İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ FAZLI SİNÜSOİDAL SİSTEMLERDE DENGESİZ GÜÇ ÖLÇÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ufuk ÇAPAROĞLU

Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Programı : Elektrik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr Ömer USTA

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ FAZLI SİNÜSOİDAL SİSTEMLERDE DENGESİZ GÜÇ ÖLÇÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ufuk ÇAPAROĞLU
(504061022)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer USTA (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Y. Doç. Dr. Deniz YILDIRIM (İTÜ)
Y. Doç. Dr. Mehmet BAYRAK (SAÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Bana bu çalışmayı yapma olanağı veren, çalışmalarımı büyük bir sabır ve özenle inceleyerek, karşılaştığım zorlukları aşmak için bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Ömer Usta'ya teşekkür ederim.

Varlıklarıyla bana her zaman güç veren ve hayatımın her evresinde bana maddi, manevi olarak sonsuz destek veren anneme, babama, kardeşime, teyzem Dr. Rukiye Kul ile eniştem Dr. Numan Kul'a sonsuz teşekkürler ederim.

Elektrik mühendisliğini meslek olarak seçmemde ve benimsememde büyük katkısı bulunan amcam Elk. Müh. Çetin Çaparoğlu'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının, üç fazlı sinüsoidal enerji sistemleri üzerinde güç hesaplamaları ile ilgilenen herkese yardımcı olmasını dilerim.

Mayıs 2009

Ufuk Çaparoğlu

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
2. SÜREKLİ HAL GÜÇ DEĞERLERİ İLE DENGESİZ GÜÇ HESABI **3**
2.1 Tek Fazlı Sinüsoidal Sistemler 3
2.1.1 Ani güç 4
2.1.2 Aktif güç (W) 4
2.1.3 Reaktif güç (var) 5
2.1.4 Görünür güç (VA) 5
2.1.5 Güç faktörü 5
2.2 Üç Fazlı Sinüsoidal Sistemler 6
2.2.1 Üç fazlı dengeli sistem 6
2.2.1.1 Ani güç 7
2.2.1.2 Aktif güç (W) 7
2.2.1.3 Reaktif güç (var) 8
2.2.1.4 Görünür güç (VA) 8
2.2.1.5 Güç faktörü 8
2.2.2 Üç fazlı dengesiz sistem 8
2.2.2.1 Ani güç 10
2.2.2.2 Aktif güç (W) 10
2.2.2.3 Pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri ile aktif güç (W) 10
2.2.2.4 Reaktif güç (var) 12
2.2.2.5 Pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri ile reaktif güç (var) 12
2.2.2.6 Görünür güç (VA) 13
2.2.2.7 Pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri ile görünür güç (VA) 13
2.2.2.8 Güç faktörü 14
2.2.2.9 Etkin görünür güç (VA) 14
2.2.2.10 Dengesiz güç 15
3. ANİ GÜÇ DEĞERLERİ İLE DENGESİZ GÜÇ HESABI **17**
3.1 Direkt Faz Büyüklükleri İle Ani Güç 17
3.2 Pozitif, Negatif Ve Sıfır Bileşenleri İle Ani Güç 19
3.3 Dengesiz Güç Bileşeni 20
3.4 Dengesiz Güç 21
3.4.1 Üç telli sistemlerde dengesiz güç 21
3.4.2 Dört telli sistemlerde dengesiz güç 22

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI 25
4.1 Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç Hesaplama Algoritması 25
4.1.1 Üç telli sistemler için hesap algoritması 25
4.1.2 Dört telli sistemler için hesap algoritması 26
4.2 Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç Hesaplama Algoritması 27
4.3 Üç Telli Durum Analizi 28
4.3.1 Üç telli tam dengeli durum 28
4.3.2 Üç telli dengesiz durum 31
4.3.2.1 Dengesiz yüklenme 31
4.3.2.2 Hat kopması 33
4.3.2.3 Faz-faz arızası 35
4.3.2.4 Faz-faz-toprak arızası 40
4.4 Dört Telli Durum Analizi 43
4.4.1 Dört telli tam dengeli durum 43
4.4.2 Dört telli dengesiz durum 45
4.4.2.1 Dengesiz yüklenme 45
4.4.2.2 Hat kopması 47
4.4.2.3 Faz-faz arızası 49
4.4.2.4 Faz-faz-toprak arızası 53
5. GERÇEK SİSTEM ANALİZİ 57
5.1 Normal Çalışma Koşulları 57
5.2 Arıza Durumu 59
6. SONUÇLAR 61
7. KAYNAKLAR 63

KISALTMALAR

AGD : Ani Güç Değerleri ile Dengesiz Güç Hesabı
F-F : Faz-faz
F-F-T : Faz-faz-toprak
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
SHD : Sürekli Hal Değerleri ile Dengesiz Güç Hesabı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Üç telli tam dengeli durum gerilim ve yük değerleri 29
Çizelge 4.2 : Üç telli tam dengeli durum çekilen akımların tepe değerleri 29
Çizelge 4.3 : Üç telli tam dengeli durum gerilim ve akım ani değerleri 30
Çizelge 4.4 : Üç telli tam dengeli durum simetrili bileşen büyüklükleri 30
Çizelge 4.5 : Üç telli tam dengeli durum dengesiz güç değerleri 30
Çizelge 4.6 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve yük değerleri 32
Çizelge 4.7 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu akımların tepe değerleri 32
Çizelge 4.8 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve akım ani değerleri ... 32
Çizelge 4.9 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu simetrili bileşen büyüklükleri ... 33
Çizelge 4.10 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu dengesiz güç değerleri 33
Çizelge 4.11 : Üç telli hat kopması durumu gerilim ve yük değerleri 34
Çizelge 4.12 : Üç telli hat kopması durumu akımların tepe değerleri 34
Çizelge 4.13 : Üç telli hat kopması durumu gerilim ve akım ani değerleri 34
Çizelge 4.14 : Üç telli hat kopması durumu simetrili bileşen büyüklükleri 35
Çizelge 4.15 : Üç telli hat kopması durumu dengesiz güç değerleri 35
Çizelge 4.16 : Üç telli F-F arızası durumu gerilim ve yük değerleri 36
Çizelge 4.17 : Üç telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri 36
Çizelge 4.18 : Üç telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri 37
Çizelge 4.19 : Üç telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri 37
Çizelge 4.20 : Üç telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri 37
Çizelge 4.21 : Üç telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri 38
Çizelge 4.22 : Üç telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri 38
Çizelge 4.23 : Üç telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri 38
Çizelge 4.24 : Üç telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri 39
Çizelge 4.25 : Üç telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri 40
Çizelge 4.26 : Üç telli F-F-T arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri 41
Çizelge 4.27 : Üç telli F-F-T arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri 41
Çizelge 4.28 : Üç telli F-F-T arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri 41
Çizelge 4.29 : Üç telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri 42
Çizelge 4.30 : Dört telli tam dengeli durum gerilim ve yük değerleri 43
Çizelge 4.31 : Dört telli tam dengeli durum akımların tepe değerleri 44
Çizelge 4.32 : Dört telli tam dengeli durum gerilim ve akım ani değerleri 44
Çizelge 4.33 : Dört telli tam dengeli durum simetrili bileşen büyüklükleri 44
Çizelge 4.34 : Dört telli tam dengeli durum dengesiz güç değerleri 45
Çizelge 4.35 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve yük değerleri 46
Çizelge 4.36 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu akımların tepe değerleri 46
Çizelge 4.37 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve akım ani değerleri . 46
Çizelge 4.38 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu simetrili bileşen büyüklükleri 47
Çizelge 4.39 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu dengesiz güç değerleri 47
Çizelge 4.40 : Dört telli hat kopması durumu gerilim ve yük değerleri 48
Çizelge 4.41 : Dört telli hat kopması durumu akımların tepe değerleri 48
Çizelge 4.42 : Dört telli hat kopması durumu gerilim ve akım ani değerleri 48

Çizelge 4.43 : Dört telli hat kopması durumu simetrili bileşen büyüklükleri..... 49
Çizelge 4.44 : Dört telli hat kopması durumu dengesiz güç değerleri..... 49
Çizelge 4.45 : Dört telli F-F arızası durumu gerilim ve yük değerleri 50
Çizelge 4.46 : Dört telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri..... 50
Çizelge 4.47 : Dört telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri 50
Çizelge 4.48 : Dört telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri..... 51
Çizelge 4.49 : Dört telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri..... 51
Çizelge 4.50 : Dört telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri..... 51
Çizelge 4.51 : Dört telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri 52
Çizelge 4.52 : Dört telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri..... 52
Çizelge 4.53 : Dört telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri..... 52
Çizelge 4.54 : Dört telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri 54
Çizelge 4.55 : Dört telli F-F-T arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri... 54
Çizelge 4.56 : Dört telli F-F-T arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri..... 55
Çizelge 4.57 : Dört telli F-F-T arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri 55
Çizelge 4.58 : Dört telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri 55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tek fazlı sistem modeli 3
Şekil 2.2 : Tek fazlı sistem örnek gerilim ve akım değerleri 4
Şekil 2.3 : Tek fazlı sistemde görünür güç 5
Şekil 2.4 : Üç fazlı üç telli sistem modeli 6
Şekil 2.5 : Üç fazlı dört telli sistem modeli 6
Şekil 2.6 : Dengeli sistem örnek gerilim değerleri 7
Şekil 2.7 : Dengeli sistem örnek akım değerleri 7
Şekil 2.8 : Dengesiz sistem örnek gerilim değerleri 9
Şekil 2.9 : Dengesiz sistem örnek akım değerleri 9
Şekil 2.10 : Sinüsoidal durum için aritmetik ve vektör görünür güç 13
Şekil 4.1 : Üç telli sistemler için dengesiz güç hesaplama algoritması 26
Şekil 4.2 : Dört telli sistemler için dengesiz güç hesaplama algoritması 27
Şekil 4.3 : Ani güç değerleri ile dengesiz güç hesaplama algoritması 28
Şekil 4.4 : Üç telli tam dengeli durum sistem modeli 29
Şekil 4.5 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu sistem modeli 31
Şekil 4.6 : Üç telli hat kopması durumu sistem modeli 33
Şekil 4.7 : Üç telli F-F arızası durumu sistem modeli 35
Şekil 4.8 : Üç telli F-F arızası durumu ani güç değerleri 39
Şekil 4.9 : Üç telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri 39
Şekil 4.10 : Üç telli F-F-T arızası durumu sistem modeli 40
Şekil 4.11 : Üç telli F-F-T arızası durumu ani güç değerleri 42
Şekil 4.12 : Üç telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri 42
Şekil 4.13 : Dört telli tam dengeli durum sistem modeli 43
Şekil 4.14 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu sistem modeli 45
Şekil 4.15 : Dört telli hat kopması durumu sistem modeli 47
Şekil 4.16 : Dört telli F-F arızası durumu sistem modeli 49
Şekil 4.17 : Dört telli F-F arızası durumu ani güç değerleri 53
Şekil 4.18 : Dört telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri 53
Şekil 4.19 : Dört telli F-F-T arızası durumu sistem modeli 54
Şekil 4.20 : Dört telli F-F-T arızası durumu ani güç değerleri 56
Şekil 4.21 : Dört telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri 56
Şekil 5.1 : Normal çalışma koşulları gerilim değerleri 57
Şekil 5.2 : Normal çalışma koşulları akım değerleri 58
Şekil 5.3 : Normal çalışma koşulları, ani güç 58
Şekil 5.4 : Normal çalışma koşulları, dengesiz güç 59
Şekil 5.5 : Arıza durumu, ani güç 59
Şekil 5.6 : Arıza durumu, dengesiz güç 60

SEMBOL LİSTESİ

α^+ : Pozitif bileşen gerilime ilişkin faz farkı
α^- : Negatif bileşen gerilime ilişkin faz farkı
α^0 : Sıfır bileşen gerilime ilişkin faz farkı
β^+ : Pozitif bileşen akıma ilişkin faz farkı
β^- : Negatif bileşen akıma ilişkin faz farkı
β^0 : Sıfır bileşen akıma ilişkin faz farkı
f_s : Örnekleme frekansı
$f_{şebeke}$: Şebeke frekansı
τ : Ölçüm başlangıç anı
θ : Faz farkı
θ_a : A fazına ilişkin faz farkı
θ_b : B fazına ilişkin faz farkı
θ_c : C fazına ilişkin faz farkı
θ^+ : Pozitif bileşen gerilim ile akım arasındaki açı
θ^- : Negatif bileşen gerilim ile akım arasındaki açı
θ^0 : Sıfır bileşen gerilim ile akım arasındaki açı
a : Simetrili bileşenler operatörü
i : Akımın ani değeri
I : Akımın etkin değeri
i_a : A fazına ilişkin ani akım değeri
i_b : B fazına ilişkin ani akım değeri
i_c : C fazına ilişkin ani akım değeri
I_a : A fazına ilişkin etkin akım değeri
I_b : B fazına ilişkin etkin akım değeri
I_c : C fazına ilişkin etkin akım değeri
I^+ : Pozitif akım bileşeni
I^- : Negatif akım bileşeni
I^0 : Sıfır akım bileşeni
I_e : Etkin akım
I_n : Toprak akımı
k : Herhangi bir tamsayı
p : Ani güç
P : Aktif güç
p_a : Ani gücün aktif bileşeni
p_q : Ani gücün reaktif bileşeni
P_{av} : Ortalama aktif güç

P_a : A fazına ilişkin aktif güç
P_b : B fazına ilişkin aktif güç
P_c : C fazına ilişkin aktif güç
P_F : Güç faktörü
P_{FA} : Aritmetik güç faktörü
P_{FV} : Vektör güç faktörü
P_{2c} : Kosinüslü terimler
P_{2s} : Sinüslü terimler
P_{2m} : Dengesiz durumda ani güçteki osilasyon
P_{2m0} : Dengesiz gücün sıfır bileşeni
p^{+} : Gerilimin pozitif bileşeni ile akımın pozitif bileşeninden oluşan ani güç
p^{+-} : Gerilimin pozitif bileşeni ile akımın negatif bileşeninden oluşan ani güç
p^{+0} : Gerilimin pozitif bileşeni ile akımın sıfır bileşeninden oluşan ani güç
P^{+} : Aktif gücün pozitif bileşeni
P^{-} : Aktif gücün negatif bileşeni
P^{0} : Aktif gücün sıfır bileşeni
S : Görünür güç
S_a : A fazına ilişkin görünür güç
S_b : B fazına ilişkin görünür güç
S_c : C fazına ilişkin görünür güç
S_A : Aritmetik görünür güç
S_v : Vektör görünür güç
S^{+} : Görünür gücün pozitif bileşeni
S^{-} : Görünür gücün negatif bileşeni
S^{0} : Görünür gücün sıfır bileşeni
S_e : Etkin görünür güç
S_U : Dengesiz güç
t : Zaman
T : Sinüsodial bir ifadenin bir tam periyodu
Q : Reaktif güç
Q_a : A fazına ilişkin reaktif güç
Q_b : B fazına ilişkin reaktif güç
Q_c : C fazına ilişkin reaktif güç
Q^{+} : Reaktif gücün pozitif bileşeni
Q^{-} : Reaktif gücün negatif bileşeni
Q^{0} : Reaktif gücün sıfır bileşeni
v : Gerilimin ani değeri
V : Gerilimin etkin değeri
v_a : A fazına ilişkin ani gerilim değeri
v_b : B fazına ilişkin ani gerilim değeri

v_c : C fazına ilişkin ani gerilim değeri

v_{ab} : A fazı ile B fazı arasındaki gerilimin ani değeri

v_{bc} : B fazı ile C fazı arasındaki gerilimin ani değeri

v_{ac} : A fazı ile C fazı arasındaki gerilimin ani değeri

V_a : A fazına ilişkin etkin gerilim değeri

V_b : B fazına ilişkin etkin gerilim değeri

V_c : C fazına ilişkin etkin gerilim değeri

V_{ll} : Faz-faz arası gerilim değeri

$V_{\ln}$: Faz-nötr arası gerilim değeri

V^+ : Pozitif gerilim bileşeni

V^- : Negatif gerilim bileşeni

V^0 : Sıfır gerilim bileşeni

V_e : Etkin gerilim

ω : Sistem frekansı

ÜÇ FAZLI SİNÜSOİDAL SİSTEMLERDE DENGESİZ GÜÇ ÖLÇÜMÜ

ÖZET

Teknolojinin ilerlemesi ve elektrik enerjisi ile çalışan cihazların türlerinin ve sayılarının günden güne artması sonucu, kullanıcılara sunulan enerjinin kalitesinin belirlenmesi ve nitelendirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Faz-toprak arızası gibi arızalar veya fazlarda bulunan yüklerin birbirinden farklı olması durumlarında enerji sistemlerinde dengesizlik meydana gelebilmektedir. Bunların haricinde doğası gereği non-lineer yapıda olan yükler de enerji sistemlerinde dengesizliğe sebebiyet verebilmektedir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde üç fazlı, üç telli ve dört telli enerji sistemlerinde dengesiz gücün hesaplanmasına ilişkin IEEE standartları tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde ise ani güçte dengesizlik durumunda meydana gelen ve 2ω frekanslı osilasyonların genliğinin hesaplanmasına ilişkin bir algoritma tanıtılmış ve IEEE standartında verilen dengesizlik hesabı ile ilişkisi teorik olarak incelenerek bu algoritma geliştirilmiştir.

Dördüncü bölümde örnek sistemler kurularak, bu sistemlerden veriler alınmıştır. Ardından dengesiz güç, hem standartlarda verildiği haliyle hem de geliştirilen algoritma vasıtasıyla elde edilmiştir.

