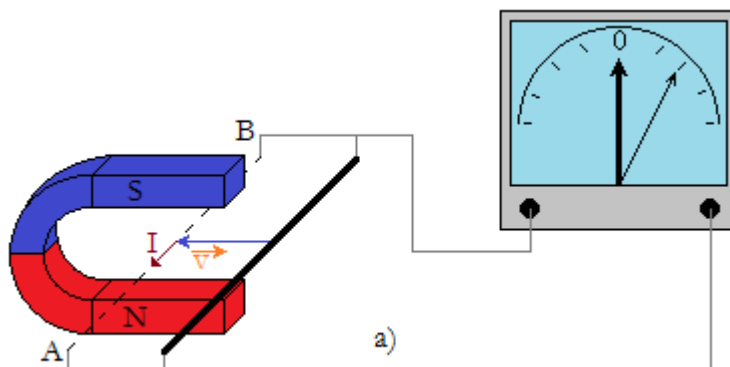


IV.1. Induksioni elektromagnetik

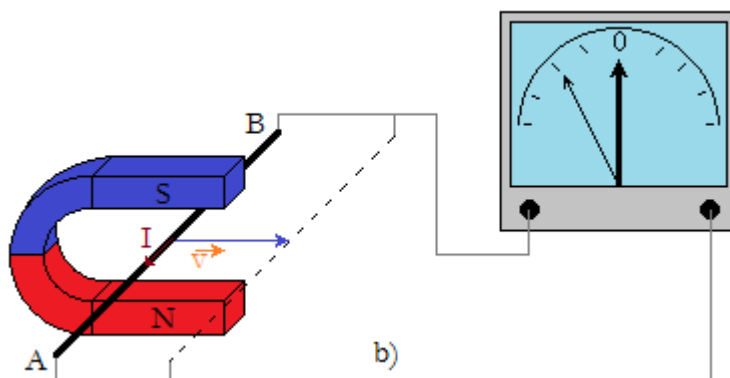
Përcjellësit nëpër të cilët rrjedh rryma elektrike, krijojnë fusha magnetike konstante koherente. Tek rrymat koherente të ndryshueshme, gjejmë tek fushat magnetike koherente të ndryshueshme, kemi shumë dukuri të reja, ku njëra ndër më të rëndësishmet është dukuria e **induksionit elektromagnetik**, e zbuluar nga **Faradei** (*Michael Farady*).

Zbulimi i kësaj dukurie të rëndësishme ka mundësuar që në vitet e ardhshme të konstruktohen një numër i madh i mjeteve teknike: *gjeneratorët e rrymës, transformatorët, mjetet telegrafike, telefoni, radioja, televizori*, si dhe shumë mjete tjera të rëndësishme.

I gjithë hulumtimi i kësaj dukurie ka filluar me një pyetje të thjeshtë: **Nëse në përcjellës nëpër të cilin rrjedh rryma vepron fushë magnetike dhe e lëviz atë, a thua është i mundshëm procesi i kundërt me lëvizjen e përcjellësit në fushë magnetike, dhe në përcjellës të krijohet forcë elektromotore dhe nëpër të të rrjedh rryma.**



Në rastin e forcës së **Amperit** fitonim energji mekanike në llogari të asaj elektrike (*fusha magnetike e lëviz përcjellësin nëpër të cilin rrjedh rryma*), kurse në eksperimentin e kundërt do të fitojmë energji elektrike në llogari të asaj mekanike. **Faradei** gati në të njëjtën kohë edhe **Henri** (*Joseph Henry*), kanë konstatuar se kjo është e mundshme.

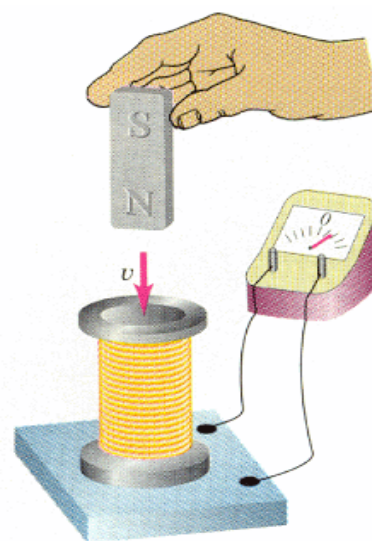


Përcjellësin e lidhur me një galvanometër do ta lëvizim ndërmjet poleve të magnetit të përhershëm në formë të shkronjës **U** (fig.1).

