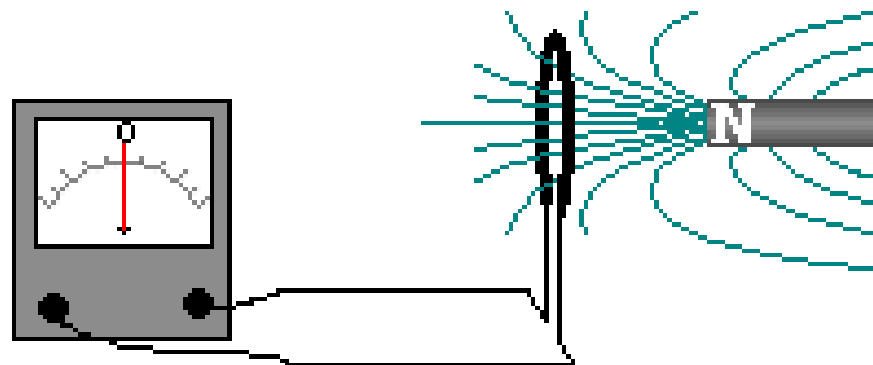
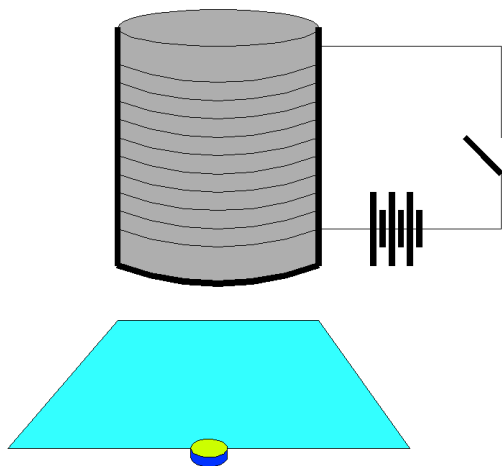




Elektromagnetska indukcija

Faradejev zakon



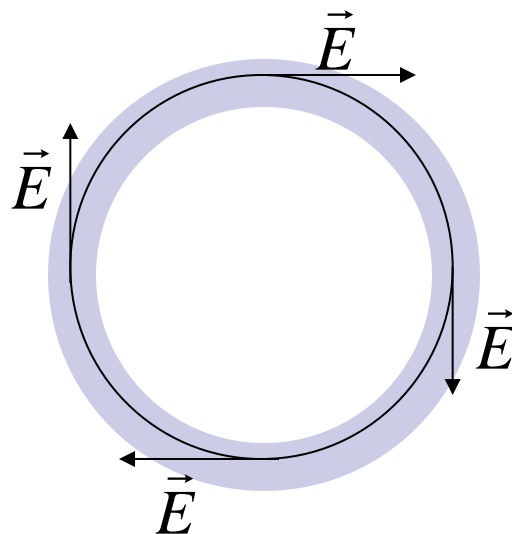
- Promena magnetskog fluksa kroz neku provodnu konturu izaziva električnu struju u toj konturi
- Električnu struju u provodnoj konturi pokreće elektromotorna sila koja nastaje u toj konturi usled promene magnetskog fluksa

Elektromagnetska indukcija je pojava nastajanja elektromotorne sile u promenljivom magnetskom polju

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Elektromotorna sila elektromagnetske indukcije

- Šta je ta elektromotorna sila?
- To je **vrtiložno električno (ne elektrostatičko) polje koje nastaje u celom provodniku**
- Polje nije elektrostatičko jer ga ne stvaraju naelektrisanja, već elektromagnetsko
- Nema konzervacije, nema elektrostatičkog potencijala



