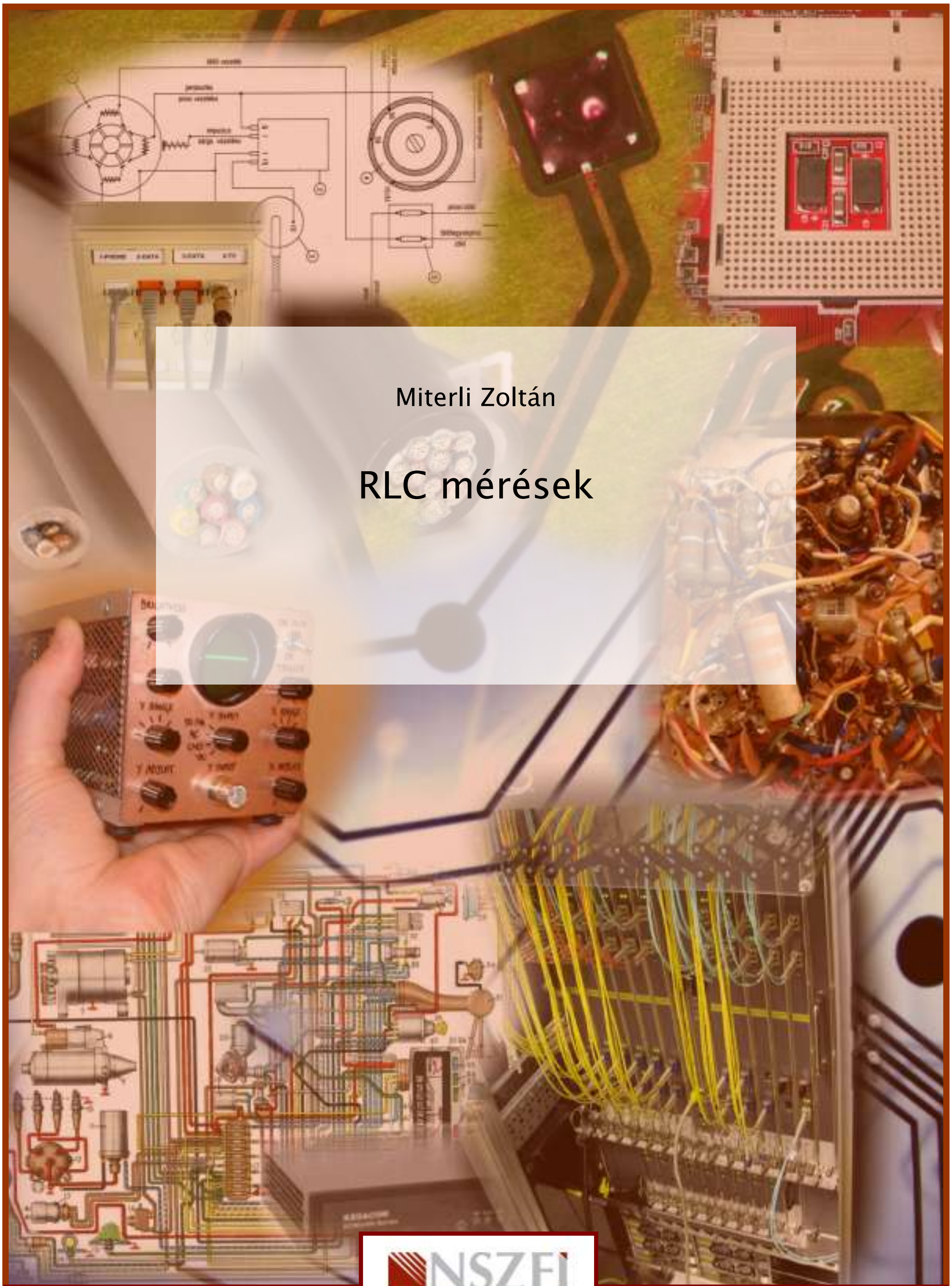


Miterli Zoltán

# RLC mérések

NSZFI
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:

## Távközlési alaptevékenység végzése

A követelménymodul száma: 0908-06   A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-008-50

# AZ RLC ELEMEK MŰKÖDÉSI MODELLJE.

## ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön egy informatikai hálózatszerelő cég beosztottjaként gyakran foglalkozik RLC elemeket tartalmazó hálózatelemek telepítésével, mérésével. A munkahelyére kezdő technikusok érkeztek. Ismertesse velük a váltakozó áramú alapmérések módszereit (figyelmeztetve őket a főbb hibalehetőségekre) és példákon keresztül mutassa be az RLC hálózatok fontosabb paramétereinek mérési lehetőségeit. A mérések előtt tartson elméleti összefoglalót!



## SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

RLC elemek soros, illetve párhuzamos kapcsolásával a távközléstechnikában általában fekvencia-szelektív négypólusokat alakítanak ki. Ezek a beérkező analóg jel csak valamilyen szűk frekvenciatartományba eső összetevőit engedik át a kimenetre (sáváteresztő szűrők), vagy éppen azokat az összetevőket zárják ki (sávzáró szűrők). Az analóg távközléstechnikában ezek nélkül a négypólusok nélkül megvalósíthatatlan lenne a legrégebben alkalmazott többcsatornás (frekvenciaosztásos) jelátvitel egyetlen vezetékes átviteli úton, vagy a rádió és televízió műsorszórás technikai kivitelezése.

Az RLC elemekből kialakított kétpólusok impedanciája erősen frekvenciafüggő, ezt a tulajdonságát használjuk ki a különböző szűrőkapcsolásoknál.

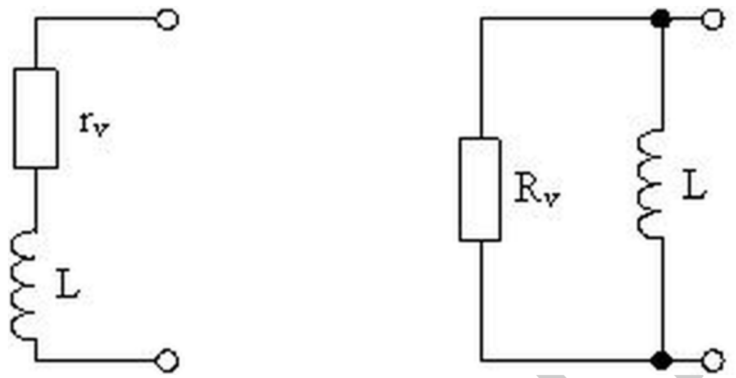
Mivel a kétpólus ideális esetben csak meddő teljesítményt kell, hogy felvegyen, ezért csak tiszta reaktáns elemből (L és C) állhat. A valóságban viszont csak megközelíteni tudjuk ezt a követelményt.

Miért nem ideális induktivitás egy tekercs? Ehhez meg kell vizsgálni, hogy milyen hatások miatt lép fel energiaátalakulás (hatásos teljesítményt eredményező melegedés) a tekercsben:

- A felcsévélt huzalnak ellenállása van: $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$. A huzalon átfolyó áram hatására a tekercs melegszik. *Ezt nevezzük rézveszteségnek.*
- Vasmagos tekercs esetében a vasmagban örvényáramok folynak, amelyek a vasmagot melegítik. *Ezt örvényáramú veszteségnek nevezzük.*
- A vasmag váltakozó irányú átmágnesezéséhez energia szükséges, ez is a vasmagot melegíti. Ebből származik *a hiszterézis veszteség.*

A tekercs teljes vesztesége ezen összetevőkből adódik, amely vasmagos tekercs esetében függ a jel frekvenciájától is! Nagyobb frekvencia esetén a veszteségi teljesítmény is nagyobb.

A tekercs veszteségeit egy olyan nagyságú ohmos ellenállással modellezzük, amely a veszteségi teljesítménnyel azonos teljesítményt disszipál. A soros, illetve a párhuzamos helyettesítő kapcsolást az 1. ábrán láthatjuk. A helyettesítő kép elemeinek értékei csak egy frekvencián igazak!




*1. ábra. A tekercs soros és párhuzamos helyettesítő képe*

A tekercs veszteségének mértékét a jósági tényező adja meg, jele: Q. Értékét a meddő- és a veszteségi (hatásos) teljesítmény hányadosaként kapjuk meg.

A soros helyettesítő kép esetében: $Q = \frac{P_m}{P_h} = \frac{I^2 \cdot X_L}{I^2 \cdot r_v} = \frac{X_L}{r_v}$.

A párhuzamos helyettesítő képnél: $Q = \frac{P_m}{P_h} = \frac{\frac{U^2}{X_L}}{\frac{U^2}{R_v}} = \frac{R_v}{X_L}$.

A veszteségi ellenállások értékei a jósági tényező ismeretében átszámolhatók a két helyettesítő kép között. Például, ha ismerjük a soros veszteségi ellenállás értékét, akkor a párhuzamos veszteségi ellenállás értéke: $R_v = r_v \cdot Q^2$.

Miért nem viselkedik ideális kapacitásként egy kondenzátor? Itt is vizsgáljuk meg, hogy milyen hatások miatt lép fel energiaátalakulás (hatásos teljesítményt eredményező melegedés) a kondenzátorban:

- A két fegyverzet között valamilyen szigetelőanyag van, amelynek az ellenállása nem végtelen nagyságú. A szigetelőanyagon átfolyó áram melegíti a kondenzátort.
- Ha a kondenzátorra váltakozó feszültséget kapcsolunk, akkor a váltakozó irányú villamos erőtérben a szigetelőanyag elemi dipólusainak gyakori átrendeződéséhez (polarizálásához) energia szükséges. Ez szintén melegíti a szigetelőanyagot.

A kondenzátor vesztesége azonban a jó minőségű szigetelőanyagoknak köszönhetően jóval kisebb a tekercsénél, ezért általában elhanyagoljuk azokat.

*Így a fejezet címében is szereplő* **R** *ellenállással tulajdonképpen a tekercs veszteségeit modellezzük.*

Vizsgáljuk meg, hogyan változik a soros, illetve a párhuzamos RLC kétpólus impedanciája a frekvencia függvényében!

