

FIZIKALNE OSNOVE RADA TRANSFORMATORA

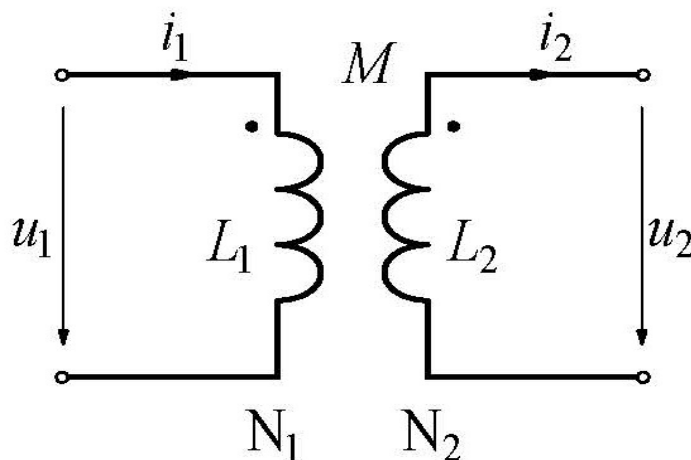
Autor: Prof. Ivan Flegar

prezentira kao zamjena: Prof. Franjo Jović
FERIT / CROSS

Matematički model transformatora

Pretpostavke:

dva namota, gubici snage zanemareni, linearna karakteristika magnetiziranja, transformator kao električki malena mreža



Cilj analize

- Odrediti i fizikalno interpretirati transformatorske jednadžbe

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$-u_2 = -M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

- Objasniti prijenos energije između namota

Uobičajeno objašnjenje rada transformatora

a) Transformatorske jednadžbe

- Kauzalna interpretacija Faradayeva zakona EMI. Vremenski promjenljivo magnetsko polje uzrokuje pojavu električnog polja. Nije u skladu s fizikalnim shvaćanjem elektromagnetskog polja.
- Mješavina pojmova iz teorije električnih mreža (napon prilaza, struja prilaza, Kirchhoffovi zakoni) i pojmova iz teorije elektromagnetskog polja (magnetski tok, EMS, MMS)

b) Prijenos energije

- Zakon o očuvanju energije

$$\int_0^T u_1 i_1 dt = \int_0^T u_2 i_2 dt$$

Fizikalno objašnjenje rada transformatora

a) Transformatorske jednačbe (Heaviside, Hertz 1884./1885.)

Nekauzalna interpretacija Faradayeva zakona EMI

$$\operatorname{rot} \mathbf{E}(x, y, z, t) = - \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}(x, y, z, t)$$

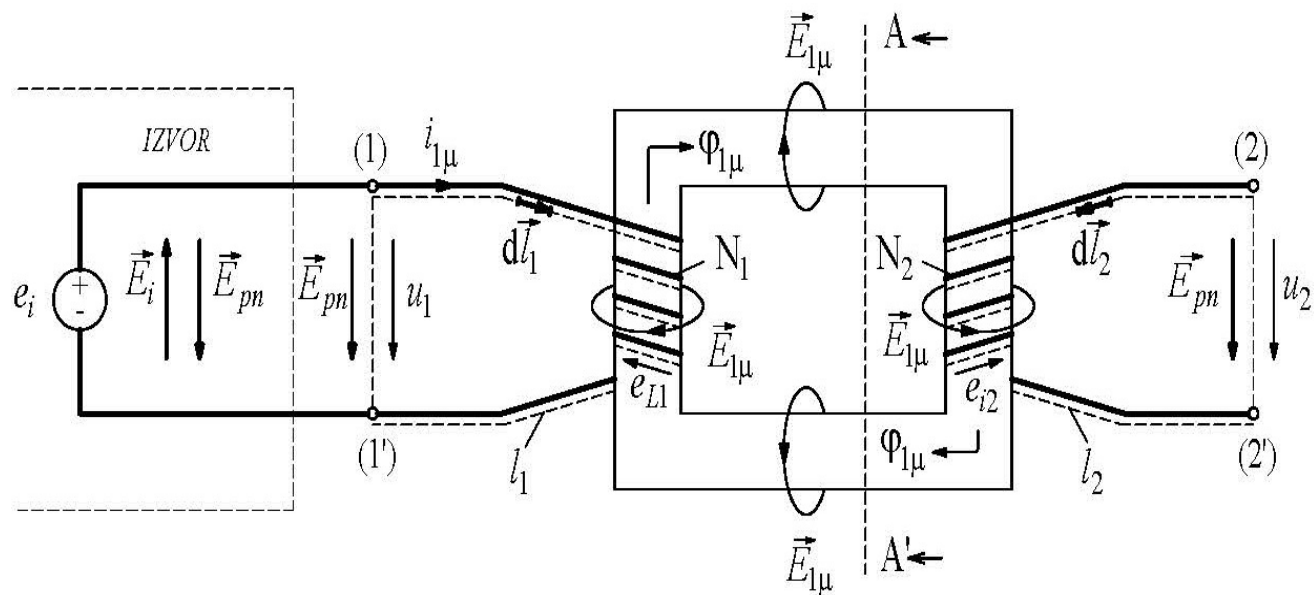
Vremenski promjenljiva struja uzrokuje istodobnu pojavu električnog i magnetskog polja (Jefimenko, 1966.). Uzajamni utjecaj namota postoji zbog vrtložnog električnog polja $\mathbf{E}$.

b) Prijenos energije (Heaviside, Poynting 1884.)

