

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

129063

GERİLİM KARARLILIĞI AÇISINDAN ELEKTRİKSEL
YÜK MODELLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.Elektronik Müh. Kadir ABACI

129063

Enstitü Anabilim Dalı: ELEKTRİK –ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı: ELEKTRİK
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Ali YALÇIN

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TAYİN MERKEZİ

HAZİRAN 2002

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİLİM KARARLILIĞI AÇISINDAN ELEKTRİKSEL
YÜK MODELLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.Elektronik Müh. Kadir ABACI

Enstitü Anabilim Dalı: ELEKTRİK –ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı: ELEKTRİK

Bu tez 21/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/ Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

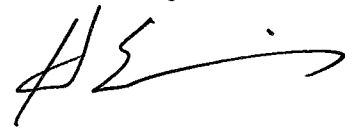
Doç. Dr. Mehmet Ali YALÇIN Doç. Dr. Erkan YAVUZÖZÜL

Jüri Başkanı

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Hüseyin EKİŞ

Jüri Üyesi



ÖNSÖZ

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç hızla artmakta, bunun sonucunda da güç sistemleri büyümekte, şebekeler genişlemektedir. Bu da bir takım problemleri beraberinde getirmektedir. Bunlardan en önemlisi tüketici noktasında gerilimin istenilen düzeyde olmaması ve de sürekliliğinin sağlanmasıdır. Kısaca gerilim kararlılığı olarak nitelendirilen bu konuda son yıllarda bir çok araştırmalar yapılmış ve halen de yapılmaya devam edilmektedir.

Bu konuyu öncelikle bana sevdiren, çalışmalarımı yönlendiren ve başlangıcından bitimine kadar bu tezin hazırlanmasında yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Ali Yalçın Bey'e, Elektrik- Elektronik Mühendisliği bölümünde bulunan tüm hocalarıma, tüm içtenliği ile beni cesaretlendiren Arş. Gör. Yılmaz Uyaroğlu, Arş Gör. Nükhet Sazak ve her türlü imkanlarımdan faydalandığım Arş. Gör. Murat Yıldız ile ilgi ve desteklerini gördüğüm bölümümüzün tüm kıymetli asistanlarına ve de sevgili eşime teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

HAZİRAN 2002

Kadir ABACI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ (veya TEŞEKKÜR).....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

GERİLİM KARARLILIĞI

2.1. Gerilim Kararlılığı, Gerilim Çökmesi ve Gerilimin Güvenliği.....	3
2.2. Gerilim Kararsızlığının Zaman İçerisinde İncelenmesi.....	4
2.2.1. Geçici hal gerilim kararlılığı.....	5
2.2.2. Uzun süreli gerilim kararlılığı.....	6
2.2.3. Uzun süreli gerilim kararsızlığı.....	6
2.2.4. Uzun süreli gerilim değişimi.....	6
2.2.4.1. Aşırı ve düşük gerilim.....	7
2.2.4.2. Sürekli kesilmeler.....	7
2.2.5. Kısa süreli gerilim değişimi.....	7
2.2.5.1. Kesilme.....	8
2.2.5.2. Gerilim azalması.....	8
2.2.5.3. Gerilim artışları(yükselmeleri).....	9
2.3. Gerilim Kararlılığı Analizlerine Giriş.....	10
2.3.1. P-V eğrileri.....	10
2.3.2. Q-V eğrileri.....	12

BÖLÜM 3.

GÜÇ SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ

3.1. Elektrik Güç Sistemlerinin Yapısı.....	14
3.1.1. Üretim.....	15
3.1.2. İletim.....	15
3.1.3. Dağıtım.....	16
3.2. Generatör Üniteleri.....	16
3.2.1. Senkron generatörler.....	16
3.3. İletim ve Dağıtım Tesislerinin İncelenmesi.....	18
3.3.1. Dağıtım Tesisleri.....	18
3.3.1.1. Transformatörler.....	19
3.3.1.2. Kademe değiştirici ve düzenleyici transformatörler.....	21

3.3.2. Şönt ve seri elemanlar.....	22
3.3.2.1. Şönt elemanlar.....	23
3.3.2.2. Seri elemanlar.....	24
3.3.2.3. Statik var kompanzator.....	27
3.3.2.4. Seri ve şönt kompanzasyonun karşılaştırılması.....	28

BÖLÜM 4.

ELEKTRİKSEL YÜKLER

4.1 Elektriksel Yükler.....	30
4.1.1. Sabit empedans yükleri.....	31
4.1.2. Sabit akım yükleri.....	31
4.1.3. Sabit güç yükleri.....	32
4.2 Yük Bileşenlerinin Statik ve Dinamik Karakteristikleri.....	32
4.3 Yük bileşenleri.....	34
4.3.1 Aydınlatma lambaları.....	34
4.3.1.1 Akkor telli lambalar.....	34
4.3.1.2 Deşarj lambaları.....	35
4.3.2. Elektronik cihazlar (Ayarlı Güç Kaynakları).....	35
4.3.3 Ayarlanabilir hız sürücüleri.....	36
4.3.4 Termostat kontrollü yükler.....	36
4.3.5. Manuel kontrollü yükler.....	37
4.3.6. Asenkron motorlar.....	37
4.3.7. Senkron motorlar.....	38
4.3.8. Klimalar ve Isı pompaları.....	38
4.3.9. Sabit enerji yükleri.....	39
4.4. Kademe Değiştiriciler ve Dağıtım Gerilim Regülatörleri.....	39
4.4.1. Seri kademe değiştiricileri.....	41
4.4.2. Şönt kompanzator yüklerde kademe değiştiricinin etkileri.....	42

BÖLÜM 5.

YÜK MODELLERİ

5.1 Giriş.....	43
5.2 Yük Modelleri.....	43
5.3 Gerilime Bağlı Yükler (Statik Yük Modelleri).....	44
5.3.1 Üstel yük modeli.....	44
5.3.2. Çokterimli yük modeli.....	46
5.4 Toparlanan Yük Dinamikleri.....	46
5.4.1 Asenkron motor modeli.....	49
5.4.1.1. Asenkron motor dinamikleri.....	49
5.4.1.2. Mekanik hareketin dinamik denklemleri.....	50
5.4.2 Mekanik momentin motor davranışına etkisi.....	51
5.4.2.1. Sabit moment modeli.....	51
5.4.2.2. Karesel moment modeli.....	52
5.4.2.3. Birleşik moment modeli.....	52
5.4.3. Kademe değiştiricilerin modellenmesi.....	52
5.4.3.1 Ayrık kademe değiştirici modeli.....	53
5.4.3.2. Sürekli kademe değiştirici modeli.....	54
5.4.3.3 Kademe değiştirici üzerinden yükün ayarlanması.....	55
5.5 Genel Toplam (Dinamik) Yük Modelleri.....	57

5.5.1 Çoklu genel yük modeli.....	58
5.5.2 Eklemeli genel yük modeli.....	59
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	60
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	78
EKLER	
EK A. Termostat Kontrollü Yükler.....	80
EK B. Asenkron Motor Modeli.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	86



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_p, a_Q	Aktif ve reaktif güçler için ZIP modelde sabit empedans yük karakteristiği katsayıları
b_p, b_Q	Aktif ve reaktif güçler için ZIP modelde sabit akım yük karakteristiği katsayıları
c_p, c_Q	Aktif ve reaktif güçler için ZIP modelde sabit güç yük karakteristiği katsayıları
d	Kademe değiştiricilerde band genişliğinin alt yarısı
f	Sistem frekansı
f_k	Termostat kontrollü cihazın bir periot esnasında açık kalma süresinin toplam süreye oranı
G	Kondüktans
G_k, G_{max}	Ortalama kondüktans , maksimum kondüktans
H	Eylemsizlik sabiti
j	İletim hattı akımının fazörü
\bar{I}	Asenkron motorun şebekeden çektiği akım
I_r	Asenkron motorun rotor akımı
k_{se}	Seri kompanzasyonun derecesi
k_{sh}	Şönt kompanzasyonun derecesi
P	Kaynak empedans gücünü kompanze edecek güç
P_g	Asenkron motorda statordan rotora aktarılan güç
P_k	Ortalama güç
P_n	Nominal güç
P_t, P_s	Aktif gücün geçici ve sürekli hal yük karakteristikleri
$P(V, f)$	Gerilimin ve frekansın fonksiyonu olan aktif güç yük karakteristiği
ΔP	Bozucu etkiden sonra aktif güç değişim miktarı
Q	Yük barasındaki aktif güç

Q_0	Reaktif gücün başlangıç güç değeri
Q_t, Q_s	Reaktif gücün geçici ve sürekli hal yük karakteristikleri
$Q(V,f)$	Gerilimin ve frekansın fonksiyonu olan reaktif güç yük karakteristiği
ΔQ	Bozucu etkiden sonra reaktif güç değişim miktarı
R	Yük direnci
R_r, R_s	Asenkron motor rotor ve stator direnci
Δr	Kademe değiştirici adım aralığı
r	Kademe değiştirici dönüştürme oranı
r^{min}, r^{max}	Kademe değiştirici dönüştürme oranının minimum ve maksimum değerleri
S	Yük barasındaki görünür güç
s	Asenkron motorun kayması,
s_{maxT}	Asenkron motorun maksimum momentteki kayma değeri
T_0	Asenkron motorun sabit moment değeri
T_d	Kademe değiştiricilerde ters zaman karakteristiğinin maksimum zaman gecikmesi
T_f	Kademe değiştiricinin kasıtlı zaman geciktirmesi
T_L	Termostat kontrollü yükler için toparlanma zaman sabiti
T_M	Kademe değiştirici için toparlanma zaman süresi
T_m	Asenkron motorun mekanik momenti
T_{max}	Asenkron motorun maksimum momenti
T_P ve T_Q	Yük modellerinde aktif ve reaktif güç için zaman sabiti
t	zaman
t_k, t_{k+1}	Kademe değiştiricilerin ortalama zaman süresi
$\Delta T_0, \Delta T_k$	Kademe değiştiricinin ilk ve ortalama zaman geciktirmesi
$T_e(V,s)$	Asenkron motorda gerilim ve kaymanın fonksiyonu olan elektriksel moment
V	Yük barası gerilimi
V_0	Yük barası geriliminin başlangıç değeri
V_n	Nominal gerilim
\bar{V}	Asenkron motor stator gerilimi
$\Delta V $	Bozucu etkiden sonra gerilimdeki değişim miktarı
V_1, V_2	Kademe değiştiricilerin birincil ve ikincil gerilim değerleri

V_2^0	Kademe değiştiricinin referans değeri
ω_0	Nominal açısal frekans
w_1, w_2	Oto transformatörü birincil ve ikincil sargısı
X	İletim hattının reaktif indüktansı
X_c	İletim hattının reaktif indüktansı
X_m	Asenkron motor magnetik reaktansı
X_r, X_s	Asenkron motor rotor ve stator kaçak reaktansı
X_t	Transformatör kaçak reaktansı
Z	Yük empedansı
z	Bağımsız yük talebi değişkenleri
z_p, z_Q	Yük modellerinde aktif ve reaktif güç yk dinamikleri ile ilgili değişkenler
z_p^{min}, z_p^{max}	Yük modellerinde aktif güç yk değişkenlerinin sınır değerleri
z_Q^{min}, z_Q^{max}	Yük modellerinde reaktif güç yk değişkenlerinin sınır değerleri
$\dot{\theta}_r$	Asenkron motorun birim saniyede radyan cinsinden rotor hızıdır
α	Yük modellerinde aktif güç için üstel değer
α_t, α_s	Yük modellerinde aktif güç için geçici ve sürekli hal üstel değerleri
β	Yük modellerinde reaktif güç için üstel değer
β_t, β_s	Yük modellerinde reaktif güç için geçici ve sürekli hal üstel değerleri
ϵ	Kademe değiştiricilerde band genişliği tolerans değeri
δ	Senkron generatör rotor açısı
φ	G faktörü açısı

ANSI	American National Standart Institue
CIGRE	Confrence Internationale des Grands Resaux Electriques
HVDC	High Voltage Direct Current
IEEE	International Electrical Electronics Commitee
IEC	International Electrotechnical Commission
SVC	Static Var Compensatr
TCR	Thyristor controlled reactors
TSC	Thyristor Switched Capacitors

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Örnek bir iletim hattına ait P-V ve Q-V eğrileri	11
Şekil 3.1 Bir elektrik güç sisteminin yapısı	14
Şekil 3.2 Seri transformatörün bağlantıları.....	22
Şekil 3.3 Seri kapasitörlü kompanzasyon ekipmanlarının tipik şeması.....	26
Şekil 4.1 Büyük güçlü bir servis transformatörünün tek-hat şeması.....	40
Şekil 4.2 Seri iki kademe değiştiricinin gerilimi dağıtması.....	42
Şekil 5.1 Bir kademe değiştiricinin eşdeğer devresi.....	53
Şekil 5.2 Generatör-hat-kademe değiştirici sistem.....	55
Şekil 6.1 Yapılan simulasyon çalışmalarında uygulanan adım gerilimi işareti.....	60
Şekil 6.2 Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre üstel modelin aktif güç cevapları	65
Şekil 6.3 Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre genel toplam yük modelinin aktif güç cevapları.....	65
Şekil 6.4 Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre üstel modelin aktif güç cevapları.....	66
Şekil 6.5 Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre üstel modelin aktif güç cevapları.....	66
Şekil 6.6 Farklı katsayılarda çokterimli modelin cevapları.....	67
Şekil 6.7 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç değişiminin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması...68	68
Şekil 6.8 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç değişiminin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması...68	68
Şekil 6.9 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç değişiminin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması...69	69
Şekil 6.10 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç değişiminin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması...69	69

Şekil 6.11 Termostat kontrollü yüklerin adım gerilimine karşı cevapları.....	70
Şekil 6.12 Termostat kontrollü yüklerin adım gerilimine karşı cevapları.....	70
Şekil 6.13 Termostat kontrollü yüklerin adım gerilimine karşı cevapları.....	70
Şekil 6.14 Kademe değiştiricilerin adım gerilimine karşı cevapları.....	71
Şekil 6.15 Kademe değiştiricilerin adım gerilimine karşı cevapları.....	71
Şekil 6.16 Kademe değiştiricilerin adım gerilimine karşı cevapları.....	71
Şekil 6.17 Küçük tip endüstriyel motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar.....	72
Şekil 6.18 (Şekil 6.17)'den farklı karakteristik değerlere sahip küçük tip endüstriyel motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar.....	72
Şekil 6.19 Büyük tip endüstriyel motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar.....	73
Şekil 6.20 Eysel motor yüklerinin adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar.....	73
Şekil 6.21 Ortalama değerlere sahip motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar.....	74
Şekil 6.22 Tek fazlı asenkron motor yüklerinin adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar.....	74
Şekil 6.23 Sabit moment motor modeli ile karesel moment motor modelinin adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar.....	75
Şekil A.1 Paralel bağlı termostat kontrollü cihazlar.....	80
Şekil A.2 Termostat çalışma periyodu.....	81
Şekil B.1 Asenkron motorun sürekli hal eşdeğer devresi.....	83
Şekil B.2 Asenkron motorun Thevenin eşdeğer devreleri.....	83

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1 Bazı yük bileşenlerinin α ve β değerleri.....	.45
Tablo 5.2 Dinamik yük durum ve talep değişkenleri.....	48
Tablo 5.3 Endüstriyel asenkron motorlara ait pu cinsinden parametreler	50



ÖZET

Anahtar Kelimeler : Elektriksel Yükler, Gerilim Kararlılığı, Yük Karakteristikleri, Yük Modelleri

Elektrik enerjisi en temiz ve en yaygın olarak kullanılan bir enerji türüdür. Bu enerji, elektriksel yükler (lambalar, motorlar, klimalar...vb.) tarafından ısı, ışık, hareket... vb. enerjisi biçimlerine dönüştürülür. Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacına paralel olarak elektriksel yükler de artma eğilimindedir.

Elektrik enerjisi depo edilemeyeceğinden dolayı generatör, artan yük miktarını karşılamak için yeni duruma ayak uydurmak zorundadır. Eğer bu uyum sağlanamazsa gerilim kararlılığı kaybolmakta, gerilim çökmesi olayı başlamaktadır.

Elektriksel yükler gerilime karşı çok duyarlıdır ve gerilim kararlılığını etkileyen en önemli faktördür. Üstelik karakteristik yapıları da oldukça farklıdır. Bu nedenle bazı yükler, gerilim değişimleri (artma veya azalma) sonucunda güç sistemini olumsuz biçimde etkileyebilirler. Gerilim kararlılığı çalışmalarında yüklerin bu davranışlarının bilinmesi çok önemlidir.

Yüklerin davranışlarını tahmin etmek için çeşitli yük modelleri geliştirilmiştir. İyi bir yük modelinden, güç sisteminde herhangi bir bozucu etki sonrası yükün davranışına uyumlu bir cevap vermesi istenir.

Bu çalışmada farklı karakteristik yapılara sahip çeşitli elektriksel yüklerin gerilim kararlılığına olan etkileri araştırılmıştır. Gerilim değişimleri esnasında yük modellerinin sonuçları alınmış ve mukayese edilmiştir. Buna ilave olarak gerçek yük davranışı ile uyumlu olup olmadığı incelenmiştir.

SUMMARY

IN THE VOLTAGE STABILITY FIELD ELECTRICAL LOAD MODELS

Key words : Electrical Loads, Voltage Stability, Load Characteristic, Load Models

Electrical energy is the cleanest and the commonest kind of energy . This energy is transformed into heat, light and movement energy by electrical loads (lamps, motors, air conditions,...etc.). Today the consumption of electrical loads is in the tendency of increases in parallel to electrical energy.

Because of electrical energy can not be stored, generator has to be in accordance with the new situation to meet the quantity of increasing load. If this accordance can't be confirmed voltage stability loses and voltage collapse starts.

Electrical loads are very sensitive to voltage and they are the most important factors to effect voltage stability. And also their characteristic constructions are very different for this reason and as a result of voltage changes (increasing or decreasing) some loads can affect power system negatively. In the voltage stability studies it is very important to know.

This behaviour of the loads several load models have been developed to guess. When there is a post disturbance on the power system a good load model is requested to respond in accordance with the load behaviour.

In this study the effect of various electrical loads with different characteristic constructions on voltage stability, have been investigated. During voltage changes the results of load models have been obtained and compared also these results have been inspected whether they respond in accordance with real load behaviour or not.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik Güç Sistemleri iletim ve altiletim hatları , dağıtım şebekeleri ve çeşitli enerji tüketicileri ile güç kaynaklarının oluşturduğu büyük ve kompleks yapılardır. İletim ve altiletim şebekeleri ana generatör ile yük merkezlerini bağladığı için dağınık, buna karşılık dağıtım şebekeleri dağıtım yapılan bölgede her aboneye ulaşması gerektiği için oldukça sıkışık bir yapıya sahiptirler. Bunun anlamı tipik bir güç sisteminde iletim ve altiletim şebekeleri yüzlerce düğümlerden oluşmasına rağmen dağıtım şebekelerinin binlerce düğümden meydana gelebilmesidir. Bu nedenle güç sistemleri sadece iletim ve altiletim bölümleri düşünülerek analiz edildiğinde genellikle dağıtım sistemleri gibi modellenemez [1].

Enerji kalitesi şebekenin her noktasında tanımlanabilir, ancak kullanıcı için besleme noktasındaki kalite önem taşır. Enerji kalitesini genellikle lineer olmayan yükler bozar. Şebeke trafosunun doyması, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanması ya da yıldırım diğer bozucu nedenlerdir [2]. Gerilim kararlılığı analizlerinde uzman olmak için yük karakteristiklerini ve nasıl modellenebileceğinin açıklanması gerekmektedir [3].

Elektrik güç sistemlerinde yüklerin karakteristikleri çeşitlilik göstermektedir. Yüklerin bu davranışlarından dolayı onlara ait çok sayıda çeşitli model yaklaşımları yazılmıştır. Son IEEE yayınlarında bu bilgileri özetlemek için tavsiye edilen standart yük modellerine ilişkin bir bilgi yayınlanmıştır. Bunlar statik yük modelleri(sabit empedans, sabit güç, sabit akım ve bu modellerin kombinasyonları ile) dinamik yük modelleri (generic dynamics load modelling) olarak iki ana gruba ayrılabilir [4]. Genellikle hem güç sistemleri mühendisleri ve hem de akademik araştırmacılar güç ve gerilim arasındaki ilişkiyi göstermek için sistem kararlılığı ve planlama çalışmalarını statik yük modellerinden yararlanarak yapmaktadırlar. Bu modeller statik ve zamanla değişmeyen olduğu için çeşitli çalışma durumlarında yük

davranışları başarılı bir şekilde elde edilememektedir. Bazı yayınlarda bu statik yük modellerinin başarısından şüphelenilmekte ve yükün davranış düşüncesi belirgin değildir. Üstelik yük davranışı çoğunlukla dinamiktir. Zamanın herhangi bir anında gerilim ve frekans değişimleri başladığında aktif ve reaktif güçlerde de değişim başlamaktadır. Bununla birlikte gerilim çökmesi dinamik bir olaydır. Bu sebepler yüzünden dinamik yük modelleri düşünülmelidir [5].

Bir yük modelinin geliştirilmesi genel olarak iki adımdan oluşur. (1) yük modeli yapısının geliştirilmesi (2) yapısal parametrelerin türetilmesi. İlk önce bir yük modeli yapısı için parametreler, parametrelerin tahmin yaklaşım metodu kullanarak, türetilen yapılar için önerilir.

Yük karakteristiklerinin sistem dinamiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Yanlış yük modellemesi, güç sistemini gerçek bir sistem çökmesine yada ayrılmasına kadar götürebilmektedir. Doğru yük modellemeleri sistem dinamiği esnasında yükün davranışını yakalamakta ve böylece güç sistemleri kararlılık ve kontrol limitleri kesin olarak hesaplanıp çalışma ve planlama noktalarında kritik değerler bilinebilmektedir [6]. Birçok çalışmalar göstermiştir ki, yükün tanımlanması analiz sonuçlarında önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle geliştirilen yük modeli çok önemlidir[7].

BÖLÜM 2. GERİLİM KARARLILIĞI

Bir enerji sisteminin planlanması, işletimi ve kontrolü önemli ölçüde kararlılık kavramları ile yönlendirilir. Klasik anlamda kararlılık, bir bozucu etkiye (kısa devreler, açma- kapama olayları, büyük miktarlarda yük almalar gibi) maruz kalan sistemin, bu etki kalktıktan sonra, tekrar bozucu etki öncesi çalışma koşullarına dönebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Dünyanın çeşitli ülkelerinde enerji sistemlerinde son yıllarda meydana gelen çeşitli olaylardan sonra gerilim kararlığına artan bir ilgi duyulmaya başlanmıştır .

2.1. Gerilim Kararlılığı, Gerilim Çökmesi ve Gerilimin Güvenliği

Gerilim kararlılığı, bir enerji sisteminin yük baralarının gerilimlerinin genliklerini, gerek sürekli halde, gerekse geçici olaylar esnasında, belirli işletme limitleri içinde tutabilme yeteneği olarak tanımlanır [8]. Daha basit bir izah tarzı üretim kaynağından tüketiciye reaktif güç iletiminin kararlı bir şekilde iletilmesi şeklinde yapılabilir. Gerilim kararlılığı geniş bir kavramdır ve bir çok olayları kapsamaktadır. Bu nedenle gerilim kararlılığı bir çok mühendisler için farklı anlamlar ifade eder. Güç sistemlerinde asenkron motorlar, havalandırıcılar veya HVDC (high voltage direct current) hatlarındaki olaylar hızlı gerçekleşen olaylardır. Buna ilaveten mekanik kademe dönüştürücüler daha yavaşlardır. Mühendisler ve araştırmacılar son 10 yılda gerilim kararlılığının statik veya dinamik bir olay olup olmadığını yaklaşık analiz metotları ile tartışmışlardır.

Gerilim kararsızlığı gerilim kararlılığının yok olmasıdır ve gerilimde artma ve azalma gibi sonuçlar doğurmaktadır. Kararlılığa ulaşmak için kontrol mekanizmaları, kararlılık limitini tespit ederek kararlılığı sağlayabilirler. Gerilim kararsızlığı ve gerilim çökmesi çoğu mühendisler tarafından birbirine benzetilmektedir.

Gerilim kararsızlığı veya çökmesi dinamik bir süreçtir. Kararlılık kelimesi dinamik bir sistemi ima eder. Güç sistemleri dinamik bir sistemdir. Senkron generatörde ki rotor açısının kararlı alınması, temel olarak dinamik yüklerin gerilim kontrolü anlamına gelmektedir. Gerilim kararlılığı yük kararlılığı olarak ta isimlendirilebilir.

Gerilim kararlılığı tüm güç sistemleri kararlılığının en önemli bir göstergesidir. CIGRE tarafından geliştirilen açıklamalar buraya uyarlanacak olursa bir güç sisteminin herhangi bir çalışma noktasında meydana gelen herhangi bir arıza sonrasında gerilim kararlı kalabiliyorsa yük yakınlarındaki gerilim değeri arıza öncesi gerilim değerlerine yakındır denebilir.

Gerilim kararlılığı normal olarak yük artışları veya güç transferi gibi büyük karışıklıklar içerir. Bununla birlikte kararsızlık, gerilimde periyodik olmayan bir azalma meydana getirir. Kontrol mekanizmasının kararlı olmaması neticesinde gerilim kararsızlığı salınımları mümkün olabilir. Örneğin çok yüksek kazançlı bir SVC (static var compensatör) veya bir şönt kapasitör bankını kontrol eden bir gerilim rölesindeki arıza yüzünden kontrol mekanizması, kararlılığı meydana getiremez. Kendini uyaran döner makinalar için aşırı gerilim ve kararsızlık bu açıklamaların dışındadır. Aşırı gerilim gerçekten bir güç sistemi probleminden daha fazla bir ekipman problemidir. Literatürde buna gerilim güvenliği ifadesi verilir. Bunun anlamı bir sistemin sadece kararlı olmakla kalmayıp devamlı yük artışları sonucunda bile kararlı kalmayı başarabilme kabiliyetidir.

2.2. Gerilim Kararsızlığının Zaman İçerisinde İncelenmesi

Gerilim kararsızlığı veya çökme süresi saniyelerden dakikalara varan bir zaman dilimi içerisindeki bir değişimdir. Birçok işletme araçları ve kontrol mekanizmaları gerilim kararlılığında bu zaman dilimi içerisinde çeşitli rol oynarlar. Örneğin asenkron motor, generatör ve uyarım sistemleri, SVC'ler gibi işletme araçlarının dinamikleri gerilim kararlılığına birkaç saniyeler mertebesinde cevap verirlerken kademe değiştiriciler, gerilim regülatörleri, yük transfer ediciler gibi kontrol mekanizmalarının cevapları ise gecikmektedir. Burada bu süreler geçici hal gerilim

kararlılığı ve uzun süreli gerilim kararlılığı olarak isimlendirilir. Şimdi bu sınıflandırmayı çeşitli senaryolarla ifade etmeye çalışalım.

2.2.1. Geçici hal gerilim kararlılığı

Bu süre yaklaşık 0-10 sn arasındadır ve rotor açısı kararlılığı için yeterli bir süredir. Gerilim kararsızlığı ile rotor açısı kararsızlığı birbirine yakın olaylar değildirler ve her iki olay arasında bir takım farklılıklar mevcuttur. Buna göre şu şekilde bir soru sorulabilir. Senkronizma kaybına gerilim çökmesi mi yoksa gerilim çökmesine senkronizma kaybı mı neden olmaktadır? Gerilim çökmesi DC konvertörler ile asenkron motorlar gibi yük bileşenlerinin uygun olmayan hızlı davranışları sonucunda meydana gelmektedir.

Örneğin bir kısa devre arızasının yavaş bir biçimde temizlenmesi esnasında asenkron motorlar reaktif güç talebini arttırır. Bu da gerilim değerinin azalmasına neden olur. Eğer motor koruması için gerekli koruma tedbirleri faaliyete geçmezse gerilim çökmesine katkıda bulunulur. Kısa devrelerde motorlar çok zor toparlanırlar. Durmaya eğilimli motorlar yakınlarındaki motorları da durdururlar. Simülasyon çalışmalarında motorlar bir dinamik aygıtlar gibi gösterilmiştir. Buna ilave olarak şönt kapasitör banklarının gerilimin karesi ile orantılı olan reaktif güç karakteristikleri nedeniyle gerilim çökmesine olumsuz etkileri olmaktadır.

Elektriksel sistemde, frekans altında yük değiştirme (ilerletme) çalışmaları sistemde balanssızlık meydana getirdiğinden gerilimin çökmesi olasılığı % 50'den fazladır. Gerilim frekanstan daha hızlı düşer. Gerilime duyarlı yüklerde, frekansın yavaş bir şekilde azalması ve frekans altında yük değişiminin gecikmesi gerilim düşmesini etkiler. Gerilim altında yük değişimi olabilir. Son yıllarda HVDC'lerin güç sistemlerinde yer alması geçici hal gerilim kararlılığı problemlerine sebep olmaktadır.

