



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KISA DEVRE ANALİZİNİN ULUSLARARASI
STANDARTLAR VE SİMULASYON İLE ÇÖZÜMLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Serdar ÖZBAY

03549013

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

Temmuz 2007
İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖNSÖZ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. KISA DEVRE VE ÖNEMİ.....	1
1.1 Kısa Devre Akımı Hesaplamasının Gerekliliği.....	1
2. TS EN 60909 ÜÇ FAZLI SİSTEMLERDE KISA DEVRE AKIMI HESABI.....	2
2.1 Kapsam.....	2
2.2 Amaç.....	2
2.3 Tanımlar.....	3
2.3.1 Kısadevre.....	3
2.3.2 Kısadevre akımı.....	4
2.3.3 Beklenen(Olası) kısadevre akımı.....	4
2.3.4 Simetrik kısadevre akımı.....	4
2.3.5 Başlangıç simetrik kısa devre akımı I''_k	4
2.3.6 Başlangıç simetrik kısadevre (Görünür) gücü S''_k	4
2.3.7 Kısadevre akımının DA (Aperiodyik) bileşeni i_{DC}	5
2.3.8 Darbe kısadevre akımı i_p	5
2.3.9 Simetrik kısadevre akımı I_b	5
2.3.10 Sürekli kısadevre akımı I_k	5
2.3.11 Alternatif kilitli-rotor akımı I_{LR}	5
2.3.12 Eşdeğer elektrik devresi.....	6
2.3.13 (Bağımsız) Gerilim kaynağı.....	6
2.3.14 Anma şebeke gerilimi U_n	6
2.3.15 Eşdeğer gerilim kaynağı $cU_n / \sqrt{3}$	6
2.3.16 Gerilim katsayısı c	6
2.3.17 Senkron makinenin başlangıç gerilimi E''	6
2.3.18 Generatörden uzak kısadevre.....	7
2.3.19 Generatöre yakın kısadevre.....	7
2.3.20 F kısadevre yerinde kısadevre empedansı.....	8
2.3.20.1 Üç fazlı AA şebekesinin + dizin kısadevre empedansı $Z_{(1)}$	8
2.3.20.2 Üç fazlı AA şebekesinin - dizin kısadevre empedansı $Z_{(2)}$	8
2.3.20.3 Üç fazlı AA şebekesinin sıfır dizin kısadevre empedansı $Z_{(0)}$	8
2.3.20.4 Üç fazlı AA şebekesinin kısadevre empedansı $Z_{(k)}$	9
2.3.21 Elektrik aygıtının kısa devre empedansları.....	9
2.3.21.1 Elektrik aygıtının + dizin empedansı $Z_{(1)}$	9
2.3.21.2 Elektrik aygıtının - dizin kısadevre empedansı $Z_{(2)}$	9
2.3.21.3 Elektrik aygıtının sıfır dizin kısadevre empedansı $Z_{(0)}$	9
2.3.22 Senkron makinenin başlangıç reaktansı X''_d	9
2.3.23 Devre kesicinin en küçük zaman gecikmesi t_{min}	10
2.4 Hesap Yöntemleri.....	10
2.5 Kısadevre yerindeki eşdeğer gerilim kaynağı.....	12

3.	SÖNEN AA BİLEŞENİ BULUNMAYAN KISADEVRE AKIMLARI.....	15
3.1	Genel	15
3.2	Kısadevre parametreleri	16
3.2.1	Dengeli kısadevre	16
3.2.2	Dengesiz kısadevre.....	17
3.2.3	Kısadevre empedansları	18
3.2.4	F kısadevre yerinde kısadevre empedansı	18
3.2.5	Elektrik aygıtlarının kısadevre empedansları	20
3.2.6	Şebeke fiderleri.....	21
3.2.7	Transformatörler.....	23
3.2.8	Hava hatları ve kablolar	26
3.2.9	Kısadevre akımını sınırlayan reaktans bobinleri	27
3.2.10	Motorlar.....	27
3.2.11	Empedansların, akımların ve gerilimlerin indirgenmesi	28
3.3	Kısadevre akımlarının hesabı	29
3.3.1	Dengeli kısadevreler için hesap yöntemi.....	29
3.3.1.1	Düz (Bir taraftan) beslenen üç faz kısadevre	29
3.3.1.2	Ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslenen üç faz kısadevre.....	32
3.3.1.3	Ağ şebekelerde üç faz kısadevreler	34
3.4	İki faz ve faz-toprak kısadevre akımlarının hesaplama yöntemi.....	37
3.4.1	İki faz kısadevre	38
3.4.1.1	Başlangıç simetrik kısadevre akımı I''_{k2}	39
3.4.1.2	Darbe kısadevre akımı i_{p2}	39
3.4.1.3	İki faz-toprak kısadevre.....	40
3.5	En küçük kısadevre akımı	41
3.5.1	Genel	41
3.5.2	Başlangıç simetrik kısadevre akım I''_{k1}	42
4.	SÖNEN AA BİLEŞENİ BULUNAN KISADEVRE AKIMLARI.....	43
4.1	Genel	43
4.2	Kısadevre parametreleri	43
4.2.1	Genel	43
4.2.2	Dengesiz kısadevre.....	46
4.2.2.1	Kısadevre yerindeki eşdeğer gerilim kaynağı	46
4.2.2.2	Kısadevre empedansları	46
4.2.3	Empedansların, akımların ve gerilimlerin indirgenmesi	54
4.3	Kısadevre akımlarının hesabı	54
4.3.1	Genel	54
4.3.2	Dengeli kısadevreler için hesap yöntemi.....	54
4.3.2.1	Bir generatörden beslenen kısadevre.....	54
4.3.2.2	Bir güç santralinden beslenen kısadevre	59
4.3.3	Ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslenen üç faz kısadevre.....	61
4.3.3.1	Genel	61
4.3.3.2	Ağ şebekelerde üç faz kısa devre akımı	66
4.3.3.3	İki faz ve faz-toprak kısadevre akımları için hesap yöntemi.....	69
4.4	En küçük kısadevre akımlar	69
4.4.1	Genel	69
4.4.2	Başlangıç simetrik kısadevre akımı I''_k	69
4.4.2.1	Bir generatörden beslenen kısadevre.....	69
4.4.2.2	Ağ şebekelerde kısadevre	70
4.4.2.3	Kompunt uyarmalı generatörlerden beslenen sürekli kısadevre akımı I_k	70

4.4.2.4	Dengesiz kısadevlerde başlangıç kısadevre akımları	70
4.4.2.5	Motorların katkısı	71
4.4.2.6	Empedans üzerinden kısadevre	75
4.4.2.7	Statik konverterden beslenen tahrikler	76
4.4.2.8	Döner olmayan yüklerin ve kondansatörlerin göz önüne alınması	76
4.4.2.9	Paralel kondansatör	76
4.4.2.10	Seri kondansatörler	76
5.	TS EN 60909 KISADEVRE HESABININ TEORİK UYGULAMASI	77
5.1	2.1- + dizin empedansların hesabı:	77
5.1.1	Şebeke fideri	77
5.1.2	Transformatörler:	77
5.1.3	Generatör:	79
5.1.4	Asenkron motorlar	79
5.1.5	Hatlar (Kablolar ve hava hatları):	81
5.2	Sıfır dizin empedansların hesabı:	85
5.2.1	Transformatörler:	85
5.2.2	Hatlar (Kablolar ve hava hatları):	86
5.3	F1 ve F2 kısadevre yerlerindeki faz-toprak kısadevre akımları için:	99
6.	ANSI/IEEE C37.010.1999 VE KISADEVRE HESABI	103
6.1	İlk Çevrim Çalışması	104
6.2	Kontak Ayırma Çalışması	104
6.3	Zaman Gecikmeli Cihazlar İçin Kısa	105
6.4	Kısadever Hesabının Teorik Uygulaması	108
6.4.1	2.1- + dizin empedansların hesabı:	108
6.4.2	Şebeke fideri	108
6.4.3	Transformatörler:	109
6.4.4	Step-up transformatör T:	109
6.4.5	Generatör:	110
6.4.6	Hatlar (Kablolar ve hava hatları):	111
7.	SİMULASYON	119
7.1	Giriş	119
7.2	Sonuçlar	120
8.	GEMİLERDE ÜÇ FAZLI SİSTEMLERİN KISA DEVRE AKIMI	132
8.1	Kapsam	132
8.2	Amaç	132
8.3	Tanımlar	132
8.3.1	Generatörlerin kısa devre akımı	132
8.3.2	Generatörün boyuna eksen alt geçici rejim reaktansı X''_d	132
8.3.3	Yüzde olarak generatörün boyuna eksen alt geçici rejim reaktansı x''_d	132
8.3.4	Alt geçici rejim kısa devre akımı	133
8.3.5	Boştaki alt geçici rejim kısa devre akımı $I''_{boşta}$	133
8.3.6	Beyan yükünde alt geçici rejim kısa devre akımı $I''_{beyan\ yükü}$	133
8.4	Generatörlerin kısa devre akımlarına katkılarının hesaplanması	135
8.5	Motorların kısa devre akımlarına katkılarının hesaplanması	136
8.6	Ana bara yakınındaki arızada kısa devre akımının hesaplanması	138
9.	SONUÇ	146
	KAYNAKLAR	148

SİMGE LİSTESİ

Harf simgeler

A	Aperiodyik bileşenin başlangıç değeri
c	Gerilim katsayısı
$cU_n / \sqrt{3}$	Eşdeğer gerilim kaynağı (Etkin değer)
E''	Senkron makinanın başlangıç gerilimi
f	Frekans (50 veya 60 Hz)
I_b	Simetrik kısadevre kesme akımı (Etkin değer)
I_k	Sürekli kısadevre akımı (Etkin değer)
I_{kp}	Kompunt uyarmalı generatörün uçlarındaki sürekli kısadevre akımı
I_k'' veya I_{k3}''	Başlangıç simetrik kısadevre akımı (Etkin değer)
I_{LR}	Senkron motorun kilitli rotor akımı
i_{DC}	Kısadevre akımının sönen aperiodyik bileşeni
i_p	Darbe kısadevre akımı
K	Empedanslar için düzeltme katsayısı
P_{krT}	Transformatörün anma akımında toplam kayıpları
q	Asenkron motorların kesme akımlarının hesaplanması için katsayı
q_n	Anma kesiti
$R_{\text{resp.}} r$	Direnç, yüzdeye karşılık mutlak değer
R_G	I_k'' ve i_p kısadevre akımlarının hesaplanması için, senkron makinanın düşünsel direnci
S_k''	Başlangıç simetrik kısadevre gücü (Görünür güç)
S_r	Elektrik aygıtının anma görünür gücü
t_f	Düşünsel dönüştürme oranı
$t_{\min}$	En küçük zaman gecikmesi
t_r	Transformatörün anma dönüştürme oranı (Basamak değiştirici normal konumda); $t_r \geq 1$

U_n	Anma şebeke gerilimi, faz-faz (Etkin değer)
U_r	Aygıtlar için anma (Etiket) gerilimi, faz-faz (Etkin değer)
u_{kr}	Yüzde anma kısadevre gerilimi
u_{Rr}	Yüzde anma omik gerilim
$\underline{U}_{(1)}, \underline{U}_{(2)}, \underline{U}_{(0)}$	+, - ve sıfır dizin gerilimi
X resp. x	Reaktans, yüzdeye karşılık mutlak değer
X_d resp. X_q	Senkron reaktans, boyuna bileşene karşılık enine bileşen
X_{dp}	Uyarma göz önüne alındığında, kompunt uyarmalı generatörün uçlarındaki sürekli kısadevrede düşünsel reaktansı
X_d'' resp. X_q''	Senkron makinanın başlangıç reaktansı (Doymuş değer), boyuna bileşene karşılık enine bileşen
$X_{d \text{ sat}}$	Kısadevre oranının karşısı
Z resp. z	Empedans, yüzdeye karşılık mutlak değer
$\underline{Z}_k$	Üç fazlı AA şebekesinin kısadevre empedansı
$\underline{Z}_{(1)}$	+ dizin kısadevre empedansı
$\underline{Z}_{(2)}$	- dizin kısadevre empedansı
$\underline{Z}_{(0)}$	Sıfır dizin kısadevre empedansı
η	Asenkron motorların verimi
κ	Darbe kısadevre akımının hesaplanması için katsayı
λ	Sürekli kısadevre akımının hesaplanması için katsayı
μ	Simetrik kısadevre kesme akımının hesaplanması için katsayı
μ_0	Boşluğun mutlak geçirgenliği, $\mu_0=4\pi/10^{-7}$ H/m
ρ	Özdirenç
φ	Faz açısı

Alt simgeler

(1)	+ dizin bileşeni
(2)	- dizin bileşeni
(0)	Sıfır dizin bileşeni
f	Düşünsel
k veya k3	Üç faz kısadevre
k1	Faz-toprak kısadevre, faz-nötr kısadevre
k2	İki faz kısadevre
k2E resp. kE2E	İki faz-toprak kısadevre, toprak akımına karşılık faz akımı
max	En büyük
min	En küçük
n	Anma değer
r	Anma etiket değeri (Aygıtlar için etiket değeri)
rsl	Bileşke, toplam
t	İndirgenmiş değer
AT	Dağıtım transformatörü
B	Bara
E	Toprak
F	Kısadevre yeri, çapınız
G	Generatör
HV	Yüksek gerilim, transformatörün yüksek gerilim sargısı
LV	Alçak gerilim, transformatörün alçak gerilim sargısı
L	Hat
LR	Kilitli rotor
L1, L2, L3	Üç fazlı şebekenin 1, 2, 3 üncü fazı
M	Asenkron motor veya asenkron motorlar kümesi
M	Motorsuz (Motorun kısadevre akımına katkısı yok)
MV	Orta gerilim, transformatörün orta gerilim sargısı
N	Üç fazlı AA şebekesinin nötrü

P	Bağlantı ucu, kutup
PSU	Güç santralı (Generatör ve yükseltici transformatör birlikte)
Q	Fider bağlantı noktası
T	Transformatör

Üst simgeler

"	Başlangıç (Geçici olayın başladığı) değer
'	Birim uzunluk için direnç veya reaktans

KISALTMA LİSTESİ

ANSI	American National Standards Institute
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
PTI/PTO	Power Take in /Power Take out
UEŞ	Ulusal Elektrik Şebekesi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Generatörden uzak kısıdevrede kısıdevre akımı(Şematik çizim)	7
Şekil 2. 2	Generatörden yakı kısıdevrede kısıdevre akımı(Şematik çizim).....	8
Şekil 2. 3	Kısıdevrelerin ve bunlara ilişkin kısıdevre akımlarının gösterilmesi	12
Şekil 2. 4	I''_k başlangıç simetrik kısıdevre akımının hesaplanması	14
Şekil 2. 5	F kısıdevre yerinde üç fazlı AA şebekesinin kısıdevre empedansı	15
Şekil 3. 1	Şebeke fiderleri için tek hat şeması ve eşdeğer şema	22
Şekil 3. 2	Üç sargılı transformatör (+ dizin)	25
Şekil 3. 3	Seri devrede a) R/X ve b) X/R oranına bağlı olan κ darbe katsayısı.	31
Şekil 3. 4	Birbirinden bağımsız değişik kaynaklar	33
Şekil 3. 5	Ağ şebekede I''_k	36
Şekil 3. 6	En büyük kısıdevre akımını veren kısıdevre türünü gösteren çizge	38
Şekil 4. 1	Generatöre yakın kısıdevrede kısıdevre akımı	44
Şekil 4. 2	Çeşitli kısıdevre besleme bağlantıları.....	46
Şekil 4. 3	Senkron generatörün anma değerinde döner yöney çizgisi	50
Şekil 4. 4	Bir generatörden doğrudan beslenen kısıdevrede I_k	55
Şekil 4. 5	I_b kısıdevre kesme akımının hesabı için μ katsayısı.....	57
Şekil 4. 6	Turbo generatörler için $\lambda_{\max}$ ve $\lambda_{\min}$ katsayıları.....	59
Şekil 4. 7	Çıkık kutuplu makinalar için $\lambda_{\max}$ ve $\lambda_{\min}$ katsayıları	59
Şekil 4. 8	Güç santralinden beslenen I''_k	61
Şekil 4. 9	Ağ oluşturmeyen kaynaklardan beslenen I''_k	62
Şekil 4. 10	Güç santraline ait generatör ile yükseltici transformatör	63
Şekil 4. 11	Ağ oluşturmeyen kaynaklardan besleme.	65
Şekil 4. 12	Çeşitli kaynaklardan beslenen ağ şebekede I''_k	67
Şekil 4. 13	Asenkron motorların katkısının toplam kısıdevre akımına bağlı olarak hesabı. ...	73
Şekil 4. 14	Asenkron motorların simetrik kısıdevre kesme akımının hesabı için q katsayısı. 73	
Şekil 5. 1	Tekhat Şeması	85
Şekil 5. 2	Sıfır dizin.....	85
Şekil 6. 1	X/R oranı bilinmeyen asenkron motorlar için beygir gücüne bağlı X/R	106
Şekil 6. 2	X/R oranı bilinmeyen zorlamalı soğutması olmayan transformatörler.....	107
Şekil 6. 3	X/R oranı bilinmeyen senkron makinalar için güce bağlı X/R oranı eğrisi.....	108
Şekil 7. 1	Simulasyon Devresi	119
Şekil 7. 2	34.5 kV barası	120
Şekil 7. 3	10 kV barası	120
Şekil 7. 4	F1 kısa devre yeri kısa devre akımı	121
Şekil 7. 5	F1 kısa devre yeri 28.-30. saniyeler	121
Şekil 7. 6	F1 kısa devresi motor katkısı	122
Şekil 7. 7	F1 kısa devresi motor katkısı 28.-30. saniyeler	122
Şekil 7. 8	F2 kısa devresi 34.5 kV barası	123
Şekil 7. 9	F2 kısa devresi 10kV barası	123
Şekil 7. 10	F2 kısa devresi kısa devre akımı	124
Şekil 7. 11	F2 kısa devresi kısa devre akımı 28.-30. saniyeler	124
Şekil 7. 12	F2 kısa devresi motor katkısı	125
Şekil 7. 13	F2 kısa devresi motor katkısı 28.-30. saniyeler	125

Şekil 7. 14 F3 kısa devresi 10kV barası	126
Şekil 7. 15 F3 kısa devresi 34.5 kV barası	126
Şekil 7. 16 F3 kısa devre yeri kısa devre akımı	127
Şekil 7. 17 kısa devre yeri kısa devre akımı 28.-30. saniyeler	127
Şekil 7. 18 F3 kısa devresi motor katkısı	128
Şekil 7. 19 F3 kısa devresi motor katkısı 28.-30. saniyeler	128
Şekil 7. 20 F3 kısa devresi motor katkısı genliği	129
Şekil 7. 21 F4 kısa devresi 34.5 kV barası	130
Şekil 7. 22 F4 kısa devre noktası kısa devre akımı	130
Şekil 7. 23 F4 kısa devre noktası kısa devre akımı 28.-30. saniyeler	131
Şekil 7. 24 F4 kısa devresi motor katkısı	131

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Eşdeğer frekans	11
Çizelge 2. 2 c gerilim katsayısı	15
Çizelge 4. 1 Asenkron motorların uçlarında kısıadevre olması durumu	75
Çizelge 5. 1 Ögelerin verileri ve +, – ve sıfır dizin kısıadevre empedansları:	82
Çizelge 5. 2 Üç faz kısıadevre akımları:	102
Çizelge 5. 3 İki faz (Toprak temassız) kısıadevre akımları:	102
Çizelge 5. 4 Faz-toprak kısıadevre akımları:	103
Çizelge 6. 1 AC ve DC eğrisi ayarlama	106
Çizelge 6. 2 Döner makinaların kısa devre empedansları için çarpım faktörleri	108
Çizelge 6. 3 Üç faz kısıadevre akımları:	118
Çizelge 8. 2 Zamana göre kısa devre değerleri	141
Çizelge 8. 3 Zamana göre kısa devre değerleri	142
Çizelge 8. 4 Zamana göre kısa devreye motor katkısı	144

ÖNSÖZ

Elektrik tesislerinde kısa devre analizi üzerine, yapmış olduğum bu çalışmayı yönlendiren, destek ve ilgisini gördüğüm değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP'e, bu çalışmama gelene kadar yaptıkları katkılardan dolayı tüm Yıldız Teknik Üniversitesi Öğretim Görevlilerine ve hiç bir yardımlarını esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Elek. Müh. Serdar ÖZBAY

26 Temmuz 2007

İSTANBUL

ÖZET

Bu tezin temel amacı, kısa-devre hesaplamalarında dinamik yada standart tabanlı değişik yaklaşımların ispatını vermektir ve uygulamaların kendine özgü bölümlerini ve sınırlarını hatırlatmaktır. Sonrasında, 3 fazlı simetrik kısa devre durumu için uluslararası kabul görmüş iki standart (IEC 60909, ANSI C37.010.1999) ve simulasyon programı Matlab Simulink kısadevre akım değerleri karşılaştırılması için araştırıldı, bunun yanında Türk standardı olarak kabul edilen TS EN 60909 ve TS IEC-TR 363 üzerinde ayrıntılı hesaplama yapılmıştır.

ABSTRACT

The main purpose of the thesis is to give evidence of the different approaches offered by dynamic and standard based calculation of short-circuit currents and to remind the specific fields of application and the limits of them. Afterwards, in order to compare short circuit current event of a fault 3 phase simetrical short circuit, two widely adopted international standards (IEC 60909 and ANSI / IEEE C37.010.1999 Standards) and a simulation program Matlab Simulink are investigated in this thesis, also detailed calculation studies have done for TS EN 60909 and TS IEC-TR 363 which is adopted as Turkish Standards.

1. KISA DEVRE VE ÖNEMİ

Kısa devre meydana geldiğinde, mevcut sistemin eşdeğer empedansı generatörün iç empedansı ve kısa devre yolu üzerindeki empedansın toplamına indirgenir. Bu durumda hesaplanan eşdeğer empedans, sistemin çalışması planlanan empedans değerine göre çok küçük olacağından, kısa devre akımı nominal akıma göre çok büyük değerler alır ve sisteme ciddi zararlar verir. Bu zararlı etkiler akımın karesiyle artan sisteme kalıcı zarar veren mekanik ve ısı etkileri, kısa devre arkının yakıcı etkisi, nötrü topraklanmış olan sistemlerde faz toprak kısa devresinde ölüme yol açabilecek temas ve adım gerilimleri meydana gelmesi olarak sıralanabilir.

1.1 Kısa Devre Akımının Hesaplamasının Gerekliliği

Tasarımı ve çalışması planlanan bir elektrik sisteminin kararlılığı, güvenilirliği ve fiyat performans değerini kanıtlamak için birçok çalışma gerekir. Bu çalışmalara yük akışı, hata ve kısa-devre, motor başlama, kararlılık, koruyucu aygıt koordinasyonu, güvenilirlik analizlerini örnek verebiliriz. Sistem çalışmasını test edilebilir hale getiren yazılım ve donanımların geliştirilmesi popüler bir konu olmasına rağmen kötü bir elektrik tasarımı sistem güvenliği ve çalışması açısından ciddi sonuçlar meydana getirmesi birçok tecrübe ile sabittir. İyi bir sistem tasarımında dikkatli seçilmiş voltaj seviyesi, elektrik sistemin tek hat şeması, yeterli donanım seçimi ve koruyucu cihazların doğru ayarlanması yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı hala ana ve sorgusuz bir gereksinimdir.

Bahsi geçen çalışmalardan bazıları, güç sisteminin karakterinin ortaya konulması için karmaşık ve detaylandırılmış modeller gerektirmektedir. Diğer çalışmalarda basitleştirilmiş ve geçerli analitik prosedürlere dayanan daha az karmaşık yaklaşımlardan yararlanılabilir. Bu çalışmaların çeşidi tamamen geliştirilen projeye bağlıdır.

Kısa-devre akımı çalışmaları bunlara tipik bir örnektir. Bu çalışmalar sistem tasarımında donanım ebatları tayini ve seçimi için gereklidir. Doğrulukları oldukça farklı olabilir. Simülasyonu yapılmış olabilir bunlar sistem bölümlerinin dinamik davranışlarını çok detaylı gösterebilir yâda sistem parçalarını kararlı durumuymuş gibi gösteren basitleştirilmiş bir yaklaşım olabilir.

Basitleştirilmiş kısa-devre hesaplama prosedürleri uluslararası organizasyon tarafından uzun zamandan beri önerilmeye devam etmektedir. Güçlü bilgisayar ve yazılım araçlarına bağlı göreceli olarak standartların geliştirilmesinde başarılı şekilde kullanılan dinamik simülasyon daha yakın zamanda kabul görmüştür.

Seçilecek standartta önemli unsurları sıralayacak olursak;

- Uygulanabilir ve özlü
- Yeterli doğrulukta aşırıya kaçmayan çözümler sunması
- Kısa devre konusunda uzman olmayan mühendisler tarafından kullanılabilmesi

Üzerinde duracağımız standartlar TS EN 60909 ve ANSI C37.010.1999 uluslar arası kabul görmüş, yıllardır doğrulukları sınıanan standartlardır. Ayrıca Türk Standardı olarak kabul görmüş TS EN 60909 ve TSE IEC/TR 363 standartları üzerinde yoğunlaşılacaktır.

2. TS EN 60909 ÜÇ FAZLI SİSTEMLERDE KISA DEVRE AKIMI HESABI

2.1 Kapsam

TS EN 60909 standardı:

AG üç fazlı AA şebekelerinde

Anma gerilimi 230 kV a kadar ve anma frekansı 50 veya 60 Hz olan YG üç fazlı AA şebekelerinde kısadevre akımlarının hesabı için uygulanır.

2.2 Amaç

Bu standartın amacı, genelde pratik ve özlü işlemler yaparak yeterli doğrulukta sonuçlar elde etmektir. Bu nedenle, kısa devre yerinde eşdeğer gerilim kaynağı bulunduğu düşünülür. Burada özel yöntemlerin kullanılması gerekmez. Örneğin, Süperpozisyon yöntemi, en azından aynı duyarlılığı veriyorsa özel koşullarda uygulanır.

Kısadevre akımları ve kısa devre empedansları, şebeke üzerindeki testlerle, şebeke analizörleriyle yapılan ölçümlerle ve bilgisayarla da elde edilebilir. Mevcut AG şebekelerinde, düşünülen olası kısa devre yerinde yapılan ölçmeler temel alınarak kısadevre empedansı saptanabilir.

Elektrik aygıtlarının anma etiket değerleri ve şebekenin topolojik yapısı temel alınarak kısa devre empedansının hesaplanması, mevcut şebekeler ve şebekelerin tasarım aşamalarının her ikisi için de yarar sağlayabilir.

Genlikleri farklı olan iki ayrı kısa devre akımı hesaplanır:

- Elektrik aygıtlarının etiket değerlerini ve kapasitelerini belirleyen en büyük kısa devre akımı,
- En küçük kısadevre akımı, örneğin, sigortaların seçimi, koruma düzenlerinin ayarı ve motorların kalkışlarının kontrol edilmesi için temel alınır.

İki kısadevreden biri ayırt edilir:

- Sönen AA bileşeni bulunmayan kısadevre akımları içeren şebekeler.(Generatörden uzak kısadevreler) -Sönen AA bileşeni bulunan kısa devre akımları içeren şebekeler (Generatöre yakın kısadevre). Bu kısımda motorların etkisi de göz önüne alınır.

Bu standart, denetim altında bilinçli yaratılan kısadevre akımlarını(Kısadevre test merkezleri) kapsamaz.

Bu standart gerilimlerdeki ve hava alanlarındaki döşemelerle ilgili değildir.

2.3 Tanımlar

Bu standartın amacı için gerekli ve yeterli olan tanımlar verilmiştir. Uygulanabildiğinde Uluslararası Elektroteknik Sözlüğe (IEV) başvurulur.

2.3.1 Kısadevre

Bir devrede, genellikle farklı gerilimli iki veya daha fazla noktanın, bağıl olarak direnç veya empedans üzerinden, kaza veya kasıt ile birbirine değmesine kısadevre denir.

2.3.2 Kısadevre akımı

Bir elektrik devresinde çapraz veya yanlış bağlantı sonucunda baş gösteren kısadevrede akan aşırı akımdır.

Kısadevre yerindeki ve şebekenin kollarındaki kısadevre akımlarını birbirinden ayırmak gerekir.

2.3.3 Beklenen(Olası) kısadevre akımı

Beslemede hiçbir değişiklik olmaksızın, temas empedansı ihmal edilebilen tam kısadevrede akan akımdır.

Not: Üç faz kısadevrede, kısadevrenin üç fazda da aynı anda baş gösterdiği varsayılır. Aynı anda baş göstermeyen ve çok yüksek aperiodyodik bileşenler içeren kısadevre akımlarının incelenmesi bu standardın kapsamında değildir.

2.3.4 Simetrik kısadevre akımı

Beklenen kısadevre akımının AA simetrik bileşeninin etkin değeridir. Kısadevre akımının aperiodyodik bileşeni, eğer varsa ihmal edilir.

2.3.5 Başlangıç simetrik kısa devre akımı I''_k

Kısadevrenin başladığı anda, empedans sıfır-zaman değerinde kalıyorsa, beklenen kısadevre akımının AA simetrik bileşeninin etkin değeridir.

2.3.6 Başlangıç simetrik kısadevre (Görünür) gücü S''_k

Başlangıç simetrik kısadevre akımı I''_k , anma şebeke gerilimi U_n ve faz katsayısı $\sqrt{3}$ birbiriyle

çarpılarak hesaplanır:

$$S''_k = \sqrt{3}U_n I''_k$$

2.3.7 Kısadevre akımının DA (Aperiyodik) bileşeni i_{DC}

Kısadevre akımının üst ve alt zarf eğrileri arasındaki ortalama değer olup, şekil 2.1 ve 2.2 ye göre bir başlangıç değerinden zamanla sifıra düşer.

2.3.8 Darbe kısadevre akımı i_p

Beklenen kısadevre akımının alabileceği en büyük an (Tepe) değeridir.

Darbe kısadevre akımının genliği, kısadevrenin baş gösterdiği ana bağlı olarak değişir. Üç faz kısadevre akımının hesabı, baş gösterecek olası en büyük kısa devre akımı için geçerlidir. Ardıl çaprazlar hesaba katılmaz. Üç faz kısadevrenin üç fazda da aynı anda baş gösterdiği varsayılır.

2.3.9 Simetrik kısadevre akımı I_b

Beklenen kısadevre akımının simetrik AA bileşeninin, kesme aygıtının ilk faz kontağının ayrılamaya başladığı andaki etkin değeridir.

2.3.10 Sürekli kısadevre akımı I_k

Geçici olaylar sona erdikten sonra ortaya çıkan kısadevre akımının etkin değeridir.

2.3.11 Alternatif kilitli-rotor akımı I_{LR}

Anma frekansında U_{TM} anma gerilimi ile beslenen kilitli rotorlu asenkron motorun en büyük simetrik etkin akımıdır.

2.3.12 Eşdeğer elektrik devresi

İdeal elemanlardan oluşan şebeke yardımıyla, devrenin davranışını tanımlamaya yarayan modeldir.

2.3.13 (Bağımsız) Gerilim kaynağı

Devredeki tüm akımlardan ve gerilimlerden bağımsız ve pasif devre elemanlarıyla seri bağlı olan ideal gerilim kaynağı ile betimlenen etkin elemandır.

2.3.14 Anma şebeke gerilimi U_n

Şebekeyi belirten ve işletme özelliklerini gösteren (faz-faz) gerilimdir.

2.3.15 Eşdeğer gerilim kaynağı $cU_n / \sqrt{3}$

Kısadevre akımının hesaplanması için, + dizinde kısadevre yerine uygulanan ideal kaynağın gerilimdir.

2.3.16 Gerilim katsayısı c

Eşdeğer gerilim kaynağının, $\sqrt{3}$ faz katsayısı ile bölünen U_n anma şebeke gerilimine oranıdır. Bu değerler çizelge 2.2 de verilmiştir.

c gerilim katsayısı için değişik tanımların göz önüne alınması gerekir. Bunlar:

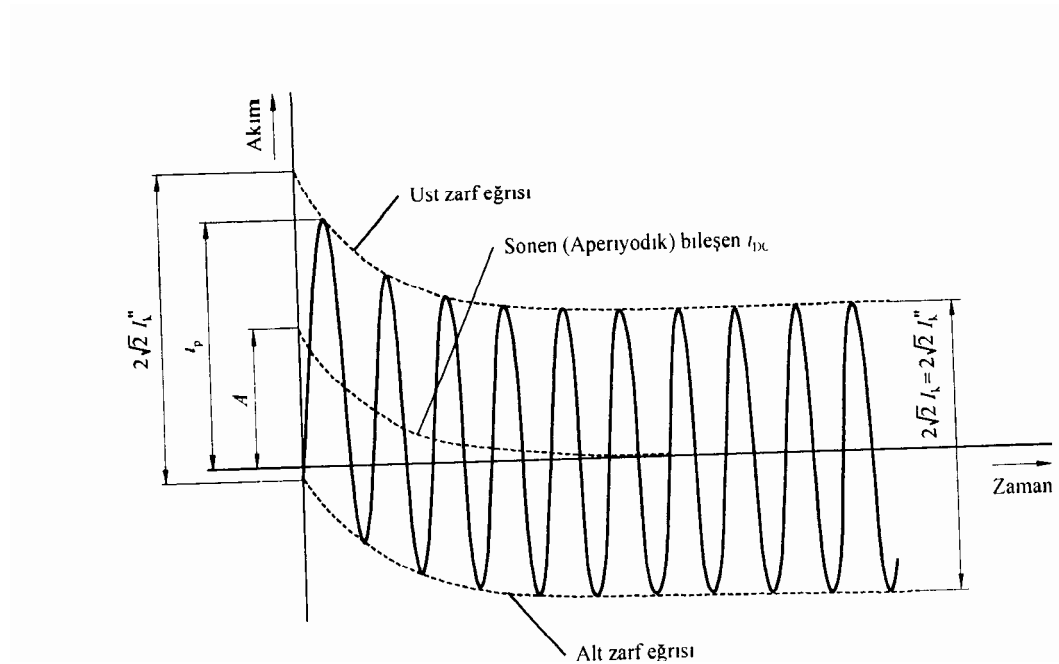
- Zamana ve yere bağlı olan gerilim değişimleri,
- Transformatörlerde gerilim basamaklarının değişmesi,
- Yüklerin ve kapasitansların ihmal edilmesi
- Generatörlerin ve motorların kısadevrenin başladığı andaki davranışları

2.3.17 Senkron makinenin başlangıç gerilimi E''

Senkron makinenin kısıadevre anındaki X_d'' başlangıç reaktansının ardından etkili olan simetrik iç geriliminin etkin değeridir.

2.3.18 Generatörden uzak kısıadevre

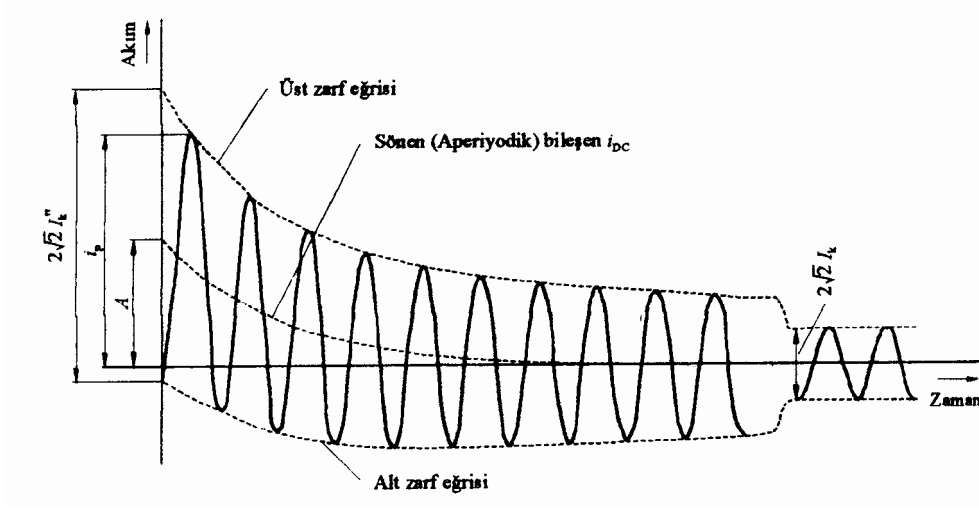
Beklenen simetrik kısıadevre akımının AA bileşeninin genliğinin kısıadevre süresince genellikle sabit kaldığı kısıadevredir.



- a) I_k'' = Başlangıç simetrik kısıadevre akımı
- b) i_p = Darbe kısıadevre akımı
- c) I_k = sürekli kısıadevre akımı
- d) i_{DC} = Kısıadevre akımının sönen (Aperiyojik) bileşeni
- e) $A = i_{DC}$ aperiyojik bileşenin başlangıç değeri

Şekil 2. 1 Generatörden uzak kısıadevrede kısıadevre akımı(Şematik çizim)

2.3.19 Generatöre yakın kısıadevre



Şekil 2. 2 Generatörden yakı kısıadevrede kısıadevre akımı(Şematik çizim)

En az bir senkron makinenin katıldığı kısıadevrede, beklenen başlangıç simetrik kısıadevre akımının generatörün anma akımının iki katından veya senkron ve asenkron makinelerin katıldıkları kısıadevrede, motorların katılmadığı I''_k başlangıç simetrik kısıadevre akımının %5 inden büyük olduğu kısıadevredir.

2.3.20 F kısıadevre yerinde kısıadevre empedansı

2.3.20.1 Üç fazlı AA şebekesinin + dizin kısıadevre empedansı $Z_{(1)}$

Kısıadevre yerinden bakıldığında görülen + dizinin empedansıdır.

2.3.20.2 Üç fazlı AA şebekesinin - dizin kısıadevre empedansı $Z_{(2)}$

Kısıadevre yerinden bakıldığında görülen – dizinin empedansıdır.

2.3.20.3 Üç fazlı AA şebekesinin sıfır dizin kısıadevre empedansı $Z_{(0)}$

Kısıadevre yerinden bakıldığında görülen sıfır dizi empedansıdır. Bunun değeri, faz-toprak

empedansının üç katı olan $3Z_{NE}$ dir

2.3.20.4 Üç fazlı AA şebekesinin kısadevre empedansı $Z_{(k)}$

Üç faz kısadevre akımlarının hesaplanması için $Z_{(1)}$ + dizin kısadevre empedansının kısaltılmış tanımıdır.

2.3.21 Elektrik aygıtının kısa devre empedansları

2.3.21.1 Elektrik aygıtının + dizin empedansı $Z_{(1)}$

Faz-nötr geriliminin, gerilimlere ait simetrik + dizinden beslenen elektrik aygıtının faz başına kısadevre akımına oranıdır.

Not: $Z_{(1)}$ in alt simgesi, eğer – ve sıfır dizin kısadevre empedanslarıyla karışıklık yaratmayacaksa konmayabilir.

2.3.21.2 Elektrik aygıtının – dizin kısadevre empedansı $Z_{(2)}$

Faz-nötr geriliminin, gerilimlere ait simetrik – dizinden beslenen elektrik aygıtının faz başına kısadevre akımına oranıdır.

2.3.21.3 Elektrik aygıtının sıfır dizin kısadevre empedansı $Z_{(0)}$

Faz-nötr geriliminin; eğer üç paralel faz iletkeni gidiş akımı ve dördüncü iletken veya toprak ortak dönüş iletkeni olarak kullanılıyorsa, AA gerilim kaynağından beslenen elektrik aygıtının faz başına kısadevre akımına oranıdır.

2.3.22 Senkron makinenin başlangıç reaktansı X_d''

Kısadevrenin baş gösterdiği anda etkili olan reaktanstır. Kısadevre akımının hesaplanmasında X_d'' nün doymuş değeri alınır.

Not: Senkron makinene Ω cinsinden X''_d reaktansı empedansın anma değeri olan $Z_{TG} = U_{TG}^2 / S_{TG}$ ye bölünürse, elde edilen bağıl değer küçük harf olan $x''_d = X''_d / Z_{TG}$ ile gösterilir.

2.3.23 Devre kesicinin en küçük zaman gecikmesi t_{min}

Kısadevrenin başladığı anla, kesme aygıtının bir kutbunun ilk faz kontağının ayrılmaya başladığı an arasında geçen en küçük süredir.

Not: t_{min} süresi, kısadevre rölesinin en küçük çalışma süresi ile, devre kesicinin en küçük açma süresinin toplamıdır. Açma düzeninin ayarlanabilen zaman gecikmeleri hesaba katılmaz.

2.4 Hesap Yöntemleri

Kısadevre akımları için yapılan tüm hesaplar, gerilimin kısadevrenin başladığı andaki değerine bağlı olarak, kısadevrenin başlangıcından sonuna kadar, kısadevre yerindeki akımların zamana göre değişimini verir.

Pratik nedenlerle, buradaki gibi belirlemeler gerekmez. Sonuçların uygulanması için, kısadevrenin baş göstermesini izleyen kısadevre akımının simetrik AA bileşeninin etkin değerinin ve i_p tepe değerinin bilinmesi önemlidir. i_p değeri, sönen aperiodyk bileşenin zaman sabitine ve f frekansına; öte yandan Z_k kısadevre empedansının R/X veya X/R oranına bağlıdır., ve bu kısadevre gerilimin sıfırdan geçtiği anda başlarsa oldukça yükselir.

Ağ şebekelerde pek çok zaman sabiti olduğundan, i_p ve i_{DC} nin hesaplanması için kolay ve doğru yöntem vermek olası değildir.

Asimetrik kısadevre akımının elde edilmesi için şekil 2.1 ve 2.2 deki kısadevre akımının i_{DC} sönen aperiodyk bileşeni yeter doğrulukla:

$$i_{DC} = \sqrt{2} I_k e^{-2\pi f t R / X} \quad (1)$$

bağıntısından hesaplanır.

Burada :

I''_k =Başlangıç kısa devre akımı

f =Anma frekansı, 50 Hz veya 60 Hz

t =Zaman

R/X = 2.9.2.2.2 veya 2.9.2.3.2 de verilen oran

Ağ şebekelerde yöntem A ya göre (1) bağıntısından sağ tarafı 1,15 ile çarpılır. yöntem B ye göre,

$2\pi ft$	$<2\pi$	$<5\pi$	$<10\pi$	$<25\pi$
fdf	0,27	0,15	0,092	0,055

Çizelge 2. 1 Eşdeğer frekans

Burada $f=50$ Hz veya 60 Hz dir.

Ayrıca, en büyük en küçük kısadevre akımlarının hesaplanması için aşağıdaki basitleştirmeler temel alınır:

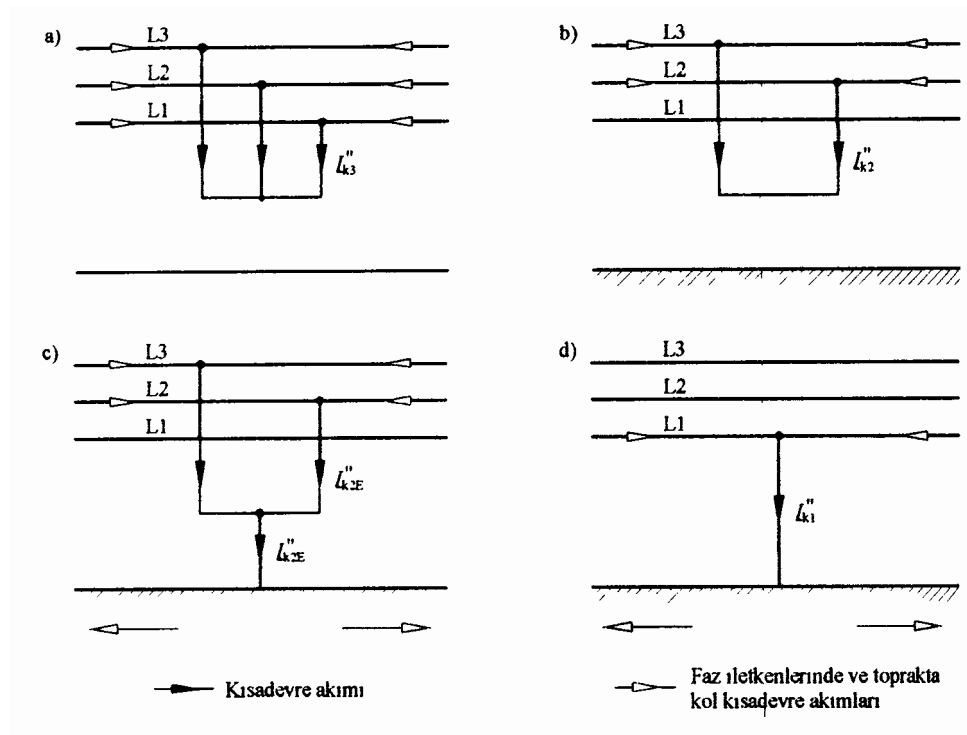
- 1) Kısadevre süresince, kısadevreyi içine alan devrelerin sayısında değişiklik yapılmaz. Kısadevre süresince, üç faz kısdadevre üç faz olarak ve faz-toprak kısadevre faz-toprak olarak kalır.
- 2) Basamak değiştirici transformatörlerin normal basamakta olduğu varsayılır
- 3) Artık direnci göz önüne alınmaz.

Bu varsayımlar güç şebekeleri için tam doğru sonuç vermediğinden, yeter doğrulukta olan başka kısadevre hesapları önerilir.

Şekil 2.2 de gösterilen dengeli ve dengesiz kısadevre türleri için kısadevre akımlarının hesaplanmasında simetrik bileşenler yöntemi kullanışlıdır.

2.5 Kısadevre yerindeki eşdeğer gerilim kaynağı

Kısım 1 ve 2 deki durumlarda, F kısadevre yerinde kısadevre akımları eşdeğer gerilim kaynağı yardımıyla hesaplanabilir. Müşterinin durağan yükünün işletme verileri, basamak değiştirici transformatörlerin basamak konumu, generatörlerin uyarılması, vb bilgiler göz ardı edilebildiğinden, kısadevre anında tüm olası farklı yük akışları için ek hesapların yapılması gerekmez.



- a) Dengeli üç faz kısadevre
- b) İki faz kısadevre
- c) İki faz-toprak kısadevre
- d) Faz-toprak kısadevre

Şekil 2. 3 Kısadevrelerin ve bunlara ilişkin kısadevre akımlarının gösterilmesi.

Akım oklarının yönü isteğe göre seçilmiştir.

Eşdeğer gerilim kaynağının gerilimi şebekede etkili olan tek gerilimdir. Tüm şebeke fiderleri, senkron ve asenkron makinalar iç empedansları ile yer alırlar.

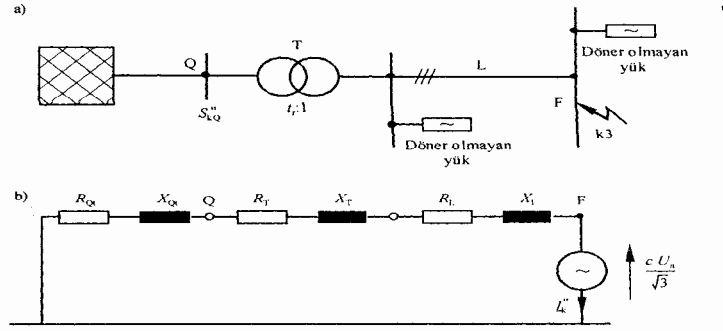
Ayrıca, bu yöntemde tüm hat kapasitansları ve döner olmayan yüklerin paralel admitansları, sıfır dizin dışında ihmal edilecektir.

Son olarak, YG transformatörleri pek çok nedenle yük altında çalışan regülatörlerle ve basamak değiştiricilerle donatılır; oysa AG şebekelerini besleyen transformatörlerde ise normal olarak birkaç gerilim basamağı bulunur. Örneğin, +%2,5 veya +%4. generatörden uzak kısıdevrelerde, bu yöntemin kullanılmasıyla doğruluktan sapma kabul edilemez değilse, gerilim düzenleyici veya basamak değiştirici transformatörlerin bağlı konumu göz önüne alınmayabilir.

Kısım1 deki generatörden uzak kısıdevre veya kısım 2 deki generatöre yakın kısıdevre göz önüne alınmadan, kısıdevre yerine eşdeğer gerilim kaynağı uygulanarak, empedanslar yardımıyla şebeke aygıtlarının modellenmesi yapılır.

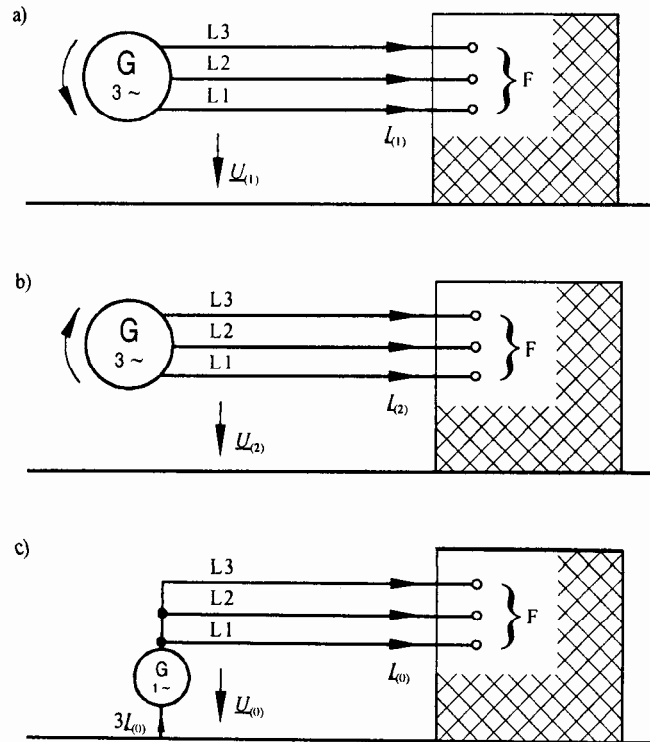
Şekil 2.3 de, dönüştürme oranı 1 olan transformatörden beslenen AG şebekesinde, F kısıdevre yerine uygulanan ve şebekede etkili olan tek eşdeğer gerilim kaynağı örneği gösterilmiştir. Şebekedeki tüm diğer etkili gerilimler sıfır alınır. Bu nedenle, şekil 3.3a da şebeke fideri yalnız Z_Q iç empedansı ile gösterilmiştir. Şekil 3.3b ye göre hesaplanan kısıdevre akımlarında paralel admitanslar (Hat kapasitansları ve pasif yükler) göz önüne alınmazlar.

F kısıdevre yerindeki $cU_n/\sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı; c gerilim katsayısı, U_n anma şebeke gerilimi ve $\sqrt{3}$ faz katsayısından oluşur. En büyük ve en küçük kısıdevre akımlarının hesabında c gerilim katsayısı farklı değerler alır. Eğer Ulusal standartlarda yoksa, c gerilim katsayısı çizelge 2.2 den alınır. Bu çizelgede, en yüksek gerilim normal şebekedekinden farklılık göstermediği ve ortalama olarak anma geriliminden AG de yaklaşık +%5 veya YG de yaklaşık +%10 daha büyük olduğu göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 2. 4 I”k başlangıcı simetrik kısadevre akımının hesaplanması

için eşdeğer gerilim kaynağı işlem yapılmasına uygun örnek



a) + dizin empedansı $\underline{Z}_{(1)} = \underline{U}_{(1)} / \underline{I}_{(1)}$

b) – dizin empedansı : $\underline{Z}_{(2)} = \underline{U}_{(2)} / \underline{I}_{(2)}$

c) Sıfır dizin empedansı : $\underline{Z}_{(0)} = \underline{U}_{(0)} / \underline{I}_{(0)}$

Şekil 2. 5 F kısıadevre yerinde üç fazlı AA şebekesinin kısıadevre empedansı

Anma gerilimi U_n	En büyük kısıadevre akımın c_{msx}	En küçük Kısıadevre akımı c_{min}
Alçak gerilim 100V ara 1000V		
a) 230V/400V	1,00	0,95
b) Diğer gerilimler	1,05	1,00
Orta gerilim >1 kV ara 35 kV	1,10	1,00
Yüksek gerilim >35 kV ara 230 kV	1,10	1,00

Çizelge 2. 2 c gerilim katsayısı

Not: cU_n şebekeleri aygıtları için U_m en büyük geriliminden büyük olmayacaktır.

Çizelge 2.2 den, en büyük kısıadevre akımının hesaplanması için eşdeğer gerilim kaynağı :

$$230V / 400V, 50 \text{ Hz AG şebekeleri için } cU_n / \sqrt{3} = 1,00U_n / \sqrt{3} \quad (2a)$$

$$\text{Diğer gerilim şebekeleri için } cU_n / \sqrt{3} = 1,50U_n / \sqrt{3} \quad (2b)$$

$$\text{OG ve YG şebekeleri için } cU_n / \sqrt{3} = 1,10U_n / \sqrt{3} \quad (2c)$$

saptanır.

3. SÖNEN AA BİLEŞENİ BULUNMAYAN KISADEVRE AKIMLARI İÇEREN DİZGELER (GENERATÖRDEN UZAK KISADEVRELER)

3.1 Genel

Bu kısımda, gelişen kısıadevre akımları nedeniyle ve kısıadevre süresince gerilim veya gerilimlerde değişiklik (Örneğin, sabit varsayılan gerilim koşulu); keza, devrenin empedansında önemli değişiklik (Örneğin, sabit ve doğrusal değişen empedans) olmayan kısıadevre akımları temel alınır.

Bu nedenle, beklenen kısıadevre akımı, aşağıdaki iki akım bileşeninin toplamı alınarak hesaba katılabilir.

- Tam kısıadevrede, kısıadevre süresince genliği sabit kalan AA bileşeni,
- A başlangıç değerinden başlayarak sıfıra düşen aperiyodik bileşen.

Generatörden uzak kısıadevrede, kısıadevre akımının genel değişimi şekil 3.1 de verilmiştir. I''_k ve I_k simetrik AA bileşenleri etkin değerlerdir ve genlikleri yaklaşık birbirine eşittir.

Bu varsayım, YG şebekesinin kapsamındaki transformatörler üzerinden beslenen güç şebekeleri için genellikle yeterlidir.

Şekil 2.3 deki, transformatör üzerinden bir taraftan beslenen kısıadevrede, X_{QT} ve X_{TLV} değerleri ile $X_{TLV} \geq 2X_{Qt}$ ise, öncelikle generatörden uzak kısıadevre göz önüne alınır.

3.2 Kısıadevre parametreleri

3.2.1 Dengeli kısıadevre

Üç fazlı AA şebekesinde, şekil 2a daki dengeli üç faz kısıadevrenin özel yeri vardır. Çünkü, bu tür çaprazda beklenen kısıadevre akımı genellikle en büyük değeri alır ve kısıadevrenin nötrü dengelenmiş olduğundan, oldukça kolay hesaplanır.

Kısıadevre akımının hesabında yalnız kısıadevre yerinden görülen $Z_{(1)} = Z_{(k)} +$ dizin kısıadevre empedansının alınması yeterli olur.

3.2.2 Dengesiz kısadevre

Dengesiz (Asimetrik) kısadevre akımlarının aşağıdaki türleri ayırt edilir.

- İki faz kısadevre
- İki faz-toprak kısadevre
- Faz-toprak kısadevre

Kural olarak, en çok karşılaşılan üç faz kısadevredir. Transformatörün yakınındaki topraklanmış nötr ile, yada nötrü topraklanmış olan transformatörde kısadevre baş gösterirse; faz-toprak kısadevre akımı üç faz kısadevre akımından daha büyük olabilir. Bu durumla, bağlantı kümesi Yz, Dy, Dz olan ve AG devresinde y ve z sargısı topraklanmış transformatörlerde karşılaşılır.

Üç fazlı şebekelerde dengesiz kısadevre akımının hesabı, simetrik bileşenler yöntemi kullanılarak basitleştirilir. Bu yöntemde üç bağımsız dizin bileşeni, karşılıklı empedansların herhangi kuplajı göz ardı edilerek hesaplanır.

Bu yöntemin kullanılmasıyla, üç simetrik bileşen dizininin akımları üst üste getirilerek (Süperpozisyon) her fazın akımları bulunur.

-+ dizin akımı

-- dizin akımı

-sıfır dizin akımı

L₁ fazı gerçel ekseninde alınırsa $\underline{I}_{L1}$, $\underline{I}_{L2}$, $\underline{I}_{L3}$ akımları

$$\underline{I}_{L1} = \underline{I}_{(1)} + \underline{I}_{(2)} + \underline{I}_{(0)} \quad (3a)$$

$$\underline{I}_{L2} = \underline{a}^2 \underline{I}_{(1)} + \underline{a} \underline{I}_{(2)} + \underline{I}_{(0)} \quad (3b)$$

$$\underline{I}_{L3} = \underline{a} \underline{I}_{(1)} + \underline{a}^2 \underline{I}_{(2)} + \underline{I}_{(0)} \quad (3c)$$

$$\underline{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad \underline{a}^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{1}{2}\sqrt{3} \quad (4)$$

Üç simetrik bileşene dizinin her biri kendi empedansına sahiptir.

Simetrik bileşenler yönetiminde şebeke empedanslarının, örneğin, hatların çaprazlanmasıyla dengelendiği varsayılır.

Kısa devre hesabının sonuçları, hatlar çaprazlanmasa da yeterli doğruluğa sahiptir.

3.2.3 Kısa devre empedansları

IEC 909 standardının amaçlarından biri de, F kısa devre yerindeki kısa devre empedansları ile her bir elektrik aygıtının kısa devre empedansı arasındaki farkı göstermektedir. Simetrik bileşenlerle yapılan hesaplarda +, - ve sıfır dizin empedansları göz önüne alınacaktır.

3.2.4 F kısa devre yerinde kısa devre empedansı

F kısa devre yerinde $\underline{Z}_{(1)}$ + dizin empedansı şekil 3.4a ya göre, F kısa devre yerine + dizin faz düzenindeki simetrik gerilimler şebekesinin uygulanması ve tüm senkron ve Asenkron makinelerin iç empedanslarıyla alınmasıyla elde edilir. Kısa devre akımlarının hesabında tüm hat kapasitansları ve döner olmayan yüklerin paralel empedansları ihmal edilir.

Dengeli üç fazlı kısa devre akımlarının hesabı için, + dizin empedansı geçerli olan tek empedanstır. Bu nedenle, $\underline{Z}_k = \underline{Z}_{(1)}$ dir.

F kısa devre yerindeki $\underline{Z}_{(2)}$ – dizin kısa devre empedansı şekil 3.4b ye göre, F kısa devre yerine – dizin faz düzeninde simetrik gerilimler şebekesinin uygulanmasıyla elde edilir. Kısa devre akımlarının hesabında tüm hat kapasitansları ve döner olmayan yüklerin paralel admitansları ihmal edilir.

+ ve – dizin empedansları yalnız döner makinelerde birbirinden farklı olabilir. Generatörden uzak kısa devrelerin hesaplanacağı bu bölümde, genellikle $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ alınmasına izin verilir.

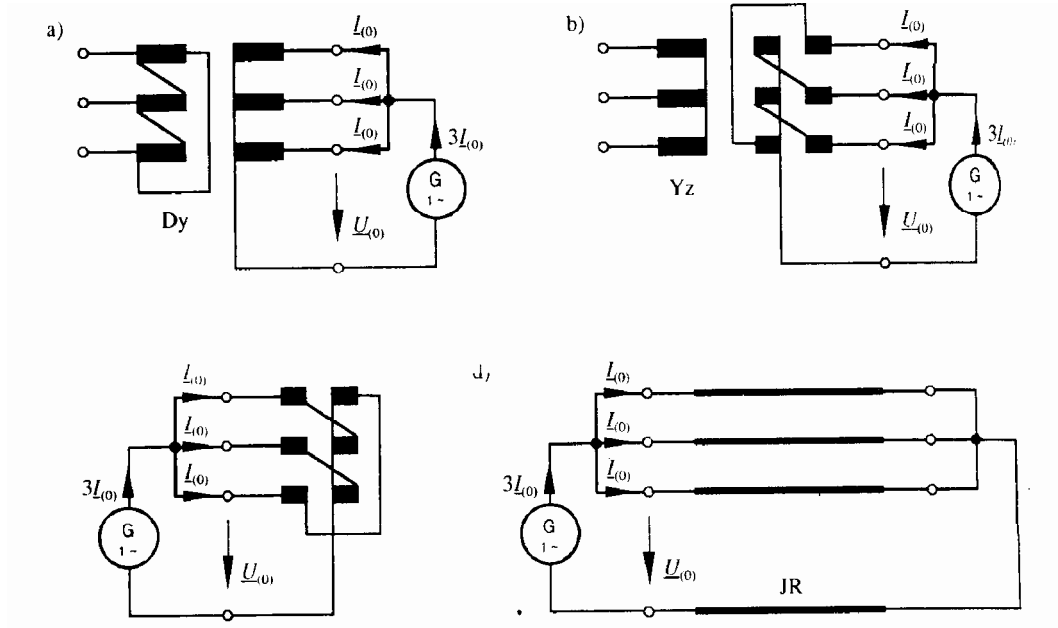
F kısıadevre yerindeki $Z_{(0)}$ sıfır dizin kısıadevre empedansı şekil 3.4c ye göre, kısıadevre hatları ile ortak dönüş bağlantısı (örneğin, topraklama şebekesi, nötr iletkeni, topraklama iletkeni, kablo metal kılıfı, kablo zırhı) arasına AA gerilimin uygulanmasıyla elde edilir.

OG ve YG şebekelerinde dengesiz kısıadevre akımlarını hesaplamak için kısıadevre yerine eşdeğer gerilim kaynağı uygulandığında, yalıtılmış nötrlü ve rezonans topraklı şebekelerde, hatların sıfır dizin kapasitansları ve döner olmayan yüklerin sıfır dizin admitansları hesaba katılır.

Nötrü topraklanmış olan şebekelerde hatların sıfır dizin kapasitanslarının ihmal edilmesi ile, kısıadevre akımları gerçek değerinden daha yüksek değerler alır. Sapma, şebekenin çeşitli parametrelerine; örneğin nötrü topraklanmış olan transformatörler arasındaki hatların uzunluklarına bağlıdır.

AG şebekelerinde, hatların kapasitansları ve döner olmayan yüklerin admitansları ihmal edilebilir.

Özel nedenler dışında, sıfır dizin kısıadevre empedansı + dizin kısıadevre empedansından farklıdır.



- a) Bağlantı kümesi Dy olan transformatör,
- b) Bağlantı kümesi Yz olan transformatör,
- c) Zig-zag bağlı, nötrü topraklanmış olan transformatör,
- d) Hat (Hava hattı veya kablo), JR:Dönüş bağlantısı.

Şekil 3.5. Elektrik aygıtının sıfır dizin kısadevre empedansının ölçülmesi

3.2.5 Elektrik aygıtlarının kısadevre empedansları

Şebeke fiderlerinde, transformatörlerde, hava hatlarında, kablolarda, reaktans bobinlerinde ve benzer aygıtlarda + ve – dizin kısadevre empedansları:

$$\underline{Z}_{(1)} = \underline{U}_{(1)} / \underline{I}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)} = \underline{U}_{(2)} / \underline{I}_{(2)}$$

Hattın sıfır dizin empedansı, örneğin (Bak: Şekil 3.5d) $\underline{Z}_{(0)} = \underline{U}_{(0)} / \underline{I}_{(0)}$, üç paralel iletken ile dönüş bağlantısı (Örneğin, toprak, topraklama şebekesi, nötr iletkeni, topraklama iletkeni, kablo metal kılıfı ve kablo zırhı) arasına AA uygulandığı varsayılarak hesaplanır. Bu durumda, dönüş bağlantısından üç kat sıfır dizin akımı geçer.

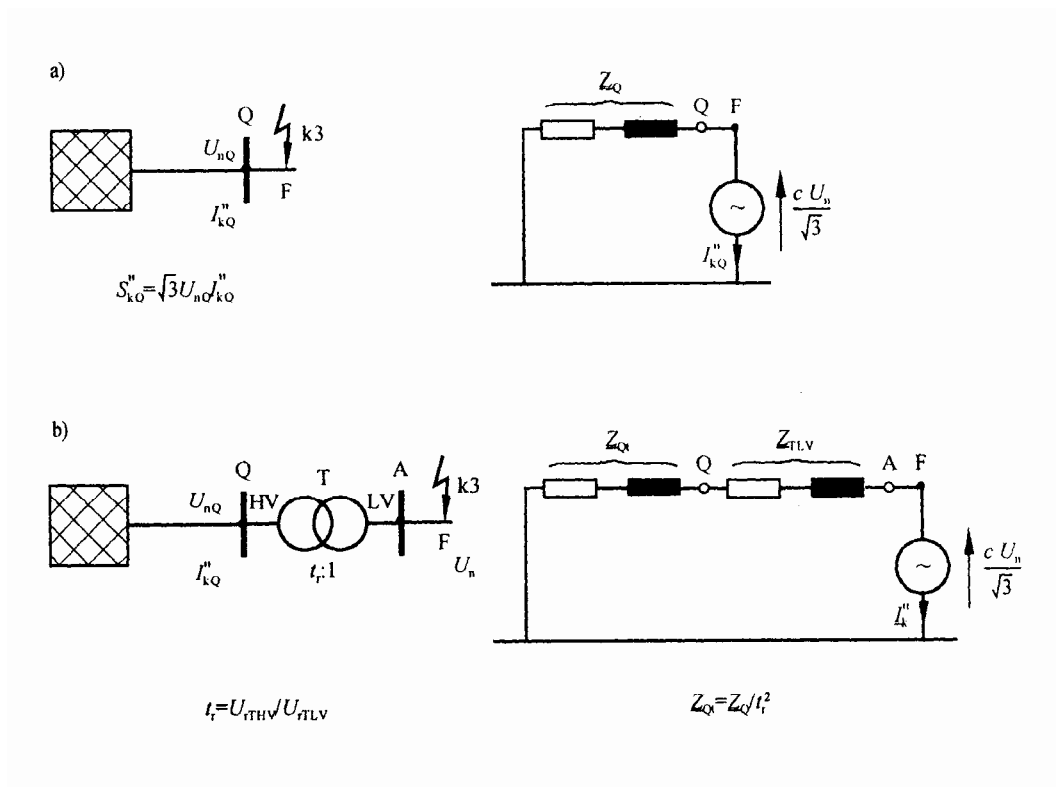
Normal olarak, sıfır dizin kısadevre empedansı + dizin kısadevre empedansından farklıdır. $\underline{Z}_{(0)}; \underline{Z}_{(1)}$ den daha büyük, eşit veya daha küçük olabilir.

3.2.6 Şebeke fiderleri

Şekil 3.6a daki kısadevre, Q fider bağlantı noktasında yalnız S''_{kQ} başlangıç simetrik kısadevre gücü veya I''_{kQ} başlangıç simetrik kısadevre akımı bilinen şebekeden besleniyorsa, Q fider bağlantı noktasında şebekenin Z_Q eşdeğer empedansı (+ dizin kısadevre empedansı):

$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}^2}{S''_{kQ}} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQ}} \quad (5a)$$

bağıntısından hesaplanır.



Şekil 3. 1 Şebeke fiderleri için tek hat şeması ve eşdeğer şema

Şekil 2.6b deki kısıadevre OG veya YG şebekesinden transformatör üzerinden besleniyorsa ve Q fider bağlantı noktasında yalnız S''_{kQ} başlangıç simetrik kısıadevre gücü veya I''_{kQ} başlangıç simetrik kısıadevre akımı biliniyorsa, transformatörün AG devresine indirgenen Z_{Qt} eşdeğer empedansı:

$$Z_{Qt} = \frac{cU_{nQ}^2}{S''_{kQ}} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQ}} \cdot \frac{1}{t_r^2} \quad (5b)$$

bağıntısından hesaplanır.

Burada:

U_{nQ} = Q fider noktasında anma şebeke gerilimi

S''_{kQ} = Q fider noktasında başlangıç simetrik kısıadevre görünür gücü

I''_{kQ} = Q fider noktasında başlangıç simetrik kısıadevre akımı

c = Gerilim katsayısı

t_r = Transformatör gerilim basamağı normal konumda iken anma dönüştürme oranı

Anma gerilimi 35 kV un üstünde olan ve hava hattı üzerinden beslenen YG döşemlerinde Z_Q eşdeğer empedansı yalnız reaktans ile hesaba katılabilir. Örneğin, $Z_Q = 0+jX_Q$. Diğer taraftan, şebeke fiderlerinde R_Q direncinin tam doğru değeri biliniyorsa, $R_Q = 0,2.X_Q$, buradan $X_Q = 0,995Z_Q$ alınabilir.

Besleyen transformatörün YG devresinde S''_{kQ} başlangıç simetrik kısıadevre gücü veya I''_{kQ} başlangıç simetrik kısıadevre akımı TEAŞ tarafından verilir.

Genellikle, şebeke fiderlerinde sıfır dizin kısıadevre eşdeğer empedansı hesaplamalar için gerekmez. Bununla beraber, özel durumlarda bu empedansı göz önüne almak gerekebilir.

3.2.7 Transformatörler

İki sargılı transformatörlerin + dizin kısadevre empedansı $\underline{Z}_T = R_T + jX_T$, transformatörün anma değerleri alınarak aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir.

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{\%100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (6)$$

$$R_T = \frac{u_{kr}}{\%100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} \quad (7)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (8)$$

Burada:

U_{rT} = Transformatörün YG ve AG devresinde anma gerilimi

I_{rT} = Transformatörün YG ve AG devresinde anma akımı

S_{rT} = Transformatörün anma görünür gücü

P_{krT} = Transformatörün anma akımında toplam kaybı

u_{kr} = Anma kısadevre gerilimi, yüzde olarak

u_{Rr} = Anma kısadevre gerilimi, yüzde olarak

Gerekli değerler transformatörün etiketinden veya yapımcısından alınır.

Omik gerilim, transformatörün anma akımındaki toplam kaybindan hesaplanır.

X/R oranı genellikle transformatörün boyutuna bağlı olarak artar. Büyük güçlü transformatörlerde direnç çok küçük olduğundan, kısadevre akımının genliğinin hesaplanmasında empedansın yalnız reaktanstan oluştuğu varsayılabilir. i_p darbe kısadevre akımı veya i_{DC} sönen aperiodyik bileşen hesaplanacaksa, direnci hesaba katmak gerekir.

İki veya daha çok sargılı transformatörlerin $\underline{Z}_{(0)} = R_{(0)T} + jX_{(0)T}$ sıfır dizin kısadevre empedansları yapımcısından alınır.

Not: Basamak değıştircili transformatörler için, normal konumda Z_T nin (6) bağıntısından hesaplanması; empedansların, akımların ve gerilimlerin ise basamak değıştircinin normal konumda transformatörün t_r anma dönüştürme oranı ile 8.4 e göre indirgenmesi yeterlidir.

Özel durumların göz önüne alınması, eğer yalnız:

Düz beslemede hesaplanan kısadevre akımı, kısadevre baş göstermeden önceki işletme akımı ile aynı yönde akıyorsa (Şekil 3 veya 6b ye göre, basamak değıştircili bir transformatörün veya paralel transformatörlerin AG devresindeki kısadevre)

Basamak değıştircili transformatörün dönüştürme oranı geniş değerler içinde değışebiliyorsa $p_T > 0,05$ için $U_{THV} = U_{rTHV}(1 \pm p_T)$,

$u_{k \min}$ en küçük kısadevre gerilimi, normal konumdaki anma kısadevre geriliminden daha küçük alınırsa ($u_{k \min} < u_{kr}$),

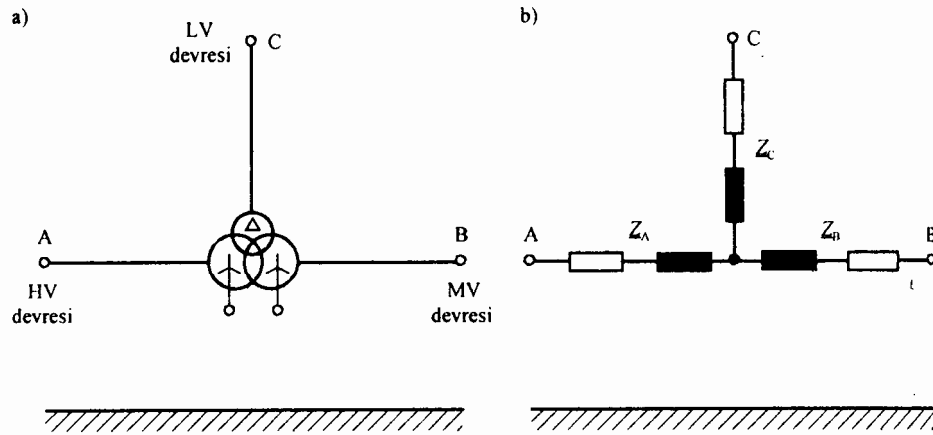
İşletme sırasındaki gerilim anma şebeke geriliminden daha yüksek alınırsa ($U \geq 1,5U_n$) gereklidir.

Üç sargılı transformatörlerde, $\underline{Z}_A$, $\underline{Z}_B$, $\underline{Z}_C$ + dizin sıfır empedansları şekil 3.7 ye göre üç kısadevre empedansından hesaplanabilir. (Transformatörün A devresine bağlı olarak):

$$\underline{Z}_{AB} = \frac{u_{krAB}}{\%100} \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (C \text{ devresi açık}) \quad (9a)$$

$$\underline{Z}_{AC} = \frac{u_{krAc}}{\%100} \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (\text{B devresi açık}) \quad (9b)$$

$$\underline{Z}_{BC} = \frac{u_{krBC}}{\%100} \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (\text{A devresi açık}) \quad (9c)$$



- a. Sargı bağlantılarının gösterilmesi
b. Eşdeğer devre empedansı

Şekil 3. 2 Üç sargılı transformatör (+ dizin)

ve

$$\underline{Z}_A = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{Ac} - \underline{Z}_{BC}) \quad (10a)$$

$$\underline{Z}_B = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{AB} - \underline{Z}_{AC}) \quad (10b)$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{AC} + \underline{Z}_{Bc} - \underline{Z}_{AB}) \quad (10c)$$

Burada:

U_{rTA} = Anma gerilimi

S_{rTAB} = A ve B devreleri arasında aktarılan anma görünür güç

S_{rTAC} = A ve C devreleri arasında aktarılan anma görünür güç

S_{rTBC} = B ve C devreleri arasında aktarılan anma görünür güç

u_{krAB} = A ve B devreleri arasında anma kısadevre gerilimi, yüzde olarak

u_{krAC} = A ve C devreleri arasında anma kısadevre gerilimi, yüzde olarak

u_{krBC} = B ve C devreleri arasında anma kısadevre gerilimi, yüzde olarak

3.2.8 Hava hatları ve kablolar

$\underline{Z}_L = R_L + jX_L$ dizin kısadevre empedansları, iletkenlerin kesiti ve iletkenler arasındaki orta açıklık gibi iletken verilerinden hesaplanır.

$\underline{Z}_{(0)} = R_{(0)} + jX_{(0)}$ sıfır dizin kısadevre empedanslarının ölçülmesi için şekil 3.5d ye bakınız.

Bazen sıfır dizin empedanslarını $R(0)L/RL$ ve $X(0)L/XL$ oranlarından hesaplamak olasıdır.

AG ve YG kablolarının $Z_{(1)L}$ ve $Z_{(0)L}$ empedansları Ulusal tekniklere ve standartlara bağlıdır ve yapımcıların verilerinden veya kitaplardan alınır.

Hava hatlarının 20 °C iletken sıcaklığında R'_L birim uzunluğunun etkin direnci q_n anma kesiti ve ρ öz direncinden hesaplanabilir.

$$R'_L = \frac{\rho}{qn} \quad (11)$$

Burada:

Bakır için $\rho = 1/54 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$

Alüminyum için $\rho = 1/34 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$

Alüminyum alaşımı için $\rho = 1/31 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$

Hava hatlarının X'_L birim uzunluğunun reaktansı, hatların çaprazlandıkları varsayılırsa:

$$X'_L = 2\pi f \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{0,25}{n} + \ln \frac{d}{r} \right) = f\mu_0 \left(\frac{0,25}{n} + \ln \frac{d}{r} \right) \quad (12a)$$

bağıntısından hesaplanır.

Burada:

$d = \sqrt[n]{d_{L1L2} d_{L2L3} d_{L3L1}}$ = İletkenlerin (Sırasıyla demetlerin merkezleri) arasındaki geometrik ortalama açıklık
 r = Bir iletkenin yarıçapı. Demet iletkenlerde R demetin yarıçapı olduğuna göre, r yerine $\sqrt[n]{nrR^{n-1}}$ konur.

n = Demet iletkenlerin sayısı. Birli iletkenler için $n = 1$

Boşluğun geçirgenliği $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-4}$ H/m alınarak (12a) bağıntısı basitleştirilir ve:

$$f=50 \text{ Hz için } X'_L = 0,0628 \left(\frac{0,25}{n} + \ln \frac{d}{r} \right) \Omega/\text{km} \quad (12b)$$

$$f=60 \text{ Hz için } X'_L = 0,0754 \left(\frac{0,25}{n} + \ln \frac{d}{r} \right) \Omega/\text{km} \quad (12c)$$

3.2.9 Kısadevre akımını sınırlayan reaktans bobinleri

+, - ve sıfır dizin kısadevre empedansları, geometrik simetri varsa birbirine eşittir. Kısadevre akımını sınırlayan reaktans bobinleri kısadevre empedansının bir parçası olarak işlem görür.

3.2.10 Motorlar

Senkron motorlar senkron generatörler gibi işlem görürler.

AG ve OG şebekelerinde asenkron motorlar kısıadevre yerinde kısıadevre akımına katkıda bulunurlar. Üç fazlı dengeli kısıadevrelerde, Asenkron motorların kısıadevre akımına katkıları hızla düşer.

Asenkron motorların veya Asenkron motor kümelerinin anma akımları, motorların katkısı olmadan hesaplanan I_k'' başlangıç simetrik kısıadevre akımının %1 inden küçükse, bu akımların hesaba katılmaları gerekmez. Asenkron motorların kısıadevre akımlarının I_k'' akımına katkısı:

$$\sum I_{rM} \leq 0,01 \cdot I_k'' \quad (13)$$

ise ihmal edilir.

Burada:

$$\sum I_{rM} = \text{Kısıadevre yerinin yakınındaki motorların anma akımlarının toplamı}$$

$$I_k'' = \text{Kısıadevre yerinde motorların katılmadığı kısıadevre akımı}$$

3.2.11 Empedansların, akımların ve gerilimlerin indirgenmesi

Şebekelerde kısıadevre akımları değişik gerilim bazlarında hesaplanırsa, empedansların, akımların ve gerilimlerin bir gerilim bazından ortak bir gerilim bazına indirgenmeleri gerekir. Bağlı birim (per unit) yöntemiyle hesap yapılırsa indirgeme gerekmez.

Aygıtların empedanslarının üst veya alt gerilim devresine indirgenmesi, eğer biliniyorsa basamağın bağlı konumunda t_r anma dönüştürme oranının veya özel nedenlerle t dönüştürme oranının karesiyle çarpılarak veya bölünerek yapılır.

Gerilimler ve akımlar ise t_r anma dönüştürme oranı veya t dönüştürme oranıyla ilgilenir.

3.3 Kısadevre akımlarının hesabı

3.3.1 Dengeli kısadevreler için hesap yöntemi

3.3.1.1 Düz (Bir taraftan) beslenen üç faz kısadevre

Başlangıç simetrik kısadevre akımı I_k''

Üç faz başlangıç simetrik kısadevre akımı, şekil 3.3 e göre:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k} \quad (14)$$

olur.

Burada:

$cUn/\sqrt{3}$ =Eşdeğer gerilim kaynağı

$R_k = R_{Qt} + R_T + R_L$ =Şekil 2.3b ye göre, seri bağlı dirençlerin toplamı. R_L , 20 °C iletken sıcaklığında hattın direnci

$X_k = X_{Qt} + X_T + X_L$ =Şekil 3.3b ye göre, seri bağlı reaktansların toplamı

$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$ =Kısadevre empedansı

Burada dirençler, $R_k < 0,3X_k$ ise ihmal edilir. Transformatörün kısadevrenin baş gösterdiği devresinin geriliminin baz alındığı $Z_{Qt} = R_{Qt}+jX_{Qt}$ şebeke fideri empedansı, (5a) ve (5b) bağıntılarına ve bölüm 2.8.3.2.1 deki ek bilgilere göre hesaplanır.

Kısım 1 in uygulanma alanı:

$$I_k = I_b = I_k'' \quad (15)$$

eşitliğine dayanır.

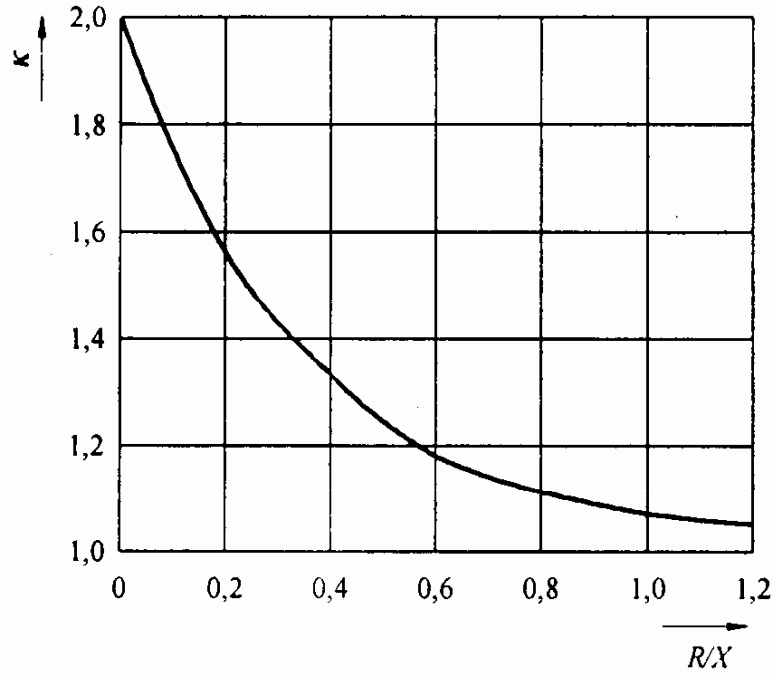
Darbe kısadevre akımı

- Seri devreden beslenen kısadevrede, darbe kısadevre akımı:

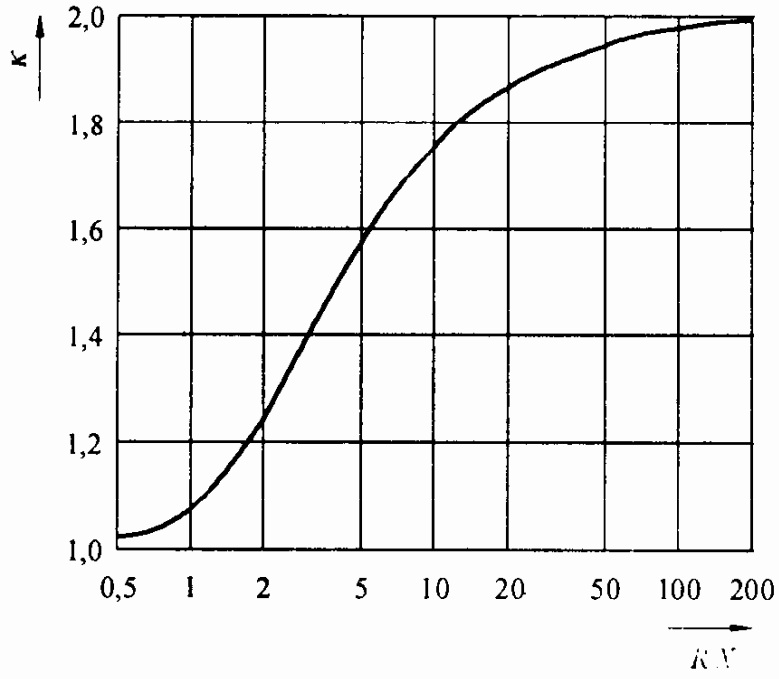
$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_k'' \quad (16)$$

bağıntısından elde edilir.

a)



b)



Şekil 3. 3 Seri devrede a) R/X ve b) X/R oranına bağlı olan κ darbe katsayısı.

R/X ve X/R oranları için κ darbe katsayısı şekil 3.8 den alınır.

Keza, κ darbe katsayısı yaklaşık olarak:

$$\kappa \cong 1,02 + 0,98e^{-3R/X}$$

bağıntısından hesaplanır.

3.3.1.2 Ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslenen üç faz kısadevre

Başlangıç simetrik kısadevre akımı

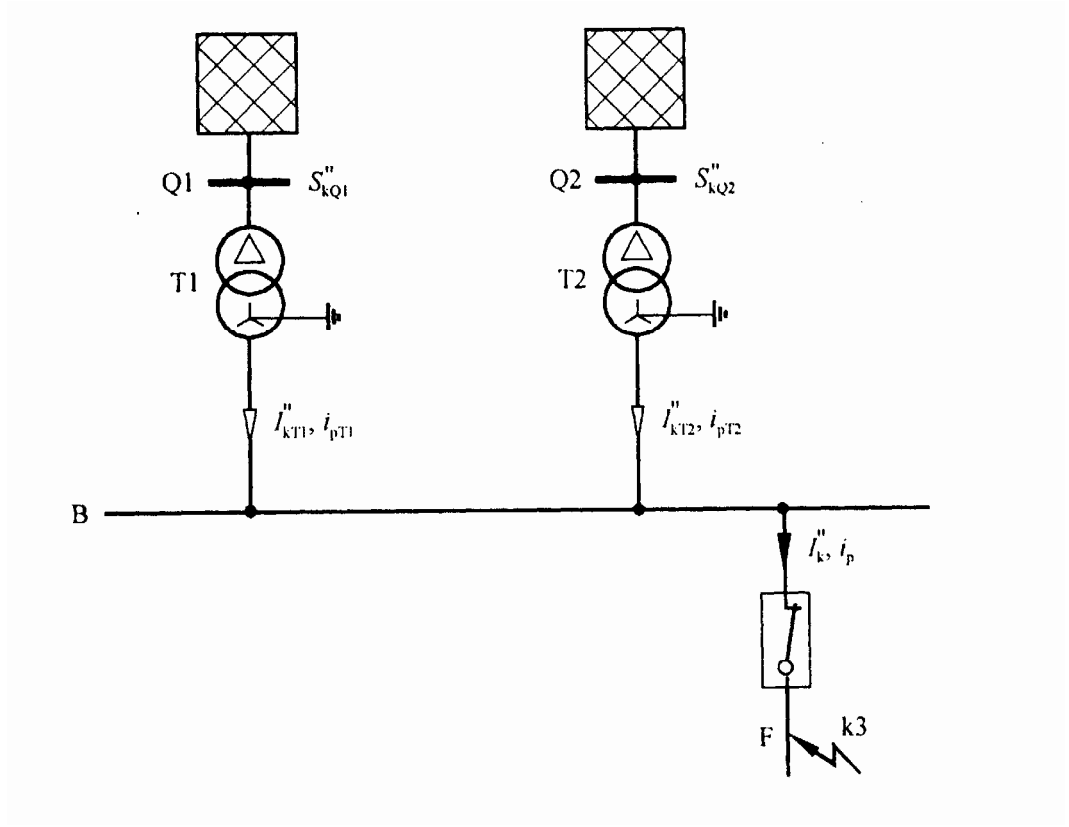
Şekil 3.9a ya göre, birbiriyle ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslenen F kısadevre yerindeki I''_k başlangıç simetrik kısadevre akımı, I_b simetrik kısadevre kesme akımı ve I_k sürekli kısadevre akımı, birbirinden bağımsız ve farklı olan kol kısadevre akımları:

$$I''_k = I''_{kT1} + I''_{kT2} \quad (17)$$

$$I_k = I_b = I''_k \quad (18)$$

Kol kısadevre akımları, düz beslemedeki üç faz kısadevre akımları gibi hesaplanır.

Not: F kısadevre yerindeki kısadevre akımı, kol kısadevre akımlarının karmaşık sayılarla toplamıdır. Genellikle, kol kısadevre akımlarının faz açıları yaklaşık eşit olduğundan, F deki kısadevre akımı kol kısadevre akımlarının cebirsel toplamına eşittir.



Şekil 3. 4 Birbirinden bağımsız değişik kaynaklardan beslenen kısadevreyi gösteren tek hat şeması.

(Bu durumlarda F kısadevre yeri ile B barası arasındaki empedans ihmal edilebilir.)

F kısadevre yeri ile B barası arasındaki empedanslar, Şekil 3.9 daki gibi birlikte akan kol kısadevre akımları $0,05 \cdot U_n / (\sqrt{3} I_{kB}'')$ den küçükse ihmal edilir. I_{kB}'' , üç faz kısadevrede, B barasında (17) bağıntısından hesaplanan başlangıç simetrik kısadevre akımıdır.

Darbe kısadevre akımı i_p

Şekil 2.9 a göre, birbiriyle ağ oluşturmeyen kaynaklardan beslenen F kısadevre yerindeki i_p darbe kısadevre akımını i_{pT1} ve i_{pT2} kol kısadevre akımlarının toplamıdır.

$$i_p = i_{pT1} + i_{pT2} \quad (19)$$

3.3.1.3 Ağ şebekelerde üç faz kısıdevreler

Başlangıç simetrik kısıdevre akımı I''_k

Şekil 3.10 daki örneğe göre, $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı, şebekede etkili tek gerilim olarak, kısıdevre yerine uygulanır.

Hesaplamalar bölümüne göre ve özellikle Şekil 3.4a ya göre yapılır.(F kısıdevre yerinde + dizin kısıdevre empedansı). Genellikle geçerli olan, şebeke dönüşümleri ile (Örneğin, seri-paralel ve üçgen-yıldız dönüşümü), elektrik aygıtlarının + dizin kısıdevre empedansları göz önüne alınarak $\underline{Z}_k = \underline{Z}_{(1)}$ kısıdevre empedansının bulunmasıdır.

Tüm empedanslarda transformatörlerin AG devresi baz alınır. Şebeke fiderleri

$$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (20)$$

Burada:

$cU_n / \sqrt{3}$ = Eşdeğer gerilim kaynağı

Z_k = Bölüm 13.8.3.1 ve Şekil 3.4 a ya göre kısıdevre empedansı

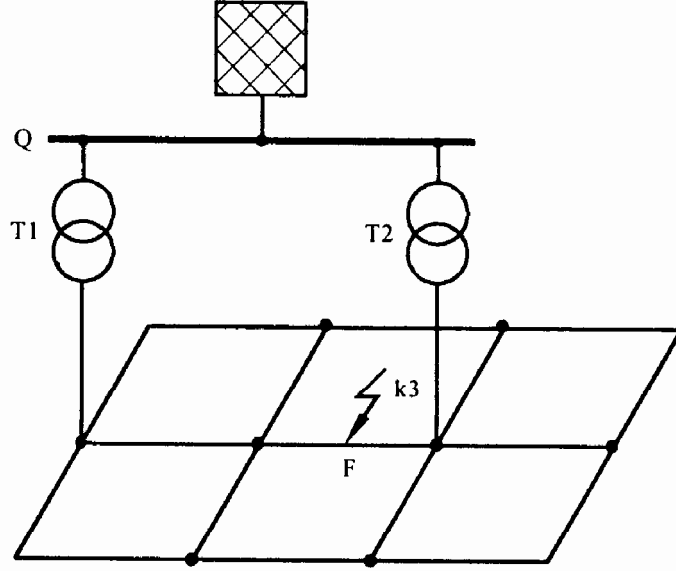
Darbe kısıdevre akımı i_p

Ağ şebekelerde i_p darbe kısıdevre akımının 16 bağıntısından hesaplanmasında, κ nın uygun değerini seçmek için aşağıdaki A, B ve C yaklaşıklıklarından biri seçilir. Yüksek doğruluk gerekmiyorsa A yöntemi yeterlidir.

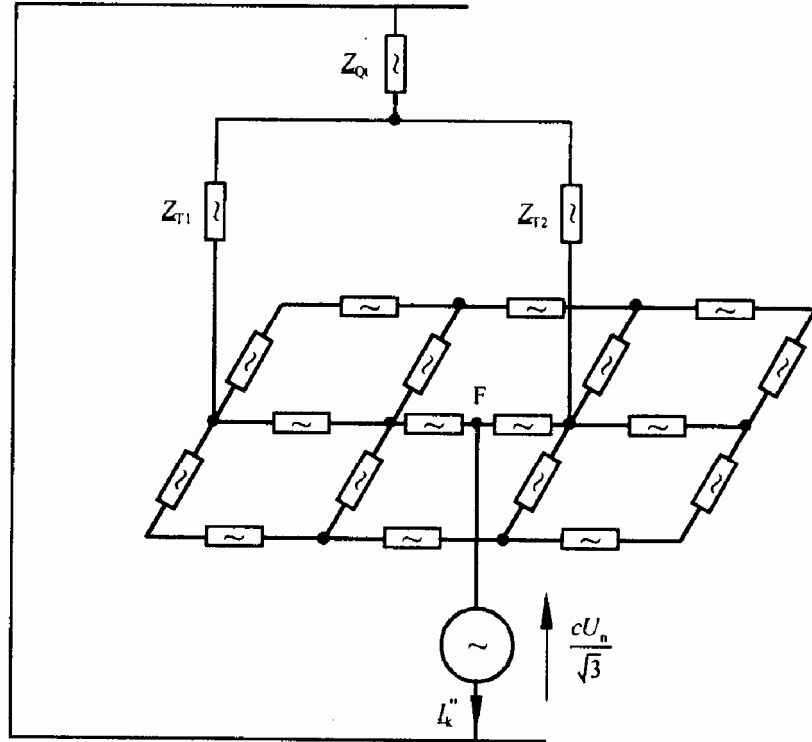
Yöntem A: Aynı R/X veya X/R oranı için $\kappa = \kappa_a$

κ darbe katsayısı, şebekenin tüm kollarında en küçük R/X veya en büyük X/R oranı alınarak şekil 8 den bulunur.

a)



b)



a) Tek hat şeması

b) Bölüm 3.6 ya göre eşdeğer gerilim kaynaklı eşdeğer devre şeması.

Şekil 3. 5 Ağ şebekede I''k başlangıç simetrik kısadevre akımının hesaplanmasını

Z_{Qt}, Z_{T1}, Z_{T2} = Transformatörlerin AG devresinin baz alındığı empedanslar açıklayıcı şekil F kısadevre yerinde kısadevre akımı, Q fider bağlantı noktası ile T1 ve T2 transformatörlerinin üzerinden akar.

Kısadevre yerindeki anma geriliminde akımın %80 ini birlikte taşıyan kolları seçmek gerekir. Her bir kol çeşitli elemanların seri birleşimi olabilir.

AG şebekelerinde κ_a nın değeri 1,8 ile sınırlıdır.

Yöntem B: Kısadevre yerinde R/X veya X/R oranı için κ darbe katsayısı:

$$\kappa = 1015\kappa_b \quad (21)$$

1,15, ağ şebekede R/X oranının kullanılmasıyla karmaşık empedansların azalmasındaki yanlışı kapatan güvence katsayısıdır.

κ_b darbe katsayısı şekil 8 den, $f=50$ Hz frekans için F kısadevre yerinde hesaplanan $\underline{Z}_k = R_k + jX_k$ kısadevre empedansından alınan R/X oranından bulunur

Elde edilen $1,15\kappa_b$ AGH şebekelerinde 1,8 ve YG şebekelerinde 2,0 ile sınırlıdır.

Yöntem C: f_c eşdeğer frekans için $\kappa = \kappa_c$ alınır. κ_c darbe katsayısı:

$$\frac{R}{X} = \frac{R_c}{X_c} \cdot \frac{f_c}{f} \quad (22a)$$

$$\frac{R}{X} = \frac{X_c}{R_c} \cdot \frac{f}{f_c} \quad (22b)$$

oranları şekil 3.8 den bulunur.

Burada:

$$\underline{Z}_c = R_c + jX_c$$

R_c = Gerçekel $\{\underline{Z}_c\} \neq R$, güç frekansında

f_c eşdeğer frekansı için kısıdevre yerinden görünen eşdeğer etkin direnç

X_c = Sanal $\{\underline{Z}_c\} \neq X$, güç frekansında

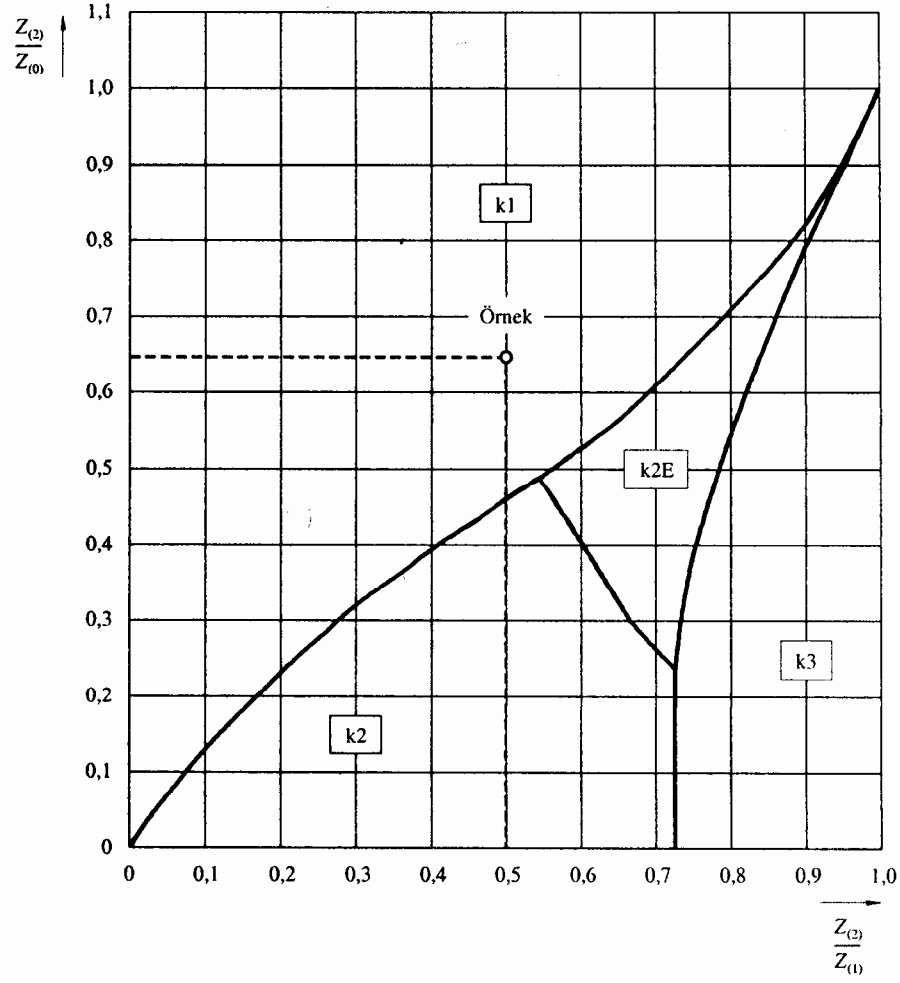
f_c eşdeğer frekansı için kısıdevre yerinden görünen eşdeğer etkin reaktans

$\underline{Z}_c = R_c + j2\pi f_c L_c$ eşdeğer empedansı, tek etkili gerilim olarak $f_c = 20$ Hz (Anma frekans 50 Hz için) veya 24 Hz (Anma frekansı 60 Hz için) frekanslı eşdeğer gerilim kaynağı uygulandığında kısıdevre yerinden görülen empedanstır.

3.4 İki faz ve faz-toprak kısıdevre akımlarının hesaplama yöntemi

Kısıdevre türleri şekil 3.2b ara 3.2d den alınır.

Şekil 3.11, eğer AA bileşeni sönüyorsa, örneğin $Z_{(2)}/Z_{(1)} < 1$ ise, hangi tür kısıdevrenin en büyük kısıdevre akımını vereceğini gösterir.



+ ve – dizinler için R/X oranları arasında küçük farklar beklenir.

- Örnek:

$Z_{(2)} = Z_{(1)} = 0,5$
 $Z_{(2)} / Z_{(0)} = 0,65$

} faz-toprak kısıadevre akımı ($k1$), en büyük kısıadevre akımını verecektir.

Şekil 3. 6 En büyük kısıadevre akımını veren kısıadevre türünü gösteren çizge

3.4.1 İki faz kısıadevre

3.4.1.1 Başlangıç simetrik kısadevre akımı I''_{k2}

Şebekenin düzenlenmesine bağlı olmadan, iki faz başlangıç kısadevre akımı:

$$I''_{k2} = \frac{cU_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} = \frac{cU_n}{2|Z_{(1)}|} \quad Z_{(1)}=Z_{(2)} \quad (23)$$

bağıntısından hesaplanır.

$Z_{(1)} = Z_k$, F kısadevre yerinde + dizin kısadevre empedansıdır.

I''_{k2} nün I''_k ye oranı, (20) ve (23) bağıntısına göre:

$$\frac{I''_{k2}}{I''_k} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (24)$$

Generatörden uzak kısadevrede, I_{k2} sürekli kısadevre akımı ve I_{b2} kısadevre kesme akımı I''_{k2} başlangıç kısadevre akımına eşittir.

$$I_{k2} = I_{b2} = I''_{k2} \quad (25)$$

3.4.1.2 Darbe kısadevre akımı i_{p2}

Darbe kısadevre akımı:

$$i_{p2} = \kappa \sqrt{2} I''_{k2} \quad (26)$$

bağıntısından elde edilir.

κ darbe katsayısı, şebekenin düzenlenmesine bağlı olarak, hesaplanır. Üç faz kısadevrede kullanılan değerin aynı alınabilir.

3.4.1.3 İki faz-toprak kısıadevre

Başlangıç simetrik kısıadevre akımı I''_{k2E} ve I''_{kE2E} : Şekil 3.2c de I''_{k2E} ve I''_{kE2E} akımlarından biri ayırt edilir. I''_{k2E} nin değeri:

$$I''_{k2EL2} = cU_n \cdot \frac{|1 + \underline{a}^2 + \underline{Z}_{(0)} / \underline{Z}_{(1)}|}{|\underline{Z}_{(1)} + 2\underline{Z}_{(0)}|} \quad (27a)$$

$$I''_{k2EL3} = cU_n \cdot \frac{|1 + \underline{a} + \underline{Z}_{(0)} / \underline{Z}_{(1)}|}{|\underline{Z}_{(1)} + 2\underline{Z}_{(0)}|} \quad (27b)$$

bağıntısından $\underline{Z}_{(1)} = Z_{(2)}$ için hesaplanır.

Şekil 2.2c ye göre, topraktan ve/veya topraklanmış iletkenlerden akan I''_{kE2E} başlangıç kısıadevre akımı:

$$I''_{kE2E} = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|\underline{Z}_{(1)} + 2\underline{Z}_{(0)}|} \quad (28)$$

bağıntısından hesaplanır.

Darbe kısıadevre akımı i_{p2E} :

$$i_{p3} \geq i_{p2E} \quad \text{veya} \quad i_{p1} \geq i_{p2E}$$

nin ikisinden biri sağlanırsa, i_{p2E} nin hesaplanması gerekmez

Faz-toprak kısıadevre akımı

Başlangıç kısıadevre akımı I''_{k1}

Şekil 2.2d ye göre faz-toprak kısıadevrede, başlangıç kısıadevre akımı:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|2Z_{(1)} + Z_{(0)}|} \quad (29)$$

bağıntısından hesaplanır.

Generatörden uzak kısıadevrede I_{k1} sürekli kısıadevre akımı ve I_{b1} kısıadevre kesme akımı I_{k1}'' başlangıç kısıadevre akımına eşittir.

$$I_{k1} = I_{b1} = I_{k1}'' \quad (30)$$

Darbe kısıadevre akımı

Darbe kısıadevre akımı:

$$I_{p1} = \kappa\sqrt{2}I_{k1}'' \quad (31)$$

bağıntısından hesaplanır.

κ darbe katsayısı, şebekenin düzenlenmesine bağlı olarak hesaplanır. Basitleştirme için, üç faz kısıadevrede kullanılan değerin aynı alınabilir.

3.5 En küçük kısıadevre akımı

3.5.1 Genel

En küçük kısıadevre akımlarının hesabında aşağıdaki koşulları göz önüne almak gerekir.

Çizelge 2.2 e göre, en küçük kısıadevre akımının hesaplanmasında kullanılan c gerilim katsayısı alınır.

Kimi durumlarda, kısıadevre yerinde en küçük kısıadevre akımını veren, bu nedenle kaynaklar ve şebeke fiderleri arasında kısıadevreye en küçük katkıda bulunan şebeke dağılımı seçilir.

-Motorlar göz önüne alınmaz.

-Hatların (Hava hatlarında ve kablolarda faz ve nötr iletkenleri) R_L dirençleri en büyük iletken sıcaklığı için hesaplanır.

$$R_L = \left[1 + \frac{0,004}{^{\circ}\text{C}} (\theta_c - 20^{\circ}\text{C}) \right] \cdot R_{L20} \quad (32)$$

Burada, R_{L20} 20 °C deki direnç ve θ_c °C cinsinden kısıadevrenin sona erdiği anda iletkenin sıcaklığıdır. 0,004/°C katsayısı bakır, alüminyum ve alüminyum alaşımları için geçerlidir.

3.5.2 Başlangıç simetrik kısıadevre akım I''_{k1}

Üç faz kısıadevre akımları hesaplanıyorsa, en küçük başlangıç kısıadevre akımını:

$$I''_{k \min} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k} \quad (33)$$

bağıntısı verir. $Z_k = Z_{(1)}$ bölüm 2.9.2 deki koşullar altındaki kısıadevre empedansıdır.

c gerilim katsayısının değeri, kısıadevre yerindeki pek çok etkene, örneğin kabloların ve hava hatlarının işletme gerilimine bağlıdır. Eğer Ulusal Standartlar yoksa, çizelge 2.2 deki değerler kullanılabilir.

Dengesiz kısıadevreler hesaplanıyorsa, $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı, $Z_{(1)} = Z_{(0)}$ empedansları yukarıdaki koşullar altında seçilir.

4. SÖNEN AA BİLEŞENİ BULUNAN KISADEVRE AKIMLARI İÇEREN DİZGELER (GENERATÖRE YAKIN KISADEVRELER)

4.1 Genel

Bu kısımda, sönen AA bileşenleri bulunan kısıadevre akımları içeren şebekelerdeki hesap işlemleri verilir. Motorların etkisi de göz önüne alınır.

Senkron ve Asenkron motorların kısıadevre akımlarına katkısı, motorların katkısı olmayan I'_k başlangıç simetrik kısıadevre akımının %5 inden büyükse, bu kısıadevre akımlarının hesabı için işlemler verilir.

4.2 Kısıadevre parametreleri

4.2.1 Genel

Generatörlerden, güç santrallerinden ve motorlardan (Generatöre yakın kısıadevre) beslenen kısıadevre akımlarının hesabında, yalnız I'_k başlangıç simetrik kısıadevre akımını ve i_p darbe kısıadevre akımının bilinmesi yetmez; keza, I_b simetrik kısıadevre akımını da bilmek gerekir.

Genellikle, I_b simetrik kısıadevre kesme akımı I'_k başlangıç simetrik kısıadevre akımından küçüktür. Normal olarak I_k sürekli kısıadevre akımı da I_b simetrik kısıadevre kesme akımından küçüktür.

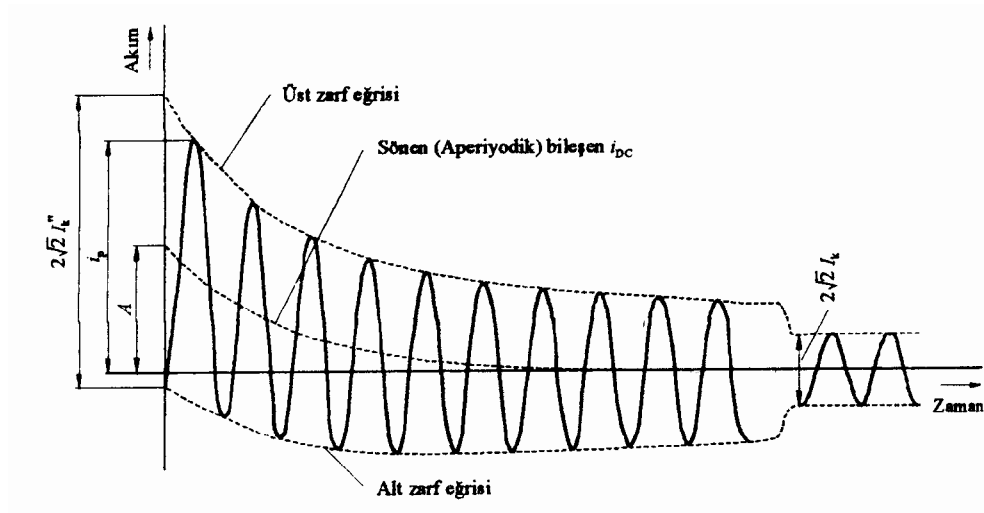
Çokluk, özellikle kısıadevre akımlarının mekanik etkileri incelendiğinde, AA ve DA kesme akımı bileşenleri içeren asimetrik kesme akımını saptamak gerekir. i_{DC} sönen aperiodyik bileşen bölüm 3.5 e göre hesaplanır.

Generatöre yakın kısıadevre nedeniyle beklenen kısıadevre akımı aşağıdaki iki bileşenin toplamı olarak hesaba katılır.

- Kısıadevre esnasında sönen genlikli AA bileşeni,

- A başlangıç değerinden başlayarak sıfıra düşen aperiodyk bileşen.

Generatöre yakın kısıdevrede, kısıdevre akımı genellikle şekil 3.12 deki gibi değişir. Kimi özel durumlarda, sönen kısıdevre akımı ilk anda sıfırdan geçebilir ve birkaç periyot sonra gerçek konumunu alır. Bu senkron, makinanın DA zaman sabiti geçiş zaman sabitinden büyükse olasıdır bu olay, bu standartta kısıdevre akımlarının hesabında ayrıntılı olarak ortaya konmamaktadır.



I'_k = Başlangıç simetrik kısıdevre akımı

i_p = Darbe kısıdevre akımı

I_k = Sürekli kısıdevre akımı

i_{DC} = Kısıdevre akımının sönen (Aperiodyk) bileşeni

Şekil 4. 1 Generatöre yakın kısıdevrede kısıdevre akımı

Kısıdevre akımları şekil 3.13 deki gibi, bir veya daha çok kaynak içerir. Bu şekil aynı zamanda, bu kısım bölümlerinde anlatılan kısıdevre akımı hesabının yapılmasına yardımcı olur. Üç faz kısıdevre akımlarının hesabı için alt bölümler:

-Şekil 2.13 a'nın 2.şıkında gösterilen durum için Düz beslemede

-Şekil 2.13 a'nın 2.şıkında gösterilen durum için üç faz kısıadevre

-Karışık besleme varsa düzenlen ve şekil 3.13b, 3.13c de sırasıyla gösterilen durum için (Ağ oluşturmayan kaynaklardan beslemede üç faz kısıadevre)

-Şekil 2.13d de gösterilen genelleştirilmiş durum için (Ağ şebekelerde üç faz kısıadevre)

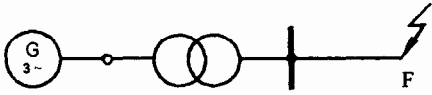
a) Düz beslenen kısıadevre.

Hesap, ayıt 12.2.1, 12.2.2, 12.3 ve 12.4 e göre yapılır.

1. Bir generatörden (Transformatörsüz) beslenen kısıadevre.

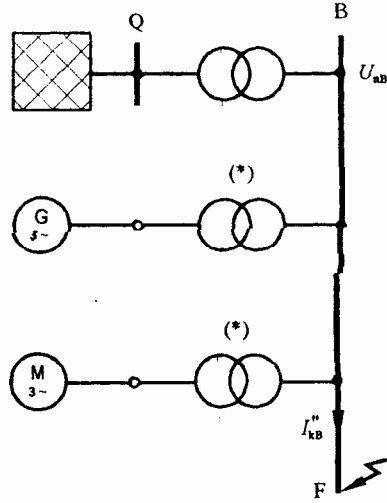


2. Bir güç santralinden (Generatör ve yükseltici transformatör) beslenen kısıadevre.



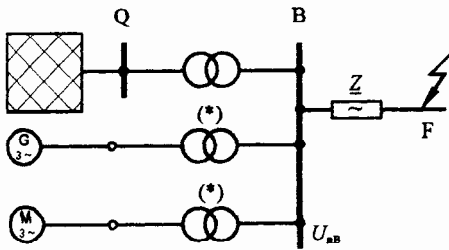
b) Ağ oluşturmamayan kaynaklardan beslenen kısıadevre.

Hesap, ayıt 12.2.3, 12.3 ve 12.4 e göre yapılır.



c) Birçok kaynaktan ve ortak Z empedansı üzerinden beslenen kısıadevre.

Hesap, ayıt 12.2.3, 12.2.4, 12.3 ve 12.4 e göre yapılır.



Eğer:

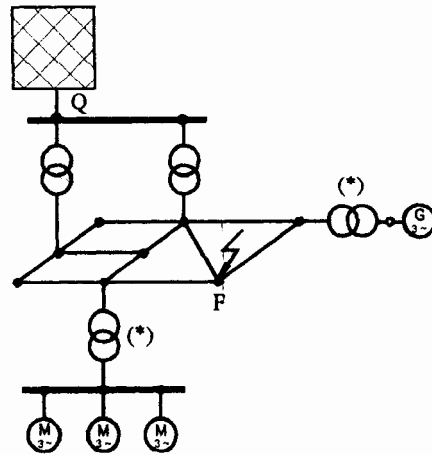
$$Z < 0,05 \frac{U_{nB}}{\sqrt{3}I''_{kB}}$$

ise Z savsaklanabilir.

I''_{kB} , şekil 13b ye göre hesaplanır.

d) Ağ şebekelerde kısıadevre.

Hesap, ayıt 12.2.4, 12.3 ve 12.4 e göre yapılır.



(*) Generatörler ve motorlar transformatörsüz bağlanabilirler.

Şekil 4. 2 Çeşitli kısadevre besleme bağlantıları.

4.2.2 Dengesiz kısadevre

Bölüm 3.2.2 deki açıklamalar yeterlidir.

4.2.2.1 Kısadevre yerindeki eşdeğer gerilim kaynağı

F kısadevre yerindeki kısadevre akımı tün durumlarda, generatörlerin ve güç santralindeki generatörler ile yükseltici transformatörlerin empedansları için düzeltme katsayıları hesaba katılırsa, $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı yardımıyla hesaplanır. $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı için ayrıntılar bölüm 3.6 ve çizelge 2.2 de verilmiştir.

Bu yöntemde, kısadevre yerindeki $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı şebekede etkili olan tek gerilimdir. Tüm senkron ve Asenkron makinaların iç gerilimleri sıfır alınır. Bu nedenle, senkron makinalar yalnız geçiş empedansları ile etkili olurlar.

Ayrıca, bu yöntemde tüm hat kapasitansları ve döner olmayan yüklerin paralel admitansları sıfır dizin dışında ihmal edilecektir.

Motorların katkısı için ayrıntılar bölüm 3.2.10 d0 verilmiştir.

4.2.2.2 Kısadevre empedansları

Bölüm 3.3.2 e ek olarak, generatörlerin ve motorların empedansları hesaba katılır. Şebeke fiderlerinin, şebeke transformatörlerinin, hava hatlarının ve kabloların empedansları akım sınırlayıcı reaktans bobinlerinde olduğu gibi geçerlidir.

Elektrik aygıtlarının kısadevre empedansları

Şebeke fiderleri

Bölüm 3.2.6 da verilen açıklamalar geçerlidir.

Transformatörler

Bölüm 3.27 de verilen açıklamalar geçerlidir. Güç santrallerine ait yükseltici transformatörler bu kapsamda değildir.

Hava hatları ve kablolar

Bölüm 3.2.8 de verilen açıklamalar geçerlidir.

Kısadevre akımın sınırlayan reaktans bobinleri

Bölüm 3.2.9 da verilen açıklamalar geçerlidir.

Motorlar

I'_k üç faz başlangıç kısadevre akımının hesabında senkron motorlar ve senkron kompensatörler senkron generatörler gibi işlem görürler

Asenkron motorların + ve – dizinde $\underline{Z}_M = R_M + jX_M$ empedansı:

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} I_{rM}} = \frac{1}{I_{LR} / I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (34)$$

bağıntısından hesaplanır.

Burada:

U_{rM} = Motorun anma gerilimi

I_{rM} = Motorun anma akımı

S_{rM} = Motorun anma gücü $S_{rM} = P_{rM}/(\eta_r \cos \phi_r)$

I_{LR}/I_{rM} = Motorun kilitli rotor akımının anma akımına oranı

Yeter doğrulukla aşağıdaki değerler alınır:

Çift kutup başına P_{rM} gücü ≥ 1 MW $R_M/X_M = 0,10$ } burada $X_M = 0,995Z_M$
Olan YG motorlar için

Çift kutup başına P_{rM} gücü < 1 MW $R_M/X_M = 0,15$ } burada $X_M = 0,989Z_M$
Olan YG motorlar için

Besleme kablolarıyla birlikte $R_M/X_M = 0,1$ } burada $X_M = 0,995Z_M$

AG motor kümeleri

Kısadevre akımlarının hesabında Asenkron motorların ve Asenkron motor kümelerinin göz önüne alındığı veya alınmadığı durumlar için ayrıntılar 3.2.6 da verilmiştir.

Kısadevre akımlarının hesabında tahrikleri besleyen statik konvertörler için asenkron motorlardakine benzer yol izlenir. Tahriklerin beslendiği statik konverterler için aşağıdaki uygulamalar yapılır:

Z_M = Bağntı (34) deki gibi

U_{rM} = Şebeke tarafındaki statik konverter transformatörünün veya bu transformatör yoksa statik konverterin anma gerilimi

I_{rM} = Şebeke tarafındaki statik konverter transformatörünün veya bu transformatör yoksa statik konverterin anma akımı

$$I_{LR}/I_{rM} = 3$$

$$R_M/X_m = 0,10 \text{ keza } X_M = 0,995Z_M$$

Şebekeye doğrudan bağlı generatörler

Yükseltici transformatörler olmadan generatörlerden beslenen şebekelerde, örneğin endüstri veya AG şebekelerinde, + dizin şebekesinde, üç faz başlangıç simetrik kısıadevre akımlarının hesabında:

$$\underline{Z}_{GK} = K_G \underline{Z}_G = K_G (R_G + jX_d'') \quad (35)$$

empedansı ile birlikte:

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \sin \varphi_{rG}} \quad (36)$$

düzeltilme katsayısı alınır.

Burada :

$c_{\max}$ = Çizelge 2.2 e göre gerilim katsayısı

U_n = Şebekenin anma gerilimi

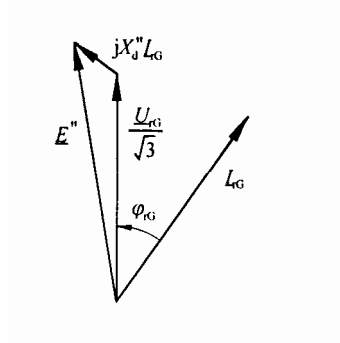
U_{rG} = Generatörün düzeltilmiş katsayısı

$\underline{Z}_{GK}$ = Generatörün düzeltilmiş empedansı

$\underline{Z}_G$ = Generatörün empedansı ($\underline{Z}_G = R_G + jX_d''$)

x_d'' = Generatörün, anma empedansının baz alındığı başlangıç reaktansı ($x_d'' = X_d'' / Z_{rG}$)

φ_{rG} = I_{rG} ve $U_{rG}/\sqrt{3}$ arasındaki faz açısı



Şekil 4. 3 Senkron generatörün anma değerinde döner yöney çizgisi

Senkron generatörün E'' başlangıç geriliminin yerine $cUn/\sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağının konmasında, generatörün Z_{GK} düzeltilmiş empedansının hesabı için K_G düzeltme katsayısının alınması önerilir.

Yeter doğrulukla aşağıdaki değerler alınır:

$U_{RG} > 1 \text{ kV}$ ve $S_{RG} \geq 100 \text{ MVA}$ olan generatörler için $R_G = 0,05X_d''$

$U_{RG} > 1 \text{ kV}$ ve $S_{RG} < 100 \text{ MVA}$ olan generatörler için $R_G = 0,07X_d''$

$U_{RG} \leq 1000 \text{ V}$ olan generatörler için $R_G = 0,15X_d''$

Ayrıca, AA bileşeninin sönümünde 0,05, 0,07 ve 0,15 katsayıları, kısıadevre baş gösterdikten sonraki ilk yarım periyot esnasında kısıadevre akımının AA bileşeninin sönümünü de hesaba katar. R_G üzerinde değişik sargı sıcaklıklarının etkisi göz önüne alınmaz.

Not: Senkron makinaların statorunun etkin direnci, genellikle R_G için verilen değerin çok altında bulunur.

Senkron generatörlerin – ve sıfır dizin şebekedeki empedansları için:

$$\underline{Z}_{(2)G} = \underline{Z}_{GK} = K_G \underline{Z}_G \quad (37)$$

Çıkık kutuplu senkron makinalarda, farklı iki X''_d ve X''_q değeri için

$$X_{(2)G} = \frac{1}{2}(X''_d + X''_q).$$

$$\underline{Z}_{(0)G} = K_G (R_{(0)G} + jX_{(0)G}) \quad (38)$$

İki faz ve faz-toprak kısıdevresinde kısıdevre akımlarının hesabı için (36) bağıntısına göre düzeltme katsayısı hesaba katılacaktır.

Güç santrallerindeki generatörler ve yükseltici transformatörler

Bu durumda, güç santrallerinde generatörlerin ve yükseltici transformatörlerin empedanslarının düzeltme katsayıları için:

$$\underline{Z}_{G,PSU} = K_{G,PSU} \underline{Z}_G \quad (39)$$

ile birlikte düzeltme katsayısı:

$$K_{G,PSU} = \frac{c_{\max}}{1 + X''_d \sin \varphi_{rG}} \quad (40)$$

$$\underline{Z}_{T,PSU} = K_{T,PSU} \underline{Z}_{TLV} \quad (41)$$

düzeltme katsayısı:

$$K_{T,PSU} = c_{\max} \quad (42)$$

alınır.

Burada:

$\underline{Z}_{G,PSU}, \underline{Z}_{T,PSU}$ =Güç santrallerinde generatörlerin (G) ve yükseltici transformatörlerin (T) düzeltilmiş empedansları

$\underline{Z}_G$ = Generatörün empedansı $\underline{Z}_G = R_G + jX_d''$

$\underline{Z}_{TLV}$ = Yükseltici transformatörün, AG devresinin baz alındığı empedansı

X_d'' = Generatörün anma empedansının baz alındığı başlangıç reaktansı

φ_{rG} = $\underline{I}_{rG}$ ve $\underline{U}_{rG}/\sqrt{3}$ arasındaki faz açısı

Gerekirse, $\underline{Z}_{G,PSU}$ ve $\underline{Z}_{T,PSU}$ empedansları TG devresine t_f düşümsel dönüştürme oranının karesiyle indirgenir.

Güç santralinde generatörle yükseltici transformatör arasındaki kısadevrelerde kısadevre akımlarının hesabı için, kısadevre yerinde $cU_n/\sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı önerilir. Bu durumda anma şebeke gerilimi tanımlanamayacağı için, generatörün anma gerilimi seçilir.

Not 1: (40) ve (42) bağıntıları, $U_Q=U_{nQ}$ ve $U_G=U_{rG}$ ise geçerlidir. Basamak değıştircili yükseltici transformatör bulunan güç santralinde U_{Qmin} işletme gerilimi sürekli olarak U_{nQ} ($U_{Qmin}>U_{nQ}$) den büyük ise ve/veya generatörün U_G gerilimi U_{rG} ($U_G > U_{rG}$) den farklılık gösteriyorsa veya basamak değıştircisiz yükseltici transformatör bulunan güç santralinde generatörün U_G gerilimi sürekli olarak U_{rG} ($U_G>U_{rG}$) den büyükse özel incelemeler yapmak gerekir.

2: - ve sıfır dizin empedansları için düzeltme katsayıları

Güç santralleri

Güç santrallerinin YG devresindeki kısadevrelerde kısadevre akımlarının hesabı için, düzeltme katsayılarının alınması gerekmez. Bu durumda, güç santralinin (PSU) tamamının empedansının düzeltilmesi için:

$$\underline{Z}_{PSU} = K_{PSU} (t_r^2 \underline{Z}_G + \underline{Z}_{THV}) \quad (43)$$

ile düzeltme katsayısı:

$$K_{PSU} = \left(\frac{t_f}{t_r} \right)^2 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + (x_d'' - x_T) \sin \varphi_{rG}} = \frac{U_{nQ}^2}{U_{rG}^2} \cdot \frac{U_{rTLV}^2}{U_{rTHV}^2} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + (x_d'' - x_T) \sin \varphi_{rG}} \quad (44)$$

alınır.

Burada:

Z_{PSU}	= Güç santralının YG devresinin baz alındığı düzeltilmiş empedans
Z_G	= Generatörün empedansı $Z_G = R_G + jX_d''$
Z_{THV}	= Yükseltici transformatörün YG devresinin baz alındığı empedansı
U_{nQ}	= Güç santralının Q bağlantı noktasında anma şebeke gerilimi
t_r	= Basamak değiştiricinin normal konumunda anma dönüştürme oranı
t_f	= Düşünsel dönüştürme oranı $t_f = U_n / U_{rG} = U_{nQ} / U_{rG}$
x_d''	= Generatörün anma empedansının baz alındığı başlangıç reaktansı
φ_{rG}	= I_{rG} ve $U_{rG}/\sqrt{3}$ arasındaki faz açısı

Not 1: (44) bağıntısı, $U_Q=U_{nQ}$ ve $U_G=U_{rG}$ ise geçerlidir. Basamak değiştiricili yükseltici transformatör bulunan güç santralinde U_{Qmin} işletme gerilimi sürekli olarak U_{nQ} ($U_{Qmin}>U_{nQ}$) den büyük ise ve/veya generatörün U_G gerilimi U_{rG} ($U_G > U_{rG}$) den farklılık gösteriyorsa veya basamak değiştiricisiz yükseltici transformatör bulunan güç santralinde generatörün U_G gerilimi sürekli olarak U_{rG} ($U_G > U_{rG}$) den büyükse özel incelemeler yapmak gerekir.

2: - ve sıfır dizin empedansları için düzeltme katsayıları

4.2.3 Empedansların, akımların ve gerilimlerin indirgenmesi

Bölüm 3.2.11 de verilen açıklamalar aynen geçerlidir.

4.3 Kısadevre akımlarının hesabı

4.3.1 Genel

Kısadevre yerinde I''_k başlangıç simetrik kısadevre akımının, I_b simetrik kısadevre akımının ve I_k sürekli kısadevre akımının hesabı için şebeke, dönüştürmeler yapılarak Z_k eşdeğere kısadevre empedansına indirgenir. Bu işlem, i_p darbe kısadevre akımı hesaplanacaksa yapılmaz. Bu durumda, şebekeler arasında paralel ve paralel olmayan kolları göz önüne almak gerekir.

4.3.2 Dengeli kısadevreler için hesap yöntemi

4.3.2.1 Bir generatörden beslenen kısadevre

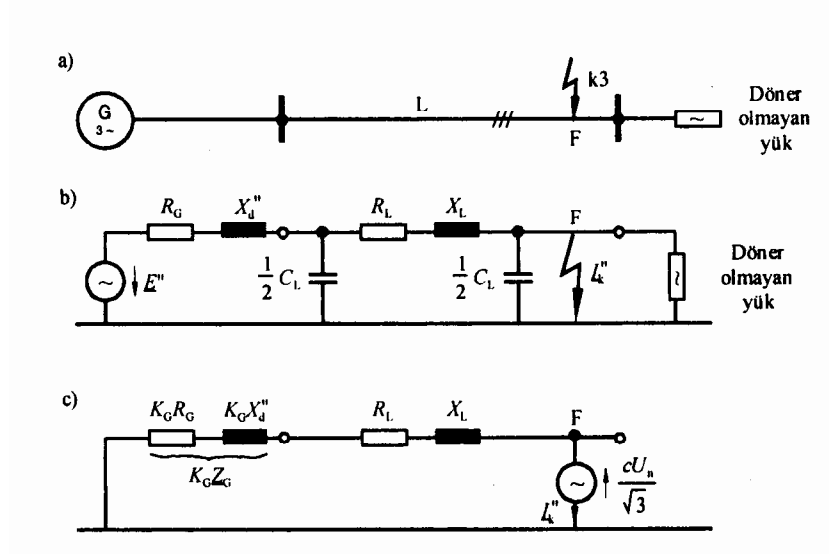
Başlangıç simetrik kısadevre akımı

Şekil 3.13a'nın 2. şikkındaki ve şekil 3.15 deki örnek için başlangıç simetrik kısadevre akımı, kısadevre yerindeki $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı ve $Z_k = R_k + jX_k$ kısadevre empedansı ile hesaplanır.

$$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (45)$$

En büyük kısadevre akımının hesabı için, c gerilim katsayısının değeri çizelge 2.2 den alınır.

Not : Genellikle bu değer, generatörün U_{rG} anma gerilimi U_n anma şebeke geriliminden %5 büyükse alınabilir.



- a) Tek hat şeması
- b) Generatörün E'' başlangıç gerilimi ile eşdeğer devre (+ dizin şebeke)
- c) Eşdeğer gerilim kaynağı

Şekil 4. 4 Bir generatörden doğrudan beslenen kısıdevrede I_k'' başlangıç simetrik kısıdevre akımının hesabı için örnek

Darbe kısıdevre akımı

Darbe kısıdevre akımının hesabı bölüm 3.4.1.2 de gösterildiği gibi yapılır. Generatör için, düzeltilmiş direnç $K_G R_G$ ve düzeltilmiş empedans $K_G X_d''$ kullanılır.

Simetrik kısıdevre kesme akımı I_b

Simetrik kısıdevre kesme akımında sönüm μ katsayısı ile hesaba katılır.

$$I_b = \mu I_k'' \quad (45)$$

burada μ , $t_{\min}$ en küçük zaman gecikmesine ve I_k'' / I_{rG} oranına bağlıdır.

Aşağıdaki bağıntılardan alınan μ değerleri, OG turbo generatörlere, döner veya statik konverter uyartaçlarla (Statik uyartaçlarda en küçük zaman gecikmesi 0,25 sn den küçük ve en büyük uyarma gerilimi anma yükte uyarma geriliminin 1,6 katından küçük olması koşuluyla) uyarılan çıkık kutuplu generatörlere ve senkron kompensatörlere uygulanır.

Tüm diğer durumlarda, tam değer bilinmiyorsa, μ nün değeri $\mu=1$ olarak alınır.

$$t_{\min} = 0,02 \text{ sn için } \mu = 0,84 + 0,26e^{-0,26I_{kG}'' / I_{rG}}$$

$$t_{\min} = 0,05 \text{ sn için } \mu = 0,71 + 0,51e^{-0,30I_{kG}'' / I_{rG}}$$

$$t_{\min} = 0,10 \text{ sn için } \mu = 0,62 + 0,72e^{-0,32I_{kG}'' / I_{rG}}$$

$$t_{\min} \geq 0,25 \text{ sn için } \mu = 0,56 + 0,94e^{-0,38I_{kG}'' / I_{rG}}$$

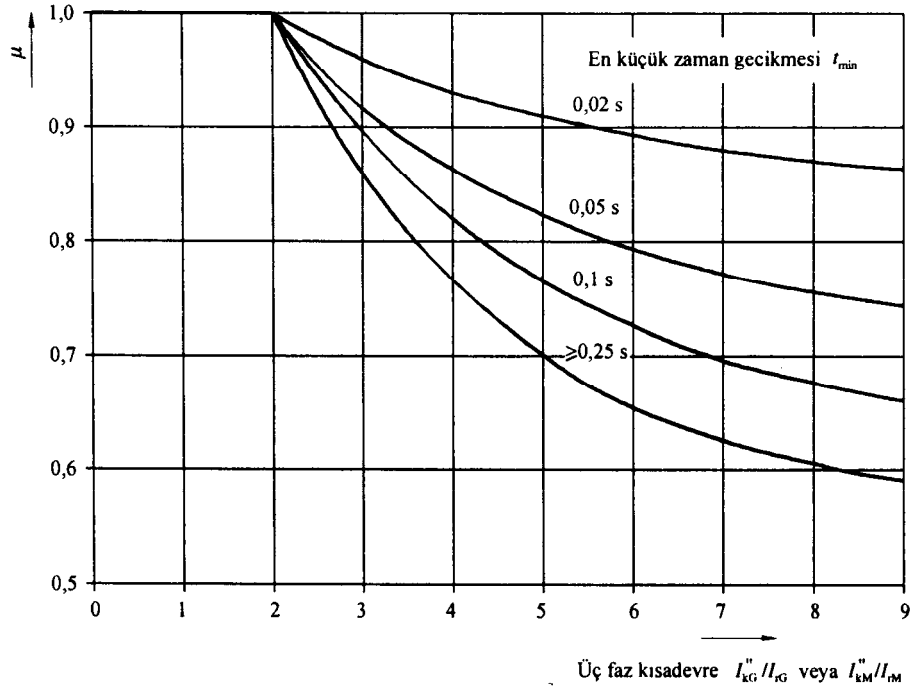
(47)

I_{kG}'' (Generatörün uçlarındaki bölünmüş kısadevre akımı) ve I_{rG} nin değeri aynı gerilimle ilgilidir. Asenkron motorların olması durumunda I_{kG}'' / I_{rG} yerine I_{kM}'' / I_{rM} alınır.

$I_{kG}'' / I_{rG} \leq 2$ ise, her $t_{\min}$ zaman gecikmesi için $\mu=1$ uygulanır.

μ katsayısı şekil 3.16 dan, x ekseninde üç faz kısadevre akımı alınarak bulunur. diğer en küçük zaman gecikmesi değerleri için eğriler arasındaki ara değerler yaklaşık olarak alınır.

Şekil 3.16, en küçük zaman gecikmesi $t_{\min} \leq 0,1$ sn için komput uyarmalı AG generatörlerine de uygulanabilir. $t_{\min} > 0,1$ den sonraki zaman gecikmelerinde AG kesme akımlarının hesabı burada verilen işlemleri içermez, ancak Generatör yapımcılarına bilgi almak için başvurulabilir.



Şekil 4. 5 I_b kısıadevre kesme akımının hesabı için μ katsayısı

Sürekli kısıadevre akımı I_k

I_k sürekli kısıadevre akımının genliği doyma etkilerine ve şebekenin bağlama koşulundaki değişikliklere bağlı olduğundan, bunun hesabındaki doğruluk I''_k başlangıç simetrik kısıadevre akımından daha azdır. Burada verilen hesap yöntemleri, sırasıyla bir generatörden veya bir senkron makinadan beslenen kısıadevre durumunda, üst ve alt sınır değerler için yeterli bir tahmin verebilir.

a) *En büyük sürekli kısıadevre akımı $I_{k\max}$*

En büyük sürekli kısadevre akımı için, senkron generatörün en yüksek uyarısında aşağıdaki bağıntı yazılır:

$$I_{k \max} = \lambda_{\max} I_{rG} \quad (48)$$

$\lambda_{\max}$, turbo generatörler veya çıkı kutuplu makinalar için şekil 3.17 veya 3.18 den alınır. x_{dsat} (sat=doymuş) kısadevre oranına karşılıktır.

Seri 1 deki $\lambda_{\max}$ eğrileri, turbo alternatörlerde anma yükte ve güç katsayısında anma uyarmasının 133 katı veya çıkı kutuplu makinalarda anma uyarmasının 1,6 katı olan olası en büyük uyarma geriliminde değerlendirilmiştir.

Seri 2 deki $\lambda_{\max}$ eğrileri, turbo alternatörlerde anma yükte ve güç katsayısında anma uyarmasının 1,6 katı veya çıkı kutuplu makinalarda anma uyarmasının 2,0 katı olan olası en büyük uyarma geriliminde değerlendirilmiştir

.

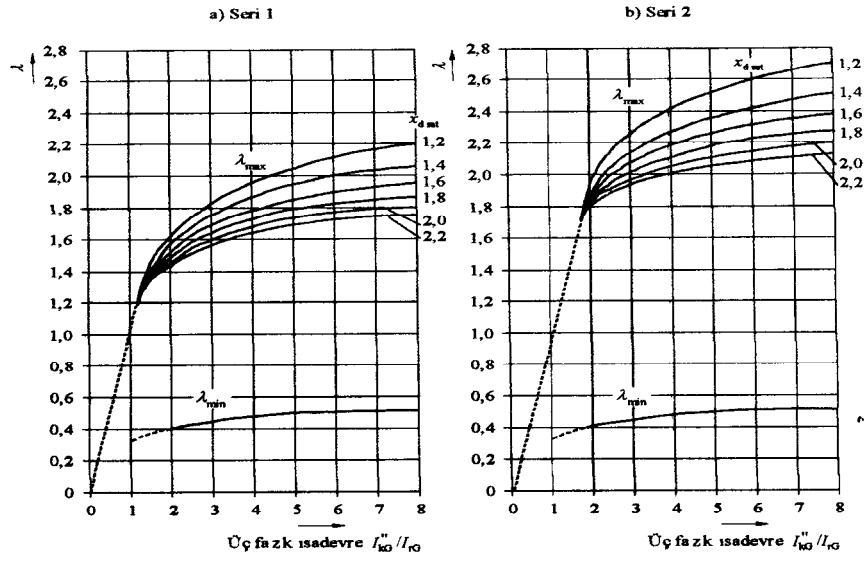
b) En küçük sürekli kısadevre akımı $I_{k \min}$

En küçük sürekli kısadevre akımı için, senkron makinanın sabit boşta uyarıldığı varsayılır.

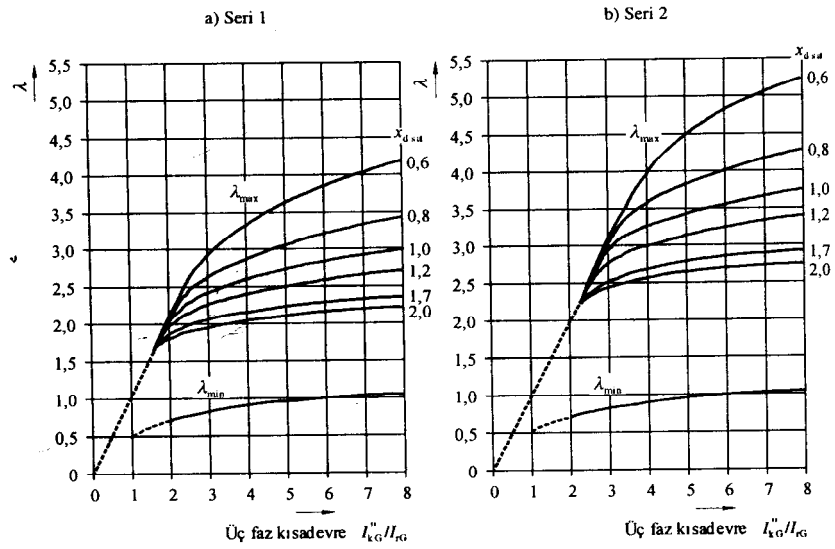
$$I_{k \min} = \lambda_{\min} I_{rG} \quad (49)$$

$\lambda_{\min}$ turbo generatörler veya çıkı kutuplu makinalar için şekil 3.17 ve 3.18 den alınır.

Not : Baradan beslenen akım zorlamasız statik uyartaçlar için, üç faz bara kısadevresinde en küçük sürekli kısadevre akımı sıfırdır.



Şekil 4. 6 Turbo generatörler için λ_{max} ve λ_{min} katsayıları. (Seri 1 ve 2 için açıklamalar metin içinde verilmiştir.)



Şekil 4. 7 Çıkık kutuplu makinalar için λ_{max} ve λ_{min} katsayıları. (Seri 1 ve 2 için açıklamalar metin içinde verilmiştir.)

4.3.2.2 Bir güç santralinden beslenen kısıadevre

Başlangıç simetrik kısadevre akımı I_k''

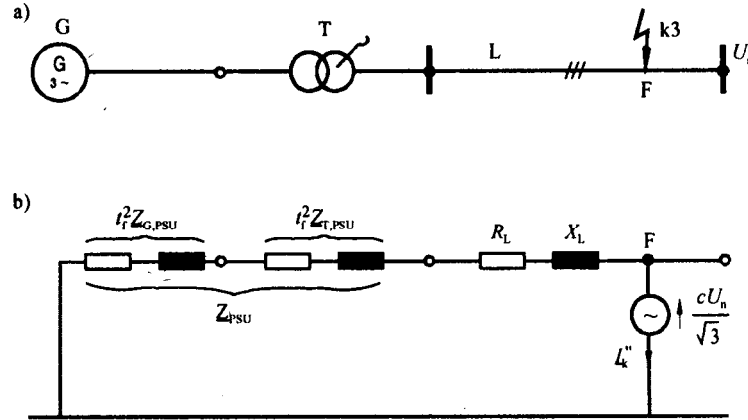
Şekil 3.13 a'nın 2. şıkkındaki ve şekil 3.19'daki örnekler için, başlangıç simetrik kısadevre akımı kısadevre yerindeki $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı ve güç santraline ait generatörün ve yükseltici transformatörün düzeltilmiş empedansları ve $\underline{Z}_L = R_L + jX_L$ olan seri bağlı hat empedansı ile hesaplanır.

Başlangıç simetrik kısadevre akımının hesabı için (45) bağıntısı kullanılacaktır.

Şekil 3.19'daki örnek için kısadevre empedansı aşağıda verilmiştir.

$$\underline{Z}_k = R_k + jX_k = t_f^2 \underline{Z}_{G,PSU} + t_f^2 \underline{Z}_{T,PSU} + \underline{Z}_L \quad (50)$$

$\underline{Z}_{G,PSU}$ (39) ve $\underline{Z}_{T,PSU}$ (41) bağıntısından bulunur. Her iki empedans $t_f = U_n / U_{TG}$ düşünsel dönüştürme oranıyla YG devresine indirgenir.



- a) Tek hat şeması
- b) Güç santraline ait Generatör ve yükseltici transformatörünün düzeltilmiş empedansları ve kısadevre yerinde eşdeğer gerilim kaynağı ile hesap yapmak için + dizin şebekenin eşdeğer devre şeması

Şekil 4. 8 Güç santralinden beslenen I''_k başlangıç simetrik kısadevre akımının hesabı için örnek

Şekil 4.8 deki örnek için kısadevre empedansı verilmiştir.

$$\underline{Z}_k = R_k + jX_k = \underline{Z}_{PSU} + \underline{Z}_L \quad (51)$$

Z_{PSU} (43) bağıntısından bulunur.

Darbe kısadevre akımı i_p

Bölüm 3.4.1.2 ye göre hesap yapılır. Güç santralleri için düzeltilmiş direnç ve düzeltilmiş reaktans kullanılır.

Simetrik kısadevre kesme akımı I_b

Simetrik kısadevre kesme akımının hesabı, (47) bağıntısından veya şekil 3.16 dan bulunan μ ile yapılır. I''_{kG} nün yerine $I''_{kPSUt} = t_r I''_{Kpsu}$ konur.

Sürekli kısadevre akımı I_k

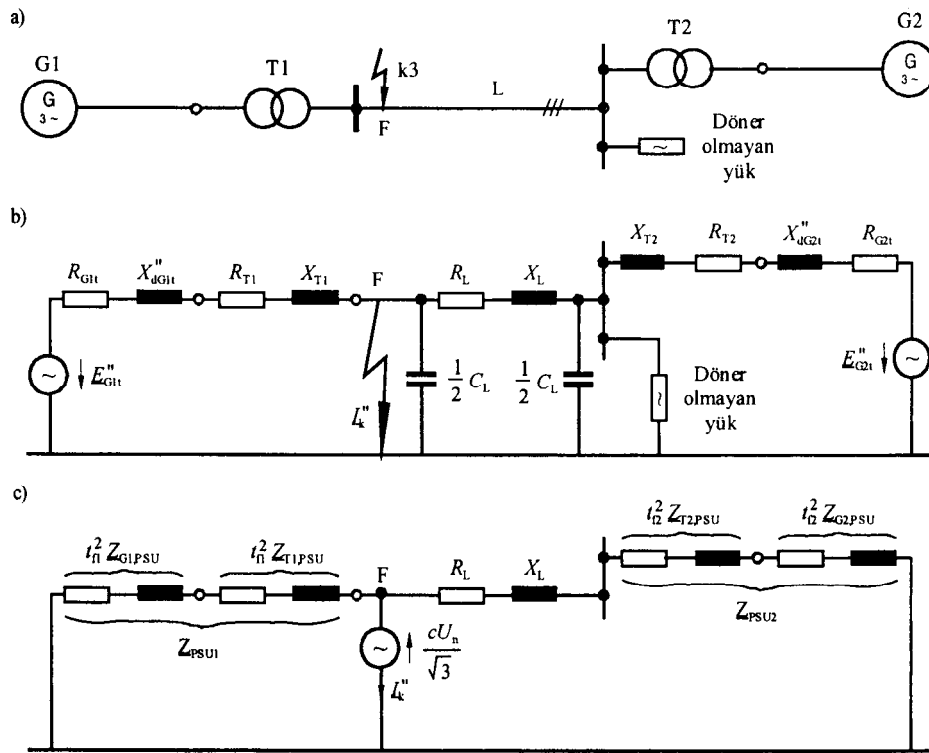
Kısadevre bir güç santralinden besleniyorsa, hesap yapılabilir. I''_{kG} nün yerine $I''_{kPSUt} = t_r I_{kPSU}$ konur.

4.3.3 Ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslenen üç faz kısadevre

4.3.3.1 Genel

Keza, ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslenen kısıdevrelerde, tüm kısıdevreler doğrudan ortak $\underline{Z}$ empedansı üzerinden beslendiğinde, eğer $Z < 0,05 U_{nB} / (\sqrt{3} I''_{kB})$ ise, hesap bu bölümde verilen işlemlere göre yapılabilir.

Genellikle, kısıdevre yerine $cU_n/\sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı konur. U_n , kısıdevre baş gösterdiğinde şebekenin anma gerilimidir. Kısıdevreyi doğrudan besleyen generatörler (transformatörsüz), güç santralleri hesaba katılan asenkron motorlar göz önüne alınırlar.

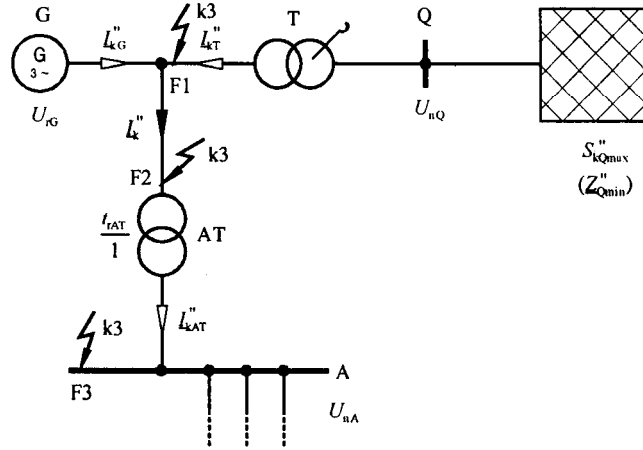


a) Tek hat şeması

b) E'' başlangıç gerilimi ile + dizin şebekenin eşdeğer devre şeması

c) Kısıdevre yerindeki $cU_n/\sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı ile hesap yapmak için + dizin şebekenin eşdeğer devre şeması.

Şekil 4. 9 Ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslenen I''_k başlangıç simetrik kısıdevre akımının hesabı için örnek.



Şekil 4. 10 Güç santraline ait generatör ile yükseltici transformatör arasındaki ve A dağıtım barasındaki üç faz kısıadevlelerde kısıadevre akımları ve kol kısıadevre akımları.

Şekil 4.9 daki F1 kısıadevresinde I_{kG}'' ve I_{kT}'' kol kısıadevre akımlarının hesabı için, başlangıç simetrik kısıadevre akımları:

$$I_{kG}'' = \frac{cU_{rG}}{\sqrt{3}|\underline{Z}_{G,PSU}|} = \frac{cU_{rG}}{\sqrt{3}K_{G,PSU}|\underline{Z}_G|} \quad (52)$$

$$I_{kT}'' = \frac{cU_{rG}}{\sqrt{3}|\underline{Z}_{T,PSU} + \frac{1}{t_f^2} \underline{Z}_{Qmin}|} \quad (53)$$

Burada:

$$t_f = U_{nQ} / U_{rG} \quad = \text{Düşünsel dönüştürme oranı}$$

$$\underline{Z}_{Qmin} \quad = S_{kQmax}'' \text{ a bağlı olan, şebeke fiderinin empedansının en küçük değeri}$$

S_{kQmax}'' için, güç santralının ömrü boyunca beklenen olası en büyük değer öz önüne alınır.

F2 kısıadevre yerindeki, örneğin şekil 21 de AT güç transformatörünün YG tarafındaki bağlantı noktasında, I''_k kısıadevre akımının hesabı için:

$$I''_k = c \frac{U_{rG}}{\sqrt{3}} \left| \frac{1}{Z_{G,PSU}} + \frac{1}{Z_{T,PSU} + \frac{1}{t_f^2} \cdot Z_{Qmin}} \right| = c \frac{U_{rG}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{|Z_{rsl}|} \quad (54)$$

almak yeterlidir.

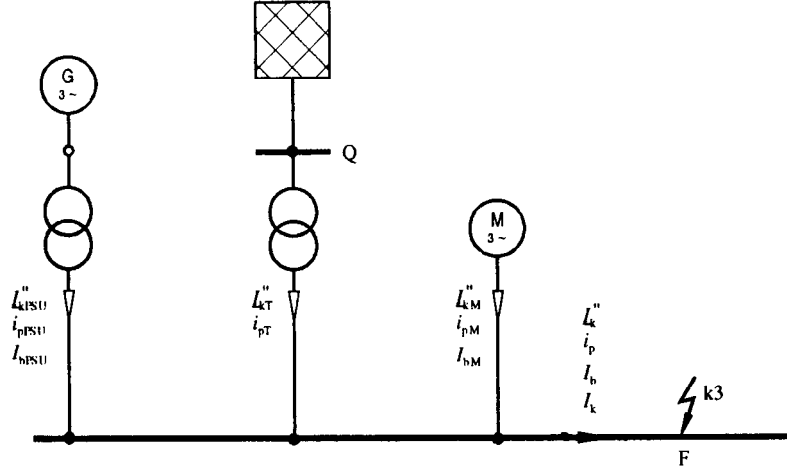
F3 kısıadevre yerindeki I''_{kAT} kısa devresi bölüm 3.4.1 e göre işlem görür.

Başlangıç simetrik kısıadevre akımı I''_k

F kısıadevre yerindeki başlangıç simetrik kısıadevre akımı, şekil 3.22 de gösterildiği gibi kol kısıadevre akımlarının toplamı alınarak hesaplanabilir. Motorlar uygulamaya göre hesaba katılırlar.

$$I''_k = I''_{kPSU} + I''_{kT} + I''_{kM} + \dots \quad (55)$$

Daha basit sonuç, hata payı güvenli tarafta kalmak üzere, karmaşık sayılarla yapılan toplam yerine cebirsel toplam alınarak elde edilir.



Şekil 4. 11 Ağ oluşturmeyan kaynaklardan beslemede, (55) ara (58) bağıntılarına göre, üç faz kısıadevrede I''_k, i_p, I_b ve I_k nın hesabının açıklanması.

Darbe kısıadevre akımı i_p simetrik kısıadevre kesme akımı I_b ve sürekli kısıadevre akımı I_k

Şekil 3.22 ye göre, ağ oluşturmeyan çeşitli kaynaklardan beslenen üç faz kısıadevrede, F kısıadevre yerindeki i_p darbe kısıadevre akımının ve I_b simetrik kısıadevre akımının bileşenleri toplanır:

$$i_p = i_{pPSU} + i_{pT} + i_{pM} + \dots \quad (56)$$

$$I_b = I_{bPSU} + I_{bT} + I_{bM} + \dots \quad (57)$$

$$I_k = I_{bPSU} + I''_{kT} + \dots \quad (58)$$

Basitleştirilmiş olan (57) ve (58) bağıntıları hata payı güvenli tarafta kalan sonuçlar verir.

Kol kısıadevre akımları aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

- Şebeke fiderleri bölüm 3.2.6 a göre,
- Generatörler, Generatör ile kısadevre yeri arasındaki transformatörler yoksa,
- Güç santralleri hesaba katılarak,
- Motorlar bölüm 3.2.10 e göre

Bu yöntemler I_k sürekli kısadevre akımına uygulanmaz. Generatörler kademedan çıkarak devre dışı olduklarında ve sürekli kısadevre akımı ortaya çıktığında $I_{kG} \cong I_{bG}$ veya $I_{kPSU} \cong I_{bPSU}$ varsayılır. Şebeke fiderleri için $I_k = I_b = I'_k$ geçerlidir. Üç faz sürekli kısadevre akımına motor katkısı yoktur.

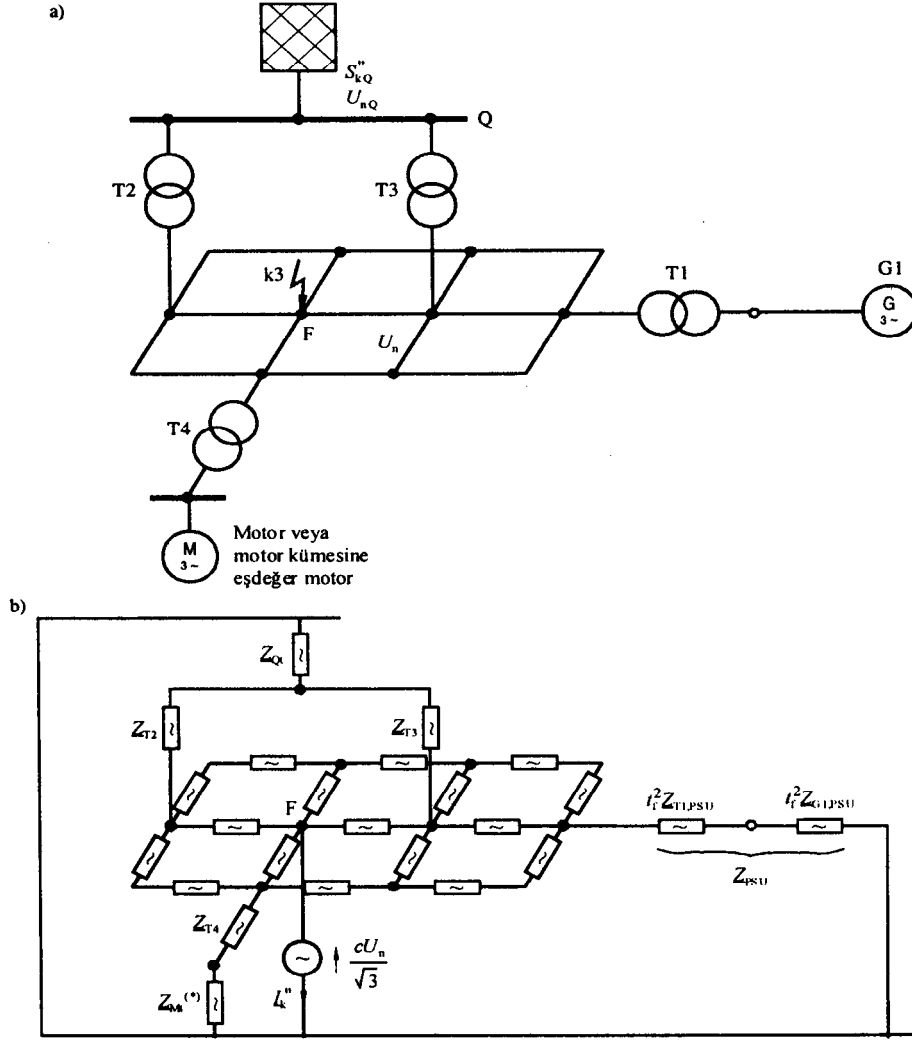
4.3.3.2 Ağ şebekelerde üç faz kısa devre akımı

Başlangıç simetrik kısadevre akımı I''_k

Başlangıç simetrik kısadevre akımı kısadevre yerindeki $cU_n/\sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı ile hesaplanır. Elektrik aygıtlarının empedansları hesaplanır. Şekil 21 deki I''_{kAT} kol kısadevre akımının hesabı için, (54) bağıntısından Z_{rs1} nin alınmasına izin verilir ve bu empedans t^2_{rAT} ile indirgenir.

Kısadevre baş gösterdiğinde transformatörler üzerinden şebekeye bağlanan şebeke empedansları anma dönüştürme oranının karesiyle indirgenir. İki şebeke arasındaki çeşitli transformatörlerin $t_{r1}, t_{r2}, \dots, t_m$ anma dönüştürme oranları arasındaki fark önemsizse ortalama değer kullanılabilir.

Şekil 13d ve 23, çeşitli kaynaklı ağ şebekeler için örnekler göstermektedir.



a) Tek hat şeması

b) Kısadevre yerindeki $cU_n / \sqrt{3}$ eşdeğer gerilim kaynağı ile hesap yapmak için eşdeğer devre şeması

(*) Motorun veya motor kümesine eşdeğer motorun empedansı

Şekil 4. 12 Çeşitli kaynaklardan beslenen ağ şebekede $\underline{I}_k$ başlangıç simetrik kısadevre akımının hesabı için örnek.

Darbe kısadevre akımı i_p

Hesap bölüm 3.4.1.2 de gösterildiği gibi yapılır.

Simetrik kısıadevre akımı I_b

Ağ şebekelerde kısıadevre kesme akımı için aşağıdaki bağıntı yazılır:

$$I_b = I_k'' \quad (59)$$

(59) bağıntısı ile hesaplanan akımlar gerçek simetrik kısıadevre kesme akımından daha büyüktür.

Not : Daha doğru hesap aşağıdaki bağıntılarla yapılır.

$$I_b = I_k'' - \sum_i \frac{\Delta U_{Gi}''}{\frac{cU_n}{\sqrt{3}}} (1 - \mu_i) I_{kGi}'' - \sum_j \frac{\Delta U_{Mj}''}{\frac{cU_n}{\sqrt{3}}} (1 - \mu_j q_j) I_{kMj}'' \quad (60)$$

$$\Delta U_{Gi}'' = jX_{di}'' I_{kGi}'' \quad (61)$$

$$\Delta U_{Mj}'' = jX_{Mj}'' I_{kMj}'' \quad (62)$$

Burada:

$$\frac{cU_n}{\sqrt{3}} = \text{Kısıadevre yerindeki eşdeğer gerilim kaynağı}$$

$$I_k'', I_b = \text{Tüm şebeke fiderlerinin, makinaların ve asenkron motorların katıldığı başlangıç simetrik kısıadevre akımı ve simetrik kısıadevre kesme akımı}$$

$$\Delta U_{Gi}'', \Delta U_{Mj}'' = i \text{ senkron makinanın ve } j \text{ asenkron motorun bağlantı noktalarındaki başlangıç gerilimi farkı}$$

$$I_{kGi}'', I_{kMj}'' = i \text{ senkron makinanın ve } j \text{ asenkron motorun kol başlangıç simetrik kısıadevre akımı}$$

$$\mu = \text{sırasıyla } I_{kGi}''/I_{rGi} \text{ veya } I_{kMj}''/I_{rMj} \text{ için}$$

q = (Bölüm 2.13.2.1 ve şekil 25)

Sürekli kısadevre akımı

I_k sürekli kısadevre akımı:

$$I_k = I_{kM}'' \quad (62)$$

den hesaplanır

I_{kM}'' motorların katkısı olmadan hesaplanan başlangıç simetrik kısadevre akımıdır.

4.3.3.3 İki faz ve faz-toprak kısadevre akımları için hesap yöntemi

Bölüm 3.9.2 de verilen açıklamalar aynen geçerlidir.

4.4 En küçük kısadevre akımlar

4.4.1 Genel

Bölüm 3.9.3 de verilen açıklamalar aynen geçerlidir. (36), (40), (42) ve (44) bağıntılarında, empedans düzeltme katsayıları üzerinde, özellikle düşük uyarma ile işletme durumunda, dikkatle düşünmek gerekir.

4.4.2 Başlangıç simetrik kısadevre akımı I''_k

4.4.2.1 Bir generatörden beslenen kısadevre

Kısadevre, şekil 3.15 de gösterildiği gibi bir generatörden besleniyorsa uygulanır ve en küçük kısadevre akımının hesabı için c_{min} gerilim katsayısı çizelge 2.2 den alınır.

Bu işlem aynı zamanda, bir noktada paralel çalışan çeşitli benzer generatörlerden beslenen kısıdevreler için de uygulanır.

4.4.2.2 Ağ şebekelerde kısıdevre

Hesap için, bölüm 3.12.2.4 ile çizelge 2.2 e göre $c_{\min}$ gerilim katsayısı kullanılır.

4.4.2.3 Kompunt uyarmalı generatörlerden beslenen sürekli kısıdevre akımı I_k

Kompunt uyarmalı bir veya daha çok benzer ve paralel çalışan generatörlerden beslenen generatöre yakın kısıdevrede, en küçük kısıdevre akımı:

$$I_{k \min} = \frac{c_{\min} U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (64)$$

bağıntısından hesaplanır.

Generatörlerin etkin reaktansı:

$$X_{dP} = \frac{U_{rG}}{\sqrt{3} I_{kP}} \quad (65)$$

bağıntısından bulunur.

I_{kP} generatörün üç faz uç(bağlantı ucu) kısıdevresinde sürekli kısıdevre akımıdır.

I_{kP} nin bu değeri yapımıcısından alınacaktır.

4.4.2.4 Dengesiz kısıdevrelerde başlangıç kısıdevre akımları

Dengesiz kısıdevrelerde başlangıç kısıdevre akımları bölüm 3.2.2 e göre hesaplanır. c_{min} gerilim katsayısı çizelge 2.2 den alınır.

4.4.2.5 Motorların katkısı

Senkron motorlar ve senkron kompansatörler

I''_k başlangıç simetrik kısıdevre akımının, i_p darbe kısıdevre akımının, I_b simetrik kısıdevre kesme akımının ve I_k sürekli kısıdevre akımının hesabında, senkron motorlar ve senkron kompansatörler senkron generatörlerde olduğu gibi aynı şekilde işlem görürler.

Ayrıcalıklar: İç gerilimde değişiklik olmaması için, motorlar sabit alan gerilimine sahip olmalı ve regülatörler bulunmamalıdır. Motorlar ve uç beslemeli statik uyartaçlı kompansatörler I_k ya katılmazlar.

Asenkron motorlar

Genel

YG motorları ve AG motorları, I''_k başlangıç simetrik kısıdevre akımına, i_p darbe kısıdevre akımına, I_b simetrik kısıdevre kesme akımına ve dengesiz kısıdevrelerde keza I_k sürekli kısıdevre akımına katılırlar.

YG motorları kısıdevre akımının hesabında göz önüne alınırlar. AG motorları, güç santralinin yardımcı donatılarında, endüstri ve benzer işletmelerde, örneğin, kimyasal ve çelik endüstrisine ve pompa istasyonlarına ait şebekelerde hesaba katılırlar.

AG şehir şebekelerinde motorlar göz önüne alınmazlar.

YG ve AG motorlarının kısıdevre akımlarının hesabında bunlar, devre şemasına göre (Elektriksel kilitleme) ve işletme gereği olan (Geri beslemeli tahrikler) aynı anda devreye girmiyorlarsa göz önüne alınmazlar.

Kısadevre baş gösterdiğinde şebekeye iki sargılı transformatörler üzerinden bağlı olan YG ve AG motorları, Q fider bağlantı noktasındaki kısadevre için akımların hesabında, eğer:

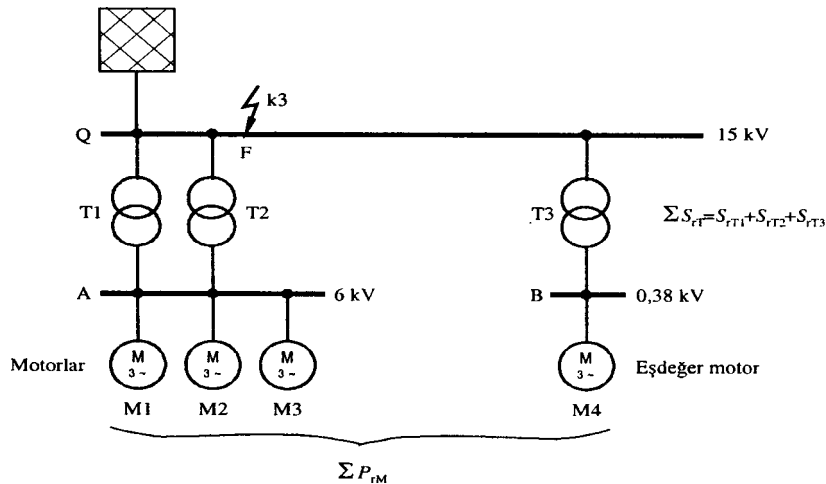
$$\frac{\sum P_{rM}}{\sum S_{rT}} \leq \frac{0,8}{\left| \frac{c \cdot 100 \sum S_{rT}}{S_{kQ}''} - 0,8 \right|} \quad (66)$$

ise göz önüne alınmaz.

Burada:

$\sum P_{rM}$ = Hesaba katılacak olan YG ve AG motorlarının anma etkin güçlerinin toplamı
 $\sum S_{rT}$ = Motorların, üzerinden doğrudan beslendiği tüm transformatörlerin anma görünür güçlerinin toplamı
 S_{kQ}'' = Q fider bağlantı noktasında, motorların katkısı olmayan başlangıç simetrik kısadevre gücü

Üç sargılı transformatör olması durumunda, (66) bağıntısına göre işlem yapılmasına izin verilmez.

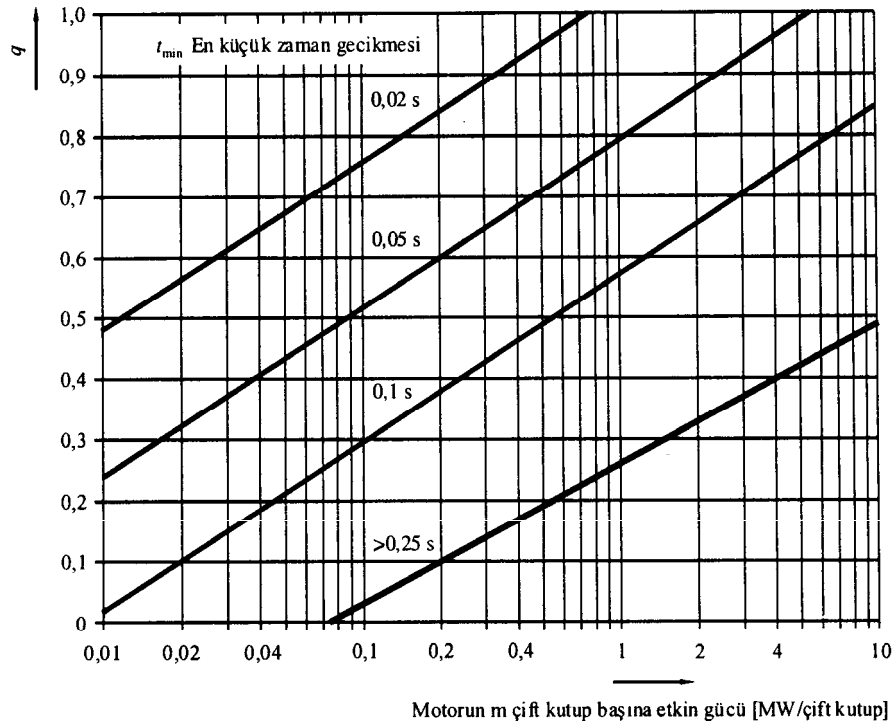


Şekil 4. 13 Asenkron motorların katkısının toplam kısıadevre akımına bağlı olarak hesabı için örnek.

Asenkron motorların simetrik kısıadevre kesme akımının hesabı için q katsayısı, $t_{\min}$ en küçük zaman gecikmesinin fonksiyonu olarak belirlenir.

$$\begin{array}{lcl}
 t_{\min} = 0,02 \text{ sn için} & q = 1,03 + 0,12 \ln m & \\
 t_{\min} = 0,05 \text{ sn için} & q = 0,79 + 0,12 \ln m & \\
 t_{\min} = 0,10 \text{ sn için} & q = 0,57 + 0,12 \ln m & \\
 t_{\min} \geq 0,25 \text{ sn için} & q = 0,26 + 0,10 \ln m &
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} m: \\ \text{Motorların çift kutup başına} \\ \text{anma etkin gücü(MW)} \end{array} \right\} \quad (67)$$

(67) bağıntısına göre yapılan hesapta q için 1 den büyük değerler bulunursa, $q=1$ alınır.



Şekil 4. 14 Asenkron motorların simetrik kısıadevre kesme akımının hesabı için q katsayısı.

AG motorları genellikle baraya değişik uzunluktaki ve kesitteki kablolarla bağlanırlar. Hesabın basitleştirilmesi için, motor kümeleri bağlantı kablolarıyla birlikte alınarak bir eşdeğer motor ile gösterilir.

Bağlantı kablolarıyla birlikte düşünülen eşdeğer asenkron motorlar için:

$$Z_M = ((34) \text{ bağıntısına göre})$$

$$I_{rM} = \text{Motor kümesindeki tüm motorların (eşdeğer motor) anma akımlarının toplamı}$$

$$I_{LR} / I_{rM} = 5$$

$$R_M / X_M = 0,42 \text{ karşılığında } \kappa_M = 1,3$$

$$m = \text{Kesin değer bilinmiyorsa } 0,05 \text{ MW}$$

Şekil 3.24 de B barasındaki kısadevre için M4 AG motor kümesinin kol kısadevre akımı:

$$I_{rM4} < 0,01 \cdot I''_{kM4}$$

koşulu varsa ihmal edilir.

I_{rM4} M4 eşdeğer motorunun anma akımıdır. I''_{kM4} B kısadevre yerinde, M4 eşdeğer motorunun katılmadığı başlangıç simetrik kısadevre akımıdır.

Kısadevrenin YG tarafında olması durumunda (Örneğin, kısadevre yeri şekil 3.24 de Q veya A), M4 eşdeğer motorunun I_{rM4} anma akımı yerine T3 transformatörünün anma akımı ($I_{rT3,LV}$) alınarak, (34) bağıntısına göre Z_M nin hesaplanması basitleştirilebilir.

Asenkron motorların uç kısadevresi

Asenkron motorların uçlarındaki dengeli ve iki faz kısıadevre olması durumlarında I''_k , i_p , I_b , ve I_k akımları çizelge 4.1de gösterildiği gibi değerlendirilir. Etkin topraklanmış olan şebekeler için, faz-toprak kısıadevre akımına motorların katkısı ihmal edilemez.

Kısıadevre akım	Dengeli kısıadevre	İki faz kısıadevre
Başlangıç simetrik kısıadevre akımı	$I''_{k3M} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_M}$ (68)	$I''_{k2M} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3M}$ (72)
Darbe kısıadevre akımı	$i_{p3M} = \chi_M \sqrt{2} I''_{k3M}$ (69) YG motorları: Motorun çift kutup başına gücü < 1MW için $\kappa_M = 1,65$ ($R_M/X_M = 0,15$ e karşılık) Motorun çift kutup başına gücü ≥ 1 MW için $\kappa_M = 1,75$ ($R_M/X_M = 0,10$ e karşılık) AG motor kümeleri, bağlantı kablolarıyla birlikte: $\kappa_M = 1,3$ ($R_M/X_M = 0,42$ e karşılık)	$i_{p2M} = \frac{\sqrt{3}}{2} i_{p3M}$ (73)
Simetrik kısıadevre kesme akımı	$I_{bM3} = \mu q I''_{k3M}$ (70) μ , I''_{kM} / I_{rM} ile (47) bağıntısı veya şekil 16 ya göre q , (67) bağıntısına veya şekil 16 ya göre	$I_{b2M} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3M}$ (74)
Sürekli kısıadevre akımı	$I_{k3M} = 0$ (71)	$I_{k2M} \cong \frac{1}{2} I''_{k3M}$ (75)

Çizelge 4. 1 Asenkron motorların uçlarında kısıadevre olması durumunda kısıadevre akımlarının hesabı.

4.4.2.6 Empedans üzerinden kısıadevre

Başlangıç simetrik kısıadevre akımlarının hesabı için, asenkron motorlar (34) bağıntısına göre hesaplanan + ve – dizin şebekedeki Z_M empedansları ile yer alırlar.

4.4.2.7 Statik konverterden beslenen tahrikler

Statik konverterden beslenen tahrikler (Örneğin, haddehane tahrikleri gibi), eğer kısadevre süresince motorların savurma kütleleri ve statik aygıtlar yavaşlama için geri besleme yaparlarsa (Geçici inverter çalışma=Ondüler işletme), yalnız üç faz kısadevre akımları için göz önüne alınırlar. Böylece, bunlar yalnız I_k'' başlangıç simetrik kısadevre akımına ve i_p darbe kısadevre akımına katkıda bulunurlar. Bunlar I_b simetrik kısadevre kesme akımına katkıda bulunmazlar.

Statik konverterlerden beslenen tahriklerin eşdeğer motoru için uygulanır.

4.4.2.8 Döner olmayan yüklerin ve kondansatörlerin göz önüne alınması

Hesap yöntemlerinde, bölüm 3.6 da anlatıldığı gibi hat kapasitanslarının ve döner olmayan yüklerin paralel admitanslarının ihmal edilmesine izin verilir.

4.4.2.9 Paralel kondansatör

Kısadevrenin baş gösterme zamanına bağlı olmadan, kondansatörlerin boşalma akımı, kısadevre akımlarının hesabında ihmal edilir.

4.4.2.10 Seri kondansatörler

Seri kondansatörler kısadevre baş gösterdiğinde çalışan paralel bağlı gerilim sınırlayıcı düzeneklerle donatılırlarsa, kısadevre akımlarının hesabında seri bağlı olan kondansatörlerin etkisi ihmal edilir.

5. TS EN 60909 KISADEVRE HESABININ TEORİK UYGULAMASI

Yapılan teorik hesap YILDIZ ENTEGRE fabrikasına ait olup, bu fabrikanın enerji ihtiyacını temin ettiği hat, tek hat şemasında gösterilmiştir. Yıldız Entegre enerjisini Köseköy TM'den almaktadır.

Köseköy TM nin 34,5 kV barasını besleyen 154 kV barasında kısadevre gücü $S_k''=S_k=4834$ MVA verilmiştir.

Yıldız entegre kojenarasyon sistemi 7.5 MVA, 2.1 MVA, 2.6 MVA'lık 3 adet asenkron motor. Bu motorları besleyen 10Kv barasına bağlı 6.3 MVA'lık generatör ve yine 10 Kv barasına bağlı zayıf akım besleme trafosundan oluşmaktadır sistemi oluşturan makinalar için daha ayrıntılı bilgi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

5.1 2.1- + dizin empedansların hesabı:

UED = Ulusal elektrik şebekesi:

5.1.1 Şebeke fideri

$$Z_{Qt} = \frac{c_Q U_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \cdot 154^2}{4834} \cdot \frac{1}{(154/34,5)^2} = 0,2708 \Omega$$

$$X_{Qt}=0,995Z_{Qt}=0,995 \cdot 0,2708=0,2694 \Omega$$

$$R_{Qt}=0,1X_{Qt}=0,2 \cdot 0,2694=0,0269 \Omega$$

$$\underline{Z}_{Qt}=(0,0269+j0,2694) \Omega$$

5.1.2 Transformatörler:

İndirici transformatör QT:

$S_{rQT}=100$ MVA, $U_{rQTLV}=34,5$ kV, $u_{krQT}=\%11,75$ ve $u_{RrQT}=\%0,7$ için:

$$Z_{\text{QTLV}} = \frac{u_{\text{krQT}}}{\%100} \cdot \frac{U_{\text{rQTLV}}^2}{S_{\text{rQT}}} = \frac{\%11,75}{\%100} \cdot \frac{34,5^2}{100} = 1,3985 \Omega$$

$$R_{\text{QTLV}} = \frac{u_{\text{RrQT}}}{\%100} \cdot \frac{U_{\text{rQTLV}}^2}{S_{\text{rQT}}} = \frac{\%0,7}{\%100} \cdot \frac{34,5^2}{100} = 0,0833 \Omega$$

$$X_{\text{QTLV}} = \sqrt{Z_{\text{QTLV}}^2 - R_{\text{QTLV}}^2} = \sqrt{1,3985^2 - 0,0833^2} = 1,396 \Omega$$

$$\underline{Z}_{\text{QTLV}} = (0,0833 + j1,396) \Omega$$

Step-up transformatör T:

$S_{\text{rT}}=20 \text{ MVA}$, $U_{\text{rTLV}}=10 \text{ kV}$, $u_{\text{krT}}=\%9,88$ ve $P_{\text{krT}}=109,792 \text{ kW}$ için:

$$Z_{\text{TLV}} = \frac{u_{\text{krT}}}{\%100} \cdot \frac{U_{\text{rTLV}}^2}{S_{\text{rT}}} = \frac{\%9,88}{\%100} \cdot \frac{10^2}{20} = 0,4940 \Omega$$

$$R_{\text{TLV}} = \frac{P_{\text{krT}}}{3I_{\text{rT}}^2} = \frac{P_{\text{krT}} U_{\text{rTLV}}^2}{S_{\text{rT}}^2} = \frac{109,792 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2}{20^2} = 0,02745 \Omega$$

$$X_{\text{TLV}} = \sqrt{Z_{\text{TLV}}^2 - R_{\text{TLV}}^2} = \sqrt{0,4940^2 - 0,02745^2} = 0,4932 \Omega$$

$$\underline{Z}_{\text{TLV}} = (0,02745 + j0,4932) \Omega$$

$$\underline{Z}_{\text{THV}} = \underline{Z}_{\text{TLV}} t^2 = (0,02745 + j0,4932) \left(\frac{34,5}{10} \right)^2 = (0,3267 + j5,8703) \Omega$$

Transformatör T1-2:

$S_{\text{rT1-2}}=2,5 \text{ MVA}$, $U_{\text{rT1-2LV}}=0,4 \text{ kV}$, $u_{\text{krT1-2}}=\%6$ ve $P_{\text{krT1-2}}=21,8 \text{ kW}$ için:

$$Z_{T1-2LV} = \frac{u_{krT1-2}}{\%100} \cdot \frac{U_{rT1-2LV}^2}{S_{rT1-2}} = \frac{\%6}{\%100} \cdot \frac{0,4^2}{2,5} = 0,00384 \Omega$$

$$R_{T1-2LV} = \frac{P_{krT1-2}}{3I_{rT1-2}^2} = \frac{P_{krT1-2} U_{rT1-2LV}^2}{S_{rT1-2}^2} = \frac{21,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{2,5^2} = 0,000558 \Omega$$

$$X_{T1-2LV} = \sqrt{Z_{T1-2LV}^2 - R_{T1-2LV}^2} = \sqrt{0,00384^2 - 0,000558^2} = 0,0038 \Omega$$

$$\underline{Z}_{T1-2LV} = (0,0006 + j0,0038) \Omega$$

5.1.3 Generatör:

$R_G = 0,07 X_d''$ için Bölüm 2.12.5.3.7 e göre hesap yapılır:

$$\underline{Z}_G = R_G + jX_d'' = 0,07 X_d'' + jX_d'' = X_d'' (0,07 + j) = \frac{x_d''}{\%100} \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \cdot (0,07 + j)$$

$$\underline{Z}_G = \frac{\%16,6}{\%100} \cdot \frac{10^2}{7,73} \cdot (0,07 + j) = (0,1503 + j2,1475) \Omega$$

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \sin \varphi_{rG}} = \frac{10}{10} \cdot \frac{1,1}{1 + 0,166 \cdot 0,60} = 1$$

$$\underline{Z}_{GK} = K_G (R_G + jX_d'') = 1(0,1503 + j2,1475) = (0,1503 + j2,1475) \Omega$$

5.1.4 Asenkron motorlar

Asenkron motorlar MT1, MT2 ve MT3:

$$Z_{M1} = \frac{1}{I_{LR1} / I_{rM1}} \cdot \frac{U_{rM1}^2}{S_{rM1}} = \frac{1}{5,5} \cdot \frac{10^2}{8,777} = 2,0715 \Omega$$

Burada:

$$S_{rM1} = \frac{P_{rM1}}{\cos \varphi_{r1} \eta_{r1}} = \frac{7500}{0,88 \cdot 0,971} = 8,777 \text{ kVA}$$

$$R_{M1}/X_{M1}=0,10, \text{ bundan } X_{M1}=0,995Z_{M1}$$

$$X_{M1}=0,995.2,0715=2,0611 \Omega$$

$$R_{M1}=0,10.2,0611=0,2061 \Omega$$

$$\underline{Z}_{M1}=(0,2061+j2,0611) \Omega$$

$$Z_{M2} = \frac{1}{I_{LR2} / I_{rM2}} \cdot \frac{U_{rM2}^2}{S_{rM2}} = \frac{1}{5,5} \cdot \frac{10^2}{2,438} = 7,4577 \Omega$$

Burada:

$$S_{rM2} = \frac{P_{rM2}}{\cos \varphi_{r2} \eta_{r2}} = \frac{2100}{0,89.0,968} = 2,438 \text{ kVA}$$

$$R_{M2}/X_{M2}=0,10, \text{ bundan } X_{M2}=0,995Z_{M2}$$

$$X_{M2}=0,995.7,4577=7,4204 \Omega$$

$$R_{M2}=0,10.7,4204=0,7420 \Omega$$

$$\underline{Z}_{M2}=(0,7420+j7,4204) \Omega$$

$$Z_{M3} = \frac{1}{I_{LR3} / I_{rM3}} \cdot \frac{U_{rM3}^2}{S_{rM3}} = \frac{1}{6,5} \cdot \frac{10^2}{1,924} = 7,9962 \Omega$$

Burada:

$$S_{rM3} = \frac{P_{rM3}}{\cos \varphi_{r3} \eta_{r3}} = \frac{1600}{0,86.0,967} = 1,924 \text{ kVA}$$

$$R_{M3}/X_{M3}=0,15, \text{ bundan } X_{M3}=0,989Z_{M3}$$

$$X_{M3}=0,989.7,9962=7,9082 \Omega$$

$$R_{M3}=0,15.7,9082=1,1862 \Omega$$

$$\underline{Z}_{M3}=(1,1862+j7,9082) \Omega$$

5.1.5 Hatlar (Kablolar ve hava hatları):

Hat empedansları: $\underline{Z}_L = \underline{Z}'_L / l$

Kablo L1:

$$\underline{Z}_{L1} = (R'_{L1} + jX'_{L1})l = (0,153 + j0,206) \cdot \frac{0,250}{2} = (0,0191 + j0,0258) \Omega$$

Hava hattı L2:

$$\underline{Z}_{L2} = (0,1194 + j0,355) \cdot 4,2 = (0,5015 + j1,4910) \Omega$$

Kablo L3:

$$\underline{Z}_{L3} = (0,153 + j0,206) \cdot \frac{0,120}{2} = (0,0092 + j0,0124) \Omega$$

Kablo L4:

$$\underline{Z}_{L4} = (0,0754 + j0,156) \cdot \frac{0,020}{4} = (0,0038 + j0,0008) \Omega$$

Kablo L5:

$$\underline{Z}_{L5} = (0,0754 + j0,156) \cdot \frac{0,040}{2} = (0,0015 + j0,0003) \Omega$$

Kablo L6:

$$\underline{Z}_{L6} = (0,153 + j0,169) \cdot 0,065 = (0,0099 + j0,0110) \Omega$$

Kablo L7:

$$\underline{Z}_{L7} = (0,0754 + j0,156) \cdot \frac{0,175}{2} = (0,0066 + j0,0137) \Omega$$

Kablo L8:

$$\underline{Z}_{L8} = (0,0754 + j0,156) \cdot 0,180 = (0,0136 + j0,0281) \Omega$$

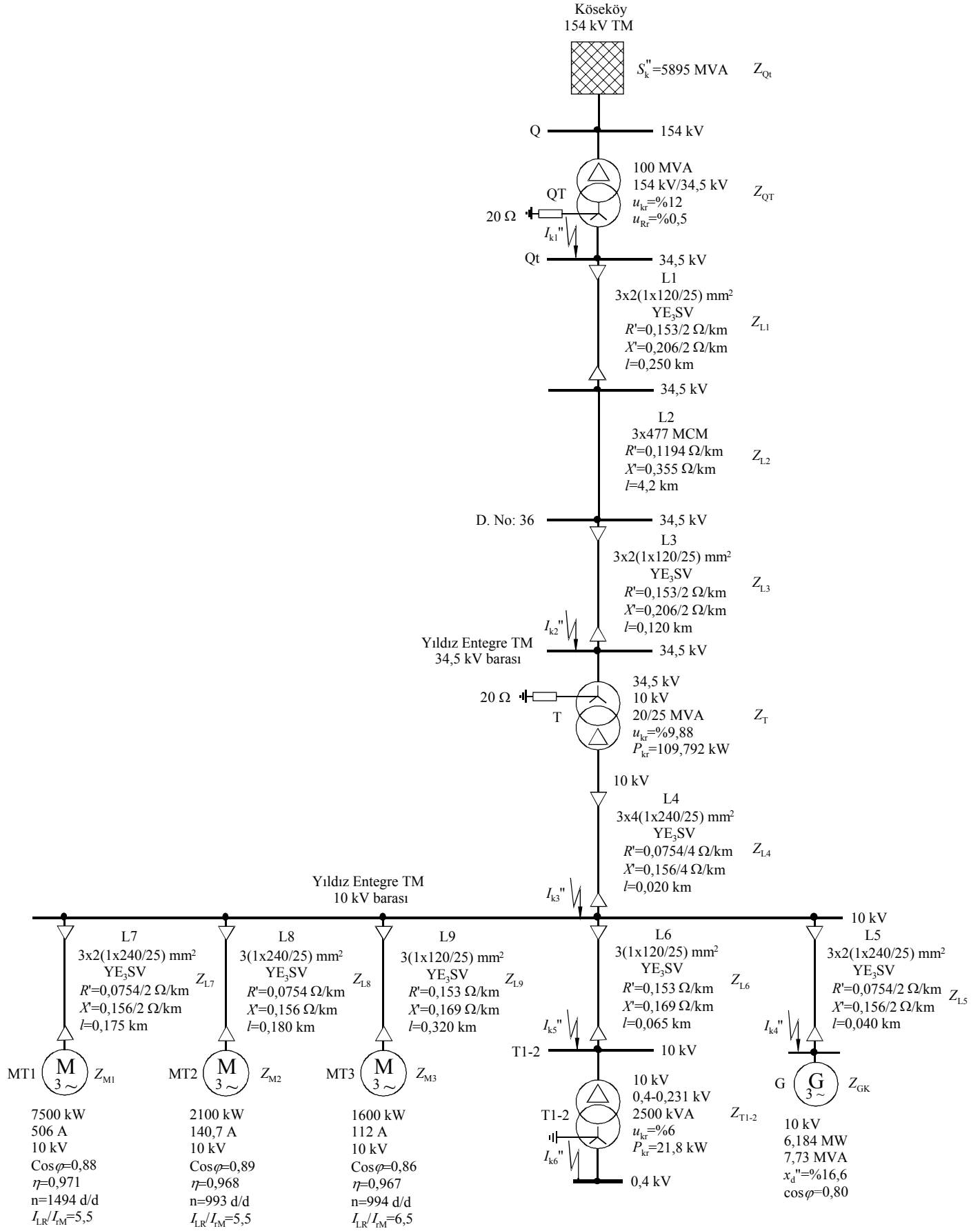
Kablo L9:

$$\underline{Z}_{L9} = (0,153 + j0,169).0,320 = (0,0490 + j0,0541) \Omega$$

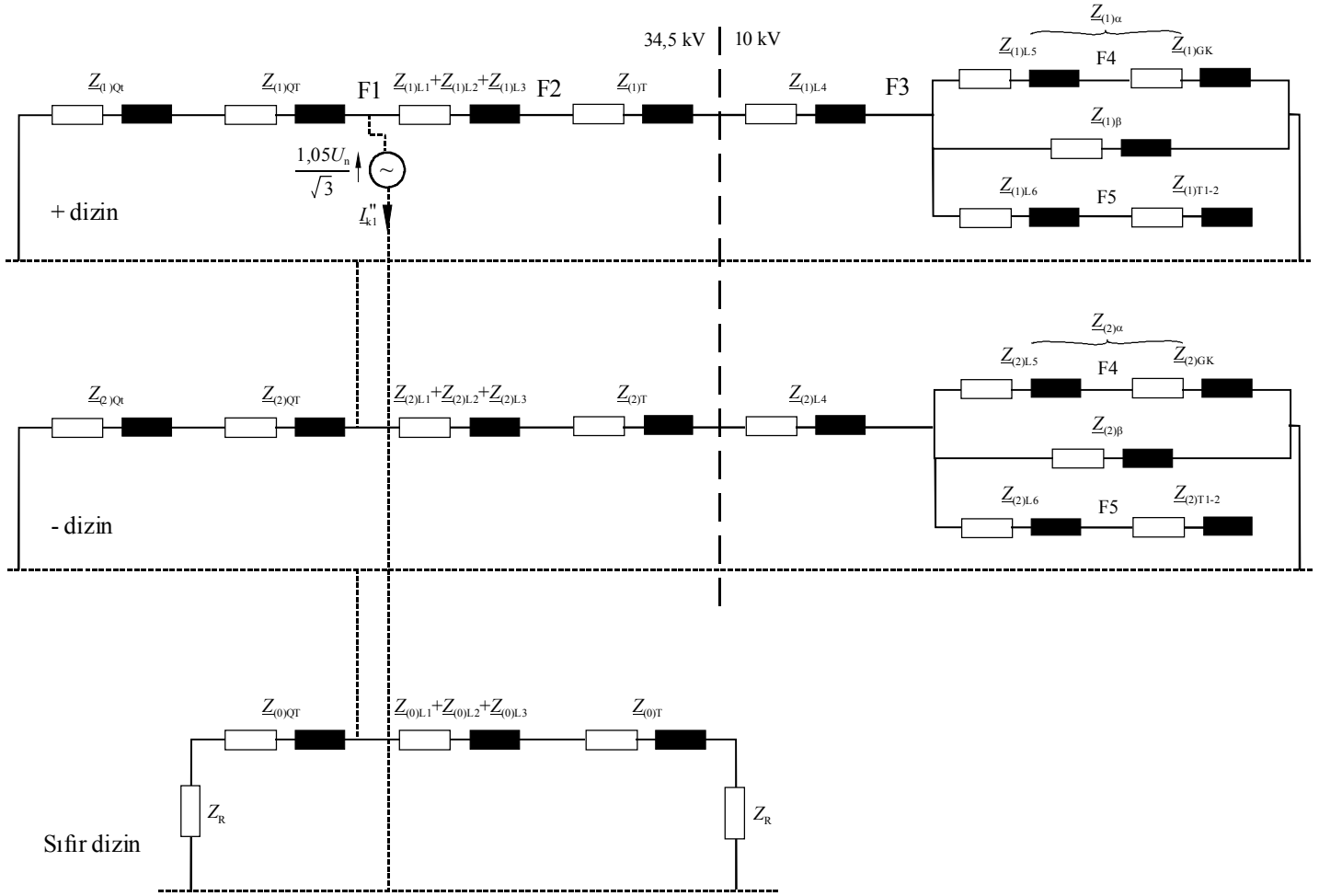
Çizelge 5. 1Öğelerin verileri ve +, – ve sıfır dizin kısadevre empedansları:

Öğeler	Öğelerin verileri	$Z_{(1)}$ ve $Z_{(0)}$ in bağıntılar	$Z_{(1)}=Z_{(2)}$ [Ω]	$Z_{(0)}$ [Ω]
UED Q	$U_{nQ}=154$ kV, $c_Q=1,1$ $S_{kQ}'' = 4834$ MVA $R_Q=0,1X_Q$ için $X_Q=0,995Z_Q$	(5b)	$Z_{Qt}'' =$ 0,0269+j0,2694	
Transformatörler QT	$S_{rQT}=100$ MVA, $U_{rQTHV}=154$ kV $U_{rQTLV}=34,5$ kV $u_{krQT}=\%11,75$, $u_{RrQT}=\%0,7$	(6), (7) ve (8)	$Z_{QTLV}'' =$ 0,0833+j1,396	$Z_{(0)QTLV}'' =$ 0,0833+j1,1168
T	$S_{rT}=20$ MVA, $U_{rTHV}=34,5$ kV $U_{rTLV}=10$ kV $u_{krT}=\%9,88$, $P_{krT}=109,792$ kW YNd5		$Z_{TLV}'' =$ 0,02745+j0,4932 $Z_{THV}'' =$ 0,3267+j5,8703	$Z_{(0)TLV}'' =$ 0,02745+j0,4438 8 $Z_{(0)THV}'' =$ 0,3267+j5,2833
T1-2	$S_{rT1-2}=2,5$ MVA, $U_{rT1-2HV}=10$ kV $U_{rT1-2LV}=0,4$ kV $u_{krT1-2}=\%6$, $P_{krT1-2}=21,8$ kW Dyn11		$Z_{T1-2LV}'' =$ 0,0006+j0,0038	$Z_{(0)T1-2LV}'' =$ 0,0006+j0,00304
Generatör G	$S_{rG}=6,184$ MW, $U_{rG}=10$ kV $x_d''=\%16,6$, $\cos\varphi=0,80$		$Z_{GK}'' =$ 0,1503+j2,1475	
Motorlar MT1	$S_{rG1}=7500$ kW, $U_{rG1}=10$ kV, $\cos\varphi 00,85$, $\eta=0,95$, $I_{LR}/I_{rM}=6$		$Z_{M1}'' =$ 0,2061+j2,0611	
MT2	$S_{rG2}=2100$ kW, $U_{rG2}=10$ kV, $\cos\varphi 00,85$, $\eta=0,95$, $I_{LR}/I_{rM}=6$		$Z_{M2}'' =$ 0,742+j7,4204	
MT3	$S_{rG3}=1600$ kW, $U_{rG3}=10$ kV, $\cos\varphi 00,85$, $\eta=0,95$, $I_{LR}/I_{rM}=6$		$Z_{M3}'' =$ 1,1862+j7,9082	
Kablo L1	3x2(1x120/25) mm ² YE ₃ SV $l=0,25$ km	$\frac{R_{(0)L}}{R_L}, \frac{X_{(0)L}}{X_L}$	$Z_{L1}'' =$ 0,0191+j0,0258	$Z_{(0)L1}'' =$ 0,0191+j0,0774
Hava hattı L2	3x477 MCM, $l=4,2$ km	veri ve oranları	$Z_{L2}'' =$	$Z_{(0)L2}'' =$
Kablo		kitaptan alınmıştır.	0,5015+j1,491	0,5015+j5,964

L3	3x2(1x120/25) mm ² YE ₃ SV		$Z_{L3} =$	$Z_{(0)L3} =$
Kablo	$l = 0,12$ km		$0,0092 + j0,0124$	$0,0092 + j0,0372$
L4	3x4(1x240/25) mm ² YE ₃ SV		$Z_{L4} =$	
Kablo	$l = 0,02$ km		$0,0038 + j0,0008$	
L5	3x2(1x240/25) mm ² YE ₃ SV		$Z_{L5} =$	
Kablo	$l = 0,04$ km		$0,0015 + j0,0003$	
L6	3(1x120/25) mm ² YE ₃ SV		$Z_{L6} =$	
Kablo	$l = 0,065$ km		$0,0099 + j0,011$	
L7	3x2(1x240/25) mm ² YE ₃ SV		$Z_{L7} =$	
Kablo	$l = 0,175$ km		$0,0066 + j0,0137$	
L8	3(1x240/25) mm ² YE ₃ SV		$Z_{L8} =$	
Kablo	$l = 0,180$ km		$0,0136 + j0,0281$	
L9	3(1x120/25) mm ² YE ₃ SV		$Z_{L9} =$	
	$l = 0,320$ km		$0,0490 + j0,0541$	



Şekil 5. 1 Tekhat Şeması



Şekil 5. 2 Sıfır dizin

5.2 Sıfır dizin empedansların hesabı:

5.2.1 Transformatörler:

Bağlantı kümesi Dy olan QT ve T1-2 transformatörü için $R_{(0)T}=R_T$, $X_{(0)T}=0,8X_T$

Transformatör QT:

$$Z_{(0)QTLV}=(0,0833+j1,1168) \Omega$$

Transformatör T1-2:

$$\underline{Z}_{(0)T1-2LV}=(0,0006+j0,00304) \Omega$$

Bağlantı kümesi Yd olan T transformatörü için $R_{(0)T}=R_T$, $X_{(0)T}=0,9X_T$

$$\underline{Z}_{(0)TLV}=(0,02745+j0,44388) \Omega$$

$$\underline{Z}_{(0)THV} = \underline{Z}_{(0)TLV} t^2 = (0,02745 + j0,44388) \left(\frac{34,5}{10} \right)^2 = (0,3267 + j5,2833) \Omega$$

5.2.2 Hatlar (Kablolar ve hava hatları):

- Kablo L2. $R_{(0)L}=R_L$, $X_{(0)L}=3X_L$:

$$\underline{Z}_{(0)L1}=(R_{L1}+j3X_{L1})=(0,0191+j0,0774) \Omega$$

- Hava hattı L2. $R_{(0)L}=R_L$, $X_{(0)L}=4X_L$:

$$\underline{Z}_{(0)L2}=(R_{L2}+j4X_{L2})=(0,5015+j5,964) \Omega$$

- Kablo L3. $R_{(0)L}=R_L$, $X_{(0)L}=3X_L$:

$$\underline{Z}_{(0)L3}=(R_{L3}+j3X_{L3})=(0,0092+j0,0372) \Omega$$

2.3- F1, F2, F3, F4, F5 ve F6 kısadevre yerlerinde, dengeli kısadevreler için I_k'' ve i_p kısadevre akımlarının hesabı:

F1 kısadevre yeri:

F1 kısadevre yerinde kısadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_{kQ,F1} = \underline{Z}_{Qt} + \underline{Z}_{QTLV}$$

$$= (0,0269 + j0,2694) + (0,0833 + j1,396) = (0,1102 + j1,6654) \Omega$$

$$\underline{Z}_{\alpha} = \underline{Z}_{GK} + \underline{Z}_{L5}$$

$$= (0,1503 + j2,1475) + (0,0015 + j0,0003) = (0,1518 + j2,1478) \Omega$$

$$(\underline{Z}_{M1} + \underline{Z}_{L7}) \parallel (\underline{Z}_{M2} + \underline{Z}_{L8}) \parallel (\underline{Z}_{M3} + \underline{Z}_{L9})$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_{\beta}} = \frac{1}{\underline{Z}_{M1} + \underline{Z}_{L7}} + \frac{1}{\underline{Z}_{M2} + \underline{Z}_{L8}} + \frac{1}{\underline{Z}_{M3} + \underline{Z}_{L9}}$$

$$= \frac{1}{0,2127 + j2,0748} + \frac{1}{0,7556 + j7,4485} + \frac{1}{1,2352 + j7,9623}$$

$$\underline{Z}_\beta = (0,1497 - j1,3510) \Omega$$

$$\underline{Z}_\alpha \parallel \underline{Z}_\beta$$

$$\underline{Z}_{rs1} = \frac{(0,1518 + j2,1478)(0,1497 + j1,3510)}{(0,1518 + j2,1478) + (0,1497 + j1,3510)} = (0,0790 + j0,8297) \Omega$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_\gamma &= \underline{Z}_{rs1} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{TLV} = (0,0790 + j0,8297) + (0,0038 + j0,0008) \\ &+ (0,02745 + j0,4932) = (0,11025 + j1,3237) \Omega \end{aligned}$$

$$\underline{Z}_{\gamma t} = \underline{Z}_\gamma t^2 = (0,11025 + j1,3237) \left(\frac{34,5}{10} \right)^2 = (1,3390 + j15,7553) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kGK,FI} = \underline{Z}_{\gamma t} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_{L3}$$

$$\begin{aligned} &= (1,3390 + j15,7553) + (0,0191 + j0,0258) + (0,5015 + j1,491) + (0,0092 + j0,0124) \\ &= (1,8688 + j17,2845) \Omega \end{aligned}$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı, (20) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge1) için:

$$\underline{I}_{Q,FI}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kQ,FI}} = \frac{1,1 \cdot 34,5}{\sqrt{3}(0,1102 + j1,6654)} = (0,8668 - j13,0989) \text{ kA}$$

$$I_{kQ,FI}'' = 13,128 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kGK,FI}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kGK,FI}} = \frac{1,1 \cdot 34,5}{\sqrt{3}(1,8688 + j17,2845)} = (0,1355 - j1,2530) \text{ kA}$$

$$I_{kGK,FI}'' = 1,260 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} I_{k,FI}'' &= I_{kQ,FI}'' + I_{kGK,FI}'' = (0,8668 - j13,0989) + (0,1355 - j1,2530) \\ &= (1,0002 - j14,3519) \text{ kA} \end{aligned}$$

$$I_{kFI}'' = 14,387 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_k=R_k+jX_k$ kısıadevre yolunun empedansından $R_{kQ,F1}/X_{kQ,F1} =0,1102/1,6654=0,066$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{Q,F1}=1,02 + 0,98e^{-3R_{kQ,F1} / X_{kQ,F1}} = 1,02+0,98e^{-3.0,066}=1,824$$

$$i_{pQ,F1} = \kappa_{Q,F1} \sqrt{2} I_{kQ,F1}'' = 1,824 \sqrt{2} .13,128 = 33,864 \text{ kA}$$

$R_{kGK,F1}/X_{kGK,F1} = 1,8688/17,2845=0,108$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{GK,F1}=1,02 + 0,98e^{-3R_{kGK,F1} / X_{kGK,F1}} = 1,02+0,98e^{-3.0,108}=1,729$$

$$i_{pGK,F1} = \kappa_{GK,F1} \sqrt{2} I_{kGK,F1}'' = 1,729 \sqrt{2} .1,260 = 3,081 \text{ kA}$$

$$i_{pF1}= i_{pQ,F1}+ i_{pGK,F1}=33,864+3,081=36,945 \text{ kA}$$

F2 kısıadevre yeri:

F2 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{kQ,F2} &= \underline{Z}_{kQ,F1} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_{L3} \\ &= (0,1102 + j1,6654) + (0,0191+j0,0258) + (0,5015+j1,491) + (0,0092+j0,0124) \\ &= (0,6400 + j3,1946) \Omega \end{aligned}$$

$$\underline{Z}_{kGK,F2} = \underline{Z}_{\gamma t} = (1,3390 + j15,7553) \Omega$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı, (20) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$\underline{I}_{kQ,F2}'' = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \underline{Z}_{kQ,F2}} = \frac{1,1.34,5}{\sqrt{3} (0,6400 + j3,1946)} = (1,3210 - j6,5939) \text{ kA}$$

$$I_{kQ,F2}'' = 6,725 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kGK,F2}'' = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \underline{Z}_{kGK,F2}} = \frac{1,1.34,5}{\sqrt{3} (1,3390 + j15,7553)} = (0,1173 - j1,3807) \text{ kA}$$

$$I_{kGK,F2}'' = 1,386 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kF2}'' = \underline{I}_{kQ,F2}'' + \underline{I}_{kGK,F2}'' = (1,3210 - j6,5939) + (0,1173 - j1,3807)$$

$$= (1,4383 - j7,9746) \text{ kA}$$

$$I''_{kF2} = 8,103 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_k = R_k + jX_k$ kısıadevre yolunun empedansından $R_{kQ,F2}/X_{kQ,F2} = 0,6400/3,1946 = 0,200$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{Q,F2} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kQ,F2}/X_{kQ,F2}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,200} = 1,558$$

$$i_{pQ,F2} = \kappa_{Q,F2} \sqrt{2} I''_{kQ,F2} = 1,558 \sqrt{2} \cdot 6,725 = 14,817 \text{ kA}$$

$R_{kGK,F2}/X_{kGK,F2} = 1,3390/15,7553 = 0,086$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{GK,F2} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kGK,F2}/X_{kGK,F2}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,086} = 1,779$$

$$i_{pGK,F2} = \kappa_{GK,F2} \sqrt{2} I''_{kGK,F2} = 1,779 \sqrt{2} \cdot 1,386 = 3,487 \text{ kA}$$

$$i_{pF2} = i_{pQ,F2} + i_{pGK,F2} = 14,817 + 3,487 = 18,304 \text{ kA}$$

F3 kısıadevre yeri:

F3 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_{kQ,F3} = \underline{Z}_{kQ,F2t} + \underline{Z}_{TLV} + \underline{Z}_{L4}$$

$$= (0,6400 + j3,1946) \cdot \left(\frac{1}{34,5/10} \right)^2 + (0,02745 + j0,4932) + (0,0038 + j0,0008)$$

$$= (0,0850 + j0,7624) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kGK,F3} = \underline{Z}_{rsl} = (0,0790 + j0,8297) \Omega$$

I''_k en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı, (20) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$\underline{I''}_{kQ,F3} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kQ,F3}} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3}(0,0850 + j0,7624)} = (0,9173 - j8,2278) \text{ kA}$$

$$I''_{kQ,F3} = 8,279 \text{ kA}$$

$$\underline{I''}_{kGK,F3} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kGK,F3}} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3}(0,0790 + j0,8297)} = (0,7223 - j7,5856) \text{ kA}$$

$$I''_{kGK,F3} = 7,620 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} \underline{I''}_{kF3} &= \underline{I''}_{kQ,F3} + \underline{I''}_{kGK,F3} = (0,9173 - j8,2278) + (0,7223 - j7,5856) \\ &= (1,6396 - j15,8134) \text{ kA} \end{aligned}$$

$$I''_{kF3} = 15,898 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_k = R_k + jX_k$ kısıadevre yolunun empedansından $R_{kQ,F3}/X_{kQ,F3} = 0,0850/0,7624 = 0,111$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{Q,F3} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kQ,F3}/X_{kQ,F3}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,111} = 1,722$$

$$i_{pQ,F3} = \kappa_{Q,F3} \sqrt{2} I''_{kQ,F3} = 1,722 \sqrt{2} \cdot 8,279 = 20,162 \text{ kA}$$

$R_{kGK,F3}/X_{kGK,F3} = 0,0790/0,8297 = 0,095$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{GK,F3} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kGK,F3}/X_{kGK,F3}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,095} = 1,757$$

$$i_{pGK,F3} = \kappa_{GK,F3} \sqrt{2} I''_{kGK,F3} = 1,757 \sqrt{2} \cdot 7,620 = 18,934 \text{ kA}$$

$$i_{pF3} = i_{pQ,F3} + i_{pGK,F3} = 20,162 + 18,934 = 39,096 \text{ kA}$$

F4 kısıadevre yeri:

F4 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_\delta = \underline{Z}_{kQ,F3} \parallel \underline{Z}_\beta$$

$$\underline{Z}_\beta = (0,1497 + j1,3510) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kQ,F3} = (0,0850 + j0,7624)$$

$$\underline{Z}_{\delta} = \underline{Z}_{kQ,F3} \parallel \underline{Z}_{\beta}$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_{\delta}} = \frac{1}{\underline{Z}_{kQ,F3}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\beta}} = \frac{1}{(0,0850 + j0,7624)} + \frac{1}{(0,1497 + j1,3510)}$$

$$\underline{Z}_{\delta} = (0,0542 + j0,4874) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kF4,Q} = \underline{Z}_{\delta} + \underline{Z}_{L5} = (0,0542 + j0,4874) + (0,0015 + j0,0003)$$

$$= (0,06921 + j0,4876) \Omega$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısadevre akımı, (20) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$\underline{I}_{kQ,F4}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kQ,F4}} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3}(0,0692 + j0,4876)} = (1,8119 - j12,7657) \text{ kA}$$

$$I_{kQ,F4}'' = 12,894 \text{ kA}$$

$$\underline{Z}_{kGK,F4} = \underline{Z}_{GK} = (0,1503 + j2,1475) \Omega$$

$$\underline{I}_{kGK,F4}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kGK,F4}} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3}(0,1503 + j2,1475)} = (0,2059 - j2,9429) \Omega$$

$$I_{kGK,F4}'' = 2,950 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kF4}'' = \underline{I}_{kQ,F4}'' + \underline{I}_{kGK,F4}'' = (1,8119 - j12,7657) + (0,2059 - j2,9424)$$

$$= (2,0176 - j15,7086) \text{ kA}$$

$$I_{kF4}'' = 15,838 \text{ kA}$$

i_p darbe kısadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_k = R_k + jX_k$ kısadevre yolunun empedansından $R_{kQ,F3}/X_{kQ,F3} = 0,06921/0,4876 = 0,142$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{Q,F4} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kQ,F4}/X_{kQ,F4}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,142} = 1,660$$

$$i_{pQ,F4} = \kappa_{Q,F4} \sqrt{2} I_{kQ,F4}'' = 1,660 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,894 = 30,270 \text{ kA}$$

$R_{kGK,F4}/X_{kGK,F4} = 0,1503/2,1475 = 0,070$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{GK,F4} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kGK,F4}/X_{kGK,F4}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,070} = 1,814$$

$$i_{pGK,F4} = \kappa_{GK,F4} \sqrt{2} I''_{kGK,F4} = 1,814 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,9501 = 7,568 \text{ kA}$$

$$i_{pF4} = i_{pQ,F4} + i_{pGK,F4} = 30,270 + 7,568 = 37,838 \text{ kA}$$

F5 kısıadevre yeri:

F5 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_\varepsilon = \underline{Z}_{kQ,F3} \parallel \underline{Z}_{rsl}$$

$$\underline{Z}_{kGK,F3} = \underline{Z}_{rsl} = (0,0790 + j0,8297) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kQ,F3} = (0,0850 + j0,7624)$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_\varepsilon} = \frac{1}{\underline{Z}_{kQ,F3}} + \frac{1}{\underline{Z}_{rsl}} = \frac{1}{(0,0850 + j0,7624)} + \frac{1}{(0,0790 + j0,8297)}$$

$$\underline{Z}_\varepsilon = (0,04119 + j0,3973) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kF5} = \underline{Z}_\varepsilon + \underline{Z}_{L6} = (0,04119 + j0,3973) + (0,0099 + j0,00110)$$

$$= (0,05109 + j0,4083) \Omega$$

I''_k en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı, (20) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$\underline{I}_{kF5}'' = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \underline{Z}_{kF5}} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} (0,05109 + j0,4083)} = (1,9162 - j15,3130) \text{ kA}$$

$$I_{kF5}'' = 15,432 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_k = R_k + jX_k$ kısıadevre yolunun empedansından $R_{kF5}/X_{kF5} = 0,05109/0,4083 = 0,125$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{F5} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kF5}/X_{kF5}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,125} = 1,693$$

$$i_{pF5} = \kappa_{F5} \sqrt{2} I''_{kF5} = 1,693 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,432 = 36,948 \text{ kA}$$

F6 kısıadevre yeri:

F6 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_{kF5} = (0,05109 + j0,4083)\Omega$$

$$\underline{Z}_{kF6} = \underline{Z}_{kF5t} + \underline{Z}_{T1-2LV} = (0,05109 + j0,4083) \cdot \left(\frac{1}{10/0,4}\right)^2 + (0,0006 + j0,0038) = (0,6817 + j4,4533) \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$10^{-3} \Omega$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı, (20) bağıntısından, $c=1,0$ (Çizelge 2.2) için:

$$\underline{I}_{kF6}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kF6}} = \frac{1,0 \cdot 0,4}{\sqrt{3}(0,6817 + j4,4533) \cdot 10^{-3}} = (7,7571 - j50,6710) \text{ kA}$$

$$I_{kF6}'' = 51,261 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_k = R_k + jX_k$ kısıadevre yolunun empedansından $R_{kF6}/X_{kF6} = 0,68174/4,4533 = 0,153$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{F6} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kF6}/X_{kF6}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,153} = 1,639$$

$i_{pF6} = \kappa_{F6} \sqrt{2} I_{kF6}'' = 1,639 \cdot \sqrt{2} \cdot 51,26 = 118,818 \text{ kA}$ 2.4. F1, F2, F3, F4, F5 ve F6 kısıadevre yerlerinde iki faz kısıadevreler için I_{k2}'' ve i_{p2} akımlarının hesabı:

F1 kısıadevre yerinde iki faz kısıadevre akımı:

$$\underline{Z}_{(1)Q,F1} = \underline{Z}_{(2)Q,F1} = \underline{Z}_{kQ,F1} = (0,1102 + j1,6654) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k2Q,F1} = \underline{Z}_{(1)kQ,F1} + \underline{Z}_{(2)kQ,F1} = 2 \cdot (0,1102 + j1,6654) = (0,2204 + j3,3308) \Omega$$

$$Z_{k2Q,F1} = |\underline{Z}_{k2Q,F1}| = \sqrt{0,2204^2 + 3,3308^2} = 3,3381 \Omega$$

$$\underline{Z}_{(1)GK,F1} = \underline{Z}_{(2)GK,F1} = \underline{Z}_{kGK,F1} = (1,8688 + j17,2845) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k2GK,F1} = \underline{Z}_{(1)kGK,F1} + \underline{Z}_{(2)kGK,F1} = 2 \cdot (1,8688 + j17,2845)$$

$$= (3,7376 + j34,5690) \Omega$$

$$Z_{k2GK,F1} = |\underline{Z}_{k2GK,F1}| = \sqrt{3,7376^2 + 34,5690^2} = 34,7705 \Omega$$

I''_{k2} en büyük iki faz kısıadevre akımı, (23) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$I''_{k2Q,F1} = \frac{cU_n}{Z_{k2Q,F1}} = \frac{1,1 \cdot 34,5}{33,81} = 1,369 \text{ kA}$$

$$I''_{k2GK,F1} = \frac{cU_n}{Z_{k2GK,F1}} = \frac{1,1 \cdot 34,5}{34,7705} = 1,091 \text{ kA}$$

$$I''_{k2GK,F1} = 1,091 \text{ kA}$$

$$I''_{k2,F1} = I''_{k2Q,F1} + I''_{k2GK,F1} = 1,369 + 1,091 = 2,460 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F1} = 2,460 \text{ kA}$$

i_{p2} iki faz darbe kısıadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_{k2}=R_{k2}+jX_{k2}$ iki faz kısıadevre yolunun empedansından $R_{k2Q,F1}/X_{k2Q,F1} = (2,0,1102)/(2,1,6654)=0,066$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2Q,F1} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{k2Q,F1}/X_{k2Q,F1}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,066} = 1,824$$

$$i_{p2Q,F1} = \kappa_{2Q,F1} \sqrt{2} I''_{k2Q,F1} = 1,824 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,369 = 2,9327 \text{ kA}$$

$R_{k2GK,F1}/X_{k2GK,F1} = (2,1,8688)/(2,17,2845)=0,108$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2GK,F1} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{k2GK,F1}/X_{k2GK,F1}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,108} = 1,729$$

$$i_{p2GK,F1} = \kappa_{2GK,F1} \sqrt{2} I''_{k2GK,F1} = 1,729 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,091 = 2,668 \text{ kA}$$

$$i_{p2F1} = i_{p2Q,F1} + i_{p2GK,F1} = 2,9327 + 2,668 = 5,6007 \text{ kA}$$

F2 kısıadevre yerinde iki faz kısıadevre akımı:

$$\underline{Z}_{(1)Q,F2} = \underline{Z}_{(2)Q,F2} = \underline{Z}_{kQ,F2} = (0,6400 + j3,1946) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k2Q,F2} = \underline{Z}_{(1)kQ,F2} + \underline{Z}_{(2)kQ,F2} = 2 \cdot (0,6400 + j3,1946) = (1,2800 + j6,3892) \Omega$$

$$Z_{k2Q,F2} = |\underline{Z}_{k2Q,F2}| = \sqrt{1,2800^2 + 6,3892^2} = 6,5162 \Omega$$

$$\underline{Z}_{(1)GK,F2} = \underline{Z}_{(2)GK,F2} = \underline{Z}_{kGK,F2} = (1,3390 + j15,7553)\Omega$$

$$\underline{Z}_{k2GK,F2} = \underline{Z}_{(1)kGK,F2} + \underline{Z}_{(2)kGK,F2} = 2.(1,3390 + j15,7553)$$

$$= (2,6780 + j31,5106) \Omega$$

$$Z_{k2GK,F2} = |\underline{Z}_{k2GK,F2}| = \sqrt{2,6780^2 + 31,5106^2} = 31,6242 \Omega$$

I''_{k2} en büyük iki faz kısadevre akımı, (23) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$I''_{k2Q,F2} = \frac{cU_n}{Z_{k2Q,F2}} = \frac{1,1.34,5}{6,5162} = 5,824 \text{ kA}$$

$$I''_{k2GK,F2} = \frac{cU_n}{Z_{k2GK,F2}} = \frac{1,1.34,5}{31,6242} = 1,200 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F2} = I''_{k2Q,F2} + I''_{k2GK,F2} = 5,824 + 1,200 = 7,024 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F2} = 7,024 \text{ kA}$$

i_p iki faz darbe kısadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_{k2}=R_{k2}+jX_{k2}$ iki faz kısadevre yolunun empedansından $R_{k2Q,F2}/X_{k2Q,F2} = (2,0,6400)/(2,1,1946)=0,200$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2Q,F2}=1,02 + 0,98e^{-3R_{k2Q,F2}/X_{k2Q,F2}} = 1,02+0,98e^{-3.0,200}=1,569$$

$$i_{p2Q,F2} = \kappa_{2Q,F2} \sqrt{2} I''_{k2Q,F2} = 1,569.\sqrt{2}.5,824 = 12,923 \text{ kA}$$

$R_{k2GK,F2}/X_{k2GK,F2} = (2,1,3390)/(2,15,7553)=0,086$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2GK,F2}=1,02 + 0,98e^{-3R_{k2GK,F2}/X_{k2GK,F2}} = 1,02+0,98e^{-3.0,086}=1,779$$

$$i_{p2GK,F2} = \kappa_{2GK,F2} \sqrt{2} I''_{k2GK,F2} = 1,779.\sqrt{2}.1,200 = 3,019 \text{ kA}$$

$$i_{p2F2}=i_{p2Q,F2}+i_{p2GK,F2}=12,923+3,019=15,942 \text{ kA}$$

F3 kısadevre yerinde iki faz kısadevre akımı:

$$\underline{Z}_{(1)Q,F3} = \underline{Z}_{(2)Q,F3} = \underline{Z}_{kQ,F3} = (0,0850 + j0,7624) \Omega$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{k2Q,F3} &= \underline{Z}_{(1)kQ,F3} + \underline{Z}_{(2)kQ,F3} = 2.(0,0850 + j0,7624) \\ &= (0,1700 + j1,5248) \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{k2Q,F3} = |\underline{Z}_{k2Q,F3}| = \sqrt{0,1700^2 + 1,5248^2} = 1,5342 \Omega$$

$$\underline{Z}_{(1)GK,F3} = \underline{Z}_{(2)GK,F3} = \underline{Z}_{kGK,F3} = (0,0790 + j0,8297) \Omega$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{k2GK,F3} &= \underline{Z}_{(1)kGK,F3} + \underline{Z}_{(2)kGK,F3} = 2.(0,0790 + j0,8297) \\ &= (0,1580 + j1,6594) \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{k2GK,F3} = |\underline{Z}_{k2GK,F3}| = \sqrt{0,1580^2 + 1,6594^2} = 1,6669 \Omega$$

I''_{k2} en büyük iki faz kısadevre akımı, (23) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$I''_{k2Q,F3} = \frac{cU_n}{Z_{k2Q,F3}} = \frac{1,1 \cdot 10}{1,5342} = 7,170 \text{ kA}$$

$$I''_{k2GK,F3} = \frac{cU_n}{Z_{k2GK,F3}} = \frac{1,1 \cdot 10}{1,6669} = 6,599 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F3} = I''_{k2Q,F3} + I''_{k2GK,F3} = 7,170 + 6,599 = 13,769 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F3} = 13,769 \text{ kA}$$

i_p iki faz darbe kısadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_{k2}=R_{k2}+jX_{k2}$ iki faz kısadevre yolunun empedansından $R_{k2Q,F3}/X_{k2Q,F3} = (2.0,0850)/(2.0,7624)=0,111$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2Q,F3} = 1,02 + 0,98e^{-3R_{k2Q,F3}/X_{k2Q,F3}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,111} = 1,722$$

$$i_{p2Q,F3} = \kappa_{2Q,F3} \sqrt{2} I''_{k2Q,F3} = 1,722 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,170 = 17,461 \text{ kA}$$

$R_{k2GK,F3}/X_{k2GK,F3} = (2.0,0790)/(2.0,8297)=0,095$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2GK,F3}=1,02 + 0,98e^{-3R_{k2GK,F3} / X_{k2GK,F3}} = 1,02+0,98e^{-3.0,095}=1,757$$

$$i_{p2GK,F3} = \kappa_{2GK,F3} \sqrt{2} I''_{k2GK,F3} = 1,757 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,599 = 16,397 \text{ kA}$$

$$i_{p2F3} = i_{p2Q,F3} + i_{p2GK,F3} = 17,461 + 16,397 = 33,858 \text{ kA}$$

F4 kısıadevre yerinde iki faz kısıadevre akımı:

$$\underline{Z}_{(1)Q,F4} = \underline{Z}_{(2)Q,F4} = \underline{Z}_{kQ,F4} = (0,0692 + j0,4876) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k2Q,F4} = \underline{Z}_{(1)kQ,F4} + \underline{Z}_{(2)kQ,F4} = 2 \cdot (0,0692 + j0,4876)$$

$$= (0,1384 + j0,9752) \Omega$$

$$Z_{k2Q,F4} = |\underline{Z}_{k2Q,F4}| = \sqrt{0,1384^2 + 0,9752^2} = 0,9850 \Omega$$

$$\underline{Z}_{(1)GK,F4} = \underline{Z}_{(2)GK,F4} = \underline{Z}_{kGK,F4} = (0,1503 + j2,1475) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k2GK,F4} = \underline{Z}_{(1)kGK,F4} + \underline{Z}_{(2)kGK,F4} = 2 \cdot (0,1503 + j2,1475)$$

$$= (0,3006 + j4,2950) \Omega$$

$$Z_{k2GK,F4} = |\underline{Z}_{k2GK,F4}| = \sqrt{0,3006^2 + 4,2950^2} = 4,3055 \Omega$$

I''_{k2} en büyük iki faz kısıadevre akımı, (23) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$I''_{k2Q,F4} = \frac{cU_n}{Z_{k2Q,F4}} = \frac{1,1 \cdot 10}{0,9850} = 11,168 \text{ kA}$$

$$I''_{k2GK,F4} = \frac{cU_n}{Z_{k2GK,F4}} = \frac{1,1 \cdot 10}{4,3055} = 2,555 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F4} = I''_{k2Q,F4} + I''_{k2GK,F4} = 11,168 + 2,555 = 13,723 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F4} = 13,723 \text{ kA}$$

i_p iki faz darbe kısıadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_{k2}=R_{k2}+jX_{k2}$ iki faz kısadevre yolunun empedansından $R_{k2Q,F4}/X_{k2Q,F4}=(2.0,0692)/(2.0,4876)=0,142$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2Q,F4}=1,02+0,98e^{-3R_{k2Q,F4}/X_{k2Q,F4}}=1,02+0,98e^{-3.0,142}=1,660$$

$$i_{p2Q,F4}=\kappa_{2Q,F4}\sqrt{2}I_{k2Q,F4}''=1,660\sqrt{2}.11,168=26,218 \text{ kA}$$

$R_{k2GK,F4}/X_{k2GK,F4}=(2.0,1503)/(2.2,1475)=0,070$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2GK,F4}=1,02+0,98e^{-3R_{k2GK,F4}/X_{k2GK,F4}}=1,02+0,98e^{-3.0,070}=1,814$$

$$i_{p2GK,F4}=\kappa_{2GK,F4}\sqrt{2}I_{k2GK,F4}''=1,814.\sqrt{2}.2,555=6,555 \text{ kA}$$

$$i_{p2F4}=i_{p2Q,F4}+i_{p2GK,F4}=26,218+6,555=32,773 \text{ kA}$$

F5 kısadevre yerinde ki faz kısadevre akımı:

$$\underline{Z}_{(1)F5}=\underline{Z}_{(2)F5}=\underline{Z}_{kF5}=(0,05109+j0,4083) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k2F5}=\underline{Z}_{(1)kF5}+\underline{Z}_{(2)kF5}=2.(0,05109+j0,4083)$$

$$=(0,1022+j0,8166) \Omega$$

$$Z_{k2F5}=|\underline{Z}_{k2F5}|=\sqrt{0,1022^2+0,8166^2}=0,8230 \Omega$$

I_{k2}'' en büyük iki faz kısadevre akımı, (23) bağıntısından, $c=1,1$ (Çizelge 2.2) için:

$$I_{k2F5}''=\frac{cU_n}{Z_{k2Q,F5}}=\frac{1,1.10}{0,8230}=13,366 \text{ kA}$$

$$I_{k2F5}''=13,366 \text{ kA}$$

i_p iki faz darbe kısadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_{k2}=R_{k2}+jX_{k2}$ iki faz kısadevre yolunun empedansından $R_{k2F5}/X_{k2F5}=(2.0,05109)/(2.0,4083)=0,125$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2F5}=1,02+0,98e^{-3R_{k2F5}/X_{k2F5}}=1,02+0,98e^{-3,0,125}=1,693$$

$$i_{p2F5}=\kappa_{2F5}\sqrt{2}I''_{k2F5}=1,693.\sqrt{2}.13,366=32,002 \text{ kA}$$

F6 kısadevre yerinde iki faz kısadevre akımı:

$$\underline{Z}_{(1)F6}=\underline{Z}_{(2)F6}=\underline{Z}_{kF6}=(0,68174+j4,4533) \text{ m}\Omega$$

$$\underline{Z}_{k2F6}=\underline{Z}_{(1)kF6}+\underline{Z}_{(2)kF6}=2.(0,68174+j4,4533)$$

$$=(1,3634+j9,0660) \text{ m}\Omega$$

$$Z_{k2F6}=|\underline{Z}_{k2F6}|=\sqrt{1,3634^2+9,0660^2}=9,1679 \text{ m}\Omega$$

I''_{k2} en büyük iki faz kısadevre akımı, (23) bağıntısından, $c=1,0$ (Çizelge 2.2) için:

$$I''_{k2F6}=\frac{cU_n}{Z_{k2Q,F6}}=\frac{1,0.0,4}{9,1679.10^{-3}}=43,630 \text{ kA}$$

$$I''_{k2F6}=43,630 \text{ kA}$$

i_p iki faz darbe kısadevre akımının hesabı için bölüm 2.9.2.3.2 ye göre, yaklaşık olan yöntem A (16):

$Z_{k2}=R_{k2}+jX_{k2}$ iki faz kısadevre yolunun empedansından $R_{k2F6}/X_{k2F6}=(2,0,68174)/(2,4,4533)=0,153$ oranı bulunur ve bölüm 2.9.2.2.2 de κ için verilen bağıntıdan:

$$\kappa_{2F6}=1,02+0,98e^{-3R_{k2F6}/X_{k2F6}}=1,02+0,98e^{-3,0,153}=1,639$$

$$i_{p2F6}=\kappa_{2F6}\sqrt{2}I''_{k2F6}=1,639.\sqrt{2}.43,630=101,130 \text{ kA}$$

5.3 F1 ve F2 kısadevre yerlerindeki faz-toprak kısadevre akımları için I''_{k1} ve i_{p1} kısadevre akımlarının hesabı:

F1 kısadevre yerindeki faz-toprak kısadevresinde kısadevre akımı, toprağa değen faz ile F1 kısadevre noktası üzerinden QT transformatörünün topraklanmış olan yıldız noktasına; ayrıca, toprağa değen faz ile T transformatörünün topraklanmış olan yıldız noktasına akar.

Kısadevre empedansları:

$$\underline{Z}_{(1)Q,F1} = \underline{Z}_{(2)Q,F1} = (0,1102+j1,6654) \Omega$$

$$\underline{Z}_{(0)Q,F1} = \underline{Z}_{(0)QTLV} + \underline{Z}_{(0)E} = (0,0833+j1,1168) + (3.20+j0) = (60,0833+j1,1168) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k1Q,F1} = \underline{Z}_{(1)Q,F1} + \underline{Z}_{(2)Q,F1} + \underline{Z}_{(0)Q,F1}$$

$$= 2\underline{Z}_{(1)Q,F1} + \underline{Z}_{(0)Q,F1} = 2(0,1102+j1,6654) + (60,0833+j1,1168)$$

$$= (60,3037+j4,4476) \Omega$$

$$|2\underline{Z}_{(1)Q,F1} + \underline{Z}_{(0)Q,F1}| = \sqrt{60,3037^2 + 4,4476^2} = 60,4675 \Omega$$

$$\underline{Z}_{(1)GK,F1} = \underline{Z}_{(2)GK,F1} = (1,8688+j17,2845) \Omega$$

$$\underline{Z}_{(0)GK,F1} = \underline{Z}_{(0)L1} + \underline{Z}_{(0)L2} + \underline{Z}_{(0)L3} + \underline{Z}_{(0)THV} + \underline{Z}_{(0)E}$$

$$= (0,0191+j0,0774) + (0,5015+j5,9640) + (0,0092+j0,0372)$$

$$+ (0,3267+j5,2833) + (3.20+j0) = (60,8565+j11,3619) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k1GK,F1} = \underline{Z}_{(1)GK,F1} + \underline{Z}_{(2)GK,F1} + \underline{Z}_{(0)GK,F1}$$

$$= 2\underline{Z}_{(1)GK,F1} + \underline{Z}_{(0)GK,F1} = 2 \cdot (1,8688+j17,2845) + (60,8565+j11,3619)$$

$$= (64,5941+j45,9309) \Omega$$

$$|2\underline{Z}_{(1)GK,F1} + \underline{Z}_{(0)GK,F1}| = \sqrt{64,5941^2 + 45,9309^2} = 79,2595 \Omega$$

Faz-toprak kısadevresi için I_{k1}'' başlangıç kısadevre akımı, (29) bağıntısından:

$$I_{k1Q,F1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|2\underline{Z}_{(1)Q,F1} + \underline{Z}_{(0)Q,F1}|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 34,5}{60,4675} = 1,087 \text{ kA}$$

$$I_{k1F1,GK}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{2\underline{Z}_{(1)GK,F1} + \underline{Z}_{(0)GK,F1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 34,5}{79,2595} = 0,829 \text{ kA}$$

$$I_{k1F1}'' = I_{k1F1,Q}'' + I_{k1F1,GK}'' = 1,087 + 0,829 = 1,916 \text{ kA}$$

$$I_{k1F1}'' = 1,916 \text{ kA}$$

F2 kısıadevre yerindeki faz-toprak kısıadevresinde kısıadevre akımı, toprağa değen faz ile F2 kısıadevre noktası üzerinden QT transformatörünün topraklanmış olan yıldız noktasına; ayrıca, toprağa değen faz ile T transformatörünün topraklanmış olan yıldız noktasına akar.

Kısıadevre empedansları:

$$\underline{Z}_{(1)Q,F2} = \underline{Z}_{(2)Q,F2} = (0,6400 + j3,1946) \Omega$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{(0)Q,F2} &= \underline{Z}_{(0)QTLV} + \underline{Z}_{(0)L1} + \underline{Z}_{(0)L2} + \underline{Z}_{(0)L3} + \underline{Z}_{(0)E} \\ &= (0,0833 + j1,1168) + (0,0191 + j0,0774) + (0,5015 + j5,9640) + (0,0092 + j0,0372) \\ &\quad + (3,20 + j0) = (60,6128 + j7,1954) \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{k1Q,F2} &= 2\underline{Z}_{(1)Q,F2} + \underline{Z}_{(0)Q,F2} = 2(0,6400 + j3,1946) + (60,6128 + j7,1954) \\ &= (61,8928 + j13,5846) \Omega \end{aligned}$$

$$|2\underline{Z}_{(1)Q,F2} + \underline{Z}_{(0)Q,F2}| = \sqrt{61,8928^2 + 13,5846^2} = 63,3661 \Omega$$

$$\underline{Z}_{(1)GK,F2} = \underline{Z}_{(2)GK,F2} = (1,3390 + j15,7553) \Omega$$

$$\underline{Z}_{(0)GK,F2} = \underline{Z}_{(0)THV} + \underline{Z}_{(0)E} = (0,3267 + j5,2833) + (3,20 + j0) = (60,3267 + j5,2833) \Omega$$

$$\underline{Z}_{k1GK,F2} = \underline{Z}_{(1)GK,F2} + \underline{Z}_{(2)GK,F2} + \underline{Z}_{(0)GK,F2}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{k1GK,F2} &= 2\underline{Z}_{(1)GK,F2} + \underline{Z}_{(0)GK,F2} = 2(1,3390 + j15,7553) + (60,3267 + j5,2833) \\ &= (63,0047 + j36,7939) \Omega \end{aligned}$$

$$|2\underline{Z}_{(1)GK,F2} + \underline{Z}_{(0)GK,F2}| = \sqrt{63,0047^2 + 36,7939^2} = 72,9615 \Omega$$

Faz-toprak kısıadevresi için I_{k1}'' başlangıç kısıadevre akımı, (29) bağıntısından:

$$I_{k1Q,F2}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{Z_{k1Q,F2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 11,34,5}{63,3661} = 1,037 \text{ kA}$$

$$I_{k1GK,F2}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{Z_{k1GK,F2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 11,34,5}{72,9615} = 0,901 \text{ kA}$$

$$I_{k1F2}'' = I_{k1Q,F2}'' + I_{k1GK,F2}'' = 1,037 + 0,901 = 1,938 \text{ kA}$$

$$I_{k1F2}'' = 1,938 \text{ kA}$$

Öge	Gerilim [kV]	Kısadevre yeri						
		154 kV bara	F1	F2	F3	F4	F5	F6
QT Transformatörü	34,5		14,387					
Yıldız Entegre barası	34,5			8,103				
	10				15,898			
Generatör	10					15,838		
T1-2 Transformatörü	10						15,432	
	0,4							51,261

Çizelge 5. 2 Üç faz kısadevre akımları:

Öge	Gerilim [kV]	Kısadevre yeri					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
QT Transformatörü	34,5	12,460					
Yıldız Entegre barası	34,5		7,024				
	10			13,769			
Generatör	10				13,723		
T1-2 Transformatörü	10					13,366	
	0,4						43,630

Çizelge 5. 3 İki faz (Toprak temassız) kısadevre akımları:

Öge	Gerilim [kV]	Kısadevre yeri	
		F1	F2
QT Transformatörü	34,5	1,617	
Yıldız Entegre barası	34,5		1,938

Çizelge 5. 4 Faz-toprak kısadevre akımları:

6. ANSI/IEEE C37.010.1999 VE KISADEVRE HESABININ TEORİK UYGULAMASI

ANSI/IEEE C37.010.1999 standardının amacı 1000 V ve üzerinde orta ve yüksek gerilim kesicilerinin seçilmesidir. Alçak gerilim kesicileri için belirlenmiş standart, bu tezde üzerinde durulmamış olan C37.013-1981'dir.

ANSI standardı p.u cinsinden ideal bir gerilim kaynağı ve onun önünde reaktanstan oluşan eşdeğer devre üzerinden basitleştirilmiş kısa devre hesabı yapmamıza imkân sağlar. E gerilim kaynağının tepe değeri hatanın olduğu baranın en yüksek çalışma voltajıdır ve hata öncesi gerilimi gösterir. Eğer çalışma gerilimi bilinmiyorsa nominal voltaj kullanılabilir.

Uygun düzeltici katsayılar yoluyla ANSI standardı DC ve AC kısa devre bileşenleri göz önüne alır. DC bileşen kısa-devre noktasından görünen eşdeğer empedansın X/R oranına bağlı olarak, AC bileşen ise motor yâda eşzaman generatör gibi döner makinelerin davranışları değerlendirilerek hesaplanır. AC bileşen ile ilgili olarak 2 olasılık göz önüne alınır, döner makine kısa-devre noktasına uzak yâda yakın olması durumları.

ANSI standardı kesiciyi simetrik akıma göre seçme eğilimindedir. Göz önüne alınan ister simetrik ister asimetrik olsun standart üç faz ve faz-toprak kısa-devreler üzerinde yoğunlaşır.

ANSI/IEEE C37.010.1999 da yapılan 3 çeşit çalışma vardır bunlar.

a-) İlk çevrim çalışması(firt cycle duty)

b-) Kontak ayırma çalışması(concat parting duty)

c-) Zaman gecikmeli cihazlar için kısa devre hesabı(short-circuit current for time delayed relaying devices)

6.1 İlk Çevrim Çalışması

Efektif akımın yarım döngüsüdür ve hata oluşumu sonrasındaki ilk döngü içinde oluşacak stresin oluşumunun incelenmesini sağlar. Hesaplamayı yapmak için ilk çevrim devresi kurulmalıdır. Bunun için durağan yüklerin empedansı ihmal edilmeli seri empedanlar ve çarpım katsayısıyla düzeltilmiş döner makinelerin geçici hal empedansları hesaba katılmalı. Reaktanslar, empedans yerine kullanılabilir. Döner makinelerin çarpım faktörleri tablodan alınır. İndüksiyon motorları güçleri ve kutup sayılarına göre 3 gruba ayrılır. İlk çevrim çalışmasında, hesaplamalarda yerel yâda uzak kısa-devre akım kaynaklarının göz önüne alınmasını gerektirmez.

İlk olarak eşdeğer reaktans X belirlenir, first-cycle hesabı E/X oranı ile yapılabilir. Bu simetrik çalışma kesicinin açma ve kapama kapasitesinde daha az olmalıdır ve DC bileşen hesaba katılmaz.

Standart X/R değerine ulaşmak için 2 değişik devreyi önerir. İlki sadece reaktansa diğeri sadece rezistanstan oluşur. Bu prosedür kompleks empedans kullanımından daha güvenlidir. X ve R sanal ve reel parçalardır.

6.2 Kontak Ayırma Çalışması

Bu çalışma kesici kutupları ayrılması sırasında oluşan akımın hesabı için yapılır. Standartta en düşük kontak ayırma zamanı 2.5-4 çevrim arası olan kesiciler dikkate alınmıştır. Hata öncesi gerilim kaynağı ve eşdeğer empedans ile oluşturulmuş kesici devre yapılmalıdır. Eş değer empedans daha önce belirtildiği gibi hesaplanır. Döner makinelerin geçici hal reaktansı çarpım kat sayısı farklıdır. Çünkü en az kontak ayırma zamanındaki AC bileşen ilk çevrimdekinden daha büyüktür.

ANSI standardı uygun kesici seçiminde 2 prosedür sağlar. En basit olasılık X/R bilinmiyorsa, yeterli kesiciyi simetrik kapasitesi $2.25 E/X$ 'ten daha büyük seçmektir. Ötekisi ise X/R oranı analiz edilmesi ve sistem rezistansının bilinmesi gerekmektedir. Eğer X/R oranı 15'ten küçükse kesici simetrik kapasitesi E/X değerine büyük-eşit seçilebilir, aksi halde daha detaylı bir prosedür(AC ve DC azalma miktarı için ayar isimli) gündeme gelir ve müteakip olarak değerlendirilir.

Bu metodun izinde ilk olarak E/X hesaplanır. X/R oranına bağlı olan uygun düzeltici katsayısı kullanarak kesiciyi seçmek mümkündür. Kesicinin nominal simetrik kapasitesi $F.E/X$ 'ten büyük olmalıdır. Bu yüzden geciktirici aygıt toplam kısa-devre akımı için de yeterli olmalıdır.

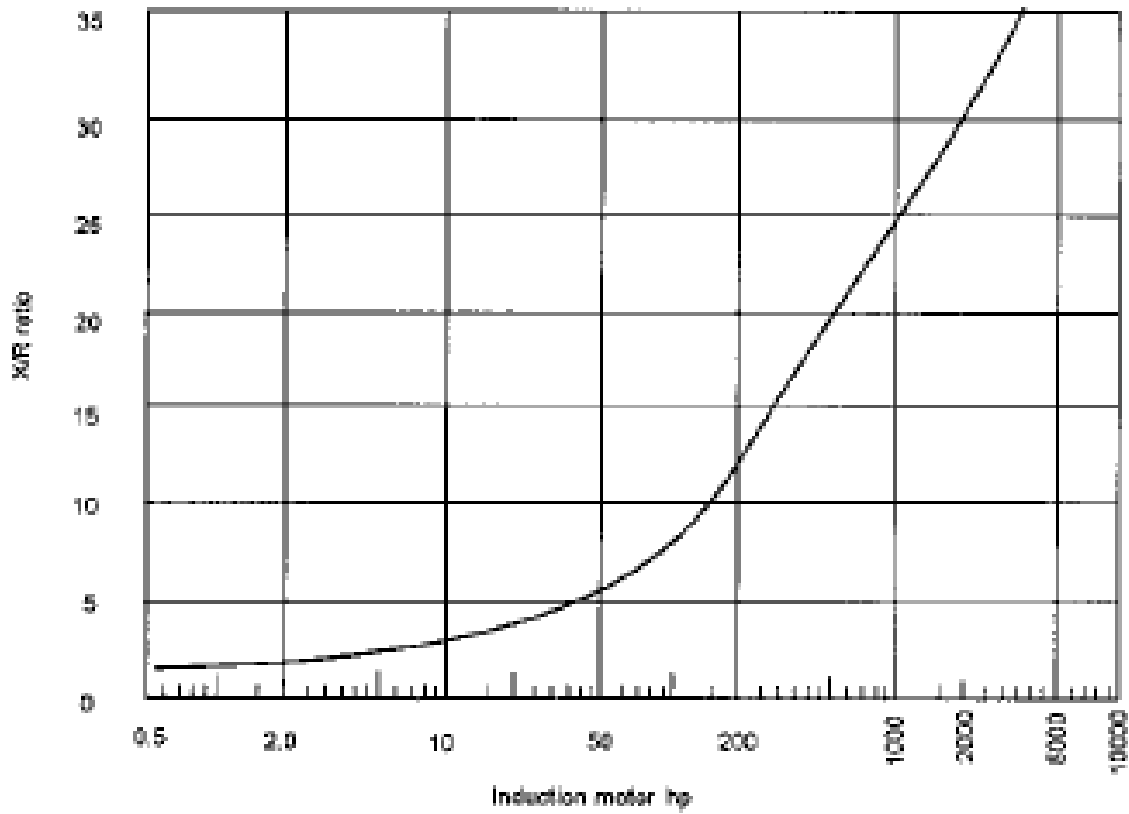
F katsayısı oluşturulurken eğrilerin 2 durumu uygundur standardın 5.3.2 maddesinde geçen uzak eğri ve yakın olan. Öncelikle hataya yakın noktadaki generatör deneye dayalı olarak bilinen AC ve DC bileşenler hesaba katılır. Sonraki eğri uzak generatörde olan hata ile ilgilidir ve DC bileşen içindir. Bu durumda $F.X/R$ 'nin analitik fonksiyonu olarak bulunabilir. Lokal ve uzak kaynaklar görüldüğünde hangi eğriden faydalanılacağına karar vermek zordur. Daha yüksek değerli bir katsayı uygulamak daha güvenli bir yol olacaktır. Tekil olarak hataya enterpolasyon tekniği uygulandığında, her bir durum için farklı çarpım faktörü uygulanır.

6.3 Zaman Gecikmeli Cihazlar İçin Kısa

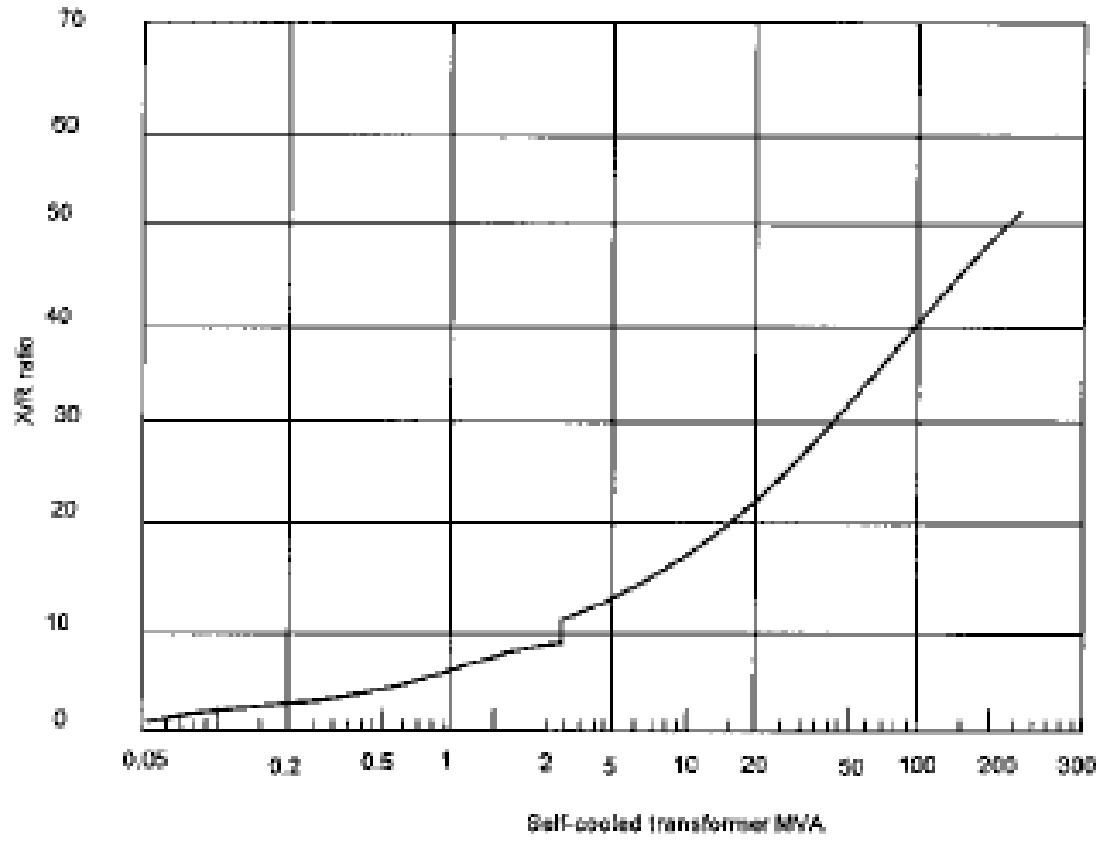
Zaman gecikmeli rölesi olan uygulamalarda 6 çevrimin ötesine uygulanması gereken çalışmadır. E/X 'ten elde edilen kısa-devre akımı, oluşturulan devrenin sadece jeneratörlerden oluşturulup, hat ve trafo gibi pasif elemanlar ve omitting motorlar göz ardı edilir. Generatörler transient reaktansları ile yâda AC bileşende hesaba katılan daha büyük reaktans ile gösterilir. DC bileşen 0 alınmalıdır. Buradan bulunacak değer IEC 909'daki I_k ile kıyaslanabilir.

Kısa devre rezistansları için çarpım faktörleri	
Sistem Bileşenleri	Yaklaşık Rezistans
Tirbün generatörler ve kondansatörler	Efektif rezistans
Çıkık kutuplu generatör ve motorlar	Efektif rezistans
Asenkron motorlar	Armatürün rezistansının 2.2 katı
Güç transformatörleri	AC yük bakır kayıpları
Reaktörler	AC rezistans
Kablo ve Hatlar	AC rezistans

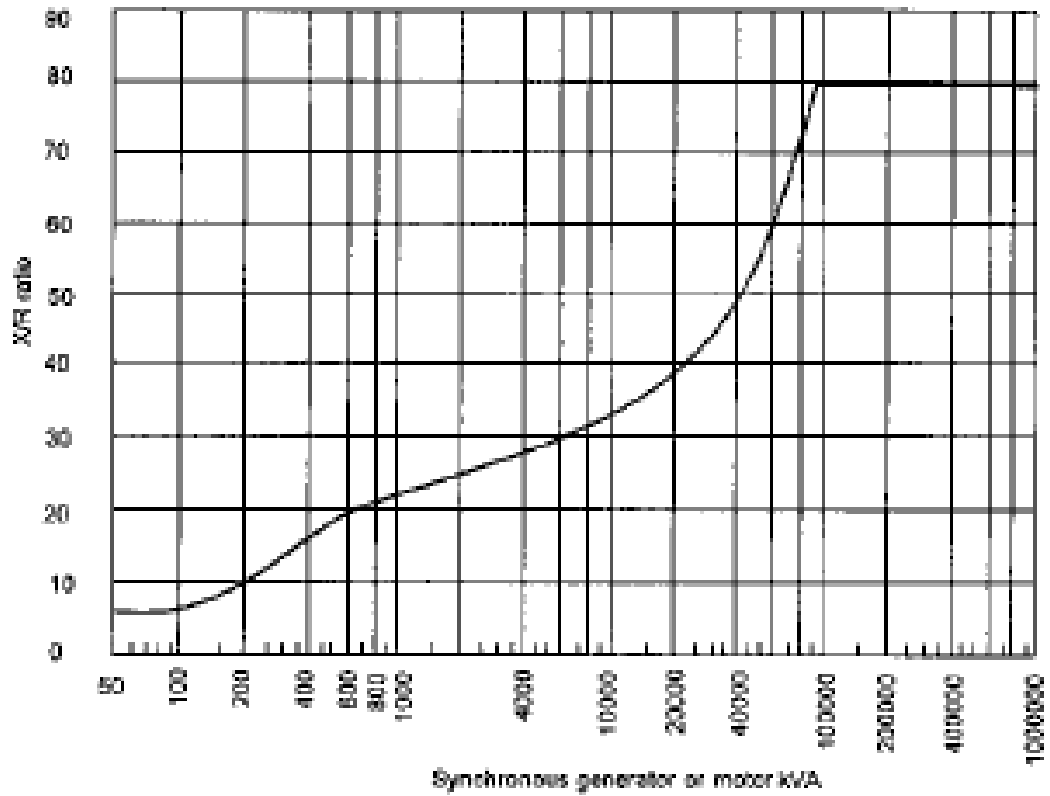
Çizelge 6. 1 AC ve DC eğrisi ayarlama



Şekil 6. 1 X/R oranı bilinmeyen asenkron motorlar için beygir gücüne bağlı X/R oranı eğrisi



Şekil 6. 2 X/R oranı bilinmeyen zorlamalı soğutması olmayan transformatörler için güçle bağlı X/R oranı eğrisi



Şekil 6. 3 X/R oranı bilinmeyen senkron makinalar için güce bağlı X/R oranı eğrisi

Döner makine çeşidi	+dizin reaktansları için	
	Interrupting duty(per unit)	Closing and latching duty(per unit)
Tüm tubo ve amortisör sargılı hidro generatörler ve tüm kondansatörler	$2.0X_d''$	$2.0X_d''$
Amortisör sargılı olmayan hidro generatörler	$0.75X_d''$	$0.75X_d''$
Tüm senkron motorlar	$2.5X_d''$	$2.0X_d''$
Asenkron motorları	$2.5X_d''$	$2.0X_d''$
1000 hp üstü, 1800 r/min yada altı	$2.5X_d''$	$2.0X_d''$
250 hp üstü, 3600 r/min	$3.0X_d''$	$2.0X_d''$
50 hp den., 1000 hp e, 1800 r/min yada altı	$3.0X_d''$	$2.0X_d''$
50 hp den 250 hp e, 3600 r/min	$3.0X_d''$	$2.0X_d''$
İhmal edimiş 3 fazlı asenkron motorları, 50 hp altı ve tüm tek fazlı motorlar		
Alçak gerilim sistemleri için		
50 hp üstü asenkron motorları	$3.0X_d''$	$2.2X_d''$
50 hp altı asenkron motorları	∞	$2.67X_d''$

Çizelge 6. 2 Döner makinaların kısa devre empedansları için çarpım faktörleri

6.4 Kısa devre Hesabının Teorik Uygulaması

ANSI standardında hesaplamada kullanılan per unit değerler yerine daha önce hesaplanmış, TS EN 60909 örneğindeki değerler kullanılacaktır.

6.4.1 2.1- +dizin empedansların hesabı:

UED = Ulusal elektrik şebekesi:

6.4.2 Şebeke fideri

$$Z_{Qt} = \frac{U_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{154^2}{4834} \cdot \frac{1}{(154/34,5)^2} = 0,2462 \Omega$$

$$X_{Qt} = 0,995 Z_{Qt} = 0,995 \cdot 0,2462 = 0,245 \Omega$$

$$R_{Qt}=0,1X_{Qt}=0,2.0,2462=0,02462 \Omega$$

$$\underline{Z}_{Qt}=(0,02462+j0,245) \Omega$$

6.4.3 Transformatörler:

İndirici transformatör QT:

$S_{rQT}=100$ MVA, $U_{rQTLV}=34,5$ kV, $u_{krQT}=\%11,75$ ve $u_{RrQT}=\%0,7$ için:

$$Z_{QTLV} = \frac{u_{krQT}}{\%100} \cdot \frac{U_{rQTLV}^2}{S_{rQT}} = \frac{\%11,75}{\%100} \cdot \frac{34,5^2}{100} = 1,3985 \Omega$$

$$R_{QTLV} = \frac{u_{RrQT}}{\%100} \cdot \frac{U_{rQTLV}^2}{S_{rQT}} = \frac{\%0,7}{\%100} \cdot \frac{34,5^2}{100} = 0,0833 \Omega$$

$$X_{QTLV} = \sqrt{Z_{QTLV}^2 - R_{QTLV}^2} = \sqrt{1,3985^2 - 0,0833^2} = 1,396 \Omega$$

$$\underline{Z}_{QTLV}=(0,0833+j1,396) \Omega$$

6.4.4 Step-up transformatör T:

$S_{rT}=20$ MVA, $U_{rTLV}=10$ kV, $u_{krT}=\%9,88$ ve $P_{krT}=109,792$ kW için:

$$Z_{TLV} = \frac{u_{krT}}{\%100} \cdot \frac{U_{rTLV}^2}{S_{rT}} = \frac{\%9,88}{\%100} \cdot \frac{10^2}{20} = 0,4940 \Omega$$

$$R_{TLV} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} = \frac{P_{krT}U_{rTLV}^2}{S_{rT}^2} = \frac{109,792 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2}{20^2} = 0,02745 \Omega$$

$$X_{TLV} = \sqrt{Z_{TLV}^2 - R_{TLV}^2} = \sqrt{0,4940^2 - 0,02745^2} = 0,4932 \Omega$$

$$\underline{Z}_{TLV}=(0,02745+j0,4932) \Omega$$

$$\underline{Z}_{THV} = \underline{Z}_{TLV} t^2 = (0,02745 + j0,4932) \cdot \left(\frac{34,5}{10} \right)^2 = (0,3267 + j5,8703) \Omega$$

6.4.5 Generatör:

$$R_G / X_d'' = 0,07 \text{ için}$$

$$\underline{Z}_G = R_G + jX_d'' = 0,07 X_d'' + jX_d'' = X_d'' (0,07 + j) = \frac{x_d''}{\%100} \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \cdot (0,07 + j)$$

$$\underline{Z}_G = \frac{\%16,6}{\%100} \cdot \frac{10^2}{7,73} \cdot (0,07 + j) = (0,1503 + j2,1475) \Omega$$

Asenkron motorlar MT1, MT2 ve MT3:

$$Z_{M1} = \frac{1}{I_{LR1} / I_{rM1}} \cdot \frac{U_{rM1}^2}{S_{rM1}} = \frac{1}{5,5} \cdot \frac{10^2}{8,777} = 2,0715 \Omega$$

Burada:

$$S_{rM1} = \frac{P_{rM1}}{\cos \varphi_{r1} \eta_{r1}} = \frac{7500}{0,88 \cdot 0,971} = 8,777 \text{ kVA}$$

$$R_{M1}/X_{M1}=0,10, \text{ bundan } X_{M1}=0,995 Z_{M1}$$

$$X_{M1}=0,995 \cdot 2,0715=2,0611 \Omega$$

$$R_{M1}=0,10 \cdot 2,0611=0,2061 \Omega$$

$$\underline{Z}_{M1}=(0,2061+j2,0611) \Omega$$

$$Z_{M2} = \frac{1}{I_{LR2} / I_{rM2}} \cdot \frac{U_{rM2}^2}{S_{rM2}} = \frac{1}{5,5} \cdot \frac{10^2}{2,438} = 7,4577 \Omega$$

Burada:

$$S_{rM2} = \frac{P_{rM2}}{\cos \varphi_{r2} \eta_{r2}} = \frac{2100}{0,89 \cdot 0,968} = 2,438 \text{ kVA}$$

$$R_{M2}/X_{M2}=0,10, \text{ bundan } X_{M2}=0,995Z_{M2}$$

$$X_{M2}=0,995 \cdot 7,4577=7,4204 \Omega$$

$$R_{M2}=0,10 \cdot 7,4204=0,7420 \Omega$$

$$\underline{Z}_{M2}=(0,7420+j7,4204) \Omega$$

$$Z_{M3} = \frac{1}{I_{LR3} / I_{rM3}} \cdot \frac{U_{rM3}^2}{S_{rM3}} = \frac{1}{6,5} \cdot \frac{10^2}{1,924} = 7,9962 \Omega$$

Burada:

$$S_{rM3} = \frac{P_{rM3}}{\cos \varphi_{r3} \eta_{r3}} = \frac{1600}{0,86 \cdot 0,967} = 1,924 \text{ kVA}$$

$$R_{M3}/X_{M3}=0,15, \text{ bundan } X_{M3}=0,989Z_{M3}$$

$$X_{M3}=0,989 \cdot 7,9962=7,9082 \Omega$$

$$R_{M3}=0,15 \cdot 7,9082=1,1862 \Omega$$

$$\underline{Z}_{M3}=(1,1862+j7,9082) \Omega$$

6.4.6 Hatlar (Kablolar ve hava hatları):

Hat empedansları: $\underline{Z}_L = \underline{Z}'_L / l$

Kablo L1:

$$\underline{Z}_{L1} = (R'_{L1} + jX'_{L1})I = (0,153 + j0,206) \cdot \frac{0,250}{2} = (0,0191 + j0,0258) \Omega$$

Hava hattı L2:

$$\underline{Z}_{L2} = (0,1194 + j0,355) \cdot 4,2 = (0,5015 + j1,4910) \Omega$$

Kablo L3:

$$\underline{Z}_{L3} = (0,153 + j0,206) \cdot \frac{0,120}{2} = (0,0092 + j0,0124) \Omega$$

Kablo L4:

$$\underline{Z}_{L4} = (0,0754 + j0,156) \cdot \frac{0,020}{4} = (0,0038 + j0,0008) \Omega$$

Kablo L5:

$$\underline{Z}_{L5} = (0,0754 + j0,156) \cdot \frac{0,040}{2} = (0,0015 + j0,0003) \Omega$$

Kablo L6:

$$\underline{Z}_{L6} = (0,153 + j0,169) \cdot 0,065 = (0,0099 + j0,0110) \Omega$$

Kablo L7:

$$\underline{Z}_{L7} = (0,0754 + j0,156) \cdot \frac{0,175}{2} = (0,0066 + j0,0137) \Omega$$

Kablo L8:

$$\underline{Z}_{L8} = (0,0754 + j0,156) \cdot 0,180 = (0,0136 + j0,0281) \Omega$$

Kablo L9:

$$\underline{Z}_{L9} = (0,153 + j0,169) \cdot 0,320 = (0,0490 + j0,0541) \Omega$$

F1, F2, F3, F4, F5 kısıadevre yerlerinde, ilk çevrim kısa devre hesabı yapılırsa I_k'' ve i_p kısıadevre akımlarının hesabı:

F1 kısıadevre yeri:

F1 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_{kQ,F1} = \underline{Z}_{Qt} + \underline{Z}_{QTLV}$$

$$= (0,02462 + j0,245) + (0,0833 + j1,396) = (0,108 + j1,641) \Omega$$

$$\underline{Z}_{\alpha} = \underline{Z}_{GK} + \underline{Z}_{L5}$$

$$= (0,1503 + j2,1475) + (0,0015 + j0,0003) = (0,1518 + j2,1478) \Omega$$

$$(\underline{Z}_{M1} + \underline{Z}_{L7}) \parallel (\underline{Z}_{M2} + \underline{Z}_{L8}) \parallel (\underline{Z}_{M3} + \underline{Z}_{L9})$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_{\beta}} = \frac{1}{\underline{Z}_{M1} + \underline{Z}_{L7}} + \frac{1}{\underline{Z}_{M2} + \underline{Z}_{L8}} + \frac{1}{\underline{Z}_{M3} + \underline{Z}_{L9}}$$

$$= \frac{1}{0,2127 + j2,0748} + \frac{1}{0,7556 + j7,4485} + \frac{1}{1,2352 + j7,9623}$$

$$\underline{Z}_{\beta} = (0,1497 - j1,3510) \Omega$$

$$\underline{Z}_{\alpha} \parallel \underline{Z}_{\beta}$$

$$\underline{Z}_{rsl} = \frac{(0,1518 + j2,1478)(0,1497 - j1,3510)}{(0,1518 + j2,1478) + (0,1497 - j1,3510)} = (0,0790 + j0,8297) \Omega$$

$$\underline{Z}_{\gamma} = \underline{Z}_{rsl} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{TLV} = (0,0790 + j0,8297) + (0,0038 + j0,0008)$$

$$+ (0,02745 + j0,4932) = (0,11025 + j1,3237) \Omega$$

$$\underline{Z}_{\gamma t} = \underline{Z}_{\gamma} t^2 = (0,11025 + j1,3237) \cdot \left(\frac{34,5}{10} \right)^2 = (1,3390 + j15,7553) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kGK,F1} = \underline{Z}_{\gamma t} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_{L3}$$

$$= (1,3390 + j15,7553) + (0,0191 + j0,0258) + (0,5015 + j1,491) + (0,0092 + j0,0124)$$

$$= (1,8688 + j17,2845) \Omega$$

F1 kısa devre noktası için ayrı ayrı hazırlanan sadece reaktans ve sadece rezistans devrelerinden elde edilen eşdeğer R ve X değerlerinin oranı $X/R < 15$ olduğundan ilk çevrim analizinde simetrik kısıadevre akımını asimetrik kısa devre akımı için bir çarpım faktörü uygulanmaz.

$$X/R = 0,1017/1,4985 = 14,72$$

I_k'' simetrik kısıadevre akımı,

$$\underline{I}_{Q,F1}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kQ,F1}} = \frac{34,5}{\sqrt{3}(0,108 + j1,641)} = (0,794 - j12,08) \text{ kA}$$

$$I_{kQ,F1}'' = 12,112 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kGK,F1}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kGK,F1}} = \frac{34,5}{\sqrt{3}(1,843 + j17,273)} = (0,1216 - j1,1402) \text{ kA}$$

$$I_{kGK,F1}'' = 1,1466 \text{ kA}$$

$$I_{k,F1}'' = I_{kQ,F1}'' + I_{kGK,F1}'' = (0,794 - j12,08) + (0,1216 - j1,1402)$$

$$= (0,916 - j13,225) \text{ kA}$$

$$I_{kF1}'' = 13,25 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için katsayı X/R oranına dayalı;

$$M_{F1} = \sqrt{2}(1,0 + \sin\phi e^{-(\phi+1,5708)(R/X)}) = \sqrt{2}(1,0 + \sin(1,502) \cdot e^{-0,2087}) = 2,559 \quad (76)$$

Burada ϕ atan(X/R), ilk çevrim analizi için generatöre uzak yada yakın kısa devrenin göz önüne alınması gerekmez.

$$i_{F1} = M_{F1} I_{kQ,F1}'' = 2,559 \cdot 13,25 = 33,93 \text{ kA}$$

F2 kısıadevre yeri:

F2 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_{kQ,F2} = \underline{Z}_{kQ,F1} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_{L3}$$

$$= (0,108 + j1,641) + (0,0191 + j0,0258) + (0,5015 + j1,491) + (0,0092 + j0,0124)$$

$$= (0,6377 + j3,1702) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kGK,F2} = \underline{Z}_{\gamma t} = (1,3390 + j15,7553) \Omega$$

$$X/R = 6,23$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı,

$$\underline{I}_{kQ,F2}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kQ,F2}} = \frac{34,5}{\sqrt{3}(0,6377 + j3,1702)} = (1,2147 - j6,0387) \text{ kA}$$

$$I_{kQ,F2}'' = 6,1596 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kGK,F2}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kGK,F2}} = \frac{34,5}{\sqrt{3}(1,3390 + j15,7553)} = (0,1048 - j1,256) \text{ kA}$$

$$I_{kGK,F2}'' = 1,26 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kF2}'' = \underline{I}_{kQ,F2}'' + \underline{I}_{kGK,F2}'' = (1,2147 - j6,1596) + (0,1048 - j1,256)$$

$$= (1,3195 - j7,295) \text{ kA}$$

$$I_{kF2}'' = 7,41 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için katsayı;

$$M_{F2} = \sqrt{2}(1,0 + \sin \phi e^{-(\phi+1,5708)(R/X)}) = \sqrt{2}(1,0 + \sin(1,46) \cdot e^{-0,47843}) = 2,27$$

$$i_{pF2} = M_{F2} I_{F2}'' = 2,27 \cdot 7,4126 = 16,89 \text{ kA}$$

F3 kısıadevre yeri:

$$X/R = 0,3964/0,0396 = 9,993$$

F3 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_{kQ,F3} = \underline{Z}_{kQ,F2t} + \underline{Z}_{TLV} + \underline{Z}_{L4}$$

$$= (0,6377 + j3,1702) \cdot \left(\frac{1}{34,5/10} \right)^2 + (0,02745 + j0,4932) + (0,0038 + j0,0008)$$

$$= (0,0848 + j0,760) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kGK,F3} = \underline{Z}_{rsl} = (0,0790 + j0,8297) \Omega$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı,

$$\underline{I}_{kQ,F3}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kQ,F3}} = \frac{10}{\sqrt{3}(0,0848 + j0,760)} = (0,836 - j7,49) \text{ kA}$$

$$I''_{kQ,F3} = 7,546 \text{ kA}$$

$$\underline{I''}_{kGK,F3} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kGK,F3}} = \frac{10}{\sqrt{3}(0,0790 + j0,8297)} = (0,659 - j6,903) \text{ kA}$$

$$I''_{kGK,F3} = 6,935 \text{ kA}$$

$$\underline{I''}_{kF3} = \underline{I''}_{kQ,F3} + \underline{I''}_{kGK,F3} = (0,836 - j7,49) + (0,659 - j6,903)$$

$$= (1,495 - j14,40) \text{ kA}$$

$$I''_{kF3} = 14,48 \text{ kA}$$

i_p darbe kısaddevre akımının hesabı için katsayı;

$$M_{F3} = \sqrt{2}(1,0 + \sin \phi e^{-(\phi+1,5708)(R/X)}) = \sqrt{2}(1,0 + \sin(1,46) \cdot e^{-0,30437}) = 2,452$$

$$i_{pF3} = M_{F3} I''_{k,F3} = 2,452 \cdot 14,48 = 35,5 \text{ kA}$$

F4 kısaddevre yeri:

$$X/R = 10,36$$

F4 kısaddevre yerinde kısaddevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_{\delta} = \underline{Z}_{kQ,F3} \parallel \underline{Z}_{\beta}$$

$$\underline{Z}_{\beta} = (0,1497 + j1,3510) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kQ,F3} = (0,0848 + j0,760)$$

$$\underline{Z}_{\delta} = \underline{Z}_{kQ,F3} \parallel \underline{Z}_{\beta}$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_{\delta}} = \frac{1}{\underline{Z}_{kQ,F3}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\beta}} = \frac{1}{(0,0848 + j0,760)} + \frac{1}{(0,1497 + j1,3510)}$$

$$\underline{Z}_{\delta} = (0,05413 + j0,4863) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kF4,Q} = \underline{Z}_{\delta} + \underline{Z}_{L5} = (0,05413 + j0,4863) + (0,0015 + j0,0003)$$

$$= (0,05563 + j0,4866) \Omega$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı,

$$\underline{I}_{kQ,F4}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kQ,F4}} = \frac{10}{\sqrt{3}(0,05563 + j0,4886)} = (1,338 - j11,711) \text{ kA}$$

$$I_{kQ,F4}'' = 11,7882 \text{ kA}$$

$$\underline{Z}_{kGK,F4} = \underline{Z}_{GK} = (0,1503 + j2,1475) \Omega$$

$$\underline{I}_{kGK,F4}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}\underline{Z}_{kGK,F4}} = \frac{10}{\sqrt{3}(0,1503 + j2,1475)} = (0,1872 - j2,6753) \Omega$$

$$I_{kGK,F4}'' = 2,681 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kF4}'' = \underline{I}_{kQ,F4}'' + \underline{I}_{kGK,F4}'' = (1,338 - j11,711) + (0,1872 - j2,6753)$$

$$= (1,5252 - j14,3863) \text{ kA}$$

$$I_{kF4}'' = 14,4669 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için katsayı;

$$M_{F4} = \sqrt{2}(1,0 + \sin \phi e^{-(\phi+1,5708)(R/X)}) = \sqrt{2}(1,0 + \sin(1,47) \cdot e^{-0,2938}) = 2,463$$

$$i_{pF4} = M_{F4} I_{k,F4}'' = 2,463 \cdot 14,46 = 35,67 \text{ kA}$$

F5 kısıadevre yeri:

$$X/R=8,02$$

F5 kısıadevre yerinde kısıadevre yollarının empedansları:

$$\underline{Z}_\varepsilon = \underline{Z}_{kQ,F3} \parallel \underline{Z}_{rsl}$$

$$\underline{Z}_{kGK,F3} = \underline{Z}_{rsl} = (0,0790 + j0,8297) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kQ,F3} = (0,0848 + j0,7603)$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_\varepsilon} = \frac{1}{\underline{Z}_{kQ,F3}} + \frac{1}{\underline{Z}_{rsl}} = \frac{1}{(0,0848 + j0,7603)} + \frac{1}{(0,0790 + j0,8297)}$$

$$\underline{Z}_\varepsilon = (0,04118 + j0,395) \Omega$$

$$\underline{Z}_{kF5} = \underline{Z}_\varepsilon + \underline{Z}_{L6} = (0,04118 + j0,3965) + (0,0099 + j0,00110)$$

$$= (0,05108 + j0,397) \Omega$$

I_k'' en büyük başlangıç simetrik kısıadevre akımı,

$$\underline{I}_{kF5}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3} \underline{Z}_{kF5}} = \frac{10}{\sqrt{3}(0,05108 + j0,397)} = (1,834 - j14,28) \text{ kA}$$

$$I_{kF5}'' = 14,4 \text{ kA}$$

i_p darbe kısıadevre akımının hesabı için katsayı;

$$M_{F5} = \sqrt{2}(1,0 + \sin \phi e^{-(\phi+1,5708)(R/X)}) = \sqrt{2}(1,0 + \sin(1,47) \cdot e^{-0,2938}) = 2,463$$

$$i_{pF5} = M_{F5} I_{k,F5}'' = 2,377 \cdot 14,4 = 34,237 \text{ kA}$$

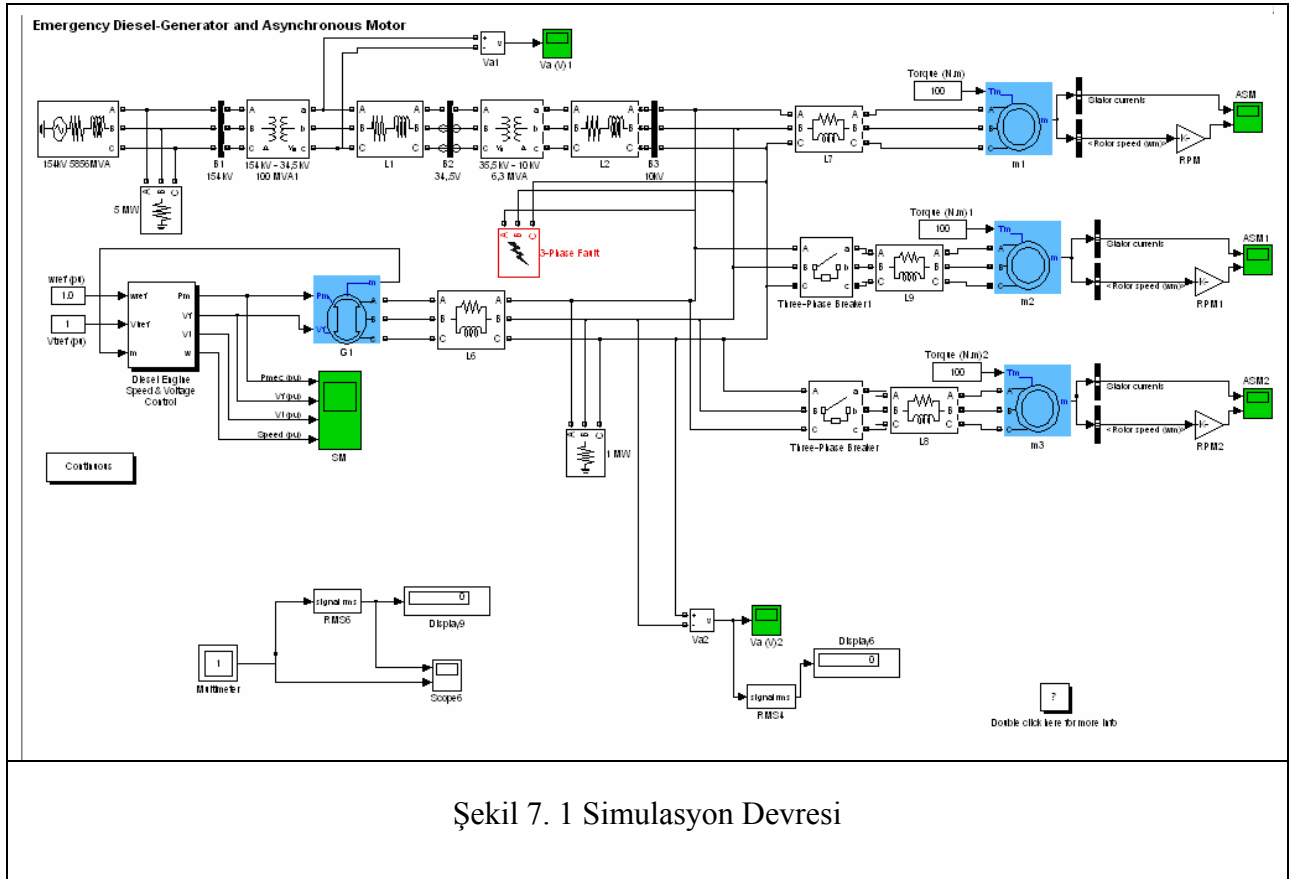
Öge	Gerilim [kV]	Kısıadevre yeri					
		154 kV bara	F1	F2	F3	F4	F5
QT Transformatörü	34,5		13,25				
Yıldız Entegre barası	34,5			7,4135			
	10				14,4811		
Generatör	10					14,4815	
T1-2 Transformatörü	10						14,4

Çizelge 6. 3 Üç faz kısıadevre akımları:

7. SİMULASYON

7.1 Giriş

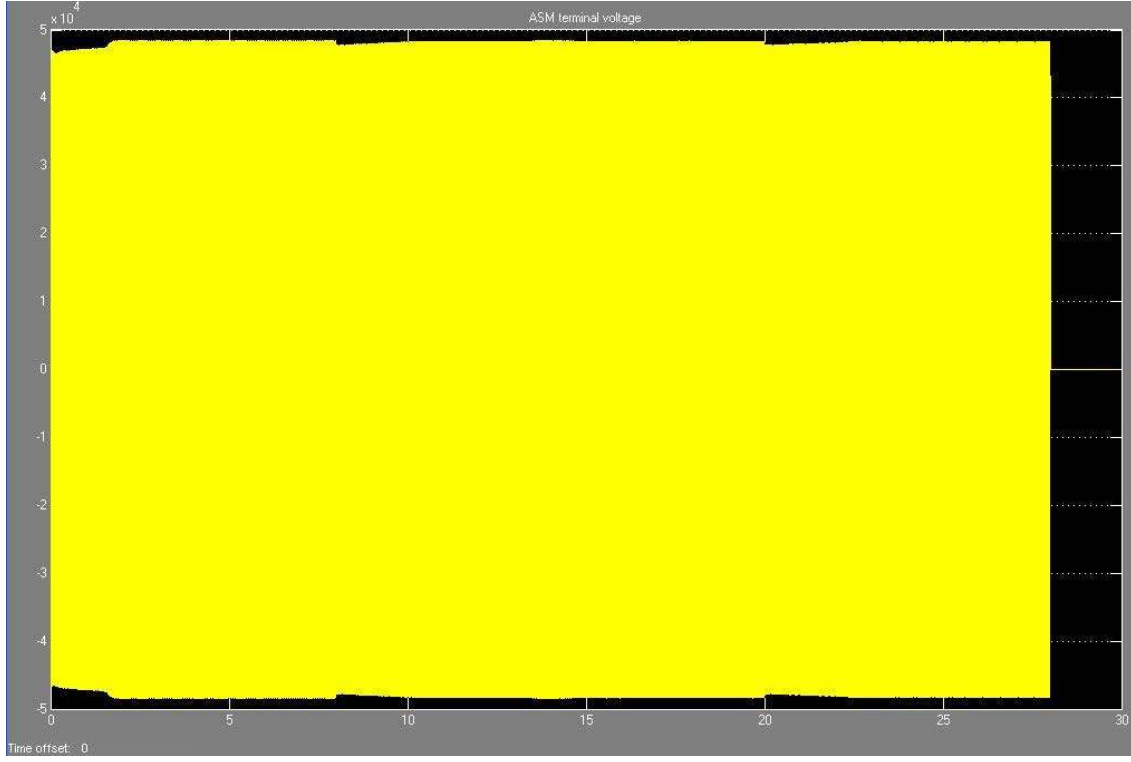
Yüksek performanslı teknik programlama dili olan Matlab bir çok sahada kullanılan sınıfının en gelişmiş programıdır. Matlab ve onun simülasyon uygulaması olan Simulink, çalışmamızın simülasyon kısmını kullanacağımız programlardır.



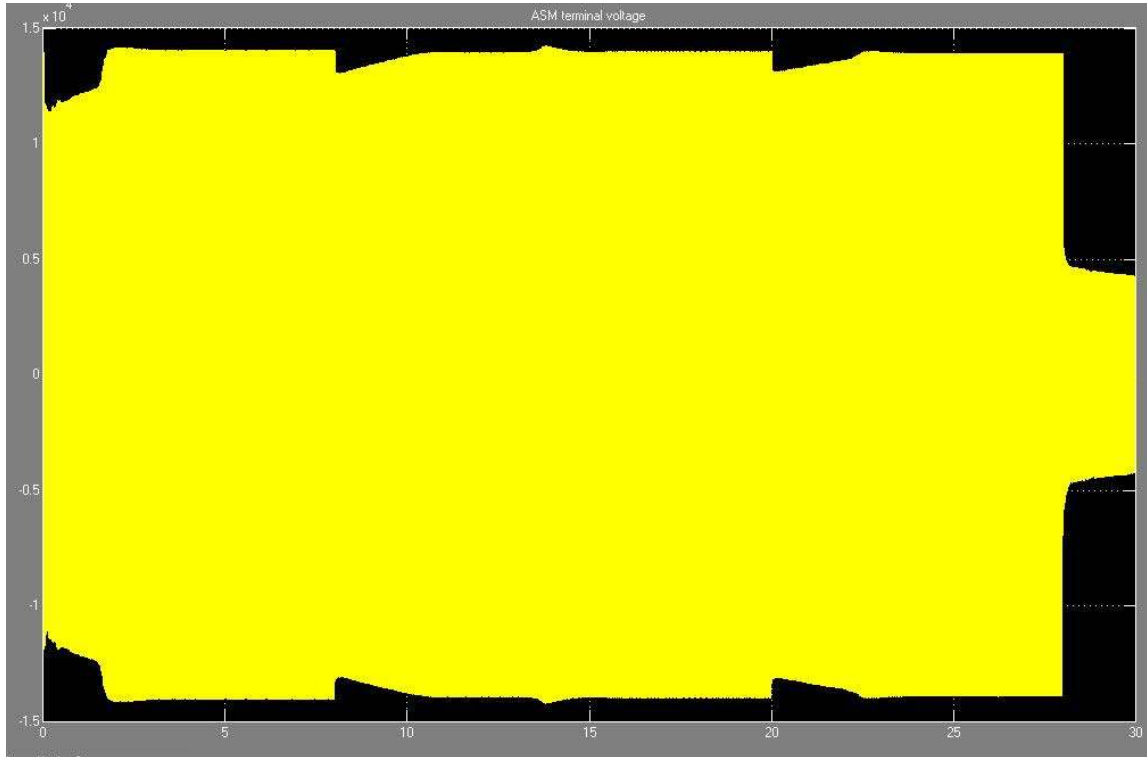
Şekil 7. 1 Simülasyon Devresi

7.2 Sonuçlar

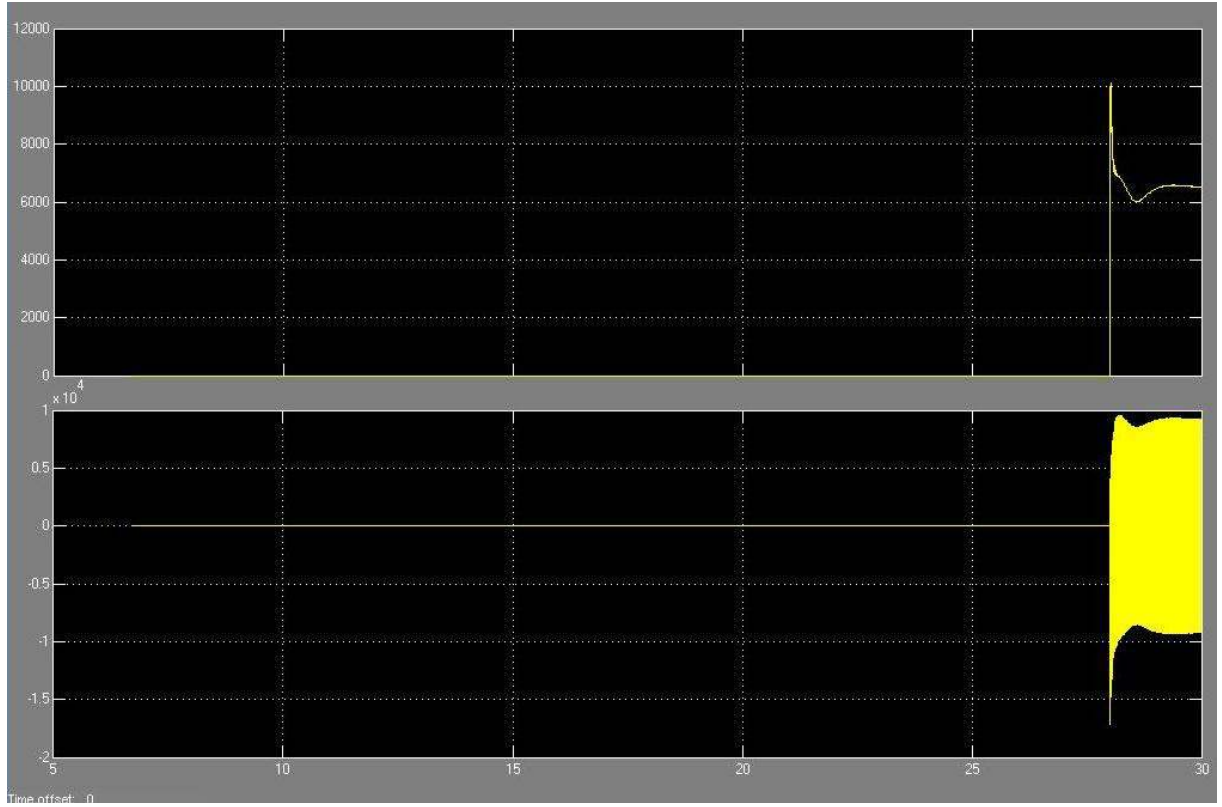
F1 kısa devresi;



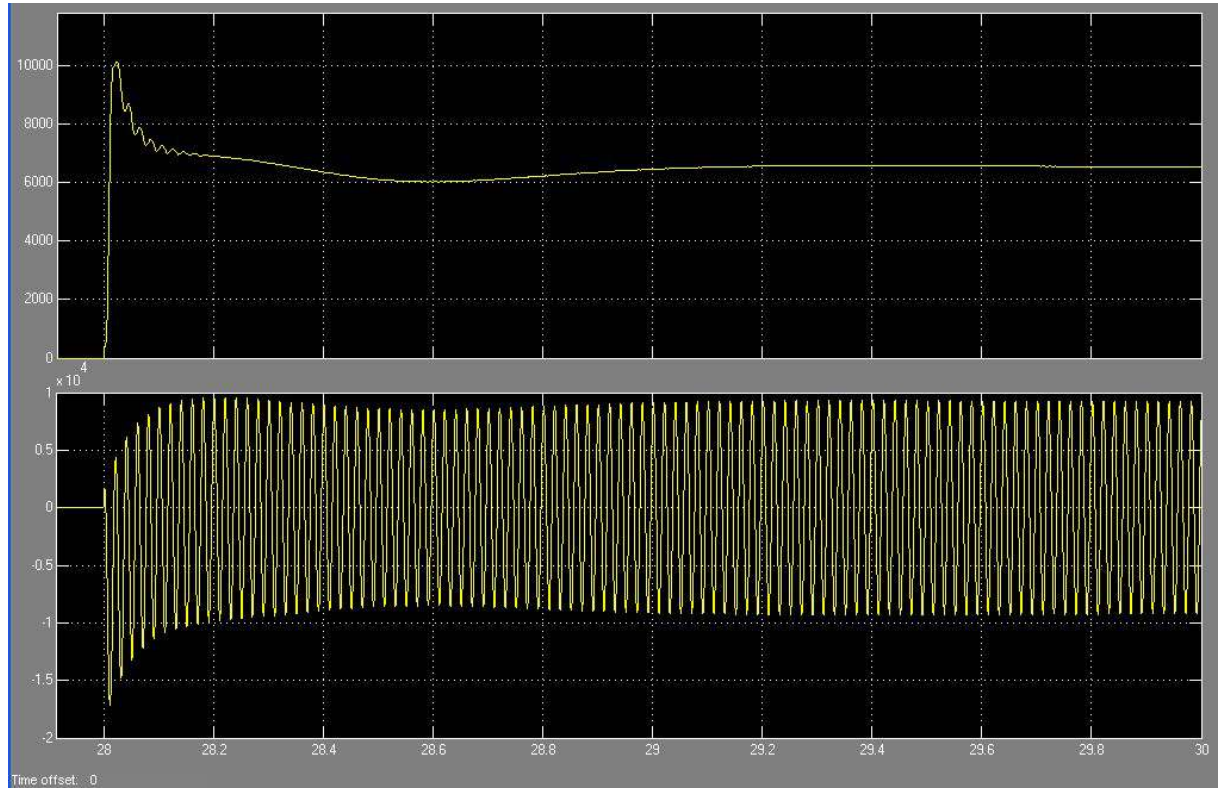
Şekil 7. 2 34.5 kV barası



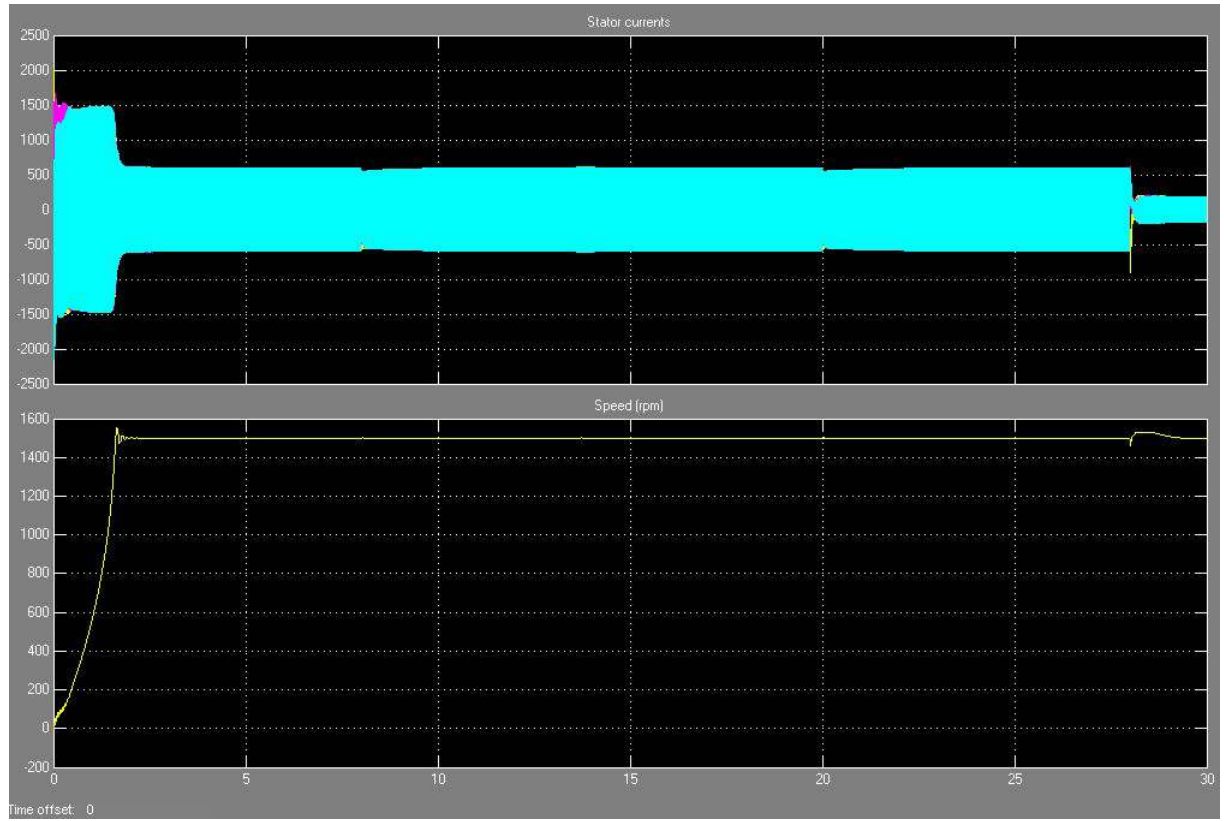
Şekil 7. 3 10 kV barası



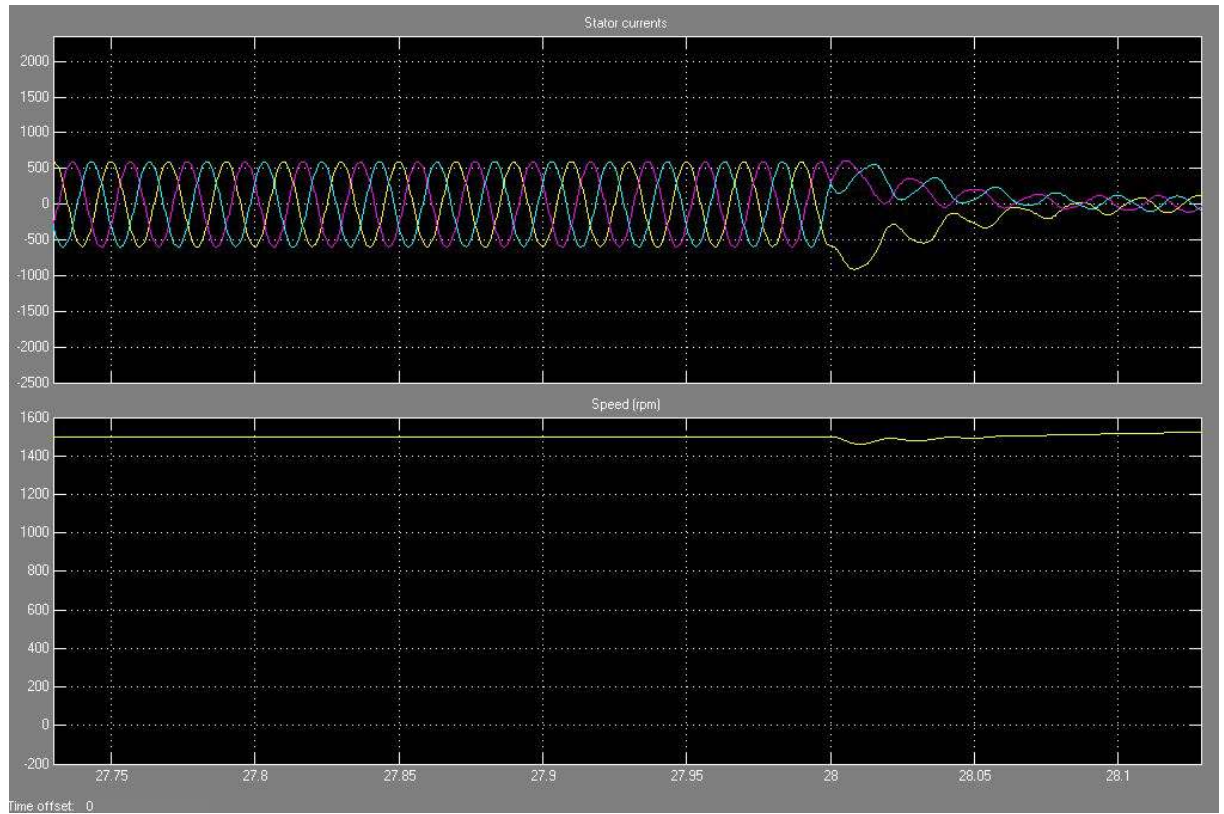
Şekil 7. 4 F1 kısa devre yeri kısa devre akımı



Şekil 7. 5 F1 kısa devre yeri 28.-30. saniyeler

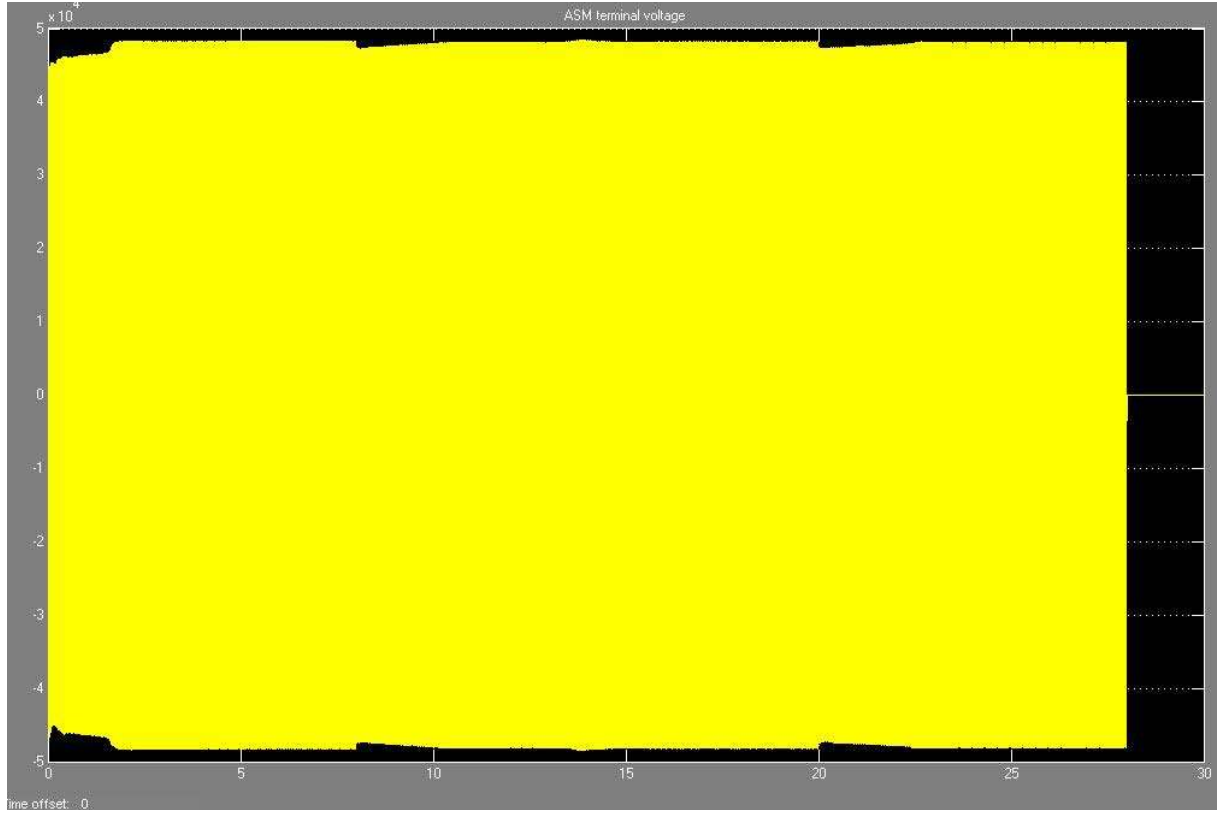


Şekil 7. 6 F1 kısa devresi motor katkısı

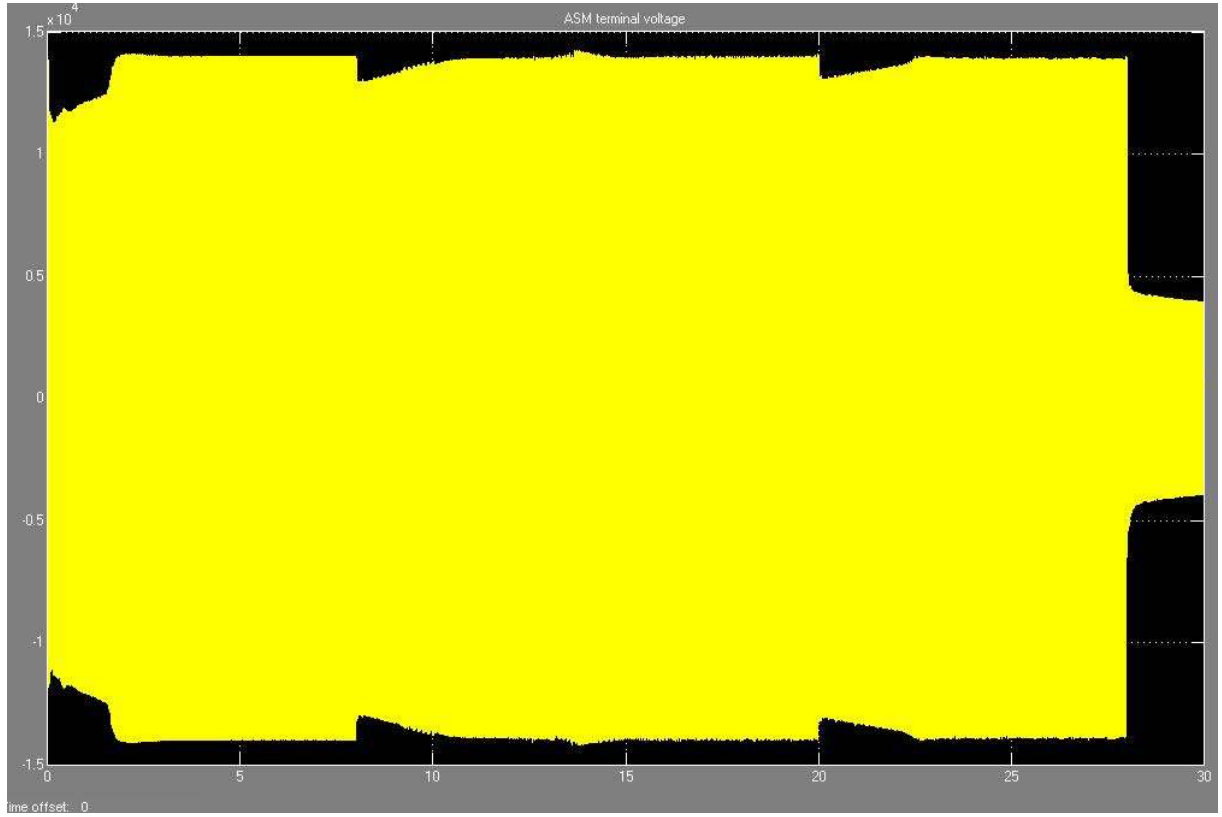


Şekil 7. 7 F1 kısa devresi motor katkısı 28.-30. saniyeler

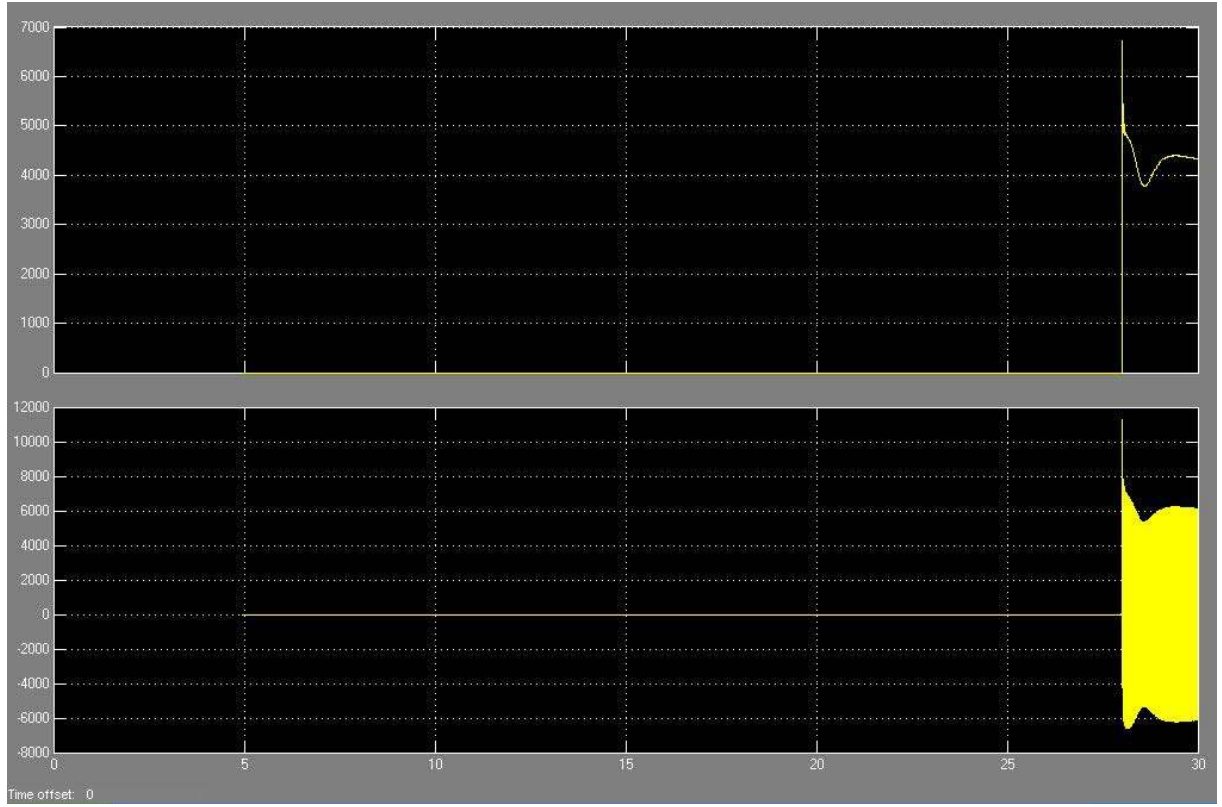
F2 kısa devresi;



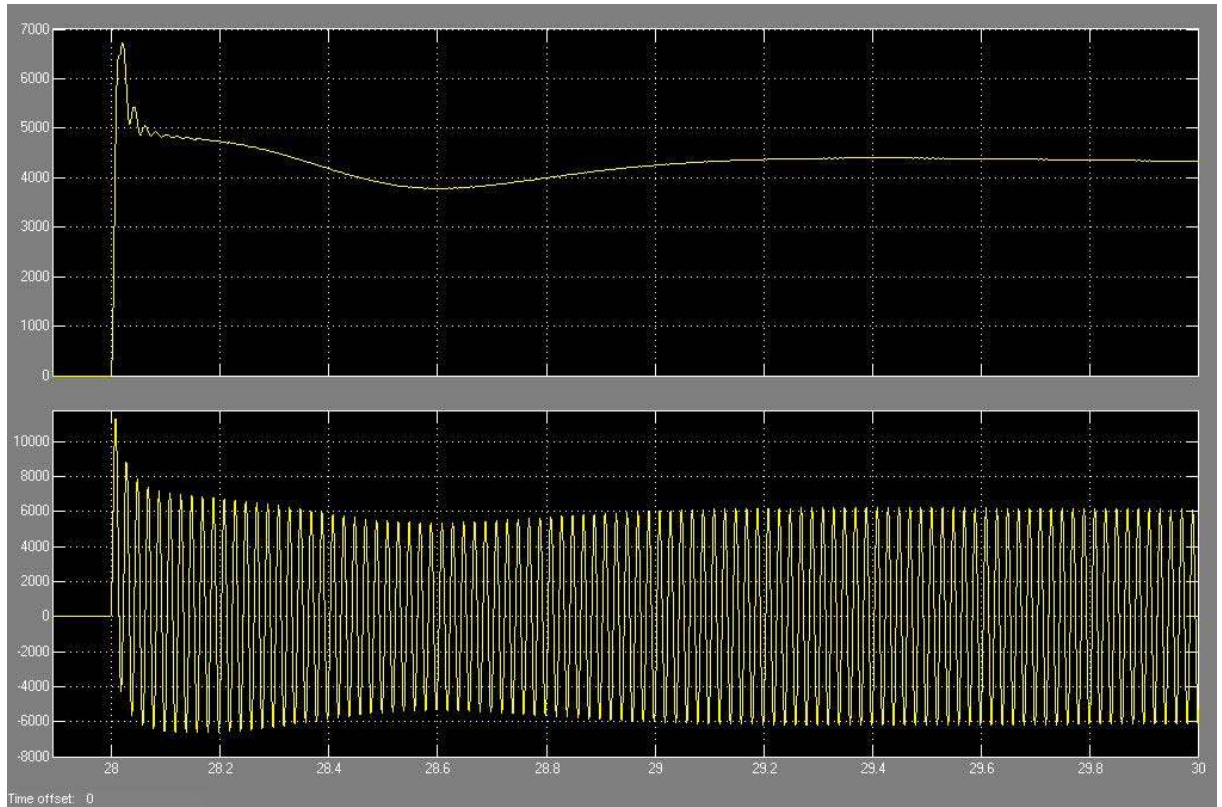
Şekil 7. 8 F2 kısa devresi 34.5 kV barası



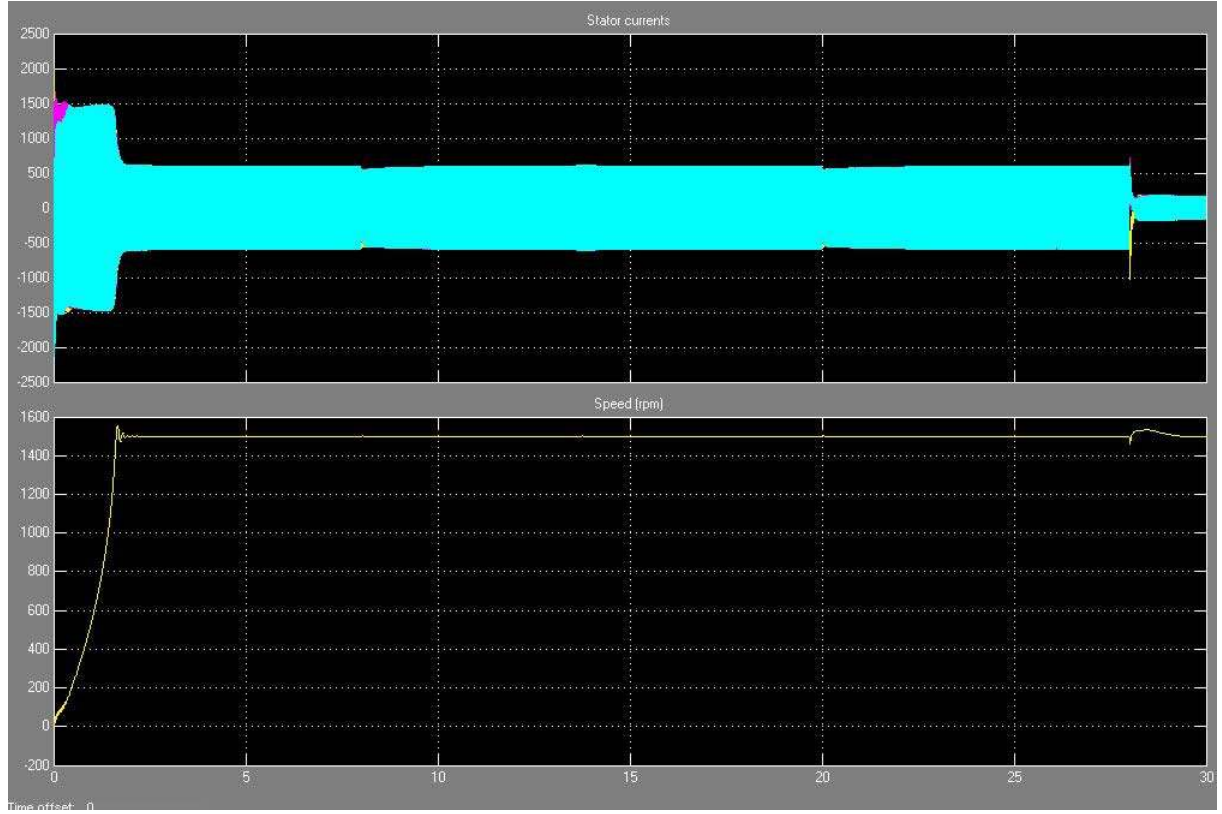
Şekil 7. 9 F2 kısa devresi 10kV barası



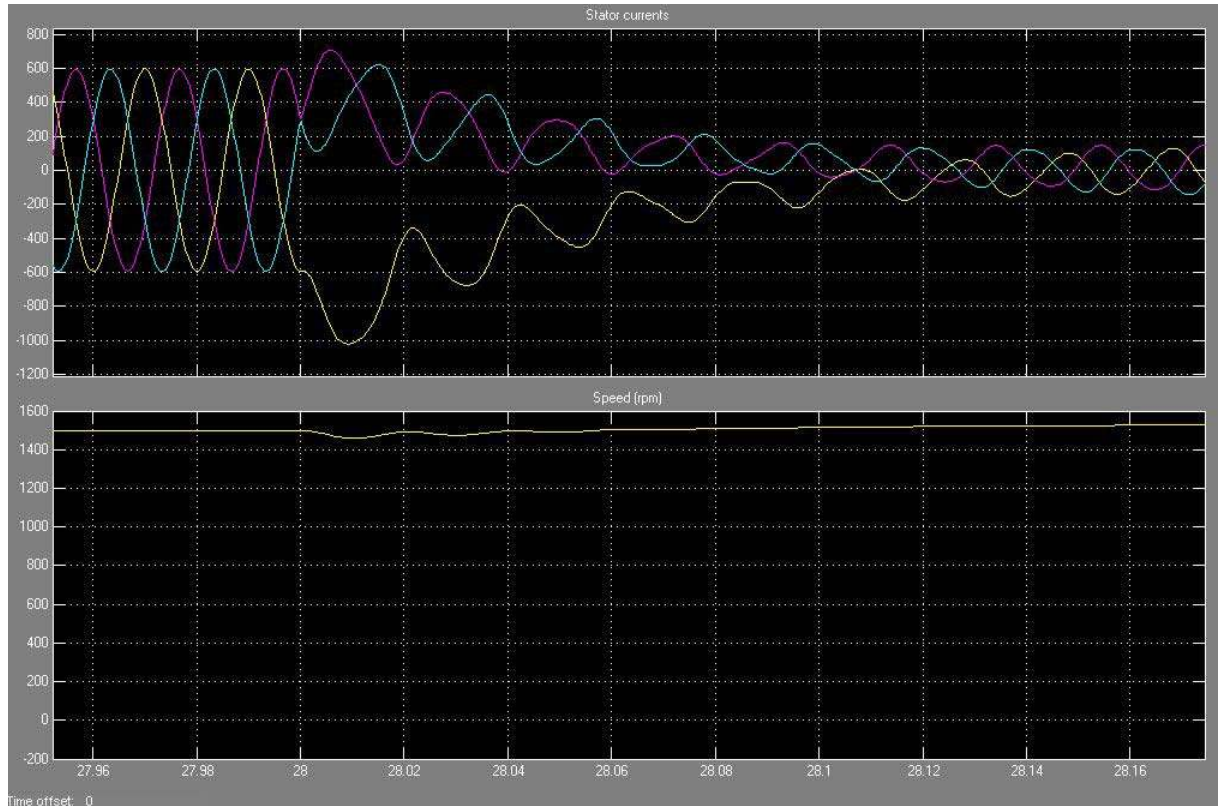
Şekil 7. 10 F2 kısa devresi kısa devre akımı



Şekil 7. 11 F2 kısa devresi kısa devre akımı 28.-30. saniyeler

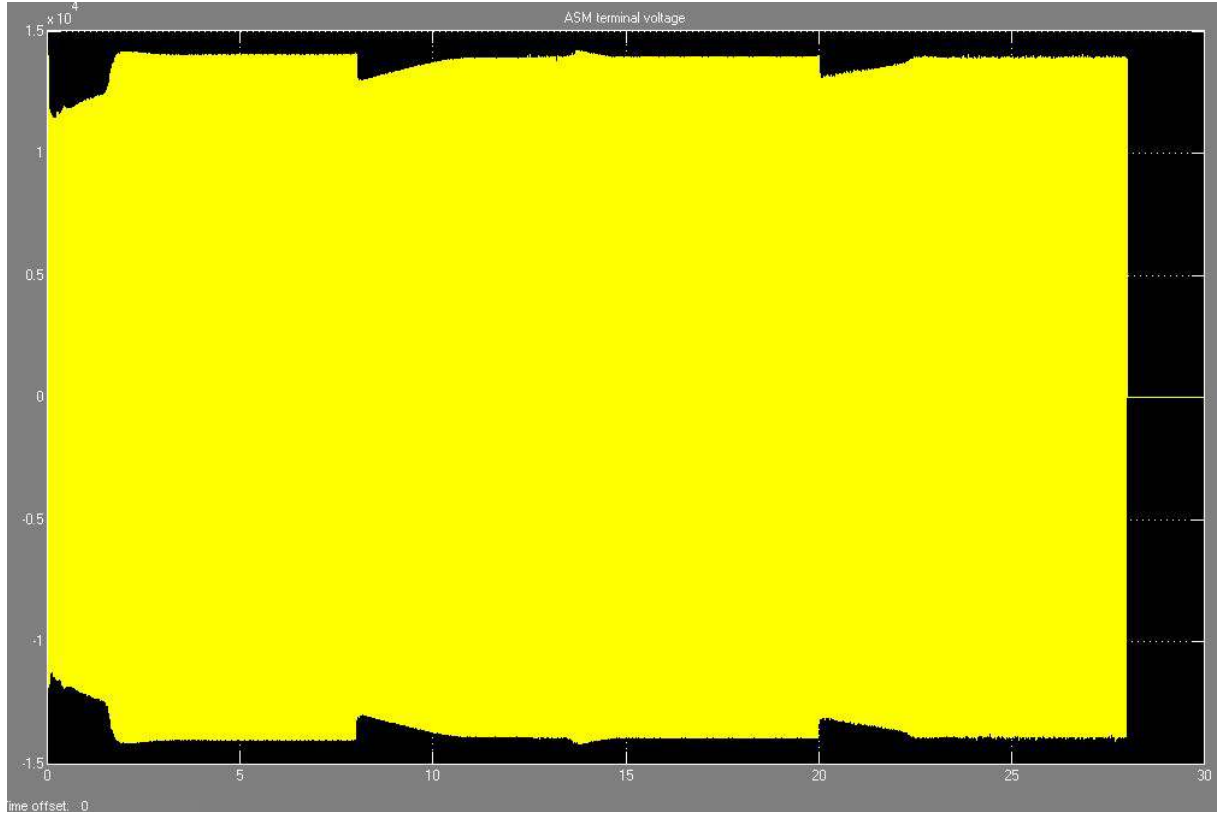


Şekil 7. 12 F2 kısa devresi motor katkısı

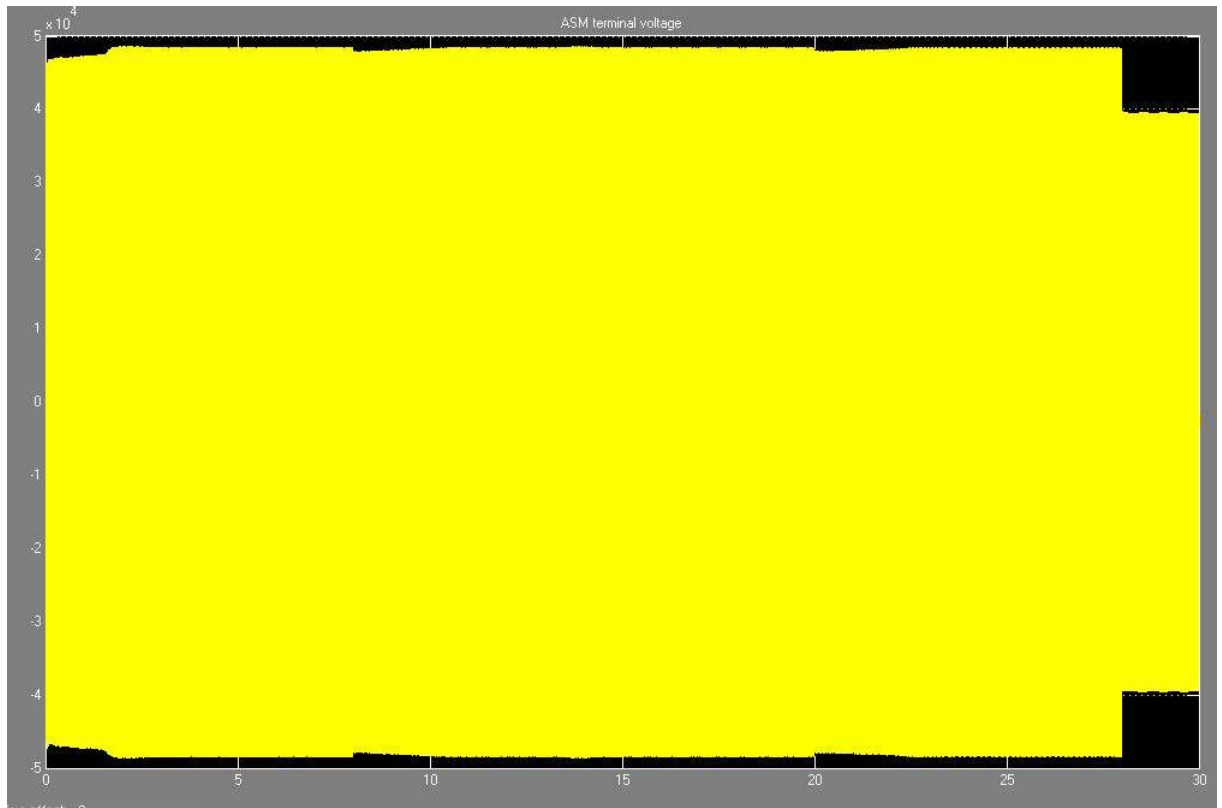


Şekil 7. 13 F2 kısa devresi motor katkısı 28.-30. saniyeler

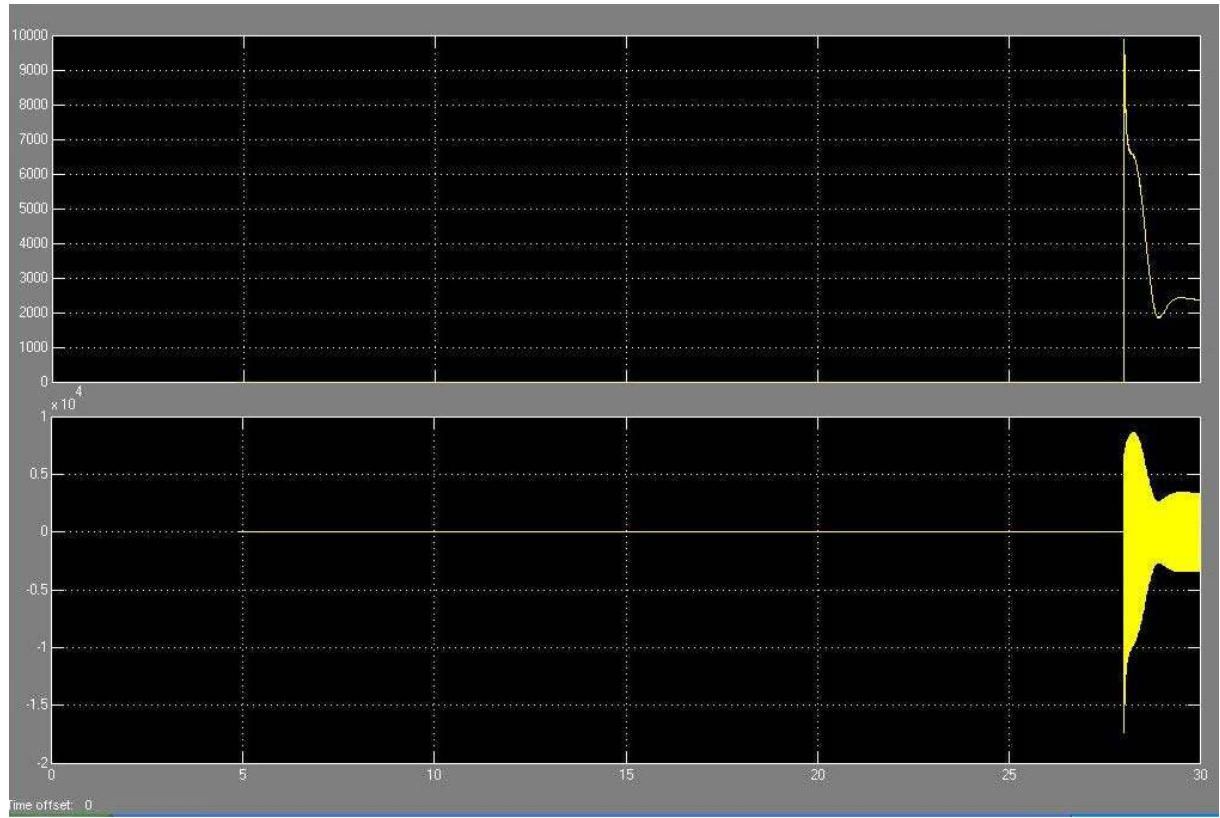
F3 kısa devre yeri



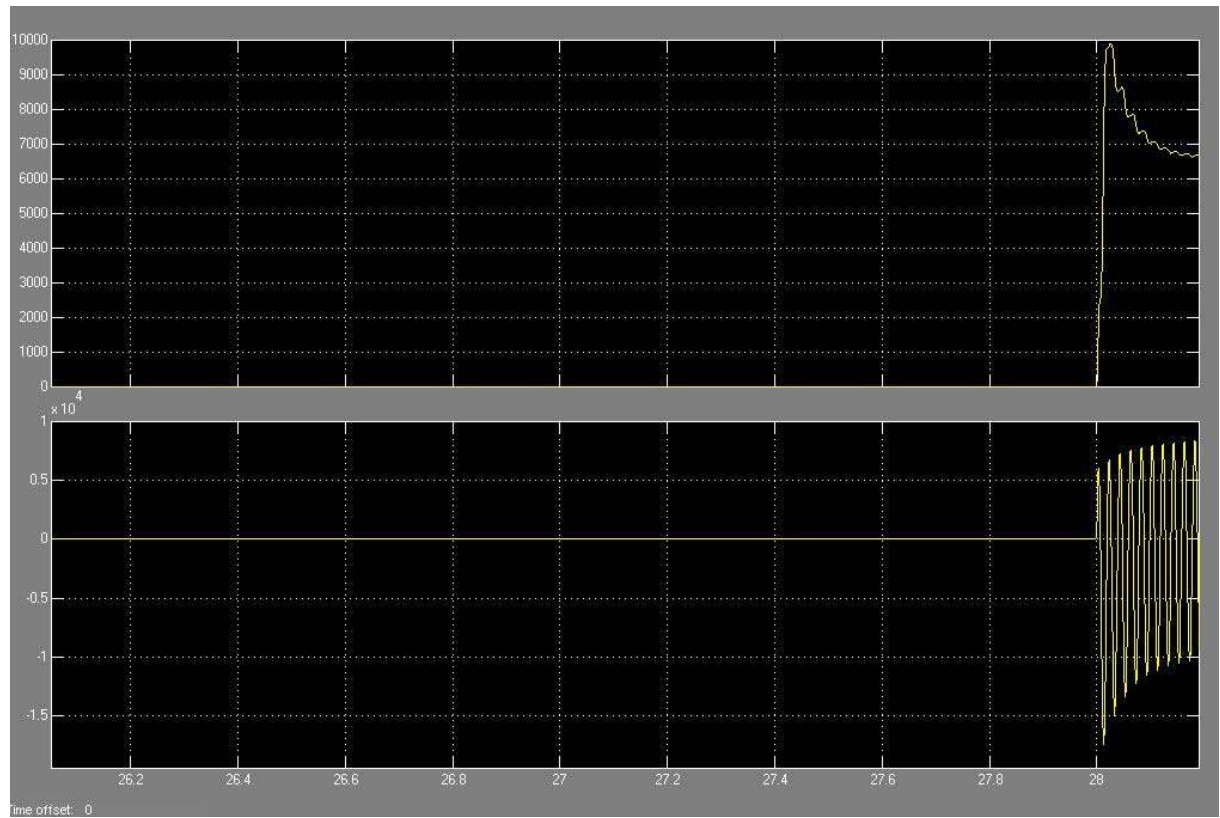
Şekil 7. 14 F3 kısa devresi 10kV barası



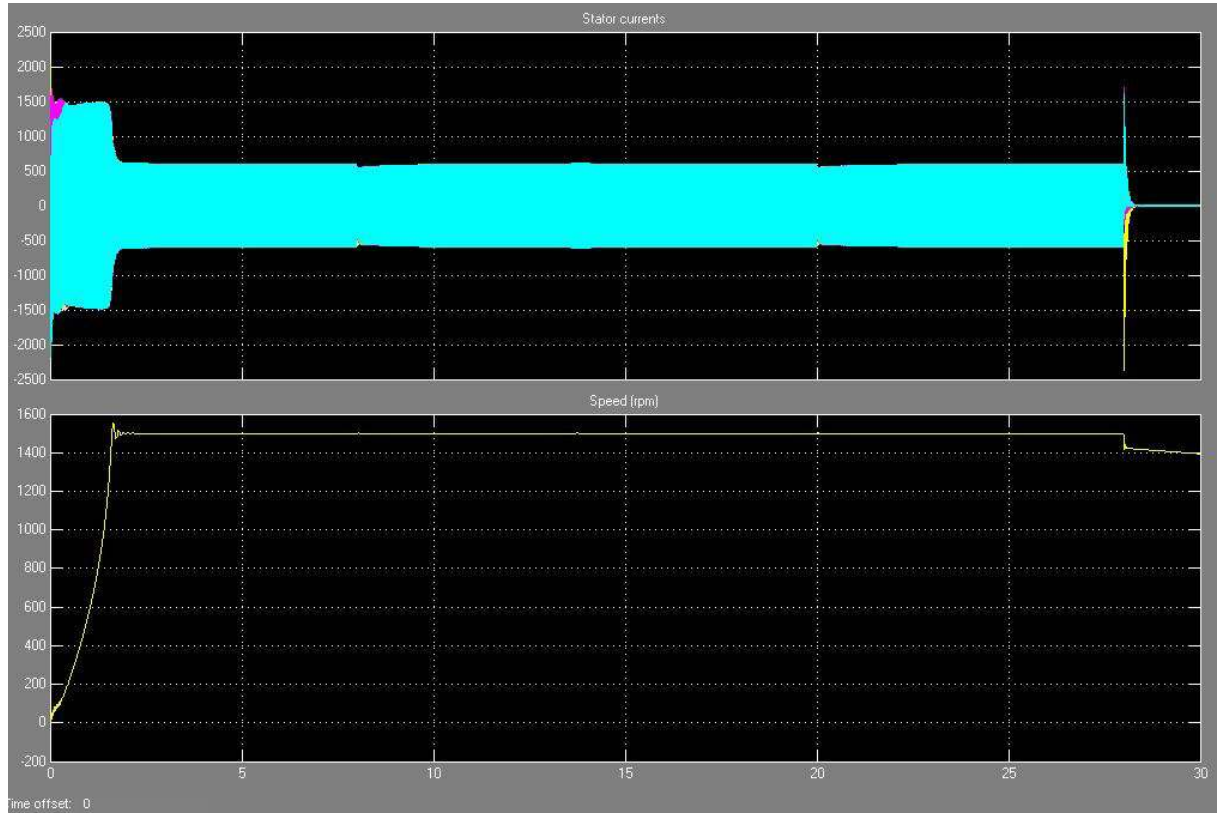
Şekil 7. 15 F3 kısa devresi 34.5 kV barası



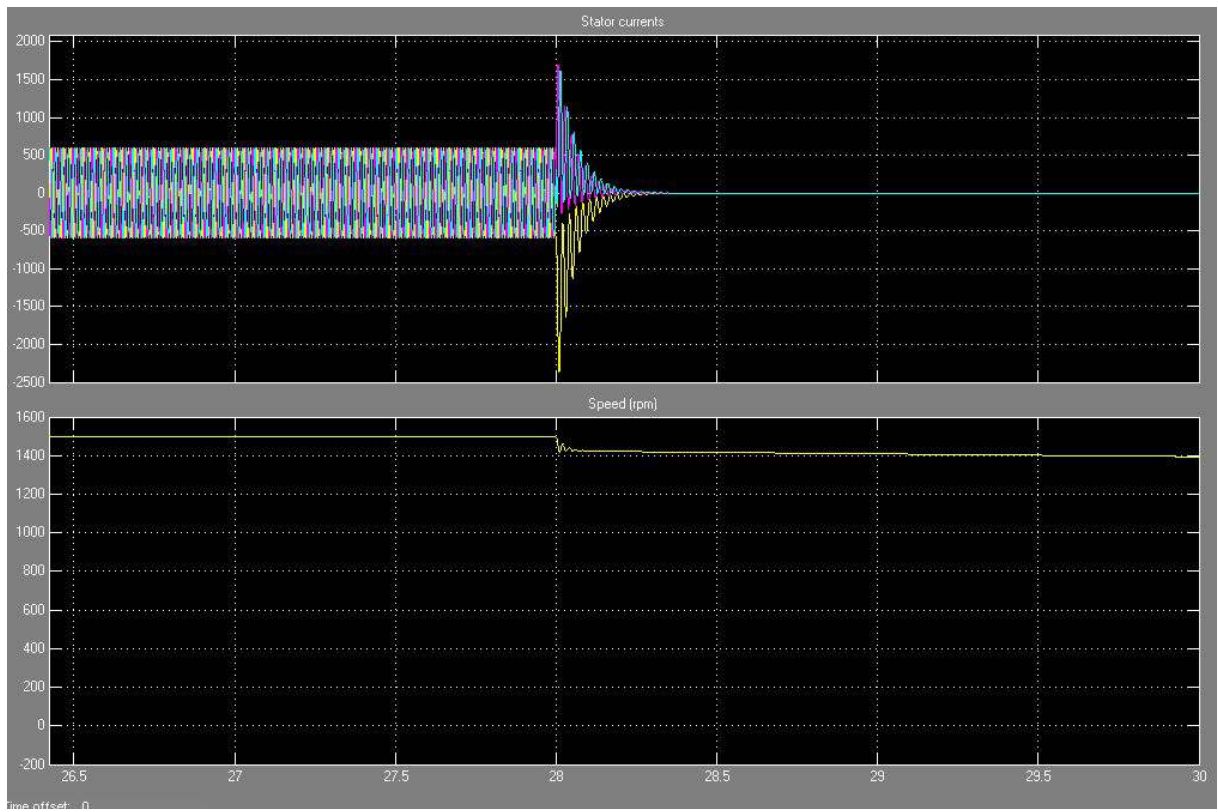
Şekil 7. 16 F3 kısa devre yeri kısa devre akımı



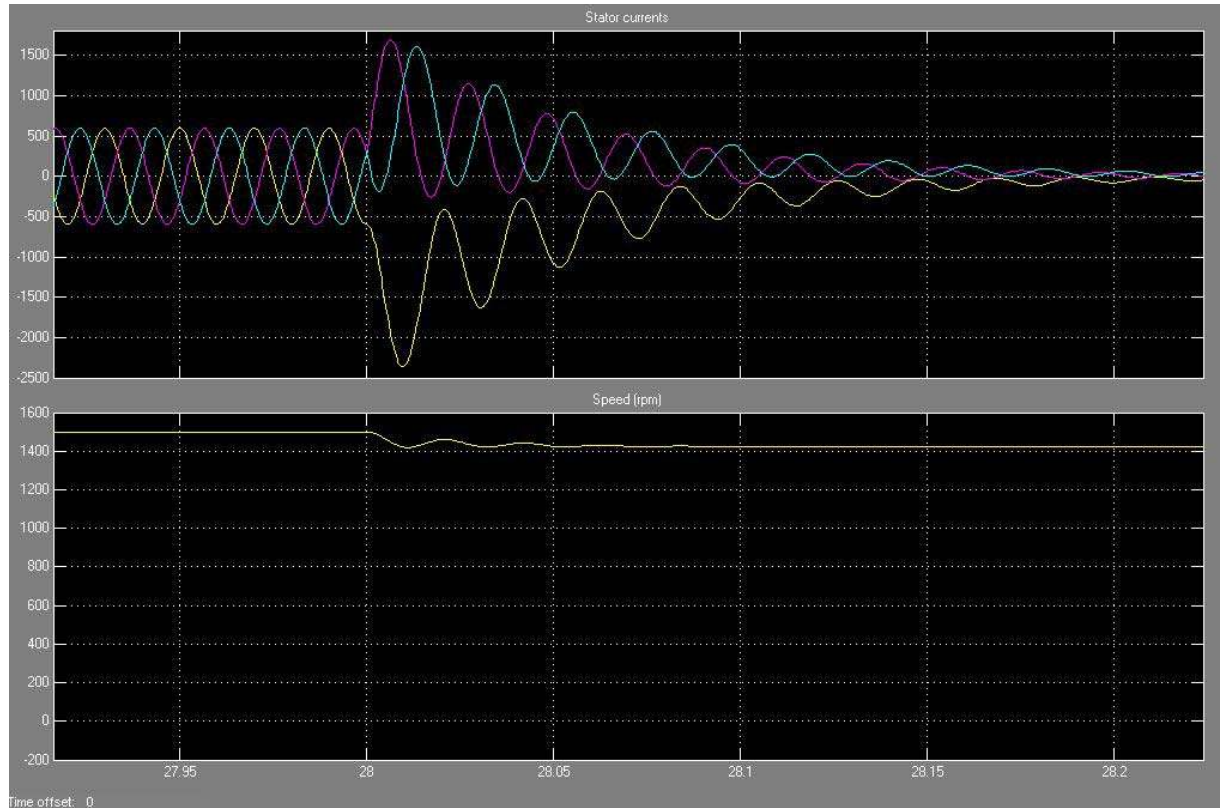
Şekil 7. 17 kısa devre yeri kısa devre akımı 28.-30. saniyeler



Şekil 7. 18 F3 kısa devresi motor katkısı

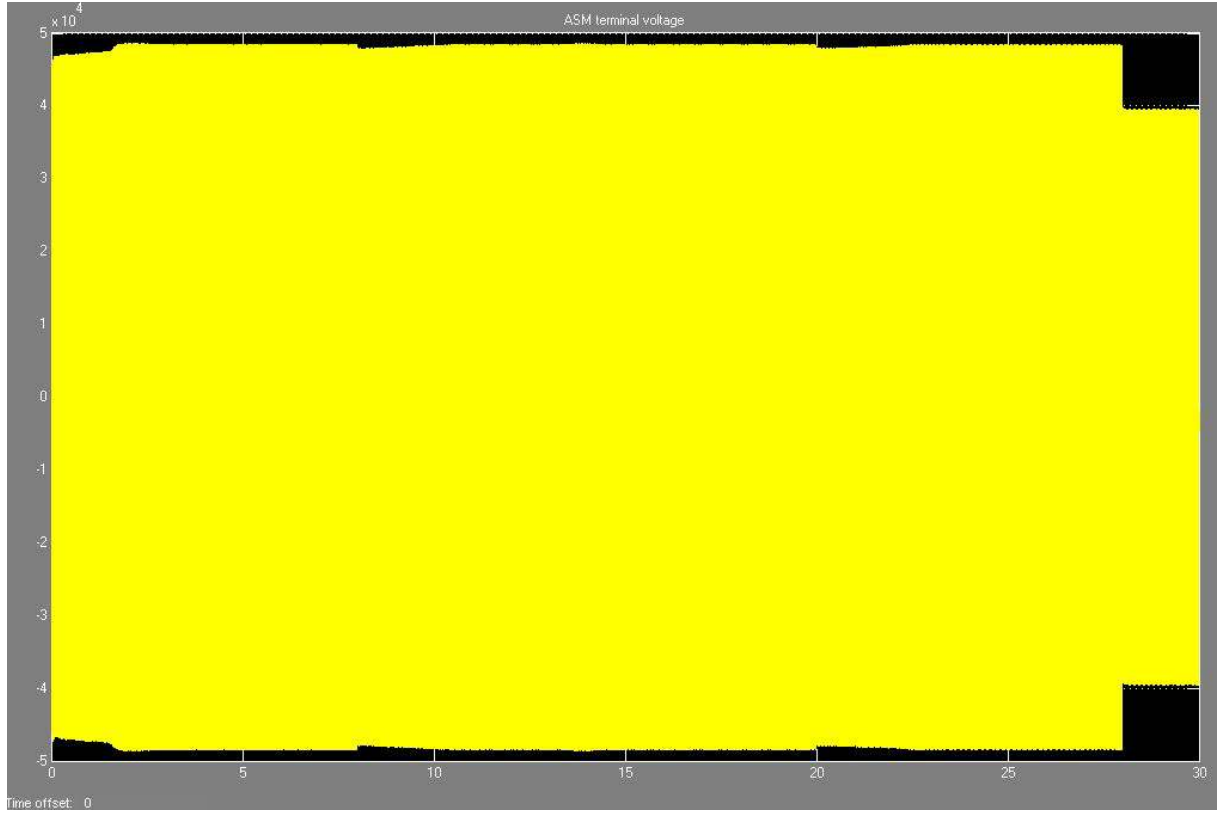


Şekil 7. 19 F3 kısa devresi motor katkısı 28.-30. saniyeler

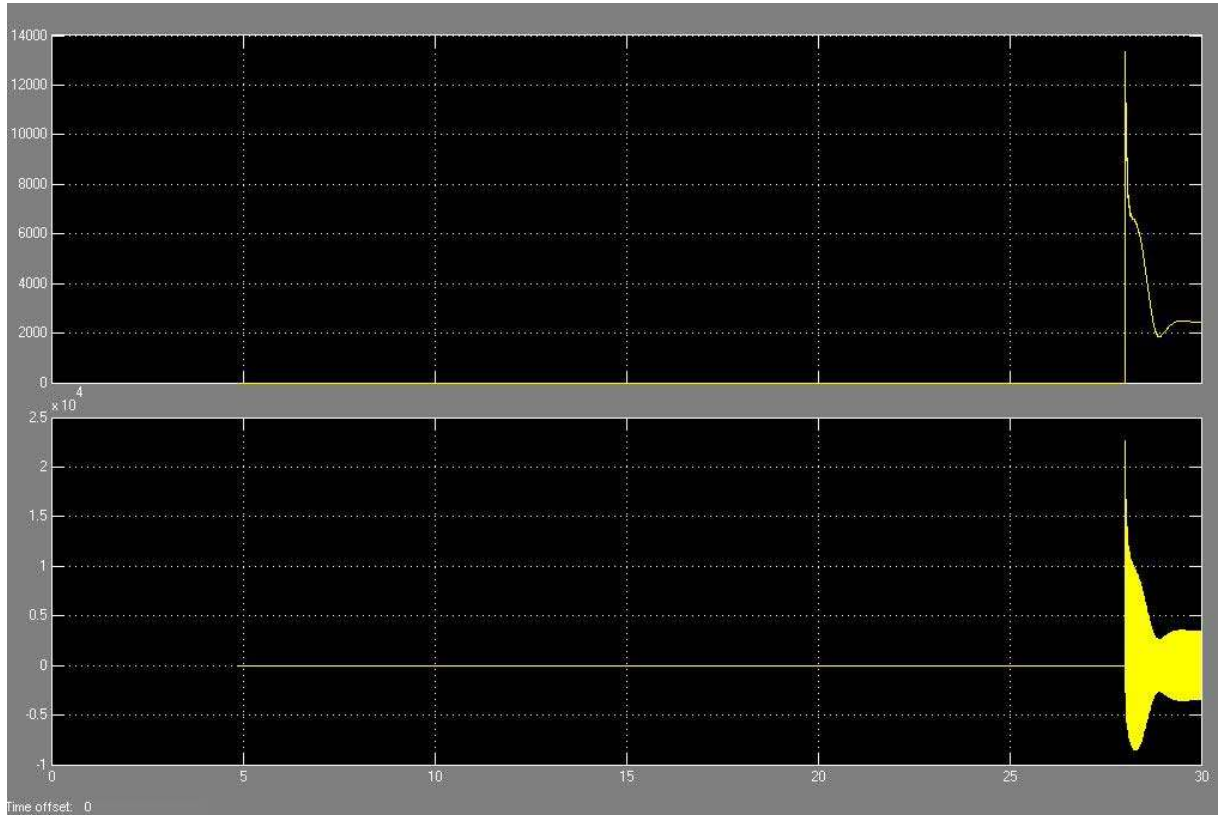


Şekil 7. 20 F3 kısa devresi motor katkısı genliği

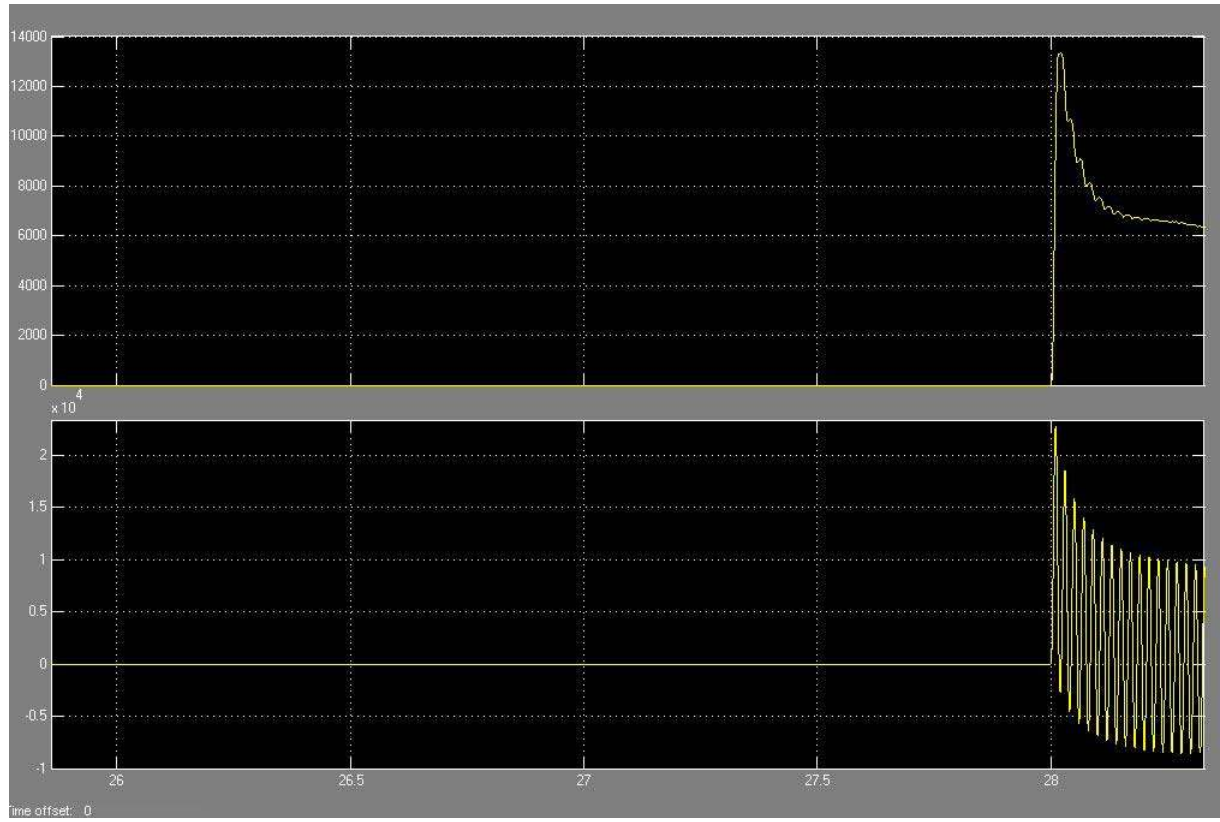
F4 kısa devre yeri;



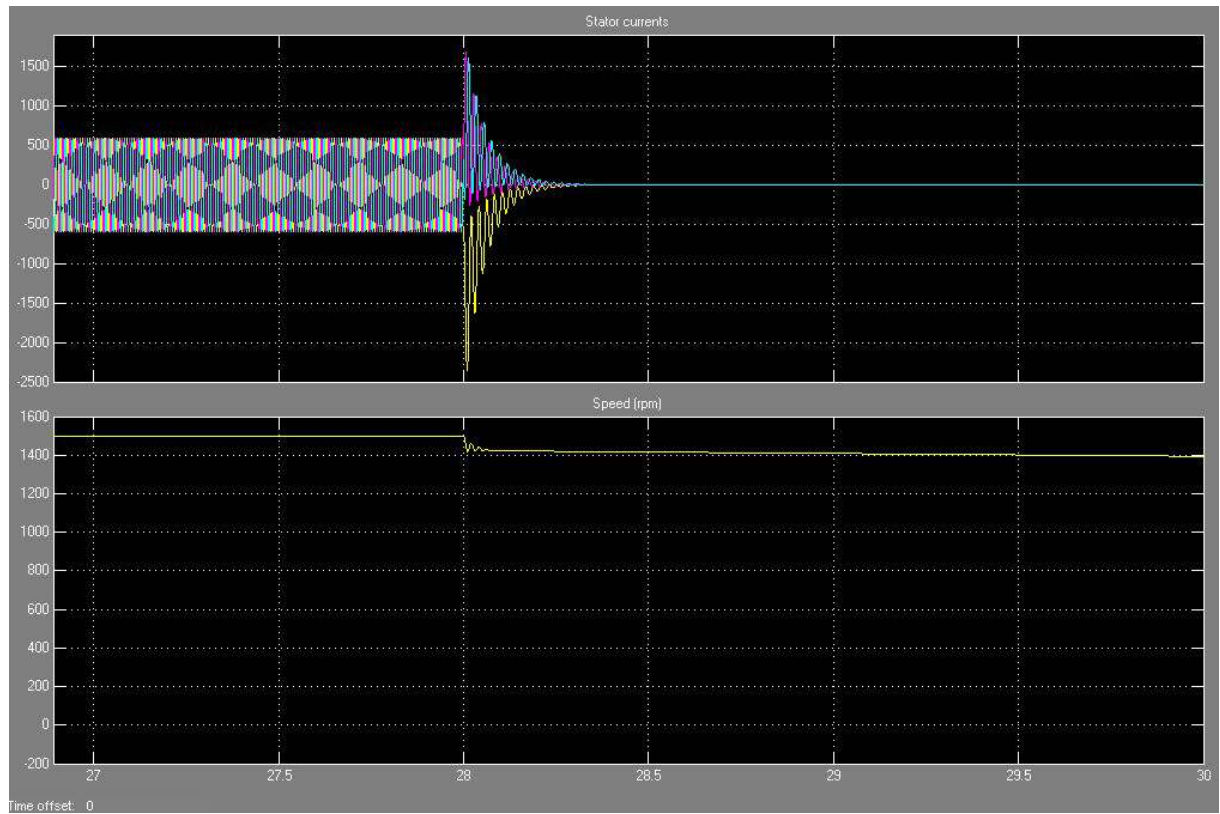
Şekil 7. 21 F4 kısa devresi 34.5 kV barası



Şekil 7. 22 F4 kısa devre noktası kısa devre akımı



Şekil 7. 23 F4 kısa devre noktası kısa devre akımı 28.-30. saniyeler



Şekil 7. 24 F4 kısa devresi motor katkısı

8. GEMİLERDE ÜÇ FAZLI SİSTEMLERİN KISA DEVRE AKIMININ HESABI VE IEC 363

8.1 Kapsam

IEC 61363-1 standardı:

Gemilerdeki AG üç fazlı AA şebekelerinde, anma frekansı 50 veya 60 Hz olan elektrik sistemlerinde kısa devre akımlarının hesabı için uygulanır.

8.2 Amaç

Bu standardın amacı, genelde pratik ve özlü işlemler yaparak, gemilerdeki kendine özgü durumları göz önüne alarak yeterli doğrulukta sonuçlar elde etmektir.

Hesaplama yaptığımız kısa devre akımı akımları;

-Elektrik aygıtlarının etiket değerlerini ve kapasitelerini belirleyen en büyük kısa devre akımıdır.

8.3 Tanımlar

Bu standartta kullanılacak aşağıda belirtilmemiş tanımlar için ortak tanımlar için bölüm 1.3 'e bakınız.

8.3.1 Generatörlerin kısa devre akımı

Bknz. 2.3.5

8.3.2 Generatörün boyuna eksen alt geçici rejim reaktansı X''_d

Bknz. 2.3.22

8.3.3 Yüzde olarak generatörün boyuna eksen alt geçici rejim reaktansı x''_d

8.3.4 Alt geçici rejim kısa devre akımı

Akım dalgalarının zarfı ile sıfır zaman (başlangıç anında) ekstrapole edilen bir generatörün kısa devre akımının alternatif akım bileşeninin etken değeri; alt geçici rejim kısa devre akımı I'' olarak gösterilir.

8.3.5 Boştaki alt geçici rejim kısa devre akımı $I''_{boşta}$

Beyan geriliminde V_N 'de ve boştaki generatör üzerinde kısa devrenin meydana gelmesi durumunda, alt geçici rejim kısa devre akımı $I''_{boşta}$ aşağıdaki formülle verilir.

$$I''_{boşta} = \left(\frac{V_N}{X''_d} \right) = \left(\frac{1}{x''_d} \right) \cdot I_N \quad (77)$$

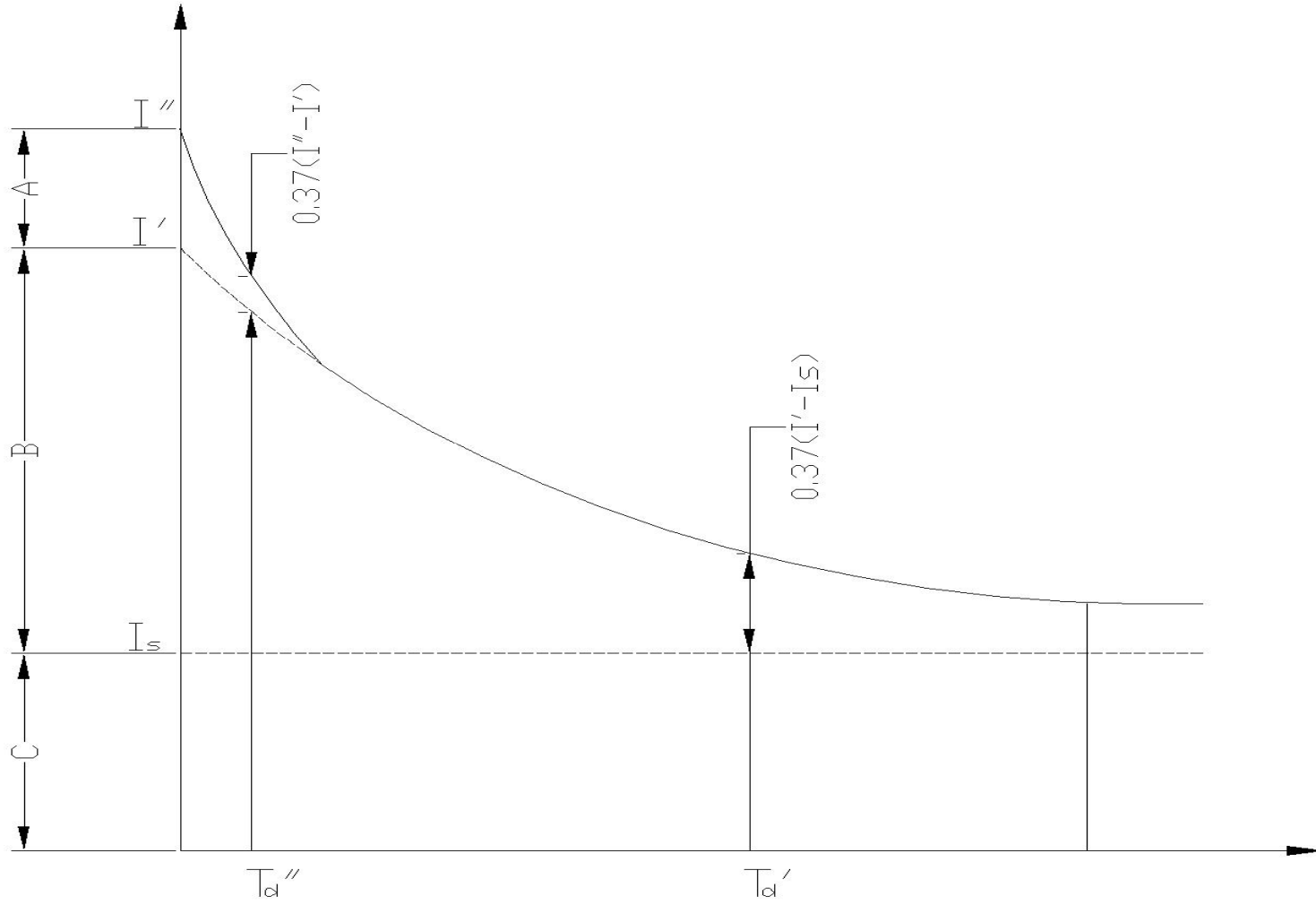
Burada I_N generatörün beyan akımı.

8.3.6 Beyan yükünde alt geçici rejim kısa devre akımı $I''_{beyan yükü}$

Generatör beyan yükünde yani beyan akımlı beyan geriliminde ve beyan güç kat sayısında kısa devrenin meydana gelmesi durumunda; alt geçici rejim kısa devre akımı $I''_{beyan yükü}$, yukardaki alt geçici rejim kısa devre akımı $I''_{boşta}$ 'dan makinanın karakterine bağlı uygun bir çarpım faktörü ile elde edilebilir. Kesin bilginin olmaması durumunda, bu çarpım faktörü 1,1 olarak seçilebilir.

$$I''_{beyan yükü} = 1,1 \cdot I''_{boşta} \quad (78)$$

Alt geçici rejim olayı sırasında kısa devre akımının a.a. bileşeninin genliğinin üssel azalmasının zaman sabiti alt geçici rejim zaman sabiti T''_d .dür (Şekil-8.1). Geçici rejim olayının zaman sabiti ise geçici rejim zaman sabiti T'_d 'dür.



Şekil 8. 1 Kısa devre eğrisi

Bu zaman sabitlerinin ilki T''_d , burada tesis edilecek devre kesicilerin kısa devre karakteristikleri ile ilgili sistemlerdeki kısa devre akımlarının değerlendirilmesinde en önemli etkindir.

İlk bir kaç çevrim sırasındaki etken değer, önemsenecek derecede hata yapmaksızın aşağıdaki formülden elde edilebilir:

$$I_{ac} = (I'' - I') \cdot e^{-t/T''_d} + I' \quad (79)$$

8.4 Generatörlerin kısa devre akımlarına katkılarının hesaplanması

Akımın olası maksimum tepe değeri; verilen bir a.a. bileşeni için olası maksimum d.a. bileşeninin bulunmasına karşılıktır. Kısa devre akımının maksimum tepe değeri (ani değer) $I_{maxtepe}$, alt geçici rejim akımı I'' 'ne (sıfır zamana ekstrapole edilen a.a. bileşeninin etken değerine) bağlıdır. Bu aynı zaman x'_d/x''_d oranına ve alt geçici rejim zaman sabiti T''_d 'ne bağlı olup asimetrik kısa devre akımının maksimum tepe değerine erişmesi için gerekli zaman aralığında a.a. bileşeninin azalmasını belirler ve bundan başka aynı zaman aralığında T_{da} zaman sabiti ile d.a. bileşeninin azalmasını belirleyen kısa devre güç katsayısına da bağlıdır. Olabilen maksimum tepe değeri, etken değer için verilen aynı formülle hesap edilebilir. I_{aa} için belirtilen etken değer $\sqrt{2}$ ile çarpılmış olmasına dikkat edilir. Sıfır zamana ekstrapole edilen d.a. bileşeninin $I''\sqrt{2}$ 'lik bir değeri vardır.

Aşağıdaki formül, (bir çevrimin süresi T olmak üzere $t = \frac{1}{2}T$ 'de meydana geldiği kabul edilen en büyük tepe değerinin belirlenmesi için kullanılabilir.

$$I_{tepemax} = \sqrt{2} \left[(I'' - I') e^{-T/2T''_d} + I' \right] + \sqrt{2} I'' e^{-T/2T_{dc}} \quad (80)$$

Bu formülle I_{tepe} 'nin hesaplanması yerine, diyagramlar kullanılabilir. Şekil-2, Şekil-3 ve Şekil-4, farklı T''_d ve farklı kısa devre güç katsayısı değerleri için $I_{tepemax}$ 'ın, I'' 'den elde edilebildiği için $I_{tepemax}$ 'ın I'' 'den elde edilebildiği çarpım faktörlerini, x'_d/x''_d oranının fonksiyonları olarak gösterir.

Bu diyagramlar; generatörün kısa devre meydana gelmeden önceki boştaki durumlarına yani $I''_{boşta}$ akıma bağlıdır. Şekil-2a, Şekil-3a ve Şekil-4a 50 Hz ve Şekil-2b, Şekil-3b ve Şekil-4b 60 Hz içindir.

8.5 Motorların kısa devre akımlarına katkılarının hesaplanması

Kısa devre eşdeğer empedansının tayininde; sisteme bağlı motorların reaktansları önemli olduğundan bu motorların gerçek kısa devre akımına katkısı generatörlerde yapıldığı gibi aynı yoldan değerlendirme yapılmalıdır.

4.5.1 - Endüksiyon motorlarında hesaba katılması gereken hususlar

a)Geçici rejim olayı sonunda kısa devre akımının sönmesi sebebiyle motorlar tarafından beslenen kalıcı kısa devre akımı yoktur.

b)Motorların iç gerilimi, yani kısa devre arızasında motorların akım katkısını sağlayan gerilim, hat geriliminden (sistemin beyan geriliminden) küçüktür ve motorlar beyan yükünde (aşırı yük normal işletme şartı olarak kabul edilemez) çalışırken en düşük değerdedir.

c) Daha kesin bilgi bulunmadığında, motorların katkıları, işletmede aynı anda çalışabilen bütün motorların beyan güçlerinin toplamına eşit beyan güçlü yalnız bir motorun doğrudan ana baralara bağlı bulunduğu birinci yaklaşım olarak kabul edilebilir.

d) Beyan geriliminde ve boşta çalışan bu motordan ileri gelen, sıfır zamana (kısa devrenin başlangıcına) ekstrapole edilen kısa devre akımının a.a. bileşeninin I''_M etken değeri:

$$I''_M = 6,25 I_N \quad (81)$$

I_N bu motorun beyan akımıdır.

Motordan kaynaklanan kısa devre akımının a.a. bileşeni I''_M 'in azalışı; zamanın bir fonksiyonu olarak aşağıda verilen etken değerlere karşılıktır.

Kısa devre başlama anından sonraki çevrim olarak zaman	Kısa devre akımı $I_{M(t)}$ min a.a bileşeni
1	$I_{M(T)} = 2.5 I_N$
2	$I_{M(2T)} = I_N$

e) - Endüksiyon motorlarından kaynaklanan kısa devre akımı I_M 'in güç katsayısı, yani iç gerilim ile kısa devre akımı arasındaki açının kosinüsü 0,3'den küçük değildir. Bu kısa devre akımının olası maksimum tepe değeri bundan dolayı aşağıdaki değeri geçemez.

$$I_{Mmaxtepe} = 8 I_N$$

Büyük motorlarda yukarıdaki yaklaşım yeterli olmayabilir ve aşağıdaki bilgiler kullanılarak kesin hesaplama yapılması gerekebilir.

P_n = Beyan gücü, kVA

Z_b = Rotoru kilitli motor empedansı (% z_b)

X_b = Rotoru kilitli motor reaktansı (% x_b)

R_r = Rotor direnci (% r_r)

R_s = Stator direnci (% r_s)

Geçici rejim zaman sabiti ve doğru akım bileşeni zaman sabiti, saniye olarak

$$T' = \frac{x_b}{2\pi f r_r} \quad , \quad T_{d.a.} = \frac{x_b}{2\pi f r_s} \quad (82)$$

a.a bileşeni

$$I_{a.a.} = \frac{V_N}{Z_b} e^{-t/T'}$$

d.a bileşeni

$$I_{d.a.} = \sqrt{2} \frac{V_N}{Z_b} e^{-t/T_{da}} \quad (83)$$

T/2 anındaki akımın tepe değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_{pr} = \sqrt{2} \frac{V_N}{Z_b} e^{-T/2T'} + \sqrt{2} \frac{V_N}{Z_b} e^{-T/2T_{da}} \quad (84)$$

8.6 Ana bara yakınındaki arızada kısa devre akımının hesaplanması

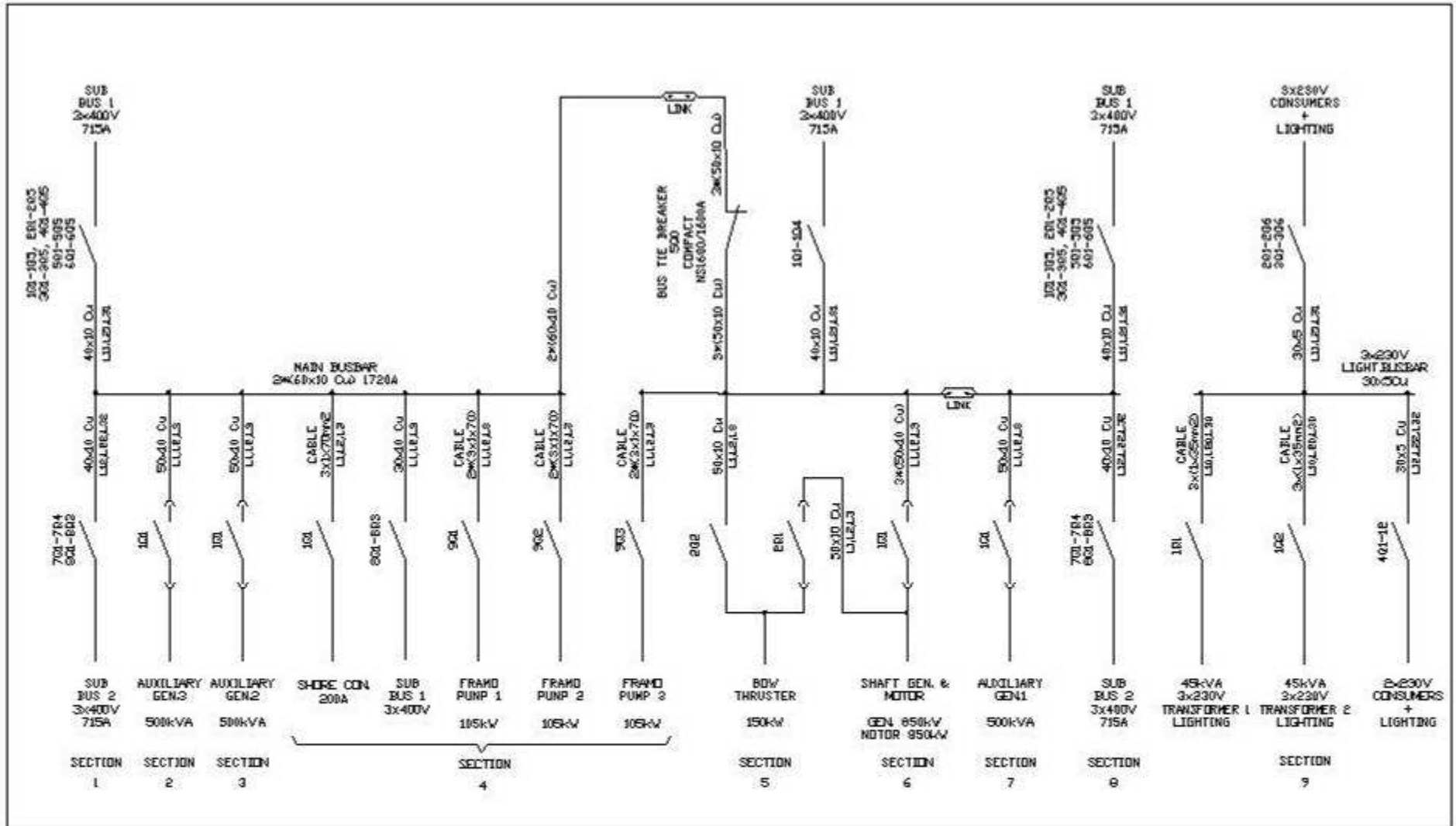
Kısa devre akımının olası maksimum tepe değeri; empedanslarının seri olduğu kabul edilerek ve makinaların yapısından ileri gelenlerinden başkası ihmal edilerek genellikle sisteme bağlı generatörlerin ve motorların verdiklerinin birleştirilmesiyle elde edilir.

Olası maksimum tepe değeri için Madde 2'deki gibi çarpım faktörünü uygulamak gerekli değildir.

Genellikle generatörleri boşta düşünmek ve sonuç olarak maksimum tepe değeri generatörler için, motorlar için ayrı ayrı değerlendirilen tepe değerlerinin aritmetik toplamı ile değerlendirilebilir.

Bu, bir generatörün kısa devre akımının normal şartlardaki yükleme ile (güç kat sayısı reaktif) art arda artan iç gerilimlerle artmasına karşın diğer taraftan toplam kısa devre akımının tepe değeri (olası maksimum), kısa devre akımının a.a. bileşeninin aynı oranı ile artmadığını fakat bundan az olduğunu dikkate alarak doğrulamaktır. Bu sonuç, d.a. bileşeni şartlarının farklı olması gerçeğine bağlıdır.

Yapacaklarımızı bir örnek üzerinde anlatacak olursak;



Şekil 9. 1 Tek hat şeması

Sistemimizde ana panoya bağı 1 adet 850 kW senkron motor/generatör, 3 adet birbirine eş 400 kW dizel generatör ve çeşitli dağıtım panolarından beslenen <150 kW motorlar mevcut. Döner olmayan yükler göz ardı edilir. Senkron makine normal durumda ana makinenin milinden tahrik olarak generatör olarak çalışmakta, özel durumda ise generatörlerden sağlanan elektrik enerjisi ile ana makinenin yerini alarak pervaneyi çevirmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi her bir kısa devre akımı kaynağını tek tek ele alarak generatöre yakın kısa devre hesabı yapalım;

Dizel generatörlerin kısa devre akımına katkısı

Generatörlerin Kısa Devre Değerleri		
Alternatör Tipi	: LSA 49.1 / 4p S4	
Nominal Gücü (Güç Katsayısı = 0.8)	S_N :	500,0 kVA / 400 kW
Gerilim ve Frekans	U_N :	3 x 400 V / 50 Hz
Geçici rejim zaman sabiti	T'_d :	100,00 ms
Alt geçici rejim zaman sabiti	T''_d :	10,00 ms
DC zaman sabiti	T_a :	15,00 ms
Geçici rejim zaman reaktansı	X'_d :	0,175 p.u.
Alt geçici rejim zaman reaktansı	X''_d :	0,140 p.u.

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}xU_N} = 0,722 \text{ kA}$$

$$I''_{boşta} = \left(\frac{V_N}{X''_d} \right) = \left(\frac{1}{x''_d} \right) \cdot I_N = 5,155 \text{ kA}$$

$$I'_{boşta} = \left(\frac{V_N}{X'_d} \right) = \left(\frac{1}{x'_d} \right) \cdot I_N = 4,424 \text{ kA}$$

t	$(I''-I')e^{-t/T''}$ boşta	I' boşta	I_{acrms} boşta	I_{ac} beyan yükü
(ms)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)
0,0	1,031 x 1,000 = 1,031	4,124	5,155	5,670
1/2T = 10,0	1,031 x 0,368 = 0,379	4,124	4,503	4,954
T = 20,0	1,031 x 0,135 = 0,140	4,124	4,263	4,690
3/2T = 30,0	1,031 x 0,050 = 0,051	4,124	4,175	4,593
2T = 40,0	1,031 x 0,018 = 0,019	4,124	4,143	4,557
3T = 60,0	1,031 x 0,002 = 0,003	4,124	4,126	4,539

Çizelge 8. 1 Zamana göre kısa devre değerleri

$$I_{ac} = (I'' - I')e^{-t/T''} + I' = 4,503 \text{ kA} \quad t = T/2 = 10 \text{ ms}$$

$$I''_{\text{beyan yükü}} = 1,1 \cdot I'_{ac} = \mathbf{4,954 \text{ kA}}$$

$$I_{dc} = \sqrt{2} I'' e^{-T/2T_{dc}} = 3,743 \text{ kA}$$

$$I_{\text{tepemax}} = \sqrt{2} \left[(I'' - I') e^{-T/2T''} + I' \right] + \sqrt{2} I'' e^{-T/2T_{dc}} = 10.111 \text{ kA}$$

Senkron generatörün kısa devre akımına katkısı

Senkron Motor/Generatör Kısa Devre Değerleri

Alternatör Tipi	: AVK DSU 62 L1-4
Nominal Gücü (Güç Katsayısı = 0.8)	S_N : 1063,0 kVA / 850 kW
Gerilim ve Frekans	U_N : 3 x 400 V / 50 Hz
Geçici rejim zaman sabiti	T'_d : 277,00 ms
Alt geçici rejim zaman sabiti	T''_d : 11,00 ms
DC zaman sabiti	T_a : 23,00 ms
Geçici rejim zaman reaktansı	X'_d : 0,157 p.u.
Alt geçici rejim zaman reaktansı	X''_d : 0,079 p.u..

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}xU_N} = 1,534 \text{ kA}$$

$$I''_{boşta} = \left(\frac{V_N}{X''_d} \right) = \left(\frac{1}{x''_d} \right) \cdot I_N = 19,422 \text{ kA}$$

$$I''_{boşta} = \left(\frac{V_N}{X'_d} \right) = \left(\frac{1}{x'_d} \right) \cdot I_N = 9,773 \text{ kA}$$

t (ms)	$(I''-I')e^{-t/T''}$ boşta (kA)	$I'_{boşta}$ (kA)	I_{acrms} boşta (kA)	I_{ac} beyan yükünde (kA)
0,0	9,649 x 1,000 = 9,649	9,773	19,422	21,364
1/2T = 10,0	9,649 x 0,403 = 3,887	9,773	13,660	15,026
T = 20,0	9,649 x 0,162 = 1,566	9,773	11,339	12,473
3/2T = 30,0	9,649 x 0,065 = 0,631	9,773	10,404	11,444
2T = 40,0	9,649 x 0,026 = 0,254	9,773	10,027	11,030
3T = 60,0	9,649 x 0,004 = 0,041	9,773	9,814	10,795

Çizelge 8. 2 Zamana göre kısa devre değerleri

$$I_{ac} = (I'' - I') \cdot e^{-t/T''} + I' = 13,660 \text{ kA} \quad t = T/2 = 20 \text{ ms}$$

$$I''_{beyan yükü} = 1,1 \cdot I''_{ac} = \mathbf{15,026 \text{ kA}}$$

$$I_{dc} = \sqrt{2} I'' e^{-T/2T_{dc}} = 17,782 \text{ kA}$$

$$I_{tepemax} = \sqrt{2} \left[(I'' - I') e^{-T/2T''} + I' \right] + \sqrt{2} I'' e^{-T/2T_{dc}} = 37,100 \text{ kA}$$

Özel olarak sistemimizde, 3 generatör paralel çalışarak senkron motoru beslemekte, senkron makine generatör olarak çalışırken, hiçbir generatörle sürekli paralellenmemektedir. Motor katkısını hesaplamak için, küçük motorları ve kablolarını göz önüne alarak hesap

yapmaktansa, bu tüm motorlar için 1 adet gücü, ufak motorların gücünün tamamına eşit, ana baraya direkt bağlı büyük bir motoru göz önüne alarak işlem yapmak hesabımızı kolaylaştıracaktır.

Kısa devre hesabı için en doğru çözümleme yük analizi yaparak olacaktır. Fakat bunun için de uzun bir çalışma gerekir. Hangi yüklerin hangi işlemler sırasında, eş zamanlı çalıştığı, büyük motorlar için parametrelerini alarak empedans değeri elde etme gibi uzun ve detaylı bir çalışma bize en ideal çözümü sunar. Bunun yanında bizim yapacağımız çalışma ise diğerine göre aşırı bir sonuç ortaya koysa da, zamandan bize sağlayacağı tasarruf, daha basit hesaplamalarla sonuca gitmemiz, kesici seçiminde sınır değerlerde kalmadığımız sürece tercih etmemizin doğru olacağı bir yöntemdir. Bu yöntemde ve yük analizinde de yapmamız gereken öncelikle olasılıkları değerlendirmektir. Olasılıkları değerlendirirken çalışmamızı farklı kılan ve basitleştiren motor yüklerini hesaplamadaki basitliktir. En kötü durum olasılıklara göz atacak olursak;

1. olasılık Senkron makine generatör olarak çalışıyor ve biz herhangi bir generatörü devreye alıp mevcut sistemin devamlılığını sağlayarak, senkron generatörü devreden çıkarmak istiyoruz. Sürekliliği sağlamak için senkron generatör ve dizel generatörlerimizden herhangi biri geçici olarak paralel çalışacaktır, bu durumda olası en büyük yük generatörün gücü kadardır. Ters durumda yani dizel generatörü devre dışı bırakırken, senkron generatörü devreye alınmasında da aynı yük geçerli olacaktır. güvenli tarafta kalan yeterli doğrulukta bir sonuç için mevcut yükün %80'i ana baraya doğrudan bağlı tek bir motor olarak düşünmek yeterli olacaktır. Özel olarak senkron motorlarda gerilim regülatörü mevcut ise katkıları senkron generatör gibi hesaplanır.

Böylece 1. olasılıkta motor katkısı;

$$I_N = 0,722 \times 0,8 = 0,5776 \text{ kA}$$

$$I_M'' = 6,25 I_N = 3,61 \text{ kA}$$

t	0	1/2T	T	2T
FACTOR	6,25	4	2,5	1
$I''_M(kA)$	3,61	2,31	1,44	0,57

Çizelge 8. 3 Zamana göre kısa devreye motor katkısı

$$I_{Mmaxtepe} = 8 I_N$$

$$I_{Mmaxtepe} = 4,6 \text{ kA}$$

Ana barada oluşacak en büyük kısa devre akımı;

$$I''_{toplam} = I''_{beyan yükü geb} + I''_{beyan yükü sen} + I''_M$$

$$I''_{toplam} = 4,954 \text{ kA} + 15,026 \text{ kA} + 2,31 \text{ kA} = \mathbf{22,3 \text{ kA}}$$

$$I_{Maxtepetoplam} = 10,111 \text{ kA} + 37,1 \text{ kA} + 4,6 \text{ kA} = \mathbf{54,8 \text{ kA}}$$

2. olasılık Senkron makinenin motor olarak çalışması durumu, bu olasılıkta 3 dizel generatör paralel çalışacak ve senkron motoru besleyecektir. Ana baraya doğrudan bağlı hayali motor katkısını, üç dizel generatörün toplam gücünün %80 inden, senkron motor gücünü çıkararak bulabiliriz.

$$I_N = 3 \times 0,722 \times 0,8 - 1,534 = 0,198 \text{ kA}$$

$$I''_M = 6,25 I_N = 1,24 \text{ kA}$$

t	0	1/2T	T	2T
FACTOR	6,25	4	2,5	1
$I''_M(kA)$	1,24	0,79	0,49	0,19

Zamana göre kısa devreye motor katkısı

$$I_{Mmaxtepe} = 8 I_N$$

$$I_{Mmaxtepe} = 1,59 \text{ kA}$$

Ana barada oluşacak en büyük kısa devre akımı;

$$I''_{toplaml} = I''_{beyan yükü geb} + I''_{beyan yükü sen} + I''_M$$

$$I''_{toplaml} = 3 \times 4,954 \text{ kA} + 15,026 \text{ kA} + 0,79 \text{ kA} = \mathbf{30,7 \text{ kA}}$$

$$I_{Maxtepetoplaml} = 3 \times 10,111 \text{ kA} + 37,1 \text{ kA} + 1,59 \text{ kA} = \mathbf{69 \text{ kA}}$$

Bu durumda ikinci olasılık bizim için belirleyicidir. Burada regülatörlü senkron makine kullanılsaydı 1. olasılığın yüksek çıkma ihtimali de vardı. Sonuç olarak ana baraya direkt bağlanacak kesicilerin kesme ve kapama kapasiteleri 2. olasılıkta hesaplanan değerlerden yüksek olmalıdır. Özel olarak senkron makine kesicisi ve dizel generatör kesicileri için aşağıdaki hesap doğrudur.

Generatör kesicisi

$$I''_{toplaml} = 2 \times 4,954 \text{ kA} + 15,026 \text{ kA} + 0,79 \text{ kA} = \mathbf{41 \text{ kA}}$$

$$I_{Maxtepetoplaml} = 2 \times 10,111 \text{ kA} + 37,1 \text{ kA} + 1,59 \text{ kA} = \mathbf{59 \text{ kA}}$$

Senkron makine kesicisi;

$$I''_{toplaml} = 3 \times 4,954 \text{ kA} + 0,79 \text{ kA} = \mathbf{15,6 \text{ kA}}$$

$$I_{Maxtepetoplaml} = 3 \times 10,111 \text{ kA} + 1,59 \text{ kA} = \mathbf{32 \text{ kA}}$$

Yukarıdaki şekilde de görüleceği gibi,

Generatör kesicilerinin keseceği en büyük kısa devre akımı kesici arkasındaki kısa devredir, ana barada oluşacak kısa devrede sadece kendi katkısını keser. Yani şekilde senkron makinenin kesicisinin keseceği en büyük kısa devre kendi kesicisi öncesinde oluşacak hatadadır. İki durumda da makinelerin kendi katkıları barada oluşacak en büyük kısa devre akımından çıkarılır.

9. SONUÇ

ANSI standardı tam olarak kısa-devre hesaplaması içindir denilemez daha çok kesici seçilmesi ile ilgilidir, tersi olarak IEC standardı da kesici boyutlandırılması ile alakalı olarak değil kısa-devre hesaplaması ile ilişkilendirmek doğru olur. Mühendislik uygulamalarının bilgilerinden bağımsız olarak dinamik simülasyonda kısa-devrenin dalga şeklini verir. Sonuç olarak bu tezin amacı dinamik benzetim, ANSI ve IEC standartlarının karşılaştırılmasıdır. Kesici boyutlandırılması göz ardı edilecektir. Odaklandığımız bölümler ise doğru olarak analiz edilmiş 2 standardın çözüm metotları üzerinedir. Dinamik simülasyonun oluşturduğu değerler de sonuçların karşılaştırılmasına katılabilir.

	Hata Akımı I''_k (kA)		
Hata Nokatası	IEC	ANSI	MATLAB
F1	14,387	13,25	11,4
F2	8,103	7,4135	7,2
F3	15,898	14,4811	11,8
F4	15,838	14,4815	14,1

	Hata Akımı I_p (kA)		
Hata Nokatası	IEC	ANSI	MATLAB
F1	36,945	33,39	17,9
F2	18,304	16,89	16,4
F3	39,096	35,5	18
F4	37,738	35,67	25

3 fazlı kısa devre akımı için yapılan karşılaştırmada IEC ve ANSI standartlarında ortaya çıkan sonuçlar birbirine yakındır. Simulasyon ile bulduğumuz sonuç ise diğerlerine göre daha düşük çıkmasının sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Standartlarda şebeke gerilimi sabit alınır gerilim düşümü hesaba katılmaz, fakat gerçekte hata öncesi durumda bara gerilimi nominal gerilimden farklıdır.

Kısa devre akımına motor katkısının en büyük değeri motorlar nominal güçlerinde çalıştığında meydana gelir, motor yükü ne kadar az ise kısa devre katkısı da en aza iner.

Burada göze alınacak durum motor katkısı en fazla iken, baradaki gerilim düşümü daha büyük olacağı, dolayısıyla kısa devre geriliminin düşeceği, kısa devre gerilimi en yüksek değerinde ise motor katkısının en aza ineceğidir. Simulasyon bu durumları göz önüne alarak sonuç üretir.

Motor katkısı generatöre uzak kısa devrelerde motorun baraya bağlantı uçlarındaki gerilim sıfır olmadığından kısa devre akımına katkısı olmaz, simulasyonlarda bu göz önüne alınırken, standart bazlı çözümler bu durumu göz ardı eder.

Güç dağıtım sistemlerinde kesintisiz ve güvenli işletme sağlanabilmesi için ekipmanların, koruma düzenlerinin ve kesitin kısa-devre akımlarına uygun olarak seçilmesi, ayarlanması ve boyutlandırılması gerekir. kısa-devre akımı; ekipmanların, karakteristiklerini ve dayanma güçlerini belirler. Burada, en büyük kısa-devre akımı ile, kesicilerin kesme kapasitelerini ve şaltın elektrodinamik davranışlarını; en küçük kısa-devre akımı ile, kesicilerin ve sigortaların akım-zaman eğrilerinin seçilmesi amaçlanmıştır.

Simulasyonla kısa devre analizi bize elektrik tesisinde daha küçük kesme kapasiteli ve küçük boyutlu eleman seçme imkanı sağlayabilir. Simulasyon programlarının kolay kullanımı, her koşulda güvenli sonuç verdiğinin kanıtlanması ve hızlı çözüm sağlamanın getireceği avantajlarla kısa devre analizinde en çok kullanılan yöntem olması, uluslararası çevrelerde standartlardan daha yaygın kabul görmesi kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- [1] Türk Standardı, 2006. Üç fazlı a.a. sistemlerde kısa devre akımları, TS EN 60909.
- [2] Uzunoğlu, Memet, 2003. Her Yönü İle Matlab 6,0-6,5.
- [3] Amerikan Standardı, 1999. Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, ANSI/IEEE Std C37.010-1999
- [4] Saner Yetkin, 2000. Güç Dağıtımı
- [5] Günel Aydın, 1999. Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Enerji Sistemlerinin Üç Fazlı Analizi
- [6] Knight Gene, 1993. Comparison of Ansi and IEC 909 Short Circuit Current Calculation Procedures, IEEE Paper No: PCIC 91-44
- [7] Berizzi, Alberto, 1994. Short -Circuit Current A Comparison between Methods of IEC and ANSI Standards Using Dynamic Simulation as Reference, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 30,
- [8] Parise, Giuseppe & Massimiano, Marco, 1994. Short Circuit Analysis On A Simple Power System Network The "Characteristic" Current Method
- [9] Crisford D. S.,1996. Introduction to IEC 909 (BS 7639)Short-circuit Current Calculation in Three-phase A.C. Systems, The Institution of Electrical Engineers Publication.
- [10] Türk Standardı, 1995. Gemilerde Kısa Devre Akımının Devre Kesicilerin Beyan Kısa Devre Kapasitesi ile İlgisi Bakımından Hesaplanması. TSE IEC/TR 363