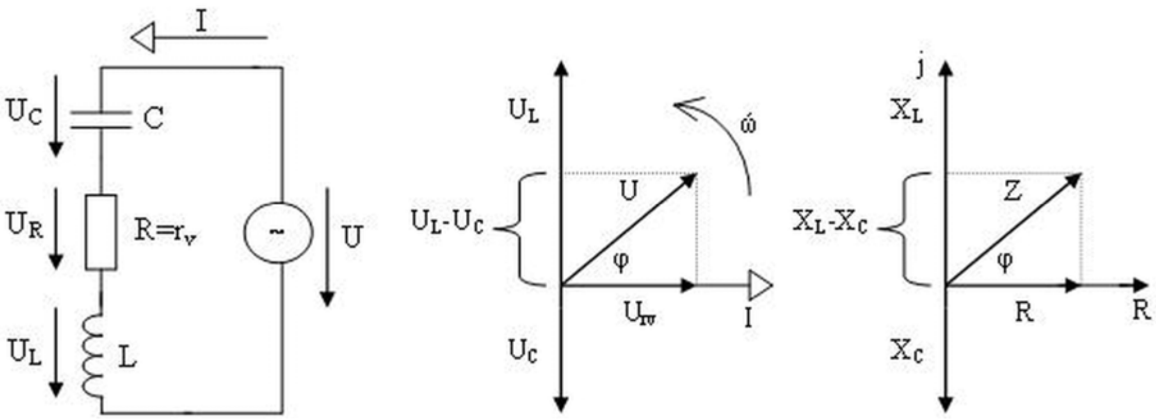
## 1. A soros RLC kapcsolás

A vizsgálatot a kétpólusra kapcsolt szinuszos jel frekvenciájának változtatásával végezzük el. A viselkedés megértéséhez többféle ábrázolási módot is alkalmazhatunk:

- Ábrázolhatjuk a kétpóluson átfolyó áram és az alkatrészeken mérhető feszültségek egymáshoz viszonyított nagyságát és fázishelyzetét egy adott frekvencián (U-I vektorábra).
- Jellemezhetjük az impedanciát (mint vektormennyiséget) a komplex számsíkon, az egyes elemek impedanciájának soros eredőjeként.
- Megadhatjuk az impedancia nagyságának és szögének változását a frekvencia függvényében lineáris vagy logaritmikus frekvenciaéptékben.
- Leírhatjuk az impedancia frekvenciafüggését a teljes frekvenciatartományban a komplex számsíkon (Nyquist görbe, helygörbe).

A kapcsolási rajzot a mennyiségek jelölésével, a feszültség-áram vektorábrát és az impedanciát (egyazon frekvencia esetén) mutatja a 2. ábra. Az $U_R$ feszültség külön nem mérhető (a tekercs veszteségi ellenállásán esik) csak a tekercsre jutó $U_t = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$ és a kondenzátorra jutó $U_C$ feszültséget tudjuk majd a valóságban mérni.






*2. ábra. Soros RLC kapcsolás rajza, U-I vektorábrája és impedanciája*

Az impedancia számítása az alkatrészek értékeiből: $\overline{Z} = R + jX_L - jX_C = R + j(X_L - X_C)$.

A frekvenciafüggés vizsgálatánál külön ábrázoljuk az impedancia nagyságát (vektorának hosszát) és külön a szögét:

$$\left|\overline{Z}\right| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ és } \varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_L - X_C}{R}.$$

A kétpólus impedanciájának változásában három jellegzetes frekvenciaértéket figyelhetünk meg.

1. Azt a frekvenciát, amelynél egy kétpólusú hálózatban az induktív és kapacitív reaktanciák eredő hatása nulla, rezonancia frekvenciának nevezzük.

A rezonancia frekvencia jele: $f_0$. Ekkor a definícióból adódóan $X_L = X_C$, ebből az egyenlőségből a kapcsolás rezonancia frekvenciája meghatározható:

$$2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot L = \frac{1}{2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot C} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}.$$

Az impedancia nagysága és szöge ezen a frekvencián:

$$\left|\overline{Z}\right| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + 0} = R \text{ és } \varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_L - X_C}{R} = \operatorname{arctg} \frac{0}{R} = 0°.$$

Tehát az impedancia tiszta ohmos ellenállás, megegyezik a tekercs veszteségi ellenállásával. Ha a tekercs ideális induktivitás lenne, akkor rezonancia frekvencián a kétpólus rövidzárként viselkedne.

2. Azt a frekvenciát, amelynél egy kétpólusú hálózatban az ohmos ellenállások eredőjének nagysága megegyezik a reaktanciák eredőjének nagyságával, határfrekvenciának nevezzük.

Ennél a kapcsolásnál két ilyen eset is van, egy a rezonancia frekvencia alatt és egy felette. Rezonancia frekvencia alatt: $\left|X_L - X_C\right| = R$. Ebből az összefüggésből adódik az alsó határfrekvencia, jelölése: $f_{ha}$.

Az impedancia nagysága és szöge az alsó határfrekvencián:

$$\left|\overline{Z}\right| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + R^2} = \sqrt{2} \cdot R \text{ és } \varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_L - X_C}{R} = \operatorname{arctg} \frac{-R}{R} = -45°.$$

Rezonancia frekvencia felett az előző összefüggésből adódik a felső határfrekvencia, jelölése: $f_{hf}$.

Az impedancia nagysága és szöge a felső határfrekvencián:

$$\left|\overline{Z}\right| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + R^2} = \sqrt{2} \cdot R \text{ és } \varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_L - X_C}{R} = \operatorname{arctg} \frac{R}{R} = 45°.$$

Ahhoz, hogy az impedancia teljes frekvenciafüggését lássuk, nézzük meg kis- és végtelen frekvencia környezetében is az impedancia értékét.

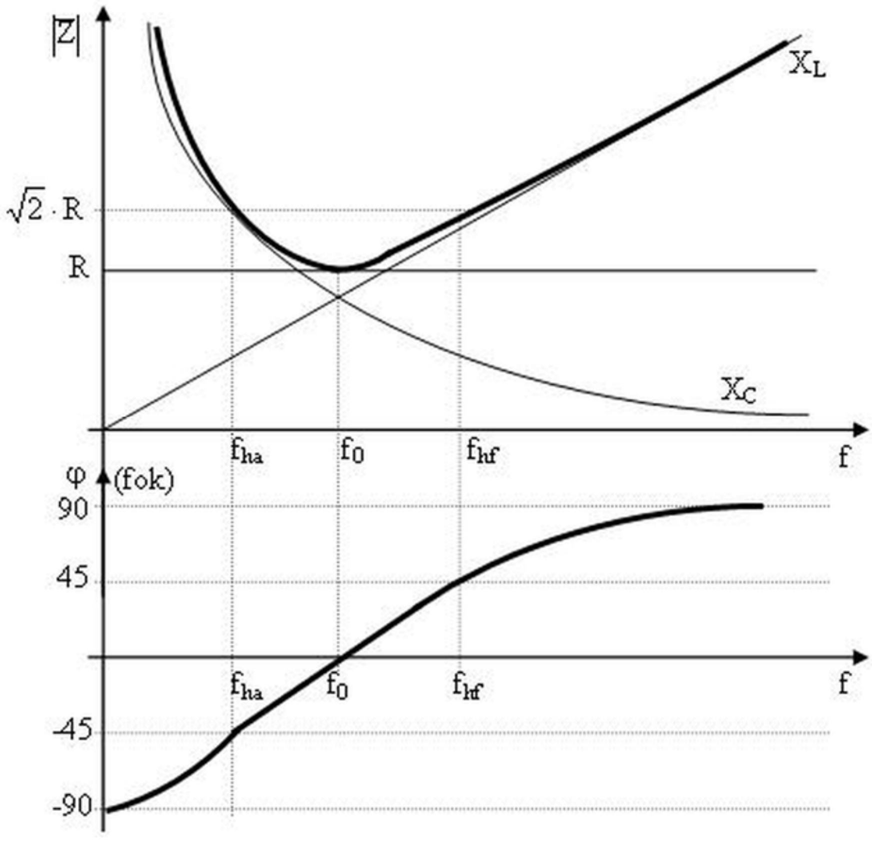
Kis frekvencián a kapacitás reaktanciája sokkal nagyobb, mint a veszteségi ellenállás és az induktív reaktancia, tehát az impedancia jellege is kapacitív lesz:

$$\text{ha } f \to 0 \text{ akkor } |\overline{Z}| \to X_C \text{ és } \varphi \to -90°$$

Nagyon nagy frekvencián az induktív reaktancia sokkal nagyobb, mint a veszteségi ellenállás és a kapacitív reaktancia, tehát az impedancia jellege is induktív lesz:

$$\text{ha } f \to \infty \text{ akkor } |\overline{Z}| \to X_L \text{ és } \varphi \to 90° \ .$$

Az impedancia nagyságának és szögének frekvenciafüggését látjuk a 3. ábrán. Berajzoltuk a három összetevő frekvenciafüggését és a nevezetes frekvenciákat is.




*3. ábra. Soros RLC kapcsolás impedanciájának frekvenciafüggése*

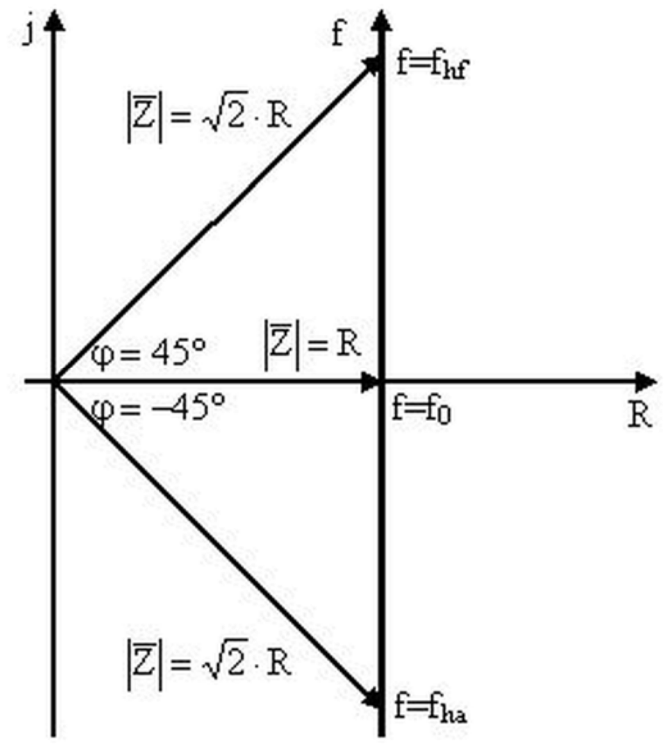
Az ábrából is jól látható, hogy a kétpólus impedanciájának jellege a rezonancia frekvencián változik meg:

- Kis frekvencián a kapacitív reaktancia dominál az impedancia nagyságában és fázisában is, majd egyre inkább a veszteségi ellenállás értéke is meghatározó lesz.