2.2.2. Uzun süreli gerilim kararlılığı

Bu süre birkaç (2-3) dakikadır. Operatörlerin müdahalesi sık sık mümkün değildir. Orta dönemli kararlılık ve geçici hal sonrası veya arıza sonrası kararlılık olarak ta isimlendirilebilir. Senaryo generatörden çok uzaktaki ani ve büyük arızaları, büyük güç ve yükleri içerir. Sistem gerilime duyarlı yükler yüzünden geçici bir süre kararlıdır. Arızalar yük bölgelerinde reaktif güç kaybına ve gerilim azalmalarına sebep olur. Kademe değiştirici transformatörler ve gerilim regülatörleri yük seviyesini düzenlerler. Yükün yeniden kendini toparlaması gerilimin daha çok azalmasına neden olur. Generatör ve iletim hattı artık yükleri desteleyemez ve reaktif kayıplar hızlı gerilim azalmalarına neden olurlar. Bu da kısmen veya tamamen gerilim çökmesine neden olur. Sonuçta asenkron motor durur ve koruma röleleri çalışır. Yüklerin tipine bağlı olarak çökme kısmen veya tamamen olabilir.

2.2.3. Uzun süreli gerilim kararsızlığı

Kararsızlık, çok büyük bir yükün yavaş yavaş artması veya büyük bir güç transferinin hızla artması sonucunda daha uzun bir zaman periyodundadır. Yük artımı dakikada megawatt' lar seviyesinde ve oldukça hızlı olabilir. Operatörlerin sisteme tam vaktinde müdahale etmeleri kararsızlığı engellemek için gerekli olabilir [3]. Buradan itibaren güç sistemlerinde geçici halden sonra, herhangi bir arıza sonrası gerilimde meydana gelen değişimleri, uzun süreli gerilim değişimi ve kısa süreli gerilim değişimi olarak ikiye ayırmak mümkündür

2.2.4 Uzun süreli gerilim değişimi

Uzun süreli gerilim değişimlerinde frekansın etkin değerinde 1 dakikadan daha uzun değişimler mevcuttur. ANSI (American National Standards Institute) C84.1 bir güç sisteminde sürekli hal gerilim toleransı belirlenmiştir. Gerilim değişimleri 1 dakikadan daha büyük ANSI limitleri değerlerinde olduğu zaman uzun süreli gerilim değişimi olarak düşünülebilir. Uzun süreli gerilim değişimi ya aşırı gerilim yada düşük gerilimdir. Aşırı ve düşük gerilimler genellikle sistem hatalarının sonuçları değildir, fakat anahtarlama işlemleri ve sistemdeki yük değişimleri buna neden olur.

2.2.4.1. Aşırı ve düşük gerilim

Aşırı gerilim 1 dakikadan daha uzun bir süre için güç frekansında gerilimin etkin değerinde %110' dan daha büyük değerlerdeki artmadır. Aşırı gerilimler genellikle büyük bir yükün veya bir kapasitör bankının devreden atılması işlemlerinin sonucudur. Transformatörlerdeki yanlış kademe ayarları da sistemde aşırı gerilime sebep olabilir. Bir düşük gerilim ise 1 dakikadan daha uzun bir süre için güç frekansında gerilimin etkin değerinde %90' dan daha düşük değerlerdeki azalmadır. Düşük gerilimler aşırı gerilimlere neden olan olayların tersi bir işlemler sonucu oluşur. Bir yük anahtarının açılması sonucu yükün devreye alınması veya bir kapasitör bankının anahtarının kapatılması gibi. Gerilim regülasyon ekipmanları sistemi tolerans sınırları içerisinde tutmaya ve gerilimi eski değerine döndürmeye çalışırlar. Aşırı yüklenen devrelerde de gerilim düşümüne rastlanır.

2.2.4.2. Sürekli kesilmeler

Gerilim kaynağının 1 dakikadan daha fazla bir zaman periyodunda kesilmesidir. Gerilim kesilmeleri 1 dakikadan daha uzun bir süre devam ederse genellikle bu kalıcı bir arızadır ve tamir edilmesi için müdahale edilmesi gerekmektedir. Sürekli kesilme ifadesi servis dışı kalma anlamına gelmez. Üretim şirketleri benzer olayları açıklamak için güvenilirlik raporlarında bu iki terimi de kullanırlar. Servis dışı kalma terimi IEEE standart 1008'de belirlenmiştir. Tanım olarak bir sistemdeki bir bileşenden beklenen işlevlerin yerine getirilememesidir. Kesilme terimi de güç kalitesi literatüründe kullanılır, güvenilirlikle ilgisi yoktur. Böylece bu terim uzun periyotlar için gerilimin yok olması ile daha fazla ilgilidir.

2.2.5. Kısa süreli gerilim değişimi

Bu kategoriye gerilim azalması ve kısa kesilmeler girer. Sürelere bağlı olarak değişimler ani, bir anlık veya geçici olabilir.

Kısa süreli gerilim değişimlerine büyük güçlü makinaların enerjilendirilmeleri esnasında yüksek yol alma akımları veya sargılarda meydana gelen kopuklukların

etkisiyle ortaya çıkabilecek hatalar neden olur. Arızanın gerilim azalması, gerilim yükselmesi veya tamamen kesilmesi şeklinde olması hatanın sistemdeki yerine ve durumuna bağlıdır. Hata durumu; arıza noktasından uzak veya yakın olabilir. Her durumda da hata esnasındaki gerilimdeki gerçek etki koruma araçlarının hatayı temizleme işlemine kadar geçen süre kısa süreli gerilim değişim süresidir.

2.2.5.1. Kesilme

1 dakikayı aşmayan bir zaman periyodu için güç kaynağından veya yük akımından 0.1pu'den daha az bir azalma olduğunda bir kesilme meydana gelir. Kesilmeler güç sistemleri hatalarının (bir sigortanın patlaması veya bir kesicinin açması) ve ekipmanların görevlerini yerine getirememesi sonucudur. Bunun maliyeti çok yüksektir . Buna karşın koruma tedbirlerinin alınması gereklidir. Sistemdeki bir hata yüzünden kesilmenin süresi oradaki koruma araçlarının çalışma zamanları tarafından belirlenir. Ani bir şekilde yeniden kapamalar genellikle 30 periyottan daha az ve kalıcı olmayan hatalara neden olurlar. Koruma aygıtlarının korumada gecikmesi ani, bir anlık ve geçici kesilmelere yol açabilir. Kesilmenin devam etmesi, düzensiz bağlantılardan meydana gelen ekipmanların işlevlerini yerine getirememesidir. Bazı kesilmeler gerilimin azalmasının bir sonucu olabilir. Bu tür kesilmeler kaynak tarafında meydana gelen hatalar yüzündendir. Gerilim azalması hata anı ile koruma aygıtlarının çalışmaya başlaması arasındaki zamanda meydana gelir.

2.2.5.2. Gerilim azalması

0.01 saniyeden 1 dakikaya kadar devam eden süre içerisinde gerilim değerinde 0.1 pu ila 0.9 pu arasındaki azalmadır. Bir başka deyişle bir noktada aniden %10 -%90 arasında gerilim azalmasıdır. Süre daha da kısa olabilir.

Güç kalitesi yıllardır kısa süreli gerilim azalmasını nitelendirmek için bu terimi kullanmaktadır. Bu terim olayı tam olarak açıklayamamasına rağmen, üretici şirketler, kullanıcılar tarafından kabul edilmiştir. IEC standartlarında bu olay dips terimi ile açıklanmaktadır. Aslında bu iki terim birbirlerinin yerlerine de kullanılabilir. Ancak sags ifadesi daha çok kullanılmaktadır.

Gerilim azalması genellikle sistem arızaları (deşarj lambalarının sönmesi, kontrol cihazlarının düzenli çalışmaması, motorların durması veya hız değişimleri v.b.) ile ilişkilidir fakat ağır yüklerin devreye alınması veya büyük motorların yol almaları esnasında da meydana gelebilir. Son zamanlara kadar gerilim azalması olaylarının süresi açık bir şekilde belirlenememiştir. Tipik olarak bu süre bazı yayınlarda 2ms'den 2 dakikaya kadardır. Ancak 1 dakikadan daha uzun süreli gerilim azalmaları da olabilir, bu tür durumlarda gerilim, gerilim regülatörleri tarafından kontrol edilebilirler. Bu nedenle bunlar uzun süreli gerilim değişimleri kategorisine dahil edilebilir. Gerilim azalması süresi üç değer etrafında kümelendirilebilir. 4 periyot (kısa devreyi temizleme zamanı), 30 periyot (kesiciler için yeniden kapanma) ve 120 periyot (kesicinin yeniden kapanmasının gecikmesi zamanı). Tipik olarak hata temizleme zamanı hata akımının büyüklüğüne ve aşırı akım rölelerinin tiplerine bağlı olarak 3 periyottan 30 periyota kadar olan bir süredir.

Gerilim azalmalarına karşın mümkün çözümler güç kullanıcılarının veya güç kaynaklarının kesintisiz kullanılmasının sağlanmasıdır.

2.2.5.3. Gerilim artışları (yükselmeleri)

0.01 saniyeden 1 dakikaya kadar devam eden süre içerisinde gerilim değerinde 1.1 pu ila 1.8 pu arasındaki artmadır. Artmalar tıpkı azalmalar gibi sistem hatalarının durumlarıyla ilişkilidir fakat azalmalar kadar yaygın değildir. Gerilim artmaları 3 fazlı bir devrenin hata olmayan fazlarında da görülür. Yani bir Faz-Toprak arızası meydana gelen sistemde arızasız fazlarda gerilim artması meydana gelebilmektedir. Gerilim artmaları büyük bir yükün devreden çıkarılması veya bir kapasitör bankının devreye alınması sonucu oluşur. Gerilim artmaları elektrik kontrol ve ayarlanabilir motor denetleyicilerinin üzerinde olumsuz etki yapmaktadırlar.

Gerilim artmaları gerilim değerlerindeki büyüklük ve sürelerine göre karakterize edilirler. Bir hata esnasında bir gerilim artmasının şiddeti hata yerine, sistem empedansına ve toprağa bağlıdır. Topraklanmamış bir sistemde tek-faz toprak arızası esnasında faz-toprak gerilimi 1.73 pu olacaktır. Topraklı bir sistemde hatasız fazlarda

gerilimdeki artış değeri daha az olacaktır. Çünkü genellikle transformatör sargıları üçgen- yıldız olduğu için eşdeğer devre empedansı daha düşüktür.

Bir çok yazarlar tarafından anlık aşırı gerilim terimi gerilim artması olayı içinde kullanılmaktadır. Gerilim artması problemlerini çözmek için gerilim azalmalarında uygulanan yöntemler geçerlidir [9].

2.3 Gerilim Kararlılığı Analizlerine Giriş

Gerilim kararlılığı veya gerilim çökmesi, sık sık güç akışı analizleri için uygulanabilir elverişli bir problem gibi görünmektedir. 1987'de yayınlanan bir CIGRE raporunda güç sistemlerinin yaklaşık olarak planlanması için statik modellere dayalı bir takım analiz metotları tavsiye edilmiştir. Sürekli hal analizlerinde sık sık gerilim kararsızlığı problemlerin en yavaş biçimleri analiz edilir. Analizlerde güç akışı metodu öncelikli çalışma noktasıdır. Simulasyon ani bir biçimde meydana gelen bir servis dışı kalma anında veya yükün yavaş yavaş arttırılması esnasında yapılır. Arıza sonrası güç akışı analizlerinin yanısıra bir başka iki metot geniş bir şekilde kullanılır. P-V ve Q-V eğrileri. Bu iki metot kalıcı halde gerilim kararlılığı limitleri içerisinde yük artımının etkilerini açıklar. Elverişli güç akışı programları da yaklaşık analizler için kullanılabilir.

Şekil 2.1'de örnek bir iletim hattına ait P-V ve Q-V eğrileri verilmiştir. İletim hattının sabitleri \hat{A} ve \hat{B} olmak üzere

$$\hat{A} = (0.8 + j0.000276) \text{ pu}$$

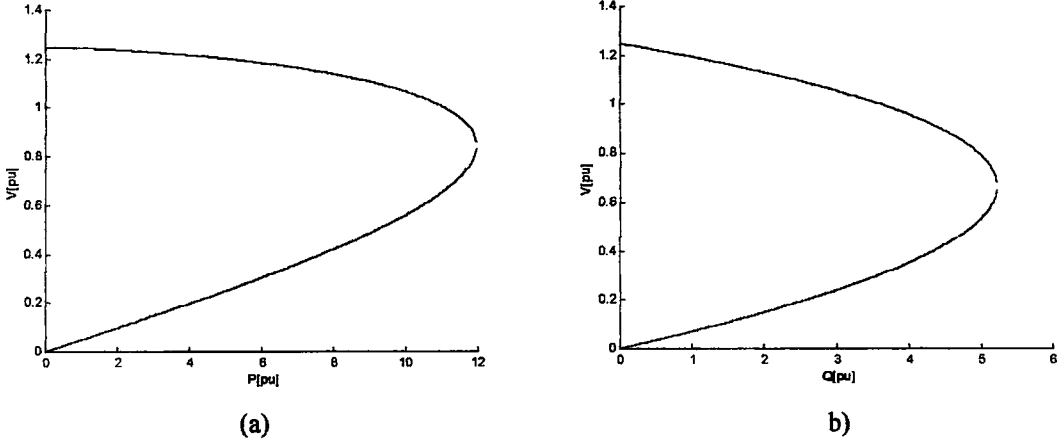
$$\hat{B} = (0.0045 + j0.0475) \text{ pu}$$

alınmıştır.

2.3.1. P-V eğrileri

Gerilim kararlılığı incelemelerinin klasik yolu, statik yük akışı analizlerine dayanmaktadır. Sonuçlar genellikle, aktif güç – gerilim ordinatlarında P-V eğrileri ile gösterilirler. P-V eğrisi üzerinde gerilim kararsızlık noktası açıkça görülebildiğinden, statik analizler gerilim çökmesinden korunmak için faydalı olmaktadır. Ancak, statik

yaklaşım, gerilim kararlılığının dinamik davranışı hakkında yeterli bilgi veremeyeceğinden, dinamik yaklaşımında göz önüne alınması gerekecektir [8].



Şekil 2.1 Örnek bir iletim hattına ait P-V ve Q-V eğrileri (a) $\cos\phi=1$ için P-V eğrisi (b) $\cos\phi=0.668$ için Q-V eğrisi

P-V eğrileri gerilim kararlılığı analizleri için faydalıdır. Bu metot birleşik büyük sistemler içinde kullanılır. Burada P bir bölgedeki toplam yüküdür. V ise kritik bir barada ki gerilimdir. P bir iletim hattının sonuna aktarılan güç de olabilir. Gerilim birçok baralardan okunabilir.

P-V Eğrileri yük karakteristiğinin gerilimin bir fonksiyonu olduğu durumlarda analiz için oldukça elverişlidir. Örneğin bir omik yük $P_{yük} = V^2/R$ olarak ifade edilebilir. Gerilime bağımlı olmayan sabit güç yükleri P-V eğrilerinin dikey eksenleri boyunca yer alır.

Elde edilen P-V eğrileri üzerinde, sistemin alıcı ucundaki gerilim-güç profili izlenebilir ve kritik nokta belirlenebilir. Daha önemlisi, bu eğriler yardımıyla, kaynak geriliminin değişik değerlerde sabit tutulması, iletim hattında değişik yüzdelerde seri ya da şönt kompanzasyon yapılması, yine iletim hattının tek ya da çok hattan oluşması, hat sonunda farklı güç katsayılı yüklerin olması gibi çeşitli işletim durumlarının yanısıra, yük altında kademe değişiminin etkisi ve kısmen yüklerin dinamik davranışlarının etkilerini incelemek mümkün olmaktadır.

2.3.2. Q-V Eğrileri

Büyük sistemler için eğriler bir güç akışı simülasyonu ile elde edilebilir. Q-V eğrileri bir test veya kritik bir barada reaktif güce karşı çizilen gerilim eğrileridir. Bilgisayar simülasyonlarında ilgili bara reaktif güç limiti olmayan bir PV barasına dönüştürülür. Güç akışı seri bir senkron kondenserin gerilim programı için simüle edilir ve kondenserin reaktif çıkışı gerilim değerlerine karşı çizilir. Kapasitif reaktif güç dikey ekseninde gösterilir. Test barasında şönt reaktif kompanzasyon uygulanmadığı durumlarda çalışma noktası başlangıç olarak sıfırdır. Hayali senkron kondenser reaktif noktaya taşınır. Q-V eğrilerinin bir çok avantajları vardır. Bunlar;

- Gerilim güvenliği reaktif güçle çok yakından ilgilidir ve eğriler test (kritik) barasındaki limit değerleri verir. Reaktif sınır güç (MVAR) çalışma noktasından ya eğrinin dip noktasına ya da gerilimin karesi ile değişen bir kapasitör bankının uygulandığı mesafe arasındadır. Test barası gerilimin kontrol edildiği bir bölgedeki tüm baralar için uygulanabilir.
- Q-V eğrileri sistemin sağlamlığını kontrol etmek için bir P-V eğrisi boyunca hesaplanabilir.
- Q-V eğrileri yardımıyla test barasının şönt reaktif kompanzasyon (SVC) karakteristikleri doğru bir biçimde elde edilir. Çalışma noktası Q-V sistem karakteristiği ile reaktif kompanzasyon karakteristiklerinin kesişme noktasıdır. Gerilim kararlılığı problemlerini çözmek için reaktif kompanzasyon değerlerinin bulunmasında fayda vardır.
- Q-V eğrilerinin eğimi test barasının bükülmezliğini gösterir. (bir ΔQ için ΔV)
- Generatörlerin reaktif güç eğrileri de aynı grafikte gösterilebilir. Generatörler VAR limit değerlerine ulaştıklarında Q-V eğrisinin eğimi azalmaya başlar eğrinin dibine yaklaşır [3].

BÖLÜM 3. GÜÇ SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ

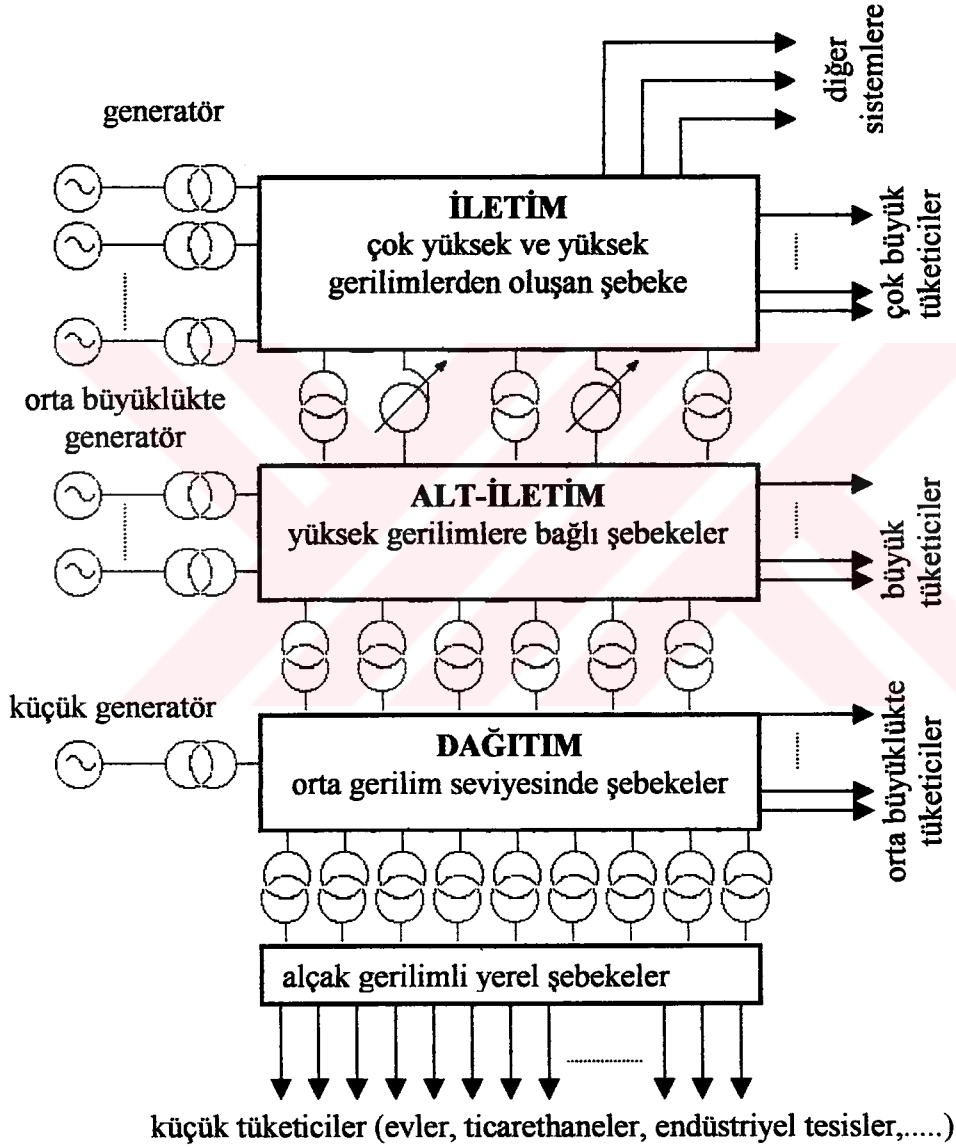
Günümüzde enerji çok büyük miktarlarda endüstri, tarım, ulaşım, haberleşme, konutlar gibi birçok kesimler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bir yıl içerisinde istenilen toplam enerji yıllık enerji talebi olarak isimlendirilir ve petrol, kömür, doğal gaz ve uranyum gibi birincil enerji kaynaklarından faydalanılır. Bu tür enerji kaynakları fosil enerji kaynakları olarak nitelendirilebilir ve elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde bu tür yakıtların kullanılmasının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları olarak ta isimlendirilen su, biogaz, güneş, rüzgar, jeotermal, dalga enerjileri de son yıllarda hızla kullanılmaktadır.

Büyük miktarlarda elektrik enerjisi kolay ve elverişli bir şekilde depo edilemez. Bu nedenle herhangi bir anda enerji talebi generatör tarafından üretilen elektrik enerjisi ile karşılanmaktadır. Bir başka deyişle bu talep generatör üretimine uymak zorundadır. Bununla birlikte güç sistemleri önceden bilinemeyen ve çok hızlı bir şekilde ortaya çıkan yük değişimlerine karşı güvenli bir şekilde ayak uydurmak zorundadır. Bir güç sisteminin güvenilirliği olarak ta adlandırılan bu özelliği, tüketicilere sunulan en önemli avantajlardan birisidir. Yük değişimleri esnasında ikinci bölümde anlatıldığı gibi gerilimde meydana gelen değişimler tüketiciye sunulan enerjinin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. O halde burada kaynak tarafından sağlanan elektrik enerjisinin iyi kalitede olması için;

- Regüleli ve belirli gerilim düzeylerinde az flukslu
- Regüleli ve belirli frekans düzeylerinde az flukslu
- Düşük harmonik içermelidir.

3.1. Elektrik Güç Sistemlerinin Yapısı

Bir elektrik güç sisteminin temel yapısı Şekil 3.1 de gösterildiği gibidir. Güç sistemleri öncelikli olarak üretim, iletim ve dağıtım olarak üç kısma ayrılır. Enerji sağlayıcı üretim şirketleri kendi servis sağladıkları bölgelerde üretim, iletim ve dağıtımdan sorumludurlar.



Şekil 3.1 Bir elektrik güç sisteminin yapısı

Güç sistemlerinin farklı kısımları farklı gerilim seviyelerinde çalışır. Genellikle gerilim değeri 1 kV' un altında ise Alçak Gerilim 1 kV-100 kV arasında ise Orta

Gerilim 100 kV-300 kV arasında ise Yüksek Gerilim 300 kV'un üzerinde olanlar ise çok yüksek gerilim olarak nitelendirilirler.

3.1.1 Üretim

Elektrik enerjisi bir motorun veya genellikle bir türbinin çıkış şaftından çıkan enerjinin dönüşümü ile üretilir. Çoğu güç sistemleri mekanik enerjiyi ya ısı ya da direkt olarak sudan elde ederler. Ana temel enerji kaynakları olarak kömür, doğal gaz, nükleer ve fuel oil kullanılır. Elektrik üretiminde rüzgar, biogaz, jeotermal enerji kaynakları kullanımında da son yıllarda bir hayli artış vardır.

Mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü çoğunlukla Senkron generatörler vasıtasıyla , rüzgar enerjisi üretiminde ise bir indüksiyon generatör tarafından gerçekleştirilir. Senkron generatörler tarafından 10-20 kV gerilim seviyesinde üretilerek güç sistemine aktarılan elektrik enerjisi yükseltici transformatörler vasıtasıyla gerilimi yükselttilerek iletim hattına gönderilir.

3.1.2 İletim

Elektrik enerjisinin en önemli avantajı birincil enerji kaynakları veya su rezervlerinin yanında üretilmesi ve daha sonra uzak mesafelerdeki yük merkezlerine iletilebilmesidir. İletim hattında kayıp enerji akımın karesi ile orantılı olduğu için gerilimin yükseltilmesi gerekir. Elektrik şebekesi tüm güç istasyonlarının yük merkezlerine bir iletim-dağıtım hatları bağlantılarından oluşmaktadır. Genellikle iletim şebekesi generatörden tüketicilere elektrik enerjisini bir çok mümkün olan bağlantılarla güvenilir ve esnek bir biçimde gönderecek şekilde bağlanır.

Elektrik enerjisi üretimin yük merkezlerine yakın olduğu yerlerde direkt olarak bir alt dağıtım şebekesine bağlanarak iletilebilir. Bir güç sistemine yeni ilaveler yapılacağı zaman eski hatlar daha düşük gerilim seviyelerine bağlanır ve bu hatlar alt iletim şebekesinin bir parçası olabilir.

3.1.3. Dağıtım

Elektrik enerjisinin çoğu direk olarak tüketiciye orta ve yüksek gerilim şebekeleri vasıtasıyla iletim veya alt iletim hatlarından transfer edilir. Dağıtım şebekeleri genellikle taşıma sistemlerinde kullanılan birleşik yapıya uyması için radyal bir yapıda bağlanırlar. Bazı endüstriyel tüketiciler kendi enerji gereksinimlerini kendileri karşılayabilirler.

Tipik olarak generatör terminalinden çıkan elektrik enerjisinin yaklaşık %8'i iletim ve dağıtımda kaybolmaktadır.

3.2 Generatör Üniteleri

Elektrik enerjisi bir senkron generatör tarafından üretilir. Genellikle senkron generatör bir türbin veya bir dizel motor tarafından tahrik edilir. Türbin ya hız kontrolunu sağlayan veya ayarlanan değerlerde güç-frekans karakteristiğine göre çıkış gücü veren bir teçhizattan oluşur.

3.2.1 Senkron generatörler

Senkron generatörler buhar veya gaz türbinleri tarafından tahrik edilen yüksek hızlı generatörler, ve su türbinleri tarafından tahrik edilen düşük hızlı generatörler olarak sınıflandırılabilir. Yüksek hızlı generatörler merkezkaç kuvvetini azaltmak için çapı küçük fakat aksiyal uzunluğu fazladır. Tipik olarak 2 veya 4 kutuplu 50 Hz'lik bir şebekede 1500 ile 3000 devir/dakika'da çalışırlar. Düşük hızlı generatörler 500 devir/dakika ve daha düşük hızlara sahiptirler. Bunların kutup sayıları fazla, çapları geniş ve aksiyal uzunlukları kısadır. Gerçek manyetik kutup sayısı nominal frekans ve hıza bağlıdır.

Tüm generatörler stator ve rotor olmak üzere iki ana manyetik devreden oluşurlar. Bunlar dökme çelikten imal edilirler. Endüvi sargıları yük akımını taşırlar ve üç fazlı sargılardan oluşur. Rotor yüksek hızlıdır ve içerisinde uyarım sargıları mevcuttur. Düşük hızlı generatörler için uyarım sargıları çıkık kutuplu rotorlarda bulunur. Rotor

da kısa devrelerde rotordaki mekanik zorlanmaları önleyici damper veya amortisör sargıları mevcuttur. Yüksek hızlı, çıkık kutuplu olmayan generatörlerde damper sargıları genellikle uyarım sargıları ile aynı yarık içerisinde bulunur. Düşük hızlı generatörlerde ise yatay olarak kutup yüzeyine aksiyal yarıklarda bulunur.

Rotor uyarım sargıları rotorda manyetik flukslar üretmek için doğru akım gönderir. Oluşan bu döner manyetik alan üç fazlı statorun her fazında bir emk üretir ve güç sistemine bir ac akım taşır. AC endüvi akımları birleşerek manyetik devrede bir endüvi reaksiyonu yaparlar. Uyarım ve endüvi reaksiyonu fluksları rotora göre sabit (duran) statora göre ise dönen bir alan meydana getirirler. Manyetik alan tek parça masif preslenmiş çelikten yapılan rotorda sabittir.

Eğer bazı nedenlerden dolayı rotor hızı senkronizmadan ayrılırsa alan sabit kalmayacak ve damper sargılarından akım akacaktır. Lenz kanununa göre bu akımlar sayesinde yeniden senkron hıza ulaşacaklardır.

Yeni güç istasyonlarında anma güçleri artan generatörler kullanılmaya başlanmıştır. Bunların çalışma maliyeti düşük güçleri yüksektir. Bu ekonomiklik sonucunda daha düşük maliyetli küçük binalar ve güç istasyonları ile daha küçük ekipmanlar kullanılmaktadır. Üstelik bazı ülkelerde son yıllarda doğal gaz çevrimli santrallerin kullanımını artmıştır. Burada hava soğutmalı generatörler tipik olarak 250 MW'tan başlayarak şirketler tarafından kullanılmaktadır. Modern senkron generatörler yaklaşık 100 MW'tan 1300 MW'a ve çalışma gerilimleri 10 kV ile 32 kV arasındadır.

Genel olarak bir senkron generatör iletim hattına yükseltici bir transformatör ile bağlıdır. Küçük güçlü generatörler kablolar, daha büyük olanları ise baralar ile bağlanır. Generatör transformatörleri genellikle tank tipidir. Transformatörden istasyon baralarına güç yüksek gerilim kabloları veya kısa bir güç taşıma hattı tarafından beslenir [1].

3.3 İletim ve Dağıtım Tesislerinin incelenmesi

Dağıtım tesisleri şebekeleri genellikle 69 kV, 115 kV ve 138 kV gerilimde çalışırlar. Büyük endüstriyel tüketiciler sık sık dağıtım tesislerine direkt olarak bağlanırlar. Bazı sistemlerde, alt-iletim şebekesi ana dağıtım istasyonları ile içiçe olabildiği gibi bu istasyonlar daha geride de olabilir. Güç, büyük güçlü servis istasyonlarından dağıtım şebekelerine gönderilir. İlk gerilim genel olarak 115 kV, 138 kV veya 230 kV'tur. Çıkış gerilimi 4-35 kV arasındadır. 12 kV ve daha üzeri gerilimler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3].

3.3.1. Dağıtım Tesisleri

Bir dağıtım tesisi iletim hatları, transformatörler, generatör üniteleri, kontrol ekipmanlarının birlikte birbirine bağlı olarak bulunduğu bir noktadır. Genellikle elektriksel gücün akımı burada kontrol edilir, gerilim seviyeleri ayarlanır ve sistem güvenilirliği çeşitli otomatik koruma aygıtları tarafından burada ayarlanır.

Dağıtım tesislerinin tümü birçok sayıda gelen ve giden akımların birleşme yeridir. Bu akımlar bir baraya gelir ve herhangi bir darbeye karşı korunmak amacıyla bazı aygıtlar kullanılır. Her elektrik devresi birincil ve ikincil devreye bölünebilir. Birincil devre iletim hattını, güç transformatörünü, baraları, akım ve gerilim transformatörlerinin yüksek taraflarını içerir. İkincil devre ise akım ve gerilim trafolarının düşük taraflarını, devre kesicilerini, izolatörleri ve devre koruma aygıtlarını içerir.

Bara ; hatlar ve transformatörler için elektrik kontaklama noktasıdır. Baralar alüminyum veya bakır iletkenlerden oluşur ve izolatörler tarafından desteklenir. Dağıtım tesislerinin dışındaki baralar genellikle çelik ve alüminyumdan yapılır. Bir çok farklı sayıda baralar düzenlenir. Bu bağlantılar yapılırken sistemin güvenilirliği ve çalışma noktasının esnekliği giderilmemelidir. Bara sistemlerinin türleri güç sistemlerinde önemli bir rol oynar.

Daha büyük dağıtım tesisleri içerisinde bara sistemlerini dahil ederek çok yüksek yatırımlar sonucu büyük tesisler inşa edilir.

3.3.1.1 Transformatörler

Transformatörler, farklı gerilim seviyelerinde çalışmakta olan güç sistemlerinin, farklı kısımlarını bağlamak için gereklidir. Gerilim seviyelerini değiştirmek için kullanılan transformatörler ayrıca dönüştürme oranları ve kademe değişimleri nedeniyle gerilim kontrol işlerinde kullanılır [1]. Büyük güçlü servis transformatörleri kademe değiştiricilere sahip olabilir. Bazılarında ise sekonder tarafta seri bir gerilim regülatöründe bulunabilir [3].

Güç sistemi transformatörleri fonksiyonlarına göre genel olarak 3 kategoride incelenebilir.

- Generatör çıkışını artırıcı transformatör (iletim şebekesi ve generatörle irtibatlı)
- İletim transformatörleri: İletim hattının farklı noktalarında ve genellikle farklı gerilim seviyelerinde kullanılır.
- Dağıtım Transformatörleri: Tüketiciler tarafından istenen düşük gerilimlerin elde edebileceği yük merkezlerindeki trafolar.

Generatör ve iletim transformatörleri yağ soğutmalı olup 1000 MVA'dan daha fazla güçtedirler. Tank içerisindeki yağ hem soğutma hem de izolasyon vazifesi görür. Isı omik ve bakır kayıplarına sebep olur. Yağ dış radyatörlerin arasından geçirilir. Yağın sirkülasyonu transformatör içerisinde ya doğal yollarla ya da dış etkiler vasıtasıyla yapılır. Yüksek güçlü transformatörler taşıma problemleri nedeniyle genellikle parçalı bir şekilde dizayn edilirler. Daha küçük güç transformatörleri genellikle birleştirilmiş bütün halinde tasarlanır.

Generatör transformatörleri generatör çıkışındaki gerilimi artırarak iletim hattına veya alt iletim hatlarına verirler. Bir güç istasyonunda 200-500 MW güçlerinde

büyük generatörler ve her bir generatörün kendileriyle bağlantılı iki sargılı transformatörleri olabilir. Bu generatörlerin aksine daha küçük bir güç istasyonunda 3 sargılı 3 fazlı transformatörlerle irtibatlı generatörler çalıştırılabilir.

Generatör transformatörleri genellikle üçgen-yıldız bağlı ve nötr noktası toprakla irtibatlıdır. Üçgen düşük gerilim sargısı asimetrik yüklenme ve transformatör sargısının lineer olmayan B-H eğrisi karakteristiğinden dolayı meydana gelecek arzu edilmeyen harmonik akımları azaltmak ve yok edecek şekilde tasarlanır. Büyük güç istasyonlarında birçok generatör üniteleri ile birlikte bazı nötralizasyon trafoları ile irtibatlıdır. Bu trafoların görevi, tek faz kısa devre akımlarını sınırlamak için toprakla irtibatlandırılmasıdır.

İletim transformatörleri Şekil 3.1 'de gösterildiği gibi farklı gerilim seviyelerinde farklı çalışma noktalarında kullanılabilir. Bu transformatörler, dağıtım şebekelerine veya büyük endüstriyel tesislere enerji taşıyan iletim hattına direkt olarak da irtibatlıdır. Transformatör sargıları yıldız bağlı olup iletim ve alt iletim hatlarına doğrudan bağlıdır ve normal olarak nötr noktası topraklanmıştır. Bu transformatörler sık sık asimetrik yüklendikleri zaman geçecek sirkülasyon akımlarına karşı üçgen tertipli de bağlanmaktadır. Bu ilave sargı bir istasyon içerisindeki mahalli yükler veya bir reaktif güç kompanzasyonuna kaynak sağlayabilir.

Eğer iki sargılı transformatörün çevirme oranı çok yüksek değilse bunun yerine bir sargılı oto transformatörü kullanılabilir. Oto trafosunda birincil sargının parçası w_1 ve ikincil sargının parçası w_2 ortak kullanılarak ekonomiklik sağlanır. Oto transformatörleri genellikle düzenli gerilim seviyelerinde İngiltere'de 132/275 kV, 275/400 Amerika'da 138/230 kV, 230/345 kV, 345/500 kV ve Avrupa'da ise 110/220 kV, 220/400 kV olarak kullanılır.

Dağıtım şebekeleri normal olarak yüksek gerilim tarafı yıldız ve orta gerilim tarafı üçgen sargılı olan ve simetrik olmayan yükleri azaltmaya yardımcı olan transformatörler tarafından desteklenir [1].

Gerilim kararlılığı için transformatör empedansları çok önemlidir. Büyük güçlü servis transformatörlerinin empedansları (kaçak reaktansları) transformatör bazında yaklaşık %8-11 arasında değişir. Dağıtım transformatörlerinin ise %2-4 arasında değişmektedir. Transformatörler özellikle büyük güçlü servis transformatörleri dağıtım sistemi empedansının büyük bir kısmına sahiptir.

Birçok dağıtım transformatörleri doyma noktasında çalışır. Uyarım akımı gerilim azalması esnasında düşer. Gerilimde %1'lik bir azalma reaktif güçte %3-6 arası bir düşmeye neden olur [3].

3.3.1.1. Kademe değiştirici ve düzenleyici transformatörler.

Bir çok modern güç sistemlerinde çeşitli seviyelerde gerilim değerleri vardır. Örneğin bir sistemin ana taşıma hattı 220 kV'tan 735 kV' a kadar değişik gerilim seviyelerinde iken, ikinci bir taşıma hattı 60 kV'tan 150 kV'a kadar olan bir değerde gerilime sahip olabilir. Herhangi bir transformatörün ana görevi şebekeyi farklı gerilim seviyelerinde bağlamaktır. Güç sisteminden çekilen yüklerde sık sık değişimler arzu edilmeyen gerilim değişimlerine neden olur . Bu problemi çözmek için kademe değiştiricilerden faydalanılır. Yaygın olarak güç sistemlerinde çeşitli gerilim seviyelerinde güç akışını kesmeksizin ekipmanların bağlantısı bu aygıtlar tarafından sağlanır. Genel olarak gerilimdeki değişim oranı \pm %10 seviyelerindedir. Bir sistemde kademe değiştiriciler;

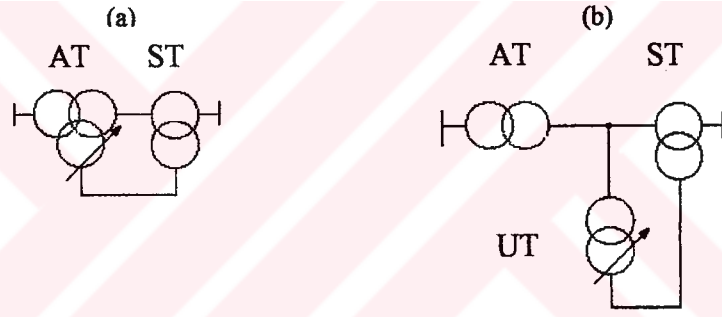
- 1.Dağıtım sistemini beslemek,
- 2.Alt iletim şebekelerine bağlantı yapmak
- 3.Farklı gerilim seviyelerine bağlantı yapmak
- 4.Generatör çıkışını arttırmak gibi çeşitli görevlere sahiptirler.

Kademe değiştiriciler hem yük altında hem de yüksüz çalışabilecek şekilde üretilirler. Yüksüz çalışma yapanlarda kademe değiştirme işlemi yapılırken enerji yoktur. Yük altında kademe değiştiricilerde ise transformatör enerjili iken çalışma yapılabilir. Kademe değiştiriciler otomatik veya rölelerden gelecek sinyallere göre

çalışma yaparlar. Kademe değiştiricinin bir günde çalışma sayısının az olması kademe değiştiricinin daha uzun ömürlü olmasını sağlar [10].

Trafo kademeleri ana sargının bulunduğu tankta veya bir başka tankta bulunabilir. Aynı tankta bulunduğu zaman, kademe değiştiriciler genellikle trafonun yüksek gerilim tarafında (daha düşük akım olduğu için) ve nötr noktasına yakındır. Oto transformatörlerde kademeler yüksek gerilim tarafında fakat sargının ortak kısmına yakındır.

Kademeler ayrı bir tankta kullanıldığı zaman sargı ana transformatörün bir tersiyer sargısı gibi yapılır. Gerilim seri bir transformatör eklenerek (Şekil 3.2a) tersiyer sargıdan enjekte edilebilir. Bir başka çözüm ayrı bir uyartım transformatörü kullanarak olur. (Şekil 3.2b)



AT- ana transformatör, ST- seri transformatör, UT- uyartım transformatörü

Şekil 3.2 Seri transformatörün bağlantıları (a) ana transformatörün tersiyer sargısından (b) ayrı bir uyartım transformatöründen

(Şekil 3.2)'de gösterilen transformatör bağlantılarında gerilimin büyüklüğü ve ayarı seri transformatör ile ana sargı tersiyer sargıları arasında yapılan bağlantılara bağlıdır [1].

3.3.2. Şönt ve seri elemanlar

İletim şebekelerinde şönt ve seri elemanlar olarak seri kapasitör veya şönt kompanzatorler bir nevi amaçlar için kullanılırlar. Genellikle gerilimi nominal değere yakın tutmak, hat akımını azaltarak şebeke kayıplarını azaltmak ve böylece kararlılığa katkıda bulunmak bu amaçlardan bazılarıdır. Çoğu kompanzasyon,

kapasitörler tarafından sağlanır ve indüktif yükü dengeler. Bir nevi reaktif gücü absorbe eder. Burada iletim hatlarında kullanılmakta olan ve baralara seri veya paralel biçimde bağlanarak yapılan kompanzasyonun gerilim kararlılığı açısından etkileri anlatılacaktır [10].

3.3.2.1. Şönt elemanlar

Genellikle uzak mesafelere reaktif güç taşınmadığı için tüketim bölgelerine yakın yerlerde kompanzasyon yapılmalıdır. Bunu başarmanın en basit ve en ucuz yolu bir şönt kompanzasyon sayesinde sağlanabilir. Burada bir kapasitör ve/veya bir indüktör ya direkt olarak baraya ya da bir transformatörün tersier sargısına bağlanabilir [1]. Şönt kapasitör bankları hatlara bağlanmaktan ziyade sürekli baralarda bulunurlar. İletim sistemlerinde şönt kompanzasyon yapımının birinci amacı yakın yük bölgelerinde gerilimin kontrolü ve yükün kararlılığının sağlanması içindir [3].

Şönt elemanlar iletim hattı boyunca gerilim düşümünü ve kayıpları minimize etmek içinde kullanılır. Genellikle statik şönt elemanlar ya manuel ya da röleler vasıtasıyla otomatik olarak devreye alınır veya çıkartılır. Mekanik anahtarlamalı şönt kapasitör bankları büyük yük bölgelerindeki istasyonlarda tesis edilir. Tristörlerin kullanılmasıyla modern çözümler geliştirilmiştir.

Sistem güç talep ettiği zaman hattın kapasitansı tarafından üretilen reaktif güç hattın endüktansının düşük olması nedeniyle tüketilen güçten düşüktür. Böylece hat net bir reaktif kaynak gibi davranır. Bunun neticesinde şebeke gerilimi yüksek değerlere götürülür. Bu reaktif gücü tüketmek ve gerilimi kontrol altına almak için şönt reaktörler kullanılır. Yükün artması durumunda gerilimi belli sınırlar içerisinde muhafaza etmek için daha fazla şönt kompanzasyonun sisteme ilave edilmesinde fayda vardır. Genellikle 200 km'den uzun hatlar için şönt reaktörlerin kullanılması tavsiye edilir. Ağır yüklenme durumu esnasında bazı reaktörler devre dışı kalabilirler ve şönt kapasitörler gerilimi arttırarak bir reaktif güç kaynağı olarak davranırlar.

Şönt kompanzasyon bir senkron kompanseör gibi görev görür. Senkron kompanseör aşırı uyarıldığında bir reaktif güç kaynağı gibi davranır ve reaktif güç

üretir. Uyartım seviyesinin altında ise reaktif gücü absorbe eder. Senkron kompanzatorler gerilim ve reaktif güç kontrolunda önemli bir rol oynarlar. Değişen yük durumlarında gerilimi arzu edilen sınırlar içerisinde tutarak kararlılığı iyileştirirler. Dağıtım tesislerinde senkron kompanzatorler kullanılacağı zaman çalışma maliyetini azaltmak için şönt kapasitörler veya reaktörler sık sık sisteme anahtarlanarak eklenirler [1].

Gerilim kararlılığı için, şönt kapasitör bankları çok faydalıdır ve generatörlerin uyumlu bir şekilde yakın güç faktörleri ile çalışmasını sağlarlar. Gerilim değişimi sonrasında şönt kapasitör banklarının reaktif güç çıkışı gerilimin karesi nispetinde düşmektedir. Bu seri kapasitörün kendini doğal olarak düzenlemesi olayına zıttır. SVC ile kıyaslandığında maliyetlerinin düşük olması avantajdır. Anahtarlama süresi oldukça hızlıdır. Akım sınırlayıcı reaktörler geçici hal anahtarlama süresini minimize ederler. Gerilimin hızlı bir şekilde kontrolü tam olarak mümkün değildir.

Bir iletim hattının devre dışı kalması durumunda hat yeniden devreye alınana kadar kapasitör bankının enerjisi kesilmelidir. Ayrıca anahtarlama gerilim regülatörü veya kademe değiştiricinin müdahalesinden daha önce olmalıdır. Günümüzde mekanik anahtarlı kapasitörlerin yerine mikro proses kontrollü lojik anahtarlar kullanılmaktadır.

Mekanik anahtarlı kapasitörlerin bir çok dezavantajları vardır. Geçici hal gerilim kararsızlığı için anahtarlama asenkron motorun durmasını engelleyecek kadar hızlı olmayabilir. Eğer bir sistemde gerilim çökmesi olursa sistemin stabil parçaları tehlikeli aşırı gerilimler nedeniyle zarar görebilir. Aşırı gerilim azalması esnasında şönt kapasitörlerin devreye enerji sağlaması sistemi olumsuz etkileyecektir [3].

3.3.2.2. Seri elemanlar

Seri kompanzasyon tam olarak, uzak mesafelere taşınan gücün iletilmesini sağlayan iletim hattının empedansını azaltmak için yapılır. Gerilimin azalmasını sınırlamak, aktif ve reaktif güç kayıplarını azaltmak amacıyla gerilim kararlılığını geliştirmek yönünde eğilimlere sahiptir. Tipik olarak bir taşıma hattının indüktif reaktansı %25-

%70 arasında kompanze edilir. %100 kompanzasyon asla istenmez. Üstelik aşırı kompanzasyon koruma aygıtlarının karmaşıklığını artırır.

Normal olarak seri kapasitörler ya hat başında ya da hattın ortasında yer alır. Hat başlarında bulduklarında hata akımlarının az ve korumanın daha kolay olmasına rağmen kapasitörler hattın ortasında bulunurlar. Bu nedenle kontrol ve bakım gereklidir. Eğer terminalde bulunurlarsa bu işlemler daha kolaydır. Bu nedenle kapasitör bankları hattın maksimum %30'nu kompanze edebilecek seviyelerde hat başı ve sonunda eşit olarak kullanılır. Seri kapasitörün yeri hattın ortasında olabildiği gibi hattın 1/3 veya 1/4'lük yerinde de olabilir. Kapasitör banklarının hattın farklı noktalarında bulunmalarına ilişkin detaylı çalışmalar yapılmıştır.

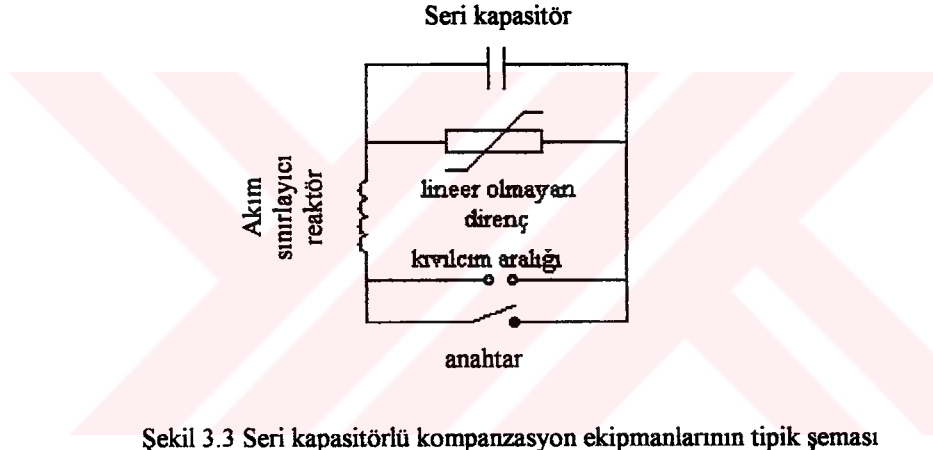
Bazen büyük yüklü güç transferleri esnasında reaktif akım yükselir ve seri kapasitörün olduğu taraftaki gerilim çok büyük artışlar gösterebilir. Bu durumda sistem uygun olan gerilim seviyelerine göre dizayn edilmelidir. Normal olarak bir seri kapasitörün gerilim düşümü hat gerilimi oranının yüzde olarak birkaçıdır. Kapasitörün olduğu tarafta bir kısa devre esnasında geçici olarak hat gerilimine yaklaşık eşit olacak biçimde bir gerilim oluşabilir. Bu durumda sistemi hatadan arındırmak için bir by-pass sistemi oluşturularak yüksek gerilimlerden kaçınılır [1].

Seri kapasitörler kullanılarak yapılan kompanzasyonla uzun iletim hatlarının birleştirilmesi ve geçici hal kararlılığının iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Ancak, günümüzde kısa hatlarda da kullanılmakta ayrıca gerilim kararlılığını iyileştirmektedir.

Seri kompanzasyon hattın net indüktif reaktansını azaltır. Hattın reaktif tüketimi I^2X 'i kompanze etmek için reaktif güç I^2X_c üretir. Seri kapasitör reaktif üretimi, daha çok ihtiyaç hissedildiğinde akımın karesi ile orantılı olarak artar. Bu nedenle kendi kendini düzenleyebilir. Bu özelliği nedeniyle pasif şönt kapasitörlerden ziyade statik var kompanzator ile kıyaslanabilir. Hafif yüklerde seri kapasitörlerin etkisi azdır. Şönt reaktörlere uzun hatlar için ihtiyaç vardır.

Seri kapasitör grubu kapasitör, metal oksit varistör, by-pass swici kontrol ve koruma cihazları gibi bazı ekipmanlardan oluşur. Burada Miller tarafından tavsiye edilen ve çok uzun hatlarla aç-kapama ilişkisi arasında yakın bir ilişki içerisinde bulunan bir reaktif kompanzasyonun üzerinde durulacaktır.

Şekil 3.3 tek fazlı seri bir kompanzasyon şebekesini göstermektedir. Seri kapasitörler bir baraya bağlı bulunmaktan ziyade hemen hemen sürekli iletim hatlarında bulunurlar. Bazen hat terminalinde veya hat boyunca farklı noktalarda bulunabilirler. Çok uzun hatlar hariç genellikle terminalde bulunurlar. Kompanzasyon hattın %75-80 'lik bir kısmını kompanze etmeyi planlar. Koruma rölelerinin karakteristikleri nedeniyle bu mesafeler sınırlanmak zorunda kalır.



Şekil 3.3 Seri kapasitörlü kompanzasyon ekipmanlarının tipik şeması

Şimdi de reaktif güç dengesini açıklamaya çalışalım. Seri kompanzasyon kaynağın empedans yükünün artmasında etkilidir. Yaklaşık olarak bu yükü kompanze edecek güç;

$$P'_0 = P_0 \sqrt{\frac{1-k_{sh}}{1-k_{se}}} \quad (3.1)$$

burada k_{se} seri kompanzasyonun k_{sh} ise şönt kompanzasyonun derecesini gösterir. P_0 kaynak empedans yükü olup değeri V^2/Z_0 'a eşittir. Z_0 hat empedansıdır. Örneğin şönt kompanzasyonsuz % 50'lik bir seri kompanzasyonun yapıldığı bir sistemde kaynak empedans yükünü kompanze edecek P'_0 gücü P_0 gücünün $\sqrt{2}$ katı olacaktır.

İki paralel hattın birisinin devre dışı kalması durumunda sistem aşırı yüklenir. Seri kapasitörler tarafından reaktif güç üretilir. Böylece kısa bir zamanda aşırı yüklenmenin önüne geçilebilir. Aşırı yüklenme sınırı standartlar çerçevesinde birkaç dakika içerisinde %150'yi geçmeyecek şekilde müsaade edilir.

3.3.2.3. Statik var kompanzatör

Statik var kompanzatörler yukarıda bahsedilen şönt kapasitör ve reaktörlerin mekanik anahtarlama hareketlerinin yerini alır. Avantajları içerisinde, hızlı olmaları gerilimi kesin olarak ayarlamaları ve de kısıklı anahtarlama ziyade geniş bir şekilde sınırsız anahtarlama sahasına sahip olmalarıdır. Gerilim bir eğim karakteristiğine göre düzenlenir. Eğim sürekli hal kazancı ile ilgilidir ve genellikle % 1-5 arasında bir kontrol değişimine sahiptir.

SVC ve sistem nedir? CIGRE'de statik var sistem ve statik var kompanzatör arasında ayrılıklar verilmiştir. Bir statik var sistem mekanik anahtar kontrollü şönt kapasitör ve reaktörlerle birlikte bir statik var kompanzatördür. Kompanzatör tristör kontrollü reaktör (TCR), tristör anahtarlı kapasitör (TSC) ve harmonik filtrelerden oluşur. Harmonik filtreler TCR'nin %10-30 'u kadardır. Eğer bir TCR kullanılırsa, sürekli kontrolü sağlamak için TSC bloklarından biraz daha büyüktür. Diğer olasılıklar sabit kapasitörler ve tristör anahtarlı reaktörlerdir. Genellikle orta gerilimde bir transformatör bir kompanzatör ile kullanılır.

Güç sistemlerinde SVC uygulamaları ile ilgili yapılan tartışmaların çoğu uzun iletim hatları ve açılı kararlılığının geliştirilmesi ile ilgilidir. Uzun hatlar bara gerilimini ayarlayan kompanzatörler tarafından desteklenir.

Motorlara ilişkin geçici hal kararsızlığını önlemek için SVC'ler anahtarlı kapasitörlerden daha etkilidir. Aşırı gerilim, yük artımı ve gerilim azalması esnasında kapasitör bankının enerjilenmesi sonucu oluşur. Gerilimin, gerilim altında muhafaza edilmesi SVC ile mümkündür.

Kapasitif birikimi sağlamak için SVC'ler mekanik anahtarlı şönt kapasitör bankları ve şönt reaktörlerin yakınlarında düzenlenebilir. Bir reaktif güç veya süseptans regülatöründe sürekli hal çalışmaları esnasında istenilen çıkışı elde etmek için kullanılır. Bir arıza sonrası SVC diğer gerilim regülatör kontrollerinden daha hızlı cevap verecektir. Bir sonraki arızalarda yeniden pozisyon ve koordine olmak yavaş ekipmanlar yüzünden (kademe değiştiriciler, gerilim kontrollü mekanik anahtarlı kapasitör ve reaktörler, generatör uyarım kontrolleri) SVC çıkışı reaktif gücünün, ayarlanan noktaya dönüşünü geciktirir. Reaktif güç regülatörlerinin zaman sabitleri saniyeler veya dakikalar mertebesinde dir.

SVC eğiminin ayarı özellikle bir reaktif güç regülatörünün yokluğunda diğer gerilim kontrol ekipmanları ile koordineli çalışması için önemlidir. Bir arıza sonrasında büyük bir eğim ayarı SVC cevabını azaltır. Daha büyük bir gerilim düşümüne neden olur. SVC cevabındaki bu azalma şönt kapasitör banklarının açılmasına izin verebilir ve böylece gerilim kontrolü gerçekleşebilir. Yük bölgelerinde statik kompanzasyon ihtiyacı yerel üretim miktarı ile ilgilidir. Yük artarsa generatörün reaktif güç birikimi öylesine azalır ki diğer hızlı davranışlı reaktif birikimler arzu edilmeye başlar.

3.3.2.4.Seri ve şönt kompanzasyonun karşılaştırılması

Seri kompanzasyonun bazı avantajları şunlardır.

- Seri kapasitörler kendi kendilerini ayarlayabilirler. Bir kontrol sistemine ihtiyaç yoktur.
- Seri kapasitörlerin SVC'lere nazaran maliyetleri daha düşük kayıpları daha azdır.
- Gerilim kararlılığı için kritik noktaları daha düşüktür.
- Seri kapasitörler önemli bir aşırı yüklenme kapasitesine sahiptir.
- Seri kapasitörler ve seri kapasitör anahtarları paralel hatlardaki aktif ve reaktif kayıpların minimize edilmesini kontrol etmek için kullanılır.

Seri kapasitörlerin bazı dezavantajları şunlardır.

- Seri kapasitörlerin bir çok paralel hatlı şebekelerde kullanılması zordur.

-Seri kapasitörler hatla irtibatlıdır. Kapasitörler devre dışı kalma durumunda paralel hatlar aşırı yüklenebilirler.

-Paralel hatlardan birisinin devre dışı kalması durumunda sistem ağır bir şekilde yüklenir. Bu durumda seri kapasitörlerin bağlı olduğu tarafta gerilim oranı son derece tehlikeli olabilir.

-Daha hafif yüklerin kompanzasyonu için şönt reaktörlere ihtiyaç hissedilebilir.

SVC'lerin bazı avantajları şunlardır.

-SVC'ler direkt olarak gerilim kontrolü sağlarlar. Bu yük bölgelerinde üretim azalmasında çok değerlidir.

-Bir SVC'nin kapasitif kalma kabiliyeti gerilim kararsızlığına yaklaşmanın iyi bir işaretidir.

-SVC'ler geçici aşırı gerilimlerin hızlı kontrolünü sağlar.

SVC'lerin bazı dezavantajları da şunlardır.

-SVC'lerin aşırı yüklenme kabiliyetleri sınırlıdır.

-SVC'lerin maliyetleri yüksektir.

-Bir SVC sınır gerilim değerine ulaştığında genellikle kararsızlık meydana gelmektedir [3].

BÖLÜM 4. ELEKTRİKSEL YÜKLER

Gerilim kararlılığı öncelikle yük karakteristiklerine bağlıdır. Yükler iletim hatları üzerinden dağıtım şebekelerine ve generatör tesislerine bağlıdır. Gerilim kararlılığı analizlerini yaparken yük karakteristiklerini ve onlara ait modelleri iyi anlamamız gerekir.

4.1 Elektriksel Yükler

Yükler motorlar, aydınlatma lambaları, ve diğer elektrik ekipmanlarının oluşturduğu yüzlerce veya binlerce bireysel cihazların toplamını göstermektedir. Güç sistemleri mühendisliğinde yük kavramı çeşitli biçimlerde ifade edilebilir. Yük;

- Bir güç sistemine bağlanan bir cihazın tüketmiş olduğu güç,
- Güç sistemine bağlı tüm cihazlar tarafından çekilen toplam aktif ve/veya reaktif güç,
- Kısmen bir generatör veya bir üretim tesisinin çıkış gücü şeklinde tanımlanabilir [1].

P- δ ilişkisinin ön planda olduğu klasik kararlılık bakımından senkron generatörlerin önemine karşılık, gerilim kararlılığı açısından da elektriksel yükler aynı derecede önemlidir. Gerilim değişimine karşı davranışları bakımından yükler üç ana grupta toplanabilirler.

- 1- Sabit empedans yükleri
- 2- Sabit akım yükleri
- 3- Sabit güç yükleri

Ayrıca bir yük, karakteristiğine bağlı olarak, gerilim değişimlerine karşı, zaman içinde farklı gruplarda da bulunabilir. Buna, esas karakteristiği sabit güç grubuna giren asenkron makinelerin, ani gerilim değişimlerine karşı ilk anda sabit empedans

karakteristiği göstermesi örnek olarak verilebilir. Bu durum özellikle gerilim kararlılığının dinamik davranışları bakımından önemli bir özelliktir .

4.1.1. Sabit empedans yükleri

Aydınlatma, ısıtma, ark ocakları bu grupta toplanabilecek bazı örneklerdir ve ağırlıklı olarak omik karakterlidirler. Hat sonuna bağlı sabit bir empedans yükünün çektiği güç;

$$S=P+jQ= \dot{V} \cdot \dot{I}^* = \dot{V} \cdot (\dot{V} / \dot{Z})^* = |\dot{V}|^2 / (\dot{Z})^* = |\dot{V}|^2 / (R - jX)$$

$$S=|\dot{V}|^2 \cdot \frac{R + jX}{R^2 + X^2} \quad (4.1)$$

olarak bulunur. Buradan, $P=|\dot{V}|^2 \cdot \frac{R}{R^2 + X^2}$, $Q=|\dot{V}|^2 \cdot \frac{X}{R^2 + X^2}$ şeklinde aktif ve reaktif güçler çekilir. Gerilimdeki küçük bir değişim ($\Delta|\dot{V}|$) için aktif güçteki değişim şu şekilde belirlenir.

$$\frac{\Delta P}{\Delta|\dot{V}|} \cong \frac{\partial P}{\partial|\dot{V}|} = 2\dot{V} \cdot \frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{2}{|\dot{V}|} \cdot P$$

ifadesi düzenlenerek;

$$\frac{\Delta P}{P} \cong 2 \frac{\Delta|\dot{V}|}{|\dot{V}|} \quad (4.2)$$

bulunur. Gerilimdeki küçük değişimler için güç değişimi, (4.2) ifadesine göre, yaklaşık iki kat olmaktadır. Gerilim kararlılığı açısından bu tür yüklerin etkilerinin olumlu olacağı buradan açıkça görülebilir [8].

4.1.2. Sabit akım yükleri

Özellikle, metalurji ve elektrokimya alanlarında, metal parlatma, metal kaplama, elektroliz uygulamalarında kullanılan tekniğin esası sabit akım çekmeye dayalıdır.

Akımın sabit kalması koşulu ile yukarıdaki ifadelerle benzer şekilde, $P=V.I.\cos\phi$ güç ifadesini kullanarak gerilimdeki küçük değişimler için;

$$\frac{\Delta P}{\Delta |V|} \cong \frac{\partial P}{\partial |V|} = I \cdot \cos\phi = \frac{P}{V}$$

ifadeleri düzenlenerek

$$\frac{\Delta P}{P} \cong \frac{\Delta |V|}{|V|} \quad (4.3)$$

sonucu bulunur. Bu ifadeye göre, gerilimdeki küçük değişimler için güç yaklaşık olarak aynı oranda değişmektedir.

4.1.3. Sabit güç yükleri

Kontrollü empedans yükleri ve asenkron motorlar bu grubu oluştururlar. Özellikle, elektrik enerjisinin her sektörde yaygın olarak kullanımı ile birlikte, büyük küçük elektrikli ev aletlerinden değişik güçlerdeki endüstriyel kullanımlara kadar, asenkron motorlar elektriksel tahrik mekanizması olarak yaygın bir kullanım sahası bulmuşlardır. Bunun nedenleri, maliyetinin diğer motorlara göre düşük ve bakımının az olması, kolay temin edilebilmesi, gelişen kontrol teknolojilerine uygunluğu gibi tüketiciler açısından etkili tercih faktörleridir.

Asenkron motor yüklerinin gerilim değişimine karşı cevapları, çektikleri aktif gücün gerilim değişimini adım artımı (veya azalması) ile izleyip daha sonra başlangıç değerine dönmeye çalışması şeklindedir [8].

4.2 Yük Bileşenlerinin Statik ve Dinamik Karakteristikleri

Burada yükler ve onların toplam karakteristikleri açıklanacaktır. Yüklerin gerilime duyarlılığı önemlidir ve de kritik sonuçlar doğurabilir. (Bazı yükler frekansa da duyarlı olmasına rağmen özellikle gerilim değişimleri frekanstan çok daha fazladır.) Frekans duyarlılığı da direkt olarak gerilim kararlılığı ile ilgili değildir. Nitekim yük modellenmesi yapılırken birkaç dakikanın üzerinde meydana gelen gerilim değişimlerinde yüklerin cevapları gerilim kararlılığını etkileyebilir. Geçici hal

gerilim kararlılığı ve yavaş bir şekilde oluşan gerilim çökmesi sonuçları için asenkron motorlar gibi yüklerin dinamik karakteristikleri önemlidir.

Gerilim kararsızlığının en yavaş halleri için güç akışı simülasyonlarında akla gelen ilk soru sabit güç yüklerinin geçerliliğidir. Bazı sistemlerde yükü sabit tutmak için yeterince kontrol aygıtı vardır ve yük karakteristikleri kontrol sınırlarına ulaşıncaya kadar önemli değildir. Büyük simülasyon çalışmalarında sabit güç yükleri genellikle büyük güçlü servis istasyonlarının yüksek gerilim taraflarında gösterilerek trafo ve fider empedansları ihmal edilir [3].

Aktif güç, gerilim ve güç faktörü gibi parametreler bir yükün karakteristik davranışını belli eder. Bu terimler bir yükün sınıflandırılmasında, bir baradaki yükün oluşturulmasında veya bilinen bir yük cihazına uygulanabilir [8].

Sürekli halde bir çok yük bileşenlerinin talebi sistem frekansı (f) ve bara gerilimine (V) bağlıdır. Statik yük karakteristiği olarak isimlendirilen aktif ve reaktif gücün gerilim ve frekansa bağlı ifadesi $P(V,f)$, $Q(V,f)$ şeklindedir. Frekans sabit iken $P(V)$ ve $Q(V)$ gerilim karakteristiğini, gerilim sabit iken $P(f)$ ve $Q(f)$ frekans karakteristiği olarak isimlendirilir. Burada temel olarak gerilim değişimi ile ilgilenilecektir. Yükün aktif ve reaktif güç ifadesinin gerilimin bir fonksiyonu olarak yazılmasıyla yük karakteristiği elde edilir ve bağlı bulunduğu ekipmanların miktarına bağlı bağımsız bir z değişkeni tanımlanarak yük karakteristiğinin genel formunu elde ederiz.

$$P=P(V,z)$$

$$Q=Q(V,z)$$

Burada z 'e yük talebi ismini verebiliriz ve bir z değeri için yukarıdaki eşitlikler P,Q,V uzayında bir eğri belirler [10].

4.3 Yük bileşenleri

Yük bileşeni belirli veya benzer tipteki tüm cihazların toplam eşdeğeridir. Bunlar arasında su ısıtıcıları, oda klimaları, flüoresan lambalar v.b..sayılabilir [11]. Bu yüklerin gerçek ve reaktif güç karakteristikleri birbirine göre çok farklılık gösterir. İşlemin hemen hemen statik şartları altında frekansın aşağı yukarı sabit kaldığı, yükün gerçek ve reaktif güçlerinin gerilimin fonksiyonu olduğu farzedilir. Buradan itibaren yükler ve onların toplam karakteristikleri üzerinde durulacaktır.

4.3.1 Aydınlatma lambaları

Aydınlatma, elektrik tüketiminin önemli bir kısmını oluşturur. Tipik olarak meskenlerde akkor telli lambalar daha çok kullanılırken ticarethaneler, endüstriyel tesisler ve bunlara ait binalarda deşarj lambaları (flüoresan, cıva buharlı ve sodyum buharlı) lambalar daha çok tercih edilir.

4.3.1.1 Akkor telli lambalar

Akkor telli lambalar şebeke gerilimlerinin değişimlerine çok duyarlıdır. Eğer şebeke gerilimi lambanın imal edildiği gerilimden daha büyükse lambanın ışık veren telinden, geçmesi gereken akımdan daha büyük bir akım geçer; dolayısıyla telin sıcaklığı, çektiği güç, verdiği ışık akısı ve etkinlik faktörü daha büyük, fakat ömrü daha küçük olur. Gerilim azalması durumunda bunların tersi olur. Güçteki değişim $P=P_n (V/V_n)^{1.523}$ ifadesine göre bulunabilir. Burada n indisli değerler lambanın nominal değerleridir [12].

Akkor telli lambalar sık sık sabit empedans karakteristiğine sahip bir yük gibi farzedilir. Gerilim değiştiği zaman tellerinde meydana gelen büyük sıcaklık değişimleri nedeniyle tellerin direnç değerleri değişir. Bu nedenle sabit akım ve sabit empedans karakteristiği arasındadır.

Akkor telli lambaların sıcaklık zaman katsayıları gerilim kararlılığı analizlerindeki zaman sabitleri ile kıyaslandığında daha kısadır. Sadece 200 W'ın üzerindeki lambalarda bu zaman sabiti yeterince büyüktür [11].

4.3.1.2 Deşarj lambaları

Deşarj lambaları cıva buharlı, sodyum buharlı, flüoresan ve benzer tipleriyle endüstriyel tesislerde, park ve bahçe aydınlatmalarında geniş bir şekilde kullanılır. Bu tip yükler ticari bölgelerde yükün % 20'sinden daha fazla bir yer tutar. Gerilim yaklaşık % 80'lik bir değere düştüğünde lamba sönebilir. Bir üretim merkezine yakın bir yerde bir anlık bir gerilim düşümü sırasında genellikle ilk salınımlar generatörü etkileyecektir. Bir başka açıdan, lambaların yeniden tutuşmaları için generatörün kendini toparlaması ve bunun içinde arıza sonrası birkaç saniyenin geçmesi gerekecektir. Bu da kararlılığı azaltıcı bir etkidir.

Deşarj lambalarının aktif kısımları sönmeye noktaları üzerindeki gerilim değerlerinde tipik bir sabit akım, reaktif güçleri ise gerilime oldukça duyarlıdır. Bu reaktif karakteristiklerinden dolayı gerilim sönmeye noktasına ulaşamaz [11].

Yaklaşık 0.8 pu'lık belirli gerilim değerleri üzerinde üstel (exponansiyel) bir model kullanılır. 0.7 pu gibi gerilim değerlerinin aşağısında tüm lambalar söndüğünden güç sıfırdır. Bu gerilim değerleri arasında nominal güç sıfıra doğru rampalanır [13].

Yeni flüoresan lambalarda hızlı bir şekilde kontrol mekanizmaları vardır. Bunlar gerilim değişimi sonucu sabit güç yük karakteristiğini doğrulayacak şekilde kontrol edilir [3].

4.3.2. Elektronik cihazlar (Ayarlı güç kaynakları)

Bir çok elektronik cihazlar (bilgisayarlar, mikrodalga fırınlar, televizyonlar) anahtar modlu ve diğer ayarlı güç kaynaklarına sahiptirler. Bunlar sayesinde giriş gerilimi

% 90'lar seviyesine düşse bile sabit bir DC çıkış sağlayacaklardır. Böylece sabit güç karakteristiği göstereceklerdir. Bu değer in aşağısında bazı cihazlar çıkışı durduracak bazıları ise sisteme güç sürmeye devam edeceklerdir. Gerilim anma değerinin yaklaşık % 90'nın aşağısına düştüğünde giriş gücü de düşebilir [11].

4.3.3 Ayarlanabilir hız sürücüleri

Ayarlanabilir hız sürücüleri bilgisayarlar ve elektronik ekipmanlara benzerler. Motorların hız kontrolünde, çeşitli güç elektroniği uygulamaları yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ayarlanabilir hız sürücüleri, gerilim yaklaşık % 90'nın aşağısına düştüğünde devreden çıkmaktadır [3]. Gerilime cevap rotor açısı osilasyonlarına nazaran hızlıdır. Yükler ilk salınımında etkili biçimde sabit güç karakteristiğindedir [11].

4.3.4. Termostat kontrollu yükler

Kendi kendini toparlayan yüklere tipik bir örnek kontrollu termostat yüklerdir. Genellikle tüm ısıtma sistemleri (su ısıtıcıları, elektrikli ısıtıcı, v.b..) türlerinde kullanılır.

Tahmin edileceği gibi, sıcaklık gerilim düşük olduğu zamanlar normal çalışma şartlarına nazaran daha yavaş yükselir, fakat termostat kapalı iken sıcaklık azalması normal çalışma şartlarındaki ile aynıdır. Anahtarın daha uzun süre açık kalması nedeniyle, termostat daha fazla açık kalacak normal gerilimdeki gibi güç çıkışı sabit kalacaktır. Sonuç olarak termostat kontrollu yükler uzun zaman dilimi içerisinde düşünülürse sabit güç yüklerine örnektir.

Bunun haricinde bazı durumlarda mevcuttur. Örneğin gerilim düştüğünde bazı termostatlar yükü tamamen düzeltebilecek başarıyı gösteremezler. Benzer bir şekilde çok soğuk bir günde zamanın % 100'üne yakın bir değer de açık kalarak, ısıtıcıları çalıştırır lar. Böylesi bir durumda bir gerilim düşmesi sonunda yükün düzenlenmesi tamamen mümkün değildir. Birçok endüstri tesislerinde, ticarethaneler ve evlerdeki

cihazlar bu karakteristiğe sahiptir. Bu bileşen sistem yüklerinin %20-%40' ını oluşturabilir.

5 dakikadan daha az olan ilk salınım ve sönümlenme çalışmalarında termostat kontrollu yükler sabit bir rezistans karakteristiği verirler. Daha uzun süreli çalışmalarda bu karakteristik sabit güç karakteristiğine döner. Dinamik karakteristik uygun bir zaman sabiti ile kullanılmalıdır [11].

$$T_L \dot{G} = P_0/V^2 - G \quad (4.4)$$

Toplam termostat kontrollu yüklerin dinamik cevapları yukarıdaki gibi birinci mertebeden bir diferansiyel denklemlerle ifade edilir [10]. Dinamik denklemin elde edilmesi için yapılan tüm ara işlemler Ek A'da verilmiştir.

4.3.5. Manuel kontrollu yükler

Bu tür yükler termostat kontrollu yüklere benzerler. Bir elektrik su ısıtıcısı eğer gerilim düşerse su kaynayıncaya kadar normal çalışma periyodundan daha uzun bir süre açık kalacaktır. Bir çok insan aynı şeyi söyler. Bu yük bileşeni birkaç dakika içerisinde sabit rezistans yük karakteristiğinden sabit güç karakteristiğine döner [11].

4.3.6. Asenkron motorlar

Asenkron motor yükü güç sistemleri gerilim kararlılığı çalışmalarında aşağıdaki sebeplerden dolayı önemlidir.

- 1 - Çok kısa süre içerisinde hızlı bir şekilde toparlanırlar
- 2 - Düşük güç faktörü ile reaktif güç talebi yüksektir.
- 3 - Gerilim düştüğünde veya mekanik yük arttığı zaman durmaya meyillidir [10].

ABD'nin elektrik tüketiminin yaklaşık %57'si motor güçleri tarafından çekilmektedir. Bunun çoğunluğunu da genellikle 3 fazlı asenkron motorlar oluşturmaktadır. Asenkron motorlar toplam motor enerjisinin % 90' ıdır. Konutlarda,

ticari işletmelerde kullanılan motorların çoğu hava klimaları ve soğutucular için kompresör yükleridir. Bu tür yükler hemen hemen tüm hızlarda sabit tork isterler. Pompalar, üfleyiciler, fanlar ve kompresörler endüstriyel motorların yarısından fazlasında kullanılır. Motorların bir çoğu belki de yarısından fazlası anma yüklerinin % 60'ndan daha az bir yükte çalıştırılır [13].

Motorların sürekli hal boyunca çıkış gücü, durma noktasına kadar, gerilimden oldukça bağımsızdır. Motorun reaktif gücü gerilim seviyesine ve diğer etkilere daha çok duyarlıdır. Gerilim azalması durumunda reaktif güç önce azalacak fakat daha sonra artacaktır [10].

Bir motorun eylemsizliği ve rotor dinamikleri gerilim ve frekans değişimlerine karşı motorun aktif ve reaktif güç cevabını belirleyici parametreleridir. Tekrar toparlanan motorlar yakınlardaki generatörlerin toparlanmasını sağlayarak kararlılığı iletirler. Tekrar toparlanan motorlar gerilimi aşağı çekerek senkron gücü azaltır ve böylece kararlılığı azaltırlar. Motor yol alma kontaktörlerinin 2300-4000 V geriliminde olanları gerilimin % 65-75'i 460V ve daha aşağısında olanları ise gerilimin %55-65 değerleri arasında devreyi açabilir. Motorlar kısa devre ve bunları takip eden dalgalanmalar esnasında devreden çıkabilirler. Bu generatörlerde kararsızlığa yol açacağından kayıp güç transfer edilmelidir. Zayıf bölgede veya alıcıların yakınlarında motor yükünün kaybı kararlılığı geliştirebilir [11].

4.3.7. Senkron motorlar

Senkron motorlar normalde yüksek güçlerde kullanılırlar. Asenkron motorlardan daha kompleks ve daha pahalıdır. Gerilim kararlılığı sağlanmasında, gerilim değerlerinin uygun karakteristikte ayarlanması için uyartım kontrolunda kullanılır. Senkron generatörlerdekine benzer modelleme yapılabilir [11].

4.3.8. Klimalar ve Isı pompaları

Klimalar motor yükleri kategorisine girerler fakat bir çok klimalar kontaktörler tarafından servis dışı edilmediğinden gerilim dalgalanması ve kısa devre arızası

boyunca sistemden ayrılmazlar. Çok yüksek yüklenme esnasında gerilim kararsızlığı, sıcaklığın artmasına neden olduğundan en istenmeyen durumdur. Yaz ayları boyunca soğutma için klimalar yükün büyük bir kısmını oluşturacaklardır. Klimaların atalet sabitleri düşüktür ve bu nedenle durmaya meyillidir. Test sonuçları göstermiştir ki klimalar 5 periyot boyunca gerilim yaklaşık % 60'ın altına düştüğünde veya uzun süren bir hata temizleme süresinde yavaşlayacak ve duracaktır. Daha yavaş hata temizlemesi ve daha yüksek hata gerilimlerinde klimalar durabilir. Motorun başlangıçta zayıf moment tasarımı ve yük kompresörleri tarafından yüke empose edilen sabit mekanik tork nedeniyle de motorun durma eğilimine katkıda bulunulur. Gerilimin normale dönmesinden sonra ve kompresör basıncı yavaş bir şekilde azalınca kadar kendini toparlamayacaktır. Büyük konutlarda klimalar düşük gerilim röleleri ile korunur. Bunlar normal gerilim değerinin % 70 'in altına kadar düşmesinden 5 periyot sonra kontaklarını açarlar. Klimalar bazı bölgelerde yaz aylarında yükün % 50'sini teşkil ederler. Isı pompaları da benzer karakteristiğe sahiptirler [11].

4.3.9. Sabit enerji yükleri

Termostat kontrollü yükler, su ısıtıcıları , ark fırınları, elektrikli ısıtıcılar ve klimalardır. bunlar sabit enerji çekilmesine neden olurlar. Bu tür yükler ısıtmak için gerilim düştüğünde daha uzun süre açık kalacaklardır. Bu da yük diversitesinin kaybolmasıyla sonuçlanır. Zamanla yükler toparlanarak, rezistif karakterden sabit güç yüküne dönerler. Elektrik ısıtıcıları soğuk havalarda çok büyük bir yüklenmeye sahiptir. Klimalar ve diğer kompresör yükler sabit enerjili yüklerdir. Üstelik termostat kontrolundan önce neredeyse sabit bir güç olduğundan gerilim değişimi ile yük diversitesindeki değişim az olacaktır [11].

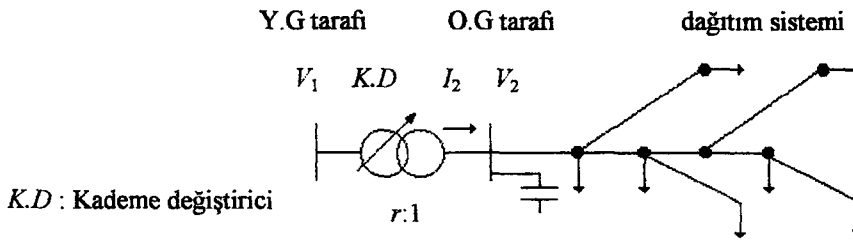
4.4. Kademe Değiştiriciler ve Dağıtım Gerilim Regülatörleri

3.Bölümde kademe değiştiricilerinin yapısı anlatılmıştır. Büyük güçlü servis istasyonlarında yük kademe değiştiricileri ve dağıtım gerilim regülatörleri birbirlerine benzer biçimlerde davranarak bağlı buldukları bölgelerde gerilimi ayarlarlar. Yük tarafında gerilim düştüğünde bu daha çok kademe değiştiricilerin

ayar bandı genişliğinin dışında olursa bir zaman rölesi çalışmaya başlar. Band genişliği tipik olarak 2 V ile 120 V arasında veya $\pm \%0.83$ değerlerindedir. Eğer zaman rölesi için ayarlanan süre aşırsa kademe değiştirici mekanizma enerjilenecek ve gerilimi ayarlanan band genişliği içerisine sokana dek kademe değişecektir. Gerilim band genişliği içerisine bir değere oturduğunda röleler resetlenir. Gerilim çökmesi esnasında kademe değiştiriciler veya gerilim regülatörleri bir çok kez resetlenerek, gerilim çökmesi sürecini yavaşlatabilirler.

Kademeleme için zaman gecikmeleri ayarlanabilir. Yaygın olarak bu süre 10-120 saniye arasındadır. Genelde şirketler birbirinden farklı değerler kullanırlar. Avrupa'da her kademe adımında gecikme zamanı olarak 5-120 saniye arası tercih edilir. Her adım arasında uzun bir zaman gecikmesi gerilimin çok daha az yavaşlamasına neden olacaktır [3].

Yükün düzenlenmesi ana güç dağıtım transformatörlerinin önemli mekanizmalarından birisi olan kademe değiştiriciler tarafından yapılır ve gerilim istenen düzeye getirilir. Kademe değiştirici dağıtım gerilimini kontrol eder. Orta gerilim tarafındaki (V_2) trafo oranı r tarafından değiştirilir. Çoğu durumlarda kademe değiştirme, yüksek gerilim tarafındadır. Bunun nedeni akımın düşük olmasıdır. Bir başka nedeni ise ayarlamının yüksek gerilim tarafından daha iyi dönüştürülebilme imkanındır.



Şekil 4.1 Büyük güçlü bir servis transformatörünün tek-hat şeması

Kademe değiştiriciler yavaş bir şekilde hareket ederler ve bir zaman adımında, bir kademe değiştiren aygıtlardır. Kademe değiştiriciler için tavsiye edilen minimum zaman genellikle 5 saniyedir. Ancak bu süreye yakın bir zamanda kademe değiştirici tam olarak hareketini tamamlayabilir. Biz bu süreyi mekanik gecikme zamanı olarak

isimlendireceğiz ve T_m ile göstereceğiz. Zayıf ekipmanlardan dolayı kademe değiştiricinin sık sık veya gereksiz yere hareketini engellemek için çeşitli kasıtlı zaman gecikmeleri (birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadar) genellikle mekanik gecikme zamanına ilave edilir. Kasıtlı zaman geciktirmeleri ya sabit yada değişken olabilir. Ters zaman karakteristiği sık sık kullanılır. Ters zaman karakteristiğinin anlamı, büyük gerilim hatalarının daha kısa bir zaman gecikme süresiyle algılanmasını sağlamaktır.

Kademe değiştiricinin çalışmasında önemli bir sınırlama çeşitli kademe oranlarının sahip olduğu sınırlandırılmış oranlı ayarlardır.

$$r^{min} \leq r \leq r^{max}$$

En düşük ve en yüksek sınır değerler sırasıyla 0.85 pu-0.9 pu ile 1-1.15 pu arasındadır. Bir kademe adımının oranları genellikle % 0.5-% 1.5 arasındadır [10].

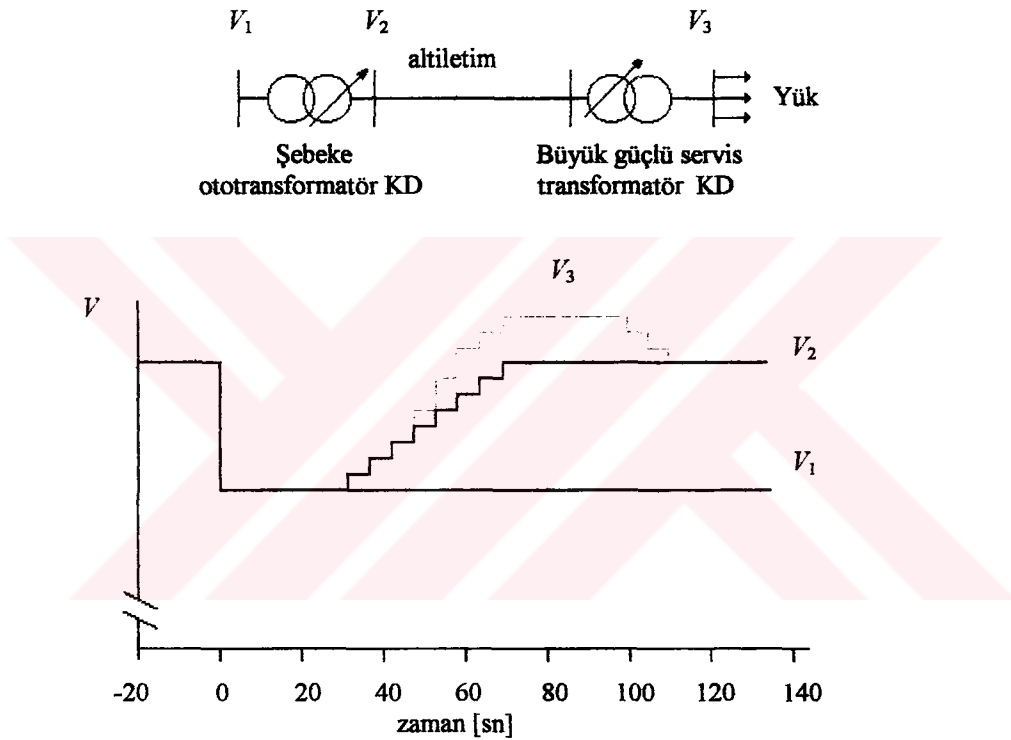
4.4.1. Seri kademe değiştiriciler

Bazen iki veya daha fazla otomatik kontrollü kademe değiştiriciler seri olarak bağlanabilirler. Çok büyük bir transformatör kademe değiştiricisi bir gerilim regülatörü ile birlikte uzun bir fidere servis sağlayabilir. Ayrıca iletim/altiletim transformatörleri kademe değiştiricilerinin de bu kademe değiştiriciye servis sağlaması mümkündür. Generatör tarafındaki transformatörün kademe değişimi için gecikme zaman süresi en kısa olmalıdır. Şebeke geriliminde küçük bir değişim sonrası generatör tarafındaki transformatörün, yük tarafındaki regülatörün çalışma zamanından daha önce kademe değiştirmesi gerekir.

Gerilim kararsızlığı ile ilgili daha büyük gerilim değişimleri için koordinasyon gerçekleşmeyebilir. Her iki kademe değiştiricinin birlikte etkileri yüzünden dağıtım ve yük gerilimi orijinal değerini aşabilir. Dağıtım gerilimi gerilimin sürekli artışından önce ayarlanacaktır. Gerilim artması devam ederse kademe değiştiricide çalışmaya devam edecektir (Bkz. Şekil 4.2).

4.4.2. Şönt kompanzator yüklerde kademe değiştiricinin etkileri

Kademe değiştirici transformatörler bir güç sistemi gerilim profilinde oldukça önemlidir [15]. Daha önce bir gerilim azalması sonucunda yükün ayarlanması ile birlikte kademe değiştiricilerin gerilim kararlılığına nasıl etkide bulunduğunu açıkladık. Bu uygulamalar özellikle yüksek güç faktörlü yükler içindir. Bazen gerilim regülatörleri kademe değiştiricilerle birlikte gerilim kararlılığını iyileştirebilir. Bu geri güç faktörü



Şekil 4.2 Seri iki kademe değiştiricinin gerilimi dağıtması

için doğrudur. Zira gerilime duyarsız bu yüklere güçlü bir şekilde şönt kompanzasyon yapılmıştır. Büyük güçlü motorlar ile endüstriyel tüketiciler buna örnektir. Açıklama oldukça basittir. Yükün gerçek kısmı nispeten gerilime daha az duyarlı olabilir. Yani neredeyse sabit güç karakteristiğine sahiptir. Bu nedenle kademe değiştiriciden etkilenmez. Öte yandan şönt kapasitörlü bir kompanzasyon gerilime karşı duyarlıdır. Bu nedenle bu durumlarda kademe değiştiricinin kapasitör çıkışlarına temel bir etkisi vardır [3].

BÖLÜM 5. YÜK MODELLERİ

Yük modeli; kısaca bir baraya akan akım ve güç ile bara gerilimi arasındaki ilginin matematiksel ifadesidir [11].

5.1 Giriş

Yük karakteristiklerinin sistem dinamiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Yanlış yük modellemesi, güç sistemini gerçek bir sistem çökmesine yada ayrılmasına kadar götürebilmektedir. Doğru yük modellemeleri sistem dinamiği esnasında yükün davranışını yakalamakta ve böylece güç sistemleri kararlılık ve kontrol limitleri kesin olarak hesaplanıp çalışma ve planlama noktalarında kritik değerler bilinebilmektedir [6]. Birçok çalışmalar göstermiştir ki, yükün tanımlanması analiz sonuçlarında önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle geliştirilen yük modeli çok önemlidir [7].

Yük dinamik cevapları güç sistemleri gerilim kararlılığı mekanizmasının bir anahtarıdır. Yük modellemesi zor bir problemdir. Çünkü güç sistemi yükleri bir çok farklı cihazların birleşiminden oluşur. Gerilim kararlılığı olayını anlamak için onun yakın ilişkili olduğu yük dinamikleri ile tek tek ilgilenmelidir [10].

5.2. Yük Modelleri

Elektrik güç sistemlerinde yüklerin karakteristikleri Bölüm 4'te anlatıldığı gibi çeşitlilik göstermektedir. Yüklerin bu davranışlarından dolayı onlara ait çok sayıda çeşitli model yaklaşımları yazılmıştır. Son IEEE sayfalarında bu bilgileri özetlemek için tavsiye edilen standart yük modellerine ilişkin bir bilgi yayınlanmıştır. Bunlar statik yük modelleri(sabit empedans, sabit güç, sabit akım ve bu modellerin

kombinasyonları ile) dinamik yük modelleri (generic dynamics load modelling) olarak iki ana gruba ayrılabilir [4]. Genellikle hem güç sistemleri mühendisleri ve hem de akademik araştırmacılar güç ve gerilim arasındaki ilişkiyi göstermek için sistem kararlılığı ve planlama çalışmalarını statik yük modellerinden yararlanarak yapmaktadırlar. Bu modeller, statik ve zamanla değişmeyen olduğu için, çeşitli çalışma durumlarında yük davranışları başarılı bir şekilde elde edilememektedir. Bazı yayınlarda bu statik yük modellerinin başarısından şüphelenilmekte ve yükün davranış düşüncesinin belirgin olmadığı gözlenmektedir. Üstelik yük davranışı çoğunlukla dinamiktir. Zamanın herhangi bir anında gerilim ve frekans değişimleri başladığında aktif ve reaktif güçlerde de değişim başlamaktadır. Bununla birlikte gerilim çökmesi dinamik bir olaydır. Bu sebepler yüzünden dinamik yük modelleri düşünülmelidir [5].

5.3 Gerilime Bağlı Yükler (Statik Yük Modelleri)

Yük talebi olarak adlandırdığımız aktif ve reaktif gücün gerilimin bir fonksiyonu olarak ifadesine yük karakteristiği adı verildiğini daha önceki bölümde belirtmiştik. z talep güç olmak üzere yük talebi ile tüketilen gerçek güç P, Q arasındaki farkı en açık bir şekilde açıklamak önemlidir. Bu fark temel kararsızlık mekanizmasını anlamak için gereklidir. Güç tüketimi azalması sonucu talep artmıştır [10].

Bu tür statik modeller sadece $\pm 10\%$ luk bir gerilim değişimleri için geçerli olabilir. Deşarj lambaları ve motorlarda büyük gerilim değişimleri için bu modeller yeterli değildir. Üstel (exponansiyel) modellerle yapılan dinamik simulasyonlarda üs değerinin 1'den daha küçük olduğu durumlardan şüphelenilmelidir [3]

5.3.1 Üstel yük modeli

Yaygın bir şekilde kullanılır ve üstel yük olarak bilinir.

$$P = z P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^\alpha \quad (5.1a)$$

$$Q = z Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^\beta \quad (5.1b)$$

burada z boyutsuz bir talep değişkenidir. V_0 referans gerilimi α ve β yük tiplerine bağlıdır (motor, ışık, ısı,...). zP_0 ve zQ_0 , V_0 referans gerilimine göre V gerilimi altında tüketilen aktif ve reaktif güçlerdir. Bunlar nominal güç yükleri olarak isimlendirilir. Burada $\alpha = \beta = 2$ olduğunda sabit empedans yükü, $\alpha = \beta = 1$ olduğunda sabit akım yükü ve $\alpha = \beta = 0$ olursa sabit güç yükleri karakteristiğini verir. Tablo 5.1 yük bileşenlerine ait α ve β değerlerini göstermektedir.

Tablo 5.1 Bazı yük bileşenlerinin α ve β değerleri

Yük bileşenleri	α	B
Deşarj lambaları	1.54	-
klimalar	0.5	2.5
şarjlı pil	2.59	4.06
flüoresan	2.07	3.21
fırın fanı	0.08	1.6
elektronik flüoresan	0.95-1.2	0.31-0.46

Düşük gerilim seviyelerinde üstel yük modeli kullanıldığı zaman önlem alınmalıdır. Gerilim $V < 0.6$ pu olduğu zamanlarda bir çok yükler tamamen karakteristiklerinden ayrılabilir. Sonuçta üssel yüklerin iki önemli özelliği gösterilebilir.

$z=1$ kabul edelim. Üstel ilişki yüzünden, referans gerilimi V_0 ve karakteristiğinin değişmeksizin keyfi olarak belirlenebilen uygun P_0 ve Q_0 değerleri arasında bir V_1 gerilim seviyesinde çekilen güç $P_1 = P_0 (V_1/V_0)^\alpha$ dir. $P = z P_0 (V/V_0)^\alpha$ denkleminde P_0 yerine yazılırsa $P = P_1 (V/V_1)^\alpha$ elde edilir. Böylece V_0 ile V_1 ve P_0 ile P_1 arasında herhangi bir gerilim seviyesinde ilişki gösterilir. α ve β parametreleri üstel yük modelinde yük tarafından çekilen gücün gerilime olan duyarlılığını verir. Herhangi bir V_0 referans değerinde aktif güç P_0 olmak üzere aktif güç ile gerilim arasında

$$\frac{dP}{dV} = \alpha P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha-1} \frac{1}{V_0} \quad (5.2)$$

Benzer bir ilişki reaktif güç için de yazılabilir. (5.2) ifadesi yeniden düzenlenirse $V=V_0$ için ;

$$\frac{dP}{dV} = \frac{P_0}{V_0} = \alpha \quad (5.3a)$$

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{Q_0}{V_0} = \beta \quad (5.3b)$$

elde edilir. Böylece aktif ve reaktif güç yüklerinin normalize duyarlılıkları bulunur. Dikkat edilecek husus herhangi bir referans geriliminde normalize duyarlılıklar aynıdır.

5.3.2. Çokterimli yük modeli

Tablo 5.1'de görüldüğü gibi farklı yük bileşenleri farklı gerilim karakteristikleri sergiler. Böylece alternatif bir yük tasvirlemesi aynı üslü değerlere sahip olan yük bileşenlerine dayalı olarak özetlenebilir. Üsler tam sayı olduğu zaman ZIP modeli olarak isimlendirilen özel bir durum ortaya çıkar. ZIP modeli üç bileşenden oluşur. Sabit empedans, sabit akım ve sabit güç bileşenleri. Aktif ve reaktif güç aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P = z P_0 \left[a_p \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + b_p \left(\frac{V}{V_0} \right)^1 + c_p \right] \quad (5.4a)$$

$$Q = z Q_0 \left[a_Q \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + b_Q \left(\frac{V}{V_0} \right)^1 + c_Q \right] \quad (5.4b)$$

Burada $a_p + b_p + c_p = a_Q + b_Q + c_Q = 1$, zP_0 ve zQ_0 , V_0 geriliminde tüketilen güçlerdir.

Çokterimli modelin yük parametrelerinde bazen b_p ve b_Q negatif olabilir. ZIP model düşük gerilim değerleri için gerçekçi değildir [10].

5.4. Toparlanan Yük Dinamikleri

Bir önceki bölümde güç tüketiminin yüklerin gerilim karakteristiğine bağlı olduğu gösterilmiştir. Bu bağımlılık kalıcı olabilir nadiren yükün statik ve bazen de dinamik olduğu durumlarda değişebilir.

Çeşitli yük bileşenleri ve kontrol mekanizmaları yükü iyileştirmeye ve en azından belirli bir değerde tutmaya çalışmaktadır. Aktif yük (P) üç mekanizma tarafından eski konumuna döndürülmeye çalışılır.

1-Asenkron motorlar aniden değişen gerilimlerde birkaç saniyede mekanik ataletlerine uymak için çabuk bir şekilde cevap verirler. Kaynak tarafında ani bir değişim derhal asenkron motoru empedans bir yük gibi harekete geçirir. Bu eşdeğer devre denklemlerinden açık bir şekilde görülür. Kayma motorun eylemsizliği yüzünden aniden değişmez. Gerilimin yavaş azalması ve diğer ekipmanların yavaş dinamikleri yüzünden bu sabit aktif güç yüküne iyi bir örnektir.

2-Büyük güçlü servis ve dağıtım transformatörlerinde otomatik kademe değiştiriciler ve dağıtım gerilim regülatörleri yük tarafındaki gerilimi iyileştirmeye çalışır. Bunlar 10 sn ve daha uzun bir sürede yükü ilk haline getirmeye çalışırlar. Reaktif güç şönt kompanzasyonların reaktif çıkış gücü ile iyileştirilir.

3- Sabit enerjili omik yükler sıcaklık ve manuel kontroller tarafından ilk durumlarına dönüştürülür [3].

Bu yaklaşımlar için tüm yük dinamiklerini birinci mertebeden basit bir zaman sabiti kullanarak modelleyebiliriz. Şimdi belirli yükleri düşünmeden önce yük dinamikleri hakkında kısa bir açıklama yapalım. x yükün zamana bağlı herhangi bir anda tüketilen gücün ani bir durum değişkeni olmak üzere;

$$P=P_t(z, V, x) \quad (5.5a)$$

$$Q=Q_t(z, V, x) \quad (5.5b)$$

Burada P_t , Q_t yükün, gerilimin ve talebin düzgün bir fonksiyonunu göstermek üzere geçici hal yük karakteristiği olarak isimlendirilir. Yük dinamikleri bir diferansiyel denklemlerle gösterilir.

$$\dot{x} = f(z, V, x) \quad (5.6)$$

sürekli hal yük dinamiği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$f(z, V, x) = 0 \quad (5.7)$$

Genelde ($\frac{\partial f}{\partial x} \neq 0$), z ve V 'nin bir fonksiyonu olarak x durum değişkenini elde etmek için eşitlik (5.7) kullanılır.

$$x = h(z, V) \quad (5.8)$$

$$f(z, V, h(z, V)) = 0 \quad (5.9)$$

$$P = P_t(z, V, h(z, V)) = P_s(z, V) \quad (5.10a)$$

$$Q = Q_t(z, V, h(z, V)) = Q_s(z, V) \quad (5.10b)$$

Burada P_s ve Q_s sürekli halde yük karakteristikleridir. Sürekli hal yük karakteristikleri yük durum değişkenlerine bağlı değildir. Sürekli hal yük karakteristiklerine geçiş eşitlik (5.6)'dan görüldüğü gibi yük dinamikleri tarafından yapılır. Tipik olarak daha önce de belirtildiği gibi dinamik yük bileşenlerinin durum ve talep değişkenleri Tablo 5.2'de gösterildiği gibidir.

Tablo 5.2 Dinamik yük durum ve talep değişkenleri

yük bileşeni	Durum değişkeni (x)	talep değişkeni (z)
asenكرون motor	Kayma (s)	mekanik moment
kademe değiştirici	Kademe pozisyonu (r)	yük talebi
termostat yükler	Bağlandığı ekipmanlar	ısı talebi

Genellikle geçici hal yük karakteristikleri sürekli hal yük karakteristiklerine göre gerilime daha fazla duyarlıdır. Bu nedenle sürekli halde güç arıza öncesi değerine dönmeye çalışır. Tipik bir örnek olarak sabit bir empedans yükten sabit güç yüküne geçiş gösterilebilir. Şimdi Tablo 5.2'de belirtilen yük bileşenlerine ait daha detaylı yük modellerini elde edelim.

5.4.1 Asenkron motor modeli

Bölüm 4'te asenkron motor yükleri ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir. Güç sistemlerinde çeşitli asenkron motor tipleri vardır. Aynı barada birbirine benzer olmayan bir çok motor bağlı bulunabilir. Yükü düzgün tanımlamak için bir çok motor modeli kullanmak gerekir. Üç fazlı asenkron motorun statoru bir senkron makineye benzerdir. Rotor sargıları sincap kafesli ya da çubukları kısa devre edilmiş olabilir. Bir çok çalışmalar, analiz sonuçlarında yükün tanımlanmasının önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle geliştirilen yük modeli çok önemlidir [16].

5.4.1.1. Asenkron motor dinamikleri

Bir asenkron makinada geçici hal tipleri aşağıdaki gibidir.

- 1-Stator geçici halleri senkron makinaya benzer. Generatör modellemesinde yapıldığı gibi ihmal edilir.
- 2- Rotor geçici hal eşdeğer devresi enine ve boyuna bileşenlerden oluşur.
- 3- Rotor mekanik hareketi toparlanmaya uygun karakterize edilir.

Genellikle rotorun elektriksel geçici hali mekanik geçici halden daha hızlı kabul edilir. Bu nedenle motor sadece toparlanma dinamiği ile tasvir edilir. Bu küçük motorlar için geçerlidir. Büyük motorlar için alternatif indirgeme modelleri kullanılabilir [10]. Küçük motorlar için rotor akısı dinamikleri ihmal edilerek sadece eylemsizlik dinamiği kullanılabilir [17].

Motorların dinamik karakteristikleri gerilimin yaklaşık 0.9 pu değerinin altına düşmesi durumunda kritiktir. 0.7-0.9 pu arasında düşük bir gerilim elde edildiğinde, motor ya duracak ya da büyük bir miktar reaktif güç çekecektir. Motorların bir tanesinin durması, neredeyse hepsinin durmasına neden olmaktadır.

Tipik olarak çeşitli endüstriyel gruplara ait eşdeğer devre parametreleri Tablo 5.3' te verilmiştir. Tüm değerler pu cinsindedir.

Tablo 5.3 Endüstriyel asenkron motorlara ait pu cinsinden parametreler (Van cistem 1999)

Motor	R_s	X_s	X_m	R_r	X_r
Küçük endüstriyel	0.031	0.10	3.2	0.018	0.18
Büyük endüstriyel	0.013	0.067	3.8	0.009	0.17
11 KVA'lık motorlar için ortalama değerler	0.016	0.063	0.96	0.009	0.016
Küçük endüstriyel (farklı bir kaynaktan)	0.078	0.065	2.67	0.044	0.049
Ticari	0.001	0.23	3.0	0.02	0.23
Evsel	0.077	0.107	2.22	0.079	0.098
Tek faz	0.11	0.12	2.0	0.11	0.13

5.4.1.2. Mekanik hareketin dinamik denklemleri

Asenkron motorlar gibi dinamik yüklerin yaklaşık olarak modellenmesi gerilim kararlılığı çalışmalarında çok önemlidir [18]. Rotor hareketinin kaymaya bağlı diferansiyel eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir. Asenkron motor yük modelinin elde edilmesi için yapılan ara işlemler Ek B'de verilmiştir.

$$2H\dot{s} = T_m(s) - T_e(V, s) \quad (5.11)$$

Burada H eylemsizlik sabiti T_m mekanik kayıpları da içeren mekanik momenttir. Dikkat edilmelidir ki yük artması sonucu kaymada artmaktadır.

Bir arıza sonrasında kayma, mekanik eylemsizlik yüzünden aniden değişmez. Kayma arıza öncesi değerde sabitlenir. Motor sabit bir empedans gibi davranır ve böylece motorun geçici hal yük karakteristiği sabit empedans tipidir. (Bkz.Şekil B.1) Böylece hem gerçek hem de reaktif güç bir gerilim azalması sonrası elektriksel moment gibi azalır. Moment azalması sonuç olarak denklem (5.11)'e göre rotorun yavaşlamasına neden olacak, böylece aktif güç tüketimi yeni bir çalışma noktasına ulaşılınca kadar artacaktır. Momentlerin denge hali:

$$T_e(V, s) = T_m(s) \quad (5.12)$$

Böylece sürekli hal yük karakteristiği sabit bir empedans yükünden oldukça farklıdır.

5.4.2 Mekanik momentin motor davranışına etkisi

Bu bölümde farklı mekanik moment modelleri altında motorun sürekli hal davranışları incelenecektir. Bunlara sabit, karesel (kuadratik) ve birleşik moment isimleri verilebilir. Dikkat edilmelidir ki bunlar terminal gerilimi V 'nin sabit kabul edilmesiyle elde edilen değişmez motor karakteristikleridir.

5.4.2.1. Sabit moment modeli

Sabit moment modeli basit bir şekilde aşağıdaki gibidir.

$$T_m(s) = T_0 \quad (5.13)$$

Burada $T_0 > T_{\max}$ olduğu zaman $s > 1$ olacak ve motor frenlenecektir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Kaymada küçük bir artış bir moment oluşmasına neden olacaktır. Açığa çıkan bu moment nedeniyle motor yavaşlayacaktır. Durana kadar ($s=1$) kayma artacaktır.

Dikkat edilmelidir ki sürekli halde sabit moment modeli rotor kaçak reaktansı gerisinde yüke aktarılan güç tüketimine eşdeğerdir Elektriksel moment P_g gücüne eşittir. (Bkz. Denklem B.8) Bu nedenle motor, sabit mekanik momente eşit olmaya başladığı zaman kendini toparlayabilir.

Özet olarak asenkron motor dinamikleri sabit empedanstan (sabit kayma için geçici hal karakteristiği) sabit güce ($P_g = T_0$) dönüşür. Sonuçta bir asenkron motor için yüklenebilirlik limiti sabit mekanik moment ve sabit stator gerilimi ile maksimum moment durumuna uyar. R_r / s değişkeni için transfer empedansı $R_1 + j(X_1 + X_r)$ 'ye uyar.

$$\frac{R_r}{s_{\max T}} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_r)^2} \quad (5.14)$$

sabit moment ile çalışan bir motorun aktif ve reaktif güç sürekli hal karakteristikleri ve terminal gerilimi bağımsız bir değişken gibi düşünülür. Yaklaşık 0.8 pu'in

üzerinde ki gerilim değerleri için aktif güç absorbe edilir. Güç tüketimi gerilimin düşmesiyle artar. Bu arada daha yüksek akım yüzünden stator kayıpları artar[8,19].

5.4.2.2. Karesel moment modeli

En basit mekanik yük modeli sabit moment modelidir. Fakat gerçekçi değildir. Bir çok yükler karesel (quadratic) bir mekanik moment karakteristiği sergiler ve

$$T_m(s) = T_2(1-s)^2 \quad (5.15)$$

Bir sonraki bölümde verilen simulasyon çalışmalarında görüleceği gibi güç düşümü ani bir şekilde olmasına rağmen toparlanma çok hızlıdır. Bu süre birkaç saniyeden daha azdır. Uygun sürekli hal karakteristiğinden beklendiği gibi aktif güç hemen hemen arıza öncesi değerine döner.

5.4.2.3. Birleşik moment modeli

Bu model sabit tork ve quadratik moment modelinin birleştirilmesiyle elde edilen bir formdur. Mekanik momentin yol alma esnasında sürtünme nedeniyle önemli olan bir ikinci bileşeni vardır. Bu da statik momenttir. Motor durmaya başladığında statik moment dönme hareketini engeller, fakat rotor dönmeye başladığından bu bileşen zayıflar. Böylece statik moment kaymayla orantılı olarak aşağıdaki gibi modellenebilir.

$$T_m(s) = T_s(s) \quad (5.16)$$

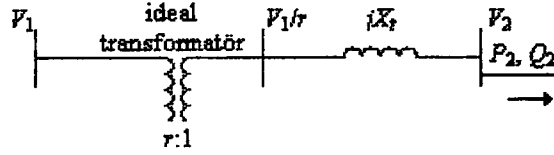
Statik momentinde ilave edilmesiyle birleşik mekanik moment modelinin en genel hali aşağıdaki gibidir.

$$T_m(s) = T_0 + T_s(s) + T_2(1-s)^2 \quad (5.17)$$

5.4.3. Kademe değiştiricilerin modellenmesi

Bu bölüm de Ayrık ve Sürekli model olarak isimlendirilen iki tip kademe değiştirici modellenmesi anlatılacaktır.

Sabit bir kaçak reaktansa (X_f) sahip transformatörün rezistansının ve magnetik reaktansının ihmal edilmiş olduğunu farzedelim. (Şekil 5.1)'de kademe değiştiricinin tek hat eşdeğer diyagramı çizilmiştir.



Şekil 5.1 Bir kademe değiştiricinin eşdeğer devresi

5.4.3.1 Ayrık kademe değiştirici modeli

Kademe değiştirici harekete geçtiği zaman transformatör oranı bir kademe adımı tarafından ani bir şekilde ya düşecek ya da yükselecektir. Her bir kademeden adım aralığını Δr ile göstereceğiz. $k=0,1,2,\dots$ olmak üzere t_k kademe değiştiricinin ayrık zamanda ani çalışmasını gösterebilir. Buna göre;

$$t_{k+1} = t_k + \Delta T_k \quad (5.18)$$

Dikkat edilmelidir ki ayrık zaman sistemleri birbirine benzememektedir. t_k bağımsız bir değişken değildir. ve ΔT_k 'nin sabit olması gerekmez. Genelde cihaz karakteristiklerine ve gerilim hatasına bağlıdır. Akıllı bir sayaç k 'dan $k+1$ 'e ilerleyecek, bu esnada zaman t_k 'dan başlayıp ilerleyerek ΔT_k 'ya ulaşacak ve ΔT_k 'yı geçecektir. ΔT_k ' sabitleyen ve ters zaman gecikmesi ile ilgili gelenekselleşmiş bir formül aşağıdaki gibidir.

$$\Delta T_k = T_d \frac{d}{|V_2 - V_2^0|} + T_f + T_m \quad (5.19)$$

Burada V_2 kontrollü gerilim V_2^0 referans gerilimi d kademe değiştiricinin ayarlanan band genişliğinin alt yarısı T_d ise ters zaman karakteristiğinin maksimum zaman

gecikmesi, T_f kasıtlı zaman geciktirmesi ve T_m ise kademe değiştirmek için zamandır. Buna göre;

$$r_{k+1} = \begin{cases} r_k + \Delta_k & \text{\textit{şayet}} & V_2 > V_2^0 + d & \text{ve} & r_k < r^{\max} \\ r_k - \Delta_k & \text{\textit{şayet}} & V_2 < V_2^0 - d & \text{ve} & r_k > r^{\max} \\ r_k & \text{\textit{aksi.takdirde}} & & & \end{cases} \quad (5.20)$$

burada r^{\max} ve r^{\min} en düşük ve en yüksek kademe sınırlarıdır. k sayacı sıfıra ayarlanarak her bir t_0 anında hata gerilimi k sıfıra ayarlanır.

$$k=0 \text{ şayet } | V_2(t_0^+) - V_2^0 | > d + \varepsilon \text{ ve } | V_2(t_0^-) - V_2^0 | \leq d + \varepsilon$$

burada ε band genişliğinin genişlemesini ve daraltılmasını sağlayan bir terimdir. İlk kademe değiştirme işleminin zaman gecikmesi için denklem (5.19)'a göre

$$\Delta T_0 = T_{d0} \frac{d}{|V_2 - V_2^0|} + T_{f0} + T_m \quad (5.21)$$

burada T_{d0} , T_{f0} ters zaman değerleridir ve birinci kademe adımı için sırayla kasıtlı olarak sabitlenir. Sonradan gelen kademeler sabit bir zaman aralığında denklem (5.19)'a göre uygun performans gösterirler. Ardışık olmayan çalışma modunda sonradan gelen kademeler ve zaman arasında bir farklılık yoktur. Zaman başlangıcından itibaren hata ayarlanan band sınırlarını ya aşar ya da kademe değiştirici harekete geçer. (5.19) denklemine göre zaman gecikmesi bulunabilir.

5.4.3.2. Sürekli kademe değiştirici modeli

Bu model $r(t)$ 'nin sürekli bir şekilde değişimine dayanır. $r(t)$ r_{\min} ile r_{\max} arasındaki tüm gerçek değerleri alabilir. Genellikle sürekli kademe değiştirici modelde ayarlanan band sınırlarının etkisi ihmal edilir. Bu nedenle diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi [14] yazılabilir.

$$T_c \dot{r} = V_2 - V_2^0 \quad r^{\max} \leq r \leq r^{\min} \quad (5.22)$$

Denklem (5.22) kullanıldığı zaman kademe değiştiricinin bir integral karakteristik kontrollü olarak modellendiğine dikkat edilmelidir. Sürekli kademe değiştirici modeli ayrık kademe değiştirici modellerinden daha az doğrudur, fakat faydalı bir yaklaşımdır. Özellikle analitik çözümler için elverişlidir. Zaman simülasyonlarında kullanımı sınırlıdır.

Denklem (5.22) ile verilen model $T_f=T_m=0$ alınarak ardışık olmayan sürekli bir kademe değiştiricinin yaklaşık modelidir. T_c zaman sabiti olarak

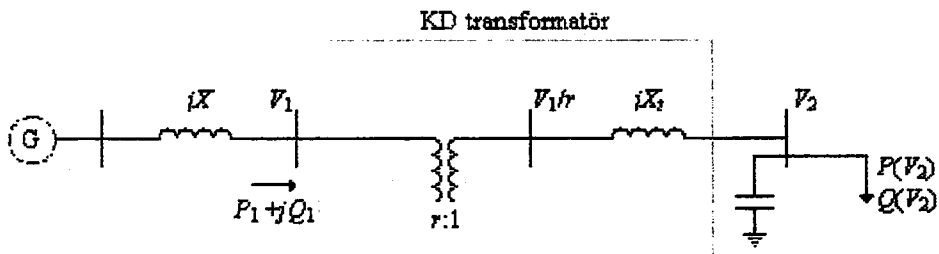
$$T_c = \frac{T_d d}{\Delta r} \quad (5.23)$$

yazılabilir. Pratikte mekanik zaman gecikmesinin (T_m) önüne geçilemeyeceğine göre bunu kompanze etmek için daha büyük bir zaman sabitine ihtiyaç duyulur.

5.4.3.3 Kademe değiştirici üzerinden yükün ayarlanması

Kademe değiştiriciler endirekt olarak yüke müdahale edip, onu ayarlayabilirler. Kademe değiştiriciler V_2 gerilimini referans gerilimi (V_2^0) değerine çekmeye çalışacaktır. Buna göre yüke aktarılan gücün düzenlenmesi bara geriliminin düzenlenmesiyle olacaktır.

Kademe değiştirici dinamiklerinin analizlerini yapmak kolaydır. Çünkü kademe değiştiriciler yavaş bir şekilde hareket eden cihazlardır. Bu nedenle generatör ve asenkron motorların sürekli hal eşitlikleri ile bunları tayin edebiliriz.



Şekil 5.2 Generatör-hat-kademe değiştirici sistem

(Şekil 5.2)'de bir kademe değiştirici üzerinden yük ayarlanmasının basit bir şekli gösterilmiştir. Burada bir generatör ile kademe değiştirici üzerinden beslenen bir iletim hattı vardır. Kademe değiştirici ideal bir transformatör gibi düşünülerek seri bir reaktansa sahiptir. Transformatör sargılarındaki bakır kayıpları ihmal edilmiştir. Kademe değiştiricinin primer tarafından görülen yük karakteristiklerini düşünelim. Yük ile gerilim arasındaki ilişkiyi gücün gerilimin bir fonksiyonu olarak;

$$P=P(V_2)$$

$$Q=Q(V_2)$$

V_1 ve V_2 arasındaki ilişkiyi aşağıdaki eşitlikten görebiliriz.

$$\left(\frac{V_1}{r} \right)^2 = \left[V_2 + \left(\frac{Q(V_2)}{V_2} - BV_2 \right) X_t \right]^2 + \left[\frac{P(V_2)X_t}{V_2} \right]^2 \quad (5.24)$$

(Şekil 5.2)'de ideal transformatör tarafından absorbe edilen aktif ve reaktif güç P_1 , Q_1 yüke aktarılan güçtür. Böylece trafo kaçak reaktansındaki X_t reaktif kayıplar ve reaktif kompanzasyon çıkarılır ve V_2 'nin bir fonksiyonu olarak P_1, Q_1

$$P_1 = P(V_2) \quad (5.25a)$$

$$Q_1 = Q(V_2) + \frac{P(V_2)^2 + Q(V_2)^2}{V_2^2} X_t - BV_2^2 \quad (5.25b)$$

Burada P_1 , ve Q_1 denkleminde eşitlik (5.24)'i kullanarak V_2 elimine edilir ve sadece V_1/r 'nin bir fonksiyonu olarak

$$P=P(V/r)$$

$$Q=Q(V/r)$$

Bu bize kademe oranının (r) özel bir değere uygun geçici hal yük karakteristiğini verir. Eğer r değişirse, geçici hal yük karakteristiği de değişir. V_2 değeri V_2^0 değerine çekildiği zaman farklı bir yük karakteristiği türetilir. Bu durumda denklem (5.25a,b)'de V_2 yerine V_2^0 değeri konulursa yük tarafından sabit bir miktar

aktif ve reaktif güç tüketilecektir. Bu değer V_1 ' den bağımsızdır. Bu kademe değiştiricinin primer tarafından görölen sürekli hal karakteristiğidir. Dikkat edilmelidir ki hem gerçek ve hem de reaktif güçler sürekli hal yük karakteristiğinde sabittir. Buna ilaveten sekonder gerilimini ayarlamak için kademe değiştirilirse primer gerilimi de değişir.

