

17.10.2018

Loistehon kompensointi

Yleistä

Monet kulutuslaitteet tarvitsevat pätötehon lisäksi loistehoa. Moottoreissa ja muuntajissa työn tekee pätöteho. Loistehoa tarvitaan näissä toiminnalle välttämättömän magneettikentän ylläpitämiseksi. Loistehoa tarvitaan esim. moottoreille, kondensaattoreille, teho- ja muuhun elektroniikkaan, erilaisille muuntajille ja valaistukseen. Pätötehossa virta ja jännite ovat saman vaiheisia eli vaihesiirtoa ei esiinny, loistehossa virran ja jännitteen välille on muodostunut aina vaihesiirtoa.

Vaihesiirto aiheuttaa siirrettävän virran kasvua, mikä puolestaan aiheuttaa suurempia häviöitä siirto- ja jakeluverkostossa. Loistehon vuoksi verkot on mitoittettava järeämmiksi, jotta myös loisteho voidaan siirtää niissä asiakkaille. Loistehon siirto aiheuttaa lisäkustannuksia siirto- ja jakeluverkkojen omistajille, jotka puolestaan perivät aiheutuneet kustannukset asiakkailtaan.

Loisteho voi olla induktiivista tai kapasitiivista. Induktiivisessa loistehossa virta on 90° jännitteen jäljessä tai kapasitiivisessa loistehossa virta on 90° jännitteen edellä. Kapasitiivista loistehoa verkkoon tuottavat mm. kondensaattorit ja kaapelit.

Koska kapasitiivisessa ja induktiivisessa loistehossa on vaihesiirto päinvastainen (180° vaihesiirto), sopivalla kapasitanssin mitoituksella induktiivinen loisteho voidaan kompensoida pois.

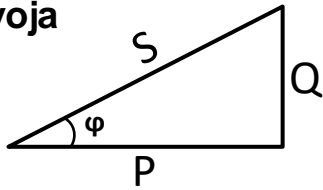
Kompensoinnin hyödyt

- Asiakas säästää kompensoinnin avulla loistehon laskutuksessa.
- Siirto- ja jakeluverkko voidaan mitoittaa pienemmän kokonaisvirran mukaan.
- Kompensointi pienentää pätötehohäviöitä kaapeleissa, keskuksissa ja muuntajissa ja näiden lämpenemät myös pienenevät. Myös näiden komponenttien kuormitettavuus pätötehon siirtoon on suurempi ilman loisvirtaa.
- Sulakkeiden kuormitettavuus paranee tai voidaan käyttää pienempää sulakekokoa.

Kompensoinnin yhteydessä tulee rahoittaa myös yliaaltoja estokeloilla tai suodattimilla, jolloin saadaan monia muita lisähyötyjä. Jännitteenlaatustandardi sallisi 8 % yliaaltoja, mutta herkemmat laitteet voivat häiriintyä jo huomattavasti pienemmistä yliaalloista.

17.10.2018

Kaavoja



$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ **Näennäisteho**

$\cos \varphi = \frac{P}{S}$ **Tehokerroin**

$Q = \frac{P}{\cos \varphi} * \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$ **Loisteho**

$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ **Loisteho**

$P = S * \cos \varphi$ **Pätöteho**

Kolmivaihejärjestelmän tehon kaavat:

Pätöteho kW $P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$

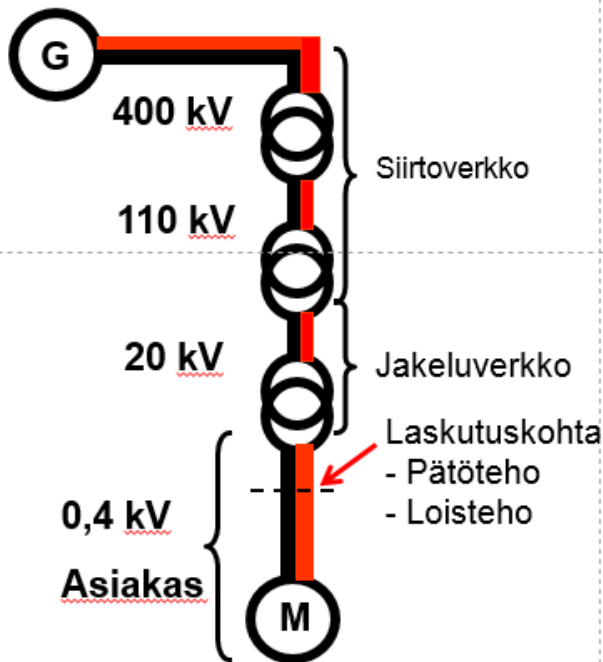
Loisteho kvar $Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi$

Näennäisteho kVA $S = \sqrt{3} * U * I$

, joissa U = 0,4 kV kolmiokytkennässä, I = vaihevirta

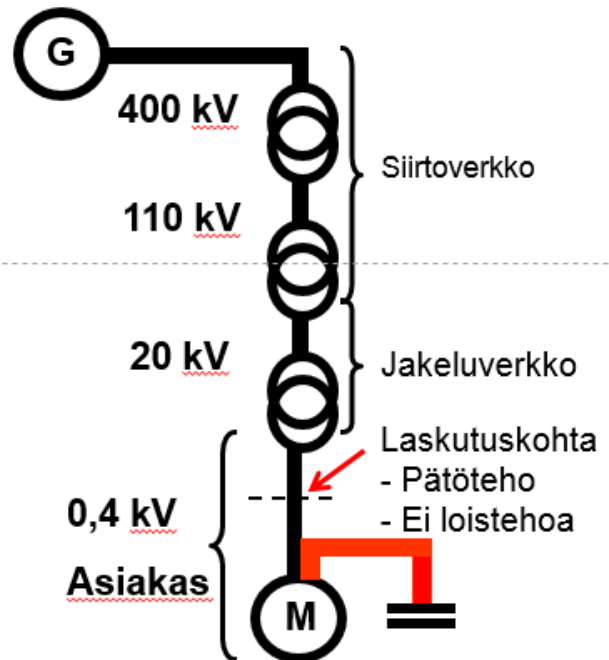
Periaatekuva kompensoimattomasta ja kompensoidusta verkosta

Loisteho tuotetaan voimalaitoksella. Pätösiirto-
kapasiteetti pienenee koko siirtoverkossa.
Syntyy häviöitä ja lisäkustannuksia



Ei kompensointia

Loisteho tuotetaan siellä missä sitä tarvitaan.
Pätösiirto-kapasiteetti kasvaa.
Kustannussäästö



Kompensoitu

17.10.2018

Kompensoinnin suunnittelussa huomioitava

- PJ- ja KJ-siirtotuotteilla verkkoyhtiö laskuttaa induktiivisesta loistehosta, mikäli se on suurempi, kuin 20 % viimeisen talviarkipäivän 12 kk:n pätötehohuipusta.
- Kompensointi tulee sijoittaa aina laskutusmittauksen jälkeen, jotta laskutukseen ei kertyisi loistehoa.
- Loistehosäädön virtamuuntajina ei saa käyttää laskutusmittauksen virtamuuntajia.
- Jotta loistehon säätö toimisi oikein, yhden virtamuuntajan mittausta ei tulisi käyttää.
- Loistehon määrät kannattaa selvittää ensin esim. sähkölaskusta, mittaamalla tai laskemalla
- Varaudu tulevaan kompensoinnin mitoituksessa
- Kompensointia suunnitellessa tulisi tietää kompensoitavan verkon yliaallojen määrät, jotta voidaan valita oikeantyyppinen kompensointilaitteisto
- Ryhmä- tai keskitetty kompensointi tulee tehdä käyttäen yliaallojen suodatusta joko estokela- tai suodatinparisto-kompensointia käyttäen
- Mieti, onko parempi tehdä keskitetty vai hajautettu kompensointi
- Keskijänniteasiakkaan tulisi huomioida myös muuntajan/muuntajien ottama loisteho
- Jakeluverkkoon ei saa syöttää kapasitiivista loistehoa

Kompensointi ja yliaallot

Kompensoinnin yhteydessä tulisi huomioida myös yliaallot, koska niiden rajoittaminen tai suodatus tapahtuu lähes aina kompensoinnin kanssa samaan aikaan. Kompensointia suunniteltaessa, etenkin kohteissa, joissa on yliaalloja tuottavia laitteita, yliaallojen määrät tulisi selvittää ennen kompensoinnin toteutusta. Etenkin silloin, jos epäillään yliaalloja olevan vähäistä määrää enemmän, koska yliaallojen määrä ja laatu vaikuttaa kompensointilaitteiston valintaan.

Yliaalloja verkkoon tuottavat mm. elektroniikkaa sisältävät laitteet, kuten invertterit, tasasähkökäytöt, UPS-laitteet, virtalähteet, purkaus- ja ledilamput, sähkösuotimet.

Yliaallojen haittoja ovat mm. johdinten, keskuksien, muuntajien ja laitteiden tehohäviöt ja ylikuormittuminen sekä lämpeneminen, resonanssit, resonanssiäänät, korkeataajuiset magneettikentät, moottoreiden ylimääräinen kuumeneminen, mekaaniset värähtelyt, virhetoimintoja logiikoissa ja teleliikenteessä, elektroniikan ennenaikainen vanheneminen ja laiterikot.

17.10.2018

Ilman kuristinta kondensaattorin kapasitanssi ja verkon impedanssi muodostavat resonanssipiirin taajuudella:

$$f_r = \sqrt{\frac{S_k}{Q}} * 50 \text{ Hz}$$

Sk = verkon oikosulkuteho kVA
Q = Kondensaattorin teho (kvar)

Jos verkossa on yliaaltolähteitä lähellä taajuutta f_r , verkon virta saattaa yliaaltolähteen saman taajuisen yliaallon kanssa kasvaa moninkertaiseksi.

Siksi verkkoyhtiö ei nykyisin hyväksy muita kuin yliaaltojen suodatuksella varustettuja kompensointilaitteita.

Kompensoinnin toteutustavat

Yksittäiskompensointia käytetään tavallisesti moottoreille ja purkauslampuille ja kohteisiin, joissa loisteho ei vaihtele käytön aikana. Kondensaattorit asennetaan niin, että ne kytkeytyvät päälle ja pois kuorman kanssa samaan aikaan. Etenkin pitkällä kiinteistöjohdoilla häviöitä voidaan pienentää yksittäiskompensoinnin avulla.

Ryhmäkompensointi toteutetaan yleensä ryhmäkeskuksen tasolla ja jos pää- ja ryhmäkeskuksen välimatka on pitkä ja halutaan pienentää jännitehäviöitä ja varata kaapelille enemmän pätötehon siirtokykyä. Toteutus joko automaattiparistolla tai kuorman kanssa kytkeytyvillä yksittäiskompensoinneilla.

Keskitetty kompensointi toteutetaan pääkeskustasolla automaattiparistolla, jossa on riittävä kompensointikyky ja sopivat portaat kuormitusten vaihtelua varten. Automaattipariston säätäjä huolehtii siitä, ettei tapahdu ylikompensointia.

Kompensointilaitteet

Estokelaparisto on automaattiparisto, joka sisältää rinnakkaisresonanssin estävät estokelat. Kelat suojaavat kondensaattorin paristoja yliaaltojen vaikutukselta ja pidentävät kondensaattoreiden käyttöikä. Paristo ei juurikaan suodata yliaaltoja verkosta ja asiakkaalta. Käytetään verkoissa, joissa yliaaltojen määrä pieni $U_{THD} < 5 \%$.

Yliaaltosuodatinta käytetään yliaaltopitoisissa verkoissa, joissa jännitesärö $U_{THD} > 5 \%$. Toimii yliaaltojen suodattimena (imupiirinä) verkosta ja suorittaa samalla tarvittavan kompensoinnin.

Kolmannen yliaallon suodatus perustuu nollajohtoon asetettuun rinnakkaisresonanssipiiriin, tai yksivaihekuormilla nollan ja vaiheen väliseen sarjaresonanssipiiriin, eli yliaaltosuodattimeen. Kolmas yliaalto summautuu kolmivaihejärjestelmässä nolnaan. Tällöin nollavirta voi kasvaa huomattavan suureksi. Kolmas yliaalto on yhtä haitallinen kuin muutkin yliaallot.

17.10.2018

Aktiivisuodin on automaattisesti toimiva kompensointilaitteisto, jonka toimintavaste on hyvin lyhyt ja sopii nopeasti vaihtelevaan kuormitukseen, johon normaalit kompensointilaitteet eivät ehdi. Suodin poistaa myös harmoniset yliaallot. Kompensointi ja yliaaltojen suodatus eivät ole toisistaan riippuvaisia. Suodatusalue (0-2,5 kHz) huomattavasti laajempi kuin yliaaltosuotimessa. Toimii myös kolmannelle yliaallolle.

Automaattipariston asettelu

Koska vapaata loistehoa voi olla 20 % pätötehosta on pariston $\cos \phi$ oltava vähintään 0,981 tai mieluummin suurempi, esim. 0,99, joka vastaisi noin 14 % loistehoa pätötehosta.

Kompensointi on kannattavaa, laskentaesimerkki

Asiakkaan edellisen 12 kk:n suurin pätöhuippu on 260 kW. Verkkoyhtiön laskutuksesta vapaa loistehon osuus on 20 % 12 kk:n pätötehohuipusta, eli 52 kvar. Asiakkaan loistehon laskutuksessa loistehoa laskutetaan 23 kvar/kk. Mikä on loismaksujen vuosikulu ja mikä on kokonaisloistehon määrä, kun loistehomaksu on 7,64 € kvar/kk?

Jos laskutettava loisteho pysyisi samana läpi vuoden, verkkoyhtiölle maksettava vuosikustannus loistehosta on $23 \text{ kvar/kk} * 12 \text{ kk/v} * 7,64 \text{ € kvar/kk} = 2108,6 \text{ €/v}$.

Kompensoitava kokonaisloisteho voidaan laskea laskemalla ensin vapaan loistehon osuus $260 * 0,2 = 52 \text{ kvar}$ ja siihen lisätään laskutuksessa oleva loisteho $52 \text{ kvar} + 23 \text{ kvar} = 75 \text{ kvar}$. Automaattisen kompensointilaitteiston järkevä koko määräytyy kokonaisloistehosta sopivasti pyöristäen tarjottaviin paristokokoihin. Laitteiston suunnittelussa on syytä myös varautua tarvittaessa mahdolliseen loistehon tarpeen kasvuun.