Derisa ka lëvizje relative ndërmjet magnetit dhe përcjellësit do të kemi lëvizjen e shigjetës në galvanometër, që nënkupton se në qark rrjedh rryma, ku si rezultat është krijuar **forca elektromotore e induktuar**, për shkak të së cilës rrjedh rryma e induktuar.

Kahja e rrymës varet nga kahja e lëvizjes së forcës **F** dhe kahja e fushës magnetike (induksionit magnetik **B**), dhe mënjanimi në galvanometër do të zmadhohet nëse zmadhohet shpejtësia e lëvizjes relative të përcjellësit.

Kahja e rrymës së induktuar kryesisht përcaktohet me rregullën e **Flemingut**: **Kur gishti i madh dhe gishti i mesëm do të vendosen nën kënd të drejtë, dhe nëse gishti tregues vendoset në kahje të induksionit magnetik dhe lëvizjen e përcjellësit e bëjmë në kahje të gishtit tregues, atëherë kahja e gishtit të mesëm do të na jep kahjen e rrjedhjes së rrymës së induktuar.**



Prova paraprake do të jetë më efikase nëse në vend të lëvizjes së përcjellësit në krahasim me magnetin, le të lëviz magneti në krahasim me bobinën me **N** dredha (fig.2).

Nëse bëjmë edhe një eksperiment tjetër me dy qarqe: ku i pari është i lidhur me burimin e forcës elektromotore (*qarku primar*), dhe i dyti në të cilin ka vetëm galvanometër (*qarku sekondar*) (fig.3). Këto dy qarqe kanë bobinë dhe bërthamë të përbashkët të hekurit.

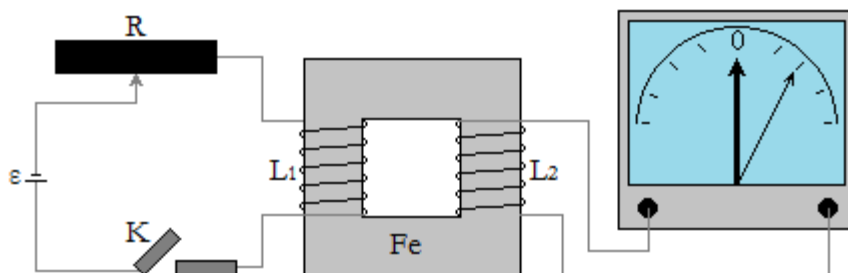


Fig.3. Induksioni elektromagnetik, ku në qarkun primar janë të lidhur rezistuesi R dhe ndërprerësi K.

Bobina L_1 nëpër të cilën kur do të rrjedh rrymë do të krijojë fushë magnetike, vijat e forcave magnetike të së cilës e përfshijnë edhe bobinën L_2 .

Kur fusha magnetike në bobinën primare do të ndryshohet, do të vjen deri tek induktimi i forcës elektromotore në bobinën sekondare, me çka galvanometri do të tregojë mënjanim. Ndryshimi i induksionit magnetik \vec{B} do të bëhet ose me kyçjen dhe çkyçjen e rrymës ose me ndryshimin e rezistencës.

Në këtë rast vjen deri tek ndryshimi i intensitetit të rrymës dhe meqë induksioni magnetik në bobinën L_1 është dhënë me:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{NI}{l} \dots \dots (1)$$

nga ku shihet se ndryshon edhe induksioni magnetik

Në relacionin (1) μ_r – është permeabiliteti magnetik relativ i bërthamës së hekurit, N – është numri i dredhave, kurse l – është gjatësia e solenoidit (*bobinës*).

Induktimi i rrymës ndodh gjat prerjes së vijave të forcave magnetike ose gjat ndryshimit të madhësisë së vektorit të induksionit magnetik.

Ligji themelor për induksionin elektromagnetik

Madhësia e cila i lidh syprinën e sipërfaqes dhe induksionin magnetik është **fluksi magnetik**. Nga eksperimentet mund të përfundojmë se gjat induktimit të eemës vjen deri te **ndryshimi kohor i fluksit magnetik**.

