

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞÜMLERİNİN
ENDÜSTRİYEL YÜKLERDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Müh. Gülşah GÜRLEK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU

Mayıs 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞÜMLERİNİN ENDÜSTRİYEL YÜKLERDEKİ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Müh. Gülşah GÜRLEK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 08 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Ali YALÇIN
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU
Üye

Yrd. Doç. Dr. Mustafa DENKTAŞ
Üye

ÖNSÖZ

Üç fazlı cihazlar hatta meydana gelen kısa süreli gerilim düşmelerinden olumsuz yönde etkilenirler. Üç fazlı cihazlarda görülen kısa süreli gerilim düşmelerinin sınıflandırılabilmesi için simetrik bileşenler temel alınmalıdır. Sınıflandırma metodu, farklı arıza tiplerini, trafo tiplerini ve yük bağlantılarını göz önünde bulundurduğundan hem dengeli hem dengesiz sistemler için uygundur. Sınıflandırmanın üç sonucundan birisi dengeli gerilim düşmeleri için diğerleri dengesiz gerilim düşmeleri içindir. Faz simetrikleri dikkate alındığında dengesiz gerilim düşmeleri kendi içinde altı gruba ayrılmaktadır. Üç faz gerilim düşmesi tanımlamaları sonucunda makine ve kaynak empedansı arasındaki bağlantı göz önüne alındığında dengeli ve dengesiz gerilim düşmeleri için karakteristik gerilim değeri ortaya çıkar. Dengeli ve dengesiz gerilim düşmeleri, bu faktörle birlikte fazör diyagramı kullanılarak tanımlanabilir.

Çalışmam süresince değerli bilgilerini paylaşarak beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım ayrıca çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Elk. Elktro. Müh. Recep MEMİŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Gülşah GÜRLEK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1.Kısa Süreli Gerilim Düşmeleri ve Bununla İlgili Çalışmalar.....	1
1.2.Üç Faz Dengesizlik Problemi.....	3
BÖLÜM 2.	
TERMİNOLOJİ.....	2
2.1. Kısa Süreli Gerilim Düşmeleri ve Diğer Gerilim Sapmaları.....	2
2.2. Tek Fazda Kısa Süreli Gerilim Düşmeleri.....	8
2.3. Tek Faz Kısa Süreli Gerilim Düşmesinin Örneklenmesi.....	9
BÖLÜM 3.	
ÜÇ FAZ KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞMELERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	14
3.1. Dengeli Arızalar.....	14
3.2. Dengesiz Arızalar.....	16
3.2.1. İki bileşenli simetrik bileşenler.....	16

3.2.2. Eşdeğer devreler kullanılarak yapılan dengesiz arıza analizleri.....	18
3.3. Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Tiplerinin tanımı.....	20
3.3.1. Tek faz-toprak arızası.....	21
3.3.2. Faz-Faz Arızası.....	22
3.3.3. Faz-faz-toprak arızası	23
3.3.4. Üç faz arızaları.....	24
3.3.5. Sınıflandırma metoduna genel bakış.....	25
3.3.6. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde faz kayması.....	27
3.3.7. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için simetrik fazlar.....	27
3.4. Transformatörler Üzerinde Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Dönüşümleri.....	31
3.4.1. Temel transformatör modelleri.....	32
3.4.2. Temel trafo modellerinin KSGD tipleri üzerindeki etkisi.....	35
3.4.3. Simetrik fazın değişimi.....	36
3.4.4. Fiziksel transformatörlerden matematiksel modellere.....	38
3.5. Üç Faz Kısa Süreli Gerilim Düşmelerinin Terminolojisi.....	44

BÖLÜM 4.

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞMELERİNİN

YAYILIMI.....	46
4.1. Dağıtım Sistemlerinde Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Yayılımı.....	47
4.1.1. Kısa süreli gerilim düşmesinin ileri ve geri yönde yayılması.....	49
4.1.2. Orta gerilim seviyesinde meydana gelen tek faz-toprak arızaları.....	54
4.1.3. Lokal üretim.....	55
4.2. İletim Sistemlerinde Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Yayılımı.....	57
4.3. Kısa Süreli Gerilim Düşmesinin Yayılımı Çalışmalarında Kullanılan Tek Faz Örneklemesi.....	61
4.3.1. Karakteristik gerilim.....	61
4.3.2. PN faktörü.....	63
4.3.3. Kısa süreli gerilim düşmesinin tipi.....	65

4.4. Yükün Etkisi.....	65
4.4.1. Motorun yavaşlaması.....	66
4.4.2. PN faktörü.....	67
4.4.3. Sınıflandırma metodunun sınırlaması.....	74
BÖLÜM 5.	
ADAPAZARI ŞEBEKESİNDE YAPILAN UYGULAMA SONUÇLARI.....	75
5.1. Şebekenin Simulasyon Ortamında Oluşturulması.....	75
5.2. Orta gerilim seviyesinde (34,5 kV) meydana gelen tek faz-toprak arızalarının gerilim dalga şekilleri.....	80
BÖLÜM 6.	
CİHAZ DAYANIKLILIK TESTLERİ.....	82
6.1. Tek Fazlı Cihazların Testleri.....	84
6.1.1. Test çeşitleri.....	84
6.1.2. Test düzeneği.....	89
6.1.3. Test örneği.....	93
6.2. Üç Fazlı Cihaz Testi.....	95
6.2.1. Testin bölümleri.....	96
6.2.2. Test düzeneği.....	101
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	102
7.1. Sonuçlar.....	102
7.2. Öneriler.....	105
KAYNAKLAR.....	107
EKLER.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	120

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CBEMA	: Bilgisayar Cihazları Üreticileri Birliği
ITIC	: Endüstri Teknolojileri Bilgi Konseyi
KSGD	: Kısa Süreli Gerilim Düşmesi
TFTA	: Tek Faz-Toprak Arızası
PN faktörü(F)	: Pozitif-Negatif Faktörü
FFA	: Faz-Faz Arızası
FFTA	: Faz-Faz Toprak Arızası
3φA	: 3 Faz Arızası
PLL	: Faz Kilitlemeli Çevrim

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Ölçülen tek faz kısa süreli gerilim düşmesi.....	10
Şekil 2.2.	Şekil 2.1 de görülen kısa süreli gerilim düşmesinin genliği.....	10
Şekil 2.3.	Şekil 2.1 de görülen kısa süreli gerilim düşmesinin faz kayması..	11
Şekil 2.4.	Kaybolan gerilim ve kısa süreli gerilim düşmesi sonrası geriliminin arasındaki ilişkiyi gösteren fazör diyagramı.....	13
Şekil 3.1.	Gerilim Bölücü Modeli.....	14
Şekil 3.2.	Şebekeleri tanımlayan bileşen serileri	16
Şekil 3.3.	A fazında oluşan tek faz toprak arızası eşdeğer devresi.....	19
Şekil 3.4.	B ve C fazında oluşan faz-faz arızası eşdeğer devresi.....	19
Şekil 3.5.	B ve C fazında oluşan faz-faz-toprak arızası eşdeğer devresi.....	20
Şekil 3.6.	Farklı tip kısa süreli gerilim düşmelerine ait fazör diyagramı.....	25
Şekil 3.7.	Kısa süreli gerilim düşmesi tipleri.....	26
Şekil 3.8.	Dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için fazların simetrik olduğu göz önünde bulundurularak elde edilen fazör diyagramı.....	28
Şekil 3.9.	Simetrik bileşenli dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin fazör diyagramı.....	31
Şekil 3.10.	Sekonder faz-nötr gerilimi primer faz-nötr geriliminden 120° fark gösteren Ynyn bağlı trafo modeli.....	39
Şekil 3.11.	Ynyn bağlı trafonun saat üzerinde numaralandırılması.....	40
Şekil 3.12.	Sekonder faz-nötr gerilimi primer faz-nötr geriliminden 30° geride olan Dy bağlı transformatör modeli.....	41
Şekil 3.13.	Dy bağlı trafoların sayısal kodlaması.....	43
Şekil 4.1.	Güç sistemlerinde kısa süreli gerilim düşmesi yayılımının değişik tipleri.....	46
Şekil 4.2.	Radyal dağıtım sistemi.....	48

Şekil 4.3.	132 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi.....	52
Şekil 4.4.	33 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi.....	52
Şekil 4.5.	11 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi.....	53
Şekil 4.6.	Görülen bütün kısa süreli gerilim düşmeleri, orta gerilim seviyesinde meydana gelen arızaya bağlıdır.....	55
Şekil 4.7.	132 kV luk hatta meydana gelen tek faz-toprak arızasının oluşturduğu kısa süreli gerilim düşmesi.....	56
Şekil 4.8.	Ring bağlı iletim sistemi.....	57
Şekil 4.9.	A noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri.....	58
Şekil 4.10.	B noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri.....	59
Şekil 4.11.	C noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri.....	59
Şekil 4.12.	D noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri.....	60
Şekil 4.13.	Karakteristik gerilim devrelerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.14.	11 kV luk barada meydana gelen arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesi.....	63
Şekil 4.15.	Karakteristik gerilim devrelerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.16.	11 kV luk hatta meydana gelen arıza sonuçları.....	65
Şekil 4.17.	Arıza sonrası bileşeni ile birlikte ölçülen kısa süreli gerilim düşmesi.....	67
Şekil 4.18.	İndüksiyon motoruna ait pozitif seri eşdeğer devresi.....	68
Şekil 4.19.	İndüksiyon motoruna ait negatif seri eşdeğer devresi.....	69
Şekil 4.20.	13,8 kV luk şebeke.....	71
Şekil 4.21.	11 kV luk barada tek faz-toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesinin PN-faktörünün zamana göre değişimi...	71
Şekil 4.22.	11 kV luk barada meydana gelen dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik genliklerinin zamana göre değişimi.....	72

Şekil 4.23.	Şekil 4.20 de görülen sistemin model devreleri.....	73
Şekil 5.1.	Dağıtım sistemi tek hat şeması.....	75
Şekil 5.2.	154 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi.....	78
Şekil 5.3.	34,5 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi.....	78
Şekil 5.4.	6,3 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi.....	81
Şekil 5.5.	Simulasyon programında hazırlanan devre.....	80
Şekil 5.6.	Orta gerilim seviyesinde meydana gelen arızaya bağlı olarak görülen bütün kısa süreli gerilim düşmeleri.....	80
Şekil 6.1.	CBEMA Eğrisi.....	83
Şekil 6.2.	Dikdörtgensel gerilim-tolerans eğrisi.....	85
Şekil 6.3.	Faz kayması ile birlikte ölçülen kısa süreli gerilim düşmeleri.....	86
Şekil 6.4.	Kısa süreli gerilim düşmelerinin faz değeri ve faz kayması ile ifadesi.....	87
Şekil 6.5.	Kısa süreli gerilim düşmesi noktaları.....	88
Şekil 6.6.	Kısa süreli gerilim düşmesinin 90° de başladığı ve 90° de sona erdiği kısa süreli gerilim düşmesi.....	89
Şekil 6.7.	Kısa süreli gerilim düşmesinin 210° de başladığı ve 200° de sona erdiği kısa süreli gerilim düşmesi.....	89
Şekil 6.8.	Dalga şekli tipi jeneratör IEC-61000-4-11 standartlarında belirtildiği gibi dalga jeneratörü olarak kullanılmıştır.....	90
Şekil 6.9.	Trafo tipi jeneratör IEC 61000-4-11 standartlarında belirtildiği gibi dalga jeneratörü olarak kullanılmıştır.....	91
Şekil 6.10.	Gelişmiş trafo tipi kısa süreli gerilim düşmesi jeneratörü kullanılan genlik, süreklilik ve faz kayması testi.....	92
Şekil 6.11.	Oluşan kısa süreli gerilim düşmesinin faz kayması ile birlikte fazör diyagramı.....	93
Şekil 6.12.	Yazıcıya ait güç kaynağı.....	93
Şekil 6.13.	% 70 kısa süreli gerilim düşmesi esnasında yazıcıya ait test sonuçları.....	94
Şekil 6.14.	Yazıcının gerilim tolerans eğrisi.....	95

Şekil B.1.	Gerilim Bölücü Modeli.....
Şekil B.2.	TFTA'nın Seri Şebeke Bağlantısı.....
Şekil B.3.	Faz-faz arızası için seri şebeke bağlantısı.....

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Şekil 2.1 de görülen kısa süreli gerilim düşmesinin sayısal sonuçları.....	12
Tablo 3.1.	Dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için faz gerilimleri.....	29
Tablo 3.2.	Kısa süreli gerilim düşmesi tipleri için simetrik bileşen ifadeleri....	30
Tablo 3.3.	Trafo tiplerinin gerilimler üzerindeki etkisi.....	34
Tablo 3.4.	Trafolarla göre kısa süreli gerilim düşmesi tiplerindeki dönüşümler	36
Tablo 3.5.	Simetri dönüştürücülerine bağlı simetri değişimleri	37
Tablo 3.6.	Simetri dönüştürücü tiplerinin gerilimler üzerindeki etkisi.....	38
Tablo 3.7.	Kısa süreli gerilim düşmesi dönüşümleri için Yy ve Dd bağlı sistemlerin matematiksel modeli.....	40
Tablo 3.8.	Dy bağlı trafoların matematiksel modelleri.....	43
Tablo 3.9.	Yd bağlı trafolar için matematiksel modeller.....	43
Tablo 4.1.	Şekil 4.2 de görülen sistemin kaynak empedansı.....	48
Tablo 4.2.	Şekil 4.2 de görülen sistemin transformatörlerin bağlantıları.....	49
Tablo 4.3.	Şekil 4.2 de görülen sistemin hat bilgileri.....	49
Tablo 4.4.	Simulasyon sonuçları.....	51
Tablo 4.5.	Jeneratörün kaynak empedansı.....	58
Tablo 4.6.	İletim hattı parametreleri.....	58
Tablo 4.7.	Üç faz indüksiyon motorlarının yaklaşık sabitleri.....	70
Tablo 4.8.	Üç faz indüksiyon motorlarının hesaplanmış değerleri.....	70
Tablo 5.1.	Şekil 5.1 de görülen sistemin kaynak empedansı.....	76
Tablo 5.2.	Şekil 5.1 de görülen sistemin transformatörlerin bağlantıları.....	76
Tablo 5.3.	Şekil 5.1 de görülen sistemin hat bilgileri.....	76
Tablo 5.4.	Simulasyon Sonuçları.....	77
Tablo 6.1.	Seçilen genlik ve süreklilik değerleri.....	85
Tablo 6.2.	Seçilen karakteristik gerilim ve süreklilik değerleri.....	97

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemleri, güç kalitesi, gerilim düşümleri, simetrik bileşenler, tanımlama, alan ölçümü, cihaz koruma testi.

Gerilim düşümü, gerilim genliğinin birkaç periyot ve çeşitli saniyeler arasında azalmasıdır. Gerilim düşümleri kötü-çalışmaya veya son kullanıcı cihazlarında hataya sebep olur. Bir düşüm sırasında güç kaynağına ait üç fazlı gerilim, üç-fazlı cihazlardaki gerilim düşümlerinin etkisinin tayini için analize ihtiyaç duyar.

Bu tezde, üç fazlı dengesiz gerilim düşümlerinin tanımları ve yayılmaları açıklanmaktadır. Sınıflandırma metodu enerji kalite teftişinden, gerilim düşümü ölçümünü analiz etmek için ve gerilim düşümlerine karşı üç fazlı cihaz korunmasını test etmek için kullanılır.

Düşüm sınıflandırılması, kanıtlanmış simetrik bileşenler teorisini temel alır. Hata çeşitleri, trafo çeşitleri ve yük bağlantıları göz önünde bulundurularak, dengeli ve dengesiz düşümler için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Tanımlama, dengesiz düşümler için, kaynak öz direnci dinamik yük dağılımına bağlı olarak, dengeli ve dengesiz düşümler için sözde bir PN faktörünün yanında, sözde bir karakteristik gerilim meydana getirir. Çeşitli kabul edilebilir varsayımlarla, sınıflandırma metodu, tüm üç fazlı düşümleri tek bir kompleks sayıyla, yani karakteristik gerilimle, nicelendirebilir. Yapılan ölçümler göstermiştir ki, kanıtlanmış sınıflandırma metodu hem iletim hem de dağıtım sistemlerin için kabul edilir.

Gerilim düşümüne bağlı olarak faz-açı kayma durumu, tanımlanmış matematiksel modellerle açıklanır. Güç kalite teftişinden, gerilim düşüm ölçümünü sunmak için ve üç-fazlı cihaz koruma testini gerçekleştirmek için, sınıflandırma metodu yararlık, müşteriler ve cihaz üreticileri arasında bilgi değişimi için bir düzlem önerir.

VOLTAGE SAG

SUMMARY

Key Words: Power systems, power quality, voltage dips (sags), symmetrical components, characterization, field measurement, equipment immunity test.

A voltage dip is a reduction in the voltage magnitude with a duration between a few cycles and several seconds. They lead to mal-operation or tripping of several types of end-user equipment. The three-phase voltage relation of the power supply during a dip needs to be analyzed to assess the influence of voltage dips on three-phase equipment.

The three-phase unbalance of voltage dips in their characterization and propagation is dealt with in this dissertation. The classification method is applied to analyse voltage dip measurement from power quality survey, and to test three-phase equipment immunity against voltage dips.

The dip classification is based on the well-proven theory of symmetrical components. Mathematical models are developed for both balanced and unbalanced dips, taking into account the fault types, transformer types and load connections. The characterization results in a so-called characteristic voltage for balanced and unbalanced dips as well as a so-called PN-Factor, relating to the dynamic loads contribution to the source impedance for unbalanced dips. With several acceptable assumptions, the classification method is able to quantify all three-phase dips by one single complex number, namely the characteristic voltage. Field measurements show that the proposed classification method holds for both transmission systems and distribution systems.

The phase-angle shift phenomenon associated with voltage dips is well explained by the mathematical models introduced. In presenting voltage dip measurement from power quality survey and performing three-phase equipment immunity test, the classification method offers a platform to exchange information between utilities, customers, and equipment manufacturers.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Kısa Süreli Gerilim Düşmeleri ve Bununla İlgili Çalışmalar

Büyük güçlü motorların devreye girmesi ve kısa devre arızaları nedeniyle gerilimin efektif değerinde meydana gelen azalmalar, kısa süreli gerilim düşmelerini meydana getirir. Bozucu, kısa süreli gerilim düşmeleri kısa devre arızalarından kaynaklanmaktadır. Güç sistemlerinde meydana gelen arızalar sonucunda; aydınlatma bozuklukları, cihaz arızaları ve kazalar gibi durumlar ortaya çıkabilir. Kısa süreli gerilim düşmelerinin en ilgi çekici bölümü çeşitli makinelerde meydana gelen problemlerdir [1]. Özellikle; bilgisayarlar, denetim-kontrol sistemleri, hız kontrol üniteleri gibi makinelerin hassasiyeti olumsuz etkilenir. Modern sanayi işletmelerinde kullanılan cihazların (denetleyiciler, programlanabilir kontrolörler, hız kontrol üniteleri gibi) karmaşıklığı arttıkça ve bu cihazlar gelişmiş denetim ünitelerine bağlandıkça kısa süreli gerilim düşmelerine karşı hassasiyetleri artmaktadır. Kısa süreli gerilim düşmeleri ve kısa kesintiler çoğunlukla alıcı için enerji kalitesi konusunda tamiri zor ve pahalı problemler meydana getirir. Koruyucu sistemler kullanılması kesinti meydana geldiğinde devrede bulunan alıcıların sadece bir kısmının etkilenmesini sağlar. Bu durum genellikle devre üzerinde arıza olduğunda meydana gelir. Eğer cihazlar gerilim düşmelerine karşı hassas ise ortaya çıkan problemler sadece kesintilere karşı hassas olan cihazların problemlerinden daha fazla olacaktır [2].

Son on yılda enerji kalitesi açısından cihaz üreticileri ve kullanıcılar arasındaki en önemli problem kısa süreli gerilim düşmeleridir. Kısa süreli gerilim düşmesi problemlerinin anlaşılabilmesi için oluşturulan çalışma grupları; belgeler ve uluslararası standartlar ortaya koymuşlardır [9,17,22,23].

Bu tez kısa süreli gerilim düşmesi çalışmalarında dengesiz üç faz problemleri ile ilgili yeni düşünceler geliştirmek amacıyla hazırlanmıştır. Üç fazlı cihazlarda görülen kısa süreli gerilim düşmelerinin sınıflandırılabilmesi için simetrik bileşenler temel alınmalıdır. Sınıflandırma metodu, farklı arıza tiplerini, trafo tiplerini ve yük bağlantılarını göz önünde bulundurduğundan hem dengeli hem dengesiz sistemler için uygundur. Sınıflandırmanın üç sonucundan birisi dengeli gerilim düşmeleri için diğerleri dengesiz gerilim düşmeleri içindir. Faz simetrikleri dikkate alındığında dengesiz gerilim düşmeleri kendi içinde altı gruba ayrılmaktadır. Üç faz gerilim düşmesi tanımlamaları sonucunda makine ve kaynak empedansı arasındaki bağlantı göz önüne alındığında dengeli ve dengesiz gerilim düşmeleri için karakteristik gerilim değeri ortaya çıkar. Dengeli ve dengesiz gerilim düşmeleri, bu faktörle birlikte fazör diyagramı kullanılarak tanımlanabilir.

Sınıflandırma metodu Bölüm 1.2 de belirtilen dengesiz üç faz problemlerini çözmektedir. Dengeli ve dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri tek bir gerilimle ölçülebildiği gibi, değişik tiplerdeki farklılıklar göz önünde bulundurularak hassasiyet eğrileri de kullanılabilir. Her çeşit kısa süreli gerilim düşmesinde elde edilen cihazın dayanıklılık eğrileri, cihazın parçaları için de kullanılabilir.

Bölüm 2 de diğer bölümlerin terminolojilerini karşılamak amacıyla tek fazlı cihazlar için tek fazda görülen kısa süreli gerilim düşmesi gibi gerilim bozuklukları tanımlanmaktadır. Üç fazlı kısa süreli gerilim düşmelerinin sınıflandırma yöntemi 3. bölümde ele alınmıştır. Bu bölümde verilen bilgiler kullanılarak güç sistemlerindeki üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin yayılımı 4. bölümde incelenmiştir. 5. bölümde enerji kalitesi araştırmalarından elde edilen bilgiler kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Saha ölçüm bilgileri teoriyi kanıtlamak için kullanılmıştır. Bölüm 6 da cihazların kısa süreli gerilim düşmelerine karşı dayanıklılık testleri anlatılmıştır. Üç fazlı cihaz testleri kısa süreli gerilim düşmelerinde sınıflandırma teorisine dayandırılmıştır. Testlerin gerçekleştirilmesi için gerekli düzeneklerde bu bölümde gösterilmektedir.

Kısa süreli gerilim düşmeleri ile ilgili çalışmalar aşağıdaki kategorilere ayrılmıştır:

1.Kısa süreli gerilim düşmesinin tanımı:

Bu çalışmalar kısa süreli gerilim düşmesi karakteristiği ile ilgili bilgi edinmeyi amaçlamaktadır. Arızanın yayılması ile ilgili çalışmalar ve yapılan ölçümler bunun için kullanılmaktadır. Gerilim değerindeki azalma ve olayın süresi başlıca karakteristiklerdir. Kısa süreli gerilim düşmeleri genellikle genlik ve süreyle tanımlanır. Ancak yapılan bazı çalışmalar; faz kayması, dalga şeklindeki bozulma, faz dengesizliği gibi kısa süreli gerilim düşmesiyle alakalı başka karakteristiklerinde olduğunu ve bunların da hassas cihazlarda problem yaratabileceğini ortaya koymuştur. Bu yüzden son yıllarda yapılan çalışmalarda bu karakteristikler de dikkate alınmaktadır.

2.Cihazların dayanıklılığı:

Kısa süreli gerilim düşmesi çalışmalarının büyük bir bölümü cihazların hassasiyetiyle alakalıdır. Elektrikli cihazlar çeşitlerine göre farklı gerilim toleranslarına sahiptir. Referans olarak alınan (Bilgisayar Cihazları Üreticileri Birliği) CBEMA eğrisi sadece işi yapan ana bilgisayarlara yöneliktir. CBEMA ile birlikte çalışan (Endüstri Teknolojileri Bilgi Konseyi) ITIC, CBEMA eğrisinin yenilenmiş halini kabul etmiştir. Yeni eğri ITIC eğrisi olarak adlandırılmıştır. Uluslar arası standartlar başlangıç testleri ve gerilim düşmelerine karşı dayanıklılık testi prosedürleri hakkında bilgi vermektedir. Ancak bunlar sadece kısa süreli gerilim düşmesinin değeri ve süresi ile ilgilenir. Enerjisiz karakteristiklerin, cihazların bazı parçaları üzerindeki etkisi konusunda çalışmalar yapılmasına rağmen henüz bu konuda bir standart düzenlenememiştir.

3.Stokastik değerler:

Cihaz parçalarının kaynağa uyumluluğunun bulunabilmesi için kaynak noktasındaki kısa süreli gerilim düşmelerinin tahmini sayısının bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgi için iki metot kullanılır: 1.Belli bir zaman diliminde kaynağı görüntülemek 2.Stokastik tahmin yapmak. Bazı Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde geniş skalalı enerji kalitesi ölçümleri yapılmaktadır. Bu ölçümler kısa süreli gerilim düşmesi frekansı hakkında genel izlenimler verse de kısa sürede kesin sonuçlar almak zordur. Zaman, sistemin yapısını değiştirdiği gibi devamlılığını da etkiler. Stokastik tahminler; geçmişteki arıza frekansı verilerine ve güç sistemlerinde kısa

sürelili gerilim düşmesinin yayılma bilgilerine dayandırılır. Stokastik tahminler çabuk sonuçlar verirler ve sistem yapısındaki değişikliklere kolayca uyarlanabilirler. Aynı zamanda henüz rastlanmamış sistem ve durumların meydana gelmesinde de etkilidir. Bu çalışmalarda; sonuçta sürekliliği etkileyecek olan çeşitli yaklaşımlar yapılmaktadır.

4.Hafifletmek:

Kısa süreli gerilim düşmesi problemlerini hafifletmek için; örneğin cihaz problemlerinin sayısını düşürmek için çeşitli metotlar önerilmiştir ve bunlar kullanılmaktadır: 1.Kısa süreli gerilim düşmesi sayısını azaltmak için güç kaynağının kalitesini artırmak, 2.Güç kaynağı ve cihaz arasında kompanzasyonu sağlamak, 3.Cihazın üretiminde yenilemeler yaparak kısa süreli gerilim düşmelerinden etkilenmesini azaltmak.

Bu dört farklı kategorideki çalışma birbirine dayandırılmaktadır. Kısa süreli gerilim düşmelerinin tanımlanması başka çalışmaların temelidir. Hafifletme metotları arasından seçim yapılabilmesi için zararlı gerilim düşmelerinin sayısının ve kullanılacak metotların etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Cihaz dayanıklılık testi, elektromanyetik alan içindeki cihazın hassasiyetini belirler. Bu çalışmalar sırasında zamanın çoğu kısa süreli gerilim düşmesi probleminin çözülmesi için harcanır.

1.2. Üç Faz Dengesizlik Problemi

Dengesiz arızalar güç sistemleri arızalarının büyük bölümünü oluşturur çünkü faz-faz yada tek faz arızalarından kaynaklanan dengesiz üç faz kısa süreli gerilim düşmeleri, dengeli kısa süreli gerilim düşmelerine göre daha sıklıkla görülür. En düşük faz gerilimleri aynı olduğunda dengesiz kısa süreli gerilim düşmesi oluşumu, dengeli kısa süreli gerilim düşmesine göre daha azdır. Faz dengesizliği ve faz kayması gibi enerjisiz karakteristiklerde büyük dengesiz gerilim düşmeleri gözlenir. Bu durum cihazlar için problem oluşturur.

Önceden de belirtildiği gibi kısa süreli gerilim düşmesi, genliği ve süresiyle tanımlanır. Gerilim düşmesi verileri genellikle genlik-zaman ekseninde çizilen

hassasiyet eğrileri ile açıklanır. Tek fazlı cihazların hassasiyeti için çizilen eğriler, üç fazlı cihazların incelenmesi için uygun olmayabilir.

Her durum için en düşük faz gerilimini gösteren yaygın bir yöntem vardır. Bu aynı zamanda üç fazlı bir yükün en düşük üç faz gerilimine karşı hassasiyetini de gösterir. Ancak bu olayın doğruluğu ile ilgili genelleme yapmak mümkün değildir. Simülasyonlar bu durumun üç fazlı hız kontrolörleri için doğru olmadığını göstermiştir. Alçak gerilim hassasiyeti konusunda bilinen bir çalışma yoktur. Belli bir seviyenin altındaki kısa süreli gerilim düşmesi cihazları etkilemezken; iki faz ve üç fazda meydana gelebilecek gerilim düşmeleri cihaz arızalarına sebep olmaktadır. Önerilen diğer metotlar, üç fazlı yüklerin ortalama gerilim bilgilerini içerir. Bu ortalama büyüklük üç fazdan herhangi birinin gerilim değeriyle örtüşmez. Bu metot da ilk yaklaşımla aynı sorunlara sahiptir. Cihazın bir bölümü için yapılan gerilim düşmesi ölçümlerinde tek bir değer kullanmak doğru değildir. Üç fazın ayrı ayrı ölçümleri sistemin tamamını ortaya koyar ancak bunu koordinat sistemine yansıtmak zordur.

Stokastik tahmin çalışmalarında, dengesiz gerilim düşmeleri hakkında tahminde bulunmak dengeli gerilim düşmelerine göre daha karmaşıktır. Sonraki durumlarda tek faz tasarımları kullanılabilir. Güç sistemlerinde meydana gelen dengesiz gerilim düşmelerinin yayılımı dengeli gerilim düşmelerinden farklı etki gösterir. Örneğin, tek fazdaki gerilim düşümü sistemi besleyen trafoya ulaşana kadar diğer fazda da gerilim düşümüne sebep olabilir. Üçgen bağlı yükler, yıldız bağlı yüklerden farklı gerilimlere maruz kalırlar.

Üç fazlı cihazların dayanıklılık testlerinin gerçekleştirilebilmesi, için üç fazlı sistemlerde fazlar arasındaki bağlantıların bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca dengesiz gerilim düşmelerinde genlik değiştiğinde faz kayması da değişir. Dengesiz arızaların ve bunların güç sistemlerinde yayılımının çeşitlerini anlayabilmek için, oluşumlarıyla ilgili istatistiklere bakmak gerekir. Yukarıda belirtildiği gibi ne var olan stokastik tahmin metotları ne de enerji kalitesi incelemeleri dengesiz gerilim düşmeleri hakkında yeterli bilgi vermez. Üç faz dengesizliği giderilmedikçe üç fazlı cihazların hassasiyet testi gerektiği gibi yapılamaz.

BÖLÜM 2: TERMINOLOJİ

Terminoloji; kısa süreli gerilim düşmeleri ve gerilim problemlerini anlatmak amacıyla uluslar arası standartlarda kullanılmaktadır. Ancak bu standartlar her zaman tutarlı değildir ve tanımlanmamış hususları bulunmaktadır. Enerji kalitesi literatüründe kullanılan bazı terimlerde anlam karmaşası yaşanmaktadır. Ortaya çıkacak karışıklıklara engel olmak amacıyla bu bölümde konunun terminolojisi ele alınmıştır. Bu terimler üç kategoride incelenir: 1. Kısa süreli gerilim düşmeleri ve diğer gerilim sapmaları, 2. Tek faz kısa süreli gerilim düşmesi, 3. Üç faz kısa süreli gerilim düşmeleri. Üç faz kısa süreli gerilim düşmeleri ile ilgili tanımlamalar 3. bölümdeki teoriye dayandırılmaktadır.

2.1. Kısa Süreli Gerilim Düşmeleri ve Diğer Gerilim Sapmaları

RMS (Efektif): Gerilim veya akımın efektif değeri ana frekansın bir veya bir buçuk çevrimdeki değeridir. (50 Hz veya 60 Hz)

Aşırı gerilim: Bir dakikadan uzun sürede gerilimin efektif değerinde % 110 oranından fazla değerde meydana gelen artıştır. Gerilim kabarmasından ayırt edilebilmesi için uzun süreli aşırı gerilim olarak adlandırılır. Normal çalışmadaki gerilim sınırları % 90-110 oranında farklı ise farklı bir gerilim kullanılabilir.

Gerilim düşümü: Bir dakikadan uzun sürede gerilimin efektif değeri güç frekansının % 90 değerinden aşağı düşerse gerilim düşümü meydana gelir. Kısa süreli gerilim düşümünden ayırt etmek için uzun süreli gerilim düşümü olarak adlandırılır. Normal çalışmadaki gerilim sınırları % 90-110 oranından farklı değerde ise gerilim değerleri değişebilir.

Kısa kesinti: Bir dakikayı aşmamak kaydıyla efektif gerilim değerindeki % 1 oranın altına düşme durumudur. Kaynaktaki toplam kayba müteakip kaynağın kendini otomatik yenilemesi olarak tanımlanır.

Uzun kesinti: Efektif gerilim değerindeki % 1 oranın altına düşme durumu bir dakikadan uzun sürerse bu tanımlama kullanılır. Kaynaktaki toplam kayba müteakip kaynağın analog yenilenmesi olayıdır.

Kısa süreli gerilim düşmesi (KSGD): Bir dakikadan kısa bir zaman içerisinde, kısa devre arızaları, motorların veya büyük yüklerin devreye girmesi gibi nedenlerle gerilimin efektif değerindeki azalmadır. Gerilimin sıfırlandığı durumlar kısa süreli gerilim düşmesi olarak değil kesinti olarak adlandırılır. Ancak kısa devre arızalarından kaynaklanan olaylar kısa süreli gerilim düşmesi olarak adlandırılabilir.

Gerilim yükselmesi: Sistemdeki anahtarlamalar, kısa devre arızaları ve büyük yüklerin devreye girmesi gibi nedenlerle 1 dk.dan kısa zaman zarfında gerilim değerinde meydana gelen artıştır.

Gerilim dengesizliği: Üç fazın gerilim değerlerindeki farklılık ve faz kayması nedeniyle ortaya çıkan olaylardır.

Genlik dengesizliği: Üç faz ortalama geriliminin faz arasındaki maksimum sapmanın, ortalama gerilime bölünmesiyle elde edilen değerdir.

Faz açısı dengesizliği: Üç faz arasındaki açı farkının maksimum sapması durumudur.

Negatif seri dengesizlik oranı: Negatif seri bileşenlerinin pozitif seri bileşenlerine oranıdır, genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir.

Sıfır seri dengesizlik oranı: Sıfır serisi bileşenlerinin pozitif seri bileşenlerine oranıdır ve yüzde (%) olarak ifade edilir.

Çevrimiçi aşırı gerilim: Yarım çevrimden kısa sürede meydana gelen ani gerilim yükselmeleridir ki kutuplaşmada tek yönlülüğe sebep olur.

Çevrimiçi gerilim düşümü: yarım çevrimden kısa zamanda meydana gelen ani gerilim düşmeleridir ki kutuplaşmada tek yönlülüğe sebep olur.

Çevrimiçi salınım bozuklukları: Devam eden gerilim salınımlarında meydana gelen ani yükselme ve düşmelerdir. Salınım frekansı, güç sisteminin ana frekansından büyüktür.

Gerilim çentiği: Anahtarlamaların başlangıçta dalga şeklinde oluşturduğu kutuplaşmanın gerilim dalga şeklinde yarattığı problemlerdir ve yarım çevrimden kısa sürede sona erer.

2.2. Tek Fazda Kısa Süreli Gerilim Düşmeleri

Bu başlık altında tek fazlı cihazların gerilim toleransları hakkında bilgi edinmek amacıyla sadece bir faz gerilimi üzerinde çalışma yapılmıştır.

Kısa süreli gerilim düşmesi genliği: Arıza sürecindeki gerilim değerinin bir birimdeki efektif gerilim değeridir. Kısa süreli gerilim düşmesinin genliği zamana bağlı bir fonksiyondur.

Kalıcı kompleks gerilim: Bir fazdaki kısa süreli gerilim düşmesini gösteren kompleks sayıdır. Değeri, kısa süreli gerilim düşmesinin genliğine eşdeğerken, gerilimin faz kaymasını da ifade ettiği tartışılmaktadır.

Minimum genlik: Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıcı ile bitişi arasındaki zamanda gerilimin genlik değerinde gözlenen en düşük değerdir.

Gerilim düşümü: Arıza öncesindeki gerilimin efektif değeri ve arıza esnasındaki gerilim değeri arasındaki farktır.

Maksimum gerilim düşümü: Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıcı ve sona ermesi arasındaki sürede gözlenen en büyük gerilim düşümü değeridir.

Kayıp gerilim: Arıza esnasındaki gerilim ve arıza olmadığında görülen gerilim arasındaki fark olarak tanımlanır.

Kompleks kayıp gerilim: Bir fazdaki kısa süreli gerilim düşmesine ait kayıp gerilimi tanımlayan kompleks sayıdır. Arıza öncesi gerilim ve arıza esnasındaki gerilim değerinin kompleks sistemdeki farkı olarak da tanımlanır.

Kayıp gerilim genliği: Kayıp gerilimin efektif değeridir ve zamana bağlı bir fonksiyondur.

Kayıp gerilimin maksimum genliği: Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıcı ile sona ermesi arasında kaybolan maksimum gerilim değeridir.

Faz kayması: Kısa devre arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri sadece gerilim değerini düşürmez aynı zamanda gerilimin faz açısını da değiştirir.

Faz kaymasının iki etkeni vardır. Arızalı hat ile kaynak arasındaki X/R oranı değişimi ve arıza ile yükün birleşme noktasındaki faz açısı değişimi. Faz dengesizliği ise dengesiz arızalara bağlıdır.

Ölçülen faz kayması: Arıza esnasında dalga şeklinde görülen değişimler, arıza öncesindeki dalga şekline benzer. Pozitif kayması, arıza anındaki gerilimin faz açısının arıza öncesi geriliminden önde olduğunu gösterir. Negatif faz kayması ise

arıza anındaki gerilimin faz açısının arıza öncesi geriliminden geride olduğunu gösterir.

Maksimum faz kayması: Maksimum faz kayması arıza esnasında sabit değildir.

Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktası: Kısa süreli gerilim düşmesi başladığında gerilimin dalga şeklinde normal haline göre önemli bir düşüş meydana gelir. Faz açısı gerilimin artan sıfır geçişi ile karşılaştırılarak ölçülür. Her kısa süreli gerilim düşmesi için gerilim düşmesinin başlangıç noktasını tespit etmek mümkün değildir.

Kısa süreli gerilim düşmesinin bitiş noktası: Kısa süreli gerilim düşmesinin sona ermesiyle dalga şekli de normal haline döner. Her kısa süreli gerilim düşmesi için gerilim düşmesinin sona erme noktası tespit edilemeyebilir.

Kısa süreli gerilim düşmesi süresi (1): Kısa süreli gerilim düşmesi esnasında efektif değer düşüş süresidir. Gerilim değeri nominal gerilimin % 90 değerinin altına düştüğünde sürekli zamana göre hesaplanır.

Kısa süreli gerilim düşmesi süresi (2): Kısa süreli gerilim düşmesinin başlaması ve sona ermesi arasında geçen zamandır.

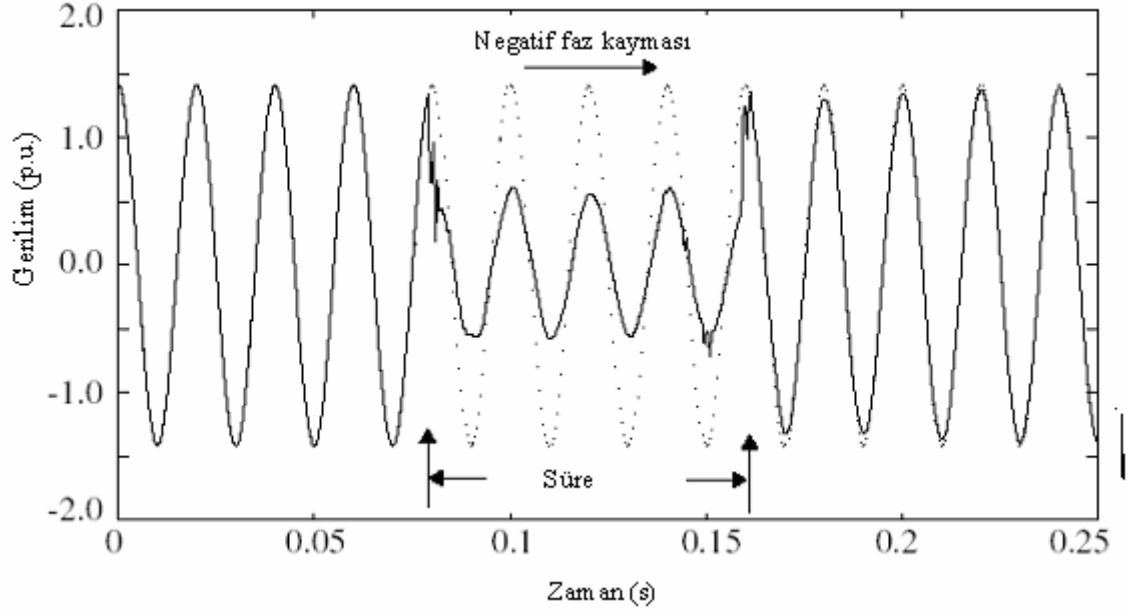
Arıza esnasında kısa süreli gerilim düşmesi: Kısa devre arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesi olaylarında, arıza giderildikten sonra gerilim normal seviyesine geri döner. Arıza giderildikten sonra büyük yüklü motorların tekrar devreye girmesi uzun süreli kısa süreli gerilim düşmeleri meydana getirebilir. Gerilimin, nominal gerilimin % 60- % 90 değeri seviyesinde olduğu arıza esnası kısa süreli gerilim düşmeleri birkaç saniyede giderilebilir. Arıza esnasında meydana gelen kısa süreli gerilim düşmesi ile uzayan gerilim düşmesi süresi, arıza gerilimiyle yıpranan cihazlarda sorunlar ortaya çıkarabilir.

