

66525

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EMTP YARDIMIYLA KISA DEVRE
AKIMININ DİNAMİK SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Alper ÖZDEMİR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Ocak 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Şubat 1997

Tez Danışmanı

: Yrd. Doç. Dr. Belgin TÜRKAY

Diğer Jüri Üyeleri

: Doç. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR

Doç. Dr. Ömer USTA

ŞUBAT 1997

ÖNSÖZ

Tüm tez çalışmam boyunca değerli fikir ve yardımlarıyla bana destek olan saygıdeğer ve kıymetli danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Belgin Türkay'a, tüm zorluklara rağmen, tezin yazılım ve derlenme aşamasında unutamayacağım yardımlarını ve manevi desteklerini gördüğüm çok değerli dostlarım Barış Akdoğan, Devrim Akdoğan, Affan Nomak'a, biricik nişanlım Pınar Atmaca'ya, herşeyden önce bana olan inanç ve güvenlerini bir an olsun yitirmeyip, maddi ve manevi her türlü yardımı yapan sevgili annem Evseven Ertük, ağabeyim Aykut Özdemir ve babam Hıfzı Özdemir'e en içten minnet ve teşekkürlerimi sunarken, bu çalışmayı her şeyden çok sevdiğim anneciğime armağan ediyorum.

20 Ocak 1997

Elektrik Müh. Alper Özdemir

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 KISADEVRE İLE İLGİLİ STANDARTLARIN AÇIKLANMASI	3
2.1 Giriş	3
2.2 VDE 0102 standardının açıklanması	9
2.2.1 Giriş	9
2.2.2 Kısa devre ile ilgili genel tanımların açıklanması	9
2.2.3 Hata çeşitleri	16
2.2.4 Kısa devre akımlarının belirlenmesinde temel etkenler	19
2.2.5 Nominal gerilimi 1kV'un üzerinde olan üç fazlı alternatif akım tesislerinde üç fazlı dengeli kısa devrenin hesabı	20
2.2.5.1 Bir taraftan beslenen dalsız bir şebekede üç fazlı kısa devre akımlarının hesabı	21
2.2.5.1.1 Kısa devre akımları	21
2.2.5.1.2 Transformatörlerin göz önüne alınması	29
2.2.5.1.3 Bir şebeke tarafından bir empedans üzerinden beslenen kısa devre	29
2.2.5.2 Çok taraflı beslemede ve dallı şebekelerde üç fazlı kısa devre akımları	32
2.2.5.2.1 Şebekenin kısımlara ayrılması	32
2.2.5.2.2 Eşdeğer gerilim kaynağı	33
2.2.5.2.3 I_k'' başlangıç alternatif kısa devre akımı	33
2.2.5.2.4 I_s darbe kısa devre akımı	34
2.2.5.2.5 I_a alternatif açma akımı	35
2.2.5.2.6 I_k en büyük sürekli kısa devre akımı	37

	<u>Sayfa No</u>
2.2.5.3 Motorların hesaba katılması	37
2.2.5.3.1 Senkron motorlar ve senkron faz kaydırıcılar	37
2.2.5.3.2 Nominal gerilimleri 1kV'un üstünde olan asenkron motorlar	38
2.2.5.3.3 1000 V'a kadar olan nominal gerilimlerde asenkron motorlar	41
2.2.6 Nominal gerilimi 1000 V'a kadar olan üç fazlı alternatif akım tesislerinde üç fazlı kısa devrenin hesabı	43
2.2.6.1 Kısa devre akımlarının elde edilmesi için genel görüşler	43
2.2.6.2 Generatörden uzak kısa devrede en büyük kısa devre akımının hesaplanması	43
2.2.6.2.1. Genel bilgi	43
2.2.6.2.2 Üç fazlı kısa devrede en büyük kısa devre akımı	44
2.3 Genel hatlarıyla IEC 909 Standardının açıklanması	46
2.3.1 Giriş	46
2.3.2 I''_k , i_p , I_b , I_{basym} , I_k 'nin hesaplanması	47
2.4 ANSI standardının açıklanması	52
2.4.1 Giriş	52
2.4.2 Hesap yöntemi	54
BÖLÜM 3 KISA DEVRE AKIMININ DİNAMİK SİMÜLASYONU	59
3.1 Dinamik kısa devre hesap yöntemleri	59
3.2 Dinamik kısa devre algoritmasının gelişmesi	60
BÖLÜM 4 EMTP'DE VERİ DOSYALARININ HAZIRLANMASI	66
4.1 Giriş	66
4.2 Veri dosyaları ve kart yapıları	67
BÖLÜM 5 DİNAMİK SİMÜLASYONLA STANDARTLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	88
5.1 Örnek veri dosyaları	88
5.2 Model 1	89
5.3 Model 2	94
5.4 Model 3	99
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	122
KAYNAKLAR	124
ÖZGEÇMİŞ	125

SEMBOL LİSTESİ

X_d''	: Senkron makinelerin başlangıç reaktansları
I_k''	: Başlangıç alternatif kısa devre akımı
I_s, i_p	: Darbe kısa devre akımı
I_k	: Sürekli kısa devre akımı
I_a, I_b	: Alternatif açma akımı
I_D	: Geçirme akımı
I_{basym}	: Dengesiz açma akımı
i_{dc}	: Doğru akım bileşeni
E''	: Başlangıç gerilimi
U_h	: Şebeke işletme gerilimi
U_N	: Nominal şebeke gerilimi
S_k''	: Başlangıç alternatif kısa devre gücü
t_m	: En küçük açma gecikmesi
$\dot{Z}_k$	: Şebeke empedansı
R_k	: Hattın omik direnci
X_k	: Hattın reaktansı,
$\dot{Z}_1$	: Doğru empedans
$\dot{Z}_2$	: Ters empedans
$\dot{Z}_0$	: Sıfır empedans

c	:Uygulanan gerilim ile şebeke işletme gerilimi arasındaki farkı göz önünde tutmaya yarayan katsayı
U_G	:Generatörün (bağlama ucu) gerilimi (yıldız gerilimi)
I_G	:Generatörün yük akımı,
α	: U_G ile I_G arasındaki faz açısı
χ	: i_p hesabında kullanılan katsayı
μ	: I_a hesabında kullanılan katsayı
$\lambda_{\max}$	: $I_{k \max}$ hesabında kullanılan katsayı
$\lambda_{\min}$	: $I_{k \min}$ hesabında kullanılan katsayı
$\bar{u}_N$	:Transformatörün nominal çevirme oranı
X_{mot}	:Motor reaktansı
I_{yol}	:Yol alma akımı
R_n, X_n	:Transformatörün üst gerilim tarafındaki kısa devreyolunun alt gerilim tarafına indirgenmiş her bir faz iletkenin direnci ve reaktansı
R_T, X_T	:Transformatörün alt gerilim tarafına indirgenmiş her bir faz iletkeninin nominal işletmede direnci ve her bir faz iletkenin reaktansı
R_L, X_L	:Hata yeri ile transformatör arasındaki kısa devre yolunun alt gerilim tarafına indirgenmiş her bir faz iletkeninin 20° C'deki direnci ve her bir faz iletkeninin reaktansı
X_s	:Stator reaktansı
$X_r(s=1)$	:Başlangıç rotor reaktansı

s	:Asenkron makine nominal kayma
u_r	Transformatörün R_k kısadevre direnci üzerindeki bağıl gerilim düşümü
u_x	:Transformatörün X_k kısadevre reaktansı üzerindeki bağıl gerilim düşümü



ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Kısadevre akımının zamana bağlı olarak değişimi a) Generatör yakını kısa devre b) Generatörden uzak kısa devre	11
Şekil 2.2	Üç fazlı alternatif akım şebekelerinin doğru, ters ve sıfır empedanslarının ölçülmesi	15
Şekil 2.3	Hata çeşitleri a) Üç fazlı kısa devre b) Toprak temassız iki fazlı kısa devre c) Toprak temaslı iki fazlı kısa devre d) Bir fazlı toprak kısadevresi e) Çift toprak kısadevresi	16
Şekil 2.4	Dalları olmayan ve bir taraflı beslenen bir şebekede I_k'' başlangıç kısadevre akımının hesaplanması a) Bağlama şeması b) Etkin generatör gerilimi ile hesap c) Eşdeğer gerilim kaynağı ile hesap	20
Şekil 2.5	Çok taraftan beslenmiş bir şebekede I_k'' başlangıç alternatif kısadevre akımının hesabı a) Bağlama şeması b) Etkin generatör gerilimi ile hesap c) Eşdeğer gerilim kaynağı ile hesap	21
Şekil 2.6	χ katsayısı	24
Şekil 2.7	μ katsayısı	25
Şekil 2.8	Turbo-alternatörler için $\lambda_{\max}$ ve $\lambda_{\min}$ katsayıları	27
Şekil 2.9	Çıkık kutuplu makineler için $\lambda_{\max}$ ve $\lambda_{\min}$ katsayıları	28
Şekil 2.10	Bir şebeke tarafından beslenme halinde başlangıç alternatif kısadevre akımının hesabı a) Bağlama şeması b) Eşdeğer gerilim kaynağı ile hesap	31
Şekil 2.11	Şebekenin kısımlara ayrılması	32

Şekil 2.12	Birçok akım kaynağından bir taraflı beslenen bir hata yerinde darbe kısadevre akımının hesabına yönelik bağlama şeması	34
Şekil 2.13	μ_k katsayısının izahı için bağlama şeması	36
Şekil 2.14	Asenkron motorların gözönünde bulundurulmasına ilişkin örnek	40
Şekil 2.15	Asenkron motorların alternatif akımlarının hesaplanması için q katsayısı	42
Şekil 2.16	χ katsayısı	45
Şekil 2.17	Kısadevre akım yolları	46
Şekil 4.1	Floating-point miscellaneous data card	67
Şekil 4.2	Integer miscellaneous data card	69
Şekil 4.3	Karşılıklı bağların olmadığı seri RLC branch card için normal format	72
Şekil 4.4	TRANSFORMER özel istek kartı	74
Şekil 4.5	İşaret kartı	75
Şekil 4.6	Sargıya ait veri kartı	75
Şekil 4.7	TRANSFORMER özel istek kartı	77
Şekil 4.8	"N" sargı veri kartları	77
Şekil 4.9	BLANK kartı	78
Şekil 4.10	Anahtar kartı	78
Şekil 4.11	Statik kaynak kartı	79
Şekil 4.12	Şebeke bağlantı ve kalıcı hal veri kartı	81
Şekil 4.13	PARAMETER FITTING özel istek kartı	82
Şekil 4.14	Makine boyut kartı	83
Şekil 4.15	Elektriksel parametre kartı 1	84
Şekil 4.16	Elektriksel parametre kartı 2	84

Şekil 4.17	Çıkış istek kartı	85
Şekil 4.18	FINISH kartı	86
Şekil 4.19	Düğüm gerilimleri için düzenlenen çıkış kartı	87
Şekil 4.20	Dal ve anahtar büyüklükleri için düzenlenen çıkış kartı	87
Şekil 5.1	Şekil 5.1 Model 1'e ilişkin tek hat şeması	90
Şekil 5.2	F1 noktasında kısa devrenin zamana bağlı değişimi	93
Şekil 5.3	F2 noktasında kısa devrenin zamana bağlı değişimi	93
Şekil 5.4	Model 2'ye ilişkin tek hat şeması	95
Şekil 5.5	F noktasındaki kısadevreye sebeke katkısının zamanla değişimi	97
Şekil 5.6	F noktasındaki kısadevreye generatör katkısının zamanla değişimi	98
Şekil 5.7	F noktasındaki kısadevrenin zamanla değişimi	98
Şekil 5.8	Model 3'e ilişkin tek hat şeması	100
Şekil 5.9	BUS 1'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	109
Şekil 5.10	BUS 2'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	109
Şekil 5.11	BUS 3'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	110
Şekil 5.12	BUS 4'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	110
Şekil 5.13	BUS 5'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	111
Şekil 5.14	BUS 6'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	111
Şekil 5.15	BUS 7'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	112
Şekil 5.16	BUS 8'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	112
Şekil 5.17	BUS 9'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	113
Şekil 5.18	BUS 10'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	113
Şekil 5.19	BUS 11'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	114
Şekil 5.20	BUS 12'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	114

Sayfa No

Şekil 5.21	BUS 13'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	115
Şekil 5.22	BUS 14'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	115
Şekil 5.23	BUS 15'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	116
Şekil 5.24	BUS 16'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	116
Şekil 5.25	BUS 17'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	117
Şekil 5.26	BUS 18'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	117
Şekil 5.27	BUS 19'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	118
Şekil 5.28	BUS 20'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi	118



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Kısa devre akımlarının hesaplanmasında asenkron motorların empedansları	41
Tablo 2.2 ANSI hesaplamaları için reaktans katsayıları	55
Tablo 5.1 Karşılaştırma tablosu 1	94
Tablo 5.2 Karşılaştırma tablosu 2	99
Tablo 5.3 Karşılaştırma tablosu 3	119



ÖZET

Elektrik güç sistemlerindeki geçici olay analizlerinin, tesisteki can ve mal güvenliği, koruma cihazlarının uygun şekilde boyutlandırılması, hesap yöntemlerinin ilgi çekiciliği açısından en önemlilerinden biri kısa devre incelemeleridir. Bu inceleme bir tesisin proje aşamasından işletmesine kadar çok geniş bir alanda karşımıza çıkmaktadır. Uluslararası standartların geçmişten günümüze kadar olan süreçte sürekli olarak yenilenmesi ve varılan anlaşmalar hep kısa devre akımının en doğru şekilde hesaplanabilmesine yönelik çalışmalardır. Bu standartların hemen hepsi, kısa devre akımının çeşitli büyüklüklerini çeşitli deneysel ve ampirik formüller yardımıyla hesaplamaktadır. Bu çoğu zaman kabul edilebilir oranda doğru sonuçlar vermekle birlikte, bir tesiste bulunan generatör ve motor gibi cihazların davranışını ve kısa devre akımının zamana bağlılığını ortaya koymakta oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu standartlarda senkron generatörler ve kısa devre anında arıza yerini besleyen asenkron motorlar basitçe bir reaktansla ifade edilmekte, bu makinelerin geçici olay sırasındaki davranışları ihmal edilmektedir.

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle statik hesap yöntemleri adı verilen uluslararası standartların bir alternatifi veya bir tamamlayıcısı olarak dinamik hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Gerçekte çok daha önceden beri bilinen bu yöntem elle hesaplamanın çok güç oluşu nedeniyle uygulamada kullanılamıyordu. Ancak bilgisayarlarda geliştirilen algoritmalarla, bir tesisin ayrıntılı olarak modellenebilmesi ve dolayısıyla kısa devre gibi birçok geçici olayın, çok daha doğru bir şekilde incelenebilmesi söz konusu olmuştur.

Tezde, VDE / IEC ile ANSI standartları tanıtılmış, EMTP adı verilen ve tüm dünyada büyük ölçüde kabul görmüş ve FORTRAN yazılım dilinde derlenmiş program yardımıyla üç adet şebeke modeli incelenmiştir. Bunlardan ikisinden elde edilen sonuçlar VDE / IEC standardıyla hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonunucusu ise, Conrad R.St.Pierre tarafından geliştirilen, temelini büyük ölçüde ANSI standartlarından alan ve bu standartlara çok yakın sonuçlar veren bir bilgisayar programının, birçok kısa devre analizinde örnek şebeke modeli olarak kullanılan 20 düğümlü gözlü bir şebekeye uygulanmasıyla elde edilmiş sonuçlarının, aynı şebekenin EMTP ile modellenmesi ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanmasından ibarettir.

SUMMARY

In 1918, one of the most powerful tools for predicting short circuit duties in balanced and unbalanced polyphase circuits was presented by Fortesque at a conference of the American Institute of Electrical Engineers. Procedures described in Fortesque's paper were applicable to both analytical solutions and to ac or dc calculating boards and were widely adopted in both Europe and the U.S. during the early years of the electrical industry.

However, the complexity of short circuit calculations for any practical electrical system was well beyond the scope of manual calculation, regardless of the power of Fortesque's method. In time, it became clear that a standard method of approximating certain electrical interactions would be required to augment the method of symmetrical components. The first standard methodology for calculating short circuit currents was introduced in 1929 by the German Verband Deutscher Electrotechniker (VDE). During the same year, the ac network calculating board was developed jointly by the Massachusetts Institute of Technology and the General Electric Company. Short circuit studies that could be performed on the dc calculating boards of the day could be performed more accurately on the ac calculating board.

In the U.S., the early 1940's and 1950's saw the development of ASA standards similar to those of the VDE in their underlying basis in the method of symmetrical components, but different in the empirical factors each standard used to approximate such phenomena as ac and dc decay during a short circuit. Over the years, these empirical factors became more important, due to the fact that electrical equipment was rated in accordance with a particular method of calculation. Fortunately, until 1987, only two principal standards for calculating short circuit duties existed. In 1987, VDE Standard 0102 was absorbed into the new IEC Standard 909. Short circuit calculations based on these procedures were - and for the most part still are - performed at fixed points in time. ANSI standards generally define these fault times as corresponding to the momentary and interrupting times of the short circuit breakers being applied. Fault current duties for protective relaying are often calculated at approximately 30 cycles to allow for the decay of motor fault current contributions that occurred prior to the operation of inverse time relays.

The early, as well as the current ANSI and IEC standards are essentially based on empirical procedures which calculate short circuit duties at static points in time. Current ANSI Standards (C37.06-1979 and C37.010-1979) as well as IEC 909 rely heavily on empirical multipliers and procedures that have been greatly refined over the years. A recent example of this is the change in the equivalent X_d'' of groups of small motors from 0.25 to 0.20. Today, most ANSI and IEC based short circuits studies are

performed by digital computers, and empirical procedures for predicting machine response have been combined with analytical network reduction techniques based upon the manipulation of large matrices in their sparse form.

Dynamic short circuit algorithms have been developed to overcome limitations in the accuracy of standard procedures when applied to power system with local generation, large drives, or large motor groups in tightly interconnected networks. Calculation of dc components using more mathematically rigorous methods had shown evidence of increased asymmetry in fault currents of tightly interconnected networks. In some cases these dc component levels exceeded the proportions permitted for circuit breakers built to certain national standards. The concerns that prompted the development of dynamic short circuit algorithms are therefore in good part a response to advances in electrical power technology.

- 1) The ratings of individual motors units and motor groups was increasing steadily. Motor short circuit contributions could therefore be expected to be significant even at remote busbars.
- 2) Faster protection times were increasing the significance of motor contributions. Considering that the exponential decay of motor fault current contributions will have time constants of the order of three cycles, it will be clear that the difference between three and six cycle operation is very significant.
- 3) The empirical factors and other recommendations relating to fault current contributions by motors to remote busbars of the distribution network would not apply to the large tightly interconnected industrial power systems as oil platforms, power station auxiliary systems, cogeneration, etc.

Initial investigations showed that any attempt to use static network methods to calculate the impedance seen by each machine between its terminals and the fault point would involve substantial errors. It was, therefore, decided to use an iteration approach. The main requirements were

- 1) to model the machine short circuit behavior as a continuous time function so that synchronous and induction machine contributions would be calculated and summed appropriately at all required times after fault incidents;
- 2) to calculate the effect of the network on the machine time constants and thus remove the need to make arbitrary value judgements or use empirical factors in the calculation of fault currents contributions by the various machines, for faults at remote busbars;
- 3) to pay particular attention to the modelling of the unidirectional components of fault current, the decay of which is largely controlled by the network losses.

The process starts by modelling the machines using appropriate reactance and standard short circuit time constant values. A first estimate of the fault currents flowing in the network is calculated, from which effective "external" network impedance values seen by each machine are calculated.

The external impedances are then used to calculate modified machine time constants and reactances, from which an updated value of fault currents is obtained. The process is repeated until the corrections calculated are below any set tolerance.

Clearly, this procedure would put heavy demand on computing resources. This was minimized by full use of sparsity techniques and is also assisted by the fact that, although the first fault current estimate may involve an acceptable and high error in real engineering terms, it is an excellent first guess for the iterative loop that converges very quickly indeed. The synchronous machine models are based on the equations below.

$$Y_{ac} = \frac{1}{X_d + X_e} + \left(\frac{1}{X'_d + X_e} - \frac{1}{X_d + X_e} \right) \exp(-t/T'_d) + \left(\frac{1}{X''_d + X_e} - \frac{1}{X'_d + X_e} \right) \exp(-t/T''_d)$$

$$T'_d = \frac{X'_d + X_e}{X_d + X_e} T'_{do}$$

$$T''_d = \frac{X''_d + X_e}{X'_d + X_e} T''_{do}$$

$$Y_{dc} = \frac{1}{X_2 + X_e} \exp(-t/T_a)$$

where

$$T_a = (X_2 + X_e) / w(R_a + R_e)$$

Induction machines can be represented similarly but are usually better modelled by run and start parameters, as illustrated in the equations below.

$$Y_{ac} = \frac{1}{X_{st} + X_e} \exp(-t/T')$$

where

$$T' = [X_s + X_e + X_r(s=1)] / wR_r(s=0)$$

$$Y_{dc} = \frac{1}{X_{st} + X_e} \exp(-t / T_a)$$

where

$$T_a = [X_s + X_e + X_r(s=1)] / w(R_s + R_e)$$

The later model was based on large-scale tests and uses more readily available data. The typical networks and machine data, the iterative solution gets within 2% of the final value in two iterations. When this work was completed an interesting result emerged: it was found that any further fine-tuning of the machine model had a smaller effect on fault current values compared with the method of calculating the change in time constants due to the network.

The short circuit algorithm does not require the same quantity of data as a stability model since it does not consider the effects of mechanical time constants and field forcing. When such factors must be considered, an option exists to model them by using a dynamic stability algorithm, which utilizes common input data. Short circuit load flow, and stability algorithms interchange data as required in a user transparent manner and can all be controlled by a common menu-driven format.

At first glance the requirement to input induction motor data such as the stator reactance X_s , starting rotor resistance X_r ($s=1$), running rotor resistance R_r ($s=0$), etc., seems quite daunting. However, these are parameters that may be readily obtained in the case of low-voltage motors, or for existing installations, where data may not be readily available, the engineer has a choice: to download "typical" data from a data base. To calculate an approximate starting reactance and running resistance from the starting current and power factor; or to model the motor as an asynchronous machine. Controlling the fault contribution and decay to some realistic expectation. When one considers that the error of any solution in summation of the error of the data and the error of the method of calculation, it is obvious that any of the above approaches is likely to give more reliable results than the use of empirical factors.

The most detailed synchronous machine model requires that synchronous transient, and subtransient impedance and time constant data be entered. These permits peak, asymmetrical rms, symmetrical rms, or instantaneous dc values of fault current to be calculated at any user-defined point in time. A less detailed synchronous machine representation can be used to model the time-independent nature of utility fault current sources. In this case the utility's equivalent X and R values are entered in place of the source generator R_a and X_s parameters. Asymmetrical rms values calculated by dynamic procedures are directly comparable with ANSI circuit

breaker momentary and interrupting duties when defined at the proper point in time. Symmetrical rms values can be compared directly with ANSI low voltage switch gear ratings when defined at 8,33 ms or one-half cycle at 60 Hz. Peak short circuit values are used for comparison with VDE-type calculations. Symmetrical short circuit duties for high voltage switchgear can be compared with those obtained through VDE-type calculations; however, they do not correlate with symmetrical duties calculate for medium voltage ANSI circuit breakers. This is explained by the fact that ANSI symmetrical duties are not defined at the moment of contact parting, whereas the dynamically calculated values apply to any selected time point.

In chapter 2 the international standards as German VDE / IEC (Verband Deutscher Elektrotechniker / International Electrotechnical Commission) and American ANSI (American National Standards Institute) standard have been analysed.

In chapter 3 the evolution and definition of dynamic simulation have been represented.

In chapter 4 EMTP (Electromagnetic Transients Program) has been introduced and card structures used in the models represented in the thesis have been analysed in detail.

In chapter 5 three network models have been analysed in order to compare EMTP results with the standards and the data files, time dependent variations of short circuit and comparison tables have been represented.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinin planlanması, tasarımı ve çalışması, sistemin işleyişini, güvenilirliğini ve güvenliğini görmek ve değerlendirmek bakımından birçok çalışma gerektirir. Bu çalışmaların bazıları şunlardır: yük akışı, kısa devre, motor yolverme, kararlılık, koruyucu cihaz koordinasyonu, güvenilirlik analizi. Güç sistemlerinin işleyiş tarzına büyük bir ilgi olmasına rağmen, (sistemin işleyişini geliştirmek için donanım ve yazılım üzerine yapılan birçok çalışmanın doğruladığı gibi) yetersiz bir şebeke tasarımının sistem güvenlik ve işleyişinde ciddi sonuçlar doğurabildiği sıklıkla gözlemlenmiştir. Bazen, problemler çözülemez ve sistem, ardışık kontrol yöntem ve araçlarının benimsenmesi ile geliştirilemez. Kötü sistem işletimi çoğunlukla düzgün bir planlama ve tasarım ile önlenabilir. Gerilim kademelerinin iyi bir şekilde seçilmesine, elektrik sisteminin tek hat diyagramına, sistem ekipmanının yeterli nominal değerlerinde olmasına ve koruma araçlarının uygun şekilde düzenlenmesine dayanan iyi bir sistem tasarımı günümüzde hala temel ve vazgeçilmez şarttır.

Sözü edilen çalışmalardan bazıları, güç sisteminin davranışını göstermek için karmaşık ve ayrıntılı modeller gerektirir; diğer çalışmalarda, basitleştirilmiş fakat geçerli analitik prosedürlere dayanan yaklaşımlardan faydalanılabilir. Analizin türü ve ayrıntıları geliştirilmekte olan projenin aşamalarıyla yakından ilgilidir.

Yukarıda belirtilen hesaplamaların hepsi bir projenin ön aşamasında gerekli değildir ve doğrulukları bu noktada daha ilerki aşamalardan daha az kesin olabilir. Kısa devre akımı incelemeleri bunun tipik bir örneğidir. Bunlar hem sistem tasarımında hem de ekipman boyutlarının belirlenmesinde ve seçiminde gerekli olan incelemelerdir. Doğrulukları oldukça farklı olabilir;

sistem bileşenlerinin dinamik davranışını gösteren çok detaylı modelleri ele alıp dinamik simülasyonu temel kabul edebilirler veya sistem bileşenlerinin yarı-kalıcı haldeki temsiliyle basitleştirilmiş yaklaşımlardan faydalanabilirler.

Kısa devre akımının hesaplanması için basitleştirilmiş prosedürler uzun süredir Uluslararası Organizasyonlar tarafından öneriliyordu. Dinamik simülasyonun benimsenmesi nispeten daha yenidir ve daha geniş bir bilgi birikiminin varlığına ve standartların geliştirilmesini takiben güçlü bilgisayar ve yazılım araçlarının bulunmasına bağlıdır.

Bilgisayar donanım ve yazılımının büyük oranda gelişmesi güç sistemi mühendislerini kısa devre akımı incelemeleri için dinamik simülasyonu benimsemeye ve standartların sunduğu basitleştirilmiş prosedürlerin kullanımını bir kenara bırakmaya zorlayabilirdi. Ama tersine, uluslararası standartlar ile ilgili sürekli revizyon ve konsolidasyon süreci dikkate alındığında kısa devre akımının uluslararası standartlar ile hesaplanması büyük ilgi çekmektedir. Üstelik bu ilgi, uluslararası standartların ve farklı ülkelerden standartları ve prosedürleri karşılaştıran yeni çalışmaların önerdiği yarı-kalıcı durumda hesaplama yöntemini kullanan birçok programın bulunduğu yazılım piyasasında önemli bir yer edinilmesi ile doğrulanmıştır [1].

Bölüm 2’de Uluslararası standartlardan Alman VDE / IEC (Verband Deutscher Elektrotechniker / International Electrotechnical Commission) ve Amerikan ANSI (American National Standards Institute) standartları incelenmiştir

Bölüm 3’de dinamik simülasyonun gelişimi ve anlamı tanıtılmıştır.

Bölüm 4’de EMTP (Electromagnetic Transients Program) tanıtılmış, tezde incelenen modellerde kullanılan kart yapıları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bölüm 5’de EMTP sonuçlarını standartlarla karşılaştırmak üzere üç şebeke modeli incelenmiş, veri dosyaları, kısa devrenin zamana bağlı değişimleri ve karşılaştırma tabloları verilmiştir.

BÖLÜM 2

KISA DEVRE İLE İLGİLİ STANDARTLARIN AÇIKLANMASI

2.1 Giriş

Elektrik tesislerinde akım kaynağı ile tüketicilere kadar olan her çeşit işletme aracında yalıtımın bozularak çıplak iletkenlerin birbiri ile temas etmesine kısa devre denir. Burada söz konusu olan tesisler alternatif akım tesisleridir. Akım kaynağı ya bir veya paralel bağlı birkaç senkron generatördür yahut da senkron generatörler tarafından beslenen transformatörlerdir. Bazı özel hallerde elektrik motorları (örneğin asenkron motorlar) da akım kaynağı olarak kabul edilebilirler.

Yüksek, orta ve alçak gerilim kademelerindeki üç fazlı alternatif akım sistemlerinde hatlar üç adet faz iletkeninden oluşur. Yalnız alçak gerilimde bir fazlı tüketicileri besleyebilmek için dördüncü iletken olan nötr iletkenine ihtiyaç vardır. Böyle bir sistem ise üç faz ve bir nötr iletkeninden oluşur. Her gerilim kademesindeki üç fazlı sistemlerde faz iletkenlerinin kesitleri daima eşit alınır. Yalnız üç fazlı dört iletkenli alçak gerilim şebekelerinde ekonomik sebeplerle nötr hattı için faz iletkenine oranla bir veya iki kademe daha küçük bir normalize kesit seçilir. Bir fazlı tüketicileri beslemek üzere çekilen hatlar bir faz ve nötr iletkeninden ibarettir; fakat bu durumda hem faz ve hem nötr hattı üzerinden aynı akım geçtiğinden, bir fazlı tüketicileri besleyen faz ve nötr hatlarının kesitleri eşit olmak zorundadır [2].

Hatlar hava hattı veya yeraltı kablosu şeklinde çekilebilirler. Her gerilim kademesinde kullanılan kablolarda, iletkenler birbirlerine ve toprağa karşı özel yalıtkan maddelerle yalıtılmışlardır. Çoğunlukla alçak gerilim tesislerinde kullanılan iletkenler de hem birbirlerine ve hem de toprağa karşı özel yalıtkan tabaka ile kaplanmışlardır. Hava hatlarında ise hem yüksek

hem de alçak gerilim kademelerinde çıplak iletkenler kullanılır. Burada iletkenlerin birbirlerine değmemeleri için aralarında belirli bir açıklık bulundurulur ve direklere izolatörler üzerinden bağlanır. Dolayısı ile hava hatlarında iletkenler birbirine karşı hava ile ve toprağa karşı izolatörler ile yalıtılırlar.

Herhangi cinsten bir hat üzerinden bir akım kaynağına bağlı bulunan bir tüketici, normal işletmede kaynağın iç empedansının ve tüketicinin iç empedansının toplamına göre ve Ohm kanununa göre akım kaynağından bir akım çeker. Akım kaynaklarının empedansları ve hat empedansları küçüktür. Onun için tüketici akımını, tüketicinin iç empedansı, yani bunun gücü tayin eder. Şu halde tüketiciyi besleyen hat üzerinde bir kısa devre olunca tüketici devreden çıkar; geriye yalnız akım kaynağının iç empedansı ile hat empedansından ibaret bir kısa devre kalır ki, bunun toplam empedansı çok küçük olduğu için Ohm kanunu gereğince devreden çok büyük bir akım geçer; buna kısa devre akımı denir.

Hatlardaki yalıtkan hatası iç ve dış tesirlerle meydana gelir. Aşırı akım ve aşırı yükleme neticesinde iletkenlerin aşırı derecede ısınması ile yalıtkan madde bozulabilir. Aşırı gerilimler yalıtıkanda delinmeye ve atlamalara sebep olabilir. Yalıtım malzemesinin eskimesi veya bir malzeme hatası da zamanla kısa devrelere yol açabilir. Yalıtım arızasına sebebiyet veren dış tesirler ise, örneğin kabloların veya yalıtılmış iletkenlerin üzerine vurulması, yalıtım tabakasının ezilmesi, hava hat izolatörlerinin kırılması, yıldırım düşmesi, fırtına, kar ve buz yükü, ağaç dalları, kuşlar, fareler ve yanlış bağlama manevralarıdır [2].

Üç fazlı sistemlerde aşağıdaki kısa devre çeşitleri söz konusu olur:

1) Üç fazlı dengeli kısa devre: Üç fazlı bir sistemde her üç faz iletkeninin birbiri ile temas etmesi.

2) İki fazlı kısa devre: Üç fazlı bir sistemde yalnız herhangi iki faz iletkeninin birbiri ile temas etmesi.

3) Bir fazlı kısa devre: Yalnız nötrü topraklanmış üç fazlı sistemlerde herhangi bir faz iletkeninin nötr hattı veya toprak ile temas etmesi.

4) Toprak temaslı iki fazlı kısa devre: Nötrü topraklanmış üç fazlı sistemlerde herhangi iki faz iletkeninin birbiri ile ve nötr hattı ile temas etmesi.

Bu sınıflamadan görüldüğü gibi, yalnız üç fazlı kısa devre dengeli bir kısa devredir ve diğerleri dengeli değildir. Üç fazlı bir kısa devre halinde tüketici tamamen gerilimsiz kalır dolayısıyla enerji üretimi ve nakli kesilmiş olur. İki fazlı veya bir fazlı kısa devre hallerinde ise arızasız faz (veya fazlar) üzerinden tüketici kısmen beslenebilir. Bir fazlı kısa devre ile toprak temaslı iki fazlı kısa devrede sistemin (generatörün veya transformatörün) nötr noktası topraklanmış ise, toprak üzerinden de bir akım geçer. Fakat nötr noktası topraklanmamış yani yalıtılmış ise, bu taktirde bir fazlı kısa devre bahis konusu olmadığı gibi, toprak temaslı iki fazlı kısa devrede de topraktan bir akım geçmez. Ancak yüksek gerilim hatlarında toprağa karşı kapasitif dirençlerin sonucu , toprak temasında küçük kapasitif akımlar akabilir.

Kısa devre arızaları çoğunlukla yalnız bir fazlı veya iki fazlı olarak başlar fakat arıza kısa zamanda diğer fazlara da geçer. Üç fazlı kısa devre nadiren doğrudan doğruya meydana gelir.

Bir, iki veya üç fazlı kısa devre ya çıplak iletkenlerin birbiri ile temas etmesi ile ya da iletkenler arasında bir arkın baş göstermesi ile meydana gelir. Birincisine 'madeni kısa devre' veya 'doymuş kısa devre' ikincisine ise 'arklı kısa devre' denir.

Kısa devre olayı yalnız hatta oluşmayıp akım kaynağı olan generatörde veya transformatörde faz sargıları arasında veya faz sargıları ile gövde arasında yahut da tüketicide meydana gelebilir. Kısa devre nerede olursa olsun, bunun etkisi daima aynı olup yalnız şiddeti farklı olabilir. Bu bakımdan birincisine 'generatör yakını kısa devre' ve ikincisine de 'generatörden uzak kısa devre' adı verilir.

Kısa devrenin elektrik tesislerindeki tesirleri çok farklı olabilir. Kısa devrenin darbe şeklinde ani olarak baş göstermesi ile devreden geçen büyük darbe kısa devre akımları, tesis elemanları üzerine dinamik kuvvetlerin tesir etmesine ve bunların mekanik yoldan zorlanmasına yol açar. Devreden uzun zaman geçen sürekli kısa devre akımları ise tesis

elemanlarının ısınmasına ve malzemenin termik bakımdan zorlanmasına sebep olur. Dinamik ve termik zorlanmaya maruz kalan tesis elemanları harap olabilir. Kısa devrenin bu doğrudan tesirlerinden başka arıza yerinde bir ark meydana gelmişse, bunun civarında yaptığı yakıcı zararları ihmal edilemeyecek kadar önemlidir. Bu sebeple hem tesis hem de işletme personeli bundan çok zarar görebilir.

Kısa devre olayının sebep olduğu arızalar sonucunda, yukarıda kısaca temas edildiği gibi, işletme kısmen veya tamamen durur ve kademe kademe, enerji üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi artık normal olarak devam edemez. Ayrıca arızanın sebep olduğu hasar büyük onarım masraflarını da beraberinde getirir.

Eğer nötrü topraklanmış bir tesiste toprak temaslı bir kısa devre meydana gelirse, bu durumda canlılar için tehlikeli olabilen temas ve adım gerilimleri oluşabilir.

Kısa devrenin yukarıda sayılan etkilerinin hepsi, daima aynı anda oluşmayabilir, başka bir deyişle kısa devre etkilerinin şekli ve şiddeti, esas itibarı ile arızanın yerine de bağlıdır. Genel olarak denebilir ki, arıza yerinde elektrik gücü ne kadar büyükse ve arıza ne kadar uzun süreli olursa, bunun zararlı etkileri o kadar büyük olur.

Yüksek gerilim elektrik tesislerinin projesinin yapılması ve montajı esnasında, kısa devrenin yukarıda bahsi geçen bütün tesirleri göz önüne alınır ve tesisin kısa devreye karşı dayanıklı olmasına özen gösterilir. Alçak gerilim tesislerinde ise kısa devrenin yalnız direkt etkileri göz önüne alınır. Fakat bütün tesislerde kısa devre akımının değerinin bilinmesine daima ihtiyaç vardır; onun için bir tesisin projesinin hazırlanmasında kısa devre akımlarının hesaplanması çok büyük önem taşır.

Kısa devre akımlarının hesaplanması, tesis elemanlarının dinamik ve termik zorlanmalara dayanabilmesi için uygun şekilde boyutlandırılması bakımından bir yol gösterir. Yeterli şekilde boyutlandırılmamış ve uygun şekilde montajı yapılmamış olan bir tesis, bir kısa devre sonucunda, mekanik kuvvetlerin tesiri ile parçalanır, harap olur ve ısınma tesiri ile de yangınlar baş gösterir, yağlı transformatörlerde yağlar yanar ve güç kesicileri patlar.

Kısa devrenin bu gibi zararlı tesirleri bugün nadiren meydana gelir. Tesis kısa devreye dayanıklı yapıldığı gibi, tesise bağlama tekniği bakımından verilen uygun şekil dolayısıyla, olası bir kısa devre sırasında meydana gelebilecek olan kısa devre akımlarının çok büyük değerler almaması sağlanabilir.

Kısa devrenin zararlı tesirlerine karşı hem tesisleri ve hem de civarını korumak için günümüzde hassas çalışan koruma rölelerinden ve süratle devreyi kesen güç kesicilerinden yararlanılmaktadır. Bu yüzden herşeyden önce kesicilerin maksimum kısa devre güçlerini kesecek kapasitede olmaları gerekir. Bir kesicinin kısa devre gücü büyüdükçe, maliyeti de artar. Onun için tesislerde hem teknik şartlara uygun hem de ekonomik kesicilerin seçimi ancak kısa devre akımının doğru bir şekilde hesaplanmasından sonra mümkün olabilir. Alçak gerilim tesislerinde kısa devre akımları çok çeşitli boyutlarda olabilen termik-manyetik şalterlerle oldukça kısa sürelerde kesilebilmektedir.

Koruma tesislerinin düzenlenmesi ve ayarlanması için bir tesiste meydana gelebilecek olan en büyük kısa devre akımlarından başka en küçük kısa devre akımlarının da bilinmesi gerekir. Örneğin geceleri ve hafta sonlarında olduğu gibi, şebekenin az yüklü olduğu zamanlarda şebekeyi besleyen generatör sayısı daha az olur ve belki de generatörler daha az uyarma ile çalıştırılırlar. Bu gibi durumlarda meydana gelen bir kısa devrede oluşabilecek kısa devre akımları, normal uyarmalı ve tam yüklü generatörlerin beslediği sistemlerde oluşabilecek kısa devre akımlarından çok daha küçüktür. Alçak gerilim şebekelerinde ise bir arıza halinde, buna en yakın şalterin açmasını sağlamak için, kısa devre akımının asgari bir değerden büyük, yani şalterin açma akımının üstünde olması gerekir.

Kısa devrenin zararlı etkilerini sınırlamak için alınan en önemli tedbirlerden bazıları şunlardır:

a) Generatörler büyük kaçak gerilimi ve büyük senkron reaktansla, transformatörler büyük kısa devre gerilimi ile seçilirler ve kısa devre yolundaki empedansı artırmak amacıyla gerekli hallerde uygun yerlere kısa devre akımını sınırlandırıcı reaktans bobinleri konulur. Buna karşılık bu

tedbirlerden dolayı generatör ve transformatörün maliyetleri artar ve reaktans bobini üzerindeki gerilim düşümü ile şebekede gerilimi tutmak zorlaşır.

b) Büyük güçlü akım kaynakları birbirinden ayrı olarak işletilir; santrallerde baralar kısımlara ayrılır ve gözlü büyük şebekeler birçok bölümler halinde çalıştırılır. Doğal olarak bu tedbirlerin de bazı sakıncaları vardır; nitekim generatörlerin ayrılması ile şebekenin dinamik kararlılığı azalır ve şebekenin bölünmesi ile çok taraflı besleme imkanları ortadan kalkar.

c) Toprak kısa devresi akımlarını sınırlamak için doğrudan topraklanmış şebekelerde yıldız noktası bir direnç üzerinden topraklanır. Fakat bu bağlama da bir arıza halinde arızasız faz iletkenlerinin toprağa karşı daha büyük gerilim almasına yol açar.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşıldığı gibi elektrik tesislerinde normal ve ekonomik bir işletme sağlayabilmek, tesislerde ve civarında emniyet şartlarını yerine getirmek kısa devre problemlerinin çok taraflı analizine bağlıdır; bu da kısa devre akımlarının esaslı bir şekilde hesaplanmasını gerektirir. Kısa devre hesapları ile ilgili olarak şebeke planlamasının ve işletmesinin en önemli sorunları şunlardır:

- 1) Tesisin mekanik ve termik zorlanması,
- 2) Güç kesicilerinin ve termik-manyetik şalterlerin kısa devre kesme kapasiteleri,
- 3) Kısa devre akımını sınırlandırmak için kullanılan dirençlerin boyutlandırılması,
- 4) Transformatörlerin kısa devre gerilimlerinin belirlenmesi,
- 5) Adım ve temas gerilimleri,
- 6) Haberleşme ve iletişim tesislerine etkisi,
- 7) Şebeke koruma sisteminin tayini,
- 8) Şebeke kararlılığı.

2.2 VDE 0102 standardının açıklanması

2.2.1 Giriş

Elektrik koruma ve dağıtım cihazlarının seçimi ve boyutlandırılmasında VDE tanımlamaları günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tanımlamalarda, normal çalışma koşulları (nominal akım, nominal gerilim) dışında kısa devre etkilerinin de dikkate alınması konusu önem kazanmaktadır.

Kısa devre akımları genellikle nominal akımlarının katları şeklinde meydana gelir ve büyük dinamik ve ısı etkilerin yanında zaman zaman kabul edilemeyecek ölçüde tehlikeli gerilimleri de beraberinde getirir. Bu olumsuz etkilerin tesis elemanlarını harap etmesi ve personrel hayatını tehlikeye atması güvenlik önlemlerini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) kısa devre akımının hesaplanmasına yönelik aşağıdaki iki genelgeyi yayınlamıştır:

Kısa devre akımının hesabı ile ilgili esaslar, VDE 0102

Kısım 1: Nominal gerilimi 1KV'un üzerindeki üç fazlı sistemler

Kısım 2: Nominal gerilimi 1000V'a kadar olan üç fazlı sistemler

2.2.2 Kısa devre ile ilgili genel tanımların açıklanması

a) Kısa devre akımı: Kısa devre süresince hata yeri üzerinden geçen akımdır. Kısa devre akımı genel olarak evvela sıfır çizgisine göre dengeli olmayarak değişir ve alternatif kısa devre akımı ile bir doğru akım içerir (Şekil 2.1). Doğru akım zamanla sıfır değerine düşer. Bunun gidişi osilogramın üst ve alt zarf eğrisi arasındaki orta çizgiye karşı gelir.

b) Alternatif kısa devre akımı: Kısa devre akımının işletme frekansındaki kısmıdır.

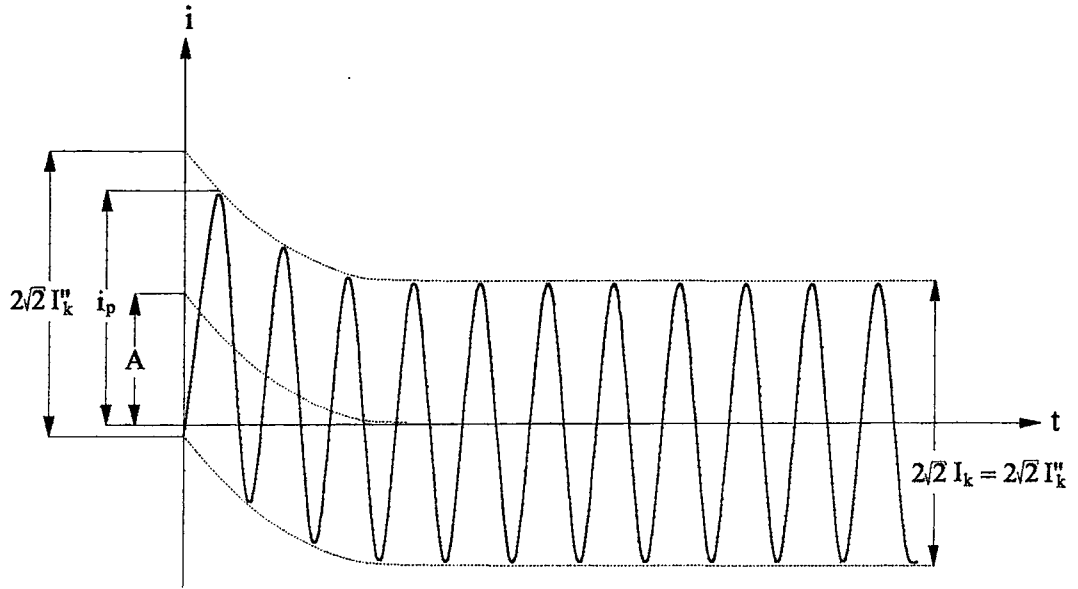
Generatör yakınındaki kısa devrede alternatif kısa devre akımı, başlangıç alternatif kısa devre akımından sürekli kısa devre akımına düşer (Şekil 2.1b).

Generatörden uzaktaki kısa devrede alternatif kısa devre akımı bütün kısa devre süreci boyunca yaklaşık olarak sabit kalır. Böylece başlangıç alternatif kısa devre akımı sürekli kısa devre akımına eşittir.

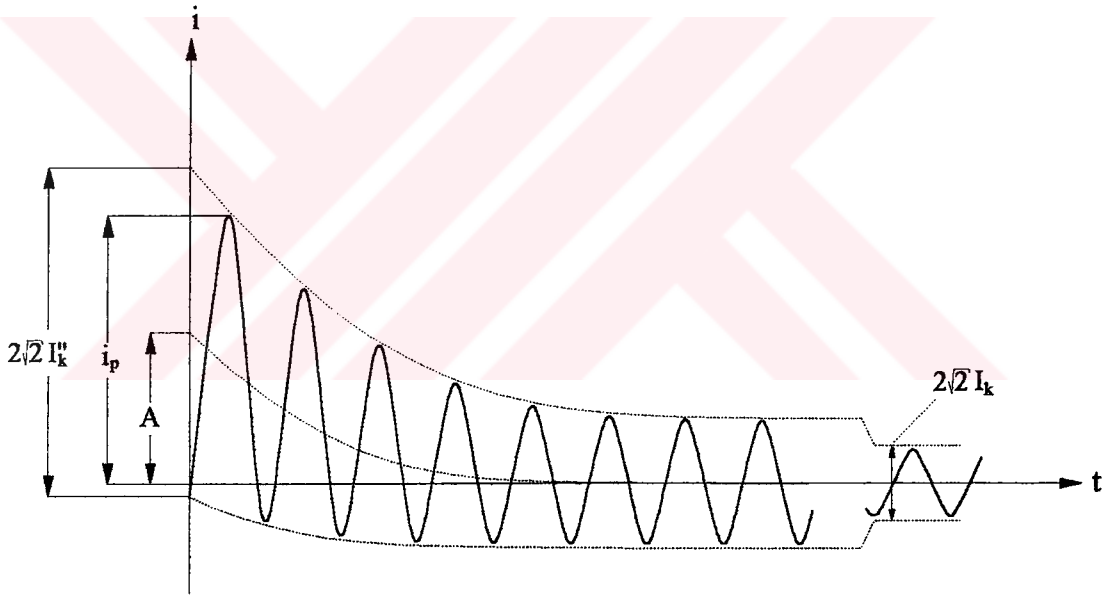
Alternatif kısa devre akımının zamana bağlı olarak değişken olabilen efektif değeri, belirli bir an için bir osilogramdan elde edilebilir; bu amaçla, akım değişiminin alt ve üst zarf eğrileri arasında bahis konusu an için ölçülen aralık, $2\sqrt{2}$ ile bölünür ve akım ölçeği ile çarpılır [2].



a)



b)



Şekil 2.1 Kısa devre akımının zamana bağlı olarak değişimi

a) Generatör yakınında kısa devre

b) Generatörden uzakta kısa devre

I_k'' Başlangıç alternatif kısa devre akımı

I_s Darbe kısa devre akımı

I_k Sürekli kısa devre akımı

A Doğru akımın başlangıç değeri

c) Kısmi kısa devre akımları: Kısa devre akımının çeşitli şebeke dallarındaki kısımlarıdır.

d) I_k'' başlangıç alternatif kısa devre akımı: Kısa devrenin başladığı anda meydana gelen alternatif kısa devre akımının efektif değeridir. Bunun büyüklüğü için kısa devre akımının geçtiği şebeke empedanslarından başka senkron makinelerin X_d'' başlangıç reaktansları (subtransiyent boyuna reaktanslar) rol oynarlar.

e) I_s darbe kısa devre akımı: Kısa devre başladıktan sonra akımın aldığı en büyük ani değerdir ve tepe değeri olarak verilir. Kısa devrenin meydana geldiği ana bağlı olarak bunun değeri farklıdır. I_s darbe kısa devre akımının hesabı, mümkün olan en büyük kısa devre akımını veren an için geçerlidir. Bunun sonucunda meydana gelen hatalar gözönünde tutulmazlar. Üç kutuplu kısa devreler, kısa devre bütün fazlarda aynı zamanda meydana gelmiş gibi kabul edilirler.

f) I_k sürekli kısa devre akımı: Geçici olaylar sonuçlandıktan sonra geriye kalan alternatif kısa devre akımının efektif değeridir. Bu akım, birçok faktörler arasında özellikle generatörlerin uyarmasına da bağlıdır. Bu tanıma karşılık, VDE 0530 kısım 1/1.69 § 4 q) ya göre sürekli kısa devre akımı, nominal uyarmada ve uçları kısa devre edilmiş bir senkron makinenin stasyonier akımı olarak tanımlanmıştır.

g) I_a alternatif açma akımı: Kısa devre halinde, bir kesicinin açılması esnasında, kontakların ilk ayrılma anında kesici üzerinden geçen alternatif kısa devre akımıdır.

h) I_D geçirme akımı: Sigortaların ve hızlı çalışan başka açma tertiplerinin açma zamanı esnasında üzerinden geçen akımın en büyük ani değeridir.

ı) E'' başlangıç gerilimi: Bir senkron makinenin kısa devrenin meydana geldiği anda etkin olan gerilimin efektif değeridir.

E'' , yıldız gerilimi (faz gerilimi) olarak verilir ve çeşitli faktörler arasında kısa devreden önceki yük durumuna da bağlıdır.

j) U_h şebeke işletme gerilimi: Bir şebekede zaman ve mekan bakımından ortalama olarak iletkenler arasındaki gerilimdir, yani bir şebekenin normal halde işletildiği gerilimin ortalama değeridir. Burada

şebeke, aynı nominal şebeke gerilimi için birbirine bağlı işletme araçlarının topluluğudur.

Eğer şebeke uzun bir süre yükseltilmiş bir gerilim ile işletilmezse, bu takdirde şebeke işletme geriliminin nominal şebeke gerilimine eşit tutulmasına izin verilir.

k) U_N nominal şebeke gerilimi: İletkenler arasındaki gerilim olup bir şebeke buna göre adlandırılır ve belirli işletme özellikleri buna bağlanır. Bütün işletme gerilimlerinin ve nominal gerilimlerin üçgen gerilimleri (faz arası gerilimleri) olarak verilmesi alışkanlık olmuştur.

l) S_k'' başlangıç alternatif kısa devre gücü: Üç fazlı bir kısa devrede başlangıç alternatif kısa devre akımı ile nominal şebeke geriliminin ve $\sqrt{3}$ faz katsayısının çarpımına eşittir. S_k'' için kısaltılmış olarak kısa devre gücü de denilmektedir.

m) t_m en küçük açma gecikmesi: Kısa devrenin meydana gelişinden itibaren bir kesici kutbunun ilk kontak açmasına kadar geçen en küçük zamandır.

En küçük açma gecikmesi, rölenin mümkün olan en küçük kumanda zamanı (faaliyete geçme zamanı) ile kesicinin açma zamanının toplamına eşittir. Açma düzenlerinin ayarlanabilir zaman gecikmelerinin hesaba katılmasına izin verilmez.

n) Generatör yakını kısa devre: Üç kutuplu kısa devrede başlangıç alternatif kısa devre akımının bir senkron makinede nominal akımın en az iki katını geçtiği kısa devre çeşididir.

Generatörden uzak kısa devre, bu değer hiçbir senkron makinede aşılmadığı zaman söz konusu olur.

o) $\dot{Z}_k$ şebeke empedansı: Şekil 2.2'ye göre üç fazlı kısa devre akımlarının hesaplanması için üç fazlı alternatif akım şebekelerinin $\dot{Z}_1$ doğru empedansının basitleştirilmiş gösterilişidir.

p) $\dot{Z}_1$ doğru empedans: Üç fazlı alternatif akım şebekelerinin, hata yerinden bakıldığında görülen, beher iletken başına doğru sistemdeki

empedansdır.

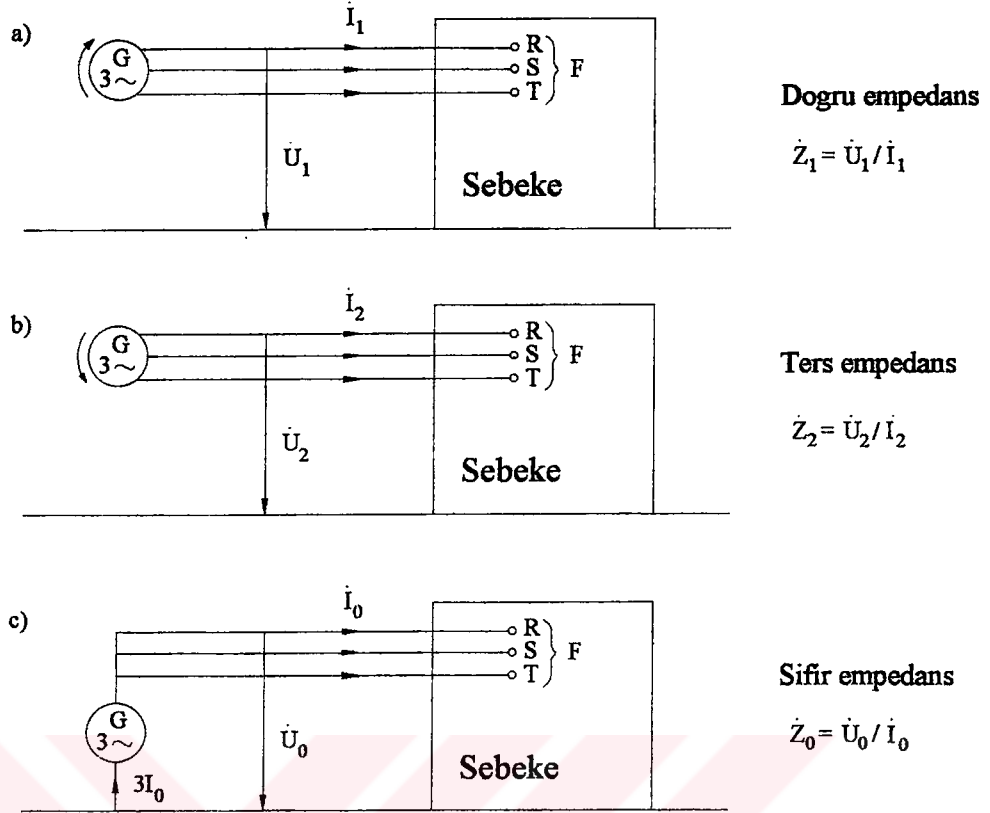
Eğer F hata yerine dengeli ve doğru yönde dönen bir gerilim sistemi uygulanırsa ve bütün senkron ve asenkron makineler iç empedanslarından sonra kısa devre edilirlse, şekil 2.2a'ya göre doğru empedans elde edilir. Üç fazlı kısa devre akımının hesaplanması için bütün hat kapasiteleri ve motor cinsinden olmayan enine (paralel) empedanslar göz önünde bulundurulmazlar.

r) $\dot{Z}_2$ ters empedans: Üç fazlı alternatif akım şebekelerinin, hata yerinden bakıldığında görülen, beher iletken başına ters sistemdeki empedansdır.

Eğer F hata yerine dengeli ve ters yönde dönen bir gerilim uygulanırsa, şekil 2.2b'ye göre ters empedans elde edilir. Üç fazlı kısa devre akımının hesaplanması için bütün hat kapasiteleri ve motor cinsinden olmayan enine (paralel) empedanslar göz önünde bulundurulmazlar. Yalnız dönen üç fazlı alternatif akım makinelerinde ters empedans doğru empedanstan ayrışır.

s) $\dot{Z}_0$ sıfır empedans: Üç fazlı alternatif akım şebekelerinin, hata yerinden bakıldığında görülen, beher iletken başına sıfır sistemdeki empedansdır.

Eğer F hata yerinde kısa devre edilen iletkenler ile ortak dönüş iletkenleri (örneğin toprak, topraklama tesisi, sıfır iletkeni, yıldız noktası iletkeni, toprak hatları, kablo muhafazaları) arasına bir gerilim uygulanırsa, şekil 2.2c'ye göre sıfır empedans ölçülebilir. Dengeli olmayan kısa devre akımının hesaplanması için bütün hat kapasiteleri ve motor cinsinden olmayan enine (paralel) kollar göz önünde bulundurulmalıdır. Genel olarak sıfır empedansları doğru ve ters empedanslardan farklıdır.



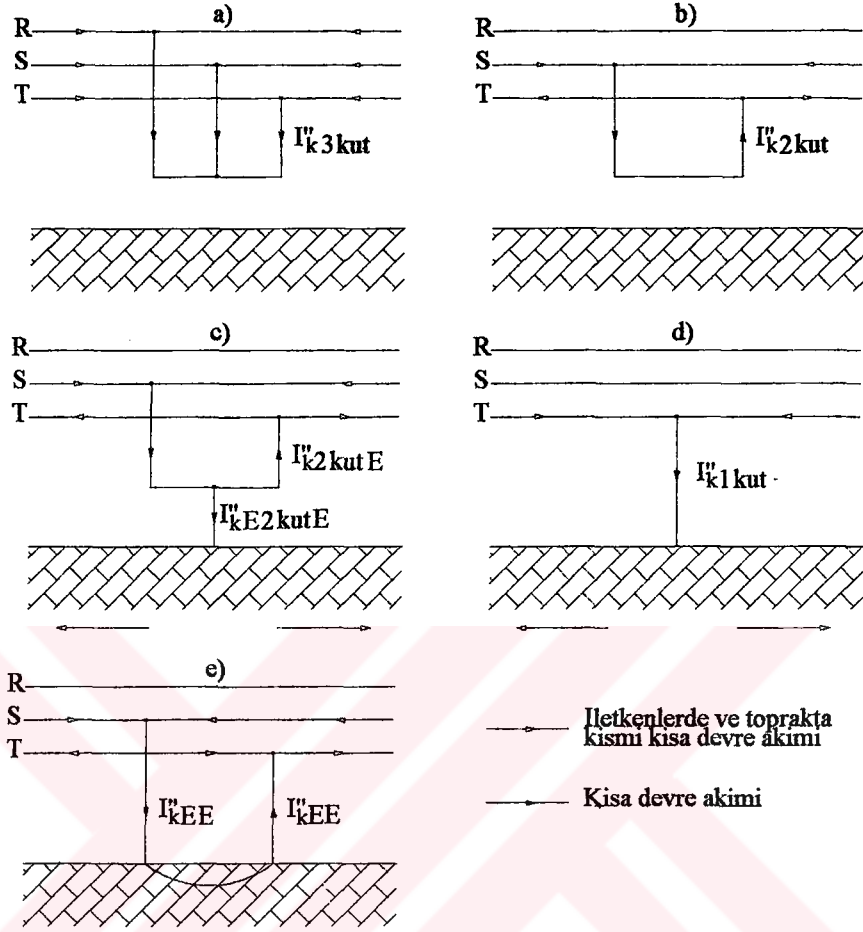
Şekil 2.2 Üç fazlı alternatif akım şebekelerinin doğru, ters ve sıfır empedanslarının ölçülmesi; F Hata yeri

t) X_d'' başlangıç reaktansı (subtransiyent boyuna reaktans): Bir senkron makinenin, kısa devrenin meydana geldiği anda etkin olan reaktansıdır.

VDE 0530 kısım1/1.69 § 4 r)'ye göre X_d'' , nominal hızda ve nominal boşta çalışma uyarısında, nominal gerilim ile başlangıç alternatif kısa devre akımından elde edilir. Böylece X_d'' için doymuş değer bulunur.

Kısa devre akımlarının hesaplanmasında X_d'' için doymuş değer alınır. Çoğunlukla X_d'' , makinenin nominal empedansı $Z_N = \frac{U_N^2}{S_N}$ ile hesaplanır ve % cinsinden hesaplanır.

2.2.3 Hata çeşitleri



Şekil 2.3 Hata çeşitlerinin ve kısa devre akımlarının gösterilmesi

- a) Üç fazlı kısa devre
- b) Toprak temassız iki fazlı kısa devre
- c) Toprak temaslı iki fazlı kısa devre
- d) Bir fazlı kısa devre
- e) Çift toprak kısa devresi

Yönetmeliğe göre, üç fazlı sistemlerde birbirinden farklı beş temel kısa devre çeşidi vardır. Bu hatalar ve devreden geçen kısa devre akımları şekil 2.3'de gösterilmiştir. Bununla birlikte, sistemde aynı anda iki hata birden meydana gelebilir. Fakat bunlar sadece çok özel durumlarda sistemdeki elemanların seçim ve boyutlandırılmasında dikkate alındıklarından burada ele alınmayacaklardır.

Şekil 2.3'de gösterilen hata çeşitleri dengeli ve dengesiz kısa devre olmak üzere ikiye ayrılır. Değişik tip kısa devreler içinde üç fazlı kısa devre

göz önüne alınması ve hesaplanması en kolay olanıdır. Kısa devre noktasında üç fazın gerilimi de sıfırdır ve üç iletken de dengeli olarak dengeli kısa devre akımıyla yüklenirler. Toprak veya topraklama iletkeni akımın yolu üzerindeki devreye girmezler. Üç fazlı kısa devrenin olduğu sistemin yıldız noktası topraklanmış olsa dahi başka herhangi bir kısa devre akımı söz konusu değildir. Dolayısıyla kısa devre akımı dengeli yüklemde olduğu gibi tek bir faz için hesaplanır. Öte yandan istatistikler göstermektedir ki üç fazlı kısa devre diğer tip kısa devrelere oranla daha seyrek bir oranda oluşmaktadır. Bununla birlikte şunu da unutmamak gerekir ki, üç fazlı kısa devre, belirli bir noktadaki kısa devre için en yüksek kısa devre akımını verdiğinden dolayı ekipman seçiminde en önemli kısa devre çeşididir [3].

Dengesiz kısa devre durumunda ise elektriksel bağıntılar ilk bakışta, özellikle toprak bağlantısı dikkate alındığında daha karmaşık gözükmemektedir. Bu durumda kısa devre noktasındaki gerilimler sıfır değildir. Bundan başka dengesizlik dolayısıyla faz iletkenleri arasında, faz iletkenleri ile toprak ve/veya toprak iletkenleri arasında daha büyük veya daha küçük bağlama açıları meydana gelir. Dengesiz kısa devre akımının hesaplanması için gerekli olan denklemler özel matematiksel yöntemlerle formüle edilebilirler. Basit ve net olmasından dolayı simetrik bileşenler yöntemi en çok kullanılanıdır. Bu teknik için detaylı bilgiye gerek yoktur, bununla birlikte kullanımda VDE 0102'de belirtilen denklem ve açıklamalardan yararlanılabilir. Yönetmelikte bütün çözüm yöntemlerini belirtmek mümkün olmadığından dolayı, özel durumlarda, bu tekniğe yabancı olan kişilerin bir uzmanın tavsiyelerine göre hareket etmesinde fayda vardır. Tezde dengesiz kısa devrelerin ekipman seçim ve boyutlandırılmasındaki etkileri incelenmeyecektir.

Toprak temassız iki fazlı kısa devrelerde kısa devre noktasında oluşacak başlangıç kısa devre akımı üç fazlıya oranla daha küçüktür. Bununla birlikte eğer hata, anma güçleri birbirlerine yakın olan senkron makinelerin ve/veya asenkron makinelerin yakınlarındaysa oluşacak kısa devre akımı daha sonraki aşamalarda (sürekli halde) üç fazlıya oranla daha

yüksek bir değer alabilir. Bu bağlamda iki fazlı kısa devreler zaman zaman anahtarlama cihazlarının kesme kapasitelerinin belirlenmesi açısından ekipman boyutlandırılmasında önemli bir rol oynarlar.

Benzer ilişkiler toprak temaslı iki fazlı kısa devre ile çift toprak temasında da söz konusudur. Toprak temaslı iki fazlı kısa devrede, başlangıç kısa devre akımı, üç fazlı kısa devre ile faz-toprak kısa devresindeki değerler arasındadır. Çift toprak kısa devresi, sürekli haldeki kısa devre akımının toprak temaslı veya toprak temassız iki fazlı kısa devreye oranla daha düşük olmasından dolayı, koruma sisteminin ve akım girişim olayının incelenmesinde, sadece toprak hata nötralizasyonlu veya yıldız noktası yalıtılmış sistemlerde önemlidir.

Dengesiz kısa devreler arasında en önemlisi faz-toprak kısa devresidir. Bu tip hatalar, yıldız noktası etkin bir şekilde topraklanmış yüksek gerilim sistemlerinde ve yıldız noktası direkt olarak topraklanmış alçak gerilim sistemlerinde sadece en sık rastlanılan hata çeşidi olmayıp aynı zamanda en geniş yelpazede akım değerlerinin olduğu hata çeşitleridir. Özel durumlarda, faz-toprak kısa devre akımı üç fazlı kısa devre akımını aşabilir. Faz-toprak kısa devresi çoğu zaman temas ve adım gerilimleri ile topraklama sisteminin belirlenmesinde belirleyici rol oynar [3].

Çoğu durumda, normal işletilen bir sistemde üç fazlı kısa devre akımı ekipman seçim ve boyutlandırılmasında en önemli yere sahiptir. Bu sebeple burada sadece üç fazlı kısa devreler incelenecektir.

2.2.4 Kısa devre akımlarının belirlenmesinde temel etkenler

a) İlgili VDE yönetmeliklerine göre, bölüm 2.2.3'de belirtilen hata çeşitlerinde oluşacak maksimum ve minimum kısa devre akımlarının hesabı teçhizatın seçimi ve boyutlandırılmasında temel etkindir.

b) Kısa devre süresi esnasında şebekenin bağlama durumundaki değişiklikler, örneğin gözlü şebekelerde hatların bir taraflı açılması, ilave hesapların yapılmasını gerektirir.

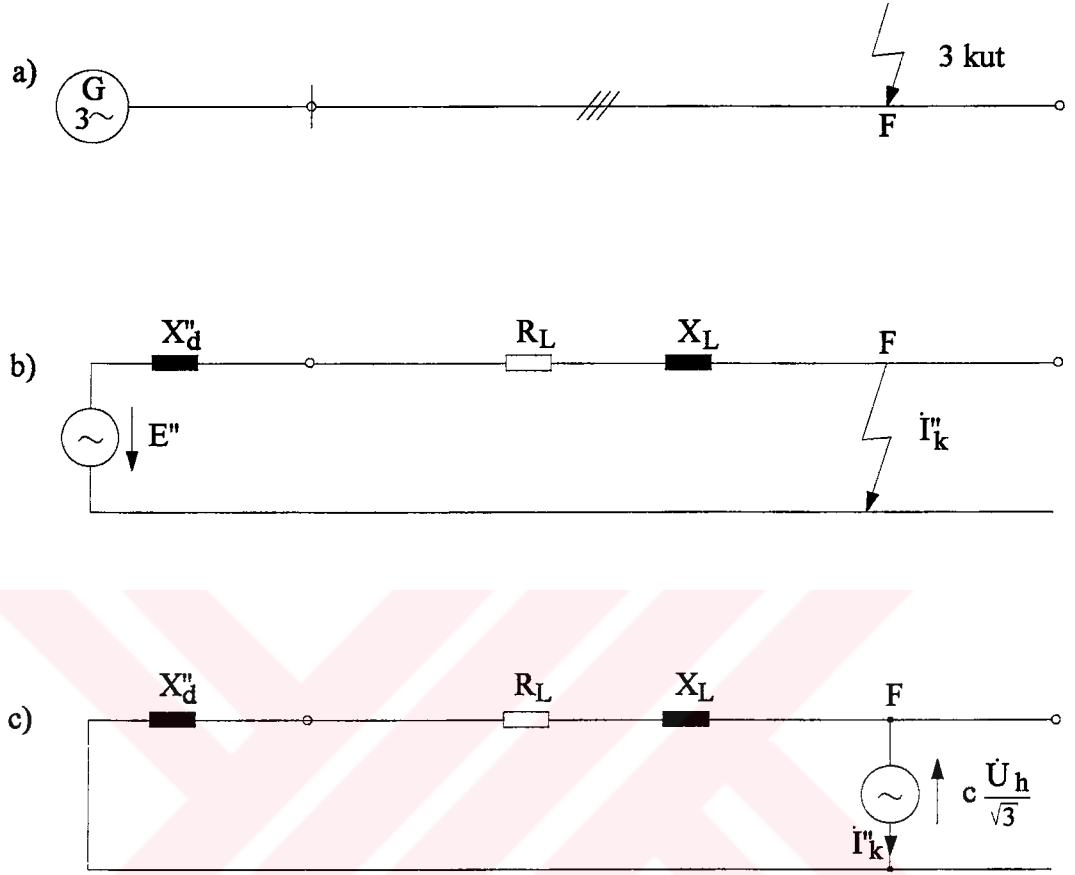
c) Üç fazlı kısa devre, genellikle oluşabilecek en büyük kısa devre akımını verdiğinden, güç anahtarlarının kesme kapasitelerinin ve teçhizattaki dinamik zorlanmaların belirlenmesinde belirleyici rol oynar.

d) Üç fazlı kısa devre, generatörden uzak kısa devreler için teçhizatın ısı zorlanma hesaplamaları için de önemlidir. Generatör yakını kısa devreler için, faz-faz kısa devresinde oluşacak ısı zorlanmalar, sürekli haldeki kısa devre akımının daha büyük olmasından dolayı, üç fazlıya oranla daha büyük olabilir. Faz-toprak kısa devresi de, ısı zorlanma hesaplamalarında, özellikle nötrü topraklanmış sistemlerde sürekli haldeki kısa devre akımı üç fazlıya oranla daha büyükse göz önüne alınmalıdır.

e) Sistemde sigorta veya termik-manyetik şalterler kullanılmışsa, kısa devre akımları öncelikle bu cihazlar yokmuş gibi hesaplanır. Bu şekilde hesaplanan kısa devre akımları ile cihazların karakteristik eğrilerinden yararlanılarak I_D geçirme akımları belirlenir ki işte bu akım değerleri bağlamaya göre kendisinden hemen sonra yer alan tesisin darbe kısa devre akımlarıdır.

f) VDE yönetmeliklerinde verilen hesap metodları, nominal gerilimleri 380 kV'a kadar olan şebekeler için yeter derecede olduğu kabul edilebilir. Daha büyük nominal gerilimli şebekelerde üst üste getirme metodu kullanılmalıdır [2].

2.2.5 Nominal gerilimi 1kV'un üzerinde olan üç fazlı alternatif akım tesislerinde üç fazlı dengeli kısa devrenin hesabı



Şekil 2.4 Dalları olmayan ve bir taraflı beslenen bir şebekede I_k'' başlangıç alternatif kısa devre akımının hesabı

- Bağlama şeması
- Etkin jeneratör gerilimine göre hesap
- Eşdeğer gerilim kaynağına göre hesap

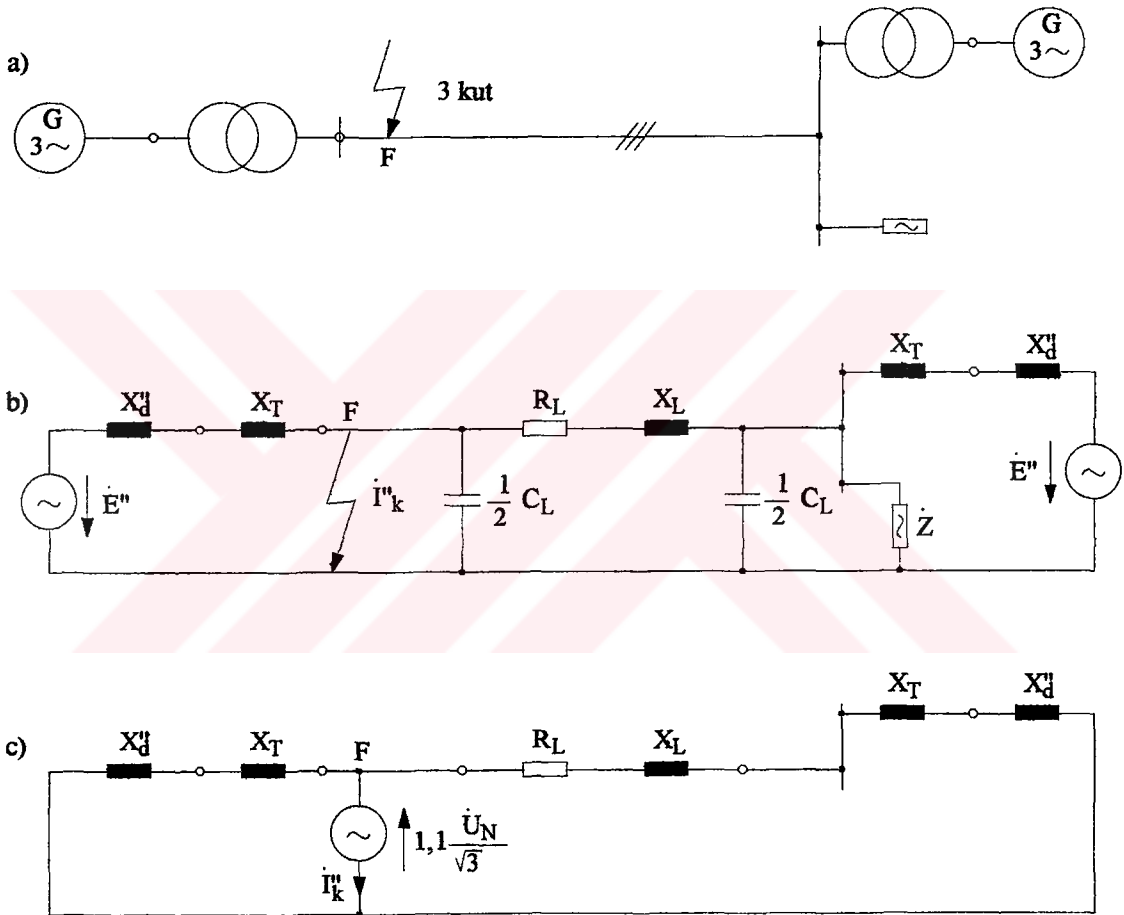
Başlangıç alternatif kısa devre akımı Şekil 2.4'e göre hata yerinde eşdeğer bir gerilim kaynağı yardımı ile hesaplanır. Burada eşdeğer gerilim kaynağı şebekede etkin olan gerilimi gösterir. Sistemdeki senkron makinelerin efektif gerilimleri bu hesap metodunda sıfır alınır, böylece senkron makineler yalnız iç empedansları (başlangıç reaktansları) ile hesaba katılırlar.

Bu yöntemle üç fazlı bir kısa devrede kısmi kısa devre akımlarını da hesaplayabilmek için, doğru sistemde bütün hat kapasiteleri ve başka enine

(paralel) empedanslar göz önünde bulundurulmazlar. Motor cinsinden yükler, bu kısa devre akımı hesabında generatörler gibi işlem görürler.

2.2.5.1 Bir taraftan beslenen dalsız bir şebekede üç fazlı kısa devre akımlarının hesabı

2.2.5.1.1 Kısa devre akımları



Şekil 2.5 Çok taraflı beslenmiş bir şebekede I''_k başlangıç alternatif kısa devre akımının hesabı

- a) Bağlama şeması
- b) Uygulanan generatör gerilimleri ile hesap
- c) Eşdeğer gerilim kaynağı ile hesap

a) I''_k başlangıç alternatif kısa devre akımı

Dalsız bir şebekenin bir taraftan beslenmesi halinde şekil 2.5'e göre

uygulanan gerilim, isteğe göre ya generatörde veya hata yerinde kabul edilebilir.

I_k'' başlangıç alternatif kısa devre akımı, kısa devre için uygulanan $c.U_h / \sqrt{3}$ gerilimi ile Z_k şebeke empedansından hesaplanır:

$$I_k'' = \frac{E''}{Z_k} = \frac{c.U_h}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (2.1)$$

Burada;

E'' başlangıç gerilimi,

c uygulanan gerilim ile şebeke işletme gerilimi arasındaki farkı göz önünde tutmaya yarayan katsayı,

U_h şebeke işletme gerilimi,

R_k hattın omik direnci,

X_k hattın reaktansı,

Z_k şebeke empedansı,

olarak kabul edilirler.

$R_k \leq 0,3.X_k$ büyüklüğündeki omik dirençler, başlangıç alternatif kısa devre akımlarının hesabında ihmal edilebilirler.

En büyük kısa devre akımlarının elde edilmesi için generatör yakını ve generatörden uzak kısa devrelerde denklem (2.1)'de $c.U_h$ için bildirilen şart hariç tutularak, $1,1.U_N$ değeri alınabilir; böylece

$$I_k'' = \frac{1,1.U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1,1.U_N}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (2.2)$$

denklemini elde edilir.

1,1 katsayısı, E'' generatör başlangıç geriliminin, denklem (2.3)'teki U_G

generatör (bağlama ucu) gerilimine göre genel olarak meydana gelen yükselmesini içerir ve generatör geriliminin, şebeke geriliminden %5 daha yüksek olabileceğini de göz önünde bulundurur.

X_d'' başlangıç reaktansı (boyuna subtransiyent reaktans) makinenin nominal empedansının %20'sinden daha büyük ise ve bundan başka söz konusu generatör ile hata yeri arasında hiçbir transformatör yoksa, bu durumda c. U_h , denklem (2.3)'e göre hesaplanmalıdır.

$$c. U_h = \sqrt{3} \cdot U_G \left[1 + \frac{I_G \cdot X_d'' \cdot \sin \alpha}{U_G} \right] \quad (2.3)$$

Burada;

U_G generatörün (bağlama ucu) gerilimi (yıldız gerilimi),

I_G generatörün yük akımı,

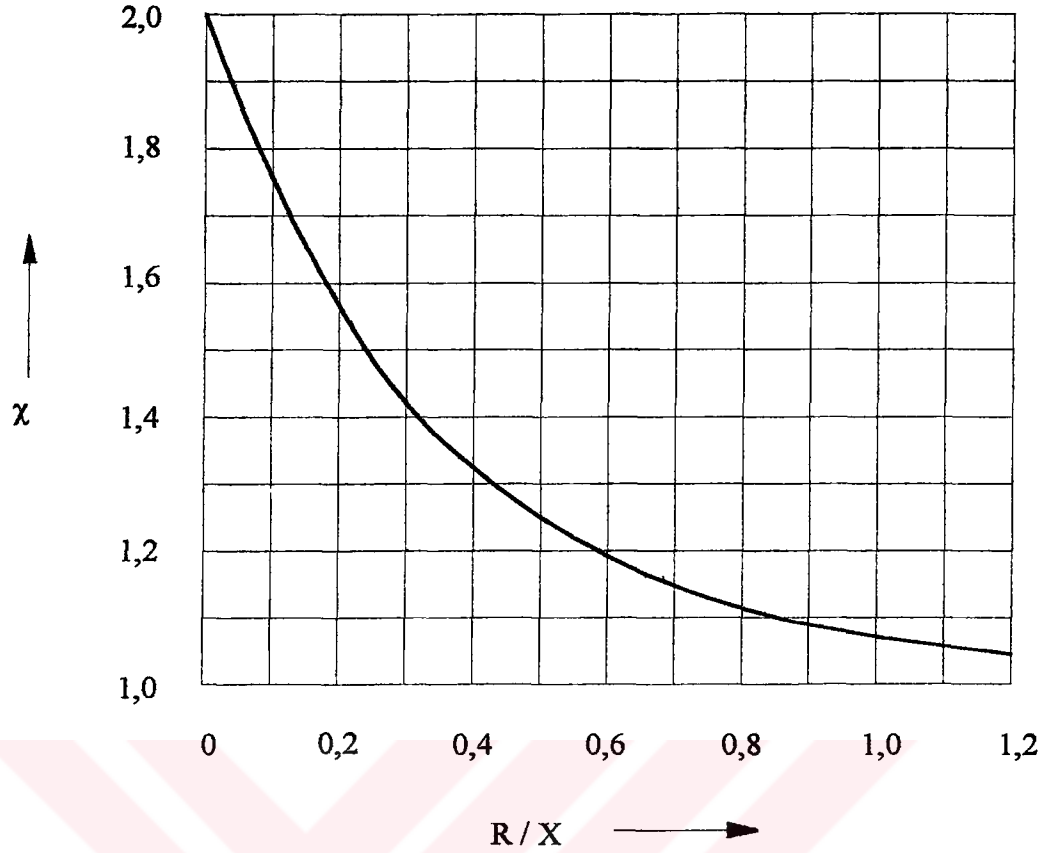
α U_G ile I_G arasındaki faz açısı (generatörün aşırı uyarılmasında pozitif, düşük uyarılmasında ise negatiftir),

X_d'' generatörün başlangıç reaktansı (boyuna subtransiyent reaktans),
dırlar. Bu değerler kısa devre başlangıcından önceki değerlerdir.

b) I_s darbe kısa devre akımı

$$I_s = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (2.4)$$

χ , şekil 2.6'dan alınır ve doğru akımın sönümünü hesaba katar. R ve X , denklem 2.1.'de olduğu gibi, Z_k şebeke empedansının R_k omik direnci ve X_k reaktansıdır.



Şekil 2.6 χ katsayısı

Bir generatörün omik direnci olarak yeter duyarlılıkla R_G fiktif değeri alınmalıdır.

$$R_G = 0,05 \cdot X_d'' \quad \text{nominal gücü } \geq 100\text{MVA olan generatörlerde}$$

$$R_G = 0,07 \cdot X_d'' \quad \text{nominal gücü daha küçük olan generatörlerde}$$

0,05 ve 0,07 katsayıları, ilk yarı periyod esnasında alternatif kısa devre akımının sönümünü de hesaba katarlar.

Büyük generatörlerde stator sargısının omik direnci, R_G için verilen değerlerin bir hayli altında kalırlar.

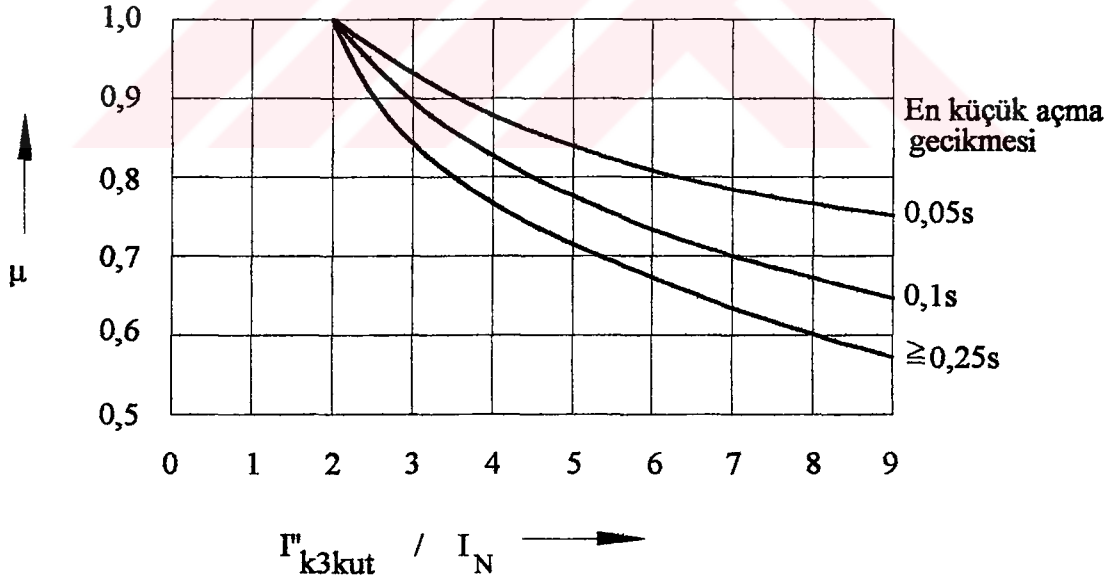
c) I_a alternatif açma akımı

$$I_a = \mu \cdot I_k'' \quad (2.5)$$

μ , şekil 2.7'den alınır ve alternatif kısa devre akımının sönümünü hesaba katmaya yarar.

μ , en küçük açma gecikmesine ve I_k''/I_N oranına bağlıdır; burada I_N , sistemi besleyen generatörün nominal akımını gösterir. Burada 'üç kutuplu kısa devre absis değeri kullanılmalıdır. Bu değerler, turbo alternatörlere, çıkık kutuplu generatörlere ve dönen faz kaydırıcılara mahsus uyarma makineleri tarafından gerçekleştiriliyorsa geçerlidir.

Doğrultucu ile uyarda şekil 2.7'nin geçerli olabilmesi için en küçük açma gecikmesinin 0,25s'nin üstüne çıkması ve en büyük uyarma geriliminin nominal yükteki değerinin 1,6 katını geçmesi gereklidir. Başka hallerde ve kompond uyarmalı generatörlerde, tam değer bilinmediği sürece, $\mu=1$ alınmalıdır.



Şekil 2.7 μ katsayısı

d) I_k sürekli kısa devre akımı

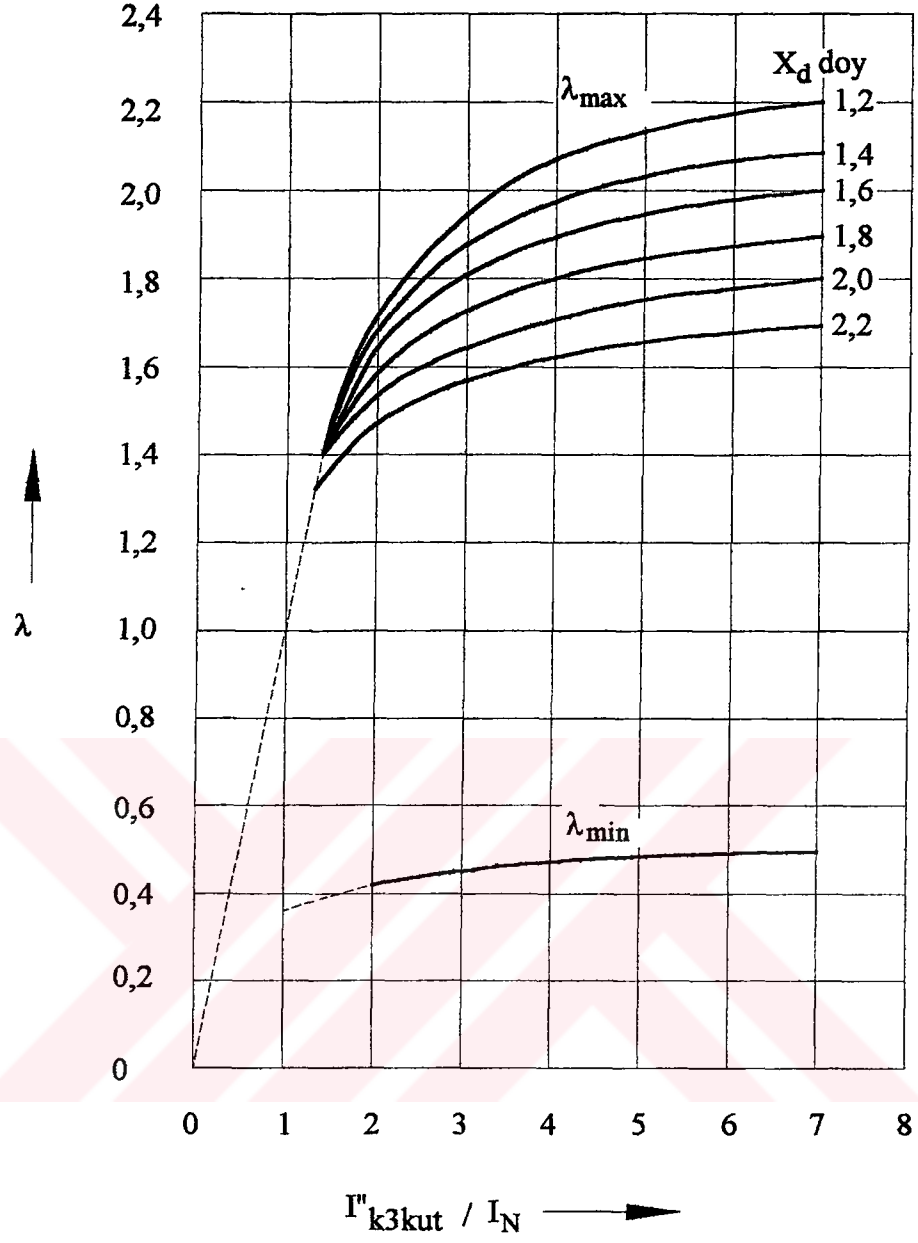
I_k sürekli kısa devre akımı generatörün uyarmasına, doyma tesirlerine ve kısa devre esnasında şebekede bağlama durumundaki değişmeye bağlı olduğundan, I_k başlangıç alternatif kısa devre akımına göre bunun hesabı da az duyarlı olarak yapılabilir. i ve ii'de verilen hesap metodları, üst ve alt sınır değerleri için yeterli bir tahmin olarak göz önüne alınmalıdır.

i) En büyük sürekli kısa devre akımı

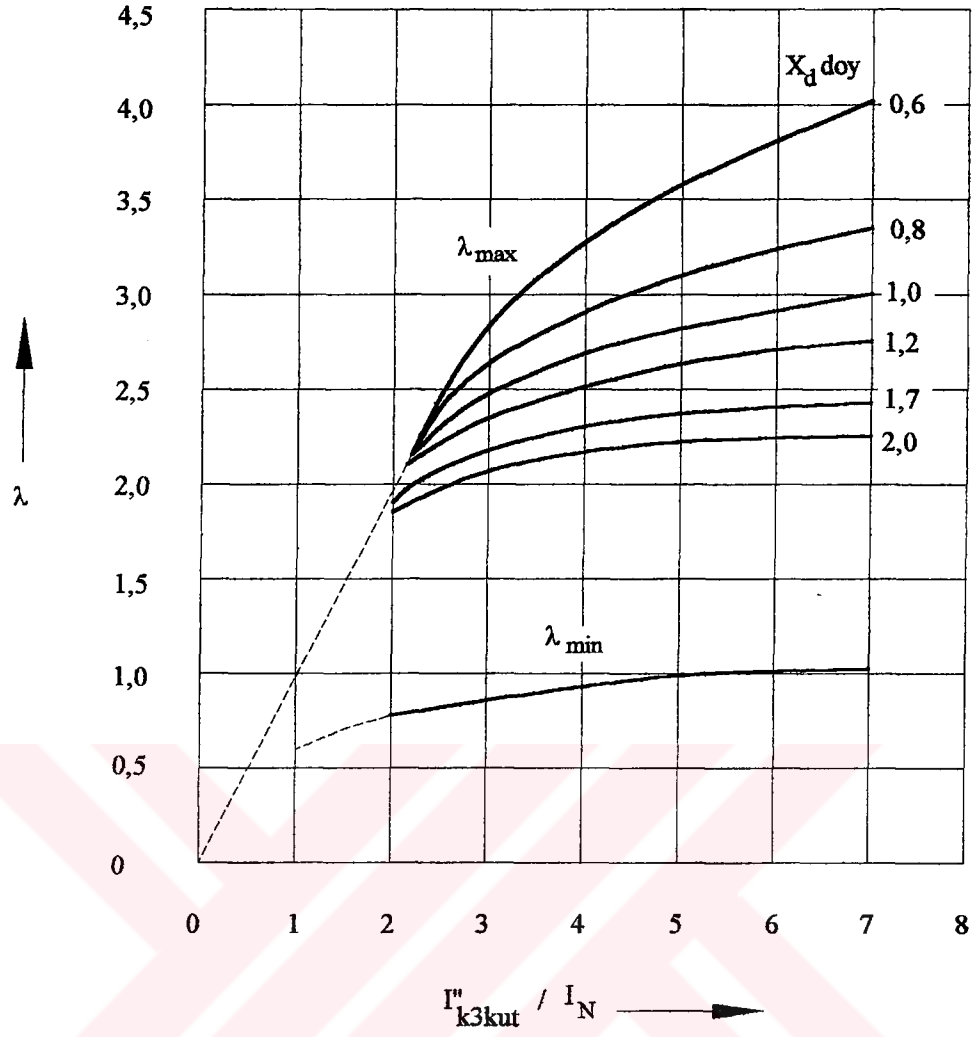
Senkron makinelerin mümkün olan en büyük uyarması ile:

$$I_{k\max} = \lambda_{\max} \cdot I_N \quad (2.6)$$

$\lambda_{\max}$, turbo-alternatörler için şekil 2.8'den ve çıkık kutuplu makineler için şekil 2.9'dan alınmalıdır. I_N , besleyen senkron makinenin nominal akımıdır.



Şekil 2.8 Turbo alternatörler için λ_{max} ve λ_{min} katsayıları



Şekil 2.9 Çıkık kutuplu makineler için $\lambda_{\max}$ ve $\lambda_{\min}$ katsayıları

$\lambda_{\max}$ eğrilerinin temelini, nominal yükte ve nominal güç katsayısında (turbo-alternatörlerde) 1,3 katına veya (çıkık kutuplu makinelerde) 1,6 katına uyarma karşı gelecek şekilde mümkün olan en büyük uyarma gerilimi oluşturur. Bu değerlerden $\pm$ %20'ye kadar olan sapmalarda $\lambda_{\max}$, sapma ile orantılı olarak hesaplanır.

ii) En küçük sürekli kısa devre akımı

Senkron makinelerin boşta uyarması ile:

$$I_{k \min} = \lambda_{\min} \cdot I_N \quad (2.7)$$

$\lambda_{\min}$, turbo-alternatörler için şekil 2.8'den ve çıkık kutuplu makineler için şekil 2.9'dan hesaplanır.

2.2.5.1.2 Transformatörlerin göz önüne alınması

Eğer transformatörler kısa devre yeri ile kısa devreyi besleyen generatör arasında iseler, bu taktirde eşdeğer gerilim kaynağının gerilimi olarak hata yerinde c. $U_h = 1,1 \cdot U_N$ alınabilir (şekil 2.5). Burada U_N , hatanın meydana geldiği şebekenin nominal gerilimidir.

Üst veya alt kademedeki şebekelerde işletme araçlarının empedansları, transformatörün (esas bağlantıda) $\bar{u}_N$ nominal çevirme oranının karesi ile indirgenir. Nominal ayar bölgesi $p \geq \%10$ olan ayar transformatörlerinde transformatör reaktansı olarak $1 + \frac{\%p}{100}$ ile bölünen esas bağlantıdaki reaktans kısa devre hesabında yer alır. Gerilimler ve akımlar transformatör nominal çevirme oranları ile (esas bağlantıda) indirgenirler [2].

2.2.5.1.3 Bir şebeke tarafından bir empedans üzerinden beslenen kısa devre

a) Besleyen şebekenin empedansı

Eğer bir kısa devre şekil 2.10a'ya göre bir şebeke tarafından beslenirse ve bu şebekenin de yalnız Q bağlantı noktasında S''_{kQ} başlangıç kısa devre gücü veya I''_{kQ} başlangıç alternatif kısa devre akımı bilinirse, bu takdirde kısa devre akımının hesaplanmasında besleyen şebekenin etkin X_Q reaktansı:

$$X_Q = \frac{1,1 \cdot U_{NQ}^2}{S''_{kQ}} \cdot \frac{1}{\bar{u}_N^2} = \frac{1,1 \cdot U_{NQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \cdot \frac{1}{\bar{u}_N^2} \quad (2.8)$$

bağıntısından elde edilir.

Burada Q bağlantı noktasında;

U_{NQ} şebekenin nominal gerilimi,

S''_{kQ} başlangıç alternatif kısa devre gücü,

I''_{kQ} başlangıç alternatif kısa devre akımı,

dırlar. Eğer tam bir değer bilinmiyorsa, bu durumda besleyen şebekenin omik direnci için $R_Q = 0,1.X_Q$ almaya müsade edilir.

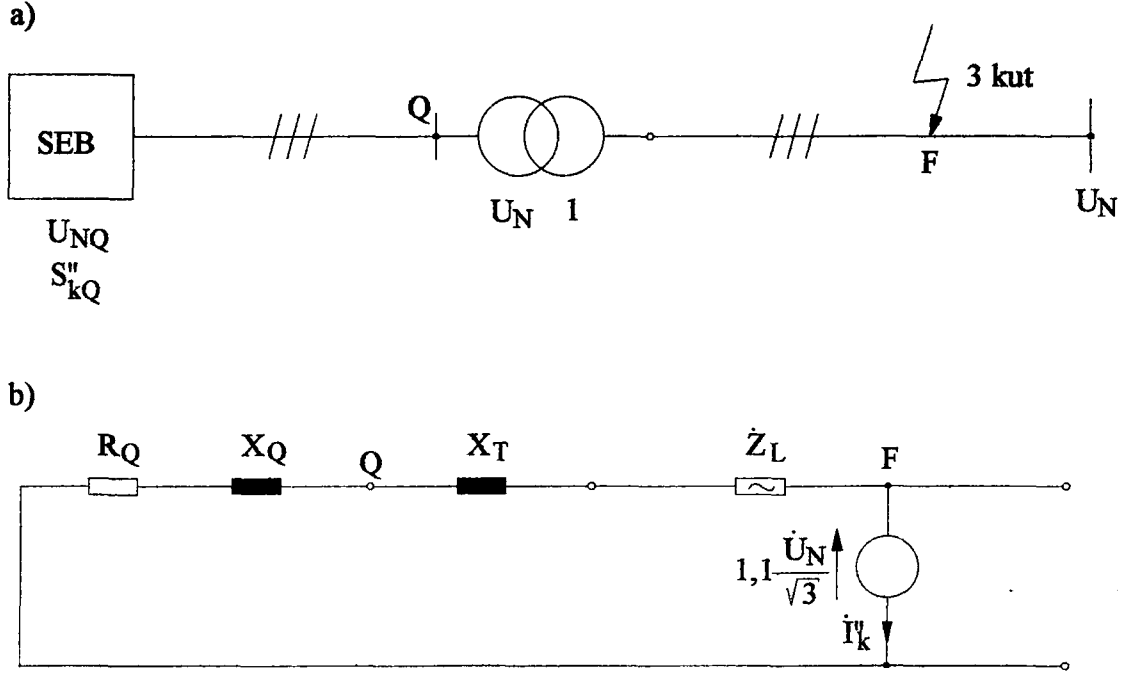
b) En büyük alternatif kısa devre akımları

Eğer $X_Q \leq 0,5.X_T$ (şekil 2.10), bu taktirde F'deki bir kısa devrede I''_k başlangıç alternatif kısa devre akımı ile I_{kmax} en büyük sürekli kısa devre akımı arasındaki fark % 5'ten küçüktür ve bu da sistemi besleyen şebekede santrallerin yerine bağlı değildir. X_T 'nin hesaplanmasında (2.2.5.1.2) göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu hal için:

$$I''_k = I_a = I_k \quad (2.9)$$

geçerlidir.



Şekil 2.10 Bir şebeke tarafından beslenme halinde başlangıç alternatif kısa devre akımının hesabı

a) Bağlama şeması

b) Eşdeğer gerilim kaynağına göre hesap

Ayar transformatörleri (2.2.5.1.2)'ye göre işlem görürler.

Darbe kısa devre akımının hesabı için aynı şekilde (2.2.5.1.1.b) ve (2.2.5.2.4) geçerlidir.

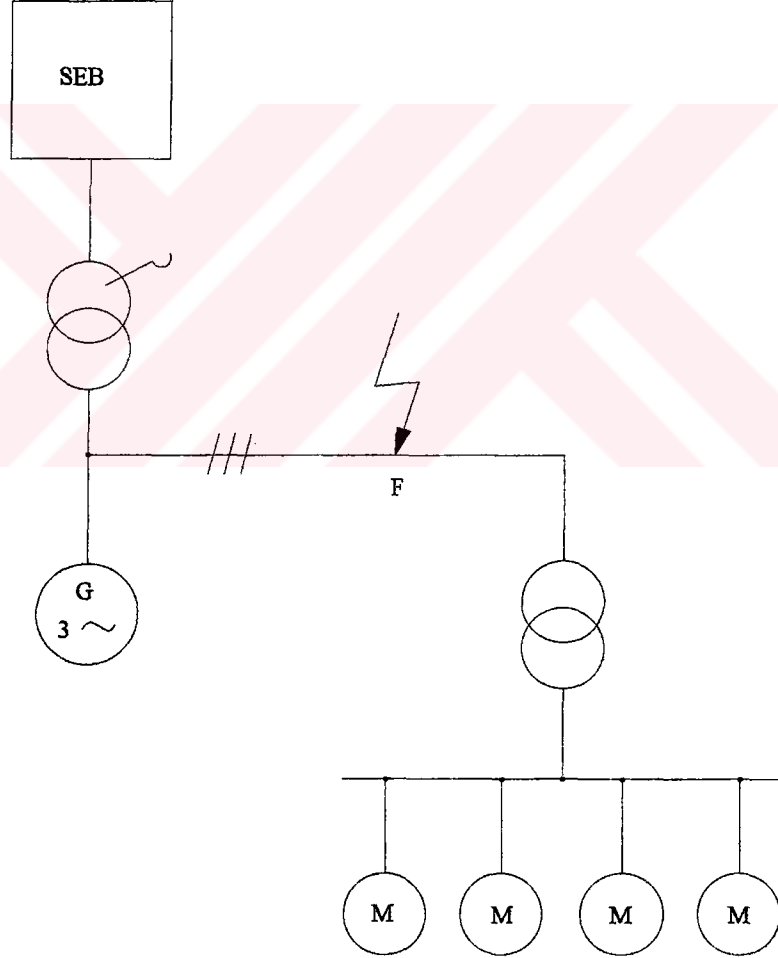
c) En küçük kısa devre akımları

En küçük kısa devre akımları, işletmede bulunan generatörlerin sayısına, bunların gerilim regülatörlerinin tutumuna ve şebekenin bağlama durumuna bağlıdır, bu yüzden ancak yaklaşık olarak tayin edilebilirler. Denklem (2.9)'a göre yapılan $I_k'' = I_a = I_k$ kabulüne, bu sebeple bu halde de müsaade edilir. [2]

2.2.5.2 Çok taraflı beslemede ve dallı şebekelerde üç fazlı kısa devre akımları

2.2.5.2.1 Şebekenin kısımlara ayrılması

Eğer çok taraflı beslenen bir şebekede makinelerin nominal empedansının % 20'sinden daha büyük bir X_d'' başlangıç reaktanslı (subtransiyent boyuna reaktanslı) senkron makineler mevcutsa ve bunlar şekil 2.11'e göre doğrudan doğruya, makine transformatörü olmadan hatayı beslerlerse, bu taktirde bu senkron makinelerin kısmi kısa devre akımları denklem (2.1) ve (2.3) yardımıyla hesaplanırlar.

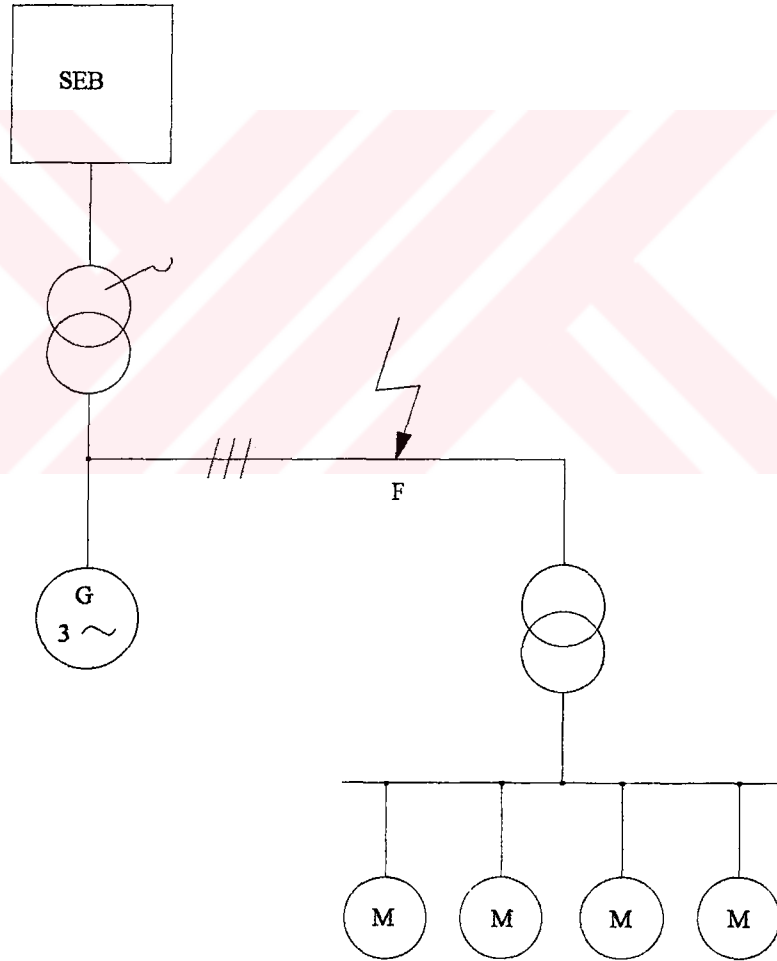


Şekil 2.11 (2.2.5.2.1)'e göre şebekenin kısımlara ayrılmasına ilişkin örnek

2.2.5.2 Çok taraflı beslemede ve dallı şebekelerde üç fazlı kısa devre akımları

2.2.5.2.1 Şebekenin kısımlara ayrılması

Eğer çok taraflı beslenen bir şebekede makinelerin nominal empedansının % 20'sinden daha büyük bir X_d'' başlangıç reaktanslı (subtransiyent boyuna reaktanslı) senkron makineler mevcutsa ve bunlar şekil 2.11'e göre doğrudan doğruya, makine transformatörü olmadan hatayı beslerlerse, bu taktirde bu senkron makinelerin kısmi kısa devre akımları denklem (2.1) ve (2.3) yardımıyla hesaplanırlar.



Şekil 2.11 (2.2.5.2.1)'e göre şebekenin kısımlara ayrılmasına ilişkin örnek

Ayar transformatörleri (2.2.5.1.2)'ye göre işlem görürler.

F hata yerindeki kısa devre akımı üç şebeke kısmından (şebeke, generatör ve motor grupları) birbirine bağlı olmadan beslenirler.

2.2.5.2.2 Eşdeğer gerilim kaynağı

(2.2.5.2.1) tarafından kapsanmayan hallerde kısa devre yerinde $\frac{1,1.U_N}{\sqrt{3}}$ eşdeğer gerilimi, şebekedeki gerilim kaynağı olarak kabul edilir (şekil 2.5c). U_N , kısa devrenin meydana geldiği şebekenin nominal gerilimidir.

2.2.5.2.3 I_k'' başlangıç alternatif kısa devre akımı

I_k'' başlangıç kısa devre akımının hesabında senkron makineler X_d'' başlangıç reaktansları (subtransiyent boyuna reaktansları) tarafından ve şekil 2.5c'ye göre gerilimsiz olarak gösterilirler. Şebekenin bir kutuplu eşdeğer şemasında hat kapasiteleri ve motor cinsinden olmayan başka enine empedanslar ihmal edilirler. Motor cinsinden tüketiciler (2.2.5.3.1)'e göre göz önünde bulundurulur.

Her bir senkron makinenin payına düşen akım, Kirchhoff kanununa göre, eşdeğer şemada senkron makinelerin reaktanslarından geçen akım olarak elde edilir.

Çok uçlu ve ayar transformatörleri (2.2.5.1.2)'den farklı olarak nominal çevirme oranları ile (esas bağlantı), kademe anahtarının konumuna bağlı olmadan, kısa devre akımının hesabında göz önünde bulundurulmalıdır (şekil 2.5c) [2].

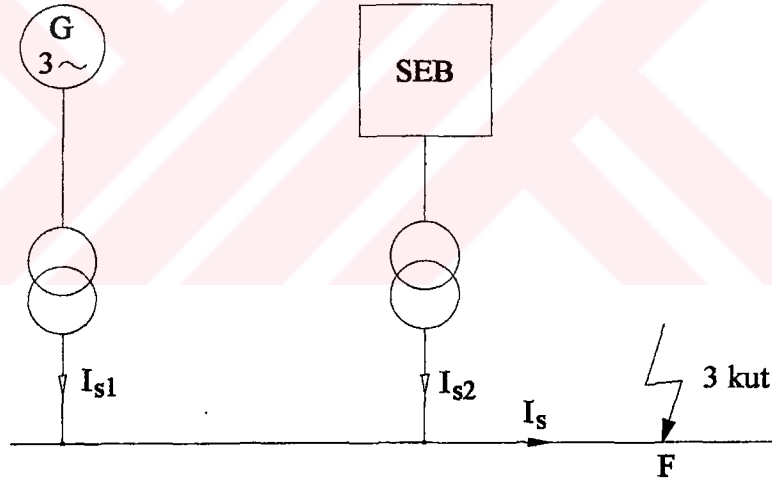
2.2.5.2.4 I_s darbe kısa devre akımı

Gözlü bir şebekede I_s darbe kısa devre akımı basit bir şekilde elde edilemez. Şekil 2.6'ya göre χ katsayısı denklem (2.4) ile birlikte ancak hata yerinin birçok kaynaktan fakat daima bir taraflı beslenmesi halinde (şekil 2.12) kullanılabilir. Eğer bu durum yoksa, bu takdirde (2.2.5.2.4.b)'deki metod uygulanabilir.

a) Birçok kaynaktan bir taraflı beslenen hata yeri

Eğer hata yeri şekil 2.12'ye göre birden çok gerilim kaynağı tarafından besleniyorsa, bu takdirde darbe kısa devre akımları hata yerinde toplanırlar:

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} + \dots \quad (2.10)$$



Şekil 2.12 Birçok akım kaynağından bir taraflı beslenen bir hata yerinde darbe kısa devre akımının hesabı için bağlama şeması

b) Gözlü şebeke

i) Şebekede her tarafta R/X oranı aynı

χ katsayısı, her yerde, en küçük R/X oranına göre belirlenir. Bu esnada yalnız, arızanın olduğu şebekeye bağlı ve kısmi akımlar geçiren şebeke dalları göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin transformatörler ve hatlar gibi seri bağlı elektrik işletme araçları bir tek şebeke dalı gibi muamele

görür. χ katsayısının 1,8'den daha büyük seçilmesine gerek yoktur.

ii) Hata yerinde R/X oranı

I_s darbe kısa devre akımı:

$$I_s = 1,15 \cdot \chi_k \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (2.11)$$

ifadesi ile hesaplanmalıdır. χ_k şekil 2.6'dan hesaplanır; burada R / X oranı, nominal frekansta hata yeri için $\dot{Z}_k = R_k + jX_k$ şebeke empedansından meydana gelir. $1,15\chi_k$ için 1,8'den daha büyük bir değerin alınmasına gerek yoktur.

iii) Eşdeğer frekans

Darbe kısa devre akımı denklem (2.4) ile hesaplanır ve eğer söz konusu oran için;

$$\frac{R}{X} = \frac{R_f}{2\pi f_e \cdot L_f} \cdot \frac{f_e}{50} \quad (2.12)$$

alınırsa χ katsayısı şekil 2.6'dan elde edilir. Eğer hata yerinde $f_e = 20\text{Hz}$ frekanslı bir eşdeğer gerilim kaynağı etkin ise, burada $\dot{Z}_f = R_f + j2\pi f_e \cdot L_f$ hata yerindeki şebeke empedansıdır. χ için 1,8'den daha büyük bir değerin alınmasına gerek yoktur [2].

2.2.5.2.5 I_a alternatif açma akımı

(2.2.5.2.3)'e göre elde edilen I_k'' başlangıç alternatif kısa devre akımından faydalanılarak, senkron makinelerden, şebekeden ve asenkron motorlardan gelen kısmi kısa devre akımları hesaplanır. I_{ai} alternatif açma akımı payları; senkron makineler için denklem (2.5)'e göre, şebeke için denklem (2.9)'a göre, asenkron motorlar için denklem (2.20)'e göre belirlenir.

2.2.5.2.6 I_k en büyük sürekli kısa devre akımı

Hata yerindeki I_k sürekli kısa devre akımı:

$$I_k = \frac{\sum_{i=1}^m (\lambda_{\max i} \cdot U_{Ni} \cdot I_{Ni})}{U_N} + \frac{\sum_{j=1}^n (U_{Nj} \cdot I''_{kj})}{U_N} \quad (2.15)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada

$\lambda_{\max i}$ i senkron makinesinin sürekli kısa devre akım payını hesaplamak için $\lambda_{\max}$ katsayısı (şekil 2.8 ve 2.9),

U_{Ni} i senkron makinesinin beslediği şebekenin nominal gerilimi,

I_{Ni} i senkron makinesinin nominal akımı,

I''_{kj} j şebeke beslemesinin başlangıç alternatif kısa devre akımı,

$i = 1 \dots m$ senkron makineler için indeks,

$j = 1 \dots n$ şebeke beslemeleri için indeks,

dırlar [2].

2.2.5.3 Motorların hesaba katılması

2.2.5.3.1 Senkron motorlar ve senkron faz kaydırıcılar

I''_k , I_s , I_a 'nın hesabında senkron motorlar ve senkron faz kaydırıcılar, senkron generatörler gibi işlem görürler. I_k en büyük sürekli kısa devre akımı şekil 2.8 veya 2.9'a göre $\lambda_{\max}$ ile hesaplanabilir [2].

2.2.5.3.2 Nominal gerilimleri 1kV'un üstünde olan asenkron motorlar

Nominal gerilimleri 1kV'un üstünde olan asenkron motorlar, başlangıç alternatif kısa devre akımlarına, darbe kısa devre akımlarına, alternatif açma akımlarına ve simetrisiz hatalarda sürekli kısa devre akımlarına da bir miktar tesir eder. Hatalı şebeke ile transformatörler üzerinden bağlı bulunan motorlar,

$$\frac{\sum P_{NMot}}{\sum S_{NT}} \leq \frac{0,8}{\left| \frac{100 \sum S_{NT}}{S''_k} - 0,3 \right|} \quad (2.16)$$

olması halinde ihmal edilebilirler. Burada (şekil 2.15'e göre);

$\sum P_{NMot}$	Bütün yüksek gerilim motorlarının ve (2.2.5.3.3)'e göre hesaba katılması gereken alçak gerilim motorlarının nominal güçlerinin toplamı,
$\sum S_{NT}$	Bu motorları besleyen bütün transformatörlerin nominal güçlerinin toplamı
S''_k	Şebekenin başlangıç alternatif kısa devre gücü (bu motorların etkisi hesaba katılmadan)

a) Bağlama uçlarındaki kısa devre

Üç fazlı bağlama ucu kısa devresinde I''_k, I_s, I_a, I_k aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır:

Başlangıç alternatif kısa devre akımı:

$$I''_{kmot} = \frac{1,1 \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot X_{mot}} \quad (2.17)$$

$$X_{mot} = \frac{1}{I_{yol} / I_{Nmot}} \cdot \frac{U_{Nmot}}{\sqrt{3} \cdot I_{Nmot}} \quad (2.18)$$

I_{yol} =Motorun yol alma akımı

Darbe kısa devre akımı:

$$I_{smot} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{kmot} \quad (2.19)$$

Yüksek gerilim motorları için, (2.2.5.3.2)'e göre çift kutup başına < 1 MW olan motor güçlerinde $\chi = 1,65$, çift kutup başına ≥ 1 MW olan motor güçlerinde $\chi = 1,75$, alçak gerilim motorları için ise (2.2.5.3.3)'e göre $\chi = 1,4$ alınmalıdır.

Alternatif açma akımı:

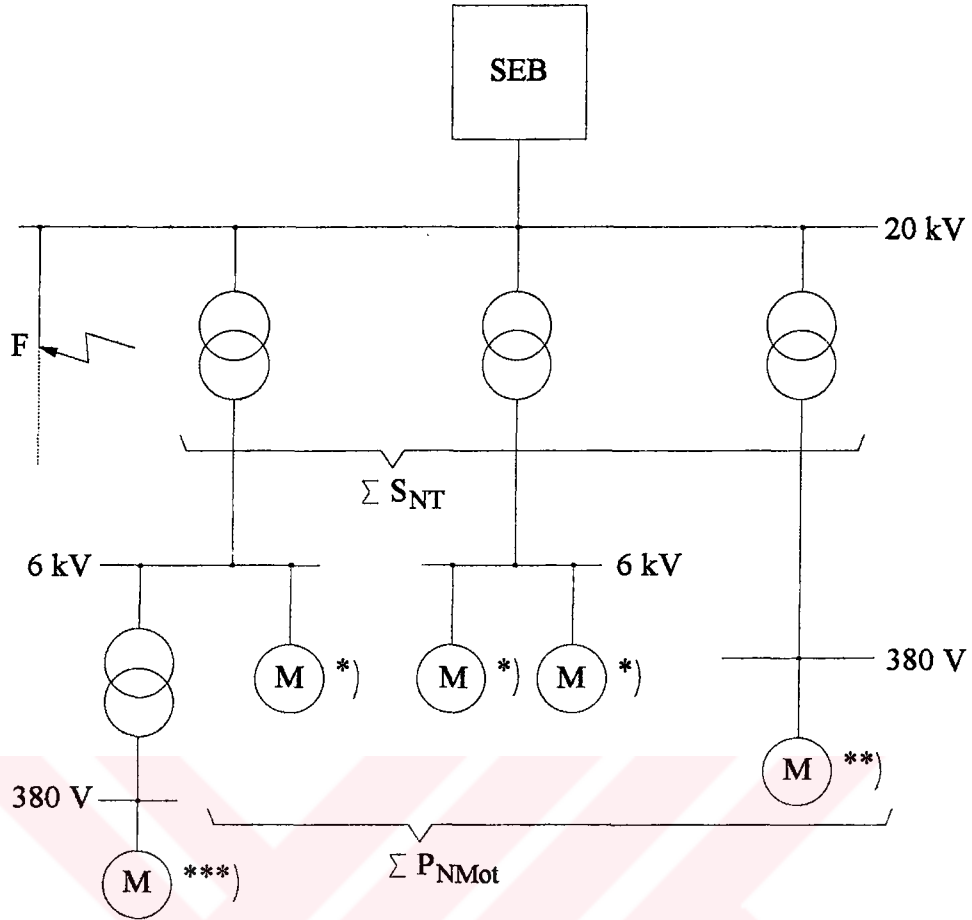
$$I_{amot} = \mu \cdot q \cdot I''_{kmot} \quad (2.20)$$

μ şekil 2.7'ye göre

q şekil 2.14'e göre

Sürekli kısa devre akımı:

$$I_{kmot} = 0 \quad (2.21)$$



Şekil 2.14 Denklem (2.16)'daki şartların gerçekleşmemesi halinde asenkron motorların göz önünde bulundurulması için örnek

Şekil 2.14'e göre

*) Bu motorlar göz önünde bulundurulmalıdır.

***) Bu motorlar, sanayi ve santral iç ihtiyaç şebekelerinde F'deki kısa devrede göz önünde bulundurulmalıdır.

****) Bu motorların F'deki kısa devrede göz önünde bulundurulmasına gerek yoktur.

b) Bir şebeke empedansı üzerinden kısa devre

Üç fazlı kısa devre akımları (2.5.2.2)'e göre hata yerinde eşdeğer akım kaynağı ile hesaplanır. Bu esnada asenkron motorlar, tablo (2.1)'e göre X_{mot} reaktansı ile gösterilirler.

Alternatif açma akımına asenkron motorların katkısı, denklem (2.20)'e göre hesaplanır.

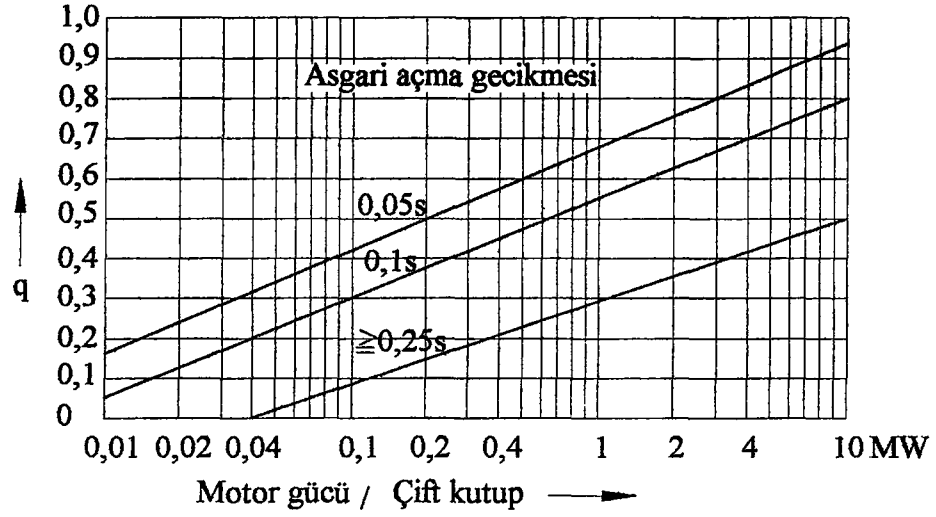
Tablo 2.1 Kısa devre akımlarının hesaplanmasında asenkron motorların empedansları

Hesaplanacak büyüklük	Doğru sistem	Ters sistem
I''_k	X_{mot} Denklem 2.18'e göre	
Yüksek gerilim motorları		
I_s Motor gücü / çiftkut < 1 MW	$R_{mot} / X_{mot} = 0,15$	
Motor gücü / çiftkut ≥ 1 MW	$R_{mot} / X_{mot} = 0,10$	
Alçak gerilim motorları (1)	$R_{mot} / X_{mot} = 0,30$	
I_k	$X_{mot} = \infty$	X_{mot} Denk.2.18'e göre

(1) Alçak gerilim motorları (2.2.4.3.3)'e göre yalnız sanayi şebekelerinde ve santral iç ihtiyaç şebekelerinde hesaba katılırlar.

2.2.5.3.3 1000 V'a kadar olan nominal gerilimlerde asenkron motorlar

Şekil 2.15'e göre transformatörler üzerinden beslenen, nominal gerilimleri 1000 V'a kadar olan asenkron motorlar için santral iç ihtiyaç şebekelerinde ve sanayi şebekelerinde, örneğin büyük kimya ve petrokimya tesislerinde ve maden işleyen büyük sanayi tesislerinde transformatörlerin yüksek gerilim tarafındaki kısa devrelerde denklem (2.19)'a göre yalnız I_s darbe kısa devre akımına olan katkıları hesaplanır. Bunun için denklem (2.18)'de $I_{yol} / I_{Nmot} = 5$ alınmalıdır [2].



Şekil 2.15 Asenkron motorların alternatif akımlarının hesaplanması için q katsayısı

Eğer denklem (2.16)'daki şartlar yerine gelirse, alçak gerilim motorlarının kısa devre katkıları ihmal edilir.

İki veya daha çok seri bağlı transformatörler üzerinden hata yerini besleyen alçak gerilim motorları göz önünde bulundurulmazlar.

Hesabın basitleştirilmesi için alçak gerilim motor gruplarının I_{Nmot} nominal akımı olarak alçak gerilim tarafından transformatörlerin nominal akımının alınmasına izin verilir.

2.2.6 Nominal gerilimi 1000 V'a kadar olan üç fazlı alternatif akım tesislerinde üç fazlı kısa devrenin hesabı

2.2.6.1 Kısa devre akımlarının elde edilmesi için genel görüşler

Bağlama cihazlarının kapama ve açma zorlamaları ve bir tesis kısmının dinamik ve termik zorlanması en büyük kısa devre akımlarının veya bazı durumlarda arızalı tesis kısmında oluşan kısmi kısa devre akımlarının etkisi ile meydana gelir.

Koruma düzenlerinin çalışma emniyeti için genel olarak, hatalı tesis kısmında meydana gelebilecek olan en küçük kısa devre akımlarının veya kısmi kısa devre akımlarının hesaplanması gerekir.

1000 V'a kadar olan şebekelerdeki kısa devre hesaplarının çoğu generatörden uzak kısa devreler ile ilgilidir.

2.2.6.2 Generatörden uzak kısa devrede en büyük kısa devre akımının hesaplanması

2.2.6.2.1 Genel bilgi

Generatörden uzak kısa devrelerde $I_k'' = I_k$ 'dir. Transformatörler üzerinden büyük güçlü şebekeler tarafından beslenen şebekelerde genel olarak en büyük kısa devre akımı üç fazlı hatalarda meydana gelir. Eğer hata yıldız-zigzag bağlamalı transformatörlerin yakınında olursa ve bunun da yıldız noktası topraklanmış veya özel bir yıldız noktası iletkeni, örneğin sıfır iletkeni ile bağlanmış ise, faz-toprak kısa devresi akımı, üç fazlı kısa devre akımından daha büyük olabilir. Yıldız-zigzag bağlamalı transformatörlerin hemen yakınındaki iki fazlı toprak temaslı bir kısa devrede, transformatörün yıldız noktasına toprak veya sıfır hattı üzerinden geçen kısa devre akımı, üç fazlı kısa devre akımından daha büyük olabilir. Şimdiye kadar elde edilen deneyimler göstermiştir ki, bu gibi hatalarla ilgili olarak meydana gelen arklar, çok çabuk üç fazlı kısa devreye yol açarlar. Böylece yıldız noktasına

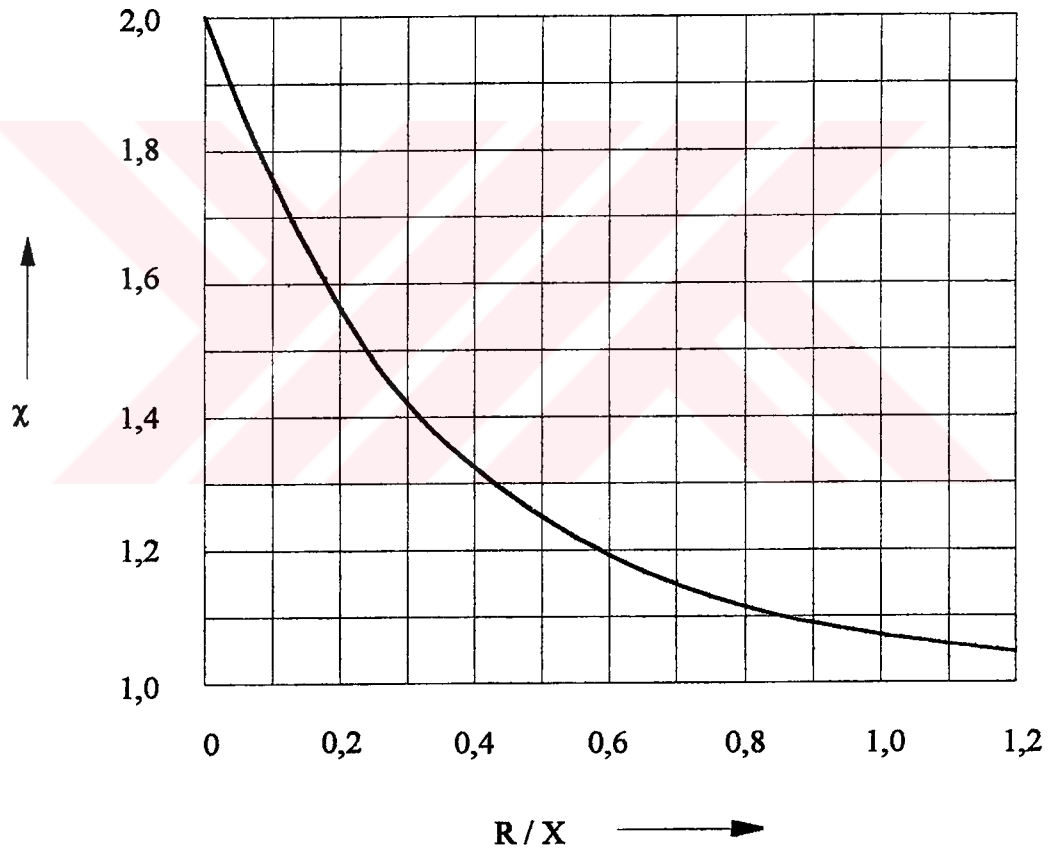
$$X_n \approx \frac{1,1 \cdot U^2}{S''_{kn}} \quad (2.23)$$

Tam bir bilgi mevcut değilse $R_n = 0,1 \cdot X_n$ alınabilir.

ii) I_s darbe kısa devre akımı

$$I_s = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_k \quad (2.24)$$

χ şekil 2.16'dan alınmalıdır.



Şekil 2.16 χ katsayısı

2.3 Genel hatlarıyla IEC 909 Standardının açıklanması

2.3.1 Giriş

IEC 909 standardı, Alman teknik literatüründe (VDE 01012) sıkça benimsenen bir uygulama olan generatöre yakın ve generatörden (ve motordan) uzak kısa devreler arasında bir ayırım yapar. Kısa devre, dengeli bir ac bileşen ile periyodik olmayan bir bileşenin (i_{dc}) toplamıdır. Generatöre yakın kısa devre akımı zamanla etkisi azalan dengeli bir bileşen içerir oysa ki generatörden uzak olanın dengeli bileşeni sabittir [4]. Ayrıca, IEC 909 Standardı aşağıdaki kısa devre akım değerlerini göz önüne alır:

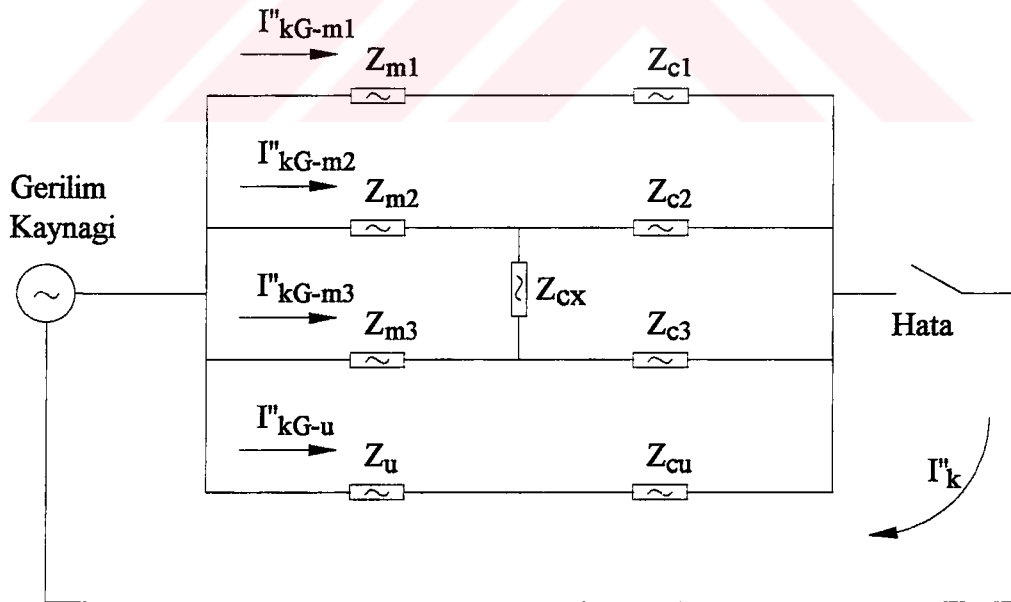
I''_k efektif olarak başlangıç dengeli bileşen;

i_p tepe değer;

I_b bir anahtarlama cihazının ilk kutbunun t_m kontak ayırım anındaki dengeli kısa devre kesme akımı;

I_{basym} efektif olarak dengesiz kısa devre kesme akımı

I_k efektif olarak kalıcı halde kısa devre akımı.



Şekil 2.17 Başlangıç alternatif kısa devre akım yolları

IEC 909, şebekenin herhangi bir kısa devre noktasında şekil 2.17'ye göre kısa devreye katkıda bulunan tüm senkron makinelerin başlangıç dengeli kısa devre akımlarını (I''_{kG}) ve toplam başlangıç dengeli kısa devre akımını (I''_k) hesaplamayı uygun görür. Burada sözü edilen I''_{kG} akımları önemlidir çünkü yukarıda tanımlanan kısa devre akımlarının hesaplanmasında temel teşkil ederler. Standard, kısa devreye katkıda bulunan tüm kaynakların adı geçen akım bileşenlerini hesaplar ve bunları hata noktasındaki toplam kısa devre büyüklüklerini hesaplamada kullanır [5].

Bu standardı koruma cihazlarına uygulamak için, sözü edilen akımların kısa devre noktasına ulaşıncaya dek şebekede hangi yolları izlediğinin belirlenmesi gereklidir (Şekil 2.17).

Bu birbirinden bağımsız kaynak katkı akımlarının tümü, makine karakteristiklerine bağlıdır; örneğin, katkıda bulunan her kaynağın kısa devre noktasından gördüğü R/X oranı, kesme operasyonu için kontak ayrılma zamanı, başlangıç dengeli kısa devre akımı, uyarma tipi, ve, katkının, dallı veya gözlü bir şebekeden akıp akmadığı ya da kısa devre noktasına yakın olup olmadığı gibi. IEC 909 prosedürleri her kaynak katkısı için bu faktörleri birbirinden farklı olarak ele alır.

2.3.2 $I''_k, i_p, I_b, I_{basym}, I_k$ 'nın hesaplanması

IEC 909 yönteminin temeli süperpozisyon yönteminin bir yaklaşıklığıdır. Bu yaklaşım bir önceki durumu ihmal eder ve hatalı noktada eşdeğer bir gerilim kaynağı olan $c \cdot U_N$ 'i dikkate alır. Sonuçlar bazı düzeltme katsayıları kullanılarak yeterli düzeyde doğru hale getirilir. Gerilim katsayısı c sistem gerilimine göre farklı değerler öngörür (alçak gerilim sistemlerinde 230 V / 400 V, 50 Hz $c=1$; diğer alçak gerilim sistemlerinde $c=1.05$; orta ve yüksek gerilim sistemlerinde $c=1.1$). Bu katsayı maksimum kısa devre akımını belirleyen en doğru gerilim düzeyini oluşturmak için kullanılır. Başka bir katsayı olan K_G generatör empedansının düzeltilmiş değerinin hesaplanmasını sağlar: $Z_{GK} = K_G(R_G + jX''_G)$. Burada R_G generatörün

farklı gerilim düzeyleri ve dereceleri için X''_G subtransiyent reaktansının bir fonksiyonu olarak Standart'ın belirlediği hayali bir direnç değeridir (bu değer genelde stator direncinin gerçek değerinden daha yüksektir). Bunlardan başka, generatörler ve transformatörlerin birbirlerinden bağımsız değerlendirilip değerlendirilmemelerine bağlı olarak, güç üniteleri için başka özel düzeltici katsayılar öngörülmüştür. Dış şebeke, iki veya üç sargılı transformatör, hava hatları ve kablolar gibi elemanların empedansları için ise Standart uygun formüller sunar. Motorlar ise rotor empedansları ile modellenirler [1]

$I''_k, I''_k = c \cdot U_n / \sqrt{3} \cdot Z_k$ şeklinde hesaplanır; burada Z_k hatalı noktadan görülen eşdeğer empedanstır; Z_k , döner makinelerin empedanslarını sadece, hata generatörlere (ve motorlara) yakın olursa içerir.

$i_p, I_b, I_{basym}, I_k'$ 'yı hesaplamak üzere, generatöre yakın veya generatörden uzak kısa devrelerin her ikisi için de farklı formüller kullanılır. Bunun nedeni bu formüllerin I''_k 'ya temelden bağımlı olmasının yanında karakteristik değerlerinin, senkron makinelerin ve/veya indüksiyon makinelerinin muhtemel katkılarından etkilenen kısa devre akımının zamana bağlı davranışdır.

Bu standart aynı zamanda şebeke biçimine (dallı veya gözlü) ve hata yerine göre farklı yaklaşımlar getirir. Dallı sistemler için toplam kısa devre akımı, basitleştirilmiş, hata noktasına bağlı bütün yollardan yapılan etkilerin cebirsel toplamı (vektörel toplamı yerine) olarak hesaplanır; diğer durumda, gözlü şebekelerde bu mümkün değildir ve farklı işlemler uygulanabilir.

i_p 'nin hesaplanması: Dallı ve gözlü şebeke sistemlerini birbirinden ayırmak şarttır.

Dallı şebeke durumunda i_p , hata noktasına düşen i_{th} yolundan i_{pi} katkılarının toplamıdır. Her, $i_{pi} = K_i \sqrt{2I''_{ki}}$ olarak ki burada K_i katsayısı ilgili elemanın X/R oranına (bir formülle veya grafikte) bağlıdır, I''_{ki} 'nin bir fonksiyonu şeklinde hesaplanır.

Gözlü şebeke durumunda, her yoldaki kısa devre akımının davranışı

bütün şebeke parametrelerine bağlı olduğundan, i_p 'in doğrudan belirlenmesi için eşdeğer bir X/R oranı hesaplamak amacıyla, IEC 909 üç farklı yaklaşık yöntem (A, B ve C olarak adlandırılmıştır) öngörür.

Yöntem A: Eğer tek bir R/X oranı söz konusuysa, şebekenin her dalının en küçük R/X oranını dikkate alan standart şekilden (IEC 909 sayfa 47 şekil 8) elde edilen katsayı kullanılır. Burada, anma geriliminde, birlikte kısa devre akımının %80'ini taşıyan dalları seçmek gereklidir. Her dal birçok elemanın seri kombinasyonu olabilir.

Yöntem B: Kısa devre noktasındaki R/X oranına dayanan ve metod A'da kullanılan şekil 8'den bir çarpım katsayısı belirlenir ve emniyet açısından bu değer 1,15 ile çarpılır.

Yöntem C: Çarpım katsayısını belirlemek üzere eşdeğer bir frekans şebekesi hesaplanır.

Bu düzeltici metodlar kısa devre akımının tepe değerinin ve periyodik olmayan dc bileşenin belirlenmesini sağlar. Tepe değerin çarpım katsayısı IEC grafiğinden veya aşağıdaki denklemden hesaplanır:

Tepe değer katsayısı:

$$1,02 + 0,98.e^{-3R/X} \quad (2.25)$$

Burada R/X direnç/reaktans oranıdır.

I_b 'nin hesaplanması: Kesme akımlarının hesaplanmasında, motorlar, toplam I''_{kG} motor katkılarının değeri, motorlar ihmal edildiğinde hesaplanan I''_k değerinin %5'inden fazlaysa motorlar yakın olarak kabul edilir. Aksi durumda motorlar uzak kabul edilir. Terminal uçları kısa devre edilmiş asenkron motorlar için özel bir yöntem uygulanır. Senkron makineler, I''_{kG} akımları anma akımlarının iki katından büyükse yakın aksi taktirde uzak kabul edilirler. Generatörden uzak kısa devrede, şebeke yapısından bağımsız olarak $I_b = I''_k = I_k$ ifadesi doğrudur. Generatöre yakın kısa devre durumunda dallı ve gözlü şebekeler arasında ayırım yapmak şarttır.

Dallı şebekeler: I_b , farklı I_{bi} etkilerinin toplamı olarak ifade edilebilir,

burada $I_{bi} = \mu_i q_i I_k''$ 'dir. μ_i faktörü, ele alınan t_m değerlerinin 0,02, 0,05, 0,1 ve ≥ 0.25 olduğu ve I_{ri} 'nin i_{th} ile ilgili makinenin ölçülen akımı olduğu minimum kontak ayrılma zamanı t_m ve I_{ki}'' / I_{ri} oranının bir fonksiyonu olarak bir formül veya grafikte belirlenebilir; dış şebeke kaynakları için $\mu_i=1$ olarak alınmıştır. q_i faktörü ilgili dal, bir indüksiyon motoru olmadıkça 1'e eşit alınır. Son durumda $q_i (\leq 1)$, t_m 'nin ve çift kutup ve anma gücünün bir fonksiyonudur;

Gözlü şebekeler: daha karmaşık bir formülün yaklaşıklığına göre $I_b = I_k''$ kabul edilebilir.

I_{basym} 'in hesaplanması:

$$I_{basym} = \sqrt{I_b^2 + i_{dc}^2} \quad (2.26)$$

i_{dc} bileşeni t_m anında (I_b 'de olduğu gibi) aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$i_{dc} = \sqrt{2} I_k'' \exp(-2. \pi. f. t. R / X) \quad (2.27)$$

Burada X/R oranının değeri dallı veya gözlü şebeke yapısına göre farklı biçimde hesaplanmıştır.

Dallı şebeke: $i_{dc} = \sum i_{dc i}$, burada her dal için (2.27) kendine özgü X/R ile ele alınır.

Gözlü şebeke: i_{dc} , (2.27) kullanılarak doğrudan hesaplanır, burada eşdeğer X/R oranı, standardın i_p 'yi hesaplamak için öngördüğü B veya C yöntemlerinden biri kullanılarak hesaplanabilir. $i_{dc i}$ tekil katkılarının hesaplanması hakkında herhangi bir şey belirtilmemiştir.

I_k 'nin hesaplanması: Generatörden uzak veya generatöre yakın hatalarda iki farklı yöntem uygulanır. İlkinde, I_k, I_k'' 'ye eşit alınır; diğerinde ise akımın davranışını etkileyen birçok parametre dikkate alınmalıdır: manyetik devre doyması, tahrik türü ve tepe gerilimi, otomatik gerilim

regülatörü, makine türü (turbo jeneratör veya çıkık kutuplu jeneratör). IEC 909 standardı her makine türü için, $I_{k\max}$ ve $I_{k\min}$ 'in I''_{kG} / I_{rG} oranına, $I_{k\max}$ durumunda ise doğru eksen senkron reaktansın doyma değerine bağlı olan iki grafik öngörür. [1]



2.4 ANSI standardının açıklanması

2.4.1 Giriş

1945-1965 yılları arasındaki savaş sonrası dönemde uluslararası elektrik ekipman pazarına Amerikan üreticiler hakimdi. Bunun sonucu olarak, American National Standards Institute (ANSI) standartları doğal olarak dünya standardı haline geldi. Küçük değişikliklerle Kanada'nın endüstri standartları genellikle ortak bir noktada toplanmış standartlar olan ANSI standartlarına göre şekillendirilmiştir.

Son yirmi yılda, dünya elektrik ekipmanları pazarında büyük Amerikan elektrik üreticilerinin gittikçe azalmasına şahit olunmuştur. Bu gelişmeye, çağa ayak uyduramayan Amerikan teknolojisi, güç kazanan dolar ve saldırgan yabancı rakip firmalardan dolayı zayıflayan Amerikan pazarı neden olurken; Amerikalı mühendisler Amerikan ve Kanada kökenli güç sistemlerindeki ithal güç kesicilerinin uygulamalarıyla gitgide daha fazla ilgilenmeye başlamışlardır. Bu tür uygulamalar yabancı ülkelerde faaliyet gösteren Amerikan sanayi ile kısıtlı kalmamış Amerika ve Kanada'daki uygulamaları da artan bir şekilde kapsamıştır.

Yabancı kökenli ekipmanlar ve Amerikan hesap yöntemleri arasındaki ilişkinin belirsiz olması, yalnız standart oluşturan kurumların yanıtlayabileceği soruların ortaya çıkmasına neden olmuştur. American National Standards Institute (ANSI), IEEE'nin Almanya'daki eşdeğer kuruluşu olan Verein Deutscher Electrotechniker (VDE) ve International Electrotechnical Commission (IEC) komiteleri, güç kesicileri uygulamaları konusunda kabul edilebilir uluslararası bir standart oluşturma yönünde titiz çalışmalar yürütmüşler ve ciddi ilerlemeler kaydetmişlerdir. Ancak, bu tür standartların gerilim, frekans, sürekli akım, ısı yükselmesi, güç artışı, kapasitif yüklerin devreye alınması v.b.'yi kapsamaması gerektiği göz önüne alındığında, bu gibi çalışmalara ilişkin mühendislikle ilgili ticari ve politik karmaşıklıklar ortaya çıkmaktadır.

Amerikan ekipman ve uygulamaları için çoğunlukla ANSI standartları kullanılmaktadır. Kesicinin kesme kapasitesinin kullanım alanına uygun olarak uyarlanabildiğinden emin olmak için, kesicinin öngörülen kapasitesine ulaşabildiğini göstermek üzere, ANSI'nın önerdiği test yönteminin (ANSI C37.09-1979) titizlikle uygulanması şarttır (ANSI C37.13-1979). Ayrıca, kullanım alanını belirlemek için, ANSI'ya dayanan bir kısa devre hesaplama yöntemi (ANSI C37.010-1979 veya C37.13-1981) izlenir. Uygun bir kesici seçimi, spesifik değer ve kapasitesinin (ilk çevrim veya açma-kapama ve kesme v.b.) ilgili kısa devre değerlerini (ilk çevrim, üç çevrim v.b.) aşmasını gerektirir.

Amerikan pazarındaki uygulamalarda kullanılan dış kaynaklı ekipmanlar için uygulanan yöntem kısa süre önce çok daha az karmaşık duruma getirilmiştir. Bunun nedeni bazı dış kaynaklı ekipmanların da ANSI derecesine uyarlanmış olmasıdır. Bu derece belirtilmemişse, iki çözüme ulaşılabilir. İlk olarak, yabancı üreticilerin, kesicilerini ANSI'de öngörülen testlere tabi tutarak, ANSI derece ve kapasitelerini tayin etme zorunluluğudur. Alternatif olarak, bilgisayar sonuçları tebdil edilerek, yabancı derecelerle direkt olarak karşılaştırılabilen kısa devre değerleri elde edilebilir. Buna ilave olarak U.S. endüstrisi yabancı prosedürlerin güncelleştirilmiş hallerini takip etmek ve muhafaza etmek zorundadır.

Amerika'da kesicilerin kesme derecelerini belirlemenin önemi 1940'ların başında ortaya çıkmıştır (ASA C37.6-1941 'American Standards Association' (ANSI'den önce gelen standart)). Hesaplama yöntem ve teknikleri oldukça ağırdı. *Electrical World*'ün 3 Ağustos tarihli makalesinde dc şebeke analizörünün hata akımı hesaplamalarını hızlandığı öne sürüldü. Bunun sonucunda ac şebeke analizörü, şebekenin hem direnç hem de reaktans bileşenleriyle gösterilimine mücade etti.

ASA C37.5-1953 Standardı 'toplam akım tabanlı derece'yi öne sürdü dengeli hata akımını hesaplamak üzere basit 'genel' bir yöntem geliştirdi. Hata seviyesinin 500 MVA'dan düşük olduğu durumlarda, çoğunlukla kullanılan 8 çevrim kesicileri için toplam dengesiz kesme akımını belirlemek üzere kullanılan katsayı basitçe 1.0'dır. Bu basitlik, geçici ve kesme

değerleri için, generatör ve motorların gösterilimine de yansıtılmıştır. En büyük değişiklik 1964 yılında 'Dengeli akım tabanlı derece' kavramı gündeme geldiğinde olmuştur ve C37.5-1953 yerini C37.05-1964'e bırakmıştır .

Karmaşık bir sistemdeki kısa devre hesabında, sadece basit hesap yöntem ve gereçleri kullanılırken, istenilen doğruluk derecesine ulaşmak için ampirik yöntemler benimsenmiştir. Bundan önceki standartlar ve şu an güncel olan ANSI standardı (C37.06-1979 ve C37.010-1979) temelde ampirik yöntemlere dayandırılmıştır. Şu an güncelliğini koruyan ANSI standardı uzun deneylerin sonucunda ortaya çıkmış ampirik yöntemlere, ileri düzeyde bilgisayarlara ve dijital hesap yöntemlerine güvenmektedir [6].

2.4.2 Hesap yöntemi

ANSI C37.010-1979 orta ve yüksek gerilim (1000V ve üzeri) için, ANSI C37.013-1981 ise alçak gerilim için geçerli olan standartlardır.

Alçak gerilim standardı her güçteki asenkron makineler dahil, tüm makinelerin empedans şebekesine dahil edilmesini öngörür. Burada bütün makineler subtransiyent empedansları ile gösterilir. Alçak gerilim şebekesinde, şalterlerin kesme kapasiteleriyle karşılaştırma yapmak amacıyla dengeli akımlar hesaplanır. Eğer kısa devre noktasından görülen X/R değeri 6,6 değerini aşarsa, alçak gerilim şalterlerinin test değerleriyle kıyaslama yapabilmek amacıyla, hesaplanan dengeli kısa devre akımı bazı katsayılar ile çarpılır. Hesaplanan değerlerin etiket değerleriyle karşılaştırılmasından önce hesaplanan değerlerin doğrudan mukayesesine etki eden tamamlayıcı faktörler kullanılır (tablo 2.2)

Tablo 2.2 ANSI hesaplamaları için reaktans katsayıları [6]

KESİCİ TİPİ	Y.G. KESİCİLER (> 600 V)		A.G. KESİCİLER
UYGULANAN STANDART	C37.010 - 1979		C37.13 - 1981
	İlk çevrim	Kesme	İlk çevrim
Şebeke beslemesi	X_s	X_s	X_s
Generatör	X''_d	X''_d	X''_d
Senkron Makineler	X''_d	$1,5.X''_d$	X''_d
Asenkron makineler			
> 1000 hp	$X.I_r$	$1,5.X.I_r$	$X.I_r$
250 - 1000 hp - 2P	$X.I_r$	$1,5.X.I_r$	$X.I_r$
50 - 1000 hp - diğer	$1,2.X.I_r$	$3,0.X.I_r$	$1,67.X.I_r$
< 50 hp	ihmal	ihmal	$X.I_r$

ANSI C37.010-1979 standardının amacı (alçak gerilimde olduğu gibi) 1000V ve üstünde tesis edilmiş orta ve yüksek gerilim kesicilerine (dengeli akım bazında boyutlandırılmış) iyi bir boyut sağlamaktır [1].

ANSI Standardı, elektrik sistemini, eşdeğer bir reaktans ile ideal bir E gerilim kaynağı tarafından (p.u. ile ifade edilir) oluşturulan eşdeğer bir şebekeye indirgeyerek kısa devre akımlarının basitçe hesaplanmasına olanak tanır. Gerilimin değeri E hata noktasındaki en yüksek işletme gerilimidir ve hata öncesi gerilimi temsil eder. İşletme geriliminin bilinmediği birçok durumda, nominal gerilim kullanılır.

Uygun düzeltme katsayıları aracılığıyla (tablo 2.2.), ANSI Standardı kısa devre akımının hem doğru akım hem de alternatif akım düşüşünü dikkate alır. Doğru akım düşüşü, hata noktasından görülen empedans eşdeğerinin X/R oranıyla belirlenir; alternatif akım düşüşü ise asenkron motorlar ve senkron generatörler gibi sistemdeki döner makinelerin davranışını dikkate alır. Alternatif akım düşüşü ile ilgili olarak iki olasılık

dikkate alınır: döner makinelerin hata yerine yakın veya hata yerinden uzak olması.

ANSI Standardının amacı, her ne kadar eski tip kesiciler toplam akım bazında seçilebilseler de, ANSI C37.04-1979 ve ANSI C37.06-1987'de öngörülen dengeli akım bazında boyutlandırılmış kesiciler için, dengeli bir efektif akım belirlemektir. Göz önüne alınan hatalar dengeli ve dengesizdir; Standard, özellikle üç faz ve faz-toprak hatalarını dikkate alır.

ANSI C37.010-1979 üç tür değeri dikkate alır: (a) ilk-çevrim değeri, (b) kontak ayrılma değeri ve (c) zaman gecikmeli röleler için kısa devre akımı.

Yukarıdaki değerlerden her biri farklı bir şebeke kullanılarak hesaplanır. Bu değerlerin özellikleri belirtilen ANSI standardına gönderme yapılarak tasvir edilir ve yorumlanır.

(a) İlk-çevrim değeri: Yarım çevrim akımın efektif değeridir ve hatadan sonra ilk çevrim boyunca oluşan etkilerin incelenmesine imkan tanır. Bunu hesaplamak için, bir ilk çevrim şebekesi kurulmalıdır. Bu ise statik yük empedanslarını ihmal etmeyi, dal empedanslarını kullanmayı ve döner makinelerin subtransiyent empedanslarını, alternatif akım düşüşlerini dikkate alan katsayılar ile düzeltmeyi gerektirir. Empedanslar yerine reaktanslar kullanılabilir. Döner makine katsayıları tablolar halinde verilmiştir. Özellikle asenkron motorlar, nominal güçleri ve kutup sayılarına göre 3 grupta sınıflandırılabilir. İlk çevrim değerinin hesaplanması, lokal veya uzak kısa devre akım kaynakları hakkında herhangi bir değerlendirme yapmayı gerektirmez.

X eşdeğer reaktansı elde edildikten sonra, ilk çevrim değeri E/X (dengeli, efektif) olarak geliştirilebilir. Bu dengeli değer, kesicinin açma-kapama kapasitesinden daha düşük olmalıdır ve doğru akım bileşen düşüşünü dikkate almaz. Böylece E/X 'i 1,6 katsayısı ile çarparak dengesiz değeri (efektif) hesaplamak mümkündür; ayrıca E/X 2,7 ile çarpıldığında, ilk çevrim kısa devre akımının tepe değeri bulunabilir. 1,6 ve 2,7 değerleri ampirik deneysel olarak bulunmamıştır ve aşağıdaki formülden çıkarılabilir:

$$S_{rms} = \sqrt{1 + 2 \exp(-4\pi f t R / X)} \quad (2.29)$$

$$S_{peak} = \sqrt{2} [1 + \exp(-2\pi f t R / X)] \quad (2.30)$$

f frekans, X ve R ilk çevrim şebekesinin eşdeğer reaktansı ve direncidir. Aslında, 1,6 ve 2,7 katsayıları $X/R \cong 25$ alınarak (2.29) ve (2.30)'den çıkartılmıştır. Buna rağmen, (2.29) ve (2.30)'un ortak eksponansiyel biçimi nedeniyle, daha önce belirtilmiş katsayıları tespit eden X/R değeri standartta 15'e eşit olarak gösterilmiştir; bu değer kontak ayrılma anındaki değeri hesaplamak için izlenen farklı prosedürlere ilişkin olarak açıkça ANSI Standardı tarafından oluşturulmuştur. (bkz aşağıdaki (b) maddesi).

Standard, X ve R 'yi hesaplamak için biri yalnızca reaktanslardan, diğeri yalnızca dirençlerden oluşan iki farklı şebeke önerir. Bu prosedür, X ve R 'nin sırasıyla sanal ve reel kısım olduğu karmaşık empedans modelinden daha kesindir. [1]

(b) Kontak ayrılma anı: Kesici kutuplarının ayrılma anında devreden geçen akımın efektif değeridir. Standartta, minimum kontak ayrılma anı 1.5-4 çevrim aralığında olan kesiciler dikkate alınır. Hata öncesi gerilim kaynağından ve eşdeğer empedanstan oluşan bir kesme şebekesi oluşturulmalıdır. Bu eşdeğer empedans (veya standardın izin verdiği gibi sadece reaktans X) önceki (a) maddesindeki gibi hesaplanır; döner makinelerin subtransiyent reaktanslarının çarpım katsayıları farklıdır, çünkü minimum kontak ayrılma süresindeki alternatif akım düşüşü ilk çevrimdekenden daha büyüktür.

ANSI standardı uygun kesiciyi seçmek için iki yöntem öngörür; X/R bilinmediğinde en basit yol, dengeli kesme kapasitesi $1,25 E/X$ 'den büyük olan bir kesici seçmektir. Aksi takdirde, X/R oranını incelemek gerekir ve sistemdeki dirençler hakkında bilgi gereklidir. X/R 15'den düşükse kesicinin dengeli kapasitesi $\geq E/X$ olarak seçilebilir; aksi takdirde, ("a.c. ve d.c. düşüşü için ayarlama" şeklinde adlandırılan) daha ayrıntılı bir yöntem söz konusu olur.

Bu yöntemi takiben, E/X hesaplandığında, zamana göre değişken olan ve X/R oranına bağlı olan uygun bir düzeltme katsayısı kullanılarak (burada F olarak adlandırılmıştır) kesiciyi seçmek mümkündür; kesicinin ölçülen dengeli kesme kapasitesi $F.E/X$ 'den büyük olmalıdır. Bu şekilde seçilen kesici toplam (dengesiz) kısa devre akımı için de yeterlidir.

İki dizi grafik F faktörünü evalüe etmek için standardın 5.3.2 bölümünde bulunmaktadır; bir lokal grafik ve bir uzak grafik. Çoğunlukla yakın generatörlerden beslenen hatalara ilişkin olan ilki hem a.c. hem de d.c. düşüşünü dikkate alır ve sadece deneysel olarak bulunur. İkinci eğri generatörden uzak hatalara ilişkindir ve sadece doğru akım düşüşünü dikkate alır. Bu durumda F analitik olarak X/R 'nin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Hem lokal hem de uzak kaynaklar mevcutsa hangi eğriye ihtiyaç olduğuna karar vermek kolay değildir. Daha tutucu olan yöntem, daha yüksek olan katsayı yani daha uzak eğriye ilişkin olanı kullanmaktan oluşur. Hataya tekil katılımlar için bir enterpolasyon tekniği kullanılmıştır, her katılım için farklı bir çarpım katsayısı kullanılır.

(c) Zaman gecikmeli röle cihazları için kısa devre akımları: 6 çevrimin ötesindeki zaman gecikmeli röle cihazlarının kullanımı durumunda bu akımı hesaplamak gerekir. Kısa devre akımı E/X olarak hesaplanır; burada ilgili şebeke yalnızca generatörler ile, hatlar ve transformatörler gibi pasif elemanlarla ve motor etkilerini ihmal ederek oluşturulmalıdır. Generatörler, transiyent reaktansları ile veya alternatif akım düşüşünü dikkate alan daha büyük değerde bir reaktans ile temsil edilir; bundan başka doğru akım bileşeni sıfır olarak alınır.

BÖLÜM 3

KISA DEVRE AKIMININ DİNAMİK SİMÜLASYONU

3.1 Dinamik kısa devre hesap yöntemleri

Bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi, elektrik mühendislerine, kısa devre hesaplamaları için statik hesap yöntemlerinden farklı bir alternatifi de beraberinde getirmiştir. Çeşitli tip bilgisayarlar yardımıyla, hata noktasındaki kısa devre akımının değeri, sistemin dinamik cevabı da göz önünde bulundurularak hesaplanabilmektedir. Sistemin tüm zaman sabitleri her hata noktası için hesaplanabilmekte, yük akışı çalışmaları yardımıyla hata öncesi gerilimler dikkate alınabilmektedir. Doğru hesap için atalet sabitlerinin ve regülatörlerin etkisi de göz önüne alınabilmektedir. Eğer bu yapılsa algoritma oldukça karmaşık bir hal alır ki, yapılan çalışma bir kısa devre analizinden çok, bir dinamik kararlılık analizi olarak dikkate alınmak zorundadır. Bu tür analizler için kullanılan algoritmalar genellikle, ANSI ve VDE / IEC yöntemleriyle doğrudan kıyaslanabilen sonuçlar ortaya çıkarır. Bu yeni yaklaşımı destekleyen elektriksel teori aslında yeni olmayıp, yıllar önce üç fazlı teori ortaya çıktığında formüle edilmiştir ve gerçekte ANSI, VDE / IEC standartlarının da temelini oluşturmaktadır. Tahmin edileceği gibi kısa devre akımlarının dinamik hesap yöntemi oldukça fazla veri gerektirir. Dolayısıyla bu yaklaşımın uygulanabilirliği, belirli yazılım paketlerinin, çok detaylı makine ve sistem parametrelerini depolayıp işleyebilmesindeki kolaylığa bağlıdır. Açıktır ki, alçak gerilim motorları gibi sıklıkla kullanılan cihazların tipik parametreleri de bu yöntem için gereklidir.

Son 25 yılda çok sayıda dinamik tarzda bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bunların büyük çoğunluğu aslında güç sistemlerinin kararlılığını inceleyen karmaşık yazılımlar olup, kısa devre akımını

hesaplamakla kalmayıp, sistemin mekanik transiyentlerini, düzenek ve AVR cevaplarının etkilerini de incelemektedir. Bununla birlikte, kısa devre analizini zamanın fonksiyonu olarak, tam bir dinamik kararlılık analizi için gerekli sözü geçen tüm verilere ihtiyaç duymadan ve daha düşük bir hesaplama süresi içinde inceleyebilen özel yazılımlar da geliştirilmiştir. Bu tarz bir algoritma içinde tanımlanan sistem daha basit olarak gözüксе de, doğruluk derecesi, kararlılık modelleriyle, belirli zaman ölçüleri içinde kıyaslanabilir veya daha yüksek olabilmektedir. Bunun sebebi, kararlılık programlarının makine ve sistem kararlılığını modellemek üzere yazılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Kısa devre akımının dc bileşeni kararlılık için önemli olmadığı için, özellikle bu amaç için geliştirilmiş olan dinamik kısa devre programlarındaki kadar doğru modellenemez. Bununla birlikte, bilgisayar ve veri tabanı alanındaki gelişmeler ve dinamik kısa devre programlarının kararlılık programlarıyla birçok ortak veriyi paylaşması göz önüne alındığında, bu tarz programların, güç sistemleriyle ilgili büyük yazılım paketlerinin bir parçası olarak kullanılması daha avantajlı olarak görülmektedir. Bu paket, genelleştirilmiş AVR ve düzenek modellerini oluşturmak için gerekli olan regülatör tasarım basitliğinin ışığında dinamik kararlılık ve yük akışı için ihtiyaç duyulan veri tabanını içerir. Bu tarz bir program, İngiltere’de CEGB’nin (British Central Electrical Generating Board) desteğinde geliştirilmiş olup, yaklaşık on yıldan beri geniş ölçüde kullanılmaktadır.

3.2 Dinamik kısa devre algoritmasının gelişmesi

Dinamik kısa devre algoritmaları, standart yöntemlerin yerel beslemeli güç sistemlerine, büyük sürücülere ve enterkonekte şebekelerdeki büyük motor gruplarına uygulandığında ortaya çıkan gerçeği tam olarak yansıtmayan sonuçlarını önlemek için geliştirilmiştir. Katı matematiksel yöntemlerle hesaplanan dc bileşenleri göstermiştir ki, enterkonekte şebekelerdeki hata akımlarının asimetrisi artmaktadır. Bazı durumlarda bu dc bileşen seviyeleri, belirli ulusal standartlara göre üretilmiş devre

kesicilere tanınan oranların üzerine çıkabilmektedir. Dinamik kısa devre algoritmalarının gelişimini hızlandıran çalışmalar elektrik güç teknolojisindeki ilerlemelere ışık tutmuştur [7].

1) Motor ünitelerinin ve motor gruplarının güçleri gittikçe artmaktadır. Bu durum, motor kısa devre katkılarını en uzak baralarda bile önemli hale getirmektedir.

2) Hızlı koruma süreleri, motor katkılarının önemini artırmaktadır. Motorun hata akımına olan katkısındaki eksponansiyel düşüşün zaman sabitlerinin üç çevrim boyunca olması göz önünde bulundurularak, üç ve altı çevrim işlemleri arasındaki farkın önemi anlaşılabılır.

3) Motorların dağıtım şebekesinin uzak baralardaki kısa devrelere olan katkılarında kullanılan ampirik ve diğer yardımcı katsayılar, petrol platformları, yardımcı güç ünite sistemleri, kojenerasyon, v.b. gibi büyük enterkonekte şebekelere uygulanmaz.

İlk incelemeler göstermiştir ki, makinelerin uçları ile hata noktası arasından görülen empedansının hesaplanması için kullanılan her statik şebeke yöntemi önemli hataları da beraberinde getirmektedir. Bu sebepten dolayı bir iterasyon yaklaşımının kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu yaklaşımın temel gerekleri şöyledir:

i) Makinenin kısa devre davranışını zamanın fonksiyonu olarak modelleyerek, senkron ve asenkron makinelerinin katkılarının hata oluşumundan sonra istenilen tüm zamanlarda doğru bir şekilde hesaplanmasını ve toplanmasını mümkün kılmak.

ii) Şebekenin makinenin zaman sabitleri üzerine olan etkisini hesaplamak ve böylece değişik tip birçok makinenin uzak baralarda oluşan hatalardaki katkılarının hesaplanmasında keyfi değer yargılarından veya ampirik katsayılar kullanılmasından kaçınmak.

iii) Hata akımının, düşüşü büyük çoğunlukla şebeke kayıpları tarafından kontrol edilen tek yönlü bileşenlerinin modellenmesine önem göstermek.

Proses, makinelerin, uygun reaktans ve standart kısa devre zaman sabitleri kullanılarak modellenmesiyle başlar. Şebekede dolaşan hata

akımlarının ilk tahmininden her makine tarafından görülen etkin dış şebeke empedansı hesaplanır. Dış empedanslar daha sonra, modifiye edilmiş makine zaman sabitlerini ve reaktanslarını hesaplamak için kullanılır ki buradan da hata akımlarının güncelleştirilmiş bir değeri elde edilir. Proses, hesaplanan düzeltmeler belirli bir toleransın altında kalana dek sürer.

Bu yöntemin kaynakların hesaplanmasında uzun ve ağır bir proses öngörmekte olduğu açıktır. Bu da, çeşitli kısaltma tekniklerinin kullanımıyla minimize edilir. Ayrıca, hata akımına ilişkin ilk tahmin, gerçek mühendislik terimleri açısından kabul edilemeyecek kadar büyük bir hata içerse de, gerçekten çok çabuk yakınsayan iteratif çevrim için mükemmel bir yaklaşıktır. Senkron makine modeli aşağıdaki denklemlere dayanır:

$$Y_{ac} = \frac{1}{X_d + X_e} + \left(\frac{1}{X'_d + X_e} - \frac{1}{X_d + X_e} \right) \exp(-t/T'_d) + \left(\frac{1}{X''_d + X_e} - \frac{1}{X'_d + X_e} \right) \exp(-t/T''_d) \quad (3.1)$$

$$T'_d = \frac{X'_d + X_e}{X_d + X_e} T'_{do} \quad (3.2)$$

$$T''_d = \frac{X''_d + X_e}{X'_d + X_e} T''_{do} \quad (3.3)$$

$$Y_{dc} = \frac{1}{X_2 + X_e} \exp(-t/T_a) \quad (3.4)$$

Burada;

$$T_a = (X_2 + X_e) / w(R_a + R_e) \quad (3.5)$$

'dir.

Asenkron makineler benzer şekilde modellenebilmekle birlikte çalışma ve yol alma parametreleri yardımıyla daha doğru olarak modellenebilir:

$$Y_{ac} = \frac{1}{X_{st} + X_e} \exp(-t / T') \quad (3.6)$$

Burada;

$$T' = [X_s + X_e + X_r(s=1)] / wR_r(s=0) \quad (3.7)$$

'dir.

$$Y_{dc} = \frac{1}{X_{st} + X_e} \exp(-t / T_a) \quad (3.8)$$

Burada;

$$T_a = [X_s + X_e + X_r(s=1)] / w(R_s + R_e) \quad (3.9)$$

'dir.

İkinci model geniş ölçekli testlere dayanır ve daha çok okunabilir mevcut veri kullanır. Tipik şebeke ve makine verileriyle, iteratif sonuç, iki iterasyon sonunda son değerin % 2 içinde kalır. Bu çalışma tamamlandığında ilginç bir sonuç ortaya çıkar: Makine modeline ilaveten yapılan her hassas ayar, şebekeden doğan zaman sabitlerindeki değişimi hesaplayan yöntemle kıyasla, hata akımı üzerinde daha az bir etki yaratmaktadır.

Kısa devre algoritması, mekanik zaman sabitlerinin ve alan zorlamasının etkilerini göz önüne almadığından kararlılık modeliyle aynı miktarda veriye ihtiyaç duymaz. Bu etkiler göz önüne alınacaksa, bunları dinamik bir kararlılık algoritmasıyla modellemek üzere, ortak giriş verilerini kullanan bir seçenek mevcuttur. Kısa devre, yük akışı ve kararlılık algoritmaları gerektiğinde, kullanıcının görebileceği bir şekilde ve ortak bir kontrol menüsü yardımıyla verileri kendi aralarında aktarabilirler.

İlk bakışta asenkron motorlar için gerekli olan X_s stator reaktansı, $X_r(s=1)$ başlangıç rotor reaktansı, $R_r(s=0)$ çalışma rotor direnci v.b. gibi verilerin elde edilmesi oldukça zor gözükabilir. Bununla birlikte, bu veriler motor etiket değerlerinden okunarak elde edilebilir. Verilerin okunarak elde edilemeyebildiği alçak gerilim motorlarında veya mevcut tesislerde, mühendisin veri tabanından tipik verileri alarak, motor kalkış akımı ve güç faktöründen uygun bir stator direnci hesaplama ya da motoru bir asenkron makine olarak modelleme imkanı vardır. Herhangi bir sonucun hatasının, verilerdeki hatayla yöntemdeki hatanın toplamı olduğu göz önüne alınsa bile, açıktır ki yukarıdaki yaklaşımların her biri ampirik katsayılar kullanılarak elde edilen sonuçlardan muhtemelen daha güvenilir sonuçlar verecektir.

Senkron makinenin en ayrıntılı modeli senkron, transiyent ve subtransiyent empedanslar ile birlikte zaman sabitlerini de gerektirir. Bu tarz bir modelleme hata akımının, kullanıcının belirlediği herhangi bir zamandaki tepe, dengesiz ve ani dc değerlerinin hesaplanmasına olanak tanır. Daha basit senkron makine gösterilimi, şebeke hata akım kaynaklarının zamandan bağımsız olma özelliği kullanılarak modellenenir. Bu durumda kaynak generatörün R_a ve X_s parametreleri yerine şebekenin eşdeğer X ve R değerleri girilir. Dinamik yöntemlerle hesaplanan dengesiz efektif değerleri ANSI devre kesicilerinin geçici ve kesme değerleriyle direkt olarak karşılaştırılabilir. Dengeli efektif değerleri 8,33 ms'de veya 60 Hz'de yarım çevrimde tanımlandığı zaman direkt olarak ANSI alçak gerilim şalterlerinin kesme kapasiteleri ile karşılaştırılabilir. Kısa devrenin tepe değerleri VDE yöntemindeki hesaplarla karşılaştırılmak için kullanılır. Yüksek gerilim kesicilerinin dengeli kısa devre durumu VDE'de elde edilen değerlerle kıyaslanabilir; bununla birlikte bu durum orta gerilim ANSI kesicileri için hesaplanan dengeli durumla kıyaslanamaz. Bu olay, ANSI dengeli durumlarının kontak ayrılma anında tanımlanmamasına karşın, dinamik olarak hesaplanan değerlerin seçilen her zamana uygulanabilmesiyle açıklanabilir.

Bugüne kadar standartlar ve dinamik simülasyonun karşılaştırılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, OLAF E.R. dinamik kısa devre yöntemini ANSI

standartıyla örnek bir şebeke modeli üzerinde karşılaştırmış, orta ve alçak gerilimdeki sonuç farklılıklarını yorumlamıştır [7], F. CASTELLI-DEZZA EMTP ile VDE / IEC standardını, alçak gerilim, motor katkılı orta gerilim ve generatör ve motor yakını yüksek, orta ve alçak gerilim olmak üzere üç farklı şebeke modelinde karşılaştırmış ve yorumlamıştır [4], A. BERIZZI fazla sayıda motor katkılı bir şebeke modelinde VDE / IEC standardını ANSI standardıyla, EMTP'yi referans kabul edip karşılaştırmıştır [1], G. KNIGHT VDE / IEC standardını ANSI standardıyla, hesap yöntemindeki farklılıklara dikkat çekerek yorumsuz olarak karşılaştırmıştır [5], J.R. DUNKI ANSI standardı ile dinamik hesap yöntemini örnek şebeke modeli üzerinde karşılaştırarak yöntemler ve sonuçlar arasındaki farkları yorumlamıştır [6], CONRAD R. ST. PIERRE ise kendi geliştirdiği ve temelini ANSI standardından alan bir kısa devre bilgisayar programını büyük gözlü bir şebekeye uygulayarak sonuçları sunmuştur [8].

BÖLÜM 4

EMTP'DE VERİ DOSYALARININ HAZIRLANMASI

4.1 Giriş

EMTP (Electromagnetic Transients Program), güç sistemlerindeki transiyent olayların analizinde tüm dünya tarafından yaygınlıkla kullanılan etkin ve çok yönlü bir bilgisayar programıdır. EMTP ilk olarak altmışlı yılların sonlarına doğru Dr.Hermann Dommel tarafından geliştirilmiş ve yine aynı kişi tarafından "Bonneville Güç Yönetimi"ne getirilmiştir. Burada, Transiyent Şebeke Analizörü (TNA) için dijital bilgisayarın yerine kullanılacak bir program olarak kabul edilmiş ve bunun sonucunda TNA'yı geliştirmiştir. BPA programla ilgili birçok yenilik getirmiştir. Bununla birlikte üniversiteler de programın gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Yetmişli yılların sonlarına doğru programın geliştirilmesi ve dağıtımı için bir merkezin eksikliği hissedilmeye başlandı. Wisconsin Üniversitesi eğitim ihtiyacına kısa yaz kursları düzenleyerek cevap verdi. Bu kurs günümüzde deneyimli kullanıcıların katıldığı ileri düzey bir seminere dönüşmüştür. Programın geliştirilmesine yönelik çalışmalar 1982'de EMTP Geliştirme ve Koordinasyon Grubu'nun kurulmasıyla BPA'den çıkmaya başlamıştır. EPRI'nin katılımı 1983'de olmuştur. Bundan böyle EPRI son EMTP versiyonunu, bir öncekine atıfta bulunan bir yayınla dağıtacaktır. EPRI ayrıca EMTP kullanıcılarının eğitim ve çalışmalarının sorumluluğunu da üzerine almaktaydı.

4.2 Veri dosyaları ve kart yapıları

EMTP'de her veri dosyası, belli ve değişmez yapıda olan ve "kart" adı verilen kısımlardan meydana gelir. Bu kartların bir kısmı giriş ve çıkış parametrelerini kontrol edip işlemeye, bir kısmı da güç sistemini modellemeye yöneliktir. Tezde üç fazlı sistemlerdeki üç fazlı kısadevre olayı inceleneceğinden sadece konuyla ilgili kart yapıları incelenecektir. Öncelikle ilgili kart yapıları ve kullanılan parametreler anlatılacak, sonrasında kısadevre olayının incelendiği modeller ve sonuçları verilecektir. Veri dosyaları herhangi bir yazım programında veya editöründe hazırlanabilmektedir. Tezde A3 adında, kullanımı oldukça kolay olan bir editör programı tercih edilmiştir.

1 BEGIN NEW DATA CASE

Bu kart veri dosyasının başlangıcında kullanılmaktadır.

2 POWER FREQUENCY

Bu kart BEGIN NEW DATA CASE kartından hemen sonra kullanılmakta olup sistem frekansını tanımlı olduğu 60 Hz değerinden istenilen değere getirmek için kullanılır.

3 MISCELLANEOUS DATA CARDS

Floating-point ve integer olmak üzere iki tipte düzenlenen bu kartlar simülasyon için gerekli olan temel tanımlamaları belirlemektedirler.

a) Floating-point miscellaneous data card: Yapısı şekil (4.1)'de verilen bu kartta kullanılan parametrelerin anlamları aşağıda verilmiştir.

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
DELTAT	TMAX	XOPT	COPT	EPSILN	TOLMAT	TSTART	

Şekil 4.1 Floating-point miscellaneous data card

DELTAT: Saniye olarak integrasyon basamağı zamanını belirler. Nyquist kriterine göre bu basamak zamanı sistemin zaman sabitinde $1/2 \dots 1/10$

küçük olmalıdır. Ayrıca analizi yapılan sistemde lineer olmayan elemanlar varsa interpolasyon hatalarının küçük olması bakımından bu zamanın sistemin zaman sabitinin tam katı olmasına dikkat edilmelidir.

TMAX: Bu parametre, saniye olarak simülasyonun sona ereceği zamanı belirlemektedir.

XOPT: Dallara ilişkin kart yapısında mH olarak endüktansın mı yoksa Ω olarak reaktansın mı kullanılacağını belirler. $XOPT=0$ ya da boşluk için endüktanslar mH olarak $XOPT>0$ değeri için ise Ω olarak girilmelidir. $XOPT>0$ değeri endüktif reaktansların hesaplanacağı frekans değerini belirlemektedir.

COPT: Dallara ilişkin kart yapısında μF olarak kapasitenin mi yoksa μmho olarak kapasitif reaktansın mı kullanılacağını belirler. $COPT=0$ ya da boşluk için kapasiteler μF olarak $COPT>0$ değeri için ise μmho olarak girilmelidir. $COPT>0$ değeri kapasitif reaktansların hesaplanacağı frekans değerini belirlemektedir.

EPSILN: Reel katsayılar matrisi elemanlarının sıfır kabul edilebileceği sınırı belirleyen bu parametre için bu sınır değeri en çok kullanılan 64 bitlik hesaplar için $1.E-8$ (1.10^{-8}) ve 36 bitlik hesaplamalar için $1.E-5$ biçimindedir. Parametre için sıfır veya boşluk değeri kullanılması durumunda ise programın sınır değeri olarak STARTUP dosyasındaki değeri kullanılmaktadır.

TOLMAT: Bu parametre, sürekli hal fazör çözümüne ilişkin kompleks admitans matrisi elemanlarının sıfır kabul edilebileceği sınırı belirlemektedir. Parametre için kullanılan sıfır veya boşluk değeri için bu değer EPSILN'a eşit olmaktadır.

TSTART: Saniye olarak simülasyonun başlayacağı belirleyen bu parametre için genelde sıfır veya boşluk değeri kullanılmaktadır. Buna karşın START AGAIN özelliği için $TSTART>0$ gerekir [9].

b) İnteger miscellaneous data card: Genel yapısı şekil (4.2)'de verilen bu kart veri dosyası içinde floating-point miscellaneous data card'ından sonra kullanılan ikinci miscellaneous data karttır. Karta ilişkin parametreler ise aşağıdaki tanımlanmıştır

MAXOUT: Simülasyon esnasında program tarafından elde edilen maksimum ve minimum değerlerin program çıktısında gözükmesini sağlayan bu kontrol parametresi için, bu tip bir çıktı istenmiyorsa sıfır veya boşluk değeri kullanılmaktadır.

IPUN: Bu parametre, program çıktısının alınacağı basamak zamanını (IOUT) değiştirmek için fazladan bir kart kullanılıp kullanılmayacağını belirlemektedir. Bu şekilde bir ihtiyaç varsa parametre için -1, yoksa sıfır veya boşluk değeri kullanılmaktadır. Böylece simülasyon esnasında kullanıcı tarafından hassas olarak hesaplanması arzu edilmeyen zaman aralıklarında, çıktı alınan zaman basamağı aralığı artırılarak simülasyon için gerekli hesap süresinin kısılması sağlanır.

MEMSAV: Bu parametre, müteakip simülasyonda kullanılmak üzere hafızadaki EMTP bilgilerini sabit disk üzerine kaydedilmesini kontrol etmek amacıyla kullanılır. Böyle bir hafıza kaydı isteniyorsa parametre için bir, istenmiyorsa sıfır veya boşluk değeri kullanılmaktadır.

ICAT: Bu parametre, grafik çıktısı için hesaplanan veri noktalarının simülasyon sonunda sürekli kullanılmak üzere disk üzerinde saklanıp saklanmayacağını belirlemektedir. Böyle bir ihtiyaç yoksa parametre için sıfır veya boşluk kullanılır. Bu ihtiyacın olması durumunda ise,

ICAT=1 değeri için, veri noktaları mevcut olabilecek batch-mode plot kartları ihmal edilerek,

ICAT=2 değeri için ise, veri noktaları mevcut olabilecek batch-mode plot kartları da gözönüne alınmak suretiyle,

saklanırlar.

NENERG: Geçici olay hakkında bir fikir edinmek için tek bir simülasyonun yeterli olduğu durumlarda bu parametre için sıfır veya boşluk değeri kullanılmaktadır. Ancak STATISTICS veya SYSTEMATIC veri problemlerinde bu parametre değeri için mümkün olabilecek toplam besleme sayısı kullanılmaktadır. Bu iki problem için bir ayrım teşkil etmesi bakımından SYSTEMATIC veri problemlerinde parametre için negatif işaret kullanılmaktadır. Diğer taraftan bu tip veri problemleri için integer

miscellaneous data card'tan hemen sonra STATISTICS veya SYSTEMATIC miscellaneous data card'ın kullanılması gereklidir [9].

IPRSUP: Genelde sıfır veya boşluk değerinde olan bu parametre, kullanıcı tarafından çıktıların bölüm bölüm kontrol edilebildiği DIAGNOSTIC özel talep kartı kullanılmak istendiği takdirde pozitif bir değer almaktadır.

4 BRANCH CARDS

Branch card'lar şebekeye ilişkin dalların özelliklerini tanımlamayan kartlardır. Şebekedeki her türlü havai hat, yeraltı kablosu, reaktans, direnç ve transformatörler branch card adı verilen kart grubu altında modellenirler. Bu elemanların herbirinin birçok değişik model şekli vardır. Kullanıcı incelediği konu çerçevesinde kendine en uygun modeli seçmek durumundadır. Örneğin hatlarla ilgili bir konuda çalışılıyorsa hat modelinin detaylı olması, sonuçların gerçeğe yakın olması açısından önemlidir. Tezde kısadevre geçici olayı incelendiğinden, her türlü havai hat ve yeraltı kablosu, reaktans ve direnç ile temsil edilmiştir. Transformatör modeli ise branch cards grubunun içinde herhangi bir yerde olabilir. Aşağıda sırasıyla karşılıklı bağların olmadığı seri RLC elemanları için \$VINTAGE, 0 formatı ve üç fazlı transformatör modeli açıklanmıştır.

1 Karşılıklı bağların olmadığı seri RLC branch card:

Bu tip elemanlar için;

- Normal doğruluk formatı (\$VINTAGE, 0),
- Yüksek doğruluk formatı (\$VINTAGE, 1),
- Serbest format,

olmak üzere üç tip branch card yapısı mevcuttur. Tezde yalnızca normal doğruluk formatı kullanıldığından diğer formatlar açıklanmamıştır. Bu format yapıları [9]'dan bulunabilir.

Normal format (\$VINTAGE, 0): Bu tip kart yapıları, çok kesin hesapların gerekmediği simülasyonlarda kullanılmaktadır. Bu durumda kart üzerinde R, L, C elemanları için altı hanelik bir yer ayrılmıştır. Şekil (4.3)'den bu karta ilişkin yapı görülebilir. Veri dosyasında bu tip bir kart formatı kullanılması durumunda daha önceki branch card'ların yüksek doğruluk formatında yazıldığını gösteren \$VINTAGE, 1 özel talep kartı

C: Bu parametre, $COPT=0$ veya boşluk değeri için μF , $COPT=f(Hz)$ değeri için $\mu\Omega$ olarak (bu frekans değerinde hesaplanması amacı ile) kapasite değeridir.

OUTPUT: Program çıktısından elde edilecek dal büyüklüğünü belirleyen bu parametre için kullanılan değerler ile bu değerlerin kullanılması durumunda program çıktısından elde edilebilecek dal büyüklükleri;

OUTPUT=1: Dal akımı,

OUTPUT=2: Dal gerilimi (dal üzerindeki gerilim düşümü),

OUTPUT=3: Dal akımı ve gerilimi,

OUTPUT=4: Daldaki güç ve enerji tüketimi,

biçimindedir.

2 Transformatör

Transformatörler EMTP veri dosyası içinde branch card'ların olduğu bölümde herhangi bir alanda modellenirler. Üç fazlı bir transformatörü modellemek için tek fazlı transformatör modelinden faydalanılır. Transformatörün kalan iki fazı tek fazlı transformatör modeline benzetilerek modellenir. Bir fazlı transformatör modelinde dört adet kart kullanılır:

a) TRANSFORMER özel istek kartı

b) Akı-akım verileri

- eğer mıknatıslama direnci girilmeyecekse ihmal edilir

- lineer transformatör durumunda tek bir kart kullanılır.

- doyma etkisi gözönünde bulundurulacaksa [9]'dan elde edilebilen kart grubu kullanılır (Burada doyma ihmal edilecektir).

c) Akı-akım veri grubunun bittiğini belirten işaret kartı.

d) "N" sarım kartı.

İ) İlk önce yapısı şekil (4.4)'de verilen TRANSFORMER özel istek kartı girilir.

suretiyle girilir. Transformatörün R_k ve X_k değerleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$R_k = u_r \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (4.1)$$

$$X_k = u_x \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (4.2)$$

Burada;

u_r : transformatörün R_k kısadevre direnci üzerindeki bağıl gerilim düşümü,

u_x : transformatörün X_k kısadevre reaktansı üzerindeki bağıl gerilim düşümü,

U_N : Söz konusu sargının anma gerilimi,

S_N : Transformatörün anma gücü,

olarak verilmiştir.

Not: Direnç değeri hiçbir sınırlama olmadan boş bırakılabilir. Reaktans değeri ise, sadece birinci sargıya ait kartta ve direnç değerinin boş bırakılması şartıyla boş bırakılabilir, bunun dışında reaktans değeri sıfırdan farklı olmalıdır.

VRAT: K sargısının kV olarak anma gerilimidir.

IP: Sadece birinci sargıya ait kartta kullanılmak üzere, 1 değeri girildiğinde BUS1 düğümünden dahili BUSTOP düğümüne akan akımın zamanla değişimi elde edilir.

Buraya kadar bir fazlı iki sargılı ve doyma etkisinin ihmal edildiği transformatör modeline ilişkin kartlar verilmiştir. Üç fazlı transformatörü modellemek için öncelikle şekil (4.4), (4.5) ve (4.6)'daki kartlar girilir, daha sonra yapıları şekil (4.7) ve (4.8)'de verilen iki kart kullanılır.

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
TRANSFORMER	REFBUS		BUSTOP				
ÇAĞRI KELİMESİ							

Şekil 4.7 TRANSFORMER özel istek kartı

REFBUS: Buradaki altı karakterlik kısma daha önce 1. faza ilişkin kartta kullanılan BUSTOP ismi girilmelidir.

BUSTOP: 1. sargının dahili yıldız noktasıdır.

flag: Şönt mıknatıslama reaktans dalına ilişkin parametre olup;

flag=1: dal akımının,

flag=2: dal geriliminin,

flag=3: dal akım ve geriliminin,

zamanla değişimlerinin elde edilmesini sağlar.

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
K	BUS1	BUS2					

Şekil 4.8 "N" sargı veri kartları

K: Sargı referans numarasıdır.

BUS1, BUS2: Transformatörün K. sargısının terminal uç isimleridir.

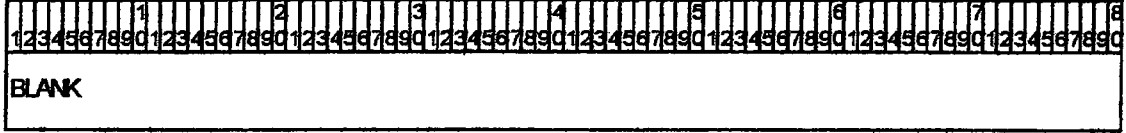
IP: Sadece birinci sargıya ait kartta kullanılmak üzere, 1 değeri girildiğinde BUS1 düğümünden dahili BUSTOP düğümüne akan akımın zamanla değişimi elde edilir.

Üç fazlı transformatör modelinde ilk olarak birinci faza ilişkin kart grupları girildikten sonra, diğer iki fazı temsil etmek üzere, şekil (4.9) ve (4.10)'da verilen kart grubu iki kez tekrarlanır.

Not: Üçgen bağlı transformatörlerin modellenmesinde, üçgen kısım havai hat tarafında değilse, bu kısmın toprağa olan yolunun tanımlanması açısından toprakla arasında uygun değerlerde kapasitelerin tanımlanması

gerekmektedir. Diğer durumda havai hattın toprağa karşı olan kapasite değerleri bu yolu tanımlamaktadır [9].

Branch card modellemelerinin sona erdiğini belirtmek amacıyla yapısı şekil (4.9)'da görülen BLANK kartı kullanılır.



Şekil 4.9 BLANK kartı

5 SWITCH CARDS

Bu kartlar şebekede kullanılan anahtarların veya kesicilerin yeri ile bu cihazlara ilişkin açma kapama zamanlarını belirlemektedir. Tezde üç fazlı kısadevre başlangıçtan çok kısa bir süre sonra kapanan ve belli bir süre sonra açılan anahtarlar yardımıyla temsil edilmiştir. Ayrıca istenilen dalların (hatların) başına koruma amaçlı kesiciler konulmak isteniyorsa, başlangıçta kapalı olan ve belli bir süre sonra (kesicinin açma süresi kadar) açılan anahtarlarla bu olayı temsil etmek mümkündür. Üç fazlı kısadevre, kısadevrenin oluşturulmak istendiği düğümün isimlerini (üç faz için ayrı ayrı) herhangi bir düğüm adı belirleyip, bu düğümle (örneğin BUS-KD) bir anahtar yardımıyla bağlayarak temsil edilmiştir. Uzun süren çalışmalardan sonra ortaya çıkmıştır ki, kısadevrenin bundan farklı her türlü modeli (a fazını b fazına, b fazını c fazına çok küçük değerde bir direnç veya bir anahtarla bağlamak suretiyle) istenilen kısadevre osilasyonunu vermemektedir. Genel yapısı şekil 4.10'da verilen bu karta ilişkin parametreler aşağıda açıklanmıştır.

1	2	3	4	5	6	7	8
123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
BUS1	BUS2	TCLOSE	TOPEN				

Şekil 4.10 Anahtar kartı

BUS1,BUS2 Anahtarın bağlı olduğu düğüm adlarını belirleyen bu parametreler, en çok altı harften meydana gelecek şekilde, switch card üzerindeki ilgili yerlerin ilk sütunundan başlamak suretiyle yazılmaktadır.

TCLOSE Bu parametre saniye olarak anahtarın kapanma zamanını belirlemektedir.

TOPEN Bu parametre saniye olarak anahtarın açılma zamanını belirlemektedir.

OUTPUT Branch card'larda da kullanılan bu parametre, anahtara ilişkin çıkış büyüklüklerini belirlemektedir. Parametre için kullanılan değerler ve anlamları branch card'larda olduğu gibidir.

Anahtarlara ilişkin kart tanımlamalarının sona erdiğini belirtmek amacıyla BLANK kartı (şekil 4.9) kullanılır.

6 SOURCE CARDS

a) Statik kaynaklar

Bu kartlar simülasyon için kullanılacak kaynak tipini ve buna ait parametreleri belirten kartlardır. Veri dosyası içinde basamak, rampa, kosinüs, dalga fonksiyonu gibi daha pek çok biçimde çıkış verebilen kaynaklar kullanılabilir. Kullanıcı inceleyeceği konuya göre kaynak tipini belirlemek durumundadır. Tezde üç fazlı kısıadevre incelendiğinden statik tip kaynakların (şebeke olarak adlandırılan) modellenmesinde 14 tipi kosinüs fonksiyonundan yararlanılmaktadır. Dinamik kaynakların modellenmesinde (senkron generatörler) ise 59 tipinde ve senkron makineye ilişkin birçok parametrenin de kullanıldığı kart kullanılmıştır. Diğer kaynak tiplerinin kart yapıları için [9]'dan yararlanılabilir.

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
14	NAME	ST	VOLT	FREQ	PHASE	A1	
							TSTART
							TSTOP

Şekil 4.11 Statik kaynak kartı

14: Bu parametre kosinüs tipi kaynağı gösteren bir sayıdır.

NAME: Kaynağın topraklanmamış uç düğümünün adının belirlemektir.

EMTP kaynağın diğer ucunu toprak olarak kabul eder.

ST: Bu parametre, kaynağın gerilim veya akım kaynağı olduğunu ayırd eder.

Sıfır veya boşluk değeri için kaynak gerilim kaynağı, -1 değeri için kaynak akım kaynağı olarak işlem görür.

AMPLITUDE: Kaynak fonksiyonunun tepe değerini belirten bu parametre için eğer bir gerilim kaynağı söz konusuysa faz-nötr geriliminin $\sqrt{2}$ katı girilmelidir.

FREQUENCY: Bu parametre (Hz) olarak kaynak frekansını belirlemektir.

PHASE: Bu parametre, A1 değerine bağlı olarak derece veya saniye olarak kaynağın faz açısının değerini belirtmektedir.

A1: Faz açısının derece mi yoksa saniye mi olacağını belirleyen bu parametrenin,

A1=0 değeri için PHASE parametresi derece,

A1>0 değeri için PHASE parametresi saniye,

olarak girilmektedir.

TSTART: Bu parametre kaynak fonksiyonunun faal duruma geçtiği zamanı belirlemektedir. DELTAT'ın tama katı olması gerekmeyen bu başlangıç zamanı seçilirken gerçek dışı sonuçların elde edilmemesi bakımından DELTAT'ın çok büyük seçilmesi durumunda bu zamanın da, DELTAT'ın tam katı olmasına dikkat edilmelidir.

TSTOP: Bu parametre, kaynak fonksiyonunun faal durumdan çıktığı zamanı belirlemektedir. DELTAT'ın tam katı olması gerekmeyen bu durma zamanı seçilirken gerçek dışı sonuçların elde edilmemesi bakımından DELTAT'ın çok büyük seçilmesi durumunda, bu zamanın da, DELTAT'ın tam katı olmasına dikkat edilmelidir.

b) Dinamik kaynaklar

EMTP'de kısıadevre olayını incelemenin, uluslararası standartlara dayalı hesap yöntemlerine olan en büyük üstünlüklerinden biri de senkron generatörler veya turbo alternatörlerin basitçe bir reaktans ile değil,

makinenin dinamik olaylarının analizinde kullanılan parametrelerle, zaman sabitleriyle, hatta mekanik kısma ilişkin verilerle tanımlanabilmesi, böylelikle kaynağın zamana göre değişen parametrelerinin kısadevre akımı üzerindeki etkilerinin ortaya konabilmesidir. Aşağıda senkron generatöre ilişkin kart yapıları ele alınmıştır. Burada doyma etkisi gözönüne alınmamış dolayısıyla ilgili kartlar tanıtılmamıştır. En detaylı senkron generatör modeline ilişkin bilgiler [9]'dan bulunabilir.

1) Sürekli hal ve şebeke bağlantı bilgilerini içeren kart: İlk önce kaynak tipini (59) belirten üç kart girilir (her faz için bir adet). Bu kartlar gerilim değerini, kalıcı haldeki faz açısını, bahis konusu fazın stator sargılarının bağlandığı şebeke düğüm isimlerini içerir. Dengeli ve dengesiz kalıcı hal durumları modellenenbilmektedir. Bu üç kartın ilki "a" fazı için, ikincisi "b" fazı için ve sonuncusu "c" fazı içindir.

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
59	BUS	VOLT	FREQ	ANGLE			

Şekil 4.12 Şebeke bağlantı ve kalıcı hal veri kartı

59: dinamik senkron makinenin kodu sabit ve 59'dur. Bu değer sadece birinci faz için girilmelidir.

BUS: Altı karakterden oluşan EMTP şebeke düğüm ismidir. Bahis konusu fazın stator sargısı elektrik şebekesinin bu düğümüne bağlanacaktır. Sargı başına tek bir düğüm ismi belirtilmelidir. Genellikle tüm stator sargıları Wye bağlı olarak kabul edilir. Sadece "DELTA CONNECTION" özel istek kartı yardımıyla başka bir bağlantı şekli tanımlanabilir [9].

VOLT: Makinenin bağlama ucunun sürekli haldeki gerilim değeridir. Bu değer faz-nötr geriliminin tepe değeri $\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot U_{\text{hat}}\right)$ olarak girilir. Kullanılan birim Volt'tur.

FREQ: Sürekli halde makinenin Hz olarak elektriksel frekansıdır.

ANGLE: Bahis konusu fazın, makine uçlarında sürekli haldeki faz açısının derece olarak değeridir.

Not:

1) Pozitif sıra kullanılmaktadır. Yani "b" fazı "a" fazının 120 derece gerisinde, "c" fazı da "a" fazının 120 derece önündedir.

2) Eğer "b" ve "c" fazı için tanımlanan kartlarda VOLT ve ANGLE değerleri boş bırakılırsa, program makine uçlarında üç faz dengeli bir kaynak olduğunu kabul eder. Aksi durumda dengesiz bir kaynak söz konusu olur. Bu da kullanıcıya dengesiz bir kalıcı durumu modelleme olanağı sağlar.

2) **PARAMETER FITTING** özel istek kartı: Bu kartın varlığı üretici verilerinin, yokluğu ise dahili parametrelerin (Park parametreleri) kullanılacağını bildirir.

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
PARAMETER FITTING		FM					

Şekil 4.13 **PARAMETER FITTING** özel istek kartı

$FM \leq 2.0$: Kullanılan üretici zaman sabitlerinin boşta çalışma zaman sabitleri olduğunu bildirir (doyma etkisinden etkilendiklerini unutmamak gerekir).

$FM > 2.0$: Kısadevre zaman sabitlerinin kullanılacağını bildirir (doyma olayından etkilenmedikleri için tercih edilirler).

3) Makinenin boyutları ve elektriksel parametreleri: Bu gruba ait dört veya beş adet kart kullanılmaktadır. Ancak doyma etkisi ihmal edileceğinden, burada hepsine değinilmeyecektir [9].

NUMAS: Generatörün şaft sistemine bağlı bulunan kütle sayısıdır.

KMAC: Birbirlerine bağlı olan kütle-yay şaft sistemi içindeki generatör (motor) rotoruna tekabül eden kütle numarasıdır. Kütleler kullanıcı tarafından birden başlayarak 2, 3, 4 olarak numaralanırlar.

KEXC: Şaft sistemi üzerindeki uyarmaya tekabül eden kütle sayısı. Eğer uyarma yoksa, bu alan boş bırakılır.

MECHUN: Bu parametre mekanik verilerin hangi birimde girileceğini belirler. Sıfır veya boşluk değeri girildiğinde İngiliz birimleri, bir değeri girildiğinde ise metrik birimleri kullanılmaktadır.

NP: Kutup sayısıdır (çift kutup sayısı değil). Makinenin elektriksel frekansı mekanik frekansın $NP/2$ ile çarpımına eşittir.

SMOVTP: Birden fazla generatörden oluşan bir sistemde aktif gücün makineler arasındaki dağılım oranıdır. Tek bir makine söz konusuysa bu alan boş bırakılır. Örneğin iki makine mevcutsa ve birincinin ürettiği altıf güç P_A ikincisinin ki P_B ise bu alana $P_A / P_A + P_B$ girilmelidir.

SMOVTQ: SMOVTP ile aynı, yalnız reaktif güç içindir.

RMVA: Makinenin MVA olarak toplam anma gücüdür.

RKV: KV olarak makinenin fazarası gerilimidir.

AGLINE: Anma gerilimini endükleyen uyarma akımının A olarak değeridir. Doyma etkisi gözönüne alınacaksa bu değer başına "-" işareti getirilir.

S1D: Doyma yoksa bu alan boş bırakılmaktadır. Aksi durumda [9]'dan yararlanılabilir.

S2D: Doyma yoksa bu alan boş bırakılmaktadır. Aksi durumda [9]'dan yararlanılabilir.

Elektriksel veriler (üretici verileri):

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
RA	XL	XD	XQ	XDD	XQQ	XDDD	XQQQ

Şekil 4.15 Elektriksel parametre kartı 1

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
TDOP	TQOP	TDOPP	TQOPP	X0	RN	XN	XCAN

Şekil 4.16 Elektriksel parametre kartı 2

Yukarıdaki kart yapılarında kullanılan reaktans değerleri per-unit, zaman sabitleri ise saniye olarak girilmektedir.

RA: Stator direncidir ve negatif olmamalıdır.

XL: Stator kaçak reaktansı.

XD: Boyuna senkron reaktans.

XQ: Enine stator reaktansı.

XDD: Boyuna transiyent reaktans.

XQQ: Enine transiyent reaktans.

XDDD: Boyuna subtransiyent reaktans.

XQQQ: Enine subtransiyent reaktans.

Aşağıda belirtilen zaman sabitleri FM değerine göre açıkdevre ($FM \leq 2.0$) veya kısadevre ($FM > 0$) zaman sabitleri olabilirler.

TDOP: Boyuna açıkdevre (kısadevre) transiyent zaman sabiti.

TQOP: Enine açıkdevre (kısadevre) transiyent zaman sabiti.

TDOPP: Boyuna açıkdevre (kısadevre) subtransiyent zaman sabiti.

TQOPP: Enine açıkdevre (kısadevre) subtransiyent zaman sabiti.

X0: Sıfır sistem reaktansı.

RN: Topraklama empedansının reel kısmı.

XN: Topraklama empedansının sanal kısmı.

Dahili parametreler kullanılıyorsa [9]'dan yararlanılabilir.

Mekanik parametrelerin sona erdiğini belirtmek amacıyla BLANK kartı kullanılır.

5) Çıkış istek kartı: Herhangi bir senkron makine değişkenin grafiği elde edilmek istendiğinde şekil (4.17)'de yapısı verilen kart kullanılmalıdır. Kullanıcı grahiğini elde etmek istediği değişkenin hangi çıkış grubuna [9] ait olduğunu ve bu değişkeni bu grup içinde tanımlayan sayıyı girmelidir.

[illegible]

Şekil 4.17 Çıkış istek kartı

Çıkış istek kartı BLANK kartı ile sona erer.

6) **FINISH card:** Makine veri kartlarının sona erdiği özel bir kartla programa tanıtılır. Söz konusu makine bir veya birden çok makineyle paralel bağlı değilse şekil (4.18)'da görülen kart kullanılır.



Şekil 4.18 FINISH kartı

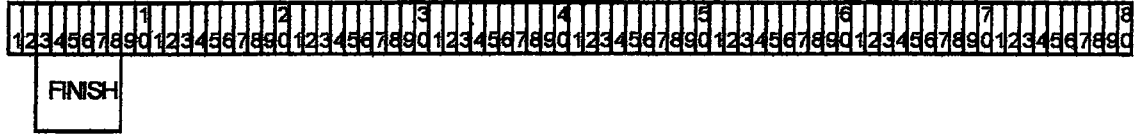
Eğer modellenen makineye paralel bağlı ikinci bir dinamik senkron generatör mevcutsa yukarıdaki kart yerine FINISH PART kartı girilmelidir. Bu kart EMTP'ye söz konusu üç fazlı düğümüne bağlı senkron makine verilerinin kısmen tamamlandığını belirtir. Bu karttan sonra "2" de anlatılan PARAMETER FITTING kartı dahil diğer kartlar ikinci makine için girilir. Bu yöntem paralel bağlı n adet senkron makine için uyarlanabilir. N makine için, ilk $N-1$ 'i FINISH PART ile sona eren kart yapısına sahipken sonuncusu FINISH kartı ile sona erer. N makinenin sadece ilki için şekil (4.12)'de verilen kart yapısı kullanılır. Çünkü bu kart ortak düğümle ilgilidir. Diğer makinelerde bu kart kullanılmaz.

Kaynakların sona erdiğini belirtmek amacıyla BLANK kartı kullanılır.

7 Genel çıkış istek kartları: Program çıktısında düğüm ve dal büyüklüklerini elde etmek için branch card ve switch card'ın 80. sütununa uygun bir değerin girilmesi gerektiği önceki bölümlerde açıklanmıştı. 80. sütunu kullanmadan bu büyüklükler output card'lar kullanılarak elde edilebilir. Bunun için düğüm gerilimleri ve dal büyüklükleri için iki ayrı output card düzenlenmektedir.

a) Düğüm gerilimleri için düzenlenen output card'lar: Genel yapısı şekil (4.19)'da görülen bu kartlar gerilim değerleri grafik olarak elde edilmek istenen düğümlerin isimleri girilmek suretiyle hazırlanırlar. Kart üzerinde en fazla 13 düğüm ismi bulunabilir. Bu sayı aşıldığında yeni bir kart düzenlenmelidir.

6) **FINISH card:** Makine veri kartlarının sona erdiği özel bir kartla programa tanıtılır. Söz konusu makine bir veya birden çok makineyle paralel bağlı değilse şekil (4.18)'da görülen kart kullanılır.



Şekil 4.18 FINISH kartı

Eğer modellenen makineye paralel bağlı ikinci bir dinamik senkron generatör mevcutsa yukarıdaki kart yerine **FINISH PART** kartı girilmelidir. Bu kart EMTP'ye söz konusu üç fazlı düğüme bağlı senkron makine verilerinin kısmen tamamlandığını belirtir. Bu karttan sonra "2" de anlatılan **PARAMETER FITTING** kartı dahil diğer kartlar ikinci makine için girilir. Bu yöntem paralel bağlı n adet senkron makine için uyarlanabilir. N makine için, ilk $N-1$ 'i **FINISH PART** ile sona eren kart yapısına sahipken sonuncusu **FINISH** kartı ile sona erer. N makinenin sadece ilki için şekil (4.12)'de verilen kart yapısı kullanılır. Çünkü bu kart ortak düğümlerle ilgilidir. Diğer makinelerde bu kart kullanılmaz.

Kaynakların sona erdiğini belirtmek amacıyla **BLANK** kartı kullanılır.

7 Genel çıkış istek kartları: Program çıktısında düğüm ve dal büyüklüklerini elde etmek için **branch card** ve **switch card**'ın 80. sütununa uygun bir değerin girilmesi gerektiği önceki bölümlerde açıklanmıştı. 80. sütunu kullanmadan bu büyüklükler **output card**'lar kullanılarak elde edilebilir. Bunun için düğüm gerilimleri ve dal büyüklükleri için iki ayrı **output card** düzenlenmektedir.

a) **Düğüm gerilimleri için düzenlenen output card'lar:** Genel yapısı şekil (4.19)'da görülen bu kartlar gerilim değerleri grafik olarak elde edilmek istenen düğümlerin isimleri girilmek suretiyle hazırlanırlar. Kart üzerinde en fazla 13 düğüm ismi bulunabilir. Bu sayı aşıldığında yeni bir kart düzenlenmelidir.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487	1488	1489	1490	1491	1492</
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

BÖLÜM 5

ÖRNEK ŞEBEKELERDE KISA DEVRENİNİN DİNAMİK SİMÜLASYONU

5.1 Örnek veri dosyaları

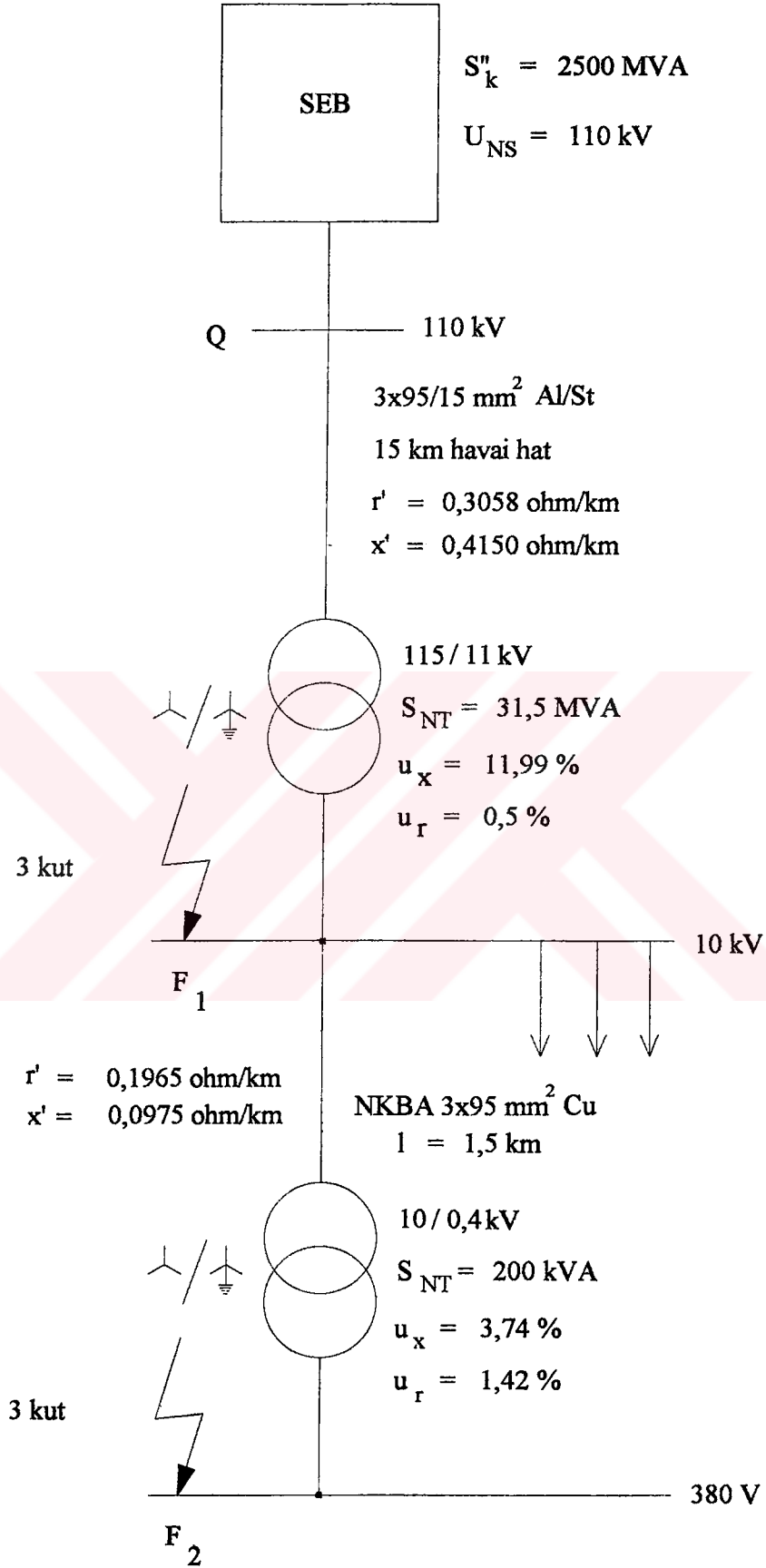
Tezde üç adet model incelenecektir. Bunlardan ilk ikisinden elde edilen I_k'' ve i_p değerleri, VDE / IEC standartlarından elde edilenlerle kıyaslanacaktır. Sonuncusu ise 20 düğümlü gözlü bir şebeke modeli olup, 20 düğüm için ayrı ayrı kısıdevre edilip, her düğümdeki I_k'' değerleri, komşu düğümlerden gelen katkı paylarıyla birlikte Conrad R. St. Pierre tarafından geliştirilen bilgisayar programının sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır [10]. Bu program temelini ANSI'dan aldığı ve O'na çok yakın sonuçlar verdiği için dolayı yapılan karşılaştırma bir anlamda EMTP - ANSI karşılaştırması olmaktadır. i_p değerleri adı geçen bilgisayar programı tarafından hesaplanmamakla birlikte EMTP'de elde edilip tabloda gösterilecektir.

Tezde yapılan çalışma sonucunda kısıdevrenin EMTP'de iki şekilde modellenebildiği görülmüştür. Bunlardan ilki fazları çok küçük değerlerde dirençlerle birbirine bağlayıp kısıdevreyi $t=0$ anında kabul etmektir. Diğeri ise fazlar arasında başlangıçtan ($t=0$) çok kısa bir süre sonra kapanan ve belli bir zaman sonunda ($t=200\text{ms}$) açılan anahtarla modellemektir. Dirençle modellemede üç faz, hayali ve ortak bir noktaya çok küçük değerlerde dirençler yardımıyla bağlanmaktadır. Anahtarla modelleme ise üç fazın aynı noktaya anahtarlar vasıtasıyla bağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir.

5.2 Model 1

Tek hat şeması şekil (5.1)'de verilen şebeke sırasıyla F1 ve F2 noktaları için kısadevre edilmiş, elde edilen sonuçlar IEC / VDE standartlarıyla elde edilen sonuçlarla tablo 5.1'de karşılaştırılmıştır. Kısadevrenin zamana bağlı değişimleri şekil (5.2) ve (5.3)'de verilmiştir.





Şekil 5.1 Model 1'e ilişkin tek hat şeması

EMTP data dosyası aşağıdaki şekildedir:

BEGIN NEW DATA CASE

POWER FREQUENCY, 50

5.E-5 20.E-2 50.0 50.0

1 1 1 1 1 -1 2

5 5 20 20 100 100

BUS1-ABUS2-A .529755.2975

BUS1-BBUS2-B .529755.2975

BUS1-CBUS2-C .529755.2975

BUS2-ABUS3-A 4.587 6.225

BUS2-BBUS3-B 4.587 6.225

BUS2-CBUS3-C 4.587 6.225

TRANSFORMER TRAN A

9999

1BUS3-AYILDIZ 1.049625.19166.395

2BUS4-A 0.00960.23036.3508

TRANSFORMER TRAN A TRAN B

1BUS3-BYILDIZ

2BUS4-B

TRANSFORMER TRAN A TRAN C

1BUS3-CYILDIZ

2BUS4-C

BUS4-ABUS5-A 0.29480.1463

BUS4-BBUS5-B 0.29480.1463

BUS4-CBUS5-C 0.29480.1463

TRANSFORMER TRAN X

9999

1BUS5-AYILDIZ 3.550010.0005.7735

2BUS6-A .00568.01496.23094

TRANSFORMER TRAN X TRAN Y

1BUS5-BYILDIZ

2BUS6-B

TRANSFORMER TRAN X

TRAN Z

1BUS5-CYILDIZ

2BUS6-C

C BUS4-ABUS-KD	1.E-5	1
C BUS4-BBUS-KD	1.E-5	1
C BUS4-CBUS-KD	1.E-5	1

BLANK

BUS4-ABUS-KD	0.1E-3	200.E-3	1
BUS4-BBUS-KD	0.1E-3	200.E-3	1
BUS4-CBUS-KD	0.1E-3	200.E-3	1

BLANK

14BUS1-A	89814.62	50.	0.0	-1.
14BUS1-B	89814.62	50.	-120.0	-1.
14BUS1-C	89814.62	50.	120.0	-1.

BLANK

BUS3-A

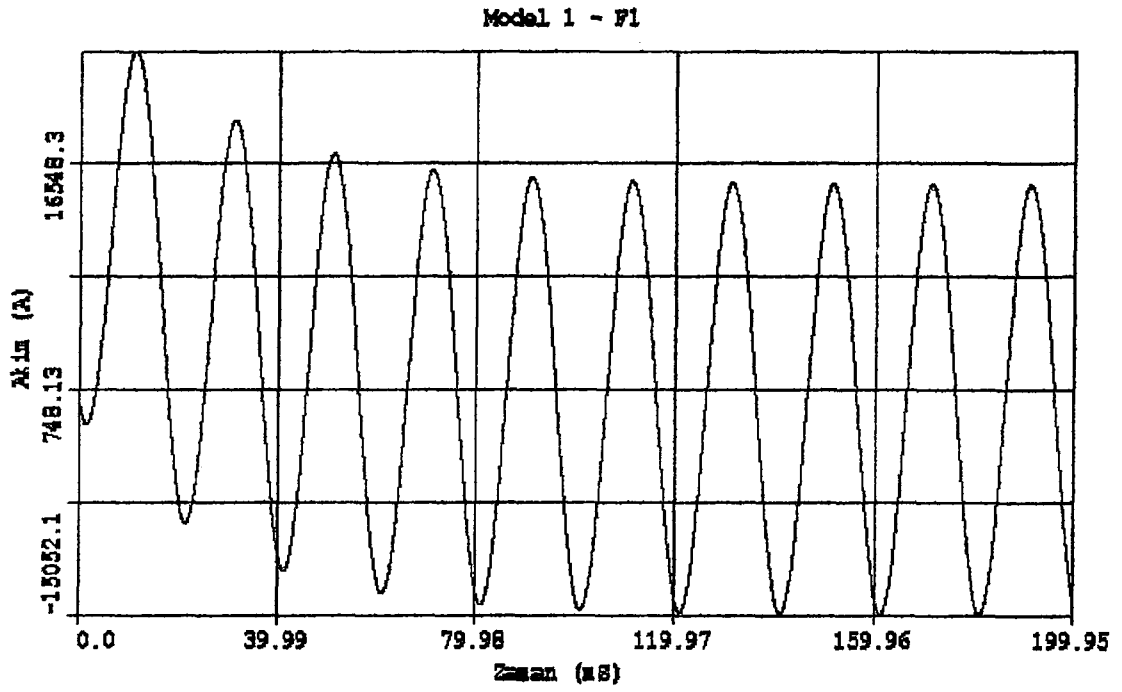
BLANK

PRINTER PLOT

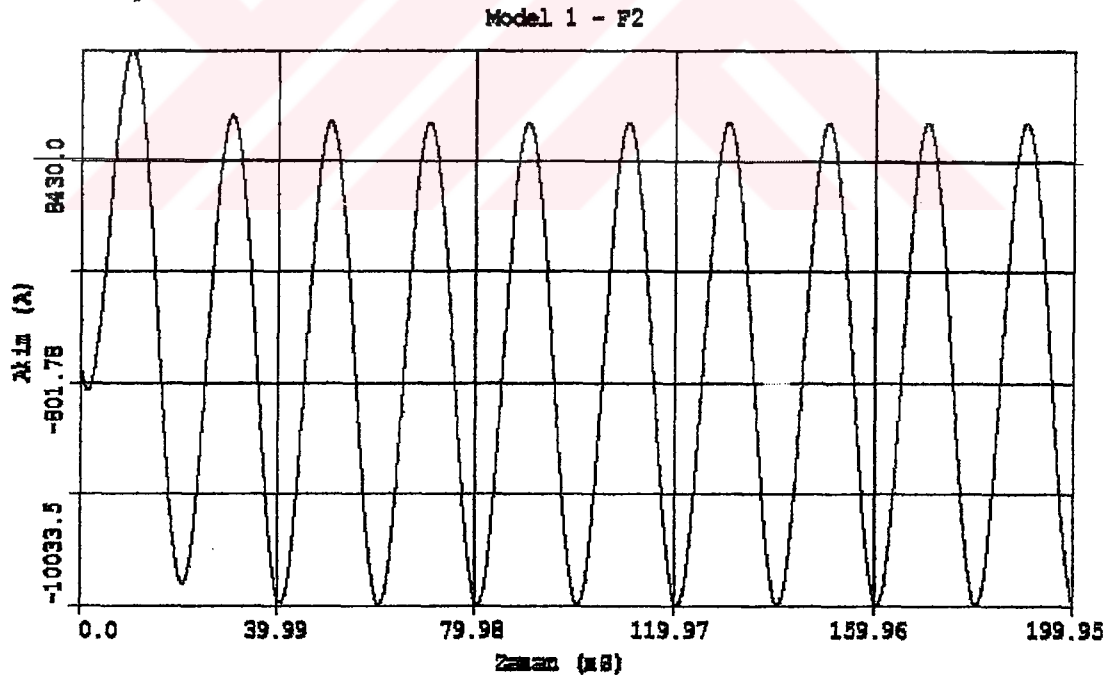
BLANK

BEGIN NEW DATA CASE

BLANK



Şekil 5.2 F1 noktasında kısa devrenin zamana bağlı değişimi



Şekil 5.3 F2 noktasında kısa devrenin zamana bağlı değişimi

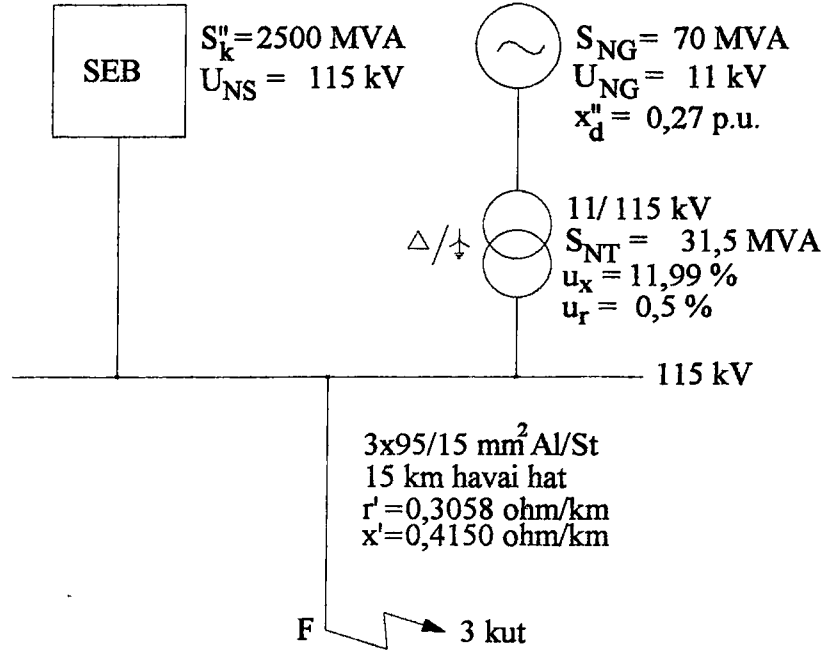
Tablo 5.1 Karşılaştırma tablosu 1

HATA YERİ	VDE / IEC		EMTP	
	I''_k (kA)	i_p (kA)	I''_k (kA)	i_p (kA)
F1	11,15	27,12	10,66	24,45
F2	6,95	13,07	7,10	13,05

Tablo 5.1'de görüleceği gibi 10 kV'luk F1 barasındaki kısa devrede VDE / IEC sonuçları 380 V'luk baradaki F2 kısa devresine oranla EMTP'ye daha uzaktır. Bunun nedeni orta gerilimde kullanılan $c=1,1$ katsayısıdır. Aynı katsayı alçak gerilimde kullanılmadığından burada elde edilen I''_k ve i_p değerleri EMTP'ye daha yakındır.

5.3 Model 2

Tek hat şeması şekil 5.4'de verilen şebeke F noktası için kısıadevre edilmiş, elde edilen sonuçlar IEC / VDE standartlarıyla elde edilen sonuçlarla tablo 5.2'de karşılaştırılmıştır. Kısıadevrenin zamana bağlı değişimleri şekil (5.5)'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Model 2'ye ilişkin tek hat şeması

EMTP data dosyası aşağıdaki şekildedir.

BEGIN NEW DATA CASE

POWER FREQUENCY, 50

5.E-5 20.E-2 50.0 50.0

1 1 1 1 1 -1 2

5 5 20 20 100 100

BUS1-ABUS2-A 5.819 1

BUS1-BBUS2-B 5.819 1

BUS1-CBUS2-C 5.819 1

TRANSFORMER TRAN A 1

9999

1BUS3-ABUS3-C 0.00960.230311.000 1

2BUS2-A 1.049325.17166.395

TRANSFORMER TRAN A TRAN B

1BUS3-BBUS3-A 1

2BUS2-B

TRANSFORMER TRAN A				TRAN C			
1BUS3-CBUS3-B							1
2BUS2-C							
BUS2-ABUS4-A	4.587	6.225					
BUS2-BBUS4-B	4.587	6.225					
BUS2-CBUS4-C	4.587	6.225					
C BUS4-ABUS-KD	1.E-5						1
C BUS4-BBUS-KD	1.E-5						
C BUS4-CBUS-KD	1.E-5						
BLANK							
BUS4-ABUS-KD	0.1E-3	200E-3					1
BUS4-BBUS-KD	0.1E-3	200E-3					1
BUS4-CBUS-KD	0.1E-3	200E-3					1
BLANK							
C ——Infinite bus voltages							
14BUS1-A	93897.11	50.	0.0				-1.
14BUS1-B	93897.11	50.	-120.0				-1.
14BUS1-C	93897.11	50.	120.0				-1.
C ——Synchronous generator specifications							
59BUS3-A	8981.462	50.	34.0				
BUS3-B							
BUS3-C							
C ——First generator							
PARAMETER FITTING				2.0			
C ——Machine ratings							
1	1	8	1	1	70.0	11.0	280.0
BLANK CARD - NO SATURATION MODELING							
C ——Electrical parameters - Manufacturer's data							
0.038	0.220	1.200	0.700	0.350	0.700	0.270	0.230
6.240		0.032	0.060	0.150			
C ——Mechanical system data							
1		1.0	3.116092				

BLANK CARD ENDING MASS CARDS

C ———Output data request

1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

BLANK CARD ENDING OUTPUT REQUEST

FINISH

BLANK

BUS2-A

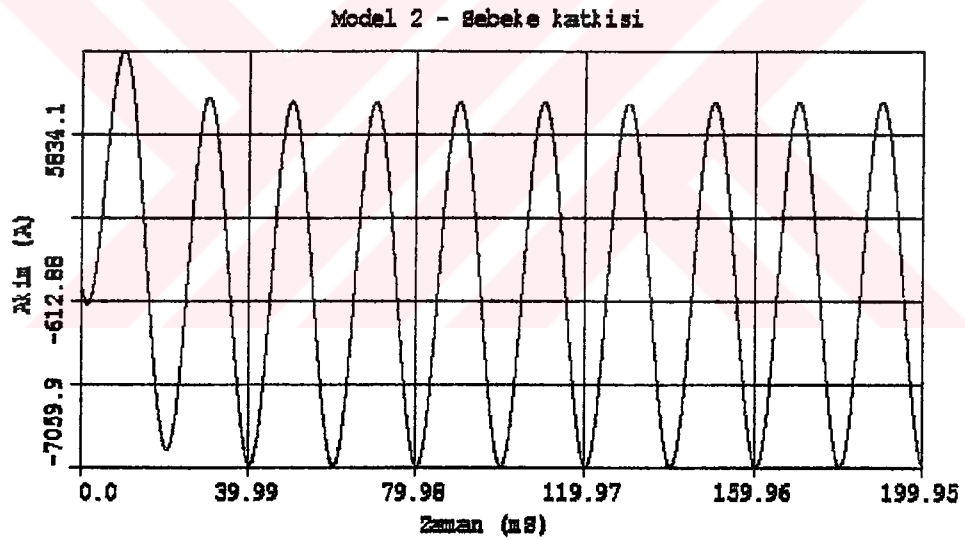
BLANK

PRINTER PLOT

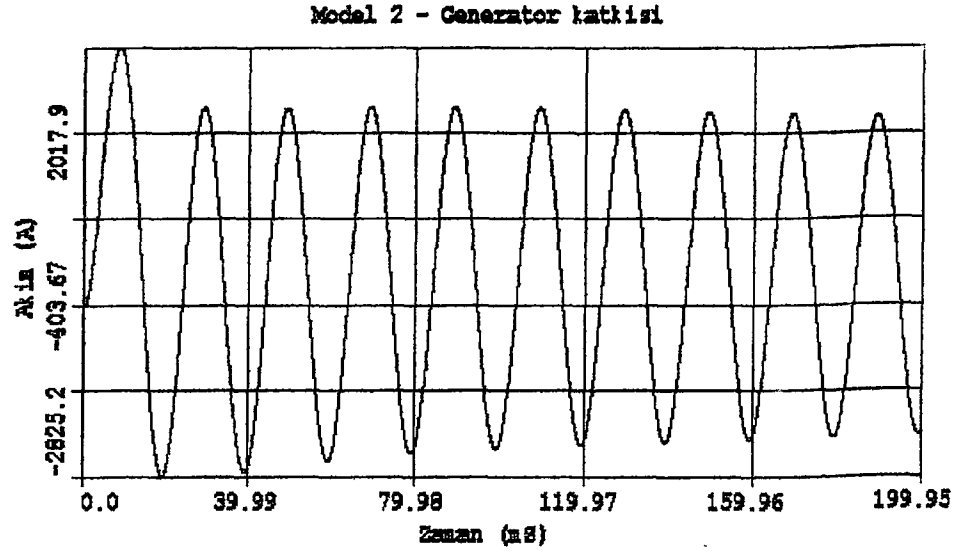
BLANK

BEGIN NEW DATA CASE

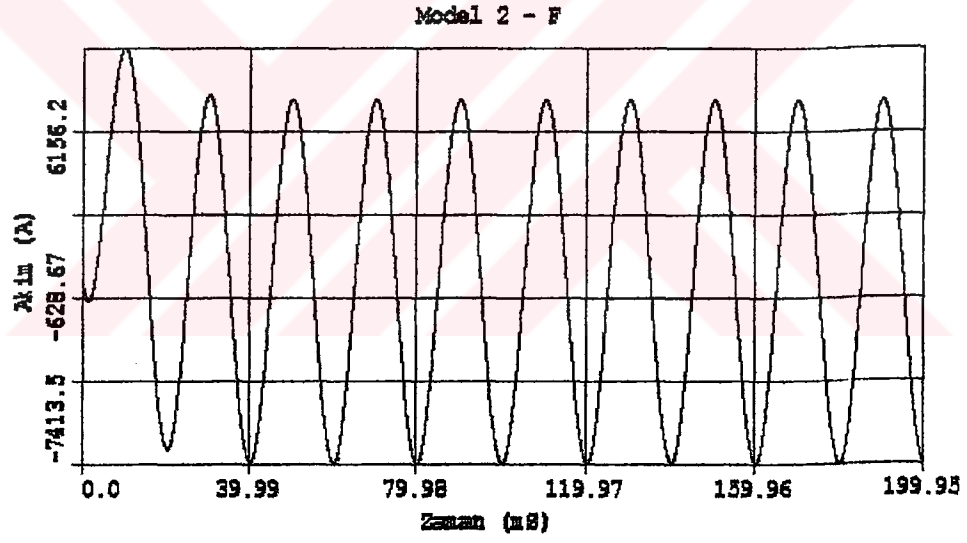
BLANK



Şekil 5.5 F noktasındaki kısadevreye sebeke katkısının zamanla değişimi



Şekil 5.6 F noktasındaki kısıadevreye generatör katkısının zamanla değişimi



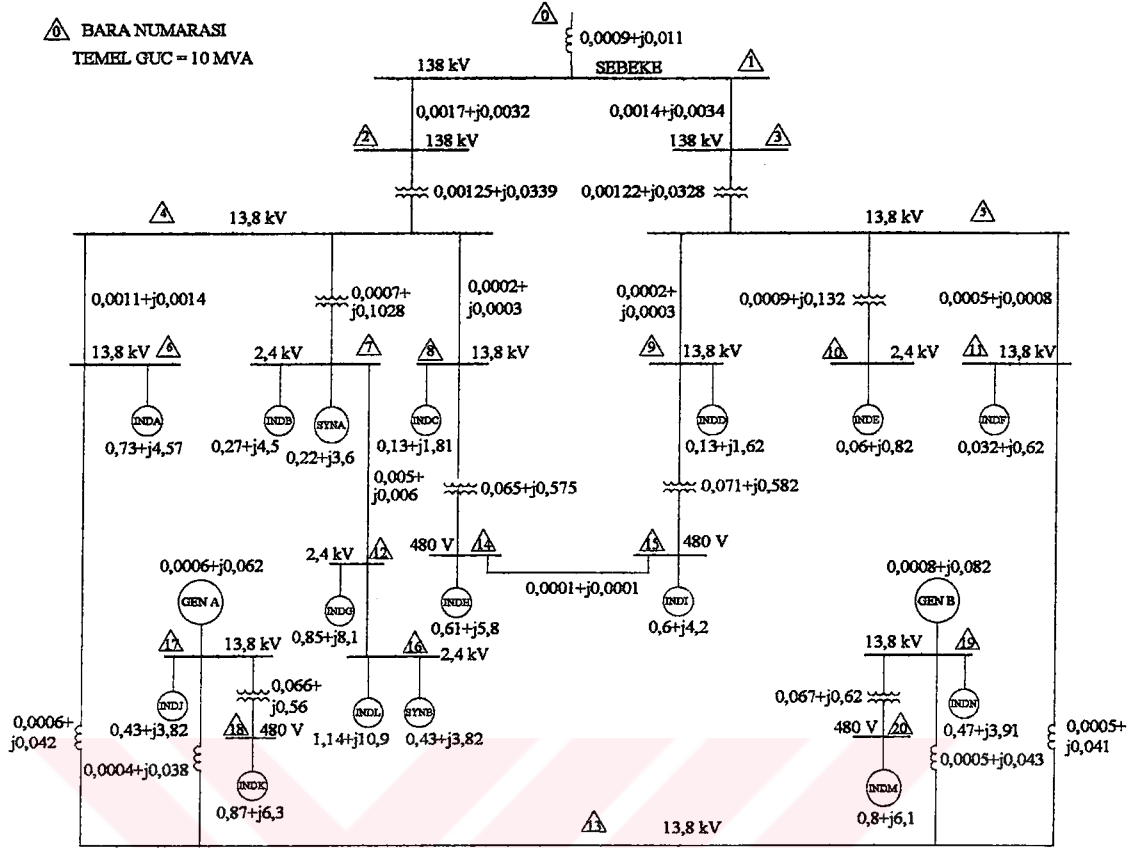
Şekil 5.7 F noktasındaki kısıadevrenin zamanla değişimi

HATA YERİ	VDE / IEC		EMTP	
	I''_k (kA)	i_p (kA)	I''_k (kA)	i_p (kA)
Şebeke	5,67	8,98	4,64	9,06
Generatör	0,57	1,61	0,50	1,41
F	6,24	10,60	5,48	9,55

Tablo 5.2'den görüldüğü gibi F noktasındaki kısa devrede başlangıç kısa devre akımına şebeke tarafından gelen katkıda VDE / IEC standardı EMTP'ye göre daha büyük bir değer hesaplamaktadır. Generatör katkısında ise sonuçlar daha yakındır. Bunun sebebi orta ve yüksek gerilimde VDE / IEC standardında kullanılan $c=1,1$ katsayısıdır. Bu katsayı generatördeki gerilim yükselmesini dikkate aldığından, sistemde generatör olduğu zaman daha anlamlıdır

5.4 Model 3

Tek hat şeması şekil (5.6)'da verilen şebeke 20 adet düğüm için ayrı ayrı kısıadevre edilmiş, elde edilen sonuçlar [8]'deki bilgisayar programının sonuçlarıyla tablo (5.3)'de karşılaştırılmıştır. Kısıadevrenin zamana bağlı değişimleri şekil (5.7)-(5.26)'da verilmiştir.



Şekil 5.8 Model 3'e ilişkin tek hat şeması

EMTP data dosyası aşağıdaki şekildedir:

BEGIN NEW DATA CASE

POWER FREQUENCY, 50

2.E-4 20.E-2 50.0 50.0

1 1 1 1 1 -1 2

5 5 20 20 100 100

BUS0-ABUS1-A 1.714020.948

BUS0-BBUS1-B 1.714020.948

BUS0-CBUS1-C 1.714020.948

BUS1-ABUS2-A 3.23746.0941

BUS1-BBUS2-B 3.23746.0941

BUS1-CBUS2-C 3.23746.0941

BUS1-ABUS3-A 2.66626.4750

BUS1-BBUS3-B	2.66626.4750	
BUS1-CBUS3-C	2.66626.4750	
TRANSFORMER		TRAN A
9999		
1BUS2-A	1.190332.28079.674	
2BUS4-A	.011900.32287.9674	
TRANSFORMER	TRAN A	TRAN B
1BUS2-B		
2BUS4-B		
TRANSFORMER	TRAN A	TRAN C
1BUS2-C		
2BUS4-C		
TRANSFORMER		TRAN D
9999		
1BUS3-A	1.161731.23279.674	
2BUS5-A	.01162.312327.9674	
TRANSFORMER	TRAN D	TRAN E
1BUS3-B		
2BUS5-B		
TRANSFORMER	TRAN D	TRAN F
1BUS3-C		
2BUS5-C		
BUS4-ABUS6-A	.02095.02667	
BUS4-BBUS6-B	.02095.02667	
BUS4-CBUS6-C	.02095.02667	
TRANSFORMER		TRAN G
9999		
1BUS4-A	.00667.978867.9674	
2BUS7-A	.00020.029611.3856	
TRANSFORMER	TRAN G	TRAN H
1BUS4-B		
2BUS7-B		

TRANSFORMER TRAN G		TRAN I
1BUS4-C		
2BUS7-C		
BUS4-ABUS8-A	.00338.00571	
BUS4-BBUS8-B	.00338.00571	
BUS4-CBUS8-C	.00338.00571	
BUS5-ABUS9-A	.00338.00571	
BUS5-BBUS9-B	.00338.00571	
BUS5-CBUS9-C	.00338.00571	
TRANSFORMER		TRAN J
9999		1
1BUS5-A	.008571.25697.9674	1
2BU10-A	.00026.038021.3856	
TRANSFORMER TRAN J		TRAN K
1BUS5-B		
2BU10-B		
TRANSFORMER TRAN J		TRAN L
1BUS5-C		
2BU10-C		
BUS5-ABU11-A	.00952.01524	
BUS5-BBU11-B	.00952.01524	
BUS5-CBU11-C	.00952.01524	
BUS6-ABU13-A	.01143.79985	
BUS6-BBU13-B	.01143.79985	
BUS6-CBU13-C	.01143.79985	
BUS6-AINDA-A	13.90287.031	
BUS6-BINDA-B	13.90287.031	
BUS6-CINDA-C	13.90287.031	
BUS7-AINDB-A	.155522.5920	
BUS7-BINDB-B	.155522.5920	
BUS7-CINDB-C	.155522.5920	
BUS7-ASYNA-A	.126722.0736	

BUS7-BSYNA-B	.126722.0736	
BUS7-CSYNA-C	.126722.0736	
BUS7-ABU12-A	.00288.00346	
BUS7-BBU12-B	.00288.00346	
BUS7-CBU12-C	.00288.00346	
BUS8-AINDC-A	2.475734.470	
BUS8-BINDC-B	2.475734.470	
BUS8-CINDC-C	2.475734.470	
TRANSFORMER		TRAN M
9999		
1BUS8-A	.618935.47527.9674	
2BU14-A	.00075.00662.27713	
TRANSFORMER	TRAN M	TRAN N
1BUS8-B		
2BU14-B		
TRANSFORMER	TRAN M	TRAN O
1BUS8-C		
2BU14-C		
TRANSFORMER		TRAN P
9999		
1BUS9-A	.676065.54187.9674	
2BU15-A	.00082.00671.27713	
TRANSFORMER	TRAN P	TRAN Q
1BUS9-B		
2BU15-B		
TRANSFORMER	TRAN P	TRAN R
1BUS9-C		
2BU15-C		
BUS9-AINDD-A	2.475730.851	
BUS9-BINDD-B	2.475730.851	
BUS9-CINDD-C	2.475730.851	
BU10-AINDE-A	.03456.47232	

BU10-BINDE-B	.03456.47232
BU10-CINDE-C	.03456.47232
BU11-AINDF-A	.6094111.807
BU11-BINDF-B	.6094111.807
BU11-CINDF-C	.6094111.807
BU11-ABU13-A	.00952.78080
BU11-BBU13-B	.00952.78080
BU11-CBU13-C	.00952.78080
BU12-AINDG-A	.489604.6656
BU12-BINDG-B	.489604.6656
BU12-CINDG-C	.489604.6656
BU12-ABU16-A	.00461.00173
BU12-BBU16-B	.00461.00173
BU12-CBU16-C	.00461.00173
BU14-AINDH-A	.01405.11363
BU14-BINDH-B	.01405.11363
BU14-CINDH-C	.01405.11363
BU14-ABU15-A	2.3E-62.3E-6
BU14-BBU15-B	2.3E-62.3E-6
BU14-CBU15-C	2.3E-62.3E-6
BU15-AINDI-A	.01382.09677
BU15-BINDI-B	.01382.09677
BU15-CINDI-C	.01382.09677
BU17-AGENA-A	.011431.1807
BU17-BGENA-B	.011431.1807
BU17-CGENA	.011431.1807
BU17-AINDJ-A	8.188972.748
BU17-BINDJ-B	8.188972.748
BU17-CINDJ-C	8.188972.748
BU17-ABU13-A	.00762.72367
BU17-BBU13-B	.00762.72367
BU17-CBU13-C	.00762.72367

TRANSFORMER**TRAN S**

9999

1BU17-A .628455.33237.9674

2BU18-A .00076.00645.27713

TRANSFORMER TRAN S**TRAN T**

1BU17-B

2BU18-B

TRANSFORMER TRAN S**TRAN U**

1BU17-C

2BU18-C

BU16-AINDL-A .656646.2784

BU16-BINDL-B .656646.2784

BU16-CINDL-C .656646.2784

BU16-ASYNB-A .247682.2003

BU16-BSYNB-B .247682.2003

BU16-CSYNB-C .247682.2003

BU19-AGENB-A .015241.5616

BU19-BGENB-B .015241.5616

BU19-CGENB-C .015241.5616

TRANSFORMER**TRAN V**

9999

1BU19-A .637805.90367.9674

2BU20-A .00077.00714.27713

TRANSFORMER TRAN V**TRAN W**

1BU19-B

2BU20-B

TRANSFORMER TRAN V**TRAN X**

1BU19-C

2BU20-C

BU19-ABU13-A .00952.81889

BU19-BBU13-B .00952.81889

BU19-CBU13-C .00952.81889

BU19-AINDN-A	8.950774.462			
BU19-BINDN-B	8.950774.462			
BU19-CINDN-C	8.950774.462			
BU18-AINDK-A	.00200.14515			
BU18-BINDK-B	.00200.14515			
BU18-CINDK-C	.00200.14515			
BU20-AINDM-A	.01843.14054			
BU20-BINDM-B	.01843.14054			
BU20-CINDM-C	.01843.14054			
C BU10-ABUS-KD	1.E-5			1
C BU10-BBUS-KD	1.E-5			
C BU10-CBUS-KD	1.E-5			
BLANK				
BUS5-ABUS-KD	1E-3	190.E-3		1
BUS5-BBUS-KD	1E-3	190.E-3		1
BUS5-CBUS-KD	1E-3	190.E-3		1
BLANK				
14BUS0-A	112676.5	50.	0.0	-1.
14BUS0-B	112676.5	50.	-120.0	-1.
14BUS0-C	112676.5	50.	120.0	-1.
14INDA-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14INDA-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14INDA-C	11267.65	50.	120.0	-1.
14INDB-A	1959.592	50.	0.0	-1.
14INDB-B	1959.592	50.	-120.0	-1.
14INDB-C	1959.592	50.	120.0	-1.
14INDC-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14INDC-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14INDC-C	11267.65	50.	120.0	-1.
14INDD-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14INDD-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14INDD-C	11267.65	50.	120.0	-1.

14INDE-A	1959.592	50.	0.0	-1.
14INDE-B	1959.592	50.	-120.0	-1.
14INDE-C	1959.592	50.	120.0	-1.
14INDF-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14INDF-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14INDF-C	11267.65	50.	120.0	-1.
14INDG-A	1959.592	50.	0.0	-1.
14INDG-B	1959.592	50.	-120.0	-1.
14INDG-C	1959.592	50.	120.0	-1.
14INDH-A	391.9184	50.	0.0	-1.
14INDH-B	391.9184	50.	-120.0	-1.
14INDH-C	391.9184	50.	120.0	-1.
14INDI-A	391.9184	50.	0.0	-1.
14INDI-B	391.9184	50.	-120.0	-1.
14INDI-C	391.9184	50.	120.0	-1.
14INDJ-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14INDJ-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14INDJ-C	11267.65	50.	120.0	-1.
14INDK-A	391.9184	50.	0.0	-1.
14INDK-B	391.9184	50.	-120.0	-1.
14INDK-C	391.9184	50.	120.0	-1.
14INDL-A	1959.592	50.	0.0	-1.
14INDL-B	1959.592	50.	-120.0	-1.
14INDL-C	1959.592	50.	120.0	-1.
14INDM-A	391.9184	50.	0.0	-1.
14INDM-B	391.9184	50.	-120.0	-1.
14INDM-C	391.9184	50.	120.0	-1.
14INDN-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14INDN-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14INDN-C	11267.65	50.	120.0	-1.
14SYNA-A	1959.592	50.	0.0	-1.
14SYNA-B	1959.592	50.	-120.0	-1.

14SYNA-C	1959.592	50.	120.0	-1.
14SYNB-A	1959.592	50.	0.0	-1.
14SYNB-B	1959.592	50.	-120.0	-1.
14SYNB-C	1959.592	50.	120.0	-1.
14GENA-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14GENA-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14GENA-C	11267.65	50.	120.0	-1.
14GENB-A	11267.65	50.	0.0	-1.
14GENB-B	11267.65	50.	-120.0	-1.
14GENB-C	11267.65	50.	120.0	-1.

BLANK

BUS0-A

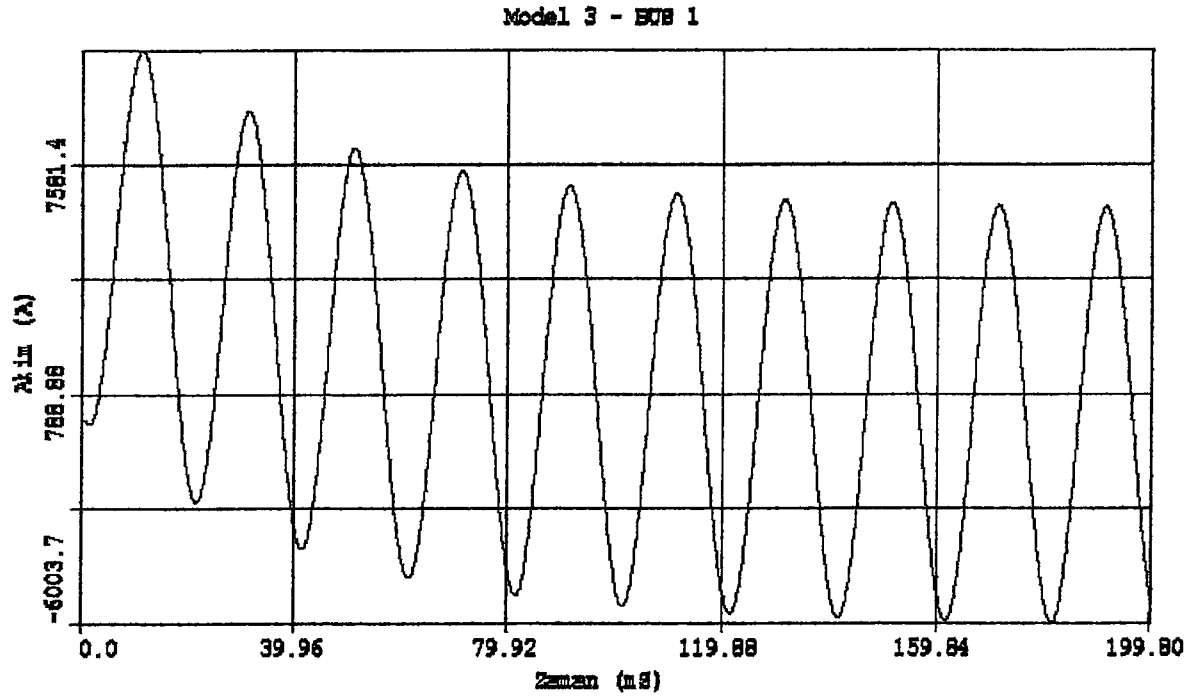
BLANK

PRINTER PLOT

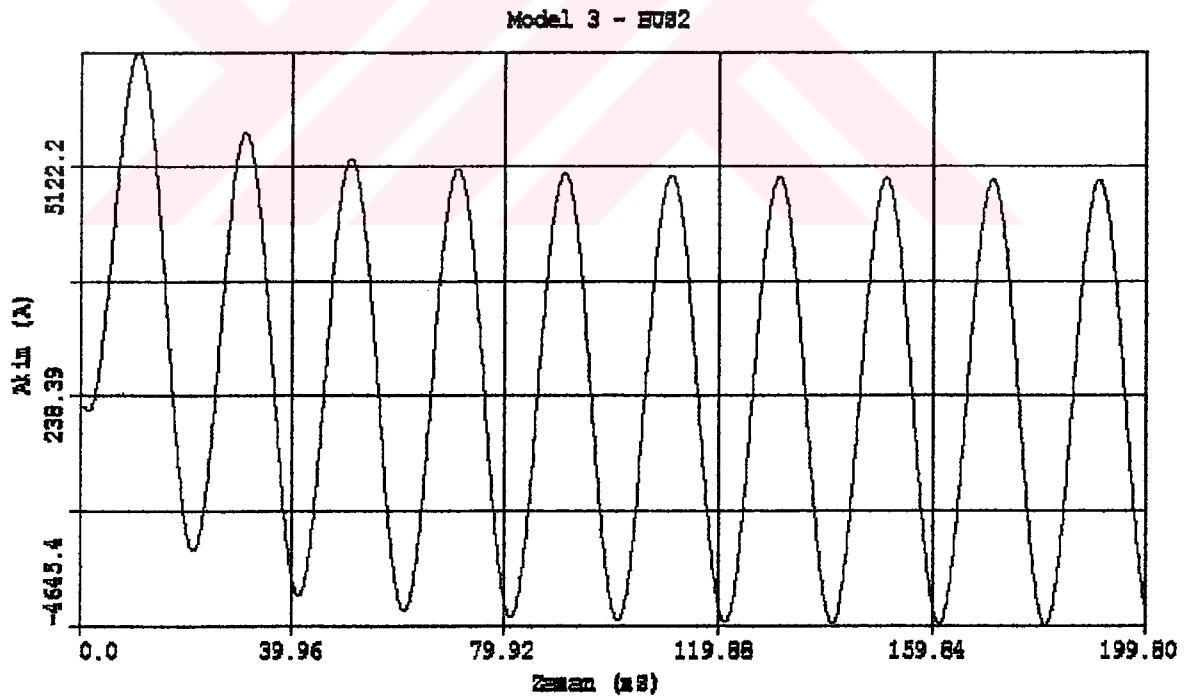
BLANK

BEGIN NEW DATA CASE

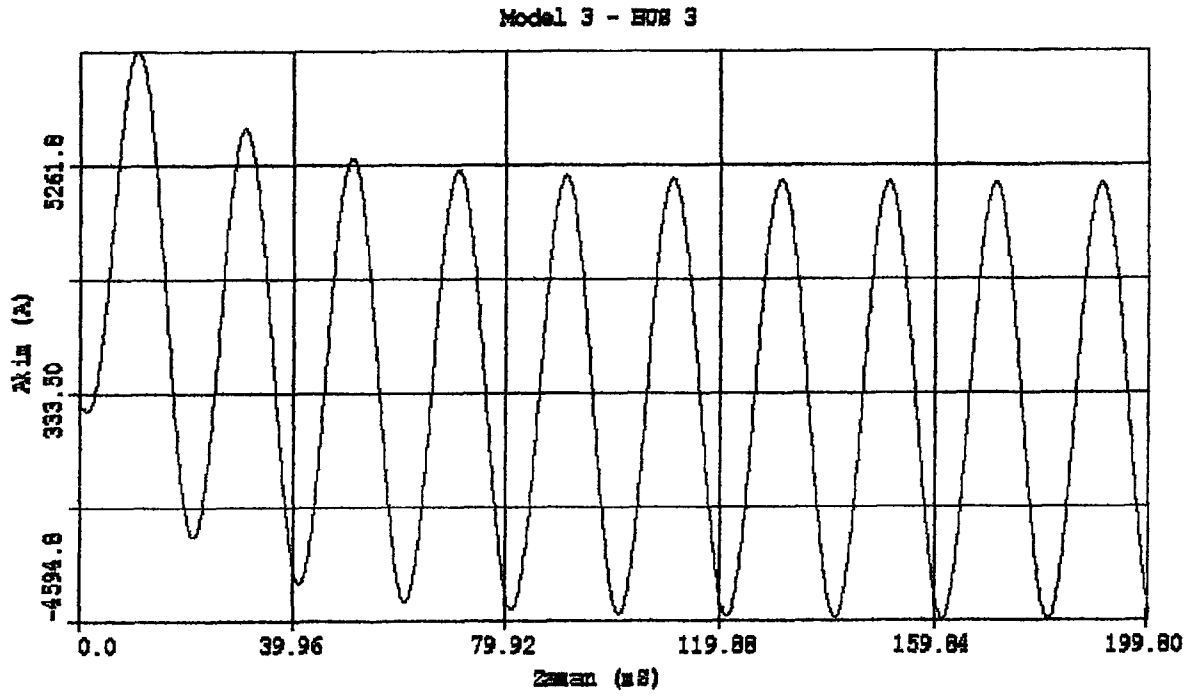
BLANK



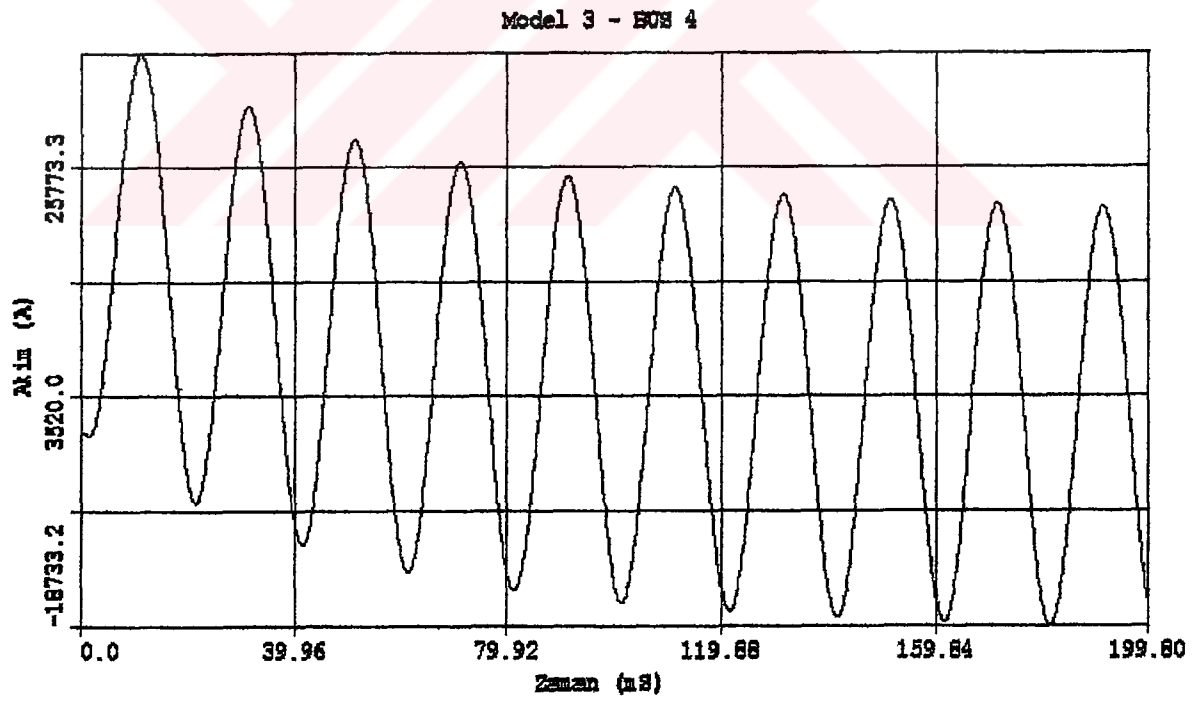
Şekil 5.9 BUS 1'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



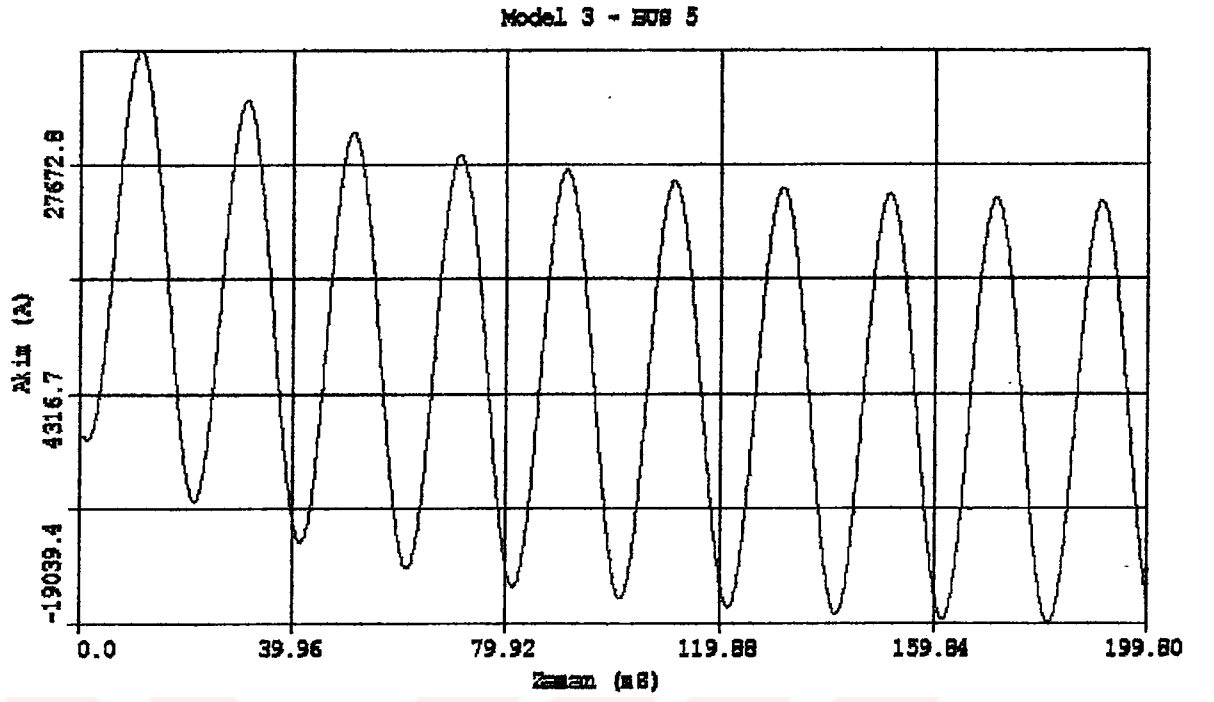
Şekil 5.10 BUS 2'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



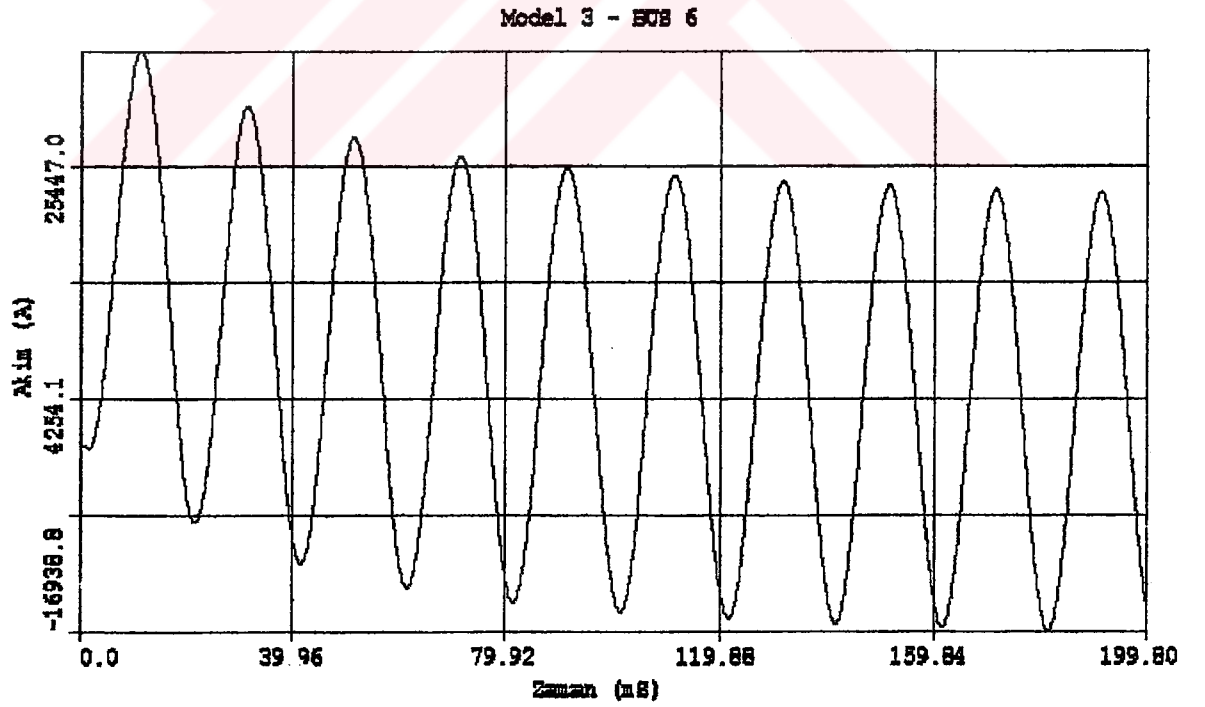
Şekil 5.11 BUS 3'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



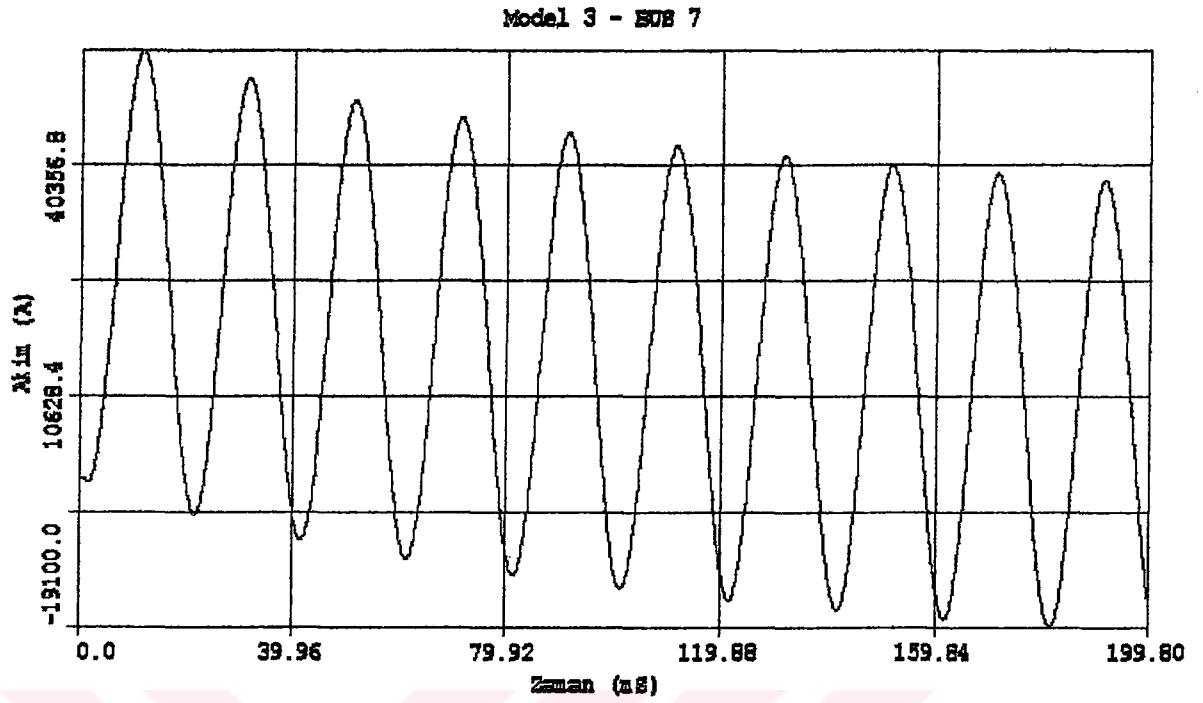
Şekil 5.12 BUS 4'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



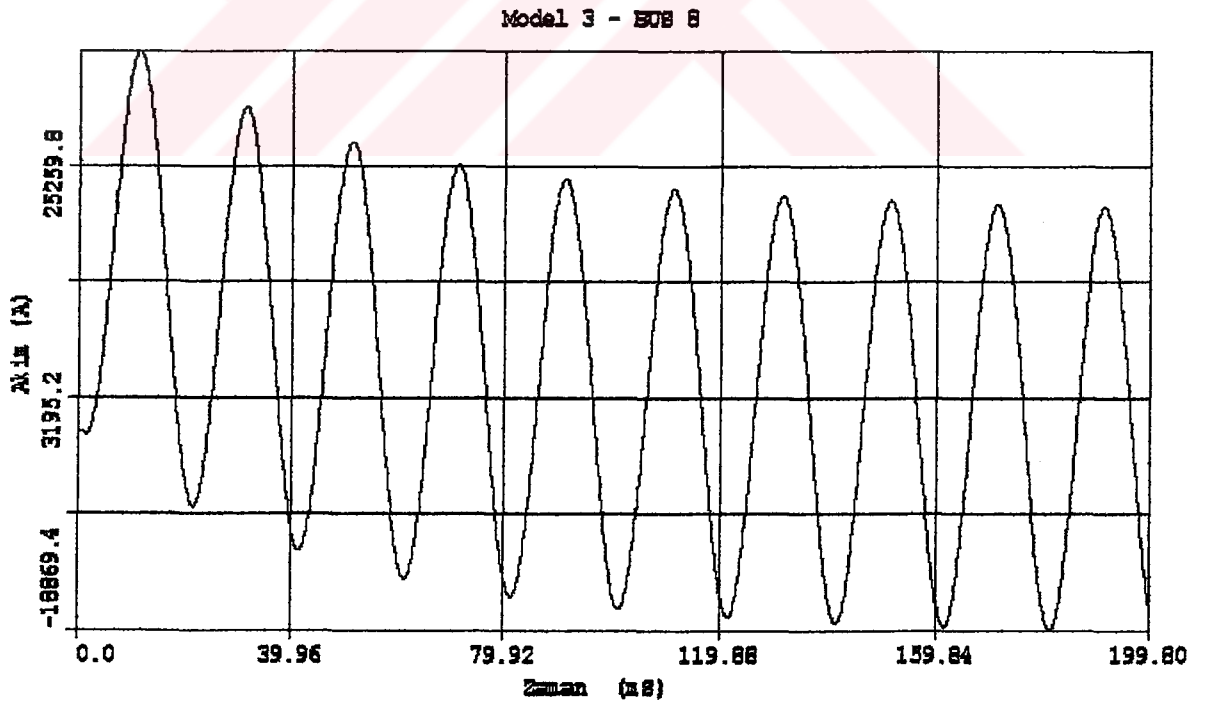
Şekil 5.13 BUS 5'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



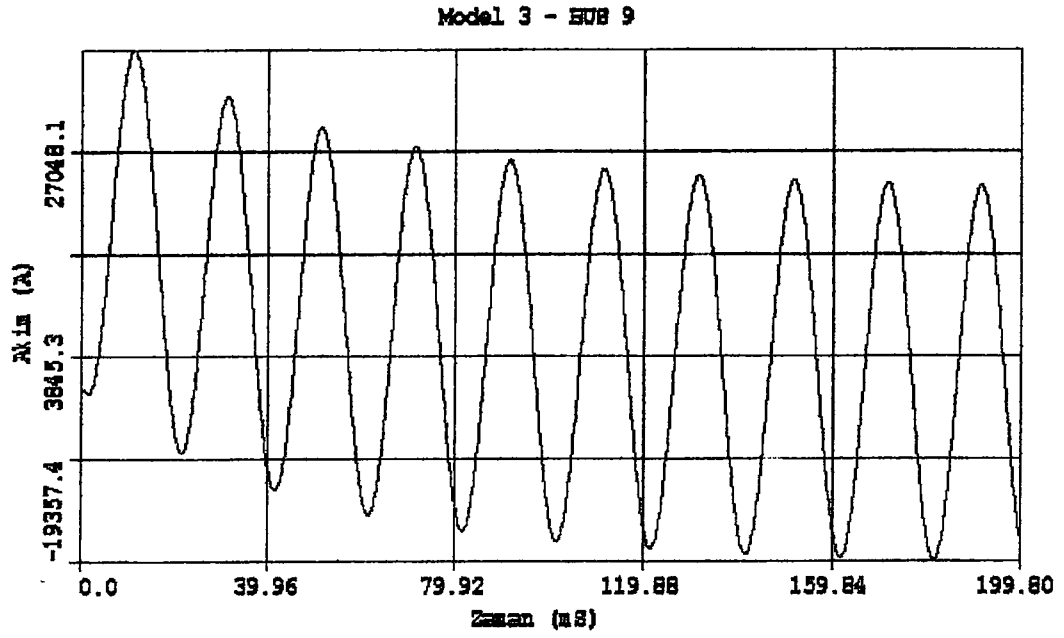
Şekil 5.14 BUS 6'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



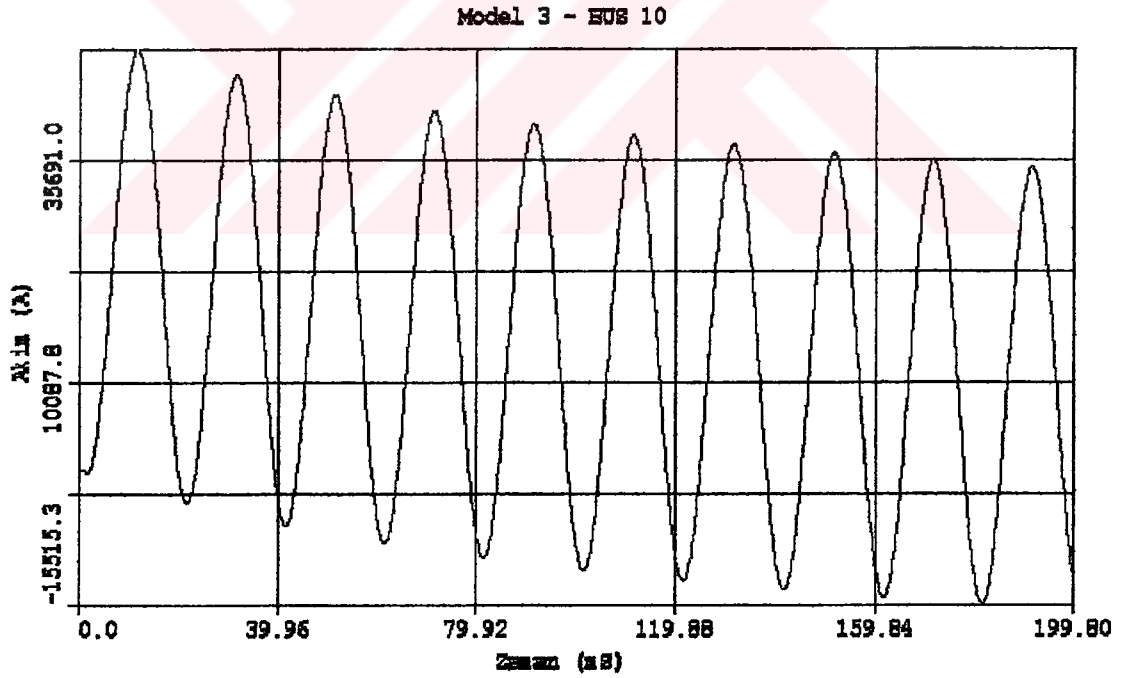
Şekil 5.15 BUS 7'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



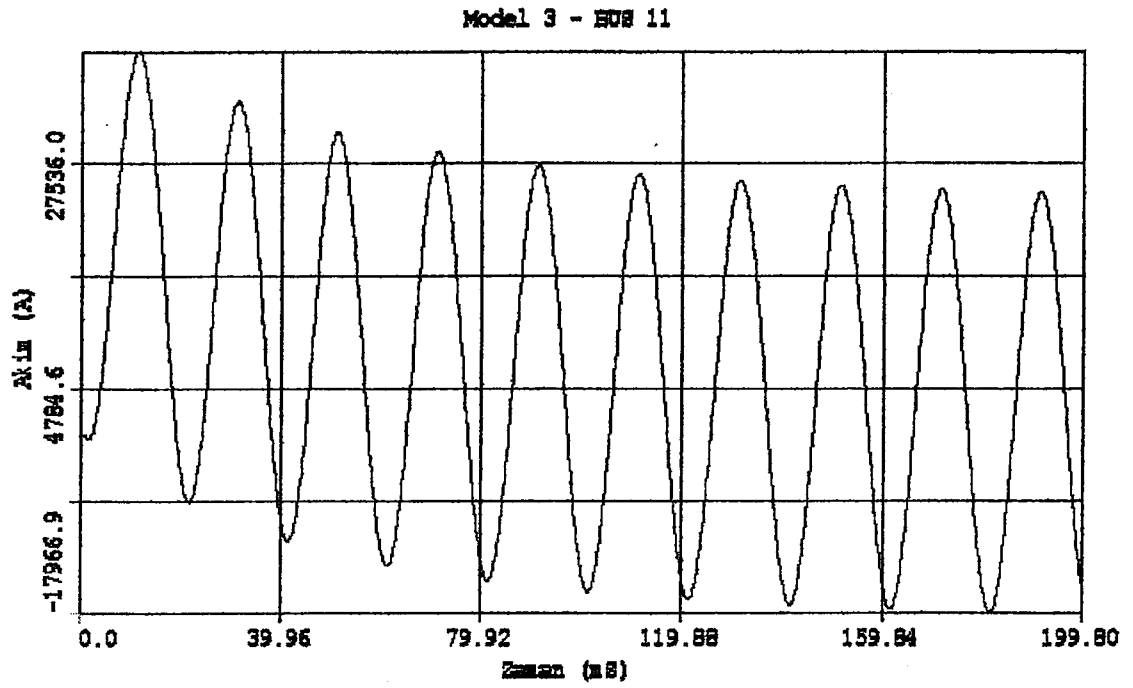
Şekil 5.16 BUS 8'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



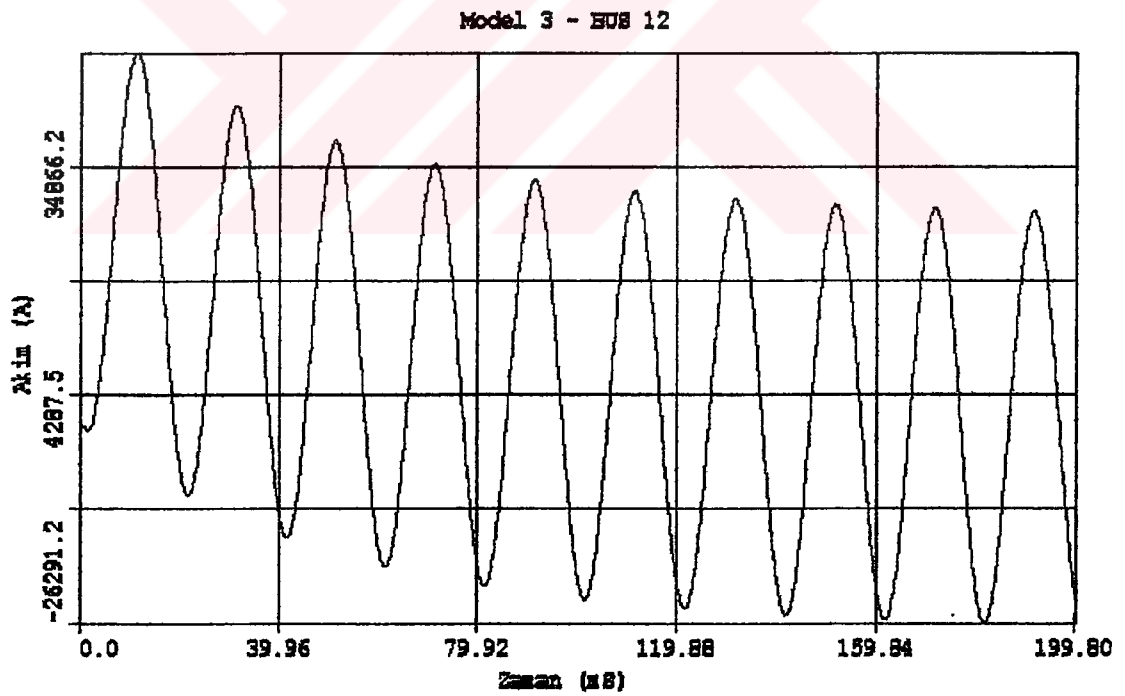
Şekil 5.17 BUS 9'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



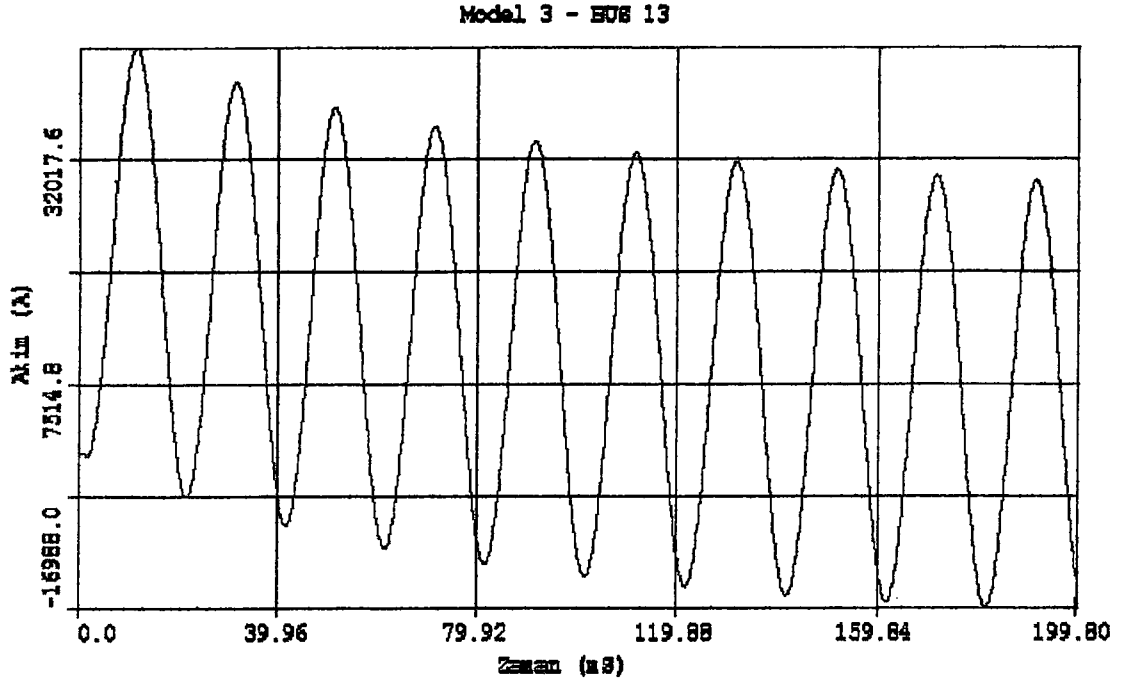
Şekil 5.18 BUS 10'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



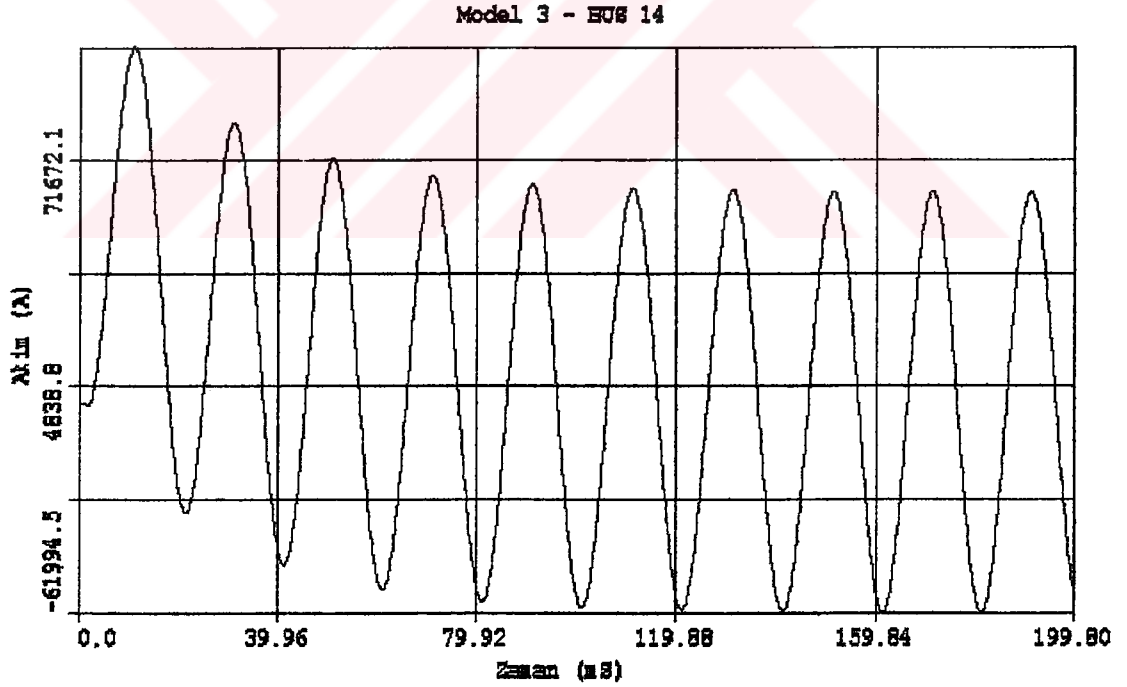
Şekil 5.19 BUS 11'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



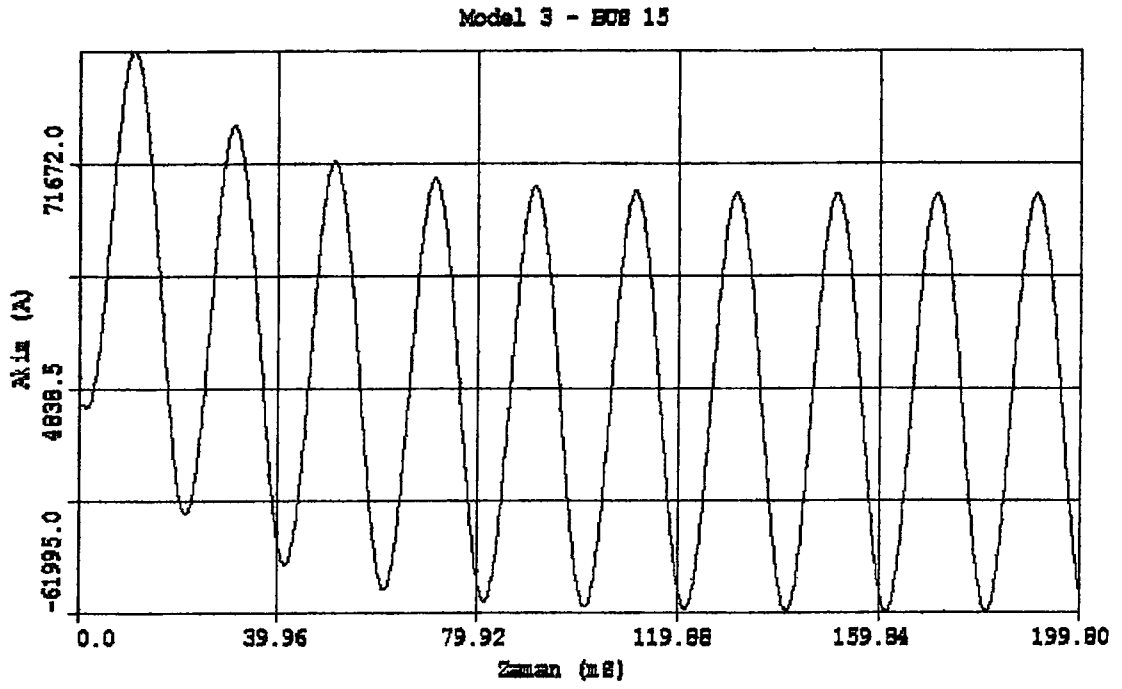
Şekil 5.20 BUS 12'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



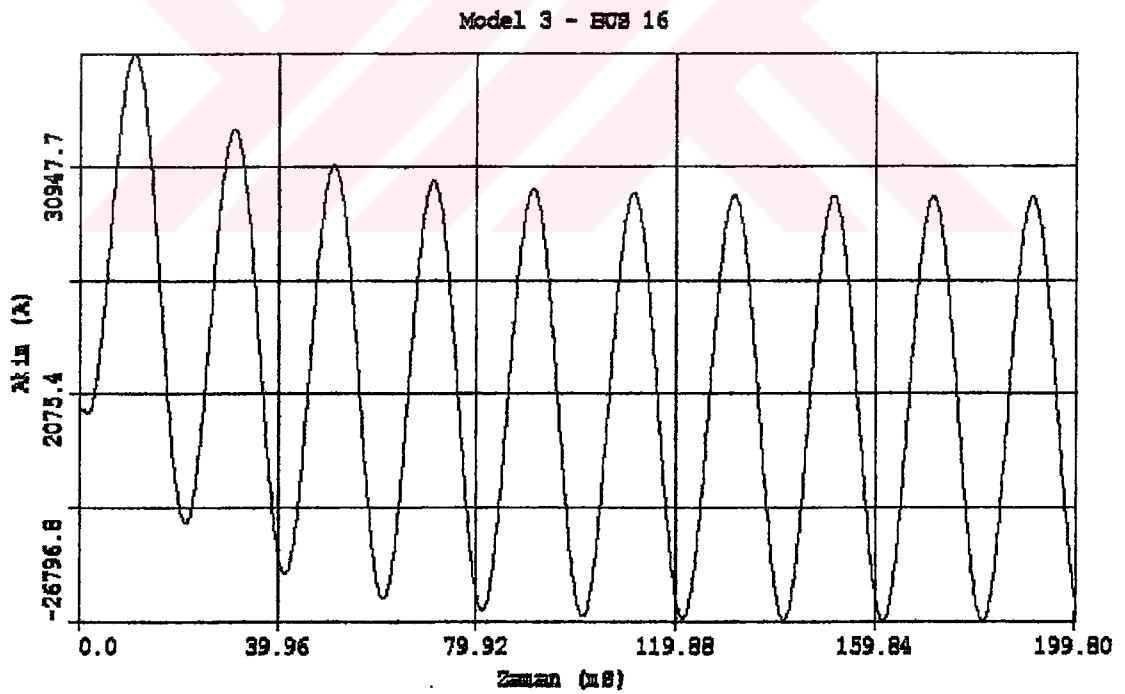
Şekil 5.21 BUS 13'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



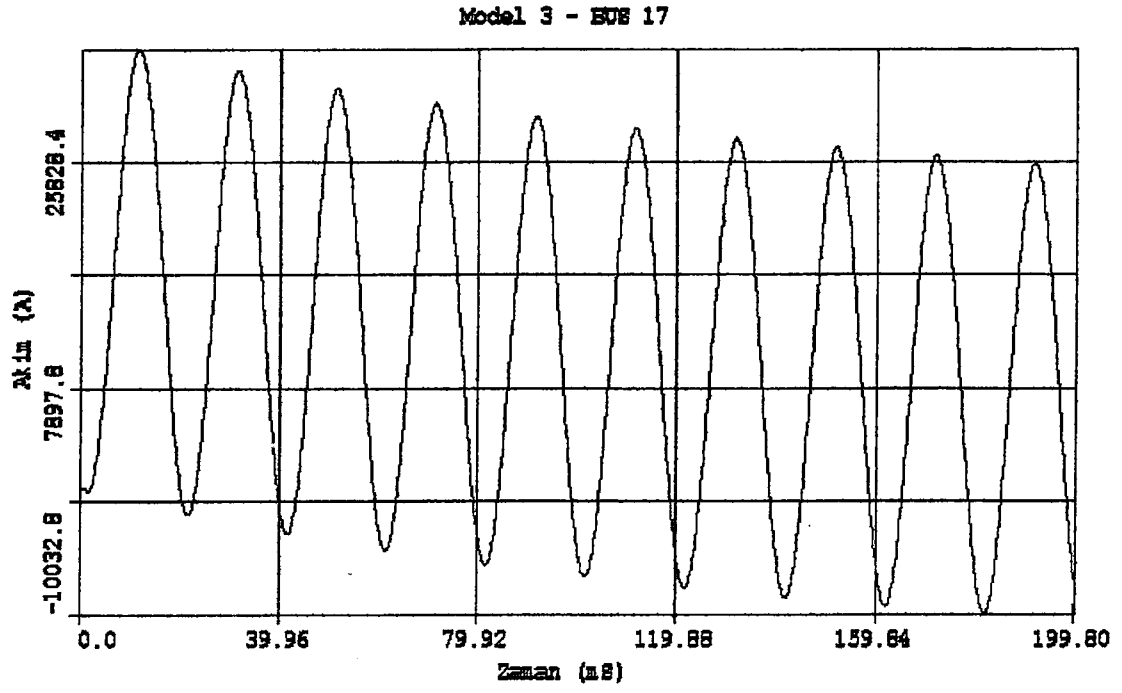
Şekil 5.22 BUS 14'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



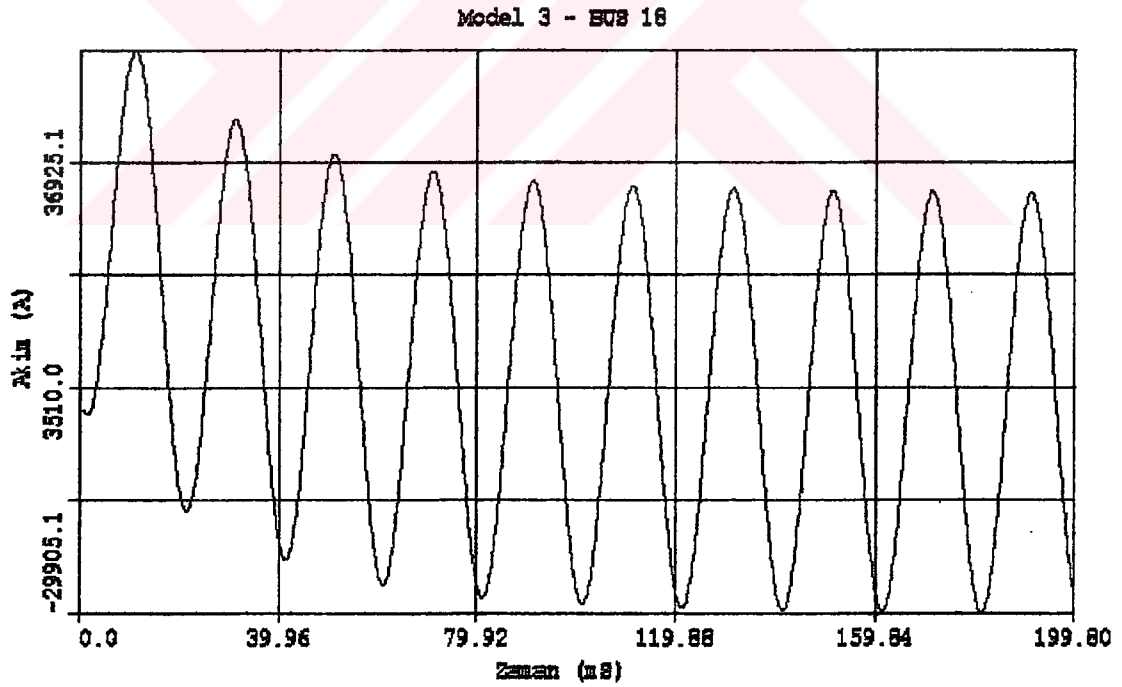
Şekil 5.23 BUS 15'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



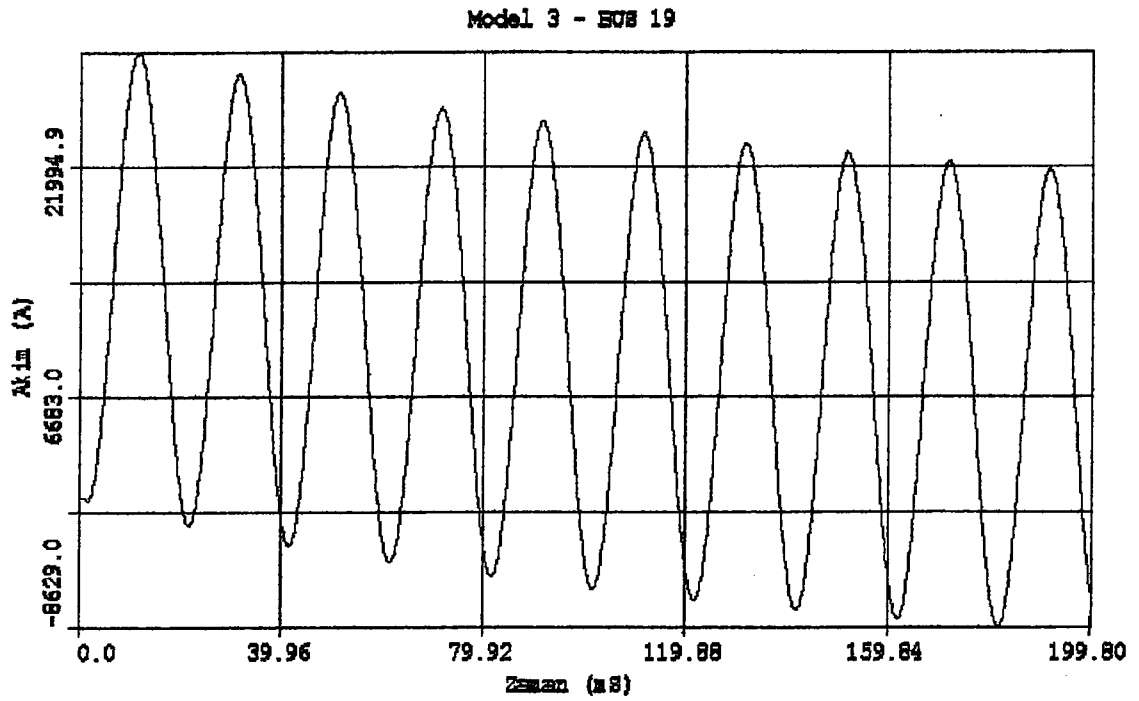
Şekil 5.24 BUS 16'daki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



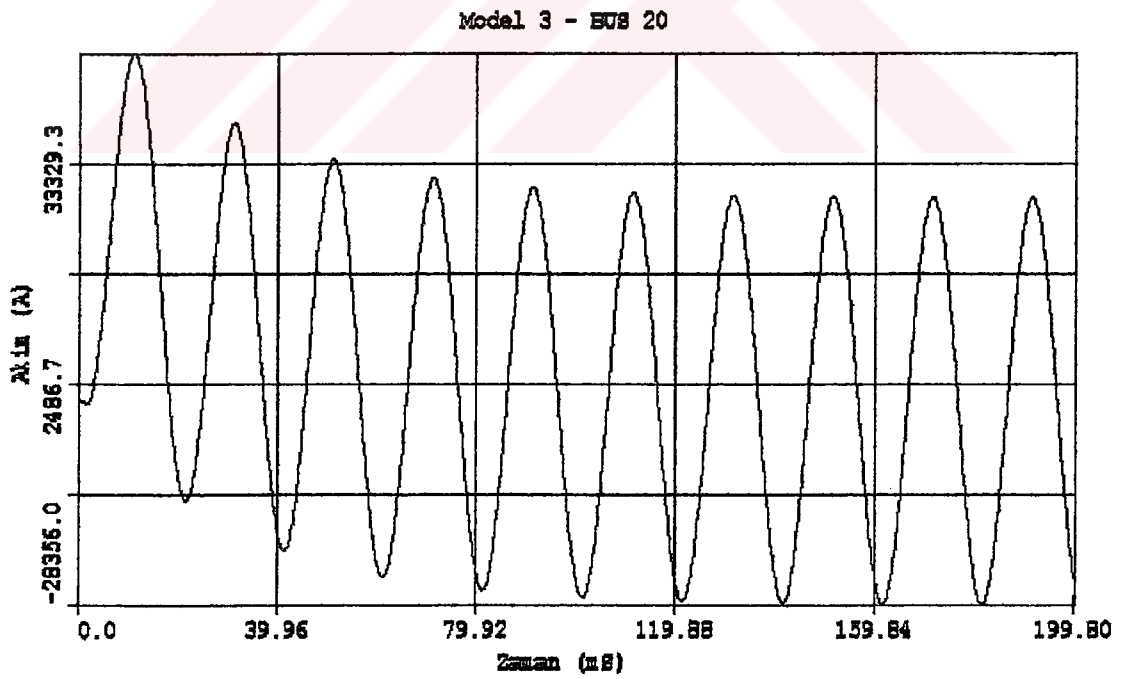
Şekil 5.25 BUS 17'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



Şekil 5.26 BUS 18'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



Şekil 5.27 BUS 19'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi



Şekil 5.28 BUS 20'deki kısa devrenin zamana bağlı değişimi

Tablo 5.3 Karşılaştırma tablosu 3

	EMTP		PROGRAM
	I''_k	i_p	I''_k
BUS 1	4,365	10,978	4,366
0 1	3,789	9,465	3,791
2 1	0,272	0,712	0,272
3 1	0,304	0,803	0,304
BUS 2	3,355	7,564	3,356
1-2	3,042	6,696	3,043
4-2	0,319	0,883	0,318
BUS 3	3,340	7,726	3,342
1-3	2,990	6,765	2,992
6-3	0,354	0,976	0,354
BUS 4	14,419	36,900	14,419
2-4	8,422	21,078	8,426
6-4	5,107	13,644	5,110
7-4	0,369	0,927	0,369
8-4	0,521	1,274	0,518
BUS 5	15,249	39,351	15,249
3-5	8,559	21,570	8,562
9-5	0,540	1,313	0,537
10-5	0,438	1,121	0,439
11-5	5,712	15,364	5,716
BUS 6	14,203	36,043	14,204
4-6	8,988	21,804	8,989
13-6	5,136	14,085	5,137
BUS 7	20,467	55,221	20,481
4-7	18,141	49,439	18,150
12-7	1,136	2,726	1,136
IND B-7	0,533	1,371	0,534
SYN A-7	0,667	1,712	0,667

	EMTP		PROGRAM
	I''_k	i_p	I''_k
BUS 8	14,277	36,292	14,277
4-8	13,755	35,012	13,758
14-8	0,292	0,697	0,289
IND C-8	0,230	0,583	0,231
BUS 9	15,091	38,649	15,090
5-9	14,549	37,334	14,553
15-9	0,285	0,675	0,281
IND D-9	0,257	0,644	0,257
BUS 10	17,925	48,493	17,936
5-10	15,007	41,128	15,015
IND E-10	2,925	7,388	2,926
BUS 11	15,131	38,912	15,132
5-11	9,342	23,184	9,344
13-11	5,121	14,015	5,122
IND F-11	0,674	1,752	0,674
BUS 12	19,562	50,156	19,569
7-12	18,424	47,422	18,430
16-12	0,844	2,026	0,844
IND G-12	0,295	0,716	0,295
BUS 13	16,609	44,269	16,617
6-13	4,327	11,073	4,327
11-13	4,629	12,087	4,629
17-13	4,246	11,720	4,248
19-13	3,416	9,409	3,418
BUS 14	43,952	105,089	43,622
8-14	19,454	46,887	19,460
15-14	22,079	52,466	22,102
IND H-14	2,419	5,736	2,062

	EMTP		PROGRAM
	I''_k	i_p	I''_k
BUS 15	43,952	105,089	43,622
9-15	19,250	45,919	19,267
14-15	21,869	52,601	21,509
IND I-15	2,833	6,569	2,835
BUS 16	19,038	45,384	19,046
12-16	18,193	43,349	18,200
IND L-16	0,219	0,532	0,220
SYN B-12	0,626	1,503	0,626
BUS 17	12,737	34,794	12,742
13-17	5,823	15,716	5,826
18-17	0,061	0,165	0,060
IND J-17	0,109	0,261	0,109
GEN A-17	6,745	18,653	6,748
BUS 18	22,046	53,633	22,048
17-18	20,150	48,430	20,157
IND K-18	1,908	5,244	1,891
BUS 19	10,865	29,651	10,870
13-19	5,599	15,155	5,602
20-19	0,062	0,145	0,062
IND N-19	0,106	0,253	0,106
GEN B-19	5,100	14,101	5,102
BUS 20	20,111	48,751	20,119
19-20	18,157	44,161	18,165
IND M-20	1,954	4,593	1,955

Tablo 5.3'den görüldüğü gibi program [8] sonuçları EMTP'e son derece yakındır, bazı durumlarda ise aynıdır. Bu da, kısadevre hesabı için EMTP gibi karmaşık veri girişi gerektiren çok yönlü bir program yerine daha basit ve sadece kısa devre üzerine yazılmış programların kullanılabileceğini göstermektedir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezde incelenen konu temelde statik ve dinamik hesap yöntemlerinin ayrıntılı analizi ve birbirleriyle karşılaştırılmasıdır. Bu yapılırken statik hesap yöntemi olarak uluslararası standartlardan IEC / VDE ve ANSI ele alınmış, dinamik hesap yöntemi olarak ise EMTP incelenmiştir. İki hesap yöntemi üç farklı model üzerinde uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada dikkat çeken en önemli konu ANSI standartlarından elde edilen sonuçların EMTP'ye çok yakın olması IEC / VDE'den elde edilen sonuçların ise orta ve yüksek gerilimde başlangıç kısa devre akımının hesabında kullanılan 1,1 katsayısı nedeniyle EMTP'den biraz daha uzak olmasıdır. Ancak burada üzerinde önemle durulması gereken konu söz konusu katsayı kullanılmadığı takdirde sonuçların EMTP'ye çok daha yakın olmasıdır. Bilindiği üzere 1,1 katsayısı kısa devre anında generatör gerilimindeki yükselmeyi dikkate alan bir katsayıdır. Eğer incelenen modelde senkron generatörler mevcutsa (gerçekte olduğu gibi), ve bunlar EMTP'nin gerektirdiği şekilde statik bir kaynak değil de dinamik olarak modellenirse elde edilen başlangıç kısa devre akımları IEC / VDE'dekilere daha çok yakınsamaktadır. Bütün bunların yanında EMTP'nin Amerikan kökenli bir program olduğu düşünülürse ANSI standartlarına daha yakın sonuçlar vermesi de bir anlam kazanmaktadır.

Dinamik kısa devre analizi, elektrik mühendislerini yeni ve çok sağlam temeller üzerine kurulmuş bir yöntemle karşı karşıya bırakmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin her geçen gün gelişmesi, doğruluk derecesinin yöntemden çok kullanılan verilere bağlı olduğu hesap yöntemlerini de beraberinde getirmektedir. Bunun sonucu olarak mühendisler, sistemdeki ekipman hakkında daha doğru ve tanımlayıcı veriler elde etme zorunluluğuyla başbaşıdırlar. Bu şekilde bilgiler bir kez elde edildiğinde veri tabanı şeklinde depolanarak data dosyalarında kullanılabilir. Deneyimler göstermiştir ki dinamik simülasyonun ihtiyaç duyduğu bu karmaşık ve çok yönlü veriler elde edilebilmekte ve bu andan sonra sonuçların elde edilmesi için harcanan zaman standartlara oranla çok daha kısa olmaktadır. Özetlemek gerekirse, EMTP ile kısa devre hesabından çıkan sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1) Büyük şebekelerde kısa devre akımını elle hesaplamak yerine EMTP yardımıyla hesaplamak daha avantajlıdır. Tezde yapılan çalışmalar sonucunda, EMTP ile kısa devre akımının doğru bir şekilde hesaplanabildiği ispat edilmiştir.

2) EMTP ile kısa devre akımının hesaplanması sonucunda, akımın geçici olay sırasındaki davranışını gözlemek mümkündür.

3) Gözlü şebekelerde asenkron motor katkılarının ve dal akımlarının elde edilmesi standartlara oranla çok daha kolaydır.

4) EMTP'de generatörler ve asenkron motorlar gibi karmaşık parametreler içeren makinelerin ayrıntılı modellenmesi söz konusu olup, bu makinelerin kısa devre esnasında değişken olan durumları göz önüne

alınarak kısa devre akımının çok daha gerçekçi bir şekilde hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır.

5) EMTP data dosyalarının hazırlanmasının katı kurallara bağlı olması ve programın çoğu zaman anlaşılması çok güç olan hatalar vermesi göz önüne alınırsa daha kullanıcı dostu programlar kullanılması elverişli olabilir.



KAYNAKLAR

- [1] BERIZZI, A., ve dig. Short-Circuit Current Calculation: A Comparison between Methods of IEC and ANSI Standards Using Dynamic Simulation as Reference, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 30, No. 4, pp 1099-1106, (1994)
- [2] BAYRAM, M., VDE Standartları pp 1-61, (1976)
- [3] SIEMENS INSTALLATIONS HANDBOOK Part 1; Power Supply and Distribution Systems, pp 117-184, (1987)
- [4] CASTELLI-DEZZA, F., ve dig. The IEC Standard and Dynamic Simulation of Short Circuit Currents, ETEP, Vol. 4, No. 3, pp 213-221, (1994)
- [5] KNIGHT, G., SIELING, H., Comparison of ANSI and IEC 909 Short Circuit Current Calculation Procedures, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 29, No. 3, pp 625-630, (1993)
- [6] JACOBS-DUNKI, J.R., ve dig A Comparison of ANSI-Based and Dynamically Rigorous Short Circuit Current Calculation Procedures, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 24, No. 6, pp 1180-1194, (1988)
- [7] OLAF, E.R., EFTHYMIADIS, A.E., A Comparison of Static and Dynamic Short Circuit Analysis Procedures, IEEE Trans. Ind. App., Vol.26, No. 3, pp 463-475, (1990)
- [8] CONRAD, R.ST.P., Sample System for Three Phase Short Circuit Calculations, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 26, No. 2, pp 204-211, (1990)
- [9] EMPEREUR, G., EMTP Rule Book, K.U.Leuven EMTP Center Heverlee, (1991)

KAYNAKLAR

- [1] BERIZZI, A., ve dig. Short-Circuit Current Calculation: A Comparison between Methods of IEC and ANSI Standards Using Dynamic Simulation as Reference, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 30, No. 4, pp 1099-1106, (1994)
- [2] BAYRAM, M., VDE Standartları pp 1-61, (1976)
- [3] SIEMENS INSTALLATIONS HANDBOOK Part 1; Power Supply and Distribution Systems, pp 117-184, (1987)
- [4] CASTELLI-DEZZA, F., ve dig. The IEC Standard and Dynamic Simulation of Short Circuit Currents, ETEP, Vol. 4, No. 3, pp 213-221, (1994)
- [5] KNIGHT, G., SIELING, H., Comparison of ANSI and IEC 909 Short Circuit Current Calculation Procedures, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 29, No. 3, pp 625-630, (1993)
- [6] JACOBS-DUNKI, J.R., ve dig A Comparison of ANSI-Based and Dynamically Rigorous Short Circuit Current Calculation Procedures, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 24, No. 6, pp 1180-1194, (1988)
- [7] OLAF, E.R., EFTHYMIADIS, A.E., A Comparison of Static and Dynamic Short Circuit Analysis Procedures, IEEE Trans. Ind. App., Vol.26, No. 3, pp 463-475, (1990)
- [8] CONRAD, R.ST.P., Sample System for Three Phase Short Circuit Calculations, IEEE Trans. Ind. App., Vol. 26, No. 2, pp 204-211, (1990)
- [9] EMPEREUR, G., EMTP Rule Book, K.U.Leuven EMTP Center Heverlee, (1991)

ÖZGEÇMİŞ

Alper Özdemir 1971 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Saint-Michel Fransız Lisesi'nde gördü. 1989 yılında İ.T.Ü. Elektrik Bölümü'ne girerek, 1993 yılında mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

