

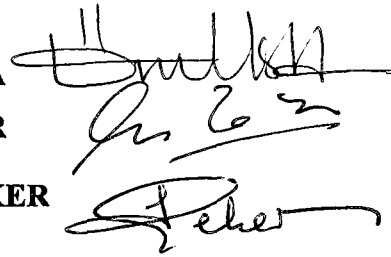
**GENERATÖRLERİ MOTOR OLARAK ÇALIŞMAYA VE AŞIRI
YÜKLENMEYE KARŞI KORUMAK AMACIYLA TASARLANAN
YENİ BİR DİJİTAL RÖLE ALGORİTMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. İbrahim KARAŞ
(504981006)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Haziran 2000**

100989

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ömer USTA
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Ali TOKER
Doç. Dr. Serhat ŞEKER



HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında büyük katkıları olan hocam Doç. Dr. Ömer Usta başta olmak üzere, Y. Müh. Mehmet Bayrak'a ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2000

İbrahim KARAŞ



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENERATÖRLERİN KORUNMASI	2
2.1. Generatörlerin Motor Olarak Çalışmaya Karşı Korunması	3
2.1.1. Motor Olarak Çalışma	3
2.1.2. Motor Olarak Çalışmaya Karşı Koruma Yapmanın Gereği	4
2.1.3. Motor Olarak Çalışmaya Karşı Koruma Yöntemleri	5
2.2. Generatörlerin Aşırı Yüklenmeye Karşı Korunması	8
2.2.1. Aşırı Güç Rölesi ile Koruma	9
3. AKTİF GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	10
3.1 İki Vatmetre Yöntemi ile Aktif Gücün Ölçülmesi	13
3.2 Akım ve Gerilimin Ani Değerlerini Kullanarak Aktif Güç Ölçümü	13
3.3 Ortogonal Referans Ekseninde Aktif Güç Ölçümü	14
3.4 Ayırık Fourier Analizi Yöntemi ile Aktif Güç Ölçümü	15
3.5 Walsh Fonksiyonları Kullanılarak Aktif Güç Ölçümü	17
3.6 Turgel'in Genel Algoritması ile Aktif Güç Ölçümü	19
3.7 Simetrik Bileşenler Yöntemi ile Aktif Güç Ölçümü	19
4. TASARLANAN DİJİTAL RÖLE ALGORİTMALARI	22
4.1 Dijital Röleler	22
4.2 Geliştirilen Dijital Ters Güç Röle Algoritması	25
4.3 Geliştirilen Dijital Aşırı Güç Röle Algoritması	28
4.4 Motor Olarak Çalışmaya ve Aşırı Yüklenmeye Karşı Koruma Yapan Dijital Röle Algoritması	31
5. TASARLANAN DİJİTAL RÖLE ALGORİTMASININ SİMÜLASYON VERİLERİ İLE TESTİ	34
6. TASARLANAN DİJİTAL RÖLE ALGORİTMASININ GERÇEK ZAMAN VERİLERİ İLE TESTİ	47

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	53



KISALTMALAR

EMTP : Electromagnetic Transient Program



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Generatörlerin Motor Olarak Çalışmaları Durumunda Çektikleri Güç.....	3



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Gerilim, akım ve gücün zaman göre değişimi.....	11
Şekil 4.1 : Ters güç röle algoritmasının akış diyagramı.....	27
Şekil 4.2 : Röle açma karakteristiği.....	28
Şekil 4.3 : Aşırı güç röle algoritmasının akış diyagramı.....	30
Şekil 4.4 : Ters ve aşırı güç röle algoritmalarını içeren algoritmanın akış diyagramı.....	33
Şekil 5.1 : EMTP’de simülasyonu yapılan sistemin şeması.....	34
Şekil 5.2 : Generatörün dışında oluşturulan üç fazlı arıza durumu.....	35
Şekil 5.3 : Generatörün içinde oluşturulan üç fazlı arıza durumu.....	36
Şekil 5.4 : Generatörün şebeke ile -30^0 faz farkı ile senkronlanması durumu.....	37
Şekil 5.5 : Generatörün şebeke ile 120^0 faz farkı ile senkronlanması durumu.....	38
Şekil 5.6 : Generatörün şebeke ile 30^0 faz farkı ile senkronlanması durumu.....	39
Şekil 5.7 : Generatörün dışında oluşturulan iki faz toprak kısa devresi durumu.....	40
Şekil 5.8 : Generatörün içinde oluşturulan iki faz toprak kısa devresi durumu.....	41
Şekil 5.9 : Generatörün dışında oluşturulan faz toprak kısa devresi durumu.....	42
Şekil 5.10 : Generatörün içinde oluşturulan faz toprak kısa devresi durumu.....	43
Şekil 5.11 : Generatörün anma gücünün %10 fazlasıyla yüklenmesi durumu.....	44
Şekil 5.12 : Generatörün anma gücünün %50 fazlasıyla yüklenmesi durumu.....	45
Şekil 5.13 : Generatörde bir direnç üzerinden oluşturulan üç fazlı iç arıza durumu.....	46
Şekil 6.1 : Generatörün aşırı yüklenmesi durumu.....	47
Şekil 6.2 : Generatörün faz farkı ile şebekeye bağlanması durumu.....	48
Şekil 6.3 : Generatörün şebeke ile paralel çalışırken yük değişimi durumu.....	49
Şekil 6.4 : Generatörün içinde oluşturulan üç fazlı arıza durumu.....	50

SEMBOL LİSTESİ

$B_{i,v}(\tau) \dots$	: Karşılıklı bağıntı fonksiyonu
$B(k)D$	: Ayrık karşılıklı bağıntı fonksiyonu
B_0, B_1, B_2	: Karşılıklı bağıntı fonksiyonu Fourier bileşenleri
f	: Frekans
$\bar{I}, \bar{V}, \bar{S}$	: Kompleks akım, gerilim ve görünür güç fazörü
i_a, i_b, i_c	: a, b, c fazlarının akımları
v_a, v_b, v_c	: a, b, c fazlarının gerilimleri
I, V	: Akım ve gerilim işaretlerinin etkin değerleri
I_m, V_m	: Akım ve gerilim işaretlerinin tepe değerleri
I_d, I_q, V_d, V_q	: Akım ve gerilim işaretlerinin ortogonal bileşenleri
N	: Bir periyot boyunca alınan örnek değer sayısı
ϕ, ψ	: Sırasıyla gerilim ve akımın faz açısı
φ	: Gerilim ile akım arasındaki faz farkı
$p(t)$	: Ani güç
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
S	: Görünür güç
Δt	: Örnekleme aralığı
w	: Açısal frekans

GENERATÖRLERİ MOTOR OLARAK ÇALIŞMAYA VE AŞIRI YÜKLENMEYE KARŞI KORUMAK AMACIYLA TASARLANAN YENİ BİR DİJİTAL RÖLE ALGORİTMASI

ÖZET

Normal çalışma durumunda güç akışı generatörden şebekeye doğrudur. Generatörün tahrik sisteminde bir arıza meydana geldiğinde güç şebekeden generatöre doğru akmaya başlar ve tahrik sistemini sürer. Bu durum generatörlerin motor çalışması olarak bilinir.

Aşağıda çeşitli tahrik sistemleri için motor çalışma durumunda şebekeden çekilen güç değerleri aktif gücün nominal değerinin yüzdesi olarak verilmiştir. Bu değerler tahrik sistemine herhangi bir güç girişi olmadığı durumlar içindir.

Buhar türbini	%1-3P _n
Dizel motor	%25P _n
Hidrolik türbin	%0.2-2P _n
Gaz türbini	%50-120P _n

Motor çalışma durumunda tahrik sistemlerinde birtakım istenmeyen durumlar oluşur. Bunlar buhar türbinlerinde aşırı ısınma, su türbinlerinde türbin kanatlarında oluşan kavitasyon, dizel motorlarda ise yangın ve patlama şeklindedir.

Motor olarak çalışma durumu ters güç röleleri ile, türbin sıcaklığını ölçmek suretiyle, valf sınır anahtarlarıyla, türbine gelen buhar akışına ve kontrol sistemlerindeki yağ basıncına bakarak algılanabilir.

Bu çalışmada, generatörlerin motor çalışmasına karşı koruma yapmak amacıyla yeni bir dijital röle algoritması tanıtılmıştır. Algoritma generatörün çıkış gücüne göre koruma yapmaktadır ve ters güç akışının belli bir süre devam etmesiyle oluşturulan açma sinyali ile generatör şebeken ayrılır.

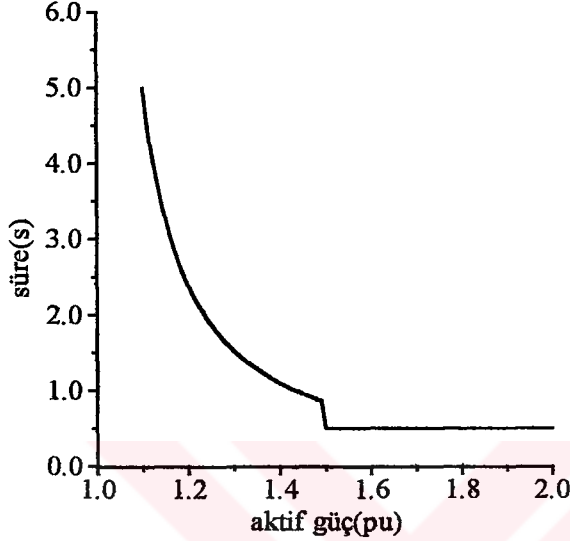
Bu algoritma önce akım ve gerilim örneklerinden (1) eşitliği kullanılarak ani güç değerleri bulunur. Sonra (2) eşitliği kullanılarak aktif güç bulunur. (2) eşitliğinde ortalaması alınan N adet ani güç değeri kayan pencere yöntemiyle belirlenir.

$$p(k\Delta t) = v_a(k\Delta t)i_a(k\Delta t) + v_b(k\Delta t)i_b(k\Delta t) + v_c(k\Delta t)i_c(k\Delta t) \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} p(k\Delta t) \quad (2)$$

Bu algoritmada aktif güç hesaplandığı için algoritma aşırı yüklenmeye karşı da koruma yapacak hale kolayca getirilebilir. Bu yüzden algoritmaya aşırı yüklenmeye karşı koruma fonksiyonu dahil edilmiştir.

Aşırı yüklenmeye karşı korumada ise 1.1pu ile 1.5pu arasındaki güç değerlerinde ters zamanlı, 1.5pu'dan büyük değerlerde ise sabit zaman gecikmeli karakteristik kullanılmıştır. Bu karakteristik şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1 Aşırı yüklenmeye karşı korumada kullanılan açma karakteristiği

Çalışmanın sonunda motor çalışmaya karşı ve aşırı yüklenmeye karşı geliştirilen iki dijital koruma algoritması tek bir algoritma içinde toplanmıştır. Bu algoritma C programlama dilinde kodlanmıştır.

Algoritmanın motor çalışma ve aşırı yüklenme durumlarındaki performansı EMTP simülasyon programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Röle programının çıkışı algoritmanın motor çalışma ve aşırı yüklenme durumlarına karşı etkin bir koruma sağladığını göstermiştir.

Son olarak algoritma Dr. Ömer USTA'nın doktora tezinden alınan gerçek zaman verileriyle test edilmiştir. Test sonuçları algoritmanın motor çalışma ve aşırı yüklenme durumlarına karşı etkin bir koruma sağladığını göstermiştir.

A NEW DIGITAL PROTECTION ALGORITHM FOR GENERATORS AGAINST MOTORING AND OVERLOAD CONDITION

SUMMARY

Under normal operating conditions power flows from the generator to the external power network. When a fault takes place in the prime mover of the generator, power starts to flow from the external network into the generators, and the machine drives the prime mover as a load. This condition is known as motoring of the generators.

In the following table, power values in motoring conditions are given as a percentage of rated real power. This is valid in the case of no input into prime mover.

Steam Turbine:	%1-3P _n
Diesel Engine:	%25P _n
Hydrolic Turbine:	%0.2-2P _n
Gas Turbine	%50-120P _n

Generator motoring would cause damage to the prime mover such as over heating of turbine in the steam turbines, cavitation due to low flow in hydro-turbines and explosion of engines in diesel generators.

Motoring condition can be detected using some methods such as reverse power relays, monitoring turbine temperature, valve limit switches, turbine steam flow and control oil system.

In this study , a new digital relay algorithm was introduced to protect the generators against motoring conditions. The algorithm based on the three-phase power output at the generator terminal and introduced trip signal some time after reverse power flow to disconnect the generator from the power system.

The algorithm firstly calculates the three phase instantaneous power using sampled values of three phase voltages and currents as seen in equation (1). Secondly it determines the active power using moving average low pass filter staded in equation (2).

$$p(k\Delta t) = v_a(k\Delta t)i_a(k\Delta t) + v_b(k\Delta t)i_b(k\Delta t) + v_c(k\Delta t)i_c(k\Delta t) \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} p(k\Delta t) \quad (2)$$

Since the algorithm calculates the active power, it can easily be extended to provide protection against over-load conditions. Hence the algorithm is included over forward power flow function.

For overload protection the power values between 1.1pu and 1.5pu inverse-time characteristic is used whereas in the values greater than 1.5pu constant time delay is chosen. This characteristic was illustrated in Fig.1.

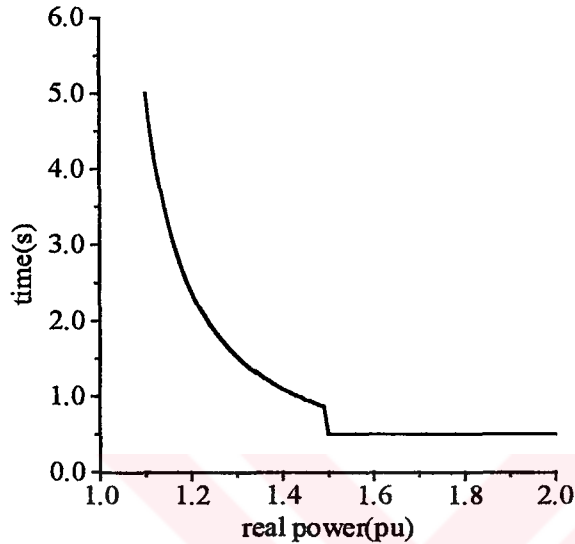


Figure 1 Over-load protection characteristic

At the end of this work two digital protection algorithms are combined in a unique algorithm to protect the generators against over-load and motoring conditions. The program, is coded in C programming language.

The performance of the algorithm was analysed for both motoring and overload condition using EMTP computer simulation program.

Output of the relay program results show that the algorithm detects the reverse power conditions in everycase and provide an effective protection against over-load conditions.

The new algorithm was also tested using real time data taken from Dr. Ö. USTA's PhD Thesis. The results show the algorithm provide an effective protection for the generator against reverse power and over-load conditions.

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinin korumasında günümüze kadar elektro mekanik ve elektronik röleler kullanılagelmiştir. Dijital teknolojideki gelişmeler güç sistemlerinin korumasına da yansımış ve bu amaçla dijital röleler geliştirilmiştir.

Dijital koruma alınındaki çalışmalar 1960'lı yıllarda güç sistemlerinin koruma fonksiyonlarının dijital olarak gerçekleştirilmesi konusundaki araştırmalarla başlamıştır. Bu yıllarda elektrik güç sistemlerindeki kısa devre, yük akışı ve kararlılık problemleri bilgisayar programları ile çözülmeye başlanmıştır. Bunların yanı sıra bilgisayarların koruma alanında da kullanılması düşünülmüş, fakat hızlarının yetersiz olması buna imkan vermemiştir. Zaman içinde bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişme hız problemini ortadan kaldırmış, böylece dijital koruma yapmak mümkün hale gelmiştir.

Dijital korumanın en büyük avantajı bir röle donanımı ile birden çok koruma fonksiyonunun icrasına imkan vermesidir. Yüksek performans, esneklik, daha az yer kaplaması, daha az kablo kullanılması, çeşitli parametrelerin ölçümüne ve olay kaydına imkan vermesi getirdiği diğer avantajlardır.

Bu çalışmada generatörleri motor çalışmaya karşı yeni bir dijital röle algoritması geliştirilmiştir. Koruma generatorün çıkışındaki aktif güce göre yapılmaktadır. Algoritmada aktif güç hesaplandığı için algoritmaya aşırı yüklenme fonksiyonları da eklenmiş ve aşırı yüklenmeye karşı da koruma yapacak hale getirilmiştir. Çalışmada aynı zamanda geliştirilen algoritmanın simülasyon ve gerçek zaman testleri de yapılmıştır.

Bu algoritmanın önceki algoritmalarından farkı; motor çalışma durumunun aktif güce bakılarak algılanması ve aktif gücün de ani güçten yararlanarak kayan pencere yöntemi ile hesaplanmasıdır.

2. GENERATÖRLERİN KORUNMASI

Güç sistemini oluşturan generatörler, yükseltici trafolar, baralar, enerji iletim hatları, dağıtım trafoları ve yükler bir zincirin halkalarını andırır. Bunlardan birinde meydana gelecek arıza ya sistemin tamamını ya da belli bir kısmını devre dışı bırakacaktır.

Güç sistemindeki elemanlardan en hayati olanı da generatördür. Zira güç generatörlerde üretilir. Bu yüzden generatörlerin bir arıza sonucunda devre dışı kalması tüm sistemi etkileyecektir.

Son 10 yıl içerisinde 500MW ve üzerindeki güçteki generatörlerin üretilmeye başlanmasıyla generatör korumasının önemi bir kat daha artmıştır. Çünkü böyle büyük güçteki generatörlerden birinin bile çeşitli nedenlerden dolayı devre dışı kalması güç sistemini ciddi şekilde etkileyecektir.

Generatörlerde meydana gelen arızalar, izolasyon arızaları ve generatör ünitelerindeki anormal çalışma koşulları sonucunda oluşan arızalar olmak üzere iki kısımda incelenebilir [1].

İzolasyon arızaları ya sarım kısa devresi, ya sargı kısa devresi (faz-faz) ya da toprak kısa devresi ile sonuçlanır.

Generatör ünitelerindeki anormal çalışma koşulları şöyle sıralanabilir [1]:

- a. Uyarma kaybı
- b. Dengesiz yüklenme
- c. Aşırı yüklenme
- d. Düşük vakum
- e. Yağlama arızası
- f. Kazan ateşinin kaybolması
- g. Tahrik sisteminde oluşan arıza
- h. Aşırı hız

- i. Rotor distorsiyonu
- j. Döner ve duran parçalar arasındaki uzama farkı
- k. Aşırı titreşim

2.1 Generatörlerin Motor Olarak Çalışmaya Karşı Korunması

Generatörlerin motor olarak çalışması tahrik sistemlerinde birtakım arızalar meydana getirdiğinden buna izin verilmez. Bunun için güç üretim sistemlerinde generatörlerin motor olarak çalışmasına karşı koruma yapılır.

2.1.1 Motor Olarak Çalışma

Normal çalışma durumunda generatör bir şebekeyi besler, genellikle bu generatör ya aynı santralde yada başka santrallerdeki generatörlerle paralel çalışmaktadır. Her iki halde de bir arıza neticesinde tahrik maddesi kesilirse veya bir seviyenin altına düşerse bağlı bulunduğu şebekeyi besleyen diğer generatörler tarafından beslenecek ve motor olarak aynı yönde senkron hızda dönecektir.

Motor çalışma durumunda generatörler şebekeden güç çekerler. Çektikleri güç bağlı bulundukları tahrik sisteminin tipine göre değişir. Tablo 2.1’de değişik tahrik sistemlerine sahip generatörlerin motor çalışma olarak çalıştıklarında şebekeden çektikleri güçler verilmiştir.

