

7.6. Esimerkki oikosulkusuojauksen asettelusta

Määritetään oikosulkusuojauksen asetteluarvot kuvan 7.6a verkolle, kun suojaus on toteutettu numeerisilla releillä ja on toiminnaltaan:

- aikaselektiivinen sekä osittain virtaselektiivinen tai
- aikaselektiivinen, osittain virtaselektiivinen sekä lisäksi otetaan käyttöön lukitusuojaus.

Kuvan 7.6a pääkaaviosta saadaan tarvittavia lähtötietoja asetteluarvojen määrittämistä varten. Lisäksi asetteluarvojen määrittämistä auttaa huomattavasti, mikäli käytettävissä on ns. suojauksen yleiskaavio, joka tarkemmin määrittelee suojauksen toiminnot, esimerkiksi eri ylivirtaportaiden suunniteltu toiminnallisuus ja käyttötarkoitus. Esimerkki yleiskaaviosta nähdään kuvassa 7.6b.

7.6.1. Vikavirtatasot ja suurimmat kuormitusvirrat

Asetteluarvojen määrittämistä varten tulee tuntea verkon eri osien suurimmat ja pienimmät vikavirtatasot, verkon eri osien ja komponenttien oikosulkukestoisuudet, nimellisvirrat sekä suurimmat kuormitusvirrat.

Oikosulkusuojaus tulee asetella siten, että suojaus toimii luotettavasti pienimmällä suojausalueella esiintyvällä oikosulkuvirralla. Pienintä vikavirtaa määrättäessä tulee ottaa huomioon kaikki vikavirtaa pienentävät tekijät: kytkentätilanteet, verkkojännitteen suuruus, vikatyypit jne. Pienjännitteellä sattuvissa vioissa otetaan huomioon valokaaren vikavirtaa pienentävä vaikutus, joka voi olla useita kymmeniä prosentteja. Lisäksi otetaan huomioon Dyn-kytketyn muuntajan vaikutus muuntajan takana esiintyviin oikosulkuvirtoihin. Käytettäessä kaksivaiheista mittausta suojauksen asettelussa tulee varautua muuntajan takana sattuvissa oikosuluissa vikavirran pienenemiseen $1/\sqrt{3}$:een osaan. Samoin on tilanne yksivaiheisten oikosulkujen osalta vaikka mittaus olisikin kolmivaiheinen.

Asetteluarvot tulee tarkistaa suurimman kuormitusvirran sekä verkon komponenttien oikosulkukestoisuuksien mukaisesti. Suojaus ei saa toimia suurimmilla kuormitusvirroilla, joita määrättäessä tulee ottaa huomioon muuntajan kytkentävirrasysäykset, moottorien käynnistysvirrat ja muut hetkelliset ylivirtatilanteet, esimerkiksi oikosulun aikaista alijännitetilannetta seuraava jälkitilanne. Asettelut tulee valita toisaalta niin, että verkon komponenttien oikosulkukestoisuuksia, esim. muuntajan termistä kestoisuutta läpimenevillä vikavirroilla, ei missään tilanteessa vaaranneta.

Esimerkkiverkon, kuva 7.6a, suurimmat ja pienimmät kolmivaiheiset vikavirrat on laskettu taulukkoon 7.6a. Koska esimerkkiverkko ei sisällä omia generaattoreita, voidaan kolmivaiheisten vikavirta-arvojen avulla tarvittaessa suoraan arvioida kaksivaiheisten ja pienjänniteverkon osalta myös yksivaiheisten oikosulkujen vikavirtatasoja riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 7.6a. Esimerkkiverkon kolmivaiheiset pienimmät ja suurimmat vikavirrat eri vika-paikoissa laskettuna vastaavilla jännitetasoilla sekä redusoituna 10 kV jännitetasolle.

vikapaikka		vikavirta		reduoitu vikavirta	
		I_{Kmin} (kA)	I_{Kmax} (kA)	I_{Kmin} (kA)	I_{Kmax} (kA)
1	I_{K1}	21,1 _{110 kV}	21,1 _{110 kV}	(232,1 _{10 kV})	(232,1 _{10 kV})
2	I_{K2}	22,9 _{10 kV}	41,7 _{10 kV}	22,9 _{10 kV}	41,7 _{10 kV}
3	I_{K3}	17,5 _{10 kV}	26,6 _{10 kV}	17,5 _{10 kV}	26,6 _{10 kV}
4	I_{K4}	42,5 _{0,4 kV}	45,0 _{0,4 kV}	1,7 _{10 kV}	1,8 _{10 kV}
5	I_{K5}	32,5 _{0,4 kV}	35,0 _{0,4 kV}	1,3 _{10 kV}	1,4 _{10 kV}