- Rezonancia frekvencián az impedancia megegyezik a veszteségi ellenállással, a függvénynek itt van minimuma.
- Rezonancia fölött az impedancia már induktív jellegű, a frekvencia növekedésével egyre inkább a tekercs induktív reaktanciája lesz a meghatározó.

Az impedancia frekvenciafüggésének egy ma már ritkábban alkalmazott ábrázolása a *Nyquist görbe* (más néven helygörbe), amely a komplex számsíkon mutatja meg a kétpólus viselkedését a frekvencia függvényében.

Ha az impedancia komplex matematikai formulája segítségével az előzőekben megvizsgált frekvenciákon meghatározzuk az impedancia-vektorokat és ábrázoljuk ezeket a komplex számsíkon, akkor ezek végpontjait összekötve egy, a képzetes tengelytől R távolságra lévő párhuzamos egyenest kapunk. A 4. ábrán ezt láthatjuk, bejelöltük benne a nevezetes frekvenciákhoz tartozó vektorokat is. A frekvenciatengely léptéke nem lineáris beosztású, ezért ezzel az ábrázolási módszerrel inkább az impedancia változásának jellegét lehet szemléltetni.




*4. ábra. Soros RLC kapcsolás  komplex impedanciájának Nyquist görbéje*

Miután megvizsgáltuk a soros RLC kapcsolás impedanciájának viselkedését a teljes frekvenciatartományban, nézzük meg részletesebben a kapcsolás jellemző mennyiségeit rezonancia frekvencián, hiszen általában itt alkalmazzuk (vagy ennek környezetében) ezeket a különböző frekvencia-szelektív négypólusok kialakításánál. A rezonancia frekvencián értelmezett mennyiségeket a jelöléssel is megkülönböztetjük, alsó indexként egy 0-val.

A soros RLC kapcsolás jellemző mennyiségei rezonancia frekvencián:

- $\left|\overline{Z}_0\right| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + 0} = R = r_v$ és $\varphi = \mathrm{arctg}\frac{X_L - X_C}{R} = \mathrm{arctg}\frac{0}{R} = 0°$.

  Tehát az impedancia tisztán ohmos ellenállás és értéke megegyezik a soros veszteségi ellenállással.
- Ekkor folyik a kapcsoláson a maximális áram, mert itt van az impedanciának a minimuma: $I_0 = \frac{U}{\left|\overline{Z}_0\right|} = \frac{U}{r_v}$ .
- Ezen a frekvencián jellemezzük az RLC kapcsolást a jósági tényezővel is: $Q_0 = \frac{X_{L0}}{r_v} = \frac{X_{C0}}{r_v}$ . Minél kisebb a veszteségi ellenállás, annál nagyobb a jósági tényező értéke.
- Ebben az esetben mérhető a tekercsen és a kondenzátoron is maximális feszültség: $U_{L0} = U_{C0} = U \cdot Q_0$ . A tekercsen ez egy kicsit nagyobb lesz, hiszen ekkor $U_t = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{U^2 + U^2 \cdot Q^2} = U \cdot \sqrt{1 + Q^2}$ . Nagy jósági tényezőjű (nx10) tekercs esetén a generátor feszültsége nem lehet nagy, mert a kondenzátorra jutó $Q_0$-szoros feszültség átütéseket is okozhat.
- A jósági tényező növekedése (a veszteségi ellenállás csökkenése) a határfrekvenciákat is befolyásolja. Az RLC kapcsolás jellemezhető a határfrekvenciák egymástól való távolságával (különbségével) is. *Ezt nevezzük a kapcsolás sávszélességének:* $B = f_{hf} - f_{ha}$ . Minél nagyobb a jósági tényező, annál kisebb lesz a sávszélesség mértéke. A sávszélesség és a jósági tényező kapcsolata: $B = \frac{f_0}{Q_0}$ .

## 2. A párhuzamos RLC kapcsolás

A vizsgálatot ebben az esetben is a kétpólusra kapcsolt szinuszos jel frekvenciájának változtatásával végezzük el. A viselkedés megértéséhez a soros kapcsolásnál már ismertetett ábrázolási módokat alkalmazzuk. A kapcsolásban lévő R ellenállás a tekercs párhuzamos veszteségi ellenállását modellezi.

Mivel párhuzamos kapcsolásnál az admittancia vektorokat összegezhetjük, ezért először annak értékét számíthatjuk ki: $\overline{Y} = \frac{1}{R} - j\frac{1}{X_L} + j\frac{1}{X_C} = \frac{1}{R} + j\left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)$ .

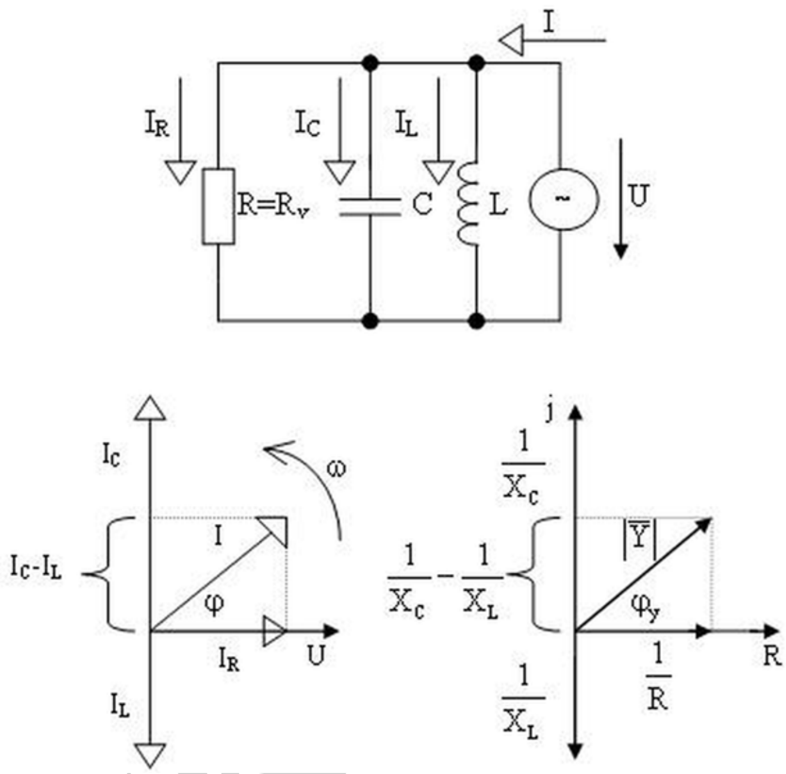
Ebből az admittancia nagysága és szöge: $\left|\overline{Y}\right| = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$ és

$$\varphi_y = \mathrm{arctg}\frac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} .$$

A kapcsolási rajzot a mennyiségek jelölésével, a feszültség-áram vektorábrát és az admittanciát (egyazon frekvencia esetén) mutatja az 5. ábra.

Az impedancia nagysága és szöge az admittancia ismeretében meghatározható:

$$\left|\overline{Z}\right| = \frac{1}{\left|\overline{Y}\right|} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}} \text{ és } \varphi = -\varphi_y = -\mathrm{arctg}\frac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} .$$




*5. ábra. Párhuzamos RLC kapcsolás rajza, U-I vektorábrája és admittanciája*

A kapcsolás rezonancia frekvenciájának és határfrekvenciáinak kiszámítása (a definíciókból adódóan) hasonlóképpen történik, mint a soros kapcsolás esetében.

Az impedancia frekvenciafüggéséhez nézzük meg az előzőekhez hasonló nevezetes frekvenciákon az impedancia nagyságának és szögének változását:

- Kis frekvencián az induktív reaktancia sokkal kisebb, mint a veszteségi ellenállás és a kapacitív reaktancia, tehát az impedancia jellege is induktív lesz: ha $f \to 0$ akkor $\left|\overline{Z}\right| \to X_L$ és $\varphi \to 90°$.
- Az impedancia nagysága és szöge az alsó határfrekvencián:

$$\left|\overline{Z}\right| = \frac{1}{\left|\overline{Y}\right|} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{R^2}}} = \frac{R}{\sqrt{2}}$$

és $\varphi = -\varphi_y = -\mathrm{arctg}\dfrac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} = -\mathrm{arctg}\dfrac{-\frac{1}{R}}{\frac{1}{R}} = 45°$.

- Az impedancia nagysága és szöge rezonancia frekvencia esetén: $\left|\overline{Z}\right| = \dfrac{1}{\left|\overline{Y}\right|} = \dfrac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + 0}} = R$

  és $\varphi = -\varphi_y = -\mathrm{arctg}\dfrac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} = -\mathrm{arctg}\dfrac{0}{\frac{1}{R}} = 0°$ .
- Az impedancia nagysága és szöge a felső határfrekvencián: $\left|\overline{Z}\right| = \dfrac{1}{\left|\overline{Y}\right|} = \dfrac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{R^2}}} = \dfrac{R}{\sqrt{2}}$

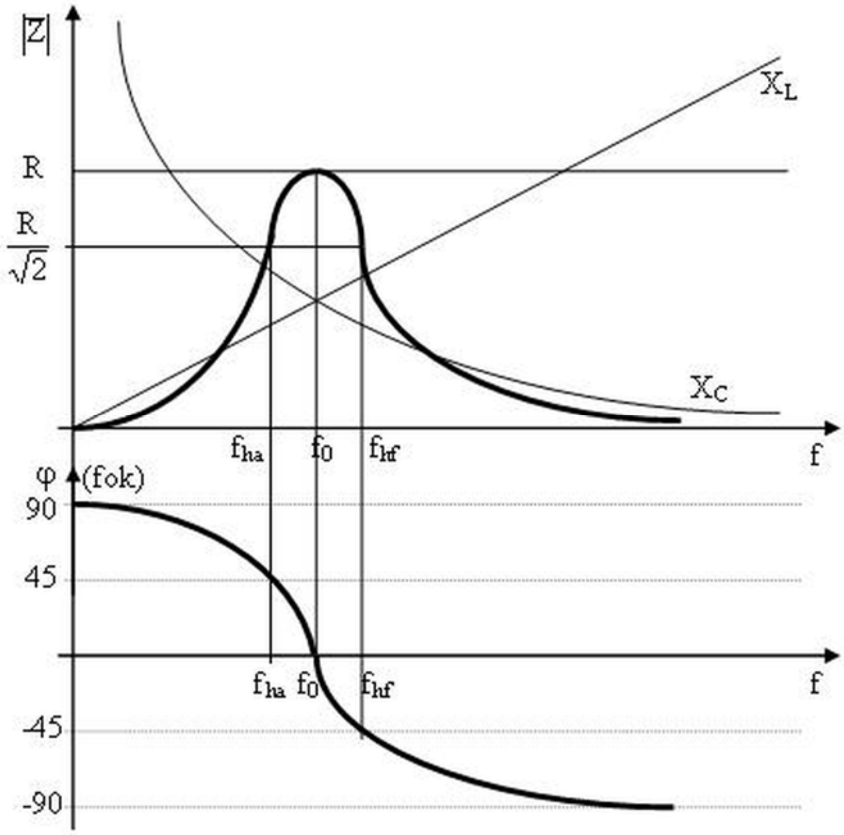
  és $\varphi = -\varphi_y = -\mathrm{arctg}\dfrac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} = -\mathrm{arctg}\dfrac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R}} = -45°$
- Nagyon nagy frekvencián a kapacitív reaktancia sokkal kisebb, mint a veszteségi ellenállás és az induktív reaktancia, tehát az impedancia jellege is kapacitív lesz:

ha $f \to \infty$ akkor $\left|\overline{Z}\right| \to X_C$ és $\varphi \to -90°$ .

