

# Tekercsek

## Induktivitás

Tekercs: induktivitást megvalósító áramköri elem.

Az induktivitás definíciója:

$$u_i = -N \cdot d\Phi/dt = -N \cdot d\Phi/di \cdot di/dt = -L \cdot di/dt$$

Innen:

$$L = N \cdot d\Phi/di$$

Ezt integrálva:

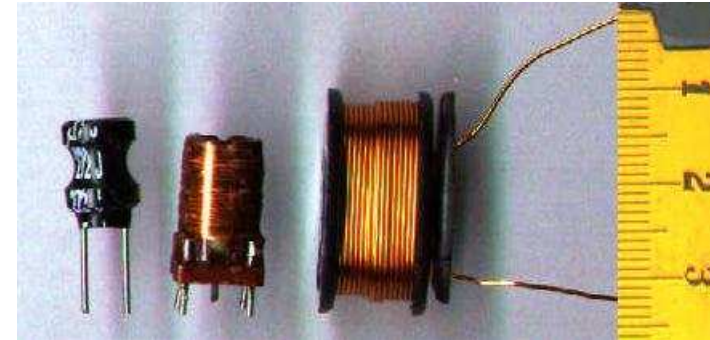
$$L = N \cdot \Phi/I$$

A tekercs induktivitása a gerjesztési törvény alapján számítható: a gerjesztésből meghatározható a mágneses térerősség a tekercs belsejében a gerjesztő áram függvényében. Ebből megkapható az indukció. Az indukció és a tekercs keresztmetszetének szorzata a fluxus. A kapott eredménynek a gerjesztő áram szerinti deriváltja az induktivitás (önindukciós tényező).

*Vasmagos tekercs induktivitása:*

$$L = \mu_0 \mu_r N^2 A / l$$

ahol  $N$  a menetszám,  $A$  a tekercs keresztmetszete,  $l$  a tekercs hossza.



*Induktivitás állandó:*

Katalógus adat vasmagokra, tartalmazza a geometriai méreteket:

$$A_L = \mu_0 \mu_r A / l$$

Az induktivitás egyszerűen meghatározható

$$L = A_L N^2$$

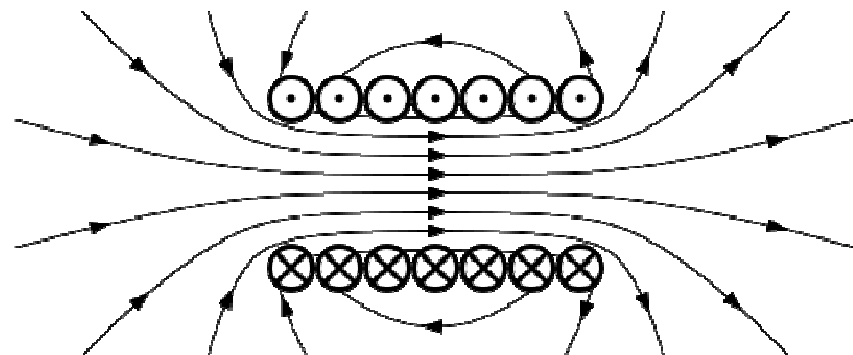
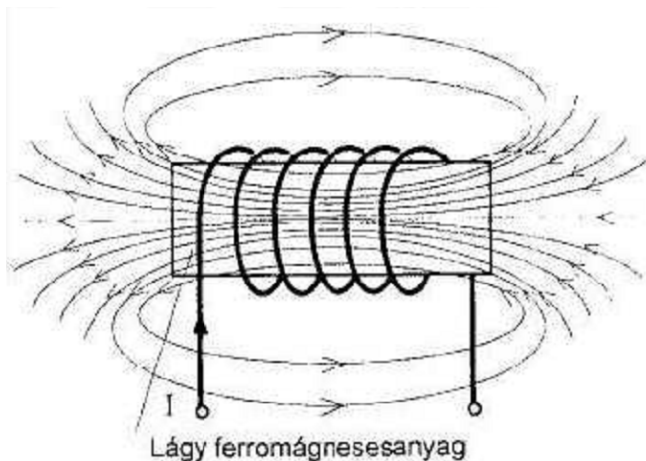
Mivel a mágnesezési görbe nem lineáris, a vasmagos tekercs induktivitása függ az indukciótól.

*Légmagos tekercs induktivitása:*

Légmagos (para- vagy diamágneses magos) tekercs esetében az indukció szóródik. Ennek figyelembe vételére bevezetnek egy szóródási tényezőt (K).

Az induktivitás:

$$L = K \mu_0 \mu_r N^2 A / l$$



*Szóródási tényező:*

Egysoros tekercsnél

$$K = (1 + 0,45D/l - 0,005D^2/l^2)^{-1}$$

ahol  $D$  a tekercselés átmérője,  $l$  a tekercs hossza.