Beşinci bölümde gerçek bir sistemin normal çalışma koşullarındaki ve arıza halindeki değerleri ölçülerek dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmıştır.

Son olarak, altıncı bölümde örnek sistemlerden elde edilen hesaplamalar ışığında sonuçlar kıyaslanmıştır.

UNBALANCED POWER MEASUREMENT ON THREE-PHASE SINUSOIDAL SYSTEMS

SUMMARY

As a result of improvements in the technology and increase in the number and kind of electrical devices day by day, identifying and determining the quality of energy serving to end users is becoming more important. Because of faults like phase-ground fault or different loads in phases, an imbalance can occur in energy systems. Except that, non-linear loads from its nature can also cause imbalance in energy systems.

In the second chapter of this study, IEEE standarts are introduced which are used to calculate unbalance power in three phase three and four wired systems. In the third chapter, an algorithm is introduced which is calculating the amplitude of the oscillations with the 2ω frequency on the instantaneous power in unbalance conditions and its relation with the unbalance power calculations given in IEEE standarts is theorically analyzed and given algorithm is upgraded.

In the fourth chapter, sample systems are generated and inputs are taken. Afterwards unbalanced power is measured by the help of with, both standarts and the upgraded algorithm.

In the fifth chapter, values are taken from a real system under a normal working condition and a fault condition, then unbalanced power is calculated with both two algorithm.

Finally, in the sixth chapter, results are compared in the light of calculations made from sample systems.

1. GİRİŞ

Üç fazlı enerji sistemlerinin nitelendirilebilmesi amacıyla güç büyüklüklerinin tanımları ile ilgili yapılan çalışmalar 80 yılı aşkın süredir devam etmektedir [1]. Üç fazlı sistemlerde dengesizlik, her bir fazın gerilimlerinin genliklerinin birbirine eşit olmaması ve/veya ardışık fazlar arasındaki açının 120^0'den farklı olması ve/veya faz akımlarının farklı genlikte olması ve/veya gerilime benzer şekilde ardışık fazlar arasındaki açının 120^0'den farklı olması şeklinde tanımlanmaktadır. Meydana gelen dengesizliğin ölçümü ise son kullanıcılara sunulan enerjinin kalitesinin tesbiti bakımından önem teşkil etmektedir.

Enerji sistemlerini dengesiz hale sokabilecek birçok sebep vardır. Bunların başında her bir fazdan çekilen akımın birbirinden farklı olmasına sebebiyet veren dengesiz yükler ve arızalar yer almaktadır. Tristör kontrollü doğrultucular, ayarlanabilir hız sürücüleri ve frekans çeviriciler gibi güç elektroniği yükleri, doğası gereği non-lineer yapıda olan yüklerdir. Bu yükler şebekenin fazlarından çekilen akımların genlik bakımından birbirinden farklı ve/veya ardışık fazlar arasındaki açının 120^0 dereceden farklı olmasına sebebiyet verebilirler. Bunların haricinde deprem, sel, yangın, heyelan gibi birçok doğal olay veya insan kaynaklı diğer etkenlerden ötürü fazlardan birinin kopması veya iki fazın birbirine temas etmesi gibi arızalar meydana gelebilir. Bahsi geçen tüm bu durumlarda şebekede bir dengesizlik oluşmakta ve sanayide veya kurumlarda kullanılan güç kalitesinde düşüş gerçekleşmektedir. Enerji kalitesindeki bu düşüş özellikle hassas donanımların ve sistemlerin yanlış çalışmasına ve/veya arızalanmalarına sebep olabilmekte ve şebeke güvenirliğinin azalmasına sebebiyet verebilmektedir. Örneğin üç fazlı bir asenkron motor dengesiz bir kaynaktan beslendiğinde aşırı ısınıp, çalışma ömrünü azaltabilir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı; üç fazlı sinüsoidal sistemlerde gerilim kaynakları dengeli olmak şartıyla sistemde meydana gelebilecek dengesizliği hesaplamak adına IEEE standartlarında [2] belirtilen algoritmaya alternatif bir çözüm getiren bir diğer

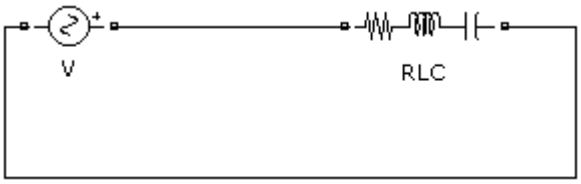
algoritmanın [3] sonuçlarını analitik olarak kıyaslamaktır. Bu algoritmalardan ilki sürekli hal güç değerlerini kullanarak dengesiz gücü elde etmektedir. İkici algoritma ise sistem dengesizleştiğinde ani güçte sistem frekansının iki katı frekansta meydana gelen salınımların genliğinin dengesiz gücün bir bileşeni olabileceğini öne sürmektedir. Literatürde ani güçte sistem frekansının iki katı frekansta salınım yapan sinüsoidal bileşenin, dengesizlikten oluşmadığını ve nedeninin henüz bilinmediğini kabul eden çalışmalar da mevcuttur [4].

2. SÜREKLİ HAL GÜÇ DEĞERLERİ İLE DENGESİZ GÜÇ HESABI

Üç fazlı sistemlerde dengesiz gücün hesaplanmasına ilişkin yöntemlerin ve formüllerin tam olarak kavranabilmesi için öncelikle tek fazlı sisteme ilişkin temel değerlerin incelenmesinde fayda vardır.

2.1 Tek Fazlı Sinüsoidal Sistemler

Bu bölümde sinüsoidal bir alternatif gerilim kaynağına bağlı bir yükten oluşan tek fazlı bir sistem incelenecektir. Örnek sistem modeli Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Tek fazlı sistem modeli

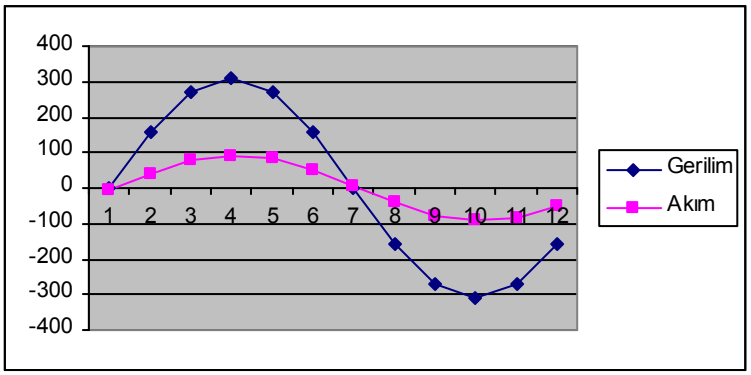
Sinüsoidal bir gerilim kaynağına ilişkin gerilim değeri;

$$v = \sqrt{2}V \sin(wt) \qquad \textbf{(2.1)}$$

formülü ile ifade edilir. Lineer bir yükün çekeceği akım;

$$i = \sqrt{2}I \sin(wt - \theta) \qquad \textbf{(2.2)}$$

olacaktır. Tek fazlı sinüsoidal bir sisteme ilişkin örnek gerilim ve akım değerleri Şekil 2.2'de belirtilmiştir.



Şekil 2.2 : Tek fazlı sistem örnek gerilim ve akım değerleri

2.1.1 Ani güç

Ani güç p, akım ve gerilimin ani olarak ölçülen değerlerinin çarpımına eşittir.

$$p = vi \tag{2.3}$$

Ani güç değeri, içerisinde aktif (p_a) ve reaktif (p_q) gücü barındırmaktadır. Aktif güç bileşeni (2.5) ve reaktif güç bileşeni (2.6);

$$p = p_a + p_q \tag{2.4}$$

$$p_a = VI\cos\theta[1-\cos(2\omega t)] = P[1-\cos(2\omega t)] \tag{2.5}$$

$$p_q = -VI\sin\theta\sin(2\omega t) = -Q\sin(2\omega t) \tag{2.6}$$

formülleri uyarınca hesaplanabilir.

2.1.2 Aktif güç (W)

Aktif güç (P); ani gücün ortalamasına eşittir ve akım ile gerilim arasındaki faz açısının kosinüsü ile orantılıdır.

$$P = \frac{1}{kT}\int_{\tau}^{\tau+kT} p\,dt \tag{2.7}$$

$$P = VI\cos\theta \tag{2.8}$$

Burada τ ; ölçüme başlanılan anı işaret etmektedir. k bir tamsayı olmak üzere, T bir tam periyotluk süreyi belirtmektedir.

2.1.3 Reaktif güç (var)

Reaktif güç (Q); ani gücün p_q bileşeninin yaptığı osilasyonun genliğine eşittir ve akım ile gerilim arasındaki faz açısının sinüsü ile orantılıdır.

$$Q = \frac{1}{2\pi}\oint vdi = \frac{-1}{2\pi}\oint idv = \frac{\omega}{kT}\int_{\tau}^{\tau+kT} i[\int vdt]dt \qquad \textbf{(2.9)}$$

$$Q = VI\sin\theta \qquad \textbf{(2.10)}$$

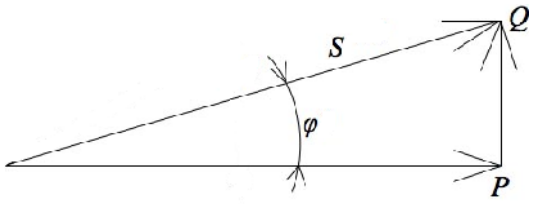
Burada τ ; ölçüme başlanılan anı işaret etmektedir. k bir tamsayı olmak üzere, T bir tam periyotluk süreyi belirtmektedir. Reaktif güç, yük endüktif ise pozitif, kapasitif ise negatif olacaktır.

2.1.4 Görünür güç (VA)

Görünür güç (S), akımın etkin değeri ile gerilimin etkin değerinin çarpımına eşittir.

$$S = VI \qquad \textbf{(2.11)}$$

Görünür güç Şekil 2.3'de görüldüğü gibi aktif güç ve reaktif gücün vektörel olarak toplamına eşittir.



Şekil 2.3 : Tek fazlı sistemde görünür güç

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad \textbf{(2.12)}$$

Aralarında 90^0 bulunan aktif ve reaktif güçlerinin karelerinin toplamı görünür gücün karesini vermektedir.

2.1.5 Güç faktörü

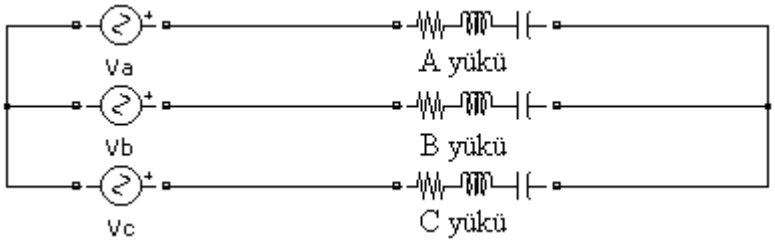
Güç faktörü aktif güç (P)'nin, görünür güç (S)'ye oranına eşittir.

$$P_F = \frac{P}{S} \qquad \textbf{(2.13)}$$

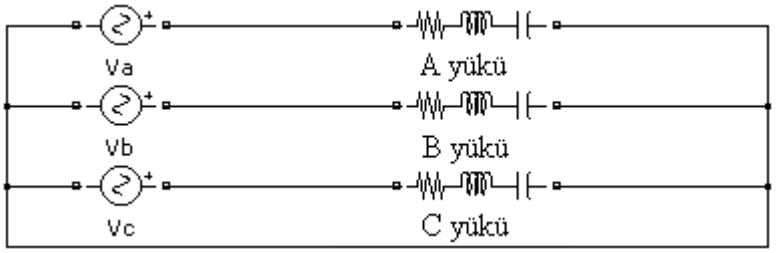
2.2 Üç Fazlı Sinüsoidal Sistemler

Bu bölümde üç fazlı üç telli ve üç fazlı dört telli sistemlerin sinüsoidal koşullardaki güç büyüklükleri IEEE standartında [2] belirtildiği hali ile incelenecektir, sinüsoidal olmayan koşullar bu tez çalışması kapsamında incelenmeyecektir.

Üç fazlı üç telli sisteme ilişkin sistem modeli Şekil 2.4'de, üç fazlı dört telli sisteme ilişkin sistem modeli ise Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Üç fazlı üç telli sistem modeli



Şekil 2.5 : Üç fazlı dört telli sistem modeli

Üç telli sistemde yapılacak olan faz-nötr ölçümleri zahiri bir nötr noktası kabul edilerek yapılmaktadır [2].

2.2.1 Üç fazlı dengeli sistem

Sistem dengeli olduğunda faz-nötr gerilimlerinin ve faz akımlarının büyüklükleri aşağıda belirtildiği gibi olacaktır.

$$v_a = \sqrt{2}V \sin(\omega t) \quad \textbf{(2.14)}$$

$$v_b = \sqrt{2}V \sin(\omega t - 120^0) \quad \textbf{(2.15)}$$

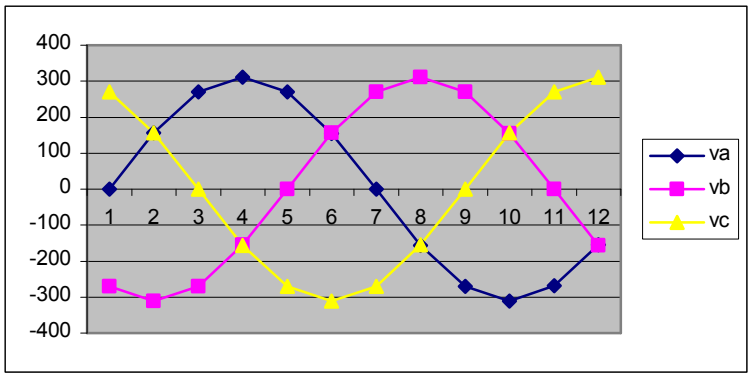
$$v_c = \sqrt{2}V \sin(\omega t + 120^0) \quad \textbf{(2.16)}$$

$$i_a = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \theta) \quad \textbf{(2.17)}$$

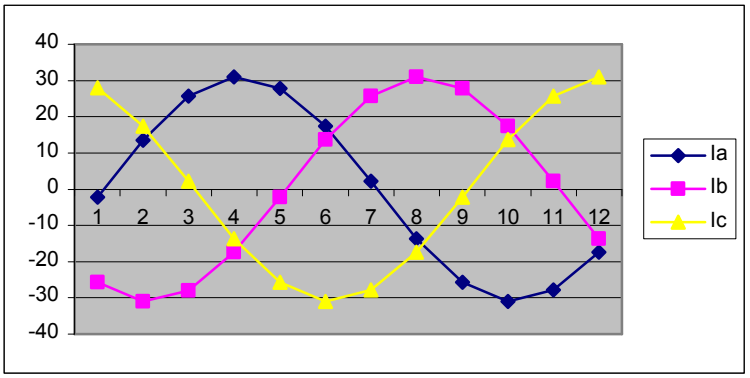
$$i_b = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \theta - 120^0) \quad \textbf{(2.18)}$$

$$i_b = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \theta + 120^0) \quad \textbf{(2.19)}$$

Dengeli sisteme ilişkin örnek gerilim değerleri Şekil 2.6'da, örnek akım değerleri ise Şekil 2.7'de belirtildiği gibidir.



Şekil 2.6 : Dengeli sistem örnek gerilim değerleri



Şekil 2.7 : Dengeli sistem örnek akım değerleri

2.2.1.1 Ani güç

Üç fazlı sistemde ani güç (p), her bir faza ilişkin ani güçlerin toplamına eşittir.