7.6.2. Suojareleen ja mittamuuntajan yhteistoiminta

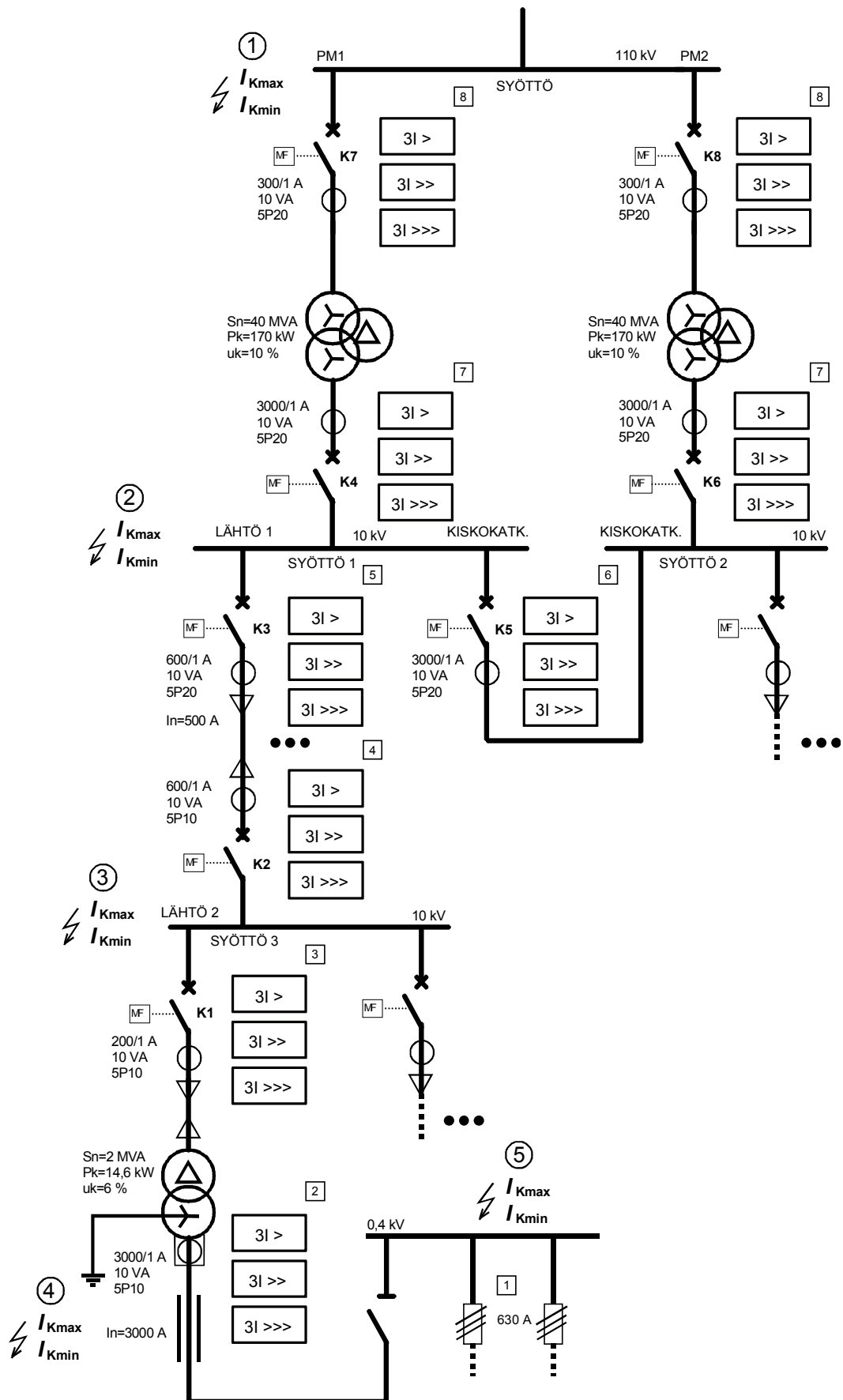
Asetteluja määritettäessä tulee lisäksi tuntee käytetyn suojareletyyppin vaatimukset virtamuuntajien toistokyvyille sekä suojareletyyppin toiminta epäsymmetrisellä virralla. Virtamuuntajan toistokyky tulee tarkistaa myös suojattavan verkko-osan DC-komponentin aikavakion suhteen, koska virtamuuntajan liiallinen kyllästyminen ja/tai liian suuri virta-asettelu voi aiheuttaa suojauksen toiminnan viivästymisen tai jopa toimimattomuuden.

Numeerisille suojuille ylimmän portaan virta-asettelu voidaan valita seuraavasti: jos I_{Kmin} on pienin ensiövirta, jolla suojauksen tulee toimia, tulee virta-asettelun olla korkeintaan $0,7 \times (I_{Kmin} / I_{1n})$ tai $0,7 \times F_a$. Tässä F_a on virtamuuntajan todellinen tarkkuusrajakerroin ja I_{1n} virtamuuntajan ensiön nimellisvirta. Lauseke $0,7 \times (I_{Kmin} / I_{1n})$ ottaa huomioon releen toimintatarkkuuden, virtamuuntajan virheet sekä epätarkkuudet vikavirtalaskelmissa. Virtamuuntajan toistokyky puolestaan otetaan huomioon lausekkeella $0,7 \times F_a$. Tällä tavoin suojauksen toiminta on luotettavaa ja mahdollinen virtamuuntajan kyllästymisestä aiheutuva toiminnan lisäviive jää mahdollisimman pieneksi. Alempien portaiden asettelussa virtamuuntajan kyllästymistä ei tarvitse ottaa huomioon, vaan virta-asettelu voidaan valita yhtäsuureksi tai pienemmäksi kuin $0,7 \times (I_{Kmin} / I_{1n})$.

