způsobuje to jev zvaný *skinefekt*, při kterém se vzrůstajícím kmitočtem dochází ve vodiči k tomu, že náboj není veden celým průřezem, ale jen na povrchu.