

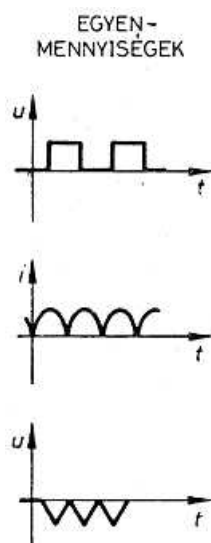
### 3.5.1. Váltakozó feszültségek és áramok

#### Időben változó feszültségek és áramok

Az (ideális) galvánelem által szolgáltatott feszültség iránya és nagysága az idő múlásával nem változik. Ha az áramkörben az ellenállás sem változik, az áram is állandó értékű. Az ilyen áramkört nevezik *egyenáramú* áramkörnek.

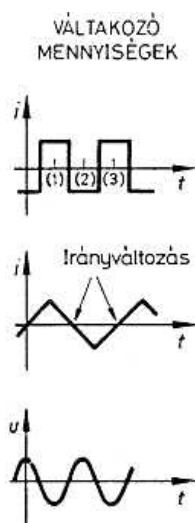
Ha a generátor feszültsége, vagy a terhelő ellenállás nem állandó értékű, az áramerősség is változik.

Ha az áram (ill. feszültség) *iránya állandó*, csak az erőssége változik, **változó áramú (változó feszültségű)** áramkörrel beszélünk. Az áram (feszültség) idő függvényében történő változását grafikonon ábrázolhatjuk. Az 1. ábra különböző lefolyású változó feszültségeket ill. áramot mutat.



2. ábra  
Változó egyenfeszültségek

Az olyan feszültséget vagy áramot, amelynek nem csak a nagysága, hanem iránya is változik, **váltakozó feszültségnek (váltakozó áramnak)** nevezik (2. ábra).



2. ábra  
Váltakozó áramok és feszültség

A váltakozó feszültség (áram) periodikus, ha az időbeli lefolyását leíró görbe szakaszai szabályszerűen ismétlődnek. A 2. ábra ilyen jelalakokat mutat. A görbe *egymás után azonosan megismétlődő szakasza a periódus*. Egy periódus lejátszódásának az idejét **periódusidőnek** nevezik, és  $T$ -vel jelölik. Az egy másodperc alatt lejátszódó periódusok száma a **frekvencia**, melynek jele:  $f$ . Ezt az értéket úgy számíthatjuk ki, hogy megvizsgáljuk, 1 másodpercben hányszor van meg a periódusidő:

$$f = \frac{1}{T}$$

A frekvencia mértékegysége

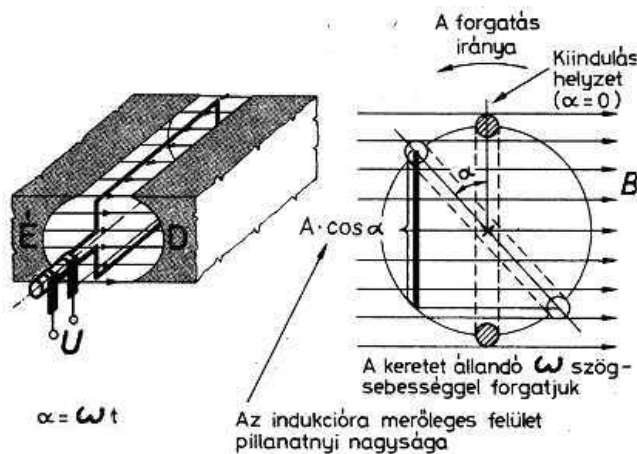
$$[f] = \frac{1}{[T]} = \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

azaz a **hertz**. (Az angolszász szakirodalomban használatos a **cps** vagy **c/s** [cycle per secundum], vagy röviden **c** [cycle]). A híradástechnikában a frekvencia nagyobb egységei is használatosak:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kHz} &= 10^3 \text{ Hz} && (= 1 \text{ kc/s vagy } 1 \text{ kc}) \\ 1 \text{ MHz} &= 10^6 \text{ Hz} && (= 1 \text{ Mc/s vagy } 1 \text{ Mc}) \\ 1 \text{ GHz} &= 10^9 \text{ Hz} && (= 1 \text{ Gc/s vagy } 1 \text{ Gc}) \end{aligned}$$

### Színuszos váltakozó feszültség

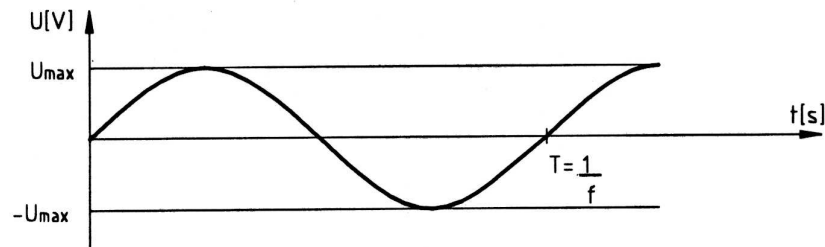
Az elektrotechnikában, híradástechnikában legnagyobb jelentősége a *színuszos* lefolyású váltakozó feszültségnek van. Ilyen feszültség indukálódik abban a vezetőkeretben, amelyet homogén mágneses térben állandó szögsebességgel forgatunk (3. ábra).



3. ábra

Ha a kiindulási helyzetben a keret függőlegesen áll, forgatásának első pillanatában az indukcióvonalakkal párhuzamosan halad (ld. az ábra jobb oldalát), nem metszi azokat, így nem indukálódik feszültség. Tovább fordulva – a keret vízszintes helyzetéig - azonos idő alatt egyre nagyobb számú indukcióvonalat metsz, így egyre nagyobb feszültség indukálódik a keretben. Az indukált feszültség a csúcsertékét ( $U_{\max}$ ) akkor éri el, amikor a keret vízszintes helyzetben van, és ekkor egy rövid ideig az indukcióvonalakra merőlegesen halad. Ez után az indukált feszültség ismét csökken, amíg a keret 180 fokkal (radiánban kifejezve  $\Pi$ -vel) el nem fordul; ekkor ismét egy pillanatra nem metsz indukcióvonalat, így az indukált feszültség 0 lesz. A keretet tovább forgatva az indukált feszültség a keret vízszintes helyzetéig ismét növekszik, de (mivel a keret vezetői az előzővel ellentétes irányban metszik az indukcióvonalakat), most az indukálódott feszültség iránya megfordul. Amikor a keret kiindulási állapotába tér vissza, az indukált feszültség egy pillanatra megint 0 lesz (ekkor ért véget az első periódus), majd a folyamat ciklikusan ismétlődik.

Az indukált feszültség időbeli lefolyását a 4. ábra mutatja.



4. ábra

Kimutatható, hogy valamely  $t$  időpontban az indukált feszültség pillanatértéke

$$u = U_{\max} \sin \omega t$$

függvény szerint alakul, ezért az ilyen lefolyású jelet *szinuszjelnek* nevezik. A képletben

$u$  az indukált feszültség pillanatértéke (V)

$U_{\max}$  az indukált feszültség maximális értéke (csúcserőértéke) (V)

$\omega$  a keret szögsebességével megegyező ún. **körfrekvencia**,  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$  (rad/s)

$t$  a kiindulástól számított idő (s)

Megjegyzés: A váltakozó áramokat és feszültségeket – az egyenfeszültségtől való megkülönböztetésül – kis betűkkel ( $u$ ,  $i$ ) szokás jelölni.

A szinuszos jel  $U_{\max}$  maximális értékét, 0-tól való maximális kitérését a jel **amplitudójának** nevezik.

Tekintettel arra, hogy villamos hálózatban is forgó gépekkel állítják elő a villamos energiát, a hálózati feszültség szintén szinuszos lefolyású. Európában a hálózati frekvencia 50 Hz (viszont pl. az USA-ban 60 Hz!).

Példa:

Az 50 Hz-es hálózati feszültség csúcserőértéke 310V. Mekkora a feszültség pillanatértéke a nullátmenettől számítva 4 ms időpontban?

Megoldás: (minden adatot a képletben megadott mértékegységben írunk be, így az eredményt is abban kapjuk. 4ms = 0,004s)

A körfrekvencia  $\omega = 2\pi f = 2 * 3,14 * 50 = 314$  rad/s.

$u = U_{\max} \sin \omega t = 310 * \sin 314 * 0,004 = 310 * \sin 1,256 = 310 * 0,95 = 294,7V$

### A szinuszos váltakozó feszültség középértékei

Ha szinuszos feszültséget szolgáltató feszültségforrásra fogyasztót kapcsolunk, azon szintén szinuszos lefolyású áram alakul ki. Tekintettel arra, hogy e váltakozó mennyiségek pillanatértékei negatív és pozitív csúcserőértékei között folyamatosan változnak, különféle (hő, vegyi) hatásai sem a csúcserőértékkel, hanem valamilyen *középértékkel* arányosak.

