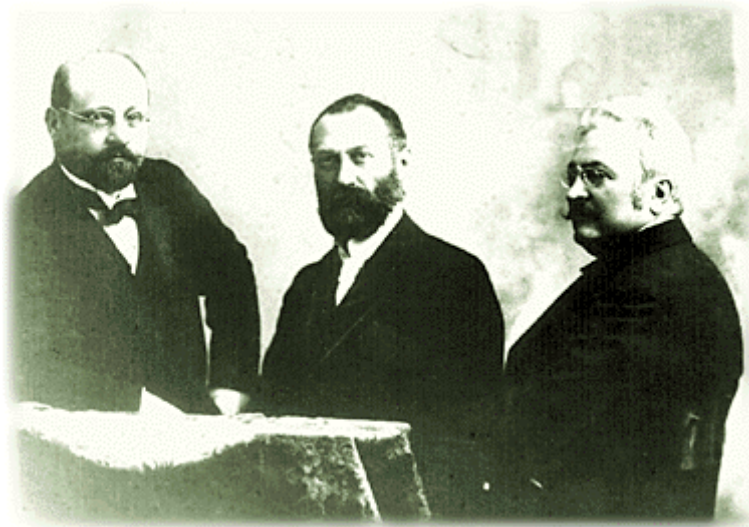


TRANSFORMATORO

Ĉijare (2005) estas la 120-jara datreveno, ke la unua transformatoro ekfunkciis. Antaŭ ol ni pristudus tiun interesan elektronikan ilon, sekvu kelkaj vortoj por memoro pri la esploristoj.

La mondo scienca akceptas esti la patro de transformatoro Hungaran triopon esploristan nomataj tiuj: Déri Miksa, Bláthy Ottó Titusz kaj Zipernowsky Károly. La mondfamajn espoloristojn vi povas vidi sur la foto en tiu vico, kiel iliaj nomoj estis skribitaj.



Kiel ĝenerale kutimas okazi ĉirkaŭ eltrovaĵoj, ankaŭ pri la transformatoro estis granda disputo, kiu esploristo estis la unua eltrovanto tiun novan teknikaĵon. Ekz. ankaŭ Milan Vidmart okupiĝis pri tiu demando, ĉu vere kiu estas la vera esploranto de transformatoro el inter la triopo. Bláthy Ottó respondis diveninstige kun rideto, „Evidente, ke Farady”. Vere, la jam uzine funkcikapablan transformatoron prilaboris tiu triopo, sed la ideo jam devenis de „antaŭ longe”, kiam oni ekkonis la fenomenon *indukan*.

Kiuj, tiu triopo?

DÉRI MIKSA (1854 – 1938)

Li naskiĝis en la hungara vilaĝo Bács. La universitatajn studojn li faris en Vieno, kaj tie diplomiĝis, kiel hidroteknika inĝeniero. Inter 1878 – 1882 Déri okupiĝis pri la regulado de riveroj Danubo kaj Tibisko. Dume li faris elektroteknikajn studojn kaj ekde 1882 komencis labori en la fabriko Ganz, kiel inĝeniero, kie poste estis nomumita direktoro. Dum ĉi tiu tempo en la fabriko

Ganz multaj talentaj fakuloj laboris kune. Déri Miksa faris la plej multajn esplorkontribuojn pri transformatoro. Ekde 1889 li ekfunkciigis la elektrocentralon (elektro-produktejo) en Vieno. Simile, kiel la aliaj esploristoj ankaŭ li okupiĝis pri aliaj teknikaĵoj. El inter tiuj ekz. inter 1898 – 1902 esploris la kompensitan unudirekt-kurentan motoron. Poste du jare li kreis la repulzivan motoron, kiun la mondo konas, kiel Déri-motoro. Ĉi tiu motortipo certigas la sekuran funkciadon de la liftoj, ĉar la regulo de ties rivolunombro kaj la ŝanĝo de la rotacia direkto estas facile farebla.

BLÁTHY OTTÓ TITUSZ (1860 – 1939)

Li naskiĝis en la hungara urbo Tata. La juna knabo tie frekventis la bazlernejon kaj la universitatajn studojn faris en Vieno. Li diplomiĝis en la jaro 1882. Bláthy komencis labori kiel maŝinkonstruisto en la fabriko Ganz en 1883. Li estis la unua inĝeniero rekoninta la praktikan uzeblecon de la magneta Ohm-tezo. Krom la plej grava eltrovaĵo transformatoro li esploris aliajn elektroteknikaĵojn. Ekzemple du gravaj el inter tiuj:

1887 – paralela konekto de la alternkurentaj generatoroj.

1889 – konsummezurilo

Bláthy Ottó Titusz estis renoma esploristo, ricevanta li plurajn honorojn. En 1927 li estis elektita honora membro de la Hungara Scienca Akademio. Krome li estis honora doktoro de la Budapeŝta kaj la Viena Teknikaj Universitatoj.

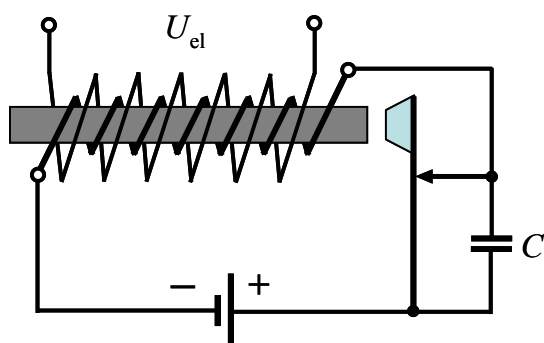
ZIPERNOWSKY KÁROLY (1853 – 1942)

Li naskiĝis en Vieno, sed la lernejojn frekventis en Budapeŝto. Kiel studentoj li jam faris prelegojn pri elektroniko en la Teknika Universitato. Zipernowsky komencis labori kiel organizanto de la elektra sekcio en la fabriko Ganz en 1878. Ganz estis la unua fabriko, kiu komencis okupiĝi pri elektrotekniko. Pro tio Zipernowsky ricevis la taskon, evoluigi la elektran industrion en Hungario. Jam de la komenco li interesiĝis pri la aplikado de la alterna kurento. En al fabriko oni prilaboris la alternkurentan lumigsistemon, kiun unue oni muntis en la Nacian Teatron en Budapeŝto. Estas menciinda lia „giganta vaporlumigmaŝino” (alternkurenta generatoro rotaciigita per vapormaŝino), kiu dum tridek jaroj funkciis en la fervojstacio Keleti (Budapeŝto), certigante la elektran lumigadon. Zipernovskiy ricevis katedron en 1893 en la Budapeŝta Teknika Universitato. Krome li estis koresponda ano de la

Hungara Scienca Akademio kaj ekde 1905 estis prezidanto de la Hungara Elektronika Unuiĝo.

Do, kio instigas eltrovi la transformatoron?

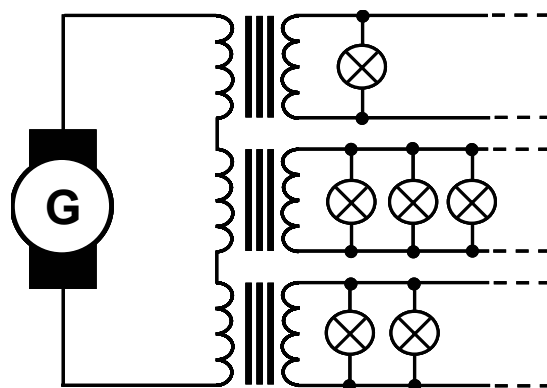
La esploradoj pri transformatoro kaj pri la transportado de elektra energio al longa distanco estis en forta kontakto. La dissendado kaj transportado de la unudirekta kurent-energio havis tre gravajn malfacilaĵojn. Dume la kurento trafluas la konduktilojn de la elektro-produktejo ĝis la konsumilo, havas grandan perdon. Ju pli intensa la kurento, des pli estas pli granda la perdo, ĉar la kurento trafluanta la konduktilon varmigas tion. Do, parto de elektra energio fariĝas al termoenergio. Malpliigi la rezistancon de la konduktiloj jam ne estis plua ebleco, tiel malgrandigi la perdon estis ebla nur kun la malintensigo de la kurento. Laŭ la Ohm-tezo tion oni povas fari nur per la altigo de la tensio. La fenomeno indukta kaj ties efiko jam estis konata inter la sciencistoj. Sed unue ili eluzis la indukton per la intermita unudirekta kurento, kiel montras la sekva figuro.



Figuro 1.

Ĉi tiu konstruaĵo estas taksata pratreformilo, kiun konstruis la franca L. Gaulard kaj la angla E.D. Gibbs, en 1850, por esplori la fenomenon de indukto. Ili estis, kiuj rekonis: ke estas pli efika, se oni uzas alternan kuerenton anstataŭ la unudirekta kurento.