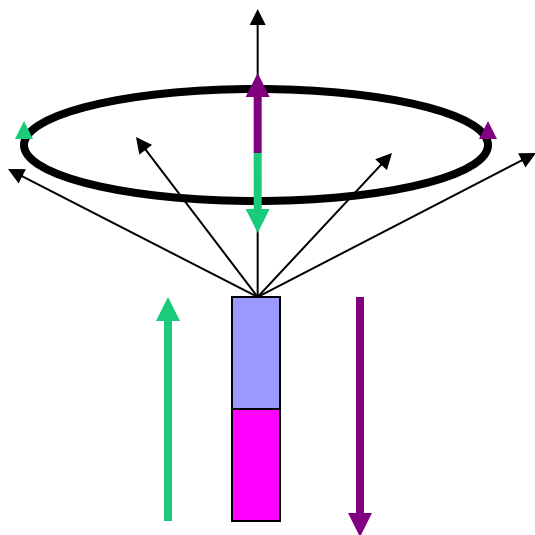
- Ako prekinemo provodnik, onda će se naelektrisanja kretati dok se njihovim nakupljanjem na kraju ne stvori elektrostatičko polje suprotno usmereno od elektromagnetskog, koje će ga poništiti
- Proces staje kada je $u = -e$

Lencovo pravilo

- Određuje smer indukovane elektromotorne sile

Indukovana elektromotorna sila teži da svojim dejstvom poništi uzrok svoga nastanka

- Izraz inercije prirode, odnosno zakona o održanju energije



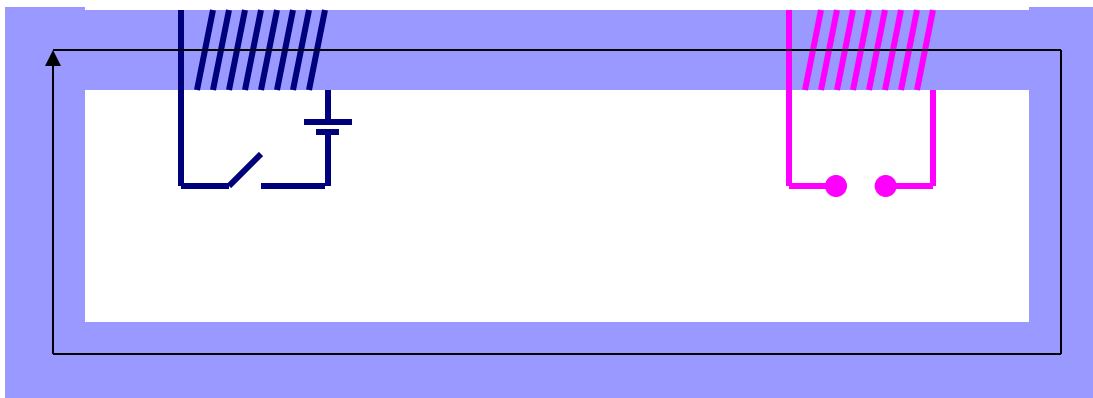
- Kontura reaguje na promenu magnetskog polja stvaranjem spostvenog magnetskog polja (indukovane struje)
- Ako se spoljašnji fluks uvećava, indukovani fluks teži da to povećanje anulira (odmaže spoljašnjem polju)
- Ako se spoljašnji fluks umanjuje, indukovani fluks teži da to umanjeđe anulira (pomaže spoljašnjem polju)

Statička i dinamička indukcija

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = -\frac{d}{dt} \int_s B \cdot dS \cdot \cos(\vec{B}, d\vec{S})$$

