



ELENIA

**Diplomityö: Kaapeliverkkoon
varastoituneen energian vaikutukset
kytkentäyliännitteisiin**

Aleks Tukiainen, Tampere, 23.11.2018

Työn taustatiedot ja tavoite

- Työ tehtiin sähköverkkoyhtiö Elenia Oy:lle Verkko-omaisuus ja investoinnit –tiimissä.
- Työn ohjaajana toimi Elenia Oy:ltä DI Jarkko Peltola ja tarkastajina toimivat Tampereen teknillisestä yliopistosta professori Pertti Järventausta ja TkT Ari Nikander.
- Työ aloitettiin kesäkuussa 2018 ja se valmistui marraskuussa.
- Työn tavoitteena oli selvittää miten kaapeliverkkoon varastoitunut energia purkautuu verkon eri kytkentätilanteissa ja miten se vaikuttaa verkon kytkentäylijännitteisiin

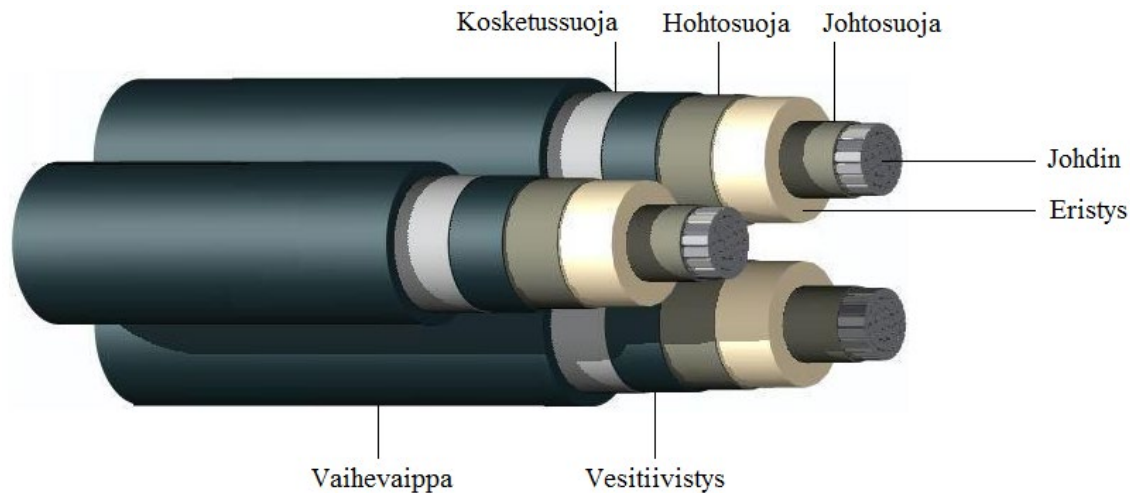


Kaapeliverkkoon varastoitunut energia

- Kaapelin kapasitanssi on 10-30 kertaa suurempi kuin samassa käyttötarkoituksessa olevan avojohdon. Kaapeleiden induktanssi on puolestaan pienempi kuin avojohdon.
- Vaihtosähköverkoissa kaapelin vaihejohtimen sähkökenttään varastoitunut energia voidaan laskea kaavalla