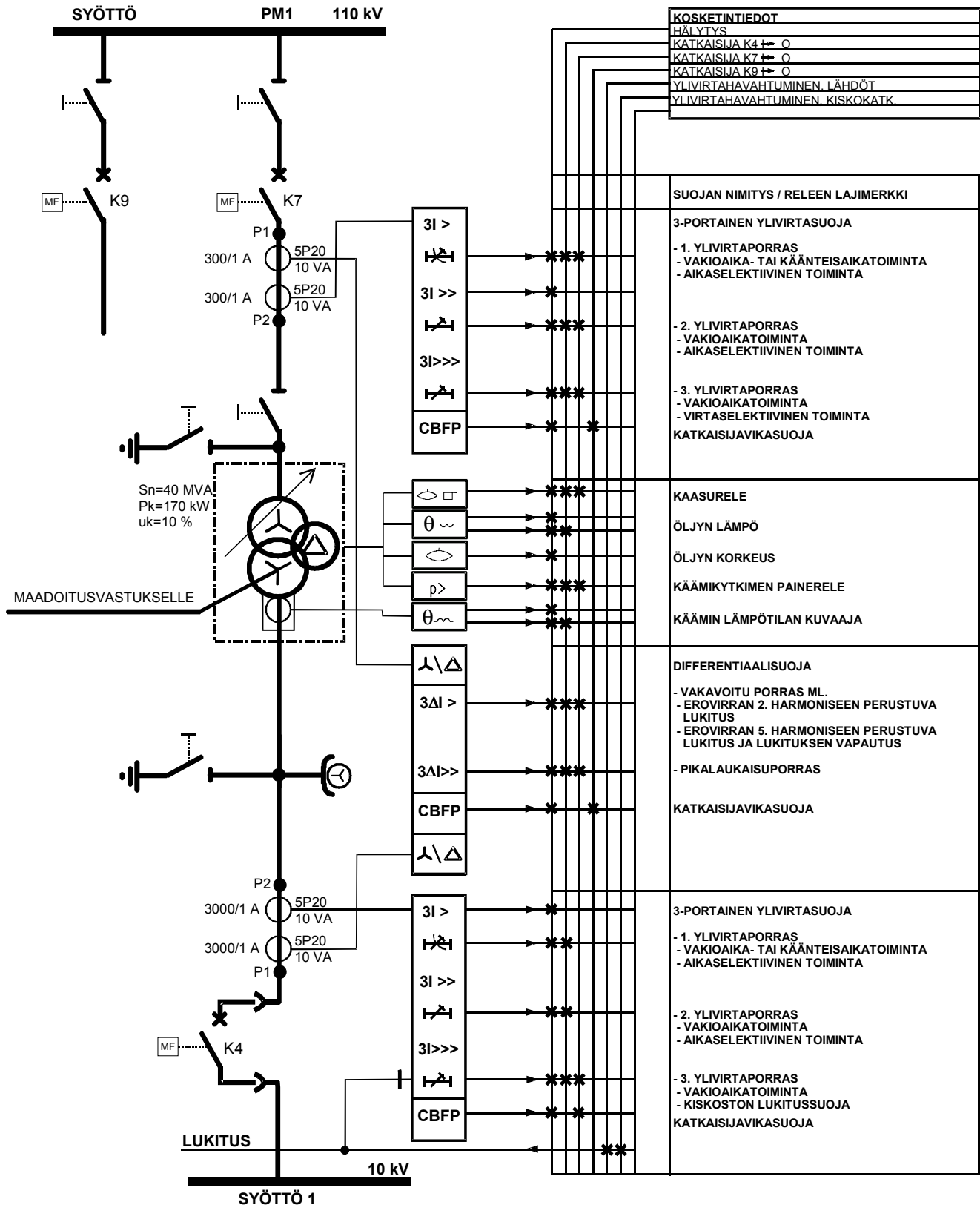
Taulukossa 7.6b on esitetty esimerkkiverkon virtamuuntajien toistokykyä kuvaavat todelliset tarkkuusrajakertoimet, ks. kappale 10, ja niiden mukaiset suurimmat sallitut virta-asettelut sekä suurimmat DC-komponenttien aikavakiot releiden sijaintipaikoilla.

Taulukko 7.6b. Suojattavan verkon virtamuuntajien todelliset tarkkuusrajakertoimet ($\times I_{1n}$) ja niiden toistokyvyn mukainen suurin sallittu ylivirtaportaan asettelu $3I >_{MAX} (\times I_{1n})$.

rele	virtamuuntaja	τ_{DCmax} (ms)	luokka	F_a ($\times I_{1n}$)	$3I >_{MAX}$ ($\times I_{1n}$)
8	300/1 A _{110 kV}	50	10 VA, 5P20	77	54
7,6	3000/1 A _{10 kV}	70	10 VA, 5P20	35	25
5	600/1 A _{10 kV}	70	10 VA, 5P20	59	41
4	600/1 A _{10 kV}	20	10 VA, 5P10	33	23
3	200/1 A _{10 kV}	20	10 VA, 5P10	25	18
2	3000/1 _{0,4 kV}	25	10 VA, 5P10	20	14



KUVA 7.6a. Esimerkkiverkon (pääkaavioesitys) oikosulkusuojaustoiminnot, jotka on toteutettu numeerisilla releillä.