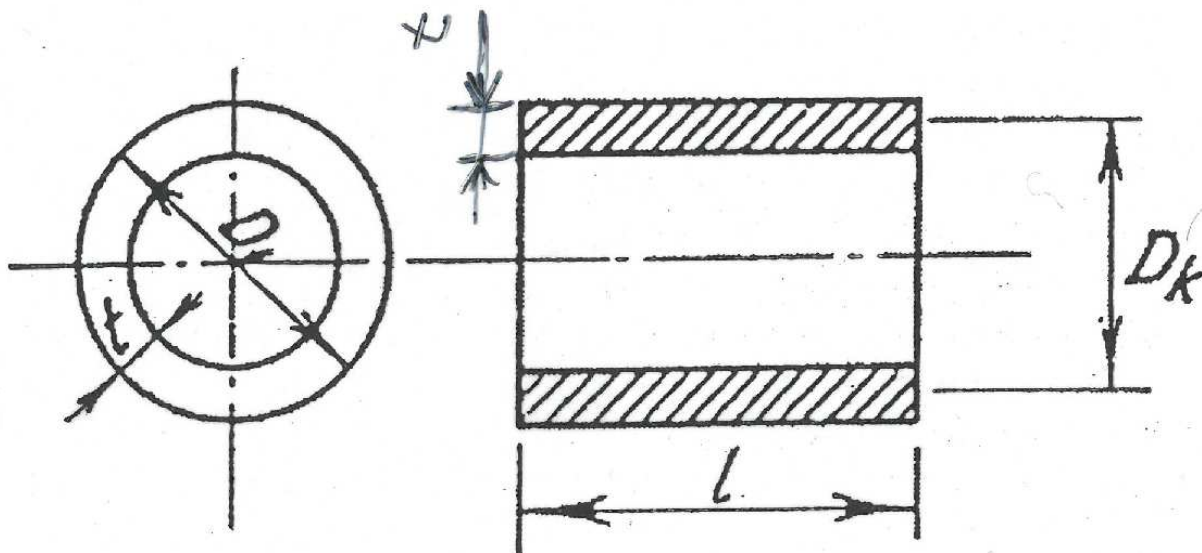
Végtelen hosszú egysoros tekercs esetében a szóródási tényező értéke 1.

Többsoros tekercsnél:

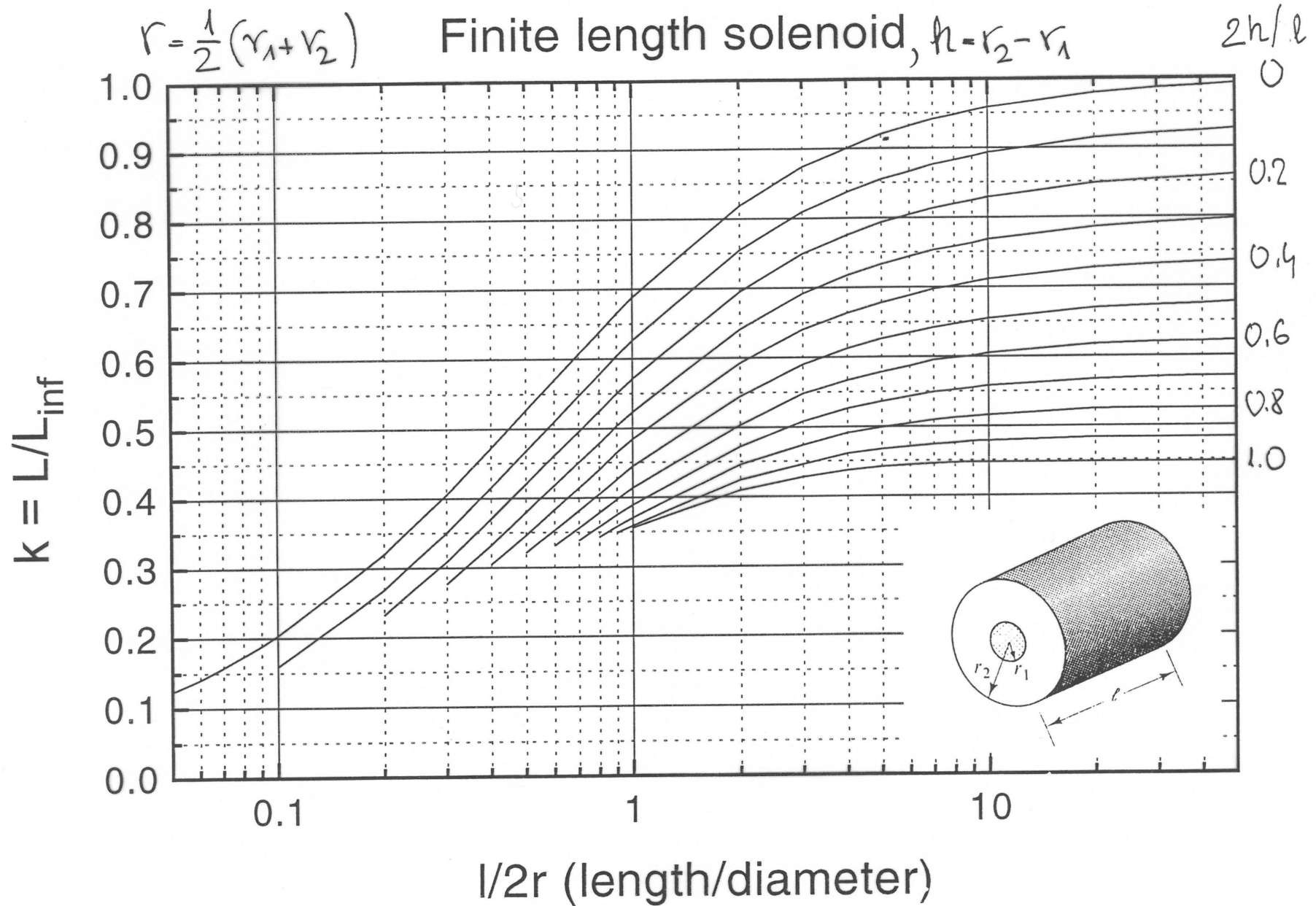
$$K = (1 + 0,45D_k/l + 0,64t/D_k + 0,84t/l)^{-1}$$

