

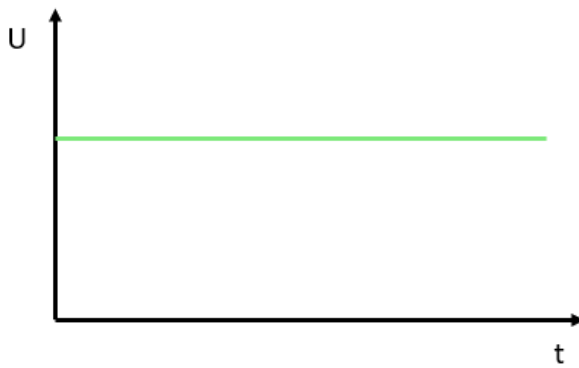
Elektrotechnika

Váltakozó áramú áramkörök

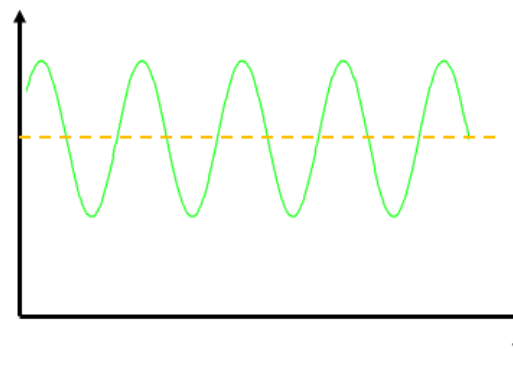


Áttekintés

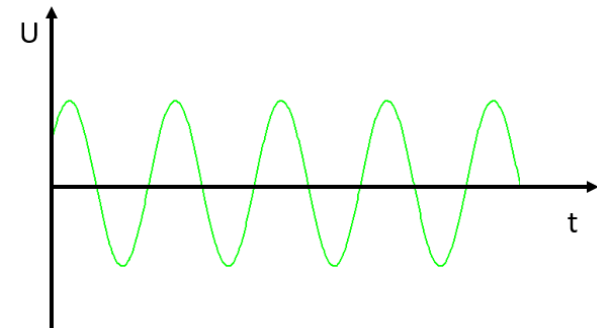
- Eddig kizárólag egyenáramú áramkörökkel foglalkoztunk, melyek feszültsége időben állandó volt. Ezt neveztük egyenfeszültségnek, illetve az ennek hatására kialakuló mennyiséget pedig egyenáramnak (DC).
- Azt a feszültséget, melynek nemcsak nagysága, hanem iránya (polaritása) is megváltozik, váltakozó feszültségnek, illetve az ennek hatására kialakuló áramot pedig váltakozó áramnak nevezzük (AC).
- Ez nem összekeverendő a lüktető (szabályosan változó) egyenárammal!



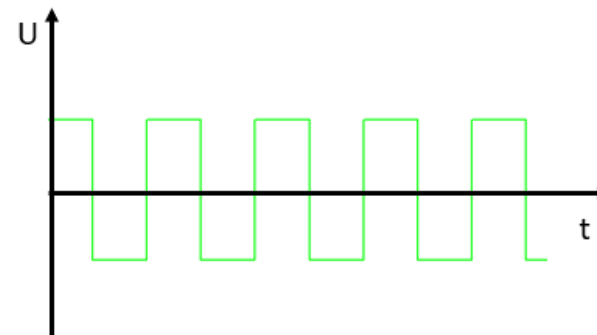
Egyenfeszültség



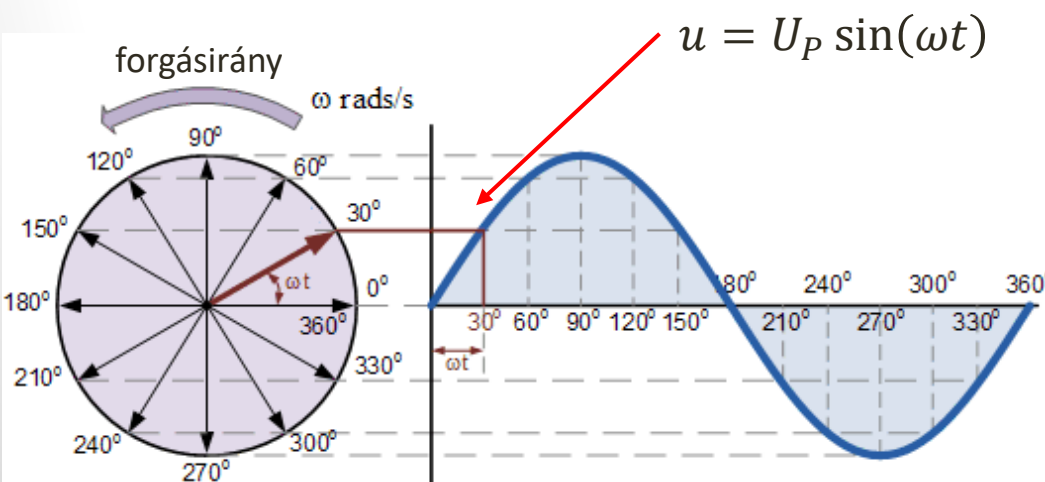
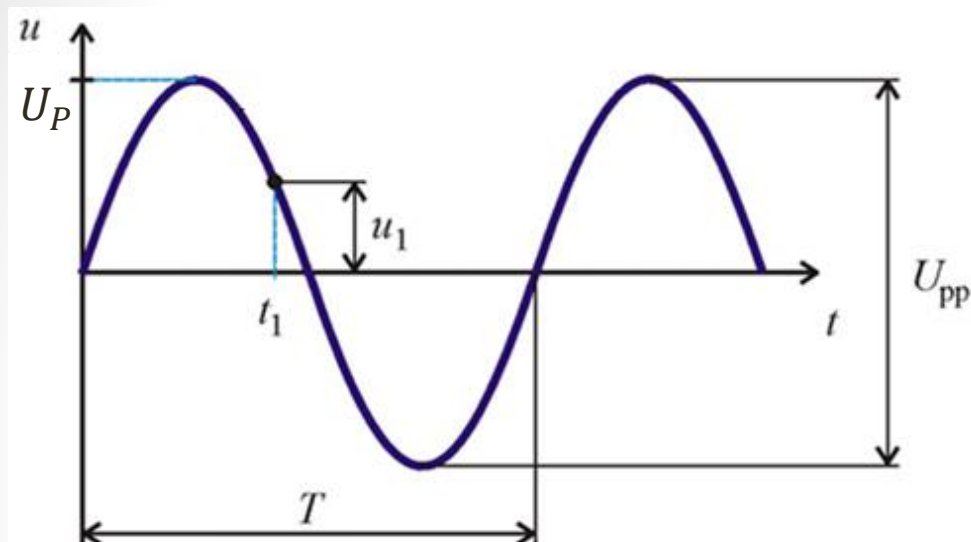
Szabályosan változó
egyenfeszültség



Váltakozó feszültségek



Szinuszos jel jellemzői



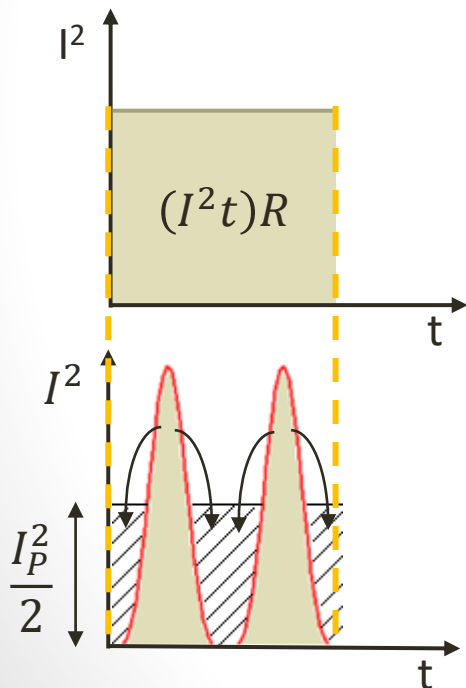
- Pillanatnyi érték
 - $u = U_P \sin(\omega t)$
 - $\omega = 2\pi f$
- Csúcsérték (U_P)
 - „Csúcstól –csúcsig érték” (U_{PP})
- Effektív érték (szinuszos jel esetén)
 - $U_{eff} = \frac{U_P}{\sqrt{2}}$
- Frekvencia
 - $f = \frac{1}{T} [Hz]$
- Periódusidő
 - $T = \frac{1}{f} [s]$

Mit is jelent az effektív érték?

- Egyenáram esetén egy ellenálláson fellépő hőmennyiséget (teljesítményt) kiszámíthatjuk az áram és az ellenállás ismeretében a következő képlettel (itt most az áram felől vizsgáljuk):

$$Q = I^2 R t = (I^2 t) R$$

- Ez gyakorlatilag a görbe alatt területet adja és az áram négyzetével arányos



- Mivel ugyanazt a hőmennyiséget keressük, csak váltakozó áram esetén, így felhasználhatjuk a megállapítást: az áramerősség négyzetének területeit hasonlítjuk össze, egyetlen periódus alatt.
- Tehát mindkét mennyiség (egyen és váltakozó) esetén azonos területet keresünk.

- Megvizsgálva az alsó ábrát a következőt állapíthatjuk meg:

$$I^2 = \frac{I_P^2}{2}$$

- Tehát:

$$I = \sqrt{\frac{I_P}{2}} = \frac{I_P}{\sqrt{2}}$$

- Ez szinuszos mennyiségek esetén a csúcsérték $\sqrt{2}$ -ed része:

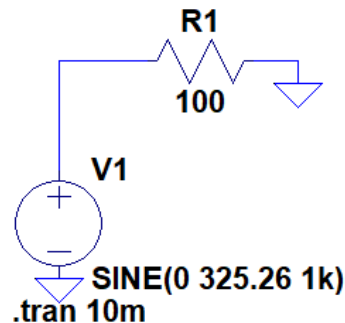
$$I_{eff} = \frac{I_P}{\sqrt{2}}$$

$$U_{eff} = \frac{U_P}{\sqrt{2}}$$

Példa

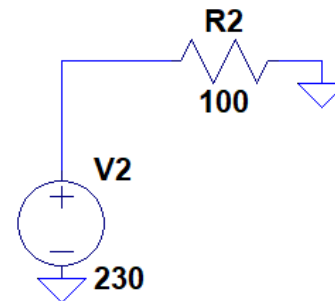
- A hálózati feszültség effektív értéke $u_{\text{eff}}=230\text{V}$
- Ha egy 100Ω -os ellenállást kapcsolunk egy ilyen feszültséget előállító generátorra, a rajta fellépő áram effektív értéke:
$$i_{\text{eff}} = \frac{u_{\text{eff}}}{R} = \frac{230\text{V}}{100\Omega} = 2,3\text{A}$$
- A rajta fellépő disszipáció: $P = i^2 R = 2,3^2 \cdot 100\Omega = 529\text{W}$
- Egyenáramú esetben ugyanezt a hőmennyiséget keressük, tehát $P=529\text{W}$, illetve az ellenállás is ugyan az ($R=100\Omega$), így a keresett áram: $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{529\text{W}}{100\Omega}} = 2,3\text{A}$
- Ebből kiszámolva a feszültséget: $U = IR = 2,3\text{A} \cdot 100\Omega = 230\text{V}$
- Vizsgáljuk meg szimuláció segítségével!