KUVA 7.6b. Esimerkkiverkon päämuuntajan ja -kojeiston oikosulkusuojaus yleiskaavio.

7.6.3. Asetteluarvojen määrittäminen ja suojaus toiminnan tarkastelu

Asetteluarvojen määrittämisestä sekä suojaus toiminnan suunnittelua ja tarkastelua varten laaditaan selektiivisyyskäyrästä, kuva 7.6c, jossa lähtötietoina esitetään:

- laskennan tuloksena verkon eri osissa vaikuttavat 3-vaiheiset suurimmat ja pienimmät oikosulkuvirrat,
- verkon komponenttien oikosulkukestoisuudet, kuormitettavuusrajat ja nimellisvirrat,

- muuntajien suurimmat kytkentävirrät ja
- pienjänniteverkon nimellisvirraltaan suurimman varokkeen toimintakäyrä.

Yllä mainitut virta-aika-kuvaajat ovat releiden asettelua rajoittavia tekijöitä, jotka on aina otettava huomioon asettelua määritettäessä.

Asetteluarvot valitaan selektiivisyyskäyrästä apuna käyttäen. Yhteenveto suojiin asetteluperusteista, asetteluarvoista sekä niiden toimintakäyrästä nähdään kuvan 7.6d asettelukaa-viossa sekä kuvan 7.6c selektiivisyyskäyrästä, kun suojaus on toiminnaltaan aikaselektiivinen sekä osittain virtaselektiivinen.

Lisäyhteenvetona asetteluarvojen valinnasta voidaan todeta seuraavaa:

Pienjännitekojeiston ja kiskosillan suojaus (rele 2):

- Selektiivisyys kojeiston suurimman varokkeen kanssa toteutuu parhaiten asettamalla alin porras ($3I >$) toimimaan käänteisaikaisena.
- Alimman portaan tulee havahtua vähintään 2-kertaisella jakelumuuntajan nimellisvirralla. Tätä kuormitusrajaa ei suositella ylitettävän lyhytaikaisestikaan terveen tilan aikana (IEC 60354).
- Suojauksen toimintanopeuden on oltava riittävä myös pienimmällä vikavirralla, jonka arvioimiseksi otetaan huomioon vikatyypin lisäksi mahdollisen vikaresistanssin vaikutus käyttämällä esim. kerrointa 0,6. Näin ollen pienimmäksi vikavirraksi voidaan arvioida $0,6 \cdot \sqrt{3/2} \cdot I_{K5} = 16,9 \text{ kA}$ (0,4 kV) ja redusoituna 10 kV tasolle noin 680 A.
- Jotta suojaus toimisi ym. virralla mahdollisimman nopeasti, otetaan käyttöön myös ylemmät vakioaikaiset portaot ($3I >>$, $3I >>>$). Selektiivisyyskäyrästä nähdään, että suojauksen toiminta-ajaksi pienimmällä vikavirralla tulee jopa alle 100 ms (rele aika).
- Toimiessaan rele 2 laukaisee lähdön 2 katkaisijan K1.

Jakelumuuntajan suojaus (rele 3):

- Käytetään 3-portaista suojausta, jolla saavutetaan erittäin hyvä selektiivisyys alajännitepuolen suojan kanssa. Myös herkkyyss- ja toimintanopeusvaatimukset täyttyvät erittäin hyvin kolmen portaan ansiosta.
- Kahden alemman portaan ($3I >$, $3I >>$) asetellut valitaan ottamalla huomioon suurimmat kytkentävirrät, joilla suojaus ei saa toimia, selektiivisyysvaatimukset releeseen 2 nähden, sekä mainittu kuormitusraja, jota ei suositella ylitettävän.
- Ylin porras ($3I >>>$) toimii virtaselektiivisesti, jolloin asettelu voidaan valita edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti ja ottamalla huomioon, että käytetyllä numeerisella reletyypillä transientti yliulottuma on käytännössä 0 %.
- Toimiessaan rele 3 laukaisee lähdön 2 katkaisijan K1.

Alakojeiston ja sen syöttökaapelin suojaus (releet 4 ja 5):

- Jotta selektiivisyys releen 3 kanssa toteutuu hyvin ja luotettavasti ja jotta toimintanopeus olisi mahdollisimman hyvä, käytetään 3-portaista vakioaikasuojaa.
- Asetellaan releen 4 alimman portaan ($3I >$) havahtumisvirta vastaamaan esimerkiksi noin 2-kertaista syöttökaapelin nimellisvirtaa. Toiminta-aika porrastetaan sopivasti releen 3 toimintakäyrän kanssa.
- Releen 4 ylempien portaiden ($3I >>$, $3I >>>$) ja releen 5 portaiden virta- ja aika-asetellut porrastetaan sopivasti sekä keskenään että releeseen 3 nähden.
- Vaikka releet 4 ja 5 mittaavat yhtäsuurta virtaa sekä terveessä tilassa että läpimenevässä viassa, poikkeavat niiden virta-asetellut n. 20 % toisistaan. Näin otetaan huomioon toiminta- ja mittausepä-tarkkuudet sekä varmistetaan selektiivinen toiminta.
- Ylimpien portaiden ($3I >>>$) aika-asetellut valittiin samoiksi, jotta toimintanopeus suurilla vikavirroilla saadaan mahdollisimman hyväksi. Tämä nopeuttaa myös suojausketjussa ylempänä olevien suojiin toimintaa suurilla vikavirroilla.