Tablo 2.1 Generatörlerin Motor Olarak Çalışmaları Durumunda Çektikleri Güç [2]

Buhar türbinleri	%1 - %3P _n
Gaz türbinleri	%50-%120P _n
Dizel motorlar	%25P _n
Su türbinleri	%0.2 - %2P _n

Buhar Türbinlerinde sıfır buhar girişi ve tam vakum altındaki işlemlerde generatörün motor olarak çalışması için gerekli güç, yoğunlaştırıcı türbinler için aktif güç anma değerinin %3’üdür. Bu değer sıfır buhar akışında atmosferik veya daha yüksek egzoz (çıkış) basıncına karşı işlem yapan yoğunlaştırmayan türbinler için %3’ten daha fazladır.

Dizel motorlar ile tahrik edilen generatörlerde ise silindir ateşlenmiyorsa, dizel motorlar şebekeden aktif anma güç değerinin %25'i kadar güç çeker. Eğer bir veya daha fazla silindir yüksüz ateşlenirse ters güç daha düşük olur.

Hidrolik türbinlerde kuyruk-oluk suyu seviyesi altındaki motor çalışma halinde çekilen aktif güç anma değerinin %2'sinden fazladır. Kuyruk-oluk üstündeki su seviyesinde, aktif güç değerinin %0.2'sinden %2'sine kadar olan değerler arasındaki ters güç akışı generatörlerin motor olarak çalışması için yeterlidir. Kaplan türbinlerinde düz kanat seviyesindeki su akışı için bu değer anma aktif gücün %0.2'sidir.

2.1.2 Motor Olarak Çalışmaya Karşı Koruma Yapmanın Gereği

Genaratörlerin motor olarak çalışması tahrik sistemlerinde birtakım arızalar meydana getirmektedir. Bu arızalar tahrik sisteminin tipine göre farklı olmaktadır.

A. Buhar Türbinleri

Genaratör, tahrik sistemine gelen buharın tamamen veya kısmen kesilmesiyle motor olarak çalışacak, türbini de senkron hızda döndürecektir. Dönme esnasında türbin ısınacaktır. Bu durumda bir görevi de türbini soğutmak olan buharın yetersiz veya hiç olmamasından dolayı türbin sıcaklığı artmaya devam edecektir. Türbindeki sıcaklık artışıyla türbini oluşturan parçalar da ısınacaktır. Türbinin durağan ve hareketli parçalarının genleşip birbirine sürtmesi ile ortaya çıkan ısı ile türbin iyice ısınacaktır. Önlem alınmadığı takdirde ısı ve mekanik zorlanmalar sonucunda türbin kullanılmaz hale gelecektir [3].

Hatta generatör şebeke ile senkron halde yüksüz olarak çalışırken türbine gelen buhar türbini soğutmaya yetmez. Generatör motor olarak çalışmamasına rağmen türbin için motor çalışma esnasında oluşan tehlikeli durumlar yine oluşacaktır. Bu yüzden buhar türbinleri bu duruma karşı da korunmak zorundadır.

Dizel Motorlar

Dizel generatörlerin motor olarak çalışması durumunda yangın çıkma ve patlama tehlikesi vardır.

Su türbinleri

Su türbinlerinde suyun soğutucu özelliğinden dolayı türbinde bir ısınma olmaz. Fakat motor çalışma durumundaki düşük su akışından dolayı türbin kanatlarında kavitasyon oluşabilir.

Gaz Türbinleri

Gaz türbinlerinde de motor çalışma durumunda türbin parçalarında birtakım arızalar olduğundan motor çalışmaya karşı koruma gereklidir.

2.1.3 Motor Olarak Çalışmaya Karşı Koruma Yöntemleri

Tahrik sistemi olarak buhar türbini kullanılan ünitelerde motor çalışmaya karşı asıl koruma olarak Yağ Basıncına Bağlı Koruma Yöntemi ve Türbin Buhar Akışına Bağlı Koruma Yöntemleri kullanılır. Ters güç röleleri ise yedek koruma için kullanılır. Türbin Sıcaklığına Bağlı Koruma Yöntemi de alarm maksadıyla kullanılır. Dizel generatörler ve su türbinlerinde ters güç röleleri asıl koruma olarak kullanılır [3].

A. Türbin Çıkış Sıcaklığına Bağlı Koruma

Buhar türbinlerinde motor çalışma sırasındaki sıkıntının birinci nedeni vantilasyon kayıplarından dolayı oluşan sıcaklık artışıdır. Bu yüzden motor çalışma durumunda koruma sıcaklığına duyarlı cihazlar ile de yapılabilir. Vantilasyon kayıpları türbinin çıkış ucunda çok fazla olduğundan türbin çıkışına yerleştirilecek sıcaklık algılayıcı cihazlar yardımcı koruma cihazı olarak kullanılabilirler. Bu cihaz yaklaşık 250F'ye ayarlanır ve motor çalışma durumunda operatörü uyardır kullanılır.

Bu cihaz asıl koruma elemanı olarak kullanılamaz. Çünkü türbinin çıkış ucundaki sıcaklık ölçülen yere göre değişir. Algılayıcıların yeri önemlidir. Ayrıca ısı dedektörlerin güvenilirliği konusundaki şüpheler de bu koruma yönteminin asıl koruma olarak kullanılmasına manidir [3].

B. Valf Sınır Anahtarları İle Koruma

Türbin valflerinde kullanılan sınır anahtarları buhar akışının tamamen veya büyük oranda kesildiğini algılar. Bu sınır anahtarlarını uygun şekilde seri-paralel bağlayarak buhar kesilmesine karşı koruma sağlanabilir.

Bu metot uzun süre türbinleri motor çalışmaya karşı korumada asıl koruma olarak kullanılmıştır. Hala küçük ünitelerde bu koruma yöntemi kullanılmaktadır. Çok valf içeren modern büyük ünitelerde sınır anahtarlarının koordinasyonu zorlaşmaktadır. Bu durumda seri durumda birçok anahtar olduğu için bunlardan birinin arızalanması koruma sistemini işlevsiz kılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı günümüzde Yağ Basıncına Bağlı ve Türbin Buhar Akışına Bağlı koruma yöntemleri kullanılmaktadır[3].

C. Buhar Akışına Bağlı Koruma

Buhar akışı yüksüz senkron hızdaki akıştan büyük veya buna eşitse bu sistemin motor çalışmadığının göstergesidir. Buhar akışı nominal buhar akışının çok altındaysa yüksek basınçlı türbinin elemanlarındaki basınç düşüşü ölçülerek doğru bir şekilde karar verilir. Yüksek basınçlı elemanlarda diferansiyel basınç anahtarı metodu önceki yöntemle göre daha güvenli ve doğrudur. Bu yöntem kontrol sisteminin tipinden bağımsız olarak çalışır. Ve büyük buhar türbinleri için bu yöntem tavsiye edilir. Bu koruma yöntemi muhtemel aşırı hız durumları için ters güç rölesi ile desteklenebilir [3].

D. Yağ Basıncına Bağlı Koruma

Buhar türbinlerinde valflerin açılıp kapanması iki yağ sistemi ile kontrol edilir. Bunlar; türbini acil durumlarda devre dışı bırakmak için kullanılan yağ sistemi ve hız regülatörünü kontrol eden yağ sistemidir. Hız regülatörünü kontrol eden yağ sistemi de basınç ayar ve durdurma valflerini ayarlayarak yükü kontrol eder. Bu iki sistem de basınç ayarları ile motor çalışmayı tespit için güvenli ve basit bir metot sağlar.

Türbinini devre dışı bırakan yağ sisteminde basıncın kaybolması bütün buhar vanalarının kapalı olması demektir. Bu durumda basınç anahtarları ünitenin elektriksel olarak devre dışı kalmasını sağlarlar. Muhtemel bir aşırı hıza karşı yağ sistemin açmaları ters güç rölesi tarafından kontrol edilir. Hız regülatörünü kontrol eden yağ sisteminde basınç anahtarı yüksüz durumdaki buhar akışı konumuna ayarlanır. Buhar akışı yüksüz durumdaki akıştan daha az ise bir dakika sonra türbini devre dışı bırakan yağ sistemi uyarılır. O da zincirleme olarak elektriksel sistemi (generatörü) devre dışı bırakır. Hız regülatörünü kontrol eden yağ sistemi generatör

şebekeden ayrılmadan önce türbini devre dışı bırakmak için ünite kesicisi üzerindeki bir kontak tarafından kontrol edilir [3].

E. Ters Güç Röleleri ile Koruma

Röle, aldığı giriş büyüklüklerine (akım, gerilim, kontak durumları) uygun çıkış üreten bir koruma elemanıdır. Giriş değerleri arıza durumu için saptanan değerini aştığında röle kesiciye açma işareti gönderir. Böylece arızalı bölge şebekeden ayrılmış olur.

Rölelerin iki özelliği sağlaması gerekir. Bunlar; bağımlılık ve güvenirliliktir. Bağımlılık, rölenin tasarımında belirtilen durumlar söz konusu olduğunda açma sinyali üretmesidir. Yani tasarım koşullarına bağlı çalışmasıdır. Güvenirlilik ise rölenin tasarımının dışındaki arızalara yanıt vermemesidir.

Ters güce karşı korumada kriter, güç yönünü ve büyüklüğünü tespit etmektir. Ters güç rölesi de bu amaçla kullanılır. Güç akışı generatörden baraya doğru ise çalışmaz. Eğer bunun tersine güç generatöre doğru (motor çalışma) ve belli bir değerin üstünde (röle açma değeri) ise röle çalışır ve belli bir zaman gecikmesinden sonra hala motor çalışma devam ediyorsa, önce türbin sonra da generatör kesicisi açılır [4]. Ters güç rölelerinde şebekeden kaynaklanan ve şebeke ile senkronizasyon sırasında oluşan güç salınımlarında rölenin çalışmasını önlemek için 1-10 saniyeye kadar bir gecikme yapılabilir [5].

Motor çalışma durumunun en önemli göstergesi generatöre aktif güç akışıdır. Bu yüzden çoğu ünite motor çalışmaya karşı korumada ters güç rölesi seti kullanılır. Rölenin ayarı ve duyarlılığı kullanılan tahrik sistemine bağlıdır. Çünkü motor çalışma için gerekli olan güç tahrik sisteminin kayıplarının ve yükünün (türbin) bir fonksiyonudur.

Mesela gaz türbinlerinde büyük bir kompresörün yükü ünitenin plaka gücünün %50'sine kadar çıkabilmektedir. Öyleyse ters güç rölesinin gaz türbinlerinde çok duyarlı olmasına gerek yoktur.

Silindirsiz bir dizel makinede ateşleme nominal gücün %25'ine kadar çıkar. Bu durumda dizel generatörler için de ters güç rölesinin çok duyarlı olmasına gerek yoktur.

Su türbinlerinde ise, kanatlar kuyruk-oluk su seviyesinin altında ise motor çalışma gücü yüksektir. Kanatlar kuyruk-oluk su seviyesinin üstünde ise ters güç düşük olacaktır ve nominal gücün %0.2-2.0 arasındadır. Bu durumda duyarlı ters güç rölesine ihtiyaç duyulur.

Buhar türbinleri tam vakum ve sıfır buhar girişi durumunda motor olarak çalışma için nominal gücün %0.5-3'ü kadar bir güce gereksinim duyarlar. Bu durumda da duyarlı ters güç röleleri kullanmak gerekecektir.

2.2 Generatörlerin Aşırı Yüklenmeye Karşı Korunması

Generatörler şebekeye bağlı diğer generatörlerin devre dışı kalması, generatöre bağlı yüklerin artması gibi birçok nedenlerle aşırı yüklenirler.

Generatörlerin statorlarının aşırı ısınma nedenlerinden biri de generatörün aşırı yüklenmesidir. Statorun aşırı ısınması statoru oluşturan saçların yalıtımına ve stator sargılarının yalıtımına zarar verir. Bu yüzden generatörler aşırı yüklenmeye karşı korunmak zorundadır.

Generatörlerin statorunda meydana gelen aşırı ısınma en güvenli şekilde stator sargılarının arasına sıcaklık dedektörü sargısı koymak suretiyle tespit edilebilir. Bu sıcaklık dedektör sargıları statorun tümüne yerleştirilecek olursa statoru oluşturan saçların kısa devre olmasıyla oluşacak lokal ısınmalar da tespit edilebilir. Sıcaklık dedektörünün sargıları direnç elemanlarıdır ve Wheatstone köprüsünün bir ayağını oluştururlar [3].

Gücü 30MW'ın altında olan generatörlerde sıcaklık dedektörü kullanılmaz. Bu generatörlerde stator sargılarından geçen akımın büyüklüğüne göre koruma yapan termal tip röleler kullanılır. Termik röleler ısınan ve ısıyı depo eden elemanları (bu elemanları ısınıp soğuma katsayıları stator ile aynıdır) önceden ayarlanan sıcaklıkta kontaklarını kapatmak suretiyle koruma yaparlar. Termik rölelerin dezavantajı sadece aşırı yüklenme suretiyle oluşan aşırı ısınmalara karşı koruma yapmasıdır. Statorun diğer aşırı ısınma nedenlerinden olan soğutma sistemindeki arıza sonucunda oluşan aşırı ısınmalara ve stator çekirdeğini oluşturan saçlarda oluşan kısa devreler sonucu oluşan aşırı ısınmalara karşı koruma yapamamaktadır.

Aşırı yüklenmeye karşı aşırı güç röleleri kullanılarak da koruma yapılabilir.

2.2.1 Aşırı Güç Rölesi ile Koruma

Aşırı güç rölelerinde karakteristik büyüklük aktif güçtür. Aşırı yüklenmeye karşı generatörlerin verdiği aktif güce bakılarak koruma yapılır. Bu koruma genelde özel üretim tesislerine sahip tüketiciler tarafından kullanılır.

Özel generatör üniteleri şebekeye bağımlı olmak istemeyen, kendini enerjini kendi üretmek isteyen tüketicilerin kurdukları tesislerdir. Bu özel generatörler, az yüklü olduğu durumlarda şebeke ile paralel çalıştırılmak suretiyle tesisin verimi artırılır. Fakat bazı durumlarda generatörler şebekeden aldıkları yüklerle aşırı yüklenirler. Bu durumda generatör tüketicileri şebekeye güç vermek pahasına generatörlerini aşırı yüklemek istemezler.

Şebeke yükleri ile aşırı yüklenen generatörlerde aşırı güç rölesi kullanılarak generatör şebekeden ayrılır. Aşırı güç rölelerinde ters-zamanlı bir açma karakteristiği kullanılır.

3. AKTİF GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Motor olarak çalışmaya ve aşırı yüklenmeye karşı geliştirilen dijital koruma algoritmasında karakteristik büyüklük aktif güçtür. Bu açıdan bu bölümde aktif güç hesap yöntemleri ele alınmıştır. Güç ölçüm yöntemlerinin temeli olması dolayısıyla önce güç ifadesi elde edilecektir.

Bilindiği gibi elektriksel güç akımla gerilimin çarpımına eşittir.

$$p(t) = v(t).i(t) \quad (3.1)$$

Doğru akımda güç, gerilimle akım arasında herhangi bir faz farkı söz konusu olmadığından doğrudan doğruya (3.1) eşitliğinden elde edilir. Alternatif akımda güç, gerilim ve akım

$$v(t) = V_m \cdot \sin(\omega t) \quad (3.2)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.3)$$

biçiminde sinüsoidal olarak değiştikleri varsayıldığında bunların (3.1) eşitliğinde kullanılması ile

$$p(t) = V_m \cdot I_m \cdot \sin(\omega t) \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.4)$$

yada

$$p(t) = \frac{V_m \cdot I_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] \quad (3.5)$$

olarak elde edilir. V_m gerilimin I_m akımın tepe değerleri φ ise akım ile gerilim arasındaki faz farkıdır. $\omega t = 2\pi f$ olup f sistemin frekansıdır. Akım ve gerilimin etkin değerleri

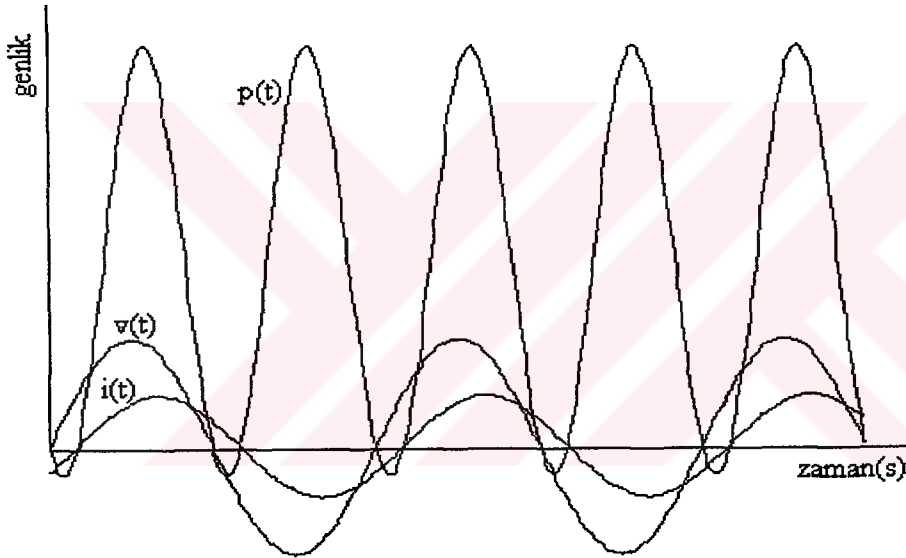
$$I = I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (3.6a)$$

$$V = V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (3.6b)$$

olacağından (3.5) eşitliği

$$p(t) = V.I.\cos\varphi - V.I.\cos(2\omega t - \varphi) \quad (3.7)$$

olur. Şekil 3.1’de akım, gerilim ve güç işaretlerinin değişimi görülmektedir verilmiştir.



Şekil 3.1 Gerilim, akım ve gücün zamana göre değişimi

Şekilden de görüleceği gibi $p(t)$ gücü 2ω frekansı ile bir ortalama değer etrafında sinüsoidal olarak değişir.

$$p(t) = V.I.\cos\varphi(1 - \cos 2\omega t) - V.I.\sin\varphi.\sin 2\omega t \quad (3.8)$$

(3.7) eşitliği yeniden düzenlenirse (3.8) eşitliği halini alır. (3.8) ifadesi ortalama değeri olan bir bileşenle ortalama değeri sıfır olan bir bileşenden oluşmaktadır.

Aktif ve reaktif güçler;

$$P = V.I.\cos\varphi \quad (3.9a)$$

$$Q = V.I \sin \varphi \quad (3.9b)$$

olarak yeniden tanımlandığında (3.8) eşitliği (3.9a) ve (3.9b) cinsinden

$$p(t) = P(1 - \cos 2\omega t) - Q \sin 2\omega t \quad (3.10)$$

olur. Sonuç olarak P aktif gücü p(t) gücünün ortalaması olduğunda fiziksel olarak faydalı güçtür. Genliği, güç faktörü $\cos \varphi$ 'ye bağlıdır. Q reaktif gücü (3.10) eşitliğindeki ikinci terimin (çift frekans terimi) tepe değeri olup ortalaması sıfır olduğundan faydalı olmayan güçtür. P'nin birimi Watt, Q'nun birimi Voltamper reaktif(VAR)tir.

Üç fazlı güç sistemlerinde,

$$P_3 = 3V.I \cos \varphi \quad (3.11a)$$

$$Q_3 = 3V.I \sin \varphi \quad (3.11b)$$

olup bu eşitliklerdeki gerilim faz gerilimidir. Fazlar arası gerilim U ile gösterilirse aktif ve reaktif güç ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_3 = \sqrt{3}U.I \cos \varphi \quad (3.12a)$$

$$Q_3 = \sqrt{3}U.I \sin \varphi \quad (3.12b)$$

Görünür güç (3.13) eşitliğindeki gibi tanımlanır [6].

$$\bar{S} = P + jQ \quad (3.13)$$

Güç sistemlerinde birçok nedenlerden dolayı harmonikler oluşur. Bu harmonikler yapılan ölçümlerin doğruluğunu kötü yönde etkiler. Ölçüm aletleri saf sinüsoidal işarete göre ayarlandığından güç ölçümlerinde hatalara sebep olur. Güç sistemlerindeki toplam güç doğru bileşen harmonikli bileşen ve temel bileşenden oluşur. Ölçümlerim doğru olabilmesi için yüksek frekanslı işaretleri ve doğru bileşenleri işaretten çıkarmak gerekir.