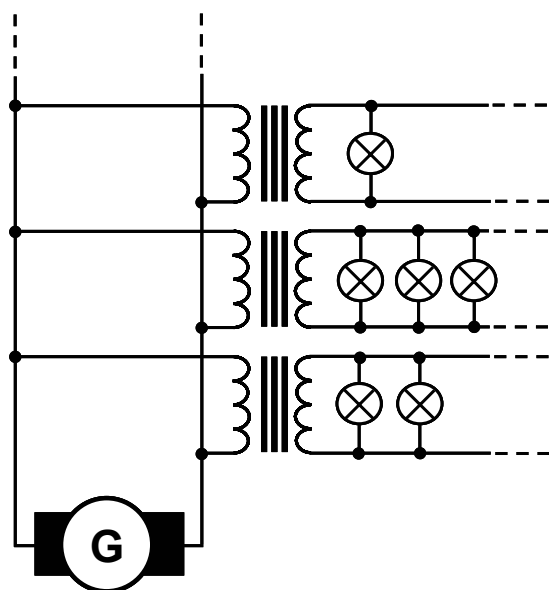
Sed ilia koncepto havis ankaŭ malfavoraĵon, kiun Bláthy rekonis dum la ekspozicio pri elektrotekniko okazinta tiu en Torino en la jaro 1884. La dekstra figuro montras la koncepton pri la disportado de la elektra energio laŭ Gaulard kaj Gibbs.



Figuro 2.

Malfavoraĵo de tiu sistemo estas tio, ke la konsumiloj ne povas sendepende funkcii unu de la alia, se la primaraj bobenoj estas serie konektitaj. Sed ĉi tiu indukta aparato jam enhavis ĉiujn erojn, kiuj estas bezonataj por transformatoro: primara kaj sekundara bobenoj kaj la ferkerno.

Bláthy hejmenveninte informis siajn kolegojn Zipernowsky kaj Déri pri la vidita energiodisportanta sistemo kaj pri ĝia malavantaĝo. La triopo konstatis, ke la sekundaraj tensioj nur en tiu okazo estos stabilaj kaj sendependaj de la ŝarĝoj (konsumiloj), se eblas certigi stabilan tension sur la primaraj bobenoj. Ĉi tiun eblas certigi nur kun paralelaj konektoj de la primaraj bobenoj anstataŭ la seria konekto. Vidu la sekvan figuron.



Figuro 3.

Blathy ankaŭ tiun rekonis, ke nur la fermanta ferkerno certigas la bezonatan stabilecon. Tiel ilia konstruaĵo jam estis vera transformatoro.

La jam funkcikapablan transformatoron (Figuro 4.) kaj kune ĝi la novan sistemon pri la disportado de la elektra energio ili prezentis **2-an de majo en 1885**, dum la Budapeŝta Landa Elspozicio. La scienca mondo ĉi tiun daton akceptas naskiĝtago de la transformatoro. Ĉi tiu transformilo havis nur 60V/60V tensiotransmeton kun kelkcent-vatoj da povumo.



Figuro 4.

Kiel funkcias la transformatoro?

Ĉefe la elektromagneta induko estas interesa por la transformado elektra. Unue devas paroli pri la magneteco.

Klarigo pri la fenomeno de magneteco.

La elektronoj cirkulas sur difinaj vojoj ĉirkaŭ la atomkerno. Sed, la sciencistoj malkovris, ke la elektronoj ne nur cirkulas ĉirkaŭ la atomkerno, sed tiuj turniĝas ĉirkaŭ sia akso. Kaj la *cirkulado*, kaj la *turniĝo* okazigas ŝargomovon, tiel estiĝas kurento. La kurento en konduktanta materio faras magnetan kampon. Laŭ la kalkuloj la magneta kampo estas duoble intensa pro la turniĝo, ol pro la cirkulado.

Ni spertas magnetan impreson apud konstanta magneto kaj proksime de movantaj ŝargoj, ekz. ĉe la ĉirkaŭaĵo de konduktilo trafluata tio fare de kurento. La ĉeeston de magneta kampo, ni spertas pro ĝia forto. Ĉi tiun magnetan impreson, oni nomas *induko*, kiu estas ilustrata per kurbolinioj. Koncerne la praktikon, la magneta kampo havas du gravajn proprecojn:

Se kurento trafluas konduktilon, lokita tio en magnetan kampon, la konduktilon impresas mekanika forto, kiun forton oni nomas *elektrodinamika forto*. La fortodirekto dependas de la direkto de la magneta induko (B) kaj de la direkto de kurento (I). Do, se la direkto de la magneta induko aŭ tiu de la kurento ŝanĝiĝas, ankaŭ la fortodirekto ŝanĝiĝos. Ĉi tiun forton ni povas esprimi:

$$F = B \cdot I \cdot l$$

$$B = \frac{F}{I \cdot l}$$

La B estas la *magneta induko*, tiu konstanta magneta fenomeno koncerne konkretan magneton, kiu reprezentas la fortokontaktan kontraŭ konduktilo trafluata fare de kurento. La magnetan indukton eblas ankaŭ tiel difini, ke tiu estas la poveco krei (*indukatan*) kurenton. La B estas mezurata en $[\text{Vsek./m}^2]$, I estas la kurento mezurata en $[\text{A}]$ kaj la l estas la longeco de konduktilo mezurata en $[\text{m}]$. Kalkule la forton ni supozas, ke la kurento kaj la induko estas stabila. Ŝanĝiĝas tiuj nek en kampo, nek en tempo kaj la konduktilo havas situon perpendikle al la magneta fortodirekto.

La mezurunuon $[\text{Vsek./m}^2]$ ni povas anstataŭigi kun la litero \mathbf{T} , kiu \mathbf{T} signifas teslo, nomumita por la estimo al Nicola Tesla (1856 – 1943). Estas

uzata la $T \cdot 10^{-4}$ valoro, kiu estas 1G (Gaŭso). Carl Friedrich Gauss (1777 – 1855) estis matematikisto en Gotingeno.

Oni ilustras la magnetan kampon kun ties *induko-linioj*. La induko-linioj estas ĉiam fermitaj grafikaj kurboj. La denseco de la induko-linioj dependas de la magnetika kampointenso. Ĉi tiujn liniojn oni kutimas nomi ankaŭ *fortolinioj*.

La magnetika induko (B) estas tiu kvanto, kies numero montras la densecon kaj la direkton de la induko-linioj.

Se la magnetika induko ŝanĝiĝas, aŭ en kampo, aŭ en tempo, en la konduktilo lokita en la magnetika kampo, *indukiĝas tensio*. Ĉi tiu fenomeno estas la *elektromagnetika induko*. La nomo tion montras, ke temas pri la reciproka impresado inter la magnetaj kaj la elektraj fenomenoj.

La **flukso** egalas kun ĉiuj induko-linioj, kiuj trairas en difina surfaco (A). Ĝi estas signata kun la litero (Φ). (fio)

$$\phi = B \cdot A = \left[\frac{Vs}{m^2} \cdot m^2 \right] = [Vs] \text{ (volteskundo)}$$

La Vs mezurunuon oni kutimas nomumi vebero (**Wb**), por la estimo al la sciencisto Wilhelm Weber (1804 – 1891).

Konata ankaŭ la mezurunuo maxwell (maksvelo) **Mx**: James Clerk Maxwell (1831 – 1879) estis skota fizikisto.

$$1Mx = 10^{-8}[Vs]$$

Ĉirkaŭ konduktilo faritan magnetan forton reprezentas la kurento, trafluanta la konduktilon. En tiu okazo fluas 1 A kurento tra la konduktiloj, se tiuj estas metitaj en vakumo unu de la ali 1 m distanco, kaj impresas ambaŭn difina forto, po metro $2 \cdot 10^{-7}$ N. Se la kurento faras magnetan kampon, la magnetan kampon reprezentas la tion farita kurentointenso. Tiun forton, kiu faras magnetan kampon oni nomas *magnetika ekscito*, signata ĝi kun la litero Θ . (teto)

La magnetika ekscito esprimas ankaŭ la transformiĝon de elektra energio al magnetika energio.

$$\Theta = \sum I, \quad \text{ĉe bobeno } \Theta = I \cdot N, \quad \text{tiu } N \text{ estas la volvonombro.}$$

La magnetika ekscito Θ havas mezurunuon ampero [A].

La *magneta kampointenso* estas sendependa de la materio, kaj signifas tiun kampon, kiun la induko kreas. La magneta kampointenso estas signata kun la litero **H**.

$$H = \frac{\Theta}{l}, \quad \text{ĉe bobeno} \quad H = \frac{NI}{l} = \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

N = volvonombro, l = meza longeco de bobeno

La magnetan indukton ni povas esprimi ankaŭ el la magneta kampointenso.

$$B = \mu \cdot H$$

μ : (muo) estas primateria propraĵo, *permeableco*.

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

μ_0 : la specifa permeableco estas konstanta numero, mezurita en vakumo,

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \right]$$

μ_r : relativ-permeableco, sen mezurunua karakteriza numero, kiu montras, ke iu materio kiomoble pli bone aŭ malpli bone magnetigebla, ol la vakumo.