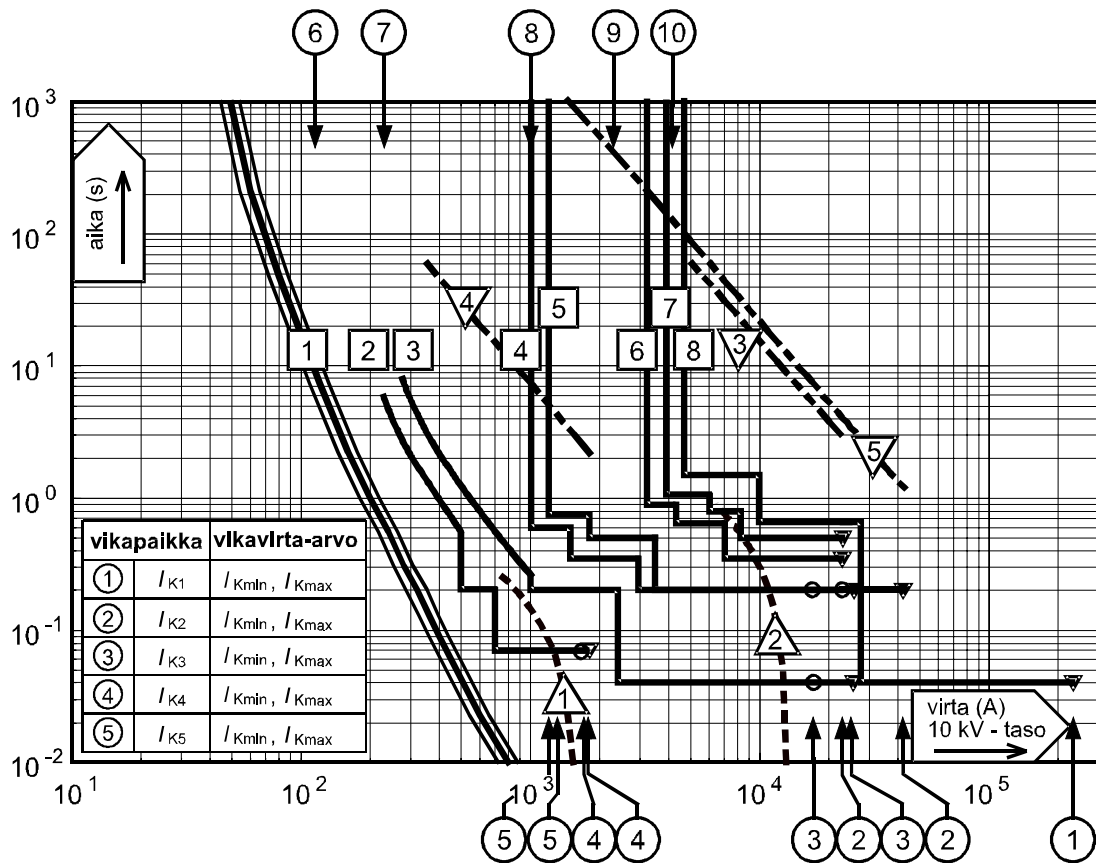
- Toimiessaan rele 4 laukaisee alakojeiston syötön 3 katkaisijan K2 ja rele 5 lähdön 1 katkaisijan K3.

Pääkojeiston suojaus (releet 6 ja 7):

- Jotta selektiivisyys releen 5 kanssa toteutuu hyvin ja luotettavasti, ja jotta toimintanopeus olisi mahdollisimman hyvä, käytetään 3- portaista vakioaikasuojausta.
- Releen 7 alemman portaan (3I>) tulee havahtua vähintään 1,8- kertaisella päämuuntajan nimellisvirralla. Tätä kuormitusrajaa ei suositella ylitettävän lyhytaikaisestikaan terveiden tilan aikana (IEC 60354).
- Releen 6 portaiden ja releen 7 ylempien portaiden (3I>>, 3I>>>) virta- ja aika-asettelut porrastetaan sopivasti sekä keskenään että releeseen 5 nähden.
- Releiden 6 ja 7 alempien portaiden (3I>, 3I>>) virta-asettelujen välille valittiin n. 20 % marginaali, jolla otetaan huomioon toiminta- ja mittausepäätarkkuudet sekä varmistetaan selektiivinen toiminta.
- Toimiessaan rele 6 laukaisee kiskokatkaisijan K5 ja rele 7 pääkojeiston syötön 1 katkaisijan K4 (syötön 2 katkaisijan K6).