Üç fazlı güç sistemlerinde aktif ve reaktif güç analog ve dijital yöntemlerle ölçülür. Analog ölçüm aletleri sinüsoidal durumlar için tasarlandığından sinüsoidal olmayan durumlar için uygun değildir.

3.1 İki Vatmetre Yöntemi ile Aktif Gücün Ölçülmesi

Üç fazlı bir sistemdeki aktif ve reaktif güç en basit ve yaygın şekilde iki vatmetre yöntemi ile ölçülür. İki fazın akımı akım trafoları üzerinden vatmetrelerin akım giriş uçlarına, bu fazlar ile diğer faz arasındaki fazarası gerilimler ise gerilim trafoları üzerinden vatmetrelerin gerilim giriş uçlarına bağlanır.

Üç fazlı dengeli bir sistem iki vatmetreden okunan güç değerlerinin toplamı üç fazdan çekilen toplam gücü verir [6].

$$\begin{aligned}
 v_{ab}i_a + v_{cb}i_c &= (v_{an} - v_{bn})i_a + (v_{cn} - v_{bn})i_c \\
 &= v_{an}i_a + v_{bn}(-i_a - i_c) + v_{cn}i_c \\
 &= v_{an}i_a + v_{bn}i_b + v_{cn}i_c
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

3.2 Akım ve Gerilimin Ani Değerlerini Kullanarak Aktif Güç Ölçümü

Aktif ve reaktif güç dijital olarak en hızlı ve basit bir şekilde bu yöntemle ölçülebilir.

$$p(k\Delta t) = v_a(k\Delta t)i_a(k\Delta t) + v_b(k\Delta t)i_b(k\Delta t) + v_c(k\Delta t)i_c(k\Delta t) \tag{3.15}$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} p(k\Delta t) \tag{3.16}$$

Ani güç dijital yolla hesaplanırken (3.15) eşitliği kullanılır. Burada k kaçınıcı örnek olduğunu, Δt de iki örnek arasında geçen süreyi gösterir [6]. Bir periyot boyunca alınan örnek sayısı N'dir. Bir periyot boyunca her örnekleme anı için akım ve gerilimin örnek değerlerinden anlık güç değerleri hesaplanır. Ani gücün ortalama değeri aktif gücü verdiğiinden (3.16) eşitliği ile aktif gücü dijital olarak hesaplayabiliriz. Bu eşitlikte kullanılan N tane anlık değer, ilk anlık değer atılıp yerine en son hesaplanan değer alınmasıyla seçilir (moving average window).

Bu yöntem dengesizlik durumlarında da doğru sonuç verir. Çünkü, burada fazların dengeli olması durumu ile ilgili özel bağıntılar kullanılmamıştır. Aktif güç, ani gücün ortalaması aktif gücü verir yaklaşımı kullanılarak bulunmuştur. Her faz için ayrı aktif güç bulunduğu için dengesizlik durumlarından etkilenmez.

3.3 Ortogonal Referans Ekseninde Aktif Güç Ölçümü

Bu yöntemde önce tek fazın gerilimi ve akımı ortogonal referans ekseninde aşağıdaki gibi tanımlanır [7, 8].

$$V_d = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t v(\tau) \sin \frac{2\pi}{T} \tau d\tau = \frac{1}{2} V_{m1} \cos \phi_1 \quad (3.17a)$$

$$V_q = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t v(\tau) \cos \frac{2\pi}{T} \tau d\tau = \frac{1}{2} V_{m1} \sin \phi_1 \quad (3.17b)$$

$$I_d = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t i(\tau) \sin \frac{2\pi}{T} \tau d\tau = \frac{1}{2} I_{m1} \cos \psi_1 \quad (3.17c)$$

$$I_q = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t i(\tau) \cos \frac{2\pi}{T} \tau d\tau = \frac{1}{2} I_{m1} \sin \psi_1 \quad (3.17d)$$

Burada ϕ_1 , ψ_1 sırasıyla gerilimin ve akımın faz açılarıdır. Bu ifadelerden yararlanarak tek faza ait P aktif gücü ve Q reaktif gücü aşağıdaki gibi bulunabilir. Aktif güç d-ekseni bileşenlerinin çarpımı ile q-ekseni bileşenlerinin çarpımının toplamına, reaktif güç ise q-ekseni bileşenlerinin d-ekseni bileşenlerinin çarpımının farkına eşittir.

$$P = 2x(V_d I_d + V_q I_q) = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\phi_1 - \psi_1) \quad (3.18)$$

$$Q = 2x(V_d I_q - V_q I_d) = \frac{1}{2} V_m I_m \sin(\phi_1 - \psi_1) \quad (3.19)$$

İntegral limitlerindeki t, işlemin herhangi bir anda başladığı durumu belirtir[8]. $(\phi_1 - \psi_1)$ akım ve gerilim arasındaki faz farkını gösterir.

Dijital ölçüm yaparken V_d, V_q, I_d, I_q ifadeleri aşağıdaki hali alır.

$$V_d(l) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_{l-k} \sin \frac{2\pi}{N}(l-k) \quad (3.20a)$$

$$V_q(l) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_{l-k} \cos \frac{2\pi}{N}(l-k) \quad (3.20b)$$

$$I_d(l) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i_{l-k} \sin \frac{2\pi}{N}(l-k) \quad (3.20c)$$

$$I_q(l) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i_{l-k} \cos \frac{2\pi}{N}(l-k) \quad (3.20d)$$

Akım ve gerilim işaretlerinin örneklenmiş değerleri kullanılarak bir fazın aktif gücü (3.21) ifadesini sağlayan algoritma yardımıyla bulunur.

$$P = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} v_{l-k} i_{l-m} \cos \frac{2\pi}{N}(k-m) \quad (3.21)$$

Üç fazlı güç sistemlerinde üç fazın her biri için hesaplanan aktif güçlerin toplamı üç fazlı aktif güçleri verecektir.

3.4 Ayrık Fourier Analizi Yöntemi ile Aktif Güç Ölçümü

Üç fazlı güç sisteminde üç faza ait akım ve gerilim işaretleri Ayrık Fourier Dönüşümü yapılarak güç ifadesine üç faz için ayrı ayrı ulaşılabilir. Üç fazın güçlerinin toplamı üç fazlı gücü verir.

Periyodik bir işaretin etkin değeri,

$$Z_k = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T z^2(t) dt} \quad T = 2\pi \quad (3.22)$$

Ayrık formda örneklenmiş bir işaretin etkin değeri,

$$Z_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} z_{k-r}^2} \quad z_{-1}, z_{-2}, z_{-3}, \dots, z_{-N} = 0 \quad (3.23)$$

olarak ifade edilir. Z_k , doğru akım bileşeni, temel bileşen ve n'inci harmoniğe kadar olan bileşenlerin etkin değerini içermektedir. Burada n, aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$n = \frac{N}{2} - 1 \quad (3.24)$$

İşaretin doğru akım bileşenlerinin, ofset bileşenlerinin ve harmoniklerin filitreden geçirilerek elemine edildiği farzedildiğinde, temel frekans bileşeni fazör olarak düşünülürse Ayırık Fourier Dönüşümü yapılan işaretin reel ve imajinel bileşenleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Z_{r_k} = \frac{2}{N} \sum_{r=0}^{N-1} z_{k-r} \cos \frac{2\pi r}{N}, \quad z_{-1}, z_{-2}, z_{-3}, \dots, z_{-(N-1)} = 0 \quad (3.25)$$

$$Z_{i_k} = \frac{2}{N} \sum_{r=0}^{N-1} z_{k-r} \sin \frac{2\pi r}{N}, \quad z_{-1}, z_{-2}, z_{-3}, \dots, z_{-(N-1)} = 0 \quad (3.26)$$

İşlemlerin kısaltılması amacıyla (3.25) ve (3.26) eşitlikleri aşağıdaki forma dönüştürülebilir.

$$Z_{r_k} = Z_{r_{k-1}} + \frac{2}{N} (z_k - z_{k-N}) \cos \frac{2\pi k}{N} \quad (3.27)$$

$$Z_{i_k} = Z_{i_{k-1}} + \frac{2}{N} (z_k - z_{k-N}) \sin \frac{2\pi k}{N} \quad (3.28)$$

Bu eşitliklerde $z_{-1}, z_{-2}, z_{-3}, \dots, z_{-N}$ ve $Z_{r_{-1}}, Z_{i_{-1}}$ sıfırdır.

Bu ifadelerden yararlanılarak Z_1 temel bileşeni ve θ faz açısı ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Z_1^2 = \frac{Z_{r_1}^2 + Z_{i_1}^2}{2} \quad (3.29)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{Z_{i_1}}{Z_{r_1}} \right] \quad (3.30)$$

Akım ve gerilim işaretlerine Fourier dönüşümü yapılarak $\bar{V}$ ve $\bar{I}$ kompleks fazörleri ile kompleks güç

$$\bar{S} = \bar{V} \times \bar{I}^* = P + jQ \quad (3.31)$$

olup üç fazlı güç sistemlerinde bu eşitlik,

$$P + jQ = \bar{V}_a \times \bar{I}_a^* + \bar{V}_b \times \bar{I}_b^* + \bar{V}_c \times \bar{I}_c^* \quad (3.32)$$

şeklinde yazılmalıdır [7]. Üç fazlı güç sisteminde akım ve gerilim işaretlerine Ayrık Fourier dönüşümü uygulandıktan sonra, tek faza ait aktif ve reaktif güç yukarıdaki (3.32) eşitliğini sağlayan konfigürasyon yardımıyla dijital olarak ölçülür.

3.5 Walsh Fonksiyonları Kullanılarak Aktif Güç Ölçümü

Bu ölçüm yöntemi Schweitzer tarafından akım ve gerilim ifadelerinin saf sinusoidal olduğu farzedilerek geliştirilmiştir [7]. Wals fonksiyonları $[0,1]$ aralığındaki ortogonal işaretlerden oluşur, yalnızca ± 1 değerlerini alır.

Gerlim ve akım işaretleri ile $\text{sal}\left(\frac{t}{T}\right)$ ve $\text{cal}\left(\frac{t}{T}\right)$ Walsh fonksiyonları arasındaki ilişki,

$$S_v(t) = \int_{t-T}^t v(\tau) \cdot \text{sal}\left(\frac{\tau}{T}\right) d\tau = \frac{2T}{\pi} V_m \cos \varphi_1 \quad (3.33a)$$

$$S_i(t) = \int_{t-T}^t i(\tau) \cdot \text{sal}\left(\frac{\tau}{T}\right) d\tau = \frac{2T}{\pi} I_m \cos \varphi_1 \quad (3.33b)$$

$$C_v(t) = \int_{t-T}^t v(\tau) \cdot \text{cal}\left(\frac{\tau}{T}\right) d\tau = \frac{2T}{\pi} V_m \sin \varphi_1 \quad (3.33c)$$

$$C_i(t) = \int_{t-T}^t i(\tau) \cdot \text{cal}\left(\frac{\tau}{T}\right) d\tau = \frac{2T}{\pi} I_m \sin \varphi_1 \quad (3.33d)$$

olup buradan hareketle aktif ve reaktif güç için aşağıdaki eşitliklere ulaşılır.

$$P = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\pi}{2T} \right)^2 \times (S_v S_I + C_v C_I) = \frac{1}{2} V_{m1} I_{m1} \cos(\phi_1 - \psi_1) \quad (3.34)$$

$$Q = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\pi}{2T} \right)^2 \times (C_v S_I + S_v C_I) = \frac{1}{2} V_{m1} I_{m1} \sin(\phi_1 - \psi_1) \quad (3.35)$$

$S_v(t), C_v(t), S_I(t), C_I(t)$ büyüklükleri işaret değildir., T periyodu boyunca integral alındığında sayıları zamandan bağımsızdır. Aynı prosedürün dijital algoritması için aynı ifadeler dijital $\text{sal}\left(\frac{k}{N}\right)$, $\text{cal}\left(\frac{k}{N}\right)$ fonksiyonları ile aşağıdaki şekilde yazılır.

$$S_v(n) = \frac{T}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_{n-k} \cdot \text{sal}\left(\frac{k}{N}\right) \quad (3.36a)$$

$$C_v(n) = \frac{T}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_{n-k} \cdot \text{cal}\left(\frac{k}{N}\right) \quad (3.36b)$$

$$S_I(n) = \frac{T}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i_{n-k} \cdot \text{sal}\left(\frac{k}{N}\right) \quad (3.36c)$$

$$C_I(n) = \frac{T}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i_{n-k} \cdot \text{cal}\left(\frac{k}{N}\right) \quad (3.36d)$$

Buna bağlı olarak aktif güç eşitliği ise,

$$P = \frac{\left(\sin \frac{\pi}{N} \right)^2}{8} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} v_{n-k} i_{n-m} \left[\text{sal} \frac{k}{N} \times \text{sal} \frac{m}{N} + \text{cal} \frac{k}{N} \times \text{cal} \frac{m}{N} \right] \quad (3.37)$$

3.6 Turgel'in Genel Algoritması ile Aktif Güç Ölçümü

Turgel aktif gücü ölçmek amacıyla ortalama güç hesabında kullanılan temel temel eşitliğe yaklaşmak suretiyle genel bir dijital algoritma geliştirmiştir [7]. Tek faz için

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_{n-k} i_{n-k}$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} v_{n-k} i_{n-m} \delta(k-m) \quad (3.38)$$

ifadesindeki $\delta(k-m)$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\delta(k-m) = \begin{cases} 1 & \text{.....} k = m \\ 0 & \text{.....} k \neq m \end{cases} \quad (3.39)$$

Turgel bu ifadelerden yola çıkarak (3.21), (3.37), (3.38) eşitlikleri (3.40) eşitlindeki genel formdan türetilbileceğini ileri sürmüştür.

$$P = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} h_{km} v_{n-k} i_{n-m} \quad (3.40)$$

Tek fazın güç hesabında kullanılan bu ifade üç fazın güçlerinin hesaplanıp toplanmasıyla üç fazlı güç hesabında kullanılır. Yukarıdaki güç ifadesi zamanın bir fonksiyonudur. Bununla beraber güç bileşeni verilen bir akım ve gerilim işaret parçası için sabittir. P aktif gücü N akım ve gerilim örnek değeri için ayrı zamanlarda hesaplanır. h_{km} seçilen güç ifadesine göre belirlenir.

3.7 Simetrik Bileşenler Yöntemi ile Aktif Güç Ölçümü

Dengesiz güç sistemlerinin analizinde kullanılan simetrik bileşenler yöntemi ile aktif ve reaktif güç ölçümleri yapılabilir. Dengesiz arızalarda gerilim, akım ve güç işaretleri asimetrik bileşenler içerir. Bu durumda faz gerilim ve akımları pozitif, negatif ve sıfır bileşenlerden oluşur. İşaretler simetrik bileşenler yönteminde fazör olarak düşünülür.

Faz gerilimleri ve bileşenler arasındaki bağıntının matrisel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{b0} \\ V_{c0} \end{bmatrix} \quad (3.41a)$$

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{b0} \\ V_{c0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.41b)$$

Simetrik bileşenler yönteminin uygulandığı faz akımları ve bileşen akımlarının matrisel gösterimi gösterimi ise;

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{b0} \\ I_{c0} \end{bmatrix} \quad (3.42a)$$

$$I_a + I_b + I_c + I_n = 0 \quad (3.42b)$$

şeklinde verilebilir.

Güç hesabı için kompleks güç vektörü

$$\bar{S} = \bar{V} \times \bar{I}^* \quad (3.43)$$

olup,

$$\bar{V} = \bar{Z} \times \bar{I} \quad (3.44)$$

yada

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}} = \bar{V} \times \bar{Y} \quad (3.45)$$

ifadeleri ile aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\bar{S} = |\bar{I}|^2 \times \bar{Z} = |\bar{V}|^2 \times \bar{Y} = P + jQ \quad (3.46)$$

P aktif, Q reaktif güçtür. 3 fazlı güç sisteminde kompleks güç vektörü ise;

$$\begin{aligned} \bar{S}_3 &= \bar{V}_a \times \bar{I}_a^* + \bar{V}_b \times \bar{I}_b^* + \bar{V}_c \times \bar{I}_c^* \\ &= 3 \times \bar{V}_0 \times \bar{I}_0 + 3 \times \bar{V}_1 \times \bar{I}_1 + 3 \times \bar{V}_2 \times \bar{I}_2 \\ &P_3 + jQ_3 \end{aligned} \quad (3.47)$$

olarak elde edilir. (3.46) ifadesi 3-fazlı gücü vermektedir. Simetrik bileşenleri kullanarak yapılan güç ölçümünün avantajı üç fazlı sistemlerde akım ve gerilimin dengesiz hali için de doğru sonucu vermesidir.



4. TASARLANAN DİJİTAL RÖLE ALGORİTMALARI

Bu bölümde motor olarak çalışmaya ve aşırı yüklenmeye karşı dijital koruma algoritmaları anlatılmıştır.

4.1 Dijital Röleler

Dijital röle alanındaki çalışmalar, güç sistemlerinde kullanılan rölelerin fonksiyonlarının dijital olarak yapılabilmesi konusundaki araştırmalarla başlamıştır. Bu araştırmaların başladığı yıllar 1960'lı yıllardır. Bu yıllarda dijital bilgisayarlar yavaş yavaş elektrik güç sistemlerinde kullanılmaya başlamıştır. Kısa devre yük akışı ve kararlılık problemleri de bilgisayar programları ile çözülmeye başlanmıştır. Bu gelişmelerin yanısıra bilgisayarların koruma alanında da kullanılması düşünülmüştür. Fakat o zamanki bilgisayarlar hem hız açısından koruma fonksiyonlarının başarıyla uygulanmasını sağlayacak düzeyde olmaması, hem de pahalı olması bunun gerçekleşmesine imkan vermemiştir. Zaman içinde bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişme hız ve maliyet problemini ortadan kaldırmıştır. Bu durum dijital koruma alanındaki araştırmaların artmasına neden olmuştur. Bugüne kadar yapılan araştırmalarda büyük mesafeler alınmış, artık dijital röleler güç sistemlerinin korumasında kullanılmaya başlanmıştır.

Dijital teknolojinin avantajlarından biri de, birden fazla analog cihaz ile yapılacak işleri tek bir dijital alet ile yapabilme olanağıdır. Bu hem ölçme sistemi hem de röle sistemleri için geçerlidir. Bir dijital ölçme aygıtı ile akım, gerilim, güç faktörü, frekans, aktif ve reaktif güç gibi birçok elektriksel büyüklüğün ölçümü yapılabilmektedir. Bu çok işlevlilik durumu röleler için de geçerlidir. Çok işlevli röleler ile birden çok rölenin yapacağı koruma bir tane çok işlevli röle ile yapılabilmektedir. Bu durumda hem ölçme sisteminde hem de röle sisteminde maliyet ve yer açısından kazanç sağlanmaktadır.

Dijital koruma yaparken seçilen örnekleme aralığı Δt , mikroişlemcinin yapacağı hesaplamaları tamamlaması için yeterli olmalıdır. Aksi takdirde bazı örnekler

kaçırılacak ve bu da röle programının yanlış çıkış üretmesine sebep olabilecektir [9]. Örneğin 60 Hz frekanslı bir sistemde bir periyotta 12 örnek aldığımızı düşünürsek iki örnekleme aralığı $\Delta t = 1.3889$ ms olacaktır. 50 Hz frekanslı bir sistemde bir periyotta 20 örnek aldığımızı düşünürsek örnekleme aralığı süre 1 ms olacaktır. Tabii bu 1 ms süre zarfında mikroişlemci tüm hesaplamaları bitirmelidir. Röle hesaplamalarının örnekleme aralığında bitirilme zorunluluğu tasarlanacak röle algoritmalarının kısa olmasını gerektirmektedir.