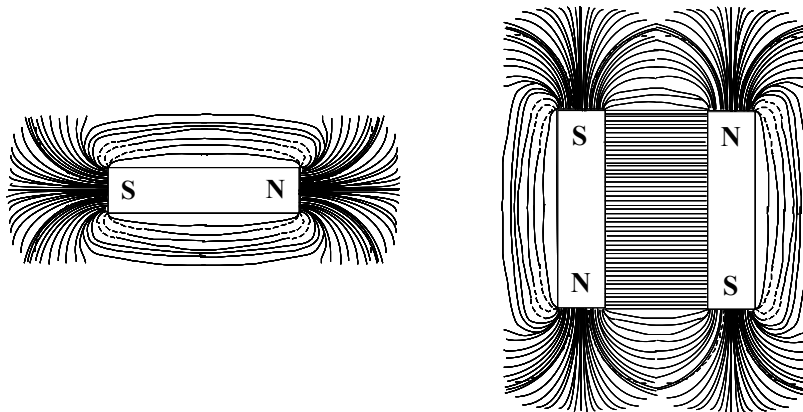
Se la magneta kampo (pli precize mem la induko aŭ la *flukso*) ŝanĝiĝas, ĉiam indukiĝas tensio en konduktilo, metita tiu en la magnetan kampon.

Kiel oni povas sperti, vidi la magnetecon kaj la indukton?

Tre simple.

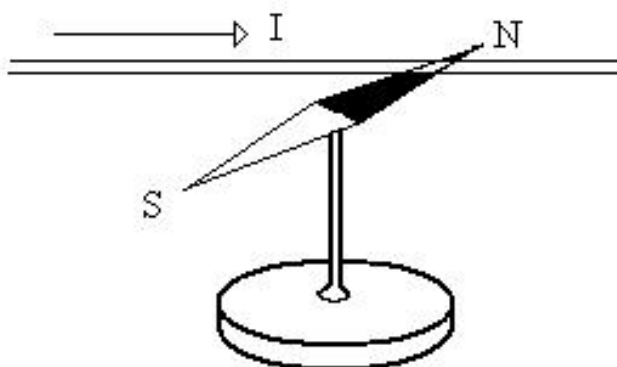
La plej simpla sperto estas la uzado de kompasoj. La kompasoj ĉiam turniĝas al la norda-suda (N-S) geografia direkto, ĉar Tero havas magnetan fortokampon. La fortokampo havas t.n. polusojn, kiujn polusojn oni nomas *norda* kaj *suda*. Ankaŭ la kompasoj, kiel magneto havas nordan kaj sudan polusojn. Kiel antaŭe vi jam ellernis, la samtipaj polusoj puŝas, la malsamaj tiras

unu la alian. Tiel la suda poluso de kompaso turniĝas al la direkto nordo kaj la norda poluso suden. La bazan magnetan fenomenon vi povas kontroli kaj vidi per magneto kaj per ferpolvo. Metu ferpolvon sur paperfolion kaj sub la folion magneton. La ferpolveroj situĝas laŭ la fortoĉieloj. Figuro 5.



Figuro 5.

Se vi metas kompason proksime al magneto, la kompaso turniĝas de la geografia norda-suda direkto. Se la kompason vi metas apud konduktilo, vi povas sperti intereson. Kiam kurento fluas tra la konduktilo, la kompas ankaŭ en ĉi tiu okazo turniĝas de la geografia magneta direkto. Ĉi tiu fenomeno povas okazi pro tio, ĉar ĉirkaŭ la konduktilo kreiĝas magneta kampo, kiam kurento trafluas ĝin. Ĉi tiun eksperimenton oni nomas „eksperimento Oersted”. Oersted estis universitata profesoro en Kopenhago. Figuro 6.



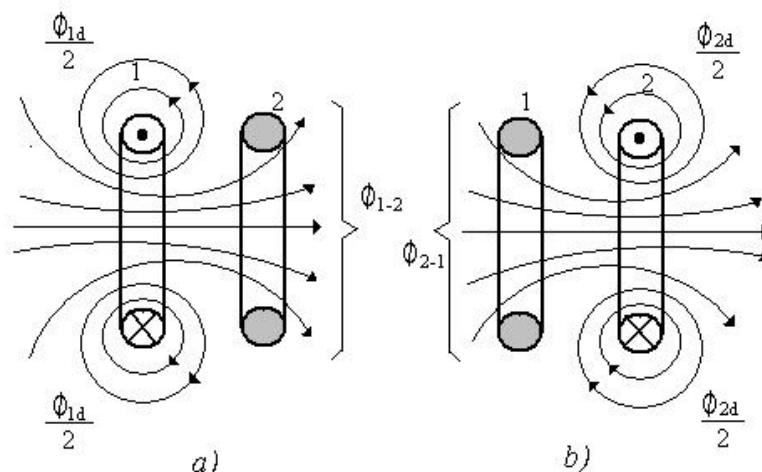
Pro la impreso de la kurento la kompas turniĝas, do la kurento en konduktilo faras magnetan kampon ĉirkaŭ la konduktilon.

Figuro 6.

Estas konataj diverstipaj indukoj, el kiuj koncerne la transformatoron nin interesas nur la *interinduko* aŭ alinome *reciproka induko*.

Interinduko (reciproka)

Interinduko povas estiĝi nur *inter* bobenoj, kiuj havas *interligon*, tiel tiuj estas en *induka* kontakto. Metu unu apud la alian du bobenojn tiel, ke la fortolinioj de unu trairu la alian.



Figuro 7.

Tiun bobenojn, en kiu ni faras magnetan kampon pere de kurento oni nomas *primara*, la alian, al kiu ligiĝas la fortolinioj oni nomas *sekundara* bobeno. La primara (signita kun 1) bobeno kreas Φ_1 fluksojn. Ĉi tiu fluksoj ligiĝas ankaŭ kun la ali sekundara (2) bobeno, pro tio ni signas kun Φ_{12} . (fluksoj kreita de bobeno 1 kaj liganta kun la 2 bobeno). La alia parto de la fluksoj kiel disŝutita fluksoj Φ_{1d} ne aktivigas en la induko de tensio. La tuta primara fluksoj konsistas el la disŝutita plus el la efika fluksoj:

$$\phi_1 = \phi_{1d} + \phi_{12}$$

Se la kurento ŝanĝiĝas en la primara bobeno, ŝanĝiĝas ankaŭ la fluksoj, kaj tiel indukiĝas tensio en la sekundara bobeno – 7/a) figuroparto.

Se nun la kurento fluas en la alia (2) bobeno, la I_2 kurento kreas Φ_2 fluksojn – 7/b) figuroparto. Parto de fluksoj Φ_{2d} estas disŝutita, tiel ne partoprenas en la induko de tensio. La restanta fluksoj Φ_{21} kiel efika, indukas la tension. Laŭ supra ekvacio ankaŭ en ĉi tiu okazo ni povas kalkuli jene:

$$\phi_2 = \phi_{2d} + \phi_{21}$$

a) Direkto de la indukata tensio ĉe la interinduko

Por decidi la direkton ankaŭ ĉi tiu interinduko, oni uzas la tezon Lenz.

1. Je la altiĝo de primara kurento, la indukata sekundara kurento intencas bremsi la fluksodensiĝon, tial kreas kontraŭdirektan flukson al la flukso de la primara bobeno.
2. Je malintensiĝa primara kurento, ankaŭ la magneta kampo de primara bobeno malgrandiĝas. Tial la indukata tensio en la sekundara bobeno kreas sandirektan flukson kiel la primara.

Do, la intensiĝo de kurento en la primara bobeno kreas kontraŭdirektan, la malintensiĝo de tiu kurento, sandirektan magnetan kampon en la sekundara bobeno.

b) Kalkulo de la indukata tensio ĉe la interinduko

La kalkulo de ĉi tiu induko estas simila, kiel vi jam studis ĉe la senmova induko.

La volvo de sekundara bobeno estas N_2 , kaj la bobenon ekscitas Φ_{12} flukso, tiel la indukata tensio en la sekundara bobeno estas:

$$U_{i2} = N_2 \cdot \frac{\Delta\phi_{12}}{\Delta t}$$

Simile ni povas esprimi la indukatan tension en la primara bobeno, kiam ekscitas ĝin la flukso kreata de la sekundara bobeno.

$$U_{i1} = N_1 \cdot \frac{\Delta\phi_{21}}{\Delta t}$$

Δt estas tiu tempo, dum kiu okazis la fluksoŝanĝo.

La fluksojn de bobenoj la kurentoj kreas. Tiel laŭ la magneta Ohm-tezo ni povas esprimi kun la sekva formulo:

$$\Delta\phi_{12} = \frac{\Theta}{Rm} = \Theta \cdot \Lambda = \Delta I_1 \cdot N_1 \cdot \Lambda$$

Simile

$$\Delta\phi_{21} = \Delta I_2 \cdot N_2 \cdot \Lambda$$

La R_m estas la magneta rezistanco, la Λ estas magneta konduktanco. Ĉi tiuj parametroj estas egalaj al ambaŭ bobenoj, ja la cirkonstancoj estas similaj.