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad \textbf{(2.20)}$$

2.2.1.2 Aktif güç (W)

Üç fazlı sistemde aktif güç (P), tek fazlı sistemde olduğu gibi ani gücün ortalamasına eşittir.

$$P = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} pdt \tag{2.21}$$

$$P = 3V_{\ln} I \cos\theta = \sqrt{3} V_{ll} I \cos\theta \tag{2.22}$$

2.2.1.3 Reaktif güç (var)

$$Q = 3V_{\ln} I \sin\theta = \sqrt{3} V_{ll} I \sin\theta \tag{2.23}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \tag{2.24}$$

2.2.1.4 Görünür güç (VA)

Üç fazlı dengeli sistemlerde görünür güç her faza ilişkin görünür gücün toplamına eşittir. Her faza ilişkin akımın etkin değeri ve gerilimin etkin değeri birbirine eşit olduğundan her faza ilişkin görünür güçler eşit olacaktır. Böylece görünür güç herhangi bir faza ilişkin görünür gücün üç katı olacaktır.

$$S = S_a + S_b + S_c \tag{2.25}$$

$$S_a = S_b = S_c = VI \tag{2.26}$$

$$S = 3VI \tag{2.27}$$

2.2.1.5 Güç faktörü

Güç faktörü aktif güç (P)'nin, görünür güç (S)'ye oranına eşittir.

$$P_F = \frac{P}{S} = \frac{3VI\cos\theta}{3VI} = \cos\theta \tag{2.28}$$

2.2.2 Üç fazlı dengesiz sistem

Bu tez çalışması kapsamında, gerilim kaynaklarının dengeli olduğu yani her faza ilişkin gerilimin genliğinin birbirine eşit olduğu ve ardışık fazlar arsında da ideal 120^0 faz farkı bulunduğu varsayılmıştır. Bu bağlamda bahsi geçen dengesiz sistem; I_a, I_b ve I_c faz akımlarının genlikliklerinin birbirinden farklı olması ve/veya ardışık fazlar arasındaki açının 120^0 dereceden farklı olması durumunu kapsamaktadır. Bu

bilgiler ışığında faz-nötr gerilimlerinin ve faz akımlarının büyüklükleri aşağıda belirtildiği gibi olacaktır.

$$v_a = \sqrt{2}V \sin(\omega t) \quad \textbf{(2.29)}$$

$$v_b = \sqrt{2}V \sin(\omega t - 120^0) \quad \textbf{(2.30)}$$

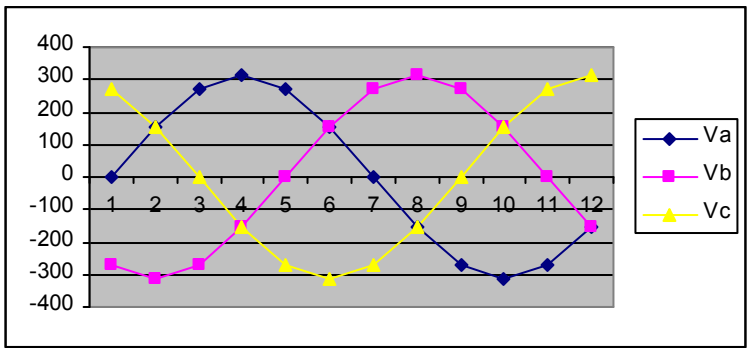
$$v_c = \sqrt{2}V \sin(\omega t + 120^0) \quad \textbf{(2.31)}$$

$$i_a = \sqrt{2}I_a \sin(\omega t - \theta_a) \quad \textbf{(2.32)}$$

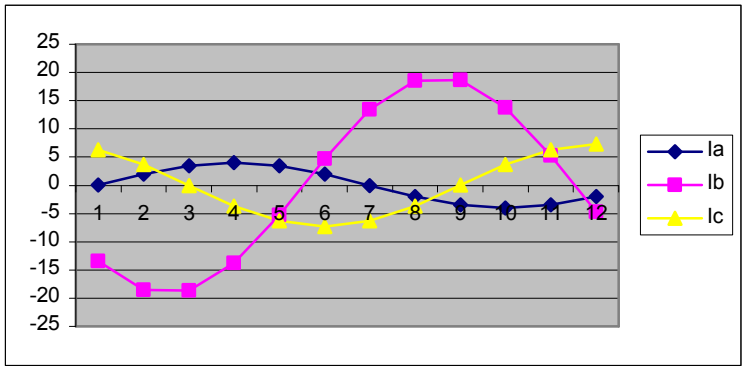
$$i_b = \sqrt{2}I_b \sin(\omega t - \theta_b - 120^0) \quad \textbf{(2.33)}$$

$$i_c = \sqrt{2}I_c \sin(\omega t - \theta_c + 120^0) \quad \textbf{(2.34)}$$

Dengesiz sisteme ilişkin örnek gerilim değerleri Şekil 2.8'de, örnek akım değerleri ise Şekil 2.9'da belirtildiği gibidir.



Şekil 2.8 : Dengesiz sistem örnek gerilim değerleri



Şekil 2.9 : Dengesiz sistem örnek akım değerleri

2.2.2.1 Ani güç

Üç fazlı sistemlerde ani güç (p), her bir faza ilişkin ani güçlerin toplamına eşittir.

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \tag{2.35}$$

Üç telli sistemlerde $i_a + i_b + i_c = 0$ olacağından; ani güç, faz arası gerilimlerin ani değerlerinin kullanımı ile de bulunabilir.

$$p = v_{ab} i_a + v_{cb} i_c = v_{ac} i_a + v_{bc} i_b = v_{ba} i_b + v_{ca} i_c \tag{2.36}$$

2.2.2.2 Aktif güç (W)

Üç fazlı sistemde aktif güç (P), tek fazlı sistemde olduğu gibi ani gücün ortalamasına eşittir.

$$P = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} p\,dt \tag{2.37}$$

$$P = P_a + P_b + P_c \tag{2.38}$$

$$P_a = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} v_a i_a\,dt = V_a I_a \cos\theta_a \tag{2.39}$$

$$P_b = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} v_b i_b\,dt = V_b I_b \cos\theta_b \tag{2.40}$$

$$P_c = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} v_c i_c\,dt = V_c I_c \cos\theta_c \tag{2.41}$$

2.2.2.3 Pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri ile aktif güç (W)

Dengesiz üç fazlı sinyal ve sistemlerin analizinde, simetrili bileşenler teorisinin kullanımı problemin çözümünü daha sistematik hale getirebilmekte ve basitleştirebilmektedir [5]. a operatörü kullanılarak fazlara ilişkin gerilim ve akım değerleri; pozitif, negatif ve sıfır bileşenlerine ayırılabilir.

$$a = -0,5 + j0,866 \tag{2.42}$$

$$a^2 = -0,5 - j0,866 \tag{2.43}$$

$$\begin{bmatrix} V^0 \\ V^+ \\ V^- \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad \textbf{(2.44)}$$

$$\begin{bmatrix} I^0 \\ I^+ \\ I^- \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad \textbf{(2.45)}$$

Pozitif bileşen gerilimin açısı α^+, negatif bileşen gerilimin açısı α^-, sıfır bileşen gerilimin açısı α^0, pozitif bileşen akımın açısı β^+, negatif bileşen akımın açısı β^- ve sıfır bileşen akımın açısı β^0 olmak üzere, gerilimin ve akımın simetrili bileşenler ile açılımı aşağıda belirtildiği gibidir [6].

$$V^+ = V^+ e^{j\alpha^+} \quad \textbf{(2.46)}$$

$$V^- = V^- e^{j\alpha^-} \quad \textbf{(2.47)}$$

$$V^0 = V^0 e^{j\alpha^0} \quad \textbf{(2.48)}$$

$$I^+ = I^+ e^{j\beta^+} \quad \textbf{(2.49)}$$

$$I^- = I^- e^{j\beta^-} \quad \textbf{(2.50)}$$

$$I^0 = I^0 e^{j\beta^0} \quad \textbf{(2.51)}$$

Pozitif bileşen gerilim ve akım arasında açı θ^+, negatif bileşen gerilim ve akım arasındaki açı θ^- ve sıfır bileşen gerilim ve akım arasındaki açı θ^0 olmak üzere; aktif gücün pozitif bileşeni P^+, negatif bileşeni P^- ve sıfır bileşeni P^0 sırasıyla (2.75), (2.76) ve (2.77) formülleri uyarınca hesaplanır.

$$\theta^+ = \alpha^+ - \beta^+ \quad \textbf{(2.52)}$$

$$\theta^- = \alpha^- - \beta^- \quad \textbf{(2.53)}$$

$$\theta^0 = \alpha^0 - \beta^0 \quad \textbf{(2.54)}$$

$$P^{+} = 3V^{+}I^{+}\cos\theta^{+} \quad \textbf{(2.55)}$$

$$P^{-} = 3V^{-}I^{-}\cos\theta^{-} \quad \textbf{(2.56)}$$

$$P^{0} = 3V^{0}I^{0}\cos\theta^{0} \quad \textbf{(2.57)}$$

$$P = P^{+} + P^{-} + P^{0} \quad \textbf{(2.58)}$$

Toplam aktif güç, (2.58)'de verilen formülle, simetrili bileşenler vasıtasıyla da hesaplanabilir.

2.2.2.4 Reaktif güç (var)

Toplam reaktif güç, her faza ilişkin reaktif güçlerin toplamına eşittir.

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c \quad \textbf{(2.59)}$$

$$Q_a = \frac{\omega}{kT}\int_{\tau}^{\tau+kT} i_a[\int v_a dt]dt = V_a I_a \sin\theta_a \quad \textbf{(2.60)}$$

$$Q_b = \frac{\omega}{kT}\int_{\tau}^{\tau+kT} i_b[\int v_b dt]dt = V_b I_b \sin\theta_b \quad \textbf{(2.61)}$$

$$Q_c = \frac{\omega}{kT}\int_{\tau}^{\tau+kT} i_c[\int v_c dt]dt = V_c I_c \sin\theta_c \quad \textbf{(2.62)}$$

2.2.2.5 Pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri ile reaktif güç (var)

Reaktif gücün pozitif bileşeni,

$$Q^{+} = 3V^{+}I^{+}\sin\theta^{+} \quad \textbf{(2.63)}$$

negatif bileşeni,

$$Q^{-} = 3V^{-}I^{-}\sin\theta^{-} \quad \textbf{(2.64)}$$

sıfır bileşeni,

$$Q^{0} = 3V^{0}I^{0}\sin\theta^{0} \quad \textbf{(2.65)}$$

şeklinde hesaplanır. Toplam reaktif güç, simetrili bileşenler vasıtasıyla da hesaplanabilir.

$$Q = Q^{+} + Q^{-} + Q^{0} \tag{2.66}$$

2.2.2.6 Görünür güç (VA)

Görünür gücü iki farklı şekilde ele almak mümkündür. Bunlardan ilki vektör görünür güç (2.67), ikincisi ise aritmetik görünür güçtür (2.70).

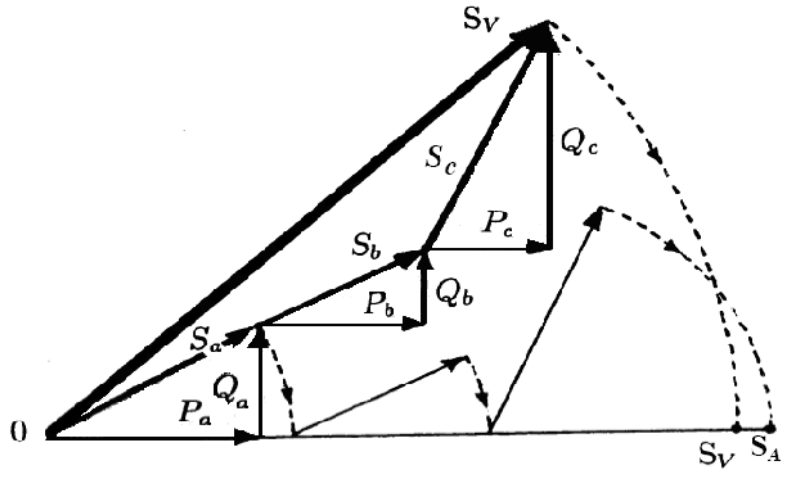
$$S_V = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{2.67}$$

$$S_V = \left| P_a + P_b + P_c + j(Q_a + Q_b + Q_c) \right| \tag{2.68}$$

$$S_V = \left| P^{+} + P^{-} + P^{0} + j(Q^{+} + Q^{-} + Q^{0}) \right| \tag{2.69}$$

$$S_A = \sqrt{P_a^{\,2} + Q_a^{\,2}} + \sqrt{P_b^{\,2} + Q_b^{\,2}} + \sqrt{P_c^{\,2} + Q_c^{\,2}} \tag{2.70}$$

Aritmetik görünür güç ve vektör görünür güç arasındaki ilişki Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 : Sinüsoidal durum için aritmetik ve vektör görünür güç

2.2.2.7 Pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri ile görünür güç (VA)

Pozitif, negatif ve sıfır görünür güçlerinin toplamı vektör görünür gücü vermektedir .

$$S^{+} = \left| P^{+} + jQ^{+} \right| \tag{2.71}$$

$$S^{-} = \left| P^{-} + jQ^{-} \right| \tag{2.72}$$

$$S^{0} = \left| P^{0} + jQ^{0} \right| \tag{2.73}$$

$$S_V = S^{+} + S^{-} + S^{0} \tag{2.74}$$

2.2.2.8 Güç faktörü

Güç faktörünü de tıpkı görünür güç gibi iki farklı şekilde ele almak mümkündür. Vektör güç faktörü (2.75)'de gösterildiği şekilde aktif gücün vektör görünür güce oranından, aritmetik güç faktörü ise (2.76)'da gösterildiği gibi aktif gücün aritmetik görünür güce oranından bulunmaktadır.

$$P_{FV} = \frac{P}{S_V} \tag{2.75}$$

$$P_{FA} = \frac{P}{S_A} \tag{2.76}$$

2.2.2.9 Etkin görünür güç (VA)

Bu kavram; dengesiz sistem ile birebir eşdeğer seviyede enerji kayıplarına sahip sanal bir dengeli sisteminin varlığını varsayar ve dengesiz sistem üzerinde oldukça zor şekilde yürütülebilen işlemleri basitleştirmiş ve hızlandırmış olur. Bu bağlamda etkin faz akımı ve etkin faz gerilimi ifadeleri tanımlanmıştır [2,7-8].

Üç fazlı üç telli sinüsoidal sistemlerde tanımlanan etkin akım ve etkin gerilim formülleri sırasıyla (2.77) ve (2.78)'de verilmiştir.

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a{}^2 + I_b{}^2 + I_c{}^2}{3}} = \sqrt{(I^{+})^2 + (I^{-})^2} \tag{2.77}$$

$$V_e = \sqrt{\frac{V_{ab}{}^2 + V_{bc}{}^2 + V_{ca}{}^2}{9}} = \sqrt{(V^{+})^2 + (V^{-})^2} \tag{2.78}$$

Üç fazlı dört telli sinüsoidal sistemlerde, dengesizlik durumunda fazlara ilişkin akım değerlerinin toplamı sıfır olmayacağından, bir başka deyişle I_n sıfırdan farklı bir değer alacağından etkin akım (2.79) ve etkin gerilim (2.80) değerlerini tekrar tanımlanmıştır.

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^{\,2} + I_b^{\,2} + I_c^{\,2} + I_n^{\,2}}{3}} = \sqrt{(I^+)^2 + (I^-)^2 + 4(I^0)^2} \qquad \textbf{(2.79)}$$

$$V_e = \sqrt{\frac{1}{18}[3(V_a^{\,2} + V_b^{\,2} + V_c^{\,2}) + V_{ab}^{\,2} + V_{bc}^{\,2} + V_{ca}^{\,2}]} = \sqrt{(V^+)^2 + (V^-)^2 + \frac{(V^0)^2}{2}} \qquad \textbf{(2.80)}$$

Etkin görünür güç ise Buchholz [9] ve Goodhue [10]'ye göre;

$$S_e = 3V_e I_e \qquad \textbf{(2.81)}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

2.2.2.10 Dengesiz güç

Dengesiz güç, etkin görünür güç ile görünür gücün pozitif bileşeni arasındaki bağıntıdan (2.82) hesaplanabilir.

$$S_U = \sqrt{S_e^{\,2} - (S^+)^2} \qquad \textbf{(2.82)}$$

Burada ifade edilen dengesiz güç sadece gerilim dengesizliğini değil, hem gerilimin asimetrik oluşundan kaynaklanan dengesizliği hem de yükün dengesizliğinden kaynaklanan dengesizliği içermektedir [2].

3. ANİ GÜÇ DEĞERLERİ İLE DENGESİZ GÜÇ HESABI

Üç fazlı sistemlerde ani güç; (2.20) ve (2.35) formülleri ile de belirtildiği gibi her faza ilişkin gerilimin ani değeri ile akımın ani değerinin çarpımlarının toplamına eşittir.

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \tag{3.1}$$

Bu tez çalışması kapsamında incelenecek olan dengesiz sistemlerde, gerilim kaynaklarının genliklerinin birbirine eşit ve aralarında ideal 120^0 faz farkı olduğu varsayılmıştır. Bahsi geçen dengesizlik ise fazlardan çekilen akımların genliklerinin birbirine eşit olmadığı ve/veya ardışık fazlar arasındaki faz farkının 120^0'den farklı olduğu koşulları kapsamaktadır. Buna göre gerilimin ve akımın ani değerleri;

$$v_a = \sqrt{2} V_a \sin(\omega t) \tag{3.2}$$

$$v_b = \sqrt{2} V_b \sin(\omega t - 120^0) \tag{3.3}$$

$$v_c = \sqrt{2} V_c \sin(\omega t + 120^0) \tag{3.4}$$

$$i_a = \sqrt{2} I_a \sin(\omega t - \theta_a) \tag{3.5}$$

$$i_b = \sqrt{2} I_b \sin(\omega t - \theta_b - 120^0) \tag{3.6}$$

$$i_c = \sqrt{2} I_c \sin(\omega t - \theta_c + 120^0) \tag{3.7}$$

formülleri ile ifade edilebilir.

3.1 Direkt Faz Büyüklükleri İle Ani Güç

Dengesiz üç fazlı bir yükün, üç fazlı dengeli bir gerilim kaynağından beslenmesi sonucunda kaynaktan çekilecek olan ani gücü,

$$
\begin{aligned}
p &= P_a + P_b + P_c \\
&\quad - P_a \cos(2\omega t) - P_b \cos(2\omega t + 120^0) - P_c \cos(2\omega t - 120^0) \\
&\quad - Q_a \sin(2\omega t) - Q_b \sin(2\omega t + 120^0) - Q_c \sin(2\omega t - 120^0)
\end{aligned}
\tag{3.8}
$$

şeklinde tanımlamak mümkündür [3]. Burada bahsi geçen fazlara ilişkin aktif ve reaktif güçler (3.9), (3.10) ve (3.11)'de ifade edildiği gibidir.

$$P_a = V_a I_a \cos\theta_a \,,\; Q_a = V_a I_a \sin\theta_a \tag{3.9}$$

$$P_b = V_b I_b \cos\theta_b \,,\; Q_b = V_b I_b \sin\theta_b \tag{3.10}$$

$$P_c = V_c I_c \cos\theta_c \,,\; Q_c = V_c I_c \sin\theta_c \tag{3.11}$$

(3.8)'de belirtilen ani güç,

$$P_{2m} = P_{2s} / \sin\beta, \;\; \beta = \tan^{-1}(P_{2s} / P_{2c}) \tag{3.12}$$

olmak üzere,

$$
\begin{aligned}
p &= P_a + P_b + P_c \\
&\quad - P_{2c} \cos(2\omega t) + P_{2s} \sin(2\omega t)
\end{aligned}
\tag{3.13}
$$

$$p = P_{av} + P_{2m} \cos(2\omega t + \beta) \tag{3.14}$$

şeklinde toparlanabilir [3]. Buradan da görüldüğü üzere üç fazlı sistemde ani güç sistem frekansının iki katı frekansta osilasyon yapan sinüsoidal bileşenden ve dc bileşenden oluşmaktadır. A, B ve C fazlarına ait aktif güçlerin toplamından oluşan dc bileşene ortalama (gerçek) güç (P_{av}) denilir. Sistem tam dengeli olduğunda sinüsoidal bileşenler ortadan kaybolacak ve ani güç ortalama güce eşit olacaktır.

$$p = P_{av} = 3VI \cos\theta \tag{3.15}$$

Burada bahsi geçen V ve I terimleri, sırasıyla gerilimin ve akımın etkin değerlerine tekabul etmekte iken θ açısı ise aralarındaki açıyı belirtmektedir.