A villamos áram **effektív értéke** (vagy négyzetes középértéke) az áram hőhatására ad útmutatást. *Az effektív érték annak az egyenáramnak az értékével egyenlő, amely azonos idő alatt ugyanakkora munkát végez (hőt termel), mint a vizsgált váltakozóáram.*

(Az effektív értéket azért hívják négyzetes középértéknek, mert ha  $R$  ellenálláson  $I$  áram folyik keresztül, azon  $U = I * R$  feszültség esik, és  $P = U * I = I * R * I = I^2 * R$  teljesítmény alakul hővé; így az effektív érték az áram négyzetével arányos középérték.) Kimutatható, hogy **szinuszos** jel esetén

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{illetve} \quad U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Megállapodás szerint **a szinuszos váltakozó feszültség (vagy váltakozó áram) értékeként az effektív értéket adják meg.** (Pl. a 230V-os hálózati feszültség effektív értéke 230V.) A szinuszos feszültséget vagy áramot mérő műszerek is az effektív értéket mutatják.

Az áram **elektrolitikus középértéke** (vagy számtani, vagy egyenirányított középértéke) az áram vegyi hatása alapján számítható. Az elektrolízis során ui. az áram hatására az elektrolitba merülő elektródák anyag választódik ki. *Az elektrolitikus középérték annak az egyenáramnak az értékével egyenlő, amely azonos idő alatt ugyanakkora anyagmennyiséget választ ki, mint az egyenirányított váltakozóáram.* Kimutatható, hogy **szinuszos** jel esetén

$$I_{el} = \frac{2I_{max}}{\Pi} \quad \text{illetve} \quad U_{el} = \frac{2U_{max}}{\Pi}$$

Példa:

1. Mekkora a 100V csúcsértékű szinuszos feszültség effektív értéke, ill. elektrolitikus középértéke?  
Megoldás:

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{100}{1,41} = 70,7V$$

$$U_{el} = \frac{2U_{max}}{\Pi} = \frac{2 \cdot 100}{3,14} = 63,6V$$

2. Mekkora a csúcsértéke a 230V-os hálózati feszültségnek?

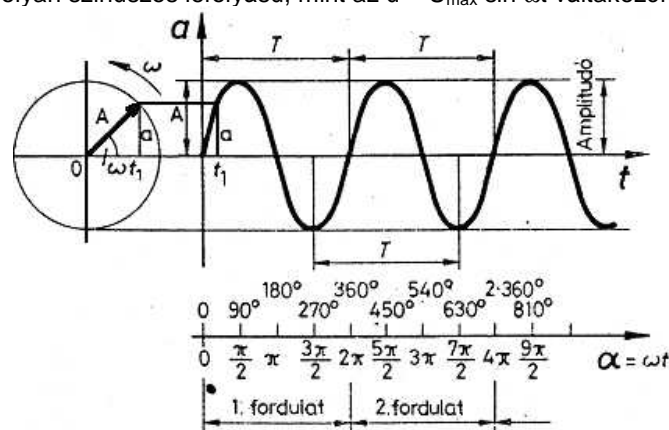
Megoldás:

A megadott 230V a szinuszos hálózati feszültség effektív értéke. Az effektív értékre vonatkozó képlet átrendezésével

$$U_{max} = \sqrt{2} U_{eff} = 1,41 \cdot 230 = 325,2 V$$

### A szinuszos váltakozó feszültség ábrázolása forgó vektorral

Az 5. ábra bal oldalán egy vízszintes és függőleges egyenes a 0 pontban metszi egymást. A 0 pont körül  $\omega$  szögsebességgel körbe forog az A amplitúdójú vektor. Ha a vektor kiinduláskor ( $t = 0$ ) vízszintes helyzetben van,  $t = t_1$  időpontban  $\omega t_1$  szöggel fordul el, és a függőleges tengelyre való vetülete  $a = A \sin \omega t_1$ . A forgó vektor függőleges tengelyre való vetületének időfüggvénye (ld. ábra jobb oldalán) ugyanolyan szinuszos lefolyású, mint az  $u = U_{max} \sin \omega t$  váltakozófeszültség.



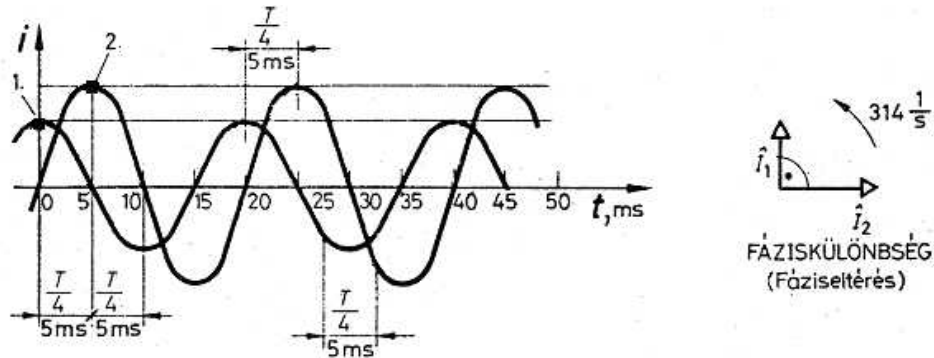
5. ábra

A szinuszosan váltakozó mennyiséget (feszültséget, áramot) tehát felfoghatjuk úgy, mint egy, a jel  $U_{\max}$  csúcserkével (amplitudójával) megegyező nagyságú, és  $\omega = 2 * \Pi * f$  körfrekvenciájával forgó vektornak a függőleges tengelyre való vetületét.

A forgó vektornak a periódus kezdetétől a vizsgált pillanatig megtett szögelfordulása a **fázisszög**.

### Fázishelyzet, fáziskülönbség

Elképzelhető, hogy két szinuszos lefolyású mennyiség ugyanolyan frekvenciájú, de nullátmeneteik nem azonos időpontra esnek. Ilyen jeleket láthatunk a 6. ábrán.



6. ábra

Mindkét jel 50 Hz-es frekvenciájú ( $T=20$  ms), de az 1. görbe szerinti áram maximuma a  $t = 0$  (ill. 20, 40 stb.) ms pillanatra esik, a 2. görbe szerinti áram pedig maximális értékét a  $t=5$  (ill. 25, 45, stb.) ms pillanatokban veszi fel.

A 2. görbe szerinti áram időfüggvénye megegyezik a korábban bemutatottakkal, behelyettesítve az  $\omega = 2 * \Pi * f = 2 * \Pi * 50 = 314$  rad/s értéket:

$$i_2 = I_{2\max} \sin 314 t$$

Az 1. görbe szerinti áramnak azonban a  $t=0$  időpillanatban van maximuma, és minimális értékét csak egy negyed periódus lezajlása után,  $t=5$  ms időpontban éri el. Az ábra jobb oldalán látható, hogy ez az áram is megfeleltethető egy forgó vektor függőleges tengelyre való vetületének, csak ez a vektor  $t = 0$  időpontban nem vízszintesen áll, hanem függőlegesen, azaz ( $\omega$  az óramutató járásával ellentétes forgásirányát tekintve)  $I_2$  áram vektorához képest  $90^\circ$ -al (ívszögben kifejezve  $\Pi/2$  radiánnal) *siet*.

$I_1$  időfüggvénye ennek értelmében:

$$i_1 = I_{1\max} \sin (314t + \Pi/2)$$

A két, azonos frekvenciájú áram időbeli lefolyásának különbségét fázisszögük különbségével, a **fáziskülönbségükkel** jellemezhetjük. A fáziskülönbség a két áramot jelképező vektor egymáshoz viszonyított szögével azonos (a fenti példában ez  $90^\circ$ , azaz  $\Pi/2$  radián).

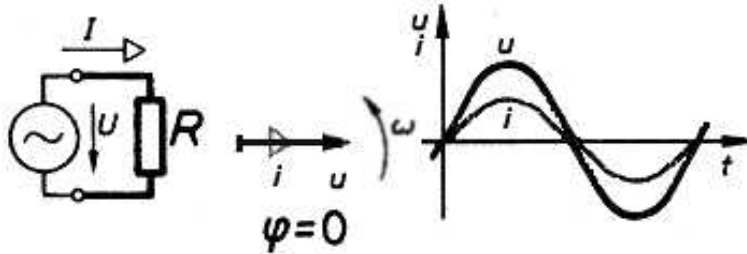
### 3.5.2. Váltakozóáramú körök elemei

#### A váltakozófeszültségre kapcsolt ellenállás

Ha  $R$  (ideális) ellenállásra  $u$  váltakozófeszültséget kapcsolunk, azon  $i$  áram indul meg. Az Ohm-törvény a pillanatértékekre is érvényes, ezért

$$i = \frac{u}{R}$$

azaz az áram a feszültség ütemében változik, a két mennyiségnek egyszerre van a nullátmenete, a maximális és a minimális értéke: az ellenálláson átfolyó áram és a rajta eső feszültség között nincs fáziskülönbség (7. ábra).

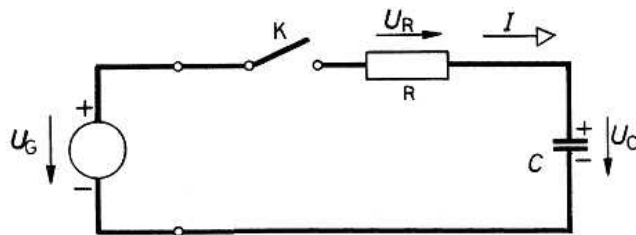


7. ábra

Az R ellenállást váltakozóáramú áramkörökben **ohmos** vagy **hatásos** ellenállásnak nevezik. A sorosan ill. párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredőjét ugyanolyan módon számíthatjuk ki, mint egyenáram esetén.