Fluksi magnetik që e përfshin ndonjë sipërfaqe të rrafshhtë të syprinës S , është e përcaktuar me relacionin:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \dots \dots (2)$$

Nëse këndi α është zero, atëherë rrafshi i qarkut është normal me vijat e forcave magnetike dhe qarku atëherë përfshin fluks më të madh.

Ligji themelor për induksionin elektromagnetik shkruhet me barazimin në vijim:

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \dots \dots (3)$$

Forca elektromotore e induktuar ε_i është e barabartë me shpejtësinë e fluksit magnetik të marrë me shenjë të kundërt.

Nëse induktimin e rrymës e krijojmë në solenoid me N dredha, meqë vijat e forcave magnetike e përfshijnë çdonjërin nga dredhat, forca elektromotore e induktuar do të jetë N herë më e madhe:

$$\varepsilon_i = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{ose} \quad \varepsilon_i = -N \cdot \frac{\Delta(\mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \alpha)}{\Delta t} \quad \dots \dots \quad (4)$$

F.E.M. e rrymës së induktuar dhe forca e Lorencit

Nëse analizojmë eksperimentin e skicuar në *fig. 1*, përcjellësin \mathbf{AB} e lëvizim në fushë magnetike me një shpejtësi \mathbf{v} , ashtu që lëvizja është normale në vijat e forcave magnetike. Në përcjellës ka elektrone të lira, të cilat e fitojnë shpejtësinë e njejtë \mathbf{v} .

Kjo lëvizje ndodh në fushën magnetike, prandaj në elektrone do të veprojë forca e **Lorencit**. Në pajtim me rregullën e **Flemingut** elektronet do të grumbullohen kah pjesa e përcjellësit të shënuar me \mathbf{A} , ku pjesa \mathbf{B} do të ketë tepriçë të ngarkesave pozitive.

Ndërmjet këtyre dy pikave paraqitet tension elektrik (\mathbf{U}), në kushte të baraspeshimit dinamik forca elektrike \mathbf{F}_{el} do të baraspeshohet me forcën e **Lorencit** \mathbf{F}_L dhe lëvizja e mëtejme e elektroneve do të ndërpritet.

Se si këto forca veprojnë në ngarkesën pozitive të kushtëzuar, madhësia e së cilës është \mathbf{Q} , do të shohëm në vijim:

Madhësia e forcës së **Lorencit** është:

$$\mathbf{F}_L = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B} \cdot \sin \alpha \quad \alpha = (\vec{v}, \vec{B}) \quad \dots \dots \quad (5)$$

Forca elektrike është dhënë me:

$$\mathbf{F}_{el} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{E} = \mathbf{Q} \cdot \frac{\mathbf{U}}{l} \quad \dots \dots \quad (6)$$

ku l – është gjatësia e përcjellësit ndërmjet pikave \mathbf{A} dhe \mathbf{B} , kurse \mathbf{U} – është tensioni që është krijuar ndërmejt tyre. Me barazimin e anëve të djathta të barazimeve (5) dhe (6), fitohet:

$$\mathbf{U} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{v} \cdot l \cdot \sin \alpha \quad \dots \dots \quad (7)$$

Meqë tensioni ndërmjet dy pikave në qarkun e hapur elektrik është i barabartë me F.E.M. të rrymës së induktuar, F.E.M. e cila paraqitet gjat lëvizjes së përcjellësit në fushën magnetike, fitohet:

$$\varepsilon_l = \mathbf{B} \cdot \mathbf{v} \cdot l \cdot \sin \alpha \quad \dots \dots \quad (8)$$

Roli i forcës së jashtme e cila është shkak për krijimin e forcës elektromotore, në këtë rast është forca magnetike e **Lorencit**, e cila vepron në elektronet e përcjellësit.

IV.2. Rregulla e Lencit për rrymën e induktuar. Rrymat valëvitëse

Rregulla e *Flemingut* e dorës së djathtë për kahjen e rrymës mund të aplikohet vetëm në rast kur bëhet fjalë për lëvizjen e përcjellësit normal në vijat e forcave magnetike.