Günümüzdeki mikro işlemciler çok hızlı olduğundan bir koruma fonksiyonunu yapacak şekilde tasarlanan algoritmalarda bir zaman problemi ile karşılaşılmaz. Fakat çok fonksiyonlu rölelerde koruma algoritmalarının kısa olmasına dikkat edilmelidir.

Dijital röle teknolojisinde iki tip yaklaşım vardır. Birinci yaklaşımda mikro işlemci röle lojik işlemleri yapar. Fakat gerilim ve akım işaretlerini işlemez. Yani ölçümler analog ölçüm aletleri ile yapılır. Bu rölelerin doğruluğu analog komponentlerin doğruluğuna bağlıdır. İkinci yaklaşımda mikro işlemci işaretleri işler ve lojik işlemleri yapar. Bu nedenle analog donanımların getirdiği problemler yoktur. İkinci yaklaşımı çok fonksiyonlu rölelerin gelişimi takip eder. DSP (dijital işaret işlemcisi) işaret işleme için dizayn edilmiştir. Çift (dual) işlemci mimarisi bu rölelerde kullanılır [10]. Çift işlemci kullanmakla röle hesaplamaları daha çabuk yapılmaktadır. Hesaplamalarda karşılaşılan zaman sorunu da böylece çözülebilmektedir.

Bir işareti örneklerken örnekleme frekansı işaretin en yüksek frekanslı bileşeninin en az iki katı olmalıdır. Aksi takdirde örtüşme (aliasing) oluşur. Röle donanımında örtüşmeyi önlemek için örtüşme engelleyici filtreler kullanılır. Bu filtreler, kesim frekansı örnekleme frekansının yarısından daha küçük olan alçak geçiren filtrelerdir.

Dijital rölelerin çözülmemiş birtakım problemlere çözüm getirmesi umulmaktadır. Dijital rölelerin en büyük faydası da bu rölelerin kendi arasında ve merkezi sistem ile haberleşmelerine imkan olmasıdır. Haberleşme ağlarındaki gelişmelere paralel olarak dijital rölelerin şu ana kadar gerçekleşmemiş olan bu faydası da gerçekleşebilecektir. Bu röle haberleşmesinde de parazitlerden etkilenmeyen, yüksek hız ve kapasiteli veri iletimine izin veren fiber optik teknolojisi kullanılmaktadır.

Dijital rölelerde bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeye adaptasyon sorunu vardır. Son yirmi yıl içinde bilgisayar teknolojisi çok hızlı gelişmiştir. Bu da gösteriyor ki dijital röle donanımı kısa ömürlüdür. Röle ekipmanları birkaç yılda önemli ölçüde değişmektedir. Bu da gelişme sonrasında eski röle donanımlarının yeterli olup olmayacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Analog röleler 30 yıl veya daha fazla süre kullanılabilirdi. Bir dijital rölenin aynı zaman zarfında kullanılması zor görünmektedir. Bunun da sebebi dijital teknolojiye sürekli gelişmedir. Ancak dijital röle donanımının modüler olması ile bu sorun da çözülebilir [9].

Röle uygulama programları röle donanımında kullanılan mikro işlemcilerin kendi dilinde veya C programlama dilinde yazılabilir. Röle programlarının C dilinde yazılması yazılan bir röle programının farklı mikro işlemcilere sahip röle donanımlarında da kullanılmasına imkan vermektedir. Çünkü hemen hemen her mikro işlemcinin C derleyicisi vardır. Halbuki mikro işlemcinin kendi dilinde yazılmış olan programlar sadece o röle donanımında kullanılabilir. Başka röle donanımlarında kullanılabilmesi için o röleye ait mikro işlemci dilinde tekrar yazılması gerekmektedir.

Dijital röleler güç sistemlerinin korunmasında kullanılmaya başlanmasıyla getirdikleri faydalar şu başlıklar altında toplanabilir.

Fiyat:

Fiyat, karşılaştırılan rölelerin diğer tüm özellikleri eşit olduğunda tercih etme konusunda bir kriter olarak alınabilir. Dijital rölelerin ilk zamanlarda fiyatı analog rölelerin 10 ile 20 katı arasında değişiyordu. Zamanla bilgisayar teknolojisindeki gelişmeyle mikro işlemcilerin hızları artmış ve aynı zamanda da fiyatları da ilk zamanlara nazaran düşmüştür. Analog rölelerin fiyatları ise tasarımlarındaki gelişmelere paralel olarak artmıştır. Şu anda bir dijital rölenin fiyatının performans açısından eşit olan analog röle ile yazılım masrafları dahil aynı olacağı tahmin edilmektedir [9].

Oto kontrol (selfchecking) ve güvenilirlik:

Dijital röleler kendi içinde bir arıza tespit ettiğinde kendisini devre dışı bırakacak ve bu durumun giderilmesi için merkeze arıza alarmı gönderecek şekilde

tasarlanabilirler. Dijital rölelerin bu otokontrol özelliği rölenin arızalı olarak çalışıp büyük arızalara sebep olmasını önler. Bu özelliğinden dolayı dijital röleler elektromekanik ve elektronik rölelere nazaran daha karmaşık olmasına rağmen daha güvenlidir.

Sisteme entegrasyon ve dijital ortama uygunluk:

Dijital teknolojinin gelişmesiyle çoğu sistemin altyapısı avantajlarından dolayı dijitalle kaymıştır. Ölçme sistemleri, haberleşme sistemleri, kontrol sistemleri dijital versiyonları yaygınlaşmıştır. Güç sistemlerinin ölçmesinde kullanılan akım ve gerilim trafoları da dijital olarak yapılmaya başlanmıştır. Bir sinyalin taşınmasında kullanılan ve günümüzde de son derece popüler olan fiber optik kablolar da dijital teknolojiye uygun yapıdadır. Dijital teknolojinin her alanda yaygınlaşmasıyla dijital röleleri dijital teknoloji kullanan sistemlere entegre etmek de çok kolay olacaktır.

Fonksiyonel esneklik ve adaptif koruma:

Bir dijital röle, içerisinde bulunan yazılıma göre çalıştığından, röle yazılımını değiştirmekle rölenin işlevini değiştirebilir yada röle yazılımına yapacağımız eklemelerle rölenin birden çok fonksiyonu yapmasını sağlayabiliriz. Örneğin ölçümler, akım ve gerilimlerin dalga şekilleri, anahtarların ve kesicilerin açık mı kapalı mı olduklarının bilinmesi ve verilerin depolanması gibi birtakım fonksiyonlar rölenin koruma fonksiyonuna ek olarak gerçekleştirilebilir.

4.2 Geliştirilen Dijital Ters Güç Röle Algoritması

Dijital ters güç röleleri için geliştirilen koruma algoritmasında karakteristik büyüklük olarak aktif güç alınmıştır. Aktif güç önceki bölümde anlatılan dijital güç ölçüm yöntemlerinden akım ve gerilimin ani değerlerinin kullanıldığı yöntem kullanılarak bulunmuştur. Çünkü bu yöntem dijital güç ölçüm yöntemlerinin içerisinde aktif gücün en kolay hesaplandığı yöntemdir.

Şekil 4.1’de akış diyagramı görülen röle algoritması şöyle çalışır;

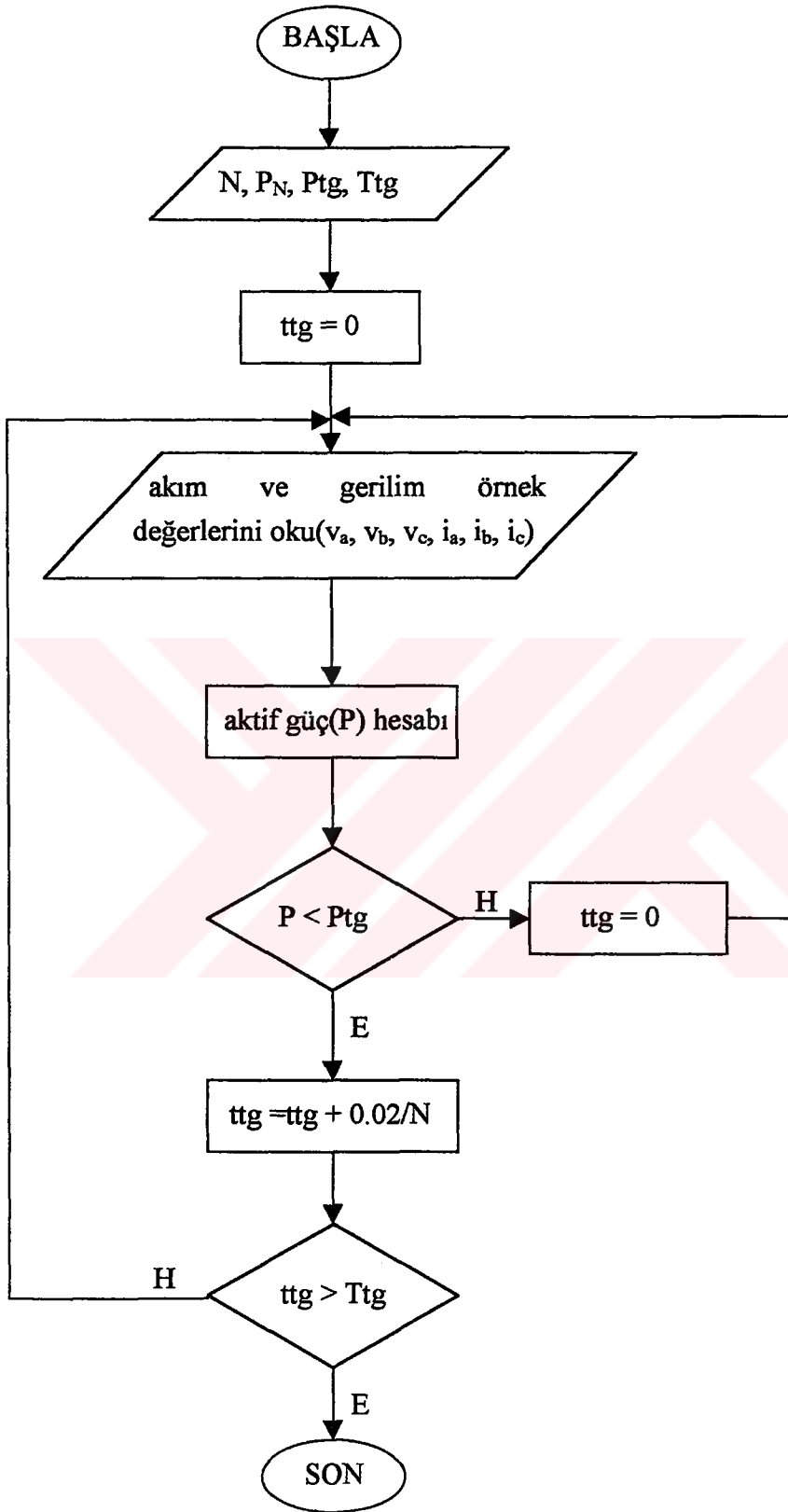
1. Adım: Program başında örnek sayısı (N), nominal aktif güç (P_N), ters güç açma sınırı (P_{tg}) ve ters güç açma gecikmesi (T_{tg}) tanımlanır. Ters güç için tutulan zaman sayacına (ttg) ilk değer olarak sıfır verilir.

2. Adım: Akım ve gerilimin örneklenmiş değerleri okunur.

3. Adım: Akım ve gerilim örnekleri (3.15) eşitliği kullanılarak ani güç hesap edilir. N adet ani güç değeri hesaplanınca bunların (3.16) eşitliği kullanılarak ortalama değeri alınır. Yani aktif güç bulunur. Bundan sonra alınacak ilk alınacak örnek değerlerinden hesaplanan ani güç ortalamaya katılır. Buna karşılık ilk alınan akım ve gerilim örneklerinden hesaplanan ani güç değeri de ortalamadan çıkarılır.

4. Adım: Bulunan aktif güç değeri (P) ters güç açma değeri (P_{tg}) ile karşılaştırılır. Aktif güç açma değerinden büyükse ters güç zaman sayacı (ttg) sıfırlanarak 2.Adım'a dönülür, küçükse (yani sınır değerden daha büyük bir ters güç akışı varsa) sayaç iki örnek arası süre kadar arttırılır.

5. Adım: Sayaç (ttg) ters güç açma gecikmesinden (T_{tg}) büyükse program sonlanır, değilse 2.Adıma dönülür.



Şekil 4.1 Ters güç röle algoritmasının akış diyagramı

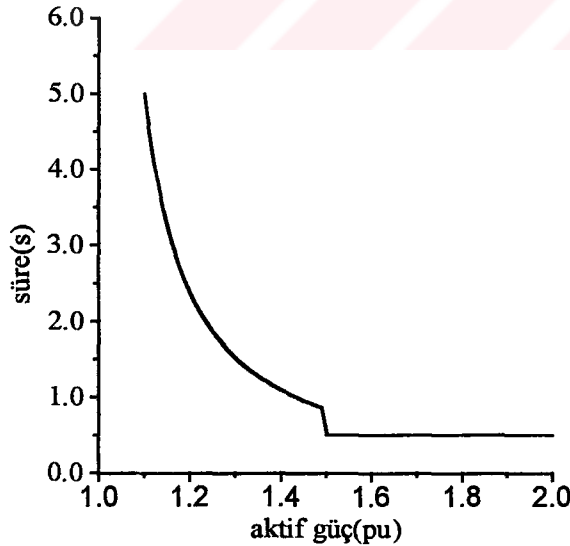
4.3 Geliştirilen Aşırı Güç Röle Algoritması

Aşırı yüklenmeye karşı geliştirilen dijital koruma algoritmasında da karakteristik büyüklük aktif güçtür. Daha önce de belirtildiği gibi aktif güç hesabı ani akım ve gerilimin ani değerlerinin kullanılarak yapılmıştır.

$$t = \frac{35}{(I/I_N)^2 - 1} T_L \quad (4.1)$$

$$P = V.I.\cos\phi \quad (4.2)$$

Röle açma karakteristiği olarak da Şekil 4.2'deki karakteristik kullanılmıştır. Bu karakteristik aşırı yüklenmeye karşı kullanılan akımın efektif değerlerine bağlı olarak oluşturulmuş karakteristikten [11] esinlenilerek oluşturulmuştur. Açma karakteristiğinde 1.1pu ile 1.5pu arasındaki aktif güç değerleri için açma zamanı (4.1) eşitliğinde [11] akım yerine aktif güç kullanılarak bulunmuştur. (4.1) eşitliğindeki T_L zaman ayar çarpanı da 0.03 olarak alınmıştır. (4.2) eşitliğinde şebeke gerilimi ve güç faktörünün değişmediği kabul edildiğinde akımın efektif değeri yerine aktif gücün kullanılabileceği görülür.



Şekil 4.2 Röle açma karakteristiği

Şekil 4.3'te görülen akış diyagramı görülen röle algoritmasının çalışması şöyledir;

1. Adım: Program başında örnek sayısı (N), nominal aktif güç (P_N), aktif gücün 1.5pu'dan büyük olduğu durumlar için sabit açma gecikmesi ($T_{1.5}$) tanımlanır. Aşırı güce karşı korumada iki karakteristik olduğundan iki tane sayaç tanımlanmıştır. Bu sayaçlara ($ta1, ta2$) programın başında ilk değer olarak sıfır verilir.

2. Adım: Akım ve gerilimin örneklenmiş değerleri okunur.

3. Adım: Akım ve gerilim örnekleri (3.15) eşitliğinde kullanılarak ani güç hesap edilir. N adet ani güç değeri hesaplanınca bunların (3.16) eşitliği kullanılarak ortalama değeri alınır. Yani aktif güç bulunur. Bundan sonra alınacak ilk alınacak örnek değerlerinden hesaplanan ani güç ortalamaya katılır. Buna karşılık ilk alınan akım ve gerilim örneklerinden hesaplanan ani güç değeri de ortalamadan çıkarılır.

4. Adım: Bulunan aktif güç değeri (P) 1.1pu'dan küçükse sayaçlar sıfırlanır ve 2.Adıma dönülür.

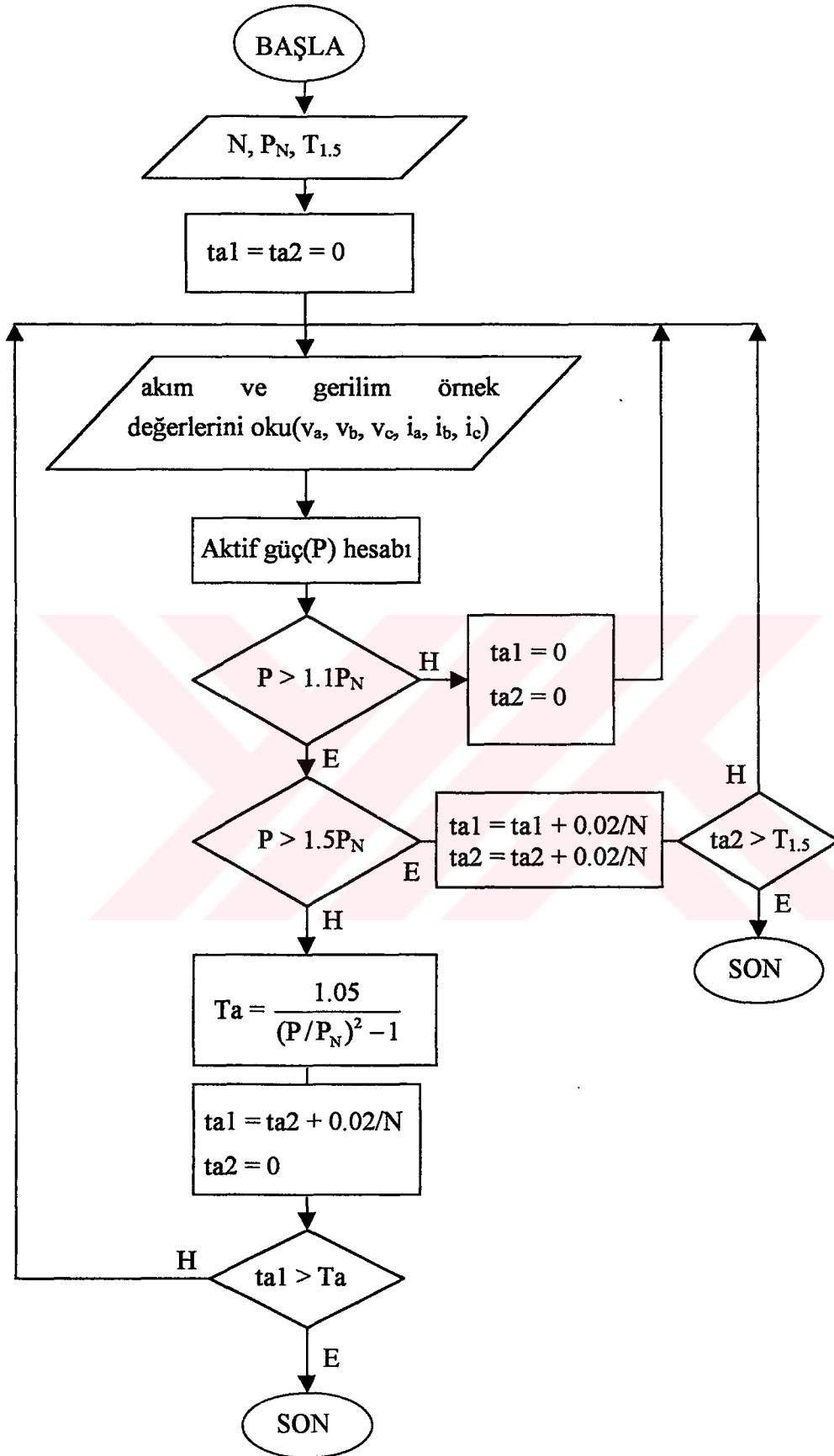
5. Adım: Aktif güç 1.1pu ile 1.5pu arasında ise 6.Adıma gidilir, 1.5pu'dan büyükse 8.Adıma gidilir.

