

# FIZIKALNE OSNOVE RADA TRANSFORMATORA

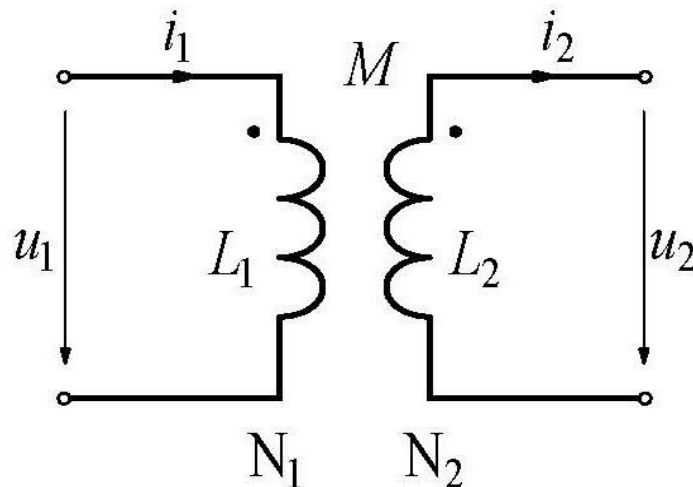
Ivan Flegar



# Matematički model transformatora

## Pretpostavke:

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



**11.**

SIMPOZIJ

**POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE**

ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.



# 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 jednadžbe (Heaviside, Hertz 1884./1885.)

Nekauzalna interpretacija Faradayeva zakona EMI

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

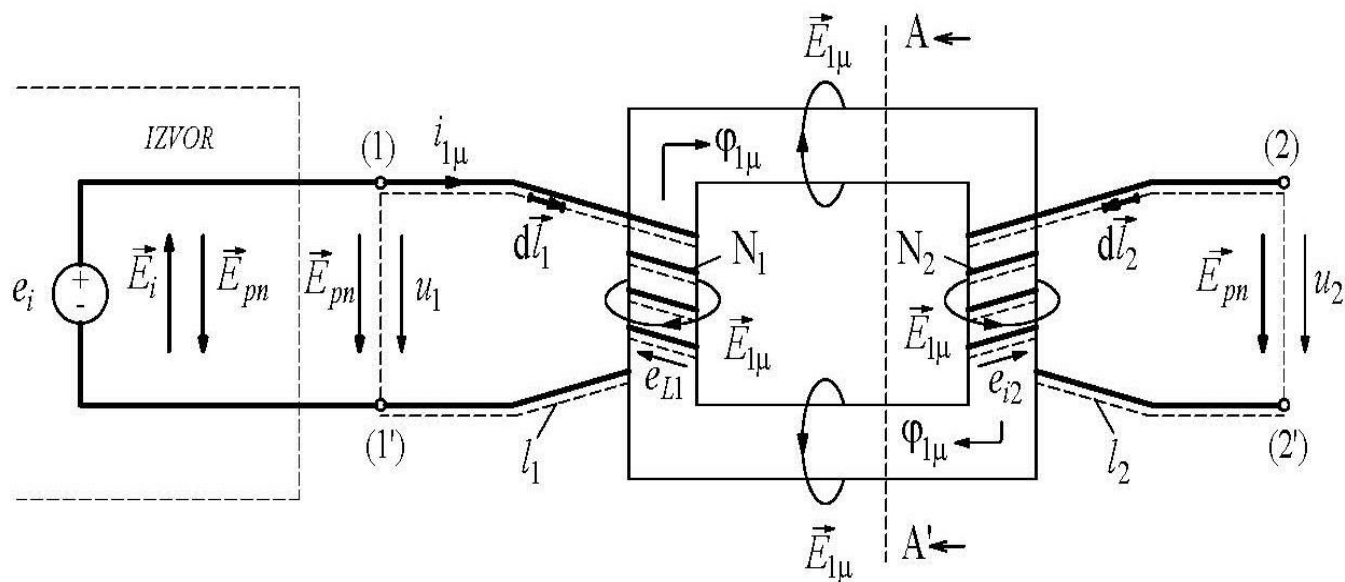
Vremenski promjenljiva struja uzrokuje istodobnu pojavu električnog i magnetskog polja (Jefimenko, 1966.). Uzajamni utjecaj namota postoji zbog vrtložnog električnog polja  $\mathbf{E}$ .

## b) Prijenos energije (Heaviside, Poynting 1884.)

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

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

# Neopterećeni transformator



**11.**

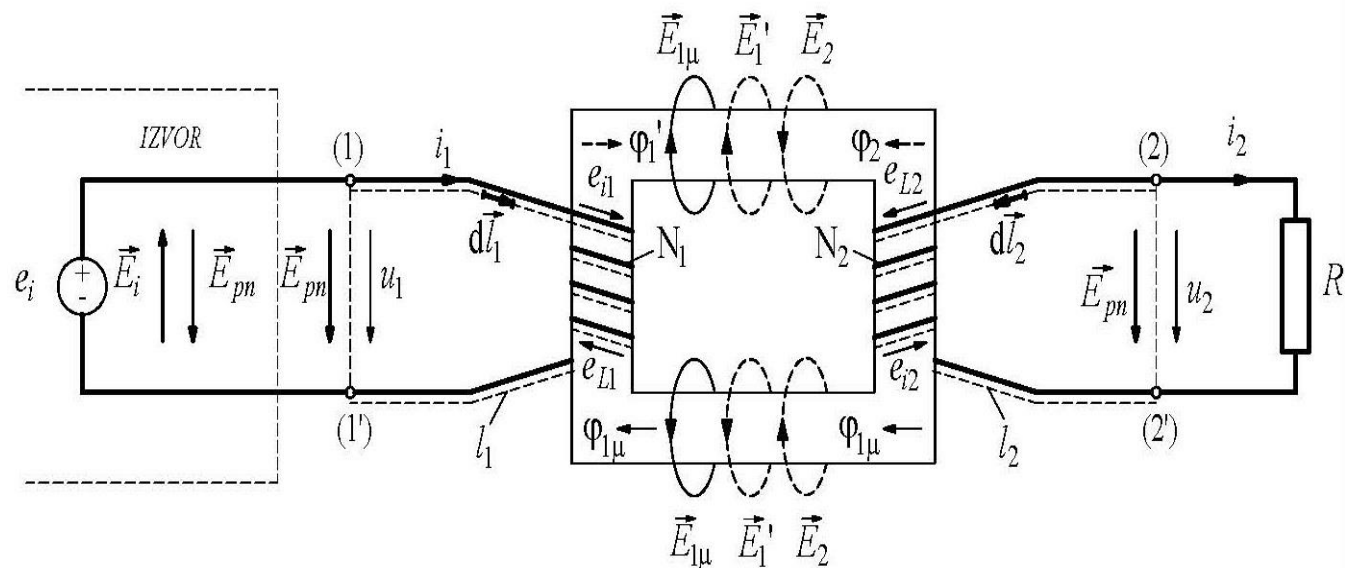
SIMPOZIJ

**POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE**

ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.



# Opterećeni transformator



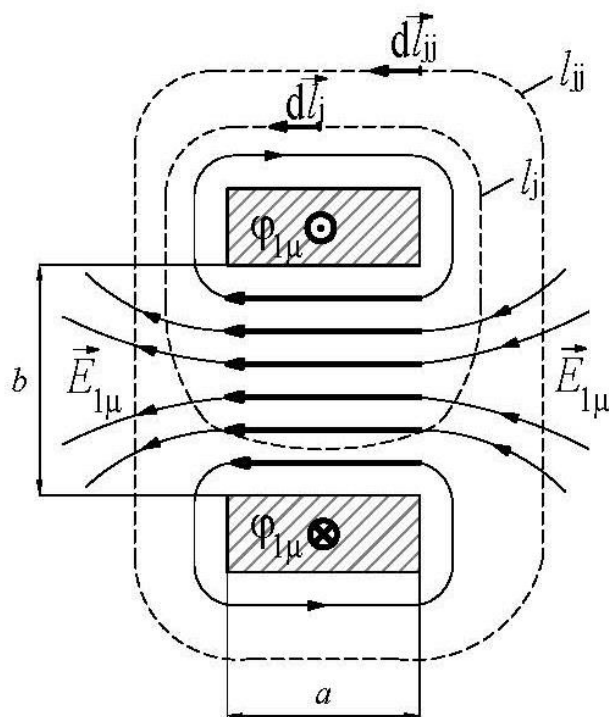
# Prijenos energije između namota

- 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



**11.**

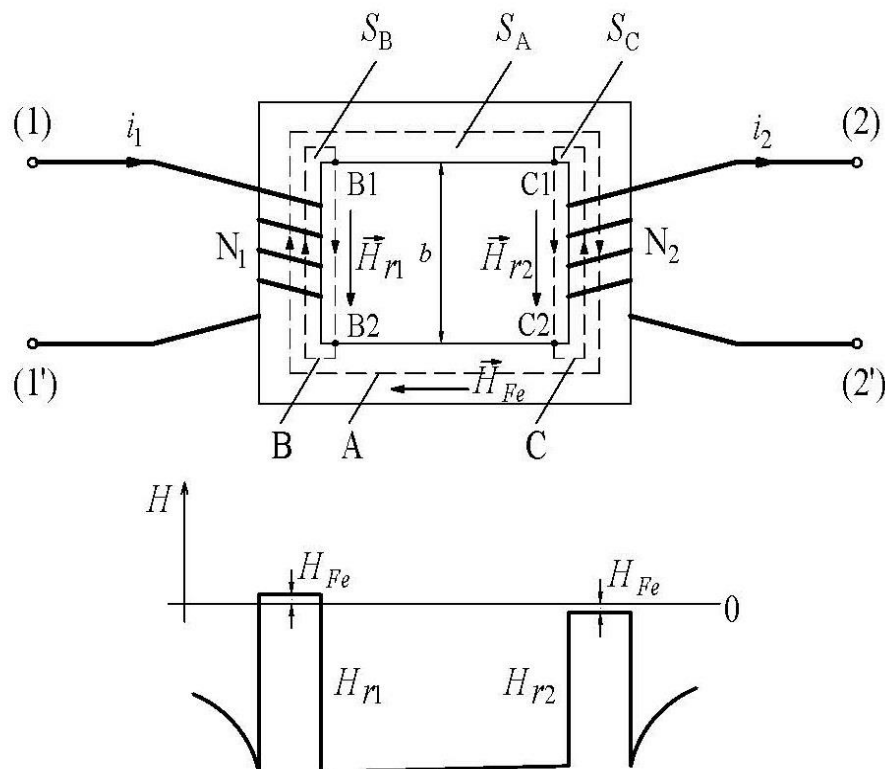
SIMPOZIJ

**POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE**

ZAGREB, 14.-15. LIPNJA 2023.



# Kvalitativni prikaz vrijednosti vektora magnetskog polja $H$



# Poyntingov vektor unutar prozora transformatora i izvan transformatora