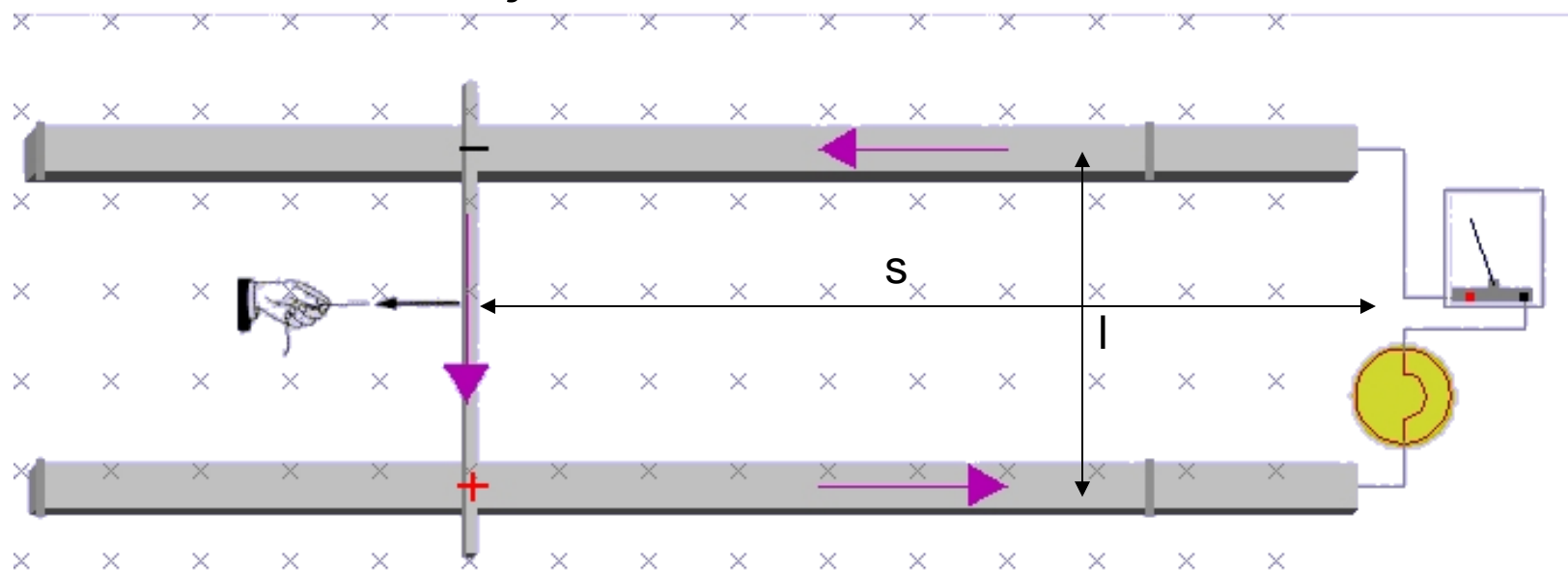
- Promena B \longrightarrow Statička indukcija
- Promena S \longrightarrow Dinamička indukcija
- Promena ugla B i S

Pri statičkoj indukciji se kontura u kojoj se indukuje ems ne kreće



Statička i dinamička indukcija

■ Dinamička indukcija

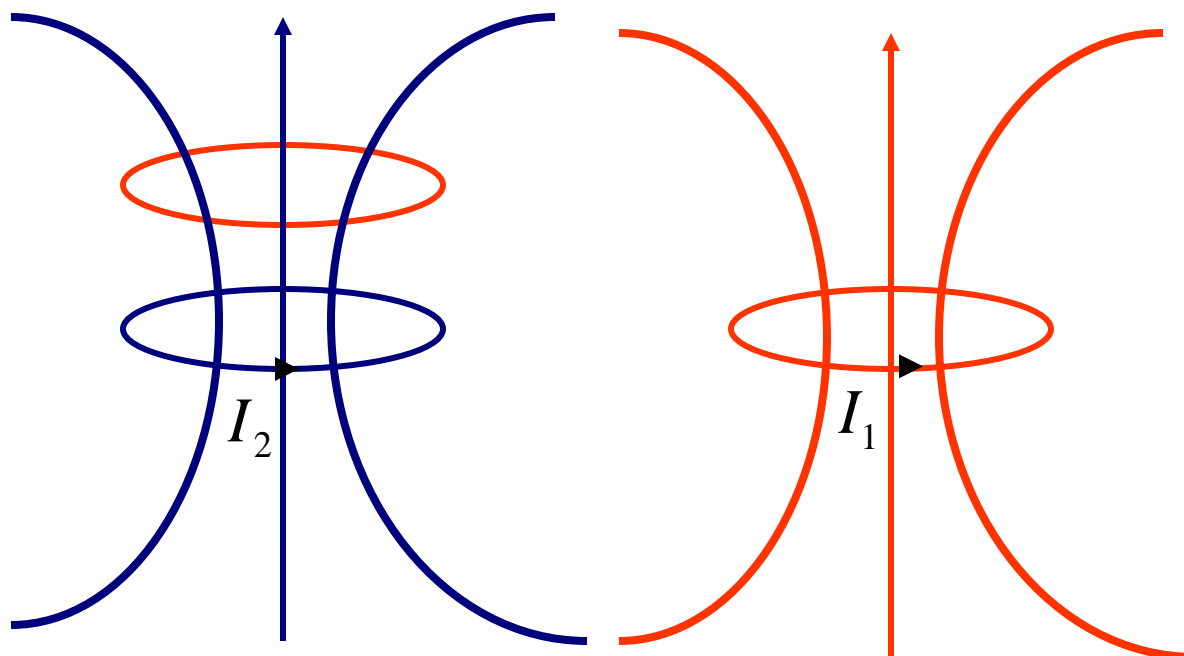


$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(BS)}{dt} = -\frac{d(Bls)}{dt} = -Bl \frac{ds}{dt} = -Blv$$