6. Adım: (2.1) eşitliğinden açma süresi (T_a) bulunur, aktif gücün 1.1pu ile 1.5pu arasındaki durumları için tahsis edilen sayaç ($ta1$) iki örnek arası süre kadar artırılır. 1.5pu'dan büyük değerler için tahsis edilen sayaç ($ta2$) sıfırlanır.

7. Adım: $ta1$ T_a 'dan büyükse program sonlanır, değilse 2.Adıma dönülür.

8. Adım: Her iki sayaç da artırılır.

9. Adım: $ta2$ $T_{1.5}$ 'ten büyükse program sonlanır, değilse 2.Adıma dönülür.



Şekil 4.3 Aşırı güç röle algoritmasının akış diyagramı

4.4 Motor Olarak Çalışmaya ve Aşırı Yüklenmeye Karşı Koruma Yapan Dijital Röle Algoritması

Motor olarak çalışmaya ve aşırı yüklenmeye karşı koruma yapmak üzere geliştirilen dijital koruma algoritmaları bir algoritma içerisinde birleştirilerek tek algoritma ile iki koruma fonksiyonunun gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Akış diyagramı Şekil 4.4'te akış diyagramı görülen ters güce ve aşırı güce karşı koruma algoritmasının çalışması şöyledir;

1. **Adım:** Program başında örnek sayısı (N), nominal aktif güç (P_N), aktif gücün $1.5pu$ 'dan büyük olduğu durumlar için sabit açma gecikmesi ($T_{1.5}$), ters güç açma sınırı(P_{tg}) ve ters güç açma zaman gecikmesi (T_{tg}) tanımlanır. Ters güç için tutulan zaman sayacına (ttg) ve aşırı güç için tahsis edilen sayaçlara ($ta1, ta2$) programın başında ilk değer olarak sıfır verilir.
2. **Adım:** Akım ve gerilimin örneklenmiş değerleri okunur.
3. **Adım:** Akım ve gerilim örnekleri (3.15) eşitliğinde kullanılarak ani güç hesap edilir. N adet ani güç değeri hesaplanınca bunların (3.16) eşitliği kullanılarak ortalama değeri alınır. Yani aktif güç bulunur. Bundan sonra alınacak ilk alınacak örnek değerlerinden hesaplanan ani güç ortalamaya katılır. Buna karşılık ilk alınan akım ve gerilim örneklerinden hesaplanan ani güç değeri de ortalamadan çıkarılır.
4. **Adım:** Bulunan aktif güç değeri (P) ters güç açma değeri (P_{tg}) ile karşılaştırılır. Küçükse (yani sınır değerden daha büyük bir ters güç akışı varsa) 5.Adıma, büyükse 6.Adıma gidilir.
5. **Adım:** Aktif güç açma değerinden büyükse sayaç iki örnek arası süre kadar artırılır. Sayaç (ttg) ters güç açma gecikmesinden (T_{tg}) büyükse program sonlanır, değilse 2.Adıma dönülür.
6. **Adım:** Bulunan aktif güç değeri (P) $1.1pu$ 'dan küçükse sayaçlar ($ta1, ta2, ttg$) sıfırlanır ve 2.Adıma dönülür.
7. **Adım:** Aktif güç $1.1pu$ ile $1.5pu$ arasında ise devam edilir, $1.5pu$ 'dan büyükse 10.Adıma gidilir.

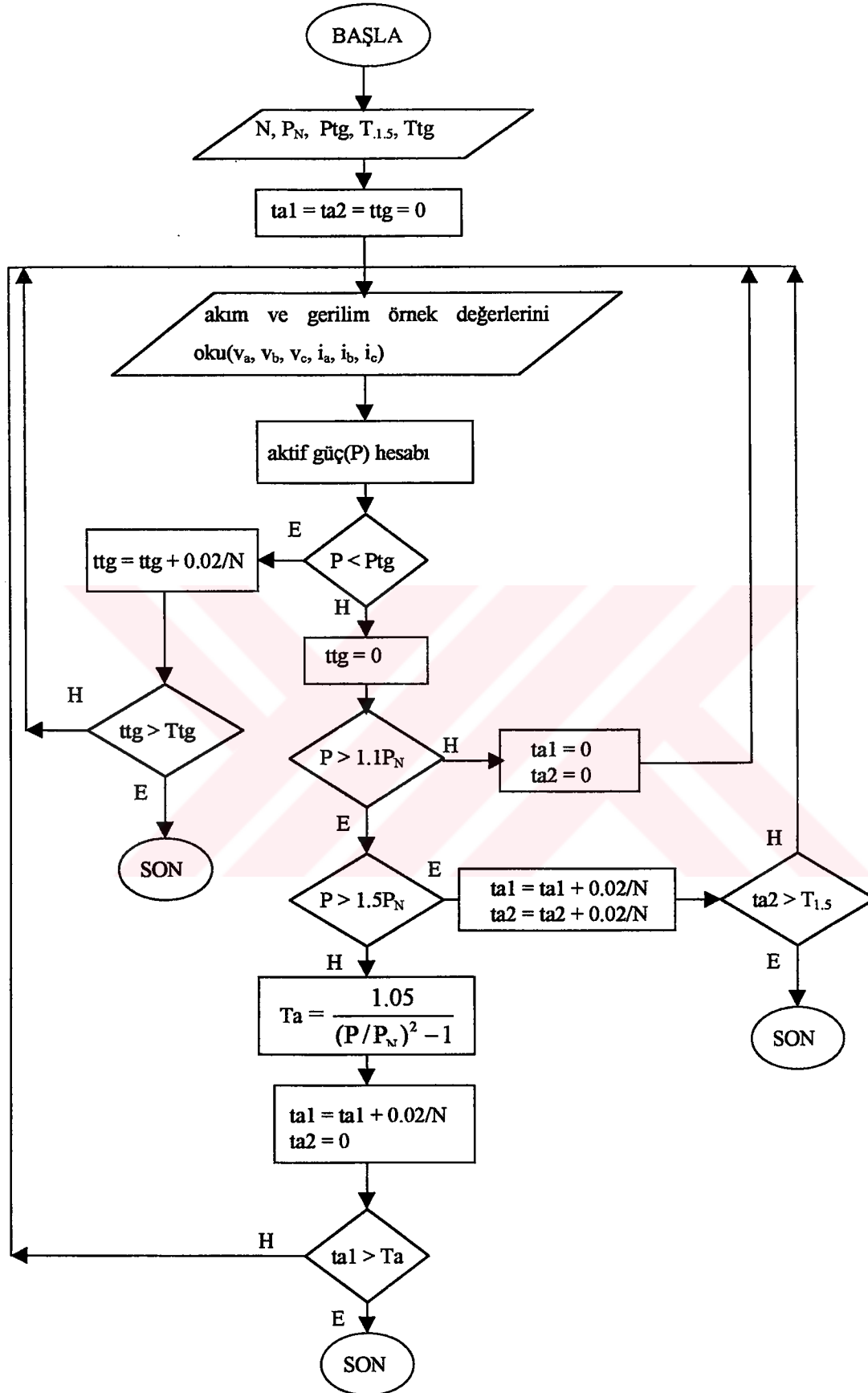
8. Adım: (2.1) eşitliğinden açma süresi (T_a) bulunur, aktif gücün 1.1pu ile 1.5pu arasındaki durumları için tahsis edilen sayaç (ta_1) iki örnek arası süre kadar artırılır. 1.5pu'dan büyük değerler için tahsis edilen sayaç (ta_2) ve ters güç sayacı (ttg) sıfırlanır.

9. Adım: ta_1 , T_a 'dan büyükse program sonlanır, değilse 2.Adıma dönülür.

10. Adım: ta_1 , ta_2 sayaçları artırılır, ttg sayacı sıfırlanır.

11. Adım: ta_2 , $T_{1.5}$ 'ten büyükse program sonlanır, değilse 2.Adıma dönülür.



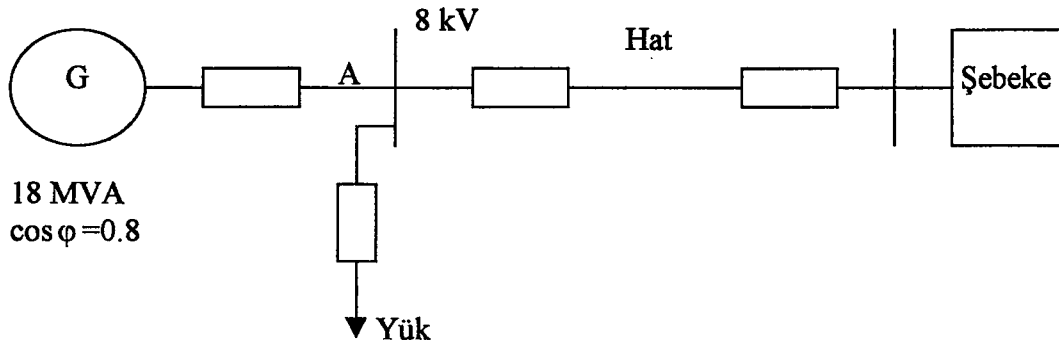


Şekil 4.4 Ters ve aşırı güç röle algoritmalarını içeren algoritmanın akış diyagramı

5. TASARLANAN DİJİTAL RÖLE ALGORİTMASININ SİMÜLASYON VERİLERİ İLE TESTİ

Önceki bölümde anlatılan, ters güce ve aşırı güce karşı koruma için tasarlanan röle algoritması C dilinde programlanmıştır. EMTP programında Şekil 5.1’de görülen sistemin simülasyonu yapılmış ve çeşitli arızalar oluşturulmuştur. Arıza durumunun oluşmasından itibaren 2.5 saniyelik akım ve gerilim işaretlerinin 600Hz’de örneklenmiş ve örnek değerleri bir dosyaya kaydedilmiştir. Röle programı çeşitli arıza durumlarına ilişkin akım ve gerilim örneklerini oluşturulan dosyalardan okumak suretiyle çalıştırılmıştır. Röle programının verdiği cevaplar incelenerek röle programının çeşitli arıza durumlarındaki başarısı test edilmiştir. Röle programında ters güç açma zamanı 2s, aşırı yük durumunda ise Şekil 4.2’deki karakteristik dikkate alınmıştır. Simüle edilen güç sistemindeki generatörün gücü 18MVA, gerilimi 8kV ve $\cos \phi = 0.8$ ’dir.

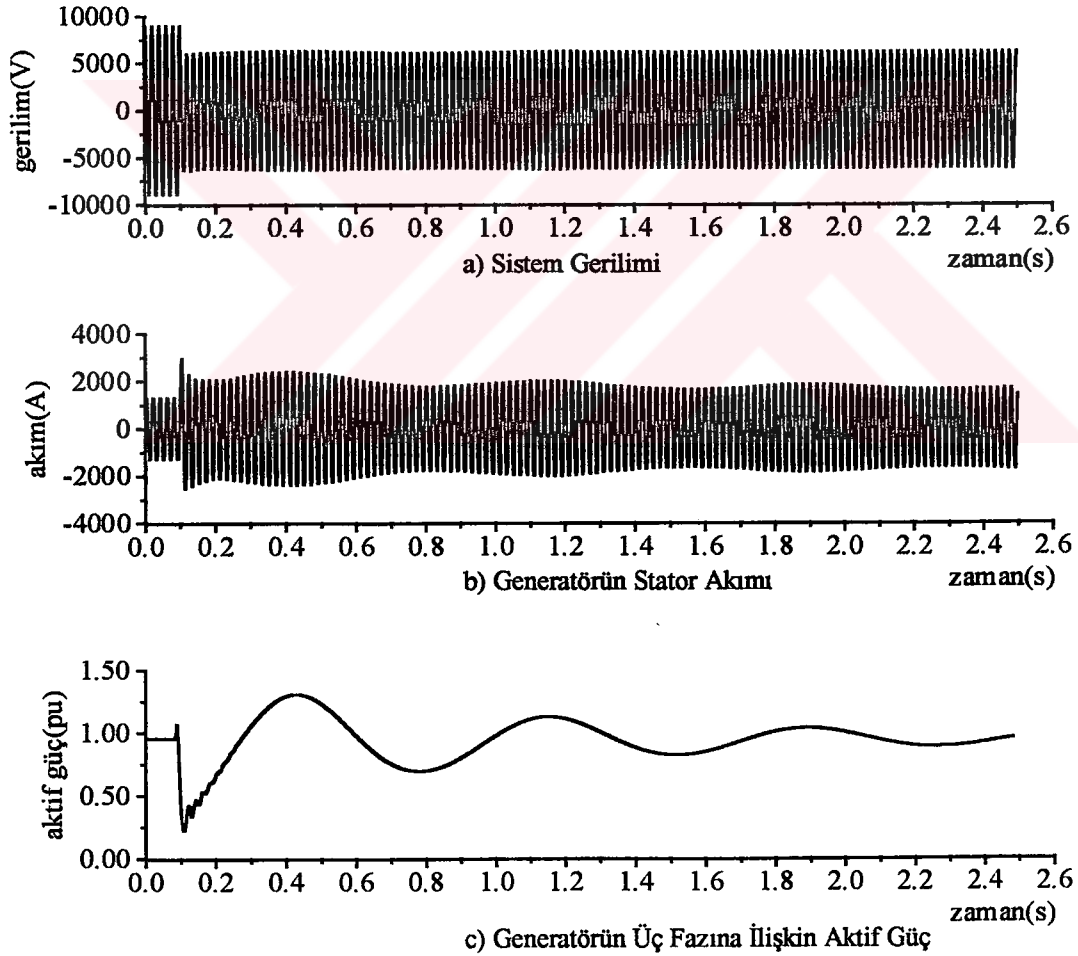
Aşağıda çeşitli arıza durumlarında röle algoritmasının davranışı teker teker irdelenmiştir. Her arıza durumuna ilişkin bir fazın akım ve gerilim eğrisi, çekilen aktif güç eğrisi ve röle çıkışını gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 5.1 EMTP’de simülasyonu yapılan sistemin şeması

Durum1: Generatörün Dışında Oluşturulan Üç Fazlı Arıza

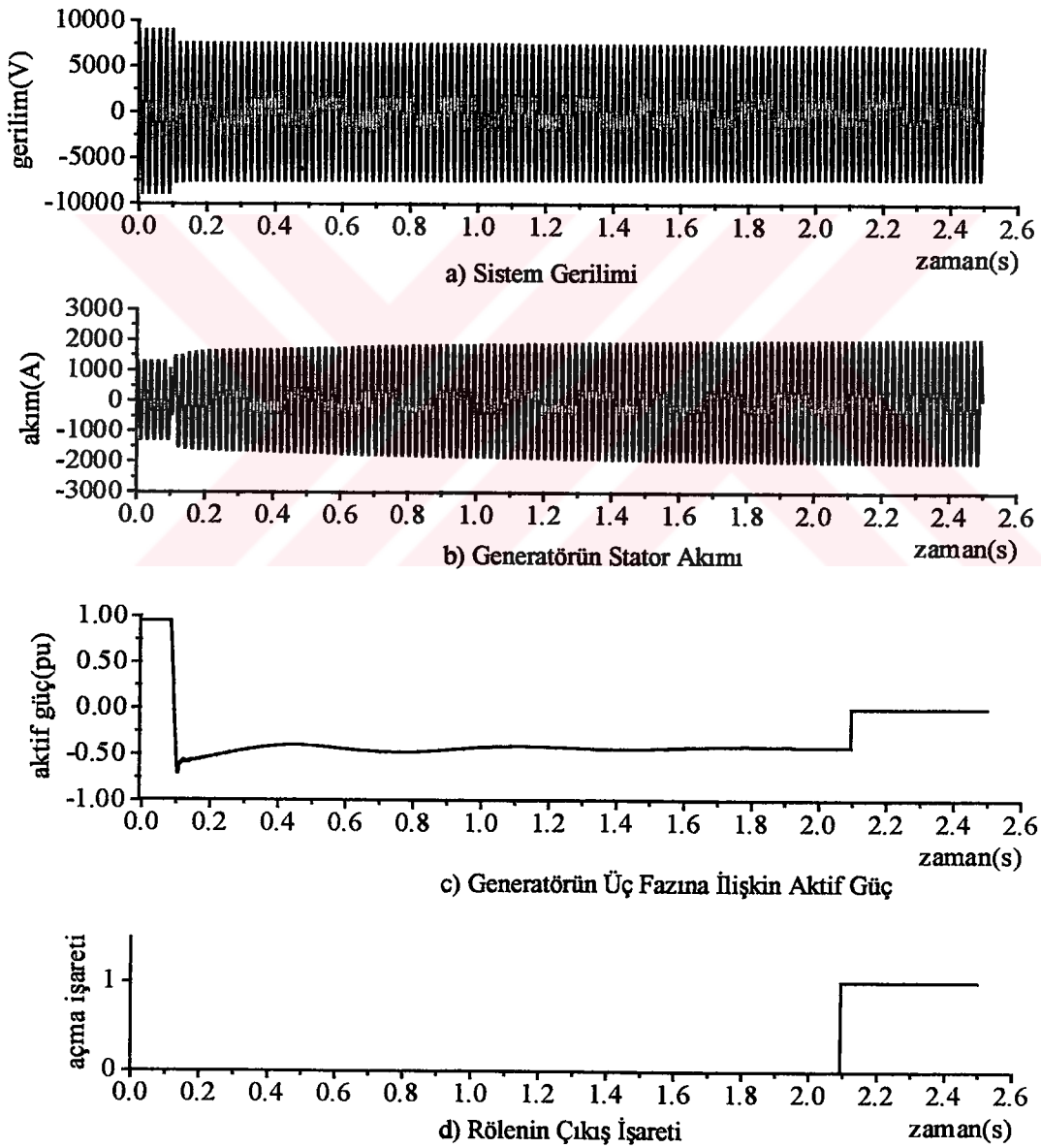
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör dışında üç fazlı bir arıza oluşturulmuş, A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program ters güç veya aşırı yük nedeniyle bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.2'de arıza durumuna ilişkin gerilim, akım ve aktif gücün zamana bağlı değişimleri verilmiştir. Şekil 5.2.c'de de görüldüğü gibi bir aktif güç hiç eksiye geçmemiştir, dolayısıyla ters güç durumu söz konusu değildir. Şekil 5.2.c'de kısa süreli aşırı yüklenme görülmektedir. Fakat bu geçici bir durum olduğundan açma işareti verilmesi istenmez. Sonuç olarak rölenin bu arıza durumu için başarılı olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.2 Generatörün dışında oluşturulan üç fazlı arıza durumu

