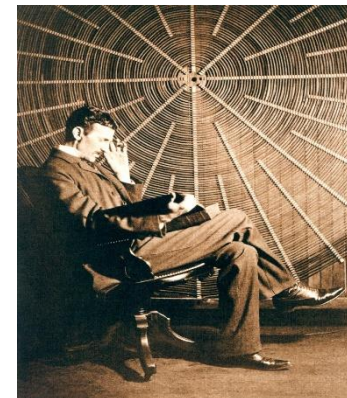


Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama

Bruno Jurišić, mag.ing.el.

MEĐUNARODNI SIMPOZIJ POVODOM 160-TE OBLJETNICE TESLINOG ROĐENJA

Smiljan, Hrvatska, 10. srpanj 2016.

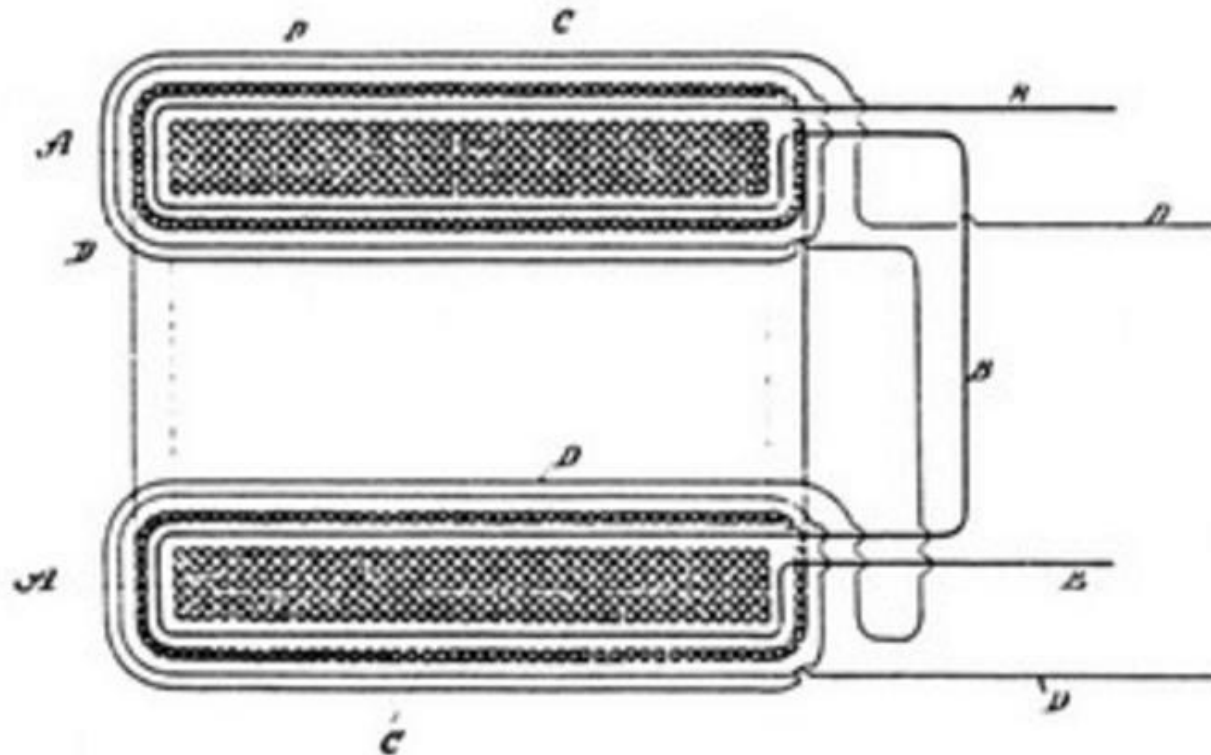


Sadržaj

- Teslin patent – električni transformator
- Nastanak visokofrekvencijskih prijelaznih pojava u elektroenergetskom sustavu
- Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama
- Računalni alati za proračun prijelaznih pojava
- Zaključak

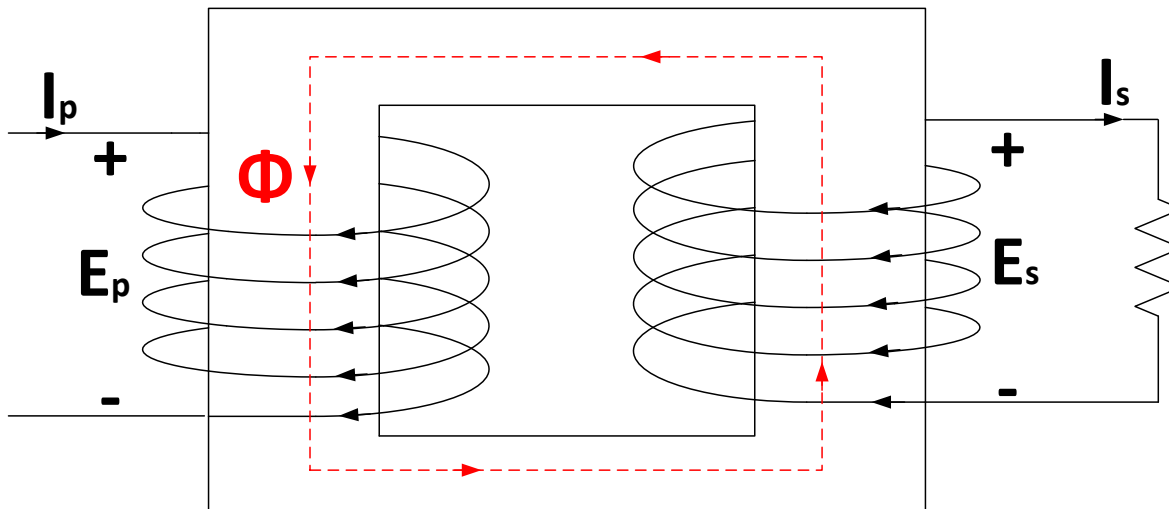
Teslin patent – električni transformator