A párhuzamos RLC kapcsolás impedanciájának frekvenciafüggését látjuk a 6. ábrán. Berajzoltuk a három összetevő frekvenciafüggését és a nevezetes frekvenciákat is.

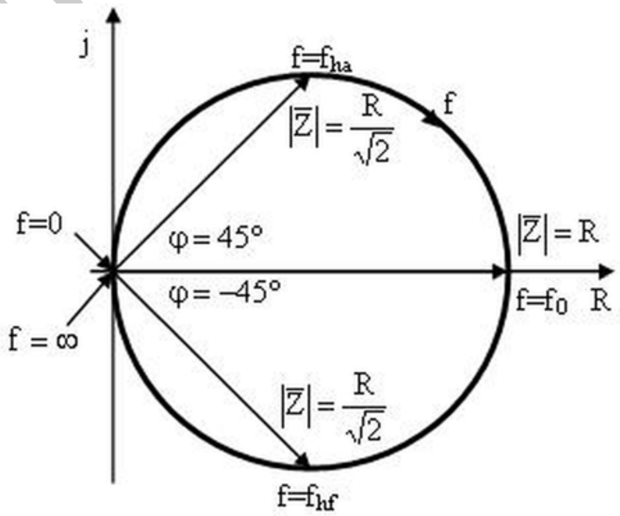
Az ábrából is jól látható, hogy a kétpólus impedanciájának jellege a rezonancia frekvencián változik meg:

- Kis frekvencián az induktív reaktancia dominál az impedancia nagyságában és fázisában is, majd egyre inkább a veszteségi ellenállás értéke is meghatározó lesz.
- Rezonancia frekvencián az impedancia megegyezik a veszteségi ellenállással, a függvénynek itt van maximuma.
- Rezonancia fölött az impedancia már kapacitív jellegű, a frekvencia növekedésével egyre inkább a kondenzátor reaktanciája lesz a meghatározó.




*6. ábra. Párhuzamos RLC kapcsolás impedanciájának frekvenciafüggése*

A Nyquist görbét itt is az impedancia komplex matematikai formulája segítségével tudjuk megrajzolni. Ha az előzőekben megvizsgált frekvenciákon meghatározzuk az impedancia-vektorokat és ábrázoljuk ezeket a komplex számsíkon akkor ezek végpontjait összekötve egy R/2 sugarú kört kapunk. A 7. ábrán ezt láthatjuk, bejelöltük benne a nevezetes frekvenciákhoz tartozó vektorokat is. A frekvenciatengely léptéke ebben az esetben sem lineáris beosztású.




*7. ábra. Párhuzamos RLC kapcsolás  komplex impedanciájának Nyquist görbéje*

Végül, mintegy összefoglalásképpen vizsgáljuk meg a párhuzamos RLC kapcsolás jellemzőit a rezonancia frekvencián:

- $$\left|\overline{Z}_0\right| = \frac{1}{\left|\overline{Y}_0\right|} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\frac{1}{X_C}-\frac{1}{X_L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2}+0}} = R$$

  és $\varphi = -\varphi_y = -\mathrm{arctg}\dfrac{\frac{1}{X_C}-\frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} = -\mathrm{arctg}\dfrac{0}{\frac{1}{R}} = 0°$. Tehát az impedancia tisztán ohmos ellenállás és értéke megegyezik a párhuzamos veszteségi ellenállással.
- Ekkor folyik a kapcsoláson a minimális áram, mert itt van az impedanciának a maximuma: $I_0 = \dfrac{U}{\left|\overline{Z}_0\right|} = \dfrac{U}{R_v}$ .
- Ezen a frekvencián jellemezzük az RLC kapcsolást a jósági tényezővel is: $Q_0 = \dfrac{R_v}{X_{L0}} = \dfrac{R_v}{X_{C0}}$ . Minél nagyobb a veszteségi ellenállás, annál nagyobb a jósági tényező értéke.
- Ekkor mérhető a tekercsen és a kondenzátoron is maximális áram: $I_{L0} = I_{C0} = I \cdot Q_0$ . A tekercsen ez egy kicsit nagyobb lesz, hiszen $I_t = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{I^2 + I^2 \cdot Q^2} = I \cdot \sqrt{1+Q^2}$.
- A sávszélesség és a jósági tényező kapcsolata ebben az esetben is: $B = \dfrac{f_0}{Q_0}$ .

# TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Az elemi számolási készség kialakulásához sok feladat megoldásán keresztül vezet az út. Ezekből néhányat az önellenőrző feladatoknál megtalálhatunk. Ha elakadunk a feladat megoldásában, akkor térjünk vissza az adott elméleti anyagrészhez és újra ismételjük át a tudnivalókat.

Az elektrotechnikai alkatrészek megismeréséhez célszerű a tanórákon vagy a mérések alkalmával bemutató jelleggel különféle kialakítású kondenzátorokat és tekercseket szemrevételezni. Milyen jellemző adatokat tüntetnek fel a gyártók (névleges érték, üzemi feszültség, tűrés, …stb.), az adott kialakításhoz melyek a megfelelő szerelési technológiák?

Ha rendelkezésünkre áll az Internet, a különböző alkatrészgyártó– illetve forgalmazó cégek honlapjain is hozzájuthatunk ezekhez az információkhoz (pl. distrelec.hu, tme.hu).

# ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

## 1. feladat

Döntse el az alábbi állítások helyességét (Igaz/Hamis)! A megfelelő relációt írja be a megoldásblokkba!

a) A tekercs veszteségeit jelképező veszteségi ellenállás minden frekvencián ugyanakkora.

______________________________________________

b) Azt a frekvenciát, amelynél egy kétpólusú hálózatban az induktív és kapacitív reaktanciák eredő hatása nulla, rezonancia frekvenciának nevezzük.

______________________________________________

c) Azt a frekvenciát, amelynél egy kétpólusú hálózatban az ohmos ellenállások eredőjének nagysága megegyezik a reaktanciák eredőjének nagyságával, határfrekvenciának nevezzük.

______________________________________________

d) Egy soros RLC kapcsolás impedanciája a rezonancia frekvencián a legnagyobb.

______________________________________________

e) Egy párhuzamos RLC kapcsolás impedanciája a rezonancia frekvencián a legkisebb.

______________________________________________

f) A sávszélesség a határfrekvenciák különbségeként adható meg.

## 2. Feladat

Egy soros RLC kapcsolás adatai: $R=r_v=30\ \Omega$, $L=400\ mH$, $C=40\ \mu F$, $U=1\ V$.

a) Határozza meg a rezonancia frekvencia értékét!

b) Számítsa ki a jósági tényezőt!

c) Mekkora lesz a kondenzátor feszültsége rezonancia frekvencián?

d) Adja meg a kapcsolás sávszélességének nagyságát!

## 3. Feladat

Egy párhuzamos RLC kapcsolás adatai: $R=50\ k\Omega$, $L=10\ mH$, $C=10\ nF$, $U=10\ V$.

a) Határozza meg a rezonancia frekvencia értékét!

b) Számítsa ki a jósági tényezőt!

c) Rajzoljon léptékhelyes feszültség-áram vektorábrát alsó határfrekvencián!

d) Mekkora lesz a kondenzátoron folyó áram rezonancia frekvencián?

# MEGOLDÁSOK

## 1. feladat

a) Hamis.

b) Igaz.

c) Igaz.

d) Hamis.

e) Hamis.

f) Igaz.

## 2. Feladat

a) A rezonancia frekvencia értéke: $f_0 = \dfrac{1}{2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \dfrac{1}{2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{4 \cdot 10^{-1} \cdot 4 \cdot 10^{-5}}} = 39{,}78\ \text{Hz}$.

b) Rezonanciafrekvencián: $X_{L0} = X_{C0} = 2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot L = 2 \cdot \Pi \cdot 39{,}78 \cdot 0{,}4 = 99{,}97\ \Omega \cong 100\ \Omega$.

A jósági tényező: $Q_0 = \dfrac{X_{L0}}{r_v} = \dfrac{X_{C0}}{r_v} = \dfrac{100\Omega}{30\Omega} = 3{,}33$.

c) A kondenzátor feszültsége rezonancián: $U_{C0} = Q_0 \cdot U = 3{,}33 \cdot 1\text{V} = 3{,}33\ \text{V}$.

d) A kapcsolás sávszélessége: $B = \dfrac{f_0}{Q_0} = \dfrac{39{,}78\text{Hz}}{3{,}33} = 11{,}9\ \text{Hz}$.

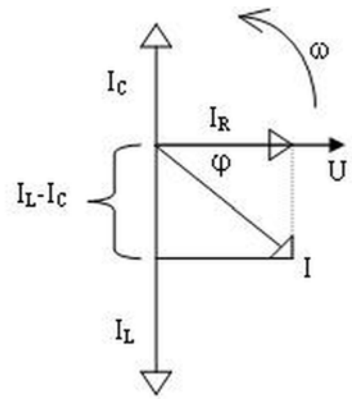
## 3. Feladat

a) A rezonancia frekvencia értéke: $f_0 = \dfrac{1}{2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \dfrac{1}{2 \cdot \Pi \cdot \sqrt{10^{-2} \cdot 10^{-8}}} = 15{,}9\ \text{kHz}$.

b) Rezonancia frekvencia esetén $X_{L0} = X_{C0} = 2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot L = 2 \cdot \Pi \cdot 1{,}59 \cdot 10^4 \cdot 10^{-2} = 1\ \text{k}\Omega$.