Effektív érték vizsgálata (szimuláció)

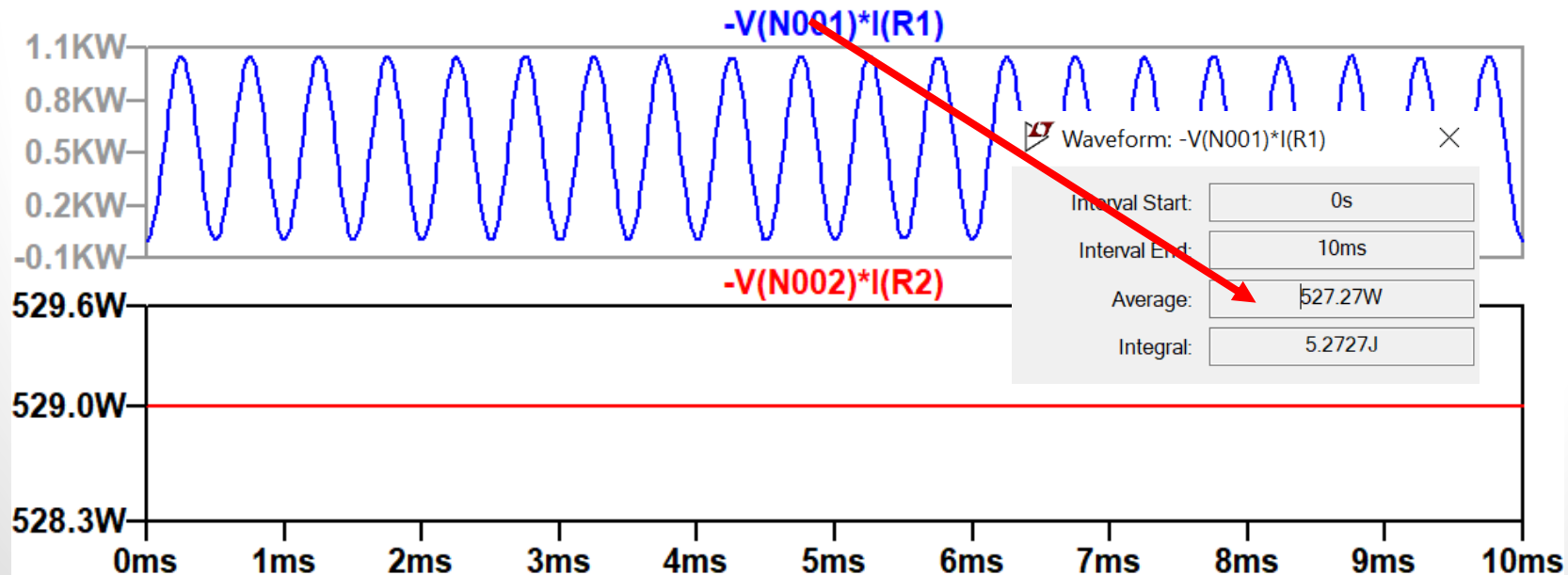


Váltakozóáramú eset

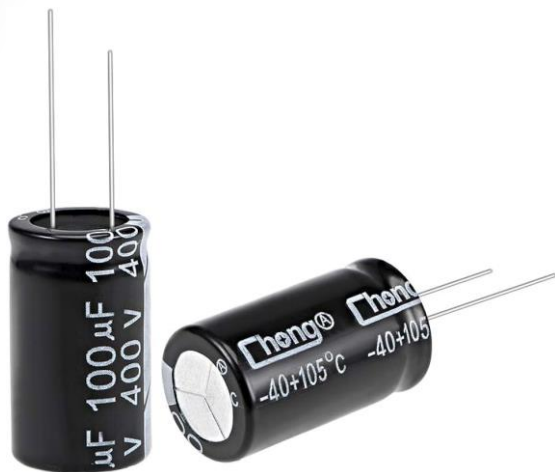
(megjegyzés: LTspice környezetben amennyiben váltakozó jelet definiálunk, csúcsértéket tudunk csak megadni. A bal oldali ábrán ezért szerepel 325V (ami a 230V csúcsértéke)



Egyenáramú eset



Váltakozó áramú elemek

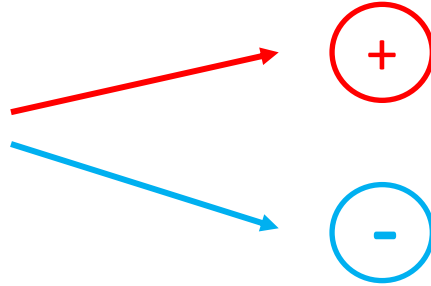


- Működésének alapja az elektromos tér;
- Segítségével töltések tárolhatók;
- Szűrés (pl.: feszültség hullámmzás),

- Működésének alapja a mágneses tér;
- Segítségével mágneses tér hozható létre, illetve „tárolható”;
- Szűrés, fojtás (pl.: áramhullámmzás)

Elektromos tér

- Elektromosan töltött részecskék

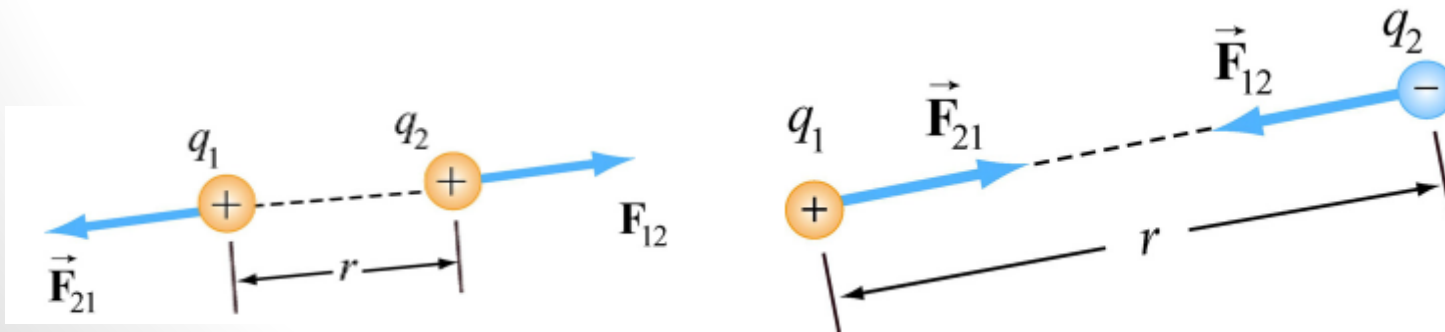


- A természetben ismert legkisebb "szabad" töltésegység az elektron vagy proton töltése, azaz $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$
- Elektromos tér kimutatható kísérletileg: elektroszkóp
- A töltés hatnak egymásra (hasonlóan mint pl. a mágneses térben a mágneses momentumok), mely erőben nyilvánul meg:
 - Azonos töltések esetén taszítás
 - Különböző töltések esetén vonzás
- Az erőhatás nagysága a Coulomb törvény segítségével számítható ki:

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- Elektromos térerősség a pozitív próbatöltésre ható erő nagysága, azaz:

$$E = \frac{F}{Q} \text{ [N/C] vagy [V/m]}$$



Síkkondenzátor, elektromos mező, elektromos eltolásvektor

- Elektromos térerősség: $E = \frac{U}{d}$;



- Erővonal sűrűség: $E = \frac{\psi}{A}$;
- Ψ az összes erővonalszámot is jelenti, azaz:

- $\psi = \frac{Q}{\epsilon_0}$

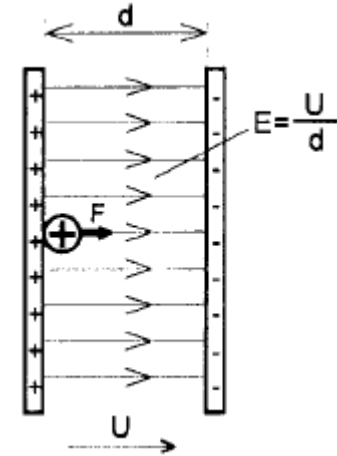
- Innen: $E = \frac{Q}{A \epsilon_0}$;

- A lemezek közötti feszültség:

- $U = Ed = \frac{Q}{A \epsilon_0} d$

- A síkkondenzátor kapacitása tehát:

- $C = \frac{Q}{\frac{Q}{A \epsilon_0} d} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$



$$\oint_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \int_V \frac{\rho}{\epsilon_0} \cdot dV = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Gauss törvény (Maxwell egyenletek!)

Az elektromos tér forrásos, azaz elektromos töltés jelenlétében erővonalak indulnak a pozitív töltésekről, melyek a negatív töltéseken végződnek.

Kondenzátorok a gyakorlatban, relatív permittivitás

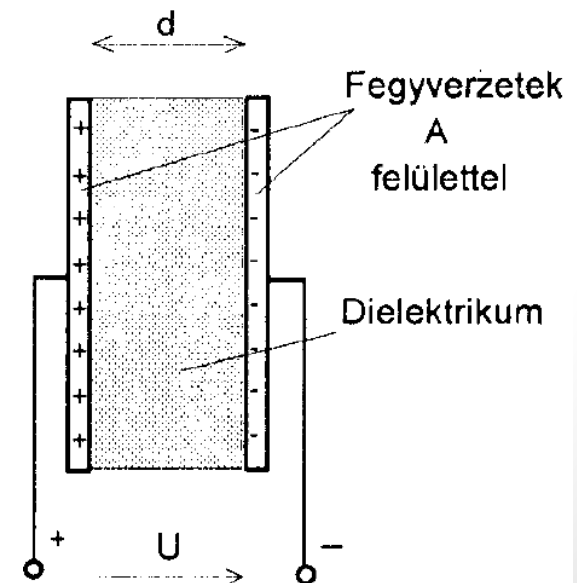
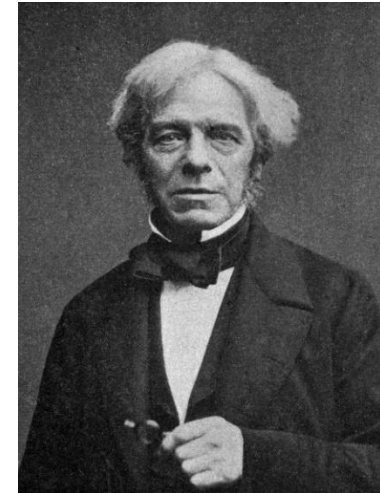
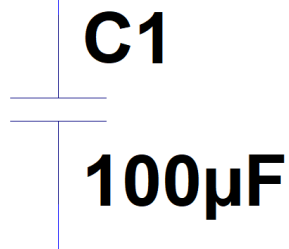
- A testek töltések befogadására irányuló képességét kapacitásnak hívjuk;
- A töltés tárolására használt technikai eszközöket pedig kondenzátoroknak (pozitív és negatív töltések tárolása);
- Tetszőleges „valóságos” kondenzátor kapacitása:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d},$$

ahol ε_r a relatív permittivitás;

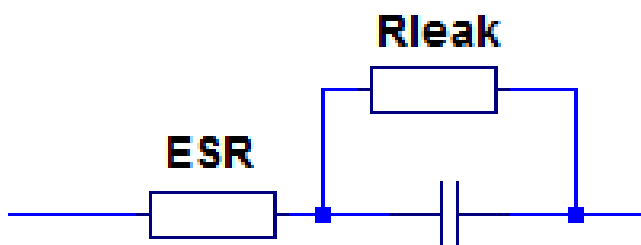
$$C = \frac{[As]}{[V]} = [F] \text{ (Farád)}$$

- A gyakorlatban egy Farád nagyon nagy kapacitás, így ennek törtrészeit használjuk: mF, μ F, nF;
- A kondenzátor villamos rajzjele:

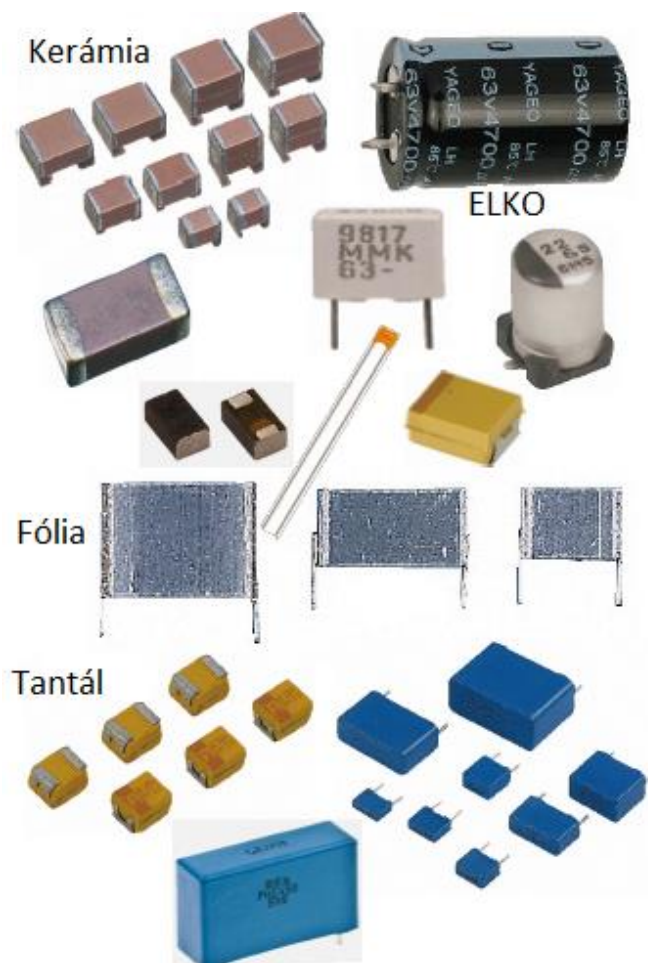


Kondenzátorok a gyakorlatban

Valóságos kondenzátor:



- Kiválasztásnál fontos:
 - Névleges feszültség
 - Névleges kapacitás
 - Impulzus igénybevétel
 - ESR érték
(ESR=Equivalent Serial Resistance)
 - Rleakage = szivárgási ellenállás



Kondenzátorok a gyakorlatban

ELKO

- Az elektrolitja habosított alumínium oxid
- Viszonylag nagy kapacitást képviselnek (akár több 10000 uF)
- Öregedésre hajlamosak (kiszáradnak), Púposodás!
- Hidegebb hőmérsékleten a névleges kapacitásuk egy részét tudják produkálni (-20°C alatt tönkre is mehet)
- Nagy (10 -100-1000m Ω) ESR-el rendelkeznek
- Alacsonyabb frekvenciára
- Felületszerelt illetve true hole-s kivitelben is kaphatók
- Jelölés!