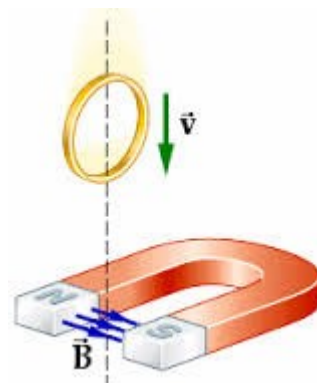
Ekziston edhe rregull universale për kahjen e rrymës elektrike të induktuar që quhet *rregulla e Lencit* (*Heinrich Friedrich Emil Lenz*).

Forca elektromotore e induktuar krijohet në qark në të cilin vjen deri tek ndryshimi kohor i fluksit magnetik, me çrast në qark rrjedh rrymë e induktuar. Rryma e induktuar krijon fushë magnetike e cila quhet *fushë magnetike e induktuar*.

Kahja e rrymës së induktuar është e tillë që ajo me fushën e vet magnetike i kundërvihet ndryshimit të fluksit magnetik i cili është shkak për krijimin e saj.

Nëse shkak për induktimin e rrymës është lëvizja relative e përcjellësit në krahasim me fushën magnetike, atëherë rryma e induktuar i kundërvihet kësaj lëvizjeje. Poashtu nëse shkak për induktimin e rrymës është ndryshimi i madhësisë së induksionit magnetik, atëherë fusha magnetike e rrymës së induktuar i kundërvihet këtij ndryshimi.

Në *fig.1* është paraqitur unaza prej alumini dhe magneti në formë të shkronjës *U*. Kur unaza do të afrohet magnetit, ajo do të dëbohet nga magneti, por pas qetësimit të sistemit magnetik dhe pasi që ta terheqim unazën, ajo do të afrohet kah magneti.



Në këtë rast rryma e induktuar e krijuar në unazë i kundërvihet zmadhimit të fluksit magnetik i cili është i kushtëzuar nga afrimi i magnetit, kurse gjat tërheqjes së unazës vjen deri tek zvogëlimi i fluksit magnetik që shkakton induktimin e rrymës, fusha magnetike e së cilës i kundërvihet zvogëlimit të fluksit magnetik.

Rregulla e *Lencit* e sqaron edhe shenjën minus (-) në ligjin themelor për forcën elektromotore të induktuar.

$$\epsilon_l = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \dots \dots (1)$$

Nëse $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ është pozitive d.m.th. $\Phi_2 > \Phi_1$ fluksi zmadhohet, atëherë forca elektromotore e rrymës së induktuar i kundërvihet zmadhimit të fluksit. Dhe anasjelltas, nëse $\Phi_2 < \Phi_1$ fluksi zvogëlohet dhe forca elektromotore e rrymës së induktuar i kundërvihet këtij zvogëlimi.

Rregulla e *Lencit* për kahjen e rrymës së induktuar vlen për të gjithë rastet e induktimit të rrymës, posaçërisht rryma të induktuara të forta mund të krijohen në përcjellës të cilët janë masiv, nëse gjenden në hapësirë në të cilën ndryshon fluksi magnetik.