Dikdörtgensel olmayan kısa süreli gerilim düşmesi: Genliğin ve zamanın sürekli olmadığı kısa süreli gerilim düşmesidir. İndüksiyon motorları gibi dinamik yükler genelde bu sorunla karşı karşıyadır.

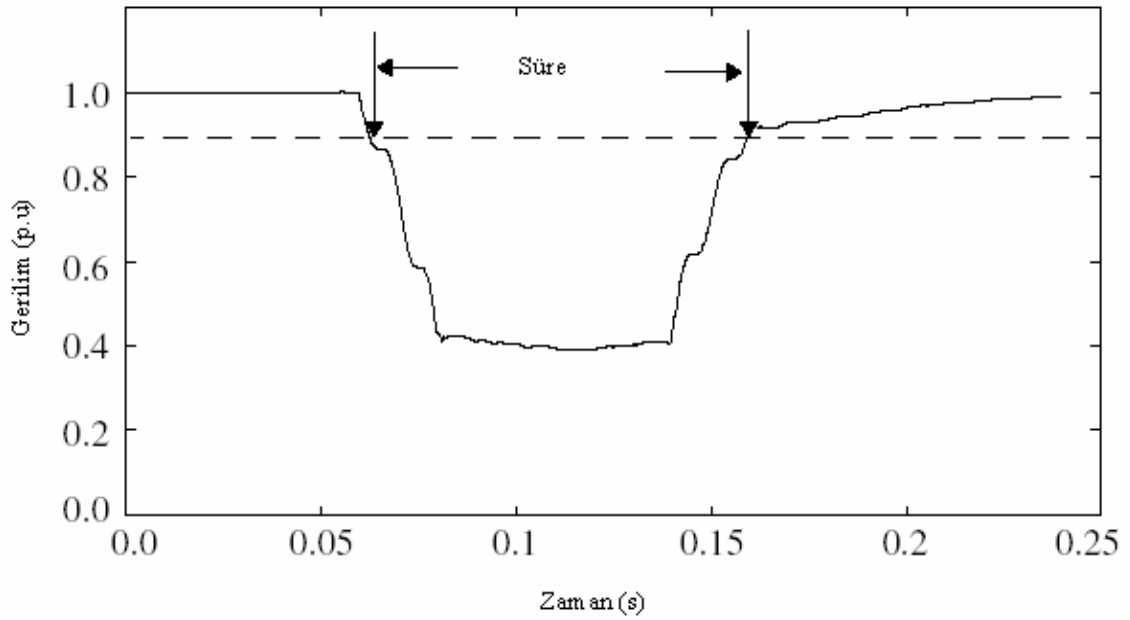
2.3. Tek Faz Kısa Süreli Gerilim Düşmesinin Örnekleme:

Şekil 2.1, bir fazdaki negatif faz kaymasına bağlı kısa süreli gerilim düşmesini göstermektedir. Şekil 2.2. ve 2.3, bölüm 2.2. de yapılan tanımlamalara bağlı olarak

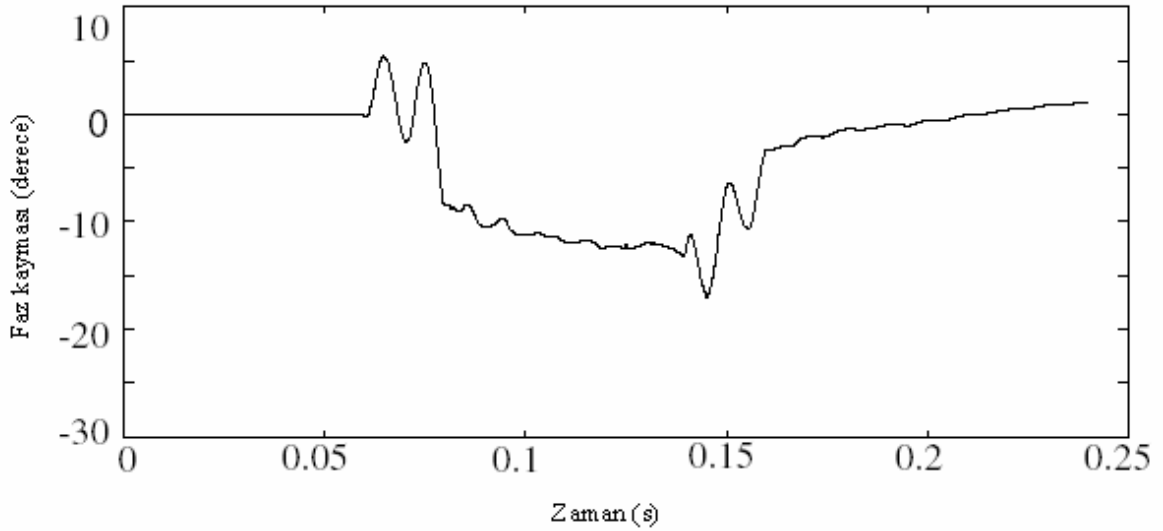
kısa süreli gerilim düşmesinin genliğini ve faz kaymasını göstermektedir. Tablo 2.1. de ise bölüm 2.3. deki tanımlamaların sayısal sonuçları görülmektedir.



Şekil 2.1. Ölçülen tek faz kısa süreli gerilim düşmesi



Şekil 2.2. Şekil 2.1. de görülen kısa süreli gerilim düşmesinin genliği



Şekil 2.3. Şekil 2.1 de görülen kısa süreli gerilim düşmesinin faz kayması

Şekil 2.2. de görülen kısa süreli gerilim düşmesinin genliği, 96 adet örneklemeyle elde edilen bir çevrimdeki efektif gerilim değerinden hesaplanmıştır. Şekilde görülen her nokta önceki 96 noktanın efektif gerilim değerini gösterir.

$$V_{rms}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^{i=k} V_i^2} \quad [N=96 ; V_i=\text{örnekleme gerilimi}] \quad (2.1)$$

Şekil 2.3 deki faz kayması, gerilimin ana bileşen faz açısının, arıza öncesi gerilimiyle karşılaştırılması ile elde edilir. Kompleks ana bileşen Fourier serisi dönüşümü ile elde edilir. 'T' frekansın bir çevrimi olarak ele alındığında, $V(t); [t, T]$ periyodundaki kompleks ana gerilimdir. V_0 , $t=0$ anındaki kompleks gerilimdir. Senkron gerilim açısını ifade eden $\phi_0 + \omega t$ değerindeki ω , ana frekansın açısal hızını temsil eder. Şekil 3 de gösterilen faz kayması $\Delta\phi$ aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\Delta\phi = \arg \left[\frac{v(t)}{V_0 e^{j\omega t}} \right] \quad (2.2)$$

Faz kayması kesin bir değere ancak bir tam çevrim sonunda ulaşır. Tablo 2.1 de gösterilen maksimum faz kayması hesaplanırken salınım alanlarında değişimler gözlenmektedir.

Tablo 2.1. Şekil 2.1 de görülen kısa süreli gerilim düşmesinin sayısal sonuçları

Tanımlama	Değer	Tanımlama	Değer
Minimum Dalgalanma Genliği (pu.)	0,3884	Dalgalanma Süresi(2) (zaman, saniye)	0,09
Maksimum Gerilim Düşümü (pu.)	0,6116	Dalgalanmanın başlangıç noktası (zaman, saniye)	0,079
Maksimum Kayıp Gerilim (pu.)	0,6235	Dalgalanmanın başlangıç noktası (derece, açı)	86
Maksimum faz kayması (derece)	-13	Dalgalanmanın bitiş noktası (zaman, saniye)	0,169
Dalgalanma Süresi (1)	0,09	Dalgalanmanın bitiş noktası (derece, açı)	75

Tek fazdaki kısa süreli gerilim düşmesi karakteristiklerinin tanımıyla ilgili yapılan yorumlar aşağıdaki gibidir:

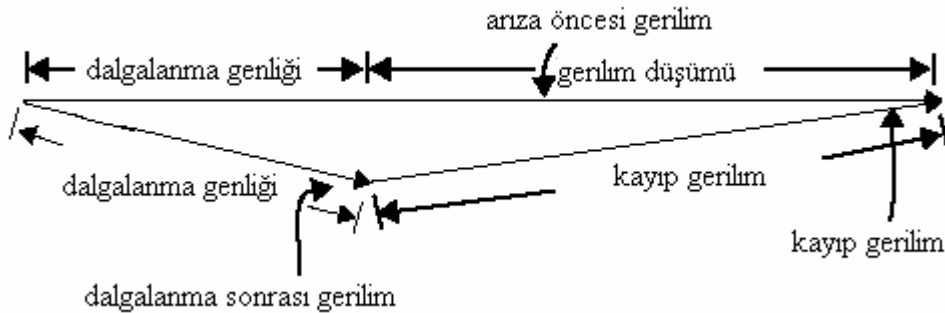
1.IEC standartlarında ve UNIPEDA belgelerinde, kısa süreli gerilim düşmesinin şiddeti, kısa süreli gerilim düşmesi sırasında meydana gelen gerilim düşümü ile belirlenirken, IEEE standartlarında bu değer genlikle ifade edilir. IEEE de sözü edilen genlik tanımlaması IEC 61000-4-11 standartlarında ‘test seviyesi’ olarak kullanılır. Kısa süreli gerilim düşmesinin genliği, nominal gerilimin ya da arıza öncesi gerilimin yüzdesi olarak tanımlanabilir. Kısa süreli gerilim düşmeleri ölçümlerinde ve cihazların gerilim ayarlaması yapılırken arıza öncesi gerilim değerinin referans alınması daha uygundur. Ancak cihazların etiket değerleri nominal gerilime göre ayarlandığından, ölçümlerin nominal değerlerle yapılması uygun görülmüştür. Kısa süreli gerilim düşmesi anlatılırken kullanılan işaretler sisteminin açık olması gerekmektedir.

2.Şekil 2.2 de görülen genlik değerinin hesaplanması için bir tam çevrim kullanılır. Dalga şekli ani değişimler göstermesine rağmen, efektif gerilim değeri arıza süresinde düzgün değer değişimi gösterir. Aynı durum kısa süreli gerilim düşmesinin sona ermesi esnasında da meydana gelir. Böylece efektif değerdeki düşüşle tanımlanan kısa süreli gerilim düşmesi süresi (1) yarım çevrimdeki gerilim düşmesi süresini aşar. Benzer bir olay salınım nedeniyle faz kayması için de meydana gelir.

3.Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktası ile tanımlanan gerilim düşmesi süresi (2), arızanın son bulunduğu nokta hakkında daha kesin yargılara varılmasını sağlar. Ancak, arıza sonrası kısa süreli gerilim düşmesi ile birleştiğinde gerilim düşmesi süresinin değerlendirilmesinde yetersiz kalır.

4.Kısa süreli gerilim düşmesi genliği ve gerilim değerindeki azalma, kısa süreli gerilim düşmesinin büyüklüğünün anlatımında kullanılan iki zıt yöntemdir. Bunların değerleri toplamı, arıza öncesi gerilimine eşittir ve 1 pu olarak kabul edilir.

5.Kısa süreli gerilim düşmesi sonrası kompleks gerilim değeri ve kaybolan gerilimin kompleks değeri, gerilim düşmesinin şiddetini ifade etmek için kullanılan iki zıt yöntemdir. Bu değerlerin vektörel toplamı arıza öncesi gerilimine eşittir ve 1 pu olarak kabul edilir.



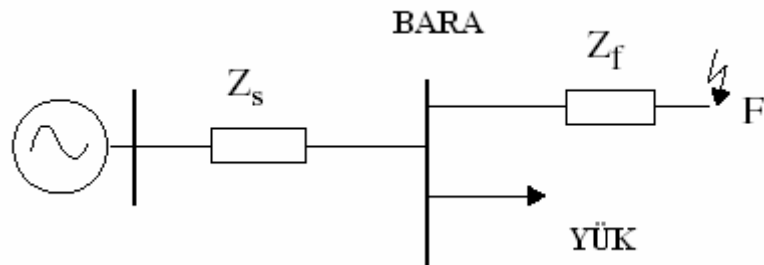
Şekil 2.4. Kaybolan gerilim ve kısa süreli gerilim düşmesi sonrası geriliminin arasındaki ilişkiyi gösteren fazör diyagramı

BÖLÜM 3. ÜÇ FAZ KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞMELERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa süreli gerilim düşmelerine kısa devre arızaları neden olur. Bu bölümde kısa devre arızalarının neden olduğu kısa süreli gerilim düşmelerinden kaynaklanan gerilim düşümleri ve faz kaymaları, basit gerilim bölücü modeli kullanılarak örneklenmiştir. Dengesiz arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesi simetrik bileşenler yardımıyla incelenir. Simetrik bileşenler metodu kullanılarak yapılan arıza analizleri, üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinde sınıflandırma metodunu ortaya koymuştur. Kısa süreli gerilim düşmesinin trafosu etkilediği durumlarda kullanılmak üzere kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik değişimlerini ortaya koymak amacıyla matematiksel trafo modelleri geliştirilmiştir. Son olarak da 2. bölümün tamamlayıcısı olarak üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin tanımlanmasında kullanılan terimler açıklanmıştır.

3.1 Dengeli Arızalar

Sistemdeki arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri ve faz kaymalarını açıklayabilmek için şekilde görülen gerilim bölücü modeli kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Gerilim Bölücü Modeli

F noktasında üç faz arızası meydana geldiği düşünülürse arıza süresince baradaki gerilim değeri aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$V_{dip} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} \quad (\text{pu.}) \quad (3.1)$$

Formüldeki Z_f hat empedansını, Z_s kaynak empedansını sembolize etmektedir. Arıza öncesi gerilim $1\angle 0^\circ$ olarak kabul edilir. Gerilim düşümünün ardından meydana gelen faz kaymasının nedeni aşağıdaki formüller dizisiyle anlaşılabilir.

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (3.2)$$

$$Z_f = R_f + jX_f \quad (3.3)$$

$$\Delta\phi = \arctan\left(\frac{X_f}{R_f}\right) - \arctan\left(\frac{X_s + X_f}{R_s + R_f}\right) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki (3.4) formülü arıza öncesi gerilimi ile arıza esnasındaki gerilimin faz açıları farkı olarak ifade edilir. Üç fazın simetri bileşenleri kullanılarak fazör diyagramı çizilebilir. V_{dip} geriliminin hesaplanması için karakteristik gerilim değeri kullanılır. Kısa süreli gerilim düşmelerinde kesin ölçümler yapılabilmesi için arıza sürecinde üç fazın geriliminin aynı olduğu kabul edilir.

Kısa süreli gerilim düşmesinin genliği arıza noktası ve bara arasındaki mesafeye bağlıdır. Kaynak empedansının küçük olduğu sistemlerde kısa süreli gerilim düşmesi genliği artış görülür. Kısa süreli gerilim düşmesi sonucu meydana gelen faz kayması, kaynak ve hattın X/R oranındaki fark ile saptanır. Dağıtım sistemlerinde hat, kaynağa göre daha küçük bir X/R oranına sahiptir. Dolayısıyla dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızaya bağlı kısa süreli gerilim düşmesi negatif faz kaymasına sebep olur.

İletim sistemleri gibi ağ şebekelerde gerilim bölücü modeli halen kullanılmaktadır. Ancak hat ve kaynak empedansını saptamak kolay değildir. Bunun için şebeke arıza analizlerinde bilgisayar programlarına ihtiyaç duyulur. İletim sistemlerinde kaynak ve hat empedansı arasında X/R oranında büyük farklılık yoktur. Dolayısıyla iletim sistemlerinde meydana gelen arıza kaynaklı dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinde kayda değer faz kaymaları meydana gelmez.

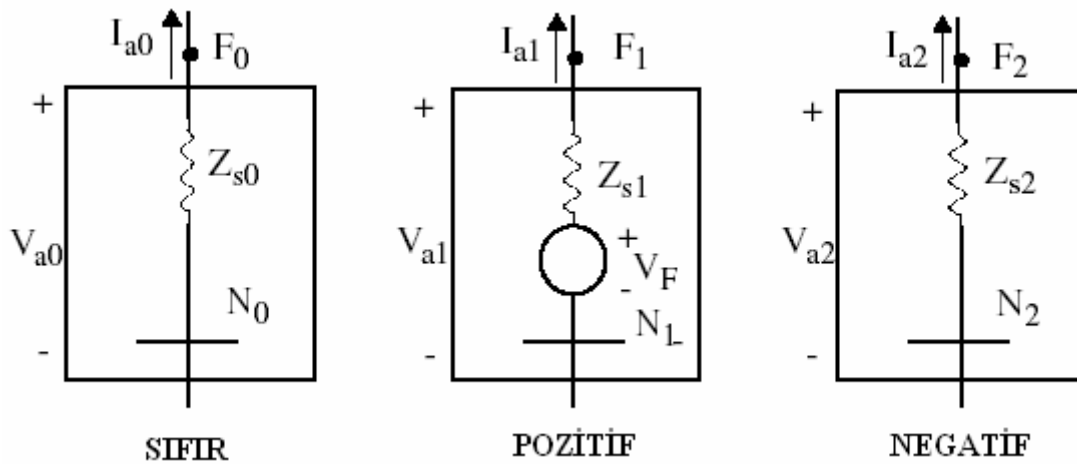
3.2. Dengesiz Arızalar

Dengesiz sistem arızalarında üç faz gerilimlerinde genellikle farklı genlikler ve faz kaymaları gözlenir. Ayrıca trafonun tipine ve yük bağlantılarına bağlı olarak da üç faz değerlerinde farklılıklar gözlenebilir. Bu yüzden dengesiz kısa süreli gerilim düşmesini ölçebilmek için üç faz gerilimlerinden sadece biri kullanılmaz.

3.2.1. İki bileşenli simetrik bileşenler

Temeli hesaplamaları basitleştirmek için bileşen sayısını düşürmeye dayanan iki bileşenli simetrik bileşenler metodu P.M. Anderson tarafından geliştirilmiştir. Simetrik bileşenlerle yapılan hesaplamalarda üç bileşene ihtiyaç duyulurken bu metotta iki değer yeterlidir. İki bileşen metodu kaynağın pozitif ve negatif empedanslarının birbirine eşit olduğu varsayımına dayandırılmaktadır. ($Z_{s1}=Z_{s2}$). Bu varsayım iletim hatları ve transformatörler gibi statik devrelerde geçerlidir ancak, senkron makineler veya indüksiyon motorları için geçerli değildir. Dönen makinelerin kaynak empedansı üzerindeki etkisi küçük olduğunda kaynak empedansının pozitif ve negatif seri değerleri gerçeğe yakın değerler verir.

Simetrik bileşenler teorisine göre dengesiz sistemler aşağıdaki şekilde (Şekil 3.2.) gösterildiği gibi pozitif, negatif ve sıfır serilerinden oluşur.



Şekil 3.2. Şebekeleri tanımlayan bileşen serileri

Şekilde görülen; V_{a1} , I_{a1} , Z_{s1} , pozitif seri gerilim, akım ve kaynak empedansı değerlerini; V_{a2} , I_{a2} , Z_{a2} , negatif seri gerilim, akım ve kaynak empedansı değerlerini; V_{a0} , I_{a0} , Z_{a0} , sıfır serisi gerilim, akım ve kaynak empedansı değerlerini temsil etmektedir. Ayrıca F, arıza noktasını, N, sıfır potansiyelli barayı ve V_f , F noktasındaki arıza gerilimini gösterir.

Bu bileşenler arasındaki bağlantı matrisel formda aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{s1} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{s2} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Aşağıda (3.6) eşitliğinde görülen ifadenin kabullenmesi yapıldığında (3.5) eşitliği (3.7) de görülen formda ifade edilebilir.

$$Z_{s1} = Z_{s2} \quad (3.6)$$

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} + V_{a2} \\ V_{a1} - V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ V_f \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{s0} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{s1} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{s1} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} + I_{a2} \\ I_{a1} - I_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Son iki sırada pozitif seri eşitliklerinin bulunması durumu ilginç kılmaktadır.

Toplam ve fark eşitlikleri ise aşağıdaki gibidir. (3.8)

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a\epsilon} \\ V_{a\Delta} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} + V_{a2} \\ V_{a1} - V_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Sonuçta elde edilen eşitlik ve derlenen eşitlikten iki bileşen metodu elde edilebilir.

Üç bileşenli simetrik bileşenler metodunun analizinden aşağıdaki (3.9) eşitliği elde edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (1/3) \quad (3.9)$$

$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ olduğu kabul edilirse (3.9) eşitliğinin 2. ve 3. satırları birbirine eklenip çıkartılmasıyla elde edilen yeni analiz eşitliği aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a\mathcal{E}} \\ V_{a\Delta} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} x \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & j\sqrt{3} & -j\sqrt{3} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Sentez eşitliği ise aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Bu eşitlik aynı zamanda aşağıdaki gibi de gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -\frac{1}{2} & -j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} & j\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a\mathcal{E}} \\ V_{a\Delta} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

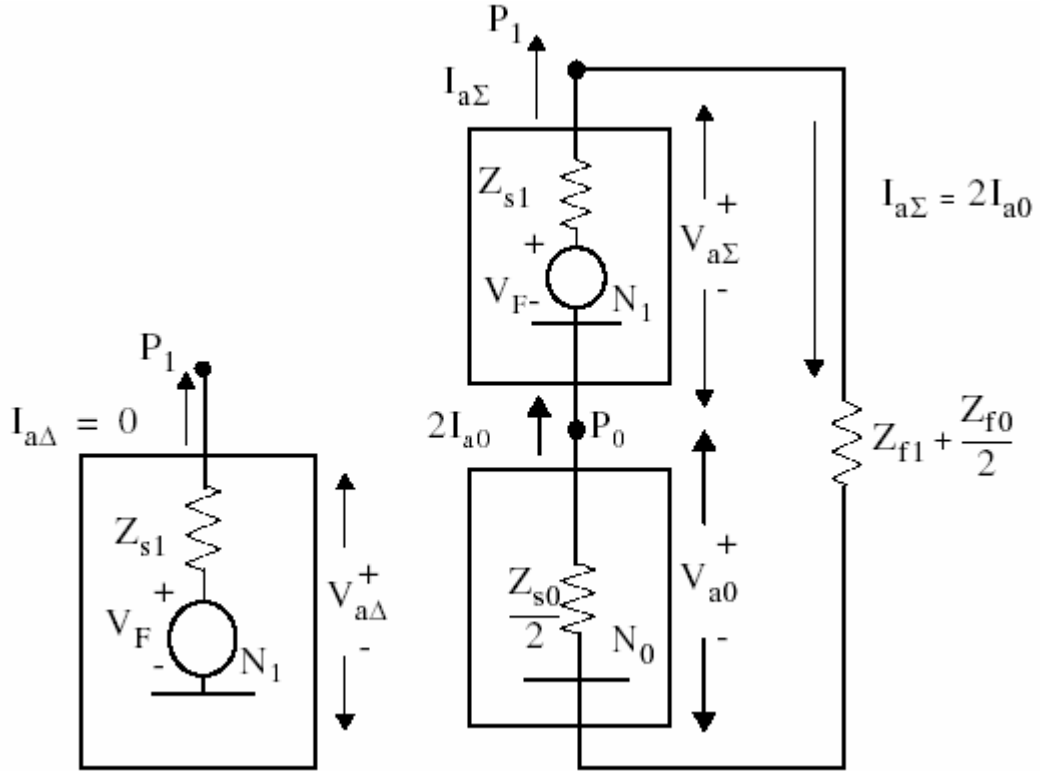
Akım bağıntılarını elde etmek için de aynı metot kullanılır.

3.2.2. Eşdeğer devreler kullanılarak yapılan dengesiz arıza analizleri

İki bileşenli simetrik bileşenler metoduna göre güç sistemlerindeki şönt arızaların giderilebilmesi için eşdeğer devreler kurulur. Bu sistem kaynak [12] de detaylı olarak anlatılmıştır.

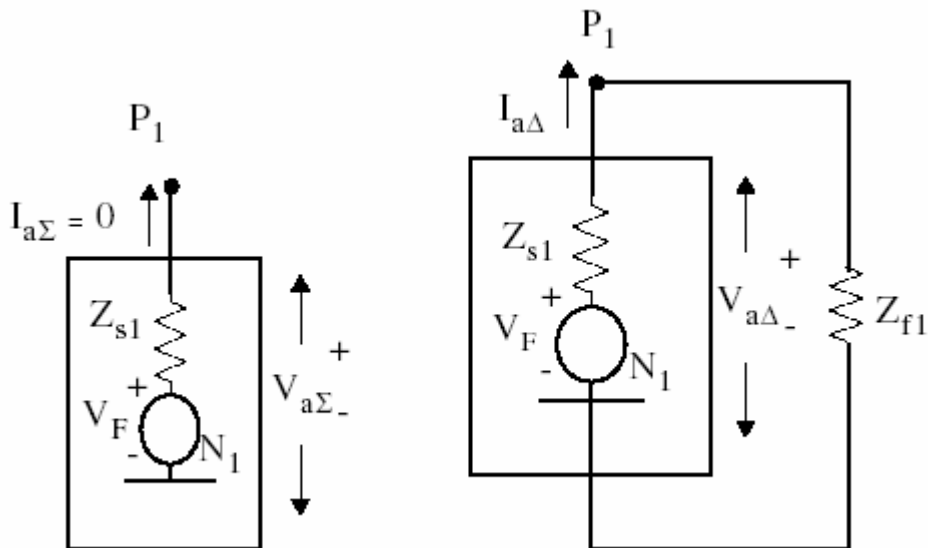
Şekil 3.1 de görülen bara için yapılan analiz sonucunda V_{a0} , $V_{a\epsilon}$, $V_{a\Delta}$ değerleri elde edilir.

a. Tek faz toprak arızası



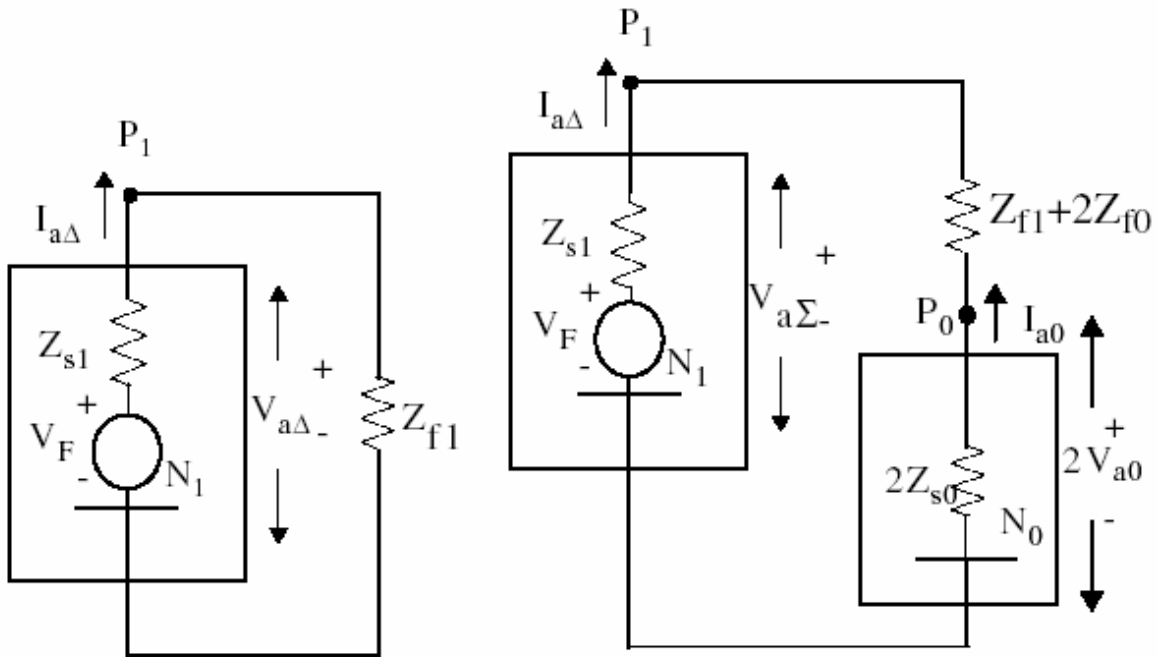
Şekil 3.3. A fazında oluşan tek faz toprak arızası eşdeğer devresi

b. Faz- faz arızası



Şekil 3.4. B ve C fazında oluşan faz-faz arızası eşdeğer devresi

c. Faz- faz- toprak arızası



Şekil 3.5. B ve C fazında oluşan faz-faz-toprak arızası eşdeğer devresi

3.3. Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Tiplerinin tanımı

Bir önceki bölümde verilen (3.12) eşitliğinde de görüldüğü gibi dengesiz gerilim değeri, eşdeğer devrenin V_{a0} , $V_{a\epsilon}$, $V_{a\Delta}$ değerleri ile hesaplanabilir. (3.6) eşitliğindeki kabullenmeye göre $V_{a\epsilon}$, $V_{a\Delta}$ değerlerinin ikisi de pozitif seri eşdeğer devresi nicelikleridir. ϵ ve Δ değerleri, aynı pozitif serinin akım veya gerilim değeri olarak tanımlanır. Böylece bileşen sayısı ikiye düşmüş olur.

Üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinde sıfır serisi gerilim değeri hesaba katılmaz. Bunun iki nedeni vardır. 1) kısa süreli gerilim düşmesi, yıldız-üçgen, üçgen-üçgen veya topraklanmamış yıldız-yıldız bağlı trafolarla ulaşmadığı sürece sıfır seri gerilimi '0' dır. 2) üç fazlı cihazlar genelde üçgen veya topraklanmamış yıldız bağlı olduklarından sıfır seri gerilimi '0' dır.

3.3.1. Tek faz-toprak arızası (TFTA)

Şekil 3.3. de gösterilen eşdeğer devrede tek faz-toprak arızasının $V_{a\Delta}$ değeri her zaman arıza öncesi gerilimine (V_f) eşittir. Böylece V_{aE} değeri sistemdeki tek değişkendir. Diğer bir deyişle kısa süreli gerilim düşmesi sadece V_{aE} değeri ile tanımlanabilir. Ayrıca iki bileşenli simetrik bileşenler metodundaki $Z_{s1}=Z_{s2}$ eşitliği kabul edilerek hesap yapılmaktadır. Bu iki değer gerçekte asla tam olarak eşit olmaz. Tek faz-toprak arızaları için $V_{a\Delta}$ değerine eşit olan ‘pozitif-negatif faktörü’ (PN faktör) bu durumda ortaya çıkar. Pozitif ve negatif seri kaynak empedansları birbirine eşit olduğu durumlarda PN faktörü arıza öncesi gerilimine eşit olur.

Tek faz-toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri D Tipi kısa süreli gerilim düşmeleridir [12]. Bu tip gerilim düşmelerinin karakteristik gerilim ve PN faktörü kullanılarak ifade edilen gerilim fazörleri aşağıda gösterildiği gibidir.

$$V_a = V ; \quad V_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jF\sqrt{3} \quad ; \quad V_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jF\sqrt{3} \quad (3.13)$$

Bu formülizasyon (3.12) eşitliğine uyarlandığında aşağıdaki değerler elde edilir.

$$V_{a0}=0 ; \quad V_{a\Delta}=F ; \quad V_{aE}=V$$

Daha önceleri yapılmış olan analizlerde, $Z_{s1}=Z_{s2}$ olduğu durumlarda D tipi kısa süreli gerilim düşmesinin tanımlanabilmesi için geliştirilen (3.13) eşitliğine benzer olarak $F=1$ kabullenmesi yapılmıştır. Bu durum, daha önce yapılan incelemelerde pozitif ve negatif seri kaynak empedanslarının birbirine eşit olduğunun kabul edildiğini ortaya koymaktadır. PN faktörü $F=1$ olduğu durumda V değeri tek değişken olur ve D tipi kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik gerilimi olarak adlandırılır.

Tek faz-toprak arızaları barada, karakteristik gerilim değeri aşağıda verilen D tipi kısa süreli gerilim düşmesini meydana getirir.

$$V = \frac{Z_{f1} + \frac{Z_{s0} + Z_{f0}}{2}}{Z_{s1} + \left[Z_{f1} + \frac{Z_{s0} + Z_{f0}}{2} \right]} x V_f \quad (3.14)$$

Üç faz arızalarında meydana gelen kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik gerilimi ise (3.15) ifadesinde yer almaktadır.

$$V_{3\phi} = \frac{Z_{f1}}{Z_{s1} + Z_{f1}} x V_f \quad (3.15)$$

Tek faz-toprak arızaları, 3 ϕ arızalarına göre daha büyük karakteristik değerlere sahiptir. Bu farkın bara ve arıza noktası arasındaki toplam empedanstan kaynaklandığı düşünülebilir. ($Z_{s0}+Z_{f0}/2$).

3.3.2. Faz-Faz Arızası (FFA)

Şekil 3.4 de verilen faz-faz arızası eşdeğer devresi V_{ae} değerinin arıza öncesi gerilime eşit olduğunu gösterir. Dolayısıyla faz-faz arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmesi, sadece $V_{a\Delta}$ değeri kullanılarak tanımlanabilir. Bu gerilim düşmeleri için karakteristik gerilim değeri $V=V_{a\Delta}$; PN faktörü $F=V_{ae}$ olarak kabul edilir. Faz-faz arızalarına bağlı kısa süreli gerilim düşmeleri C tipi kısa süreli gerilim düşmeleri olarak adlandırılırlar. C tipi kısa süreli gerilim düşmesinin gerilim fazörlerinin karakteristik gerilim (V) ve PN faktörü (F) kullanılarak yapılan tanımlaması aşağıda verilmiştir.

$$V_a = F ; \quad V_b = -\frac{1}{2}F - \frac{1}{2}jV\sqrt{3} ; \quad V_c = -\frac{1}{2}F + \frac{1}{2}jV\sqrt{3} \quad (3.16)$$

Bu ifadeler (3.12) eşitliğine uyarlandığında elde edilen değerler aşağıda verilmiştir.

$$V_{a0}=0 ; \quad V_{a\Delta}=V \quad ; \quad V_{ae}=F$$

Daha önceden yapılmış olan analizlerde, $Z_{s1}=Z_{s2}$ olduğu durumlarda C tipi kısa süreli gerilim düşmelerinin tanımlanması için geliştirilen (3.16) eşitliğine benzer olarak

F=1 kabullenmesi yapılmıştır. Böylece bu sınıflandırmaların temelini pozitif ve negatif seri kaynak empedanslarının birbirine eşit olduğu kabullenmesine dayandığı anlaşılmaktadır. PN faktörü F=1 olduğunda tek değişken olan V değeri, C tipi kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik gerilim değeri olarak tanımlanır. Faz-faz arızasının barada meydana getirdiği C tipi kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik gerilim değeri (V) aşağıda verilmiştir.

$$V = \frac{Z_{f1}}{Z_{s1} + Z_{f1}} x V_f \quad (3.17)$$

Faz-faz arızası karakteristik gerilimi üç faz arızası karakteristik gerilim değerine eşittir. Bu durum iki olayın aynı olduğu anlamına gelmez. Farklı arıza tipleri, farklı tipte kısa süreli gerilim düşmelerine sebep olur.

3.3.3. Faz-faz-toprak arızası (FFTA)

Şekil 3.5 de verilen faz-faz-toprak arızalarına ait eşdeğer devre $V_{a\epsilon}$ ve $V_{a\Delta}$ değerlerinin ikisinin de değişken olduğunu gösterir. Ancak $V_{a\epsilon}$ değeri $V_{a\Delta}$ değerine göre oldukça büyüktür ve sistemin sıfır serisi büyük değere sahip olduğundan $V_{a\epsilon}$ değeri '1' e yakındır. Sonuç olarak belirtilen nedenlerden dolayı C tipi kısa süreli gerilim düşmesi olarak adlandırılan bu kısa süreli gerilim düşmesinin faz gerilimleri aşağıda verilmiştir.

$$V_a = F ; \quad V_b = -\frac{1}{2}F - \frac{1}{2}jV\sqrt{3} ; \quad V_c = -\frac{1}{2}F + \frac{1}{2}jV\sqrt{3} \quad (3.18)$$

Bu ifadeler (3.12) eşitliğine uyarlandığında aşağıdaki değerle elde edilir.

$$V_{a0}=0 ; \quad V_{a\Delta}=V ; \quad V_{a\epsilon}=F$$

Faz-faz-toprak arızası, barada karakteristik gerilim değeri (V) ve PN faktörü (F) değeri aşağıda verilen C tipi kısa süreli gerilim düşmesini meydana getirir.

$$V = \frac{Z_{f1}}{Z_{s1} + Z_{f1}} x V_f \quad (3.19)$$

$$F = \frac{Z_{f1} + 2(Z_{s0} + Z_{f0})}{Z_{s1} + (Z_{f1} + 2Z_{s0} + 2Z_{f0})} x V_f \quad (3.20)$$

Faz-faz-toprak arızalarının karakteristik gerilim değeri, üç faz arızalarının karakteristik gerilim değerleriyle aynıdır. Ancak faz-faz arızalarının aksine PN faktörü birim değerden küçüktür.

3.3.4. Üç faz arızaları

Bu tip arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri, dengeli arızalara bağlı gerilim düşmelerinin tanımlandığı yöntemlerle ifade edilirler. Negatif seri gerilimi V_2 dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinde '0' a eşittir ve $V_{ae}=V_{a\Delta}=V_1$ eşitliği geçerlidir. A tipi kısa süreli gerilim düşmeleri olarak adlandırılan bu çeşit gerilim düşmelerine ait faz gerilimleri aşağıda verilmiştir.

$$V_a = V ; \quad V_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3} ; \quad V_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3} \quad (3.21)$$

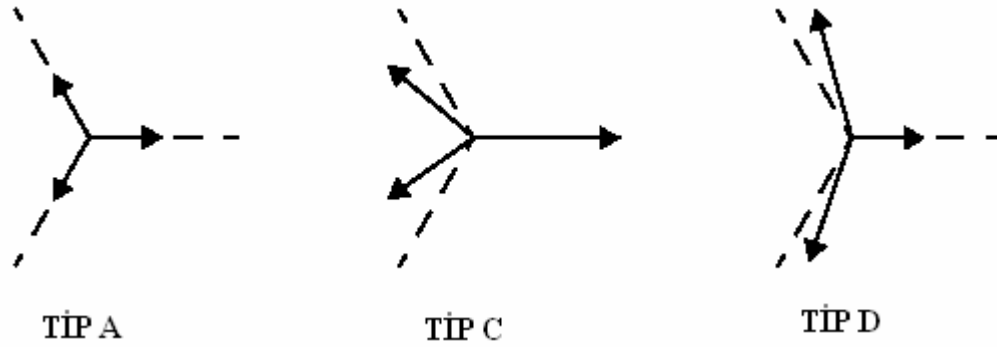
Bu ifadeler (3.12) eşitliğinde yerine konulduğunda aşağıdaki değerler elde edilir.

$$V_{a0}=0 ; \quad V_{a\Delta}=V_{ae}=V$$

Üç faz arızalarının barada meydana getirdiği A tipi kısa süreli gerilim düşmelerinin tek değişkeni olan ve (3.21) eşitliğinde verilen karakteristik gerilim değeri (V) aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$V = \frac{Z_{f1}}{Z_{s1} + Z_{f1}} x V_f \quad (3.22)$$

PN faktörü $F=1$ ve karakteristik gerilimi $V=0,5\angle 0^\circ$ olan bir sistemde görülen üç farklı tip kısa süreli gerilim düşmesine ait fazör diyagramları şekil 6.4 de gösterilmiştir.