3.2 Pozitif, Negatif Ve Sıfır Bileşenleri İle Ani Güç

Üç fazlı gerilim kaynaklarından (v_a, v_b, v_c) beslenen üç fazlı lineer ancak dengesiz yüklerin çekeceği dengesiz akımlar (i_a, i_b, i_c) sonucu oluşacak olan ani güç, simetrili bileşenler kullanılarak (3.16)'de belirtildiği gibidir [3].

$$\begin{aligned} p = {} & P^+ + P^- + P^0 \\ & - 3V^+ I^- \cos(2\omega t + \alpha^+ + \beta^-) \\ & - 3V^- I^+ \cos(2\omega t + \alpha^- + \beta^+) \\ & - 3V^0 I^0 \cos(2\omega t + \alpha^0 + \beta^0) \end{aligned} \tag{3.16}$$

Aktif gücün pozitif bileşeni, negatif bileşeni ve sıfır bileşeni aşağıda verilmiştir.

$$P^+ = 3V^+ I^+ \cos(\alpha^+ - \beta^+) \tag{3.17}$$

$$P^- = 3V^- I^- \cos(\alpha^- - \beta^-) \tag{3.18}$$

$$P^0 = 3V^0 I^0 \cos(\alpha^0 - \beta^0) \tag{3.19}$$

$$V^+ = V^+ \angle \alpha^+,\ V^- = V^- \angle \alpha^-,\ V^0 = V^0 \angle \alpha^0 \tag{3.20}$$

$$I^+ = I^+ \angle \beta^+,\ I^- = I^- \angle \beta^-,\ I^0 = I^0 \angle \beta^0 \tag{3.21}$$

Simetrik bir gerilim kaynağından beslenen dengesiz bir yükün mevcudiyetinde, üç fazlı gerilim ve akım değerleri ani değerlerin süperpozisyonu olarak ele alınarak, ani güç;

$$p = \begin{bmatrix} v_a & v_b & v_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a^+ & i_a^- & i_a^0 \\ i_b^+ & i_b^- & i_b^0 \\ i_c^+ & i_c^- & i_c^0 \end{bmatrix} = p^+ + p^{+-} + p^{+0} \tag{3.22}$$

şeklinde hesaplanabilir [6]. Ani değerler göz önüne alınarak, gerilimin pozitif bileşeni ile akımın pozitif bileşeninin oluşturduğu ani güç (p^+);

$$p^+ = v_a i_a^+ + v_b i_b^+ + v_c i_c^+ = p_a^+ + p_b^+ + p_c^+ = P^+ \tag{3.23}$$

uyarınca hesaplanabilirken, gerilimin pozitif bileşeni ile akımın negatif bileşeninin oluşturduğu ani güç (p^{+-});

$$p^{+-} = v_a i_a^{-} + v_b i_b^{-} + v_c i_c^{-} = p_a^{+-} + p_b^{+-} + p_c^{+-}$$
$$= -3VI^{-}\cos(2\omega t + \beta^{-}) \quad \textbf{(3.24)}$$

formülü ile ifade edilebilir. Aynı şekilde gerilimin pozitif bileşeni ile akımın sıfır bileşeninin oluşturduğu ani güç (p^{+0});

$$p^{+0} = v_a i_a^{0} + v_b i_b^{0} + v_c i_c^{0} = p_a^{+0} + p_b^{+0} + p_c^{+0} = 0 \quad \textbf{(3.25)}$$

şeklinde ifade edilebilir. Verilenler ışığında ani güç ifadesi gerilimin simetrik ancak yükün dengesiz olduğu durumlar için,

$$p = P^{+} - 3VI^{-}\cos(2\omega t + \beta^{+}) \quad \textbf{(3.26)}$$

$$p = P_{av} - 3VI^{-}\cos(2\omega t + \beta^{+}) \quad \textbf{(3.27)}$$

şeklinde toparlanabilir. Buradan da görüldüğü üzere gerilimin pozitif bileşeni ve akımın negatif bileşeninden oluşan sinüsoidal osilasyonların genliği $3VI^{-}$'ye eşittir.

(3.14)'de belirtildiği gibi üç fazlı sistemlerde ani güç, sistem frekansının iki katı frekansta osilasyon yapan sinüsoidal bileşenden ve dc bileşenden oluşmaktadır. Kaynaktan yüke doğru tek yönlü akan ve P^{+}, P^{-} ve P^{0} güçlerinin toplamına eşit olan dc bileşene ortalama güç denilmektedir. Gerilimin ve akımın negatif ve sıfır bileşenlerinin meydana gelen güçler ise dengesizliklerden kaynaklanmaktadır [3].

Tam dengeli bir sistemde negatif ve sıfır bileşenleri oluşmayacağından sinüsoidal osilasyonlar kaybolmaktadır. Bu koşullar altında ani güç;

$$p = P_{av} = P^{+} = 3V^{+}I^{+}\cos(\alpha^{+} - \beta^{+}) = 3V^{+}I^{+}\cos\theta^{+} \quad \textbf{(3.28)}$$

ortalama güce eşit olacaktır.

3.3 Dengesiz Güç Bileşeni

Dengesizlik koşullarında meydana gelen ve sistem frekansının iki katı frekansta salınım yapan osilasyonların dengesiz gücün bir bileşeni olabileceğine ilişkin yapılan bir çalışmada, bu osilasyonların genliğini hesaplamak amacıyla Ayrık Zamanlı Fourier Dönüşümü'nden faydalanılmıştır [3]. Buna göre ani güçte meydana gelen osilasyonların genliği,

$$P_{2m} = \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} p(n) e^{\frac{-j\pi n}{N}} \tag{3.29}$$

formülasyonu kullanılarak belirlenebilir.

3.4 Dengesiz Güç

Bu çalışmada üç fazlı, üç telli ve dört telli sistemlerde gerilim kaynakları dengeli kabul edildiğinden, gerilimin negatif ve sıfır bileşenleri bulunmayacaktır. Buna göre (2.82)'de verilen dengesiz güç hesabında kullanılacak olan etkin gerilim değeri, gerilimin pozitif bileşenin etkin değerine eşit olacaktır.

$$V_e = V^+ \tag{3.30}$$

3.4.1 Üç telli sistemlerde dengesiz güç

Üç telli sistemlerde fazlara ilişkin akımların toplamları sıfır olacağından, I_n dolayısıyla I^0 sıfır olacaktır. Daha önce (2.77)'de verilen etkin akım değeri kullanırak üç telli sistemler için dengesiz güç,

$$S_U = \sqrt{\left(3V_e I_e\right)^2 - \left(3V^+ I^+\right)^2} \tag{3.31}$$

$$S_U = \sqrt{\left(3V^+\left(\sqrt{\left(I^+\right)^2 + \left(I^-\right)^2}\right)\right)^2 - \left(3V^+ I^+\right)^2} \tag{3.32}$$

$$S_U = \sqrt{\left(3V^+ I^+\right)^2 + \left(3V^+ I^-\right)^2 - \left(3V^+ I^+\right)^2} \tag{3.33}$$

$$S_U = 3V^+ I^- \tag{3.34}$$

bağıntıları ile hesaplanabilir.

Ayrık Zamanlı Fourier Transformu kullanılarak hesaplanan osilasyonların genliği (3.27)'de belirtildiği gibi $3VI^-$'ye eşittir. Üç fazlı üç telli sinüsoidal sistemlerde gerilim kaynakları simetrili olduğu takdirde IEEE standartlarında verilen dengesiz güç büyüklüğü buradan da görüldüğü üzere ani güçte meydana gelen osilasyonların genliğine eşittir.

$$S_U = P_{2m} \tag{3.35}$$

3.4.2 Dört telli sistemlerde dengesiz güç

Dört telli sistemlerde I_n dolayısıyla I^0 akımları da var olacağından (2.79)'da verilen etkin akım değeri kullanılarak dengesiz güç,

$$S_U = \sqrt{\left(3V_e I_e\right)^2 - \left(3V^+ I^+\right)^2} \tag{3.36}$$

$$S_U = \sqrt{\left(3V^+\left(\sqrt{\left(I^+\right)^2 + \left(I^-\right)^2 + 4\left(I^0\right)^2}\right)\right)^2 - \left(3V^+ I^+\right)^2} \tag{3.37}$$

$$S_U = \sqrt{\left(3V^+ I^+\right)^2 + \left(3V^+ I^-\right)^2 + \left(6V^+ I^0\right)^2 - \left(3V^+ I^+\right)^2} \tag{3.38}$$

$$S_U = \sqrt{\left(3V^+ I^-\right)^2 + \left(6V^+ I^0\right)^2} \tag{3.39}$$

bağıntıları ile hesaplanabilir.

Üç fazlı dört telli sinüsoidal sistemlerde, gerilim kaynaklarının simetrili olması kaidesiyle, Ayrık Zamanlı Fourier Transformu kullanılarak hesaplanan osilasyonların genliği olan $3VI^-$, buradan da görüldüğü üzere IEEE standartlarında verilen dengesiz güç ifadesinin bir bölümüne eşittir. Bir başka deyişle dört telli durumda meydana gelen dengesizliği; akımın negatif bileşeninden kaynaklanan dengesiz gücün negatif bileşeni ve akımın sıfır bileşeninden kaynaklanan dengesiz gücün sıfır bileşeni şeklinde iki parçaya bölersek, ani güçte meydana gelen osilasyonların genliği dengesiz gücün negatif bileşenini vermektedir.

$$S_U = \sqrt{\left(S_U{}^-\right)^2 + \left(S_U{}^0\right)^2} \tag{3.40}$$

$$S_U{}^- = 3V^+ I^- = P_{2m} \tag{3.41}$$

Akımın sıfır bileşeninden kaynaklanan dengesiz güç ise;

$$S_U{}^0 = 6V^+ I^0 = P_{2m0} \tag{3.42}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada akımın sıfır bileşeninin yerine fazlardan çekilen akımların toplamının üçte birine eşit olan I_n akımı kullanılırsa,

$$I_n = I_a + I_b + I_c \tag{3.43}$$

$$I^0 = \frac{I_n}{3} \tag{3.44}$$

$$P_{2m0} = 6V^+ I^0 = 2V^+ I_n \tag{3.45}$$

Bu ifade hatlardan alınan ani değerler ile hesaplanarak (3.29) ile verilen algoritmaya dahil edilebilir.

$$V^+ = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\left(v_{a_k}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\left(v_{b_k}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\left(v_{c_k}\right)^2} \tag{3.46}$$

$$I_n = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\left(i_{a_k} + i_{b_k} + i_{c_k}\right)^2} \tag{3.47}$$

$$P_{2m0} = 2\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\left(v_{a_k}\right)^2}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\left(i_{a_k} + i_{b_k} + i_{c_k}\right)^2} \tag{3.48}$$

Burada N bir periyot boyunca alınan örnek sayısına karşılık gelmektedir. Üç telli sistemlerde I_n ve dolayısıyla I^0 akımı bulunmayacağından, bulunan ifade gerilim kaynakları dengeli olmak kaidesiyle tüm üç fazlı sistemler için genelleştirilebilir.

$$P_U = \sqrt{{P_{2m}}^2 + {P_{2m0}}^2} \tag{3.49}$$

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde üç fazlı sinüsoidal, üç telli ve dört telli gerçek sistemlerin benzerleri bir benzetim programı vasıtasıyla kurularak belirli bir örnekleme frekansı ile hatlardan v_a, v_b, v_c, i_a, i_b, i_c ani değerlerine ilişkin ölçümler alınacaktır. Toplanan ani verilerden yola çıkarak sürekli hal bilgilerine ulaşılacak ve uygun algoritmaların kullanılması ile istenilen büyüklükler hesaplanılacaktır.

Bu çalışmada gerilim kaynaklarının frekansları $50Hz$ ve örnekleme frekansı da (f_s) $600Hz$ seçilmiştir. Böylece periyot başına 12 örnek alınmıştır.

$$Örneksay = \frac{f_s}{f_{şebeke}} \tag{3.49}$$

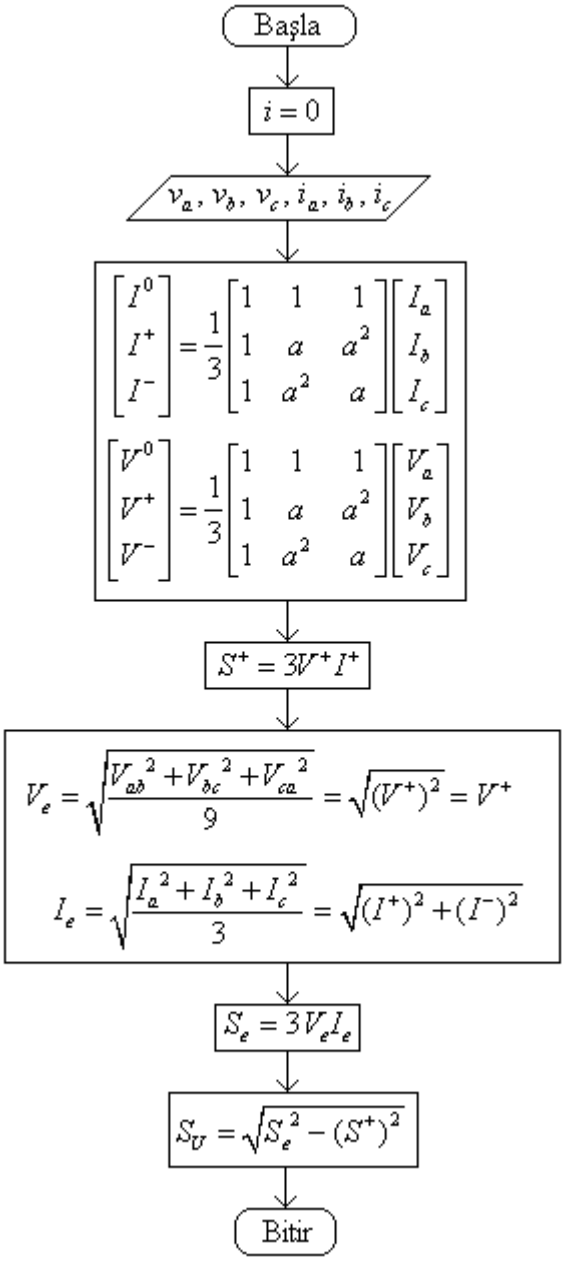
Hatlardan alınan örneklerin aynı anda alınması koşuluyla; örnekleme frekansının, şebeke frekansı ile senkronize olmasına gerek yoktur [3].

4.1 Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç Hesaplama Algoritması

Kullanılacak olan algoritma, etkin gücün üç telli sistemler ve dört telli sistemler için ayrı ayrı tanımlanmış olmasından ötürü ikiye ayrılmaktadır.

4.1.1 Üç telli sistemler için hesap algoritması

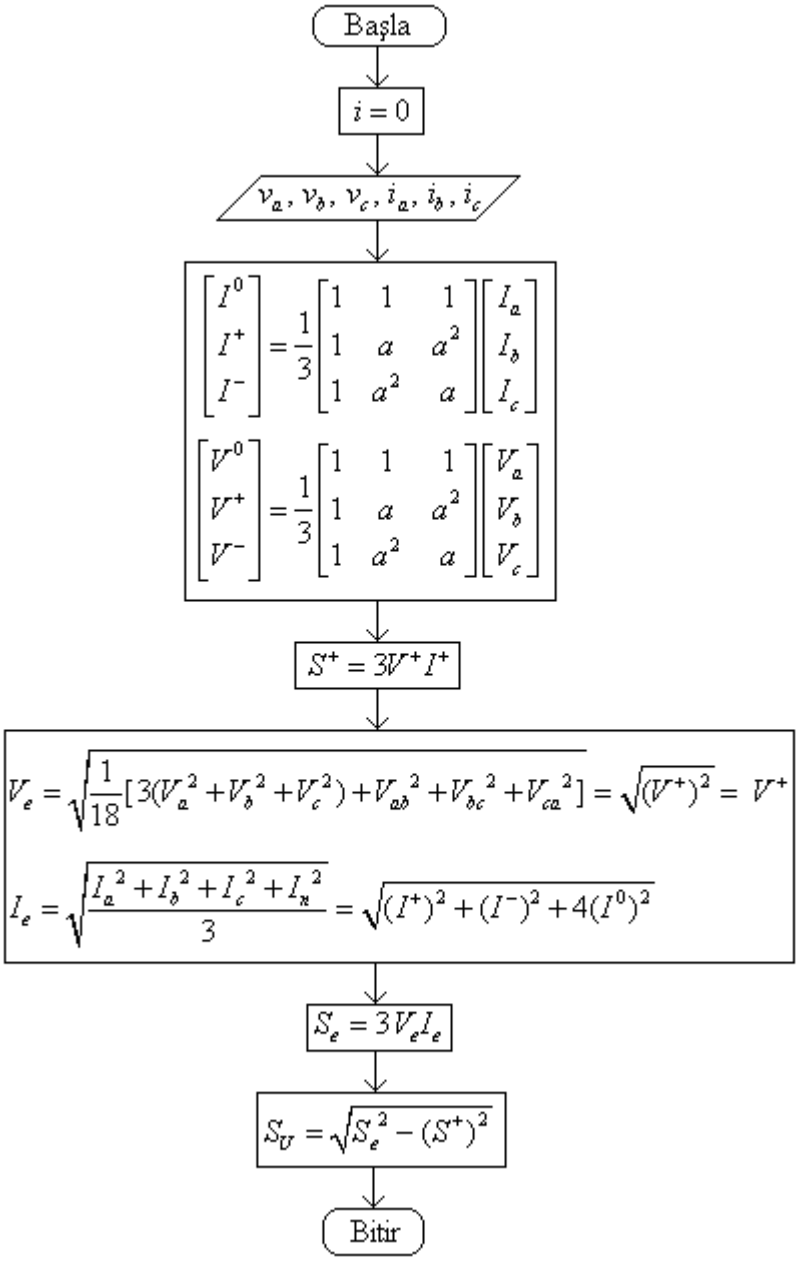
Üç fazlı sistemlerde dengesiz gücün karesi; etkin görünür gücün karesi ile pozitif görünür gücün karesinin farkına eşittir (2.82). Kullanılması gereken algoritma Şekil 4.1'de verildiği gibidir.