- U provodniku koji se kreće u magnetskom polju (seče linije magnetskih sila) indukuje se elektromotorna sila

Međusobna indukcija i samoindukcija

- Magnetsko polje koje stvara fluks kroz neku konturu može poticati od drugih kontura, ali može poticati i od struje same konture
 - međusobna indukcija
 - samoindukcija



$\Phi_1 = \Phi_1(I_2) = \Phi_{12}$
spoljašnji fluks

$\Phi_1 = \Phi_1(I_1) = \Phi_{11}$
sopstveni fluks

$$\Phi_1 = \Phi_{11} + \Phi_{12}$$

ukupni fluks

Međusobna indukcija i samoindukcija

$$e_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt} = -\frac{d\Phi_{11}}{dt} - \frac{d\Phi_{12}}{dt}$$

↑
ems samoindukcije

← ems međusobne indukcije

- Samoindukcija je električna inercija
- Ukoliko se pokuša smanjenje jačine struje u nekoj konturi, kontura će sama indukovati ems koja će sprečavati umanjenje
- Ukoliko se pokuša povećanje jačine struje u nekoj konturi, kontura će sama indukovati ems koja će sprečavati povećanje
- Lencovo pravilo

Induktivnost

- Intenzitet magnetskog polja je proporcionalan struji koja ga izaziva
- Fluks magnetskog polja kroz bilo koju konturu u polju je proporcionalan intenzitetu magnetskog polja
- Fluks magnetskog polja kroz bilo koju konturu u polju je proporcionalan jačini struje koja stvara magnetsko polje
- Sopstveni fluks kroz neku konturu proporcionalan je jačini struje koja protiče kroz tu konturu

Induktivnost (ili koeficijent samoindukcije) je količnik sopstvenog fluksa neke konture i jačine struje koja protiče kroz konturu

$$L_1 = \frac{\Phi_{11}}{i_1}$$

$$[L] = \frac{[\Phi]}{[i]} = \frac{Wb}{A} = H$$

$$e_{11} = -\frac{d\Phi_{11}}{dt} = \frac{d(L_1 i_1)}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt}$$

Induktivnost konture zavisi od njenog oblika i osobina sredine unutar konture

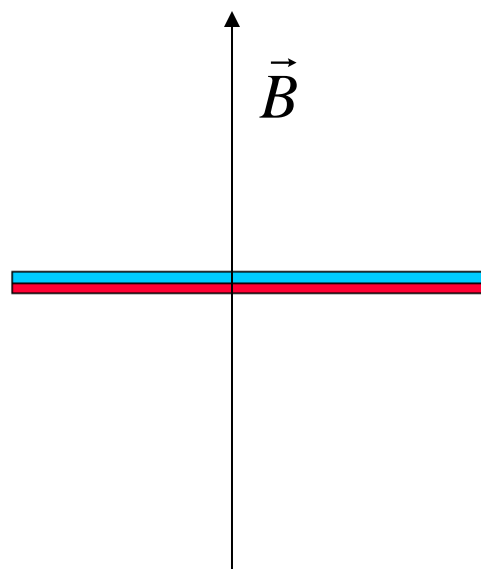
Energija magnetskog polja strujne konture

- Pri povećanju struje u strujnoj konturi stvara se magnetsko polje, suprotstavljajući se ems samoindukcije
- Za stvaranje magnetskog polja mora da se uloži rad, odnosno mora se određena količina energije izvora električne struje pretvoriti u energiju magnetskog polja
- Magnetsko polje strujne konture ima energiju