### Kondenzátor töltési folyamata

Kapcsoljunk  $U_G$  egyenfeszültségű generátorra a 8. ábrán látható módon sorba kapcsolt R ellenállást és C kondenzátort. A K kapcsoló nyitott állásában a töltetlen kondenzátor kapocsfeszültsége 0, a kapcsolóval megszakított áramkörben áram nem folyik.



8. ábra

A kapcsoló zárásának pillanatában ( $t = 0$ ) a kondenzátor kapocsfeszültsége 0. Kirchhoff huroktörvénye értelmében a kondenzátorra és az ellenállásra jutó feszültség együttesen adja ki a generátor feszültségét. Most  $U_C = 0$ , ezért a teljes  $U_G$  feszültség R ellenállásra kapcsolódik, és azon

$$I_0 = \frac{U_R}{R} = \frac{U_G}{R}$$

áram indul meg. Ez az áram tölti C kondenzátort, ezért C kapocsfeszültsége növekszik. Viszont – a már említett huroktörvény értelmében – minél nagyobb  $U_C$ , annál kevesebb lesz  $U_R$ , így a hurokban

$$I = \frac{U_R}{R}$$

töltő áram annál jobban csökken. Ha a töltő áram csökken, a kondenzátor kapocsfeszültsége egyre kisebb mértékben emelkedik (9. ábra). A töltési folyamat végén  $U_C$  megegyezik  $U_G$ -vel,  $I = 0$ , az R ellenálláson nem esik feszültség.

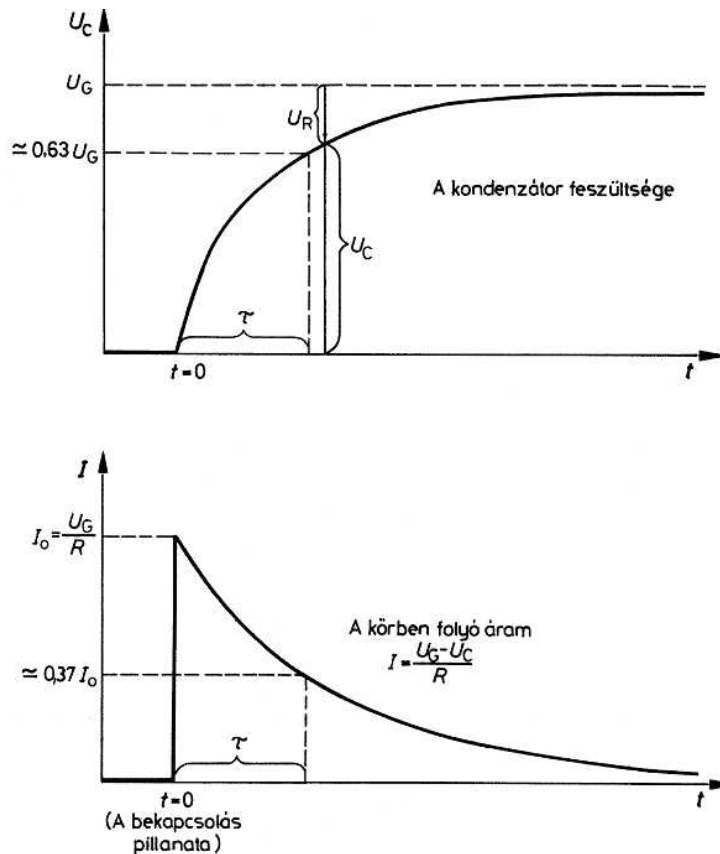
Kimutatható, hogy a kondenzátor feszültségének időbeli lefolyása *exponenciális* görbe szerint megy végbe. A kondenzátor kapacitásának (C) és az ellenállás értékének (R) szorzata egy  $\tau$  (tau) –val jelölt időállandót ad meg:

$$\tau = R C$$

ahol

- $\tau$  az időállandó (s)
- R az ellenállás ( $\Omega$ )
- C a kondenzátor kapacitása (F)

$\tau$  idő alatt a kondenzátor a generátor feszültségének kb. 63%-ára töltődik, ugyanennyi idő alatt a töltőáram kb. 37%-ára csökken. Gyakorlatilag 3-5  $\tau$  idő alatt a kondenzátor teljesen feltöltődik.

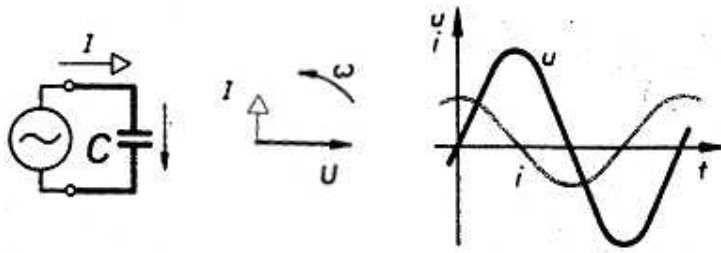


9. ábra

Figyeljük meg, hogy a töltődő kondenzátoron a töltés megkezdésekor a feszültség ( $U_C$ ) 0, ugyanekkor a töltőáram maximális értékű. A töltődés befejezésekor viszont a töltőáram 0, ekkor viszont  $U_C$  maximális.

### A váltakozófeszültségre kapcsolt kondenzátor

Ha a 10. ábra szerinti kapcsolásban egy kondenzátort váltakozóáramú generátorra kapcsolunk, a generátor feszültségének állandó változása következtében a kondenzátor mintegy „folyamatosan áttöltődik”, így rajta folyamatosan váltakozó áram folyik. Matematikai eszközökkel kimutatható, hogy az így kialakuló áram és a kondenzátor kapocsfeszültsége között hasonló jellegű a kapcsolat, mint az egyenfeszültségről, ellenálláson keresztül töltött kondenzátor esetében: amikor a kondenzátor kapocsfeszültsége 0, akkor folyik a legnagyobb töltőáram, és amikor kapocsfeszültsége a maximális, a töltő áramnak épp akkor van a 0-átmenete (10. ábra).



10. ábra

Megállapíthatjuk, hogy (szinuszos áramú áramkörben) a kondenzátoron az *átfolyó áram és a kapcsolófeszültség között 90° (π/2 radián) fáziseltérés mutatkozik*, és pedig - ω irányát figyelembe véve - az áram siet a feszültséghez képest.

Kimutatható, hogy a kialakuló áram nagysága

$$i = u \omega C$$

A kondenzátorra kapcsolt váltakozó feszültség és az ennek hatására kialakuló áram hányadosa Ohm törvénye értelmében egy *ellenállás* dimenziójú mennyiséget határoz meg, melyet a kondenzátor **reaktanciájának** vagy **meddő ellenállásának** neveznek és  $X_C$ -vel jelölnék. A képlet átrendezésével:

$$X_C = \frac{u}{i} = \frac{1}{\omega C}$$

ahol

$X_C$  a kondenzátor reaktanciája vagy meddő ellenállása (Ω)

$\omega$  a körfrekvencia,  $\omega = 2 \pi f$  (rad/s)

C a kondenzátor kapacitása (F)

A **reaktancia** vagy **meddő ellenállás** kifejezés arra utal, hogy – ellentétben az *ohmos* vagy *hatásos* ellenállással – az áram és a feszültség között 90°-os fáziskülönbség van. A kondenzátor reaktanciáját szokás *kapacitív reaktanciának* nevezni.

#### Példa

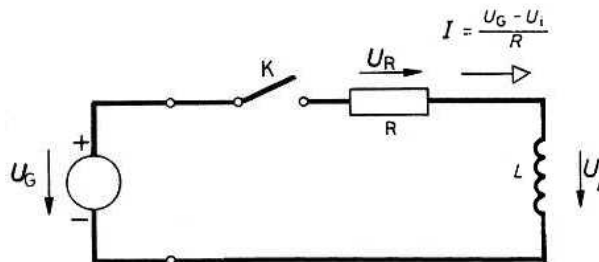
Határozzuk meg egy 27 nF kapacitású kondenzátor reaktanciáját  $f = 100$  kHz frekvencián!

Megoldás: (a képletbe minden mennyiséget az ott megadott alapegységben helyettesítünk be)

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 27 \cdot 10^{-9}} = 5894,6 \Omega$$

#### Tekercs (induktivitás) bekapcsolás folyamata egyenáramú áramkörben

A 11. ábra szerinti áramkörben  $U_G$  egyenfeszültségű generátorra a sorosan kapcsolt R ellenállás és L induktivitás kapcsolódik. K kapcsoló nyitott állásában az áramkörben nem folyik áram, az ellenálláson eső  $U_R$  és a tekercsen mérhető  $U_L$  feszültség egyaránt 0.



11. ábra

A kapcsoló zárásakor az áramkörben áram indul meg. Ennek nagysága (mivel az R ellenállásra - Kirchhoff huroktörvénye értelmében -  $U_G$  generátorfeszültség és  $U_L$  feszültség különbsége jut)

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_G - U_L}{R}$$

lesz.



A tekercsen eső  $U_L$  feszültség nem más, mint az áramváltozás hatására a tekercsben indukálódott feszültség (hiszen az ideális tekercsnek 0 az ohmos ellenállása, így azon a kialakuló áramtól függetlenül nem eshet feszültség). Az indukálódott

$$U_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

feszültség iránya Lenz törvénye értelmében olyan, hogy akadályozza az áram kialakulását, mintegy szembekapcsolódik a generátor feszültségével.

A bekapcsolás pillanatában  $I = 0$ , ami azt jelenti, hogy az  $R$  ellenálláson nem esik feszültség: ekkor a tekercsben indukálódott feszültség megegyezik a generátor feszültségével.

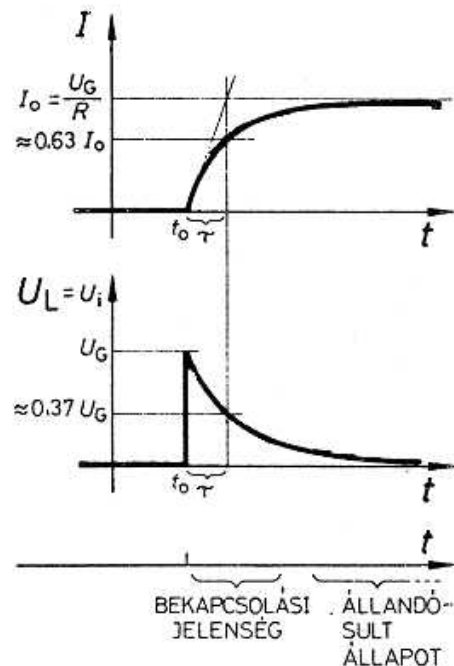
Az áram azonban folyamatosan növekszik (hiszen a tekercsben a feszültséget éppen az áram változása indukálja), így az ellenálláson egyre nagyobb feszültség esik, és egyre kisebb feszültség jut a tekercsre. Így egyre kevesebb lesz a tekercsre jutó

$$L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

indukált feszültség is, azaz az áram növekedésének az üteme ( $\Delta I/\Delta t$ ) is. Végül az áram

$$I = \frac{U_G}{R}$$

értéken stabilizálódik,  $\Delta I/\Delta t = 0$  lesz, így a tekercsen nem indukálódik feszültség. Kimutatható, hogy az áram kialakulása (illetve a tekercsen a feszültség csökkenése) *exponenciális* lefolyású (12. ábra).



12. ábra

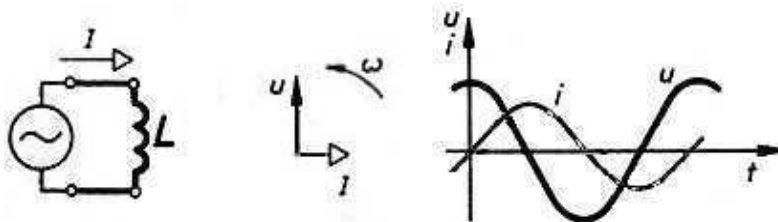
Az ábrán  $\tau$ -val jelölt időállandó értéke  $L/R$  (ha  $L$ -t  $H$ -ban,  $R$ -t  $\Omega$ -ban helyettesítjük be,  $\tau$ -t  $s$ -ban kapjuk). Ennyi idő alatt csökken a tekercs feszültsége a generátor feszültségének megközelítőleg 37%-ára, illetve nő az áram a végleges érték kb. 63%-ára.

3-5  $\tau$  idő alatt gyakorlatilag kialakul a végleges áramerősség, és a tekercsen indukálódott feszültség 0-ra csökken.

Figyeljük meg, hogy a tekercsen a bekapcsoláskor az áram 0, a feszültség maximális értékű volt, a végleges állapot kialakulásakor pedig a feszültség 0, és az áram maximális.

### A váltakozó feszültségre kapcsolt tekercs (induktivitás)

A 13. ábra szerinti kapcsolásban a szinuszos váltakozó feszültségű generátorra L induktivitás kapcsolódik. A generátor feszültségének állandó változása következtében a tekercsen indukálódó feszültség (és így a kialakuló áram is) folyamatosan változik, az áramkörben váltakozó áram folyik.



13. ábra

A tekercsben önindukció útján keletkező feszültség mindig megegyezik a generátor feszültségével. Az

$$U_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

összefüggés alapján belátható, hogy ez a feszültség akkor a legnagyobb, amikor az áram változási sebessége a legnagyobb: az áram nullátmeneténél. Amikor viszont az áram változási sebessége 0 (a pozitív ill. negatív csúcsertékénél), akkor az indukált feszültség értéke 0.

Tehát a tekercsen kialakuló áram és feszültség között hasonló a kapcsolat, mint az egyenfeszültségre kapcsolt tekercs bekapcsolási folyamatánál: a feszültség maximális értékénél az áram 0, az árammaximum időpontjában pedig a feszültségé.

Megállapítható, hogy (szinuszos áramú áramkörben) a tekercsen az *átfolyó áram és a kapcsolófeszültség között 90° (π/2 radián) fáziseltérés mutatkozik, és pedig a feszültség siet az áramhoz képest.*

Kimutatható, hogy a kialakuló áram nagysága

$$i = \frac{u}{\omega L}$$

A feszültség és az áram hányadosa itt is *ellenállás* dimenziójú mennyiséget (az áram és a feszültség közötti 90° (π/2 radián) fáziskülönbség figyelembe vételével **reaktanciát**) határoz meg, melynek értéke a képlet átrendezésével:

$$X_L = \frac{u}{i} = \omega L$$

ahol

$X_L$  a tekercs (induktivitás) reaktanciája, meddő ellenállása (Ω)

$\omega$  a körfrekvencia ( $\omega = 2 \pi f$ ) (rad/s)

L a tekercs induktivitása (H)

A tekercs reaktanciáját **induktív reaktanciának** nevezik.

#### Példa:

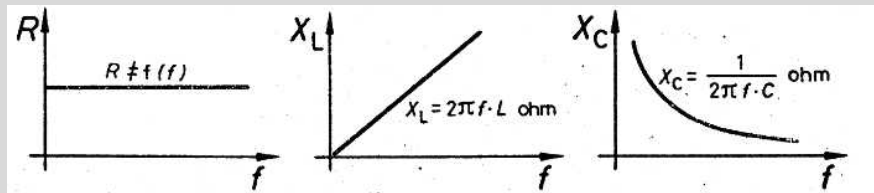
1. Mekkora reaktanciát tanúsít 1 kHz frekvencián egy L=150 mH induktivitású tekercs?

Megoldás: (az adatokat Hz-ben, H-ban helyettesítjük be, így az eredményt Ω-ban kapjuk)

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 0,15 = 942,47 \Omega$$

2. Hogyan alakul a frekvencia függvényében az ohmos ellenállás, az induktivitás illetve a kondenzátor ellenállása ill. reaktanciája?

Válasz: ld. a 14.ábrát.



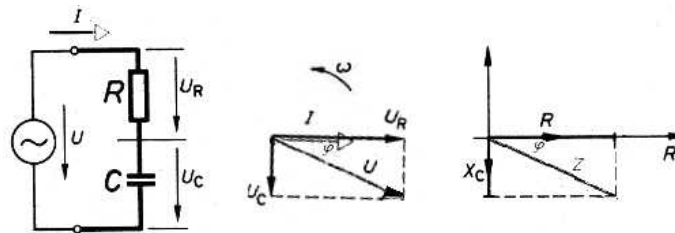
14. ábra

### 3.5.3. Váltakozóáramú körök számításai

#### Az impedancia fogalma

A 15. ábra szerinti kapcsolásban a soros R ellenállásból és C kondenzátorból álló áramkört kapcsoljuk a szinuszelet szolgáltató U generátorra.

A kialakuló I áram mindkét sorba kapcsolt áramköri elemen azonos lesz. Az ellenálláson eső feszültség fázisban van az átfolyó árammal (a kettő hányadosa adja az R ellenállás értékét), a kondenzátoron a feszültséghez képest az áram 90 fokot siet (e kettő hányadosa pedig  $X_C$  reaktancia).



15. ábra

Az ábra középső részén láthatjuk a fázisviszonyokat. Az I áramot képviselő vektor vízszintesen jobbra mutat. Az ellenálláson eső feszültség fázisban van az átfolyó árammal, ezért  $U_R$  feszültséget jelképező vektor szintén vízszintes, jobbra mutató. A kondenzátoron a feszültség 90 fokot késik I áramhoz képest, ezért ( $\omega$  forgásirányát is figyelembe véve) az  $U_C$ -t jelképező vektor függőlegesen lefelé irányul. A generátor  $U$  feszültsége  $U_R$  és  $U_C$  vektorok **eredőjeként** adódik.

Látható, hogy a generátor  $U$  feszültsége és a kialakuló I áram között  $\varphi$  fáziskülönbség van: az áram siet a feszültséghez képest. E két mennyiség hányadosa ellenállás jellegű értéket ad, amelyet **impedanciának** (váltakozóáramú ellenállásnak) neveznek, és  $Z$ -vel jelölnék (mértékegysége:  $\Omega$ ).

Ha az ábra középső részén látható vektorábra feszültségeinek értékét osztjuk I-vel,  $U_R/I=R$ ,  $U_C/I=X_C$ ,  $U/I=Z$  összefüggéseket kapjuk, ezt ábrázoltuk az ábra jobb oldalán.  $Z$  az átfogója egy derékszögű háromszögnek, melynek  $R$  és  $X_C$  a befogói. Így  $Z$  abszolút értéke

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

fázisszöge pedig

$$\varphi = -\arctan \frac{X_C}{R}$$

Az **impedancia** tehát az áramkörben kialakuló feszültség és áram értékének hányadosa, amelynek része lehet ohmos ellenállás és reaktancia. Az ohmos és reaktáns komponenseket a fázisviszonyok figyelembe vételével, vektori összegzéssel kell összevonni.

#### Határfrekvencia

Az ohmos ellenállásból és reaktáns elemből álló áramkörben gyakran van szükség annak a frekvenciának ( $f_h$ , **határfrekvenciának**) a meghatározására, amikor az áramkör ohmosból reaktáns

jellegűvé válik. Ez azon a frekvencián következik be, amikor az ohmos ellenállás megegyezik a reaktancia értékével. Pl. a 15. ábra szerinti áramkörben ekkor

$$R = X_c = \frac{1}{\omega_h C} = \frac{1}{2\pi f_h C}$$

amiből  $f_h$  illetve  $\omega_h$  kifejezhető:

$$\omega_h = \frac{1}{RC} \quad f_h = \frac{1}{2\pi RC}$$

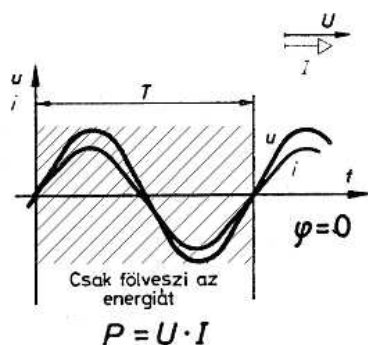
Ezen a frekvencián a  $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$  összefüggés szerint az impedancia  $\sqrt{2}R$  értékű.

### Teljesítmény számítása váltakozóáramú áramkörben

Ha az áramkörben nem csak ellenállás, hanem reaktáns elem (tekercs vagy kondenzátor) is jelen van, a feszültség és a kialakuló áram között fáziskülönbség lehet.

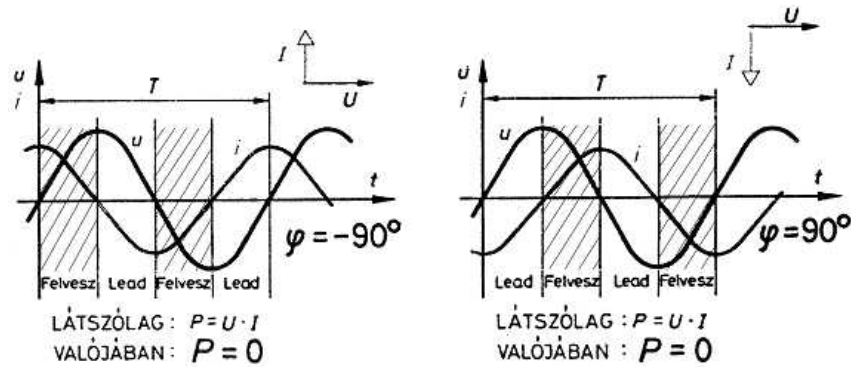
A teljesítmény kiszámításánál azt kell figyelembe vennünk, hogy amikor az áramkör valamely elemén a feszültség és az áram azonos irányú, akkor az adott elem teljesítményt vesz fel (azaz fogyasztó), amikor pedig a feszültség és az áram ellentétes irányú, akkor teljesítményt ad le, (azaz generátor).

A 16. ábra a feszültség és áram alakulását *ohmos ellenálláson* mutatja. A fáziskülönbség 0, a feszültség és az áram iránya a teljes T periódusidő alatt megegyezik, így az ellenállás mindig fogyasztó: a felvett  $P = U I$  (az effektív értékeket kell figyelembe venni, az eredmény mértékegysége: W) **hatásos** teljesítményt hővé alakítja.



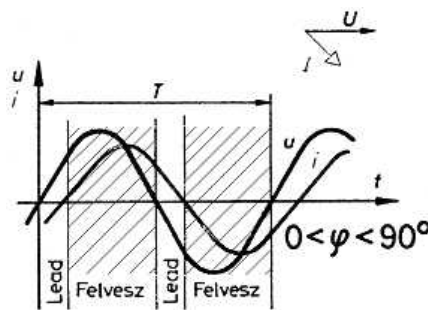
16. ábra

Kapacitív illetve induktív reaktancián a feszültség és az áram között 90 fok fáziseltérés van. A 17. ábrából láthatjuk, hogy ilyenkor a reaktáns elemen egy negyed periódusideig az áram és feszültség azonos, majd egy negyed periódusideig ellentétes irányú, azaz ez egyik negyed periódusidő alatt felvett teljesítményt a következő negyed periódusidő alatt leadja. Ilyen formán a reaktáns elem valóságos teljesítményt nem vesz fel ( $P = 0$  W, az  $U I$  szorzat ebben az esetben az ún. **meddő** (vagy reaktáns) teljesítményt adja, melynek mértékegysége: VAR).



17. ábra

A 18. ábrán  $0 \dots 90$  fok közötti fázistolású hálózat feszültség és áram görbéit láthatjuk. A hálózat hosszabb ideig vesz fel energiát, mint ameddig lead, tehát összességében fogyasztó.



18. ábra

Ekkor az áramkör által fogyasztott ún. **hatásos** teljesítmény

$$P = U I \cos \varphi \text{ (W)},$$

a **meddő** teljesítmény pedig

$$Q = U I \sin \varphi \text{ (VAr)}.$$

A feszültség és az áram szorzatát **látszólagos** teljesítménynek nevezik, és S-el jelölik, mértékegysége: VA (voltamper):

$$S = U I$$

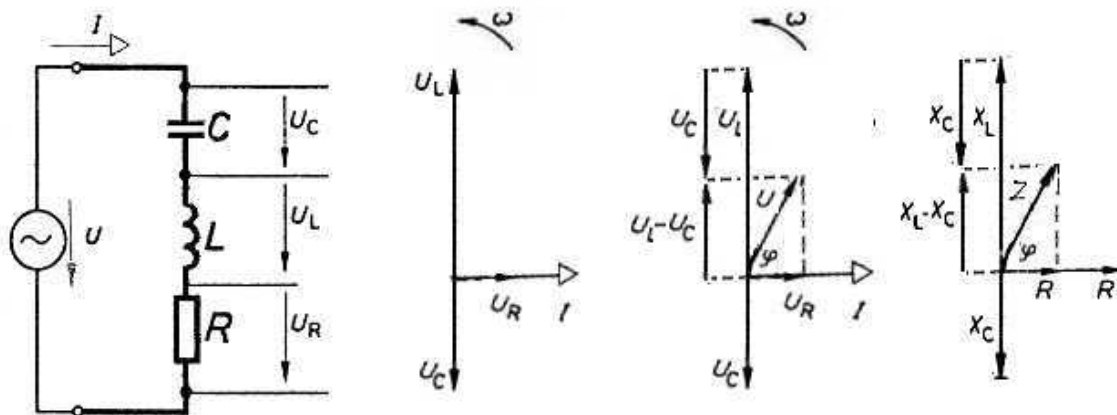
### 3.5.4 Rezgőkörök

#### Soros RLC kör

Az ohmos és reaktáns elemekből összeállított áramkörök között kitüntetett szerepe van a kondenzátorból, tekercsből (és ellenállásból) álló áramkörnek.

(Az ellenállást gyakorlati számításokban nem célszerű kihagyni, így vehetjük figyelembe a valóságos tekercs veszteségi ellenállását.)

A soros áramkört és a fázisviszonyokat a 19. ábrán láthatjuk (A soros RLC kört később tisztázandó okból soros **rezgőkörnek** nevezik.)



19. ábra

Mindhárom sorba kapcsolt elemen ugyanaz az  $I$  áram folyik keresztül, a vektorábrán ezt a vízszintesen jobbra mutató  $I$  vektor jelzi. Az ellenálláson eső  $U_R$  feszültség fázisban van az árammal, ezért azzal azonos irányú. A tekercsen indukálódó  $U_L$  feszültség az áramhoz képest 90 fokkal siet, ezért függőleges, felfelé irányított vektor jelzi. A kondenzátoron eső  $U_C$  feszültség az átfolyó áramhoz képest 90 fokkal késik, ezért az ennek megfelelő vektor lefelé irányul (bal oldali vektorábra).

A generátor  $U$  feszültsége e három feszültség ( $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ ) vektori eredője. Mivel  $U_L$  és  $U_C$  ellentétes irányú, e két feszültség eredője a két feszültség különbsége; a példában  $U_L$  a nagyobb értékű, ezért a különbségi feszültség ( $U_L - U_C$ ) vektora felfelé irányul. Ezt a feszültséget kell vektori módon összegezni  $U_R$ -el (középső vektorábra), az eredő  $U$  feszültséggel egyezik meg.

Az impedancia kiszámításához (jobb oldali vektorábra) valamennyi feszültséget elosztottuk  $I$  árammal, így olyan derékszögű háromszög adódik, melynek átfogója  $Z$ , befogói  $R$  és  $(X_L - X_C)$ . Ebből adódik, hogy

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

és

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$$

Tekintettel arra, hogy  $X_L$  és  $X_C$  a frekvencia függvényében változik,  $Z$  értéke is a frekvenciától függ (20. ábra). A képletből kiolvasható, hogy azon a frekvencián, ahol  $X_L = X_C$ , a két mennyiség különbsége 0, és itt  $Z = R$ , azaz az áramkör  $R$ -el megegyező ohmos ellenállást tanúsít. Ezt a frekvenciát **rezonanciafrekvenciának** nevezik és  $f_0$ -al (az ennek megfelelő körfrekvenciát  $\omega_0$ -al) jelölik.

Mivel  $X_L = \omega L$ , és  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ , és a rezonanciafrekvencián e két mennyiség egyenlő,

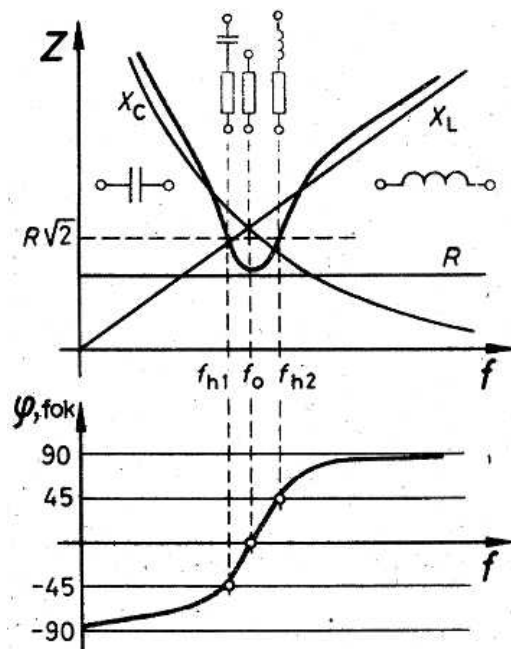
$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Ez, a rezonanciafrekvencia meghatározására szolgáló képlet az ún. **Thomson-képlet**.



20. ábra

A 20. ábrán  $Z$  impedanciát (és annak komponenseit) ill.  $\varphi$  fázisszöget ábrázoltuk a frekvencia függvényében.

$Z$  komponensei:

- $R$ , melynek ellenállása a frekvencia függvényében nem változik,

- $X_L = \omega L = 2 \pi f L$  a frekvenciával arányosan nő,

- $X_C = 1/\omega C = 1 / 2 \pi f C$  a frekvencia növekedtével a görbe szerint csökken.

Kis frekvenciákon ( $f \ll f_0$ ) a három komponens közül  $X_C$  a domináns, a soros RLC kör mint sorosan kapcsolt ellenállás és kondenzátor viselkedik, ennek megfelelően a fázisszög is a kapacitív reaktancia  $-90$  fokos szögéhez közelít.

Rezonanciafrekvencián ( $f = f_0$ ) a kapacitív és induktív reaktancia megegyezik, de ellentétes fázisszögüknél fogva „kijetik egymást”, és a rezgőkör csak  $R$  ellenállást mutatja.

A frekvencia növekedtével ( $f \gg f_0$ ) egyre inkább az induktív reaktancia válik dominánssá, a soros RLC kör mint ellenállás és sorba kapcsolt tekercs viselkedik, e szerint alakul a  $+90$  fokhoz közelítő fázisszög is (ilyen a viszonyokat mutatnak be a 19. ábra vektordiagramjai is).

Nagy jelentősége van annak a két frekvenciának, amelynél a rezgőkör impedanciájának valós és képzetes része megegyezik ( $f_{h1}$ ,  $f_{h2}$ ). Ezekon a frekvenciákon  $R = (X_L - X_C)$  vagy  $R = (X_C - X_L)$ , így

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + R^2} = \sqrt{2R^2} = \sqrt{2}R$$

Az  $f_{h2} - f_{h1}$  frekvenciakülönbséget a rezgőkör **sávszélességének** nevezik, és **B** -vel jelölik (mértékegysége: Hz):

$$B = f_{h2} - f_{h1}$$

A rezonanciafrekvencia és a sávszélesség hányadosa a rezgőkör **jósága**, jele: **Q** (mértékegység nélküli viszonyszám).

$$Q = \frac{f_0}{B}$$

A képlet átrendezésével megkaphatjuk a rezgőkör sávszélességét, ha ismert a rezonanciafrekvencia és a kör jósága:

$$B = \frac{f_0}{Q}$$

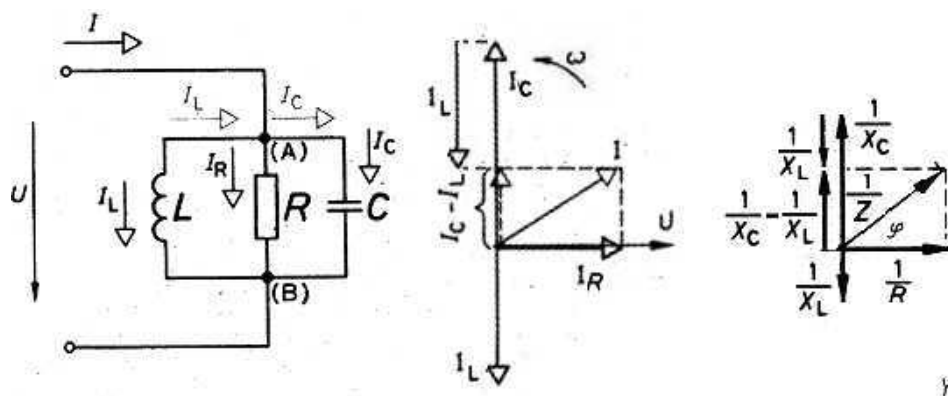
A soros rezgőkör jósága a

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R}$$

képlet segítségével határozható meg.

### Párhuzamos rezgőkör

R ellenállás, C kondenzátor és L tekercs párhuzamos kapcsolásával **párhuzamos rezgőkör**hez jutunk (21. ábra).



21. ábra

A párhuzamos áramkörti elemek mindegyikére U szinuszos váltakozó feszültség kapcsolódik (a bal oldali vektorábrán a feszültség vektora vízszintesen, jobbra irányul). Az ellenálláson átfolyó  $I_R$  áram a feszültséggel fázisban van, vektora ugyanebbe az irányba mutat. A kondenzátoron  $I_C$  áram a feszültséghez képest 90 fokkal siet, vektora függőlegesen felfelé irányul. A tekercs  $I_L$  árama 90 fokkal késik, vektora függőlegesen lefelé mutat.

A rezgőkörön kialakuló I áram  $I_R$ ,  $I_L$  és  $I_C$  vektori összegeként adódik.  $I_L$  és  $I_C$  ellenfázisú, egymásból kivonódnak. Az ábrán  $I_C$  a nagyobb, ezért eredőjük  $I_C$  irányú, nagysága  $I_C - I_L$  (középső ábrarész). Ha most mindegyik áramot elosztjuk a közös U feszültséggel, az ellenállás ill. a reaktanciák reciprokát kapjuk (az ábra jobb oldalán).  $1/Z$  egy derékszögű háromszög átfogója,  $1/R$  és  $(1/X_C - 1/X_L)$  a befogói, így

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

ebből

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

illetve

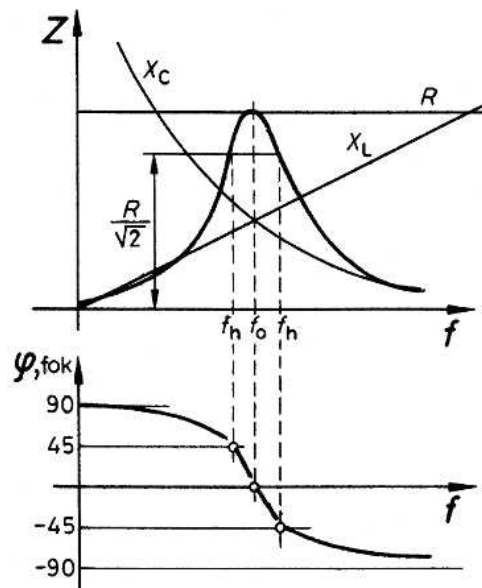


$$\varphi = \arctan \frac{\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}}{\frac{1}{R}}$$

Ugyanúgy mint a soros rezgőkörnél, azt az  $f_0$  frekvenciát, ahol  $X_C = X_L$  rezonanciafrekvenciának nevezik. (Meghatározása a Thomson-képlet segítségével:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

történik). Ezen a frekvencián a kondenzátoron és a tekercsen ellentétes irányú, azonos nagyságú áram folyik, ezek egymást kiegyenlítik, és a rezgőkör  $R$  ohmos ellenállást tanúsít. Minden más frekvencián reaktáns áram is folyik, ezért a rezgőkör impedanciája csökken (22. ábra). Kisebb frekvenciákon a tekercs jelenti a kisebb reaktanciát, így a rezgőkör impedanciája induktív jellegű, míg a rezonanciafrekvencia felett a kapacitív reaktancia a kisebb, ezért az impedancia kapacitív jellegű.



22. ábra

A sávszélesség annak a két frekvenciának ( $f_{h2}$  és  $f_{h1}$ ) a különbsége, ahol a párhuzamos rezgőkör impedanciája a rezonanciafrekvencián mért érték  $1/\sqrt{2}$  részére csökken:

$$B = f_{h2} - f_{h1}$$

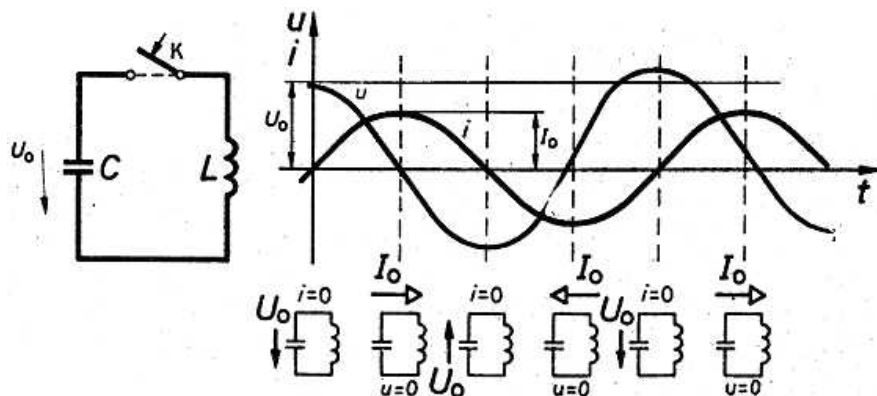
A párhuzamos rezgőkör jósága a

$$Q = \omega_0 CR$$

összefüggésből számítható ki.

### Hogyan „rezeg” a rezgőkör?

Töltsük fel a 23. ábrán látható C kondenzátort  $U_0$  feszültségre, majd zárjuk a K kapcsolót.



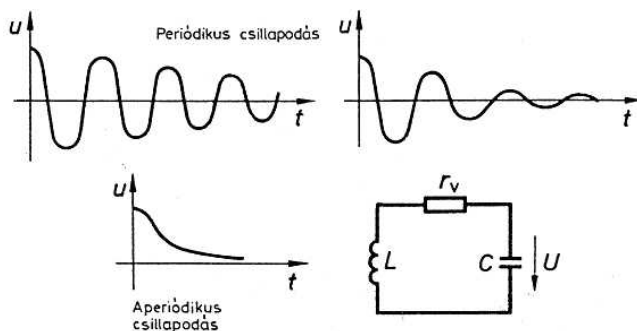
23. ábra

Az összekapcsolás pillanatától mindkét elemen ugyanakkora áram folyik, és ugyanakkora a feszültség is.

A  $t = 0$  időpontban a kondenzátor  $U_0$  feszültségre van feltöltve, áram nem folyik. A feszültség hatására a tekercsen egyre nagyobb áram indul meg, amely a kondenzátort fokozatosan kisüti. Amikor a kondenzátor teljesen kisült, a feszültség 0, ugyanekkor folyik a legnagyobb áram (a feltöltött kondenzátorban tárolt energia ekkor teljes egészében mágneses energiává alakul). Ennek az energiának a hatására a tekercsen az áram tovább folyik, és – az előzővel ellentétes polaritással – tölni kezdi a kondenzátort. Amikor a kondenzátor  $-U_0$  feszültségre töltődött, az áram ismét 0-ra csökken: a mágneses energia teljes egészében elektrosztatikus energiává alakult vissza. A folyamat ciklikusan ismétlődik, a feszültség és az áram lefolyását az ábra jobb oldalán láthatjuk. (Mindkét elemen az ismert 90 fokos fáziseltérés van a feszültség és az áram között.)

Tehát a „magára hagyott” LC körben szinuszos rezgés alakult ki, az ilyen elrendezést ezéért nevezik **rezgőkörnek**

Ha a rezgőkör ideális (vesztesség nélküli) kondenzátorból és tekercsből áll, a rezgés az idők végeztéig fennmarad. A valóságban a rezgőkör elemei veszteségesek, ezt gyakorlati számításokkor a rezgőkörbe helyezett ellenállással vesszük figyelembe. A veszteségek miatt a rezgés amplitúdója folyamatosan csökken (24. ábra).



24. ábra

Minél nagyobb a rezgőkör jósága ( $Q$ -ja), annál hosszabb idő alatt csillapodnak a rezgőkör rezgései. Csekély jóságú rezgőkörnél egy teljes rezgési periódus sem zajlik le (aperiodikus csillapítás).

### Példa

Egy párhuzamos rezgőkörben  $L = 100\mu\text{H}$ ,  $C = 220\text{ pF}$ , a veszteségeket  $R = 47\text{ k}\Omega$  ellenállással vesszük figyelembe. Mekkora a rezgőkör rezonanciafrekvenciája, jósága, sávzélessége?

Megoldás: ( $100\mu\text{H} = 100 \cdot 10^{-6}\text{H}$ ,  $220\text{ pF} = 220 \cdot 10^{-12}\text{F}$ ,  $47\text{ k}\Omega = 47 \cdot 10^3\Omega$ )

A rezonanciafrekvencia a Thomson-képlet szerint

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \cdot 10^{-6} \cdot 220 \cdot 10^{-12}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2,2 \cdot 10^{-14}}} = \frac{1}{6,28 \cdot 1,48 \cdot 10^{-7}} = 1,073 \cdot 10^6\text{ Hz}$$

(azaz 1,073 MHz).

A rezgőkör jósága

$$Q = \omega_0 CR = 2 \cdot \pi \cdot 1,073 \cdot 10^6 \cdot 220 \cdot 10^{-12} \cdot 47 \cdot 10^3 = 69,7$$

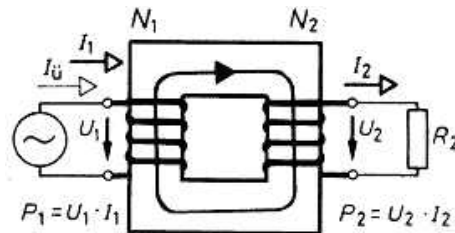
a sávzélesség pedig

$$B = \frac{f_0}{Q} = \frac{1,073 \cdot 10^6}{69,7} = 15,39 \cdot 10^3\text{ Hz} = 15,39\text{ kHz}$$

### 3.5.5. Transzformátor

A 3.1.2. pontban említettük, hogy amíg a *csatolás* egymástól független tekercsek esetében általában nem kívánatos, egyes alkalmazásokban szándékosan hoznak létre csatolást tekercsek között. Ilyen alkalmazás a *transzformátor*.

A transzformátort általában zárt ferromágneses magon elhelyezett tekercsek formájában alakítják ki (25. ábra).



$$P_1 = P_2$$

25. ábra

Az ún. **primer** tekercsre  $U_1$  szinuszos feszültséget szolgáltató generátort kapcsolunk. Abban az esetben, ha a **szekunder** tekercsre még nem kapcsoljuk rá  $R_2$  terhelést, a primer tekercsben induktív reaktanciájának megfelelő csekély  $I_\emptyset$  üresjárási áram indul meg. Ez az áram mágneses indukciót hoz létre. Az indukcióvonalak a szoros csatolást biztosító ferromágneses magon mindkét tekercsen áthaladnak, és mindkét tekercsben feszültséget indukálnak. A primer és a szekunder tekercs egy - egy menetében ugyanakkora feszültség indukálódik. Így  $U_1$  primer feszültség és  $U_2$  szekunder feszültség aránya a két tekercs  $N_1$  ill.  $N_2$  menetszámának arányával egyezik meg, melyet áttételnek neveznek és **a**-val jelölnék:

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ha a szekunder tekercsre  $R_2$  terhelést kapcsoljuk,  $U_2$  feszültség hatására azon  $I_2$  áram indul meg,  $R_2$  ellenálláson  $P = U_2 I_2$  teljesítmény disszipálódik. Ezt a teljesítményt a transzformátor az  $U_1$

generátorból veszi fel olyan módon, hogy a primer tekercs árama  $I_1$  értékűre nő. Ha a transzformátor ideális (veszteségmentes), akkor a primer oldalon felvett teljesítmény megegyezik a szekunder oldalon leadott teljesítménnyel:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

az egyenletet átrendezve

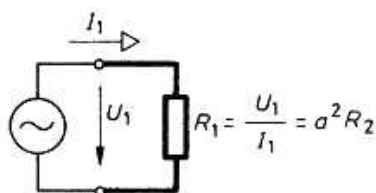
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{a}$$

adódik, azaz a primer és szekunder áram viszonya az áttétel reciprokával egyezik meg.

$U_1$  feszültség hatására a transzformátor primer tekercsén  $I_1$  áram folyik. A két mennyiség hányadosa megadja azt az ellenállást, amellyel a transzformátor  $U_1$  generátort terheli:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{aU_2}{\frac{U_2}{I_2}} = \frac{U_2}{I_2} \cdot a^2 = R_2 \cdot a^2$$

A transzformátor primer tekercse tehát olyan ellenállásként viselkedik, amely a szekunder tekercsre kapcsolt ellenállás  $a^2$ -szerese. *A transzformátor a szekunder oldalára kapcsolt ellenállást az áttétel négyzetének arányában transzformálja a primer oldalra (26. ábra).*



26. ábra

### **Valóságos (technikai) transzformátorok**

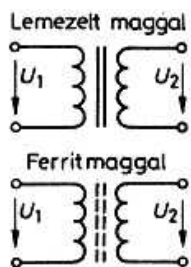
Az ideális transzformátor veszteségmentes, ezért primer és szekunder teljesítménye megegyezik. A valóságos transzformátor a tekercseknél már említett vasveszteség és tekercsveszteség miatt nagyobb teljesítményt vesz fel, mint amennyit lead. A leadott és felvett teljesítmény hányadosa a hatásfok, jele  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_{ki}}{P_{be}}$$

Kiseb teljesítményű transzformátorok szokásos hatásfoka  $\eta = 0,65 \dots 0,8$ ; nagy teljesítményű (több száz kW-os) transzformátorok hatásfoka  $\eta = 0,97$  fölött van.

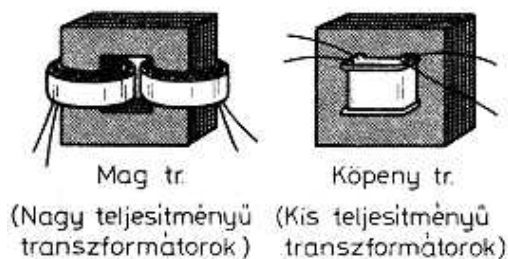
A veszteségek miatt a terhelt szekunder tekercs egy menetére eső feszültség is kisebb, mint a primer tekercs menetfeszültsége.

A transzformátor vasveszteségeinek a csökkentésére a vasmagot lemezelte vagy pormagból készítik, a mag anyagára a kapcsolási rajzjel is utal (27. ábra).



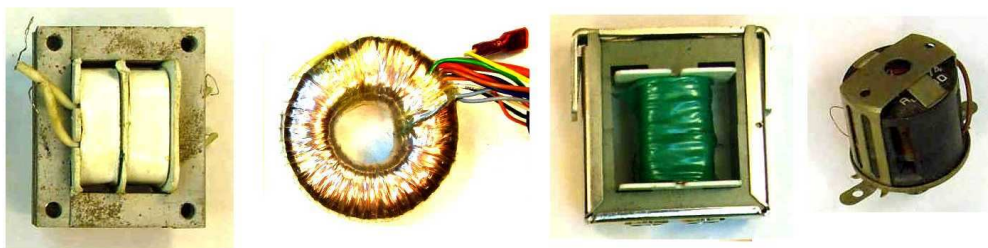
27. ábra

Lemezelt vasmagra alacsony frekvenciás (pl. hálózati) transzformátorokat készítenek (két kiviteli formát a 28. ábra mutat).



28. ábra

Magasabb frekvenciákon a lemezelt mag veszteségei megnőnek, itt porvas magot alkalmaznak. A zárt körgyűrű (toroid) magokra nagyobb teljesítményű transzformátorokat is készítenek, ez a mag létesíti a legcsekélyebb szórt mágneses teret. Szintén készítenek kisebb teljesítményű transzformátort ferrit E magra vagy fazékmagra is (29. ábra balról jobbra: lemezelt magú transzformátor, toroid transzformátor, ferrit E magos transzformátor, fazékmagra készült transzformátor.)



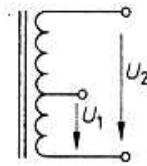
29. ábra

A transzformátor vasmagának *keresztmetszete* az átvinni kívánt teljesítménytől függ (nagyobb teljesítményhez nagyobb vaskeresztmetszet tartozik).

Amennyiben több, különböző szekunder feszültségre van szükség, a transzformátort több szekunder tekercssel készítik el. Ilyen esetben a primer teljesítmény a szekunder tekercsekről felvett teljesítmények összegével egyezik meg.

Minél nagyobb a transzformátor teljesítménye, annál nagyobb keresztmetszetű vasmagra készítik.

Megjegyzés: A transzformátor primer és szekunder tekercse kialakítható egyetlen, leágazásos tekercs formájában is (30. ábra). Ezt az elrendezést *autotranszformátornak* nevezik.



30. ábra

Példa

Transzformátorunk 230V-os primer tekercsének menetszáma 1035. Veszteségmentes transzformátort feltételezve mekkora legyen a szekunder menetszám, ha 12V 55W-os gépkocsi izzót kívánunk a szekunder tekercsre kapcsolni? Az izzó bekapcsolásakor mekkora primer áram folyik?

Megoldás:

Először is tisztázzuk, hogy a 230V-os primer feszültség a feszültség effektív értékét jelenti. A működtetendő izzó 12V egyenfeszültségre készült. Az izzó működése az áram hőhatásán alapszik, tehát váltakozó feszültségről történő üzemeltetéskor 12 V *effektív értékű* feszültség fog azonos izzítási teljesítményt nyújtani. Így a transzformátor szekunder tekercsét 12V effektív értékre kell elkészíteni.

A 230V-os primer menetszám  $N_1 = 1035$ , tehát a voltonkénti (1 V-ra jutó) menetszám  $1035/230=4,5$ . Ha a transzformátor veszteségmentes, a szekunder tekercsnél is ugyanekkora a voltonkénti menetszám, tehát 12V-os feszültséghez  $12 \cdot 4,5 = 54$  menet tartozik.

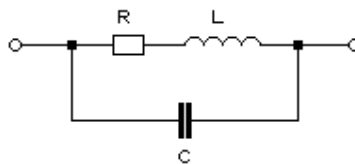
A szekunder oldali teljesítmény  $P_2 = 55W$ , veszteségmentes transzformátornál ugyanekkora a  $P_1$  primer teljesítmény is, a primer áram pedig

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{55}{230} = 0,239A = 239mA$$

**3.5.6. Valóságos ellenállás, kondenzátor, tekercs nagyfrekvenciás viselkedése**

Ellenállás

A valóságos (technikai) ellenállás szokásos kialakításában egy szigetelő (kerámia) hengerre ellenállás anyagot visznek fel (rétegellenállás esetén az ellenállás anyagból vékony réteget csapatnak le, huzalellenállásnál pedig ellenálláshuzalból megfelelő számú menetet tekercselnek). A henger két végére a kivezetéseket tartó fém kupakot sajtolnak. A szokásos kialakítású rétegellenállásban az ellenállás névleges értékét a hengerre készített spirális köszörüléssel állítják be, az áram a – néhány menetes, kis inductivitású tekercset adó – spirális ellenálláspályán át folyik. Ugyanekkor a két végre sajtolt fém kupakok, mint egy – a nagy távolság és kis felület miatt igen kis kapacitású – kondenzátor fegyverzetei működnek. A valóságos ellenállás tehát úgy tekinthető, mint az R ellenállással sorba kapcsolt kis inductivitású L tekercs, ill. az ezzel párhuzamosan kapcsolódó kis kapacitású C kondenzátor (31. ábra).



31. ábra

Kis frekvenciákon L tekercs soros reaktanciája elhanyagolhatóan csekély, és C kondenzátor párhuzamos reaktanciája elhanyagolhatóan nagy, de rádiófrekvenciákon már mind L, mind C hatásával számolni kell.

Nagyfrekvenciás alkalmazásra gyártanak olyan rétegellenállásokat, melyek értékbeállító beköszörülése nem spirális, hanem több, az ellenállás hossz tengelyével párhuzamos beköszörülést tartalmaz (kis induktivitású, jelölése:  $l$ ). Ugyancsak csekély az induktivitásuk a nagyfrekvenciás célra gyártott tömör (ellenállás anyagból sajtolt) ellenállásoknak. Az SM ellenállások kialakításuknál fogva szintén kis induktivitásúak.

### **Kondenzátor**

A tekercseléssel kialakított kondenzátorok (ld. a 3.3.2. pont 26/c és 28. ábráit) fegyverzetein az áram a feltekercselt fóliaikon (mint egy tekercsen) keresztül folyik. Az így adódó induktivitás nagyobb frekvenciákon nem hanyagolható el. A helyzet javítása céljából sokszor a fegyverzetek két-két pontját vezetik ki (a kivezető huzalokat pedig összecsavarják), ennek dacára rádiófrekvenciákon tekercselt kondenzátort nem tanácsos alkalmazni, mert a kondenzátor és a tekercselt fegyverzet induktivitása előre kiszámíthatatlan frekvencián rezgőkört alkothat.

Nagyfrekvenciás célra jól használhatóak a síkkondenzátorok, melyek fegyverzeteinek (és kivezetéseinek) minimális az induktivitása. Igen alkalmas pl. a nagy frekvencián is kis veszteségű csillámkondenzátor (3.3.2. pont 27. ábra), valamint a kerámia kondenzátorok (ld. 3.3.2. pont 29. ábra) közül a kis veszteségű példányok, bár arra figyelni kell, hogy a kerámia kondenzátorok hőmérsékleti együtthatója (TK) általában nagy.

Igen nagy frekvenciákon már a kondenzátor kivezetéseinek induktivitása sem hanyagolható el (a kondenzátor kapacitásával ugyanúgy rezgőkört alkothatnak, mint a tekercselt fegyverzetű kondenzátorok már kisebb frekvenciákon), ezért célszerű a kondenzátor kivezetését igen rövidre hagyni.

### **Tekercs**

Nagy frekvenciákon a tekercs több szempontból sem viselkedik ideális elemként (ld. a 3.7.9. pontot is: veszteségek, szkin hatás), ezen kívül nem hanyagolható el a tekercs menetei közötti kapacitás hatása sem. A tekercs a menetei közötti kapacitással rezgőkört képez, melynek rezonanciafrekvenciája fölött már nem tekercsként viselkedik.

A rádiózás „hőskorában”, amikor még nem voltak nagy frekvenciákon is alkalmazható, kis veszteségű porvasmagok, és ezért pl. a középhullámú vevőkben is nagy méretű, és nagy menetszámú tekercseket kellett használni, a menetek közötti kapacitást „méhsejt” tekercseléssel igyekeztek csökkenteni, amikor is a tekercs egymást követő soraiban a meneteket nem párhuzamosan, hanem egymásra közel merőlegesen, méhsejtszerűen tekercselték.