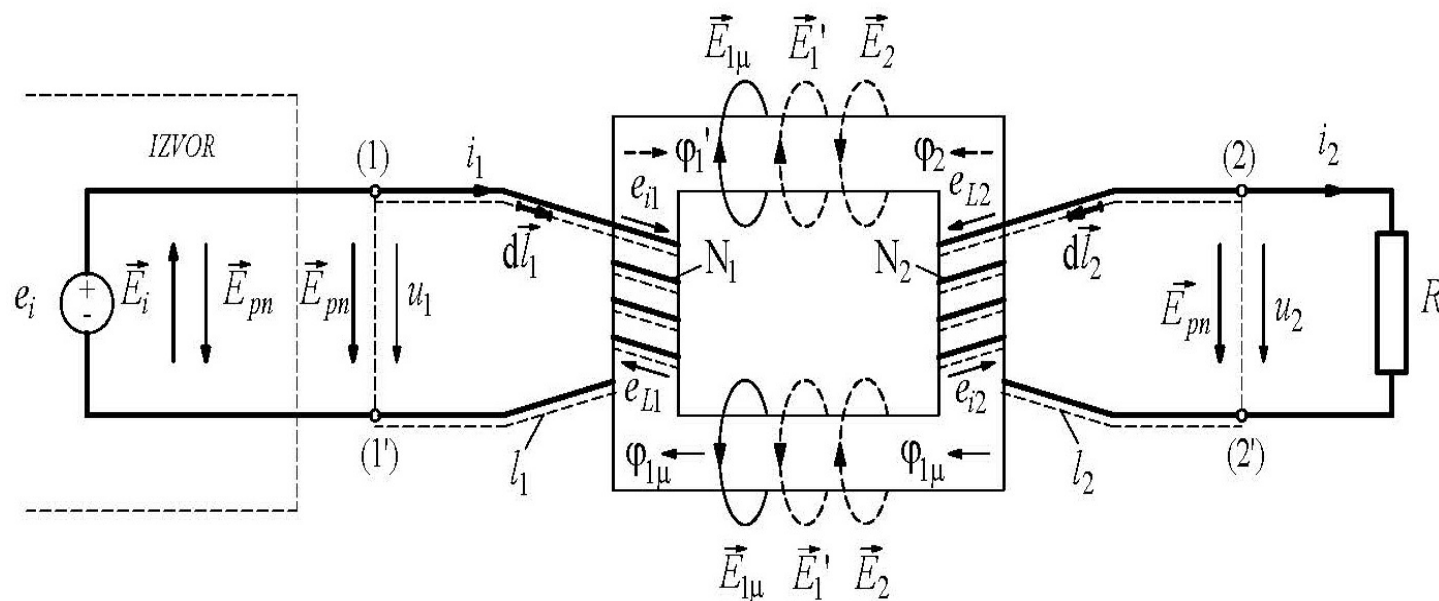
Faradayev zakon EMI, Ampérov zakon struje, Poyntingov teorem. Trenutačna jakost toka energije koja prolazi zatvorenom plohom S

$$p(t) = \oiint_S \mathbf{P}_v \cdot \mathbf{n} ds$$

Neopterečni transformator



Opterećeni transformator



Uobičajeno objašnjenje prijenosa energije između namota

Neki primjeri:

- Magnetskim poljem glavnog toka prenosi se energija iz primara u sekundar transformatora.
- Električna energija prenosi se elektromagnetskom indukcijom od primara na sekundar, bez promjene frekvencije.
- Transformator je elektromagnetski pretvarač u kojem se električna energija preuzeta primarnim namotom prvo pretvara u magnetsku energiju koja se zatim ponovno pretvara u električnu energiju upotrebljivu u drugim krugovima (sekundarni namot, tercijarni namot, itd.).

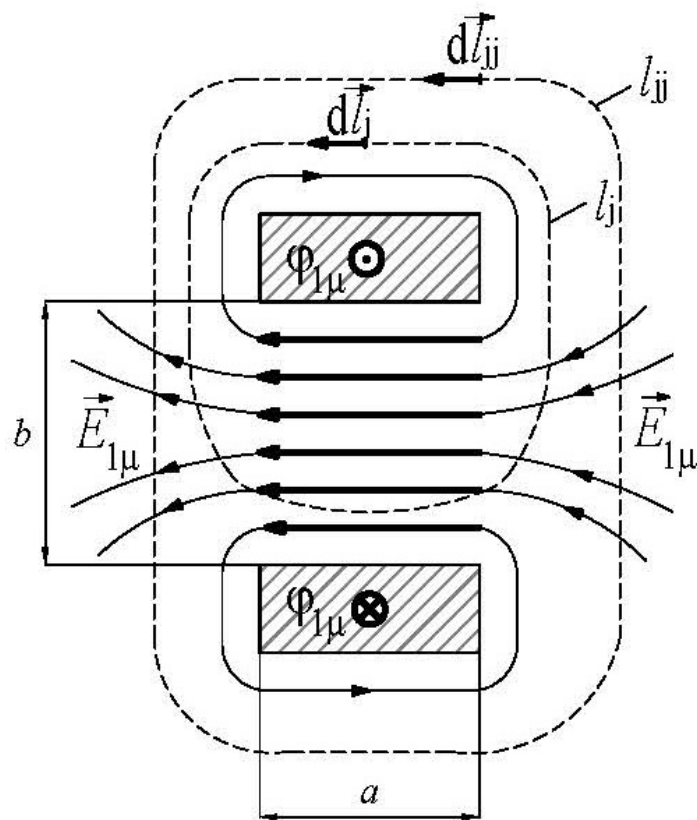
Fizikalno objašnjenje prijenosa energije između namota

- a) Zračni transformator – američki fizičari Beck i Pacholder (1967.)
- b) Transformator s feromagnetskom jezgrom – njemački fizičari Herrmann i Schmid (1986.)

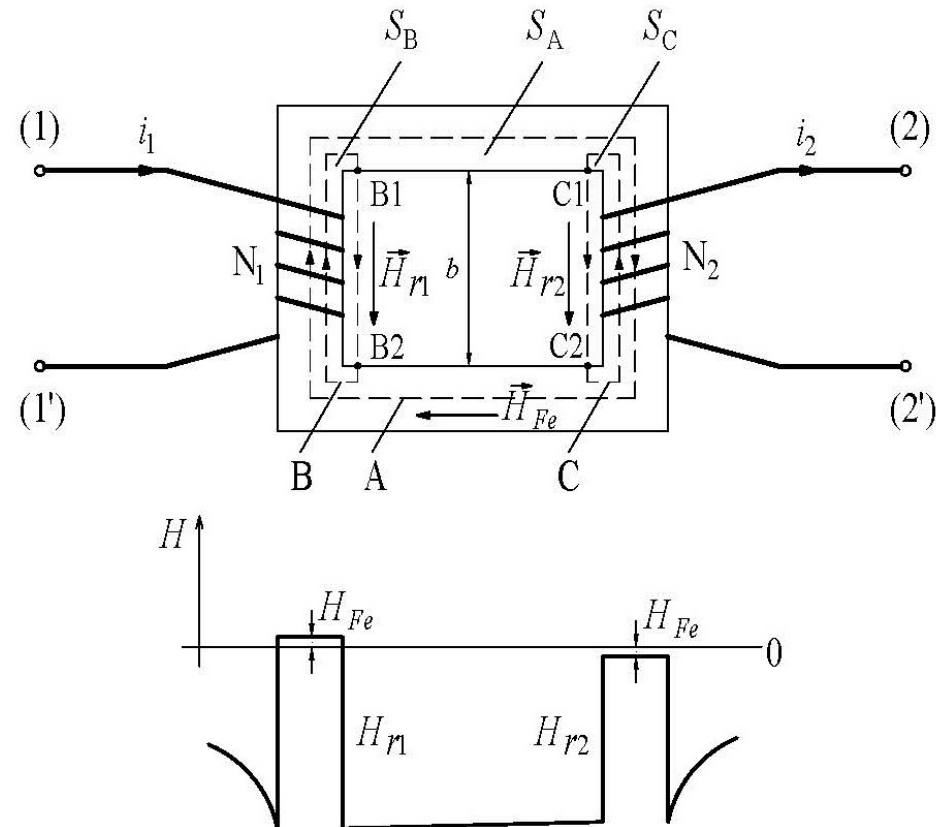
Komponente Poyntingova vektora $E \times H$ u transformatoru

- $E_{1\mu}$ - vrtložno električno polje stvoreno strujom magnetiziranja
- H_r - rasipno magnetsko polje stvoreno strujama namota

Kvalitativni prikaz električnog polja u prozoru transformatora



Kvalitativni prikaz vrijednosti vektora magnetskog polja H



Poyntingov vektor unutar prozora transformatora i izvan transformatora