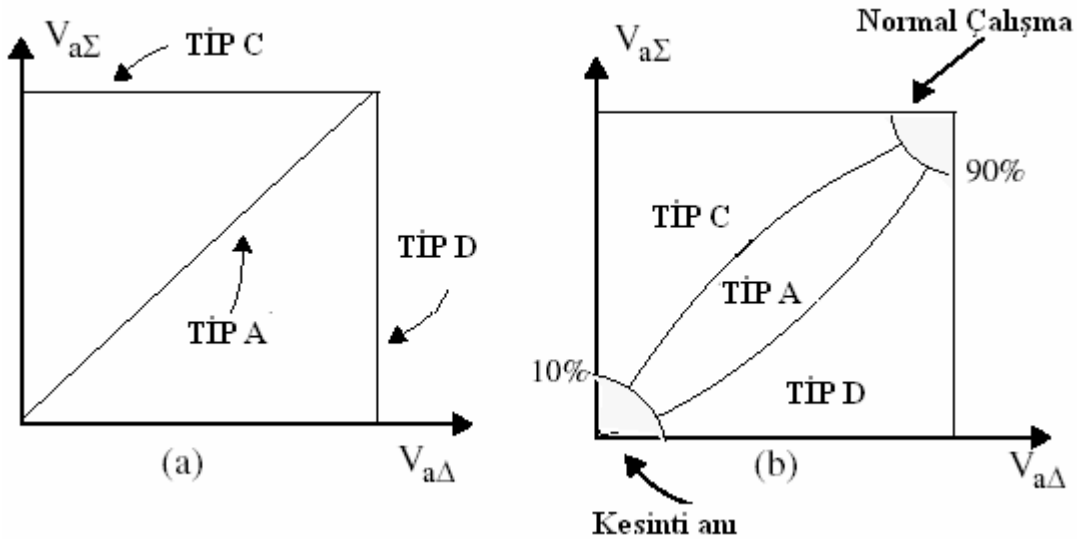
Şekil 3.6 Farklı tip kısa süreli gerilim düşmelerine ait fazör diyagramı. PN faktörü $F=1.0$, sıfır bileşen gerilimi $V_{a0}=0.0$, karakteristik gerilim $V=0,5\angle 0^\circ$. (Kesik çizgiler arıza öncesi faz gerilimlerini, düz çizgiler kısa süreli gerilim düşmesi esnasındaki faz gerilimlerini göstermektedir.)

Kısa süreli gerilim düşmesi tiplerinin tanımlanması ilk olarak kaynak [6] da yapılmıştır. Bu bölümde kısa süreli gerilim düşmesi tipleri simetrik bileşenler metoduna dayandırılan genellemelerle tanımlanmıştır. C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinin tanımlamalarında kullanılan toplam PN faktörü F , pozitif ve negatif seri bileşenlerinin kaynak empedanslarının birbirine eşit olmadığı durumlarda geçerlidir. D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde sıfır bileşen empedansının, pozitif seri empedansına eşit olduğu özel durumda ortaya çıkan gerilim düşmesi B tipi kısa süreli gerilim düşmesi olarak adlandırılır. Bu durum genellikle güç sistemleri için geçerli değildir. Sınıflandırma metodunda ise bu tip kısa süreli gerilim düşmesi özel bir tanımlama yapılmaksızın D tipi kısa süreli gerilim düşmesi olarak anılır.

3.3.5. Sınıflandırma metoduna genel bakış

Önceki bölümlerde üç fazlı sistemlerdeki dengesiz kısa süreli gerilim düşmesi üç farklı tip olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmanın temeli, pozitif ve negatif seri gerilimlerinin toplam ve fark bileşenlerine ($V_{a\epsilon}$ ve $V_{a\Delta}$) dayandırılmaktadır. A tipi kısa süreli gerilim düşmeleri için $V_{a\epsilon}$ ve $V_{a\Delta}$ değerleri birbirine eşittir; C tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde ise $V_{a\epsilon}$ değeri arıza öncesi gerilime, $V_{a\Delta}$ değeri de

arızanın süresine bağlıdır. D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde başka yaklaşımlar söz konusudur. Şekil 3.7 (a) da kısa süreli gerilim düşmesi tiplerinin ideal şartlardaki konumları görülmektedir. Şekil 3.7 (b) de ise çeşitli varsayımlarla ortaya konan kısa süreli gerilim düşmesi tipleri gösterilmiştir. Sonuçta saptanan değerler, D tipi kısa süreli gerilim düşmeleri için $V_{a\epsilon}$ ve C tipi kısa süreli gerilim düşmeleri için $V_{a\Delta}$ olarak adlandırılan karakteristik gerilim değerleridir. Karakteristik gerilimin genliğinin $|V|$ % 90 oranından büyük olduğu durumlarda normal işletme durumu her tipteki kısa süreli gerilim düşmesi eşdeğerdir. Ancak gerilimin genliği % 10 oranının altına düştüğünde kısa süreli gerilim düşmeleri, gerilimde kesintilere sebep olur.



Şekil 3.7 (a) ideal çalışma koşullarında görülen kısa süreli gerilim düşmesi tipleri ;
(b) genelde görülen kısa süreli gerilim düşmesi tipleri

Yukarıda öne sürülen sınıflandırma metodunun doğruluğu aşağıda verilen üç varsayıma bağlıdır.

1. sıfır bileşen gerilimleri cihazların çalışmasını etkilemez.
2. pozitif ve negatif seri kaynak empedansları büyük farklılıklar göstermez
3. faz-faz-toprak arızaları nadir görülür.

Bu varsayımların gerçeklere uygun olduğunu gösteren saha ölçümleri 5. bölümde ele alınmıştır. Bu varsayımlara göre herhangi bir üç faz kısa süreli gerilim düşmesi karakteristik gerilim (V) fazörü ile tanımlanır. Bu sonuç üç fazlı sistemlerde görülen dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin analizini kolaylaştırır. 5. bölümde ölçülen veriler kullanılarak sınıflandırmanın doğruluğu hakkında daha geniş yargılara

varılmıştır. Dört farklı arıza tipi için yapılan karakteristik gerilim (V) tanımlamalarından görülmektedir ki; eğer faz-faz arızası, üç faz arızası, faz-faz-toprak arızası aynı noktada ise meydana gelen kısa süreli gerilim düşmesinin baradaki karakteristik gerilim değerleri aynıdır, ancak karakteristik geriliminin (V_{ae}) sıfır serisi empedansından dolayı faz-toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri farklı gerilim değerine sahiptir. Faz-faz-toprak arızalarına bağlı kısa süreli gerilim düşmelerinde ise sıfır seri empedansı PN faktörünü (F) ortaya çıkarır.

3.3.6 . Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde faz kayması

Dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinden kaynaklanan faz kaymalarının kaynak ve arızalı hattın X/R oranlarının arasındaki farktan kaynaklandığı bölüm 3.1 de belirtilmiştir. Çünkü dağıtım hatlarında hattın X/R oranı genellikle kaynağın X/R oranından küçüktür. Bu durum 5. bölümde yapılan ölçümlerle kanıtlanacaktır.

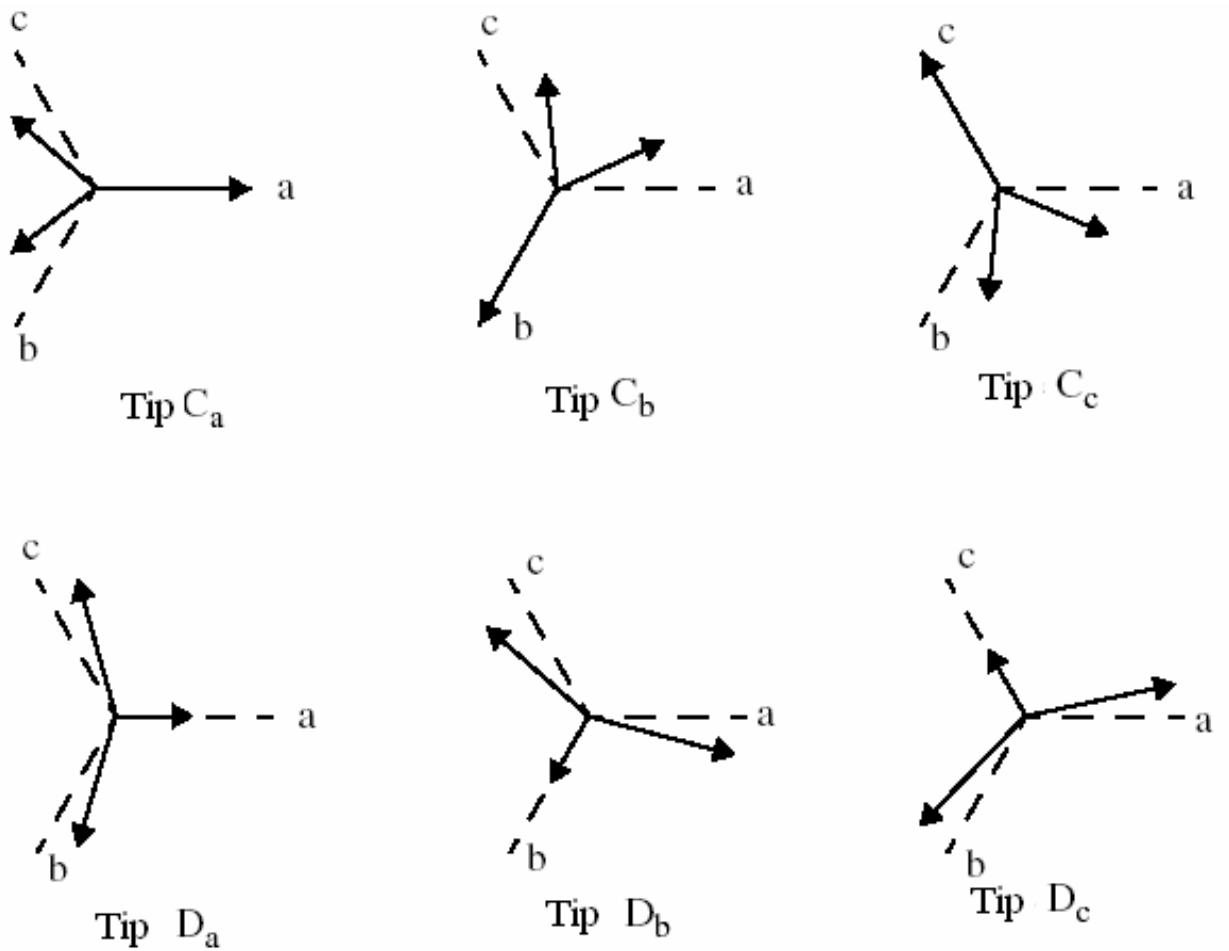
X/R oranındaki fark, dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik gerilim değerleri üzerinde de aynı etkiye sahiptir. Tek faz-toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinde kaynak empedansının sıfır bileşeni arızalı hatta dahil olduğundan gerilim karakteristiğinde küçük değişimler görülür.

Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde X/R oranındaki farkın bir diğer etkisi faz kaymalarıdır. Şekil 3.6 daki fazör diyagramlarında da görüldüğü gibi C tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde iki arızalı faz birbirine yaklaşırken, D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde arızalı fazlar birbirinden uzaklaşır. Bu iki etki dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerindeki faz kaymalarını ortaya koyar. Gerilimin genlik değeri (3.13) ve (3.16) eşitliklerinde yerine konulduğunda faz kaymasının değeri elde edilir.

3.3.7 . Dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için simetrik fazlar

Önceki bölümlerde fazların simetrik olduğu düşünülerek sadece A fazındaki arızalar incelenmiştir. Örneğin A fazındaki tek faz-toprak arızaları, B ve C fazları arasında meydana gelen faz arası arızaları ile faz-faz-toprak arızaları gibi. B ve C fazlarının

simetrik olduğu düşünülürken dengesiz kısa süreli gerilim düşmesi C_a , C_b , C_c , D_a , D_b , D_c olmak üzere altı tipte sınıflandırılabilir. Bu durumun matematiksel ifadesi tablo 3.1 de fazör diyagramı ise şekil 3.8 de gösterilmiştir. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde B ve C simetrik fazlarının matematiksel ifadeleri, üç fazın önce 240° daha sonra da 120° kaydırılması ile elde edilir. Tablo 3.1 ve şekil 3.8 de verilen ifadelerin sadeleştirilmesi amacıyla C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde PN faktörü için $F=1$ kabullenmesi yapılır.



Şekil 3.8 Dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için fazların simetrik olduğu göz önünde bulundurularak elde edilen fazör diyagramı. $F=1$, $V_{a0}=0.0$, $V=0.5\angle 0^\circ$. (Kesik çizgiler arıza öncesi faz gerilimini gösterirken, düz çizgiler arıza esnasındaki faz gerilimlerini göstermektedir.)

Tablo 3.1. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için faz gerilimleri

<p>Tip C_a</p> $V_a = 1$ $V_b = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}V$ $V_c = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}V$	<p>Tip D_a</p> $V_a = V$ $V_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$
<p>Tip C_b</p> $V_a = \frac{1}{4} + \frac{3}{4}V + \frac{1}{4}j\sqrt{3} - \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$ $V_b = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{4} - \frac{3}{4}V + \frac{1}{4}j\sqrt{3} + \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$	<p>Tip D_b</p> $V_a = \frac{1}{4}V + \frac{3}{4} - \frac{1}{4}j\sqrt{3} + \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$ $V_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3}V$ $V_c = \frac{1}{4}V - \frac{3}{4} + \frac{1}{4}j\sqrt{3} + \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$
<p>Tip C_c</p> $V_a = \frac{1}{4}V + \frac{3}{4} - \frac{1}{4}j\sqrt{3} + \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$ $V_b = \frac{1}{4} - \frac{3}{4}V - \frac{1}{4}j\sqrt{3} - \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}$	<p>Tip D_c</p> $V_a = \frac{1}{4} + \frac{3}{4}V + \frac{1}{4}j\sqrt{3} - \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$ $V_b = \frac{1}{4} - \frac{3}{4}V - \frac{1}{4}j\sqrt{3} - \frac{1}{4}jV\sqrt{3}$ $V_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$

Tablo 3.1. de verilen kısa süreli gerilim düşmesi tipleri için simetrik bileşen ifadeleri (3.9) eşitliği de kullanılarak tablo 3.2. de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Kısa süreli gerilim düşmesi tipleri için simetrik bileşen ifadeleri

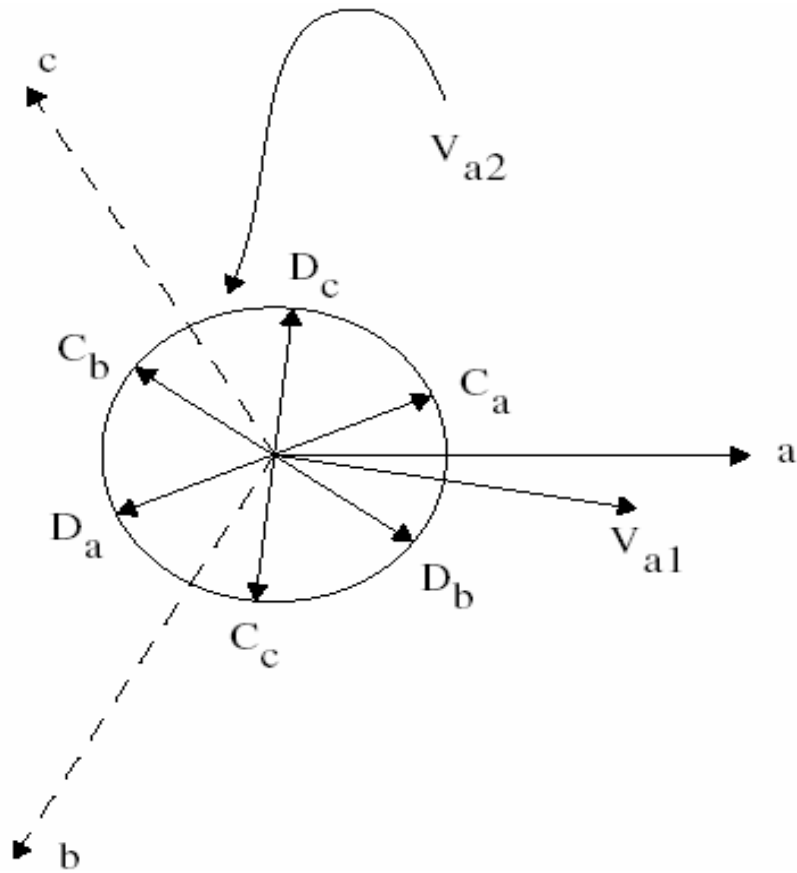
Tip C_a $V_1 = \frac{1+V}{2}$ $V_2 = \frac{1-V}{2}$	Tip D_a $V_1 = \frac{1+V}{2}$ $V_2 = -\frac{1-V}{2}$
Tip C_b $V_1 = \frac{1+V}{2}$ $V_2 = a \cdot \frac{1-V}{2}$	Tip D_b $V_1 = \frac{1+V}{2}$ $V_2 = -a \cdot \frac{1-V}{2}$
Tip C_c $V_1 = \frac{1+V}{2}$ $V_2 = a^2 \cdot \frac{1-V}{2}$	Tip D_c $V_1 = \frac{1+V}{2}$ $V_2 = -a^2 \cdot \frac{1-V}{2}$

Tablo 3.2. de görüldüğü gibi pozitif seri gerilimi her zaman referans alınan faz ekseninden ileridedir. Negatif seri geriliminin konumu ise kısa süreli gerilim düşmesinin tipine bağlıdır. Ayrıca C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde negatif seri gerilimlerinin zıt yönlerde olduğu da bilinmektedir. Bu durum, C_a tipi kısa süreli gerilim düşmeleri için pozitif ve negatif seri gerilimlerinin farkı, D_a tipi kısa süreli gerilim düşmesi için pozitif ve negatif seri gerilimlerinin toplamı olarak ifade edilen karakteristik gerilim tanımlamasına uygundur.

Yapılan tanımlama genelleştirildiğinde altı farklı tip kısa süreli gerilim düşmesinin de aynı karakteristik gerilim değerine sahip olduğu görülmektedir. Negatif seri geriliminin 60° ve tam katları ekseninde döndürülmesiyle tüm kısa süreli gerilim düşmeleri için tek bir prototip elde edilir. C_a tipi kısa süreli gerilim düşmesi prototip olarak seçilmiştir. Böylece C_a tipi kısa süreli gerilim düşmesinin pozitif ve negatif seri gerilimlerinin farkından karakteristik gerilim değeri elde edilir. Aynı nedenle altı farklı tip kısa süreli gerilim düşmesinin PN faktörü de (F) birbirinin aynıdır. C_a tipi

kısa süreli gerilim düşmesinin pozitif ve negatif seri gerilimleri toplamı da PN faktörü değerini verir.

Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin pozitif ve negatif seri gerilimlerinin fazör diyagramları şekil 3.9 da görülmektedir. Pozitif seri gerilimleri aynı olan bu altı farklı tip kısa süreli gerilim düşmesinin negatif seri gerilimlerinin tespitinde farklı yaklaşımlar söz konusudur. Saha ölçümlerinden elde edilen kısa süreli gerilim düşmelerinin algoritmaları 5. bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.9 Simetrik bileşenli dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin fazör diyagramı. $F=1$, $V=0.5\angle-30^\circ$ (Kesik çizgiler arıza öncesi gerilim değerlerini göstermektedir.)

3.4. Transformatörler Üzerinde Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Dönüşümleri

Transformatörler değişik sargı bağlantılarından oluşur. Kısa süreli gerilim düşmesi transformatöre ulaştığında, kısa süreli gerilim düşmesinin sekonderdeki faz durumu primerdekenden farklı olur. Sınıflandırma kavramlarında kısa süreli gerilim düşmesi tipinin değişebileceği yer almaktadır. Sekonderdeki kısa süreli gerilim düşmesinin

fazörleri, primerdeki fazörler ve trafonun matrisel modellerinin çarpımından elde edilebileceğinden, bu bölümde farklı transformatör tiplerinin matrisel formdaki matematiksel modelleri tasarlanacaktır. Yük üzerindeki akım değeri bu incelemelerde ihmal edilecektir.

Modelleme iki aşamada gerçekleşmektedir.

- 1) Kısa süreli gerilim düşmesi simetrik fazlara sahipse, trafonun matris modelinde gerilim fazörleri değişir. Bunlar temel trafo modeli olarak adlandırılır.
- 2) Kısa süreli gerilim düşmesinin sadece simetrik fazları değiştirilir. Bunlarda simetri değişimleri olarak adlandırılır.

Temel trafo modelleri, simetri dönüşümlerinin fiziksel trafolarla ilişkilendirilmesi bölüm 3.4.4 de verilmiştir.

3.4.1. Temel transformatör modelleri

Üç çeşit temel transformatör modeli bulunmaktadır. [6].

- 1) İki primer gerilimi arasındaki farkın sekonder gerilimini verdiği trafolar. Bu trafolar Dy, Yd, Yz tipinde bağlıdırlar ve matematiksel modelleri aşağıdaki gibidir.

$$T_1 = \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Bu tip trafolarla sekonderdeki her faz, primerdeki fazlardan ikisinin farkına eşittir. $\sqrt{3}$ katsayısı temel pu. değerleri değiştirmek için kullanılır. J ise kısa süreli gerilim düşmesinin faz simetrisini sürekli kılan bir katsayıdır.

Simetrik bileşenlerde bu trafo modelleri pozitif seri gerilimini değiştirmeyken, negatif seri geriliminin yönünü ters çevirir. Böylece C tipi kısa süreli gerilim düşmesi D tipine dönüşür veya bu durumun tam tersi gerçekleşir. Ortaya çıkan bu durum aşağıdaki hesaplamalarla örneklenebilir.

Pozitif seri geriliminin (V_1) sabit değeri aşağıdaki gibidir.

$$V_1 = \begin{bmatrix} V \\ a^2V \\ aV \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Negatif seri geriliminin sabit değeri aşağıda verilmiştir.

$$V_2 = \begin{bmatrix} V \\ aV \\ a^2V \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Pozitif seri gerilimi kullanılarak $T_1 x V_1 = V_1$ eşitliği elde edilirken, negatif seri gerilimi kullanıldığında elde edilen eşitlik $T_1 x V_2 = -V_2$ şekline dönüşür. Sıfır seri geriliminin değeri ise aşağıda verilmiştir.

$$V_0 = \begin{bmatrix} V \\ V \\ V \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Ayrıca $T_1 x V_0 = 0$ sıfır seri gerilimi kullanılarak elde edilen eşitliktir.

2) Sıfır seri gerilimini ortadan kaldıran trafolar. Bu modele örnek olarak, tek noktadan topraklanmış veya iki yıldız noktasından da topraklanmamış yıldız-yıldız ($Yny - Yyn$) bağlı trafolar, üçgen-üçgen (Dd) bağlı trafolar ve üçgen-zigzag (Dz) bağlı trafolar gösterilebilir.

Bu kategorideki trafoların matematiksel modeli aşağıda görülmektedir.

$$T_2 = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Bu trafo modellerinde sekonderdeki her fazın gerilim değeri primer geriliminden sıfır seri gerilimi değerinin çıkartılmasıyla elde edilir.

$$V_a' = V_a - \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (3.28)$$

Simetrik bileşenli bu trafo modelleri pozitif ve negatif seri gerilimlerini değiştirmez. ($T_2 \times V_1 = V_1$ ve $T_2 \times V_2 = V_2$). Ancak sıfır seri gerilimini ortadan kaldırır. ($T_2 \times V_0 = 0$).

3) Gerilim değerinde hiçbir değişikliğe neden olan transformatörler bu gruptadır. Bu tip trafolar da (pu. olarak değerlendirildiğinde) sekonder gerilimi, primer gerilimine eşittir. Bu modele sadece her iki yıldız noktasından da topraklanmış yıldız-yıldız (Ynyn) bağlı trafolar örnek verilebilir.

Bu tip trafoların matematiksel modeli aşağıda görüldüğü gibi oldukça basittir.

$$T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Simetrik bileşenlerinde hiçbir değişiklik meydana gelmez. ($T_3 \times V_1 = V_1$, $T_3 \times V_2 = V_2$, $T_3 \times V_0 = V_0$).

Yukarıda verilen üç trafo tipinin pozitif, negatif ve sıfır seri gerilimleri üzerindeki etkisi Tablo 3.3 de özetlenmiştir.

Tablo 3.3. Trafo tiplerinin gerilimler üzerindeki etkisi

Trafo Tipi	Bileşen gerilimleri üzerindeki etkisi		
	V_0	V_1	V_2
T_1	0	V_1	$-V_2$
T_2	0	V_1	V_2
T_3	V_0	V_1	V_2

3.4.2. Temel trafo modellerinin kısa süreli gerilim düşmesi tipleri üzerindeki etkisi

Önceki bölümde ifade edildiği gibi T_2 ve T_3 trafo modellerinin pozitif ve negatif seri gerilimleri üzerinde etkisi yoktur. Temel kısa süreli gerilim düşmesi tiplerinde gerilim değerleri sadece pozitif ve negatif seri bileşenlerinden oluşur. Böylece T_2 ve T_3 trafo modelleri gerilim değerlerine etki etmez. T_1 tipi trafo modeli negatif seri geriliminin yönünü değiştirir. Tablo 3.2 de görülen C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmeleri arasındaki farklar negatif seri geriliminin kaynaklıdır. T_1 trafo modelinin etkisi ile C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmeleri birbirlerine dönüşebilirler. Bu durumun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} V \\ -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3} \\ -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

$$D_a = \begin{bmatrix} V \\ -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \\ -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3} \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

$$C_a = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}jV\sqrt{3} \\ -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}jV\sqrt{3} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Üç tip trafonun matematiksel modeli ve kısa süreli gerilim düşmelerinin çarpımından elde edilen kısa süreli gerilim düşmesi tiplerindeki dönüşümler Tablo 3.4 de verilmiştir. ($T_1 \times D_a$, $T_2 \times C_a$ v.b.). Simetrik fazların temel trafo modelinden etkilenmediğine dikkat edilmelidir.

Tablo 3.4. Trafolarla göre kısa süreli gerilim düşmesi tiplerindeki dönüşümler

Transformatör bağlantı şekli	Primerdeki dalgalanma tipi						
	A	C _a	C _b	C _c	D _a	D _b	D _c
T ₁ : Yd, Dy, Yz	A	D _a	D _b	D _c	C _a	C _b	C _c
T ₂ : Yy, Dd, Dz	A	C _a	C _b	C _c	D _a	D _b	D _c
T ₃ : YNyn	A	C _a	C _b	C _c	D _a	D _b	D _c

D_a ve C_a tipi kısa süreli gerilim düşmelerinin sıfır seri gerilimleri T₂ trafo modeliyle ortadan kalkarken, T₃ trafo modelinden etkilenmemektedir. T₁ tipi trafo modeli ise C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerini birbirine dönüştürürken negatif seri geriliminin de yönünü değiştirir.

3.4.3. Simetrik fazın değişimi

Geliştirilen trafo modellerinin, kısa süreli gerilim düşmesinin simetrik fazı üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı önceki bölümlerde görülmüştür. Ancak gerçekte trafonun sekonderinde faz sırası değişebileceğinden kısa süreli gerilim düşmesinin simetrik fazı da değişebilir. Bu değişim genelde saat yönünde olur, örneğin primerdeki A fazı yıldız-yıldız bağlantıda sekonderde B fazı olabilir. Trafonun simetri fazındaki değişimleri saptayabilmek için ‘simetrik dönüştürücüsü’ adı verilen metod kullanılır. Bu dönüştürücüler üç tip olarak sınıflandırılır.

- 1) Fazların saat yönünde döndüğü durumlarda kullanılır. (a, b, c olan faz sırası b, c, a olduğunda)
- 2) Saat yönünün tersinde gerçekleşen faz değişimlerinde kullanılır. (a, b, c olan faz sırası c, b, a olduğunda)
- 3) Fazlarda herhangi bir değişim görülmediğinde kullanılır.

Bu durumların matrisel formda gösterimi aşağıda gösterilmiştir.

$$S_1 = a^2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

$$S_2 = a \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

S_1 ve S_2 sistemlerinde görülen a ve a^2 terimleri arıza öncesinde trafonun primer ve sekonderinde faz kayması olmadığını göstermek için kullanılmıştır. T_1 trafo modelinde kullanılan 'j' terimi ile aynı göreve sahiptirler. Değişik kısa süreli gerilim düşmesi tiplerindeki simetri dönüştürücülerine bağlı simetrik faz değişimleri Tablo 3.5. de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Simetri dönüştürücülerine bağlı simetri değişimleri

Simetri dönüştürücü tipi	Primerdeki dalgalanma tipi						
	A	C_a	C_b	C_c	D_a	D_b	D_c
S_1	A	C_b	C_c	C_a	D_b	D_c	D_a
S_2	A	C_c	C_a	C_b	D_c	D_a	D_b
S_3	A	C_a	C_b	C_c	D_a	D_b	D_c

Simetri dönüştürücüleri, simetrik bileşenlerde pozitif seri gerilimini değiştirmezken negatif seri geriliminin yönünü değiştirir. S_1 simetri dönüştürücüsü tipi negatif seriyi 120° ötelerken, S_2 tipi 240° öteler. S_3 tipi ise hiçbir değişikliğe sebep olmaz. S_1 tipi ile sıfır serisi 240° ötelenirken S_2 tipi ile 120° ötelenir ve S_3 tipi sıfır serisinde de hiçbir değişikliğe sebep olmaz.

Tablo 3.6. da görüldüğü gibi matematiksel olarak simetri dönüştürücülerinin simetrik bileşenler üzerindeki etkisi ile trafo modellerinin bileşenler üzerindeki etkisi benzer şekilde ifade edilir.

Tablo 3.6. Simetri dönüştürücü tiplerinin gerilimler üzerindeki etkisi

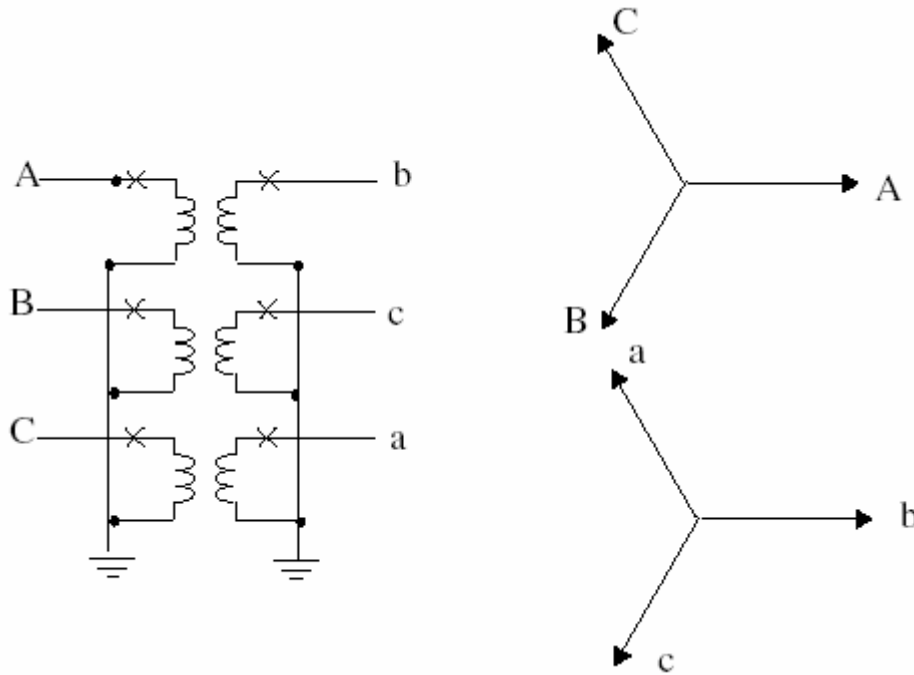
Transformatör Tipi	Bileşen gerilimleri üzerindeki etkisi		
	V_0	V_1	V_2
S_1	a^2V_0	V_1	aV_2^2
S_2	aV_0	V_1	a^2V_2
S_3	V_0	V_1	V_2

Herhangi bir fiziksel transformatör, trafo modelleri ve simetri dönüştürücü modellerinin kombinasyonu ile ifade edilebilir. Tablo 3.4 ve Tablo 3.5 incelendiğinde A tipi kısa süreli gerilim düşmesinin transformatör bağlantılarının herhangi birinden etkilenmediği görülür. Bu durum dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinin faz simetrisine sahip olmamasından ve üçgen-yıldız bağlantıdan geçtikten sonra dengeli durumunu koruduğundan kaynaklanmaktadır. Oysa dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde trafonun bağlantı tipine göre faz simetrisinde değişiklik gözlenebilir.

Trafo modeli ve simetri dönüştürücü kavramları yük bağlantıları ve denetleyici bağlantılarında da uygulanabilir. Yıldız bağlı yük D tipi kısa süreli gerilim düşmesine maruz kaldığında üçgen bağlı yük C tipi kısa süreli gerilim düşmesine maruz kalır veya bu durumun tam tersi meydana gelir.

3.4.4. Fiziksel transformatörlerden matematiksel modellere

Gerilim değerleri simetrik fazların olası değişikliklerinden etkilenmediği sürece Y_y veya D_d bağlı trafolar için ortaya konan matematiksel modeller herhangi bir problem göstermez. Bu bağlantılar için T_2 trafo modeli ve S_1 , S_2 , S_3 simetri dönüştürücü modelleri kullanılır. Örnek olarak Y_{nyn} bağlı bir transformatör aşağıda incelenmiştir.



Şekil 3.10. Sekonder faz-nötr gerilimi primer faz-nötr geriliminden 120° fark gösteren Ynyn bağlı trafo modeli

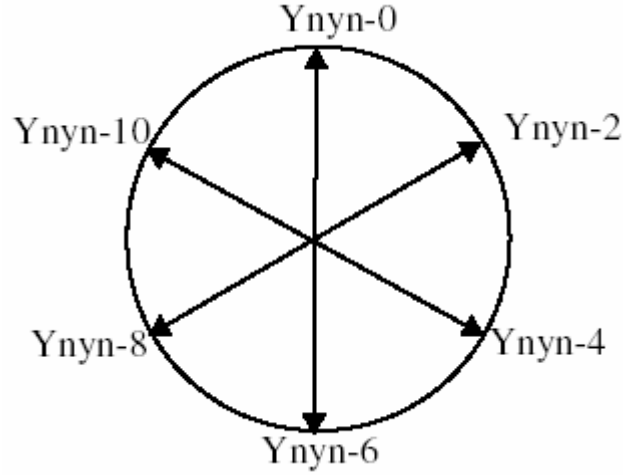
Şekil 3.10. da Yy bağlı sekonderde faz sırası değişmiş bir trafo modeli ve fazör diyagramı görülmektedir. Sekonder faz-toprak geriliminin primer faz-toprak geriliminden 120° ileride olduğu fazör diyagramında görülmektedir.

Primer gerilimi referans alındığında bu transformatör için aşağıdaki matematiksel model oluşturulabilir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Kısa süreli gerilim düşmesi çalışmalarında daha önce de belirtildiği gibi primer gerilimi değil arıza öncesi gerilimi referans alınır. Bu aynı zamanda pozitif seri geriliminin değişime uğramayacağı anlamına da gelir. (3.36) ifadesinde pozitif seri geriliminin saat yönünde 120° ötelendiği görülmektedir. Bu yüzden saat yönünün tersinde 120° öteleme yapan a^2 terimi kullanılır. Bu durum 3.4.3 bölümünde anlatılan S_1 simetri dönüştürücü modeliyle aynıdır.

Şekil 3.10. da görülen transformatör Ynyn-8 trafosu olarak da adlandırılabilir. Bu durumun sayısal açıklaması, sekonder gerilimin primer gerilimden 240° geride olduğu şeklindedir. Benzer olarak trafo bağlantıları değiştirilerek elde edilen bağlantı kodları şekil 3.11. de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Ynyn bağlı trafonun saat üzerinde numaralandırılması

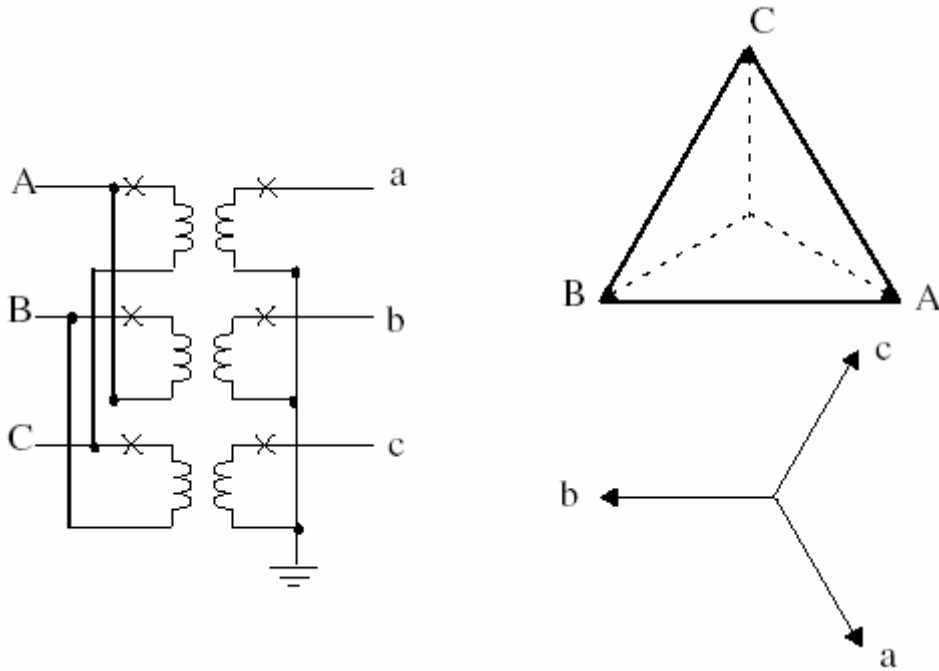
Ynyn-8 bağlantısına benzer olarak Ynyn-0, Ynyn-2, Ynyn-4, Ynyn-6, Ynyn-10 bağlantıları da T_3 trafo modeli ve simetri dönüştürücü kullanılarak modellenenabilir.

Tablo 3.7 fiziksel transformatörlerin değişik durumlardaki matematiksel modellerinin göstermektedir. Yy ve Dd bağlı sistemlerin modellenmesinde de aynı yöntem kullanılır.

Tablo 3.7. Kısa süreli gerilim düşmesi dönüşümleri için Yy ve Dd bağlı sistemlerin matematiksel modeli

	saat-0 noktası	saat-2 noktası	saat-4 noktası	saat-6 noktası	saat-8 noktası	saat-10 noktası
Yy	$T_2 * S_3$	$T_2 * S_1$	$T_2 * S_2$	$T_2 * S_3$	$T_2 * S_1$	$T_2 * S_2$
Dd	$T_2 * S_3$	$T_2 * S_1$	$T_2 * S_2$	$T_2 * S_3$	$T_2 * S_1$	$T_2 * S_2$
Ynyn	$T_3 * S_3$	$T_3 * S_1$	$T_3 * S_2$	$T_3 * S_3$	$T_3 * S_1$	$T_3 * S_2$

Yd ve Dy bağılı transformatörlerin analizinde daha farklı yöntemler kullanılmaktadır. Dy bağılı bir trafo örnek olarak incelenmiştir, Yd bağılı transformatörlerde de benzer bir yöntem izlenir.



Şekil 3.12. Sekonder faz-nötr gerilimi primer faz-nötr geriliminden 30° geride olan Dy bağılı transformatör modeli

Dy bağılı trafo modeli ve fazör diyagramı şekilde görülmektedir. Fazör diyagramından görüldüğü gibi primer faz-nötr gerilimi, sekonder faz-nötr geriliminden 30° ileridir.

Primer gerilim referans alındığında bu trafonun matematiksel modeli aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad T = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

Kısa süreli gerilim düşmesi çalışmalarında arıza öncesi gerilimi referans alınır. Bu aynı zamanda pozitif seri geriliminin değişime uğramayacağı anlamına gelir. (3.37)

ifadesindeki T trafo modeli, (3.24) eşitliğine uyarlandığında aşağıdaki durum ortaya çıkar.

$$TxV_1 = e^{-j30}xV_1 \quad (3.38)$$

Şekil 3.12. de görülen fazör diyagramında olduğu gibi pozitif seri gerilimi 30° geri kayar. Pozitif seri gerilimini sabit tutmak amacıyla (3.37) eşitliğine e^{j30} faktörü uygulanarak aşağıdaki ifade elde edilir.