A jósági tényező: $Q_0 = \dfrac{R}{X_{L0}} = \dfrac{R}{X_{C0}} = \dfrac{5 \cdot 10^4\Omega}{10^3\Omega} = 50$.

c) Alsó határfrekvencia esetén: $\left|X_L - X_C\right| = R$, tehát a kapacitás- és az induktivitás áramának vektoriális eredőjének nagysága azonos az ellenállásra jutó árammal. A generátor feszültsége 45°-kal siet az eredő áramhoz képest. A léptékhelyes feszültség-áram vektorábrát a 8. ábra mutatja.




*8. ábra. U-I vektorábra alsó határfrekvencián*

d) A a kondenzátoron folyó áram rezonancián: $I_C = \frac{U}{X_{C0}} = \frac{10V}{1k\Omega} = 10\ mA$.

# RLC KÉTPÓLUSOK MÉRÉSE

## ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön egy informatikai hálózatszerelő cég beosztottjaként gyakran foglalkozik RLC elemeket tartalmazó hálózatelemek telepítésével, mérésével. A munkahelyére kezdő technikusok érkeztek. Ismertesse velük a váltakozó áramú alapmérések módszereit (figyelmeztetve őket a főbb hibalehetőségekre) és példákon keresztül mutassa be az RLC hálózatok fontosabb paramétereinek mérési lehetőségeit.

## SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A mérési elvek előtt ismerkedjünk meg azokkal a leggyakrabban alkalmazott műszerekkel, amelyek a váltakozó áramú méréseknél használatosak.

Mivel méréseinket többnyire szinuszos jellel végezzük, ezért elsősorban szinuszos váltakozófeszültségek effektív értékének mérésére készítenek műszereket. A műszerek – felépítésüktől függően – mérhetik a szinuszos jel átlagértékét, csúcsértékét (ezek a hagyományos analóg műszerek) vagy az effektív értékét (ma már szinte kivétel nélkül digitális és elég drága eszközök). A kijelzés vagy a skála viszont úgy van elkészítve, hogy a feszültség effektív értékét olvashatjuk le.

Kis feszültségértékek mérésére a hangfrekvenciás tartományban már csak a nagy érzékenységű elektronikus (hálózatról üzemelő) műszerek alkalmasak, amelyek akár 1 mV – 300 V tartományban is megfelelő pontossággal működnek. A bemeneti impedanciájuk legalább 1 MΩ nagyságú, a jobbak akár 20 MΩ-os bemeneti impedanciával is rendelkeznek. A pontosabb leolvasást elősegítő tükörreflexes skálák egyes és hármas végkitéréssel készülnek, a méréshatárok is ennek megfelelően változtathatók. A 9. ábrán egy, az oktatásban gyakran előforduló magyar gyártmányú műszer előlapi képét láthatjuk.


*9. ábra. AC voltméter*

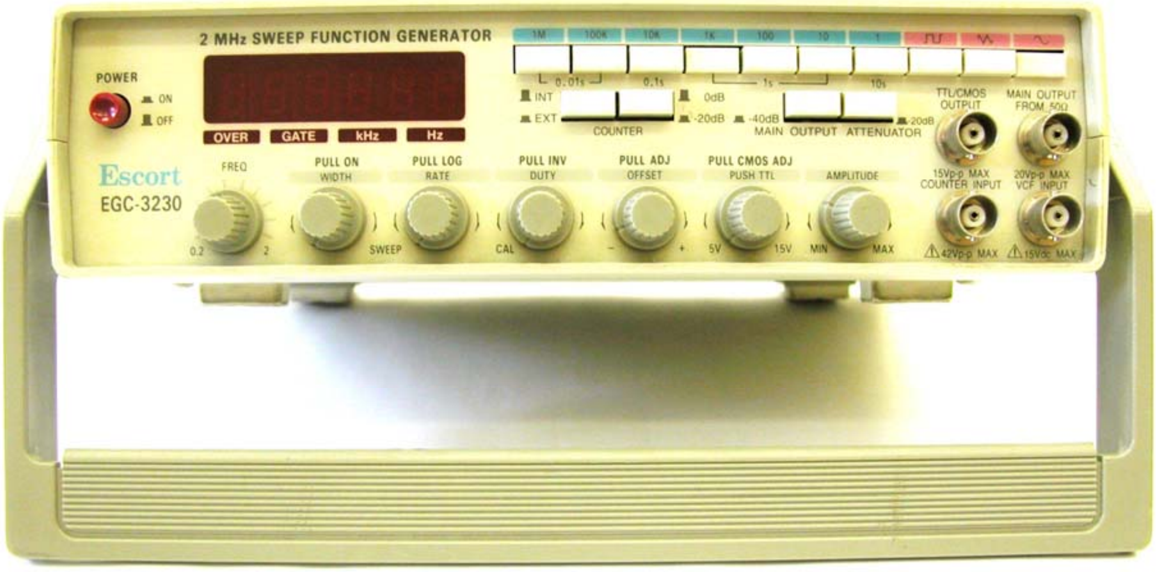
Áramot váltakozó áramú környezetben direkt módon általában nem mérünk. Ez ugyanis az áramkör megbontásával – a műszer soros bekötésvel – járna, amely egy berendezésnél nehezen kivitelezhető és esetleg a vezető roncsolását vonná maga után. Váltakozó áramot tehát szinte mindig közvetett módon – Ohm törvényét felhasználva – egy ismert ellenálláson történő feszültségméréssel határozunk meg.

A mérések elengedhetetlen eszköze a váltakozó áramú jelgenerátor, amely a kétpólusra kapcsolt szinuszos vizsgálójel forrása.

Milyen alapvető szolgáltatásai vannak egy jelgenerátornak:

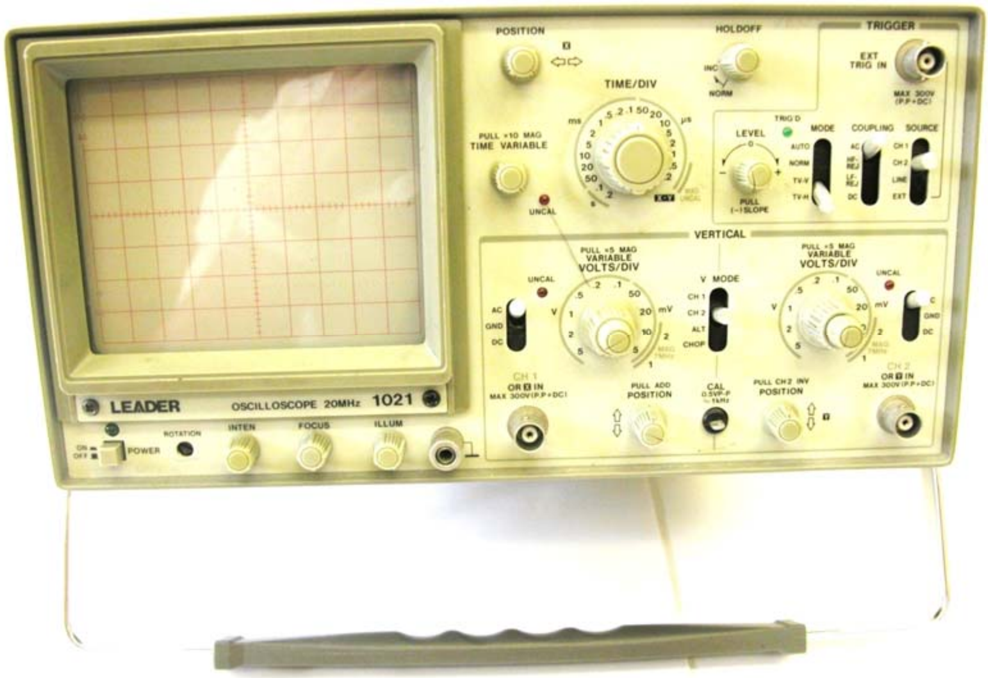
- rendelkeznek frekvenciaskálával vagy belső frekvenciamérő egységgel,
- a jel frekvenciatartománya széles frekvenciatartományban szabályozható (általában dekadikus lépésekben és azon belül folyamatosan),
- a kimeneti jel feszültsége folyamatosan állítható,
- a kimeneti impedancia állandó és minél kisebb kell, hogy legyen.

A 10. ábrán egy ESCORT gyártmányú un. hullámforma generátor előlapjának képét és kezelőszerveit figyelhetjük meg. Ez nem csak szinuszos, hanem háromszög és négyszög formájú jelek előállítására is alkalmas. Az analóg kimenet impedanciája 50 Ω és maximálisan 10 V-os feszültség leadására alkalmas.




*10. ábra. Hullámforma generátor*

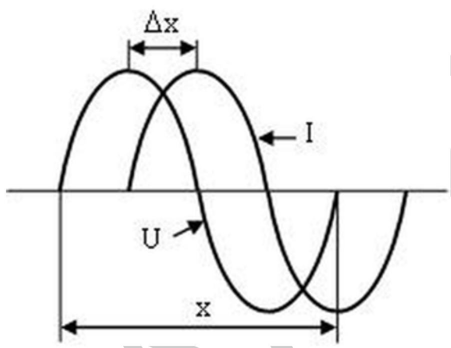
A váltakozó áramú hálózatok vizsgálatának harmadik leggyakoribb eszköze az oszcilloszkóp. Általánosságban alkalmas periodikus jelek feszültségjellemzőinek (impulzus amplitudó, csúcsérték) és időtartománybeli jellemzőinek (periódus idő, impulzus idő, fel- illetve lefutási idő) mérésére. A legtöbb oszcilloszkóp két bemeneti csatornával készül összehasonlító mérések céljából. A 11. ábrán két bemeneti csatornával rendelkező oszcilloszkóp előlnézetét láthatjuk a kezelőszervekkel.




*11. ábra. Oszcilloszkóp*

A képernyőn egyszerre megjelenítve a két csatornára kapcsolt jelet lehetőségünk van a két, azonos frekvenciájú jel közötti fáziseltérés meghatározására. Ezt az RLC kapcsolások impedanciájának mérésénél is alkalmazzuk az impedancia szögének mérésénél.

Az egyik csatornára a kétpólus feszültségét, a másikra az árammal azonos fázisú feszültséget (amely a soros az ellenálláson mérhető) kapcsoljuk. A jelek két azonos fázisú pontjának (célszerűen a csúcspontok) távolságát (Δx) és a jel egy periódusát (x) leolvasva a fázieltérés egy egyszerű aránypárból számítható: $\varphi = \frac{\Delta x}{x} \cdot 360°$ (12. ábra). A szög előjele az ábrából is láthatóan akkor lesz pozitív, ha a feszültség siet az árammal azonos fázisú jelhez képest. A mérésnél a két jelet közel egyforma nagyságúra és minél nagyobbra állítsuk. A vízszintes eltérítést is úgy szabályozzuk, hogy az x és Δx szakaszokat minél nagyobb méretben tudjuk leolvasni.