Şekil 4.1 : Üç telli sistemler için dengesiz güç hesaplama algoritması

4.1.2 Dört telli sistemler için hesap algoritması

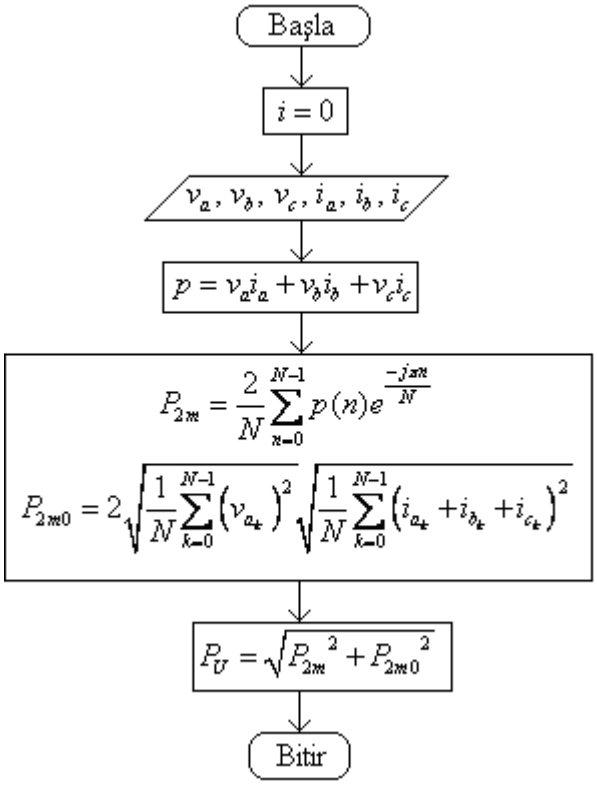
Dört telli sistemlerde dengesiz koşullarda fazların akım değerlerinin toplamı olan nötr akımı dördüncü tel üzerinden akmaktadır. Akımın etkin değeri hesaplanırken bu durum göz önüne alınır. Buna göre kullanılması gerekilen algoritma Şekil 4.2'de verildiği gibidir.



Şekil 4.2 : Dört telli sistemler için dengesiz güç hesaplama algoritması

4.2 Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç Hesaplama Algoritması

Üç fazlı sinüsoidal sistemlerde dengesizlik durumu söz konusu değil ise ani güç üzerinde herhangi bir osilasyon görülmeyecektir ancak bir dengesizlik oluşması durumunda ani güçte sistem frekansının iki katı frekansta osilasyonlar görülecektir. Bu bağlamda (2.20)'de bahsedildiği şekliyle ani güç, hatlardan alınan anlık değerler kullanılarak hesaplanır. Dengesizlik durumunda oluşacak olan dengesiz gücün büyüklüğü Şekil 4.3'de verilen algoritma vasıtasıyla elde edilir.



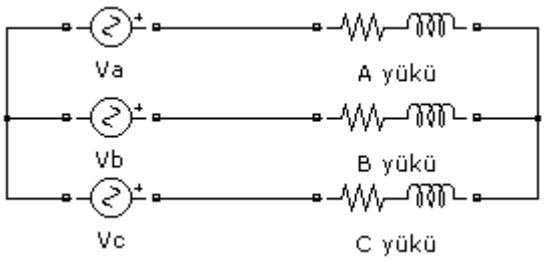
Şekil 4.3 : Ani güç değerleri ile dengesiz güç hesaplama algoritması

4.3 Üç Telli Durum Analizi

Bu bölümde üç fazlı üç telli sistemler incelenecektir. Yapılan çalışmanın anlaşılabilirliğini artırmak ve kolayca tekrarlanabilmesini sağlamak adına gerçek sistemleri temsil eden birer örnek sistem kurularak, kantitatif bir çalışma ve peşinden analizler gerçekleştirilecektir. Bu bağlamda incelenecek olan sistemlerin örnek modelleri, sisteme ilişkin gerilim kaynaklarının değerleri, her bir faza ilişkin yük değerleri ve kurulu sistemin fazlardan çekeceği akımlar verilerek, dengesiz güç her iki yönteme göre hesaplanacak ve karşılaştırılacaktır.

4.3.1 Üç telli tam dengeli durum

İncelenen sistem tam dengeli olduğunda, faz gerilimlerinin tepe değerleri birbirine eşit ve ardışık fazlar arasında ideal 120^0 faz farkı olması ve gerilime benzer şekilde fazlardan çekilen akımların tepe değerlerinin birbirine eşit ve ardışık fazlar arasında 120^0 faz farkı olması beklenmektedir. Bu sistem Şekil 4.4'te sembolize edilmiştir.



Şekil 4.4 : Üç telli tam dengeli durum sistem modeli

Örnek sistem modeline ilişkin gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Üç telli tam dengeli durum gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	311,127	0	50	10	0,0022	∞
B Fazı	311,127	-120	50	10	0,0022	∞
C Fazı	311,127	120	50	10	0,0022	∞

Verilen sisteme ilişkin fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Üç telli tam dengeli durum çekilen akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	31,040
B Fazı	31,040
C Fazı	31,040

Bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Üç telli tam dengeli durum gerilim ve akım ani değerleri

Örnek No	Örnekleme Zamanı	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
		A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0	-269,444	269,444	-2,183	-25,738	27,901
1	0,001667	155,564	-311,127	155,564	13,594	-30,965	17,359
2	0,003334	269,444	-269,444	0	25,727	-27,892	2,164
3	0,005001	311,127	-155,563	-155,563	30,964	-17,343	-13,611
4	0,006668	269,444	0	-269,444	27,901	-2,183	-25,738
5	0,008335	155,564	155,564	-311,127	17,359	13,594	-30,965
6	0,010002	0	269,444	-269,444	2,164	25,727	-27,892
7	0,011669	-155,563	311,127	-155,563	-13,611	30,964	-17,343
8	0,013336	-269,444	269,444	0	-25,738	7,901	-2,1832
9	0,015003	-311,127	155,564	155,564	-30,965	17,359	13,594
10	0,016670	-269,444	0	269,444	-27,892	2,164	25,727
11	0,018337	-155,563	-155,563	311,127	-17,343	-13,611	30,964

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Üç telli tam dengeli durum simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
220,00	0	0	21,95	0	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu sıfır olarak verdiği görülmüştür.

Çizelge 4.5 : Üç telli tam dengeli durum dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	14487	P_{2m}	0
S^{+}	14487	P_{2m0}	0
S_U	0	P_U	0

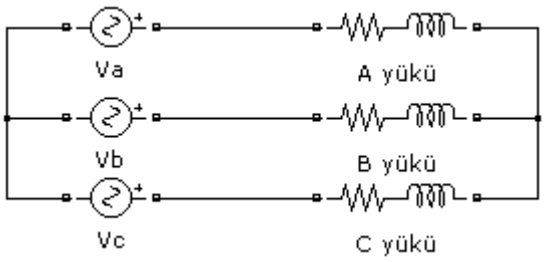
Denge durumunda ani güçte bir osilasyon oluşmayacağından P_{2m} değeri sıfır bulunmaktadır. Üç telli sistemlerde akımın sıfır bileşeni yer almadığından P_{2m0} değeri de sıfır bulunmaktadır.

4.3.2 Üç telli dengesiz durum

Bu tez kapsamında incelenecek olan dengesizlikler, gerilim kanatının dengeli ancak akım kanatının dengesiz olduğu hallerdir. İncelenen dengesizlik koşullarında, gerilim kaynaklarının tepe değerlerinin birbirine eşit olması ve fazlar arasında 120^0 faz farkı bulunması beklenirken, fazlardan çekilen akımların tepe değerlerinin birbirine eşit olmaması ve/veya ardışık fazlar arasında 120^0'den farklı bir faz farkı olması beklenmektedir.

4.3.2.1 Dengesiz yüklenme

Fazlarda yer alan yüklerin birbirinden farklı değerlere sahip olmasından kaynaklanan bu dengesizlik durumunda, yükler birbirinden farklı ancak saf ohmik ise fazlardan çekilen akımların genlikleri birbirinden farklı olacaktır. Ancak yükler saf ohmik değil ise fazlardan çekilen akımların genliklikllerinin birbirine eşit olmamasının haricinde fazlarda da kayma meydana gelecek ve ardışık fazlar arasında 120^0 faz farkı bulunmayacaktır. İkinci durum ilkini kapsadığından karışık yüklerin yer aldığı bir dengesizlik durumu mercek altına alınmıştır. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu sistem modeli

Örnek sistem modeline ilişkin gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	311,127	0	50	19	0,0019	∞
B Fazı	311,127	-120	50	7	0	∞
C Fazı	311,127	120	50	13	0	0,000047

Verilen sisteme ilişkin fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	22,362
B Fazı	16,361
C Fazı	7,011

Bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.8'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.8 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0	-269,444	269,444	9,881	-9,869	-0,012
1	0,001667	155,564	-311,127	155,564	18,589	-15,072	-3,517
2	0,003334	269,444	-269,444	0	22,314	-16,235	-6,079
3	0,005001	311,127	-155,563	-155,563	20,057	-13,046	-7,011
4	0,006668	269,444	0	-269,444	12,424	-6,360	-6,064
5	0,008335	155,564	155,564	-311,127	1,461	2,031	-3,492
6	0,010002	0	269,444	-269,444	-9,894	9,877	0,002
7	0,011669	-155,563	311,127	-155,563	-18,597	15,076	3,521
8	0,013336	-269,444	269,444	0	-22,315	16,234	6,081
9	0,015003	-311,127	155,564	155,564	-20,051	13,040	7,011
10	0,016670	-269,444	0	269,444	-12,413	6,351	6,062
11	0,018337	-155,563	-155,563	311,127	-1,447	-2,041	3,488

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
220,00	0	0	9,38	6,94	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu yaklaşık olarak aynı verdiği görülmüştür.

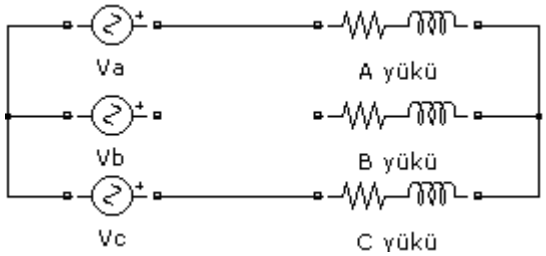
Çizelge 4.10 : Üç telli dengesiz yüklenme durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	7701,04	P_{2m}	4579,87
S^{+}	6190,80	P_{2m0}	0
S_U	4580,40	P_U	4579,87

Üç telli sistemlerde akımın sıfır bileşeni yer almadığından P_{2m0} değeri sıfır bulunmaktadır.

4.3.2.2 Hat kopması

Normalde dengeli olan bir sistemde hatlardan biri koparsa dengesizlik olur. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.6'de verildiği gibidir.



Şekil 4.6 : Üç telli hat kopması durumu sistem modeli

Örnek sistem modeline ilişkin gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : Üç telli hat kopması durumu gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	311,127	0	50	12	0,0045	∞
B Fazı	311,127	-120	50	-	-	-
C Fazı	311,127	120	50	12	0,0045	∞

Verilen sisteme ilişkin fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 : Üç telli hat kopması durumu akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	22,301
B Fazı	0
C Fazı	22,301

Bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.13'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.13 : Üç telli hat kopması durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0	-269,444	269,444	-13,359	0	13,359
1	0,001667	155,564	-311,127	155,564	-2,638	0	2,639
2	0,003334	269,444	-269,444	0	8,789	0	-8,789
3	0,005001	311,127	-155,563	-155,563	17,861	0	-17,861
4	0,006668	269,444	0	-269,444	22,145	0	-22,145
5	0,008335	155,564	155,564	-311,127	20,493	0	-20,493
6	0,010002	0	269,444	-269,444	13,348	0	-13,348
7	0,011669	-155,563	311,127	-155,563	2,624	0	-2,624
8	0,013336	-269,444	269,444	0	-8,802	0	8,802
9	0,015003	-311,127	155,564	155,564	-17,870	0	17,869
10	0,016670	-269,444	0	269,444	-22,147	0	22,147
11	0,018337	-155,563	-155,563	311,127	-20,488	0	20,487

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.14'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.14 : Üç telli hat kopması durumu simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
220,00	0	0	9,1	9,1	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu yaklaşık olarak aynı bulduğu görülmüştür.

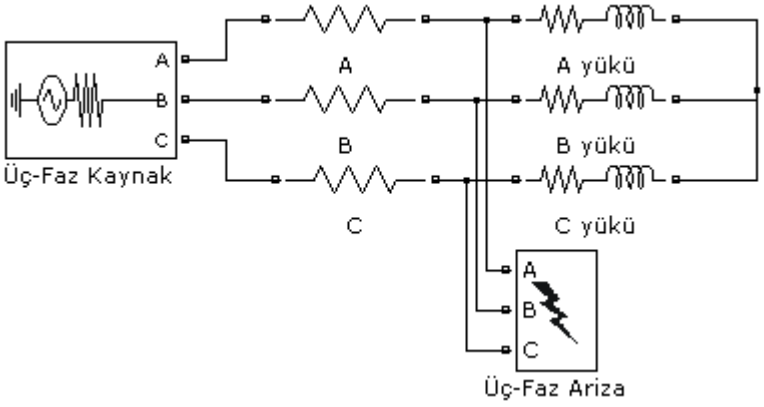
Çizelge 4.15 : Üç telli hat kopması durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	8493,77	P_{2m}	6008,64
S^{+}	6006	P_{2m0}	0
S_U	6006	P_U	6008,64

Üç telli sistemlerde akımın sıfır bileşeni yer almadığından P_{2m0} değeri sıfır bulunmaktadır.

4.3.2.3 Faz-faz arızası

Bu bölümde normalde dengeli olan bir sistemde, A ile B fazı arasında bir arıza oluşturulacak ve oluşan dengesizliğin büyüklüğü her iki metotla ölçülerek karşılaştırılacaktır. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.7'de verildiği gibidir.