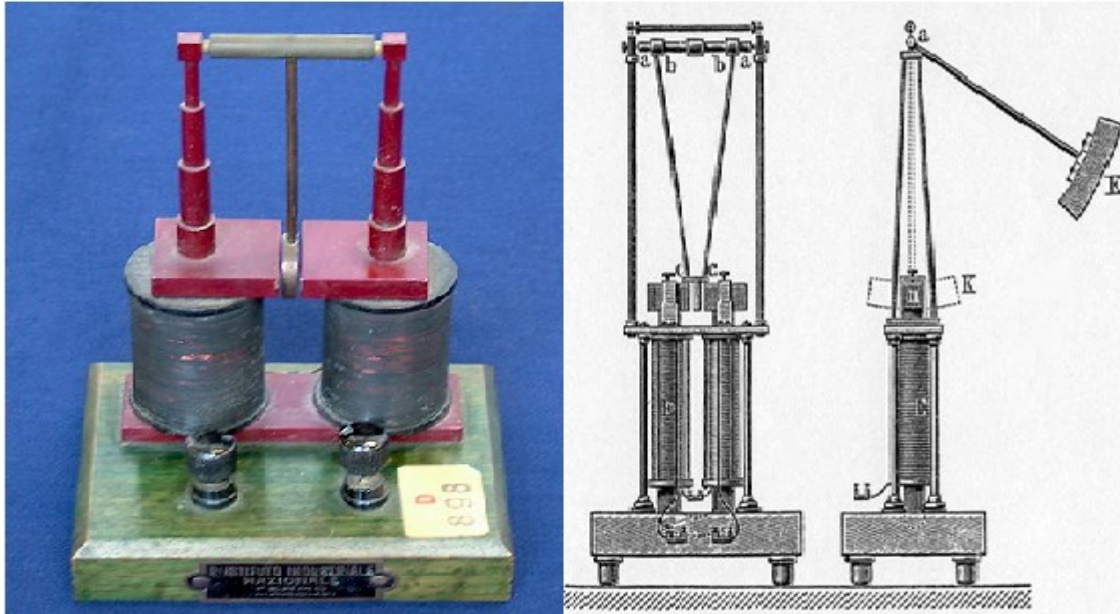
Rrymat valëvitëse (rrymat e Fukut)

Rrymat e induktuara në përcjellës masiv quhen *rryma valëvitëse* ose *rrymat e Fukut* (*Jean Bernard Leon Foucault*). Rrymat valëvitëse janë pasojë e të ashtuquajturës *fushë magnetike valëvitëse*, e cila sipas *Maksvellit* krijohet rreth cilësdo fushë magnetike të ndryshueshme.

Maksvelli në mënyrë teorike ka verifikuar se *çdo fushë magnetike e ndryshueshme krijon rreth vetes fushë elektrike të ndryshueshme*, poashtu fusha magnetike nuk do të thotë se duhet të krijohet vetëm me lëvizjen e ngarkesës elektrike, por *nëse diku ekziston fushë elektrike e ndryshueshme, ajo rreth vetes krijon fushë magnetike të ndryshueshme*.

Kjo lidhje e pashkëputshme ndërmjet ndryshimeve në fushat elektrike dhe magnetike na tregon se në rast të fushave kohore të ndryshueshme, bëhet fjalë për **fushë të njëjtë elektromagnetike**.

Fusha elektrike valëvitëse e induktuar në përcjellës masiv shkakton rryma valëvitëse të forta të cilat mbyllën në atë përcjellës. Dukuria e rrymave valëvitëse tek përcjellësit masiv vjen në shprehje tek lavjerësi i **Valtenhofenit** (*Adalbert von Waltenhofen*) (fig.2).



Rrymat valëvitëse gjejnë aplikim në shumë sfera. Përcjellësit masiv kanë rezistencë shumë të vogël, prandaj për shkak të kësaj kanë edhe ndryshime relative të vogla të fluksit magnetik, tek përcjellësit e tillë krijohen rryma valëvitëse me intensitet të madh.

Rrymat e tilla të forta i nxehin përcjellësit dhe mund të vjen deri tek temperatura më të mëdha se pika e shkrirjes së metalit. Pikërisht ky efekt përdoret tek **koftorët induktues**. Për shkak se fusha magnetike shtrihet edhe në vakum, ekzistojnë edhe vakum koftorë të induktuar.

Me shfrytëzimin e rrymave valëvitëse janë të ndërtuara disa mjete për matje, si: **tahometri, numëruesi elektrik**, etj. Por tek disa mjete rrymat valëvitëse janë të dëmshme, meqë shkaktojnë nxehjen e përcjellësit dhe shkaktojnë humbje të energjisë elektrike.

Tek këto paisje zvogëlimi i **rrymave të Fukut** bëhet ashtu që përcjellësit nuk janë masiv por janë të ndërtuar nga fletë të holla metalike, të ngjitura me ngjitës izolues.

IV.3. Autoinduksioni dhe induktiviteti

Nëse rryma që rrjedh nëpër përcjellës është e ndryshueshme, atëherë ndryshohet edhe madhësia e induksionit magnetik të fushës, të cilën e krijon ajo rrymë. Sipas **Faradeit** edhe në përcjellësin e tillë induktohet forcë elektromotore e cila i kundërvihet ndryshimit të fluksit magnetik.

Dukuria e induktimit të **F.E.M** në përcjellës nëpër të cilin rrjedh rryma e ndryshueshme, nën veprimin e ndryshimeve të fluksit magnetik të saj quhet **Autoinduksion**. Forca elektromotore e induktuar që paraqitet ndërkohë quhet **forcë elektromotore e autoinduktuar**.

Fluksi magnetik i krijuar nga rryma që rrjedh nëpër qarkun elektrik është e përcatuar me relacionin:

$$\Phi = B \cdot S \dots \dots (1)$$

Nëse supozojmë se rryma në qark ndryshon, atëherë ndryshohet edhe induksioni magnetik dhe për shkak të kësaj ndryshohet edhe fluksi magnetik. Kështu mund të shkruhet se, fluksi magnetik i krijuar në ndënjë konturë nëpër të cilën rrjedh rryma, është në proporcion të drejtë me intensitetin e rrymës I :

$$\Phi = L \cdot I \dots \dots (2)$$

ku L është koeficienti i proporcionalitetit i cili quhet *koeficient i autoinduksionit* ose *induktivitet*.

Induktiviteti është veti e rëndësishme e qarkut elektrik e cila varet nga gjeometria dhe elementet e qarkut elektrik, poashtu edhe nga permeabiliteti i mjedisit në të cilin ajo gjindet. Për qark të rrymës së dhënë më së shpeshti induktiviteti është konstant.

Sipas ligjit të Faradeit, për forcën elektromotore të induktuar, forca elektromotore e autoinduksionit ϵ_v mund të shkruhet:

$$\epsilon_v = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \dots \dots (3)$$

Nga relacioni shihet se forca elektromotore e autoinduktuar është në proporcion të drejtë me shpejtësinë e ndryshimit të intensitetit të rrymës ($\Delta I/\Delta t$). Relacionin (3) e shkruajmë edhe në formën:

$$\epsilon_v = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{I_2 - I_1}{\Delta t} \dots \dots (4)$$

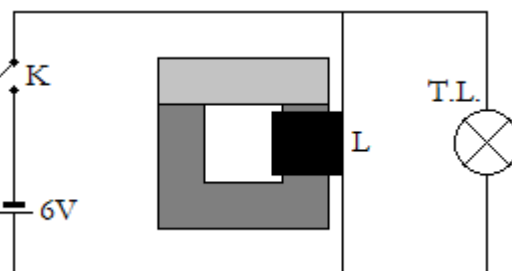
gjat së cilës I_2 është intensiteti i rrymës në fund, kurse I_1 në fillim të intervalit kohor Δt , për të cilin ka arritur deri tek ndryshimi i rrymës.

Nëse rryma zmadhohet, $I_2 > I_1$, $\Delta I/\Delta t > 0$, F.E.M e autoinduktuar dhe rryma e autoinduktuar kanë kahje të kundërt nga kahja e rrymës në qark. Nëse rryma zvogëlohet, $I_2 < I_1$, $\Delta I/\Delta t < 0$, F.E.M e autoinduktuar i kundërvihet zvogëlimit të rrymës, prandaj rryma e autoinduktuar ka kahje të njëjtë si rryma që rrjedh nëpër qark.

Me autoinduksion mund të arrihet tension dukshëm më i madh se tensioni ekzistues i burimit të rrymës. Le të lidhim një qark të rrymës si në fig.1.

Në burim të rrymës prej $6V$ paralel janë lidhur bobina L me numër të madh të dredhave dhe poçi $T.L$, i cili ndriçon normalisht në $220V$.

Gjat qarkut të kyçur poçi nuk ndriçon meqenë se është i kyçur në tension prej $6V$, por gjat shkyçjes ndriçon pak.



Gjat shkyçjes së rrymës vjen deri tek ndryshimi i menjëhershëm i fluksit magnetik në bobinë. Ky ndryshim është shkak i autoinduktimit të forcës elektromotore të rendit të madhësisë së tensionit të ndezjes së poçit.