Durum 2: Generatörün İçinde Oluşturulan Üç Fazlı Arıza

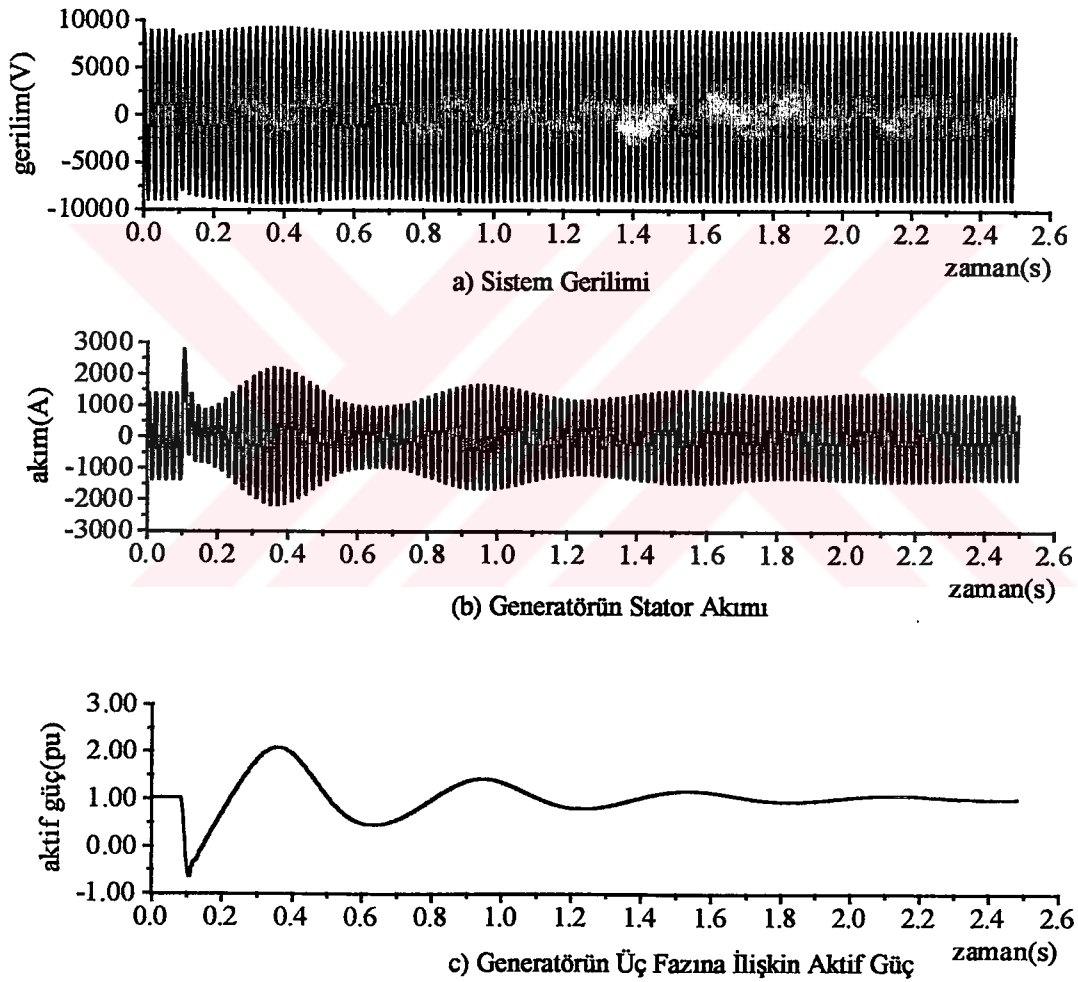
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatörün içinde üç fazlı bir iç arıza oluşturulmuş, A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program ters güç nedeniyle 2.09'uncu saniyede bir açma işareti vermiştir. Şekil 5.3.c'de de görüldüğü gibi aktif güç 0.09'uncu saniyeden itibaren ters güç açma sınırı olan $3P_N$ değerini aşmış ve bu durum da ters güç durumundaki zaman gecikmesi olan 2s'yi geçtiğinde açma işareti oluşturulmuştur. Açma işareti grafiği de Şekil 5.3.d'de görülmektedir. Bu arıza durumunda da röle programının başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.3 Generatörün içinde oluşturulan üç fazlı arıza durumu

Durum 3: Generatörün Şebekeyle -30° Faz Farkı ile Senkronlanması

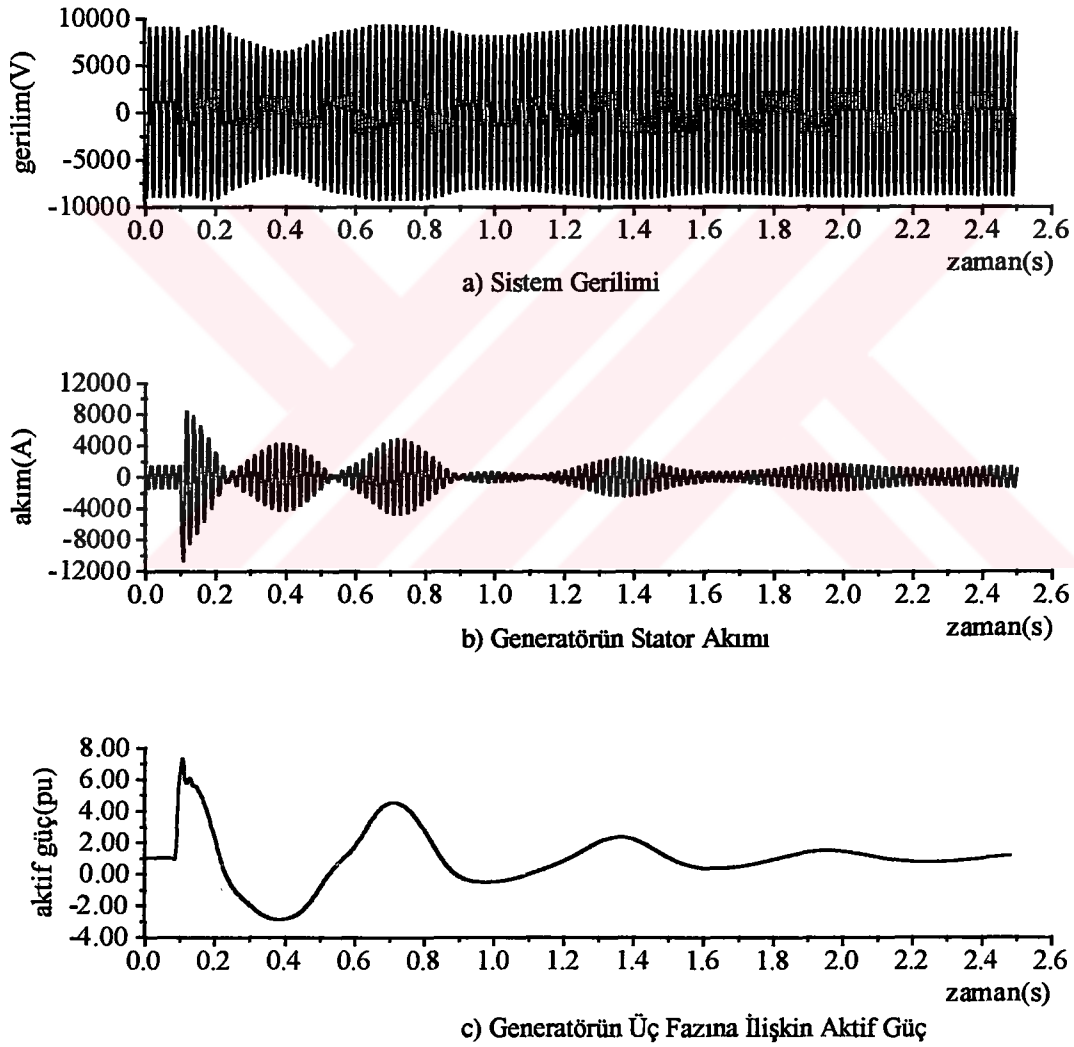
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör şebekeyle -30° faz farkı ile senkronlanmıştır. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program ters güç ve aşırı yük durumlarını sezmiş, fakat bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.4.c'de de görüldüğü gibi aktif gücün ters güç ve aşırı güç sınırını aştığı durumlar vardır. Fakat bu durumlar geçici durumlar olduğundan açmayı gerektirmez. Sonuç olarak rölenin bu arıza durumu için de başarılı olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.4 Generatörün şebeke ile -30° faz farkı ile senkronlanması durumu

Durum 4: Generatörün Şebekeyle 120° Faz Farkı ile Senkronlanması

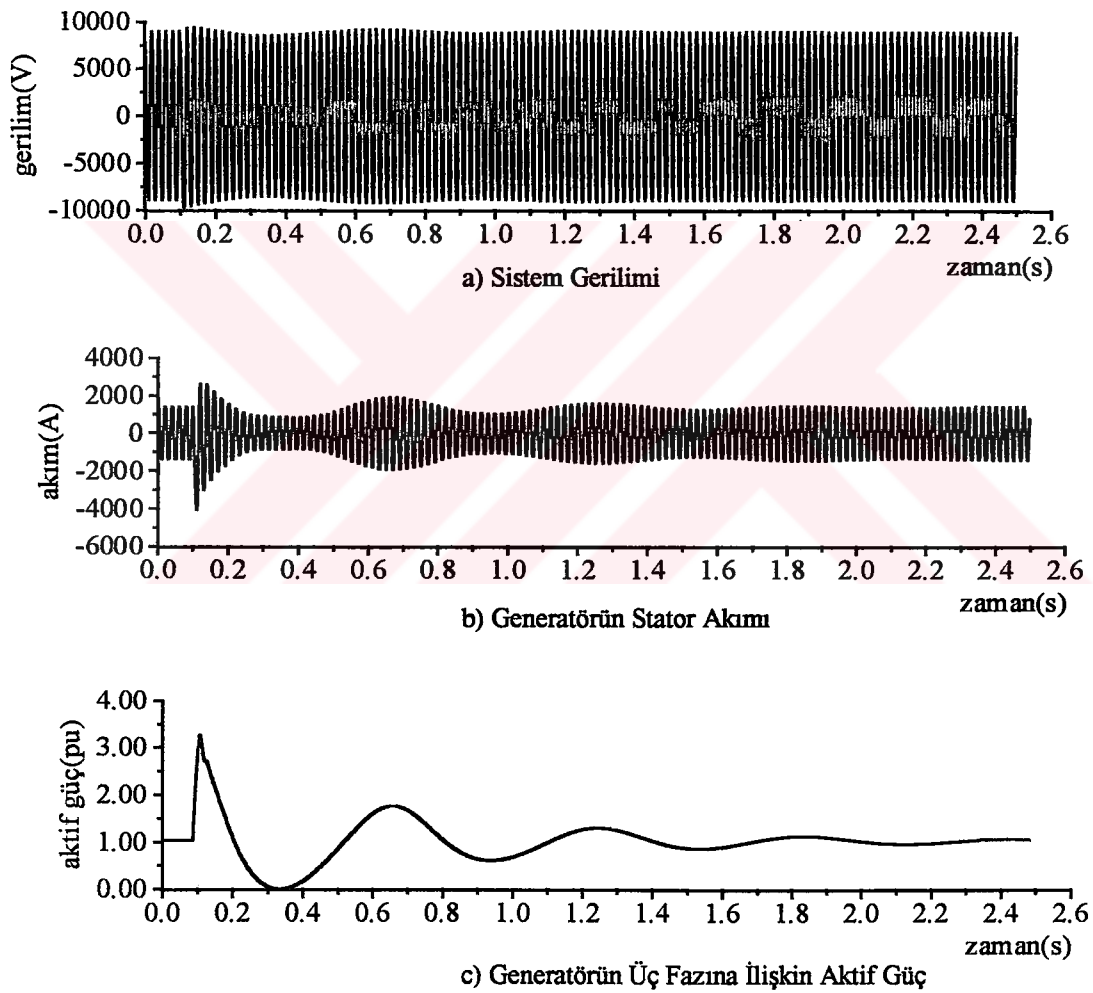
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör şebekeyle 120° faz farkı ile senkronlanmıştır. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program yine ters güç ve aşırı yük durumlarını sezmiş, fakat bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.5.c'de de görüldüğü gibi aktif gücün ters güç ve aşırı güç sınırını aştığı durumlar vardır. Fakat bu durumlar geçici durumlar olduğundan açmayı gerektirmez. Sonuç olarak rölenin bu arıza durumu için de başarılı olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.5 Generatörün şebeke ile 120° faz farkı ile senkronlanması durumu

Durum 5: Generatörün Şebekeyle 30° Faz Farkı ile Senkronlanması

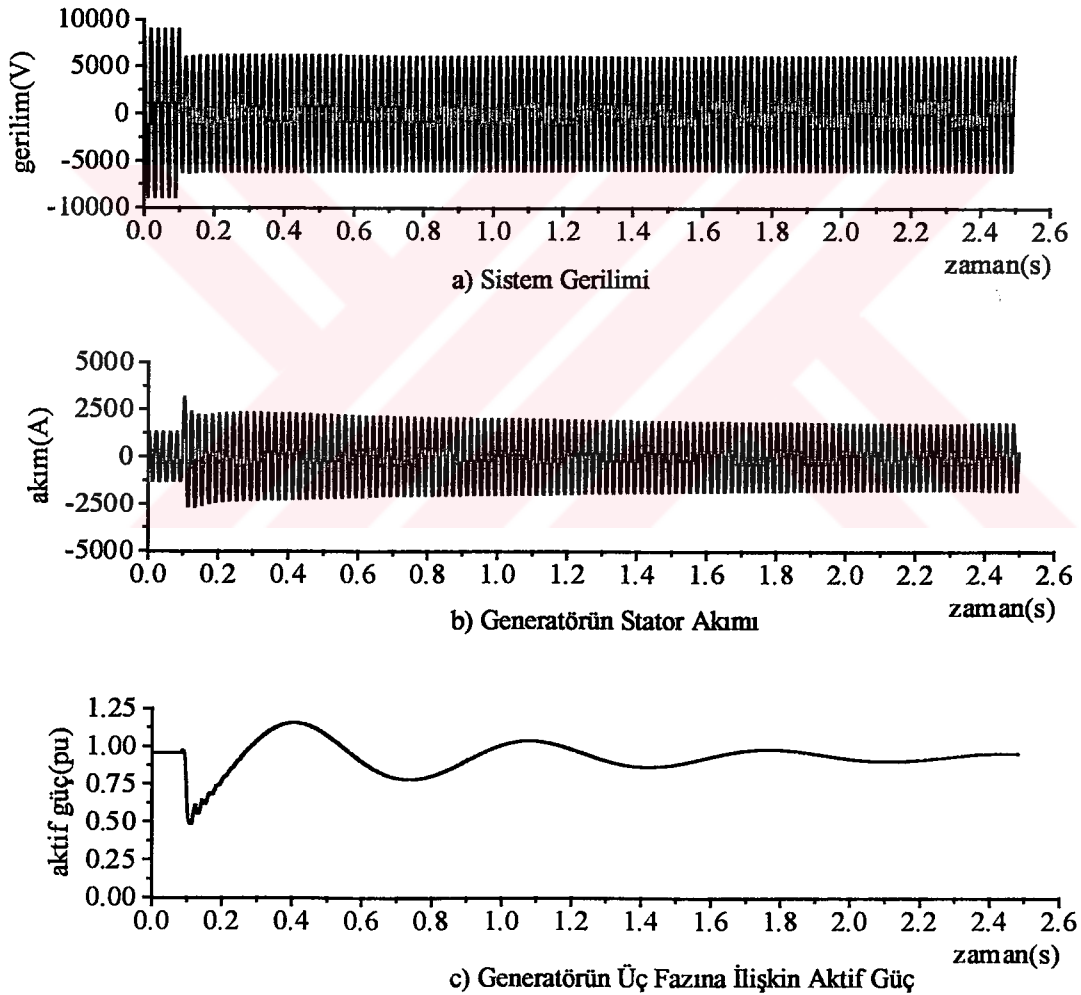
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör şebekeyle 30° faz farkı ile senkronlanmıştır. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program aşırı yük durumunu sezmiş, fakat bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.6.c'de de görüldüğü gibi aktif güç 3 pu'nun üzerine çıkmıştır. Fakat bu durum geçici olduğu için açma işareti oluşturmaması röle programının bu arıza durumu için de başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.6 Generatörün şebeke ile 30° faz farkı ile senkronlanması durumunda

Durum 6: Generatörün Dışında Oluşturulan İki Faz Toprak Kısa Devresi

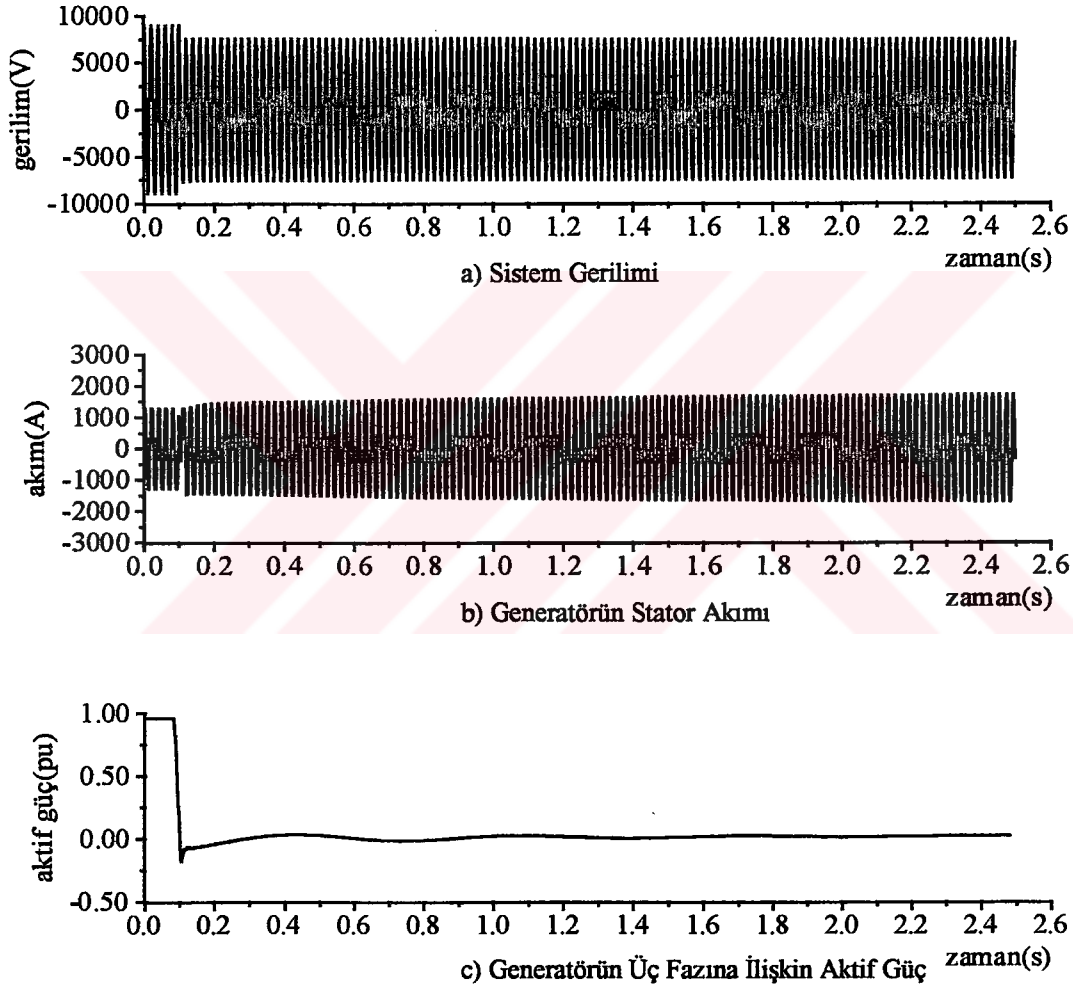
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör dışında iki faz toprak kısa devresi oluşturulmuştur. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program aşırı yük durumunu sezmiş, fakat bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.7.c'de de görüldüğü gibi aktif güç 1.1pu'nun üzerine çıkmış, fakat aşırı güç açma karakteristiğindeki sürelerden daha kısa sürdüğünden programın açma işareti üretmemesi normaldir. Sonuç olarak röle programı bu arıza durumu için de başarılıdır.