ahol  $D_k$  a tekercselés átlagos átmérője,  $t$  a tekercselés vastagsága,  $l$  a tekercs hossza.

$D/l \leq 5$  esetén a hiba kisebb 5%-nál.



Szóródási tényező:



### *Koaxiális kábel induktivitása*

$$L = \mu_0 \mu_r l / (2\pi) \cdot \ln(R_k / R_b)$$

ahol  $l$  a kábel hossza,  $R_k$  a külső,  $R_b$  a belső ér sugara.

### *Kettős vezeték induktivitása*

$$L = \mu_0 \mu_r l / (\pi) \cdot \ln(d / 2R_0)$$

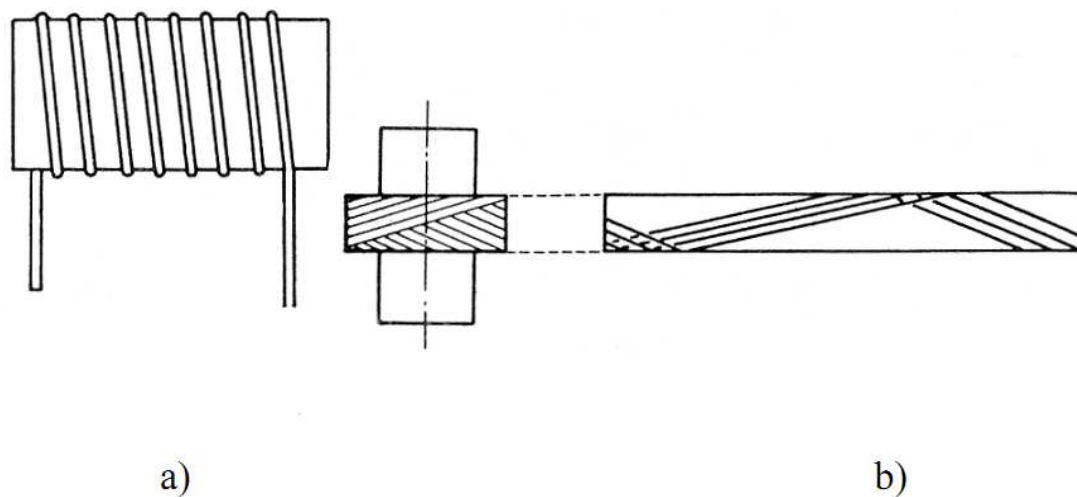
ahol  $l$  a vizsgált szakasz hossza,  $d$  a vezetékek közötti távolság,  $R_0$  a vezeték sugara.

### *Önkapacitás*

A tekercsnek jelentős parazita kapacitása van (önkapacitás): a feszültségkülönbség a menetek között sztatikus elektromos teret hoz létre.

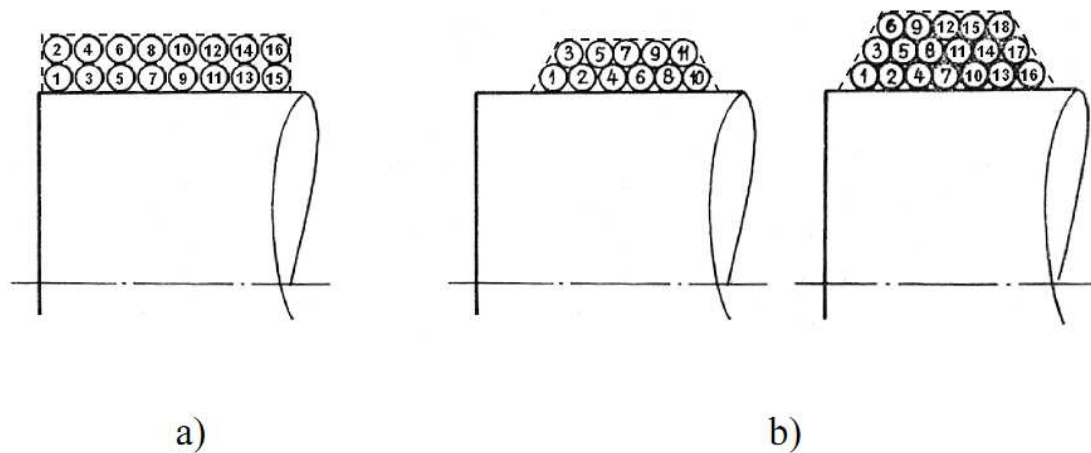
Csökkentés: selyemszigetelésű huzal, sorszigetelő fóliák, méhsejt (kereszt-) tekercselés (kis érintkező felület), réteges és lépcsős tekercselés (az egymással érintkező menetek között kicsi a feszültség különbség).

# Tekerceselés



4.16. ábra

a) Csévetesten elhelyezett egysoros tekerces b) Kereszttekerceselés



4.17. ábra

Tekerceselési formák: a) réteges b) két- és háromsoros lépcsős tekerceselés

## Reaktancia, admittancia

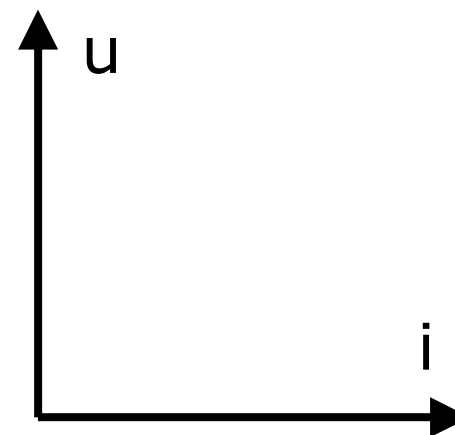
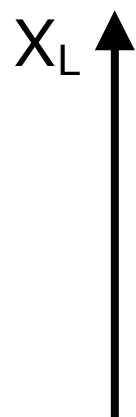
A tekercs reaktanciája:

$$X_L = j\omega L$$

Az admittancia hasonló módon:

$$Y_L = 1/X_L = -j/(\omega L)$$

Vektoriálisan ábrázolva a komplex számsíkon:



Ideális (veszteségmentes) esetben a feszültség  $90^\circ$ -ot siet az áramhoz képest.

A tekercsben tárolt energia:

$$W = 1/2 \cdot \Phi \Theta = 1/2 \cdot LI^2, \text{ mert } \Phi = LI/N \text{ és } \Theta = NI$$

(Analóg a kondenzátorban tárolt energia képletével.)

## Veszteségek

Légmagos tekercs:

- rézveszteség (ohmos ellenállás – szkinhatás növeli)
- dielektromos veszteség (szigetelés polarizációja)

Vasmagos tekercsben még vasveszteségek:

- hiszterézis veszteség (vasmag polarizációja)
- örvényáramú veszteség
- giromágneses veszteség (saját mágneses momentumok precessziója - csak nagyfrekvencián (GHz))
- maradék (utóhatás) veszteség (a domének késve követik az áramváltozást)

A veszteségek leírására gyakran a relatív permeabilitást komplex alakban adják meg:

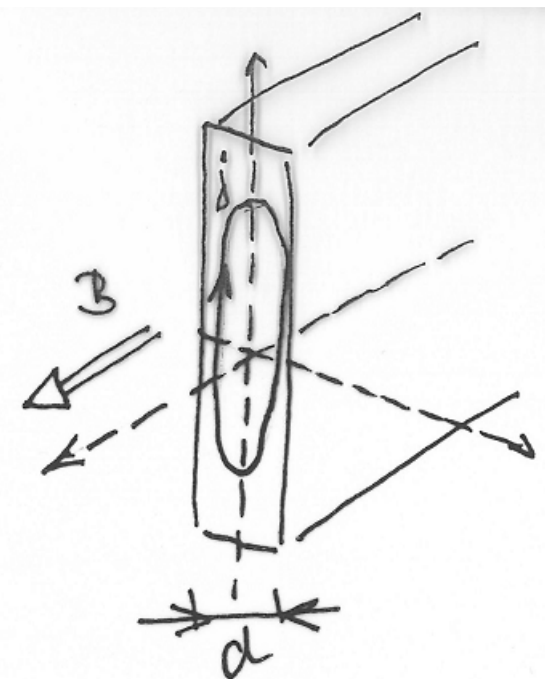
$$\mu^* = \mu_v + j\mu_k$$

ahol  $\mu_v$  a valós,  $\mu_k$  a képzetes, veszteségeket leíró permeabilitás.

Az *örvényáramok* további hátránya, hogy a mágneses tér változása ellen hatnak. Védekezés: lemezelt vagy porvasmag, ferrit vasmag. A teljesítmény:

$$P_{\text{örv}} \sim d^2 / \rho$$

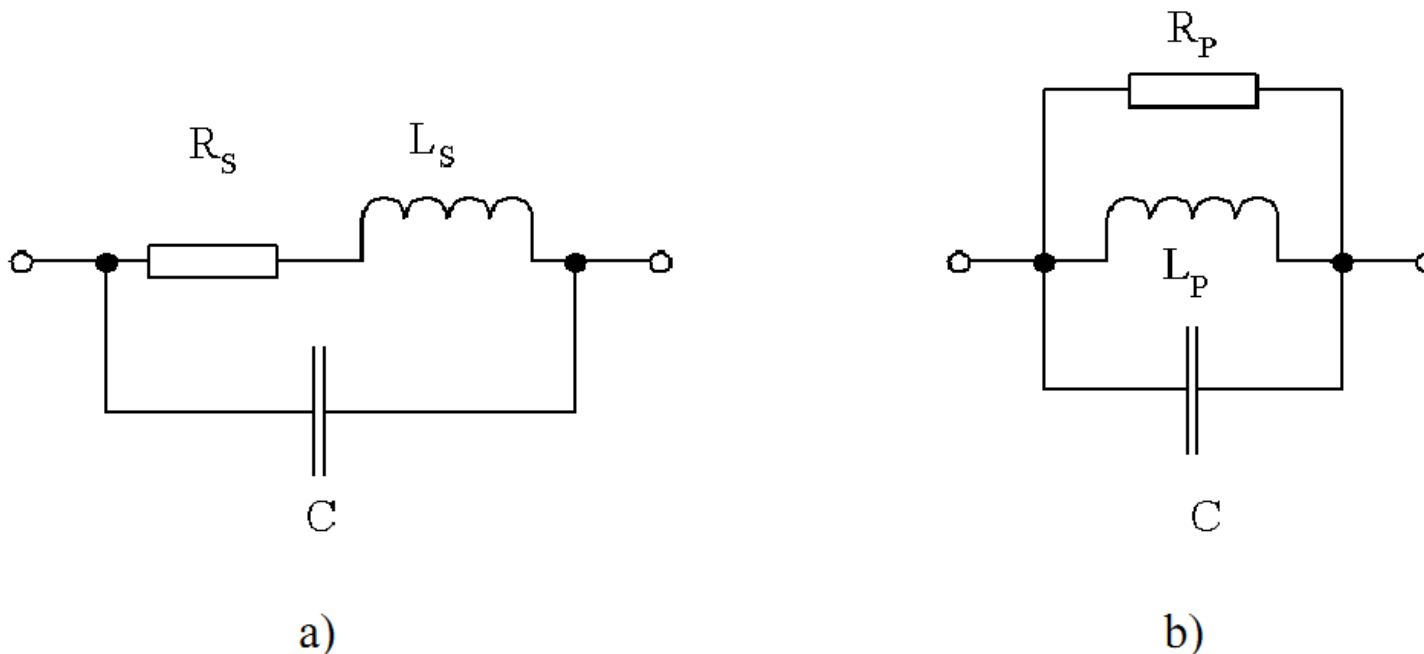
ahol  $d$  a vasmag (lemez) vastagsága,  $\rho$  a fajlagos ellenállása.





# Helyettesítő kapcsolások

*Nagyfrekvenciás (teljes) helyettesítő kapcsolat*



4.15. ábra

a) Soros helyettesítő kapcsolat b) Párhuzamos helyettesítő kapcsolat

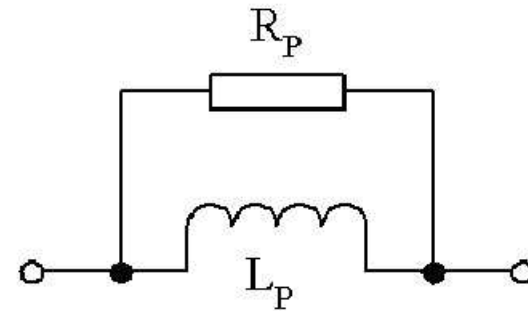
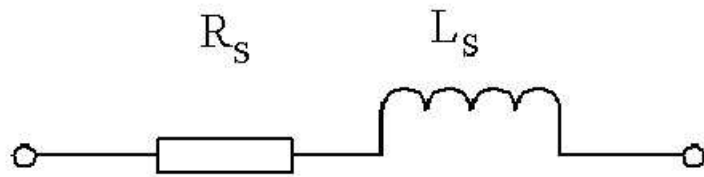
A frekvencia növelésével a kapacitás hatása csökkenti a látszólagos induktivitást ( $L_l$ ):

$$L_l = L / (1 - \omega_r^2 LC)$$

ahol  $\omega_r$  a rezonancia körfrekvencia. A rezonancia frekvencia fölött a tekercs kapacitásként viselkedik. A két helyettesítő kapcsolat ekvivalens egymással.

## *Egyszerűsített helyettesítő kapcsolások*

Soros és párhuzamos



Ez a két helyettesítő kapcsolat is ekvivalens egymással, ami az impedanciák és a veszteségi tényezők azonosságát jelenti.

Az impedanciák:

$$Z_s = R_s + j\omega L$$

$$Z_p = \frac{\omega^2 R_p L_p^2}{R_p^2 + \omega^2 L_p^2} + j\omega R_p^2 L_p / (R_p^2 + \omega^2 L_p^2)$$

## *Veszteségi tényező*

A veszteségi tényező a valós (veszteségi, disszipált) és a meddő teljesítmény aránya.

Soros helyettesítő kapcsolás esetén:

$$P_v = I^2 R_s$$

$$P_m = I^2 \omega L_s$$

A veszteségi tényező:

$$D_s = P_v / P_m = R_s / \omega L_s$$

Párhuzamos helyettesítő kapcsolás esetén:

$$P_v = U^2 / R_p$$

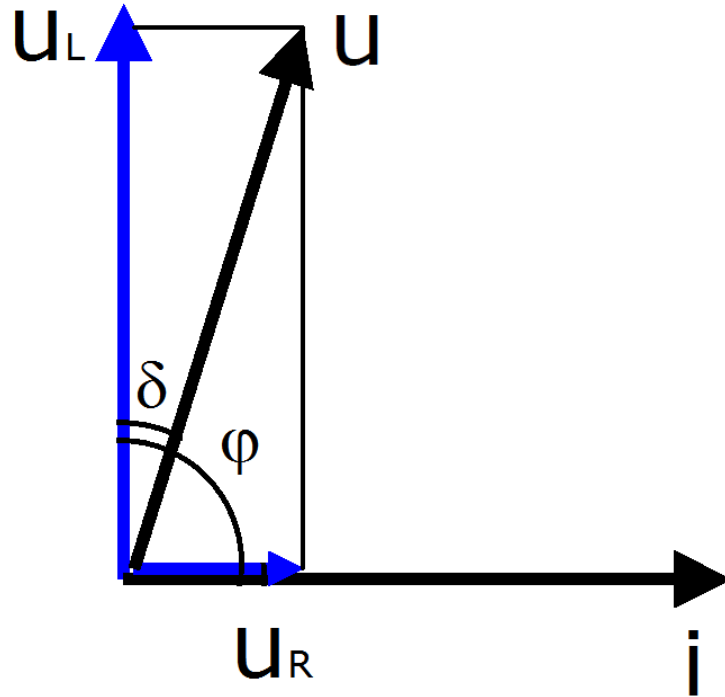
$$P_m = U^2 / \omega L_p$$

A veszteségi tényező:

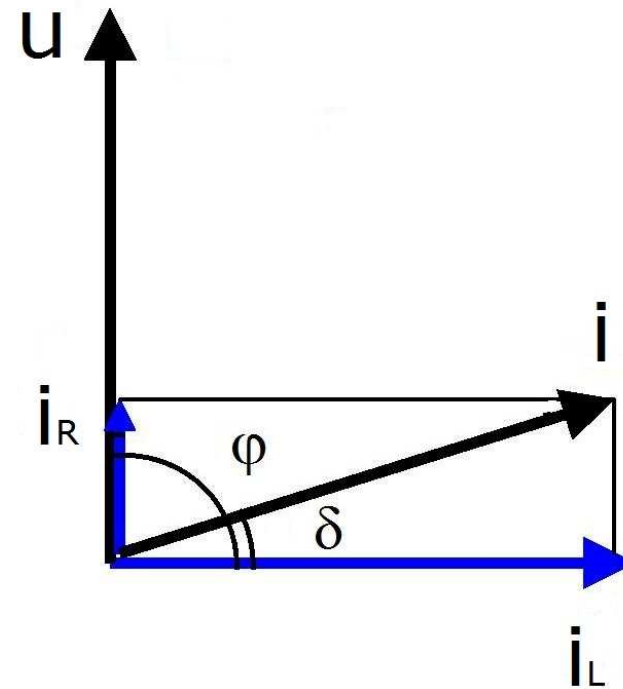
$$D_s = P_v / P_m = \omega L_p / R_p$$

## Veszteségi szög

A fázisszög kisebb  $90^\circ$ -nál. A kiegészítő  $\delta$  szög a veszteségi szög.  $D = \text{tg}\delta$ .



Soros



Párhuzamos

## Jósági tényező

$$Q = 1/D = 1/\text{tg}\delta$$

## Légréses vasmagú tekercsek

Gyakran dia- vagy paramágneses betétet (légrést) tesznek a mágnesbe ( $\mu_r=1$ ). Az eredő permeabilitást effektív vagy látszólagos vagy nyírt permeabilitásnak nevezik. Értéke:

$$\mu_{\text{reff}} = \mu_r / (1 + \mu_r \delta / l_v),$$

ahol  $\delta$  a légrés,  $l_v$  a vas hossza.

Ha  $\mu_r \delta / l_v \gg 1$ , akkor

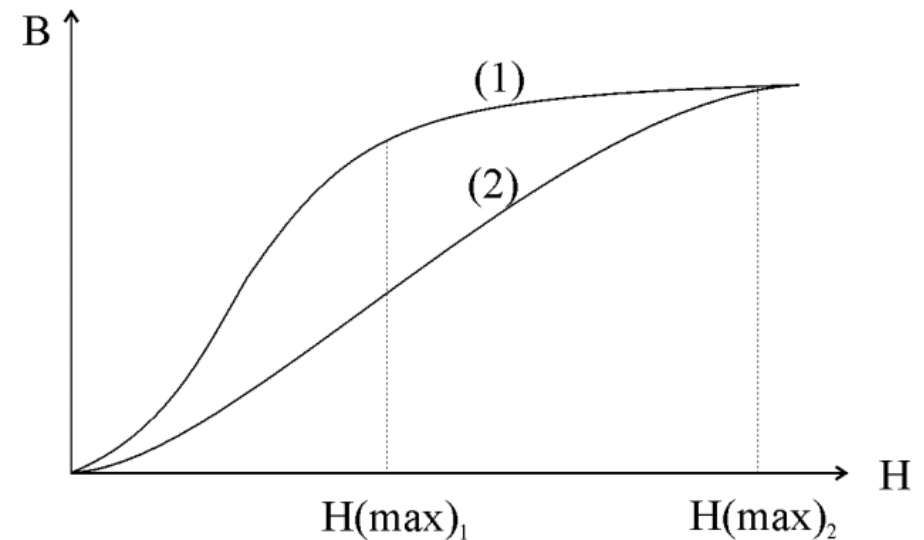
$$\mu_{\text{reff}} = l_v / \delta$$

A nyírt permeabilitást csak a vas geometriai méretei határozzák meg.

Légrés előnyei:

- kisebb hőfokfüggés
- kisebb öregedés (dezakkomodáció)
- lineárisabb mágnesezési görbe - kisebb torzítás
- nagyobb határfrekvencia.

Hátrány: nagyobb rézveszteség.



## Kölcsönös indukció

Ha egy tekercs fluxusának egy része átmegy egy másik tekercsen (csatolás), a fluxusváltozás a másik tekercsben is feszültséget indukál. Ez fordítva is fennáll. A másik tekercsben indukált feszültség arányos a fluxus, vagyis az áram idő szerinti deriváltjával, és a fluxus- és áramváltozás ellen hat.