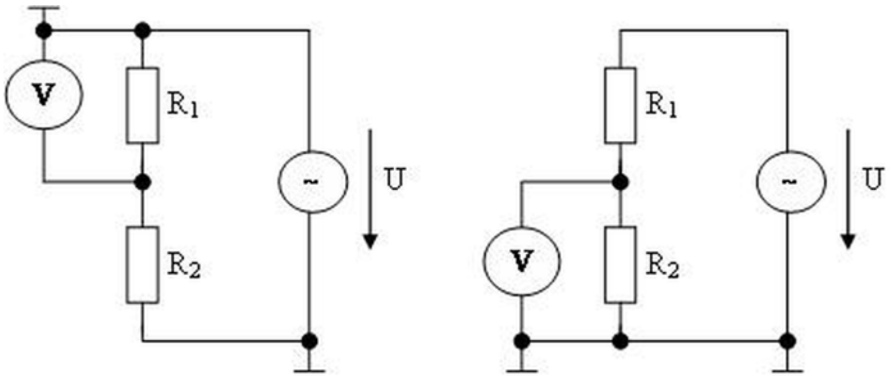



*12. ábra. Fázisszög mérése oszcilloszkóppal*

Ha megnézzük az előzőekben ismertetett hálózati műszerek be,- illetve kimeneti csatlakozó pontjait akkor látjuk, hogy mindhárom eszköz un. BNC csatlakozókkal van ellátva és mérésnél is ilyen csatlakozóval ellátott 50 Ω-os hullámimpedanciájú koaxiális mérőkábeleket használhatunk. A hálózati műszerek egyik mérőpontja össze van kötve a földdel (ezt nevezzük "hidegpontnak") , amely a készülék fémházához csatlakozik. Ennek életvédelmi és villamos árnyékolási okai vannak. Ha a mérésnél több ilyen műszert is használunk akkor ezeken a földpontokon azok már eleve össze vannak kötve egymással.

A műszerek összekapcsolásánál tehát test pontokat csak test pontokhoz köthetünk!

Ha ezt nem tartjuk be, akkor hibát, a legtöbbször zárlatot okozhatunk. Például egy soros kapcsolásban, ha meg akarjuk mérni az egyes elemeken a részfeszültségek nagyságát, akkor a feszültségmérőnket csak arra az elemre csatlakoztathatjuk, amelynek egyik vége a test pontra van kötve. A másik alkatrészen történő méréshez az alkatrészek cseréje szükséges. A 13. ábra jobb oldalán láthatjuk a helyes-, a bal oldalán a helytelen mérőkapcsolást. A bal oldali esetben a feszültségmérő helytelen bekötésével a generátort rövidre zártuk.




*13. ábra. Feszültségmérő helytelen és helyes bekötése*

## SOROS REZGŐKÖR MÉRÉSE

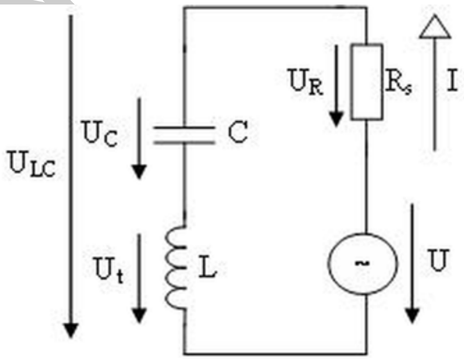
**A mérés céljai:**

- az elméletben elsajátított RLC kétpólus jellemzőinek meghatározása méréssel;
- a mérési elvek gyakorlása;
- műszerkezelési jártasság szerzése.

**A méréshez szükséges mérőeszközök:**

- AC feszültségmérő;
- szinuszos jelgenerátor;
- oszcilloszkóp.

A kapcsolási rajz a mérendő feszültségek jelölésével:




*14. ábra. Soros rezgőkör mérési kapcsolási rajza*

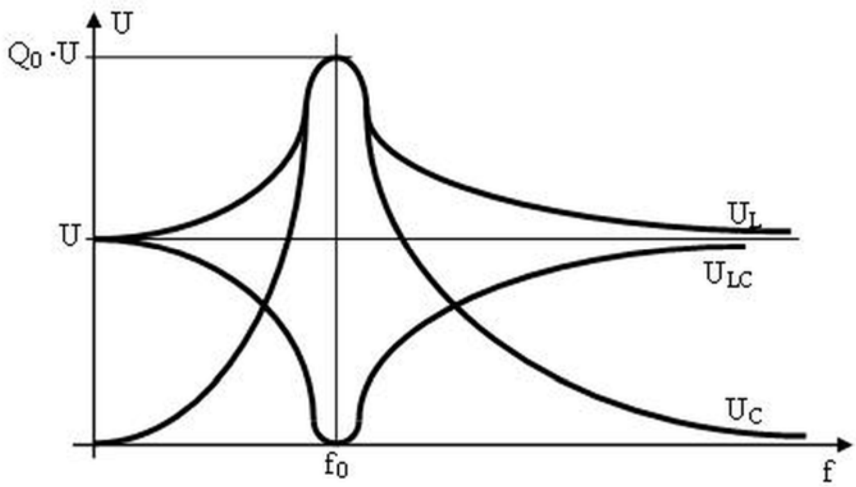
A rajzon nem jelöltük a test pontot, mert mindig annak az elemnek kell az egyik végét és a műszerek test pontjait összekötni, amelyen éppen a feszültséget mérjük.

A rezgőkört árammérés céljából egészítettük ki egy soros ($R_s$) ellenállással. A rezgőkör jellemzőinek meghatározásánál (pl. veszteségi ellenállás) azt nem tekintjük a rezgőkör részének.

**Mérési feladatok**:

1. Rezonancia frekvencia meghatározása:

A rezonancia frekvencia mérése több módszerrel is történhet. Nézzük meg hogyan változnak az egyes elemeken mérhető feszültségek a frekvencia függvényében ideális esetben (15. ábra)!




*15. ábra. A feszültségek változása a frekvencia függvényében*

a) Rezonancia frekvencia mérése $U_t$ maximumára történő hangolásával. Addig változtatjuk a generátor frekvenciáját, amíg a tekercsen mért feszültség eléri a maximális értékét.

b) Rezonancia frekvencia mérése $U_C$ maximumára történő hangolásával. Addig változtatjuk a generátor frekvenciáját, amíg a kondenzátoron mért feszültség eléri a maximális értékét.

Mindkét esetben figyelni kell arra, hogy a rezonancia környezetében a frekvenciát finoman változtassuk, ugyanis a változás elég nagy meredekséggel (a jósági tényezőtől függően) zajlik le. A valóságban a két maximum nem esik egybe, hiszen a tekercs feszültségének mérésénél a veszteségi ellenállásán eső részt is belemérjük.

c) Rezonancia frekvencia mérése $U_R$ maximumára történő hangolásával. Addig változtatjuk a generátor frekvenciáját, amíg a soros mérőelenálláson ($R_s$) a feszültség eléri a maximális értékét. Ekkor lesz ugyanis a körben folyó áram minimális nagyságú.

d) Rezonancia frekvencia mérése $U_{LC}$ minimumára történő hangolásával. Addig változtatjuk a generátor frekvenciáját, amíg a rezgőkörre eső feszültség eléri a minimális értékét (ideális esetben nullát).

e) Rezonancia frekvencia mérése oszcilloszkóppal. Az egyik csatornára a rezgőkör feszültségét ($U_{LC}$), a másikra a generátor feszültségét (U) kapcsoljuk. Addig változtatjuk a generátor frekvenciáját, amíg a két jel azonos fázisú nem lesz.

A rezonancia mérési módszerek közül a legpontosabb eredményt a rezgőkörre jutó feszültség ($U_{LC}$) minimumára való hangolásakor kapjuk. Gondoljuk meg, miért? A többi esetben (amikor maximumokat keresünk) a feszültségmérő méréshatára valószínűleg 3, 10 vagy akár a 30 voltos állásban is lehet a generátor feszültségétől és a jósági tényezőtől függően. Ekkor elég nehéz kis eltéréseket is látni a műszer mutatóján. Minimum indikálása esetén viszont a műszer a legérzékenyebb (akár mV-os) méréshatárában már kis eltérések is észrevehetők.

Ha van lehetőségünk, akkor szélsőérték keresésénél mindig a minimumra történő keresés mérési módszerét válasszuk!

2. A rezgőkör jellemzőinek számítása rezonancia frekvencián:

A mérés azon sajátosságából adódóan, hogy csak feszültséget tudunk mérni, az összes jellemző számítása ezen adatokból történik. Az áram számításához az $R_s$ soros mérőellenállás névleges értékét használjuk fel.

A körben folyó áram kiszámítása: $I = \frac{U_R}{R_s}$ .

A tekercs soros veszteségi ellenállása: $r_s = \frac{U_{LC}}{I}$ .

A kapacitív és az induktív reaktancia értékei: $X_{C0} = \frac{U_C}{I}$ illetve $X_{L0} = \sqrt{\frac{U_t^2}{I^2} - r_s^2}$ .

Minél pontosabban mérünk annál kisebb a két reaktancia között az eltérés.

A rezgőkör jósági tényezője: $Q_0 = \frac{U_C}{U} \approx \frac{U_t}{U}$ .

A rezgőkör sávszélessége: $B = \frac{f_0}{Q_0}$ .

Az eredmények ismeretében meghatározhatjuk a kondenzátor kapacitásának és a tekercs induktivitásának pontos értékét is:

$X_{C0} = \frac{1}{2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot C}$ , ebből $C = \frac{1}{2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot X_{C0}}$

$X_{L0} = 2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot L$ , ebből $L = \frac{X_{L0}}{2 \cdot \Pi \cdot f_0}$ .

3. A rezgőkör határfrekvenciáinak mérése:

Az alsó- illetve a felső határfrekvenciát szintén feszültségméréssel határozhatjuk meg. Az impedancia nagysága a határfrekvenciák esetében a minimális érték (amelyet rezonancia frekvencián kapunk) $\sqrt{2}$ – szeresére növekszik (lásd 3. ábra).

A legpontosabb eredményt akkor kapjuk, ha a rezgőkörre jutó feszültséget ($U_{LC}$) mérjük. A rezonancia frekvencián mért minimális feszültségértékhez képest megkeressük azt a két frekvenciát (a generátor frekvenciáját változtatva), ahol ez a feszültség a $\sqrt{2}$ – szeresére növekszik.