Şekil 5.7 Generatörün dışında oluşturulan iki faz toprak kısa devresi durumu

Durum 7: Generatörün İçinde Oluşturulan İki Faz Toprak Kısa Devresi

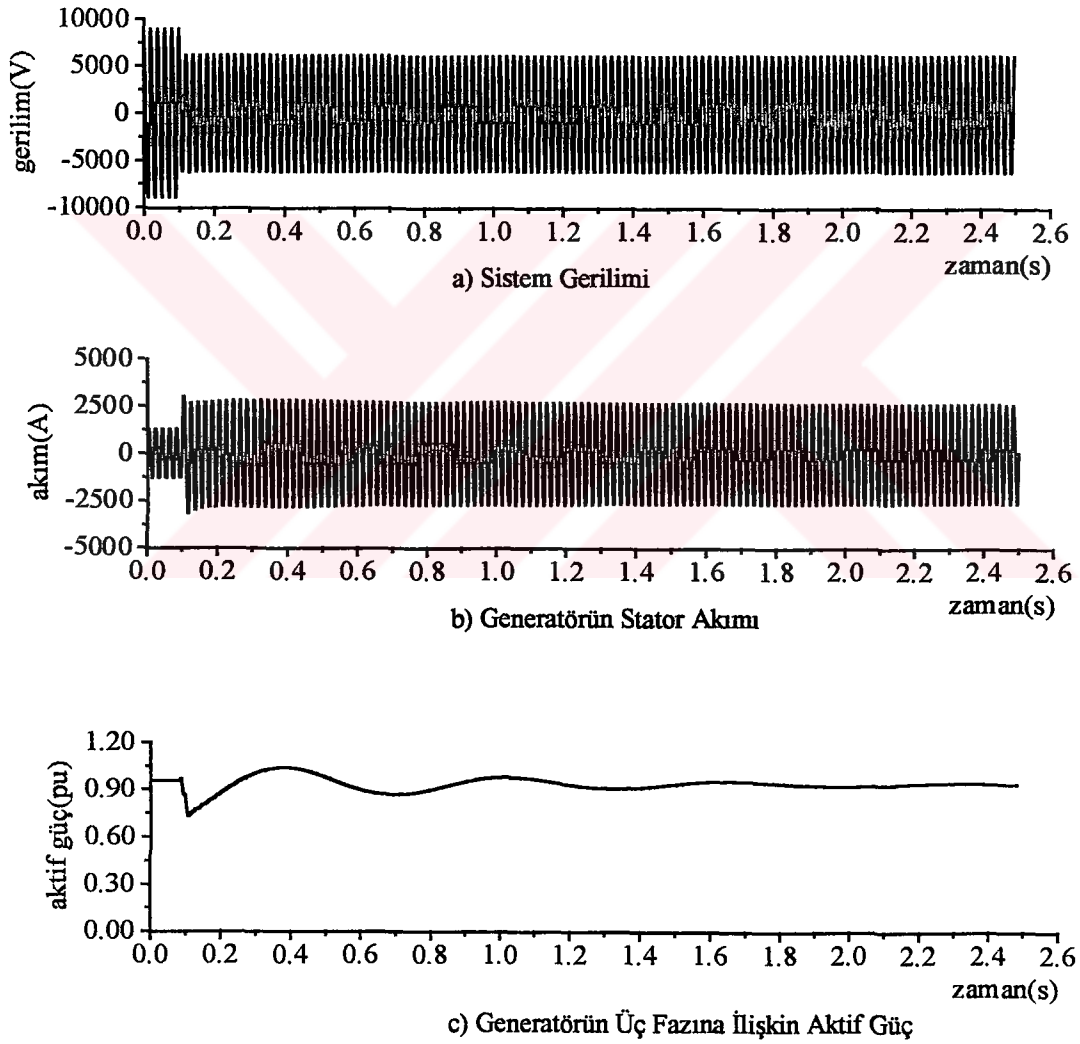
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatörün içinde iki faz toprak kısa devresi oluşturulmuştur. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program ters güç durumunu sezmiş, fakat bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.8.c'de de görüldüğü gibi oluşan ters güç açma sınırının altındadır. Bu arızada da röle programının doğru karar verdiğini görmekteyiz.



Şekil 5.8 Generatörün içinde oluşturulan iki faz toprak kısa devresi durumu

Durum 8: Generatörün Dışında Oluşturulan Faz Toprak Kısa Devresi

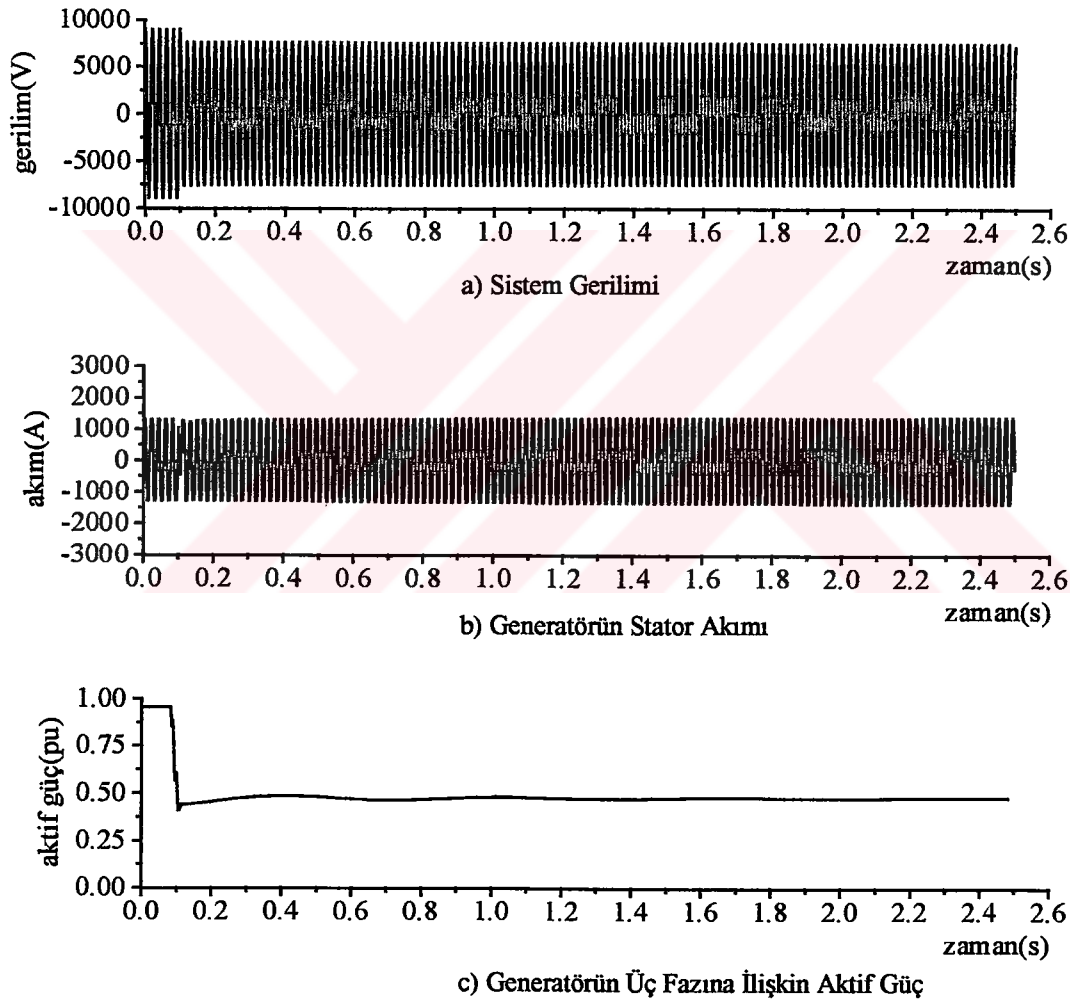
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatörün dışında faz toprak kısa devresi oluşturulmuştur. Bu durumda A noktasından alınan değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program aşırı yük veya ters güç nedeniyle bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.9.c'de de görüldüğü aktif güç ne ters güç sınırını ne de aşırı güç sınırını aşmaktadır. Bu nedenle röle programının açma işareti oluşturmaması başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.9 Generatörün dışında oluşturulan faz toprak kısa devresi durumu

Durum 9: Generatörün İçinde Oluşturulan Faz Toprak Kısa Devresi

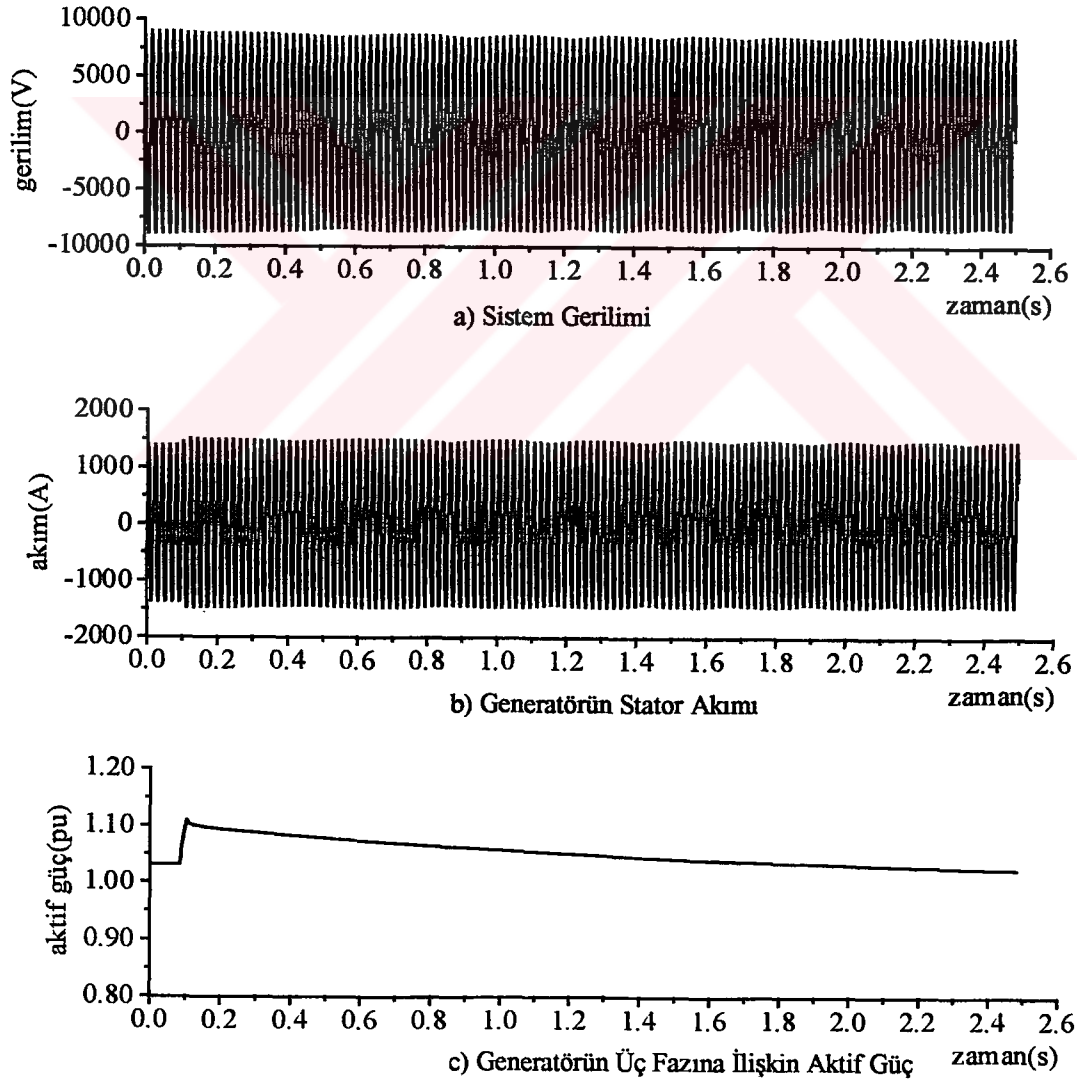
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatörün içinde faz toprak kısa devresi oluşturulmuştur. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program aşırı yük veya ters güç nedeniyle bir açma işareti oluşturmamıştır. Şekil 5.10.c'de de görüldüğü aktif güç ne ters güç sınırını ne de aşırı güç sınırını aşmaktadır. Bu nedenle röle programının açma işareti oluşturmaması başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.10 Generatörün içinde oluşturulan faz toprak kısa devresi durumu

Durum 10: Generatörün Anma Gücünün %10 Fazlasıyla Yüklenmesi

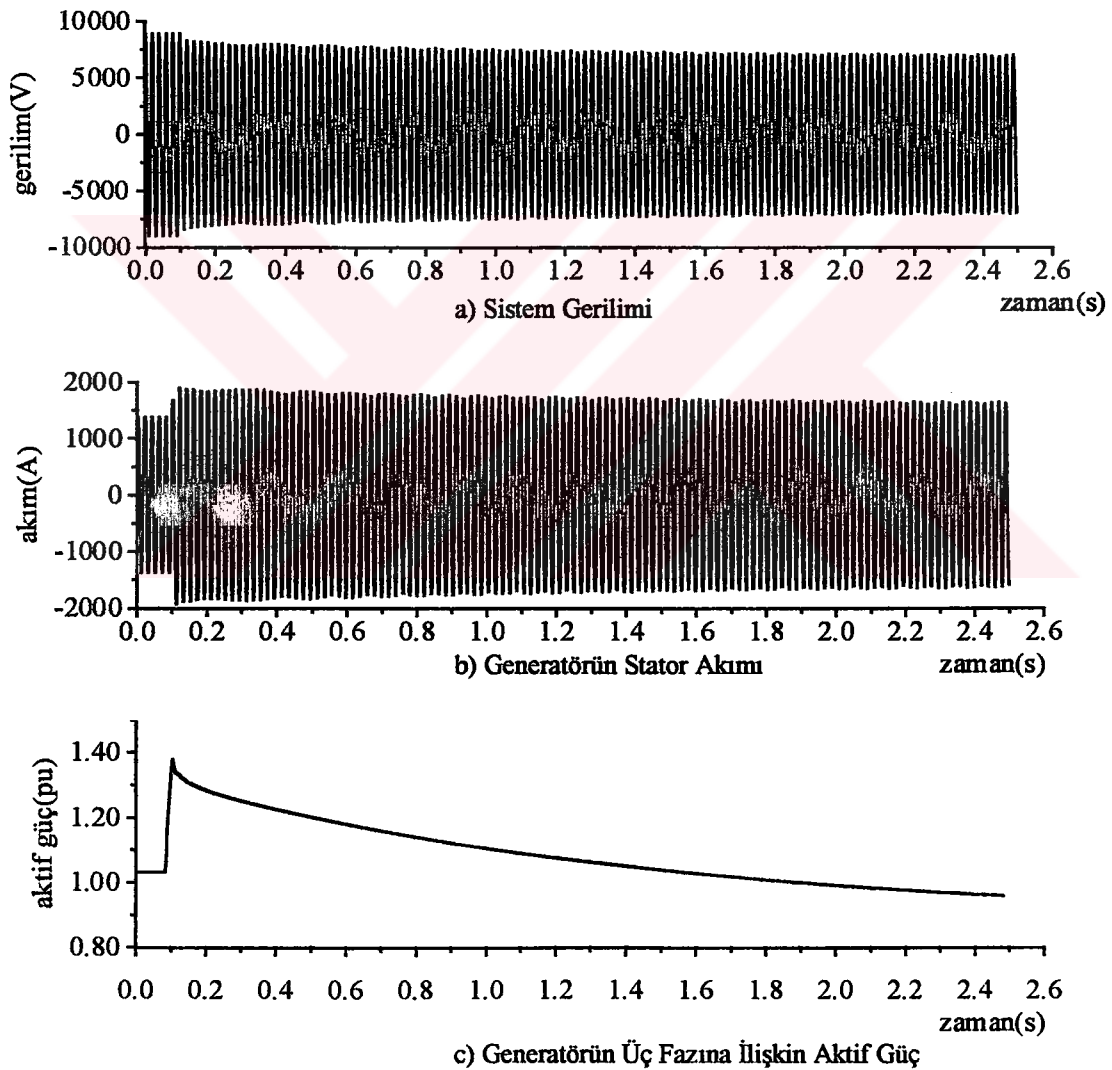
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör anma gücünün %10'u kadar fazla yüklenmiştir. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program aşırı yükü sezmiş, fakat bir açma işareti oluşturmamıştır. EMTP programında tahrik sisteminin verdiği güç sabit olduğundan generatörden çekilen güç artırıldığında generatörün ürettiği güç kısa bir süre artıp tekrar azalmaktadır. Şekil 5.11.c'de de 1.1pu'nun üzerine çok kısa bir süreliğine çıktığından açması beklenemezdi. Bu nedenle röle programının açma işareti oluşturmaması başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.11 Generatörün anma gücünün %10 fazlasıyla yüklenmesi durumu

Durum 11: Generatörün Anma Gücünün %50 Fazlasıyla Yüklenmesi

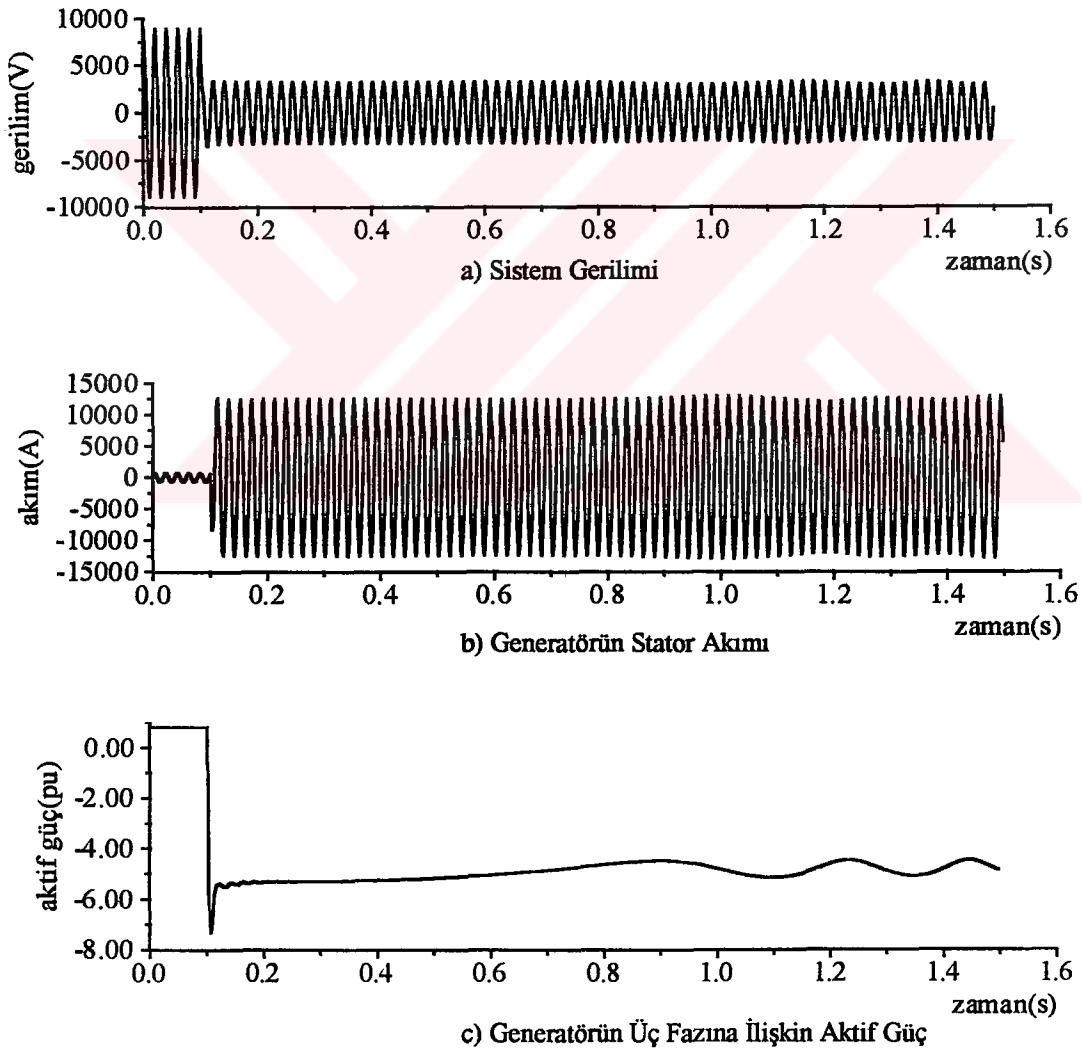
Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör anma gücünün %50'si kadar fazla yüklenmiştir. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program aşırı yükü sezmiş, fakat bir açma işareti oluşturamamıştır. Şekil 5.12.c'de de görüldüğü gibi aktif güç 1.1pu'nun üzerindeki değerler içinde aşırı güç açma karakteristiğindeki süreler oluşmadığından aşırı güç nedeniyle açması beklenemezdi. Bu nedenle röle programının açma işareti oluşturamaması başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.12 Generatörün anma gücünün %50 fazlasıyla yüklenmesi durumu

Durum 12: Generatörde Bir Direnç Üzerinden Oluşturulan Üç Fazlı İç Arıza

Bu çalışmada EMTP programı ile Şekil 5.1'deki sistemin simülasyonunda generatör tarafında direnç üzerinden üç fazlı bir arıza oluşturulmuştur. Bu durumda A noktasından alınan arıza değerleri (akım ve gerilim) kullanılarak röle programı çalıştırılmıştır. Program ters güç durumunu sezmiş, fakat bir arıza süresi kısa olduğunda bir açma oluşturmamıştır. Şekil 5.13.c'de de görüldüğü gibi aktif gücün ters güç açma sınırının çok üstünde olduğunu görüyoruz. Fakat arıza simülasyonu 1.5 s için yapıldığı için bir açma durumu sözkonusu değildir. Çünkü zaten röle programımızdaki açma gecikmesi 2 saniyedir. Röle programından açma süresini 1 saniye olarak değiştirdiğimizde program ters güç nedeniyle sonlanacaktır.