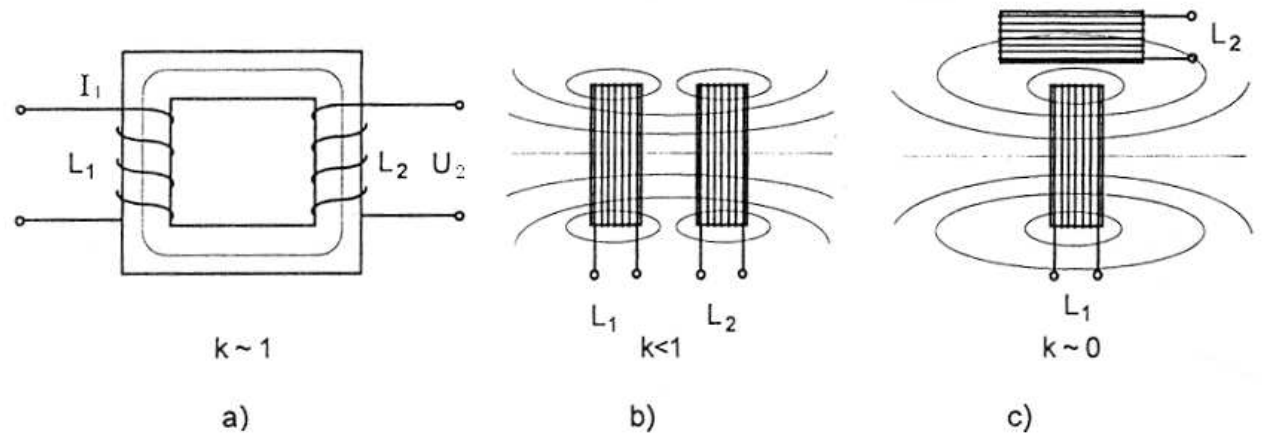
$$u_2 = M \cdot di_1 / dt$$

$$u_1 = M \cdot di_2 / dt$$

Az  $M$  arányossági tényezőt kölcsönös induktivitásnak nevezik. Értéke:

$$M = k(L_1 L_2)^{1/2}$$

ahol  $k$  a csatolási tényező, ami azt mutatja meg, hogy az egyik tekercs által létrehozott fluxus hányad része megy át a másik tekercsen ( $k < 1$ ).



4.14. ábra

Csatolás tekercsek között: a) a kölcsönös indukció kialakulása: b) szoros és c) laza csatolás

## *Tekercsek soros és párhuzamos kapcsolása*

Több csatolt tekercs esetén az eredő inductivitás a kölcsönös inductivitásuktól is függ.

Két tekercs soros kapcsolása esetén az eredő inductivitás:

$$L_s = L_1 + L_2 \pm 2M$$

A + előjel akkor érvényes, ha a tekercsekben folyó áramok által keltett fluxusok azonos irányúak a tekercseken belül, a – előjel akkor érvényes, ha a fluxusok ellentétes irányúak.

Ha két azonos inductitású tekercset kötünk sorba, az eredő inductitás:

$$L_s = L + L + 2k(LL)^{1/2} = 2L(1 \pm k)$$

Értéke:  $0 < L_s < 4L$

Két tekercs párhuzamos kapcsolása esetén az eredő induktivitás:

$$L_p = (L_1 L_2 - M^2) / (L_1 + L_2 \pm 2M)$$

Itt fordítva érvényesek az előjelek. A + előjel akkor érvényes, ha a tekercsekben folyó áramok által keltett fluxusok ellentétes irányúak a tekercseken belül, a – előjel akkor érvényes, ha a fluxusok azonos irányúak.

Ha két azonos induktivitású tekercset kötünk párhuzamosan, az eredő induktivitás:

$$L_p = L/2 \cdot (1 \pm k)$$

Értéke:  $0 < L_p < L$



## **Alkalmazás**

Rezgőkörök

Szűrők

Csatolóók, transzformátorok

Fojtótekercek (kis-, közepes és nagyfrekvenciás)

## Ellenőrző kérdések

- 1., Mi az induktivitás definíciója?
- 2., Hogy függ a tekercs induktivitása a menetszámtól?
- 3., Mi az induktivitás állandó?
- 4., Miért kisebb a légmagos tekercsek induktivitása az ugyanolyan méretű és menetszámú vasmagos tekercsek induktivitásánál?
- 5., Mi miatt van a tekercsnek kapacitása?
- 6., Hogy csökkentik a tekercsek önkapacitását?
- 7., Mekkora a tekercsben tárolt energia?
- 8., Milyen veszteségek vannak a tekercsekben?
- 9., Hogy védekeznek az örvényáramok hátrányos hatásaitól?
- 10., Melyek a tekercs helyettesítő kapcsolásai?
- 11., Mitől függ a jól méretezett légréses vasmag nyírt permeabilitása?
- 12., Milyen előnyei és hátrányai vannak a légréses vasmagnak?
- 13., Mit jelent a tekercsek csatolása?
- 14., Mi a kölcsönös induktivitás?
- 15., Mitől függ az eredő induktivitás két tekercs soros kapcsolása esetén?
- 16., Mekkora lehet az eredő induktivitás értéke két azonos induktivitású tekercs soros kapcsolása esetén?
- 17., Mekkora lehet az eredő induktivitás értéke két azonos induktivitású tekercs párhuzamos kapcsolása esetén?