Do:

$$U_{i1} = \Lambda \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

kaj la:

$$U_{i2} = \Lambda \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

La multipliko en ambaŭ ekvacio estas sama, kaj tiun ekvacioparton oni nomas *interinduka koeficiento*, signata ĝi kun la litero ***M***.

$$M = \Lambda \cdot N_1 \cdot N_2 = \frac{\mu_0 \cdot A}{l} \cdot N_1 \cdot N_2 \quad [\text{H}]$$

La indukataj tensioj el la supra ekvacio estas:

$$U_{i2} = M \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$U_{i1} = M \cdot \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

La interinduka koeficiento en tiu okazo estas 1 henrio, kiam en bobeno 1A ŝanĝo dum 1 sekundo indukas en la alia bobeno 1V tension.

c) Kalkulo de la interinduka koeficiento

Kalkuli la interindukan koeficienton ni supozas, ke la $\Phi_{12} = \Phi_{21}$, do la du bobenoj situas proksime apud unu la alia, tiel ĉiuj fortolinio trairas ambaŭ bobenojn. (*forta kuplo*).

$$M = \Lambda \cdot N_1 \cdot N_2 = \frac{\mu_0 \cdot A}{l} \cdot N_1 \cdot N_2 \quad [\text{H}]$$

Uzante la indukton (L), ni reduktu la jam konatan ekvacion:

$$L_1 = N_1^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{A}{l}, \quad \text{el ĉi tio} \quad N_1 = \sqrt{\frac{L_1}{\mu_0 \cdot \frac{A}{l}}}$$

$$L_2 = N_2^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{A}{l}, \quad \text{el ĉi tio} \quad N_2 = \sqrt{\frac{L_2}{\mu_0 \cdot \frac{A}{l}}}$$

Skribu la ricevitan formulon pri la volvoj en la originalan ekvacion pri M !

$$M = \frac{\mu_0 \cdot A}{l} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{\mu_0 \cdot \frac{A}{l}}} \cdot \sqrt{\frac{L_2}{\mu_0 \cdot \frac{A}{l}}} = \frac{\mu_0 \cdot A}{l} \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot L_2}{\left[\mu_0 \cdot \frac{A}{l}\right]^2}}$$

Plu redukte:

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2} \text{ [H]}$$

d) Kuplokoeficiento

La kuplo estas *loza*, se parto de flukso ne efikas en la indukado. La plej malalta tensio estas indukata, kiam unu bobeno situas perpendikle al la alia, ĉar en tiu okazo la fortolinioj ne povas trairi la sekundaran bobenon. Por esprimi la kuplonivelon oni uzas la t.n. *kuplokoeficienton*, signata tiun kun la litero k .

Kun la kuplokoeficiento (k) la interinduka koeficiento estas kalkulata:

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

Laŭ la kuplonivelo la valoro de k varias inter 0 kaj 1.

e) Disŝuta koeficiento

La *disŝuta koeficiento* esprimas tion, ke el la fortolinioj kiom da parto ne efikas, disŝutiĝas. Oni signas la disŝutan koeficienton kun la litero σ (sigmo).

$$\sigma = \frac{\phi_{1d}}{\phi_1}$$

Inter la disŝuta koeficiento kaj la kuplokoeficiento estas decida kohero, ĉar la interindukan koeficienton malgrandigas la disŝuto.

$$M^2 = L_1 \cdot L_2 - \sigma \cdot (L_1 \cdot L_2) = (1 - \sigma) \cdot L_1 \cdot L_2$$

Plu redukte:

$$M^2 = k^2 \cdot L_1 \cdot L_2$$

Ĉar ambaŭ flankoj de ekvacio estas egalaj, do:

$$(1 - \sigma) \cdot L_1 \cdot L_2 = k^2 \cdot L_1 \cdot L_2$$

El ĉi tiu ekvacio la disŝuta koeficiento estas:

$$\sigma = 1 - k^2 = 1 - \frac{M^2}{L_1 \cdot L_2}$$

Kiam la kuplo estas forta, $k = 1$, do ne estas disŝuto:

$$\sigma = 0, \text{ kaj } M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

Eluzante la antaŭajn teoriojn oni jam povas konstrui induktilojn, kiuj memstare ankoraŭ ne estas transformiloj.

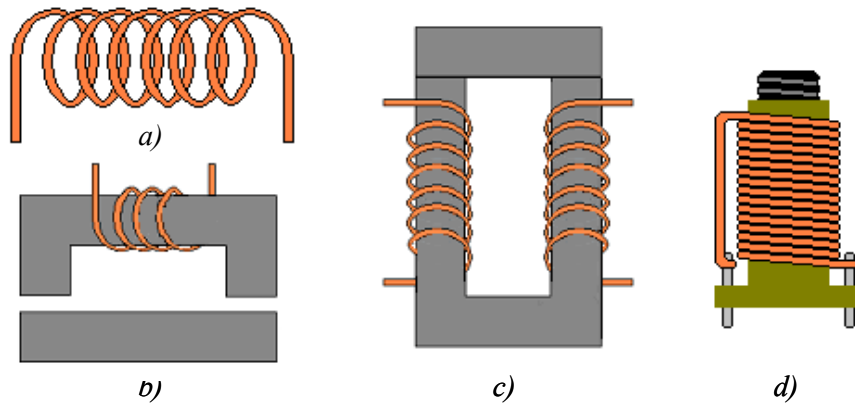
Induktiloj

Per kio oni povas estigi *indukan* impreson, havante tiu ilo *indukton*, oni nomas *induktilo*. En la praktiko estas konstantaj kaj valormodifeblaj (tie nur varieblaj).

a) Bobeno

Por krei indukan impreson oni uzas plej ofte *bobenon*, trafluige en ĝi kurenton. La bobeno estas volvita konduktilo. Ĉe la superaltfrekvencaj cirkvitoj, pro ties proprecoj, sufiĉas uzi plejofte nur *dratpecon* por krei la bezonatan indukton. La bobenoj povas esti *aerkernaj* kaj *ferkernaj*, kaj tiuj havas unu

tavolon aŭ multajn tavolojn. Laŭ la produkto, la bobenoj povas esti diversformaj: cilindra, diska, ringa, krucvolita. Tiujn bobenojn, kiuj havas t.n. *molferkernon*, oni nomas *elektromagneto*. Kaj la aerkernaj, kaj la ferkernaj bobenoj povas esti *solaj*, aŭ *kuplitaj* bobenoj. La kuplitaj bobenoj estas la *transformiloj*. Sur la Figura 8. vi povas vidi kelkajn induktitipojn.



Figuro 8.

Indukton havas ankaŭ la sola, rekta konduktilo, sed la bobenformo povas havi pli intensan, ĉar la kreitaj magnetaj kampoj, po volvo adiciĝas. La indukton de bobeno influas multaj dimensioj, ekz.: volvonombro, distanco de la unuopaj volvoj, bobendiametro, ĉu la induktilo estas aerkerna, aŭ ferkerna, mezuroj kaj la materia propreco de la ferkerno ktp. Pri la kalkulado kaj matematikaj formuloj koncerne bobentipojn vi jam povis studi el la unua ĉapitro „Fundamentoj”. Tiuj formuloj prezentitaj estas uzeblaj por kalkuli indukton de iu induktilo, sed tre komplike, kaj ofte rezultas idealan valoron. Nur por la toroidbobenoj idelaj estas uzeblaj la jam konataj formuloj, ĉar ties volvodiametro estas grave pli malgranda ol la diametro de la bobenringo.

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n^2}{4l} \quad ; \quad \text{Kie } D \text{ estas la meza diametro de la volvoj, } l \text{ estas la ringdiametro mezurata en la volvocentro, (longeco de la fortolinioj), } n \text{ estas la volvonombro.}$$

Por helpi la kalkuladon kaj ricevi certajn rezultojn oni aplikas praktikajn matematikajn formulojn. Sen la deduktaj paŝoj la finaj uzataj formuloj por aerkernaj induktiloj unuvice estas jenaj:

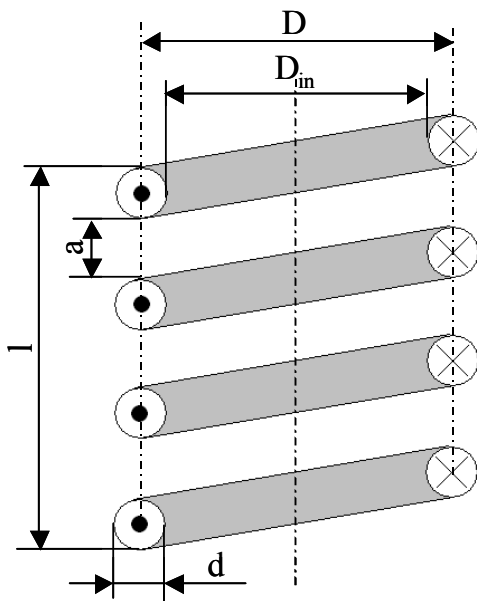
$$L = \frac{0,03937 \cdot r^2 \cdot n^2}{9r + 10l} \quad ; \quad \mu\text{H} \quad \text{Por lozvolvita bobeno. Estas breĉo inter la volvoj.}$$

$$L = \frac{0,03937 \cdot r^2 \cdot n^2}{8,85r + 10l} \quad ; \quad \mu\text{H} \quad \text{Por striktvolvita bobeno. La volvoj estas strike unu apud la alia.}$$

Ĉi supraj formuloj estas uzeblaj kalkuli la indukton de jam preta induktilo, sed ne estas uzeblaj por kalkuli optimalajn induktilojn. La indukto en tiu okazo estas la plej granda de la aerkerna bobeno, se ties longeco proksimume estas la duono de ĝia diametro. Precize 45%, do $l = 0,45D$. Ni tiam produktas induktilon optimalan, se la bezonatan indukton ni povas atingi per la plej malgranda dratlongeco. Por prepari induktilon optimalan pristudu la konstrukton de la bobeno sur la sekvanta figuro.