5.5 Genel Toplam (Dinamik) Yük Modelleri

Büyük güçlü bir servis transformatörünün (Bkz. Şekil 4.1)'te göröldüğü gibidir. Burada bir çok sayıda bireysel yükler (transformatörler, kapasitörler,..) orta gerilim ve alçak gerilim hatları ile beslenirler. Ayrıca gerilim ayarı transformatörleri, O.G/A.G indirici transformatör, anahtarlı kapasitör v.b bu sistemin bileşenleridir.

Aynı dağıtım tesislerinin yükleri günün aynı anı veya yılın aynı mevsiminde, veya benzer hava şartlarında farklı dağıtım tesislerinde yük davranışlarının çok büyük değişimlerde olduğu gözlemlenir. Aynı dağıtım tesisinde bile, farklı mevsimlerde farklıdır. Yük davranışları çeşitli hava şartlarında gece ve gündüz arasında da farklılık gösterebilir. Yüklerin modellenmesinde bu problem nedeniyle yükler kolay bir şekilde adreslenmez. Bu bölümde tüm yüklerin dinamik ve statik davranışlarını yeniden gözden geçirilecektir. Burada yüklerin sadece gerilim karakteristiği ile ilgilenilmiştir.

Bir çok yük bileşenlerinden oluşan dağıtım tesisleri yüklerinin modellenmesi için toplam yük modellemesi esas alınarak bir model kullanılır. Çoğu durumlarda dağıtım tesislerinin yükleri kendi aralarında bazı bölümlere ayrılabilir.

Genel yük modelinin iki farklı versiyonu tanımlanabilir. Çoklu (multiplicative) genel yük modeli ve eklemeli (additive) yük modelidir. Her iki modelde geçici hal karakteristiği üslü ifadelerdir.

5.5.1 Çoklu genel yük modeli

Güç ifadeleri aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P = z_P P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_t} \quad (5.26a)$$

$$Q = z_Q Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_t} \quad (5.26b)$$

Burada z_P ve z_Q yük dinamikleri ile ilgili boyutsuz durum değişkenleridir. Sürekli halde modelin gerilim karakteristiği

$$P_s = P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_s} \quad (5.27a)$$

$$Q_s = Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_s} \quad (5.27b)$$

Genellikle geçici hal denklemindeki üslü terimler α_t , β_t sürekli haldeki α_s , β_s terimlerinin herbirinden daha büyük değerlere sahiptir. Bu modelin yük dinamik eşitliği aşağıdaki gibi verilebilir.

$$T_P \dot{z}_P = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_s} - z_P \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_t} \quad (5.28a)$$

$$T_Q \dot{z}_Q = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_s} - z_Q \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_t} \quad (5.28b)$$

Burada T_P ve T_Q zaman sabitleridir. Bu modelin başlangıç değerleri $z_P = z_Q = 1$ ve sürekli halde $V=V_0$ olur. Yük durum değişkenleri aşağıdaki sınırlar içerisinde ifade edilir.

$$z_P^{\min} \leq z_P \leq z_P^{\max} \quad (5.29a)$$

$$z_Q^{\min} \leq z_Q \leq z_Q^{\max} \quad (5.29b)$$

Yük barasında bir gerilim azalması meydana geldiği zaman yükün başlangıçtaki cevabı geçici hal karakteristiğine göre (5.26ab) güç tüketimi ani bir şekilde düşecektir. Bunun sonrasında durum değişkenleri z_P ve z_Q denklem (5.28ab)'ye göre

artmaya başlayacak hem gerçek hem de reaktif gücün sürekli hal karakteristiğine göre iyileşmelerine neden olacaktır. Bu süreç ya sürekli hal karakteristiğine ulaşıncaya da sürekli hal sınırlarıyla karşılaştığı zaman sonlanacaktır.

5.5.2 Eklemeli genel yük modeli

Bu yük modelinde geçici hal yük karakteristiği aşağıdaki gibidir.

$$P = P_0 \left[\left(\frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_t} + z_p \right] \quad (5.30a)$$

$$Q = Q_0 \left[\left(\frac{V}{V_0} \right)^{\beta_t} + z_Q \right] \quad (5.30b)$$

Yine burada z_p ve z_Q yük dinamikleri ile ilgili boyutsuz durum değişkenleridir. Bu model geçici hal yük karakteristiğinde sabit bir terimi içine alır. Bu terim çoklu yük modelinde bulunmaz. Bu nedenle daha gerçekçidir. Sürekli hal yük karakteristiği bu modele de uygulanabilir ve aşağıdaki gibi yazılır

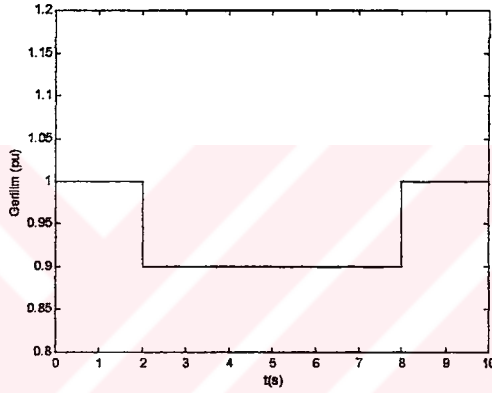
$$T_P \dot{z}_p = -z_p + \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_s} - \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\alpha_t} \quad (5.31a)$$

$$T_Q \dot{z}_Q = -z_Q + \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\beta_s} - \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\beta_t} \quad (5.31b)$$

Bu modelin başlangıç değerleri sürekli halde $V=V_0$ için $z_p = z_Q = 1$ ve olur.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Çalışmanın bu bölümünde MATLAB/SIMULINK programı kullanılarak elde edilen simulasyon sonuçları verilmiştir. Tüm çalışmalarda Şekil 6.1’de gösterildiği gibi ± 10 'luk bir gerilim değişimi olduğu düşünülmüştür.



Şekil 6.1. Yapılan simulasyon çalışmalarında uygulanan adım gerilimi işareti

6.1. Statik ve Dinamik Yük Modellerinin Karşılaştırılması

Öncelikle Bölüm 4’te sabit empedans, sabit akım ve sabit güç yükü olarak üç kısma ayırdığımız elektriksel yüklerin Şekil 6.1’de gösterilen ± 10 'luk gerilim değişimine karşı aktif güç değişimleri çeşitli modeller denenerek elde edildi. Sırasıyla üstel, çok terimli yük modelleri gibi statik yük modellerinin yanısıra bilhassa sabit güç yüklerinin toparlanan dinamiklerini sergilemesi açısından elverişli dinamik yük modelleri de denenmiştir. Modellerin karşılaştırılması ve yük davranışlarının doğru biçimde elde edilmesi açısından bu çalışmanın ilk sonuçları Şekil 6.2. ve Şekil 6.3’te görülmektedir. İki modelinde yük karakteristiklerinin her üçünün Bölüm 4’te bahsedilen aktif güç değişimlerini karşıladığı bir başka deyişle her iki modelin bu şartlarda yük davranışını yakalamadaki başarısını göstermektedir.

Ancak ne varki daha önce de belirtildiği gibi elektriksel yükler dinamik bir davranış sergiler. Hatta bazı yükler zamanla bir karakteristikten başka bir karakteristiğe geçebileceği gibi aynı yük aynı barada değişik zamanlarda değişik davranışlar sergilemektedir. Bu doğrultuda üstel ve çok terimli modelin bu tür gerilim değişimlerine karşı cevapları zamanla değişmeyen cevaplardır. Oysaki dinamik yük modeli yukarıda bahsedilen yükün davranışlarını belli bir geciktirme sabitiyle de olsa yakalamaktadır. Bununla ilgili simülasyon sonuçları da Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de verilmiştir. Değişik elektriksel yüklerin aynı anda aynı gerilim değişimlerine verdikleri cevaplar bunu göstermektedir.

Statik yük modelleri içerisinde ikinci bir model polinomial (çokterimli) yük modelidir. Güç sistemlerinde hat sonunda bir çok farklı yük bulunmaktadır. Çokterimli yük modeli içerisinde farklı karakteristiklere sahip yüklerin oluşturduğu ve literatürde ZIP model olarak bilinen bir modeldir. Bu modelle ilgili sonuçlar Şekil 6.6'dan görülebilir. Bu modelin en büyük özelliklerinden birisi b_p katsayısının bazı yük durumları için negatif olabileceğidir. Bu, farklı yüklerin biraraya gelmesiyle oluşan güç sistemlerinde yüklerin davranışlarını yakalamakta üstel modele göre biraz daha avantajlıdır. Nitekim üstel modelde böyle bir katsayı bulunmamaktadır.

6.2. Genel Toplam Yük Modellerinin Karşılaştırılması

Burada Bölüm 5'de temel denklemleri verilen iki genel toplam yük modelinin sonuçları karşılaştırıldı. Bu çalışmada göze çarpan ilk sonuç iki modelin başlangıç şartlarının eşit olmamasıdır. Nitekim denklem (5.26a) ile denklem (5.30a) karşılaştırılacak olursa sonucun bu şekilde olması normaldir. Çünkü eklemeli modelde diğer modele ilaveten durum değişkeni bulunmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için başlangıç şartlarının değiştirilmesi bir başka deyişle eklemeli modelde ilk anda durum değişkeninin sıfır alınması gerekmektedir. Bunlarla ilgili simülasyon sonuçları Şekil 6.7-Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 -Şekil 6.10 ile verilmiştir.

Bu çalışmadan çıkan bir başka sonuç ise sistemin aynı karakteristik değerlere sahip olmasına karşılık model cevaplarındaki gecikmelerin eşit olmayışdır. Bu durum özellikle (Şekil 6.9a) ve kısmen de olsa (Şekil 6.9b)'de görülmektedir. Bunun da

temel nedeni durum değişkenlerinin değişimlerinin iki modelde de aynı olmamasındadır. Zira ilk başlangıç şartlarının aynı olması durumunda iki modeldeki durum değişkenlerinin değişimi birbirine tamamen zıttır.

Genel toplam yük modellerinin en büyük özelliği toparlanan yük dinamiklerine iyi bir örnek oluşturmasıdır. Zira bir sonraki bölümde bu tür yüklerin gerilim değişimlerine karşı davranışları verilecektir. Buradan hemen anlaşılacağı gibi bu tür yüklerin güç cevapları belli bir zaman geciktirmesi ile genel toplam yük modelleri kullanılarak elde edilebilir.

6.3. Toparlanan Yük Dinamikleri İçin Yapılan Simulasyon Çalışmaları

Daha önce de belirtildiği gibi bu tür yüklere en iyi örnek termostat kontrollü yükler, kademe değiştiriciler ve asenkron motor yükleridir. Şimdi yine Şekil 6.1'de ki gibi bir adım gerilimi uygulayarak bu yüklerin aktif güç değişimlerini sırasıyla inceleyelim.

6.3.1. Termostat kontrollü yükler

Bu yüklere ait dinamik denklemler daha önceki bölümlerde elde edilmişti. (Bkz. Denklem A.6) Burada sadece farklı geciktirme sürelerinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bunlarla ilgili simulasyon sonuçları Şekil 6.11, Şekil 6.12, ve Şekil 6.13'ten rahatlıkla görülebilir. Bu tür yüklerin en önemli özelliği geçici hal süresi boyunca sabit empedans yük gibi davranmalarına karşın sürekli halde sabit güç yüküne dönüşmeleridir. Bu yüklere ait durum değişkeni olarak bir ısıtıcının kondüktansı düşünülebilir. Durum değişkenlerine ait simulasyon sonuçları (Şekil 6.11b), (Şekil 6.12b), ve (Şekil 6.13b)'de verilmiştir.

6.3.2. Kademe değiştiriciler

Elektrik güç sistemlerinde gerilim ayarlamasında endirekt olarak görev yapan bu elemanlar yavaş dinamikleri ile göze çarpmaktadırlar. Zira elde edilen sonuçlar da bunu doğrular niteliktedir. Termostat kontrollü yüklere nazaran daha yavaş ve de bir

sonraki bölümde vereceğimiz motor yüklerine nazaran oldukça yavaş olan kademe değiştiricilere ait sonuçlar Şekil 6.14, Şekil 6.15, ve Şekil 6.16'dan görülmektedir.

Bu sonuçlar bir önceki bölümde verilen termostat kontrollü yüklerle karşılaştırılırsa çok ilginç bir durum ortaya çıkmaktadır. Termostat kontrollü yüklerin adım gerilim azalmasına karşılık sabit empedans yükü gibi davranarak güçlerinin de azalmaya gittiği gözlenmektedir. Oysa kademe değiştiricilerde durum bunun tam tersidir. Yani kademe değiştiriciler adım gerilim azalmasına karşılık güç artımı ile cevap vermektedir. Bunun temel nedeni hat sonundan çekilen gücün kademe oranı ile ters orantılı olan gerilimin bir fonksiyonu olmasındandır. Nitekim durum değişkeni olarak kabul edilen kademe oranının değişimleri (Şekil 6.14b), (Şekil 6.15b) ve (Şekil 6.16b)' de verilmiştir. İlgili matematiksel bağıntılarla da bu durum anlaşılabilir (Bkz. Denklem 5.24).

6.3.3. Asenkron motorlar

Bu yükler güç sistemlerinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Hem bu özelliklerinden dolayı hem de hızlı dinamik gösteren davranışlarından dolayı gerilim kararlılığı çalışmalarında çok önemlidir.

Asenkron motorlar için birçok model gerçekleştirilmiştir. Genelde en yaygın olanı kayma değişiminin dinamiğini yansıtan modellerdir. Böyle bir modelin temel denklemleri Ek B'de elde edilmiştir. Simulasyon sonuçları da bu modelin sonuçlarıdır. Bu sonuçlar elde edilirken çeşitli tipteki motorlara ait parametreler kullanılmıştır. Bu parametrik değerlere ait bir tablo Bölüm 5'te verilmiştir (Bkz. Tablo 5.3).

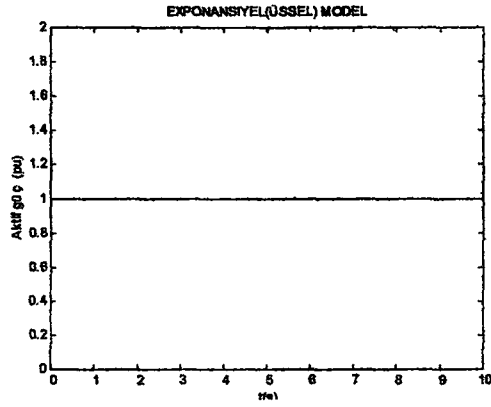
Kaymaya dayalı modellerden ilki sabit tork modelidir. Burada motorun mekanik torkunun sabit kaldığı farzedilir. Birbirlerinden farklı parametrik değerlere sahip küçük tip endüstriyel motorlara ait sonuçlar Şekil 6.17. ve Şekil 6.18'de verilmiştir. Bu sonuçlardan göze çarpan en önemli nokta asenkron motorların çok kısa bir zamanda kendilerini toparlamaya çalışmalarıdır. Böylece motor yükleri toparlanan yük dinamikleri içerisinde en hızlı cevap veren yükler olmaktadır. Bu modelin durum

değişkeni kaymadır. Bununla ilgili sonuçlar (Şekil 6.17b,c) ve (Şekil 6.18b)'den görülebilir.

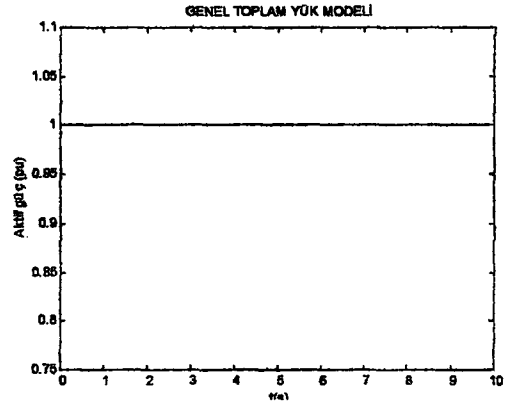
Büyük tip endüstriyel motor yüklerine ait sonuçlar Şekil 6.19'da gösterilmiştir. Burada çok önemli bir sonuç ortaya çıkmıştır. Bu tür motorlar ataletlerinden dolayı ağır yol alan motor yükleridir. Zira ilk kalkınma esnasında %10'luk bir gerilim azalması sistemi tehlikeye sokmaktadır. Kayma gitgide artmakta ve motor frenleme bölgesine doğru yol almaktadır. (Şekil 6.19c)'de ise aynı motorun en düşük tahrik momenti ile yol alması sonucunda aktif güç değişimi verilmiştir. Bu momentin daha düşük değerleri için sistemde bir çökme tehlikesi baş gösterecektir. Yine (Şekil 19b)'de kaymaya ilişkin sonuçlar verilmiştir.

Çeşitli motor yüklerine ait aktif güç ve kaymanın değişimlerini gösteren sonuçlar Şekil 6.20, Şekil 6.21 ve Şekil 6.22'den görülebilir. Bu sonuçlar sırasıyla evsel, ortalama değerli motor yükleri ile tek fazlı asenkron motorlara aittir. Sonuçlardan motorların aynı geciktirme sabiti ile toparlanma süreleri arasındaki farklılıklar ve benzerlikler rahatlıkla görülebilir. Zira tek fazlı asenkron motorlar genellikle evsel yükleri oluştururlar. Bu iki yükün verdiği cevaplarda bunu destekler yöndedir. (Bkz Şekil 6.20. ve Şekil 6.22)

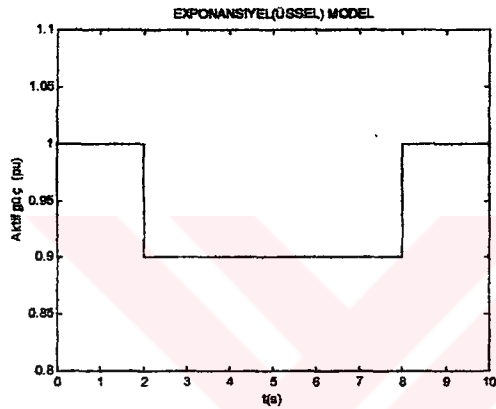
Son olarak Bölüm 5'de bahsedilen ikinci bir tork modeli ile elde edilen sonuçlar sabit tork modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için evsel motor yükü tercih edilmiştir. Bunun nedeni iki modelin verdiği toparlanma sürelerinin daha açık görülebileceği motor yükleri olmasındandır. Bu karşılaştırma ile ilgili sonuçlar Şekil 6.23'te verilmiştir. (Şekil 6.23a) ile (Şekil 6.23c) sonuçlarına göre karesel moment modelinin daha çabuk toparlanma eğiliminde olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bunun temel nedeni karesel moment modelinde durum değişkeni kaymanın diğer moment modeline nazaran motorun hareket denkleminde katılımının farklılığındandır.



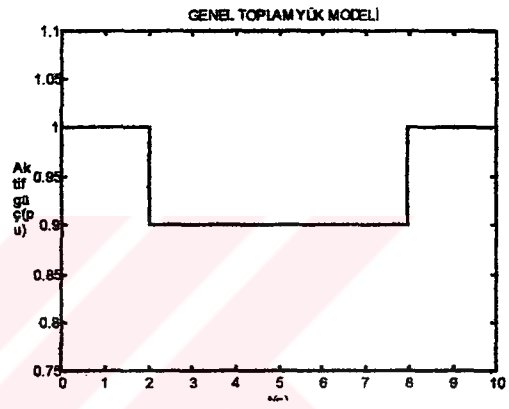
(a)



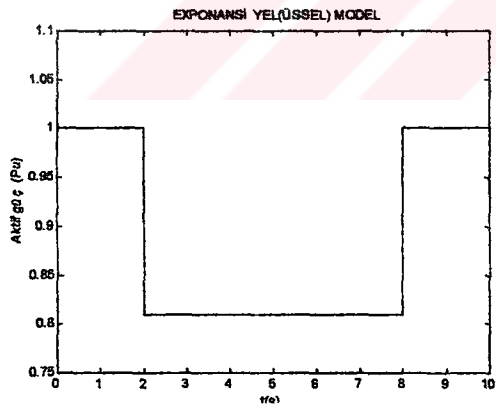
(b)



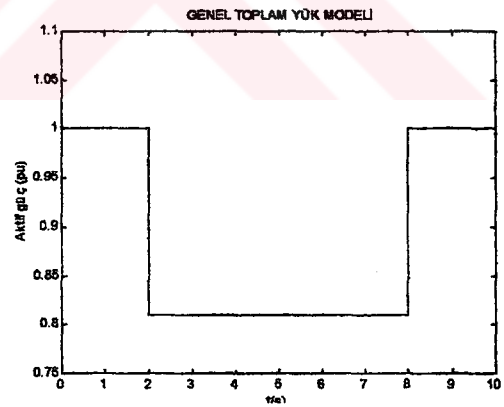
(b)



(b)



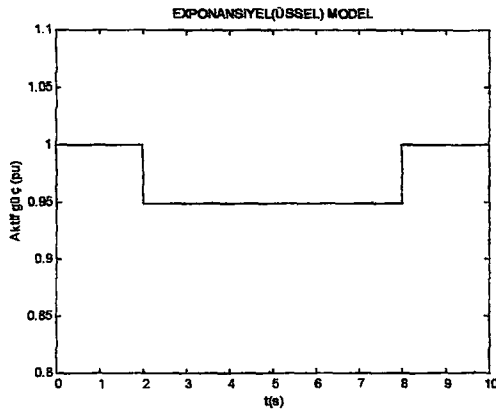
(c)



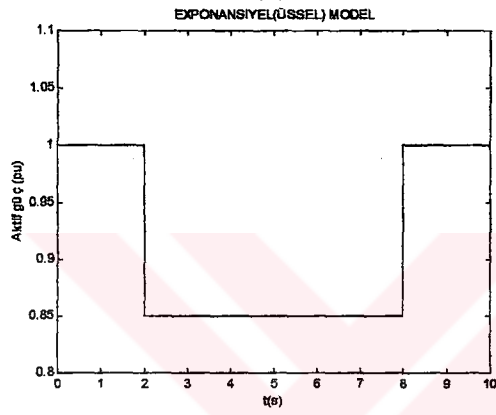
(c)

Şekil 6.2. Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre üstel (exponansiyel) modelin aktif güç cevapları (a) sabit güç yükü ($\alpha=0$) (b) sabit akım yükü ($\alpha=1$) (c) sabit empedans yükü ($\alpha=2$)

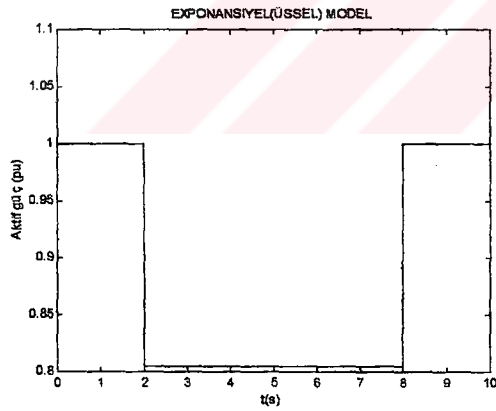
Şekil 6.3. Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre genel toplam yük modelinin aktif güç cevapları (a) sabit güç yükü ($\alpha=0$) (b) sabit akım yükü ($\alpha=1$) (c) sabit empedans yükü ($\alpha=2$)



(a)

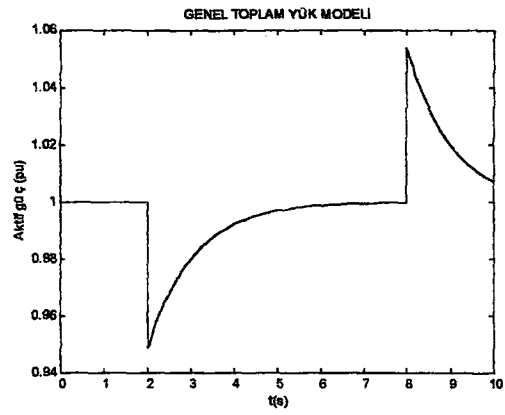


(b)

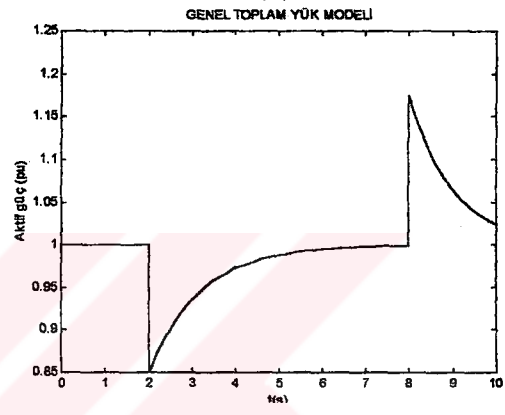


(c)

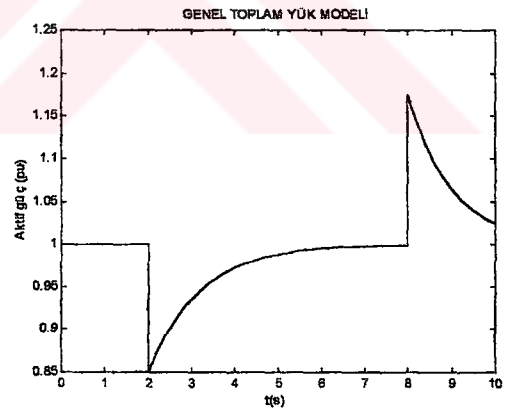
Şekil 6.4 Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre üstel (exponansiyel) modelin aktif güç cevapları (a) klima ($\alpha=0.54$) (b) deşarj lambası ($\alpha=1.54$) (c) flüoresan ($\alpha=2.07$)



(a)

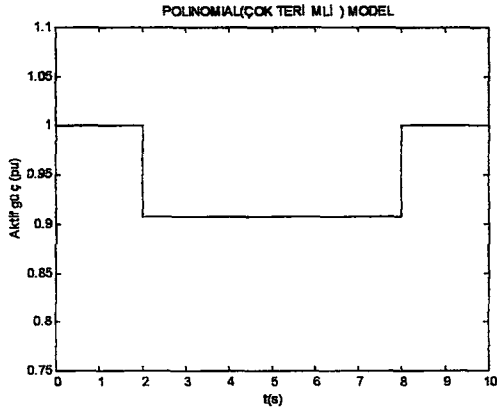


(b)

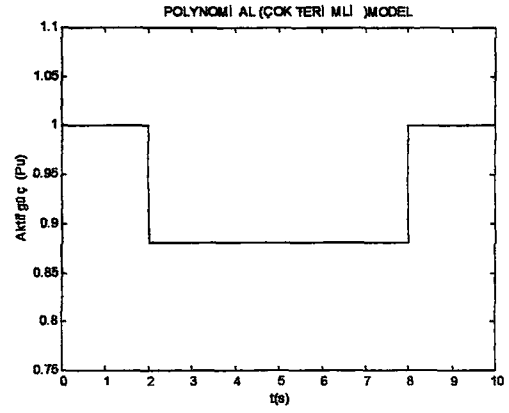


(c)

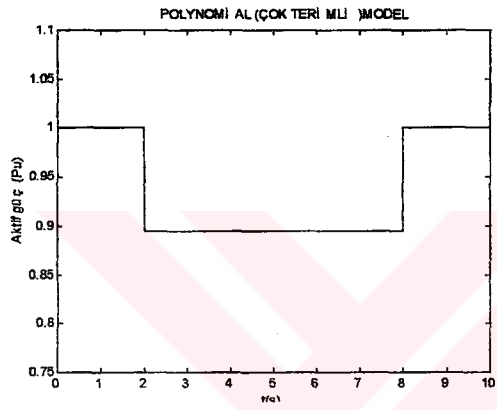
Şekil 6.5 Çeşitli yük tipleri için gerilim değişimine göre üstel (exponansiyel) modelin aktif güç cevapları (a) klima ($\alpha=0.54$) (b) deşarj lambası ($\alpha=1.54$) (c) flüoresan ($\alpha=2.07$)



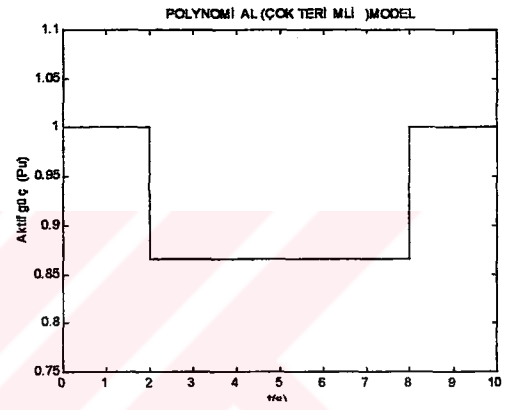
(a)