- Transformira naponske razine izmjenične električne energije
- Patentiran u kolovozu 1890. godine te dodatno poboljšan u studenom 1897. godine



Teslin patent – električni transformator

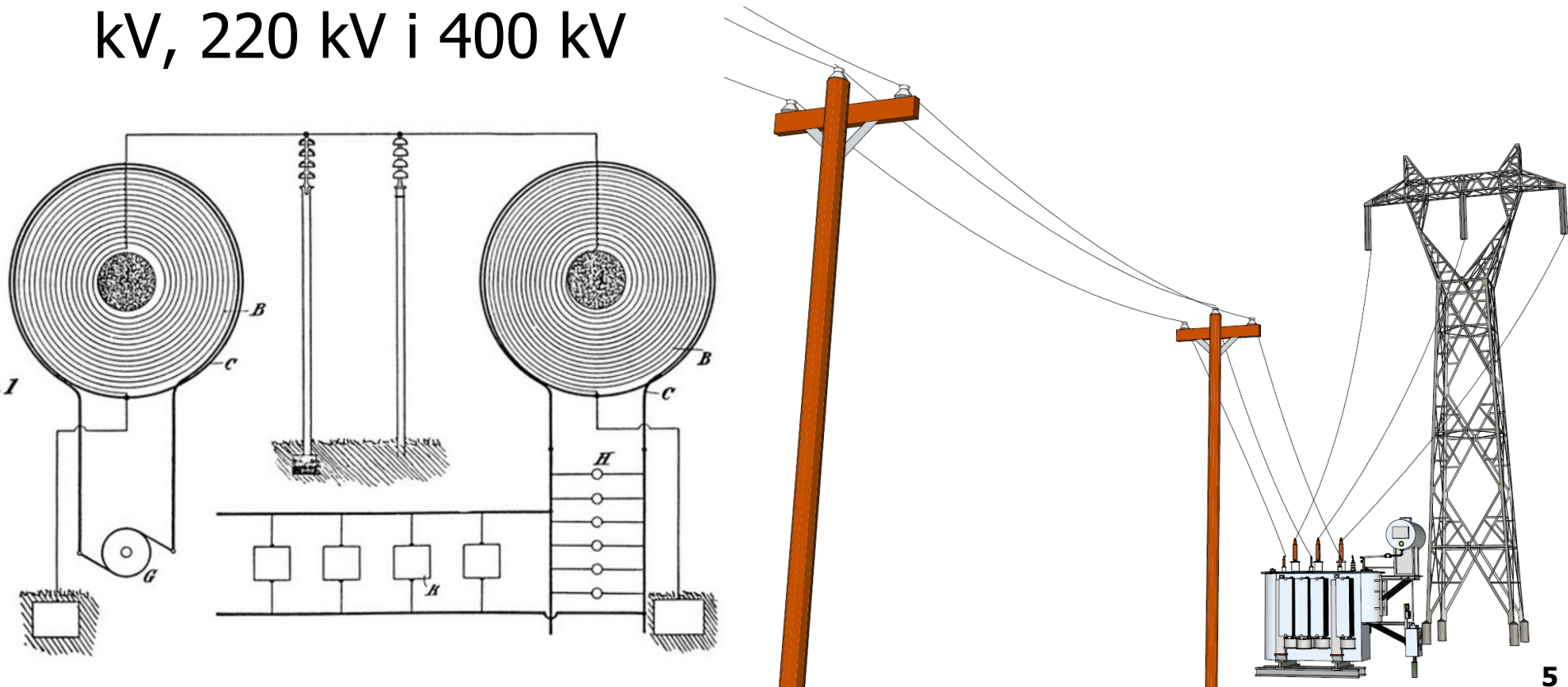
- Sastoji se od magnetske jezgre (za usmjeravanje magnetskog toka) te dva ili više namota
- Prenosi električnu energiju induktivnom međuspregom
- Omjer napona primara i sekundara određen je brojem zavoja oba namota



$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

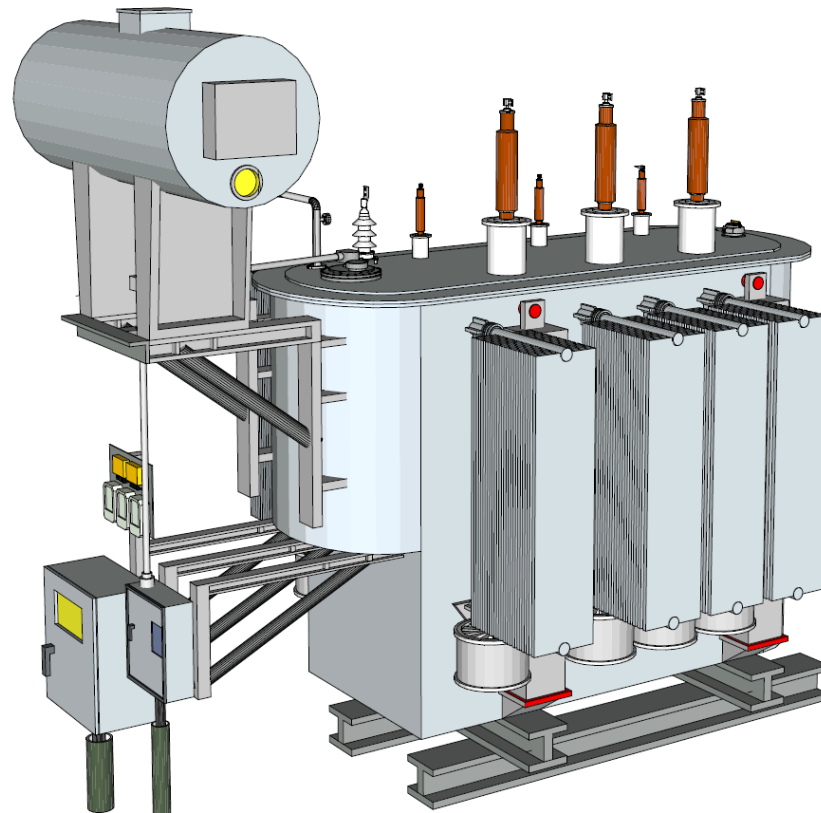
Teslin patent – električni transformator

- Omogućava prijenos električne energije električnim vodom bez značajnih gubitaka korištenjem viših naponskih razina
- Naponske razine u Hrvatskoj prijenosnoj mreži: 110 kV, 220 kV i 400 kV



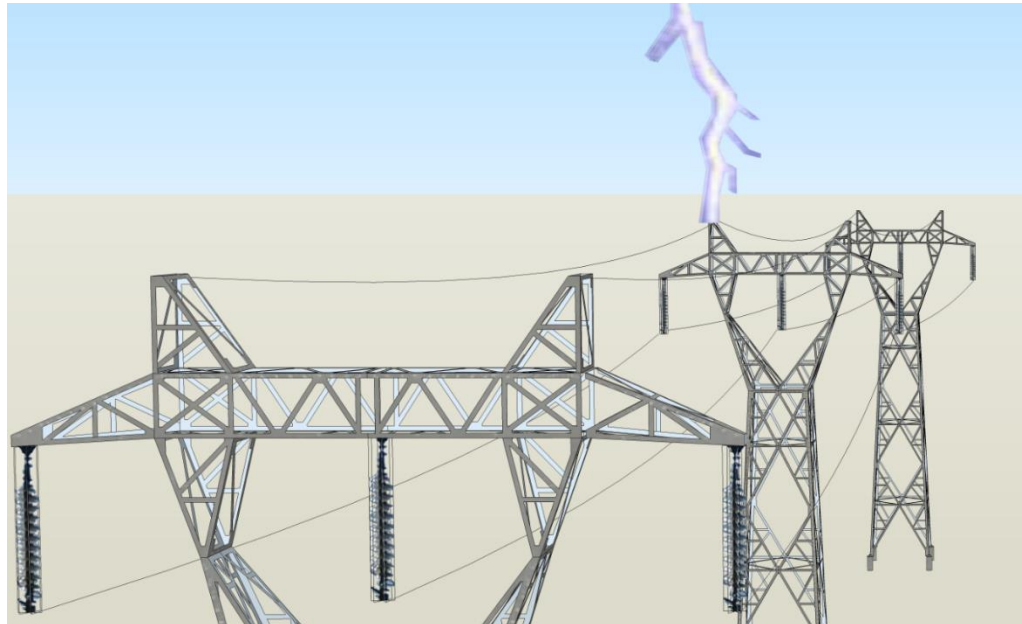
Teslin patent – električni transformator

- Današnji transformatori su tehnološki značajno napredniji u usporedbi s onima od prije sto godina
- Fizikalni princip električnog transformatora ostao onakav kako je opisan u Teslinom patentu



Nastanak visokofrekvencijskih prijelaznih pojava u elektroenergetskom sustavu

- Izvanredni događaji koji mogu uzrokovati prekid napajanja električnom energijom
- Uzrok su najčešće udari munja te određene sklopne operacije
- Dalekovodi viših naponskih razina se štite od izravnog udara munja zaštitnim užadima



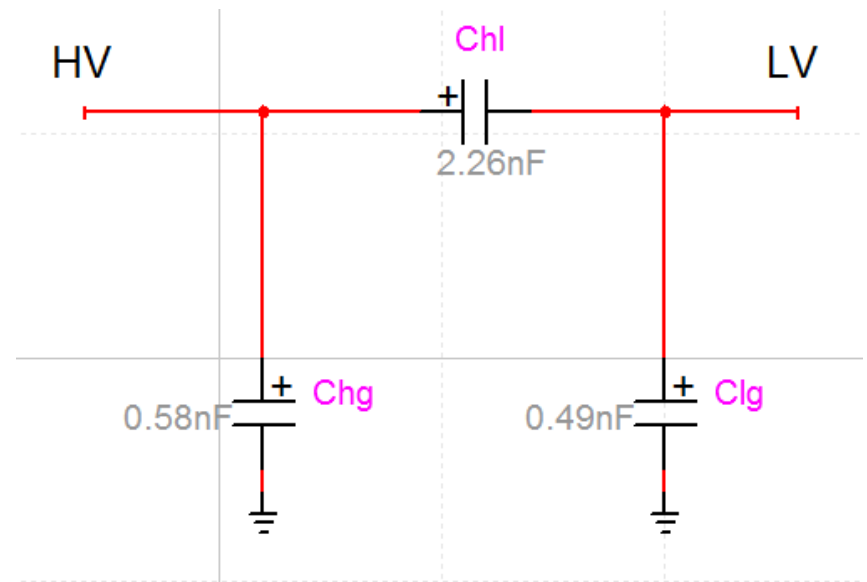
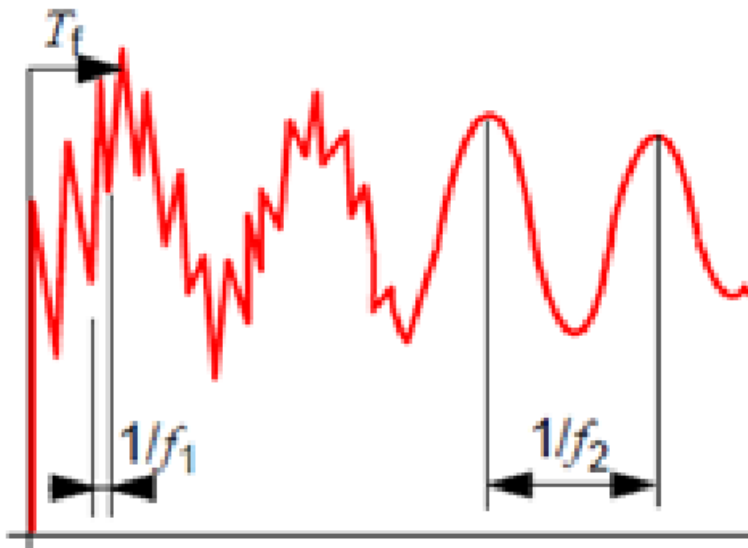
Nastanak visokofrekvencijskih prijelaznih pojava u elektroenergetskom sustavu

- Prenaponi visokih frekvencija mogu oštetiti izolaciju transformatora te opremu koja se nalazi iza transformatora
- Transformatori i drugi uređaji štite se odvodnicima prenapona
- Računalnim alatima za proračun prijelaznih pojava moguće je poboljšati zaštitu



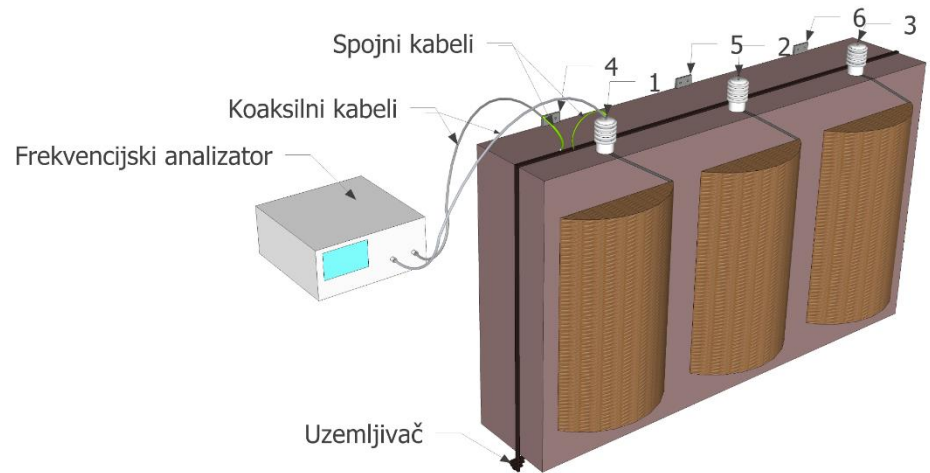
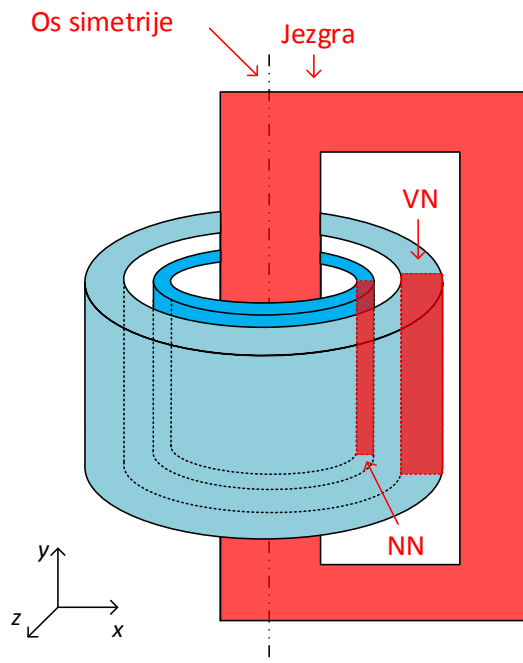
Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama

- Prilikom nailaska elektromagnetskog vala visokih frekvencija dielektrični materijali (izolatori) postaju vodljivi
- Transformator se ponaša poput kondenzatora
- Modeli transformatora se koriste u računalnim alatima za računanje prijelaznih pojava unutar električnih mreža

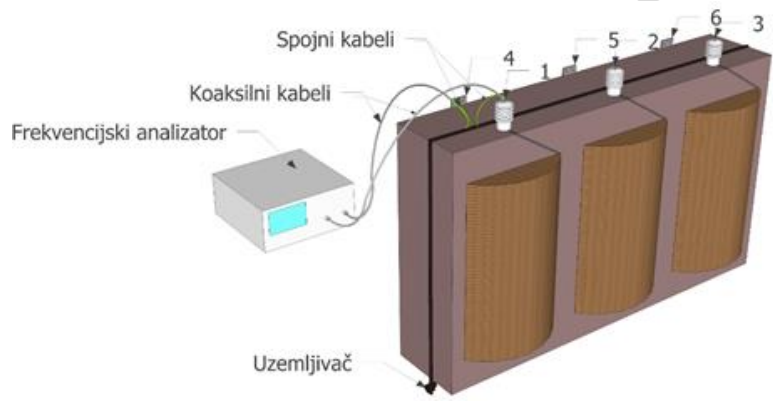


Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama

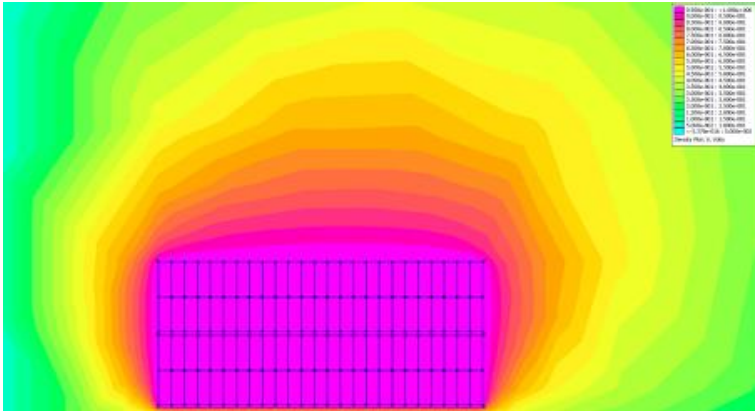
- Složeni modeli ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama:
 - Modeliranje mjerenjem širokopojasne matrice admitancija transformatora
 - Računanjem nadomjesnih frekvencijski ovisnih RLCG elementa korištenjem računalnog alata za proračun elektromagnetskih polja



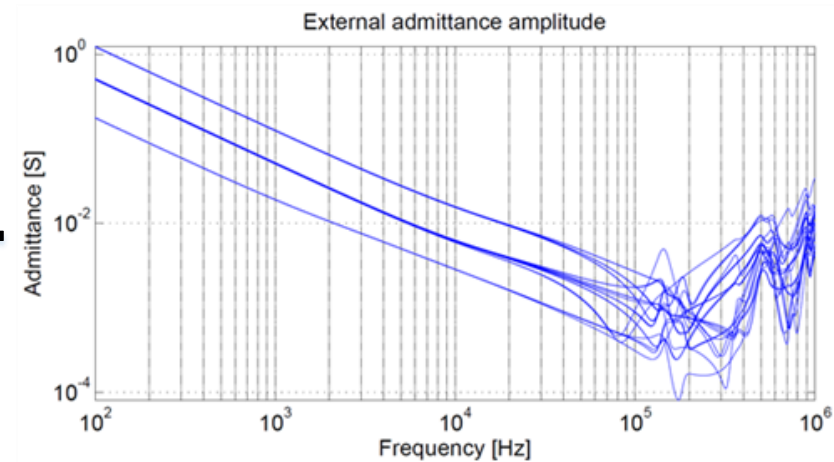
Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama



Mjerenje frekvencijskog odziva transformatora



Računanje frekvencijskog odziva transformatora korištenjem računalnih alata za proračun elektromagnetskih polja iz geometrijskih podataka



Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama

Frekvencijski ovisna
matrica admitancija

$$Y(f)$$

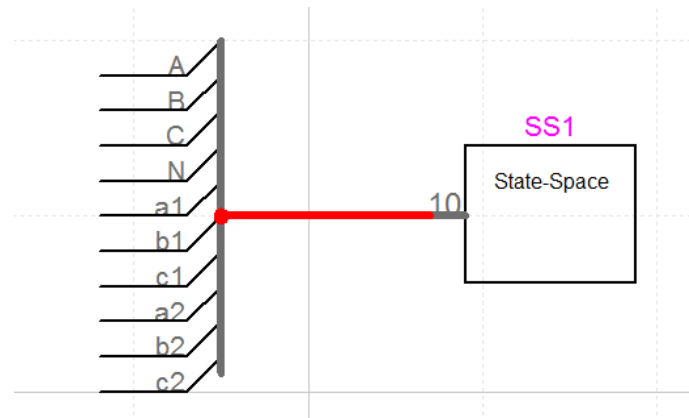
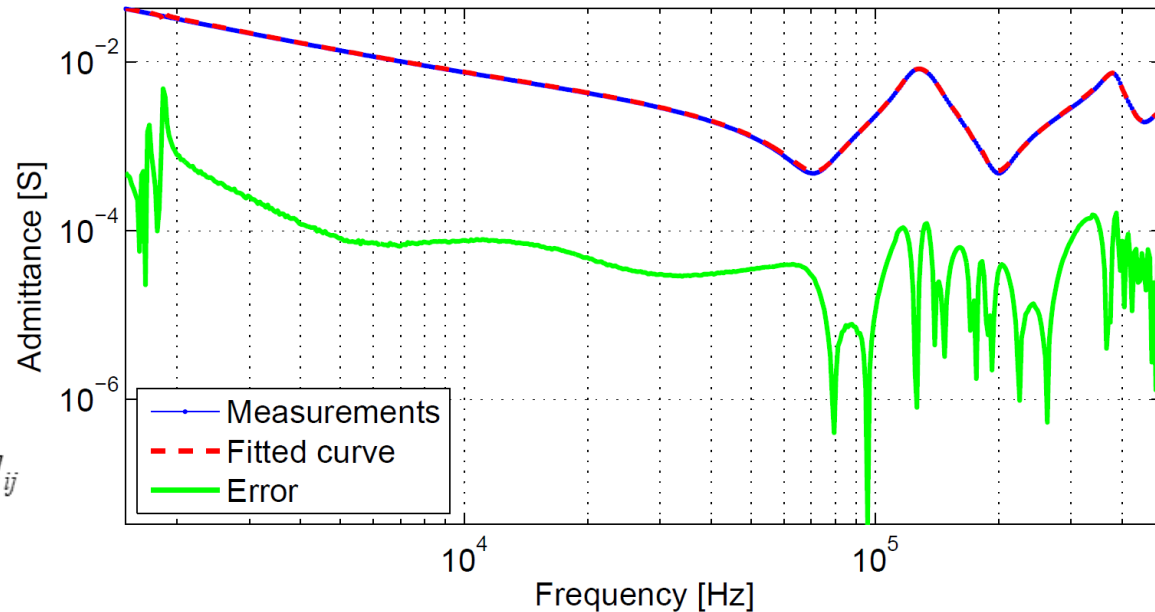
Racionalna
aproksimacija

$$Y_{ij}(f) \approx Y_{ij,fit}(s) = \sum_{n=1}^{Np} \frac{c_{n,ij}}{s - a_{n,ij}} + d_{ij}$$

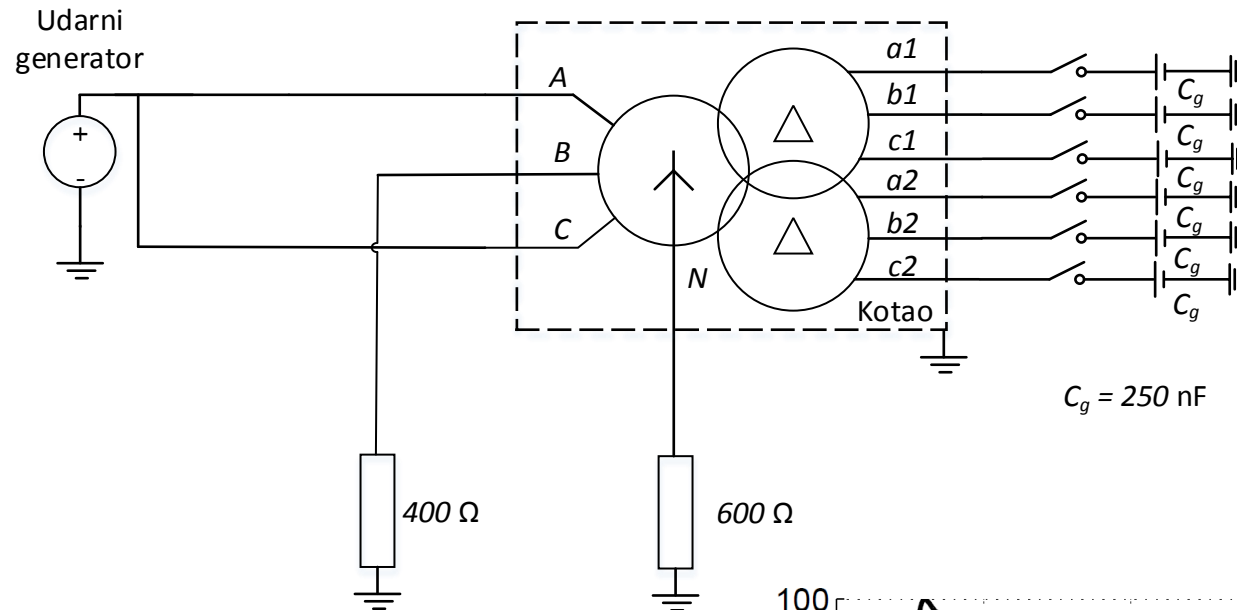
Jednadžbe sustava
varijabli stanja

$$I(s) = \left[\frac{C * B}{(s[I] - A)} + D \right] * V(s)$$

Računalni alat za
proračun prijelaznih
pojava unutar
električnih mreža

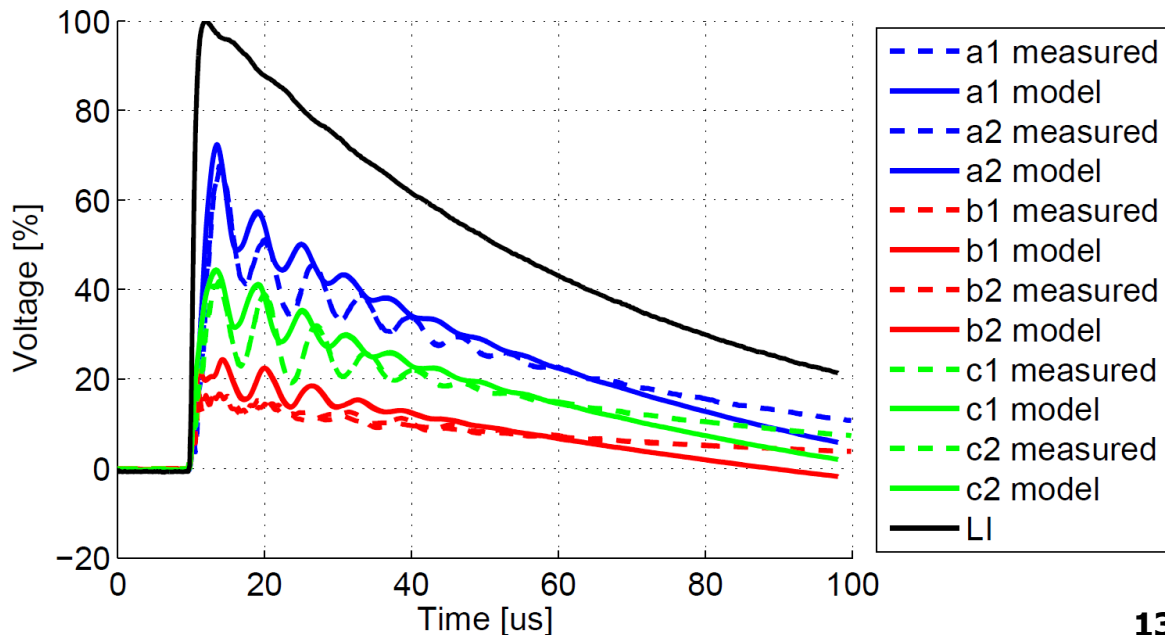


Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama

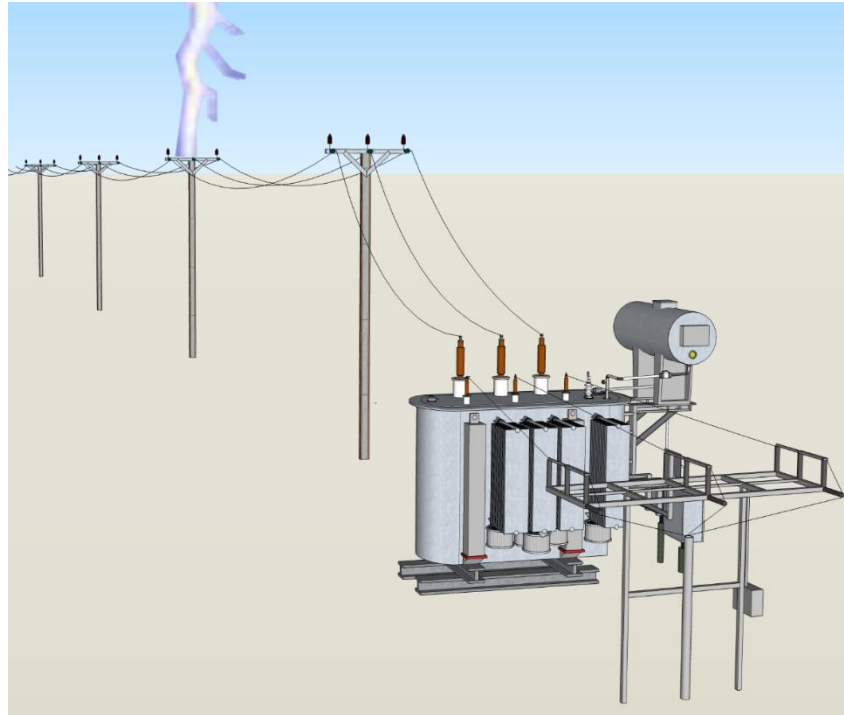


64 MVA, 24/6,8/6,8
kV, YNd11d11
energetski
transformator

Mjereni su preneseni
prenaponi na
sekundaru
transformatora

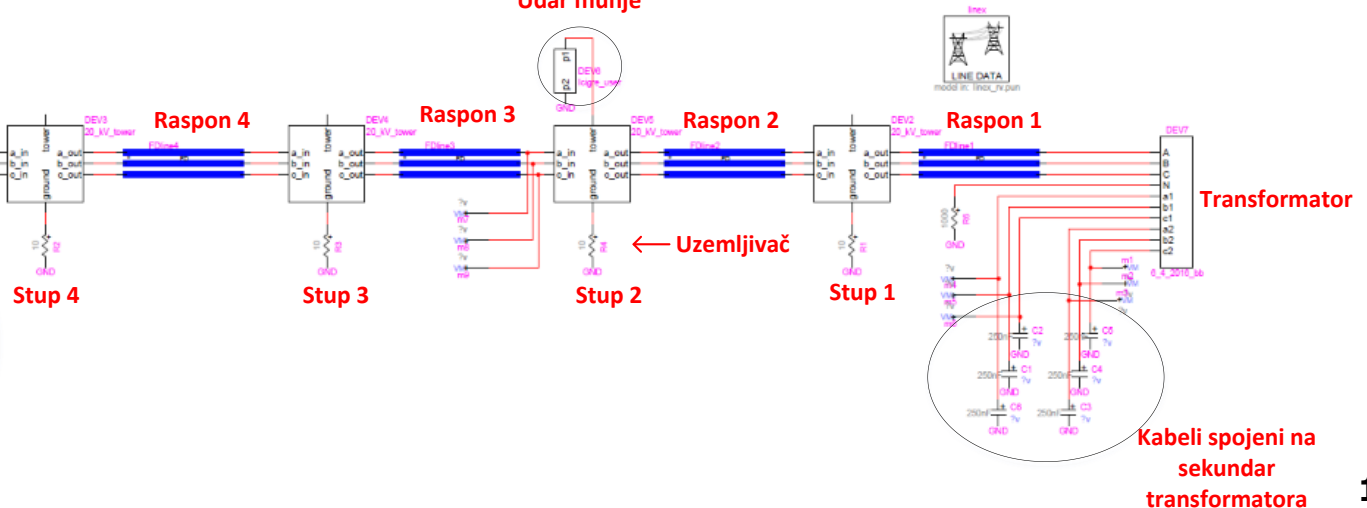
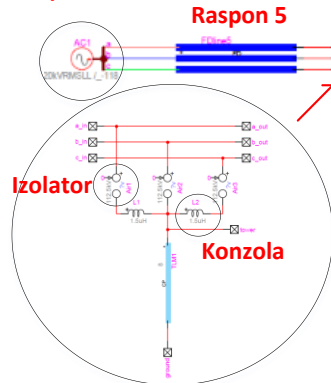


Računalni alati za proračun prijelaznih pojava



Udar munje

Fazni napon



Zaključak

- Transformator transformira naponske razine izmjenične električne energije
- Omogućava prijenos električne energije na velike udaljenosti bez izraženih gubitaka
- Fizikalni princip transformatora ostao je nepromijenjen još od Teslinog patenta
- Današnji računalni alati za proračun prijelaznih pojava u elektroenergetskom sustavu omogućavaju simulaciju udara munja
- Modeli ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama su vrlo kompleksni

Acknowledgements

- This work has been supported in part by the Croatian Science Foundation under the project “Development of advanced high voltage systems by application of new information and communication technologies” (DAHVAT).

ZAHVALJUJEM NA PAŽNJI!

Modeliranje ponašanja transformatora pri visokim frekvencijama

Bruno Jurišić, mag.ing.el.

**MEĐUNARODNI SIMPOZIJ POVODOM 160-TE OBLJETNICE TESLINOG
ROĐENJA**

Smiljan, Hrvatska, 10. srpanj 2016.