Tantál

- Fordított polaritás esetén felrobbanhatnak
- Hasonló az ELKO-hoz, de nagyobb megbízhatóság
- Magasabb frekvenciára
- Kisebb ESR
- Kevésbé öregszik
- Tűzveszélyes helyeken, pl. autóiipari alkalmazásokban egyáltalán nem használható

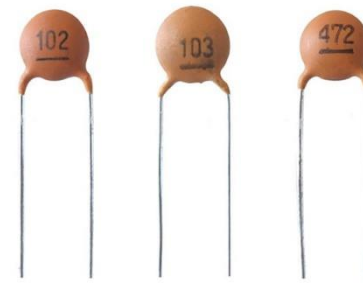


Fólia kondenzátor

- Polarizálatlan
- Magasabb frekvencia
- Magasabb feszültségtartomány (akár kV-os!)
- A felhasznált fólia anyagától függően több típus lehetséges

Kerámia kondenzátor

- Jellemzően pF – uF kapacitásúak
- Polarizálatlan
- Nagyon kis ESR érték
- Magasabb frekvenciára is
- Nagy áram esetén is
- X5R, X7R
- Kapcsolóüzemű tápegységekbe ideális
- KÓD példa: $102 = 10 \cdot 10^2 \text{ pF} = 1 \text{ nF}$
- https://www.hobbielektronika.hu/segedprogramok/?prog=kondenzator_kod



Kondenzátorok kapcsolása

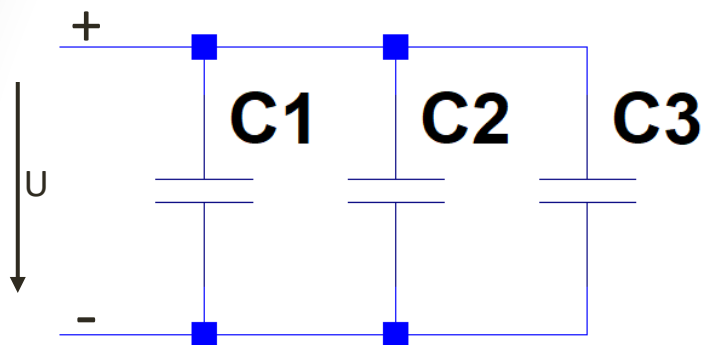
Párhuzamos kapcsolás

$$Q = UC$$

$$Q_e = UC_1 + UC_2 + UC_3$$

$$\frac{Q_e}{U} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_e = C_1 + C_2 + C_3$$

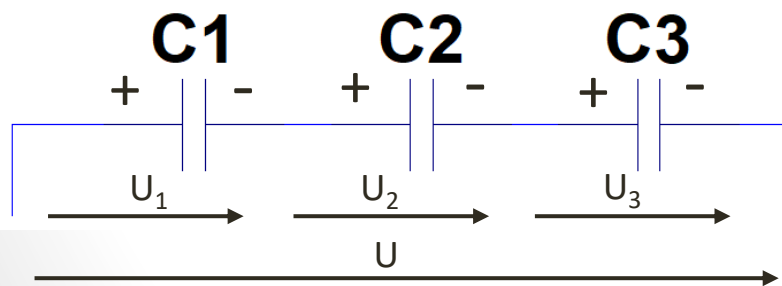


Soros kapcsolás

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

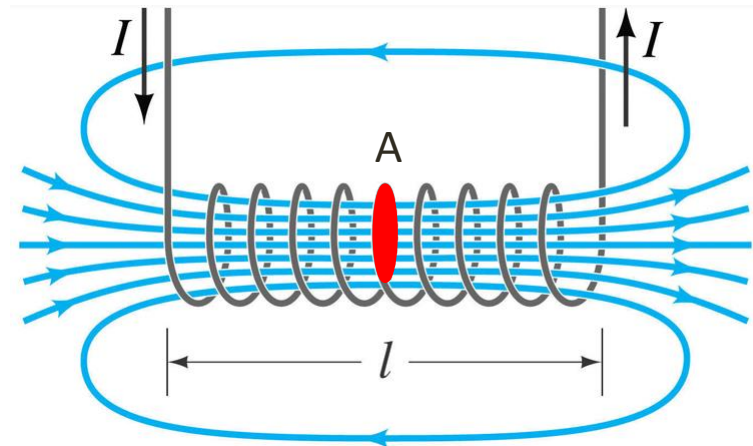
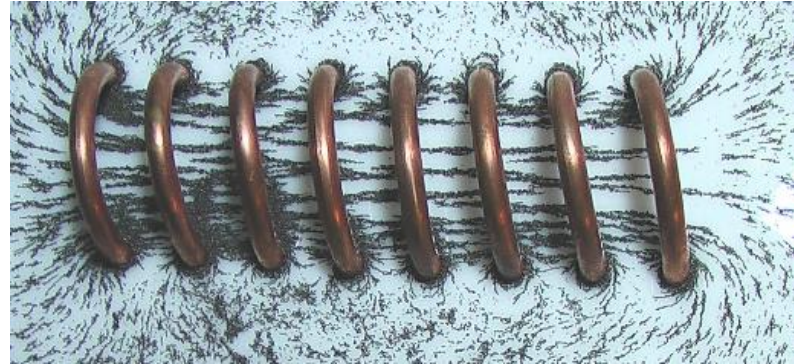
$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

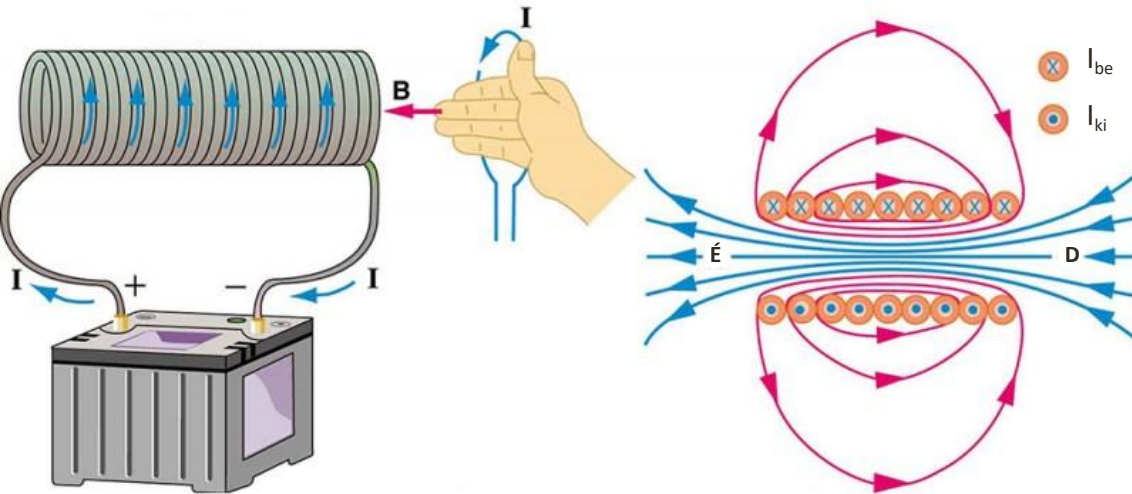


Induktivitás és tekercsek (bevezető jelleg)

- A legegyszerűbb esetben tekercs kialakítható egymás mellé – szorosan- tekert menetekből;
- Segítségével mágneses energiát tudunk tárolni, illetve mágneses teret létrehozni;
- A tekercs saját „paramétere” az induktivitás, amely nem más, mint az áram és az általa létrehozott fluxuskapcsolódás aránya, azaz:

$$L = \frac{\psi}{I} \left[\frac{Vs}{A} = H \right]$$





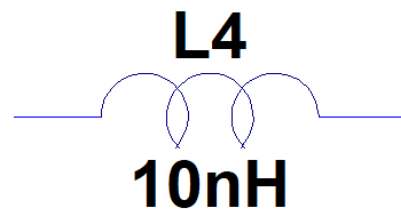
- Egy N menetes tekercs esetén a fluxuskapcsolódás kiszámítható:

$$\psi = N\Phi$$

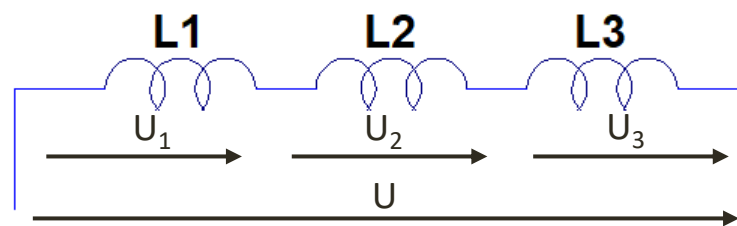
- Megfigyelhető továbbá, hogy bármely áramjárta tekercsben feszültség indukálódik, amennyiben:

$$u_L = \frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di_L}{dt}$$

- Tekercs rajzjele:



Tekercsek kapcsolása

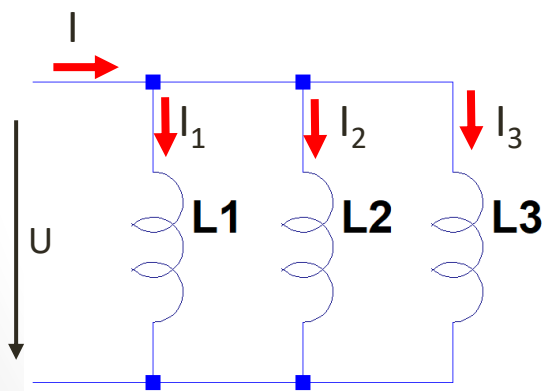


Soros kapcsolás

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$L \frac{dI}{dt} = L_1 \frac{dI}{dt} + L_2 \frac{dI}{dt} + L_3 \frac{dI}{dt}$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$



Párhuzamos kapcsolás

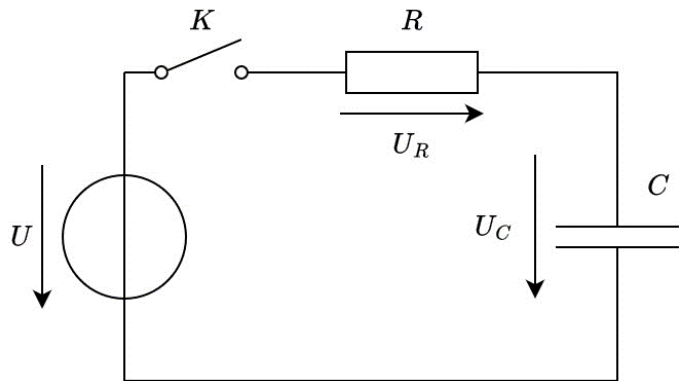
$$\frac{di}{dt} I_l = \frac{di}{dt} I_{l1} + \frac{di}{dt} I_{l2} + \frac{di}{dt} I_{l3}$$

$$U = L_e \left(\frac{U}{L_1} + \frac{U}{L_2} + \frac{U}{L_3} \right)$$

$$\frac{U}{L_e} = \frac{U}{L_1} + \frac{U}{L_2} + \frac{U}{L_3}$$

$$\frac{1}{L_e} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Kondenzátor be és kikapcsolási jelenségei



$$\tau = RC$$

- A bekapcsolás pillanatában a rendszer energiamentes ($U_C = 0V$)
- A bekapcsolás után a Kirchhoff törvény értelmében:

$$U = U_R + U_C$$

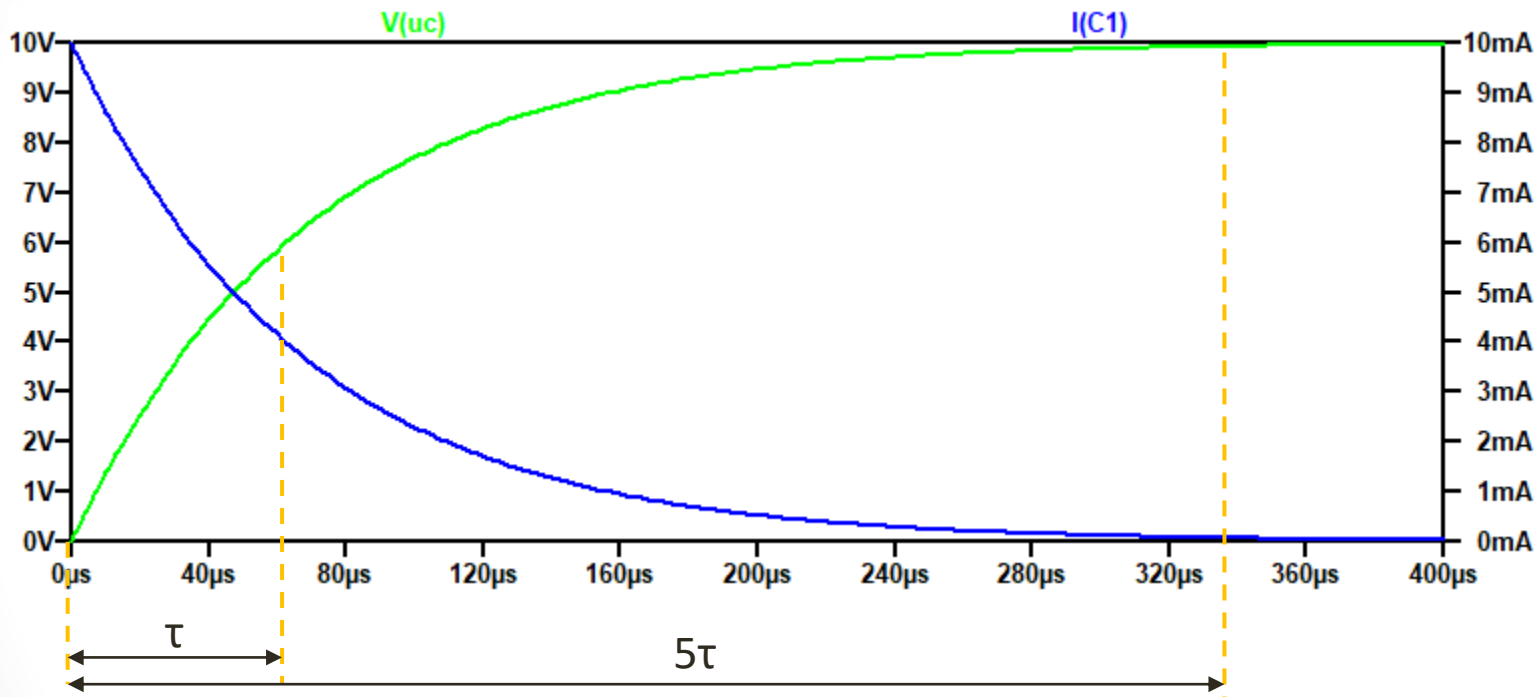
- Mivel a bekapcsolás pillanatában $U_C = 0V$, ezért $U = U_R$, innen:

$$I_{max} = \frac{U}{R}$$

- A töltődés (tranziens folyamat) során U_R és I csökken, míg U_C növekszik
- A rendszer időállandója (τ) az az érték, amíg a kondenzátor a rákapcsolt feszültség 63%-ig töltődik
- A folyamat 5τ idő után tekintett befejezettnek (teljesen feltöltöttnek)
- A kondenzátor feszültsége tetszőleges időpillanatban kiszámítható a:

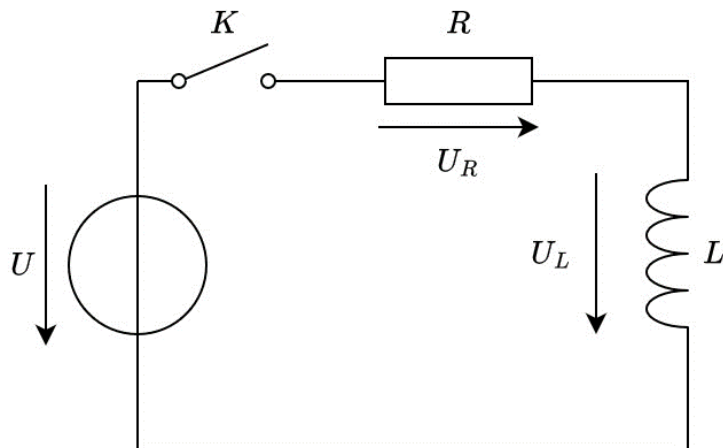
$$u_C = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Kondenzátor be és kikapcsolási jelenségei



A példában $R=1\text{k}\Omega$ és $C=68\text{nF}$

Tekercs be és kikapcsolási jelenségei (egyszerűsített eset)



$$\tau = L/R$$

Lenz törvénye!

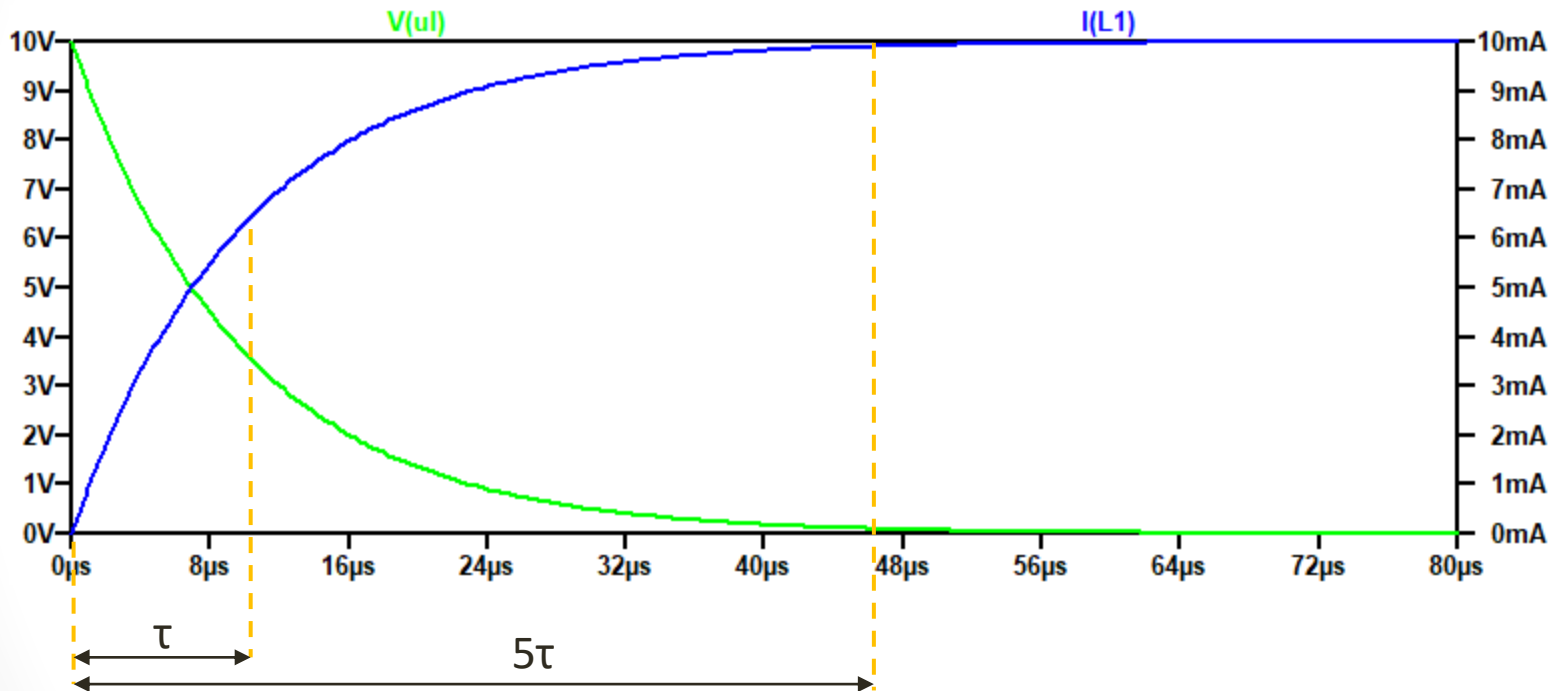
- A bekapcsolás pillanatában a rendszer energiamentes ($I_L = 0A$)
- Mivel a bekapcsolás pillanatában $I = 0A$, ezért $U_L = U$
- A töltődés (tranziens folyamat) során U_R és I növekszik, míg U_L csökken
- A rendszer időállandója (τ) az az érték, amíg a tekercs árama kb. 63%-át éri el
- A körben folyó maximális áram:

$$I_{max} = \frac{U}{R}$$

- A folyamat 5τ idő után tekintett befejezettnek (befejezettnek)
- A tekercs árama tetszőleges időpillanatban kiszámítható a:

$$i_L = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Tekercs be és kikapcsolási jelenségei

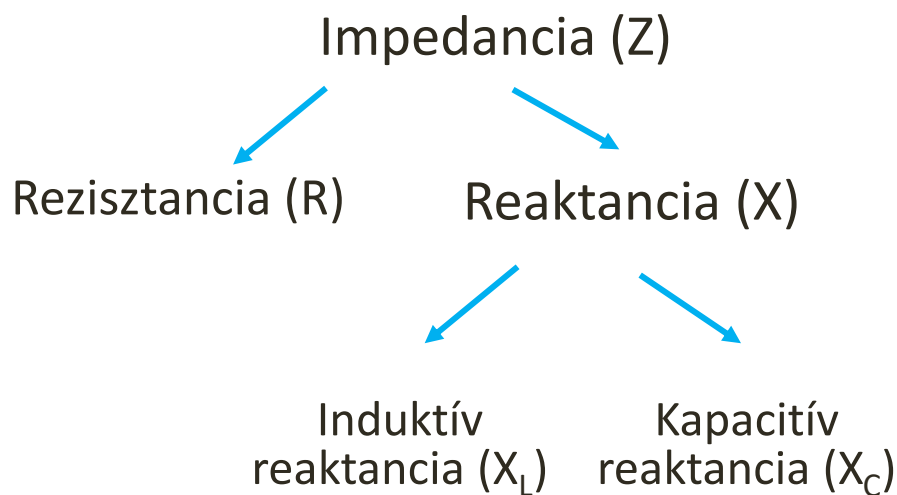
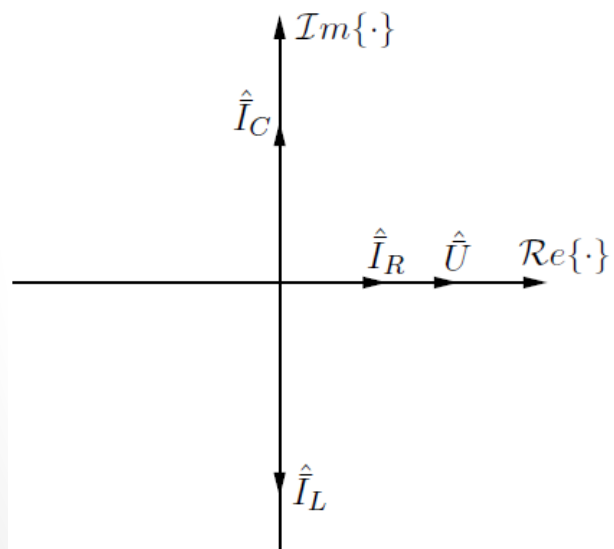


A példában $R=1k\Omega$ és $L=10mH$

Reaktanciák

Reaktancia: Meddő ellenállás, a komplex impedancia képzetes része.

A reaktancia frekvenciafüggő ellenállásként fogható fel, amin nem keletkezik hatásos teljesítmény. Tekercsek és kondenzátorok adják, ezek természetéből adódik, hogy csak váltakozó feszültség mellett léteznek.



$$Z = R + jX$$

Valós rész $\{R_e\}$ Komplex (meddő) rész $\{I_m\}$

Induktív reaktancia

- A tekercs vizsgálata során megállapítottuk az indukált feszültség alakját
- Ha növeljük az áram körfrekvenciáját (ω), akkor nagyobb az áram változási sebessége is:

$$u_i(t) = L \frac{di}{dt} \rightarrow \text{Ha } di/dt \text{ nagyobb, a szorzat érték nagyobb}$$

- A gerjesztőáram és a körfrekvencia tehát egyenesen arányos az indukált feszültség nagyságával. Vagyis

$$u_L = j\omega L i_L$$

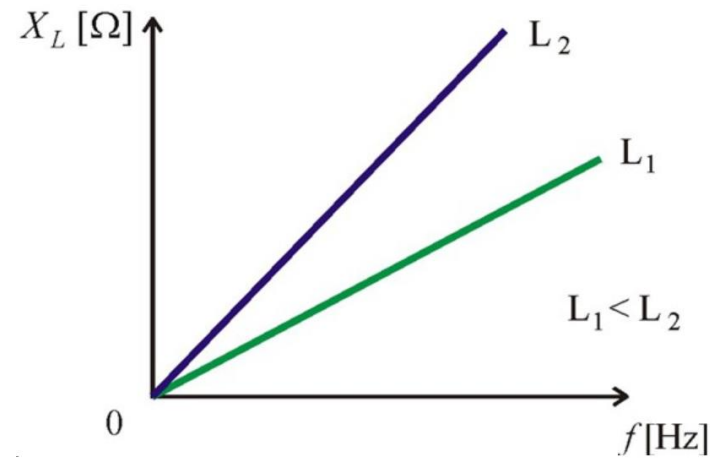
- Ha képezzük az U/I hányadost (pillanatnyi érték):

$$\frac{u_L}{i_L} = \omega L$$

- A hányadost induktív reaktanciának nevezzük (váltakozó áramú ellenállás):

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \text{ } [\Omega]$$

- Megállapítható tehát, hogy a tekercs reaktanciája egy a frekvenciával arányos ellenállást képvisel.