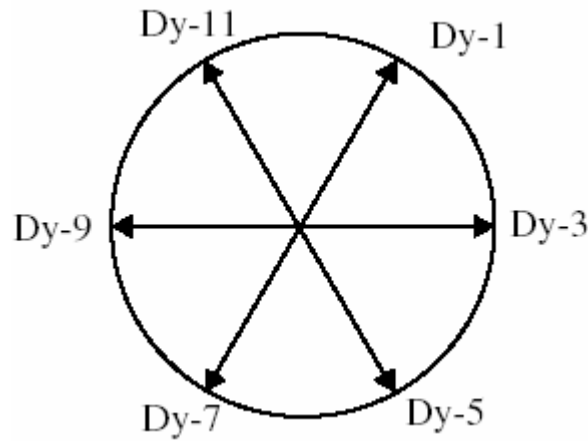
$$T = \frac{e^{j30}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

Elde edilen yeni trafo modeli negatif seri geriliminin V_2 (3.25) deki formülünde yerine konulursa aşağıdaki durum ortaya çıkar.

$$TxV_2 = e^{-j60}xV_2 \quad (3.40)$$

Tüm bu veriler şekil 3.9 ile karşılaştırıldığında, pozitif seri gerilimi sabit tutulurken negatif seri geriliminde meydana gelen 60° lik faz gerilemelerinin C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerini birbirine dönüştürdüğü görülür. Sonuç olarak da a, b, c olarak sıralanmış fazlar yeni sistemde c, a, b olarak sıralanır. Bu durum T_1 trafo modeli ile S_2 simetri dönüştürücü modelinin kombinasyonundan ortaya çıkar.

Şekil 3.12. de görülen transformatör Dy-1 bağlantılı trafo olarak adlandırılır. Bu isimlendirme sekonder geriliminin primer geriliminden 30° geride olmasından kaynaklanır. Trafo bağlantıları değişikçe bunlara verilen sayısal kodlama aşağıda görülmektedir.



Şekil 3.13. Dy bağlı trafoların sayısal kodlaması

Simetrik bileşenler metoduna göre bu tip trafoların pozitif seri gerilimleri 30° , 90° , 150° , 210° , 270° , 330° olmak üzere saat yönünde ilerlerken, negatif seri gerilimi ters yönde ilerler. Pozitif seri gerilimi sabit tutulduğunda negatif seri gerilimi çift açılış değeri kadar ilerleme gösterir. Dy bağlı trafoların kısa süreli gerilim düşmesi değişimlerinin matematiksel modelleri Tablo 3.8. de görülmektedir.

Tablo 3.8. Dy bağlı trafoların matematiksel modelleri

Dy-1	Dy-3	Dy-5	Dy-7	Dy-9	Dy-11
$T_1 * S_2$	$T_1 * S_3$	$T_1 * S_1$	$T_1 * S_2$	$T_1 * S_3$	$T_1 * S_1$

Tablo 3.8. incelendiğinde Dy bağlı trafoların C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerini değiştiren ve sadece simetrik fazı etkileyen modelleri görülebilir. Dy-1 ve Dy-7, Dy-3 ve Dy-9, Dy-5 ve Dy-11 aynı modellerdir.

Benzer analizler yapılarak Yd bağlı trafolar için elde edilen modeller Tablo 3.9 da verilmiştir. Dy bağlı trafolarla aynı modeller elde edilmiştir.

Tablo 3.9. Yd bağlı trafolar için matematiksel modeller

Yd-1	Yd-3	Yd-5	Yd-7	Yd-9	Yd-11
$T_1 * S_2$	$T_1 * S_3$	$T_1 * S_1$	$T_1 * S_2$	$T_1 * S_3$	$T_1 * S_1$

3.5. Üç Faz Kısa Süreli Gerilim Düşmelerinin Terminolojisi

Üç faz kısa süreli gerilim düşmeleri: Bir veya daha fazla fazın efektif gerilim değerinde azalmaya sebep olan üç fazlı sistemlerin enerji kalitesi olayıdır. Eğer her fazdaki azalma aynı oranda ise ‘dengeli kısa süreli gerilim düşmesi’ aksi durumlarda ‘dengesiz kısa süreli gerilim düşmesi’ olarak adlandırılır.

Faz gerilimi: Üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinde her fazın süregelen kompleks gerilim değeridir. Kısa süreli gerilim düşmesinin genliği kesin değerlere sahiptir ancak faz kayması değeri değişkendir. Cihazın bağlantısına göre bu değer faz-toprak gerilimi veya faz-faz gerilimine eşittir.

Kısa süreli gerilim düşmesi tipi: Üç faz kısa süreli gerilim düşmeleri sınıflandırma metodunun temeli üç fazın gerilimine dayanmaktadır. ‘A tipi’ dengeli kısa süreli gerilim düşmeleri için yapılmış bir tanımladır. C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde ise bir veya iki fazda dengesizlik görülür. Kısa süreli gerilim düşmelerinin üç tipi de bazı varsayımlara dayandırılan tek tip fazörle ölçülebilir. Simetrik fazlar dikkate alındığında C_a , C_b , C_c , D_a , D_b , D_c olarak adlandırılan altı tip kısa süreli gerilim düşmesi ortaya çıkar. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde trafo bağlantılarına göre bu tipler birbirine dönüşebilir.

Karakteristik gerilim: Üç faz kısa süreli gerilim düşmesinin şiddetini ölçen fazördür. A tipi dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde faz gerilimine eşittir. C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde ise C_a tipinin pozitif seri geriliminden negatif seri geriliminin çıkarılmasıyla elde edilir. Karakteristik gerilim değeri ve kısa süreli gerilim düşmesinin tipi bilindiğinde üç faz gerilimlerini bulmak kolaydır. Karakteristik gerilimin genliği kesin sonuçlarla ifade edilebilirken, faz kayması olaylarında aynı durum söz konusu değildir.

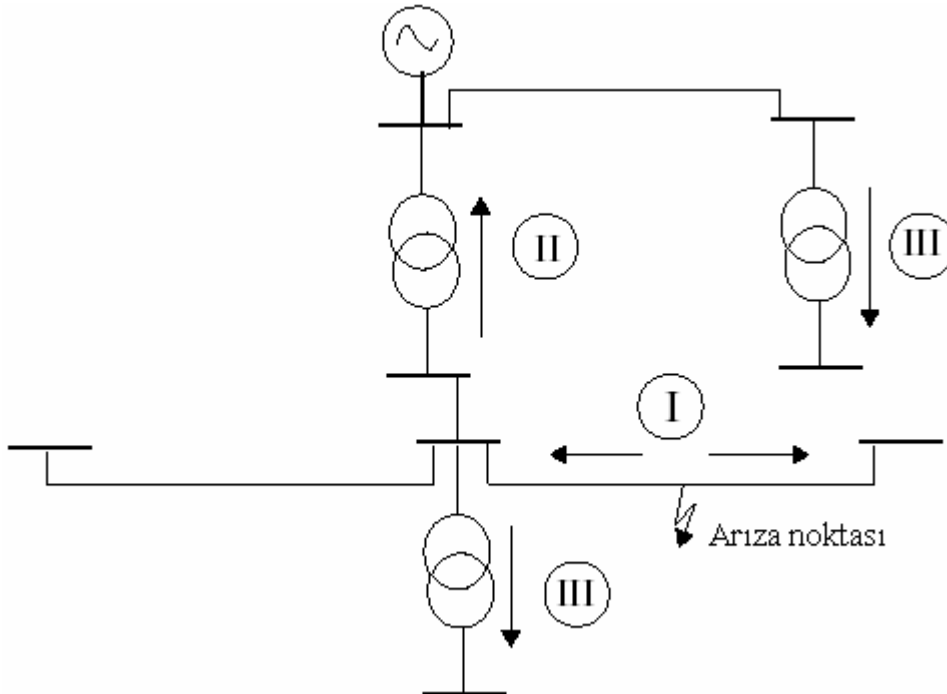
Pozitif ve negatif faktörü (PN faktör): Sistemin pozitif ve negatif empedansının eşit olmadığı durumlarda üç faz kısa süreli gerilim düşmelerini ölçmek amacıyla kullanılan ilave bir fazördür. PN faktörü aynı zamanda, karakteristik gerilim değeriyle elde edilen faz geriliminin derecesini de gösterir.

Sıfır seri gerilim bileşeni: Kısa süreli gerilim düşmesinin üç faz geriliminin toplamıdır. Genelde dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde sıfır seri gerilimi bileşeninin değeri '0' dır, bazı durumlarda bu ilave karakteristiğe gerek duyulabilir.

BÖLÜM 4. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞMELERİNİN YAYILIMI

Kısa süreli gerilim düşmeleri, güç sistemleri içerisinde yayılabildiği için üretimde ciddi sorunlar oluşturmaktadırlar. Kısa süreli gerilim düşmesinin durdurulabilmesi ancak koruyucu sistemin hattın beslediği özel müşteriyi de devreden çıkarmasıyla mümkün olmaktadır. Diğer bir deyişle, kısa devre arızaları güç sisteminin büyük bölümünü etkileyecek kısa süreli gerilim düşmeleri yaratabilir.

Şekil 4.1. de gösterildiği gibi kısa süreli gerilim düşmesi güç sistemlerinde üç farklı şekilde yayılabilir.



Şekil 4.1. Güç sistemlerinde kısa süreli gerilim düşmesi yayılımının değişik tipleri. (I- aynı gerilim seviyesinde yayılmayı, II- yüksek gerilim seviyesine doğru yayılmayı (kaynağa doğru), III- düşük gerilim seviyesine doğru yayılmayı (yüke doğru) göstermektedir.)

Dağıtım sistemlerindeki kısa süreli gerilim düşmeleri için II ve III tipi yayılmalar önemlidir. İletim sistemleri arızaları için ise I ve III tipi yayılmalar dikkate alınmalıdır.

Farklı tiplerdeki sistem arızalarından kaynaklanan üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristikleri 3. bölümde basit gerilim bölücü modeli kullanılarak incelenmiştir. Bazı kabullenmelere ve iki bileşenli simetrik bileşenler metoduna dayandırılarak barada meydana gelen kısa süreli gerilim düşmelerinin sınıflandırması yapılmıştır. Elde edilen sonuca göre dengeli veya dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin tümü karakteristik gerilim adı verilen tek bir fazla ölçülebilmektedir. Sıradaki soru ise kısa süreli gerilim düşmesinde yayılım başladığında karakteristik gerilim değerine ve kısa süreli gerilim düşmesinin tipine ne olacaktır?

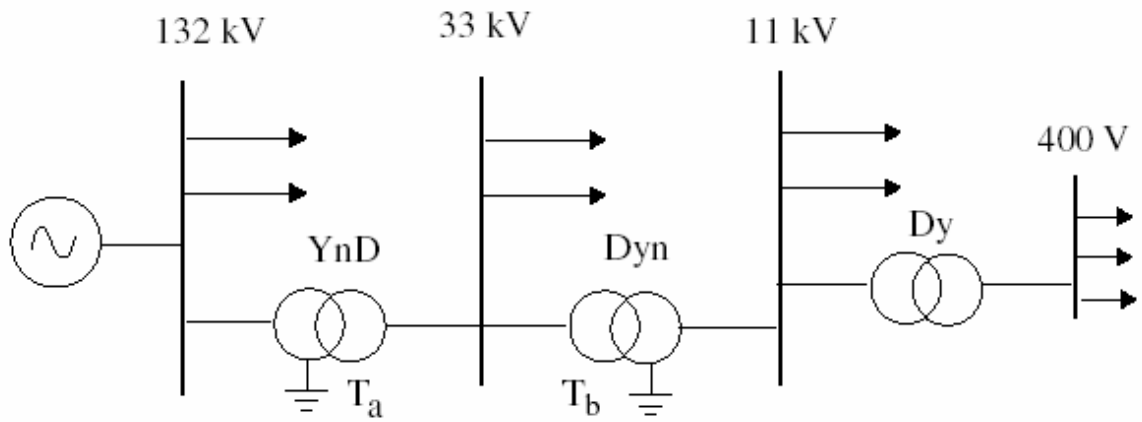
Kısa süreli gerilim düşmelerinin yayılımı konusundaki çalışmalar belli bir alanda meydana gelen kısa süreli gerilim düşmeleri hakkında stokastik tahmin yapabilmeyi sağlar. Uluslar arası standartların kısa süreli gerilim düşmelerini önceden tahmin edebilmek amacıyla ortaya koyduğu metotlar, önceki arızaların istatistiklerini ve kısa süreli gerilim düşmesi yayılımı hakkında bilinen bilgileri içermektedir.[3][5]. Ancak bu metotlar genelde dengeli kısa süreli gerilim düşmeleri için geçerlidir. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin yayılımı ile ilgili daha çok bilgiye ihtiyaç vardır.

Bu bölümde kısa süreli gerilim düşmelerinin iletim ve dağıtım sistemlerinde yayılması incelenecektir. Radyal ve dal şebeke sistemlerinin simülasyonları kullanılmıştır. Simetrik bileşenler metoduna dayanarak dengesiz sistemler için tek faz kısa süreli gerilim düşmeleri konusunda çalışmalar yapılmıştır. Son olarak da indüksiyon motorları gibi dinamik yüklerin kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristiği üzerindeki etkisi ele alınacaktır.

4.1. Dağıtım Sistemlerinde Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Yayılımı

Dağıtım sistemlerinin tasarımında genellikle radyal sistemler kullanılır. Radyal sistemler yapılmasının en büyük avantajı diğer sistemlerden daha basit ve ekonomik olarak hazırlanabilmesidir. Şekil 4.2 de gerilimi 132 kV seviyesinden alıp gerekli

dönüşümleri yaparak farklı yüklere taşıyan bir radyal sistem görülmektedir. Güç kaynağının, trafoların ve hatların parametreleri ise tablo 4.1 ve 4.3 de görülmektedir. Her baraya bağlı olan toplam yük o baranın kısa devre gücünün yaklaşık %6 sına denk gelmektedir. Yükleler 0.9 güç faktörü ile tek empedans olarak değerlendirilmektedir. Bazı yaklaşımlar sistemin pozitif ve negatif seri kaynak empedanslarının birbirine eşit olduğunu ortaya koymuştur. Sistem parametreleri [38] kaynağından alınmıştır.



Şekil 4.2. Radyal dağıtım sistemi

Tablo 4.1. Şekil 4.2 de görülen sistemin kaynak empedansı

Gerilim (kV)	$X_1 (\Omega)$	$R_1 (\Omega)$	$X_0 (\Omega)$	$R_0 (\Omega)$
132	4.9833	0.082	4.792	0.157

Tablo 4.2. Şekil 4.2 de görülen sistemin transformatörlerin bağlantıları

Transformatör Tipi	S (MVA)	Gerilimler (kV)	X (pu.)	Transformatör bağlantı tipi	Yıldız tarafındaki topraklama durumu
T _a	90	132/33	0.1	Ynd-1	Topraklanmış
T _b	23	33/11	0.08	Dyn-11	Topraklanmış

Tablo 4.3. Şekil 4.2 de görülen sistemin hat bilgileri

Gerilimler (kV)	X ₁ (Ω/km)	R ₁ (Ω/km)	X ₀ (Ω/km)	R ₀ (Ω/km)
132 kV	0.4478	0.176	1.133	0.4
33 kV	0.338	0.156	1.661	0.304
11 kV	0.315	0.117	1.355	0.223

4.1.1. Kısa süreli gerilim düşmesinin ileri ve geri yönde yayılması

Kısa süreli gerilim düşmeleri genellikle yüksek gerilim seviyesinden düşük gerilim seviyesine doğru genliğinde bir değişme olmadan yayılırken, ancak alçak gerilim seviyesinden yüksek gerilim seviyesine doğru yayıldığında gerilim düşümünde azalma görülür. Bu etki aşağıdaki hesaplamalarla örneklenebilir.

Şekil 4.2 de görülen sistem için; X_{s132}, 132 kV luk gerilim barasındaki kısa devre empedansını, X_t, T_a trafosunun reaktansdır.

33 kv luk barada meydana gelen üç faz kısa devre arızası sonucu bu baranın karakteristik gerilimi '0' a eşitlenir. 132 kV luk baranın kısa süreli gerilim düşmesi genliği aşağıdaki gibidir.

$$V_{132} = \frac{X_t}{X_{s132} + X_t} \quad (4.1)$$

Tablo 4.1 ve 4.3 de görülen değerler kullanılarak kısa süreli gerilim düşmesi genliği yaklaşık %80 olduğu görülebilir.

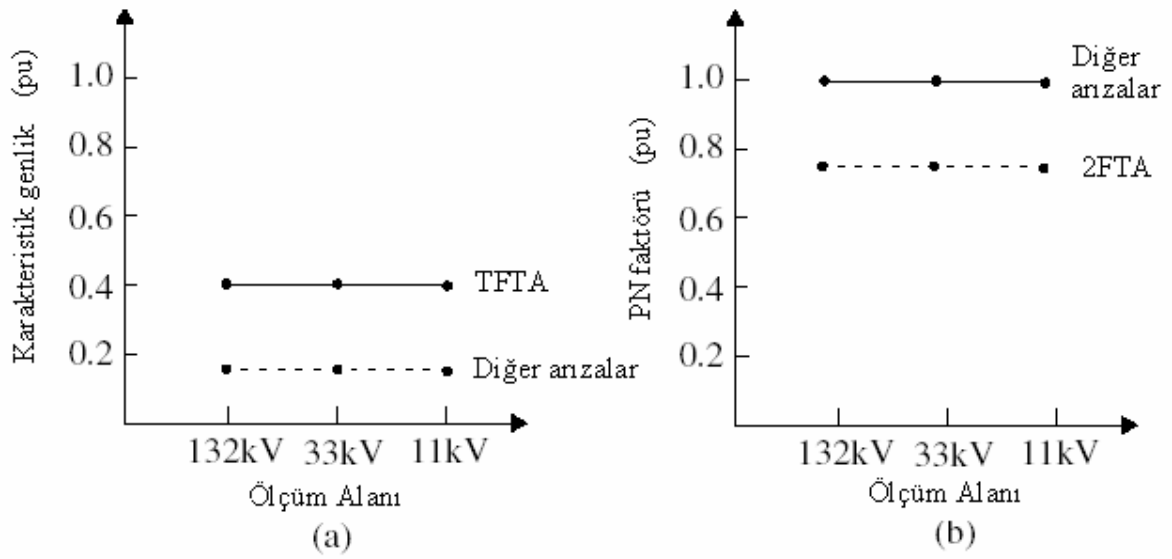
132 kV, 33 kV ve 11 kV luk baraların 2 km ye kadar olan mesafesindeki hatlarda meydana gelen değişik tipteki arızaların simülasyonları oluşturulmuştur. Tablo 4.4 de her barada ölçülen kısa süreli gerilim düşmesi sonuçları görülmektedir. Her barada dört farklı arıza tipi için karakteristik genlikleri ve PN-faktörü ise şekil 4.3 ve 4.5 de görülmektedir.

Tablo 4.4 Simülasyon sonuçları

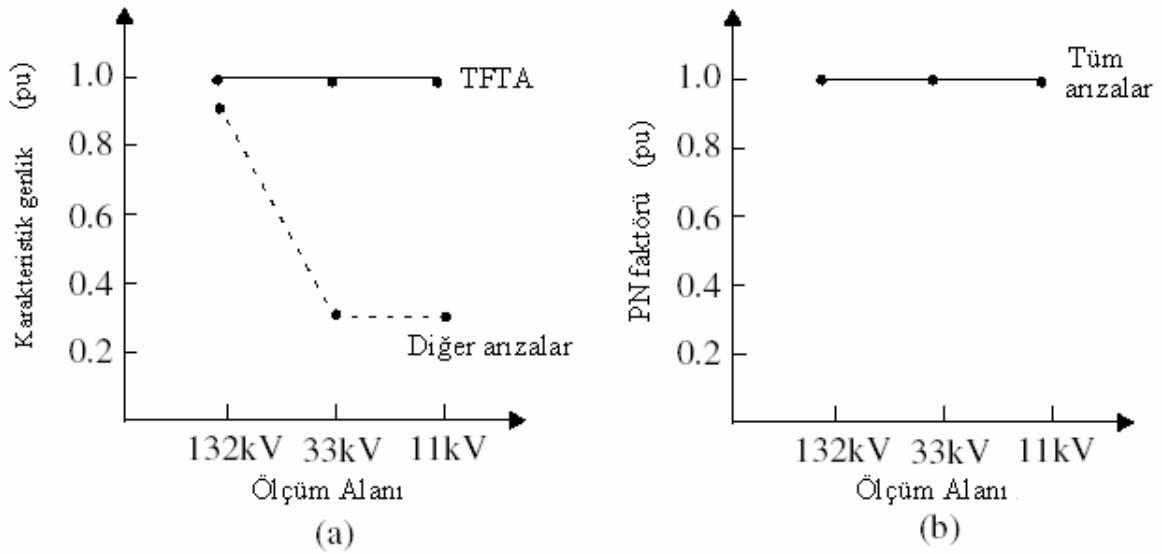
Arıza noktası	Arıza Tipi	Her Barada Ölçülen Dalgalanma Karakteristikleri											
		132kV				33 kV				11 kV			
		Dalg Tipi	V*	F**	V ₀ ***	Dalg Tipi	V	F	V ₀	Dalg Tipi	V	F	V ₀
11 kV Iuk bara	SLGF	D _a	0.41∠-4 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.23∠-175 ⁰	C _c	0.41∠-4 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	D _a	0.41∠-4 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0
	LLF	C _a	0.17∠-15 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	D _c	0.17∠-15 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	C _a	0.17∠-15 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0
	2LGF	C _a	0.17∠-15 ⁰	0.68∠0 ⁰	0.25∠4 ⁰	D _c	0.17∠-15 ⁰	0.68∠0.0 ⁰	0.0	C _a	0.17∠-15 ⁰	0.68∠0.0 ⁰	0.0
	3ØF	A	0.17∠-15 ⁰	--	0.0	A	0.17∠-15 ⁰	--	0.0	A	0.17∠-15 ⁰	--	0.0
33 kV Iuk bara	SLGF	--	1.0	1.0∠0.0 ⁰	0.0	--	0.98∠-0.2 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.97∠180 ⁰	--	0.98∠-0.2 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0
	LLF	D _b	0.87∠-0.6 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	C _a	0.34∠-16 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	D _b	0.34∠-16 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0
	2LGF	D _b	0.87∠-0.6 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	C _a	0.34∠-16 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.5∠0.0 ⁰	D _b	0.34∠-16 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0
	3ØF	A	0.87∠-0.6 ⁰	--	0.0	A	0.34∠-16 ⁰	--	0.0	A	0.34∠-16 ⁰	--	0.0
11 kV Iuk bara	SLGF	D _a	0.98∠-0.1 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	C _c	0.91∠-0.7 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	D _a	0.69∠-5 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.12∠-169 ⁰
	LLF	C _a	0.97∠-0.1 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	D _c	0.87∠-1.0 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0	C _a	0.55∠-8 ⁰	1.0∠0.0 ⁰	0.0
	2LGF	C _a	0.97∠-0.1 ⁰	0.99∠0.0 ⁰	0.0	D _c	0.87∠-1.0 ⁰	0.96∠-0.4 ⁰	0.0	C _a	0.55∠-8 ⁰	0.84∠-2 ⁰	0.11∠12 ⁰
	3ØF	A	0.97∠-0.1 ⁰	--	0.0	A	0.87∠-1.0 ⁰	--	--	A	0.55∠-8 ⁰	--	0.0

* V--- Karakteristik Genlim

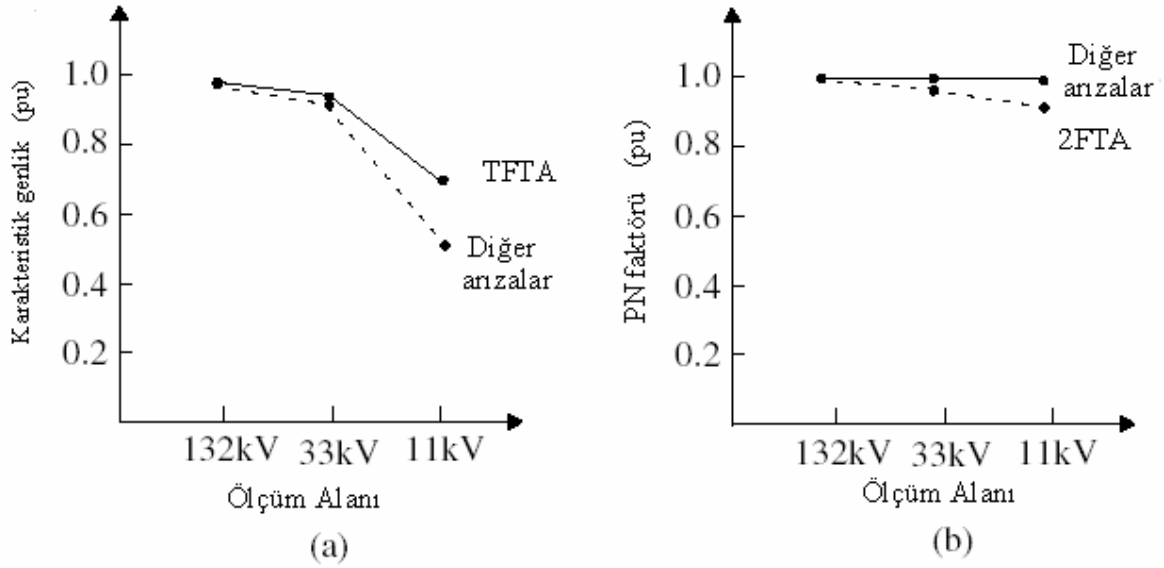
** F -- PN faktörü



Şekil 4.3. 132 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi
 (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3 ϕ A
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, (.....) 2FTA



Şekil 4.4. 33 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi
 (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3 ϕ A
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, 2FTA



Şekil 4.5. 11 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi

- (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3φA
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, (.....) 2FTA

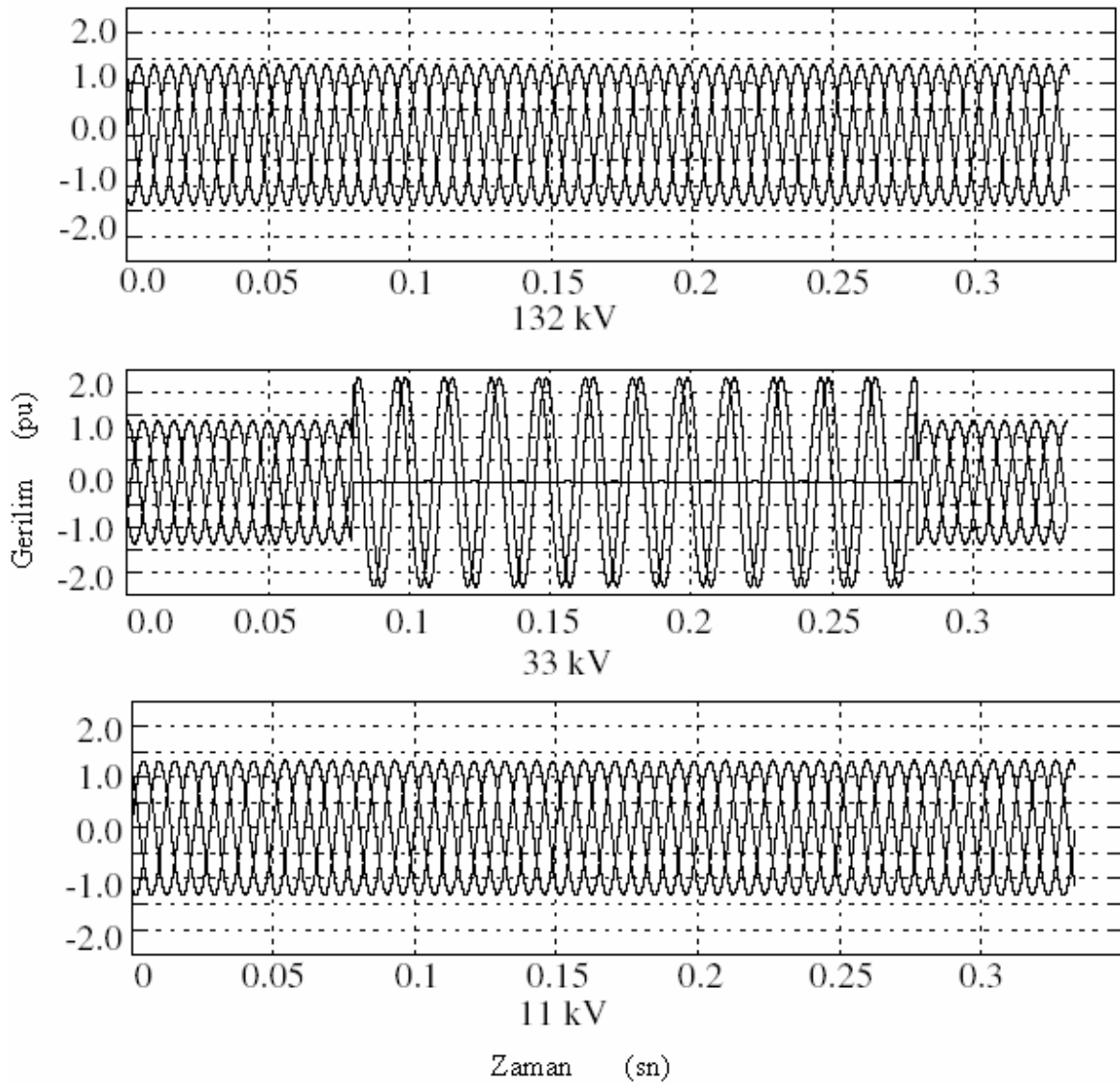
Yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

1. Arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesi yüksek gerilim seviyesinden düşük gerilim seviyesine doğru ilerlerken genliğinde bir değişme görülmez ancak düşük gerilim seviyesinden yüksek gerilim seviyesine yayıldığında kısa süreli gerilim düşmesi genliğinin daraldığı görülmektedir.
2. Tek faz toprak arızaları ve faz arası arızalarına bağlı kısa süreli gerilim düşmelerinde PN-faktörünün değeri '1' dir ve yayılma esnasında değişmez. İki faz-toprak arızalarında ise değeri '1' den küçük olan PN-faktörü, kısa süreli gerilim düşmesi yüksek gerilim seviyesine doğru ilerledikçe '1' e yaklaşır.
3. İki faz arızaları, iki faz-toprak arızaları ve üç faz arızaları aynı noktada meydana geldiğinde aynı karakteristik gerilimlere sahipken, tek faz-toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik genlikleri daha büyüktür. Bu durumun açıklaması 3. bölümde simetrik bileşenlerin analiz sonuçları olarak (3.14), (3.17), (3.19) ve (3.22) eşitliklerinde belirtilmiştir.
4. Hatların her gerilim seviyesindeki X/R oranı, sistem empedansından küçüktür. Kısa süreli gerilim düşmeleri, karakteristik gerilimde her zaman negatif yönde faz kaymalarına neden olur.

5. Sistemdeki trafolar üçgen-yıldız bağlıdır. Kısa süreli gerilim düşmesi seviye değiştirdikçe sıfır-seri bileşeni de değişir.
6. Üçgen-yıldız bağlı trafolar kısa süreli gerilim düşmesinin tipini D den C ye dönüştürür veya tam tersi durum meydana gelir. 3. bölümdeki transformatör sınıflandırmasına göre, T_a , T_1 trafo tipi ve S_1 simetri dönüştürücü tipinin kombinasyonu, T_b ise T_1 trafo tipi ve S_2 simetri dönüştürücüsünün kombinasyonudur.

4.1.2. Orta gerilim seviyesinde meydana gelen tek faz-toprak arızaları

Avrupa'daki şebekelerde orta gerilim dağıtım sistemleri topraklanmaz veya çok yüksek empedansla topraklanır. Tek faz-toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri sıfır seri bileşenine sahiptir. Karakteristik gerilim ve PN-faktörü değerleri '1' e yakındır. Kısa süreli gerilim düşmesi topraklanmamış transformatörlere doğru yayıldıkça sıfır seri bileşeni değişir ve dolayısıyla kısa kesintiler meydana gelir. 33 kV luk hatta meydana gelen tek faz-toprak arızasına bağlı olarak 132 kV, 33 kV ve 11 kV baralarında meydana gelen kısa süreli gerilim düşmeleri şekil 4.6 da gösterilmiştir. Bu tip kısa süreli gerilim düşmesinin yukarı ve aşağı doğru yayılmadığı dalga tipinden görülmektedir.



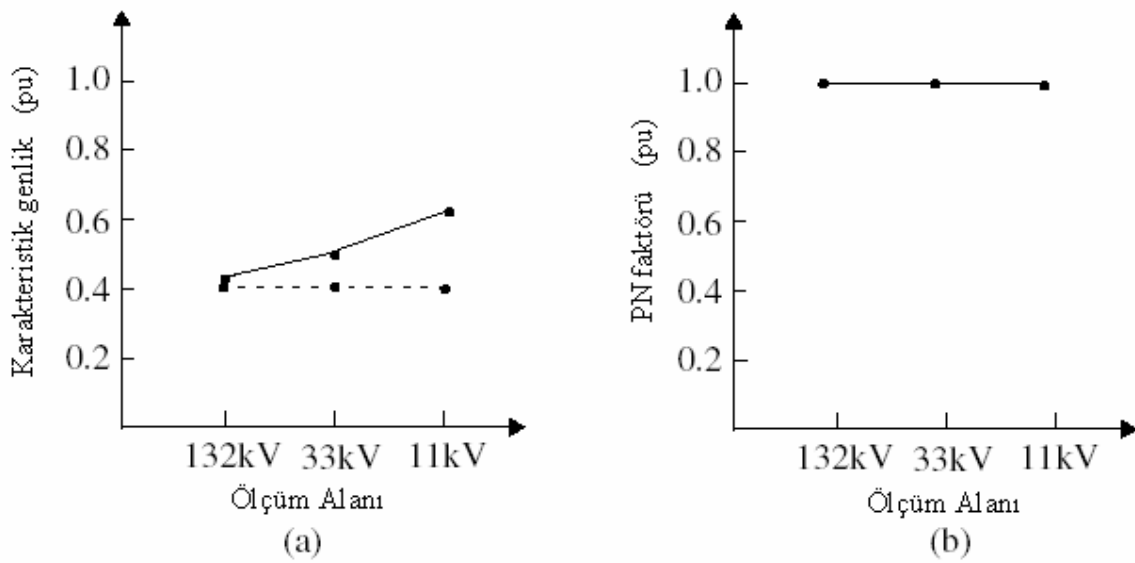
Şekil 4.6. Görülen bütün kısa süreli gerilim düşmeleri, orta gerilim seviyesinde meydana gelen arızaya bağlıdır

4.1.3. Lokal üretim

Dağıtım sistemlerinde kısa süreli gerilim düşmelerinin yayılması ile ilgili çalışmalar yapılırken veya stokastik kısa süreli gerilim düşmelerinin oluşması hakkında tahminlerde bulunulurken yüke doğru ilerledikçe kısa süreli gerilim düşmesinin genliğinin değişmediği kabullenmesi yapılır. Ancak lokal jeneratör durumu değiştirebilir. Üretim barasına yakın olan bu jeneratör sadece arıza seviyesini yükseltmekle kalmaz aynı zamanda kısa süreli gerilim düşmesinin uzaklaştırılmasını

da sağlar [5]. Bu bölümde lokal üretimin, kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik değerlerini nasıl etkilediği konusu ele alınacaktır.

Şekil 4.2. de verilen radyal sistem örneğindeki 11 kV luk baraya bağlı 10 MVA kısa devre gücüne sahip olan jeneratör (11 kV luk baradaki kısa devre gücünün % 10 u) incelenecektir. 132 kV luk hatta meydana gelebilecek tek faz-toprak arızası simule edilmiştir. Lokal jeneratörün PN-faktörü ve karakteristik gerilim değerleri üzerindeki etkisi ise şekil 4.7 de görülmektedir.



Şekil 4.7. 132 kV luk hatta meydana gelen tek faz-toprak arızasının oluşturduğu kısa süreli gerilim düşmesi.

- (a) 11 kV luk baraya bağlı jeneratörle yapılan ölçüm sonucu elde edilen karakteristik genlik (—), jeneratör olmadan yapılan ölçüm sonucu (.....)
 (b) Jeneratör bağlı iken ve değilken yapılan ölçüm sonucu elde edilen PN-faktörü(—).

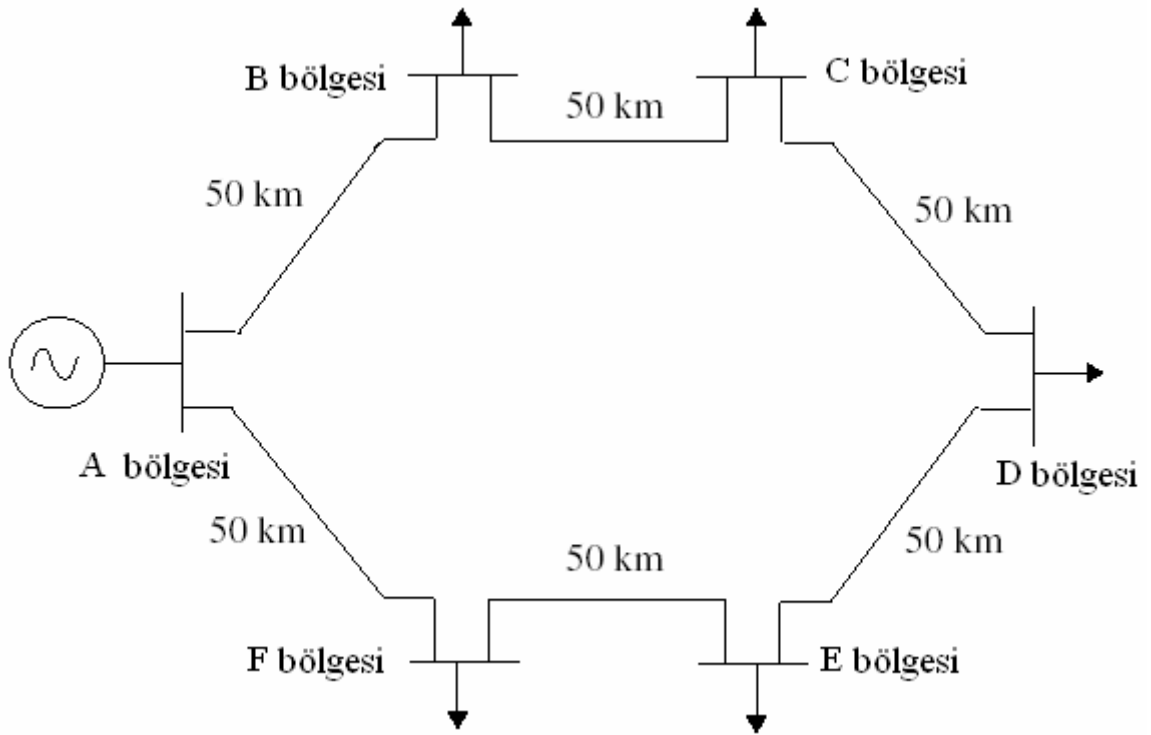
Şekilde de görüldüğü gibi kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik genliği jeneratöre bağlı olarak artarken, PN-faktöründe herhangi bir değişim gözlenmez.

4.2. İletim Sistemlerinde Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Yayılmı

İletim sistemlerinde meydana gelen kısa süreli gerilim düşmeleri iletim hatlarında oluşan sistem arızalarına bağlıdır. İletim sistemlerinden kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri bu hatta bağlı tüm dağıtım sistemlerini etkiler.

İletim sistemleri ring veya ağ şebeke şeklinde bağlandığından gerilim bölücü modeli geliştirilememektedir. Kısa süreli gerilim düşmesinin yayılmasını tahmin edebilmek için bilgisayar ortamında simülasyonlar geliştirilmiştir.