A mérés eredményeként megkapott alsó- illetve felső határfrekvencia ismeretében leellenőrizhetjük az előző mérési feladatban kiszámított sávszélesség és jósági tényező helyességét is: $B = f_{hf} - f_{ha}$ és $Q_0 = \frac{f_0}{B}$ .

4. A rezgőkör impedanciájának és fázisszögének frekvenciafüggése:

A feladat elvégzése előtt gondoljuk meg, milyen frekvenciákon mérjünk és mennyi adatot vegyünk fel ahhoz, hogy a 3. ábrán látható függvényeket megkapjuk. Láthatjuk, hogy az impedancia nagysága és szöge a rezonancia frekvencia környezetében változik és a változás meredeksége a jósági tényezőtől függ. Minél nagyobb a jósági tényező, a sávszélesség annál kisebb lesz és a változások is hamarabb végbemennek.

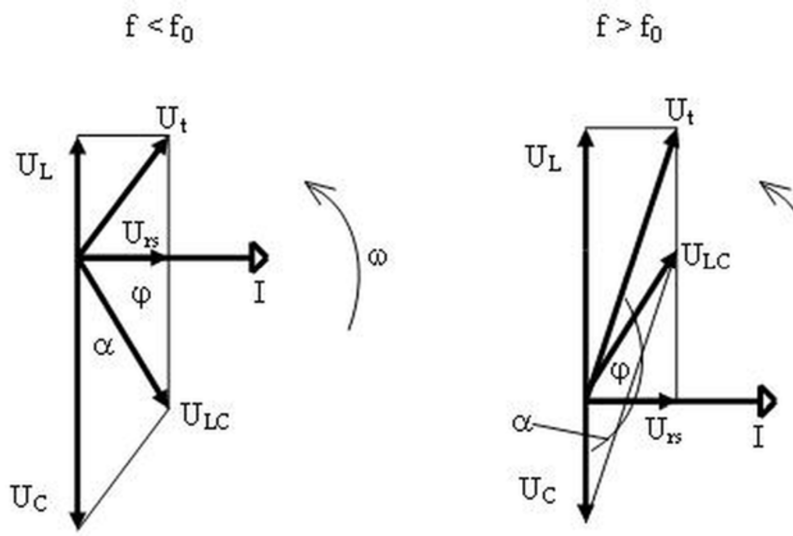
Például egy $Q_0 = 20$–as jósági tényező esetén a sávszélesség csak $B = \frac{f_0}{Q_0} = \frac{f_0}{20} = 0{,}05 \cdot f_0$ lesz. Ez azt jelenti, hogy a változások nagyrészt a $0{,}5 \cdot f_0$ – $2 \cdot f_0$ tartományban lezajlanak. Ennél kisebb illetve nagyobb frekvenciákon már nem érdemes vizsgálódni, mert nem fogunk változást tapasztalni. Ahhoz viszont, hogy az impedancia függvényét minél pontosabban meg tudjuk rajzolni sok (legalább kb. 5-10, szimmetrikusan a rezonancia frekvenciára) mérési pontot vegyünk fel.

Minden egyes frekvencián megmérjük a 13. ábrán bejelölt feszültségeket (természetesen az alkatrészek cseréjével) és az impedancia nagyságát és szögét a mért adatokból számítással határozhatjuk meg:

A körben folyó áram kiszámítása: $I = \frac{U_R}{R_s}$ .

Az impedancia nagysága: $|\overline{Z}| = \frac{U_{LC}}{I}$ .

Az impedancia szöge csak feszültségméréssel nehezebben határozható meg. A számítások megértéséhez a 16. ábrán megrajzoltuk a rezgőkör U-I vektorábráját egy-egy, rezonancia frekvenciánál kisebb illetve nagyobb frekvencia esetén.




*16. ábra. Soros rezgőkör U–I vektorábrái*

a) Rezonancia frekvenciánál kisebb frekvenciák esetén először az α szöget számítjuk ki a cosinus tétel átrendezésével ($U_C$–$U_t$–$U_{LC}$ háromszögre): $\alpha = \arccos \dfrac{U_t^2 - (U_C^2 + U_{LC}^2)}{-2 \cdot U_C \cdot U_{LC}}$ .

Az impedancia szöge: $\varphi = -(90° - \alpha)$ .

b) Rezonancia frekvenciánál nagyobb frekvenciáknál az α szöget két vektor eredőjének meghatározásának összefüggéséből határozzuk meg: $\alpha = \arccos \dfrac{U_{LC}^2 - (U_C^2 + U_t^2)}{2 \cdot U_C \cdot U_t}$ .

Az impedancia szöge: $\varphi = \alpha - 90°$ .

Az komplex impedancia algebrai alakban: $\overline{Z} = |\overline{Z}| \cdot \cos\varphi + j \cdot |\overline{Z}| \cdot \sin\varphi$ .

A mérési adatokat és a számításkor keletkezett eredményeket foglaljuk egy célszerűen megszerkesztett táblázatba. Erre mutat példát a 17. ábra.

| | | $0{,}5\ f_0$ | $0{,}75\ f_0$ | $0{,}8\ f_0$ | $0{,}9\ f_0$ | $0{,}95\ f_0$ | $f_0$ | $1{,}05\ f_0$ | $1{,}1\ f_0$ | $1{,}2\ f_0$ | $1{,}25\ f_0$ | $1{,}5\ f_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| f | kHz | | | | | | | | | | | |
| $U_R$ | V | | | | | | | | | | | |
| $U_t$ | | | | | | | | | | | | |
| $U_C$ | | | | | | | | | | | | |
| $U_{LC}$ | | | | | | | | | | | | |
| I | mA | | | | | | | | | | | |
| $\lvert\overline{Z}\rvert$ | Ω | | | | | | | | | | | |
| φ | fok | | | | | | | | | | | |
| $\overline{Z}$ | Ω | | | | | | | | | | | |

*17. ábra. Mért értékek táblázata*

A mérési eredményeinket ábrázoljuk grafikonon! A frekvencia függvényében adjuk meg:

- A mért feszültségek és a számított áram frekvenciafüggését;
- A számított impedancia és fázisszög frekvenciafüggését;
- A komplex impedancia frekvenciafüggését (Nyquist görbéjét).

## PÁRHUZAMOS REZGŐKÖR MÉRÉSE

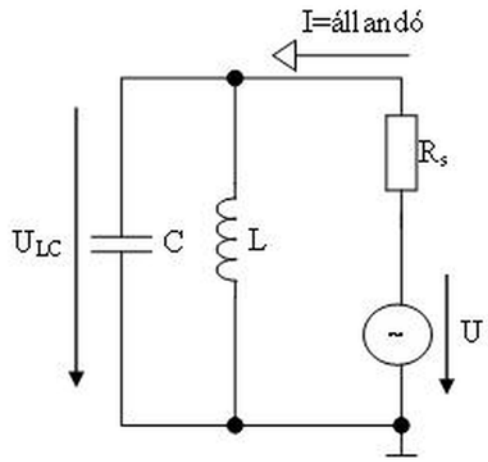
**A mérés céljai:**

- az elméletben elsajátított RLC kétpólus jellemzőinek meghatározása méréssel;
- a mérési elvek gyakorlása;
- műszerkezelési jártasság szerzése.

**A méréshez szükséges mérőeszközök:**

- AC feszültségmérő;
- szinuszos jelgenerátor;
- oszcilloszkóp.

A kapcsolási rajz a mérendő feszültségek jelölésével:




*18. ábra. Párhuzamos rezgőkör mérési kapcsolási rajza*

A kapcsolásban látható $R_s$ ellenállás azért szükséges, hogy áramgenerátoros táplálást biztosítsunk a rezgőkörnek. Akkora ellenállást kell választani, hogy értéke sokkal nagyobb legyen a rezgőkör maximális impedanciájánál (a tekercs párhuzamos veszteségi ellenállásánál). Nagyon nagy értékű ellenállást viszont nem alkalmazhatunk, mert akkor olyan kicsi áram fog folyni a rezgőkörön, ami nagyon kis mérhető $U_{LC}$ feszültséget eredményez (a szinuszos jelgenerátorok kimeneti feszültségének maximális értéke általában 10–20 V).

Ha például a generátorunk feszültsége 10 V és $R_s$ =1 MΩ, akkor 10 μA-es állandó áramot biztosítunk a párhuzamos rezgőkörnek.

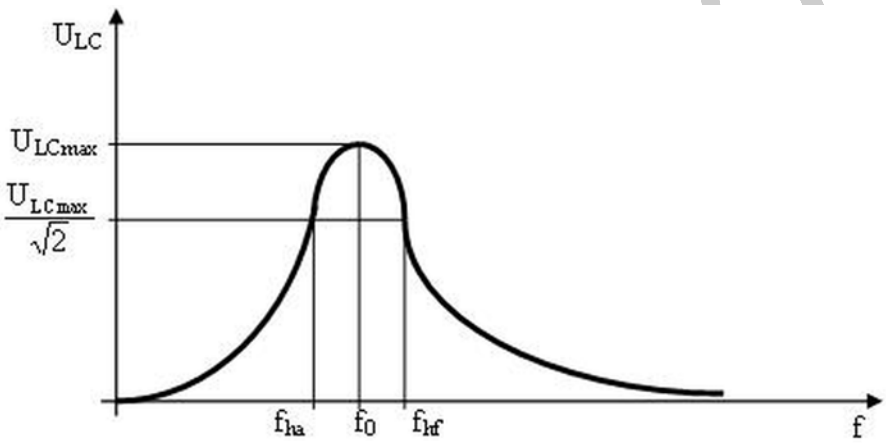
A mérés sajátossága, hogy csak egyetlen feszültséget mérünk ($U_{LC}$) a frekvencia függvényében.

**Mérési feladatok:**

1. Rezonancia frekvencia meghatározása:

A rezonancia frekvencia indikálására két módszert alkalmazhatunk.

a) Mivel a rezgőkörnek áramgenerátoros meghajtást biztosítunk, az $U_{LC}$ feszültség az impedanciával arányosan fog változni a frekvencia függvényében (19 ábra). Addig változtatjuk a generátor frekvenciáját, amíg az $U_{LC}$ feszültség maximumát kapjuk.




*19. ábra. $U_{LC}$ frekvenciafüggése*

b) Rezonancia frekvencia mérése oszcilloszkóppal. Az egyik csatornára a rezgőkör feszültségét ($U_{LC}$), a másikra a generátor feszültségét (U) kapcsoljuk. Addig változtatjuk a generátor frekvenciáját, amíg a két jel azonos fázisú nem lesz.