Şekil 5.13 Generatörde bir direnç üzerinden oluşturulan üç fazlı iç arıza durumu

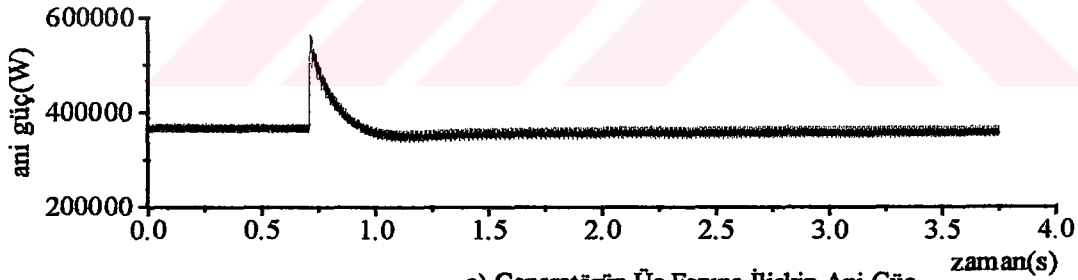
6. TASARLANAN DİJİTAL RÖLE ALGORİTMASININ GERÇEK SİSTEM VERİLERİ İLE TESTİ

Bu bölüm geliştirilen algoritmanın gerçek sistemden alınan verilerle testini kapsamaktadır. Bu testte kullanılan veriler Doç. Dr. Ömer Usta'nın doktora tez tez çalışmasından alınmıştır [12]. Kullanılan arıza verileri 3.75 saniyeliktir ve örnekleme frekansı ise 800 Hz'dir.

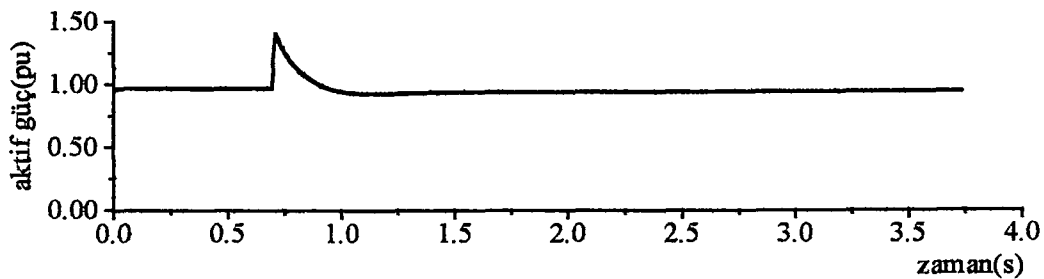
Aşağıda dört farklı arıza durumu incelenmiştir. Her arızaya ilişkin ani ve aktif güç grafikleri verilmiştir.

Durum 1: Generatörün aşırı yüklenmesi

Generatörün aşırı yüklenmesi durumuna ilişkin veriler kullanılarak yazılan program çalıştırıldığında bir açma işareti oluşmamıştır. Şekil 6.1.b'de de görüldüğü gibi bir aşırı yüklenme durumu vardır fakat açma işareti oluşturacak derecede uzun süreli olmadığı için röle algoritması doğru karar vermiştir.



a) Generatörün Üç Fazına İlişkin Ani Güç

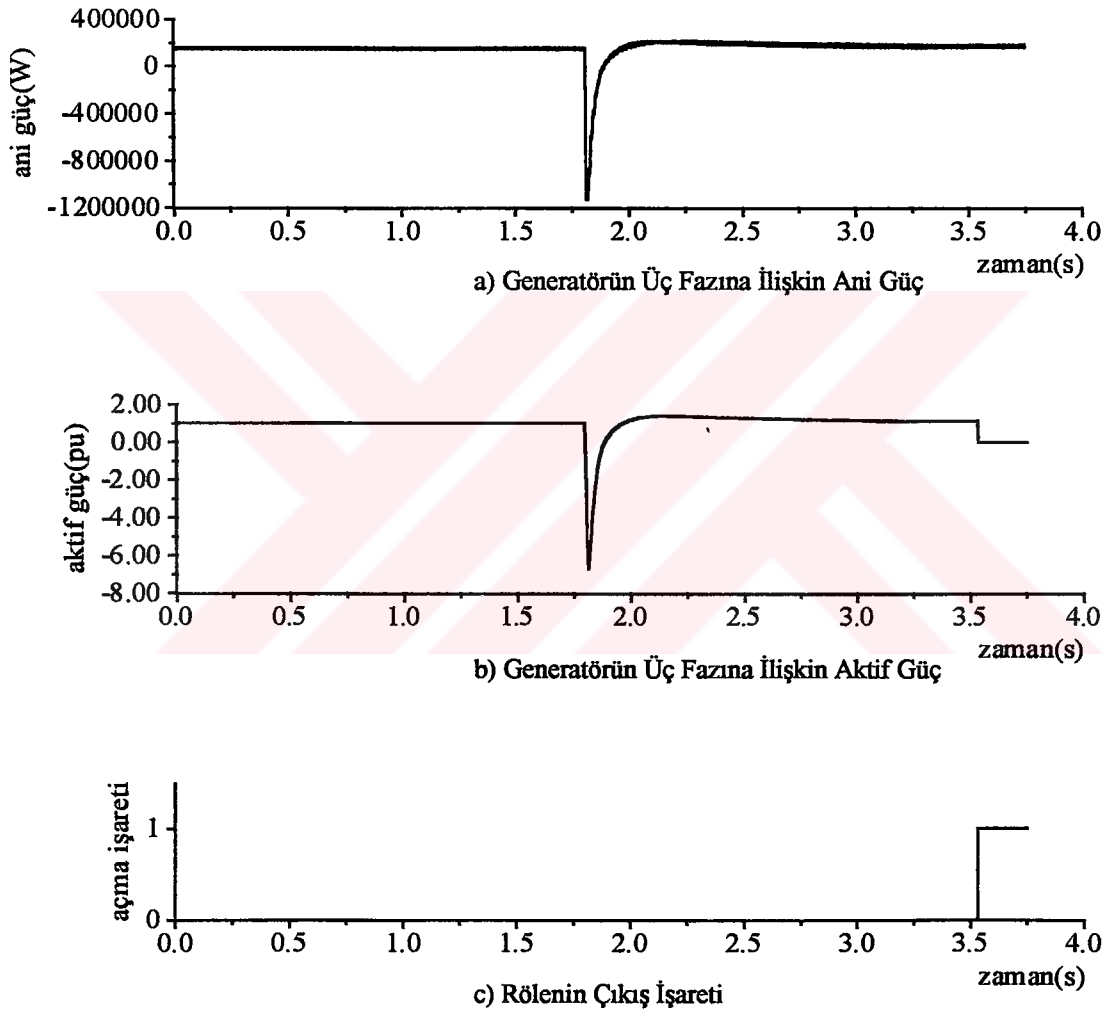


b) Generatörün Üç Fazına İlişkin Aktif Güç

Şekil 6.1 Generatörün aşırı yüklenmesi durumu

Durum 2: Generatörün şebekeye faz farkı ile paralel bağlanması

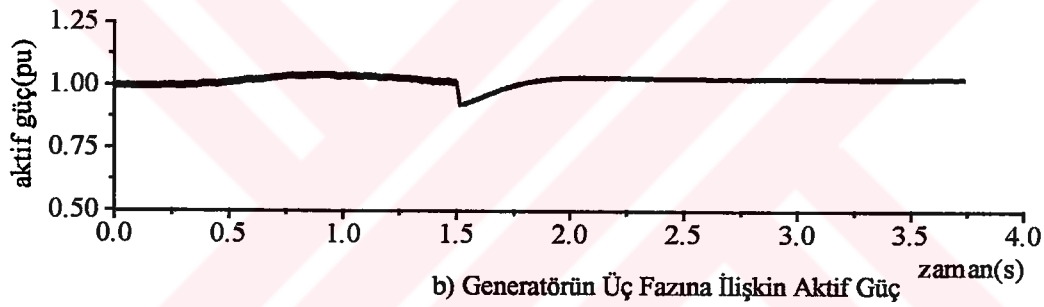
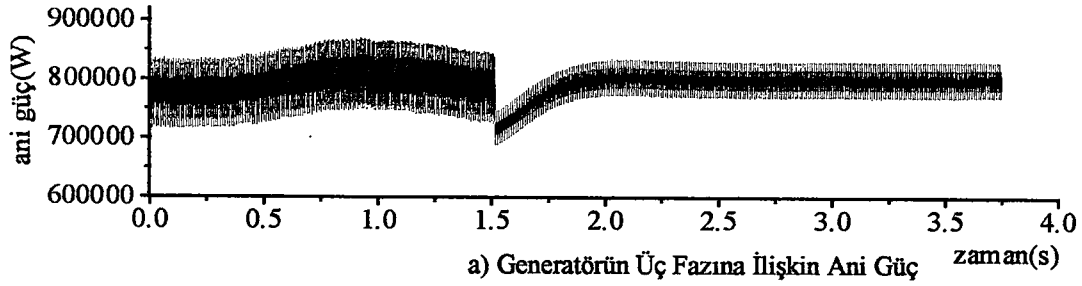
Generatörün şebekeye faz farkı ile bağlanması durumuna ilişkin verileri kullanarak röle programı çalıştırılmış aşırı yüklenmeden dolayı bir açma işareti oluşmuştur. Şekil 6.2.b’de görüldüğü gibi ani bir ters güç oluşmuş fakat kısa süreli olduğu için bir açma gerektiren bir durum yoktur. Ters güç durumundan sonra generatörden aşırı yük çekilmeye başlanmış ve aşırı yük açma karakteristiğine göre bir açma oluşmuştur.



Şekil 6.2 Generatörün faz farkı ile şebekeye paralel bağlanması durumu

Durum 3: Generatörün şebeke ile paralel çalışırken yük değişimi

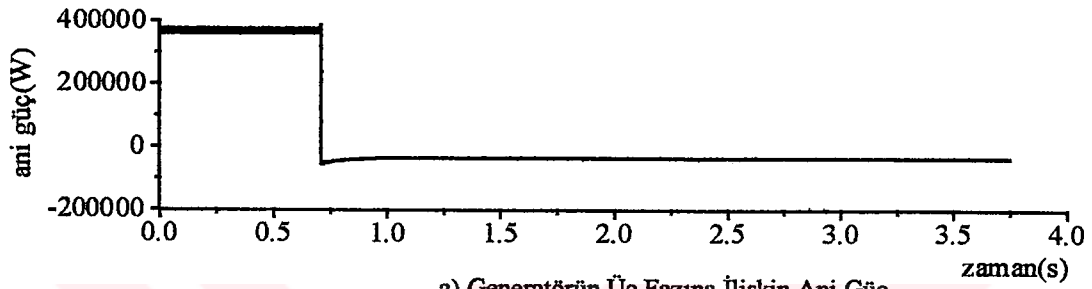
Generatörün şebeke ile paralel çalışırken yükünün değişmesi durumuna ilişkin veriler kullanılarak yazılan program çalıştırıldığında bir açma işareti oluşmamıştır. Şekil 6.3.b’de de görüldüğü gibi ne aşırı yüklenme ne de ters güç durumu söz konusudur. Bu yüzden rölenin kararı doğrudur.



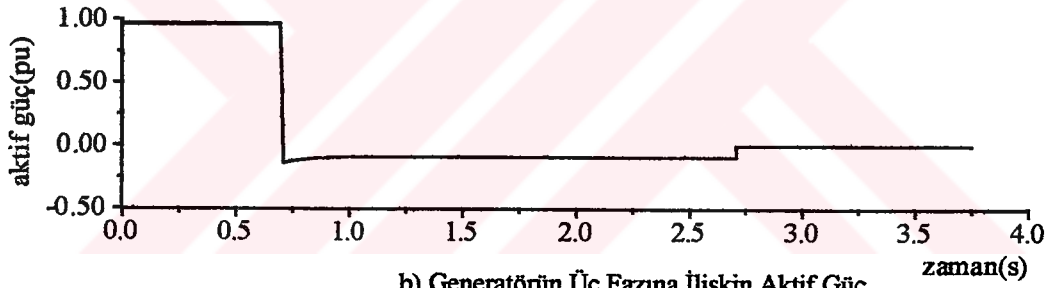
Şekil 6.3 Generatör şebeke ile paralel çalışırken yük değişimi durumu

Durum 4: Generatörün içinde oluşturulan üç fazlı arıza

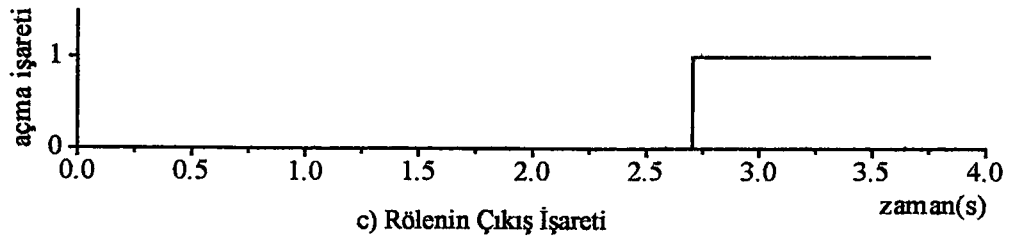
Generatörün içinde oluşturulan üç fazlı arıza durumuna ilişkin veriler kullanılarak yazılan program çalıştırıldığında ters güç nedeniyle bir açma işareti oluşmuştur. Şekil 6.4.b'de de görüldüğü 0.7'inci saniyede oluşan ters güç ters güç açma sınırının hayli üzerindedir ve 2s'den uzun sürdüğü için 2.2'inci saniyede bir açma işareti oluşmuştur.



a) Generatörün Üç Fazına İlişkin Ani Güç



b) Generatörün Üç Fazına İlişkin Aktif Güç



c) Rölenin Çıkış İşareti

Şekil 6.4 Generatörün içinde oluşturulan üç fazlı arıza durumu

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, generatörlerin tahrik sistemlerini motor olarak çalışmaya karşı koruyan bir dijital röle algoritması tasarlanmıştır. Bu algoritmanın içerisine daha çok özel generatör üniteleri için kullanılan olan generatörlerden aşırı güç çekilmesi durumunda bunu farkedene ve ona göre bir çıkış işareti üreten bir koruma algoritması eklenmiştir.

Tasarlanan bu algoritma iki koruma fonksiyonu içerdiği için aynı zamanda çok fonksiyonlu dijital koruma algoritmaları konusunda bir uygulama niteliği taşımaktadır. Bu çalışma aynı zamanda generatör koruması konusunda gerçekleştirilmesi düşünülen çok fonksiyonlu dijital rölenin bir parçasını oluşturmaktadır.

Geliştirilen algoritmada kullanılan aktif güç hesap yöntemi diğer güç hesap yöntemlerine göre çok daha basit olduğundan çok fonksiyonlu röle tasarımına imkan verecektir. Çünkü röle hesaplamaları iki örnek arasındaki süre zarfında bitirmek zorundadır. Bu yüzden basit hesap yöntemlerinin kullanılması iki örnek arasında daha çok işlem yapılmasına imkan verecek ve böylece röle daha çok fonksiyonlu olarak tasarlanabilecektir.

Yeni geliştirilen algoritma önce EMTP programında simule edilmiş arıza verileri kullanılarak test edilmiştir. Test işlemi C dilinde yazılan röle programı ile yapılmıştır. Test sonuçlarında ters güç ve aşırı güç durumlarında program açma işareti vererek sonlanmış, arıza olmadığı durumlarda ise kararlı kalmıştır. Daha sonra algoritma gerçek sistemden alınan veriler kullanılarak test edilmiş ve röle algoritmasının motor çalışma ve aşırı yüklenme durumlarını algıladığı ve şartlar sağlandığında açma işareti verdiği görülmüştür.

Bundan sonra geliştirilen bu algoritma bir röle donanımına yerleştirilip gerçek sistemden alınmış veriler üzerinde gerçek zaman(online) test çalışmaları yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **The English Electric Company Limited**, "Protective Relays Application Guide", 1985
- [2] **Clark, H.K., Feltes, J.W.**, "Industrial and Cogeneration Protection Problems Requiring Simulation", *IEEE Transaction on Industrial Applications*, Vol.25, No.4, pp. 766-775, July/August 1989
- [3] **IEEE Power System Relaying Committee**, "IEEE Guide for AC Generator Protection", 1987
- [4] **IEEE Commite Report**, "Survey of Experience With Generator Protection and Prospects For Improvements Using Digital Computers", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol.3, No.4, pp.1511-1520, October 1988
- [5] **Basha, A.M., Jayachandran, J.**, "PC based Comprehensive Relaying Scheme for Generator-Transformer Unit", *Computers Elect. Engng.*, Vol.21, No.2,107-117, 1995
- [6] **Bonwick, W.J.**, "Fast Measurement of Real and Reactive Power in Three Phase Circuits", *IEE Proceedings-A*, Vol.139, No.2, pp. 51,59 March 1992
- [7] **Kezunovic, M.**, "New Approach to Design of Digital Algorithms for Electrical Power Measurements", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol.6, No.2, pp.516-523, April 1991
- [8] **Yalla, M.V.V.S.**, "A Digital Multifunction Protective Relay", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol.7, No.1, pp.193-201, January 1992
- [9] **Phadke, A.G.**, "Computer Relaying for Power System", Research Studies Press Ltd., 1988
- [10] **Malik, O.P., Katsar, O.P. Voloshko, A.V.**, "An Approach to Design of Digital Algorithms for Measuring Power Consumption Characteristics", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol.10, No.2, pp.607-612, April 1995
- [11] **Siemens AG**, "Numerical Overcurrent Time Protection and Thermal Overload Relay", 1995
- [12] **Usta, Ö.**, "A Power Based Digital Algorithm for The Protection of Embedded Generators", *PhD Thesis*, University of Bath, England, 1993

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim KARAŞ, 1976 yılında İzmir'in Bergama ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini İzmir Namık Kemal Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümüne girdi. 1998 yılında mezun oldu ve aynı bölümde yüksek lisans programına başladı. Kasım 1998'den beri İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilimdalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