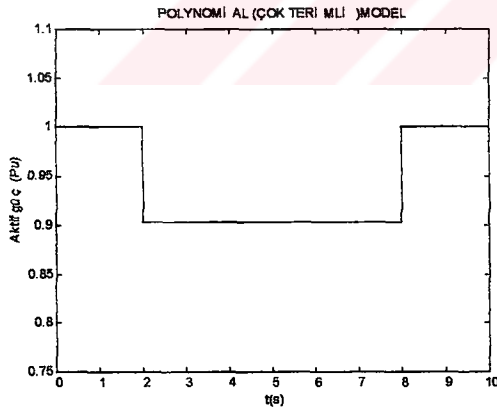
(b)



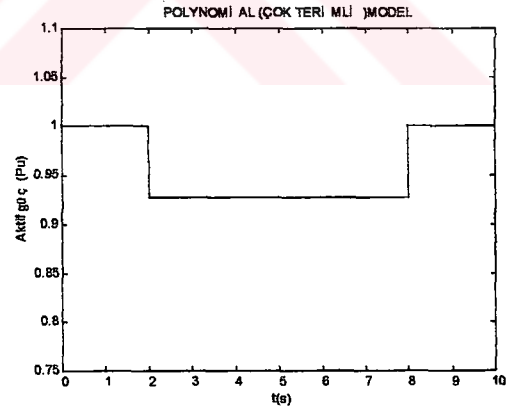
(c)



(d)

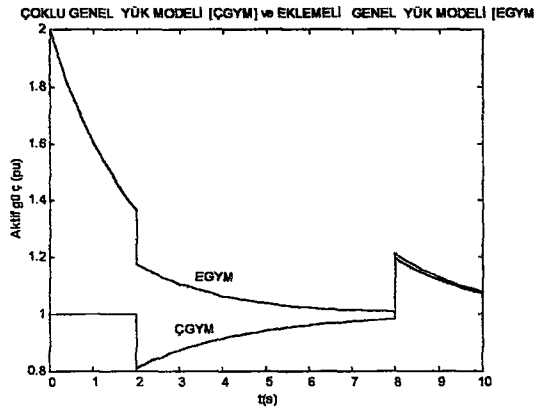


(e)

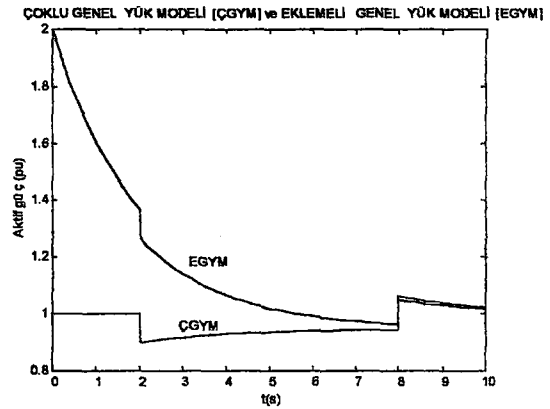


(f)

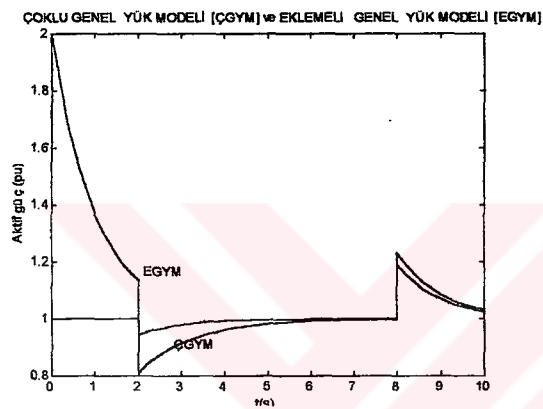
Şekil 6.6 Farklı katsayılarında çokterimli (polinomial) modelin cevapları (a) $a_p=0.75$, $b_p=-0.5$, $c_p=0.75$ (b) $a_p=0.5$, $b_p=0.25$, $c_p=0.25$ (c) $a_p=0.5$, $b_p=0.1$, $c_p=0.4$ (d) $a_p=0.5$, $b_p=0.4$, $c_p=0.1$ (e) $a_p=0.25$, $b_p=0.5$, $c_p=0.25$ (f) $a_p=0.25$, $b_p=0.25$, $c_p=0.5$



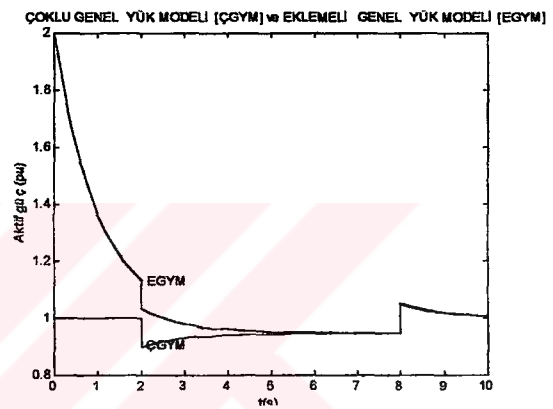
(a)



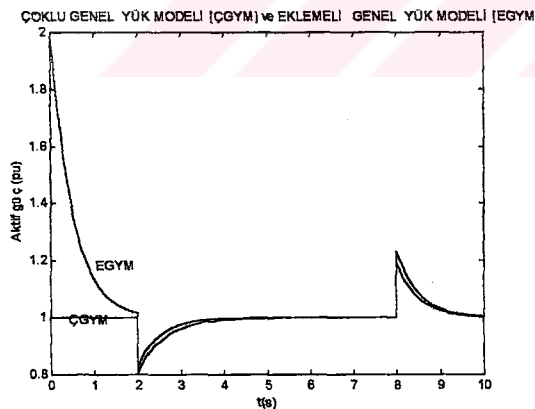
(a)



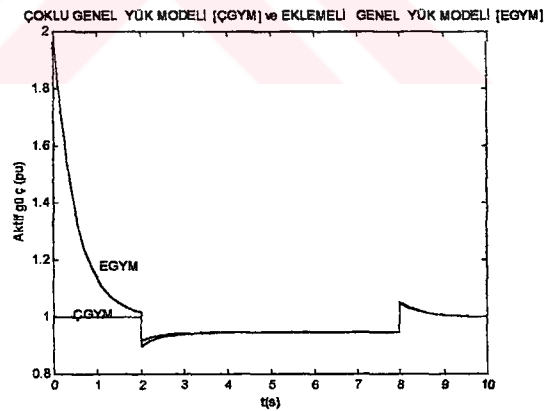
(b)



(b)



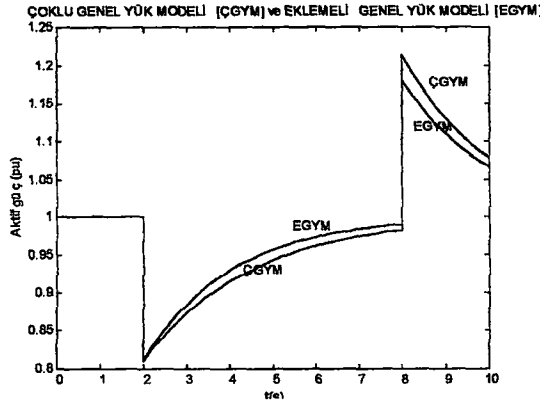
(c)



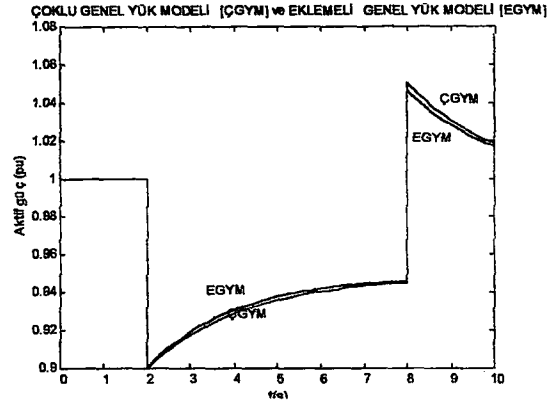
(c)

Şekil 6.7 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç değişimlerinin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması (a) $T_p=2$ s, $\alpha_s=0$, $\alpha_r=2$ (b) $T_p=1$ s, $\alpha_s=0$, $\alpha_r=2$ (c) $T_p=0.5$ s, $\alpha_s=0$, $\alpha_r=2$ [İki modelin başlangıç şartları eşit alınmıştır]

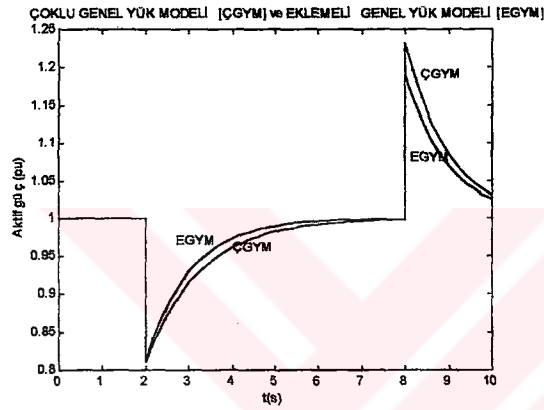
Şekil 6.8 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç değişimlerinin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması (a) $T_p=2$ s, $\alpha_s=0.5$, $\alpha_r=1$ (b) $T_p=1$ s, $\alpha_s=0.5$, $\alpha_r=1$ (c) $T_p=0.5$ s, $\alpha_s=0.5$, $\alpha_r=1$ [İki modelin başlangıç şartları eşit alınmıştır]



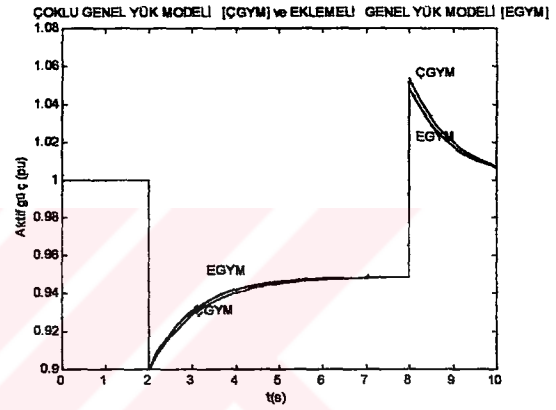
(a)



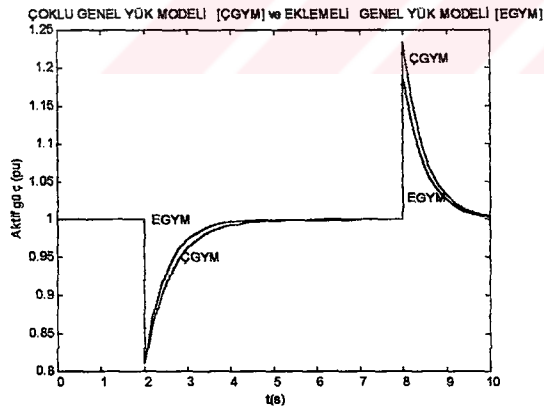
(a)



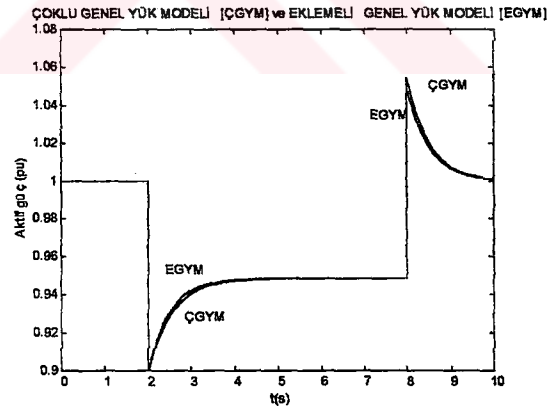
(b)



(b)



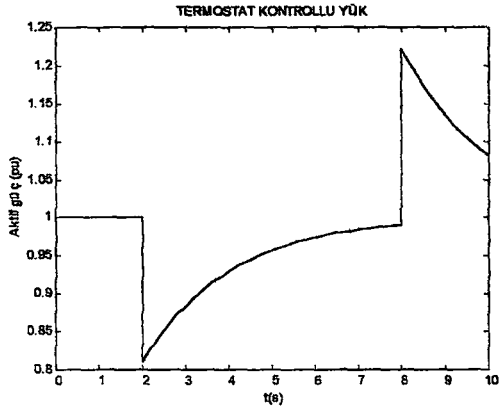
(c)



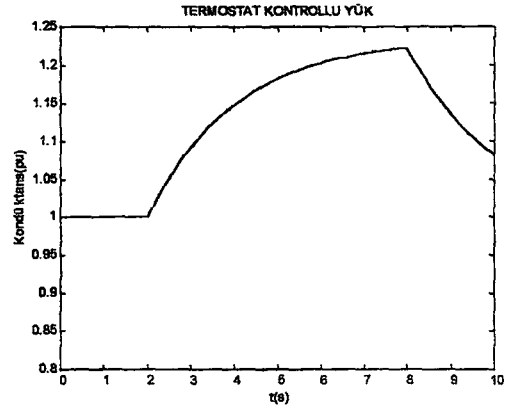
(c)

Şekil 6.9 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı aktif güç değişimlerinin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması (a) $T_p=2$ s, $\alpha_s=0$, $\alpha_t=2$ (b) $T_p=1$ s, $\alpha_s=0$, $\alpha_t=2$ (c) $T_p=0.5$ s, $\alpha_s=0$, $\alpha_t=2$ [Eklemeli genel yük modelinin başlangıç şartı sıfır alınmıştır]

Şekil 6.10 Genel toplam yük modellerinin gerilim değişimine karşı aktif güç değişimlerinin farklı T_p zamanları için verdiği cevapların karşılaştırılması (a) $T_p=2$ s, $\alpha_s=0.5$, $\alpha_t=1$ (b) $T_p=1$ s, $\alpha_s=0.5$, $\alpha_t=1$ (c) $T_p=0.5$ s, $\alpha_s=0.5$, $\alpha_t=1$ [Eklemeli genel yük modelinin başlangıç şartı sıfır alınmıştır]

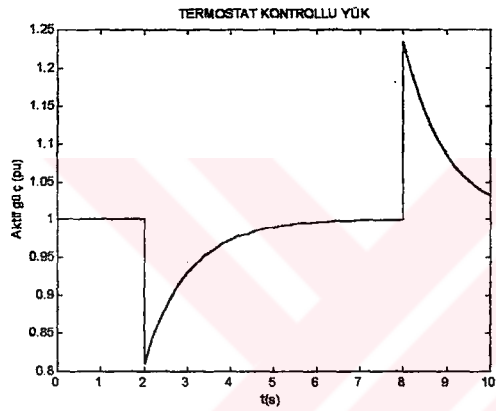


(a)

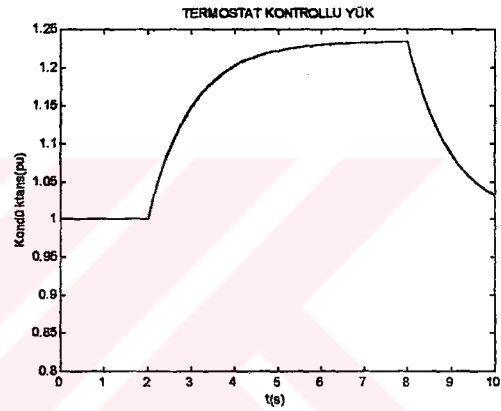


(b)

Şekil 6.11. Termostat kontrollü yüklerin adım gerilimine karşı cevapları (a) aktif güç cevabı (b) kondüktansın değişimi [$T_p=2$ s alınmıştır.]

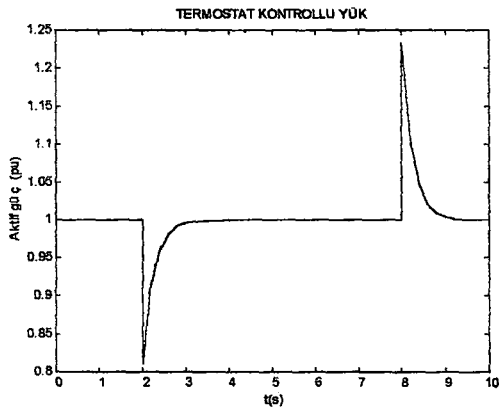


(a)

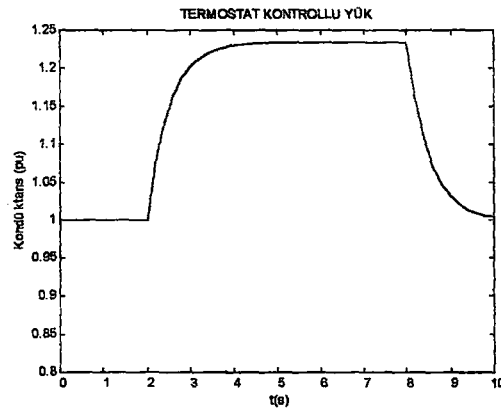


(b)

Şekil 6.12. Termostat kontrollü yüklerin adım gerilimine karşı cevapları (a) aktif güç cevabı (b) kondüktansın değişimi [$T_p=1$ s alınmıştır.]

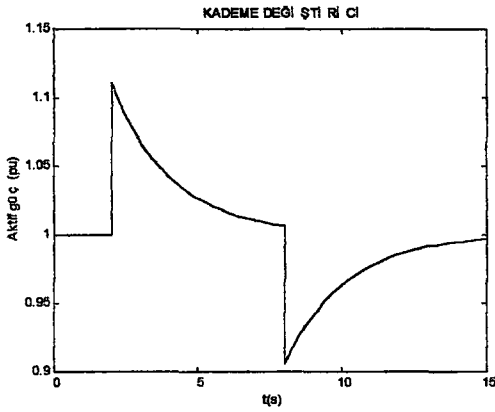


(a)

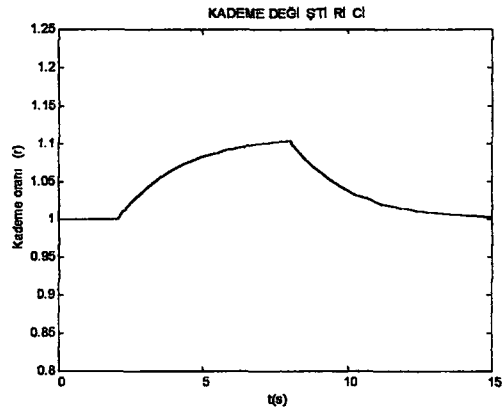


(b)

Şekil 6.13. Termostat kontrollü yüklerin adım gerilimine karşı cevapları (a) aktif güç cevabı (b) kondüktansın değişimi [$T_p=0.5$ s alınmıştır.]

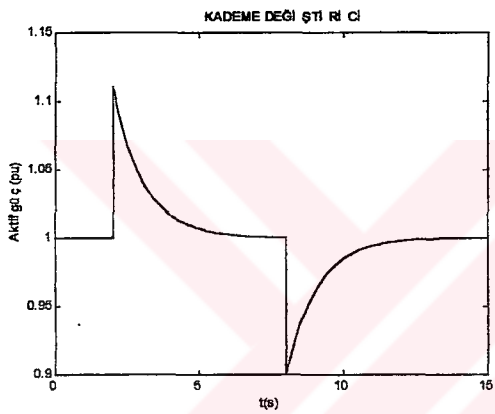


(b)

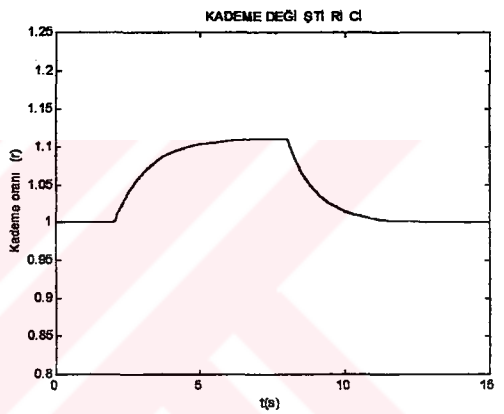


(b)

Şekil 6.14 Kademe değiştiricilerin adım gerilimine karşı cevapları (a) aktif güç cevabı (b) kademe değiştirme oranının [$T_p=2$ s alınmıştır.]

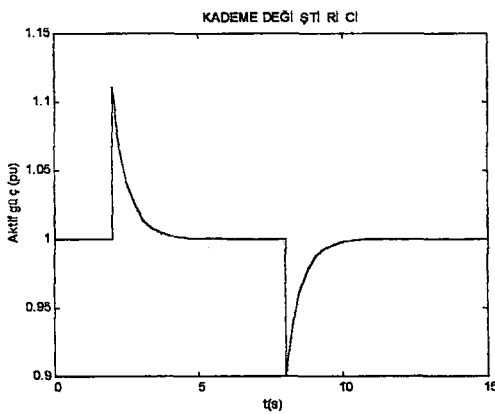


(a)

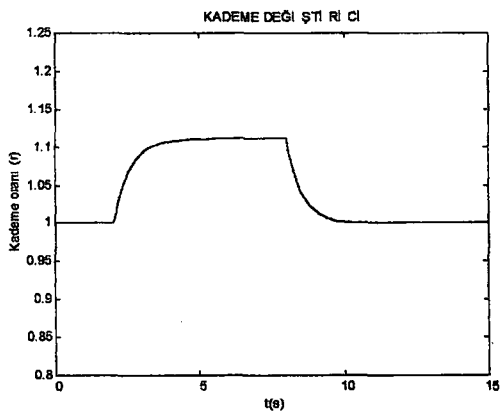


(b)

Şekil 6.15 Kademe değiştiricilerin adım gerilimine karşı cevapları (a) aktif güç cevabı (b) kademe değiştirme oranının değişimi [$T_p=1$ s alınmıştır.]

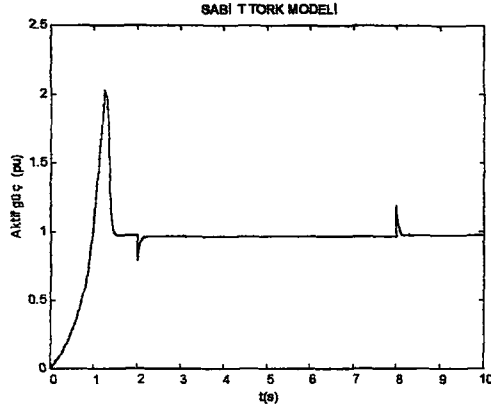


(a)

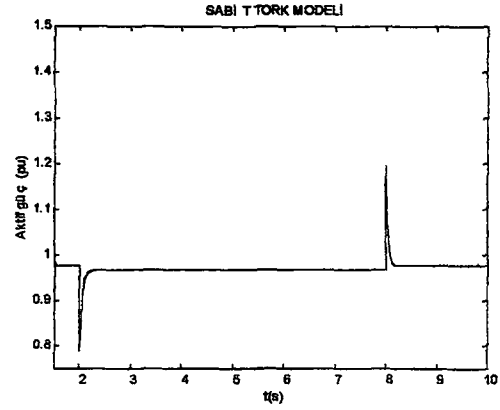


(b)

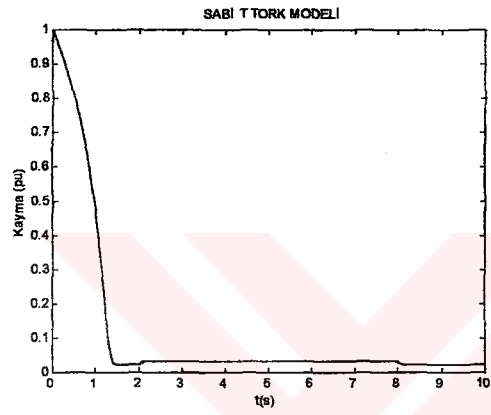
Şekil 6.16 Kademe değiştiricinin adım gerilimine karşı cevapları (a) aktif güç cevabı (b) kademe değiştirme oranının değişimi [$T_p=0.5$ s alınmıştır.]



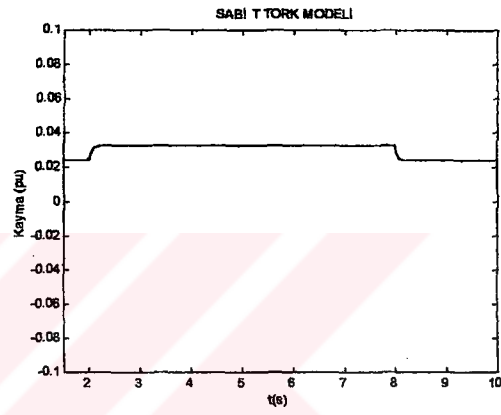
(a)



(b)

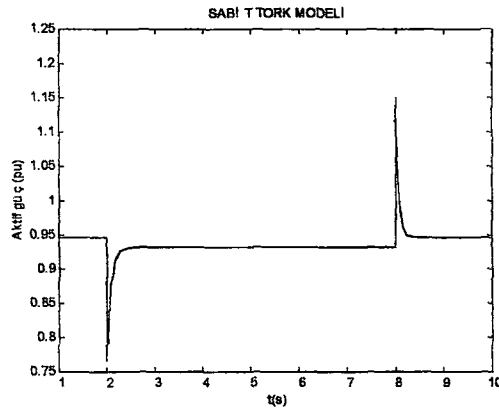


(c)

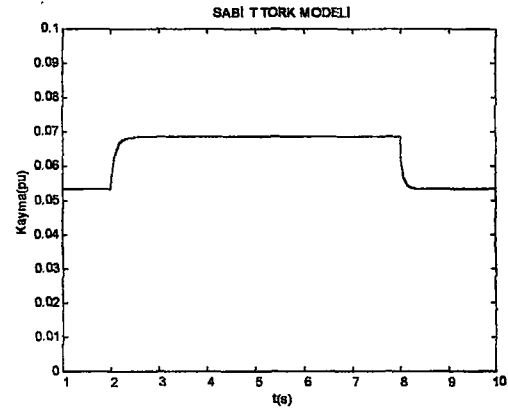


(d)

Şekil 6.17. Küçük tip endüstriyel motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar (a) $t=0$ anından itibaren aktif güç değişimi (b) sabit güce erişmesi anından itibaren aktif güç değişimi (c) $t=0$ anından itibaren kaymanın değeri (d) sabit güce erişmesi anından itibaren kaymanın değeri [$H=0.5$ s, $T_m=1$ pu alınmıştır.]

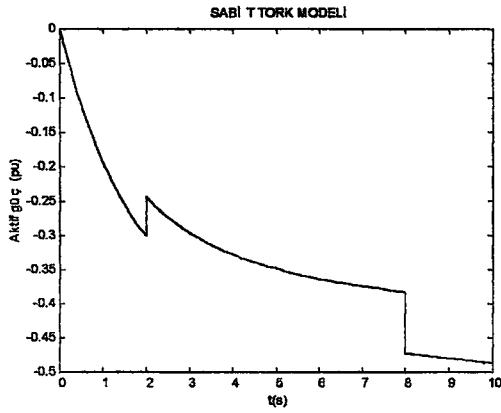


(a)

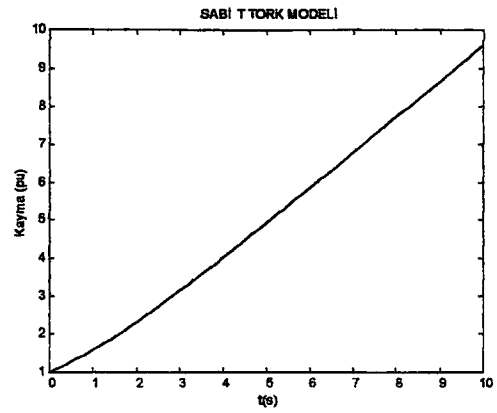


(b)

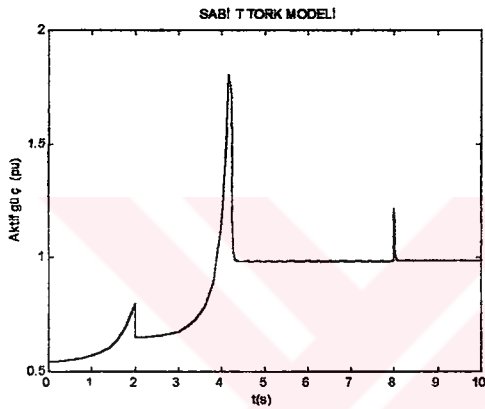
Şekil 6.18 (Şekil 6.17)'den farklı karakteristik değerlere sahip küçük tip endüstriyel motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar (a) sabit güce erişmesi anından itibaren aktif güç değişimi (b) sabit güce erişmesi anından itibaren kaymanın değeri [$H=0.5$ s, $T_m=1$ pu alınmıştır.]



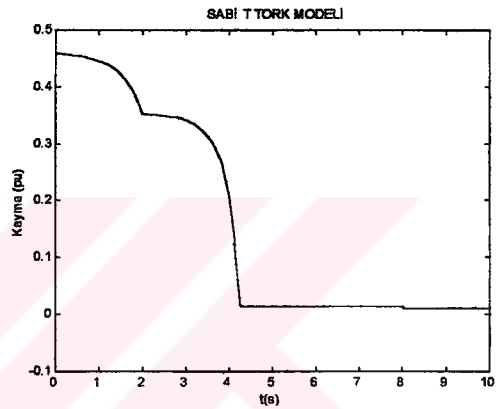
(a)



(b)

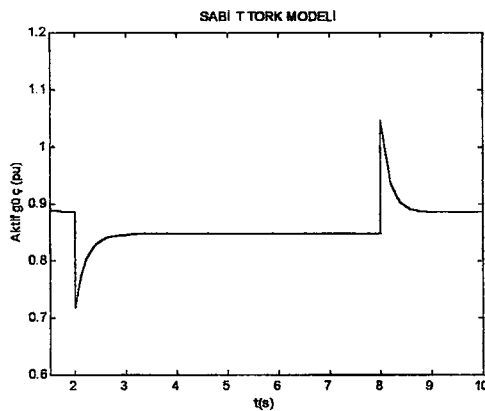


(c)

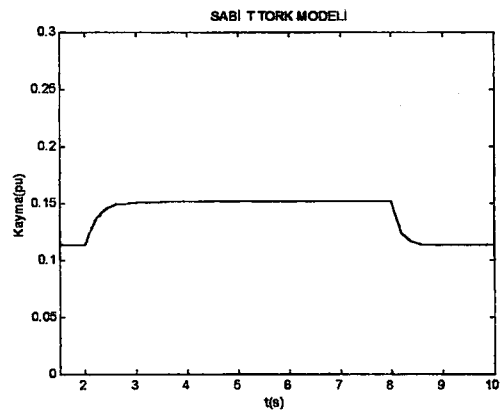


(d)

Şekil 6.19 Büyük tip endüstriyel motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar (a) $t=0$ anında duran motorun aktif güç değişimi (b) $t=0$ anında kayması sıfır olan motorun kayma değişimi (c) $t=0$ anında en düşük tahrikli motorun aktif güç değişimi (d) $t=0$ anında en düşük tahrikli motorun kayma değişimi [$H=0.5$ s, $T_m=1$ pu alınmıştır.]

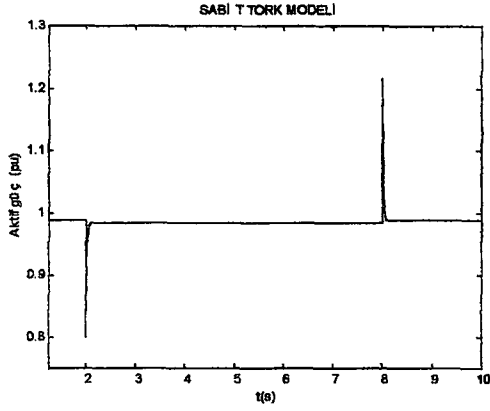


(a)

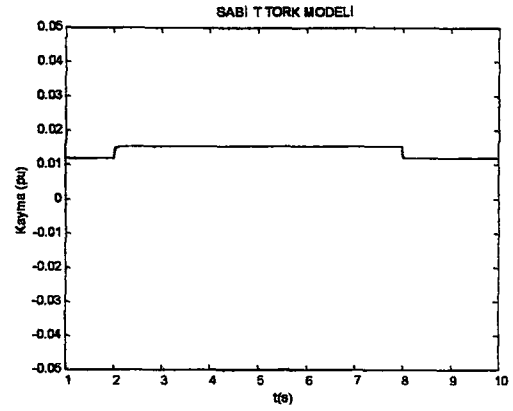


(b)

Şekil 6.20 Evsel motor yüklerinin adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar (a) sabit güce erişmesi anından itibaren aktif güç değişimi (b) sabit güce erişmesi anından itibaren kayma değişimi [$H=0.5$ s, $T_m=1$ pu alınmıştır.]

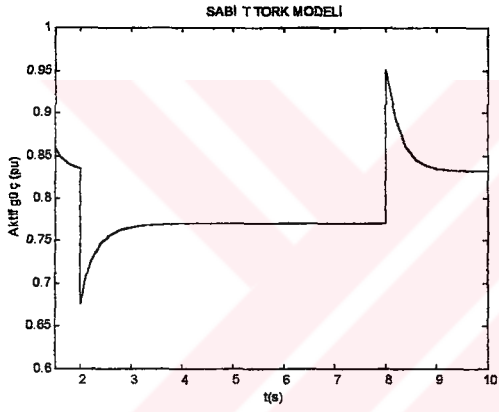


(a)

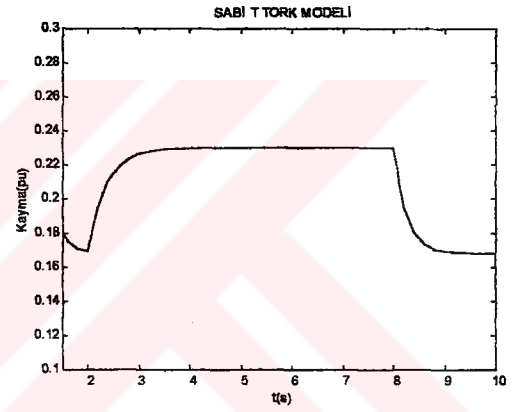


(b)

Şekil 6.21 Ortalama değerlere sahip motorların adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar (a) sabit güce erişmesi anından itibaren aktif güç değişimi (b) sabit güce erişmesi itibaren kaymanın değişimi [$H=0.5$ s, $T_m=1$ pu alınmıştır.]

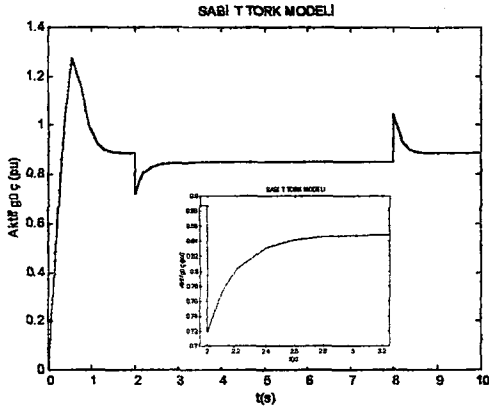


(a)

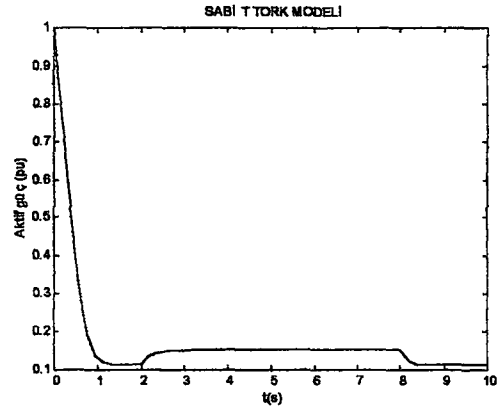


(b)

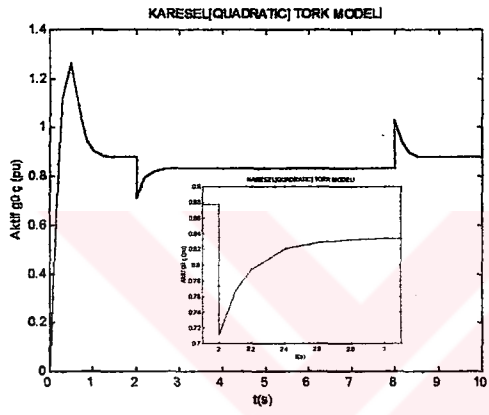
Şekil 6.22 Tek fazlı asenkron motor yüklerinin adım gerilimine karşı sabit moment modeli uygulanarak verdiği cevaplar (a) sabit güce erişmesi anından itibaren aktif güç değişimi (b) sabit güce erişmesi anından itibaren kayma değişimi [$H=0.5$ s, $T_m=1$ pu alınmıştır.]



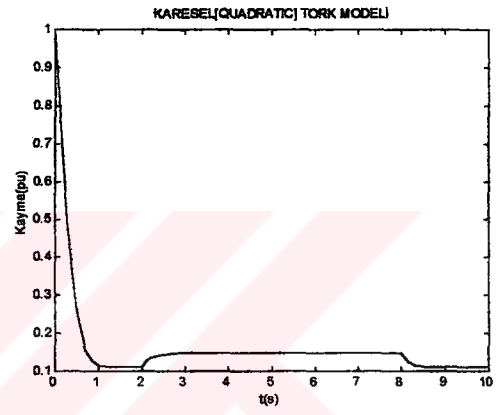
(a)



(b)



(c)

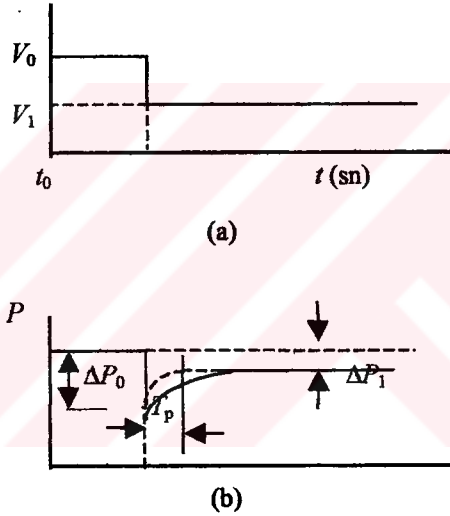


(d)

Şekil 6.23 Sabit moment motor modeli ile karesel moment motor modelinin adım gerilimine karşı verdiği cevapların karşılaştırılması (a) $t=0$ anında duran motorun sabit tork modeline göre aktif güç cevabı (b) $t=0$ anında duran motorun kayma değişimi (c) $t=0$ anında duran motorun karesel tork modeline göre aktif güç cevabı (d) $t=0$ anında duran motorun kayma değişimi

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Gerek laboratuvar şartlarında gerekse güç sistemleri baralarında yapılan ölçümler sonucu gerilimin bir adım değişimine karşı yükün verdiği cevap sonucunda aktif gücün değişimi (Şekil 6.24b)' de verildiği gibidir. Reaktif güçler için de cevaplar benzer niteliktedir. Bu cevapların neden bu şekilde oldukları daha önceki bölümlerde açıklanmıştır [14].



Şekil 6.24 Genel Yük Cevabı (a) Adım gerilimi (b) Aktif Güç cevabı

Sistemde meydana gelebilecek bir bozucu etki sonrasında yük barasında gerilim değişimi gözlenecektir. Bu değişim azalma veya artma şeklinde ortaya çıkacaktır. Yani (Şekil 6.24a)'daki gibi bir adım gerilimi olduğu düşünülürse yükün cevabının da (Şekil 6.24b)'deki gibi olması gerekecektir. Bu sonuç genellikle sabit güç yüklerine örnek olarak gösterilebilecek olan (motorlar, termostat kontrollü yükler ve kademe değiştirici) yüklerin gerilim azalması sonucunda verdiği cevapların tipik olarak genelleştirilmiş halidir. Yapılan simülasyon çalışmalarında da buna benzer sonuçların elde edilmesi bu cevabın doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Buradaki ΔV 'lik gerilim azalması sonucunda güç cevabında üç önemli değer karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birisi T_p (toparlanma süresi)'nin çeşitli yükler

için farklı değerlerde olacağı, örneğin kademe değiştiricilerde çok yavaş motorlarda ise çok hızlı olduğu hatırlanabilir. Diğer önemli iki değer ise ΔP_0 ve ΔP_1 'dir. İşte yük modellemesinin en kritik değerleri bunlardır. İyi bir yük modelinin bu değerleri yakalaması gerekmektedir.

Bu tür yüklerin davranışlarını yakalamak için dinamik yük modelleri tercih edilmelidir. Zira bozucu etki sonrası sistemin geçici hal davranışını bu modelin yakalama başarısı statik yük modeline nazaran daha iyidir. Bununla ilgili yapılan karşılaştırmalı analizlerde bu söylenenleri doğrulamıştır.

Yükler birbirlerine karşı değişik karakteristik yapıya sahip olabildikleri gibi benzer yükler farklı zamanlarda farklı özellikler bile gösterebilmektedirler. Hatta bir yük zaman içerisinde belli bir karakteristikten başka bir yük karakteristiğine geçebilmektedir. Yük modellemesi bu açıdan oldukça zordur.

Bu açıdan bakıldığında elektriksel yüklerin hızlı dinamikleri nedeniyle değişken yapıya sahip olmaları yük modellemesini oldukça zorlaştırmakta bir o kadar da önemli kılmaktadır.

Bu noktadan itibaren rahatlıkla dinamik yük modelinin statik yük modellerine nazaran daha elverişli ve gerçekçi olduğunu söylemek mümkündür. Ancak yine de çok düşük gerilim seviyelerinde, geçici hal kararlılık analizlerinde, çok büyük yük transferlerinde dikkatli olunması gerektiği gibi bir yük bölgesinde yapılacak yük modellemesinde mevsimler, günler ve hatta gece ve gündüz arasındaki farklılıkların bile dikkate alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Jan Machowski, Janusz W. Bialek, James R. Bumby, “ Power System Dynamics and Stability” John Wiley & Sons, England, 1997

[2] Nejat Tuncay , “ Elektrik Enerji Kalitesinin Tanımı”, Elektrokent perpa dergisi, Ocak-Şubat 2001

[3] Carson W.Taylor, “Power System Voltage Stability ”, EPRI Power System Engineering Series, McGraw Hill, 1994

[4] Yongsheng Wang, “Power System Load Modelling” Preliminary report, prepared for Transpower NZ Ltd, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Auckland, May 1997

[5]Chiev-Yann Chiou ,Chiang-Tsang Huang, Wen-Shiow Kao “Dynamic Load Modelling in Taipower System Stability Studies” IEEE Transactions on Power Systems, Vol.10, No.2, pp.907-913, May 1995

[6] Chiev-Yann Chiou ,Chang-Hornng Huang, An-Shin Liu, Yung-Tien Chen, Tai-Hsiung Li, Chia-Jen Lin, Hsiao-Dong Chiang, Jen-Lun Yuan, “Development of a Micro-processor-based Transient Data Recording System for Load Behavior Analysis”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.8, No.2, pp.16-22, February 1995

[7] M.Taleb, M.Akbaba, E.A.Abdullah, “Aggregation of Induction Machines for Power System Dynamic Studies”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9 No.4, pp.2042-2048, November 1994

[8] Mehmet A. Yalçın, “Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi”, Doktora Tezi, İTÜ, Elk-Elektronik Fakültesi, İstanbul,1995

[9] Roger C.Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, “ Electrical Power Systems Quality”, McGraw-Hill, 1996

[10] Thierry Van Cutsem, Costas Vournas, “Voltage Stability of Electric Power Systems”, Power electronics and Power Systems series, Kluwer Academic Publishers, 1998

[11] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance,“ Load Representation for Dynamic Performance Analysis”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.8 No.2, pp.472-481, May 1993

[12] Muzaffer Özkaya, "Aydınlatma Tekniği", Bursa Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1981

[13] IEEE Committee Report, "Standard Load Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation" IEEE Transactions on Power Systems, Vol.10 No.3, pp.1302-1313, August 1995

[14] David J.Hill, "Nonlinear Dynamic Load Models With Recovery for Voltage Stability Studies" IEEE Transactions on Power Systems, Vol.8, No.1, pp.166-176, February 1993

[15] K.Imhof, F.Oesch, I.Nordanlycke, "Modelling of Tap Changer Transformers in an Energy Management System", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.11, No.1, pp.428-434, February 1996

[16] Wilsun Xu, Yakout Mansour, B.C.Hydro "Voltage Stability Analysis Using Generic Dynamic Load Models" IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9, No.1, pp.479-486, February 1994

[17] S.Ahmed-Zaid, M.Taleb, and W.W.Price, "First order Induction Machine Models Near Voltage Collapse", International Workshop on Bulk Power System Voltage Phenomena: Voltage Stability and Security, Deep Creek Lake, Maryland, pp.403-410, 4-7 August 1991

[18] A.Borghetti, L.Caldon, A.Mari, C.A.Nucci, Wilsun Xu, Yakout Mansour, B.C.Hydro "On Dynamics Load models for Voltage Stability", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.12, No.1, pp.293-303, February 1997

[19] Peter.W Sauer, M.A.Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, New Jersey, 1998

[20] <http://www.eese.qut.edu.au/~palmere/eeb632/LECT2/sld29>

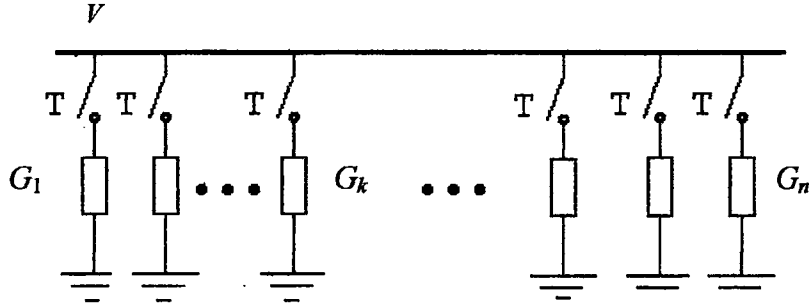
[21] http://www.ele.auckland.ac.nz/g/power_systems/pslm.htm

[22] [http://www.neplan.ch/eng/elec/Modules/Voltage St...geStability.htm](http://www.neplan.ch/eng/elec/Modules/Voltage_St...geStability.htm)

[23] <http://www.ee.usyd.edu.au/~yuri/evsm.html>

[24] http://www.powerworld.com/Simulator/simulator_vast.htm

EK A. TERMOSTAT KONTROLLU YÜKLER



Şekil A.1 Paralel bağlı termostat kontrollü cihazlar

n adet sabit kondüktansa sahip cihazların paralel bağlandığı bir şekil A.1' de çizilmiştir. Şekil A.2' de çizilen grafiğe göre her bir anahtarlama zamanı bazen birkaç dakikayı da geçebilir. Bu sayede güç tüketiminin anahtarlanmasını sağlayarak sistemi verilen bir sıcaklık seviyesinde muhafaza etmeyi başarır. P_k ortalama güç olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

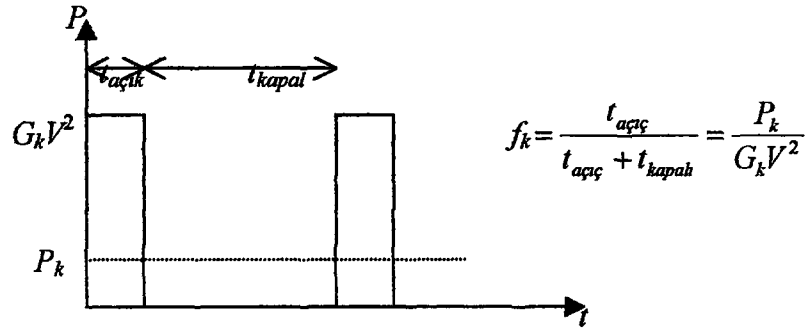
$$P_k = f_k G_k V^2 \quad (\text{A.1})$$

Burada $0 < f_k < 1$ dir. Bir periyot esnasında cihazın açık kalma süresinin toplam süreye oranıdır. (A.1) eşitliğine göre P_k 'nın talep edilen gücü aşmaması halinde,

$$P_k \leq G_k V^2 \quad (\text{A.2})$$

olabilir. Bu eşitliğin önemli bir gerilim düşümü sonrası bozulması mümkündür. İşte bu durumda sürekli açıktır ve f_k 1'e eşittir. Böylece t zamanında tüm aygıtlar tarafından tüketilen ortalama güç geçici hal yük gerilim karakteristiği ile verilir.

$$P_k(V) = \sum_{k=1}^n f_k(t) G_k V^2 \quad (\text{A.3})$$



Şekil A.2 Termostat çalışma periyodu

V_0 başlangıç geriliminde tüm cihazlar tarafından tüketilen gücün tüm k ' lar için denklem (A.3)'e göre $f_{k0} < 1$

$$P_0 = \sum_{k=1}^n P_k = \sum_{k=1}^n f_{k0} G_k V_0^2 \quad (A.4)$$

Gerilim kaynağında $t=0$ anında V_0 'dan V 'ye bir adım azalması durumunda tüm cihazlar tarafından tüketilen gücün derhal düşmesi ile sonuçlanacaktır. Tabii ki bu durum gerilim azalması esnasında hat açıksa gerçekleşir. Zaman ilerledikçe her bir cihaz daha uzun bir süre açık kalacak, böylece denklem (A.1)'e göre P_k değerini yakalayınca kadar $f_k(t)$ artacaktır. Maksimum değer 1' e ulaşıncaya kadar bu durum devam edebilir. Ayar mekanizması

$$\mathcal{L}(V) = \{k ; P_k > G_k V^2\}$$

bu mekanizma V 'ye eşit bir gerilimde talep gücü karşılayacak tüm cihazların ayar mekanizmasıdır. Tüm cihazları yeni V gerilimine adapte olarak sürekli halde tükettikleri ortalama güç aşağıdaki gibidir.

$$P_s(V) = \sum_{k=1}^n f_k(\infty) G_k V^2 = \sum_{k \in \mathcal{L}} P_k + V^2 \sum_{k \notin \mathcal{L}} G_k \quad (A5)$$

Eğer bir cihaz talep edilen gücü karşılayamıyorsa bu gücün P_0 ' dan az olduğu açıkça görülür. Tahmin edilir ki gerilim daha da fazla düştüğünde bir çok cihaz daha fazla zaman açık kalacaktır.

Toplam termostat kontrollü yüklerin dinamik cevapları aşağıdaki birinci mertebeden diferansiyel denklemlerle ifade edilir.

$$T_L \dot{G} = P_0/V^2 - G \quad (\text{A.6})$$

Burada T_L termostat yükünün toparlanması için gerekli zaman sabitidir. Bu diferansiyel denklemi belirli sınırlarda ifade etmek istersek

$$G \leq G_{max}(V)$$

$$G_{max}(V) = \frac{P_s(V)}{V^2} = \sum_{k=1}^n f_k(\infty) G_k \quad (\text{A.7})$$

Burada $G_{max}(V)$ V geriliminde ekipmanın tamamen çalışma miktarına bağlıdır. $G_{max}(V)$ tüm ekipmanların tamamen devrede olduğu bir durumda tüm kondüktansların toplamı olarak

$$G_{max}(V) \leq \sum_{k=1}^n G$$

şeklinde ifade edilir ve V 'nin etkisi gerekli bilgilerin olmamasından dolayı ihmal edilir böylece herhangi bir anda çekilen toplam güç;

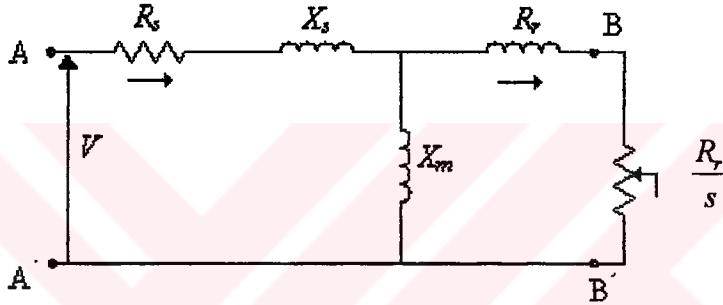
$$P = GV^2$$

olarak yazılabilir. Karlsson bir çalışmasında termostat kontrollü yüklerin bu davranışlarına gerilim kaynağının bir etkisini göstermiştir. Eski bimetal termostatlar, kompanzasyon elemanları ve hızlandırıcı elemanlara bağlanarak oda sıcaklığındaki değişimleri önceden tahmin ederlerdi. Bu elemanların ürettiği ısı nedeniyle kaynak gerilimi de etkilenecek termostatın çalışma periyoduna tesir edilir [10].

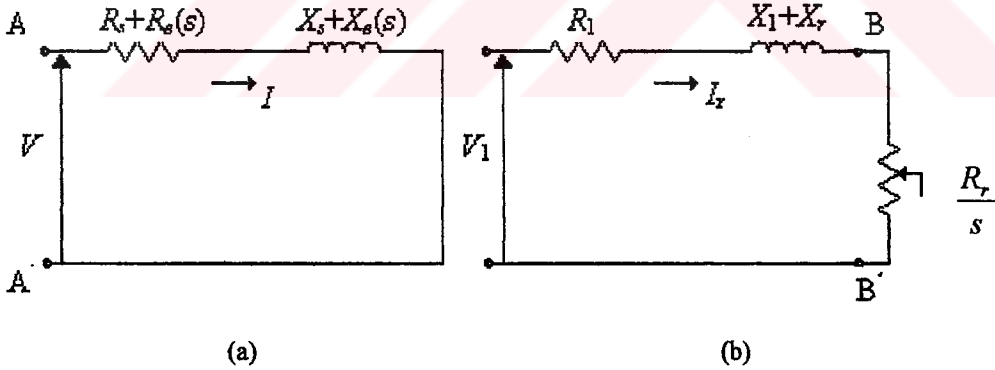
EK B. ASENKRON MOTOR MODELİ

B.1. Sürekli Hal Eşdeğer Devresi

Bir üç fazlı asenkron makinenin sabit rotor rezistansı ile gösterilen eşdeğer devresi (Şekil B.1)'de verilmiştir.



Şekil B.1 Asenkron motorun sürekli hal eşdeğer devresi



Şekil B.2 Asenkron motorun (a) BB' den görülen Thevenin eşdeğeri (b) AA' den görülen Thevenin eşdeğeri

Motorun bilinen kayma denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$s = \frac{\omega_0 - \dot{\theta}_r}{\omega_0} \quad (\text{B.1})$$

Burada ω_0 nominal açısal frekans ve $\dot{\theta}_r$ birim zamanda rotor hızıdır. Şekil B.1'de X_s , X_r sırasıyla stator ve rotor kaçak reaktansı, X_m magnetik reaktanstır. Bu devre sürekli

hal eşdeğer devresi olarak isimlendirilir. Mekanik sürekli hal gerekli değildir. Böylece motor kayması değişebilir.

Şekil B.1'den türetilen eşdeğer devreler (Şekil B.2a,b)'de gösterilir. (Şekil B.2a)'da BB tarafından bakıldığında devrenin Thevenin eşdeğer devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$V_1 = \frac{X_m V}{\sqrt{R_s^2 + (X_s + X_m)^2}} \quad (\text{B.2a})$$

$$R_1 + jX_1 = \frac{jX_m (R_s + jX_s)}{R_s + j(X_s + X_m)} \quad (\text{B.2b})$$

Motor bir Z empedansı üzerinden bir gerilim kaynağına bağlandığında, dış empedans (Z) statora ($R_s + jX_s$) eklenebilir. Burada V kaynak gerilimidir. Şekil B.2b) stator terminalinden bakıldığında görülen eşdeğer devreyi gösterir. Motorun stator akımı

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}}{(R_s + R_e) + j(X_s + X_e)} \quad (\text{B.3})$$

burada R_e ve X_e kaymaya bağlıdır ve

$$R_e + jX_e = \frac{jX_m \left(\frac{R_r}{s} + jX_r \right)}{\frac{R_r}{s} + j(X_m + X_r)} \quad (\text{B.4})$$

5.2. Asenkron Motor Moment - Güç- Hız İlişkisi

Bu ilişki motorun durma karakteristiği ile açıklanır. Motorların durması ataletine ve dinamik değişimlerine bağlıdır. Motor elektriksel momenti gerilimin karesi ile orantılıdır. Bu eşdeğer devreden görülebilir. (Bkz. Şekil B.1) Şönt magnetik direnç ihmal edilirse elektriksel moment hava aralığı gücüdür (rotor sargı kayıpları çok az moment akımın karesi ile orantılı olduğundan gerilimin karesi ile de orantılıdır. Mekanik moment elektriksel momenti aşabildiğinde durma meydana gelir. Kompresör yükler için (klimalar ve soğutucular) bir gerilim azalmasını takiben yeniden start veya yeniden toparlanma kısa bir servis dışı kalmayı gerektirdiğinden pek başarılı değildir [3].

Statordan rotora aktarılan aktif güç eşdeğer devreden hesaplanarak

$$P_g = I_r^2 \frac{R_r}{s} \quad (\text{B.5})$$

yukarıdaki denklemden rotor kayıpları çıkarılacak olursa

$$P_e = I_r^2 \frac{R_r}{s} (1-s) \quad (\text{B.6})$$

gibi olur. Aynı güç rotor hızı ile elektromagnetik torkun (T_e) çarpımıyla da bulunabilir.

$$P_e = T_e \frac{\dot{\theta}}{\omega_0} = T_e (1-s) \quad (\text{B.7})$$

(B.6) ve (B.7) eşitlikleri karşılaştırılırsa elektromagnetik torkun ifadesi

$$T_e = I_r^2 \frac{R_r}{s} = P_g \quad (\text{B.8})$$

(Şekil B.2a)'da gösterilen thevenin eşdeğer devresinden I_r çözümlenirse motor tarafından geliştirilen momenti kayma ve gerilimin bir fonksiyonu olarak elde edebiliriz.

$$T_e(V_1, s) = \frac{V_1^2 \frac{R_r}{s}}{(R_1 + \frac{R_r}{s})^2 + (X_1 + X_r)^2} \quad (\text{B.9})$$

veya terminal gerilimi ve kaymanın fonksiyonu olarak

$$T_e(V, s) = \frac{V^2 X_m^2 \frac{R_r}{s}}{[(R_1 + \frac{R_r}{s})^2 + (X_1 + X_r)^2][R_s^2 + (X_s + X_m)^2]} \quad (\text{B.10})$$

denklem (B.9)'a göre negatif kayma negatif elektromagnetik moment üretir. Asenkron motorun sürekli halde absorbe ettiği aktif ve reaktif güçler gerilim ve kaymanın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$P(V, s) = \frac{(R_s + R_e)V^2}{(R_s + R_e)^2 + (X_s + X_e)^2} \quad (\text{B.11a})$$

$$Q(V, s) = \frac{(X_s + X_e)V^2}{(R_s + R_e)^2 + (X_s + X_e)^2} \quad (\text{B.11b})$$

ÖZGEÇMİŞ

KADİR ABACI

1969 yılında Gaziantep’te doğdu. İlk-Orta ve Lise eğitimlerini burada tamamladıktan sonra 1989 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği bölümüne girdi. 1993 yılında bu bölümden mezun oldu. Askerlik görevini yedek subay olarak tamamladıktan sonra çeşitli kamu ve özel kuruluşlarda görev yaptı. 1999 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Anabilim dalında yüksek lisans çalışmalarına başladı. Halen bu çalışmalarına devam etmekte olan Kadir Abacı, evli ve bir çocuk babasıdır.