2. A rezgőkör jellemzőinek számítása rezonancia frekvencián:

A körben folyó áram kiszámítása: $I = \dfrac{U}{R_s}$ .

A tekercs párhuzamos veszteségi ellenállása : $R_p = \dfrac{U_{LC}}{I}$ .

A kapacitív és az induktív reaktancia értékeinek meghatározásához elfogadjuk a kondenzátor névleges értékét (ha van lehetőségünk, akkor kondenzátor dekádot használjunk). Az induktivitás értéke a rezonancia frekvencia összefüggéséből számítható: $L = \dfrac{1}{4 \cdot \Pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C}$ .

A reaktanciák nagysága: $X_{C0} = \dfrac{1}{2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot C}$ illetve $X_{L0} = 2 \cdot \Pi \cdot f_0 \cdot L$ .

A rezgőkör jósági tényezője: $Q_0 = \dfrac{R_p}{X_{C0}}$ .

A rezgőkör sávszélessége: $B = \dfrac{f_0}{Q_0}$ .

A kondenzátoron illetve a tekercsen folyó maximális áram nagysága: $I_C = I \cdot Q_0$ és $I_t = \sqrt{I_C^2 + I^2}$ .

3. A rezgőkör határfrekvenciáinak mérése:

Az alsó- illetve a felső határfrekvenciát szintén feszültségméréssel határozhatjuk meg. Az impedancia nagysága a határfrekvenciák esetében a maximális érték (amelyet rezonancia frekvencián kapunk) $\sqrt{2}$ – dére csökken, tehát az $U_{LC}$ feszültség maximális értékének $\sqrt{2}$ – dénél lesznek (lásd 19. ábra).

A mérés eredményeként megkapott alsó- illetve felső határfrekvencia ismeretében leellenőrizhetjük az előző mérési feladatban kiszámított sávszélesség és jósági tényező helyességét is:

$B = f_{hf} - f_{ha}$ és $Q_0 = \dfrac{f_0}{B}$ .

4. A rezgőkör impedanciájának és fázisszögének frekvenciafüggése:

A 6. ábrát megnézve láthatjuk, hogy az impedancia nagysága és szöge a rezonancia frekvencia környezetében változik és a változás meredeksége (a soros rezgőkörhöz hasonlóan) a jósági tényezőtől függ. Minél nagyobb a jósági tényező, a sávszélesség annál kisebb lesz és a változások is hamarabb végbemennek.

Az impedancia függvényének minél pontosabb megrajzolásához most is lagalább 5-10, a rezonancia frekvenciára szimmetrikusan elhelyezkedő mérési pontot vegyünk fel.

Minden egyes frekvencián megmérjük az $U_{LC}$ feszültséget, az impedancia nagyságát a mért adatokból számítással határozhatjuk meg: $\left|\overline{Z}\right| = \dfrac{U_{LC}}{I}$ , ahol I az áramgenerátor állandó nagyságú árama.

A mérési adatokat és a számításkor keletkezett eredményeket foglaljuk egy célszerűen megszerkesztett táblázatba. Erre mutat példát a 20. ábra.

| | | 0,5 $f_0$ | 0,75 $f_0$ | 0,8 $f_0$ | 0,9 $f_0$ | 0,95 $f_0$ | $f_0$ | 1,05 $f_0$ | 1,1 $f_0$ | 1,2 $f_0$ | 1,25 $f_0$ | 1,5 $f_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| f | kHz | | | | | | | | | | | |
| $U_{LC}$ | mV | | | | | | | | | | | |
| $\lvert\overline{Z}\rvert$ | Ω | | | | | | | | | | | |

*20. ábra. Mért értékek táblázata*

A fázisszög mérésére az oszcilloszkópot használjuk. Az egyik csatornára az $U_{LC}$ feszültséget, a másikra az árammal azonos fázisú generátor feszültséget kapcsoljuk. A jelek két azonos fázisú pontjának (célszerűen a csúcspontok) távolságát (Δx) és a jel egy periódusát (x) leolvasva a fáziseltérés egy egyszerű aránypárból számítható: $\varphi = \frac{\Delta x}{x} \cdot 360°$ (lásd a 12. ábrán). A szög előjele az ábrából is láthatóan akkor lesz pozitív, ha a feszültség siet az árammal azonos fázisú jelhez képest.

A fázisszög és az impedancia nagyságának ismeretében határozzuk meg a komplex impedanciát is: $\overline{Z} = \left|\overline{Z}\right| \cdot \cos\varphi + j \cdot \left|\overline{Z}\right| \cdot \sin\varphi$ .

A mérési adatokat és a számításkor keletkezett eredményeket foglaljuk egy célszerűen megszerkesztett táblázatba. Erre mutat példát a 21. ábra.

| | | 0,5 $f_0$ | 0,75 $f_0$ | 0,8 $f_0$ | 0,9 $f_0$ | 0,95 $f_0$ | $f_0$ | 1,05 $f_0$ | 1,1 $f_0$ | 1,2 $f_0$ | 1,25 $f_0$ | 1,5 $f_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| f | kHz | | | | | | | | | | | |
| Δx | | | | | | | | | | | | |
| x | | | | | | | | | | | | |
| φ | fok | | | | | | | | | | | |
| $\overline{Z}$ | Ω | | | | | | | | | | | |

*21. ábra. Mért értékek táblázat*

A mérési eredményeinket ábrázoljuk grafikonon! A frekvencia függvényében adjuk meg:

- Az $U_{LC}$ feszültség frekvenciafüggését;
- A számított impedancia és fázisszög frekvenciafüggését;
- A komplex impedancia frekvenciafüggését (Nyquist görbéjét).

# TANULÁSIRÁNYÍTÓ

A mérés egyik legfontosabb célja az elméletben elsajátított ismeretek begyakorlása. A mérési feladatok elvégzése az alkatrészek értékeinek megváltoztatásával lehetőséget ad arra, hogy megismerjük az hogyan befolyásolja a rezgőkör paramétereit.

Ezért ha lehetőségünk van rá, ismételjük meg a méréseket különböző induktivitású tekercsek és kapacitású kondenzátorokkal is. Hasonlítsuk össze az egyes mérések karakterisztikáit és próbáljunk elméleti ismereteinkre támaszkodva válaszolni arra, hogy mi okozta az impedancia jellegében a változásokat.

A mérés alkalmával elsajátítjuk az alapvető műszerek működési elveit, kezelését és a különböző típusok jellemző adatainak sokasága rögződik bennünk.

A mérés is példát mutatott arra, hogy egy jellemző indikálására (pl. rezonancia frekvencia) többféle mérési módszer is lehetséges. Közülük mindig a lehető legpontosabb eredményt adót tudjuk kiválasztani.

# ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

**1. feladat Válaszoljon az alábbi önellenőrző kérdésekre!**

a) Mekkora bemeneti ellenállással kell, hogy rendelkezzen egy ideális feszültségmérő műszer és miért?

b) A szinuszos jel melyik jellemzőjét olvashatjuk le egy AC voltméter skálájáról vagy kijelzőjéről?

c) Áramot váltakozó áramú környezetben direkt módon általában miért nem mérünk?

d) Periodikus jelek milyen jellemzőinek mérésére alkalmas az oszcilloszkóp?

e) Milyen alapvető szolgáltatásai vannak egy szinuszos jelgenerátornak?

## 2. feladat

Döntse el az alábbi állítások helyességét (Igaz/Hamis)! A megfelelő relációt írja be a megoldásblokkba!

a) A hullámforma generátor nem csak szinuszos, hanem háromszög és négyszög formájú jelek előállítására is alkalmas.

b) A koaxiális mérőkábelek külső, árnyékoló vezetője mindig a "hideg pont", a test pont.

c) A két csatornával rendelkező oszcilloszkópok nem alkalmasak két azonos frekvenciájú jel közötti fáziseltérés mérésére.

d) Ha van lehetőségünk akkor szélsőérték keresésénél mindig a maximumra történő keresés mérési módszerét válasszuk, mert az pontosabb!

e) Ha a rezgőkör jósági tényezőjét megnöveljük akkor a sávszélesség lecsökken.

f) Egy szinuszos jelgenerátorból úgy készíthetünk áramgenerátort, hogy vele sorba kötünk egy akkora ellenállást, amelynek értéke sokkal nagyobb a terhelő ellenállásénál.

# MEGOLDÁSOK

## 1. feladat

a) Egy ideális feszültségmérő végtelen nagy belső ellenállású kell, hogy legyen. Rajta nem alakulhat ki töltésáramlás.

b) Az AC voltméter skálájáról vagy kijelzőjéről a szinuszos jel effektív értékét olvashatjuk le.

c) Az árammérés az áramkör megbontásával – a műszer soros bekötésvel – járna, amely egy berendezésnél nehezen kivitelezhető és esetleg a vezető roncsolását vonná maga után.

d) Az oszcilloszkóp alkalmas periodikus jelek feszültségjellemzőinek (impulzus amplitudó, csúcsérték) és időtartománybeli jellemzőinek (periódus idő, impulzus idő, fel- illetve lefutási idő) mérésére.

e) Egy szinuszos jelgenerátor rendelkezik frekvenciaskálával vagy belső frekvenciamérő egységgel, a jel frekvenciatartománya széles frekvenciatartományban szabályozható, a kimeneti jel feszültsége folyamatosan állítható és a kimeneti impedancia állandó és minél kisebb.

## 2. feladat

a) Igaz.

b) Igaz.

c) Hamis.

d) Hamis.

e) Igaz.

f) Igaz.

# IRODALOMJEGYZÉK

## FELHASZNÁLT IRODALOM

Nagy Ferenc Csaba: Elektrotechnika III., Puskás Tivadar Távközlési Technikum, 1996.

Nagy József: Elektrotechnikai mérések II., Puskás Tivadar Távközlési Technikum, 2003.

A(z) 0908-06 modul 008-as szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

| A szakképesítés OKJ azonosító száma: | A szakképesítés megnevezése |
|---|---|
| 33 523 03 1000 00 00 | Távközlési műszerész |
| 33 523 03 0100 31 01 | Antenna szerelő |
| 54 523 03 0010 54 01 | Beszédátviteli rendszertechnikus |
| 54 523 03 0010 54 02 | Elektronikus hozzáférési és magánhálózati rendszertechnikus |
| 54 523 03 0010 54 03 | Elektronikus műsorközlő és tartalomátviteli rendszertechnikus |
| 54 523 03 0010 54 04 | Gerinchálózati rendszertechnikus |
| 54 523 03 0100 31 01 | Távközlési üzemeltető |

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
20 óra

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának fejlesztése” keretében készült.
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.
Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató