

Miksi vaihtovirtavaiheita ei ole 6 tai 12?

Olen itsekin tätä joskus miettinyt. Miksi vaihtovirtavaiheita on juuri kolme? Miksi ei kaksi, neljä, viisi, kuusi tai vaikkapa 12?

Vahvavirrasta jotakin ymmärtävät voivat katsoa seuraavan videon (pituus 4:46), jossa alan asiantuntija miettii juuri samaa: Mitäpä jos vaiheita olisi 12? Mitä etuja tai mitä hyötyjä siitä olisi? Joku asiantuntijalukija voisi sitten kertoa sen meilllekin maallikoille selväkielellä.

<https://www.youtube.com/watch?v=HqZtptHnC2I>

Laitetaan ensin Antin, OH2JJR; vastaus:

Kolme vaihtovirtavaihetta on minimimäärä, millä saavutetaan määrättyjä ominaisuuksia ja etuja.

Voisihan vaiheita olla vaikka 100 kappaletta, mutta se ei toisi mitään uusia lisäetuja, ja 100 vaiheen kuljettaminen vaikkapa 400 kV valtakunnan kantaverkossa suurjännitesähköpylväissä ei olisi kivaa. Tarpeetonta, kun 3 vaihetta riittää.

Kolmivaihevirtajärjestelmä on muuten Nikola Teslan keksintö.

Kaksivaihevirrassa energiavirta, siis siirtyvä energiamäärä sekuntia kohden, ei ole vakio, vaan energiavirta (eli teho) on sinifunktio. Kolmivaiheverkossa siirtyvä energiamäärä sekunnissa on vakio (koska kolmen eri vaiheen aaltoilut täydentävät toinen toisensa.)

Kolmivaihejärjestemällä voi kätevästi käyttää 50 Hz taajuuteen synkronoituja oikosulkumoottoreita.

Mitä muita etuja on, en heti osaa sanoa. En ole päätoimisesti paksuvirtaspecialisti, vaan ammattimainen nörtti.

Aikoinaan ex-TKK:lla ja nykyään Aalto-yliopistolla, muuan meistä kysyi eräältä vahvavirtamieheltä, kuinka paljon tehoa piirissä pitää olla, jotta laite luokiteltaisiin vahvavirtatekniikaksi. Vahvavirtakaveri vastasi, että jos laitteesta menee yli yksi megawatti läpi, eikä vielä savu nouse, niin sitten se on vahvavirtateknologiaa.

Aikoinaan, samassa paikassa oli opiskelijoiden valintainfo, jossa eri aineiden professorit esittelivät omaa alaansa, jotta nuoret opiskelijat voisivat mahdollisimman hyvin valita oman alansa.

Opiskelija viittasi ja sai puheenvuoron.

Hän sanoi hyvin epäröivällä äänellä:

"Professori, ... onko totta ... kun vanhemmat opiskelijat ovat sanoneet, että heikkovirtapuolella vaaditaan vahvaa päätä, ja vahvavirtapuolella heikkoa"

Seurasi kiusaantunut hiljaisuus, ja sen jälkeen, professorin hyvin asiallinen ja formaali kommentti.

Antti OH2JJR

Sitten Jukan, OH2JIN; vastaus:

Polyfaasiset järjestelmät:

Tuo 6- tai 12-vaiheinen nousee aina väliin esille, mutta sillä ei sinänsä ole taloudellista kannattavuutta pl useampipulssiset suuntaajat. En halua mennä syvälliseen vektorilaskentaan, edes graafisesti... ellei ole pakko tai sitten tehdä 3-vaihetekniikan verkkokurssia :-o

Jos vaiheita olisi yksi resistiivisesti kuormitettu, käyttäisimme tehon laskemisessa vaihejännitettä (U_v) ja vaihevirran voimakkuutta (I):

$$P = U_v \times I$$

Pääjännitettä ei luonnollisestikaan ole.

Jos vaiheita olisi kaksi, so niiden välillä 90 asteen vaihesiirto:

$$P = 2 \times U_v \times I$$

Pääjännite, l. vaiheiden välinen jännite $U_p = \sqrt{2} \times U_v = 1,4 \times U_v$

Kolmivaihelaskuissa mutkat suoriksi. Jakelumuuntaja tähdessä, kuormakeskus tähdessä ja symmetrisen resistiivisesti kuormitetun kolmivaihejärjestelmän (vaiheiden ero 120 astetta) teho ja jännitteet:

$$P = 3 \times U_v \times I \Rightarrow \text{vaihejännite ja virta}$$

$$P = \sqrt{3} \times U_p \times I \Rightarrow \text{pääjännite ja virta}$$

Vaihejännite 230 V ja laskenta tehollisarvoilla:

Kolmivaihejärjestelmässä kahden vaiheen R ja S jännitteiden vaihe-ero on 120 astetta. Naapurivaiheen jännitteelle S suoritetaan teoreettinen vaiheenkäntö, jolloin vaihetta S käännetään 180 astetta. Tässä ajatusmallissa on vaiheen R asteluku parametrina 0 astetta. Vaihe S on siis 120 astetta ja kun käänämme sitä 180 astetta, tulee eroksi 60 astetta.

Vaihejännitteiden origossa on siis kulma 60 astetta. Kun käännetty S-vektori projisoidaan R-vektorin kärkeen, muodostuu siihen kulma 120 astetta. Koska R-vektori ja käännetty S-vektori ovat yhtä pitkiä, ovat niiden kulmat summavektoriin nähden 30 astetta. Summavektorin pituuden eli vaiheiden R ja S välisen pääjännitteen laskeminen: Puolittamalla äsken muodostunut 120 asteen kulma apujanalla, muodostuu siihen 60 asteen kulma ja summavektori puolittuu. Tunnettu siis summavektorin ja R-vektorin välisen kulman 30 astetta ja R-vektorin pituuden 230 V, jolloin pääjännitteen puolikas, so summavektorin pituuden puolikas saadaan selville:

$$U_p/2 = U_r / \cos 30 = 230 \text{ V} \times \cos 30 = 199 \text{ V} \Rightarrow \\ \text{Pääjännite on siten } 2 \times 199 \text{ V} = 398 \text{ V} \text{ eli noin } 400 \text{ V,} \\ \text{mikä voidaan tarkistaa:}$$

$$U_p = \sqrt{3} \times U_v = \sqrt{3} \times 230 \text{ V} = 398 \text{ V}$$

Kun tarkastellaan 6-vaiheista, on periaate sama ja toinen kolmivaihetähti laitetaan tuon nykyisen sisään =>

Vierekkäisten vaiheiden ero on 60 astetta ja edelleen saadaan järjestelmästä ulos perinteinen 3-vaiheinen voimavirta kytketyllä joka toiseen vaiheeseen. Ainoa säästö tässä taitaa tulla siinä, että saadaan kulkemaan samassa johtokujassa kaksi 3-v järjestelmää. Sitten olisi valtakunnassa kuusi vaihetta... kun nykyisiäkään ei tahdota saada pyörimään oikeinpäin. Koska siirretty teho ratkaisee, on helpompaa laittaa samaan johtokujaan kaksi rinnakkaista johtoa. Vieläkin edullisempaa on nostaa siirtojännitettä. Sähkönsiirto on kaupallista toimintaa, joten tekniikka on siinä mielessä etabloitunutta, että esimerkiksi HVDC ei ole saanut jalansijaa kaikkialla.

Suomessa ei kannata HVDC-siirtoon lähteä (pl. rajajohdoilla), koska tuo 400 kV HVAC on taloudellista muistaakseni vielä 600...700 km siirtoetäisyyksillä. Muuten... syynä siihen, että pitkät merikaapelit ovat HVDC on se, että kaapelikapasitanssi näkyy reaktanssina ja alkaa kaukopään jännite nousemaan. Tämä on muuten yksi ongelma keskijäniteverkossa nykyisen maakaapelointivimman aikana. Pitää kyetä kompensoimaan Xc.

Ajelen usein yhden 400 kV johdon sekä myös kaksoisjohdon alitse nimenomaan pimeällä... ja on aikaa kuunnella radiota ja miettiä kaikenlaista, koska V/UHF ei niillä seuduilla ainakaan suorilla kannu minnekään. Olen katsellut kuinka vaiheissa on vahvistusköysiä, osin koronahäviöiden eliminointia varten. Olen miettinyt että jos 400 kV johdon kaupallinen siirtokapasiteetti olisi 1200 MW, tarkoittaa se sitä, että yhdellä vaiheella on kuormaa 400 MW vaihejännitteen ollessa 230 kV => Vaiheen virran voimakkuus on $400 \text{ MW} / 230 \text{ kV} = 1,74 \text{ kA}$. Tarkastamme: $P = \sqrt{3} \times U_p \times I = 1,73 \times 400 \text{ kV} \times 1,74 \text{ kA} = 1200 \text{ MW}$

Muistelen että köydelle annetaan käyttölämpötilan maksimiksi jotain 65 astetta C ja jostain kuulin että siirtohäviöt saattavat olla luokkaa kymmeniä MW. Jos siis oletamme että johdon kapasiteetista käytetään vaikkapa 1000 MW ja häviöt olisivat 40 MW, on se vain 4 %. Heh, en ala tähän avaamaan yksivaiheisten sähköratajärjestelmien 25 kV ja 2 x 25 kV toteutusta, mutta Japanissa oli jo 1990-luvulla käytössä vapaan ratajohtokapasiteetin hyödyntäminen (=vuokraaminen) verkkoyhtiön siirtotarpeisiin.

Jukka, OH2JIN