

**Sähkötekniset laskentaohjelmat.**

**Generaattori vikavirrat (1-0-9) ohjelman esittely**

Generaattori\_vikavirrat-ohjelma on Microsoft®Excel ohjelmalla tehty laskentasovellus. Ohjelmat toimitetaan ®Microsoft Office Excel 2007 XML-pohjaisessa, makroja sisältävässä tiedostoformaattissa (. XLSM). Jos sinulla on käytössä vanhempi versio Excel ohjelmasta, ilmoita siitä tilauksen yhteydessä.

Generaattori\_vikavirrat-ohjelmalla lasketaan verkon oikosulkuvirtoja.

Valittavissa on neljä vaihtoehtoa:

1. Muuntaja T1 ja generaattori syöttää pääkeskusta
2. Muuntaja T1 ja muuntaja T2 syöttää pääkeskusta
3. Vain muuntaja T1 syöttää pääkeskusta
4. Vain generaattori syöttää pääkeskusta

Laskennan tuloksia käytetään virtapiirien komponenttien (kiskosillat, katkaisijat, keskuskeskukset jne.) mitoitusarvojen määrittelyyn. Laskennasta saatavia virta-arvoja voidaan myös käyttää suojareleiden asetteluarvojen määrittämiseen. Vikavirrat (oikosulkuvirrat) lasketaan käyttäen IEC 60909 menetelmiä.

Laskennan tuloksina näytetään:

- keskuksen maksimi-, minimi- ja nollaimpedanssi ja niiden kulmat.
- $I''_{k3max}$ , kolmivaiheinen maksimi alkuoikosulkuvirta moottorikuormalla ja ilman moottorikuormaa.
- $i_p$ , sysäysoikosulkuvirta moottorikuormalla ja ilman moottorikuormaa. Sysäysoikosulkuvirtakerroin rajoitetaan 1,8 kun on kysymys pienjänniteverkoista.
- $I_b$ , 20 ms kolmivaiheinen katkaisuvirta. Tulos on vähän varmalla puolella jos katkaisijan katkaisuaika on suurempi kuin 20 ms. Pienjänniteverkoissa voi aina käyttää  $I_b = I''_{k3max}$  (tulos varmalla puolella).
- $I_{th}$ , 1s terminen ekvivalentti oikosulkuvirta. Virran voi muuntaa toiselle ajalle.
- $I''_{k3min}$ , minimi kolmivaiheinen oikosulkuvirta.
- $I''_{k2min}$ , minimi kaksivaiheinen oikosulkuvirta.
- $I_{k1}$ , minimi yksivaiheinen oikosulkuvirta (yksivaiheinen maasulku) TN-verkossa.
- $I_k(L2)$ ,  $I_k(L3)$  ja maasulkuvirta  $3xI_o$ , kaksivaiheisen maasulun (vaiheet L2, L3 ja maa) vikavirrat.

Keskustasoja on kolme. Tulossivulla on käytettävissä kolme eri kielivaihtoehtoa: Suomi, Ruotsi ja Englanti. Lisäksi voidaan lisätä vapaaehtoinen kieli. Käännös työ tulee tehdä.

Seuraavilla sivuilla on kuva käyttöliittymästä ja otteita käyttöoppaasta.

Käyttöliittymä sivu 1

**Välijännitekeskus**

Nimellisjännite 10,5 kV  
 Maksimi oikosulkuteho 400 MVA  
 Minimi oikosulkuteho 200 MVA  
 R / X -suhde 0,1

**Välijännitekaapeli**

3-johd. kaap. 12/20 kv  
 Al 240  
 Johdinmater./ poikkipinta 240  
 Pituus / Rinn.kaap. lkm 200 m kpl 1  
 Vaiheresistanssi 0,125 Ω/km  
 Vaiheinduktanssi 0,355 mH/km  
 Laskenn. käyt. R lämpöt. 160 °C  
 Lämpötila jossa R ilmoit. 20 °C

**Muuntaja T1**

Dyn11 TN  
 Teho 2000 kVA  
 Ensio- / toisiojännite 10,5 / 0,42 kV  
 Oikosulkuimpedanssi 6 %  
 Nollaimpedanssi 6,4 %  
 Kuormitushäviöt 16 kW

**Kiskosto tai kaapeli**

Kisko Al 3150 A  
 Pituus / johdinmateriaali m  
 Laskenn. käyt. R lämpöt. 160,0 °C  
 Lämpötila jossa R ilmoit. 20,0 °C  
 Vaiheresistanssi 0,0168 Ω/km  
 Vaihereaktanssi 0,1100 Ω/km  
 Nollaresistanssi 0,1178 Ω/km  
 Nollareaktanssi 0,4398 Ω/km

**Pääkeskus**

Suoraan maadoit. järjestelmä TN  
 Moottorikuorma 0,000 kW  
 Moottorijännite 400 V  
 Hyötysuhde 0,9  
 cosφ 0,8  
 Käyn.virta / nimellisvirta 5

**Syöttökaapeli 1**

MC(C)MK 2//240  
 Pituus / johdinmateriaali m  
 Laskenn. käyt. R lämpöt. 160,0 °C  
 Lämpötila jossa R ilmoit. 20,0 °C  
 Vaiheresistanssi 0,040 Ω/km  
 Vaihereaktanssi 0,037 Ω/km  
 Nollaresistanssi 0,270 Ω/km  
 Nollareaktanssi 0,037 Ω/km

**Alakeskus 1**

Suoraan maadoit. järjestelmä TN  
 Moottorikuorma 0,000 kW  
 Hyötysuhde 0,9  
 cosφ 0,8  
 Käyn.virta / nimellisvirta 5

**Syöttökaapeli 2**

AMC(C)MK 1//240  
 Pituus / johdinmateriaali m  
 Laskenn. käyt. R lämpöt. 160,0 °C  
 Lämpötila jossa R ilmoit. 20,0 °C  
 Vaiheresistanssi 0,130 Ω/km  
 Vaihereaktanssi 0,073 Ω/km  
 Nollaresistanssi 0,889 Ω/km  
 Nollareaktanssi 0,073 Ω/km

**Alakeskus 2**

Suoraan maadoit. järjestelmä TN  
 Moottorikuorma 0,000 kW  
 Hyötysuhde 0,9  
 cosφ 0,8  
 Käyn.virta / nimellisvirta 5

**LASKENNAN TULOKSIA**

Oletusarvot

I<sup>''</sup><sub>k3max</sub> 22,0 kA  
 I<sup>''</sup><sub>k3min</sub> 11,0 kA  
 0,88 mΩ 84,3°  
 0,49 mΩ 84,3°

Vikavirrat, oikosulku muuntaja piste B  
 I<sup>''</sup><sub>k3max</sub> 1732 A  
 Vikavirrat, oikosulku kiskosilta A  
 I<sup>''</sup><sub>k3max</sub> 1732 A L1 L2 L3 I<sup>''</sup><sub>k3min</sub> 1032 A  
 I<sup>''</sup><sub>k2min</sub> 516 516 1032 A  
 Kaksoismaasulku min 604 608 635 A  
 Maasulku L1 min 615 0 615 A

Reaktanssin tai impedanssin muuntaminen  
 mH/km = 0,0000 Ω/km = 0,003 0,0095 mH/km

**Resistanssien lämpötila**  
 Maksimi virtojen laskenta 20 °C

**Jännitekerroin c**  
 c maksimi 1,1 c minimi 0,7

Pienjännitepuolen nimellisjännite 400 V

Muuntajaliitännän mitoitusarvot  
 I<sub>n</sub> = 2749 A I<sub>dyn</sub> = 102,2 I<sub>th(1s)</sub> = 43,8 kA  
 I<sup>''</sup><sub>k3max</sub> 43,3 kA

Katkaisijoiden mitoitusarvot  
 I<sub>n</sub> = U<sub>e</sub> = 400 V  
 I<sub>cu</sub> = I<sub>b</sub> I<sub>cs</sub> = I<sub>b</sub> I<sub>cw</sub> = I<sub>th</sub>  
 I<sub>cm</sub> = I<sub>p</sub> I<sub>cu1s</sub> = 8,9 kA  
 I<sub>su</sub> = I<sub>b</sub> / √3 Uusi aika s 0,6 11,5 kA

Keskusien mitoitusarvot  
 I<sub>n</sub> = I<sub>th(1s)</sub> = I<sub>th</sub> I<sub>dyn</sub> = I<sub>p</sub>

Ilman moottoreita Moottorikuormalla Minimi vikavirrat  
 I<sup>''</sup><sub>k3max</sub> 61,5 kA I<sup>''</sup><sub>k3max</sub> 61,5 kA I<sup>''</sup><sub>k3min</sub> 37,4 kA  
 I<sub>p</sub> 144,4 kA I<sub>p</sub> 144,4 kA I<sup>''</sup><sub>k2min</sub> 30,2 kA  
 I<sub>b</sub> 58,9 kA<sub>0,02s</sub> I<sub>b</sub> 58,9 kA<sub>0,02s</sub> I<sub>k1</sub> 38,9 kA  
 I<sub>th</sub> 57,1 kA<sub>1s</sub> I<sub>th</sub> 57,1 kA<sub>1s</sub> I<sub>k(L2)</sub> I<sub>k(L3)</sub> 3xI<sub>0(0)</sub>  
 Kaksoismaasulku min I<sub>k</sub> 39,8 38,2 47,0

Kaapelin kuormitettavuus ilmassa x k  
 I<sub>z</sub> = 565 A PVC k = 0,62 SFS 6000  
 Standardin valinta, kaapelit 1-2  
 SFS 6000

Ilman moottoreita Moottorikuormalla Minimi vikavirrat  
 I<sub>k3maks</sub> 0,0 kA I<sub>k3maks</sub> 0,0 kA I<sup>''</sup><sub>k3min</sub> 0,0 kA  
 I<sub>p</sub> 0,0 kA I<sub>p</sub> 0,0 kA I<sup>''</sup><sub>k2min</sub> 0,0 kA  
 I<sub>b</sub> 0,0 kA<sub>0,02s</sub> I<sub>b</sub> 0,0 kA<sub>0,02s</sub> I<sub>k1</sub> kA  
 I<sub>th</sub> 0,0 kA<sub>1s</sub> I<sub>th</sub> 0,0 kA<sub>1s</sub> I<sub>k(L2)</sub> I<sub>k(L3)</sub> 3xI<sub>0(0)</sub>  
 Kaksoismaasulku min I<sub>k</sub> kA

Kaapelin kuormitettavuus ilmassa x k  
 I<sub>z</sub> = 217 A PVC k = 0,62 SFS 6000

Ilman moottoreita Moottorikuormalla Minimi vikavirrat  
 I<sub>k3maks</sub> 0,0 kA I<sub>k3maks</sub> 0,0 kA I<sup>''</sup><sub>k3min</sub> 0,0 kA  
 I<sub>p</sub> 0,0 kA I<sub>p</sub> 0,0 kA I<sup>''</sup><sub>k2min</sub> 0,0 kA  
 I<sub>b</sub> 0,0 kA<sub>0,02s</sub> I<sub>b</sub> 0,0 kA<sub>0,02s</sub> I<sub>k1</sub> kA  
 I<sub>th</sub> 0,0 kA<sub>1s</sub> I<sub>th</sub> 0,0 kA<sub>1s</sub> I<sub>k(L2)</sub> I<sub>k(L3)</sub> 3xI<sub>0(0)</sub>  
 Kaksoismaasulku min I<sub>k</sub> kA

Käyttöliittymä sivu 2

**Generaattori**

Teho SnG  kVA

Jännite UnG V

cosφ

Reaktanssi x'd

Resistanssi RG

Reaktanssi X2 vasta

Reaktanssi Xo nolla

Jatkuva oikosulkuvirta Ik

**LASKENNAN TULOKSIA**

Reaktanssi ja resistanssi arvojen muuntaminen  
0,0030 Ω = 2,25 %

Generaattorin virrat

Nimellisvirta In

Alkukoiskovirta I'k

Sysäysoiskovirta ip

Jatkuva oikosulkuvirta Ik

ZG = 13,99 mΩ 81,5°  
Z2 = 23,62 mΩ 84,8°  
Zo = 7,25 mΩ 72,7°

---

**Kiskosto tai kaapeli**

Pituus / johdinmateriaali  m

Laskenn. käyt. R lämpöt.

Lämpötila jossa R ilmoit.

Vaiheresistanssi

Vaihereaktanssi

Nollaresistanssi

Nollareaktanssi

0 mΩ 0°  
0 mΩ 0°  
0 mΩ 0°

**Liitännän mitoitusarvot**

In = 1732 A Idyn = 102 kA lth(1s) = 37 kA

---

**Kiskosto tai kaapeli**

Pituus / johdinmateriaali  m

Laskenn. käyt. R lämpöt.

Lämpötila jossa R ilmoit.

Vaiheresistanssi

Vaihereaktanssi

Nollaresistanssi

Nollareaktanssi

0 mΩ 0°  
0 mΩ 0°  
0 mΩ 0°

**Liitännän mitoitusarvot**

In = 1732 A Idyn = 102 kA lth(1s) = 43,8 kA

**Generaattorinkatkaisijan mitoitusarvot**

In A	Ue V	Ics	Icm	Icw
1732	400	102 kA	43 kA	37 kA

**Vikavirrat, oikosulku kiskosilta A, generaattori syöttää.**

I'k3max	18,2 kA	I'k3min	11,6 kA	
ip	42,2 kA	I'k2min	7,4 kA	
I b	15,6 kA 0,02s	I k1 min	10,8 kA	
I th	11,5 kA 1s	I k(L2)	I k(L3)	3xIo(0)
Kaksoismaasulku min Ik kA				
	13,5	12,5	19,1	

---

**Välijännitekeskus**

Nimellisjännite

Maksimi oikosulkuteho

Minimi oikosulkuteho

R / X -suhde

0,88 mΩ 84,3°  
0,49 mΩ 84,3°

**Vikavirrat, oikosulku muuntaja piste B**

I'k3max	22,0 kA
I'k3min	11,0 kA
I'k3max	1535 A

**Vikavirrat, oikosulku kiskosilta A**

I'k3max	L1	L2	L3	I'k3min
0 A	0	0	0	0 A
I'k2min	0	0	0	0 A

Kaksoismaasulku min    A

Maasulku L1 min    A

---

**Välijännitekaapeli 2**

Johdinmater./poikkipinta

Pituus / Rinn.kaap. lkm  m kpl

Vaiheresistanssi

Vaiheinduktanssi

Laskenn. käyt. R lämpöt.

Lämpötila jossa R ilmoit.

0 mΩ 0°  
0 mΩ 0°

**Muuntaja T2**

Teho  kVA

Ensiö- / toisiojännite

Oikosulkuimpedanssi

Nollaimpedanssi

Kuormitushäviöt

---

**Kiskosto tai kaapeli**

Pituus / johdinmateriaali  m

Laskenn. käyt. R lämpöt.

Lämpötila jossa R ilmoit.

Vaiheresistanssi

Vaihereaktanssi

Nollaresistanssi

Nollareaktanssi

0 mΩ 0°  
0 mΩ 0°  
0 mΩ 0°

**Muuntajaliitännän mitoitusarvot**

In = 2199 A Idyn = 88,5 lth(1s) = 38,8 kA

I'k3max 38,4 kA

**Vikavirrat, oikosulku kiskosilta A**

I'k3max	0,0 kA	I'k3min	0,0 kA	
ip	0,0 kA	I'k2min	0,0 kA	
I b	0,0 ka 0,02 s	I k1 min	23,8 kA	
I th	0,0 kA 1 s	I k(L2)	I k(L3)	3xIo(0)
Kaksoismaasulku min Ik kA				
	23,4	23,4	24,6	

**Otteita käyttöoppaasta:****4. LASKENNAN SÄHKÖTEKNISIÄ PERUSTEITA****4.1 Johdanto**

IEC60909 standardissa on annettu valinnaisia menetelmiä suorittaa laskentaa. Seuraavassa selvitetään ohjelman rajoituksia ja valittuja laskentamenetelmiä. Standardeista IEC 60909-1, -2, -3 ja -4 löytyy tarkempia ohjeita ja esimerkkejä eri laskentamenetelmistä.

Sähkölaitteiden tulee kestää oikosukuvirtojen aiheuttamat termiset ja mekaaniset (dynaamiset) vaikutukset. Jotta mitoitusarvot ja verkon suojalaitteiden asetusarvot voidaan määrittää, tulee verkon eri osien oikosulkuvirrat laskea. Ohjelma laskee minimi- ja maksimioikosulkuvirrat pääsääntöisesti IEC 60909 sääntöihin ja kaavoihin perustuen. Maksimivirtoja voidaan käyttää sähkölaitteiden mitoittamiseen ja minimivirtoja suojien valitsemiseen ja asettelemiseen.

Laskentaan liittyy muutamia ehtoja:

- Oikosulun aikana oletetaan että verkossa ei tapahdu muutoksia.
- Muuntajien väliottokytkimet oletetaan olevan keskiasennossa. Tämä on mahdollista kun käytetään muuntajan impedanssin korjauskerrointa  $K_T$ .
- Valokaariresistanssia ei huomioida. Kun lasketaan minimioikosulkuvirtoja, voidaan valokaari huomioida pienentämällä jännitekerrointa  $c$ .
- Verkon kapasitansseja ja staattisia (ei pyörivät) kuormia ei huomioida. Poikkeuksen tekevät nollaimpedanssit kun lasketaan symmetrisillä komponenteilla.

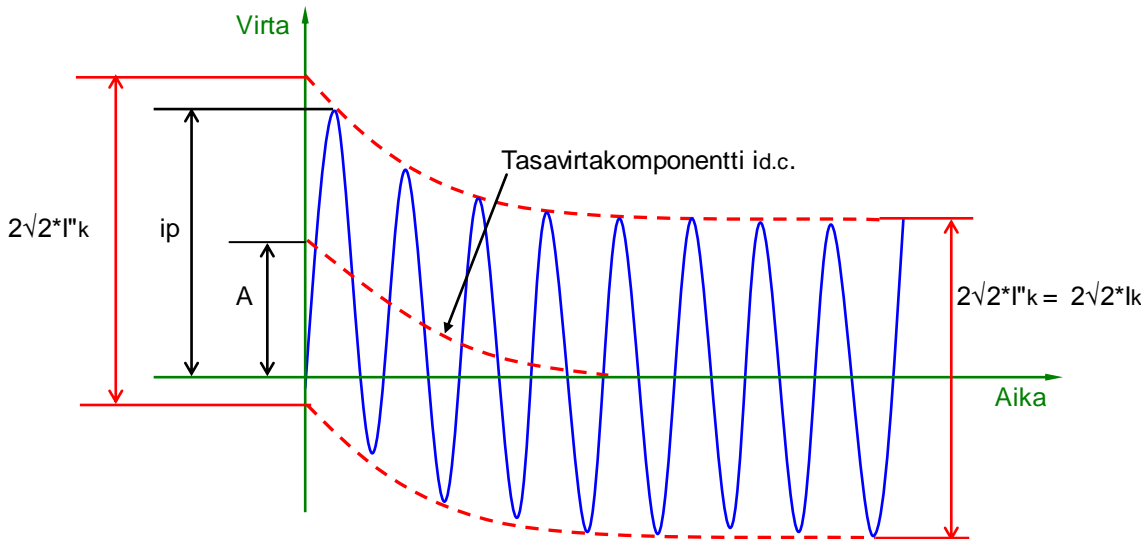
Laskennan lopputulos ei näin ollen voi täsmällisesti korreloida todellisuuden kanssa. Tulokset ovat kuitenkin riittävän tarkkoja sähkölaitteiden mitoittamiseen ja suojien valitsemiseen sekä niiden asetteluarvojen määrittämiseen.

IEC 60909 standardissa esitetään erilaisia laskentamenetelmiä riippuen verkon rakenteesta ja ollaanko ”lähellä” vai ”kaukana” generaattorista tai moottoreista. Oikosulkutilanteessa myös pyörivät moottorit syöttävät oikosulkuvirtaa vikakohtaan.

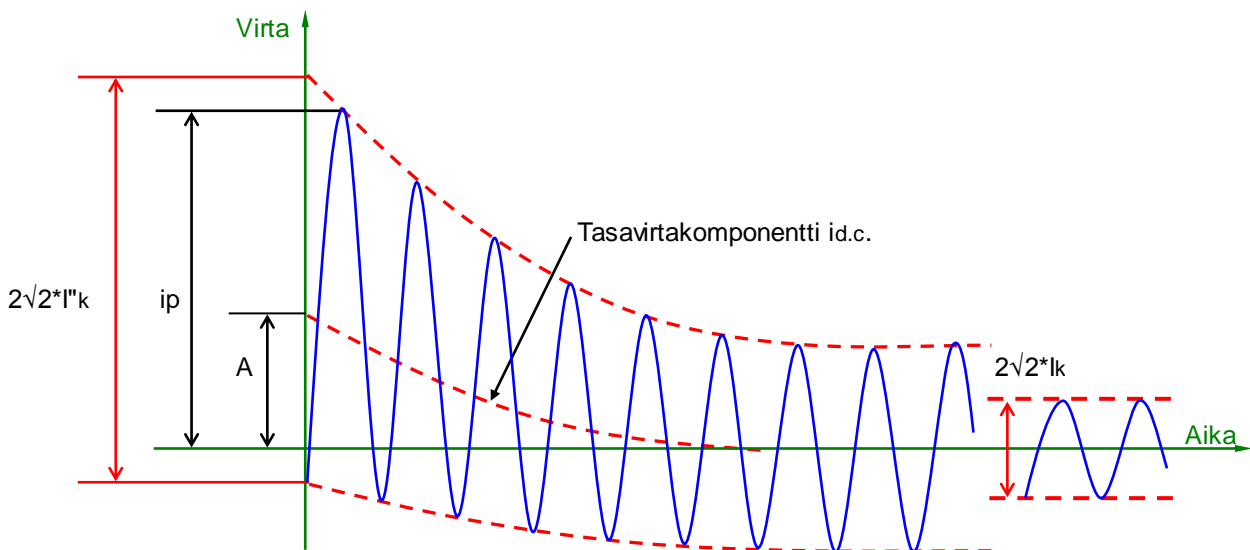
Määrätyissä tapauksissa myös vaihtosuuntaavat staattiset muuttajat voivat syöttää oikosulkuvirtaa vikakohtaan. [Ohjelmalla ei voi huomioida näitä vikavirtoja.](#)

[Ohjelmalla ei myöskään voi laskea verkkoja joissa kuomana on synkronimoottoreita. \(generaattori valinnassa 1 ja 4 on poikkeus\).](#)

Oikosulkuvirta muodostuu vaihtovirta- ja tasavirtakomponentista. Vaihtovirtakomponentti pienenee alkuarvosta  $I''_k$  muutosarvoon kautta pysyvään arvoon  $I_k$ . Vaimenevan tasavirtakomponentin suuruus on riippuvainen verkon R/X suhteesta.



Kuva esittää oikosulkuvirtaa kun ollaan ”kaukana generaattorista”.



Kuva esittää oikosulkuvirtaa kun ollaan ”lähellä generaattoria”.

$I''_k$  on alkuoikosulkuvirta (prospektiivinen oikosulkuvirta)

$i_p$  on sysäyoikosulkuvirta (oikosulkuvirran huippuarvo)

id.c. on oikosulkuvirran tasavirtakomponentti

$A$  on tasavirtakomponentin alkuarvo

$I_k$  on oikosulkuvirran pysyvä arvo

Kun ollaan ”kaukana generaattorista”, on alkuoikosulkuvirta  $I''_k$  samansuuruinen kuin oikosulkuvirran pysyvä arvo  $I_k$ . Vastaavasti ”lähellä generaattoria” on oikosulun loppuarvo  $I_k$  aina pienempi kuin alkuoikosulkuvirta  $I''_k$ .

Moottorit huomioidaan (huomaa tehoraja, katso 4.6.4) kaavalla:

$$\underline{\Delta U}_{Gi}'' = jX_{diK}'' \underline{I}_{kGi}''$$

Kertoimilla  $\mu$  ja  $q$  huomioidaan oikosulkuvirran pieneneminen alkuhetkestä laukaisuhetkeen. Kuviin kohdassa 4.2 tulee moottorikuormalla sattuvassa oikosulussa lisävirta jonka moottorit syöttävät verkkoon muutaman jakson ajan. Moottorien kehittämä oikosulkuvirta vaikuttaa alkuoikosulkuvirtaan  $I''_k$ , sysäysoikosulkuvirtaan  $i_p$  ja katkaisuvirtaan  $I_b$ .

$$I_{bm} = \mu \cdot q \cdot I_{km}'' \quad \mu = 0,84 + 0,26e^{-0,26I''_{kM} / I_{rM}}$$

jossa  $P_{rM}$  on moottoriryhmän nimellistehojen summa MW ja  $p$  moottorien napapariiluku. [Ohjelma käyttää IEC:n suosituksen mukaista vakiosuhdetta  \$P\_{rM} / p = 0,05\$ .](#)

Kun  $I_{kM} / I_{rM}$  ei ole suurempi kuin 2, käytetään  $\mu = 1$ .

Jos kertoimen  $q$  kaava antaa tuloksen joka on suurempi kuin 1, käytetään  $q = 1$ .

Silmukoidussa verkossa  $I_b$  tulee laskea  $I_b = I''_k$ . Näin laskien on  $I_b$  aina varmallalla puolella.

Jos tarvitaan lisää tarkkuutta, voidaan  $I_b$  korjata seuraavilla kaavoilla:

$$\underline{\Delta U}_{Mj}'' = jX_{Mj}'' \underline{I}_{kMj}''$$

$$q = 1,03 + 0,12 \ln(P_{rM} / p) \quad I_b = I''_k - \sum_i \frac{\underline{\Delta U}_{Gi}''}{cU_i / \sqrt{3}} (1 - \mu_i) I''_{kGi} - \sum_j \frac{\underline{\Delta U}_{Gj}''}{cU_j / \sqrt{3}} (1 - \mu_j q_j) I''_{kGj}$$

jossa:

$\mu_i$  ja  $\mu_j$  kertoimet,  $i$  synkronikoneet (tahtikoneet) ja  $j$  on asynkronikoneet (oikosulkumoottorit).

$q_i$  asynkronikoneiden kerroin

$cU_n / \sqrt{3}$  vikapisteen ekvivalenttijännite

$I''_k$  ja  $I_b$  alkuoikosulkuvirta ja katkaisuvirta, huomioiden kaikki virtaan vaikuttavat tekijät (verkko, moottorit ja generaattorit)

$\underline{\Delta U}_{Gi}$  ja  $\underline{\Delta U}_{Gj}$  jännitteen alenema synkronikoneiden ja asynkronikoneiden navoissa

$X''_{diK}$  on kertoimella  $K$  korjattu pitkittäinen alkureaktanssi (Direction axis subtransient reactance)

$X_{Mj}$  asynkronimoottorien reaktanssi

$I''_{kGi}$  ja  $I''_{kGj}$  on synkronikoneiden ja asynkronikoneiden oikosulkuvirta navoista mitattuina

Kaukana moottoreista on  $\mu_j = 1$ , jolloin  $1 - \mu_j = 0$ , riippumatta arvosta  $q_j$ .

Ohjelmassa käytetään  $X''_{Mj} = X_{Mj}$  ja yllä olevia korjauskaavoja käytetään vain keskukseen liitetyille moottoreille ja generaattorin osalta vain pääkeskuksissa.

Alla selvitetään miten ohjelma laskee tulossivulla ilmoitetun katkaisuvirran  $I_b$ . Tulokset ovat aina varmallalla puolella. Huomaa että mitoituksissa voi aina käyttää  $I_b = I''_{k3M\max}$

**Valinta 1 pääkeskus ilman moottorikuormaa** lasketaan:  $I_{bM\text{et}} = I''_{k3M\text{et}}$  korjattuna generaattorin osuudella yllä olevien kaavojen mukaisesti.