Kapacitív reaktancia

- Ugyanezen logika mellett a kondenzátor árama:

$$i_c(t) = C \frac{du_c}{dt}$$

- Ha a feszültségváltozás sebessége nagyobb, a kondenzátor töltése is gyorsabban változik, ebből kifolyóan pedig az áramerőssége is, vagyis:

$$i_c = C\omega u_c$$

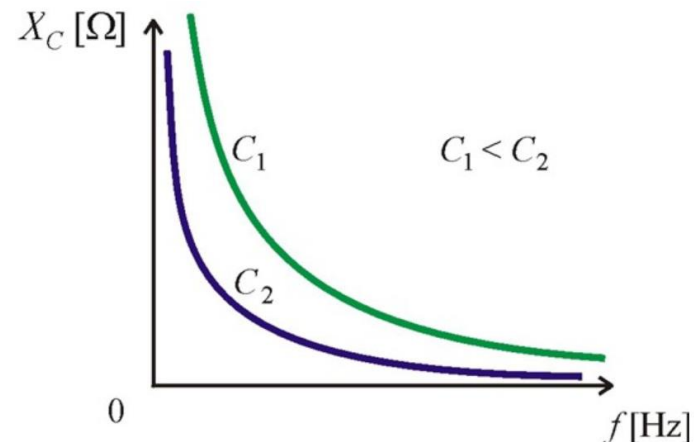
- Innen:

$$\frac{i_c}{u_c} = C\omega$$

- Mivel ellenállás dimenziót szeretnénk:

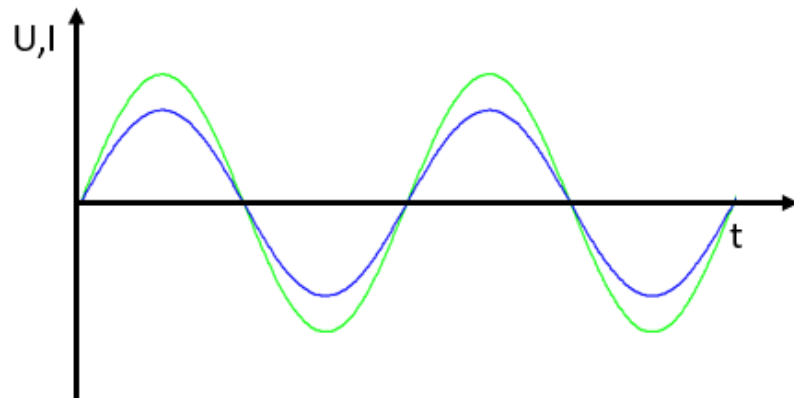
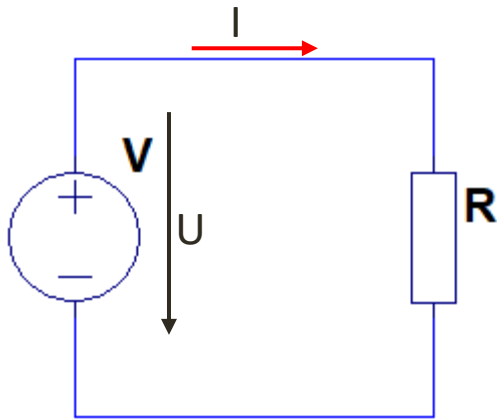
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

- A kondenzátor reaktanciája fordított arányban áll a frekvenciával.

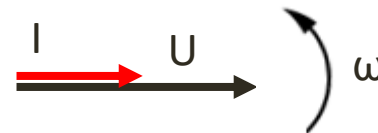


Ellenállás váltakozó áramú áramkörben

Kapcsoljunk egy ellenállást váltakozó áramú generátorra. Ha felvesszük az áram és feszültség karakterisztikát az idő függvényében azt tapasztaljuk, hogy az áram és feszültség között fázis eltérés nincs ($\varphi=0$). Azt mondjuk, az áram fázisban van a feszültséggel.



$$P_R = UI \text{ [W]}$$



Tekercs váltakozó áramú áramkörökben

- Legyen a generátorunk áramának időfüggvénye:

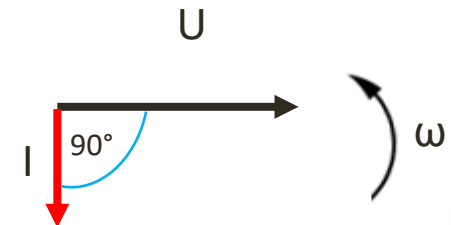
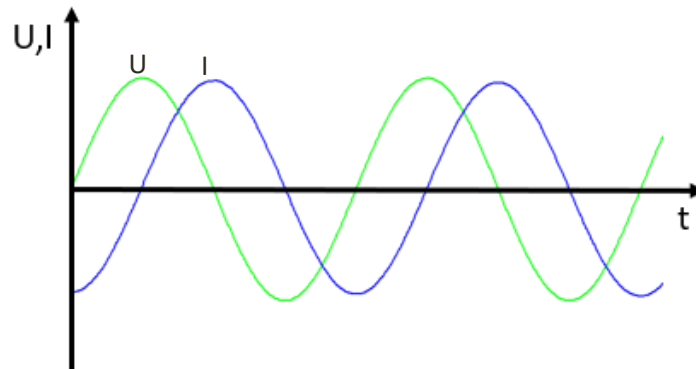
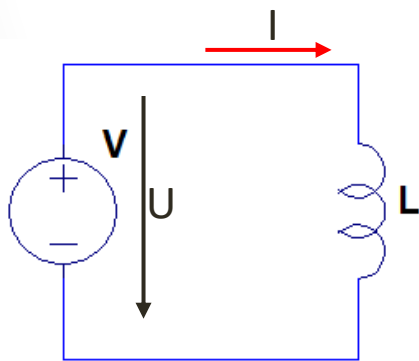
$$i_g(t) = \hat{I}_g \sin(\omega t)$$

- A tekercs feszültsége a következők szerint alakul:

$$u_L(t) = L \frac{di_L}{dt}$$

- Tehát:

$$u_L(t) = L \frac{d\hat{I}_g \sin(\omega t)}{dt} = \hat{I}_g L \omega \cos(\omega t) \longrightarrow \text{A tekercs feszültsége } 90^\circ\text{-al siet az áramhoz képest!}$$



Kondenzátor váltakozó áramkörben

- Legyen a generátorunk feszültségének időfüggvénye:

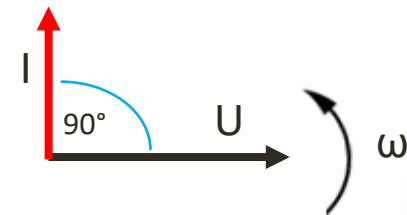
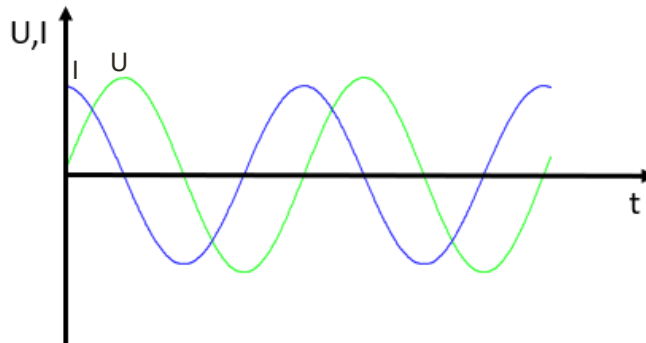
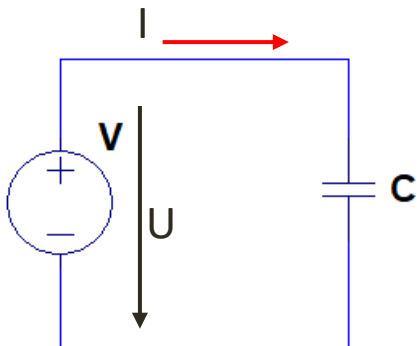
$$u_g(t) = \hat{U}_g \sin(\omega t)$$

- A kondenzátor árama a következők szerint alakul:

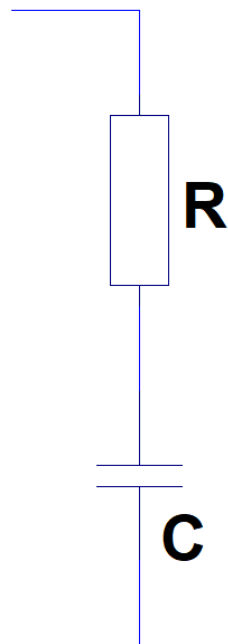
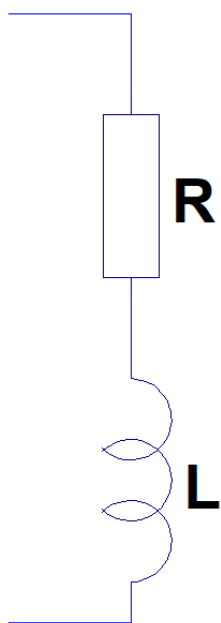
$$i_c(t) = C \frac{du_c}{dt}$$

- Tehát:

$$i_c(t) = C \frac{d\hat{U}_g \sin(\omega t)}{dt} = \hat{U}_g C \omega \cos(\omega t) \longrightarrow \text{A kondenzátor árama } 90^\circ\text{-al siet a feszültséghez képest!}$$

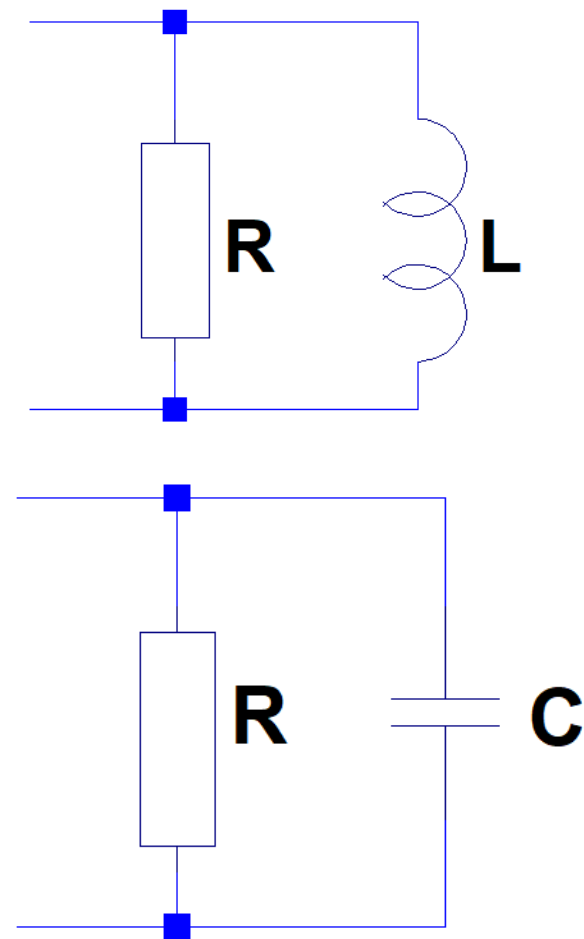


Összetett váltakozó áramú körök



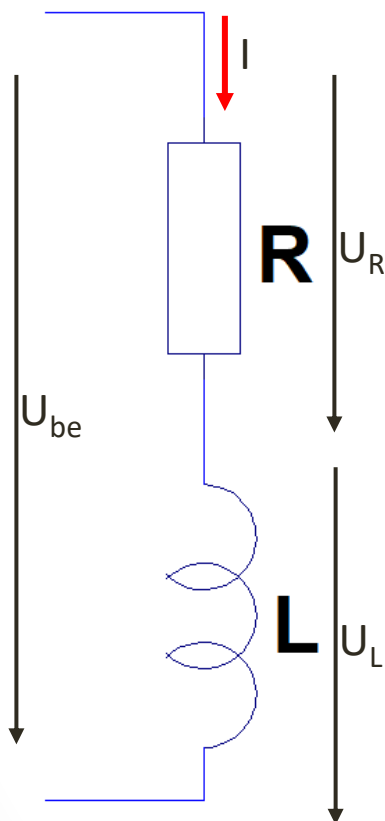
Soros áramkörök

(valóságos tekercs és
kondenzátor)



Párhuzamos áramkörök

Soros RL



- A tekercs impedanciája:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

- Az ellenállás feszültsége:

$$U_R = IR$$

- A tekercs feszültsége:

$$U_L = X_L I$$

- A feszültséget négyzetesen összegezzük:

$$U_{be}^2 = U_R^2 + U_L^2$$

$$U_{be} = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

- Az eredő impedancia (az előző képletből):

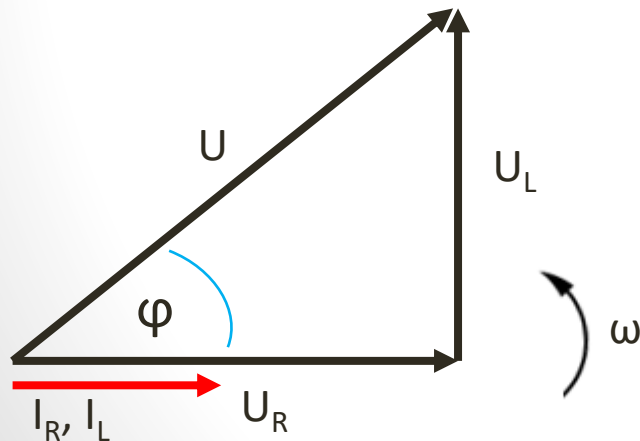
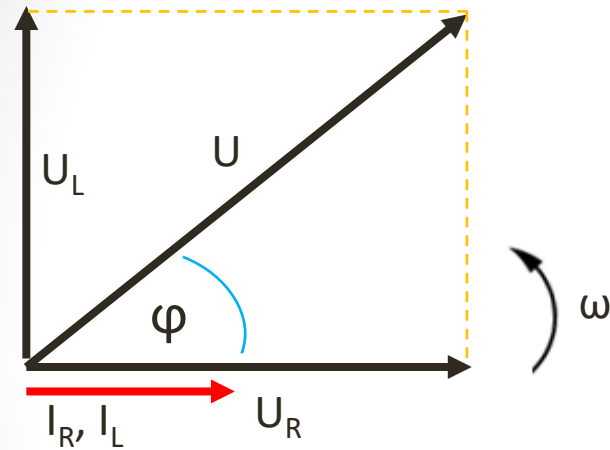
$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

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

- Határfrekvencia ($R = X_L$) (lsd. később):

$$f_h = \frac{R}{2\pi L}$$

Miért összegzünk négyzetesen?