Şekil 4.8. de A noktasındaki jeneratörle beslenen 5 elemanlı ring şebeke görülmektedir. Bu sistemin parametreleri ise tablo 4.5 ve 4.6 da gösterilmiştir. Kaynak empedansı 8 MVA lık kısa devre gücüne uygundur. İletim hattı üzerindeki yüklerin ara mesafeleri 50 km olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4.8. Ring bağlı iletim sistemi

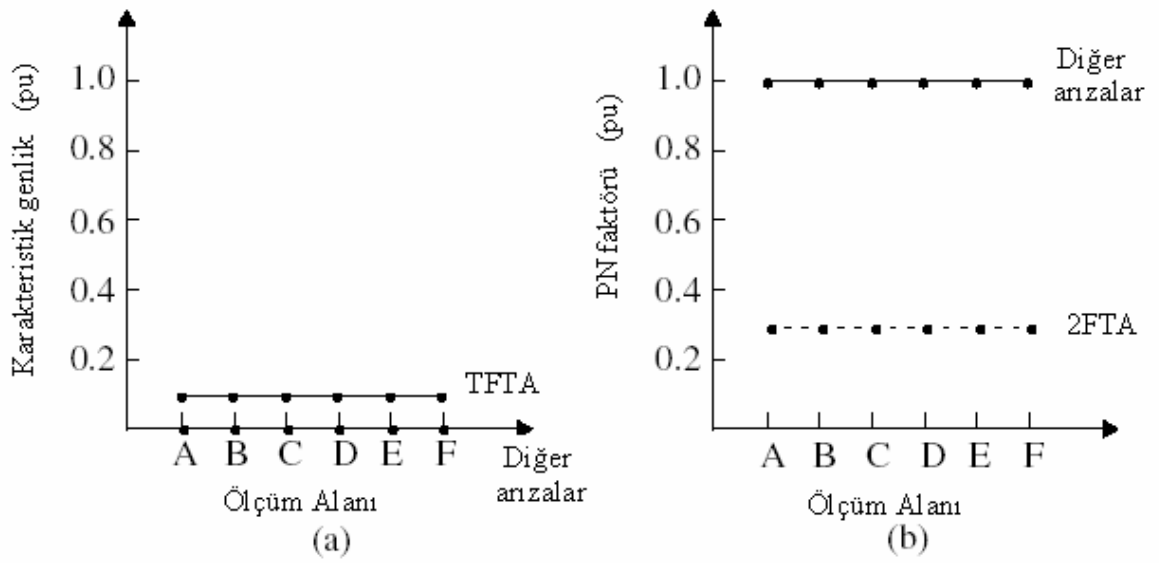
Tablo 4.5. jeneratörün kaynak empedansı

Gerilim (kV)	X_1 (Ω)	R_1 (Ω)	X_0 (Ω)	R_0 (Ω)
400	4.912	0.614	19.956	1.332

Tablo 4.6. iletim hattı parametreleri

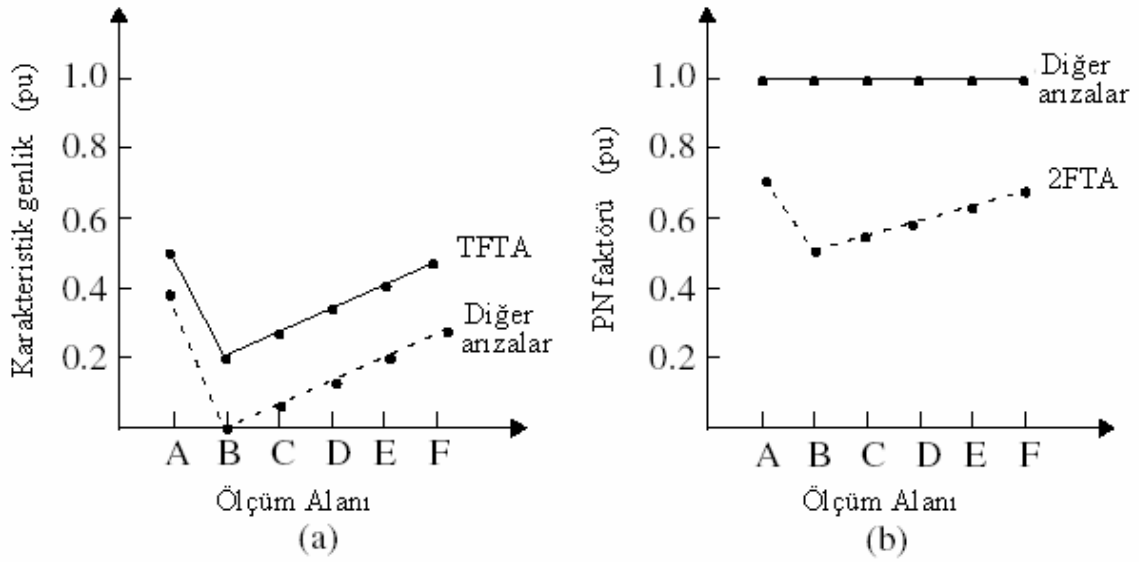
Gerilim (kV)	$X_1(\Omega/\text{km})$	$R_1(\Omega/\text{km})$	$X_0(\Omega/\text{km})$	$R_0(\Omega/\text{km})$
400	0.288	0.016	0.8	0.112

A, B, C ve D noktalarında meydana gelebilecek farklı tipteki arızalar için simülasyonlar hazırlanmıştır. Her noktadaki arızanın karakteristik genlikleri ve PN-faktörü değişimleri aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



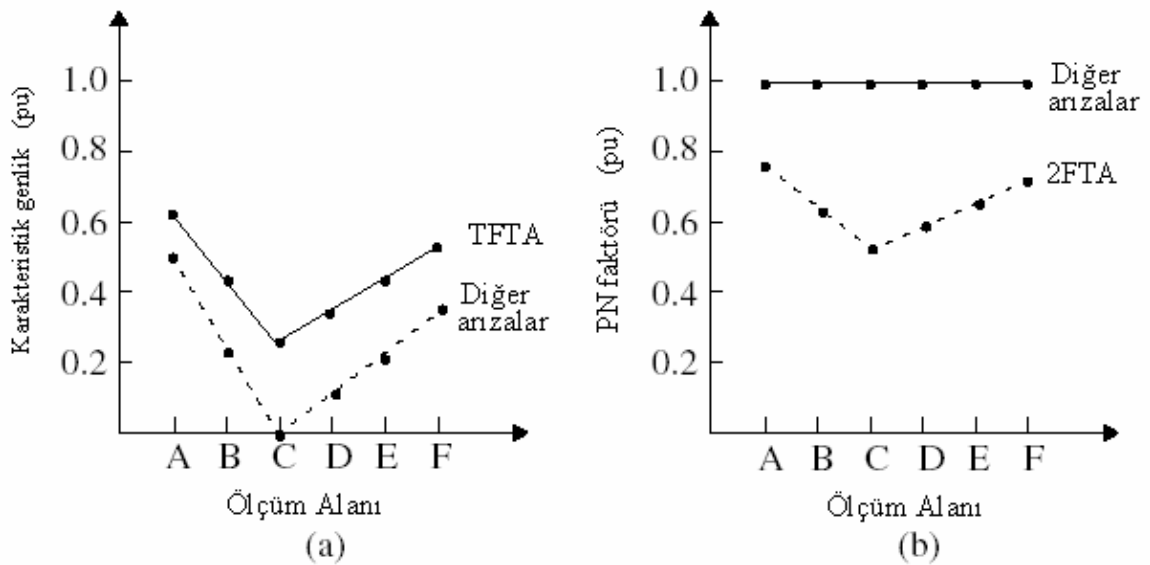
Şekil 4.9. A noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri

- (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (___) TFTA, (.....) x ekseni üzerinde FFA, 2FTA, 3φA
 (b) ölçülen PN-faktörü değerleri. (___) FFA, TFTA, (.....) 2FTA.



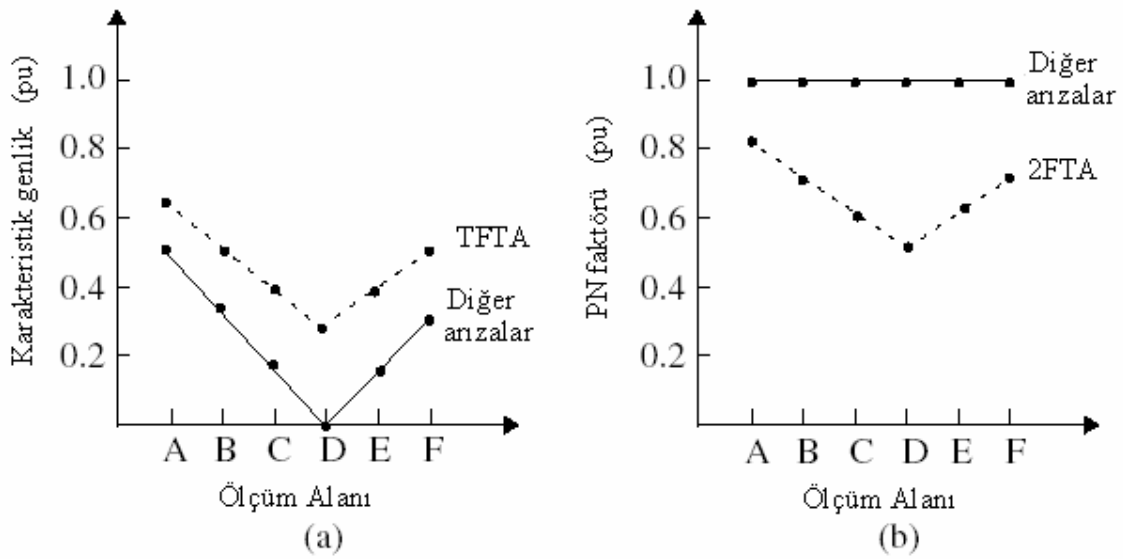
Şekil 4.10. B noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri

- (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3φA
 (b) ölçülen PN- faktörü değerleri. (—) FFA, TFTA, (.....) 2FTA



Şekil 4.11. C noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri

- (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3φA
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, (.....) 2FTA



Şekil 4.12. D noktasında meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmeleri
 (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3φA
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, (.....) 2FTA

İletim sistemlerinde meydana gelen kısa süreli gerilim düşmesi karakteristikleri dağıtım sistemi karakteristikleriyle benzerlik gösterirler.

1. Tek faz-toprak ve faz arası arızalarında PN-faktörü '1'e eşittir ve kısa süreli gerilim düşmesinin sistem içinde ilerlemesiyle değişiklik göstermez. İki faz-toprak arızaları ise farklı PN-faktörü değerine sahiptir.
2. Arızalar aynı noktalarda meydana geldiğinde, faz arası arızaları, iki faz-toprak arızaları ve üç faz-toprak arızaları aynı karakteristik genlik değerinde sahipken, tek faz-toprak arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik genlik değerleri daha büyüktür.

Bu durumda sistemin yapısının sınıflandırma metodunu etkilemediği söylenebilir. Ancak ağ şebekelerde kısa süreli gerilim düşmesi farklı noktalara doğru yayıldığında karakteristik genliği hakkında tahminde bulunmak zordur. Genel olarak sadece arızanın yükün bağlı olduğu baraya yaklaşmasıyla karakteristik genlik değerinin düştüğü söylenebilir.

4.3. Kısa Süreli Gerilim Düşmesinin Yayılımı Çalışmalarında Kullanılan Tek Faz Örneklemesi

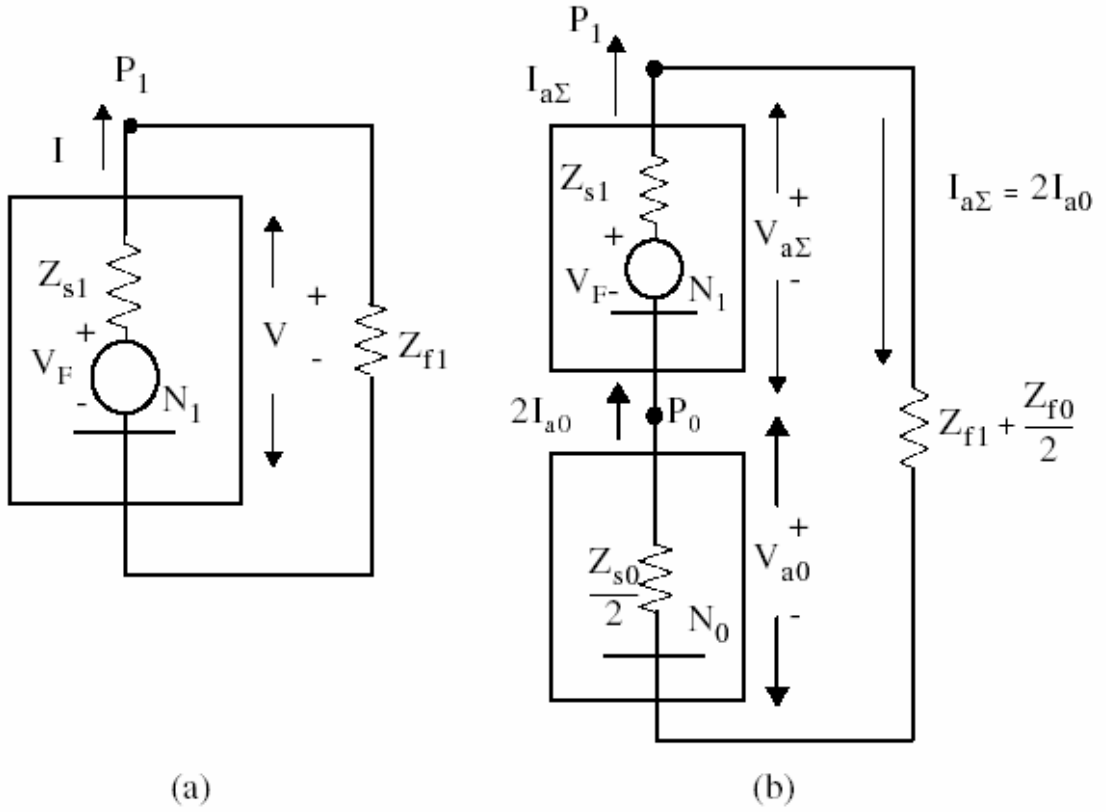
Güç sistemlerinin analizinde üç fazlı sistem dengeli ise yapılacak hesaplamalar için tek faz diyagramı kullanılır. Tek faz diyagramı hesaplama kolaylığının yanı sıra analitik sonuçların gözlenebilmesini de sağlar. A tipi dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinde kısa süreli gerilim düşmesinin sistem içindeki yayılmasının incelenebilmesi için sistem dengede kaldığı sürece tek faz diyagramı kullanılabilir. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde tek faz örneklemesi yapılamaz. Ancak sınıflandırma metoduna göre dengesiz sistemlerin analizinde de tek faz örneklemesinin kullanılma olasılığı vardır.

4.3.1. Karakteristik gerilim

Daha önce de belirtildiği gibi karakteristik gerilim, üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin temel karakteristiğidir. Kısa süreli gerilim düşmesinin tipi ve karakteristik gerilim değeri bilindiği takdirde kısa süreli gerilim düşmesinin üç faz gerilimi elde edilebilir.

(3.17), (3.19) ve (3.22) eşitliklerinden de görüldüğü üzere arıza noktası aynı ise faz arası, iki faz-toprak ve üç faz arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik gerilimleri de aynıdır. Bu aynı zamanda, faz arası arızaları ve iki faz-toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik gerilimlerinin, aynı arıza noktasındaki dengeli arızadan elde edilebileceğini anlamına da gelir. Bu sonuç 4.1 ve 4.2 bölümlerinde geliştirilen simülasyonlardan da görülmektedir.

Tek faz-toprak arızalarında sıfır seri empedansı bulunduğundan karakteristik gerilim değeri farklıdır. Üç faz arızaları ve tek faz-toprak arızaları için karakteristik gerilim değerleri şekil 4.13 de görülmektedir.



Şekil 4.13. Karakteristik gerilim devrelerinin karşılaştırılması

(a) üç faz arızaları için karakteristik gerilim değeri V

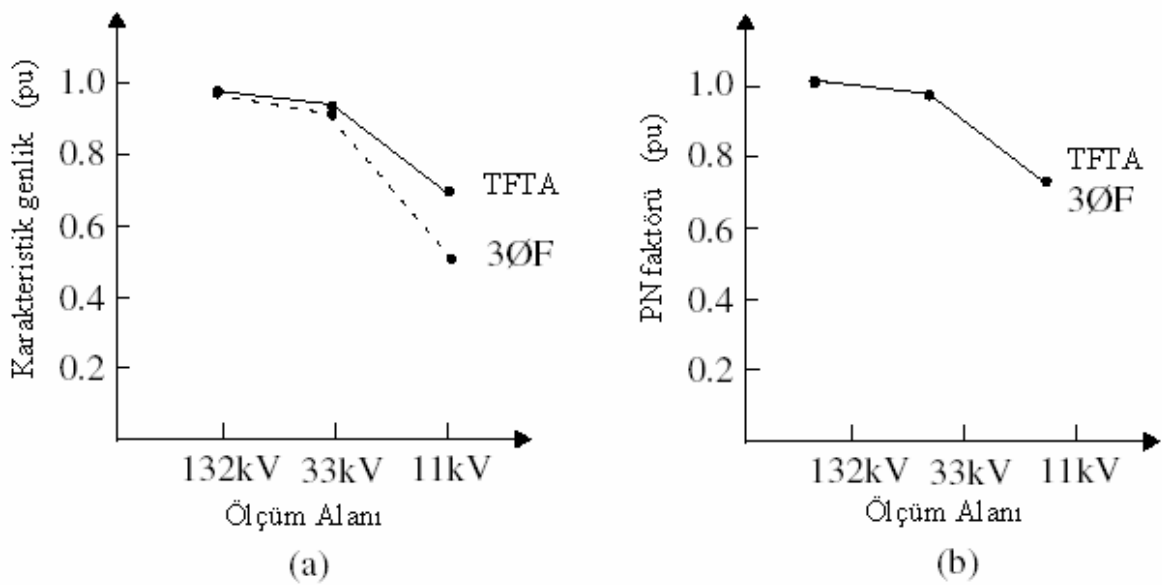
(b) tek faz-toprak arızaları için karakteristik gerilim değeri $V_{a\epsilon} = V_1 + V_2$

Üç faz arızaları ve tek faz-toprak arızalarının karşılaştırıldığı yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere arıza noktasına sıfır seri empedansının yarım değeri ($Z_0/2$) eklendiğinde dengeli arıza tek faz-toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik gerilim değerini verir. Eklenen empedans ($Z_0/2$) kaynak empedansı ve hattın sıfır seri empedansının toplamının yarısına eşittir $[(Z_{s0} + Z_{f0})/2]$.

Arıza noktasındaki sıfır seri empedansı sistemden elde edilebilir. Radyal şebekelerde bu değer in önceki arıza verilerinden hesaplanabileceği uygun bir metodun olup olmadığı bilinmemektedir. Bu durumun detayı Ek-A da açıklanmıştır.

11 kV luk meydana gelen arızaların simülasyonları teorik analizlerin doğruluğunu kanıtlamak amacıyla yapılmıştır. Şekil 4.14. de tek faz-toprak arızaları ve üç faz arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinin karşılaştırmaları görülmektedir. Şekil 4.14 (b) de ise aynı durumun arıza noktasına sıfır seri

empedansının yarı değerinin eklenmiş hali görülmektedir. Sıfır seri kaynak empedansı Ek-A da verilen metotla hesaplanmıştır.



Şekil 4.14.11 kV luk barada meydana gelen arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesi

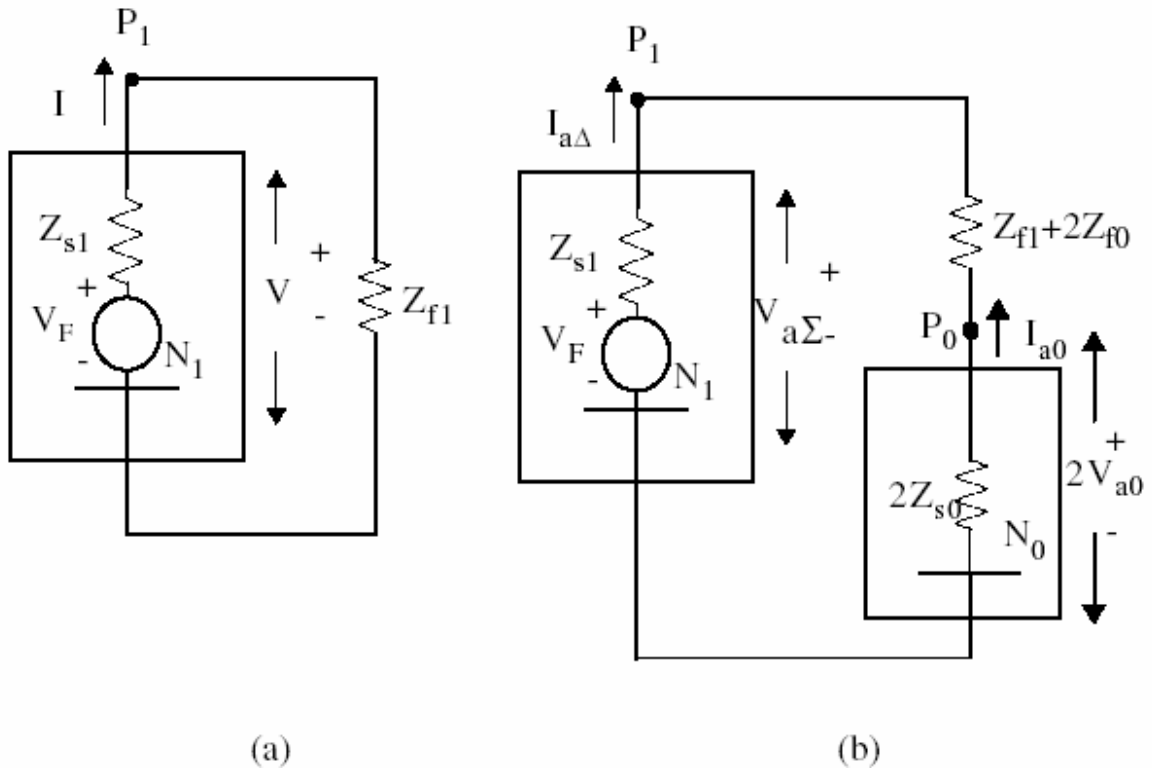
(a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) 3ØA

(b) $(Z_0/2)$ eklenmiş halde ölçülen karakteristik değerler. (—) TFTA, (....) 3ØA

4.3.2. PN faktörü

Üç faz dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinin diğer karakteristikleri gibi PN-faktörü değeri de '1'e yakındır ve kısa süreli gerilim düşmesi sistemde yayıldıkça değeri değişmez. İki faz-toprak arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinde PN-faktörü '1'in altındadır ve yayılma gerçekleştikçe değiştiğinden bu tip arızalar istisna olarak görülür. Bu durum 4.1 ve 4.2 bölümlerinde oluşturulan simülasyonlarla gösterilmiştir.

İki faz-toprak arızaları nadir olarak görüldüğünden dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için tek faz diyagramı oluşturulurken hesaba katılırlar. Üç faz arızaları için karakteristik gerilim ve iki faz-toprak arızaları için PN-faktörü şekil 4.15 deki devrelerde gösterilmiştir.



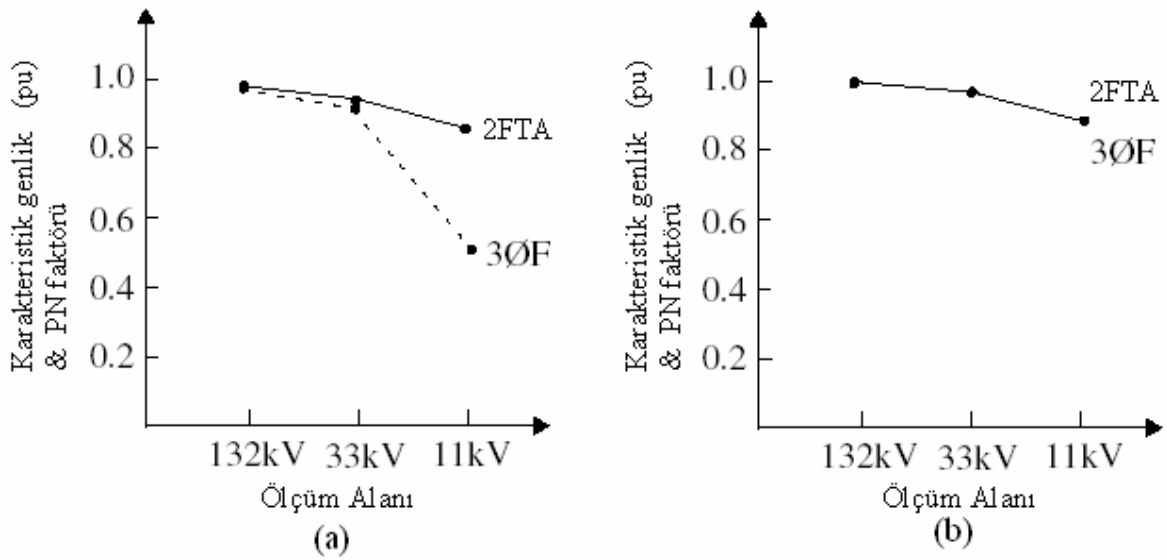
Şekil 4.15. Karakteristik gerilim devrelerinin karşılaştırılması

(a) 3 ϕ arızaları için karakteristik gerilim V

(b) iki faz-toprak arızaları için PN faktörü $V_{ae} = V_1 + V_2$

Şekilde görülen devreler karşılaştırıldığında, dengeli arızaların PN-faktörünü bulmak için iki faz-toprak arızalarında arıza noktasına iki katlı sıfır seri empedansının ($2Z_0$) eklenmesinin yeterli olduğu görülmektedir. Bu yöntem tek faz-toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik gerilim değerini bulmak amacıyla kullanılan yöntemin aynısıdır. [$2Z_0 = 2(Z_{s0} + Z_{f0})$].

İki faz-toprak arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmesinin PN-faktörü ve üç faz arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik genlik değerlerinin karşılaştırılması şekil 4.16 da yapılmıştır. Şekil 4.16 (b) de arıza noktasına $2Z_0$ eklenmiştir. Simülasyonlar 11 kV luk hatta 2 km lik mesafede gerçekleştirilmiştir. (b) grafiğinde görüldüğü gibi sıfır seri empedansı iki farklı tip arızanın aynı sonuçları vermesine neden olmaktadır.



Şekil 4.16. 11 kV luk hatta meydana gelen arıza sonuçları

(a) (—) 2FTA için PN-faktörü, (.....) 3ØA için karakteristik genlik

(b) arıza noktasına $2Z_0$ eklenmiş durumda 2FTA için PN-faktörü ve 3ØA için karakteristik genlik

4.3.3. Kısa süreli gerilim düşmesinin tipi

Üç faz dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin sistem içinde yayılması konusu incelenirken, karakteristik gerilim ve PN-faktörü değerlerinin yanı sıra kısa süreli gerilim düşmesinin tipi de hesaba katılması gereken bir parametredir. Kısa süreli gerilim düşmesinin tipi trafo üzerinde değişebilmektedir. Fiziksel bir transformatör, trafo modeli ve simetri dönüştürücü modelinin kombinasyonu ile simule edilebilir.

4.4. Yükün Etkisi

Sınıflandırma metodu, pozitif ve negatif seri empedanslarının birbirine eşit olduğu kabullenmesine dayandırılmaktadır. Genellikle dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin kaynağı olan tek faz-toprak arızaları ve faz arası arızalarının PN-faktörü '1'e eşittir ve kısa süreli gerilim düşmesinin sistem içinde yayılmasıyla değişiklik göstermez. Sıfır seri gerilimi ihmal edildiğinde kısa süreli gerilim düşmesinin ölçümü 'karakteristik gerilim' değişkeni ile yapılır. Yapılan bu kabullenme bu bölümde de görüleceği gibi dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin analizini kolaylaştırmaktadır. Büyük indüksiyon motorları sisteme bağlandığında bu

kabullenmeden kaynaklanan hatalar ortaya çıkmaktadır. 4.1 ve 4.2 bölümlerinde yapılan simülasyonlar sabit yükler için geçerlidir. Gerçekte ise indüksiyon motorları gibi dinamik yükler sabit empedanslı olarak ele alınmazlar. Dinamik yükler kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristiğine iki şekilde etki eder. İlk olarak kısa süreli gerilim düşmesinin simetrisi bozulur. Kısa süreli gerilim düşmesi ancak bir veya iki çevrim sonunda minimum noktaya ulaşır ve arıza sonrasında sistemin eski haline dönmesi uzun zaman alır. İkinci etki ise dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri içindir ve PN-faktörünün '1'den farklı bir değer almasıyla sonuçlanır.

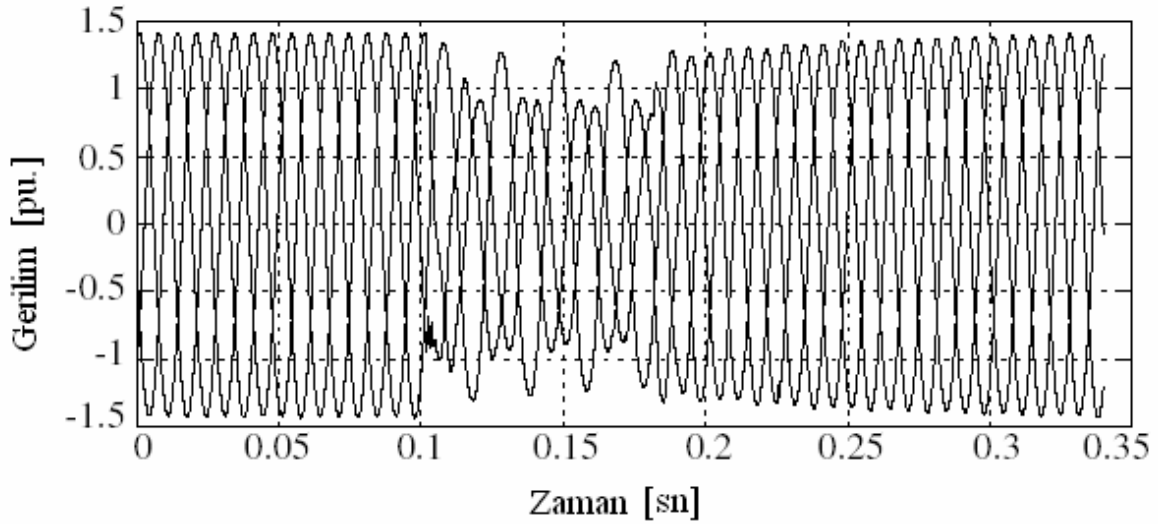
4.4.1. Motorun yavaşlaması

Sabit empedanslı statik sistemlerde dikdörtgen biçiminde kısa süreli gerilim düşmeleri gözlenebilir. Kısa süreli gerilim düşmesinin genliği ve süresinin toplamı iki basit kabullenmeye dayanır.

1. kısa devre arızalarında gerilim hızla taban seviyesine düşer.
2. arıza temizlendiğinde gerilim aynı hızla eski seviyesine geri döner.

Bu kabullenmeler güç sistemlerinin büyük bölümünde örneğin, yükleri elektrik motorlarının oluşturduğu durumlarda geçerli değildir. Motorlar kısa devre devam ettiği sürece yavaşlar. Arıza temizlendikten sonra kaynakta oluşan aşırı akımla tekrar hızlanırken gerilimde kısa süreli gerilim düşmesine sebep olurlar. Arıza sonrasında ölçülen kısa süreli gerilim düşmesi şekil 4.17 de görülmektedir. Arıza sonrasında meydana gelen kısa süreli gerilim düşmesi, kısa süreli gerilim düşmesi süresini uzatır. Arıza esnasında kısa süreli gerilim düşmesinden etkilenmeyen cihazlar bu aşamada arıza verebilirler.

Kısa süreli gerilim düşmesinin şekli konusunda yapılan dikdörtgensel kabullenmesi indüksiyon motorları devreye girdiğinde geçerli değildir. Motorlar hesaba katıldığında kısa süreli gerilim düşmesinin tanımlanması için süresi ve genliği yeterli kavramlar değildir.



Şekil 4.17. Arıza sonrası bileşeni ile birlikte ölçülen kısa süreli gerilim düşmesi

Dikdörtgenel olmayan kısa süreli gerilim düşmelerinin karakterize edildiği metot kaynak [36] da açıklanmıştır. Bu metottaki genel düşünce kısa süreli gerilim düşmesini arıza süresi ve arıza sonrası olmak üzere iki bölümde incelemektir. Arıza esnası bölümü için en alt noktadaki değeri kısa süreli gerilim düşmesinin genliği ve arızanın temizlenme süresini de kısa süreli gerilim düşmesi süresi olarak kabul eden dikdörtgenel kısa süreli gerilim düşmesi varsayımı yapılır. Arıza sonrası bölümü için ise gerilimin ilk değerine döndüğü nokta kısa süreli gerilim düşmesinin genliği, gerilimin %90 belli bir seviyenin altında kaldığı süre de kısa süreli gerilim düşmesi süresi olarak kabul edilir.

4.4.2. PN faktörü

Pozitif ve negatif seri kaynak empedansları birbirinden farklı ise simetrik bileşenler için iki bileşen metodu kullanılmaz. PN-faktörü tek faz-toprak arızaları ve faz arası arızaları için '1'e eşit değildir. Aşağıdaki eşitlikler üç bileşenli simetrik bileşenler analizine dayandırılan PN-faktörü ifadelerini vermektedir.

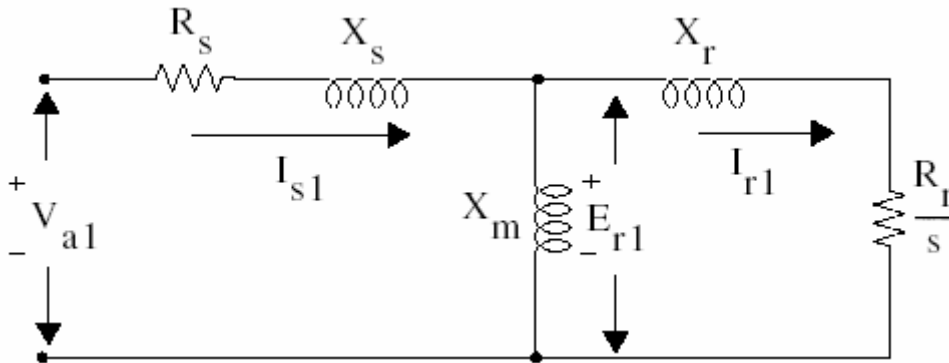
(Tek faz-toprak arızası için)

$$F = 1 + \frac{Z_{s2} - Z_{s1}}{(Z_{s0} + Z_{s1} + Z_{s2}) + (Z_{f0} + Z_{f1} + Z_{f2})} \quad (4.2)$$

$$\text{(Faz arası arızası için)} \quad F = 1 + \frac{Z_{s2} - Z_{s1}}{(Z_{s1} + Z_{s2}) + (Z_{f1} + Z_{f2})} \quad (4.3)$$

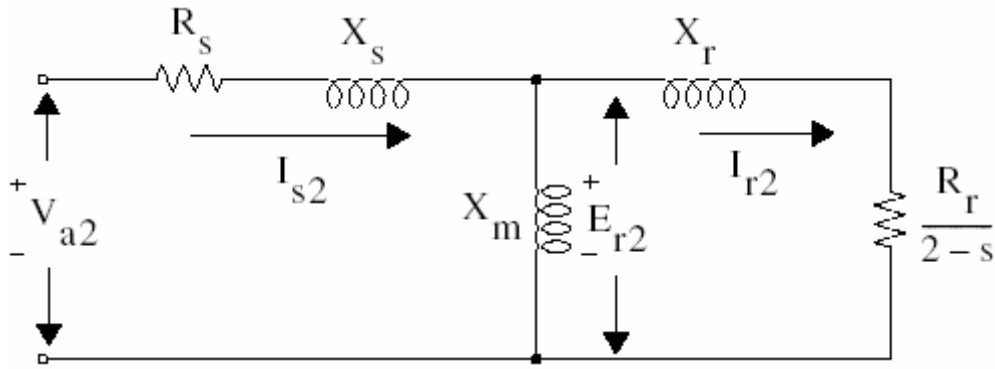
4.2 ve 4.3 eşitlikleri pozitif ve negatif seri kaynak empedanslarının birbirinden farklı olduğu durumlarda tek faz-toprak arızaları ve faz arası arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinin PN-faktörü değerlerinin '1'e eşit olmadığını göstermektedir.

Pozitif ve negatif seri kaynak empedanslarının eşit olmamasının temel sebebi sistemdeki indüksiyon motorlarıdır. Bir indüksiyon motoru genellikle transformatör eşdeğeri ile ifade edilir. Örneğin, trafoların T modeli seri bağlantılarda stator için primer devreye, rotor için sekonder devreye eşdeğerken, şönt bağlantılarda demir kayıplarına eşdeğerdir. Rotor sekteye uğradığında veya kilitletiğinde indüksiyon motoru gerçek bir trafoya dönüşür. Motorun dönmesiyle rotor devresinin eşdeğer empedansında 's' kayması meydana gelir.



Şekil 4.18. İndüksiyon motoruna ait pozitif seri eşdeğer devresi

Negatif seri gerilimleri indüksiyon motorlarına uygulandığında dönerek sürekli değişen dalga, makine içinde ters yönde dönen hava boşluğuna yerleşir. Daha sonra rotorda görülen kaymanın negatif seri devresine uyum sağlamak amacıyla 2-s olduğu görülür. (Şekil 4.19)



Şekil 4.19. indüksiyon motoruna ait negatif seri eşdeğer devresi

Üç fazlı indüksiyon motorlarının normal durum parametre değerleri tablo 4.7 de verildiği gibidir. Tablo 4.8 de ise şekil 4.18 ve 4.19 da verilen eşdeğer devrelere bağlı hesaplanan değerler görülmektedir. Hesaplamalar için 4.4 ve 4.5 eşitlikleri kullanılmıştır.

$$Z_1 = \frac{jX_m \left(jX_r + \frac{R_r}{s} \right)}{jX_m + jX_r + \frac{R_r}{s}} + R_s + jX_s \quad (4.4)$$

$$Z_2 = \frac{jX_m \left(jX_r + \frac{R_r}{2-s} \right)}{jX_m + jX_r + \frac{R_r}{2-s}} + R_s + jX_s \quad (4.5)$$

Farklı güç değerleri için yapılan hesaplamalardan görüldüğü üzere pozitif seri empedansı ve negatif seri empedansı oranları 7-9 değerleri arasında sıralanmaktadır. İndüksiyon motorları iki bara arasına bağlandığında pozitif ve negatif seri empedansları değişmektedir. İndüksiyon motorlarının bağlanması PN-faktörü değerini '1'in altına düşürdüğü gibi, negatif seri empedansının, pozitif seri empedansından küçük olmasına da sebep olmaktadır.

Tablo 4.7. Üç faz indüksiyon motorlarının yaklaşık sabitleri

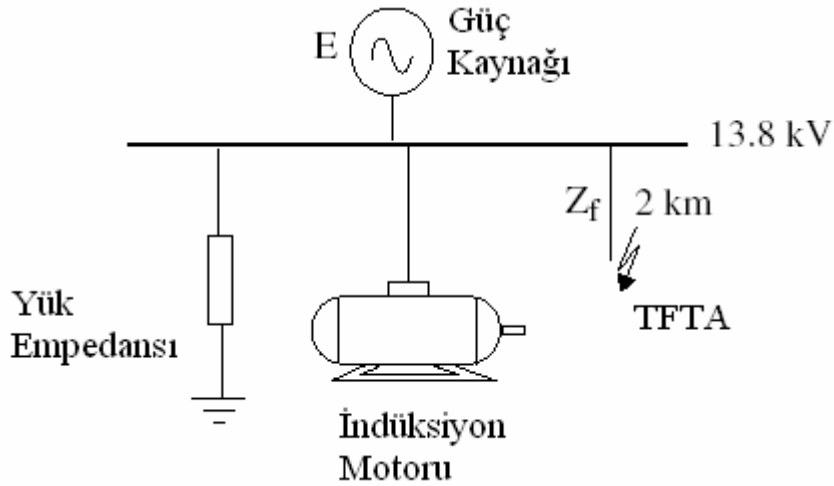
Güç (HP)	Tam yükte kayma (%)	X ve R değerleri (pu)				
		X_s	X_r	X_m	R_s	R_r
< 5	3.0-5.0	0.05-0.07	0.05-0.07	1.6-2.2	0.04-0.06	0.04-0.06
5-25	2.5-4.0	0.06-0.08	0.06-0.08	2.0-2.8	0.035-0.05	0.035-0.05
25-200	2.0-3.0	0.075-0.085	0.075-0.085	2.2-3.2	0.03-0.04	0.030-0.04
200-1000	1.5-2.5	0.075-0.085	0.075-0.085	2.4-3.6	0.025-0.03	0.020-0.03
> 1000	1.0	0.075-0.085	0.075-0.085	2.6-4.0	0.015-0.02	0.015-0.025

kaynak: P. Andersson [12]

Tablo 4.8. Üç faz indüksiyon motorlarının hesaplanmış değerleri

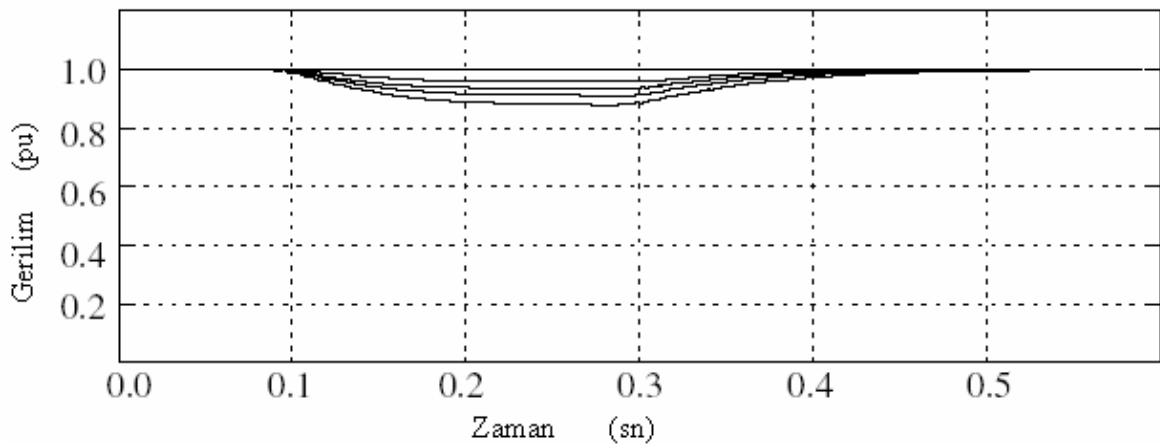
Güç (HP)	X ve R değerleri (pu)				$ Z_1/Z_2 $
	R_1	X_1	R_2	X_2	
< 5	0.80-0.94	0.71-0.60	0.06-0.09	0.10-0.14	9.3-6.8
5-25	0.94-1.04	0.73-0.59	0.05-0.07	0.12-0.16	9.2-6.9
25-200	1.0-1.13	0.79-0.61	0.04-0.06	0.15-0.17	8.3-7.2
200-1000	1.0-1.07	0.67-0.51	0.03-0.04	0.15-0.17	7.9-6.8
> 1000	1.09-1.76	0.75-1.24	0.02-0.03	0.15-0.17	8.9-12.6

İndüksiyon motorlarının kısa süreli gerilim düşmesi karakteristiği üzerindeki nicel etkisini görebilmek amacıyla Şekil 4.20 de görülen devre için tek faz-toprak arızası simule edilmiştir.

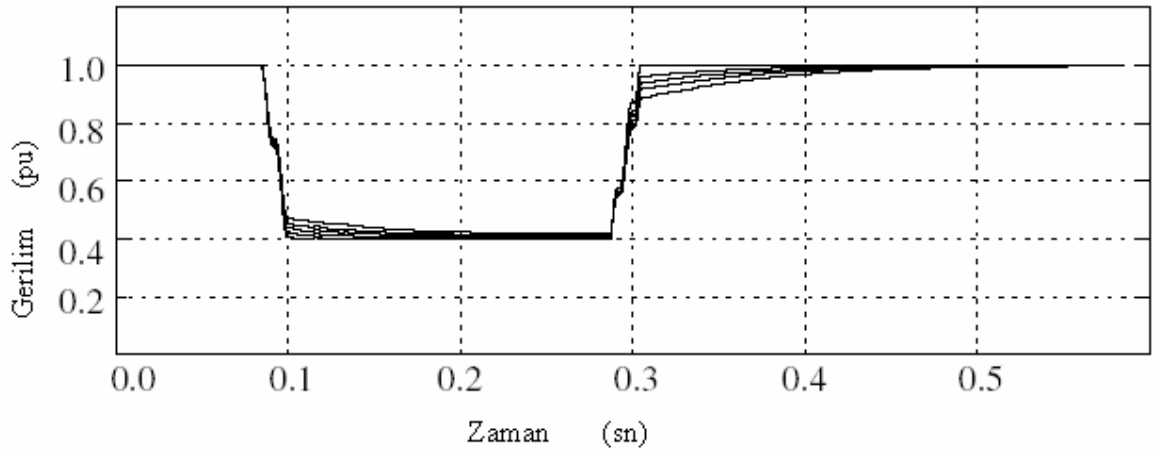


Şekil 4.20. 13,8 kV luk şebeke

Sistem 13,8 kV luk barada 600 MVA kısa devre gücüne sahiptir bu baraya bağlı toplam yük ise güç faktörü 0,9 iken kısa devre gücünün %6 sı kadardır. 13,8 kV luk baranın 2 km uzağında hatta tek faz-toprak arızası oluşturulmuştur. Toplam yük sabit tutulmuştur ancak indüksiyon motorunun yük oranı değişkendir. 11 kV luk barada meydana gelen kısa süreli gerilim düşmesinin PN-faktörü ve karakteristik genlik değerinin zamana göre değişimi şekil 4.21 ve 4.22 de görülmektedir. İndüksiyon motor yükünün %0, % 30, % 50, % 70, % 100 olduğu beş farklı durum grafiğe yansıtılmıştır. Sonuç son derece net olarak görülmektedir ki, indüksiyon motor yükü arttıkça PN-faktörü düşmekte, karakteristik genliklerin ise simetrisi bozulmaktadır.



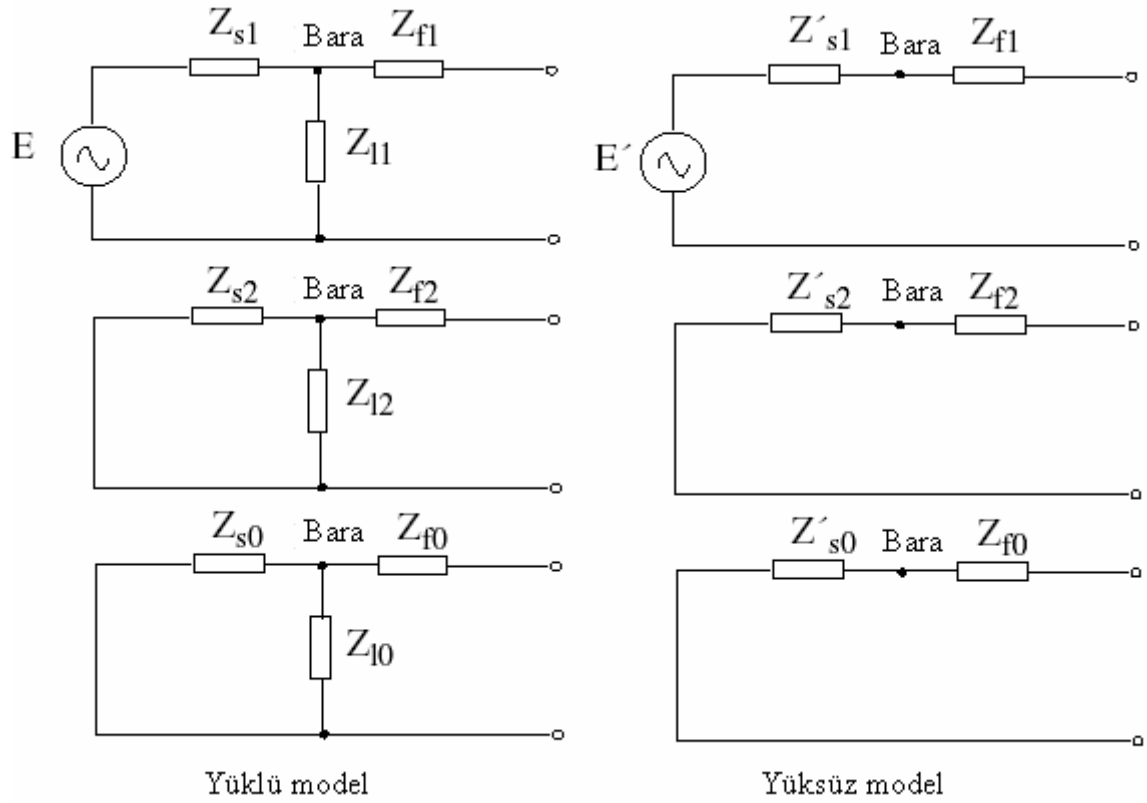
Şekil 4.21. 11 kV luk barada tek faz-toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesinin PN-faktörünün zamana göre değişimi. Eğriler yukarıdan aşağıya doğru indüksiyon motor yükünün % 0, % 30, %50, % 70 ve % 100 olduğu durumları ifade etmektedir.



Şekil 4.22. 11 kV luk barada meydana gelen dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik genliklerinin zamana göre değişimi

Simülasyon indüksiyon motor yükü oranının değişmesine rağmen sabit yükte gerçekleştirilmiştir. Ancak bu durum PN-faktörünün sadece empedans ile indüksiyon yükü arasındaki orana bağlı olduğu anlamına gelmez. İndüksiyon motor yükünün artması her zaman PN-faktörünün düşmesiyle sonuçlanır.

Pozitif ve negatif seri kaynak empedanslarında meydana getirdiği eşitsizliğin yanında indüksiyon motorları, PN-faktörü üzerinde başka etkilere de sahiptir. İndüksiyon motorlarının pozitif seri kaynak empedansı kısa süreli gerilim düşmesi süresince düşüş gösterir.[21]. Bu etki aynı zamanda PN-faktörünün düşmesine de etki eder. Şekil 4.20 deki sistemin model devreleri şekil 4.24 ün sol sütununda görülmektedir. Z_{s1} , Z_{s2} , Z_{s0} güç kaynağının empedanslarını, Z_{11} , Z_{12} , Z_{10} toplam yük empedanslarını (empedans+indüksiyon motoru), Z_{f1} , Z_{f2} , Z_{f0} arıza noktası ve 13,8 kV luk bara arasındaki hattın empedanslarını simgelemektedir.



Şekil 4.23. Şekil 4.20 de görülen sistemin model devreleri

Yukarıdaki şekilde 3. bölümdeki gerilim bölücü modeli arasındaki farklara dikkat edilmelidir. Yükün devrenin içinde olduğu açıkça görülmektedir. Standart gerilim bölücü modeli ise şekil 4.24 ün sağ sütununda gösterilmiştir.

$$E^l = E \frac{Z_{l1}}{Z_{l1} + Z_{s1}} \quad (4.6)$$

$$Z_{s1}^l = \frac{Z_{s1} \times Z_{l1}}{Z_{s1} + Z_{l1}} \quad (4.7)$$

$$Z_{s2}^l = \frac{Z_{s2} \times Z_{l2}}{Z_{s2} + Z_{l2}} \quad (4.8)$$

$$Z_{s0}^l = \frac{Z_{s0} \times Z_{l0}}{Z_{s0} + Z_{l0}} \quad (4.9)$$

Öncelikle analizlerin temeli $E^l=1$ eşitliğine dayanır. Yükün devreye etkisi dolaylı olarak görülmektedir ancak yük, arıza süresince empedansı değiştirmez.

Kısa süreli gerilim düşmesi boyunca motor yavaşlarken, s kayması artar. Kaymanın seri empedans üzerindeki etkisi şekil 4.18 ve 4.19 daki indüksiyon motor yüklerinin pozitif ve negatif seri empedans eşdeğer devrelerinden anlaşılmaktadır. Pozitif seri empedansı düşerken, negatif seri empedansı sabit kalır. İndüksiyon motorlarının sıfır seri empedansı sonsuzdur böylece Z_{s0}' değeri kaymanın artmasından etkilenmez. (4.6) eşitliğinde de görüldüğü gibi pozitif seri empedansının düşmesi E' geriliminin düşmesiyle sonuçlanır. Fiziksel olarak indüksiyon motorlarındaki kaymanın artmasının başka bir etkisi de yüksek güç tüketimine bağlı eş zamanlı üç faz arızalarıdır.

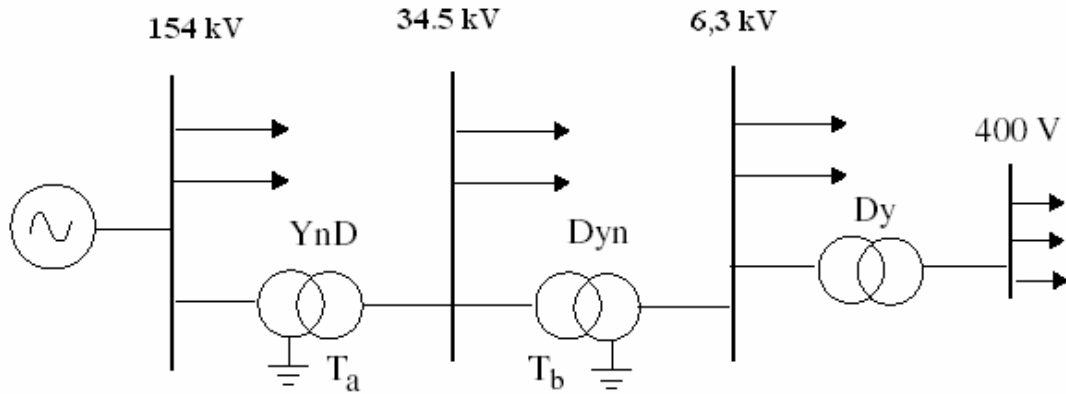
4.4.3. Sınıflandırma metodunun sınırlaması

Üç faz kısa süreli gerilim düşmeleri için geliştirilen sınıflandırma metodu ve bunların yayılması ile ilgili teori pozitif ve negatif seri kaynak empedanslarının birbirine eşit olduğu varsayımına dayanmaktadır. Pozitif ve negatif seri empedanslarının eşit olduğu durumlarda yükler sabit empedans olarak adlandırılır. Bu sadeleştirme dengesiz durumlarda bile kısa süreli gerilim düşmeleri üzerinde çalışabilmek için analitik tek faz metodunu ortaya koyar. Böylece bu teori küçük bir değişimle üç fazlı dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinden dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerine dönüştürülebilir. Ancak sistemdeki indüksiyon motor yükleri büyükse ortaya çıkabilecek hatalardan dolayı bu teoriyi kullanmak uygun değildir. Bu durumda geleneksel simetrik bileşenler metodu veya sayısal simülasyonlar kullanılmalıdır.

BÖLÜM 5. ADAPAZARI ŞEBEKESİNDE YAPILAN UYGULAMA SONUÇLARI

5.1. Şebekenin Simulasyon Ortamında Oluşturulması

Sarıyer Barajında 154 kV seviyesinde üretilen enerji Adapazarı Trafo Merkezinde 34,5 kV seviyesine düşürüldükten sonra şebeke dağıtımı yapılır. Örnek olarak alacağımız hat Ada Trafo'dan 34,5 kV gerilim seviyesinde çıkıp 7,5 km mesafedeki Garajlar İndirici Merkez'e (34,5/6,3 kV) ulaşmakta, sonrasında 6,3 kV gerilim seviyesinde 1,7 km mesafedeki Güneş sokakta bulunan direk tipi trafoya ulaşmaktadır. Hattın tek hat şeması ve parametreleri aşağıda verilmiştir. 154 kV, 34,5 kV ve 6,3 kV gerilim seviyelerinde 20 ms süreyle meydana gelen tek faz-toprak, iki faz-toprak, faz-faz arızaları ve 10 ms süreyle meydana gelen üç faz arızalarının hattın çıkışlarında meydana getireceği gerilim dalga şekilleri simulasyon ortamında elde edildiği şekilde aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.1. Dağıtım sistemi tek hat şeması

Tablo 5.1. Şekil 5.1. de görülen sistemin kaynak empedansı

Gerilim (kV)	$X_1(\Omega)$	$R_1(\Omega)$	$X_0(\Omega)$	$R_0(\Omega)$
154	4.9833	0.082	4.792	0.157

Tablo 5.2. Şekil 5.1 de görülen sistemin transformatörlerin bağlantıları

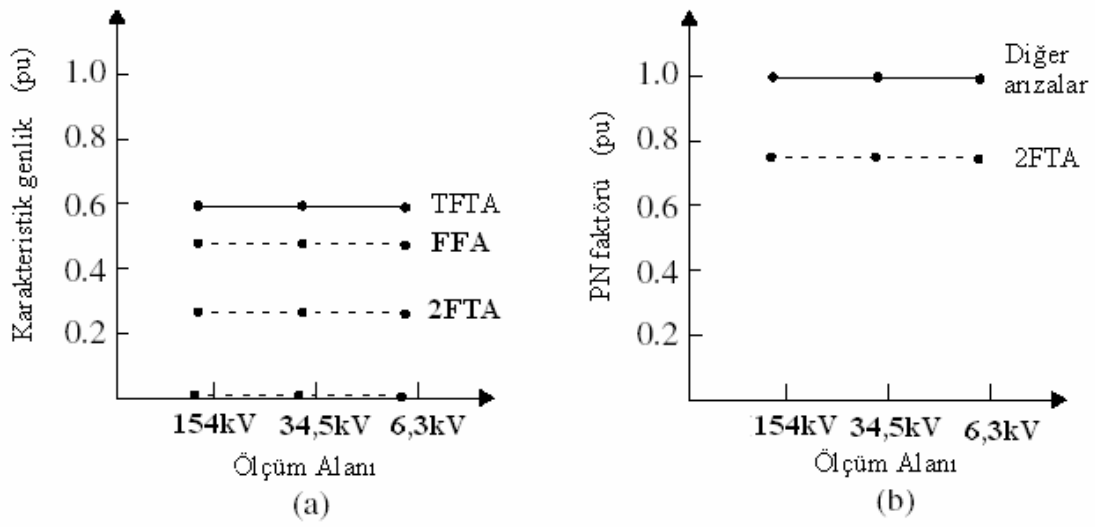
Transformatör Tipi	S (MVA)	Gerilimler (kV)	X (pu.)	Transformatör bağlantı tipi	Yıldız tarafındaki topraklama durumu
T _a	90	154/34,5	0.1	Ynd-1	Topraklanmış
T _b	23	34,5/6,3	0.08	Dyn-11	Topraklanmış

Tablo 5.3. Şekil 5.1 de görülen sistemin hat bilgileri

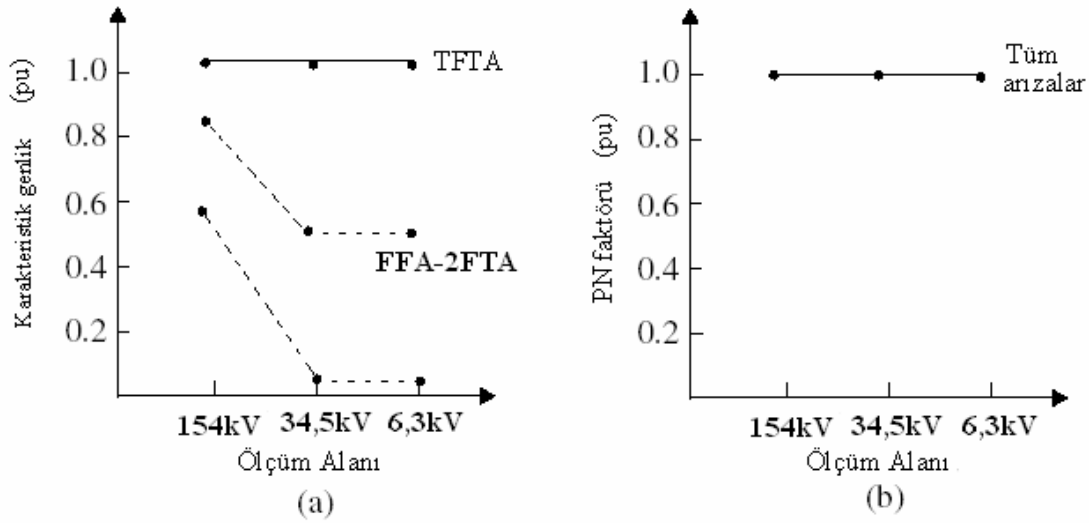
Gerilimler (kV)	$X_1(\Omega/\text{km})$	$R_1(\Omega/\text{km})$	$X_0(\Omega/\text{km})$	$R_0(\Omega/\text{km})$
154 kV	0,2933	0,014	1,296	0,3864
34,5 kV	0,27	0,012	1,55	0,37
6,3 kV	0,21	0,011	1,38	0.31

Tablo 5.4. Simülasyon Sonuçları

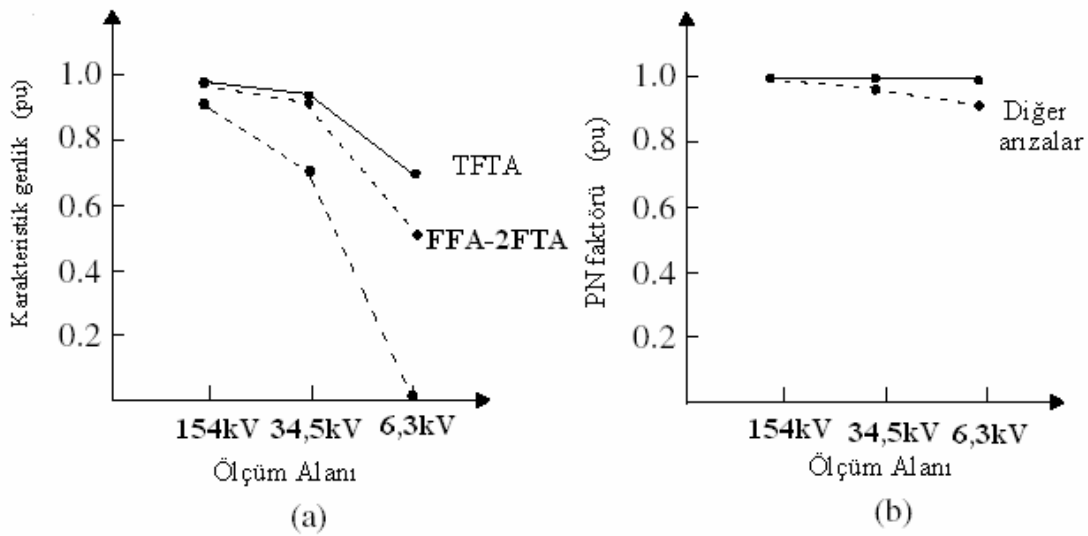
Arıza noktası	Arıza Tipi	Her barada ölçülen KSGD Karakteristikleri											
		154 kV				34,5 kV				6,3 kV			
		KSGD Tipi	V	F	KSGD Tipi	V	F	KSGD Tipi	V	F	KSGD Tipi	V	F
154 kV luk bara	TFTA	D _a	0,64∠-0,32°	1,0∠-0°	C _a	0,64∠-30,3°	1,0∠-0°	D _a	0,64∠-0,36°	1,0∠-0°	D _a	0,64∠-0,36°	1,0∠-0°
	FFA	C _a	0,51∠-0,16°	1,0∠-0°	D _a	0,51∠-30,18°	1,0∠-0°	C _a	0,51∠-0,19°	1,0∠-0°	C _a	0,51∠-0,19°	1,0∠-0°
	2FTA	C _a	0,29∠-0,69°	0,68∠-0°	D _a	0,29∠-30,7°	0,68∠-0°	C _a	0,29∠-0,73°	0,68∠-0°	C _a	0,29∠-0,73°	0,68∠-0°
	3φA	A	0∠-87,6°	---	A	0∠-0,117°	---	A	0∠-87°	---	A	0∠-87°	---
	TFTA	D _a	1,02∠-0,097°	1,0∠-0°	C _a	1,02∠-30,12°	1,0∠-0°	D _a	1,02∠-0,12°	1,0∠-0°	D _a	1,02∠-0,12°	1,0∠-0°
34,5 kV luk bara	FFA	C _a	0,82∠-0,01°	1,0∠-0°	D _a	0,51∠-30,12°	1,0∠-0°	D _a	0,51∠-0,12°	1,0∠-0°	C _a	0,51∠-0,12°	1,0∠-0°
	2FTA	C _a	0,82∠-0,01°	1,0∠-0°	D _a	0,51∠-30,12°	1,0∠-0°	D _a	0,51∠-0,12°	1,0∠-0°	C _a	0,51∠-0,12°	1,0∠-0°
	3φA	A	0,61∠-0,12°	---	A	0∠-0,118°	---	A	0∠-87°	---	A	0∠-87°	---
	TFTA	D _a	1,004∠-0,26°	1,0∠-0°	C _a	0,96∠-30,56°	1,0∠-0°	D _a	0,79∠-2,17°	1,0∠-0°	D _a	0,79∠-2,17°	1,0∠-0°
	FFA	C _a	0,97∠-0,08°	1,0∠-0°	D _a	0,89∠-30,12°	1,0∠-0°	C _a	0,513∠-0,09°	1,0∠-0°	C _a	0,513∠-0,09°	1,0∠-0°
6,3 kV luk bara	2FTA	C _a	0,96∠-0,17°	0,99∠-0°	D _a	0,87∠-30,4°	0,96∠-0,4°	D _a	0,42∠-2,28°	0,96∠-0,4°	C _a	0,42∠-2,28°	0,84∠-2°
	3φA	A	0,92∠-0,06°	---	A	0,76∠-30,14°	---	A	0∠-88°	---	A	0∠-88°	---



Şekil 5.2. 154 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi
 (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3 ϕ A
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, (.....) 2FTA



Şekil 5.3. 34,5 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi
 (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3 ϕ A
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, 2FTA

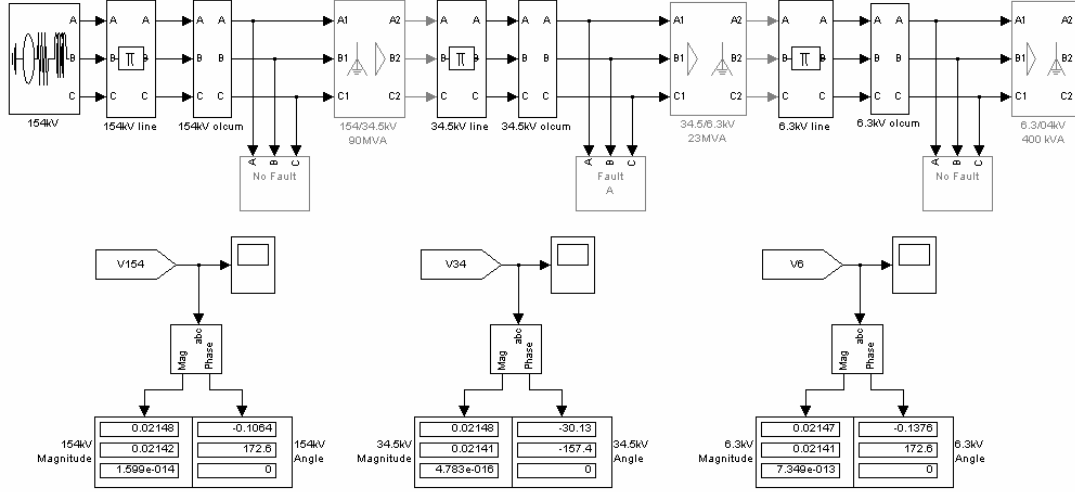


Şekil 5.4. 6,3 kV luk hatta meydana gelen arıza sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşmesi
 (a) ölçülen karakteristik genlik değerleri. (—) TFTA, (.....) FFA, 2FTA, 3φA
 (b) ölçülen PN-faktör değerleri. (—) FFA, TFTA, (.....) 2FTA

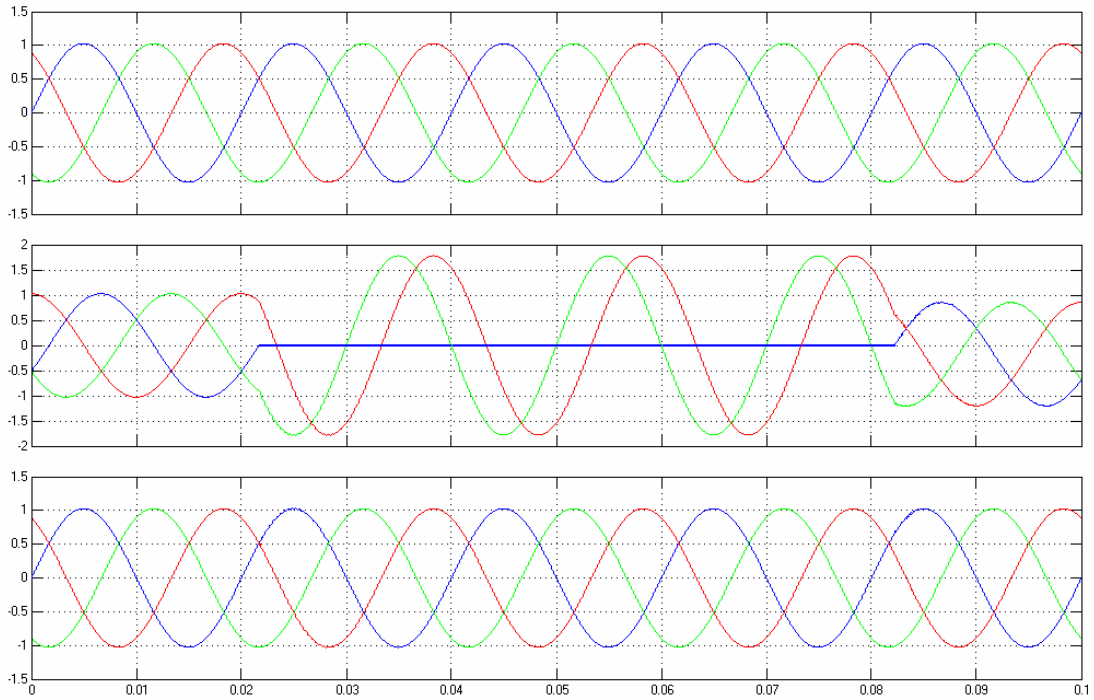
Yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

1. Tek faz toprak arızaları ve faz arası arızalarına bağlı kısa süreli gerilim düşmelerinde PN-faktörünün değeri '1' dir ve yayılma esnasında değişmez. İki faz-toprak arızalarında ise değeri '1' den küçük olan PN-faktörü, kısa süreli gerilim düşmesi yüksek gerilim seviyesine doğru ilerledikçe '1' e yaklaşır.
2. Hatların her gerilim seviyesindeki X/R oranı, sistem empedansından küçüktür. Kısa süreli gerilim düşmeleri, karakteristik gerilimde her zaman negatif yönde faz kaymalarına neden olur.
3. Üçgen-yıldız bağlı trafolar kısa süreli gerilim düşmesinin tipini D den C ye dönüştürür veya tam tersi durum meydana gelir.

5.2. Orta gerilim seviyesinde (34,5 kV) meydana gelen tek faz-toprak arızalarının gerilim dalga şekilleri



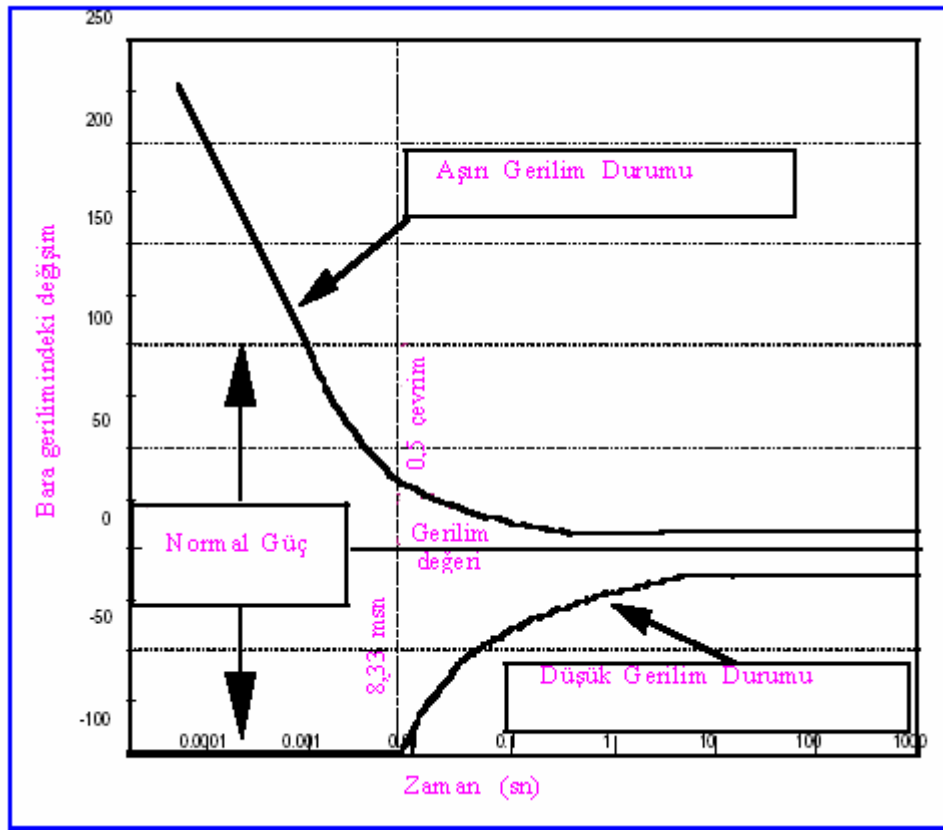
Şekil 5.5. Simulasyon programında hazırlanan devre



Şekil 5.5. Orta gerilim seviyesinde meydana gelen arızaya bağlı olarak görülen bütün kısa süreli gerilim düşmeleri.

BÖLÜM 6. CİHAZ DAYANIKLILIK TESTLERİ

Endüstriyel işlemlerde kullanılan cihazlar kısa süreli gerilim düşmesi problemlerinden kolayca etkilenebilirler, çünkü cihazlar birbirine bağlıdır ve herhangi bir bileşenin sistem içinde yer değiştirmesi tüm sistemin devre dışı kalmasına sebep olabilmektedir. Farklı tiplerdeki elektrikli cihazlar farklı gerilim dayanımlarına sahiptirler. Kesin bir kanıya dayandırılmamasına rağmen Thomas Key'in (CBEMA) araştırma sonuçlarına göre ana makineler işlem yapmaya devam etmektedir. [1] (Şekil 6.1). Bu durum; US donanmasının elektronik cihaz dayanıklılığı test sonuçları, bilgisayar güç araştırmaları ve bilgisayar üreticilerinin üretim standartları ve test sonuçlarının kombinasyonundan elde edilmektedir. Şekildeki eğriye göre; iki eğri arasında gerilim problemlerinin genlik ve sürekliliği bilgisayarda problem yaratmaktadır. İki eğri arasındaki bölüm gerilim dayanımını ifade etmektedir.



Şekil 6.1. CBEMA Eğrisi

IEC 61000-4-11[10] standardı, düşük gerilimli şebekelere bağlı elektrikli ve elektronik cihazların kısa süreli gerilim düşmelerine, kısa devrelere ve gerilimdeki değişimlere karşı yapılan dayanıklılık test metotlarını ve tercih edilen test seviyelerinin sıralarını açıklamaktadır. Bu standartta gerilim-dayanıklılık eğrisinin süresinden söz edilmemektedir. Sadece test edilen cihazlar için kısa süreli gerilim düşmelerinin genlik ve süreklilik tercihleri açıklanmaktadır. Kuzey Amerika Ustalık Komitesi, yarı iletken cihazların kısa süreli gerilim düşmesi hassasiyeti için yeni test metodu standartları geliştirilmiştir. [34]. Bu metot yarı iletken fabrikalarda kullanılan cihazlar için tasarlanmıştır.

Bu bölümde genellikle tek faz ve üç fazlı cihazların kısa süreli gerilim düşmesine karşı dayanıklılık testleri anlatılacaktır. Kısa süreli gerilim düşmelerinin değişken karakteristikleri hesaba katılmıştır. Üç fazlı cihazların testleri gerçekleştirilirken temeli 3. bölümdeki üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin sınıflandırma metotlarına dayandırılan yeni kavramlar ortaya çıkmıştır.

6.1. Tek Fazlı Cihazların Testleri

Tek fazda meydana gelen kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristikleri genellikle iki kategoride incelenebilir: enerjili karakteristikler ve enerjisiz karakteristikler. Kısa süreli gerilim düşmesi, genlik ve süreklilik ile tanımlanıyorsa bu durumda cihaz sadece enerjili karakteristiklere duyarlıdır. Faz kayması, dalga şeklindeki bozulma, kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıcı ve bitişi enerjisiz karakteristiklerdir. Farklı karakteristikler yükler açısından önemlidir. Bilgisayarların güç kaynakları ve birçok tüketici elektronik cihaz, doğrultucu ve elektronik gerilim regülatöründen oluşmaktadır. Bu çeşit cihazlar kısa süreli gerilim düşmesinin genlik ve sürekliliğine karşı duyarlıdır. DC sürücülerde kullanılan tristör tabanlı güç kaynakları gibi daha karmaşık cihazlar kesin sıfır geçiş bilgilerine ihtiyaç duymaktadır bu yüzden bu cihazlarda faz açısındaki değişim ve dalga şekli de önemlidir.[35]. AC motor kontaktörleri faz açısı değişimlerine ve dalga şeklindeki bozulmalara karşı duyarlı olmamasına rağmen gerilimin genliği ve kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıcı kontaktör hatalarında anahtar rolü oynamaktadır. [23]. Kısa süreli gerilim düşmesinin sona ermesi, DC baraya kapasitörle bağlı olan güç kaynağı için kritik durum oluşturabilir. Gerilimin düzeldiği andaki degaj akımı kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktasına bağlıdır. Gerilim 90° de aniden düzeldiğinde kaynak gerilimi maksimum olur ve kapasitör içine büyük akım dolar. Bu durum cihaza zarar verebilir veya akım sınırlama korumasında hata oluşabilir.

6.1.1. Test çeşitleri

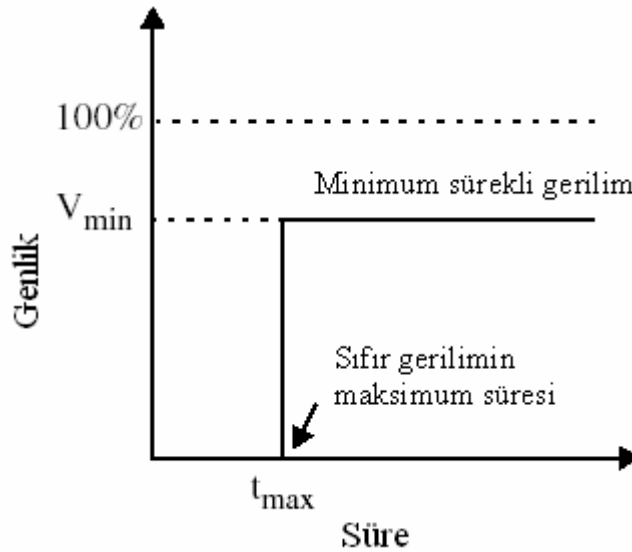
A. Genlik ve Süreklilik : Var olan uluslar arası standartlar cihaz testlerinde kısa süreli gerilim düşmelerinde sadece genlik ve süreklilik değerlerini göz önünde bulundurmaktadır. Testlerdeki süreklilik ve genlik değerleri tablo 6.1 de görülmektedir.

Tablo 6.1. Seçilen genlik ve süreklilik değerleri

Gerilim dalgalanmaları ve Kısa devre gerilimleri (% U_n)	0	40	70
Süre (periyot olarak)	0.5 1 5 10 25 50 X		

Tablo 6.1. de referans olarak kullanılmıştır ve 1. sütun kısa devre testleri içindir. 'X' üretim şartnamesinde belirtilebilen açık süredir.

Tablo 6.1. de verilen genlik ve süre sadece genel yönergelerdir. Cihazın tolerans eğrisinin çıkarımında cihazın kritik arıza noktasının bulunması önemlidir. Girişinde doğrultucu bulunan bilgisayarlar ve elektronik cihazlar DC barada düşük gerilim korumasına sahiptir. Gerilim tolerans eğrileri genellikle şekil 6.2 de görüldüğü gibi dikdörtgenseldir. [4]. Bazı cihazlar için eğrinin dönüm noktası önemlidir.



Şekil 6.2. Dikdörtgensel gerilim-tolerans eğrisi

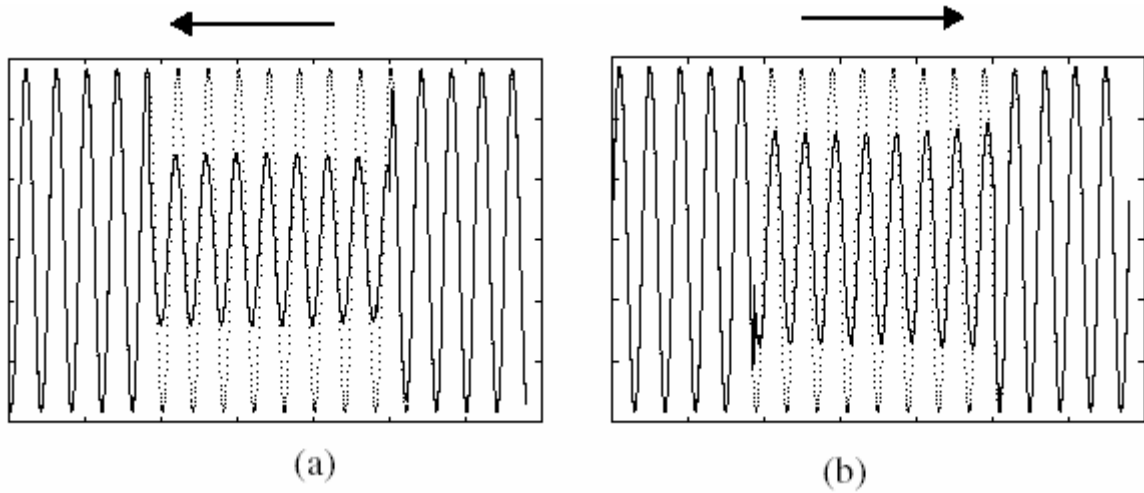
Gerilim toleransı (50 ms, %70) gösterimi gibi çift terimle ifade edilebilir. Bunun anlamı $V_{min}=\%70$ ve $t_{max}=50$ ms dir. (Şekil 6.2).

B. Faz kayması: Faz açısındaki değişim cihaz üzerinde cihazın tipine göre çeşitlilik göstermektedir. Kontrollü doğrultucular gibi kaynak geriliminin faz açısını veya sıfır seri geçişini kontrol bilgisi olarak kullanan cihazlar oldukça hassastırlar. Bunların

çalışmalarını dengede tutmak için, bu cihazlar valf tetikleme sinen senkronizasyonunu sağlamak için genellikle faz kilitlemeli çevrim (PLL) kullanırlar. Arıza anında faz açısı hızlı bir değişim gösterirken (PLL) genelde 500 ms ve daha büyük değerde zaman sabitlerine sahiptir. Bu durumda PLL kısa süreli gerilim düşmesine yanıt vermez.

Tek faz kısa süreli gerilim düşmelerinde meydana gelen faz kaymasının nedenleri dengeli ve dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için bölüm 3.1 ve 3.3.6 da anlatılmıştır.

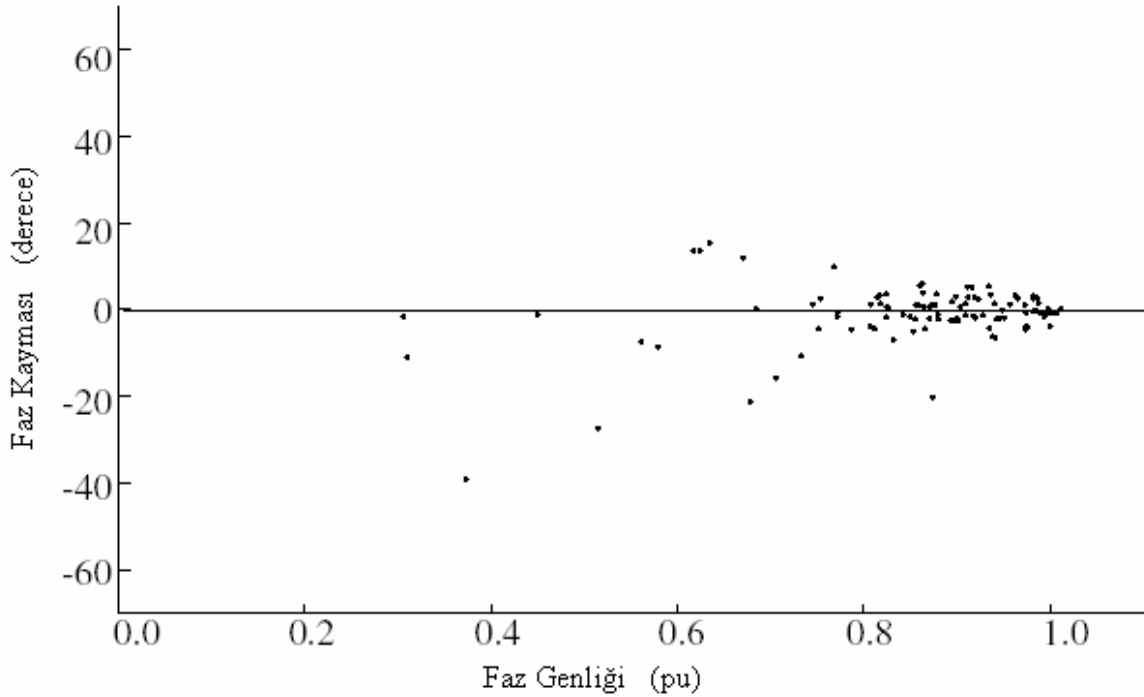
Faz kaymasının yönü, pozitif faz kayması değişimi için kısa süreli gerilim düşmesi esnasındaki dalga şekli, arıza öncesi dalga şekline göre ileridedir ve negatif faz kayması kısa süreli gerilim düşmesi esnasındaki dalga şeklinden geridedir, şeklinde tanımlanır. (Şekil 6.3). Faz açısı başlangıç noktasına geri dönüş yapabilir. Pozitif faz açısı değişiminin başlangıcı, negatif faz açısı değişiminin bitişi ile çakışabilir veya bu durumun tersi mümkündür.



Şekil 6.3. Faz kayması ile birlikte ölçülen kısa süreli gerilim düşmeleri

- (a) pozitif faz kaymasına sahip kısa süreli gerilim düşmesi. Genlik %50, kayma $+28^\circ$
- (b) negatif faz kaymasına sahip kısa süreli gerilim düşmesi. Genlik %62, kayma -38°

Faz kaymasının oranı teorik olarak değerlendirilebilir. [37]. Ancak faz açısının beklenen değerleri ile ilgili bilgiyi yapılan ölçümlerde verebilir. Şekil 6.4 de ölçümlerden elde edilen faz kayması-genlik grafiği görölmektedir.



Şekil 6.4. Kısa süreli gerilim düşmelerinin faz değeri ve faz kayması ile ifadesi

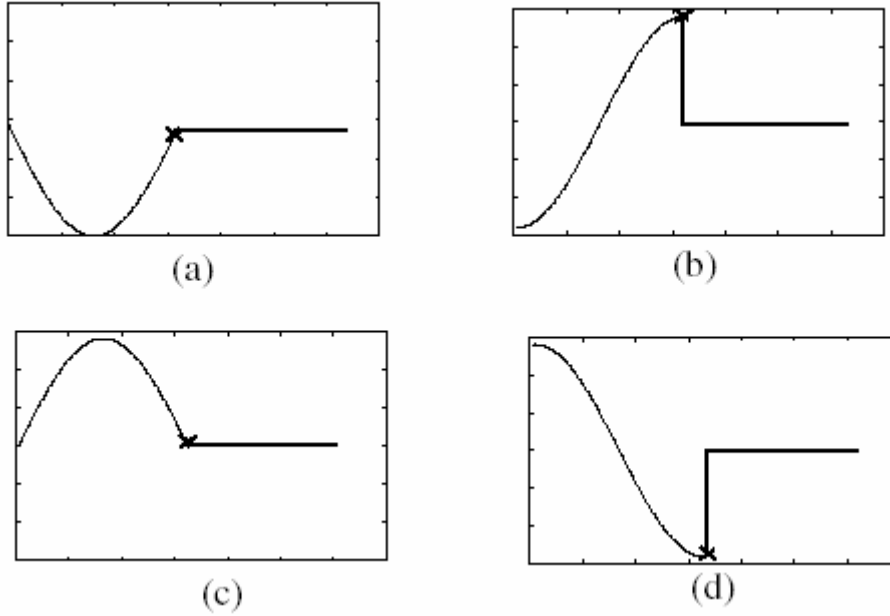
Tek faz cihazları için yapılan dayanıklılık testlerinde pozitif ve negatif faz kayması ile birlikte kısa süreli gerilim düşmeleri görülebilir. Şekil 6.4 deki verilere göre; olayların çoğu -40° ve $+20^{\circ}$ arasında gerçekleşmektedir.

C. Kısa süreli gerilim düşmesi noktası: Gerilimin aniden değer kaybettiği nokta kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktasıdır. Bu nokta arızanın başladığı noktayı gösterir ve 'derece' cinsinden ifade edilir. Arızalar, gerilimin maksimum değerinde '0' değerine oranla daha çok görülür. Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktasına en duyarlı cihazlar kontaktörler olarak gösterilmektedir. Test sonuçlarından kontaktörlerin 90° ve 0° arasındaki ani değişime karşı dayanıklılık gösterdiği görülmüştür.

Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktasının cihaz hassasiyetine etkisi 90° ve 0° arasında gerçekleştirilen testlerin sonucundan elde edilir. Çok hassas cihazlar için aradaki açı değerlerinde de test yapılmalıdır.

Kısa süreli gerilim düşmesi noktasının açısal ifadesi şekil 6.5 de görüldüğü gibidir. Cihazların 0° ve 180° deki dayanıklılıklarının ve 90° ile 270° deki dayanıklılıklarının

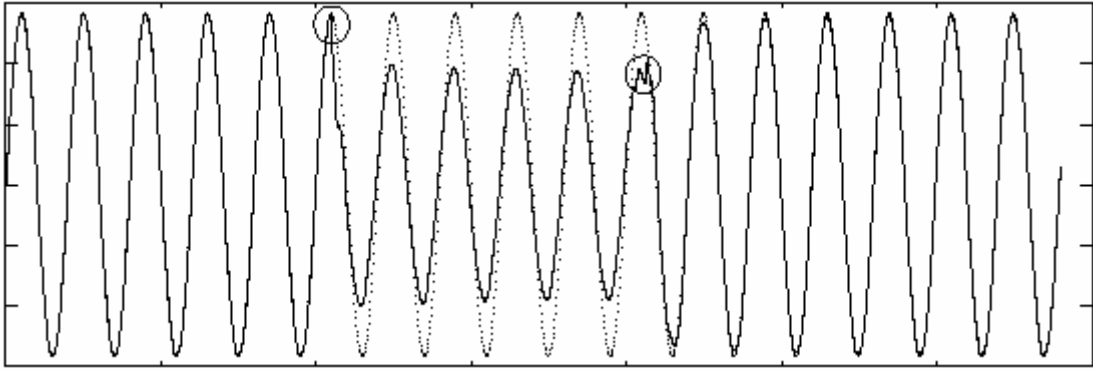
farklı olup olmadığı kesinleşmemiştir. Dört açı değeri için gerçekleştirilen ancak sonuçlarından emin olunmayan testler şekilde görülmektedir. (0° , 90° , 180° , 270°).



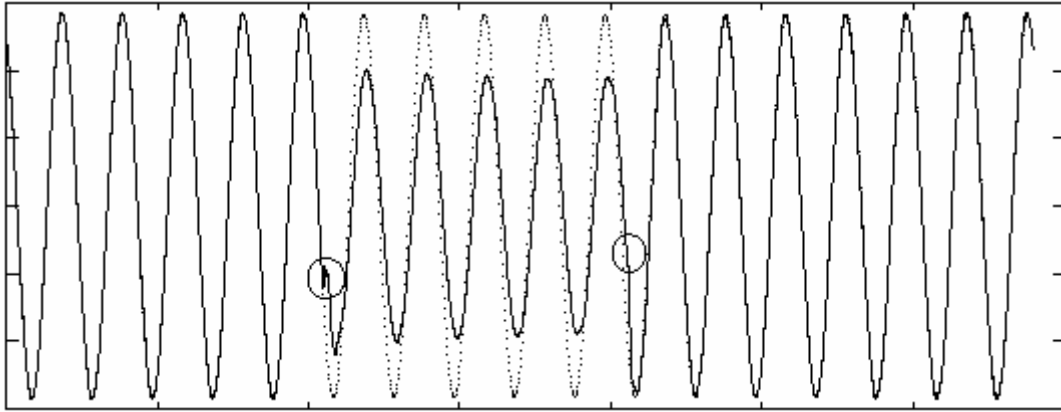
Şekil 6.5. (a) 0° , (b) 90° , (c) 180° , (d) 270° değerlerindeki kısa süreli gerilim düşmesi noktaları.

Geri dönüş noktası gerilimin aniden yükseldiği noktadır. Arızanın giderildiği anı gösterir. Devre bölücüler arızayı genelde akımın sıfır geçiş noktasında temizler. Dönüm noktası, arıza bölgesindeki kaynak empedansının X/R oranına bağlı olarak bazen 90° den küçük bir değerde de olabilir. Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş noktalarının tespiti için yapılan testler 0° ve 90° değerlerinde gerçekleştirilir. Doğrultucu devreler kısa süreli gerilim düşmesinin sona erdiği noktaya karşı duyarlı olabilirler. Kapasitörün tekrar şarj olması için gerekli olan degaj akımı, bitiş noktasının 90° de olduğu durumlar için 0° de olduğu duruma göre daha büyüktür. Büyük degaj akımları şarj akım koruması yüzünden bazen cihazı bir parça hareket ettirebilir.

Şekil 6.6 ve 6.7 de ölçülen iki farklı kısa süreli gerilim düşmesi görülmektedir. Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş noktaları dalga şekilleri üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Kısa süreli gerilim düşmesinin 90° de başladığı ve 90° de sona erdiği kısa süreli gerilim düşmesi



Şekil 6.7. Kısa süreli gerilim düşmesinin 210° de başladığı ve 200° de sona erdiği kısa süreli gerilim düşmesi

6.1.2. Test düzeneği

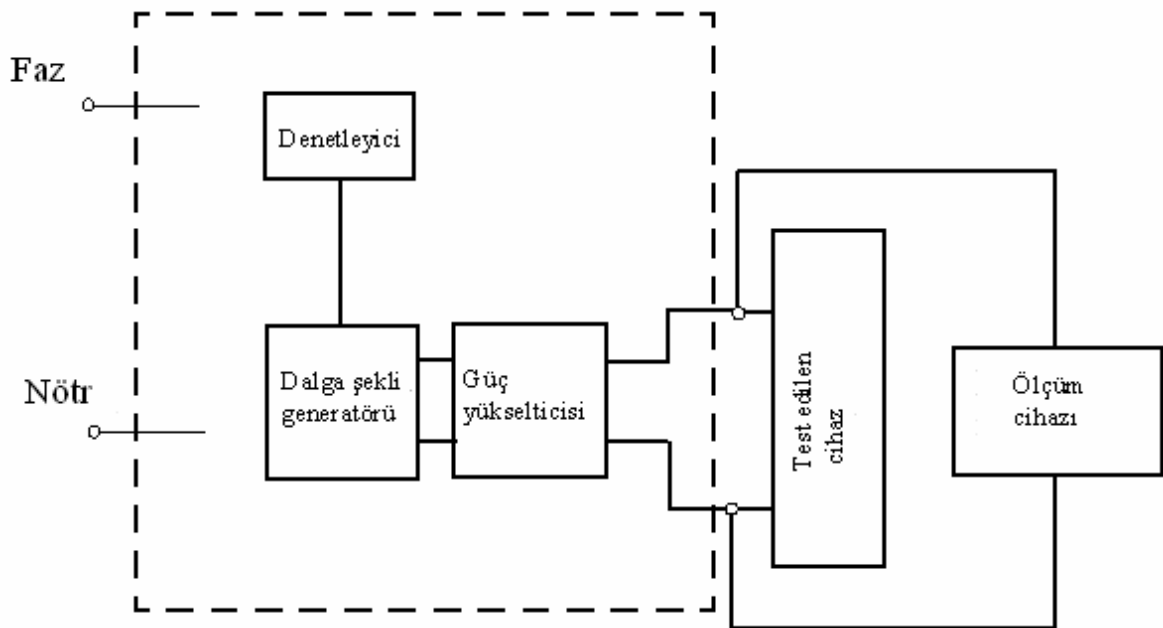
IEC 61000-4-11 standartlarında gerilim dalga jeneratörleri ile ilgili gerekli veriler bulunmaktadır. Bu jeneratörlere iki örnek ek bölümde verilmiştir.

- 1- Dalga şekli jeneratörü, güç yükselticisi ile birlikte kullanılarak kısa süreli gerilim düşmesi oluşturulur.
- 2- İki çıkış gerilimi olan transformatör kullanılır. Çıkışlardan biri % 100 değere diğeri kısa süreli gerilim düşmesi esnasında gerekli değerlere ayarlanır. Tristör anahtarları kullanılarak çıkışlar arasında hızlı geçiş sağlanır.

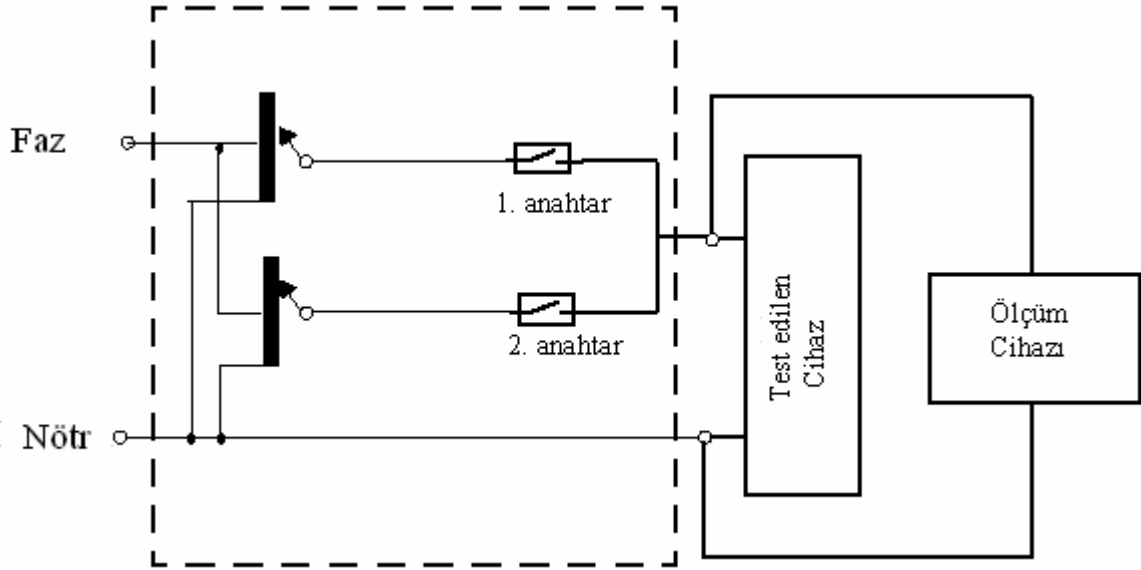
Şekil 6.8 ve 6.9 da test düzenekleri görülmektedir. Testin gerçekleşmesi için dalga şekli jeneratörünün yanında güç yükselticisine ihtiyaç vardır. Bu durumun avantajı

farklı çeşitlerde dalga şekli oluşturabilmesidir. Tek problem, test altındaki cihazın güç oranı yüksek olduğunda güç yükselticisinin pahalı olmasıdır.

Trafo tipindeki kısa süreli gerilim düşmesi jeneratörü daha pratik bir seçimdir. Arıza öncesi gerilim, 1 numaralı anahtar kapalı, 2 numaralı anahtar açık konumda iken faz geriliminden elde edilirken; 2 numaralı anahtar kapatılıp, 1 numaralı anahtar eş zamanlı olarak açıldığında kısa süreli gerilim düşmesi esnasındaki gerilim elde edilir. Kısa süreli gerilim düşmesinin genliğine trafonun oranı ile karar verilir. Ancak şekil 6.9 da görülen düzenekte sadece genlik ve süreklilik testlerini yapmak mümkündür.

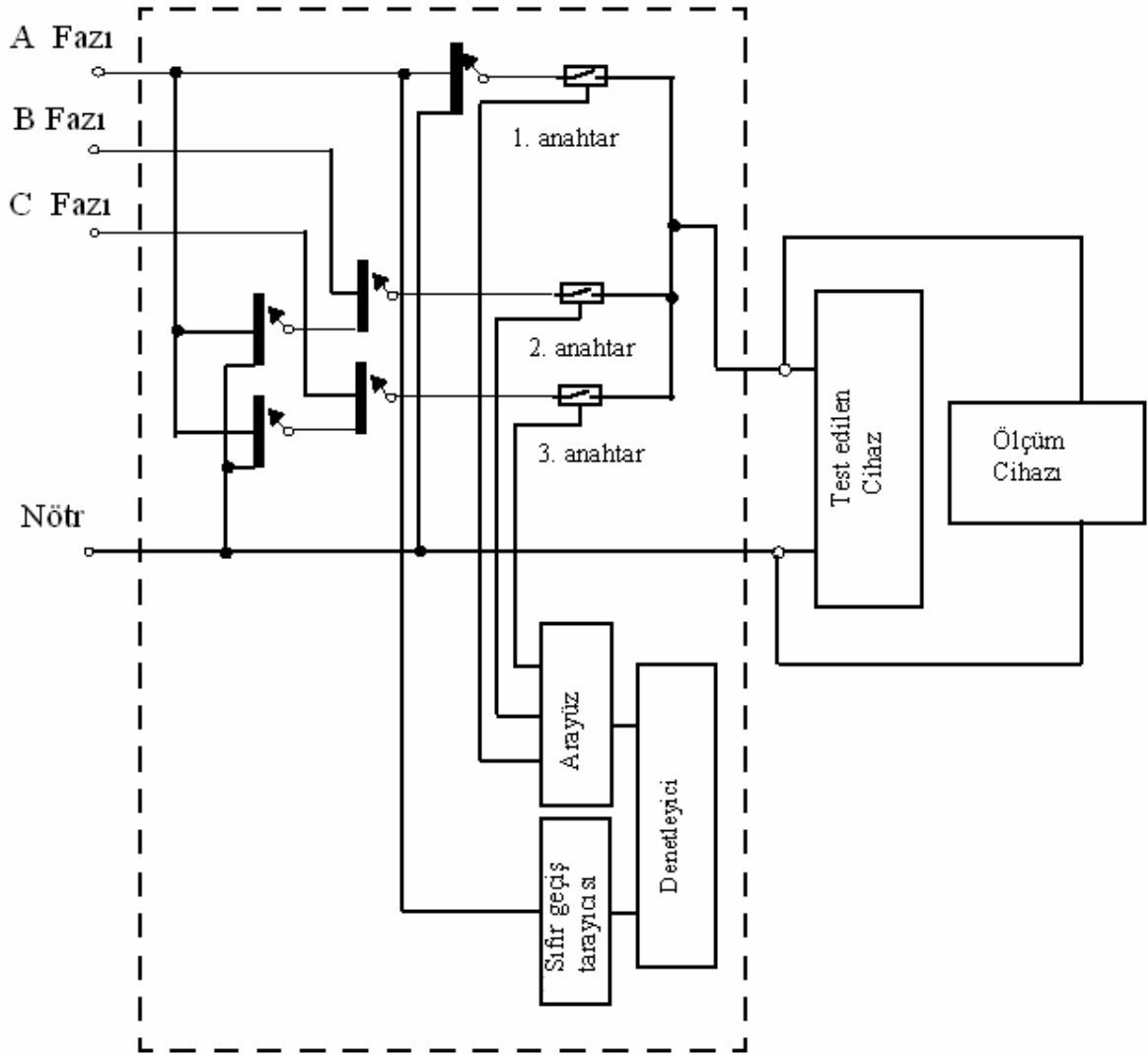


Şekil 6.8. Dalga şekli tipi jeneratör IEC-61000-4-11 standartlarında belirtildiği gibi dalga jeneratörü olarak kullanılmıştır.

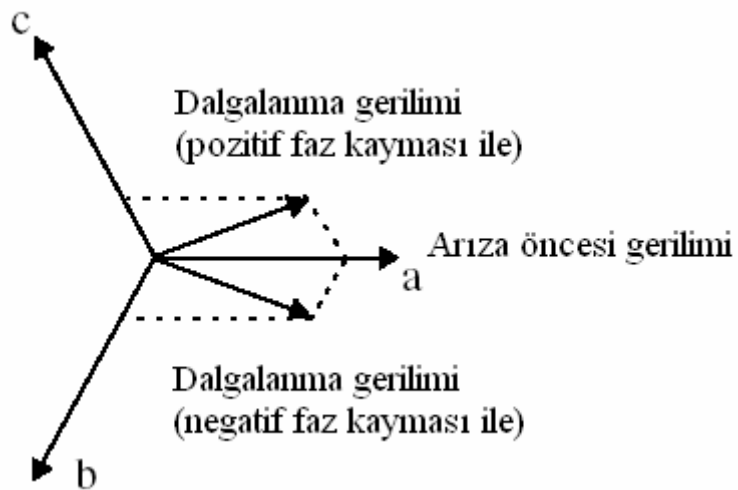


Şekil 6.9. Trafo tipi jeneratör IEC 61000-4-11 standartlarında belirtildiği gibi dalga jeneratörü olarak kullanılmıştır.

Faz kayması ve kısa süreli gerilim düşmesi noktası testlerinde de kullanılan gelişmiş trafo tipindeki kısa süreli gerilim düşmesi jeneratörü şekil 6.10 da görülmektedir. Faz kayması üç fazlı güç kaynağından elde edilir. Arıza öncesi gerilim değeri, 1 numaralı anahtar kapalı 2 ve 3 numaralı anahtarlar açık konumda iken A fazından sağlanmaktadır. 1 numaralı anahtarın kapatılması, 2 veya 3 anahtarlarının açılması ile kısa süreli gerilim düşmesi esnasındaki gerilim ve faz kayması elde edilir. Kısa süreli gerilim düşmesi gerilimi iki faz geriliminin toplamına eşittir. Faz kaymasının yönü ve değerine göre a-c fazları veya a-b fazları kombinasyonu kullanılır. Şekil 6.11 deki fazör diyagramında görüldüğü gibi, a ve c fazları toplamı pozitif faz kaymasını, a ve b fazları toplamı ise negatif faz kaymasını vermektedir. Faz kayması ve kısa süreli gerilim düşmesinin genliği trafo oranlarından elde edilir. Şekil 6.9 ile karşılaştırıldığında gelişmiş tasarımda kullanılan üç anahtardan birinin pozitif faz kayması ve diğerinin de negatif faz kayması için kullanıldığı görülmektedir.



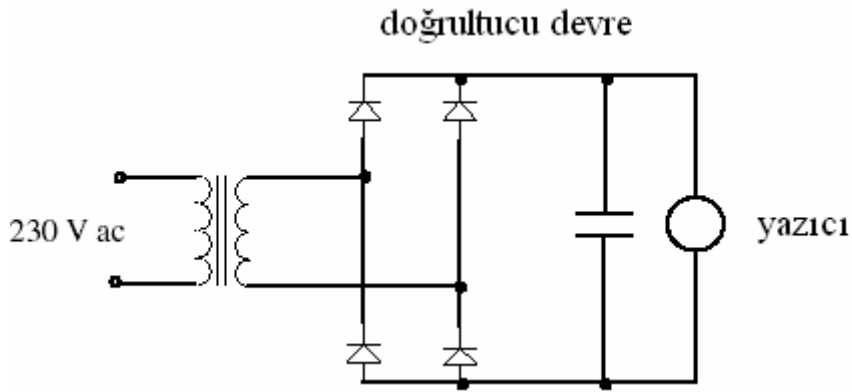
Şekil 6.10. Gelişmiş trafo tipi kısa süreli gerilim düşmesi jeneratörü kullanılan genlik, süreklilik ve faz kayması testi



Şekil 6.11. Oluşan kısa süreli gerilim düşmesinin faz kayması ile birlikte fazör diyagramı

6.1.3. Test örneği

Şekil 6.10 da görülen kısa süreli gerilim düşmesi jeneratörü düşük gerilimli aygıtların testinde kullanılmaktadır. [59]. Örneğin matrisel yazıcının test sonuçları aşağıda gösterilmiştir. Yazıcıya ait güç kaynağının basit konfigürasyonu şekil 6.12 de verilmiştir. Kaynak; trafo, doğrultucu ve kapasitörden oluşmaktadır.

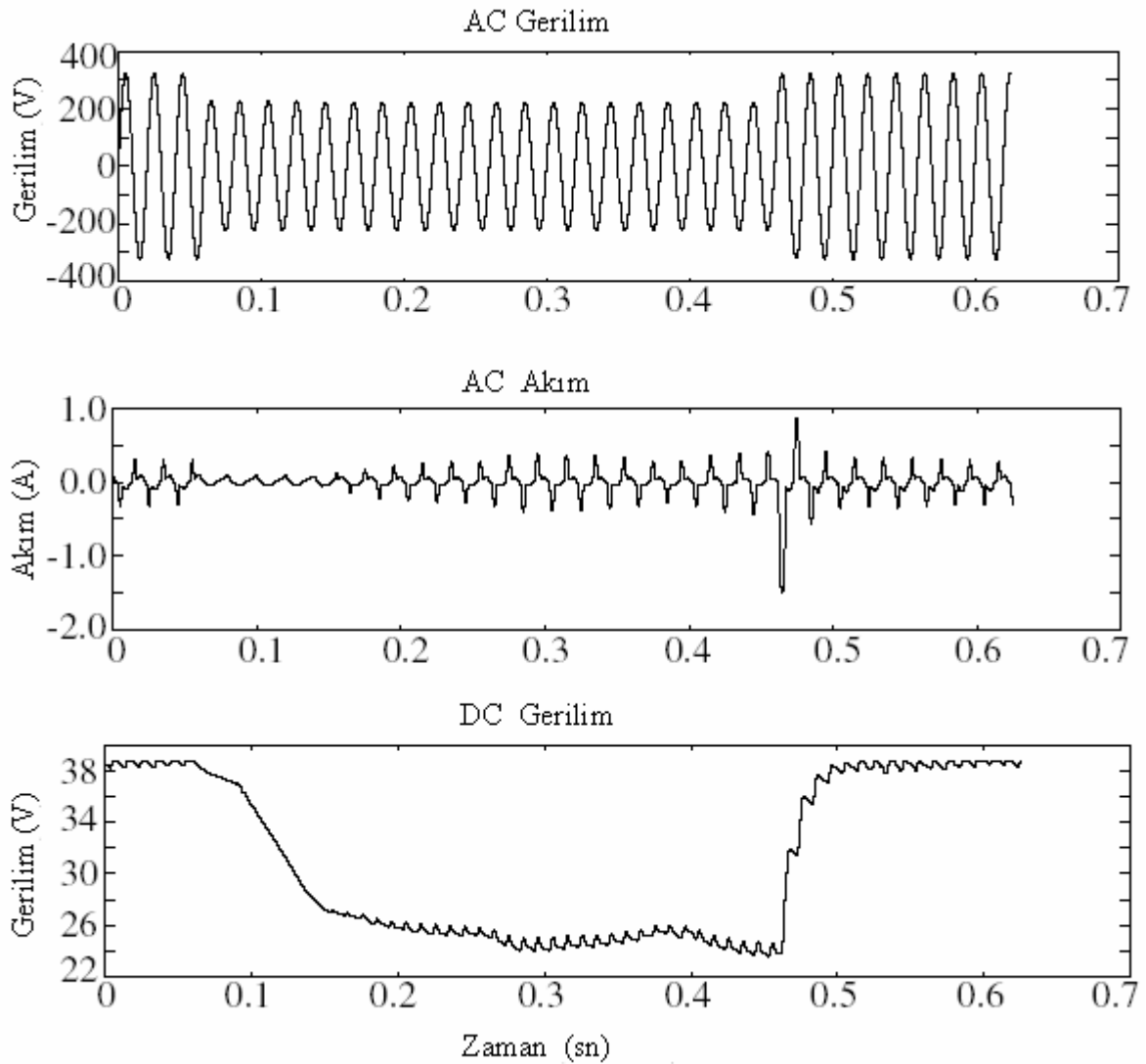


Şekil 6.12. Yazıcıya ait güç kaynağı

Yazıcıya tek faz kısa süreli gerilim düşmesinin aşağıdaki karakteristikleri uygulanmıştır.

Genlik: % 70 ; Kısa süreli gerilim düşmesinin sona erme noktası : 0° ;
Süre : 20 çevrim ; Faz kayması : 0°

Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktası : 0° ; sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 6.13. % 70 kısa süreli gerilim düşmesi esnasında yazıcıya ait test sonuçları

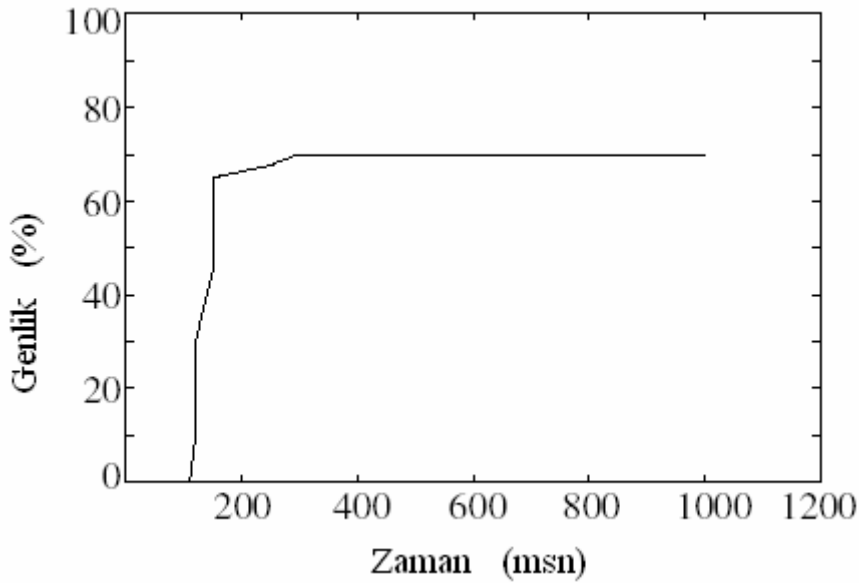
AC akım iki bileşenden oluşmaktadır: trafonun mıknatıslanma akımı (kısa süreli gerilim düşmesi öncesi akımın sinüsoidal parçası) ve trafodan geçen yük akımı. Kısa süreli gerilim düşmesi sırasında mıknatıslanma akımı normal değerinin altına inene kadar düşüş gösterir. Yazıcı kapasitörden beslenirken yük akımı durur. Kapasitör gerilimi belli bir seviyenin altına düştüğünde, trafonun üzerinden tekrar yük akımı geçmeye başlar. Gerilim normale döndüğünde kapasitör çalışma gerilimiyle dolar. Bu durum yükün AC akım bileşeninde pik oluşturur.

Test sonucunda yazıcının gerilim tolerans eğrisi elde edilir. Kısa süreli gerilim düşmesi yazıcıya çalışma esnasında uygulanır. Uygulanan karakteristikler aşağıdaki gibidir.

Kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç noktası: 0° ;

Kısa süreli gerilim düşmesinin bitiş noktası : 0° ;

Faz kayması noktası : 0°



Şekil 6.14. Yazıcının gerilim tolerans eğrisi

6.2. Üç Fazlı Cihaz Testi

Üç fazlı cihazlar farklı sanayi kollarında kullanılmaktadır. Ayarlanabilir hız sürücüler ve kaynak gerilimi dönüştürücüler sık kullanılan üç fazlı cihazlardır. Tek fazlı ve üç fazlı cihazların kısa süreli gerilim düşmesi karakteristikleri bölüm 6.1 de verilmiştir. Bölüm 3 de kullanılan karakteristikler; karakteristik gerilim, PN faktörü, sıfır seri gerilimi, süreklilik, kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıç ve bitiş noktasıdır.

Üç fazlı cihazlar için kullanılan metot, tek fazlı üç cihazın test düzeneklerinin basitleştirilmiş kombinasyonudur. Ancak ileriki bölümlerde de görüleceği gibi kısa süreli gerilim düşmesinin tipine göre üç faz gerilimleri kısa süreli gerilim düşmesi süresince rasgele değerler yerine düzenli değerlerle ifade edilmektedirler. Rasgele

seçilen değerler test edilen cihazların dayanıklılığını olduğundan fazla veya az gösterebilmektedir.

3. bölümde öne sürülen üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin sınıflandırma metodu, kısa süreli gerilim düşmesinin oluşumunda ve sistem içinde yayılmasında ortaya çıkan karakteristiklerin ifade edilmesine yardımcı olur. Cihaz testlerinde, karakteristik gerilim, PN faktörü ve sıfır seri bileşenine değer vermek, faz gerilimi ile karşılaştırıldığında daha kolaydır. Teorik çalışmalardan veya uygulamalardan elde edilen bu oran, sonuçların gerçeğe yakın olduğunu ortaya koyar.

6.2.1. Testin bölümleri

A. Kısa süreli gerilim düşmesi tipleri: Kısa süreli gerilim düşmeleri, üç fazlı cihazlara üç ana tipin uygulanması ile 3. bölümde sınıflandırılmıştır. A tipi kısa süreli gerilim düşmesi dengeli kısa süreli gerilim düşmesine eşdeğerdir. C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmeleri ise dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerine eşdeğerdir. Simetrik fazlar hesaba katıldığında, C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmeleri altı farklı tipte sınıflandırılırlar; C_a , C_b , C_c , D_a , D_b , D_c .

Cihazlar üç ana tip kısa süreli gerilim düşmesi için test edilmiştir. Cihazın üç fazı aynı duruma sahip olduğunda simetrik fazlar hesaba katılmaz. Toplam güç bir veya iki fazdan alınmaktadır. DC ayarlı hız sürücülerinin sargı devreleri gibi cihazlar; dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için farklı simetrik fazlarda test edilirler. Test altındaki cihazın üç faz bağlantısı test sonuçlarını verir. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmesi testlerinde, D tipi kısa süreli gerilim düşmesinin üçgen bağlı cihaz üzerindeki etkisi ile C tipi kısa süreli gerilim düşmesinin yıldız bağlı aynı cihaz üzerindeki etkisi aynıdır.

B. Karakteristik gerilim ve süreklilik: Farklı kısa süreli gerilim düşmesi tipleri sınıflandırıldığında, üç faz kısa süreli gerilim düşmeleri çoğunluk durumunda karakteristik gerilim ile ölçülebilir. Karakteristik gerilim kompleks sayılarla tanımlanır. Yapılan çalışmalar kaynak ve arızalı hattın X/R oranları arasındaki farkı yansıtır. İletim sistemindeki arızaya bağlı kısa süreli gerilim düşmelerinde

karakteristik gerilim değeri '0'a yakın bir gerçek sayı iken, dağıtım hatlarındaki arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmelerinde bu değerin negatif olduğu görülmüştür.

Test, öncelikle karakteristik gerilim değeri için gerçekleştirilecektir. Karakteristik genlik ve sürekliliğin seçimi için tablo 6.1 e benzer bir tablo kullanılmaktadır. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için, karakteristik genliklerin % 33 oranındaki değerleri için test yapılması önerilmiştir. Çünkü tek faz-toprak arızalarına bağlı dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde, karakteristik genlikler % 33 değerinin altına düşmez. Sıfır seri kaynak empedansının (Z_{s0}) pozitif kaynak empedansından (Z_{s1}) büyük olduğu durumlarda, barada meydana gelen tek faz-toprak arızaları için karakteristik genlik arıza öncesi gerilimin 1/3 değerinden büyüktür. ($Z_{f0}=0$, $Z_{f1}=0$)

Tablo 6.2. Seçilen karakteristik gerilim ve süreklilik değerleri.

C Tipi & D Tipi	Karakteristik genlik $ V $	0	33%	40%	70%
	Karakteristik Faz Kayması arg (V)	--	-20 ⁰	-15 ⁰	-10 ⁰
A Tipi	Karakteristik genlik $ V $	0	--	40%	70%
	Karakteristik Faz Kayması arg (V)	--	--	-20 ⁰	-15 ⁰
	Süre (periyot olarak)		0.5 1 5 10 25 50 X		

Karakteristik faz kayması teste ilave edilir. Araştırmada takip edilen sıra; kaynak ve hattın X/R oranı gibi sistem parametrelerine bağlıdır. Şekil 5.11 ve 5.12 de görülen ölçüm sonuçları da referans olarak alınabilir. Düşük karakteristik genliklerde yapılan araştırma sonuçlarından elde edilen değerlerden sadece negatif olanlar hesaba katılmaktadır. Kullanılan karakteristik gerilim ve süreler tablo 6.2 de verilmiştir.

Karakteristik gerilimin test değerleri elde edildikten sonra, farklı kısa süreli gerilim düşmesi tiplerinin faz gerilimleri (6.1), (6.2) ve (6.3) eşitliklerinden hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
\text{A Tipi;} \quad V_a &= V ; \\
V_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}; \\
V_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}
\end{aligned} \tag{6.1}$$

$$\begin{aligned}
\text{B Tipi;} \quad V_a &= 1 ; \\
V_b &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3}; \\
V_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3} ;
\end{aligned} \tag{6.2}$$

$$\begin{aligned}
\text{C Tipi;} \quad V_a &= V ; \\
V_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3}; \\
V_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3}
\end{aligned} \tag{6.3}$$

NOT: V , V_a , V_b ve V_c kompleks değerlerdir.

C. PN faktörü: 5. bölümde görülen ölçüm sonuçları, dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için elde edilen diğer PN faktörü değerlerinin arasında yer almaktadır. Sonuç olarak PN faktörünün gerçek değeri birim değere yakındır. PN faktörü sadece sisteme büyük indüksiyon motorları bağlı olduğunda sapma gösterir. Bu durum PN faktörü (F) ve karakteristik gerilim (V) arasında aşağıdaki gibi bir bağlantının olduğunu gösterir.

$$F = f_o + (1 + f_o)V \tag{6.4}$$

($f_0=1$; 0,95 ve 0,9) (6.4) eşitliğinin çıkarımı Ek-B de gösterilmiştir. PN faktörü elde edildikten sonra C ve D tiplerinin faz gerilimleri, (6.5) ve (6.6) eşitliklerinden hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 \text{C Tipi;} \quad V_a &= F ; \\
 V_b &= -\frac{1}{2}F - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}; \\
 V_c &= -\frac{1}{2}F + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}
 \end{aligned} \tag{6.5}$$

$$\begin{aligned}
 \text{D Tipi;} \quad V_a &= V ; \\
 V_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jF\sqrt{3}; \\
 V_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jF\sqrt{3}
 \end{aligned} \tag{6.6}$$

D. Sıfır serisi: Daha önce de belirtildiği gibi sıfır seri bileşeni genelde cihaz kutuplarında görülür. Sadece tek faz-toprak arızası ve iki faz-toprak arızalarında sıfır seri gerilimi arıza noktasında meydana gelir. Bu bileşen yıldız-yıldız bağlı topraklı trafolar hariç tüm trafolar hariç tüm trafolar tarafından yok edilir.