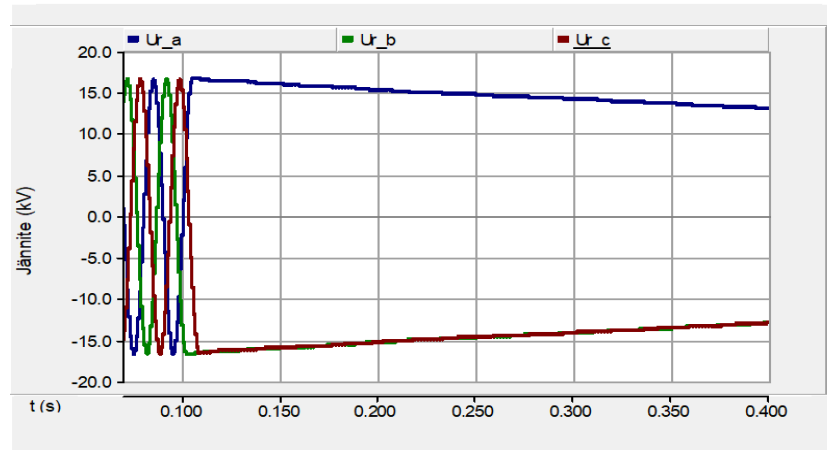
$$W_e = \frac{1}{2} C (\sqrt{2} V \sin(\omega t - \alpha))^2$$

, jossa C on kaapelin kapasitanssi, V vaihejännitteen tehollisarvo, ω verkon kulmataajuus ja α vaiheiden välinen kulmaero radiaaneina.

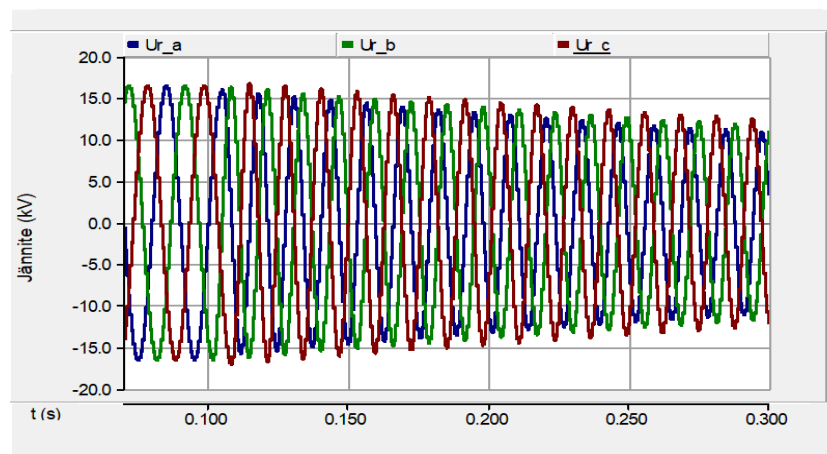


Varastoituneen energian purkautuminen

- Iritytkennän jälkeen sähkökenttään varastoitunut energia aikaansaa jännitteen kaapeliin eli jäännösvarauksen, joka purkautuu kaapelin eristeiden läpi maahan tai kuormiin.
- Tyhjäkäyvä kaapeli