- Mivel soros áramkörrel beszélünk az áram közös lesz mindkét alkatrészben (párhuzamos esetben a feszültség lesz azonos)
- A tekercs feszültsége a közös áramhoz képest 90° -ot siet, így merőleges lesz az ellenállás feszültségvektorára
- Ha felrajzoljuk az egyes komponensek feszültség vektorait, és ezeket összegezzük – a vektorok összegzésének szabályai szerint – akkor látható, hogy a két mennyiséget négyzetesen kell összeadnunk (Pitagorasz-tétel), vagyis:

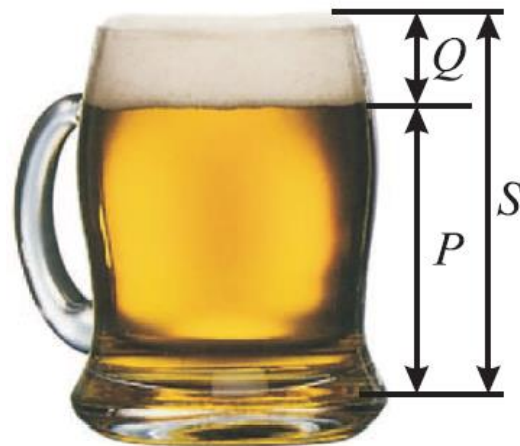
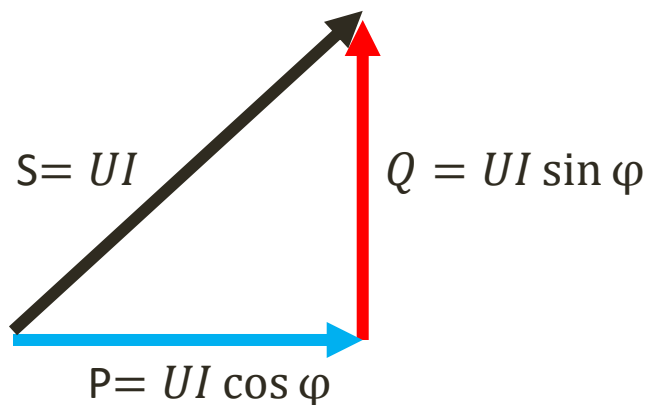
$$U_{be}^2 = U_R^2 + U_L^2$$

- A kapcsolat fázisszöge (φ) kiszámítható például (a sin és cos függvények szintén jó eredményt adnak):

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{u_L}{u_R} = \frac{X_L}{R}$$

Váltakozó áramú teljesítmény

- Egyenáramú körök estén a villamos teljesítmény a $P = UI$ képlettel számolható ki
- Ha tisztán Ohm-os (pl. ellenállás) terhelésünk lenne, akkor ez helyes értéket adna, de a gyakorlatban a tisztán Ohm-os terhelés ritka
- Ha a terhelésünk kapacitív vagy induktív jellegű, fáziskülönbségek léphetnek fel: A reaktív elemek meddő teljesítményt generálnak.



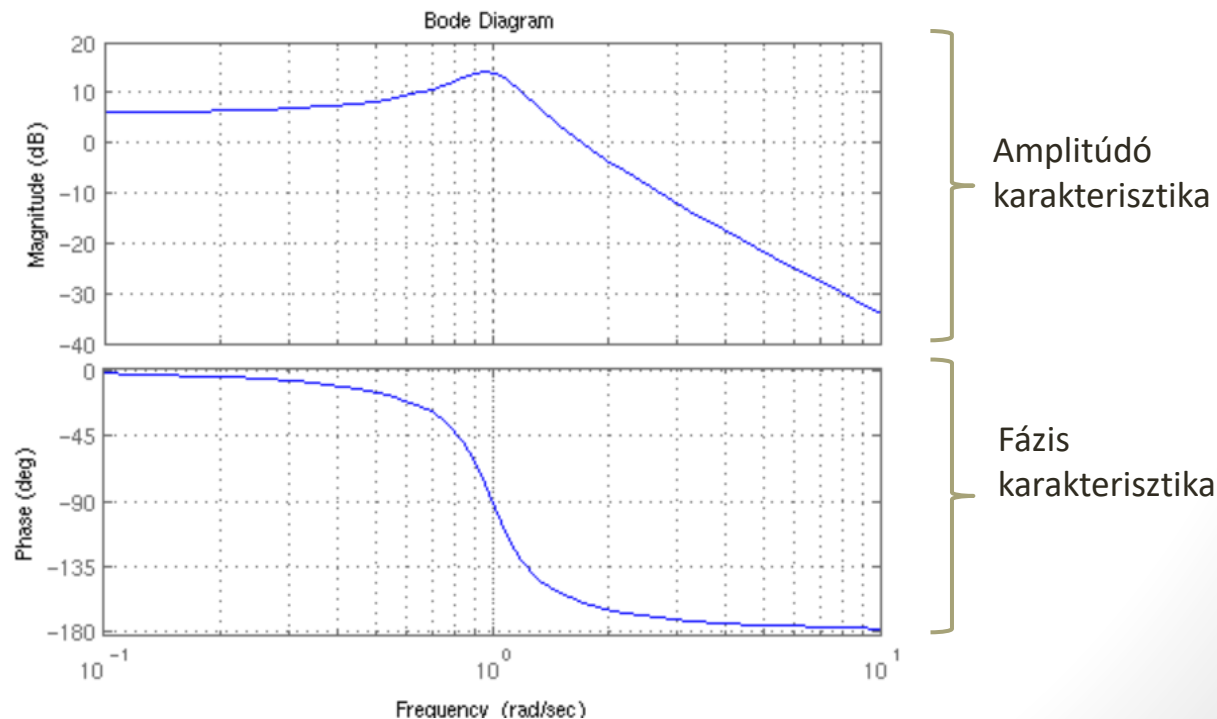
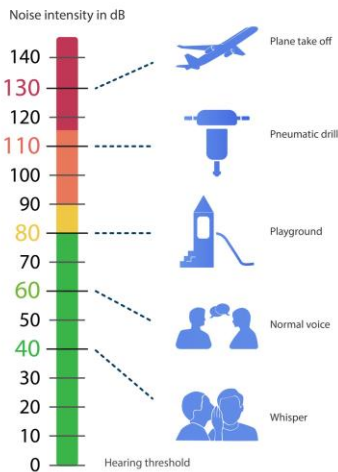
Látszólagos teljesítmény: $S = UI$ mértékegysége: [VA]

Hatásos teljesítmény: $P = UI \cos \varphi$ mértékegysége [W]

Meddő teljesítmény: $Q = UI \sin \varphi$ mértékegysége [VAr]

Átviteli karakterisztika ábrázolása (Bode-diagram)

- A Bode-diagram minden esetben egy AMPLITÚDÓ és egy FÁZIS karakterisztikából áll
- A vízszintes tengelyre a frekvencia kerül, mely logaritmikusan van ábrázolva. Ennek oka, hogy így sokkal nagyobb tartomány ábrázolható, átfogható.
- Az amplitúdó karakterisztika függőleges tengelyén az erősítés került ábrázolásra, legtöbbször dB-ben:

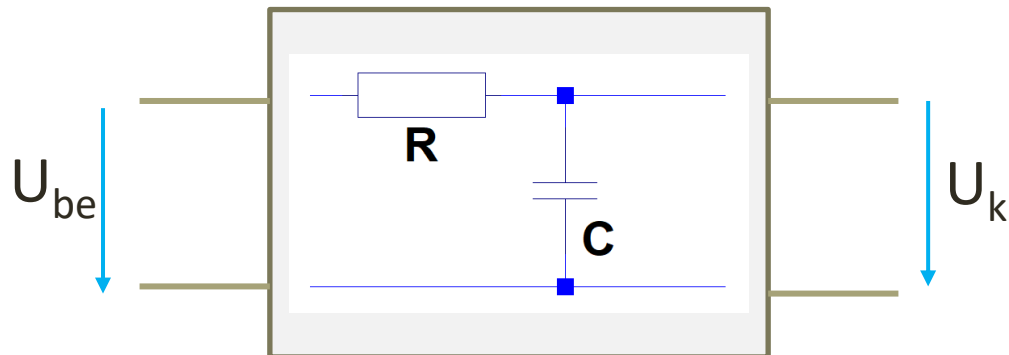


Átviteli karakterisztika

- Ha véges sok frekvencia pontban megvizsgáljuk a fázis és amplitúdó értékeket, az átviteli karakterisztikához jutunk
- Az átviteli függvény leírja a rendszer viselkedését, gyakorlatilag azt vizsgáljuk meg, hogy adott gerjesztésre hogyan reagál a rendszer:

$$H = \frac{u_{ki}}{u_{be}}$$

- Vegyük példának a soros RC áramkört! R legyen $1k\Omega$ és C legyen $100nF$. Vizsgáljuk meg néhány frekvencia pontban! A bemeneti feszültség legyen $1V$ amplitudójú!



Átviteli karakterisztika

- Tudjuk, hogy az áramkör egy frekvenciafüggő feszültségosztó, tehát (visszagondolva az egyenáramú feszültségosztóra):

$$H = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{X_C}{Z}$$

- X_C kiszámítható:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

- Az átviteli függvény logaritmizált értéke dB-ben:

$$h = 20\log(H)$$

- Vizsgáljuk meg részletesen 1kHz-en:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi 100\text{Hz} 100\text{nF}} = 1,5915\text{k}\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{1^2\text{k}\Omega + 1,5915^2\text{k}\Omega} = 1,87\text{k}\Omega$$

$$H = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{X_C}{Z} = \frac{1,5915\text{k}\Omega}{1,87\text{k}\Omega} = 0,846$$

$$h = 20\log(H) = 20\log(0,61414) = -1,44\text{dB}$$

$$\varphi = -\tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right) = -\tan^{-1}\left(\frac{1\text{k}\Omega}{1,5915\text{k}\Omega}\right) = -32,2^\circ$$

Átviteli karakterisztika

A kiszámított paraméterek néhány további frekvencián:

R	1000					
C	1,00E-07					
	f [Hz]	Xc [Ω]	Z [Ω]	H	H [dB]	φ [°]
	1	1,59E+06	1591597	1,00E+00	-1,7E-06	-3,60E-02
	5	3,18E+05	318320,8	1,00E+00	-4,3E-05	-1,80E-01
	10	1,59E+05	159162,8	1,00E+00	-0,00017	-3,60E-01
	50	3,18E+04	31847,63	1,00E+00	-0,00428	-1,80E+00
	100	1,59E+04	15947,35	9,98E-01	-0,01711	-3,60E+00
	500	3,18E+03	3336,572	9,54E-01	-0,40875	-1,74E+01
	1000	1,59E+03	1879,675	8,47E-01	-1,445	-3,21E+01
	5000	3,18E+02	1049,441	3,03E-01	-10,3619	-7,23E+01
	10000	1,59E+02	1012,587	1,57E-01	-16,072	-8,10E+01
	50000	3,18E+01	1000,507	3,18E-02	-29,9471	-8,82E+01
	100000	1,59E+01	1000,127	1,59E-02	-35,9644	-8,91E+01
	500000	3,18E+00	1000,005	3,18E-03	-49,9428	-8,98E+01
	1000000	1,59E+00	1000,001	1,59E-03	-55,9634	-8,99E+01
	5000000	3,18E-01	1000	3,18E-04	-69,9427	-9,00E+01
	10000000	1,59E-01	1000	1,59E-04	-75,9633	-9,00E+01
	50000000	3,18E-02	1000	3,18E-05	-89,9427	-9,00E+01
	100000000	1,59E-02	1000	1,59E-05	-95,9633	-9,00E+01

Megjegyzés: A számításból látszik, hogy a kondenzátor reaktanciája egyre kisebb a frekvencia növekedésével.

Átviteli karakterisztika, határfrekvencia

- Egy ohmos ellenállásból és egy reaktanciából álló hálózat esetén mindig találunk egy olyan frekvenciát, ahol az ellenállás és a reaktancia értéke azonos, vagyis $R = X$. Ezt a frekvenciát határfrekvenciának nevezzük.

- Példaként számítsuk ki a soros RC határfrekvenciáját!