Normalde sıfır seri bileşeni sadece tek faz toprak arızalarına bağlı D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde ortaya çıkar. Teorik olarak ise, iki faz-toprak arızalarına bağlı C tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde de ortaya çıkmaktadır ancak bu durum uygulamalarda göz önüne alınmayacaktır.

Şekil 3.3. de görülen tek faz toprak arızası devresinden sıfır seri gerilimi (V_o) ve karakteristik gerilim (V) arasındaki ilişki elde edilir.

$$V_o = \frac{Z_{s0}}{2} x \frac{1-V}{Z_{s1}} \tag{6.7}$$

Topraklı bir sistemde pozitif ve sıfır seri kaynak empedansları eşit olarak kabul edilebilir. Sıfır seri gerilimi aşağıdaki gibidir.

$$V_o = \frac{1}{2}x(1-V) \quad (6.8)$$

Ancak ortak kuplaj noktasında yüksek hat empedansı, kaynak empedansı üzerinde etkilidir. Sıfır seri toprak empedansı, pozitif seri değerinin 2 katı olabilir. Bu durum aşağıdaki bağıntıyı ortaya çıkarır.

$$V_o = 1 - V \quad (6.9)$$

Yüksek empedanslı topraklı sistemlerde, tek faz arızaları karakteristik gerilimin ve sıfır seri geriliminin 1 pu değere yakın olmasına neden olur. Yüksek empedanslı topraklı sistemlerde, topraklı cihazların kullanılması muhtemel değildir.

Sıfır seri gerilimi, karakteristik gerilime ters yöndedir. Sıfır serisi, D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinde simetrik fazlarda gerilim düşümüne dolayısıyla diğer fazlardaki gerilimin yükselmesine neden olabilir.

D tipi kısa süreli gerilim düşmelerinin faz gerilimleri, PN faktörü ve sıfır seri gerilimi bilindiği durumlarda (6.10) eşitliği ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{D Tipi;} \quad V_a &= V + V_o ; \\ V_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jF\sqrt{3} + V_o ; \\ V_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jF\sqrt{3} + V_o \end{aligned} \quad (6.10)$$

E. Diğer test bölümleri: Arıza sonrası kısa süreli gerilim düşmelerinin olabileceği durumlarda, cihazın bunlara karşı da test edilmesi gerekir. Bu test, arıza esnasındaki A tipi kısa süreli gerilim düşmesi testine ek olarak gerçekleştirilebilir. Sürekliliği sistem çalışmasından elde edilir.

Üç fazlı cihazların testinde, dalga şeklinin farklı noktalarındaki üç faz gerilimlerinde düşme görülene kadar kısa süreli gerilim düşmesinin başlangıcı hesaba katılmaz.

Başlangıç noktası göz önünde bulundurulacaksa, hangi fazda olduğu belirtilmelidir. Diğer fazlarda bu nokta -120° ve $+120^\circ$ açılı farkı gösterir.

Üç fazda kısa süreli gerilim düşmesinin sona ermesi koruma rölesinin koordinasyonuna göre farklılık gösterir. Üç faz için sona erme anı farklı olduğunda, kısa süreli gerilim düşmesinin tipi sona erme sürecinde değişebilir. Test edilen cihazın dayanıklılığı dalga tipine bağlıysa, test düzeneği prosedür olarak simule edilir.

Kaynak empedansı: Cihazın çalışması aşırı akıma veya akım dengesizliğine bağlı ise kaynak empedansı dayanıklılığı etkiler. Aşırı akım gerilimin normale döndüğü süreçte, akım dengesizliği ise üç fazlı ayarlı hız sürücülerinde ortaya çıkabilir.

6.2.2. Test düzeneği

Üç fazlı cihazın dalga jeneratörü iki gruba ayrılır: yükseltici tip ve trafo tipi. Yükseltici tip dalga jeneratörü test edilen cihaza üç faz sağlamak için üç farklı dalga şekli yaratabilir. Gelişmiş trafo tipi dalga jeneratörünün şekil 6.10 da görülen üç durumu kullanılabilir. Faz kayması dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde görülür. Jeneratörlerin iki tipi de üç fazı koordine ederek tasarlanmış bir kısa süreli gerilim düşmesi oluşturmak için kullanılır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin tanımlama metodu geliştirilmiş ve sunulmuştur. Bu tanımlamanın alt kolu olarak üç fazda görülen kısa süreli gerilim düşmeleri A, C ve D olmak üzere üç tipte sınıflandırılmıştır.

A tipi kısa süreli gerilim düşmesi, üç fazında da aynı değişim görülen dengeli kısa süreli gerilim düşmelerine eşdeğerdir. Her dengeli kısa süreli gerilim düşmesi sürekliliği ve karakteristik gerilimi ile ölçülür. Dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinde karakteristik gerilim, pozitif seri gerilimi olarak tanımlanır. Karakteristik gerilim değeri her fazın kısa süreli gerilim düşmesi gerilimine eşittir. Fazların faz kaymaları ile arasındaki ilişkisi araştırılmaktadır.

C ve D tipi kısa süreli gerilim düşmeleri, dengesiz arızalardan kaynaklanan dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerine eşdeğerdir. Simetrik fazlar hesaba katılmadığında dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri; C_a , C_b , C_c , D_a , D_b , D_c olarak 6 tipte sınıflandırılabilir. Her dengesiz kısa süreli gerilim düşmesi sürekliliği ve aşağıda verilen karakteristikleri ile tanımlanır.

- Karakteristik gerilim birçok olayda belirleyici unsurdur. Prototip kısa süreli gerilim düşmesi olarak adlandırılan C_a tipi kısa süreli gerilim düşmelerinin pozitif ve negatif seri gerilimleri arasındaki fark olarak tanımlanır. Birçok uygulamada karakteristik gerilim, olayın tanımlanmasında yeterlidir.
- PN-faktörü, arıza esnasında cihaz kutuplarındaki gerilim üzerindeki sistem yükünün etkisinin ölçümüdür. C_a tipi kısa süreli gerilim düşmesinin pozitif ve negatif seri gerilimlerinin toplamı olarak tanımlanır. Boştaki sistem yükü PN-

faktörünü '1' yapar. Birçok durumda PN-faktörü '1'e yakındır ve ihmal edilebilir. Büyük indüksiyon motor yüklerinin bulunduğu özel sistem uygulamalarında PN-faktörü hesaba katılmalıdır.

- Toprak arızalarına bağlı sıfır seri gerilimi cihaz kutuplarından geçer. Dolayısıyla cihazın çalışması sıfır seri gerilimi tarafından etkilenir. Ancak bu karakteristiğin değeri küçüktür.

Öne sürülen sınıflandırma metodunun avantajı, karakteristik gerilim ve kısa süreli gerilim düşmesi genliğinin hem dengeli hem dengesiz sistemlerde üç faz kısa süreli gerilim düşmelerinin tanımlanmasında yeterli olmasıdır.

İki bileşenli simetrik bileşenler metodu kısa süreli gerilim düşmesinin sınıflandırılmasının teorik analizinde kullanılır. Bu metot da pozitif ve negatif seri empedansları birbirine eşit olarak kabul edilir. Çeşitli arızalar bu metotla analiz edilmiştir. Kısa süreli gerilim düşmesinin tipi ve karakteristik değerleri bu analizler sonunda ortaya çıkar.

Kısa süreli gerilim düşmelerinin dönüşümü için kullanılan trafoların matematiksel modelleri önceki bölümlerde tanımlanmıştır. Sonuç olarak trafoların kısa süreli gerilim düşmesi yaratmadığı ancak kısa süreli gerilim düşmesinin tipini değiştirdiği görülmüştür. En önemlisi üçgen-yıldız bağlı trafolarda C tipi kısa süreli gerilim düşmesinin D tipi kısa süreli gerilim düşmesine dönüşmesidir. Bu durum tek faz toprak arızaları ve faz arası arızaları arasındaki ilişkiyi yansıtır. Kısa süreli gerilim düşmelerine bağlı olan faz kaymaları da incelenmiştir. Dengeli kısa süreli gerilim düşmelerinde faz kaymaları, kaynak ve arızalı hat arasındaki X/R oranı farkından kaynaklanırken, dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde X/R oranındaki farkın yanı sıra üç faz dengesizliklerinden de kaynaklanır.

Dağıtım ve iletim sistemlerinde kısa süreli gerilim düşmesinin yayılması farklı analiz metotları gerektirir. Radyal dağıtım şebekelerinde dengeli ve dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin incelenmesinde gerilim bölücü modeli kullanılabilir. İletim sistemlerinde ise bu durum biraz daha karmaşıktır. Sayısal çözümler elde etmek için dijital simülasyonlar uygulanmıştır. Öne sürülen sınıflandırma metodu, güç sistemlerinde dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin yayılımı ile ilgili çalışmaları basitleştirmiştir. Arıza noktaları aynı ise üç faz , faz-faz ve iki faz-toprak arızalarının karakteristik gerilimleri de aynıdır. Arıza noktasına sıfır seri empedansının yarı değeri ($Z_0/2$) eklendiğinde üç faz ve iki faz-toprak arızalarının karakteristik gerilimleri eşitlenmektedir. Arıza noktasına sıfır seri geriliminin iki katı ($2Z_0$) eklendiğinde ise iki faz-toprak arızalarının PN-faktörü ile üç faz arızalarının karakteristik gerilimleri birbirine eşit olur. Dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin güç sistemlerinde yayılması ile ilgili çalışmalarda tek faz örnekleme yeterli olmaktadır.

Kısa süreli gerilim düşmelerinin yayılması esnasında indüksiyon motorları gibi dinamik yüklerin kısa süreli gerilim düşmesi karakteristiği üzerinde büyük etkisi vardır. İndüksiyon motorunun bağlı olduğu sistemde PN-faktörünün '1'e yakın olmamasının iki sebebi vardır.

- Dinamik yükler için pozitif ve negatif seri kaynak empedansları farklıdır. Bunun sonucu olarak sistemdeki aynı konumda olan iki eşdeğer kaynağın pozitif ve negatif seri empedanslarının birbirine tam olarak eşit olmadığı söylenebilir. Bu farklılık PN-faktörü değerini '1'den uzaklaştırır. İndüksiyon motor yükünün etkisi olarak PN-faktöründe düşme gözlenir.
- Motor kaymasının artmasıyla yükün pozitif seri empedansı düşer. Kısa süreli gerilim düşmesi esnasında yavaşlayan motor yük empedansının düşmesine sebep olur. Bunun sonucu olarak eşdeğer kaynağın gerilimi zamanla düştükçe, PN-faktörü değerini de düşürür.

İletim ve dağıtım sistemlerinde yapılan ölçümlerde kaydedilen kısa süreli gerilim düşmeleri öne sürülen tiplere göre sınıflandırılabilirler. İletim sistemlerinde ölçülen

kısa süreli gerilim düşmelerinin PN-faktörü '1'e yakındır, dağıtım sistemlerinin PN-faktörü ise '1'den küçüktür. Dengeli ve dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik gerilimleri benzer değerdedir. İletim sistemlerinde faz kayması '0'a yakınken dağıtım sistemlerinde büyük negatif değerlere sahip olabilmektedirler. Dağıtım sistemlerindeki negatif faz kayması, dengeli sistemler için dengesiz sistemlere göre daha büyüktür. Kısa süreli gerilim düşmesinin 154 kV'dan 34,5 kV ve 6,3kV seviyelerine yayılması incelendiğinde yüksek gerilim seviyesinden düşük gerilim seviyelerine inildikçe karakteristik genliğin yükseldiği, PN-faktörü değerinin düştüğü görülmüştür. Sınıflandırma metodunun güç kalitesi incelemelerinde kullanılması kısa süreli gerilim düşmelerinin ölçüm sonuçlarının ifade edilmesini kolaylaştırmaktadır. Kaydedilen dalga şekli makul seviyede düzeltilebilir. Ölçümlerin büyük bir kısmının kısa süreli gerilim düşmeleri oluşturmaktadır, dalga şekli yüzeyseldir.

Tek fazlı cihazların kısa süreli gerilim düşmelerine karşı dayanıklılık testi uluslar arası standartların bir parçasıdır. Kısa süreli gerilim düşmesinin genliği ve süresi cihazın dayanıklılığı için ana sorundur. Faz kayması ve kısa süreli gerilim düşmesi noktası gibi diğer kısa süreli gerilim düşmesi karakteristikleri bazı cihazlarda hataya sebep olurlar. Ayrıca bu enerjisiz karakteristikler ileride ortaya konulacak standartlarda hesaba katılacaktır. Sınıflandırma metodu, üç fazlı cihazların kısa süreli gerilim düşmesine karşı dayanıklılık testlerini sistematik hale getirmektedir. Dengeli ve dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri, karakteristik gerilim ile tanımlanabildiğinden, tek faz dayanıklılık testi için geliştirilen bu metot kısa süreli gerilim düşmesi tiplerinin ayrımları yapıldığında üç faza kolayca uygulanabilmektedir. Daha detaylı testler için PN-faktörü, sıfır seri gerilimi gibi karakteristikler eklenmelidir.

7.2. Öneriler

Dinamik yükler, kısa süreli gerilim düşmesi karakteristikleri üzerinde büyük etkilere sahiptir. İndüksiyon motor yükleri modellenmiştir. Ancak sistem yükleri karmaşıktır. Doğrultucular gibi diğer dinamik yükler, karakteristiğin yanında sınıflandırma

metodunun doğruluğuna da etki etmektedir. Yüklerin, karakteristik gerilim ve PN-faktörü üzerindeki etkileri daha kapsamlı araştırılmalıdır.

Hem dengeli hem dengesiz kısa süreli gerilim düşmelerinde görülen faz kayması, arıza analizleri ve matematiksel dalga modelleri ile açıklanabilmektedir. Ancak, sistemin arıza karakteristiği ve koruma rölesi özelliklerine bağlı olan kısa süreli gerilim düşmesi noktası konusu halen açıklanamamıştır. Bu konudaki çalışmalar, teorik analizler ve yapılan ölçümlerin kombinasyonudur.

Sınıflandırma metodu, tek faz örneklemesinin kullanıldığı dengesiz kısa süreli gerilim düşmeleri için yapılan yayılma çalışmalarını kolaylaştırır. Sonuçlar, kısa süreli gerilim düşmelerinin stokastik tahminlerinde doğrudan kullanılabilir. Var olan metotlar sadece dengeli kısa süreli gerilim düşmeleri ile ilgilidir. Sınıflandırma metodu dengesiz durumlara da uyarlanmalıdır.

Kısa süreli gerilim düşmesinde sınıflandırma metodu, çeşitli güç kalitesi standartları için farklı uygulamalara sahiptir. Sınıflandırma güç kalitesi uygulamalarında kısa süreli gerilim düşmesi ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Bu tanımlama, kısa süreli gerilim düşmelerinin görüntüleme standartlarını geliştirmek ve üreticilerle tüketiciler arasında bilgi alışverişi sağlamak konusunda yardımcı olmaktadır. Kısa süreli gerilim düşmesi sınıflandırmasının başka bir uygulaması kısa süreli gerilim düşmelerine karşı üç faz cihaz dayanıklılık testleridir. Cihaz dayanıklılık testi protokolünün geliştirilmesi, karakteristik gerilim, PN-faktörü, sıfır seri oranları, ölçüm sonuçları istatistikleri ile birlikte göz önünde tutulmalıdır.

Arazi ölçümleri farklı kaynaklardan elde edilmiştir. Arazi ölçümleri, hem iletim hem dağıtım sistemleri için sınıflandırma metodunun makul olduklarını göstermektedir. Kısa süreli gerilim düşmesi karakteristiklerinin istatistikleri, arazi ölçümleri ve teorik çalışmaları karşılaştırmak için gereklidir. Kısa süreli gerilim düşmesinin yayılmasını ölçmek için farklı gerilim seviyelerine monitörler yerleştirilmiştir. Bu durum aynı zamanda trafoda değişen kısa süreli gerilim düşmesi tipinin ifadesinde de yardımcıdır. Öne sürülen sınıflandırma metodu kabullenmeler üzerine kurulmuştur. Bu metodun sınırlaması ölçümleri ile değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] R.C. DUGAN, M.F. McGRANAGHAN, H.W. Beaty, Electrical power systems quality, New York: McGraw-hill, 1996.
- [2] M.F. McGRANAGHAN, D.R. MUELLER, and M.J. SAMOTYJ, Voltage sags in industry power systems, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.29, no.2, pp.397-403, Mart/Nisan 1993
- [3] L.E. CONRAD (Chairman), IEEE Std 493 Chapter 9, Voltage sag analysis, Power System Reliability Subcommittee Voltage Sag Working Group, draft 6 1995
- [4] M.H.J. BOLLEN, Understanding and Solving Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, New York, IEEE press, 1999.
- [5] M.H.J. BOLLEN, Fast assessment methods for voltage sags in distribution systems, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.32, no.6, pp.1414-1423, Kasım/Aralık 1996
- [6] M.H.J. BOLLEN, Characterization of voltage sags experienced by three-phase adjustable-speed drives, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.12, no.12, pp. 1666-1671, Ocak 1997
- [7] IEEE Project Group 1159.2, Task force on characterization of power quality event given an adequately sampled set of digital data points, first draft 1998
- [8] IEEE Std 1159-1995, IEEE recommended practice for monitoring electric power quality, Kasım 1995
- [9] CENELEC, Voltage characteristics of electricity supplier by public distribution systems, European Standart- EN50160, Kasım 1994
- [10] Electromagnetic Compatibility (EMC), part 4. Testing and measurement protocols. Section 11. Voltage Dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. IEC Document 61000-4-11
- [11] L.E. CONRAD, M.H.J. BOLLEN, Voltage sag coordination for reliable plant operation, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no.6, pp.1459-1464, Kasım/Aralık 1997

- [12] P.M. ANDERSSON, Analysis of faulted power systems, New York: IEEE Press, 1995
- [13] R. COLLINS, Waveform characteristics of voltage sags: definition and algorithm development, Clemson University, South Carolina, March 1998
- [14] L.D. ZHANG, M.H.J. BOLLEN, A method for characterizing unbalanced voltage dips (sags) with symmetrical components, IEEE Power Engineering Letters, pp 50-52, Temmuz 1998
- [15] L.D. ZHANG, M.H.J. BOLLEN, Characteristics of voltage dips (sags) in power systems, accepted by IEEE PES Transactions, in print
- [16] M.H.J. BOLLEN, P. WANG, N. JENKINS, Analysis and consequences of the phase jump associated with a voltage sag, Power Systems Computation Conference, Dresden, Germany, Ağustos 1996
- [17] Measurement guide for voltage characteristics, UNİPEDE report 23003 ren 9531. UNİPEDE documents can be obtained from UNİPEDE 28, rue Jacques Ibert, 75858 paris Cedex 17, Fransa
- [18] C.A. WARREN, T.A. SHORT, J.J. BURKE, H. MOROSINI, C.W. BURNS, J. STORMS, Power quality at champion paper- the myth and the reality, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.14, no.2, Nisan 1999
- [19] A.V. ZYL, R.SPEE, A. FAVELİKE, S. BHOWMİK, Voltage sag ride-through for adjustable-speed drives with active rectifiers, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.34, no.6, pp. 1270-1277, Kasım/Aralık 1998
- [20] G.T. HEYDT, W.T. JEWELL, Pitfalls of electric power quality indices, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.13, no.2, pp. 570-578, Nisan 1998
- [21] G. YALÇINKAYA, M.H.J. BOLLEN, and P.A. CROSSLEY, Characterization of voltage sags in industrial distribution systems, IEEE Transactons on Industry Applications, vol.34, pp.682-688, 1998
- [22] IEEE P1346, Recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment, 4th draft, Eylül 1996
- [23] IEEE guide for application of power electronics for power quality improvement on distribution systems rated 1 kV through 38 kV, Şubat 1996
- [24] M.H.J. BOLLEN, The İnfluence of motor reacceleration on voltage sags, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.1, no.4, Temmuz/Ağustos 1995

- [25] G. DESQUILBET, C. FOUCHER, P. FAUQUEMBERGUE, Statistical analysis of voltage dips, 95NR00102, EDF, 1995
- [26] A.E. TURNER, E.R. COLLINS, The performance of ac contactors during voltage sags, 7th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Las Vegas, Ekim 1996
- [27] A. MANSOOR, E.R. COLLINS, R.L. MORGAN, Effects of unsymmetrical voltage sags on adjustable speed drives, 7th International Conference on Harmonics and Quality Power, Las Vegas, Ekim 1996
- [28] M.H.J. BOLLEN, L.D. ZHANG, Analysis of voltage tolerance of adjustable-speed drives for three phase balanced and unbalanced sags, IEEE Industrial Commercial Power Systems Technical Conference, Sparks, Nevada, Mayıs 1999
- [29] H. SELJESETH, A. PLEYM, Spenningskvalitetsmalinger 1992-1996 (voltage quality measurements, 1992 to 1996, in Norwegian), report EFI TR A4460 published by EI, 7034 Trondheim, Norway, Mart 1997
- [30] D.S. DORR, M.B. HUGHES, T.M. GRUZS, Interpreting recent power quality surveys to define the electrical environmet, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no.6, sf.1480-1487 Kasım/Aralık 1997
- [31] D.O. KOVAL, M.B. HUGES, Canadian national power quality survey: frequency of industrial and commercial voltage sags, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no. 3, sf. 622-627 Mayıs/Haziran 1997
- [32] D.O. KOVAL, R.A. BOCANBEA, K. YAO, M.B. HUGHES, Canadian national power quality survey: frequency and duration of voltage sags and surges at industrial sites, IEEE Transactions on Idustry Applications, vol.34, no.5, sf. 904-910, Eylül/Ekim 1998
- [33] A. BURDEN, A. MacGREGOR, power quality initiatives at Scottish power, Transmission & Distribution World, Şubat 1998
- [34] SEMI F42-0699, Test method for voltage sag susceptibility of semiconductor processing equipment, SEMI online Ocak 1999
- [35] P.WANG, The use of FACTS devices to mitigate voltage sags, PH.D thesis, UMIST, UK, Temmuz 1997
- [36] G. YALÇINKAYA, The influence of induction motors on voltage sags due to short circuits, PH.D thesis, UMIST, UK, Ekim 1997
- [37] M.H.J. BOLLEN, P. WANG, N. JENKINS, Magnitude and phase anle jump of voltage sags- a theoretical analysis, submitted to IEEE Transactions on Power Delivery

- [38] M.H.J. BOLLEN, T. TAYJASAJANT, G. YALÇINKAYA, Assesment of the number of voltage sags experienced by a large industrial customer, IEEE Transaction on Industry Applications, Kasım/Aralık 1997
- [39] M.H.J BOLLEN, A. MANSOOR, E.R. COLLINS, Characteristics of voltage sags experienced by single-phase and three-phase equipment, PQA 97 Europe, Stockholm Sweden, Haziran 1997
- [40] P. RIOUAL, J.L. JAVERZAC, F.de CHATEAUVIEUX, Characterization and recognition of HV and EHV voltage dip signatures, PQA 97 Europe, Stockholm Sweden, Haziran 1997
- [41] A.DAVID, E. LAJOIE-MAZENC, C. SOL, Ride-through capability of AC adjustable speed drives in regards to voltage dips on the distributon network, EPE 93, the European Power Electronics Association, Brighton, 1993
- [42] V.E. WAGNER, A.A. ANDRESHAK, J.P. STAINAK, Power Quality and Factory Automation, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.28, no.4, sf. 620-626 Temmuz/Ağustos 1990
- [43] D.O. KOVAL, J.C. CHANG, J. LEONAR, Rural power quality, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.28, no.4, sf. 761-765, Temmuz/Ağustos 1992
- [44] M.R. QADER, M.H.J. BOLLEN Stochastic Voltage Sag prediction technique, 31st University Power Engineering Conference, Heraklion, Greece, sf. 441-444, 1996
- [45] M. MORGAN, M. JOHANS, Voltage sag mitigation through ride through coordination, IEEE annual Textile, fiber, film conference, Greenville, SC USA, sf. 1-5, 1994
- [46] R.A. EPPERLY, F.L. HOADLEY, R.W. PIEFER, Considerations when applying ASD's in continuous processes, IEEE Transactions on Industry Application vol.33, no.2, sf.389-396, Mart/Nisan 1997
- [47] C.J.MELHORN, A.B. BRAZ, P. HOFMANN, R.J. MAURO, An evaluation of energy storage techniques for improving ride-through capability for sensitive customers on underground networks, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no.4, sf.1083-1095, Temmuz/Ağustos 1997
- [48] C.J. MELHORN, T.D. DAVIS, G.E. BEAM, Voltage Sags: their impact on the utility and industrial customers, IEEE Transactionson Industry Applications, vol.34, no.3, sf.549-558, Mayıs/Haziran 1998

- [49] J.L. ZABALA, S. RUIZ, G. VARGAS, F. SOTO, X. PRAT, R. BARBA, Characterisation of voltage dips in electrical networks and their Impact on customer installations, Cigre 21, rue d'Artois, F-75008 Paris
- [50] P.P. KHERA, K.C. DICKEY, Analysis and mitigation of voltage disturbances at an industrial customer's corporate campus, IEEE Transactions on Industry Application, vol.34, no.5, sf.893-896, Eylül/Ekim 1998
- [51] D.L.BROOKS, R.C. DUGAN, M. WACKLAWIAK, A. SUNDARAM, Indices for assessing utility distribution system RMS variation performance, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.13, no.1, sf.254-259, Ocak 1998
- [52] A. KARA, P. DAHLER, D. AMHOF, H. GRUNING, Power supply quality improvement with a dynamic voltage restorer (DVR), APED'98, IEEE Thirteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, vol.2, sf.986-993, New York, 1998
- [53] K. HADDA, G. JOOS, A fast algorithm for voltage unbalance compensation and regulation in faulted distribution systems, APEC'98, IEEE Thirteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, vol.2, sf.986-993, New York, 1998
- [54] Y. KAI, D. KOVAL, X. WLSUN, J. SALMON, An investigation of voltage sags by phasor methodology, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, vol.2, sf.689-692, New York, 1998
- [55] A.E. TURNER, E.R. COLLINS, The performance of AC contactors during voltage sags, 7th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Las Vegas, Ekim 1996
- [56] E.G. STRANGAS, V.E. WAGNER, T.D. UNRUH, Variable speed drives evaluation test, IEEE Industry Applications Magazine, sf.53-57, Ocak/Şubat 1998
- [57] J.HOLTZ, W. LOTZKAT, Controlled AC drives with ride-through capability at power interruption, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.30, no.5, sf.1275-1283, Eylül/Ekim 1994

EKLER

Ek A- Sıfır Seri Kaynak Empedansının Belirlenmesi

Güç şebekesinin sıfır seri kaynak empedansı her zaman bilinmez. Ancak, önceden meydana gelmiş kısa süreli gerilim düşmeleri, kaynak ve hattın pozitif seri empedansı kullanılarak belirlenebilir. Aşağıdaki iki durum göz önünde bulundurulmalıdır.

- Baradaki pozitif seri kaynak empedansı ve hattın pozitif seri empedans bilinmektedir. Sadece hatta meydana gelen tek faz toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesi bulunacaktır.

Baradan L mesafesi uzakta meydana gelen tek faz toprak arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik gerilim değeri;

$$V_{TFTA} = \frac{LZ_{f1} + \frac{Z_0}{2}}{Z_{s1} + LZ_{f1} + \frac{Z_0}{2}} \quad (A.1)$$

L, arızanın baraya uzaklığı; Z_{s1} , baranın pozitif seri kaynak empedansını; Z_{f1} , hattın kilometre başına düşen pozitif seri empedansını; Z_0 , arıza noktasındaki sıfır seri kaynak empedansını temsil etmektedir.

L arıza noktasındaki karakteristik gerilim V_{TFTA} bilindiğinde, (A.1) eşitliğinden Z_0 değeri hesaplanabilir.

$$Z_0 = 2 \left[\frac{V_{TFTA} Z_{s1}}{1 - V_{TFTA}} - LZ_{f1} \right] \quad (A.2)$$

- Sadece hattın pozitif seri empedansı bilinmektedir. Tek faz toprak arızaları, üç faz arızaları, faz arası arızaları veya iki faz toprak arızalarından kaynaklanan kısa süreli gerilim düşmesi bulunacaktır.

Baradan L mesafesi kadar uzakta meydana gelen üç faz arızaları, faz arası arızaları veya iki faz toprak arızaları kaynaklı kısa süreli gerilim düşmesinin karakteristik gerilim değeri;

$$V_{3\phi} = \frac{LZ_{f1}}{Z_{s1} + LZ_{f1}} \quad (\text{A.3})$$

Pozitif seri kaynak empedansı (A.3) eşitliğinden hesaplanabilir.

$$Z_{s1} = \frac{1 - V_{3\phi}}{V_{3\phi}} LZ_{f1} \quad (\text{A.4})$$

$Z_0/2$ değerini hesaplamak için (A.2) eşitliği kullanılır.

İletim sistemlerinde gerilim bölücü modeli kullanılamaz. Sıfır seri empedansının (Z_0) hesaplanabilmesi için, arıza noktasındaki pozitif seri kaynak empedansının bilinmesi ve arıza noktasındaki tek faz toprak arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmesinin ölçülmesi gerekmektedir. $L=0$ iken (A.2) eşitliği aşağıdaki halini alır.

$$Z_0 = 2 \frac{V_{TFTA} Z_{s1}}{1 - V_{TFTA}} \quad (\text{A.5})$$

Temelde sıfır seri empedansı her sistemde (A.5) eşitliğinden hesaplanabilir. Arıza noktasındaki pozitif seri kaynak empedansı ve kısa süreli gerilim düşmesi ölçümü her zaman mümkün değildir. Sıfır seri kaynak empedansını elde etmek için radyal olmayan sistemler gereklidir.

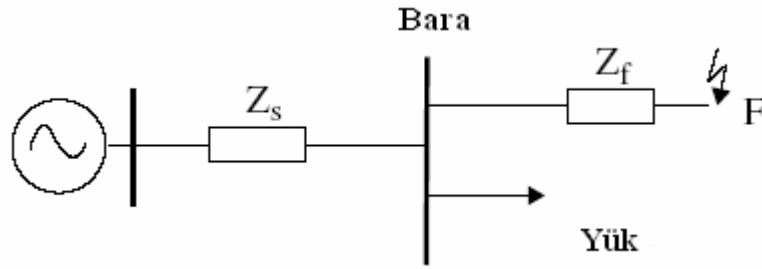
Örneğin, sıfır seri kaynak empedansının kullanılabilmesi için Tablo 4.4 de verilen kısa süreli gerilim düşmesi verileri kullanılmıştır. Çözümleme için 11kV'luk barayı besleyen hatta meydana gelen arızalar kullanılmıştır.

Üç faz arızası, faz-faz arızası ve iki faz-toprak arızası kaynaklı pozitif seri kaynak empedansını hesaplamak için ilk adım (A.4) eşitliğidir. $Z_{f1}=0.1174+j0.3146 \Omega/\text{km}$, $L=2 \text{ km}$ ve $V=0.55 \angle -8^\circ$ olarak verildiğinde; $Z_{s1}=0.03+j0.5628 \Omega$ olarak hesaplanır.

İkinci adım ise tek faz toprak arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmesinin $Z_0/2$ değerini (A.3) eşitliğinden hesaplanmaktadır. $Z_{f1}=0.1174+j0.3146 \Omega/\text{km}$, $L=2 \text{ km}$ ve $V=0.69 \angle -5^\circ$ olarak verildiğinde; $Z_0=0.2524+j1.0532 \Omega$ olarak hesaplanır.

Ek B- Pn-Faktörü Ve Karakteristik Gerilim

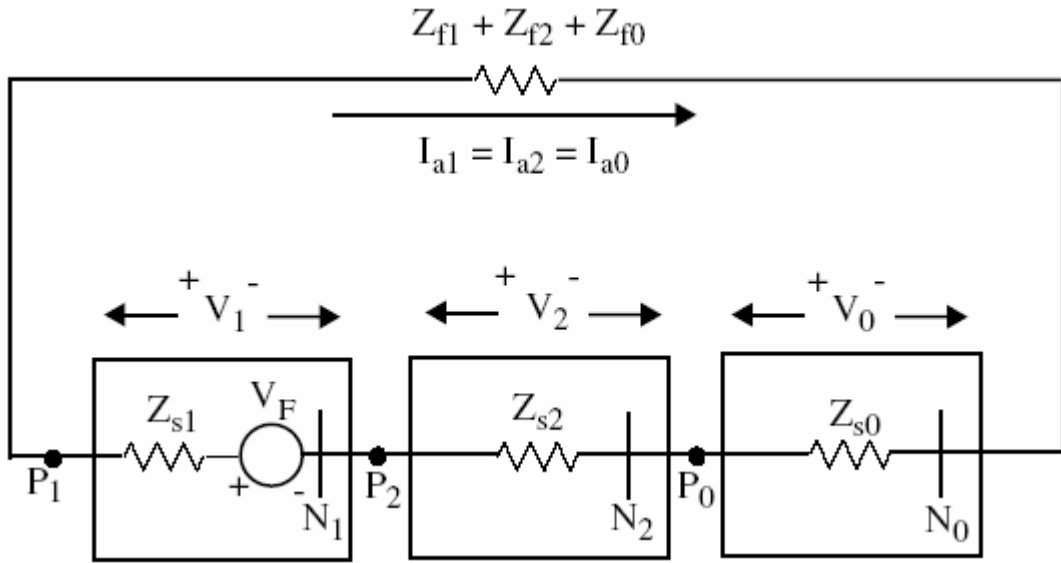
Pozitif seri kaynak empedansının (Z_{s1}) negatif seri kaynak empedansına (Z_{s2}) eşit olmadığı sistemlerde, PN-faktörü (F) değeri '1'e yakın değildir. PN-faktörü (F), karakteristik gerilimle (V) ilişkilidir. Aralarındaki bağlantının görülebilmesi amacıyla tek faz toprak arızası ve faz-faz arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmeleri ayrı ayrı incelenecektir.



Şekil B.1 Gerilim Bölücü Modeli

Şekil B.1 de görülen standart gerilim bölücü modelinin, tek faz toprak arızası formu şekil B.2 de, faz-faz arızası formu şekil B.3 de görülmektedir.

B.1 Tek Faz Toprak Arızası (TFTA)



Şekil B.2 TFTA'nın Seri Şebeke Bağlantısı

Şekil B.2 den elde edilen bara gerilimleri aşağıdaki gibidir.

$$V_1 = V_F \frac{(Z_{s2} + Z_{s0}) + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})}{(Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{s0}) + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})}$$

$$V_2 = -V_F \frac{Z_{s2}}{(Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{s0}) + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})} \quad (\text{B.1})$$

$$V_3 = -V_F \frac{Z_{s0}}{(Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{s0}) + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})}$$

Tek faz toprak arızalarının 3. bölümde yapılan karakteristik gerilim (V) ve PN-faktörü (F) tanımlamalarına göre;

$$V = V_1 + V_2$$

$$= V_F \frac{Z_{s0} + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})}{(Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{s0}) + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})} \quad (\text{B.2})$$

$$F = V_1 - V_2$$

$$= V_F \frac{(Z_{s0} + 2Z_{s2}) + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})}{(Z_{s1} + Z_{s2} + Z_{s0}) + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})} \quad (\text{B.3})$$

$Z_{s1}=Z_{s2}$ olduğu durumlarda $F=V_F$ elde edilir.

(B.2) ve (B.3) eşitliklerine uygulandığında aşağıdaki durum ortaya çıkar.

$$\frac{F}{V} = 1 + \frac{2Z_{s2}}{Z_{s0} + (Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0})} \quad (\text{B.4})$$

Bu sonucun kaynak gerilimi ile bağlantısı olmadığına dikkat edilmelidir. F/V oranındaki bütün değerler zamandan da bağımsızdır.

$$(Z_{f1} + Z_{f2} + Z_{f0}) = \frac{V(Z_{s0} + Z_{s1} + Z_{s2}) - V_F Z_{s0}}{(V_F - V)} \quad (\text{B.5})$$

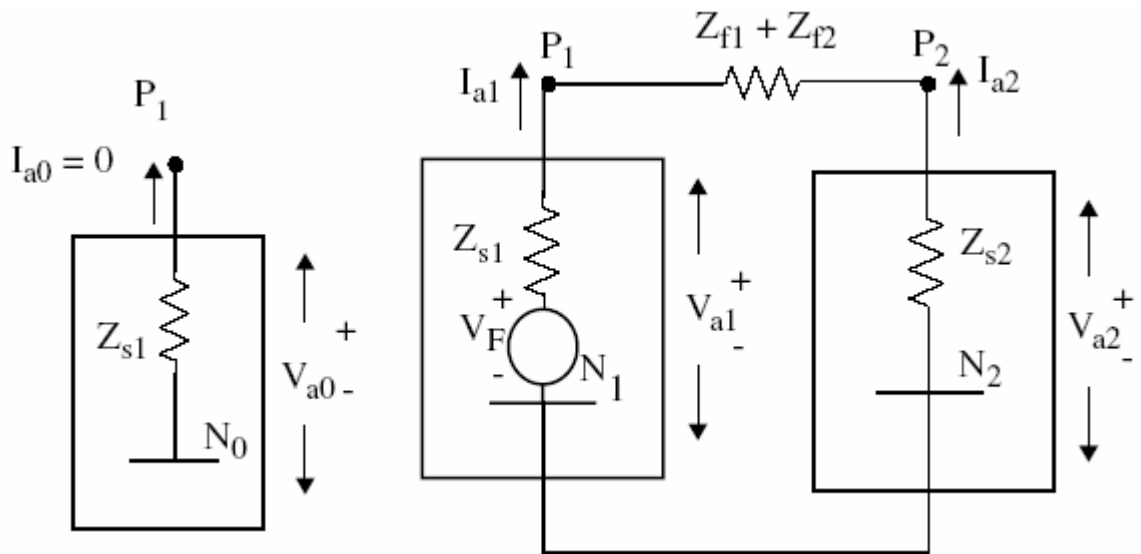
(B.5) eşitliği (B.4) eşitliğinde yerine konulduğunda aşağıdaki ifade elde edilir.

$$F = \frac{2Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} V_F + \left[1 - \frac{2Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} \right] xV \quad (\text{B.6})$$

$$= (f_0 V_F + (1 - f_0)V)$$

$$f_0 = \frac{2Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} \quad (\text{B.7})$$

B.2- Faz Faz Arası (FFA)



Şekil B.3 Faz-faz arızası için seri şebeke bağlantısı

Şekilde görülen devrenin baradaki gerilim değerleri aşağıda verilmiştir.

$$V_{a1} = V_F \frac{Z_{s2} + (Z_{f1} + Z_{f2})}{(Z_{s1} + Z_{s2}) + (Z_{f1} + Z_{f2})}$$

$$V_{a2} = \frac{Z_{s2}}{(Z_{s1} + Z_{s2}) + (Z_{f1} + Z_{f2})} \quad (\text{B.8})$$

$$V_{a0} = 0$$

Faz-faz arızasının 3. bölümde tanımlanan karakteristik gerilim (V) ve PN-faktörü (F) değerleri aşağıda verilmiştir.

$$V = V_1 - V_2$$

$$= V_F \frac{(Z_{f1} + Z_{f2})}{(Z_{s1} + Z_{s2}) + (Z_{f1} + Z_{f2})} \quad (\text{B.9})$$

$$F = V_1 + V_2$$

$$= V_F \frac{2Z_{s2} + (Z_{f1} + Z_{f2})}{(Z_{s1} + Z_{s2}) + (Z_{f1} + Z_{f2})} \quad (\text{B.10})$$

$Z_{s1}=Z_{s2}$ olduğunda $F=V_F$ olur.

(B.9) ve (B.10) eşitliklerinden aşağıdaki oran elde edilir.

$$\frac{F}{V} = 1 + \frac{2Z_{s2}}{Z_{f1} + Z_{f2}} \quad (\text{B.11})$$

$$Z_{f1} + Z_{f2} = \frac{V(Z_{s1} + Z_{s2})}{V_F - V} \quad (\text{B.12})$$

(B.12) eşitliğinden (B.11) eşitliği çıkartıldığında aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$F = \frac{2Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} V_F + \left[1 - \frac{2Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} \right] V \quad (\text{B.13})$$

$$= (f_0 V_F + (1 - f_0) V)$$

$$f_0 = \frac{2Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} \quad (\text{B.14})$$

Tek faz toprak arızası ve faz-faz arızası kaynaklı kısa süreli gerilim düşmelerinin karakteristik gerilim ve PN-faktörü değerleri aynı bağlantılara sahiptir. Arızalardan bağımsız olan f_0 sabiti, sistem parametrelerinin kısa süreli gerilim düşmesi karakteristikleri üzerindeki etkisini gösterir.

ÖZGEÇMİŞ

Gülşah GÜRLEK, 11.09.1982 de Balıkesir’de doğdu. İlkokulu Kütahya’da okuduktan sonra orta ve lise eğitimini Balıkesir’de tamamladı. 2000 yılında Balıkesir Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2004 yılında mezun oldu. Mezun olduğu yıl Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü’nde göreve başladı ve halen SEDAŞ Proje Tesis Müdürlüğü’nde Elektrik Elektronik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.