Päämuuntajan suojaus (rele 8):

- Käytetään 3-portaista vakioaikasuojausta, jolla saavutetaan erittäin hyvä ja luotettava selektiivisyys alajännitepuolen suojan kanssa. Myös herkkyys- ja toimintanopeusvaatimukset täyttyvät erittäin hyvin kolmen portaan ansiosta.
- Kahden alemman portaan (3I>, 3I>>) asetellut valitaan ottamalla huomioon suurimmat kytkentävirrät, joilla suojaus ei saa toimia, selektiivisyysvaatimukset releeseen 7 nähden, sekä mainittu kuormitusraja, jota ei suositella ylitettävän.
- Ylin porrastus (3I>>>) toimii virtaselektiivisesti, jolloin asetellut voidaan valita edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti ja ottamalla huomioon, että käytetyllä numeerisella reletyypillä transientti yliulottuma on käytännössä 0 %.
- Toimiessaan rele 8 laukaisee päämuuntajalähdön 1 katkaisijan K7 (päämuuntajalähdön 2 katkaisijan K8).



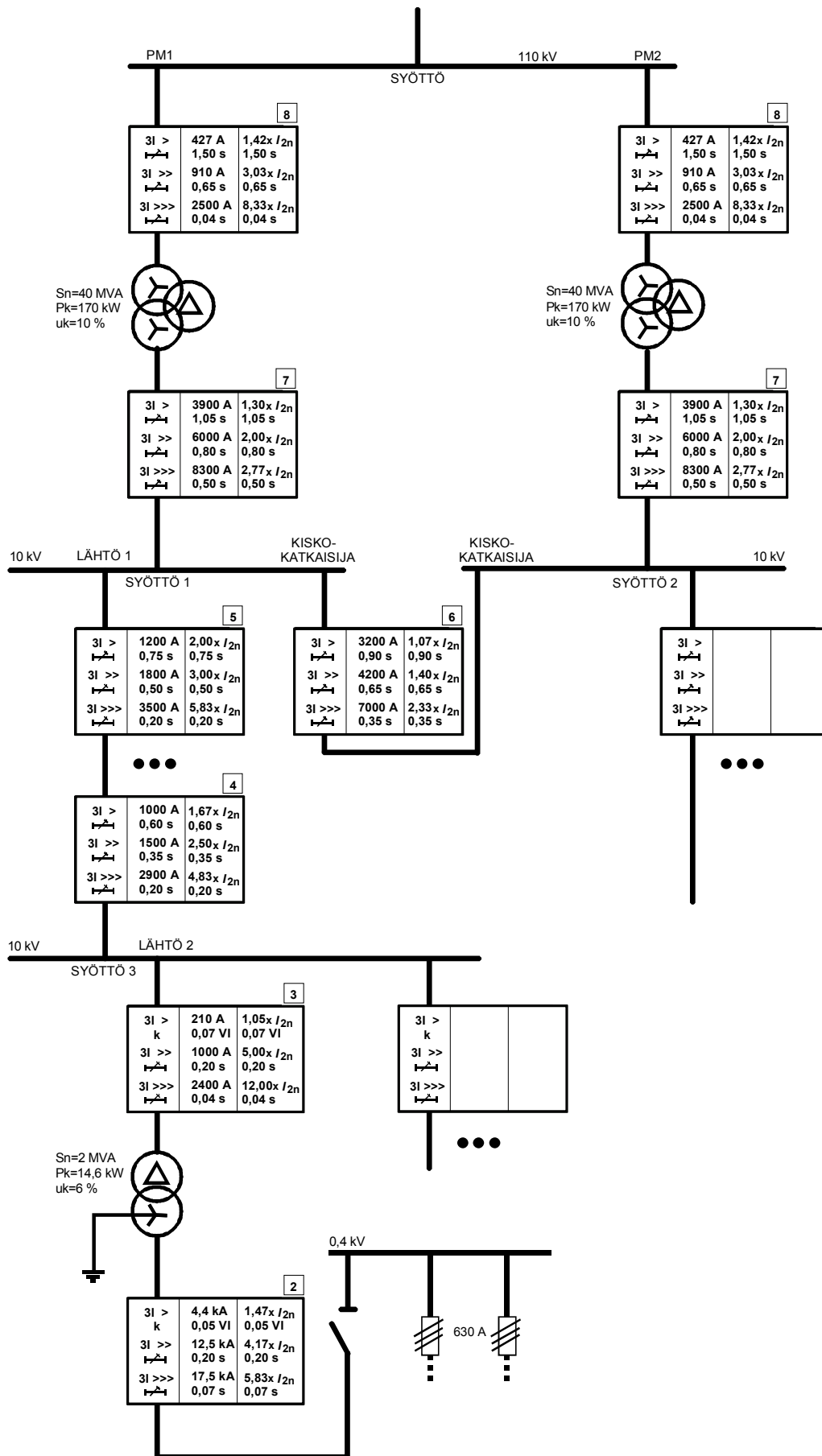
virta-arvo	selite
⑥	I_{Njm} 2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan nimellisvirta
⑦	$2x I_{Njm}$ 2 x (2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan nimellisvirta)
⑧	$2x I_{Nk}$ 2 x (alakojeiston syöttökaapelin nimellisvirta)
⑨	I_{Npm} 40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan nimellisvirta
⑩	$1,8x I_{Npm}$ 1,8 x (40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan nimellisvirta)

virta-arvo	selite
△1	\hat{I}_{Sjm} 2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan kytkentävirtasysäyksen huippuarvo
△2	\hat{I}_{Spm} 40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan kytkentävirtasysäyksen huippuarvo
▽3	I_{Tpm} 40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan terminen rajakäyrä (IEC 76-5)
▽4	I_{Tjm} 2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan terminen rajakäyrä (IEC 76-5)
▽5	I_{Tk} alakojeiston syöttökaapelin terminen kestoisuus

suoja	selite
1	630 A varokkeen toimintakäyrä
2	0,4 kV kojeiston ja kiskosillan suojan toimintakäyrä
3	2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan suojan toimintakäyrä
4	alakojeiston suojan toimintakäyrä
5	alakojeiston syöttökaapelin suojan toimintakäyrä

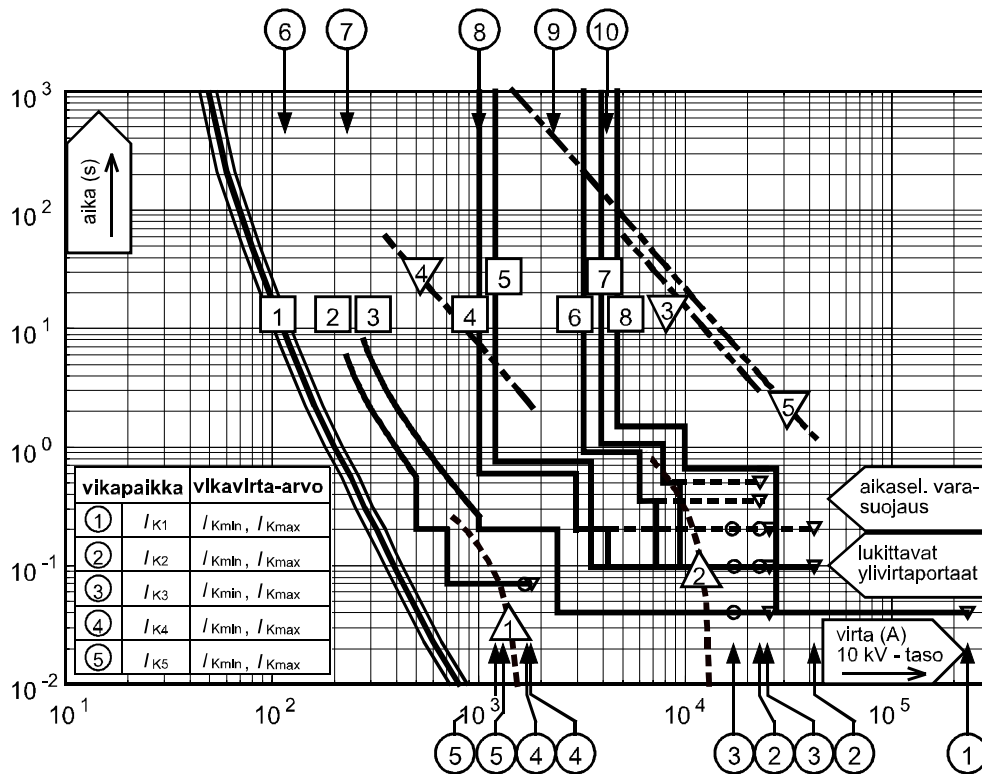
suoja	selite
6	pääkojeiston suojan toimintakäyrä (kiskokatkaisija)
7	pääkojeiston suojan toimintakäyrä
8	40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan suojan toimintakäyrä

KUVA 7.6c. Esimerkkiverkon aikaselektiivisen oikosulkusuojausajan selektiivisyyskäyrästä. Oikosulkuvirtojen suurimpien arvojen vaihtelu suojien sijaintipaikoilla on merkitty toimintakäyriin O- ja ▽-symboleilla.



KUVA 7.6d. Esimerkkiverkon oikosulkusuojauksen asettelukaavio. I_{2n} = virtamuuntajan toisiosion nimellisvirta. Suojausta täydennetään tarvittaessa erillisellä ylikuormitus-suojauksella.

Esimerkkiverkon suojausta voidaan entisestään nopeuttaa soveltamalla lukitussuojausta, joka ulottuu läpi koko verkon. Näin täydennetyt suojausten selektiivisyyskäyrästä ja asettelukaavio nähdään kuvissa 7.6e ja 7.6f.



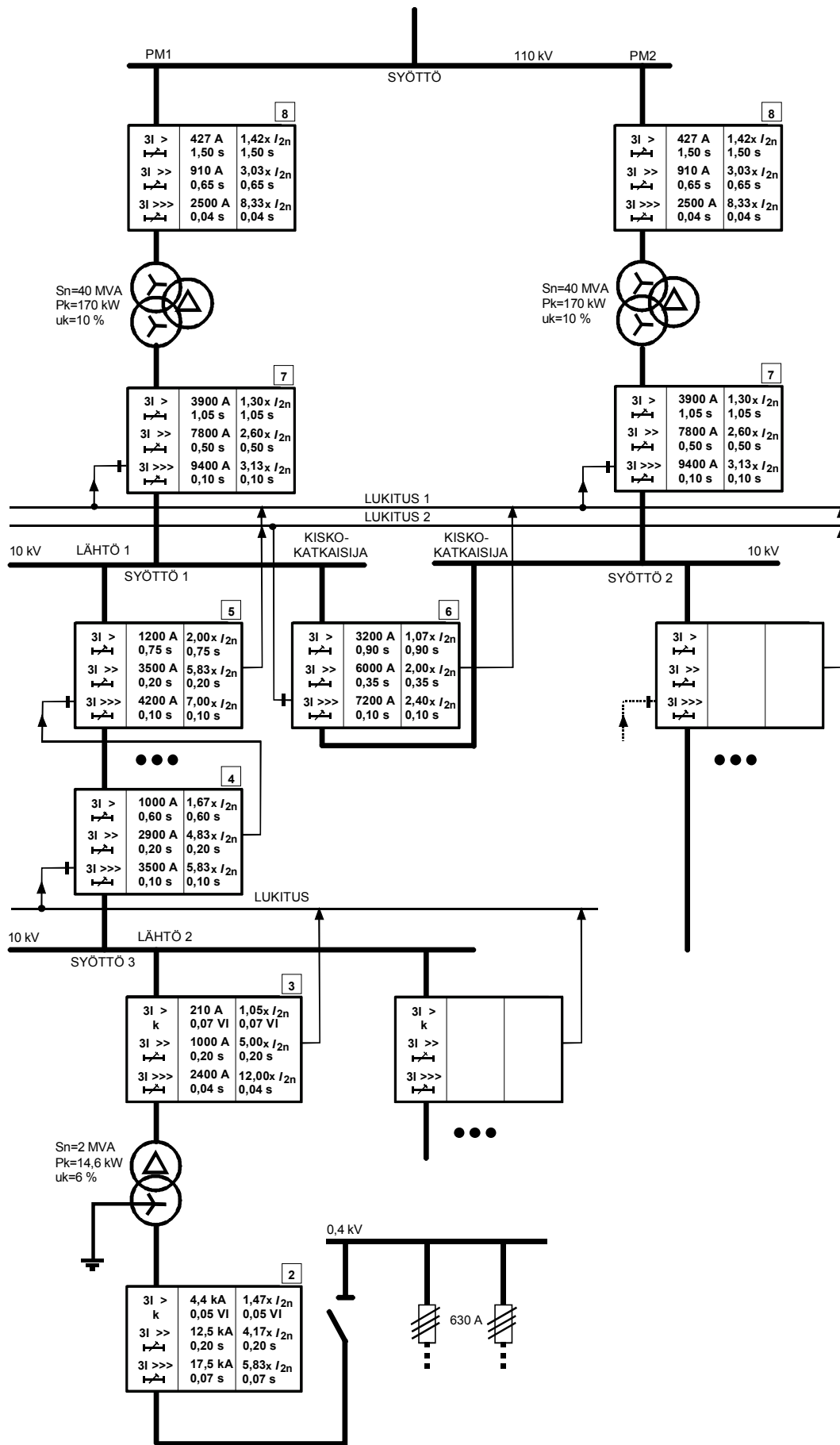
virta-arvo	selite
⑥	I_{Njm} 2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan nimellisvirta
⑦	$2x I_{Njm}$ 2 x (2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan nimellisvirta)
⑧	$2x I_{Nk}$ 2 x (alakojeiston syöttökaapelin nimellisvirta)
⑨	I_{Npm} 40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan nimellisvirta
⑩	$1,8x I_{Npm}$ 1,8 x (40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan nimellisvirta)

virta-arvo	selite
①	\hat{I}_{Sjm} 2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan kytkentävirtasysäyksen hulppuarvo
②	\hat{I}_{Spm} 40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan kytkentävirtasysäyksen hulppuarvo
③	I_{Tpm} 40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan terminen rajakäyrä (IEC 76-5)
④	I_{Tjm} 2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan terminen rajakäyrä (IEC 76-5)
⑤	I_{Tk} alakojeiston syöttökaapelin terminen kestoisuus

suoja	selite
1	630 A varokkeen toimintakäyrä
2	0,4 kV kojeiston ja kiskosillan suojan toimintakäyrä
3	2 MVA, 10/0,4 kV jakelumuuntajan suojan toimintakäyrä
4	alakojeiston suojan toimintakäyrä
5	alakojeiston syöttökaapelin suojan toimintakäyrä

suoja	selite
6	pääkojeiston suojan toimintakäyrä (kiskokatkaisija)
7	pääkojeiston suojan toimintakäyrä
8	40 MVA, 110/10 kV päämuuntajan suojan toimintakäyrä

KUVA 7.6e. Esimerkkiverkon lukitussuojauksella täydennetyt ylivirtasuojauksen selektiivisyyskäyrästä. Oikosulkuvirtojen suurimpien arvojen vaihtelu suojien sijaintipaikoilla on merkitty toimintakäyriin O- ja ∇-symboleilla.



KUVA 7.6f. Esimerkkiverkon ylivirtasuojauksen asettelu- ja lukituskaavio. I_{2n} = virtamuuntajan toison nimellisvirta. Suojausta täydennetään tarvittaessa erillisellä ylikuormitussuojauksella.