Induktiviteti

Le të shfrytëzojmë ligjin për autoinduktimin e forcës elektromotore (3) që ta sqarojmë madhësinë fizike, *Induktivitet*:

$$\epsilon_v = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Nga barazimi shihet se: *Induktiviteti është madhësi fizike e cila është e njëjtë me F.E.M të autoinduksionit që paraqitet në qark të rrymës së dhënë në të cilën rryma ndryshohet me shpejtësi prej 1A/s.*

Induktiviteti është madhësi e ngjashme me kapacitetin elektrik, i cili varet nga vetitë gjeometrike të përcjellësit, nga dimensionet e tij dhe forma, por nuk varet nga ajo se a rrjedh rrymë nëpër përcjellës ose jo.

Induktiviteti poashtu varet edhe nga permeabiliteti magnetik o mjedisit në të cilin gjendet përcjellësi i caktuar. Induktiviteti është proporcional me permeabilitetin magnetik relativ të mjedisit të caktuar μ_r .

Njësia për induktivitet në **SI** është **Henri (H)**. Ndonjë përcjellës ka induktivitet prej **$1H$** atëherë kur do të jetë i lidhur në qark të rrymës me rrymë të ndryshueshme, gjat ndryshimit të intensitetit të rrymës prej një amperi për një sekondë, në skajet e përcjellësit do të autoinduktohet forcë elektromotore prej një volti.

Induktiviteti i solenoidit me **N** dredha, me prerje tërthore **S** dhe gjatësi **l** , është dhënë me barazimin:

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l} \dots \dots (5)$$

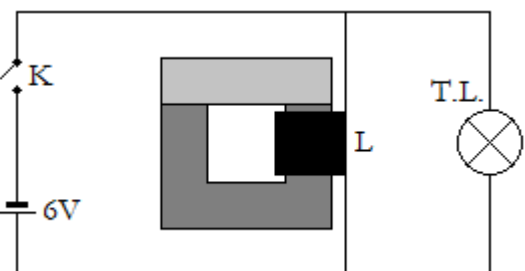
μ_r është permeabiliteti magnetik relativ i mjedisit të vendosur në solenoid.

Nga barazimi (5) shihet se pse konstanta magnetike μ_0 shprehet në njësinë **H/m** .

IV.4. Energjia e fushës magnetike

Duke u bazuar në shembullin e treguar në figurë, mund të supozojmë se në bobinë ka ekzistuar energji magnetike e cila është akumuluar dhe e cila pas çkyçjes harxhohet për ndriçim të poçit.

Poashtu gjat çkyçjes rryma është e ndryshueshme dhe atëherë forca elektromotore e autoinduksionit i kundërvihet zmadhimit të rrymës.



Kjo do të thotë që të rrjedh rryma nëpër bobinë dhe me këtë të krijohet fusha magnetike, duhet të mbizotërohet forca elektromotore e autoinduksionit.

Nëse madhësia mesatare e forcës elektromotore të autoinduktuar është ϵ_v , kurse nëpër qark ka kaluar ngarkesa Q , atëherë puna që duhet të kryhet për mbizotërimin e F.E.M të autoinduktuar është e barabartë me $E\epsilon_v$. Kjo punë është e shndërruar në energji mekanike të bobinës.

Meqë ndryshimet e rrymës gjat kyçjes dhe çkyçjes janë të paraqitura me varshmëri të ndërlikuar, nxjerrja e përpiktë e relacionit për energjinë magnetike nuk është aq e thjeshtë. Prandaj ky relacion merret si i gatshëm:

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2} \dots \dots (1)$$

Energjia e fushës magnetike W_m e qarkut të caktuar është në proporcion të drejtë me induktivitetin e saj L dhe me katrorin e intensitetit të rrymës në qark I^2 .

Gjat çkyçjes së qarkut energjia magnetike harxhohet për autoinduktim të F.E.M të autoinduktivitetit që shkakton rrjedhje të rrymës edhe një periodë pas çkyçjes.

Meqë induktiviteti i bobinës me bërthama feromagnetike është shumë i madh, në qarqe me elektromagnet të tillë energjia e fushës magnetike është shumë e madhe.

Me nocionin ***dendësi e energjisë së fushës magnetike***, nënkuptojmë energjinë e njësisë vëllim nga fusha.