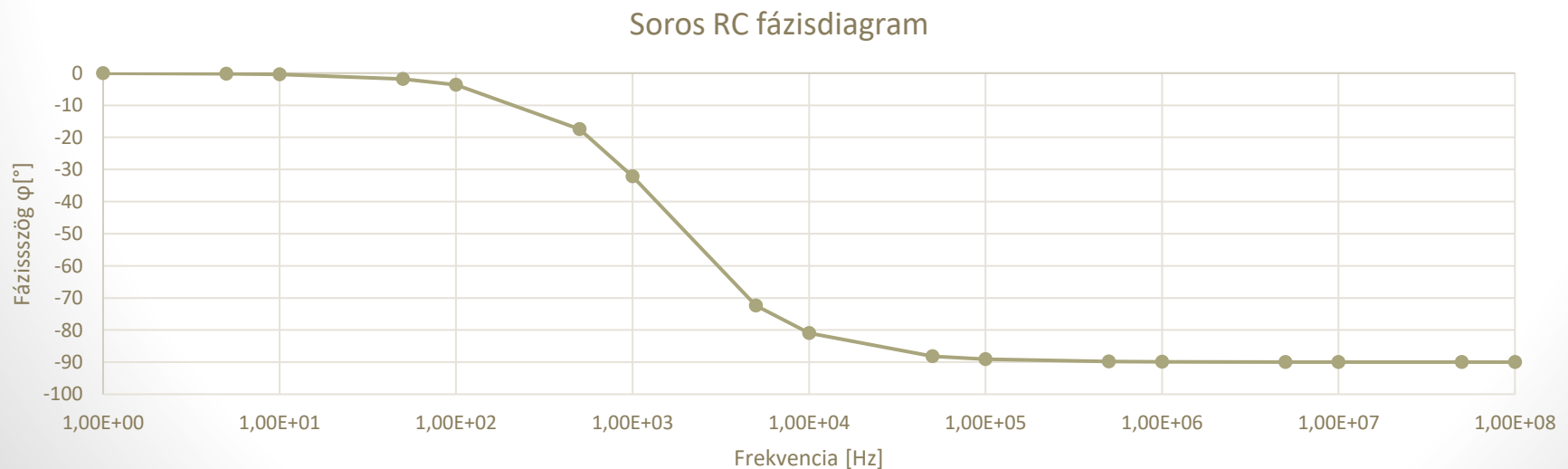
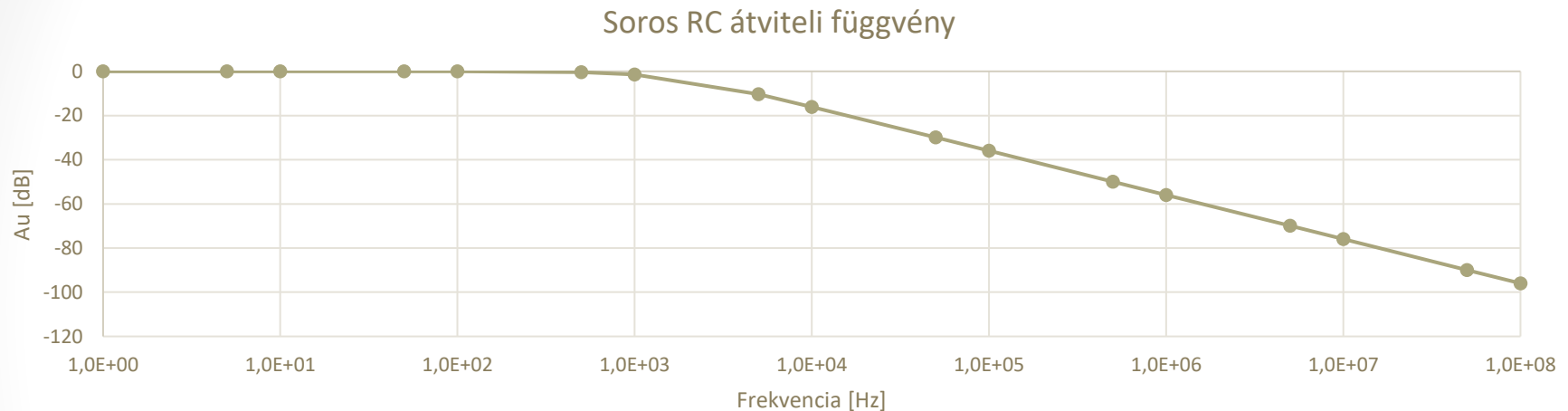
$$R = X_C$$
$$R = \frac{1}{2\pi f C}$$

- Fejezzük ki f -et!

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

- Ezen a frekvencián a sávközépi erősítés pontosan -3dB-el csökken! $-3dB = 0,707$

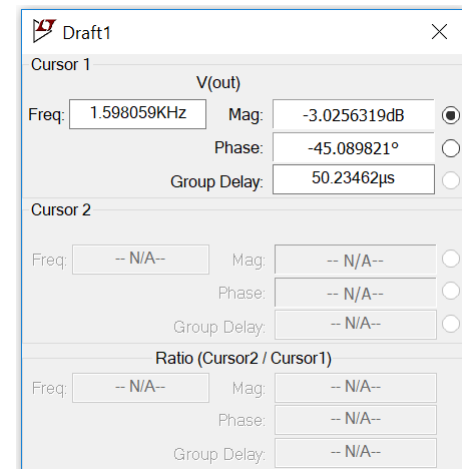
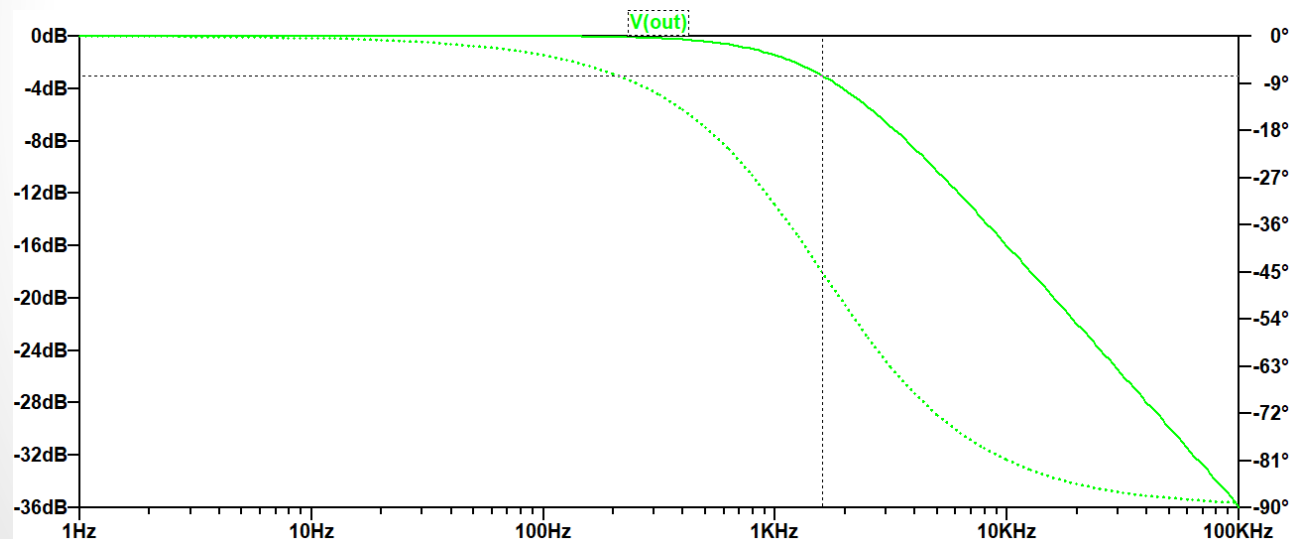
Átviteli karakterisztika ábrázolása



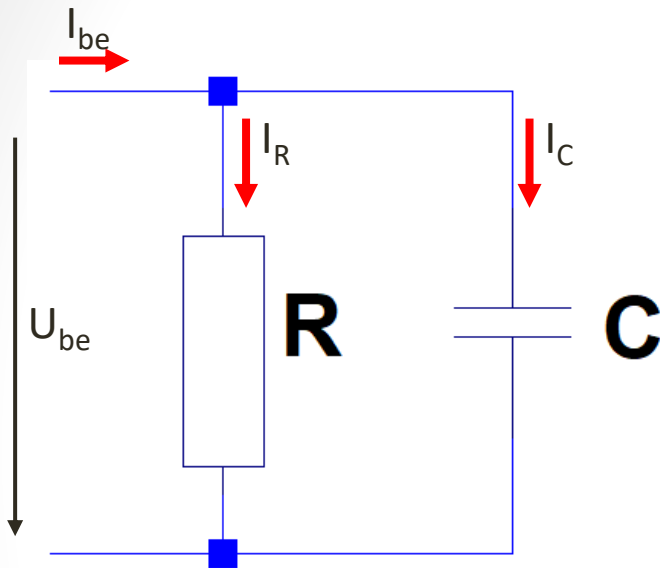
Átviteli paraméter ábrázolása szoftver segítségével

- A példánk legyen a következő: $R=1k\Omega$, $C=100nF$.
- A határfrekvencia:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 1k\Omega 100nF} = 1591,55Hz$$



Párhuzamos RC



- Mivel az áramkör párhuzamos

$$U_R = U_C$$

- A kondenzátor impedanciája:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

- Az ellenállás árama:

$$I_R = \frac{U_{be}}{R}$$

- A kondenzátor árama:

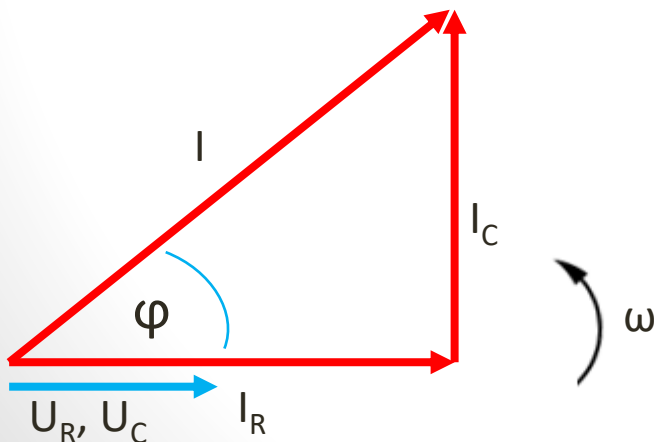
$$I_C = \frac{U_{be}}{X_C}$$

- A bemeneti áram:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

- Az eredő impedancia

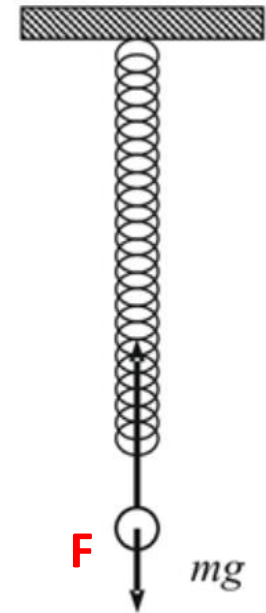
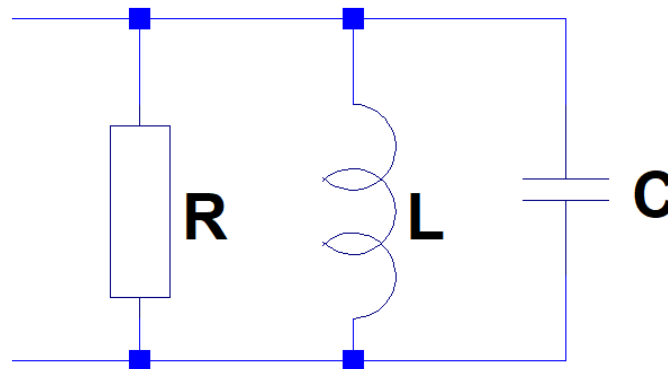
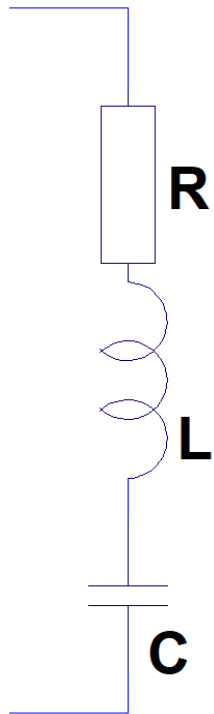
$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$$



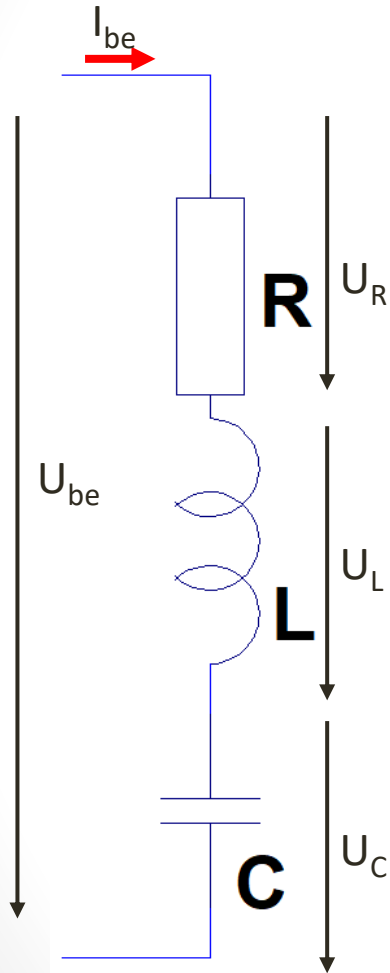


Rezgőkörök

- Olyan áramkörök melyek külső energiaközlés hatására rezgésbe (oszillációba hozhatók) (lásd. rugóra akasztott test (mechanika)), rezgőköröknek nevezünk.
- Az eddig megismert alkatrészek segítségével soros illetve párhuzamos rezgőköröket tudunk kialakítani



Soros rezgőkör



- Eredő feszültség:

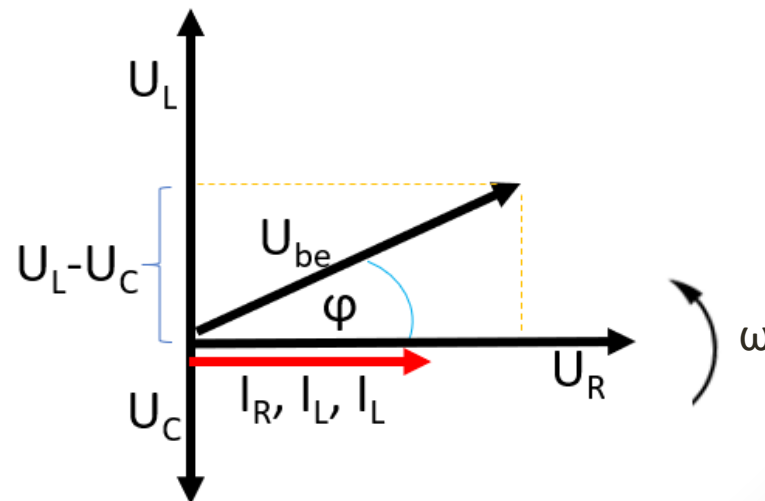
$$U_{be}^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

- Impedancia:

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

- Az áramkör rezonancia frekvenciája ($X_L = X_C$)
Thomson képlet:

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



Összefoglalás

Soros RC

$$U_{be} = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

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

Soros RL

$$U_{be} = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

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

Soros RLC

$$U_{be}^2 = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

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

Párhuzamos RC

$$I_{be} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

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

Párhuzamos RL

$$I_{be} = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

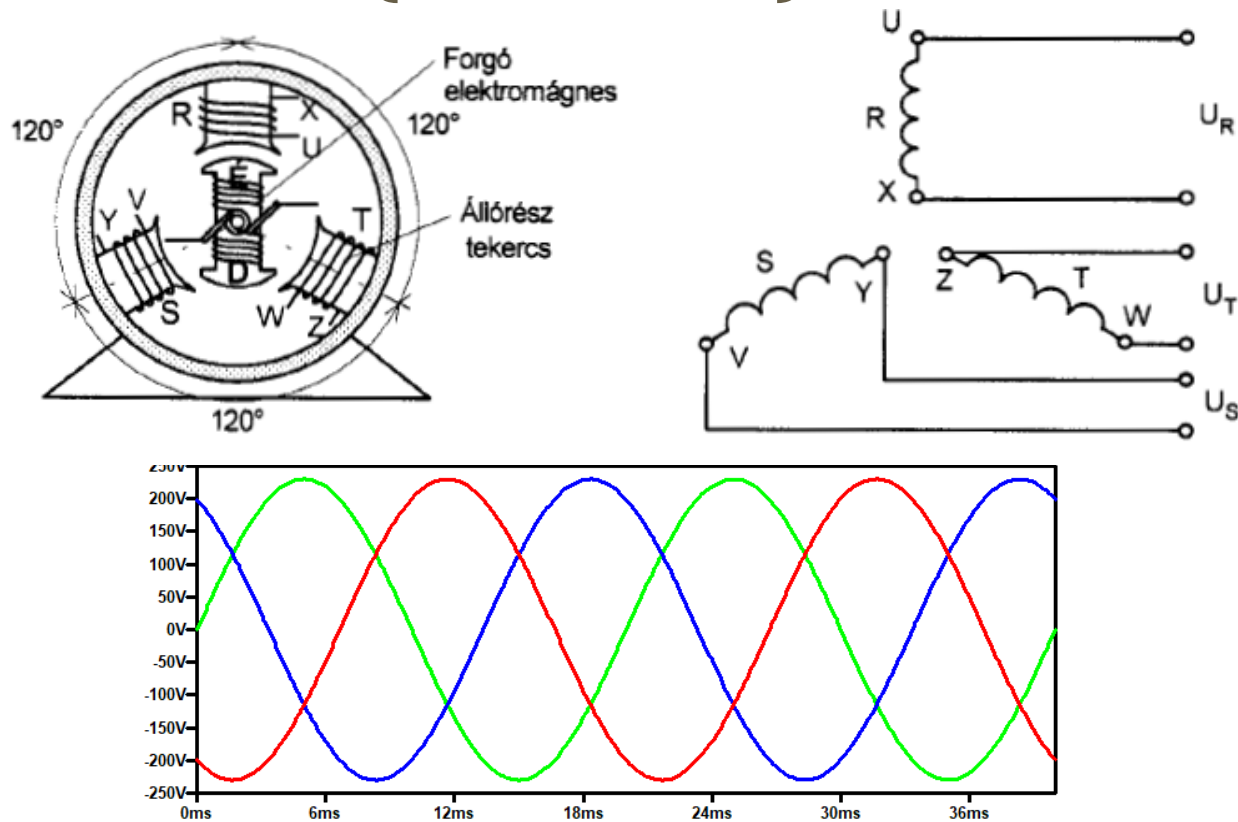
$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$$

Párhuzamos RLC

$$I_{be}^2 = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

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

Többfázisú hálózatok –energiatermelés (bevezetés)



- Energia előállítása → szinkron gépek (3 fázisú)
- Fázistekercsek (R, S, T)
 - Azonos nagyságú (230V), de fázisban eltérő feszültségek
 - A feszültségek összege minden pillanatban zérus
- 6 vezeték?

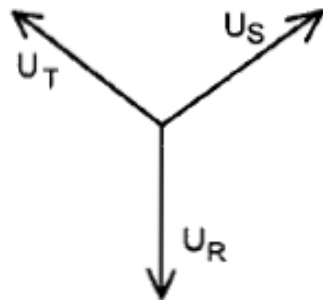
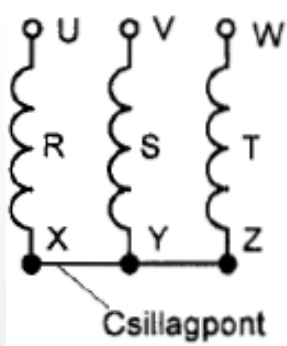
Többfázisú hálózatok - láncolás

- A $\sum U = 0$ feltétel miatt a feszültségek összekapcsolhatók, amit láncolásnak hívunk;

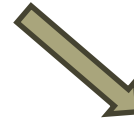


Csillagkapcsolás

- 3x230V, illetve 3x400V

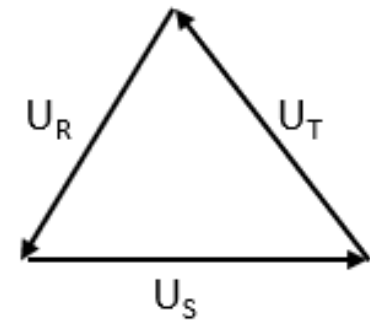
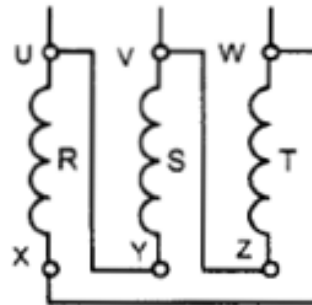


$$U_f = \frac{U_v}{\sqrt{3}}$$
$$I_f = I_v$$



Deltakapcsolás

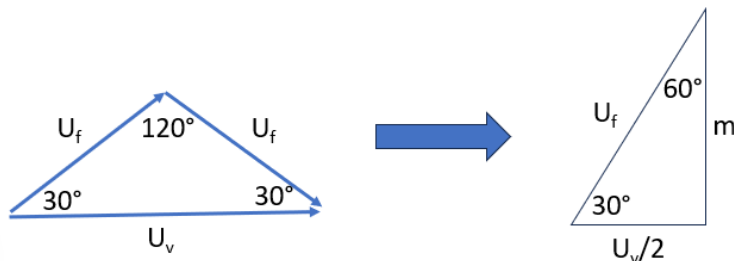
- 3x230V



$$U_f = U_v$$
$$I_f = \frac{I_v}{\sqrt{3}}$$

Csillagkapcsolás: vonali feszültség, fázisfeszültség

- Fázis feszültség (generátor tekercseiben keletkező feszültség), vonali feszültség (egyes fázisok között fellépő feszültség)
- Magyarországon előbbi $U_f = 230V$, míg utóbbi $U_v = 400V$

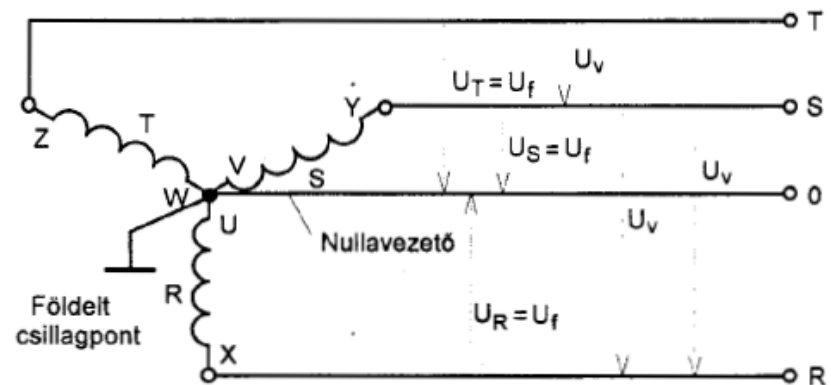


$$\cos(30) = \frac{U_v/2}{U_f}$$

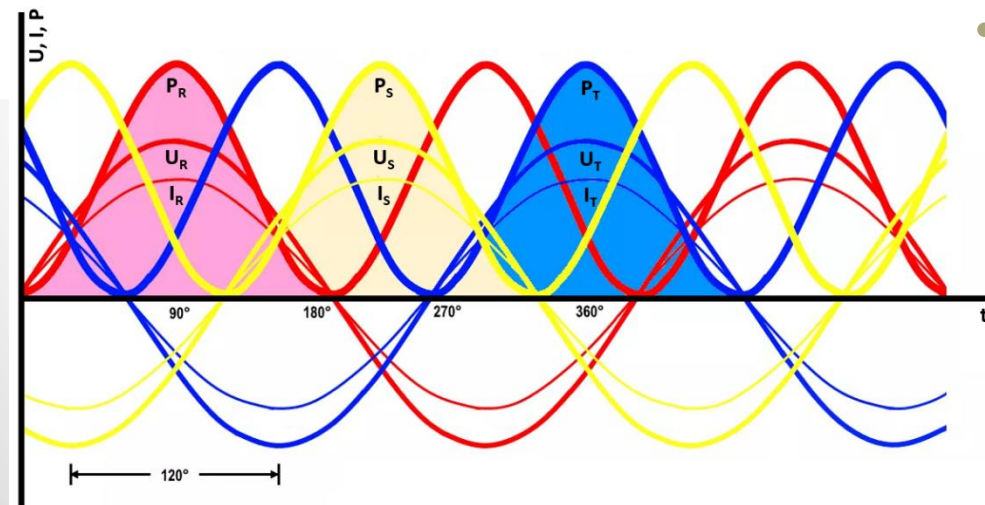
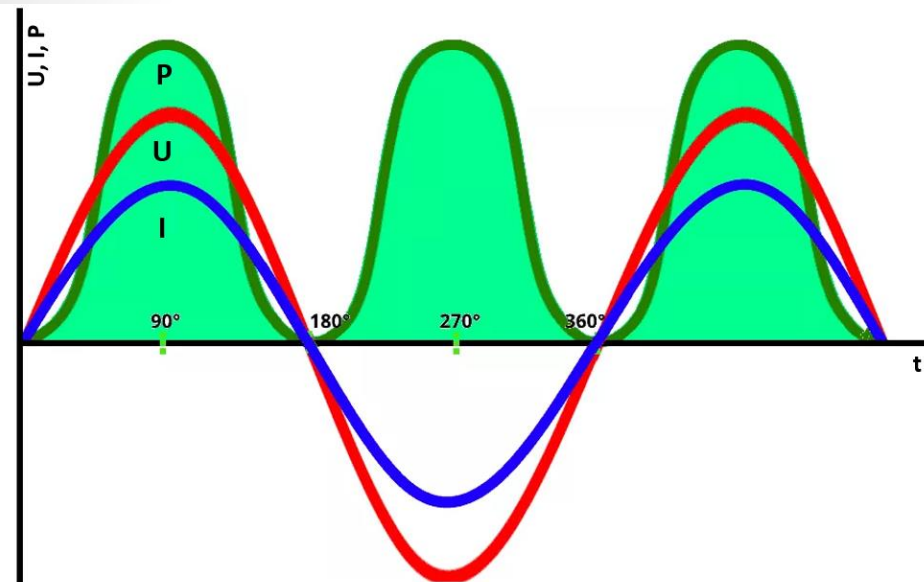
$$U_v/2 = \cos(30)U_f = 0,866 \cdot 230V = 200V$$

$$\text{Innen: } U_v = 400V$$

$$\text{Továbbá: } U_v = \sqrt{3}U_f$$



3-fázisú teljesítmény



- Az összteljesítményt két módon számíthatjuk ki (szimmetrikus terhelés esetén):
 - Összegezzük az egyes fázisok teljesítményét, azaz: $P = P_R + P_S + P_T$, ahol $P_x = U_f I_f \cos \varphi$
 - A vonali feszültségből: $\sqrt{3} U_v I_v \cos \varphi$
- Szimmetrikus háromfázisú rendszer esetén a vonali adatokból számított teljesítmények $\sqrt{3}$ -szorosát kell venni!