Şekil 4.7 : Üç telli F-F arızası durumu sistem modeli

0,02 saniyenin bir tam periyota tekabül ettiği sistemde 0,16. saniyede arıza meydana getirilmektedir. Sistemin başlangıç çalışma koşullarındaki gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.16'de verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Üç telli F-F arızası durumu gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	310,268	0	50	5	0,05	∞
B Fazı	310,268	-120	50	5	0,05	-
C Fazı	310,268	120	50	5	0,05	∞

Sisteme ilişkin başlangıç çalışma koşullarında fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17 : Üç telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	10,5
B Fazı	10,5
C Fazı	10,5

Başlangıç koşulları göz önünde bulundurularak bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.18'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.18 : Üç telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek No	Örnekleme Zamanı	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
		A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0,000	-268,700	268,700	-5,590	-4,9103	10,501
1	0,001667	155,162	-310,268	155,106	-0,391	-8,898	9,289
2	0,003334	268,733	-268,667	-0,065	4,912	-10,500	5,588
3	0,005001	310,268	-155,049	-155,219	8,899	-9,288	0,388
4	0,006668	268,635	0,130	-268,765	10,500	-5,586	-4,914
5	0,008335	154,993	155,275	-310,268	9,287	-0,386	-8,900
6	0,010002	-0,195	268,798	-268,602	5,584	4,916	-10,500
7	0,011669	-155,331	310,268	-154,937	0,384	8,901	-9,286
8	0,013336	-268,830	268,570	0,260	-4,918	10,500	-5,582
9	0,015003	-310,268	154,880	155,387	-8,902	9,285	-0,382
10	0,016670	-268,537	-0,325	268,862	-10,500	5,580	4,920
11	0,018337	-154,824	-155,445	310,267	-9,284	0,380	8,904

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.19'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.19 : Üç telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
219,39	0	0	7,424	0	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve başlangıç koşullarında her iki algoritmanın da sonucu yaklaşık sıfır bulduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.20 : Üç telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	4886,288	P_{2m}	0,042
S^{+}	4886,287	P_{2m0}	0
S_U	1,222	P_U	0,042

Sistemde arıza meydana geldikten sonra fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21 : Üç telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (*A*)
A Fazı	5,252
B Fazı	5,252
C Fazı	10,503

Arıza meydana geldikten sonra bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.22'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.22 : Üç telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0,000	-268,700	268,700	-5,252	-5,251	10,504
1	0,001667	155,162	-310,268	155,106	-4,623	-4,623	9,246
2	0,003334	268,733	-268,667	-0,065	-2,755	-2,755	5,510
3	0,005001	310,268	-155,049	-155,219	-0,148	-0,149	0,297
4	0,006668	268,635	0,130	-268,765	2,499	2,497	-4,996
5	0,008335	154,993	155,275	-310,268	4,475	4,474	-8,949
6	0,010002	-0,195	268,798	-268,602	5,252	5,251	-10,504
7	0,011669	-155,331	310,268	-154,937	4,621	4,621	-9,243
8	0,013336	-268,830	268,570	0,260	2,752	2,752	-5,504
9	0,015003	-310,268	154,880	155,387	0,144	0,146	-0,290
10	0,016670	-268,537	-0,325	268,862	-2,502	-2,500	5,002
11	0,018337	-154,824	-155,445	310,267	-4,477	-4,476	8,953

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.23'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.23 : Üç telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri

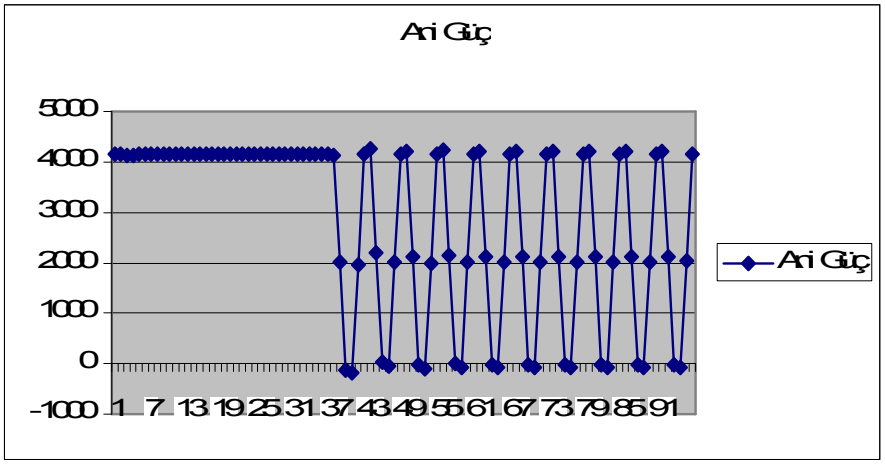
V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
219,39	0	0	3,723	3,703	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu yaklaşık olarak aynı bulduğu görülmüştür.

Çizelge 4.24 : Üç telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri

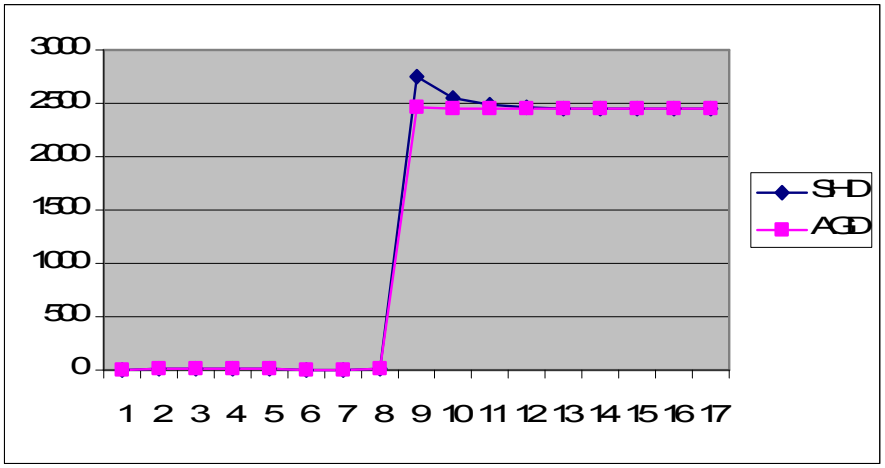
Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	3456,401	P_{2m}	2445,319
S^+	2450,897	P_{2m0}	6,043
S_U	2447,472	P_U	2445,320

Sisteme ilişkin ani güç grafiği, Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Üç telli F-F arızası durumu ani güç değerleri

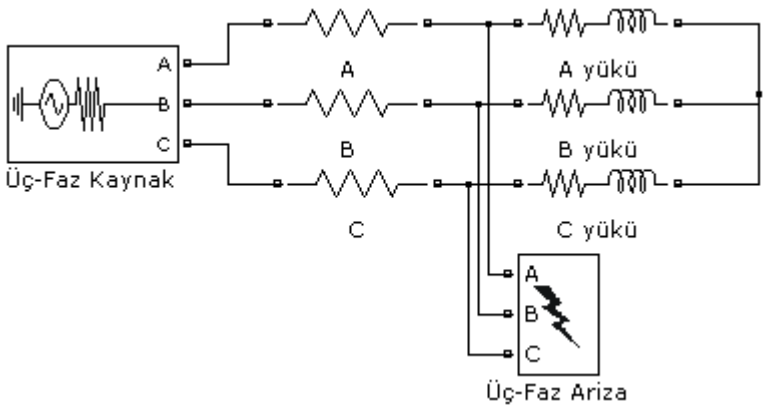
Sisteme ilişkin hesaplanan dengesiz güç değerleri, Şekil 4.9'de verilmiştir.



Şekil 4.9 : Üç telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri

4.3.2.4 Faz-faz-toprak arızası

Bu bölümde normalde dengeli olan bir sistemde, A ile B fazı arasında, bir faz-faz-toprak arızası oluşturulacak ve oluşan dengesizliğin büyüklüğü her iki metotla ölçülerek karşılaştırılacaktır. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.10'de verildiği gibidir.



Şekil 4.10 : Üç telli F-F-T arızası durumu sistem modeli

0,02 saniyenin bir tam periyota tekabül ettiği sistemde 0,16. saniyede arıza meydana getirilmektedir. Sisteme ilişkin gerilim ve yük değerleri bir önceki bölümde seçilen değerler ile aynı değerler seçilmiştir. Buna göre sistemde başlangıç koşullarında meydana gelen dengesizlik Çizelge 4.25'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.25 : Üç telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	4886,288	P_{2m}	0,042
S^+	4886,287	P_{2m0}	0
S_U	1,222	P_U	0,042

Sistemde arıza meydana geldikten sonra fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.26'de verilmiştir.

Çizelge 4.26 : Üç telli F-F-T arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	4,221
B Fazı	4,219
C Fazı	8,440

Arıza meydana geldikten sonra bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.27'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.27 : Üç telli F-F-T arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0,000	-268,700	268,700	-4,220	-4,219	8,439
1	0,001667	155,162	-310,268	155,106	-4,024	-4,024	8,048
2	0,003334	268,733	-268,667	-0,065	-2,749	-2,750	5,499
3	0,005001	310,268	-155,049	-155,219	-0,738	-0,739	1,476
4	0,006668	268,635	0,130	-268,765	1,472	1,470	-2,942
5	0,008335	154,993	155,275	-310,268	3,287	3,285	-6,572
6	0,010002	-0,195	268,798	-268,602	4,221	4,219	-8,440
7	0,011669	-155,331	310,268	-154,937	4,023	4,023	-8,046
8	0,013336	-268,830	268,570	0,260	2,747	2,748	-5,495
9	0,015003	-310,268	154,880	155,387	0,735	0,736	-1,471
10	0,016670	-268,537	-0,325	268,862	-1,474	-1,473	2,947
11	0,018337	-154,824	-155,445	310,267	-3,288	-3,287	6,575

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.28'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.28 : Üç telli F-F-T arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri

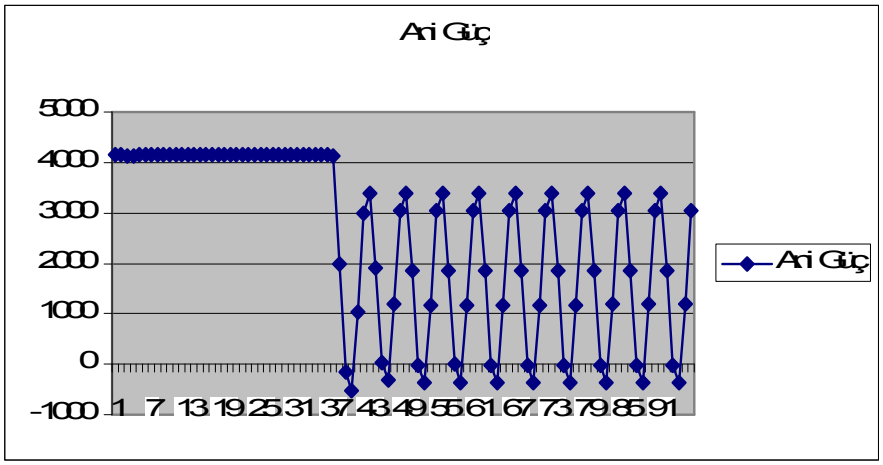
V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
219,39	0	0	2,984	2,984	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu yaklaşık olarak aynı bulduğu görülmüştür.

Çizelge 4.29 : Üç telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri

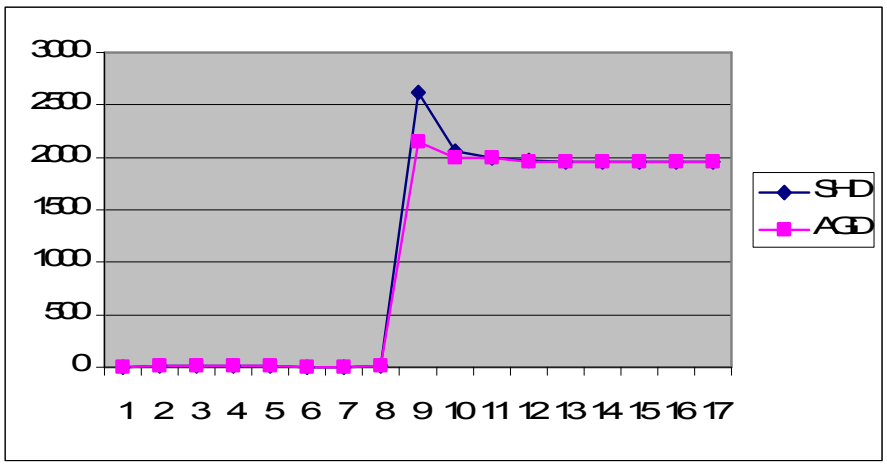
Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	2777,280	P_{2m}	1963,745
S^+	1963,893	P_{2m0}	0,188
S_U	1963,774	P_U	1963,745

Sisteme ilişkin ani güç grafiği, Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Üç telli F-F-T arızası durumu ani güç değerleri

Sisteme ilişkin hesaplanan dengesiz güç değerleri, Şekil 4.12'de verilmiştir.



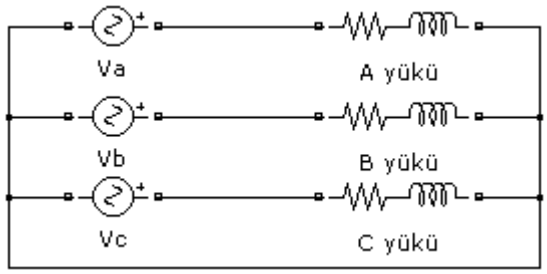
Şekil 4.12 : Üç telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri

4.4 Dört Telli Durum Analizi

Bu bölümde üç fazlı dört telli sistemler incelenecektir. Yapılan çalışmanın anlaşılabilirliğini artırmak ve kolayca tekrarlanabilmesini sağlamak adına gerçek sistemleri temsil eden birer örnek sistem kurularak, kantitatif bir çalışma ve peşinden analizler gerçekleştirilecektir. Bu bağlamda incelenecek olan sistemlerin örnek modelleri, sisteme ilişkin gerilim kaynaklarının değerleri, her bir faza ilişkin yük değerleri ve kurulu sistemin fazlardan çekeceği akımlar verilerek, dengesiz güç her iki yönteme göre hesaplanacaktır.

4.4.1 Dört telli tam dengeli durum

İncelenen sistem tam dengeli olduğunda, faz gerilimlerinin tepe değerleri birbirine eşit ve ardışık fazlar arasında 120^0 faz farkı olması ve gerilime benzer şekilde fazlardan çekilen akımların tepe değerlerinin birbirine eşit ve ardışık fazlar arasında 120^0 faz farkı olması beklenmektedir. Örnek sistem modeli Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13 : Dört telli tam dengeli durum sistem modeli

Örnek sistem modeline ilişkin gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30 : Dört telli tam dengeli durum gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	311,127	0	50	10	0,0022	∞
B Fazı	311,127	-120	50	10	0,0022	∞
C Fazı	311,127	120	50	10	0,0022	∞

Verilen sisteme ilişkin fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.31 : Dört telli tam dengeli durum akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (*A*)
A Fazı	31,040
B Fazı	31,040
C Fazı	31,040

Bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32 : Dört telli tam dengeli durum gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0	-269,444	269,444	-2,183	-25,738	27,901
1	0,001667	155,564	-311,127	155,564	13,594	-30,965	17,359
2	0,003334	269,444	-269,444	0	25,727	-27,892	2,164
3	0,005001	311,127	-155,563	-155,563	30,964	-17,343	-13,611
4	0,006668	269,444	0	-269,444	27,901	-2,183	-25,738
5	0,008335	155,564	155,564	-311,127	17,359	13,594	-30,965
6	0,010002	0	269,444	-269,444	2,164	25,727	-27,892
7	0,011669	-155,563	311,127	-155,563	-13,611	30,964	-17,343
8	0,013336	-269,444	269,444	0	-25,738	7,901	-2,1832
9	0,015003	-311,127	155,564	155,564	-30,965	17,359	13,594
10	0,016670	-269,444	0	269,444	-27,892	2,164	25,727
11	0,018337	-155,563	-155,563	311,127	-17,343	-13,611	30,964

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.33'de verilmiştir.

Çizelge 4.33 : Dört telli tam dengeli durum simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
220,00	0	0	21,95	0	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu sıfır olarak verdiği görülmüştür.

Çizelge 4.34 : Dört telli tam dengeli durum dengesiz güç değerleri

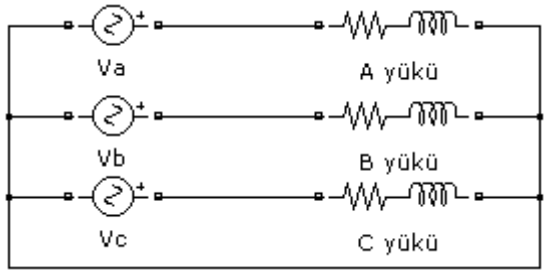
Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	14487	P_{2m}	0
S^+	14487	P_{2m0}	0
S_U	0	P_U	0

4.4.2 Dört telli dengesiz durum

Bu tez kapsamında incelenecek olan dengesizlikler, gerilim kanatının dengeli ancak akım kanatının dengesiz olduğu hallerdir. İncelenen dengesizlik koşullarında, gerilim kaynaklarının tepe değerlerinin birbirine eşit olması ve fazlar arasında 120^0 faz farkı bulunması beklenirken, fazlardan çekilen akımların tepe değerlerinin birbirine eşit olmaması ve/veya ardışık fazlar arasında 120^0'den farklı bir faz farkı olması beklenmektedir.

4.4.2.1 Dengesiz yüklenme

Fazlarda yer alan yükler birbirinden farklı değerlere sahip ise sistem dengesiz yüklenmiş demektir. Dört telli sistemlerde, üç telli sistemlerden farklı olarak nötr akımı akacağından, dengesiz güçün negatif bileşeninin haricinde sıfır bileşenin de var olacağı göz önüne alınmalıdır. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu sistem modeli

Örnek sistem modeline ilişkin gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.35'de verilmiştir.