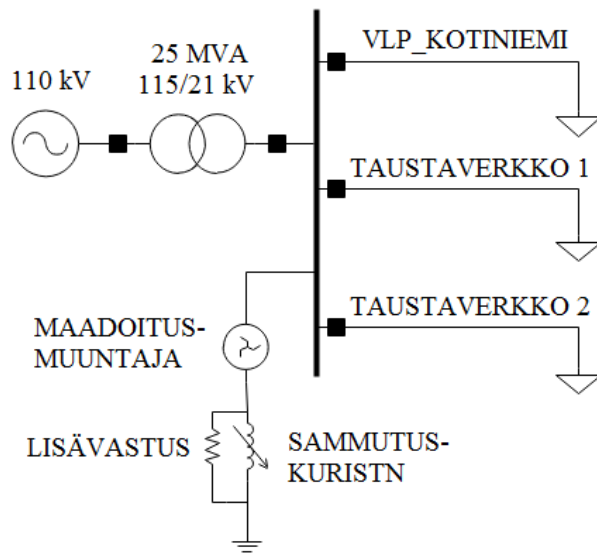


- Kaapeliin on kytkettyä induktiivinen kuorma

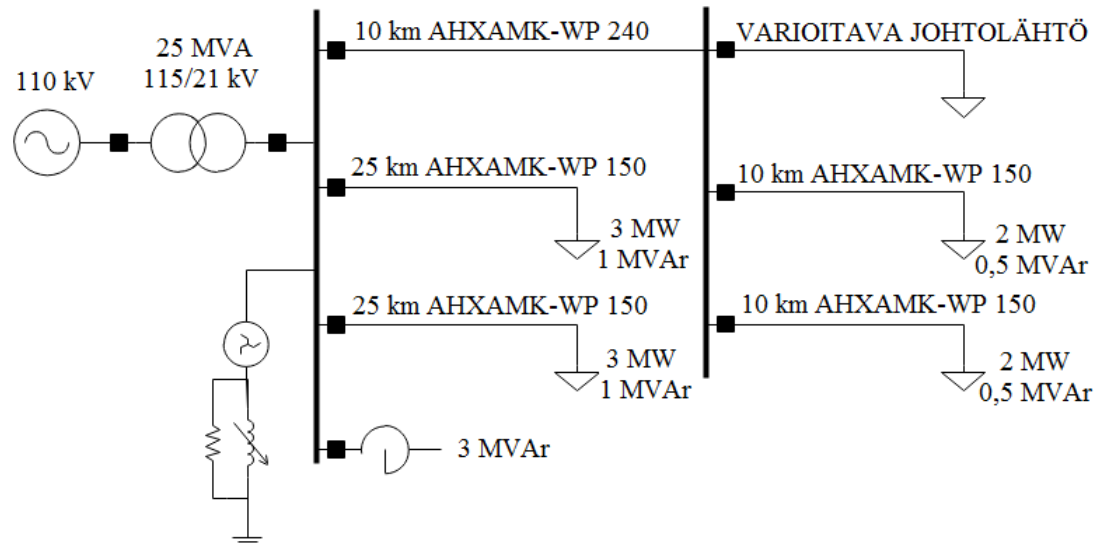


Simulointimallit

- Työssä tehty tutkimus suoritettiin PSCAD-simulointiohjelmistolla, jolla rakennettiin kaksi sähköverkkoa kuvaavaa verkkomallia.



Vilppulan sähköaseman verkkomalli

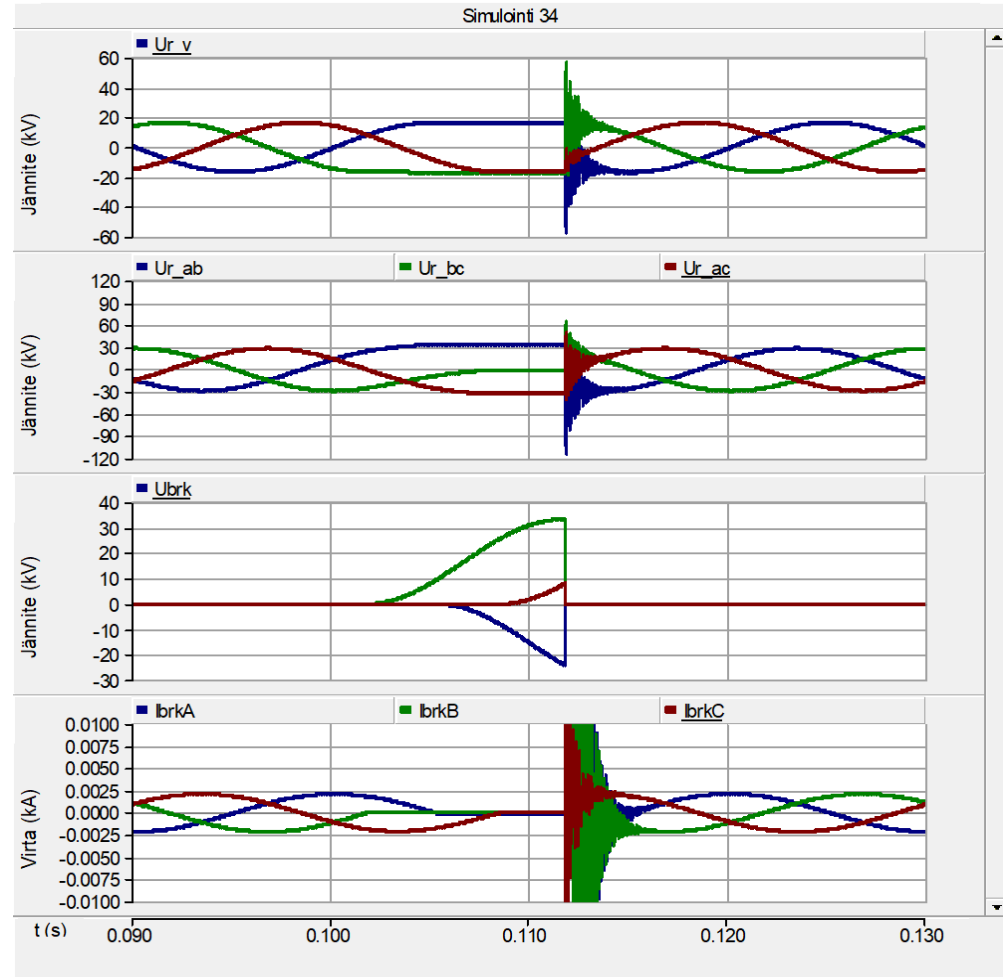


Yksinkertaistettu verkkomalli

- Simuloinneissa tutkittiin kaapeliverkkoon varastoituneen energian purkautumista irtikytkennän jälkeen ja palaavan jännitteen huippuarvolla tapahtuvia jälleenkytkentöjä.
- Simuloinneissa syntyviä kytkentäylijäännitteitä verrattiin komponenttien jännitekestoisuuksiin. Jännitekestoisuuksina käytettiin kyseisen jännitetason kestokoejäännitteitä, jotka olivat KJ-verkoissa 125 kV salamasyöksyjännitteiden osalta ja 50 kV verkkotaajuisen yhden minuutin jännitteen tehollisarvon osalta.
- Simuloinneissa tutkittavia kytkentätoimenpiteitä olivat
 - 110 kV syöttökatkaisijan kytkennät
 - 20 kV johtolähtöjen kytkennät
 - Tyhjäkäyvän kaapelin kytkennät
 - Tyhjäkäyvän kaapelin ja avojohdon yhdistelmän kytkennät
 - Reaktorilla kompensoitujen kaapeleiden kytkennät
 - 1-vaiheisen maasulun aikaiset kytkennät.
- Simuloinneissa suurimpia kytkentäylijäännitteitä aiheuttavia kytkentätoimenpiteitä olivat tyhjäkäyvän kaapelin ja avojohdon yhdistelmän jälleenkytkentä ja reaktorilla kompensoidun kaapelin irtikytkentä.