En la praktiko, kiam oni volas fabrikii induktilon, la bezonata indukto (L), kiel starta dateno, estas konata. Ankaŭ estas konata la vakuma permeableco (μ_0). La starta ekvacio laŭ la maldekstra figuro estas la jena:

$$l = n\sqrt{D^2 \cdot \pi^2 \cdot h^2} \quad ; \quad \text{kie } h = a + d$$



Se a egalas kun nulo, (ne estas distanco inter la volvoj), sufiĉas kalkuli nur kun la d . Mi mencias, ke tiu d estas la tuta diametro, ne nur de la pura drato. La uzata drato plejofte estas kovrita kun ia mantelo izola.

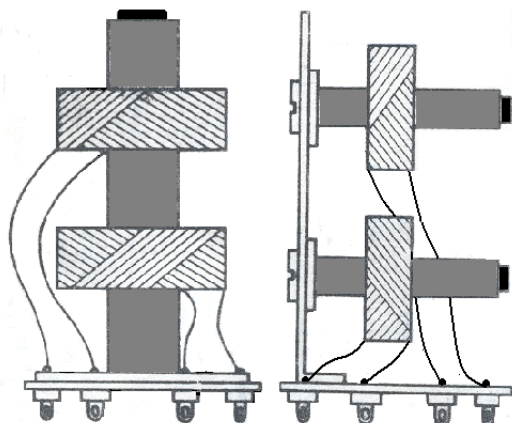
Se $a \gg 0$, vi povas uzi senmantelan konduktilon.

Figuro 9.

Por kalkuli la volvonombrojn oni devas difini ankoraŭ pluajn startindikojn, ekzemple la dratdiametron (d), volvodiametron (D_{in}). Sen deduktoj la jam uzebla formulo estas:

$$n = 7,43 \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{d}} \quad ; \quad \text{La dimensioj estas } \mu\text{H kaj mm.}$$

La aerkernaj induktiloj povas esti senkorpaj, aŭ bobenkorpohavaj. Ĝiaj induktoj estas sufiĉe malgrandaj, uzate tiuj ĉefe en altfrekvencaj cirkvitoj ($f > 60\text{MHz}$). La bobenoj povas esti unuvicaj, aŭ multvicaj. La multvicaj povas havi pli grandan indukton, sed ankaŭ la memkapacito estas pli alta ol tiu de la unuvica bobeno. Forigi ĉi tiun problemon solvas la t.n. *krucvolvaj* bobenoj. Tiu *kradstruktura* bobeno estas multvica sen *bobenkadro*, havante nur *bobenkorpon*. Vidu la maldekstran figuron.



Figuro 10.

En tiu okazo, se la induktilo havas ferkernon, la kalkulado por decidi la volvonombrojn estas iomete pli komplika. Se la bobeno estas ferkernhava, oni devas kalkuli, ne kun la diametro de volvo, sed kun la sekco (A) de la ferkerno, kaj devas enmeti en la formulon ankaŭ la relativan permeablecon (μ_r) de la materio. Jen:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{n^2 \cdot A}{l}$$

Estas kutimo kunmetite ekdoni la certajn datenojn, ĉefe pri la *polvostrukturaj* ferkernoj. Tiu kunmetita dateno A_L estas signata sur la ferkerno, aŭ estas publikigita en katalogo. Do:

$$A_L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{l} \quad ; \quad \text{kun ĉi tiu formulo} \quad L = A_L \cdot n^2$$

Pro la diversaj perdoj la induktiloj neniam estas idealaj. Oni diferencas tri perdojn rilate al la ferkerno. Tiuj estas:

- **Kirlokurenta** perdo, okazigata tiu fare de la kirlokurentoj en la ferkerno. Tiu perdo iĝas al varmo, kiun limigi oni uzas lamenstrukturajn, aŭ polvostrukturajn ferkernojn.
- **Histreza** perdo, kiun okazigas la tramagnetigo de ferkerno
- **Restanta** perdo, estas tiu perdo, kiu kolektas la, po parte ne tro gravajn perdojn, sed ekzistajn pro diversaj cirkonstancoj.

Koncerne la induktilojn oni devas kalkuli ankoraŭ kun la t.n. **kuproperdo**, kiu estas la rezistanco de drato mezurata tiu kun konstanta kurento. Uzante pli kaj pli altan frekvencon oni jam devas kalkuli kun alia perdo, nomata tiu **diverĝa kapacito**. Tiu diverĝa kapacito konsistas el la kapacitoj: intervolvaj, interbobenaj kaj inter la volvoj kaj la ferkerno.

Ekzistas interesa fenomeno de la induktiloj, nomate *nelineareco*, kiu signifas tion, ke dum la funkciado la induktiloj modifas la aspekton, formon de la alterna kurento. Tiun fenomenon okazigas tio, ke la induktiloj produktas *superharmonojn*, kiuj aldoniĝas al la baza kurento kaj tiel modifas ties aspekton.

Ankaŭ la induktoj de la induktiloj estas varieblaj. Ĉi tiun oni faras plejofte per la ferkerno. En, aŭ elmovige la ferkernon, en aŭ el la bobeno, ties indukto variigatas. La ferkerno povas esti en, aŭ / kaj ekster la bobeno. Variigi la indukton oni kutimas uzi krom la molferoj ankaŭ aliajn materiojn, eĉ tiajn, kiuj ne intensigas la indukton, sed malfortigas tiun. Ĉiuj materioj havas indikon pri ĝia magnetigebleco, kiun oni nomas *relativa permeableco* (μ_r). Laŭ la permeableco la materioj estas diferencigitaj jene:

vakumo	μ_r	= 1
aero	μ_r	≈ 1
diamagnetoj	μ_r	< 1
paramagnetoj	μ_r	> 1
feromagnetoj	μ_r	$\gg 1$

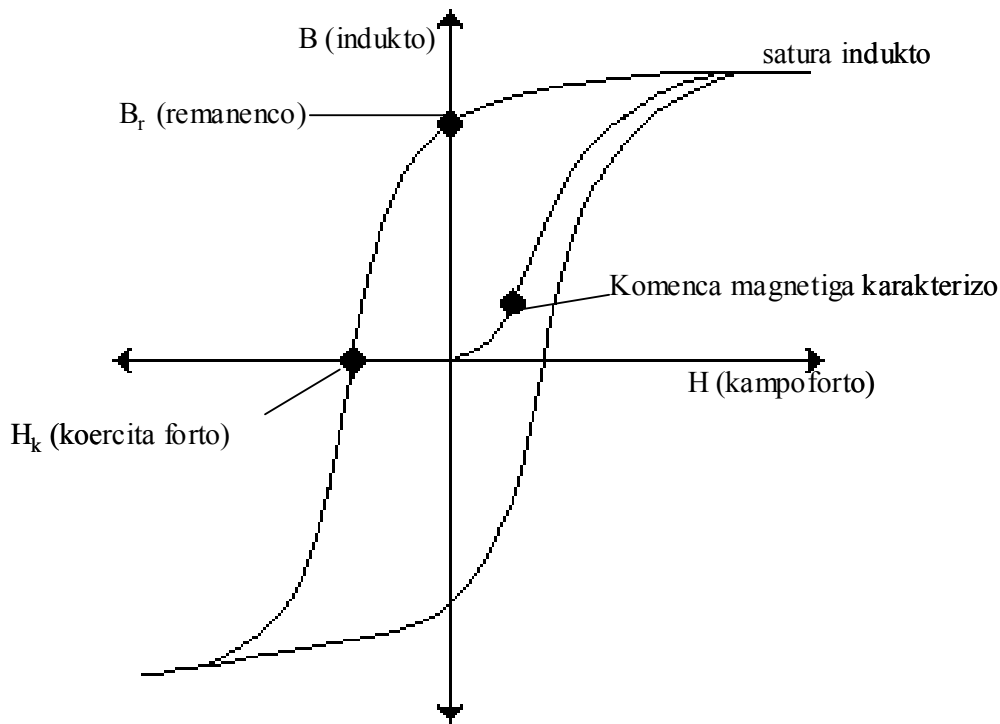
Al la paramagnetoj apartenas la plej multo de metaloj kaj kelkaj gasoj. Povas esti paramagnetaj ankaŭ kelkaj feromagnetaj materioj en difina temperaturo, super la t.n. *Curie* (kurie) *punkto*.

Diamagnetoj estas kelkaj metaloj (Cu, Pb, Ag, Hg), la valoraj gasoj kaj la organikaj komponaĵoj.

Feromagnetaj pura metaloj estas la fero, kobalto kaj la nikelo. Ankaŭ estas feromagnetaj materioj tiuj kunfandaĵoj, kiuj havas el ĉi tiuj metaloj almenu unun en granda kvanto.

La permeableco de la diamagnetoj kaj paramagnetoj estas konstataj, sed tiu de la feromagnetoj estas variigatas pro diversaj cirkonstancoj.

La permeablecon, la induktan kaj kampofortan koheron de la feromagnetaj materioj oni difinas kun ecaro *magnetiĝa*. Ĉi tiun ecaron difinas la fabrikantoj tiel, ke la materion magnetigas en magneta kampo, varieble ties intenson de 0 ĝis kiam la indukto jam ne altiĝas en la materio. La indukto, kiu jam ne altiĝas, estas la *satura indukto*. Vidu la sekvantan ecaron.

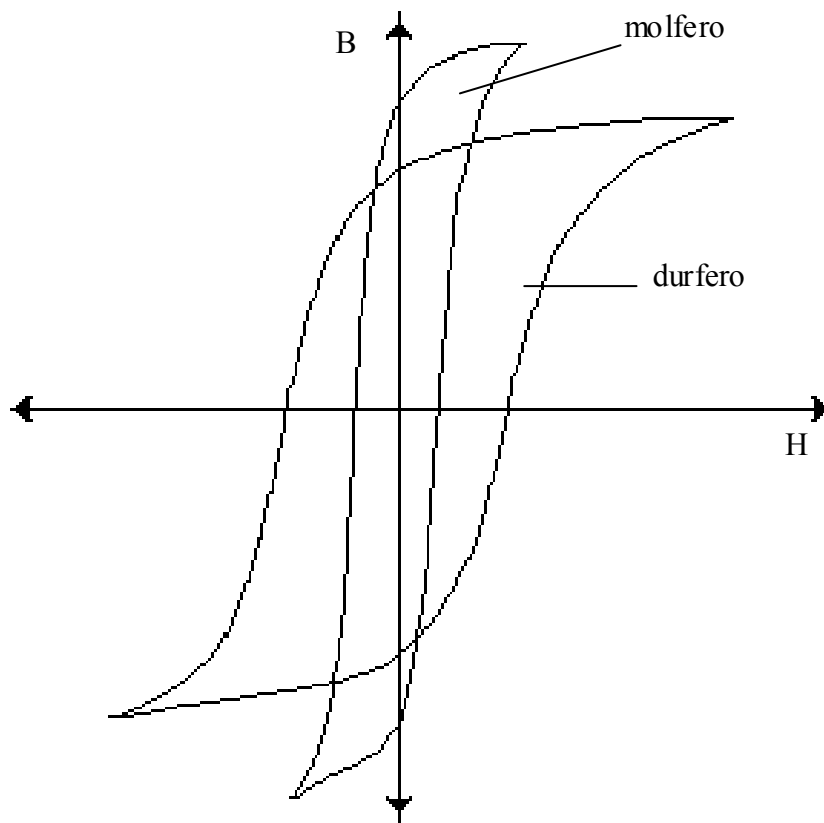


Figuro 11.

La magneta histereza ecaro (histereza maŝo) estas tre varia laŭ la diversaj materioj. Por la tramagnetigo de la feromagnetaj materioj bezonata energio proporcias kun la teritorio de la histereza ecaro. Ju pli malgranda ĉi tiu teritorio, des pli „mola” la koncerna materio kaj bezonas des pli malmultajn energion por la tramagnetigo. Dura magneto tiu materio, kiu havas grandan teritorion histerezan. La *koercita forto*, (tiom da intenso de la magneta kampoforto, kiam la materio perdas sian magnetecon) estas grave pli granda ol tiu de la molferoj. La koercita foro de la molferoj estas:

$$H_k \leq 300 \frac{A}{m} \text{ , kaj tiu de la durferoj estas : } H_k \geq 10^4 \frac{A}{m}$$

La „molajn” materiojn oni uzas en tiu kazo, kiam multfoje devas tramagnetigi la materion. ekz.: ĉe la elektromagnetoj, transformiloj ktp. En la durferoj la megneton nuligi estas tre malfacila, tial ĉi tiuj materiojn oni aplikas por fari konstantan magnetan kampon. Vi povas kompari la histerezajn ecarojn de mola kal de la durfero sur la sekva figuro.



Figuro 12.

b) Transformatoro (transformilo)

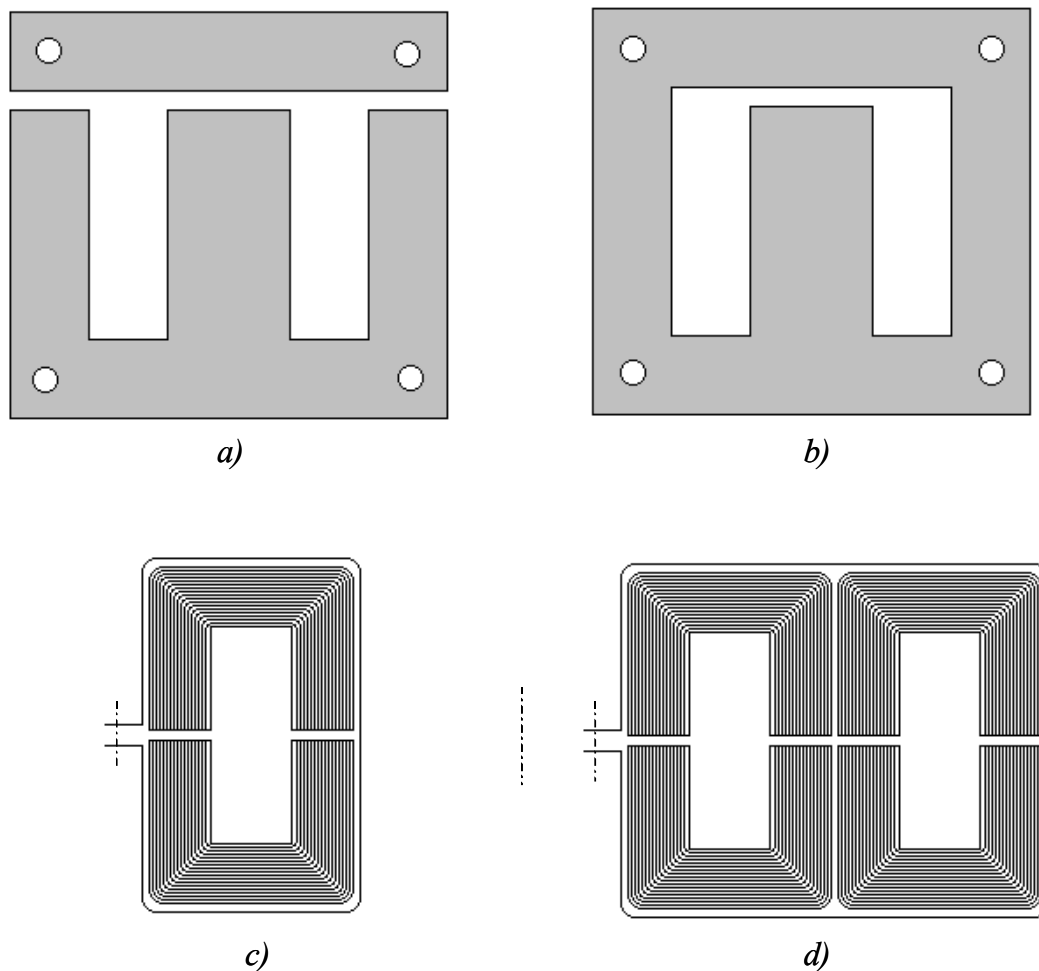
La *transformatoro* estas speciala iduktilo. La tipoj de la transformatoroj estas tre pluraj. Tiuj diferencigas laŭ tensionivelo, poveco, frekvencoalto, faznombro, funkciocelo (energetika, nutra, sekura, velda, adapta ktp.) La transformatoroj funkcias laŭ la jam konata interinduka fenomeno.

Se en bobeno kreita magneta kampo trairas en alian bobenon, en ĉi tiu okazo ni povas diri, ke fariĝis kuplo.

Ĉi tiun kuplon en la transformatoroj intensigas ferkerno magnetkondukta. La ferkerno povas esti tute fermitaj, aŭ breĉhavaj. Laŭ la materio ni diferencigas lamenstrukturajn (*ladfolia ferkerno*) kaj polvostrukturajn

ferkernojn, havantaj tiuj diversajn relativajn permeablecojn. La lamenstrukturajn ferkernojn vi povas studi helpe de Figuro 13.