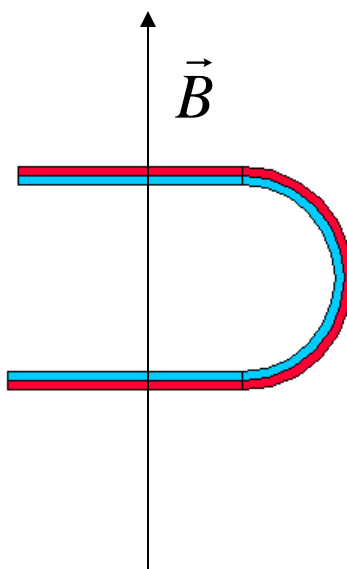
$$W = \frac{1}{2} Li^2$$

Ukupan fluks kroz konturu

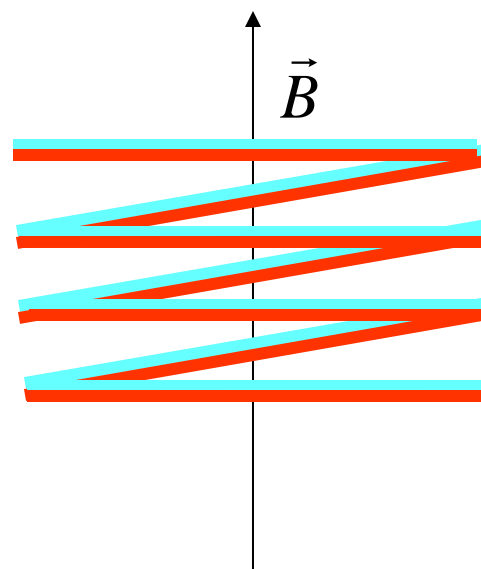
- Povećanje sopstvenog fluksa – povećanje induktivnosti konture
- Fluks pokazuje koliko puta linije magnetskog polja “probadaju” površinu
- Važna caka: jedna linija magnetskog polja može više puta da prođe kroz neku površinu
- Pri računanju ukupnog magnetskog fluksa mora se voditi računa o stranama površine



$$\Phi = BS$$



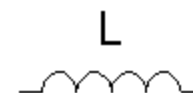
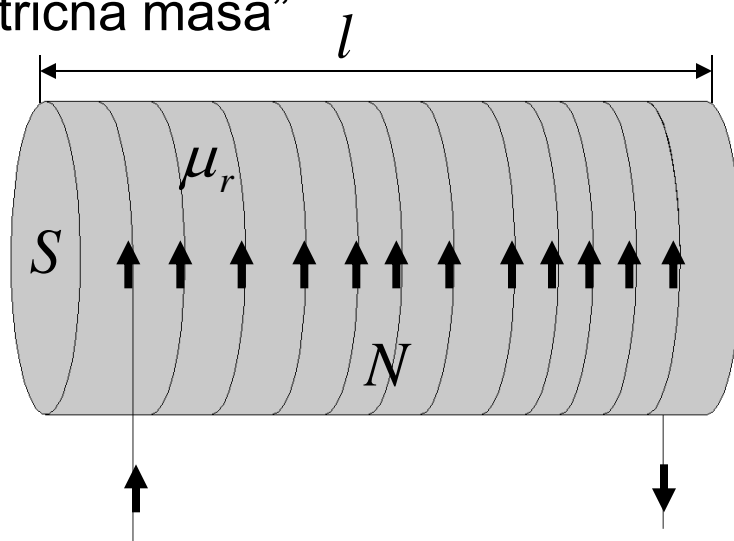
$$\Phi = 0$$



$$\Phi = 4BS$$

Kalem

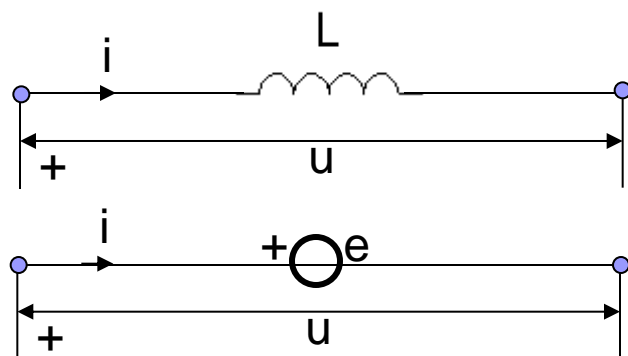
- Električna struktura koja služi nakupljanju magnetske energije u električnom kolu
- Inercijalni element električnih kola – usporivač procesa – nazivaju ga i **prigušnica**
- “Električna masa”