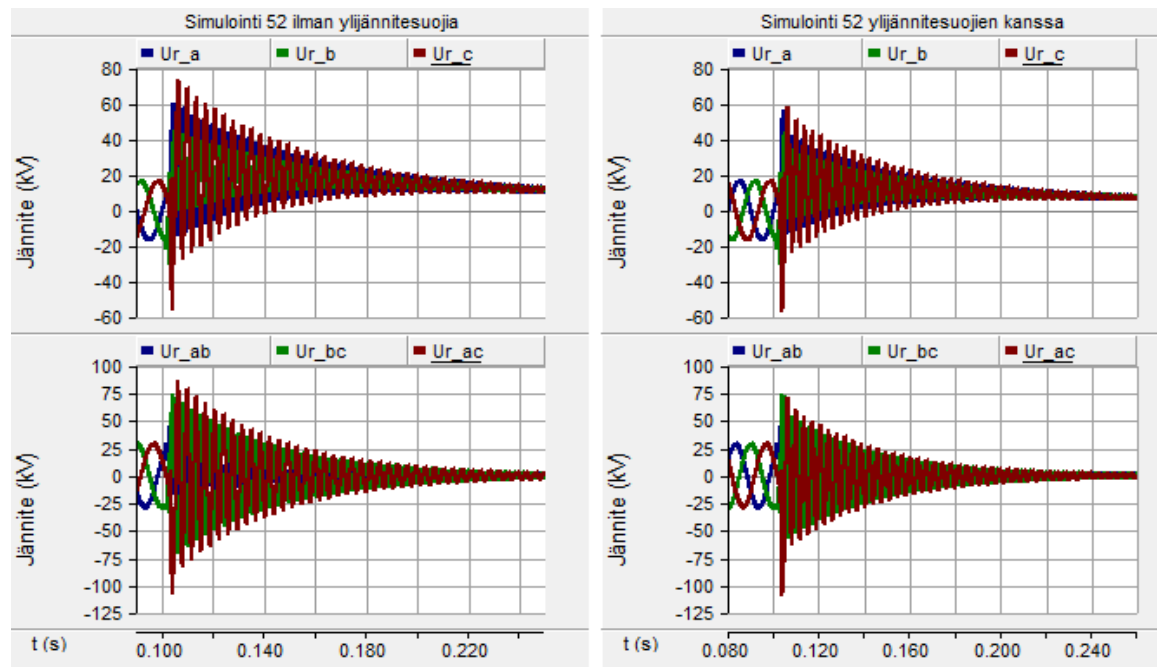
Tyhjäkäyvän kaapelin ja avojohdon yhdistelmän jälleenkytkentä

- Suurimmat kytkentäylijännitteet, kun kaapelin pituus oli lyhyempi kuin avojohdon.
- Ylijännitteiden syntyä voidaan selittää kulkaualtojen teorian avulla.
- Suurin simuloinneissa syntyvä kytkentäylijännite oli 114,96 kV.
- Kaapelin ja avojohdon kiinnityskohtaan asennetut ylijännitesuojat eivät vaikuta lainkaan kytkentäylijännitteiden suuruuteen.



Reaktorilla kompensoidun kaapelin irtikytkentä

- Suurimmat ylijännitteet irtikytkennässä, kun kaapeli oli lyhyt ja virran katkaisussa tapahtui current chopping. Voidaan päätellä, että ylijännitteet enemmän riippuvaisia reaktorin magneettikenttään varastoituneesta energiasta.
- Suurin simuloinneissa syntyvä ylijännite oli 107,5 kV.
- Ylijännitteitä vastaan voidaan kuitenkin suojautua tehokkaasti reaktorin napoihin asennettujen ylijännitesuojien avulla.



Yhteenveto

- Yleisesti kaapeliverkkoon varastoitunut energia purkautuu verkkoon aiheuttamatta merkittäviä ylijännitteitä ja kaikissa simuloinneissa ylijännitteet jäivät alle komponenttien jännitekestoisuuksien.
- Suuriakin ylijännitteitä voi kuitenkin esiintyä, jos kaapeliin on kytkettynä induktiivinen kuorma tai varastoitunut energia ei ole kerennyt purkautua täysin ja verkkoon tulee jälleenkytkentä
- Tyhjäkäyvän kaapelin ja avojohdon yhdistelmän jälleenkytkennöissä syntyvät ylijännitteet voivat kuitenkin olla kriittisiä, koska kaapelin ja avojohdon kiinnityskohtaan asennetuilla ylijännitesuojilla ei ole lainkaan vaikutusta syntyviin kytkentäylijännitteisiin.
- Simuloinneista tulee muistaa, että tuloksia ei ole verifioitu kenttämittauksien perusteella, jonka vuoksi niitä ei voi soveltaa suoranaisesti todellisuuden sähköverkkoihin.



Kiitos! Kysymyksiä tai kommentteja?