Sur la Figuro 13/a estas videbla la t.n. EI forma, sur la 13/b la M forma, sur la 13/c la ovalforma, sur la 13/d la duoble ovalforma lamenstruktura ferkerno. La lastaj du estas volvitaj (hipersilaj) ferkernoj. La volvitaj ferkernoj havas avantaĝojn kontraŭ la presitaj lamenteipaj ferkernoj. La plej grava avantaĝo, ke la geometria mezuro kaj pezo estas malpli kun 30% ol de tiuj el la EI, aŭ M formaj ferkernoj faritaj transformiloj, se la elektraj indikoj estas egalaj. La uzablaj bobenkraĉoj estas egalaj ĉe ĉiu tipoj. La unu malavantaĝo de la volvitaj ferkernoj, ke ĝiaj fabrikadoj estas pli komplika.



Figuro 13.

Pro la kirklokurenta perdo oni fabrikas tiajn ferkernojn, kiuj ne havas lamenojn, sed la tuta ferkerno estas presita el ferkunfandaĵaj polvoj. La tielfabrikatajn materiojn oni nomas *feritoj*. Estas simile fabrikitaj la t.n.

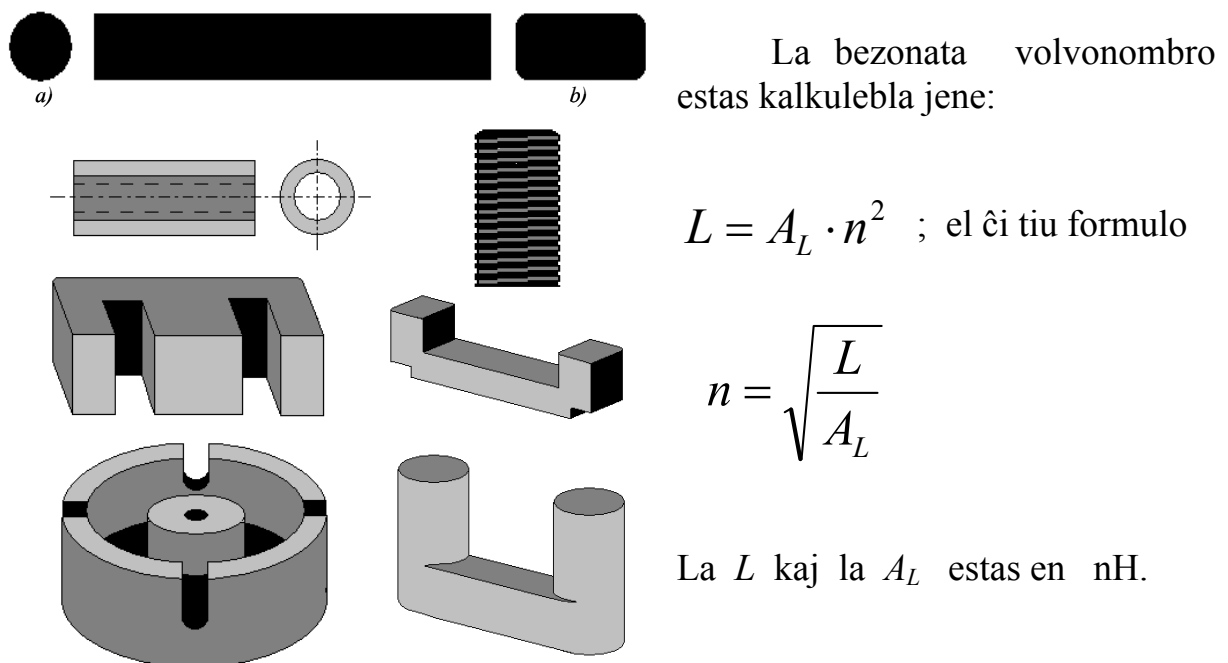
durmagnetaj- materioj, kiuj estas uzataj tie, kie bezonas permanentaj magnetoj (laŭparolilo, mezurilo ktp.). La plej oftaj presitaj tipoj de feritoj: bastoneto, tubeto, ŝraŭbo, poto, E kaj U. La ŝraŭbforma estas uzata en bobenkorpo por varii la indukton. Polvostrukturajn ferkernojn vi povas vidi sur la Figura 14.

La n volvonombro por la bezonata indukto, havanta tiu polvostrukturajn ferkernojn, estas kalkulebla kun la sekvanta formulo.

$$n = K \cdot \sqrt{L} \quad ; \quad \text{kie } K \text{ estas la kerna koeficiento, kiun la fabrikantoj aldonas.}$$

L estas la indukto en μH .

Por la diversaj feritoj oni aldonas la A_L valoron. Pri ĉi tiu A_L vidu la detalon supren. La A_L valoro estas signita sur la materio skribite, aŭ kun koloro.



Figuro 14.

Nun ni studu la plej gravajn karakterojn de la diversaj transformatoroj.

- **Nutrotransformatoro** estas tiu tipa, per kiu oni povas krei nutrotensio(j)n por la elektraj aparatoj. Tiuj nutrotensioj povas esti, kaj pli altaj, kaj pli malaltaj ol la *reta tensio*. La nuna nominala grandeco de la reta tensio estas 230V. La nutrotransformatoroj havas minimume du bobenojn, nomataj tiuj *primara* kaj *sekundara*. Tre ofte la sekundara parto konsistas pli ol unu bobenoj apartaj. La primara bobeno estas unueca, sed povas havi plurajn *elbrancigojn*. Ankaŭ la

sekundara(j) bobeno(j) povas havi elbranĉigojn. Kun tiuj elbranĉigoj oni povas varii la sekundrajn tensiojn. En ĉi tiu tipa transformatoro la primara bobeno kaj la sekundara bobeno ne havas metalan kontakton.

- La **energetikaj transformatoroj** estas similaj al la nutrotransformatoroj, sed ĉi tiuj havas pli grandajn mezurojn, kaj elektrajn, kaj geometriajn.
- La **sekura transformatoro** estas kreita por ke tiu metale diskontaktu la retan tension de la konsumila tensio, tiel defende la konsumanton se okazus difekto de konsumilo. La grandeco de la konsumila tensio estas egala kun la reta tensio. Ĉi tiun transformatoron oni kutimas nomi ankaŭ *deiga tranfromatoro*.
- La **adapta transformatoro** estas kuplilo inter la sinsekvantaj cirkvitaj partoj kaj havas funkcion *adaptigi la impedencon al la ŝarĝilo*. Laŭ la konstrukto similas al la nutrotransformatoroj.
- Estas speciala transformilo la t.n. **aŭtotransformatoro**, kiu havas nur unu bobenon (primaran), sed la bobeno havas plurajn elbranĉaĵojn. Ĉi tipa transformilo ne certigas metalan diskontaktigon de la reta tensio, tial estas tre danĝera koncerne la *prokurentan vundiĝon*. Ĝuste pro tio ekz. ĉi tiu konstrukto ne estas permesata ĉe la nutrotransformiloj.

La plej ofte uzataj estas la nutrotransformatoroj. Pro tio, ĉi tiu priskribo klarigos pli detale nur la nutrotransformilojn. Por la konstruado de transformatoroj ekzistas diversaj tabeloj helpi la kalkuladon. Antaŭ ol mi prezentu kelkajn tabelojn ni resumu la paŝojn por la kreado de transformilo.

1. Decido pri la bezonata sekundara poveco.
2. La sekundaran povecon devas multoblige kun 20%, kiu estos la primara poveco.
3. Konante la povecon primaran, el la 1-a tabelo devas konstati la sekcon (*A*) de la ferkerno.
4. En la tabelo estas trovebla la bezonata volvonombro kaj primara kaj sekundara por unu volta tensio, laŭ la diversaj ferkernotipoj, kiuj difinas la *B* indukton en Teslo kaj Gauso.
(Se la ferkerna materio havas 4% silicion, tiam $B = 1T$)
5. Konante la retan tension jam estas kalkulebla la primara volvonombro.
6. Ankaŭ la sekundara volvonombro estas kalkulebla laŭ la bezonata(j) tensio(j).

7. Kalkulo de la kurento primara. (La sekundara jam estas difinita ĉe la 1. punkto).
8. En la 2-a tabelo estas trovebla la bezonata dratdiametroj laŭ la kurentoj.
9. Devas kontroli la bezonatan geometrian lokon por la bobenoj.

Antaŭ la tabeloj vi studu kelkajn ekvaciojn por la kalkulado.

Laŭ la 1-a punkto devas decidi unue kom da intensa tensio estas bezonata kun kom da poveco. El tiuj datenoj jam estas kalkulebla la sekundara kurento.

$$I_{sek} = \frac{P_{sek}}{U_{sek}}$$

Kalkulu ankaŭ la primaran kurenton.

$$I_{pr} = \frac{P_{pr}}{U_{pr} \cdot \cos \varphi} ; \text{ La } \cos \varphi \text{ estas la } \textit{poveca faktoro}, \text{ por kies valoro en la praktiko estas uzebla } 0,8.$$

En la praktiko estas uzata tiu formulo, kiu tre simpligas la kalkuladon de la volvonombro por nutrotransformiloj. La formulo estas:

$$n = \frac{50}{A} ; \text{ Ĉi tiu formulo estas deduktita el la sekvantaj formuloj:}$$

$$n = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot A \cdot B} ; \text{ por } 1V \text{ tensio estas } n = \frac{1}{4,44 \cdot f \cdot A \cdot B}$$

f estas la tensioreta frekvenco. (Hz)

A estas la sekco de la ferkerno. (m^2). Ĉar en la praktiko estas uzataj nur cm^2 sekcoj, en la formulo devas kalkuli kun la $A \cdot 10^{-4} m^2$ formulo.

B estas indukto, kiu povas esti plej ofte:

0,8T = 8000G
0,9T = 9000G
1,0T = 10000G

Sen la tuta kalkulado deduktita por la diversaj B induktoj ni ricevas la sekvantajn rezultojn pri la n volvonombro po 1V tensio.

$$\hat{C}_e: \quad 0,8T \quad n = \frac{56}{A} \left[\frac{V}{volvo} \right]$$

$$0,9T \quad n = \frac{50}{A} \left[\frac{V}{volvo} \right]$$

$$1,0T \quad n = \frac{45}{A} \left[\frac{V}{volvo} \right]$$

Kiel videblas la la po voltaj volvonombro dependas de la ferkernomaterio. Por pli kvalitaj ferkerno estas bezonata malpli da volvonombro.

La sekvantaj tabeloj apartenas al la EI kaj M tipaj ferkernoj.

Prezenti tabelojn pri ĉiuj tipoj en ĉi tiu libro ne eblas. La fabrikoj eldonas katalogojn el kiuj oni povas ellegi la bezonatajn datenojn.

Anatŭ ol vi komencos trastudi la tabelojn, kelkaj vortoj pri la varieblaj induktoj.

La induktojn varii eblas diversmaniere, ekz. per:

- Bobeno, havanta plurajn elbranĉojn.
(Se la volvonombro variigĝas, ankaŭ la indukto variigĝas)
- Sur la ferkerno movigeblaj bobenoj.
(Se la bobeno ne estas tute sur la ferkerno, tiam la parto de fortolinioj divergiĝas)
- Mem la ferkerno estas movigebla.

La plej multaj varieblaj induktoj dum la funkciado ne variigĝas, sed post la precizigo estas fiksitaj. Sed ekzistas ankaŭ tiaj, kiun oni povas dum la funkciado daŭre varii. Ekz. tiaj estas la toroid-transformiloj, la variometroj kaj en kelkaj

radioaparatoj (ekz. en la aŭtomobiloj uzataj) trovebla agorda induktilo por trovi la bezonatan radiostacion.

Tabelo 1.

Sekco de la ferkerno A [cm ²]	Poveco P [W]	[V/n] 0,8T = 8000G		[V/n] 0,9T = 9000G		[V/n] 1,0T = 10000G	
		Prim.	Sek.	Prim.	Sek.	Prim.	Sek.
1	0,51	53	59	47,5	52,5	43	47
1,5	1,15	35,5	39	31,5	35,0	28,5	31,5
2	2,0	26,5	29,5	23,6	26,3	21,5	23,5
2,5	3,2	21,3	23,5	19,0	21,0	16,0	18,7
3	4,6	17,6	19,6	15,8	16,5	14,2	15,7
3,5	6,4	15,2	16,8	13,6	15,0	12,2	13,5
4	8,2	13,3	14,7	11,9	13,2	10,7	11,8
4,5	10,0	11,8	13,0	10,5	11,6	9,5	10,5
5	12,8	10,5	11,8	9,5	10,5	8,6	9,5
5,5	15,4	9,6	10,7	8,6	9,6	7,8	8,6
6	18,4	8,8	9,8	7,9	8,8	7,1	7,9
6,5	21,8	8,2	9,1	7,3	8,1	6,5	7,3
7	25,0	7,6	8,4	6,8	7,5	6,1	6,7
7,5	29	7,1	7,8	6,3	7,0	5,7	6,3
8	33	6,6	7,3	5,9	6,6	5,3	5,9
8,5	37	6,2	6,9	5,6	6,2	5,0	5,6
9	41	5,9	6,5	5,3	5,8	4,7	5,3
9,5	46	5,6	6,2	5,0	5,5	4,5	5,0
10	51	5,3	5,9	4,7	5,3	4,3	4,7
12	73	4,4	4,9	4,0	4,4	3,6	3,9
15	115	3,6	3,9	3,2	3,5	2,8	3,2
18	165	3,0	3,3	2,7	2,9	2,4	2,7
20	200	2,7	3,0	2,4	2,6	2,15	2,4
25	320	2,1	2,4	1,9	2,1	1,72	1,9
30	460	1,8	1,97	1,6	1,76	1,43	1,6

La supra tabelo validas por 50 Hz-a kurento, kies formo estas sinusa.

Tabelo 2.

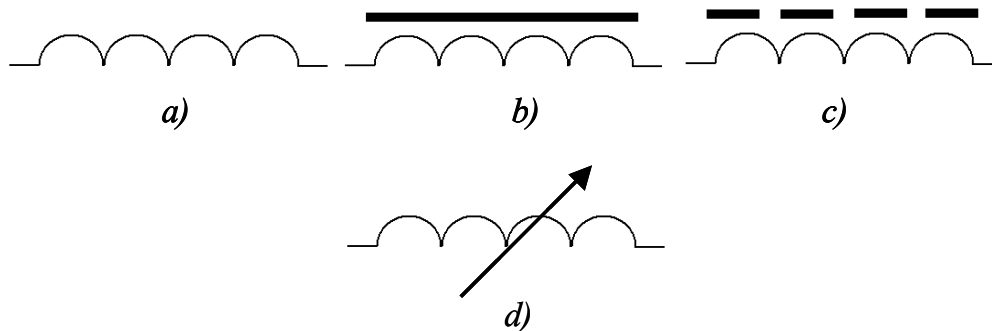
Diametro de drato d [mm]	Sekco de drato A [mm ²]	Permesata kurentointenso [A]		
		$2A / \text{mm}^2$	$2,5A / \text{mm}^2$	$3A / \text{mm}^2$
0,05	0,002	0,004	0,005	0,006
0,08	0,005	0,010	0,013	0,015
0,10	0,0079	0,016	0,020	0,024
0,12	0,0113	0,022	0,029	0,033
0,15	0,0177	0,034	0,044	0,051
0,20	0,0314	0,062	0,079	0,093
0,25	0,049	0,098	0,122	0,147
0,30	0,071	0,142	0,177	0,213
0,35	0,096	0,192	0,240	0,288
0,40	0,126	0,252	0,315	0,378
0,45	0,159	0,320	0,400	0,480
0,50	0,196	0,392	0,490	0,588
0,60	0,283	0,580	0,710	0,840
0,70	0,385	0,770	0,965	1,155
0,80	0,503	1,000	1,260	1,500
0,90	0,636	1,280	1,590	1,900
1,0	0,786	1,600	1,960	2,400
1,2	1,130	2,200	2,750	3,300
1,4	1,540	3,000	3,750	4,500
1,5	1,770	3,600	4,500	5,400
1,8	2,540	5,000	6,250	7,500
2,0	3,140	6,200	7,750	9,300
2,5	4,900	10,000	12,500	15,000
3,0	7,550	15,000	18,750	22,500

En la transformiloj la permesata *kurentodenseco* ĉe la malsupraj (internaj) bobenoj estas maksimume $2,5A / \text{mm}^2$. Ĉe la supraj (eksteraj) bobenoj la permesata kurentodenseco estas $3A / \text{mm}^2$.

La transformilo ne stas preta post la bobenvolvado kaj la enmeto de ferkerno. Oni impregnas la transformilon. La impregnaĵo estas rezinhava kemikaĵo, kiu certigas por la transformilo mekanikan kaj elektran stabilecon, defendas kontraŭ la malsekaĵo, elkonduktas la disipitan varmon. Post la sekigado la transformilon oni enmetas en la impregnofluaĵon. Poste sekvantas refoje la sekigado, por ke eliĝu la solvaĵo el la impregnaĵo. Se la impregnado

okazas en vakumo, tiam estas pli kvalita la transformilo, ĉar pro la vakumo la aerbubloj eliĝas el la imregnaĵo.

La figuroj de la induktiloj estas diversaj en la cirkvitaj skemoj. Sur la sekvanta figuro vi povas vidi: 15/a) induktilo aerkerna, 15/b) induktilo, havanta lamenstrukturan ferkernon, 15/c) induktilo, havanta polvostrukturan ferkernon, 15/d) induktilo kun variebleco de indukto, *variometro*.



Figuro 15.

Tiu *d)* povas esti ankaŭ ferkerna. La indukton de induktilo oni povas varii ĉe aerkerna bobeno tiel, ke la volvodistancojn oni longigas aŭ kurtigas. Plejofte estas uzata tia variometro en la altfrekvencaj cirkvitoj, en kiuj la induktiloj havas nur kelkajn volvojn. Ĉe ferkernaj induktiloj la indukton oni povas varii per la ferkerno tiel, ke la kernon aŭ nur parton de kerno oni proksimigas aŭ forigas al/de la volvoj.