Çizelge 4.35 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	311,127	0	50	19	0,0019	∞
B Fazı	311,127	-120	50	7	0	∞
C Fazı	311,127	120	50	13	0	0,000047

Verilen sisteme ilişkin fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.36 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	16,367
B Fazı	44,452
C Fazı	4,574

Bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0	-269,444	269,444	-0,537	-38,525	-1,505
1	0,001667	155,564	-311,127	155,564	7,715	-44,452	-3,463
2	0,003334	269,444	-269,444	0	13,899	-38,464	-4,493
3	0,005001	311,127	-155,563	-155,563	16,358	-22,166	-4,319
4	0,006668	269,444	0	-269,444	14,432	0,074	-2,987
5	0,008335	155,564	155,564	-311,127	8,637	22,295	-0,854
6	0,010002	0	269,444	-269,444	0,527	38,539	1,507
7	0,011669	-155,563	311,127	-155,563	-7,724	44,452	3,465
8	0,013336	-269,444	269,444	0	-13,905	38,450	4,494
9	0,015003	-311,127	155,564	155,564	-16,359	22,141	4,318
10	0,016670	-269,444	0	269,444	-14,427	-0,102	2,985
11	0,018337	-155,563	-155,563	311,127	-8,629	-22,319	0,851

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.38 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
220,00	0	0	14,57	8,26	9,85

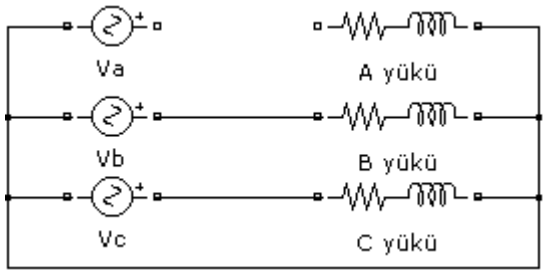
Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve sonuçların yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.39 : Dört telli dengesiz yüklenme durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	17065,85	P_{2m}	5449,18
S^{+}	9616,2	P_{2m0}	13010,41
S_U	14098,65	P_U	14101,4

4.4.2.2 Hat kopması

Normalde dengeli olan bir sistemde hatlardan biri koparsa dengesizlik olur. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15 : Dört telli hat kopması durumu sistem modeli

Örnek sistem modeline ilişkin gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.40 : Dört telli hat kopması durumu gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	311,127	0	50	0	0	∞
B Fazı	311,127	-120	50	12	0,0045	∞
C Fazı	311,127	120	50	12	0,0045	∞

Verilen sisteme ilişkin fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.41 : Dört telli hat kopması durumu akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	0
B Fazı	25,753
C Fazı	25,753

Bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.42'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.42 : Dört telli hat kopması durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0	-269,444	269,444	0	-20,621	23,669
1	0,001667	155,564	-311,127	155,564	0	-25,571	15,423
2	0,003334	269,444	-269,444	0	0	-23,667	3,0430
3	0,005001	311,127	-155,563	-155,563	0	-15,419	-10,153
4	0,006668	269,444	0	-269,444	0	-3,037	-20,627
5	0,008335	155,564	155,564	-311,127	0	10,158	-25,573
6	0,010002	0	269,444	-269,444	0	20,631	-23,663
7	0,011669	-155,563	311,127	-155,563	0	25,573	-15,410
8	0,013336	-269,444	269,444	0	0	23,661	-3,026
9	0,015003	-311,127	155,564	155,564	0	15,406	10,168
10	0,016670	-269,444	0	269,444	0	3,0216	20,637
11	0,018337	-155,563	-155,563	311,127	0	-10,173	25,574

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.43'de verilmiştir

Çizelge 4.43 : Dört telli hat kopması durumu simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
220,00	0	0	12,14	6,07	6,07

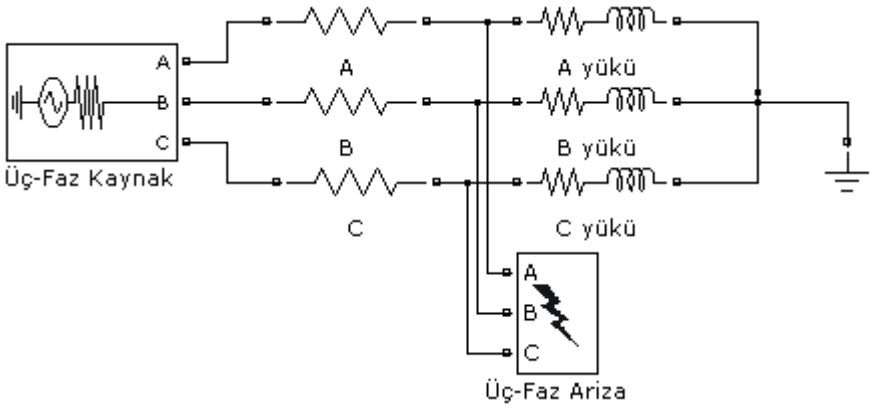
Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve sonuçların yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.44 : Dört telli hat kopması durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	12018,6	P_{2m}	4006,1
S^{+}	8012,4	P_{2m0}	8011,7
S_U	8958,14	P_U	8957,46

4.4.2.3 Faz-faz arızası

Bu bölümde normalde dengeli olan bir sistemde, A ile B fazı arasında, bir faz-faz arızası oluşturulacak ve oluşan dengesizliğin büyüklüğü her iki metotla ölçülerek karşılaştırılacaktır. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.16'de verilmiştir.



Şekil 4.16 : Dört telli F-F arızası durumu sistem modeli

0,02 saniyenin bir tam periyota tekabül ettiği sistemde 0,16. saniyede arıza meydana getirilmektedir. Sistemin başlangıç çalışma koşullarındaki gerilim ve yük değerleri Çizelge 4.45'de verilmiştir.

Çizelge 4.45 : Dört telli F-F arızası durumu gerilim ve yük değerleri

Fazlar	Sürekli Gerilim Değerleri			Yük Değerleri		
	Tepe Değer (V)	Faz Açısı (^{0})	Frekans (Hz)	R (Ω)	L (H)	C (F)
A Fazı	310,268	0	50	10	0,05	∞
B Fazı	310,268	-120	50	10	0,05	-
C Fazı	310,268	120	50	10	0,05	∞

Sisteme ilişkin başlangıç çalışma koşullarında fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.46 : Dört telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	8,043
B Fazı	8,043
C Fazı	8,043

Başlangıç koşulları göz önünde bulundurularak bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.47'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.47 : Dört telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek	Örnekleme	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
No	Zamanı	A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0,000	-268,700	268,700	-3,312	-4,734	8,046
1	0,001667	155,162	-310,268	155,106	0,822	-7,378	6,556
2	0,003334	268,733	-268,667	-0,065	4,735	-8,044	3,308
3	0,005001	310,268	-155,049	-155,219	7,378	-6,553	-0,825
4	0,006668	268,635	0,130	-268,765	8,043	-3,306	-4,737
5	0,008335	154,993	155,275	-310,268	6,552	0,827	-7,379
6	0,010002	-0,195	268,798	-268,602	3,305	4,739	-8,043
7	0,011669	-155,331	310,268	-154,937	-0,829	7,380	-6,551
8	0,013336	-268,830	268,570	0,260	-4,740	8,043	-3,303
9	0,015003	-310,268	154,880	155,387	-7,381	6,550	0,830
10	0,016670	-268,537	-0,325	268,862	-8,043	3,302	4,741
11	0,018337	-154,824	-155,445	310,267	-6,551	-0,831	7,382

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.48'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.48 : Dört telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri

V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
219,39	0	0	5,681	0,01	0,01

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve başlangıç koşullarında her iki algoritmanın da sonucu yaklaşık sıfır bulduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.49 : Dört telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	3739,310	P_{2m}	0,172
S^{+}	3739,309	P_{2m0}	0
S_U	2,705	P_U	0,172

Sistemde arıza meydana geldikten sonra fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.50'de verilmiştir.

Çizelge 4.50 : Dört telli F-F arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	4,017
B Fazı	4,017
C Fazı	8,033

Arıza meydana geldikten sonra bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.51'de verilmiştir.

Çizelge 4.51 : Dört telli F-F arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek No	Örnekleme Zamanı	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
		A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0,000	-268,700	268,700	-4,017	-4,017	8,034
1	0,001667	155,162	-310,268	155,106	-3,250	-3,250	6,500
2	0,003334	268,733	-268,667	-0,065	-1,612	-1,612	3,224
3	0,005001	310,268	-155,049	-155,219	0,459	0,458	-0,916
4	0,006668	268,635	0,130	-268,765	2,406	2,405	-4,811
5	0,008335	154,993	155,275	-310,268	3,708	3,707	-7,416
6	0,010002	-0,195	268,798	-268,602	4,017	4,016	-8,033
7	0,011669	-155,331	310,268	-154,937	3,249	3,249	-6,497
8	0,013336	-268,830	268,570	0,260	1,609	1,610	-3,219
9	0,015003	-310,268	154,880	155,387	-0,461	-0,460	0,921
10	0,016670	-268,537	-0,325	268,862	-2,408	-2,407	4,815
11	0,018337	-154,824	-155,445	310,267	-3,709	-3,709	7,418

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.52'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.52 : Dört telli F-F arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri

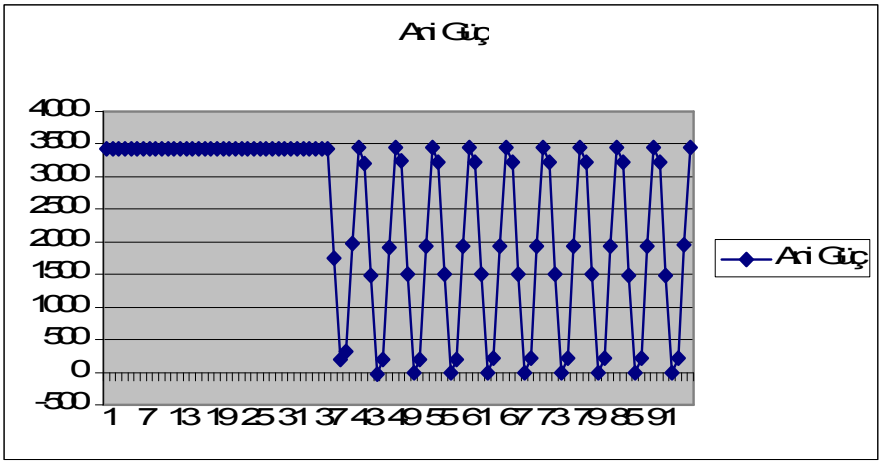
V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
219,39	0	0	2,840	2,840	0

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu yaklaşık olarak aynı bulduğu görülmüştür.

Çizelge 4.53 : Dört telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri

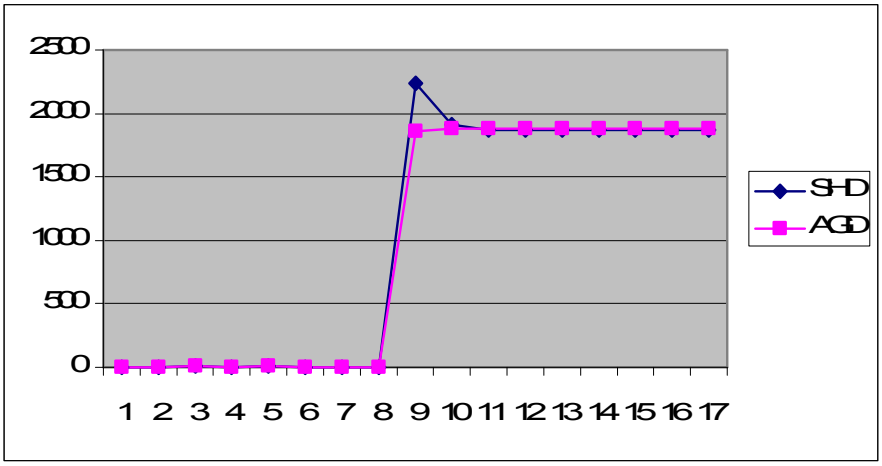
Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	2649,117	P_{2m}	1881,610
S^{+}	1869,319	P_{2m0}	0,015
S_U	1877,090	P_U	1881,611

Sisteme ilişkin ani güç grafiği, Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17 : Dört telli F-F arızası durumu ani güç değerleri

Sisteme ilişkin hesaplanan dengesiz güç değerleri, Şekil 4.18'de verilmiştir.

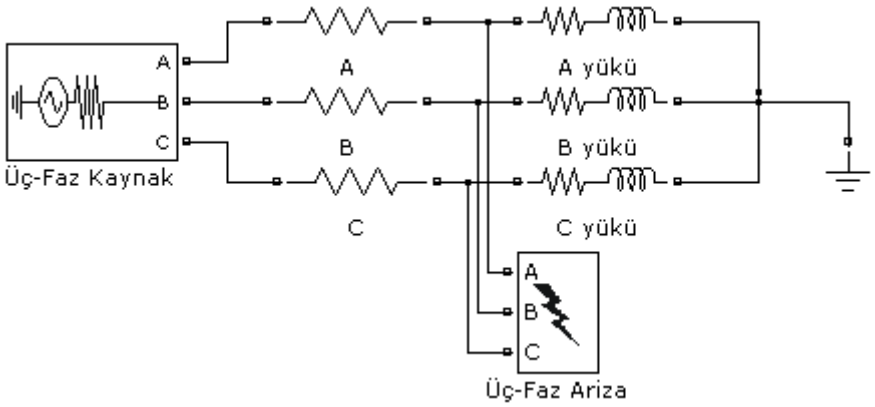


Şekil 4.18 : Dört telli F-F arızası durumu dengesiz güç değerleri

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve sonuçların yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

4.4.2.4 Faz-faz-toprak arızası

Bu bölümde normalde dengeli olan bir sistemde, A ile B fazı arasında, bir faz-faz-toprak arızası oluşturulacak ve oluşan dengesizliğin büyüklüğü her iki metotla ölçülerek karşılaştırılacaktır. Sisteme ilişkin örnek model Şekil 4.19'da verildiği gibidir.



Şekil 4.19 : Dört telli F-F-T arızası durumu sistem modeli

0,02 saniyenin bir tam periyota tekabül ettiği sistemde, 0,16. saniyede arıza meydana getirilmektedir. Sisteme ilişkin gerilim ve yük değerleri bir önceki bölümde seçilen değerler ile aynı değerler seçilmiştir. Buna göre sistemde başlangıç koşullarında meydana gelen dengesizlik Çizelge 4.54'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.54 : Dört telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri

Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	3739,310	P_{2m}	0,172
S^+	3739,309	P_{2m0}	0
S_U	2,705	P_U	0,172

Sistemde arıza meydana geldikten sonra fazlardan çekilen akımların tepe değerleri Çizelge 4.55'de verilmiştir.

Çizelge 4.55 : Dört telli F-F-T arızası durumu başlangıç akımların tepe değerleri

Fazlar	Akım Değerleri (A)
A Fazı	0,000
B Fazı	0,000
C Fazı	8,034

Arıza meydana geldikten sonra bir periyot boyunca hatlardan alınan, gerilim ve akım ani değerleri Çizelge 4.56'da verilmiştir.

Çizelge 4.56 : Dört telli F-F-T arızası durumu gerilim ve akım ani değerleri

Örnek No	Örnekleme Zamanı	Ani Gerilim Değerleri			Ani Akım Değerleri		
		A Fazı	B Fazı	C Fazı	A Fazı	B Fazı	C Fazı
0	0,000000	0,000	-268,700	268,700	-0,001	0,000	8,034
1	0,001667	155,162	-310,268	155,106	0,000	0,000	6,500
2	0,003334	268,733	-268,667	-0,065	0,000	-0,001	3,224
3	0,005001	310,268	-155,049	-155,219	0,000	-0,001	-0,916
4	0,006668	268,635	0,130	-268,765	0,001	-0,001	-4,811
5	0,008335	154,993	155,275	-310,268	0,001	0,000	-7,416
6	0,010002	-0,195	268,798	-268,602	0,001	0,000	-8,033
7	0,011669	-155,331	310,268	-154,937	0,000	0,000	-6,497
8	0,013336	-268,830	268,570	0,260	0,000	0,001	-3,219
9	0,015003	-310,268	154,880	155,387	0,000	0,001	0,921
10	0,016670	-268,537	-0,325	268,862	-0,001	0,001	4,815
11	0,018337	-154,824	-155,445	310,267	-0,001	0,000	7,418

Hatlardan alınan verilere istinaden hesaplanan simetrili bileşenler büyüklükleri Çizelge 4.57'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.57 : Dört telli F-F-T arızası durumu simetrili bileşen büyüklükleri

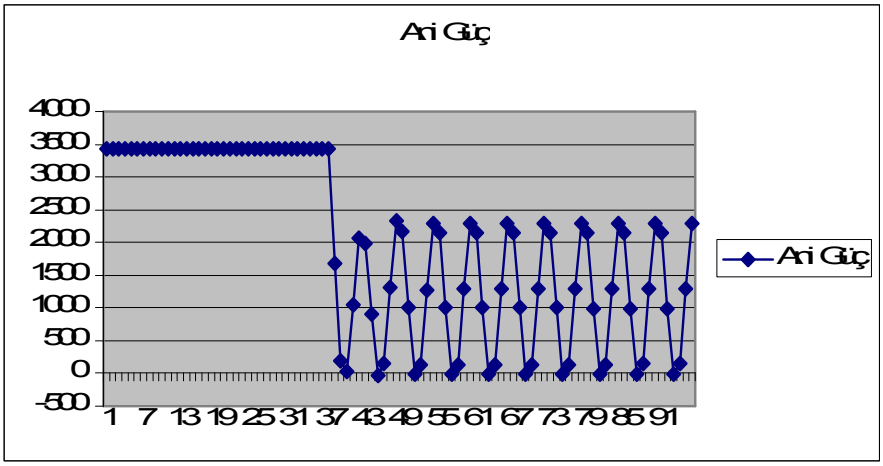
V^{+}_{etkin}	V^{-}_{etkin}	V^{0}_{etkin}	I^{+}_{etkin}	I^{-}_{etkin}	I^{0}_{etkin}
219,39	0	0	1,893	1,893	1,893

Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve her ikisinin de sonucu yaklaşık olarak aynı bulduğu görülmüştür.