$$L \approx \mu_0 \mu_r \frac{N^2 S}{l}$$

- pretpostavke
 - dug kalem
 - gusto motan

Strujno naponska zavisnost kalema

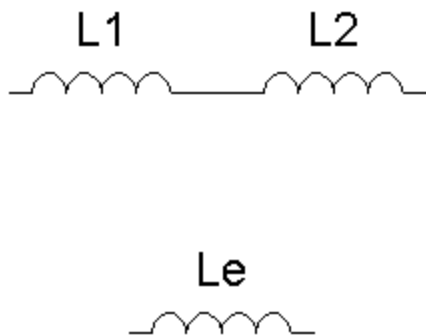


$$u_L = -e = L \frac{di}{dt}$$

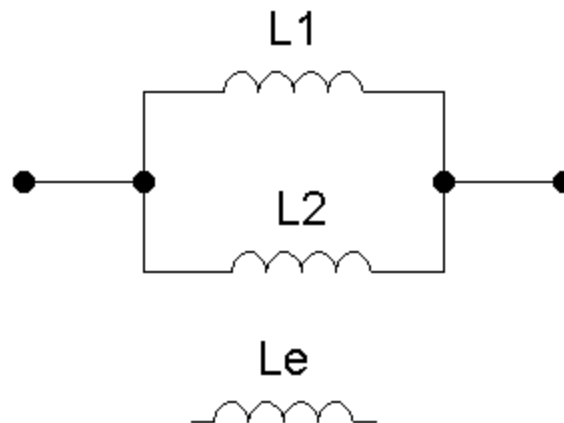
- Ako je struja jednosmerna stacionarna, napon na kalemu je jednak nuli, on je kratak spoj

Vezivanje kalemova

- Fizički veliki element
 - izbegava se njegova primena
 - manja serijska proizvodnja
- Povezivanje
 - redno
 - paralelno



$$L_e = L_1 + L_2$$



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

Međusobna induktivnost

- Intenzitet magnetskog polja je proporcionalan struji koja ga izaziva
- Fluks magnetskog polja kroz bilo koju konturu u polju je proporcionalan intenzitetu magnetskog polja
- Fluks magnetskog polja kroz bilo koju konturu u polju je proporcionalan jačini struje koja stvara magnetsko polje
- I spoljašnji fluks kroz neku konturu proporcionalan je jačini struje koja stvara taj fluks

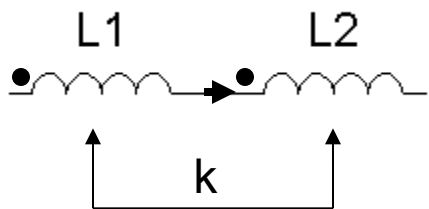
$$M_{12} = \frac{\Phi_{12}}{i_2} \quad [M] = \frac{[\Phi]}{[i]} = \frac{Wb}{A} = H \quad e_{12} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = \frac{d(M_{12}i_2)}{dt} = -M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

$$M_{12} = M_{21} = M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad k - \text{koeficijent sprege}$$

- Međusobna induktivnost dve konture zavisi od
 - oblika kontura
 - sredine u kojoj se konture nalaze
 - međusobnog položaja kontura

Sprezanje kalemova

- Medusobni fluks utiče na ukupan fluks, a time i na indukovanu ems u kalemu
- Spoljašnji fluks može da se sabira ($k > 0$) ili poništava ($k < 0$) sa sopstvenim fluksom

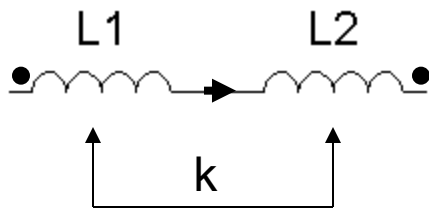


$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad k > 0$$

$$u_1 = L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt} = (L_1 + M) \frac{di}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt} = (L_2 + M) \frac{di}{dt}$$

$$L_e = L_1 + L_2 + 2M$$



$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad k < 0$$

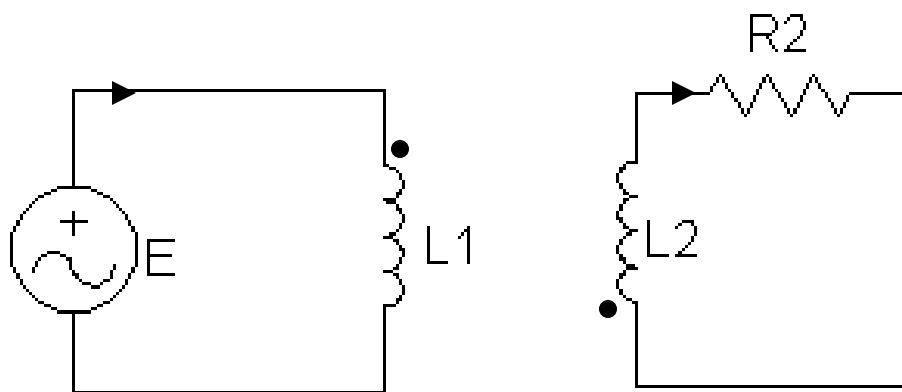
$$u_1 = L_1 \frac{di}{dt} - |M| \frac{di}{dt} = (L_1 - |M|) \frac{di}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di}{dt} - |M| \frac{di}{dt} = (L_2 - |M|) \frac{di}{dt}$$

$$L_e = L_1 + L_2 - 2|M|$$

Sprezanje kalemova

- Kalemovi mogu da se nalaze u različitim granama kola
- Kalemovi mogu da se nalaze u različitim kolima (spregnuta kola)



$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad k > 0$$

$$\begin{aligned} E - L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} &= 0 \longrightarrow \frac{di_1}{dt} = \frac{1}{L_1} (E - M \frac{di_2}{dt}) \\ L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} - R_2 i_2 &= 0 \end{aligned}$$

↓

$$\left(L_2 - \frac{M^2}{L_1} \right) \frac{di_2}{dt} + \frac{ME}{L_1} - R_2 i_2 = 0$$

R-L kolo

- Kolo sa izvorom, otpornikom i kalemom

$$e = u_R + u_L$$

$$e = L \frac{di}{dt} + Ri$$

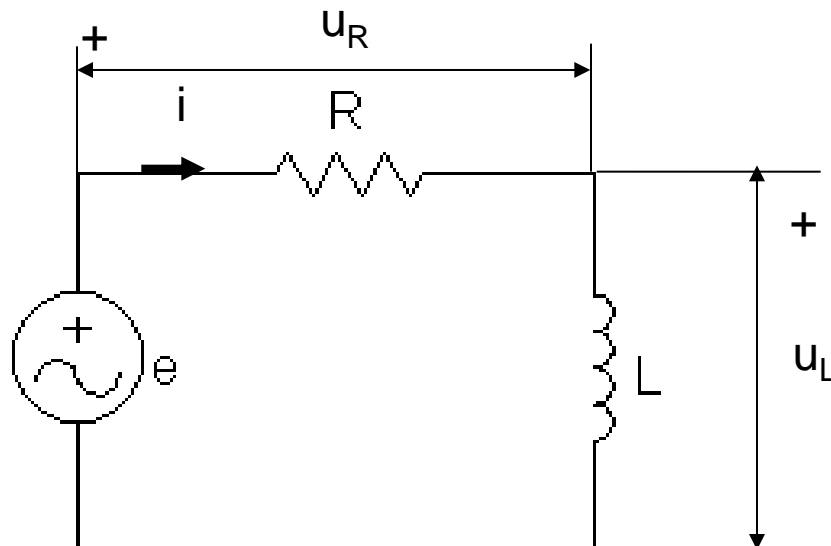
$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{e}{L}$$

$$\longrightarrow s + \frac{R}{L} = 0$$

$$\boxed{\frac{L}{R} = \tau}$$

vremenska konstanta kola

nehomogena linearna DJ prvog reda



RL kolo sa jednosmernim izvorom

■ “punjenje” kalema magnetnim poljem