Çizelge 4.58 : Dört telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri

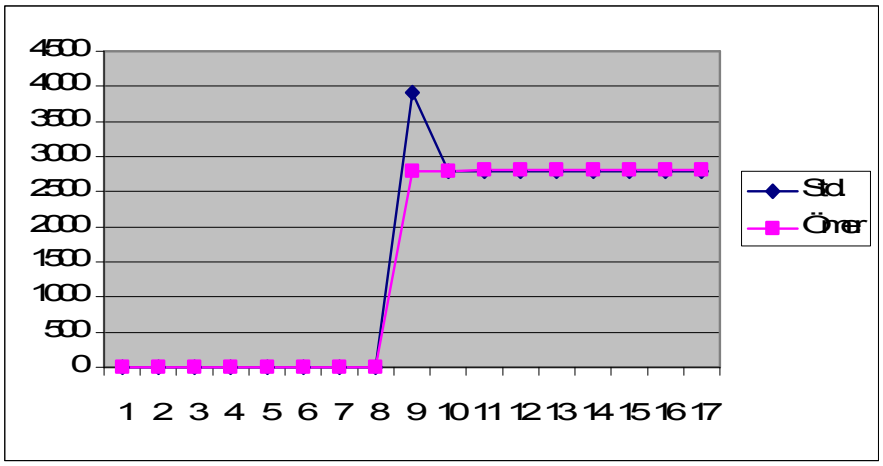
Sürekli Hal Güç Değerleri İle Dengesiz Güç		Ani Güç Değerleri İle Dengesiz Güç	
S_e	3059,534	P_{2m}	1254,417
S^{+}	1246,309	P_{2m0}	2508,551
S_U	2794,184	P_U	2804,708

Sisteme ilişkin ani güç grafiği, Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 : Dört telli F-F-T arızası durumu ani güç değerleri

Sisteme ilişkin hesaplanan dengesiz güç değerleri, Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21 : Dört telli F-F-T arızası durumu dengesiz güç değerleri

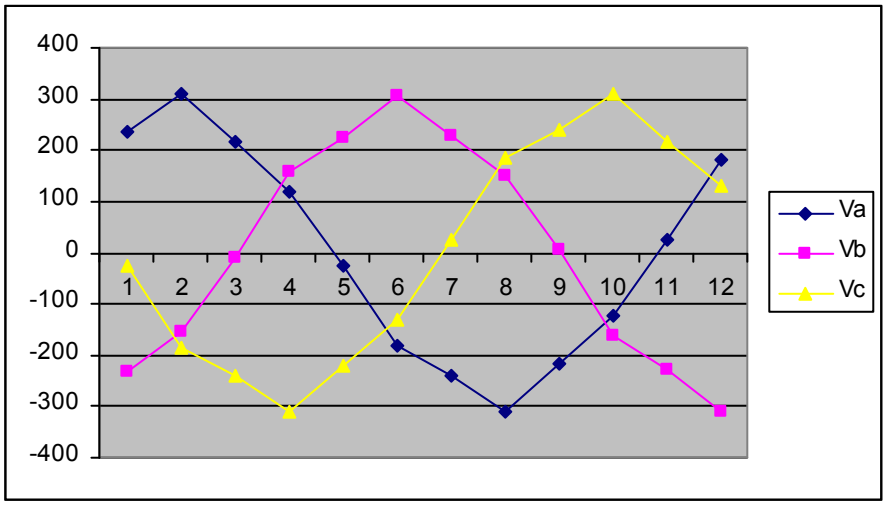
Yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ile dengesiz güç her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve sonuçların yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

5. GERÇEK SİSTEM ANALİZİ

Bu bölümde, laboratuvar ortamında kurulan kurulan üç telli gerçek bir sistemin normal çalışma koşulları ve arıza halindeki davranışı incelenecektir. Sisteme ilişkin büyüklükler ölçülerek dengesiz gücün büyüklüğü her iki algoritma ile hesaplanacaktır. Generatör 7,5 kVA gücünde ve faz arası gerilimin tepe değeri 380 Volt'dur.

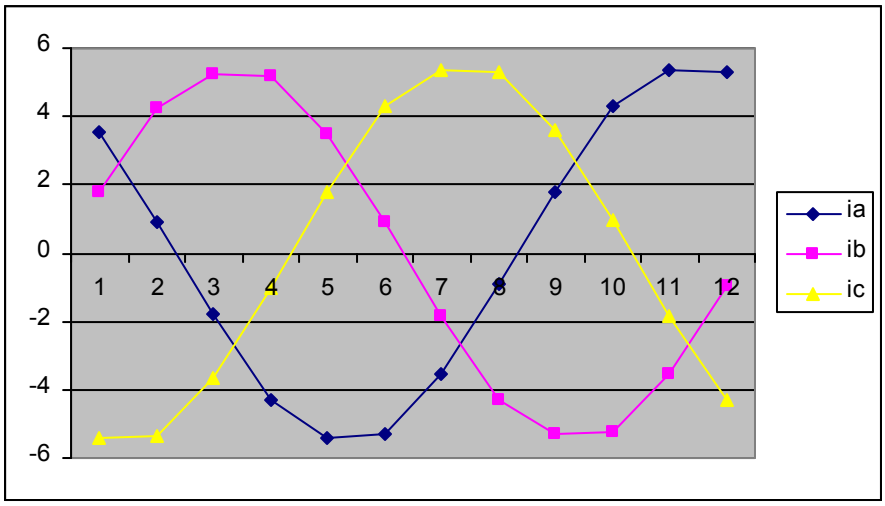
5.1 Normal Çalışma Koşulları

Normal çalışma koşullarında dengeli olan gerçek sistemde, ardışık fazlara ilişkin gerilimlerin büyüklük olarak birbirine eşit olması ve aralarında ideal 120^0 faz farkı bulunması beklenmektedir. Gerilime benzer şekilde, fazlara ilişkin akımların da genlik olarak birbirine eşit olması ve ardışık fazlar arasında ideal 120^0 faz farkı bulunması beklenmektedir. Sistemden alınan gerilim değerleri Şekil 5.1'de verilmiştir.



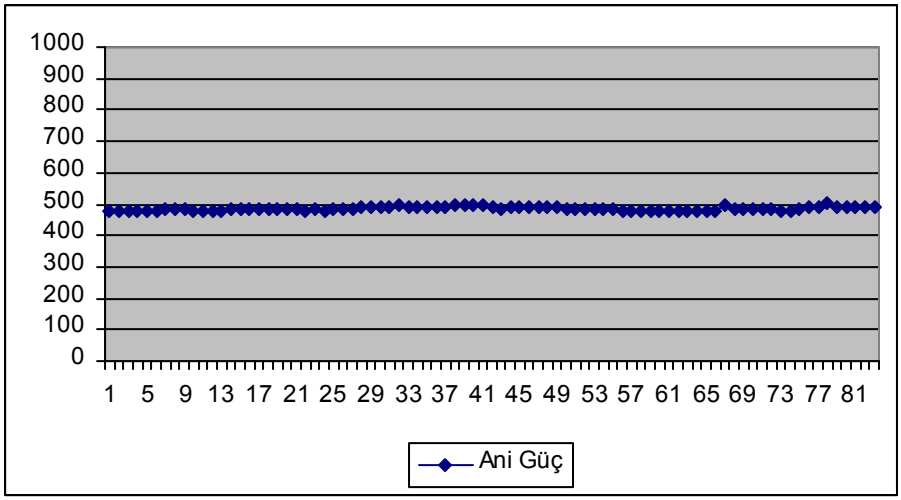
Şekil 5.1 : Normal çalışma koşulları gerilim değerleri

Sistemden alınan akım değerleri Şekil 5.2'de verilmiştir.



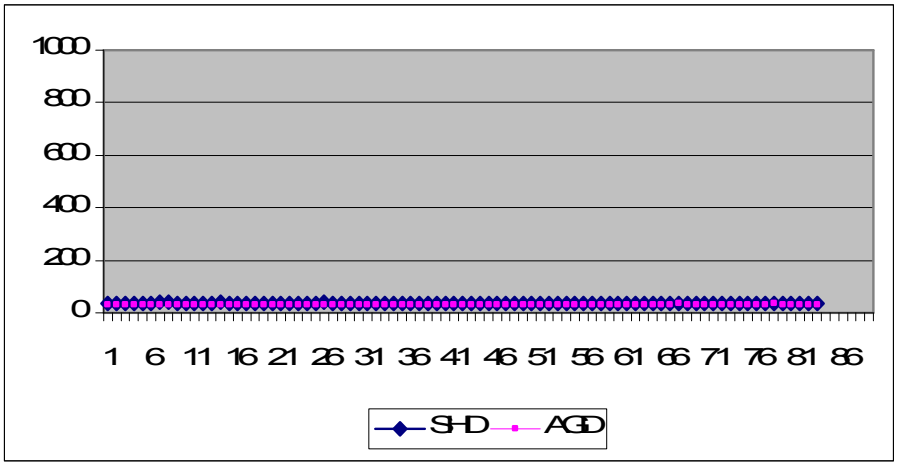
Şekil 5.2 : Normal çalışma koşulları akım değerleri

1,66 sn. boyunca toplam 83 periyotluk data alınarak hesaplanan ani güç Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3 : Normal çalışma koşulları, ani güç

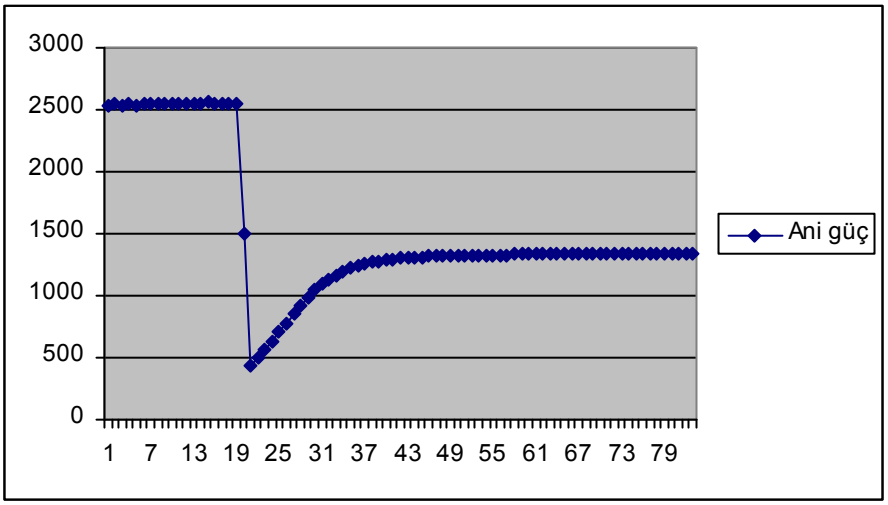
Sistemde oluşan dengesizlik miktarı her iki algoritmaya göre hesaplanmış ve Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 : Normal çalışma koşulları, dengesiz güç

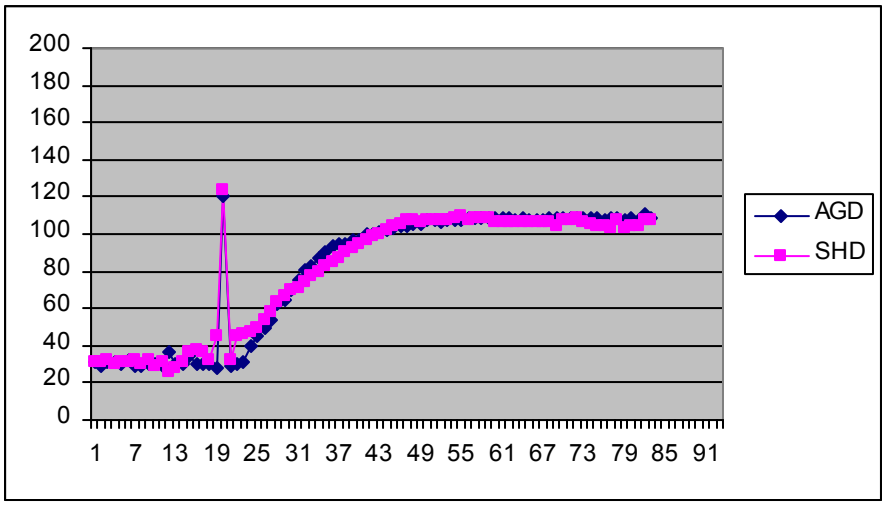
5.2 Arıza Durumu

Bu bölümde, normal çalışma koşullarında çalışan bir sistemde, bir arıza meydana getirilmekte ve buna müteakip sistemde oluşan dengesiz güç ölçülmektedir. Sisteme ilişkin ani güç grafiği Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5 : Arıza durumu, ani güç

Ölçülen değerlerle hesaplanan dengesiz güç büyüklükleri Şekil 5.6'te verilmiştir.



Şekil 5.6 : Arıza durumu, dengesiz güç

Buradan da görüldüğü üzere her iki algoritma da eşit miktarda dengesizlik hesaplamaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasının amacı, üç fazlı üç telli sinüsoidal ve üç fazlı dört telli sinüsoidal sistemlerde, gerilim kaynakları dengeli olmak şartıyla, sistemde meydana gelebilecek dengesizliği hesaplamak adına IEEE standartlarında [2] belirtilen algoritmanın sonuçları ile bu algoritmaya alternatif bir yaklaşım getiren bir diğer algoritmanın [3] sonuçlarını analitik olarak kıyaslamaktır. Bu algoritmalardan ilki literatürde "Dengesiz Güç" olarak, ikinci ise "Dengesiz Güç Bileşeni" olarak geçmektedir. İlk algoritma sürekli hal değerlerini kullanmakta ve fazlara ilişkin gerilim ve akım değerlerinin simetrili bileşenler vasıtasıyla ayrıştırılmasına gereksinim duymaktadır. İkinci algoritma ise fazlardan alınan ani gerilim ve akım değerlerini kullanarak hesaplama yaptığından literatürde yoğun bir ilgi görmektedir. Bu iki algoritmanın; üç fazlı sinüsoidal ve gerilim kaynakları dengeli olmak suretiyle, üç telli ve dört telli sistemler için ölçüm performansları kıyaslandığında ikinci algoritmanın ilk algoritmaya göre yaklaşık % 40 daha az işlem ile sonuca ulaştığı, bu yüzden de sonucu daha hızlı bir şekilde hesapladığı görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, literatürde "Dengesiz Güç Bileşeni" olarak ifade edilen güce ilişkin algoritmanın, akımın negatif bileşeninden kaynaklanan dengesizliği ölçtüğü görülmüştür. Üç telli durumda, fazlardan çekilen akımların toplamı sıfır değerini vereceğinden, bir başka deyişle sistemde akımın sıfır bileşeni yer almayacağından, akımın negatif bileşeninden kaynaklanan dengesizlik, IEEE standartlarında belirtilen "Dengesiz Güç" ifadesine eşit olmaktadır. Dört telli dengesiz durumda ise fazlardan çekilen akım değerlerinin toplamı sıfırı vermeyecektir. Bir başka deyişle sistemde akımın sıfır bileşeni de var olacaktır. Bu bağlamda dengesiz güç ifadesi; akımın negatif bileşeninden kaynaklanan, dengesiz gücün negatif bileşeni ve akımın sıfır bileşeninden kaynaklanan, dengesiz gücün sıfır bileşeni olarak ayrıştırılmıştır. Üçüncü bölümde ani gücün yaptığı osilasyonların genliğini bulan algoritmaya ilaveten akımın sıfır bileşeninden kaynaklanan dengesiz gücün sıfır bileşenini bulmaya yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Ani değerlerin kullanılmasının

avantajlarını kullanabilmek adına geliştirilen algoritmada da ani gerilim ve akım ifadeleri tercih edilmiştir.

Gerilim kaynaklarının ve yüklerin birebir aynı olduğu iki dengesiz sistemden ilki 4.3.2.1 numaralı başlık altında üç telli olarak, ikincisi ise 4.4.2.1 numaralı başlık altında dört telli olarak tasarlanmıştır. Tamamen aynı parametrelere sahip iki sistemin, üç telli durumda fazlardan çektiği akımların tepe değerleri ile dört telli durumda fazlardan çektiği akımların tepe değerlerine bakılırsa, üç telli dengesiz sistem ve dört telli dengesiz sistem arasında farklılık olduğu gözlemlenecektir. Üç telli sistemde dengesizlikten ötürü çekilen kaçak akım fazlar arasında sirküle olmakta iken, dört telli sistemde bu akım toprağa akmaktadır. Literatürde "Dengesiz Güç Bileşeni" olarak ifade edilmiş olan algoritma üç fazdan alınan ani gerilim ve akım ifadelerini kullanmakta ancak dördüncü telden akan I_n akımını dolayısıyla da dengesiz gücün sıfır bileşenini inceleyememektedir. Bu çalışma kapsamında üç telli sistemler için ani güçte meydana gelen osilasyonların genliğini hesaplamak suretiyle dengesiz güç hesabı yapabilen bir algoritma, geliştirilerek dört telli sistemleri de kapsayacak hale getirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, incelenen sistemlerde gerilim kaynaklarının dengeli olduğu varsayılmıştır. Kaynakların da dengesiz olduğu koşullar göz önüne alınarak, yapılan çalışma daha da genelleştirilebilir.

7. KAYNAKLAR

[1] **Preliminary Report of the Special Joint Committee,** 1920. Power Factor in Poly-phase Circuits, *AIEE Transactions*, pp. 1449-1450.

[2] **IEEE Std. 1459-2000,** 2000. IEEE Trial-Use Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal , Non-sinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions.

[3] **Usta, Ö., Bayrak, M., Redfern, M. A.,** 2002. A New Digital Relay for Generator Protection Against Asymmetrical Faults, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 17, No. 1, pp. 54-59.

[4] **Czarnecki, L. S.,** 1995. Power related phenomena in three-phase unbalanced systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 10, No. 3, pp. 1168-1176.

[5] **Fortescue, C. L.,** 1918. Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks, *AIEE Transactions*, Vol. 37, pt. II, pp. 1027-1140

[6] **Emanuel, A. E.,** 1993. On The Definition of Power Factor and Apparent Power in Unbalanced Polyphase Circuits With Sinusoidal Voltage and Current, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 8, No. 8, pp. 841-852.

[7] **IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations,** 1996. Practical Definitions for Powers in Systems with Nonsinusoidal Waveforms and Unbalanced Loads, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 11, No. 1, pp. 79-101.

[8] **Emanuel, A. E.,** 1995. On the Assessment of Harmonic Pollution, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 10, No. 3, pp. 93-98.

[9] **Buchholz, F.,** 1922. Die drehstrom-scheinleistung bei ungleichmassiger belastung Der Drei Zweige, *Licht und Kraft,* No. 2, pp. 9-11.

[10] **Goodhue, W. M.,** 1933. Discussion of Reactive powers in need of clarification, *AIEE Transactions*, Vol. 52, p. 787.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Ufuk Çaparoğlu
Doğum Yeri ve Tarihi:	20.09.1984, Malatya
Adres:	662 Sok. No: 13/5 Emlakbank Evleri, G.emir / İZMİR
Lisans Üniversite:	Elektrik Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi