

# ASENKRON MAKİNALARIN ASİMETRİK ARIZALARA KARŞI KORUNMASI

ÖMER USTA

KORALP SAYMAN

MEHMET BAYRAK

İstanbul Teknik Üniversitesi

usta@ieec.org

Sakarya Üniversitesi

*Anahtar sözcükler: Asenkron motor, Asimetrik arıza, Dengesiz güç.*

## ÖZET

Bu bildiriye, asenkron makinelerin asimetrik arızalara ve aşırı dengesiz koşullara karşı korunması ele alınmıştır. Şimdiye kadar bu tip arızalara karşı koruma sağlamak için genellikle Negatif Bileşen Aşırı Akım Rölesi kullanılmaktadır. Burada, daha önce geliştirilip Senkron generatörlerin korunmasında başarılı sonuçlar veren Dengesiz Güç Bileşeni Koruma Algoritmasının Asenkron motorları korumadaki performansı analiz edilmiştir. Bilgisayar simülasyon sonuçları; yeni koruma algoritmasının asenkron motorları asimetrik arızalara ve aşırı dengesizliklere karşı korumada başarılı olduğunu göstermektedir.

## 1. GİRİŞ

Asenkron motorlar sanayide en çok kullanılan elektrik makineleridir ve endüstriyel yüklerin yaklaşık %80 ini oluştururlar. Bunlar kW lar mertebesinde MW lar mertebesine kadar aralıklarda çeşitli güçlerde olabilirler. Bu yüzden bu makinelerin koruma sistemleri de güçlerine, uygulama alanlarına ve yapılarına göre bazı farklılıklar gösterirler. Ancak genel olarak motorların aşağıdaki arıza ve anormal koşullara karşı korunmaları gereklidir[1].

- Stator sargı arızaları
- Aşırı yüklenme
- Aşırı dengesizlik ve asimetrik arızalar
- Düşük/Aşırı gerilim
- Düşük/Aşırı frekans
- Yük kaybı
- Faz kaybı ve faz sırası dönmesi
- Rotor kilitlenmesi
- Yolalamama

Bu arıza ve normal olamayan koşulların herbiri asenkron makineler için son derece tehlikelidir ve yeterli ve hızlı bir koruma yapılmaması durumunda motor hemen hemen kesinlikle zarar görecektir. Bulardan, aşırı dengesizlik ve asimetrik arızalara karşı motorun korunması belkide öncelikle ele alınması gereken koruma konularının başında gelir. Çünkü motorun içinde veya dışındaki bir nedenden dolayı oluşacak dengesizlik makina sargılarında ve rotor gövdesinde negatif bileşen akımlarının akmasına neden olacaktır. Bunun sonucu statorun ve rotorun

aşırı ısınması belkide stator sargılarının yanması, rotor çubuklarının ve yatakların bozulması [2] oluşacaktır.

Kaynak gerilimindeki %1 lik bir dengesizlik motor akımında %6 lık dengesizliğe, %5 lik bir gerilim dengesizliği ise, akımda %30 luk bir dengesizliğe neden olmaktadır[2,3]. Diğer yandan ANSI[3] standartlarının ifade ettiğine göre, gerilimdeki % 3.5 lik dengesizlik motor sıcaklığının %25 artmasına yol açmaktadır. Bu nedenden dolayı; motor akımındaki %15 dengesizlik durumunda alarm verilmesi ve %20 lik bir dengesizlikte ise 5-10 sn gecikmeli olarak açma (trip) işareti verilmesi önerilmektedir. Burada dengesizliğin tanımı nominal değerden sapmanın nominal değere oranı olarak yapılmaktadır.

Motor içinde oluşan ve dengesizlik yaratacak asimetrik arızalar ise, çok daha tehlikelidir. Faz-toprak, faz-faz-toprak, açık devre ve sarım kısa devresi gibi dengesizlik yaradan iç arızalar hızlı algılanmalıdır. Elektrik makinelerini asimetrik arızalara ve aşırı dengesizliğe karşı korumak için en yaygın kullanılan yöntem negatif-bileşen akımının genliğini izlemektir.

## 2. ASENKRON MAKİNALARIN AŞIRI DENGESİZLİKLERE KARŞI KORUNMASI

Elektrik makinelerini dengesiz arızalara karşı korumak için çeşitli yöntemler kullanılmasına rağmen, bu amaç için genellikle negatif bileşen aşırı akım rölesi (NBAAR) kullanılmaktadır. Negatif bileşen akımının karesinin zaman üzerinden integrali ile açığa çıkan ısıya göre açma işareti üreten rölenin açma zamanı bilinen

$$I_2^2 t = K \quad (2.1)$$

eşitliğinden bulunur. Burada  $K$  motoru üreten imalatçı firma tarafından verilmektedir. Görüldüğü üzere açma zamanı  $K$  sabiti ile doğru orantılıdır.

Uzun yıllardan beri başarı ile kullanılmasına rağmen, bu koruma rölesinin doğal olarak yavaş cevap vermesi ve arızanın yönünü belirleyememesinden dolayı bazı durumlarda (özellikle stator sargılarında oluşan arızalarda) başarısız kalmaktadır.

İç sargılarda oluşacak arızaların algılanması için akım differansiyel rölesi kullanılabilir. Ancak bu röle daha çok büyük güçlü motorlar için kullanılmaktadır ve aynı faz üzerinde oluşan kısa devreleri algılayamamaktadır. Bu nedenle elektrik makinalarını aşırı dengesizlik yaradan durumlara karşı korumak için yeni bir koruma rölesine ihtiyaç duyulmaktadır.

### 3. YENİ BİR KORUMA ALGORİTMASI

Asenkron motorun terminalinde ölçülen üç-faza ilişkin ani güç aşağıdaki gibi ifade edilebilir[4].

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (3.1)$$

Eğer üç-faza ilişkin ani akım ve gerilim değerleri bu ifadede yerine konulursa ani güç ifadesi;

$$p = P_a + P_b + P_c + P_{2c} \cos(2\omega t) + P_{2s} \sin(2\omega t) \\ = P_{av} + P_{2m} \cos(2\omega t + \beta) \quad (3.2)$$

biçiminde olur. Burada;

$$P_{2m} = P_{2s} / \sin \beta, \beta = \tan^{-1}(P_{2s} / P_{2c}) \text{ dir.}$$

Eşitlik (3.2) den görüldüğü üzere, motorun ani gücü iki bileşenden oluşmaktadır. Birincisi dc bileşen alan  $P_{av}$  ortalama güç ve ikinci bileşen ise  $2\omega$  frekansında osilasyon yapan sinüs bileşenidir. Eğer sistem tam dengeli ise, sinüs bileşeni sıfır olur ve motorun tükettiği güç aktif (ortalama) güce eşit olur.

$$P_{av} = 3VI \cos \varphi \quad (3.3)$$

Diğer yandan motora ilişkin ani güç; simetri bileşenler cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir[4,5,6].

$$p = P^+ + P^- + P^0 - 3V^+ I^- \cos(2\omega t + \alpha^+ + \beta^-) \\ - 3V^- I^+ \cos(2\omega t + \alpha^- + \beta^+) - 3V^0 I^0 \cos(2\omega t + \alpha^0 + \beta^0) \quad (3.4)$$

Bu eşitlikten de anlaşılacağı gibi, motorun ani gücü ortalama gücü oluşturan dc bileşen ( $P^+ + P^- + P^0$ ) ve sinüs bileşeninden oluşmaktadır. Ancak buradan anlaşılacağı gibi sinüs bileşeni üç farklı kısımdan meydana gelmektedir ve pozitif, negatif ile sıfır bileşen gerilim ve akımlarından oluşturulmuştur. Buda  $2\omega$  frekanslı sinüsoidal osilasyonların dengesizlik durumunda ortaya çıktığı ve tam dengeli bir sistemde yok oldukları açıkça göstermektedir. Yine bu ifadeden anlaşılacağı gibi, ani güçteki sinüzoidal osilasyonların genliği sistemin dengesizlik derecesini belirlemektedir. DC güç bileşeni üzerine binmiş olan sinüsoidal osilasyonların genliği DFT (Discrete Fourier Transformu) kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir[4].

$$P_u = P_{2m} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} p(n) e^{-j4\pi n / N} \quad (3.5)$$

Burada  $N$  bir periyod boyunca alınan örnek sayısını,  $n$  de örnekleme anını göstermektedir.

Sinüzoidal osilasyonların genliği  $P_u$  sistemin dengesizlik derecesi ile orantılıdır ve sistemin tam dengeli olması durumunda sıfır olacaktır. Bu durumda ölçülen güç dc bileşeni yani ortalama güç olacaktır. Bu yüzden  $P_u$  dengesizlik durumunda ortaya çıktığı için gücün dengesiz bileşeni yada dengesiz güç olarak adlandırılabilir[4,5].

Dengesiz güç bileşeninin varlığı; asenkron motorun dengesiz bir yüklenme veya dengesiz bir arıza altında olduğunu gösterir. Ancak bu dengesizliğin nereden kaynaklandığı, motorun içinden mi yoksa motorun beslendiği dış devreden mi kaynaklandığı, negatif bilşen reaktif gücün yönünden anlaşılabilir[4,5]. Bu gücün kaynağı dengesizliğin olduğu nokta olduğu için,

$$Q^- = \frac{3}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v^-(n-90^\circ) i^-(n) \quad (3.6)$$

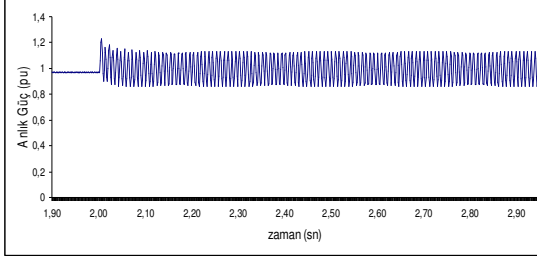
gücünün işareti arızanın motorun içinde mi dışında mı olduğunu belirlemeye yarar.

### 4. BİLGİSAYAR SİMÜLYON ÇALIŞMALARI

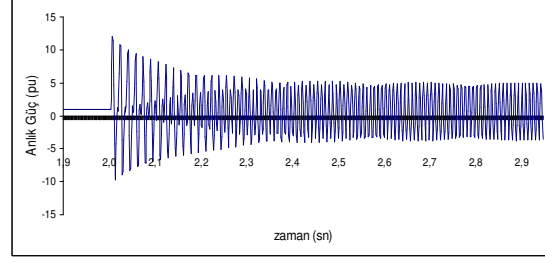
EMTP simülasyon programı kullanılarak 10 kW lık bir motorun içinde ve beslendiği devrede çeşitli arızalar yaratarak yeni geliştirilen algoritmanın performansı analizi yapılmıştır. Asimetrik arıza ve aşırı dengesizlik durumlarını temsil eden akım ve gerilimin örneklenmiş değerleri algoritmaya uygulanarak yeni koruma rölesinin arızalar sırasındaki performansı incelenmiştir.

Şekil-1 de motor faz sargılarının birinde oluşan sarım kısa devresine koruma sisteminin verdiği cevap görülmektedir. Şekil-1a da görüldüğü üzere, motorun ani gücünde osilasyonların başladığı an arızanın başladığı anı göstermektedir. Şekil-1b de aynı anda Dengesiz güç bileşeninin var olmaya başladığı andır. Şekil-1c de Negatif Bileşen Reaktif Gücün negatif olması arızanın içerde ve yönünün de motordan şebekeye doğru olduğunu söylemektedir. Yeni koruma rölesi bu arızayı 20 ms içinde algılayıp açma işareti vermektedir.

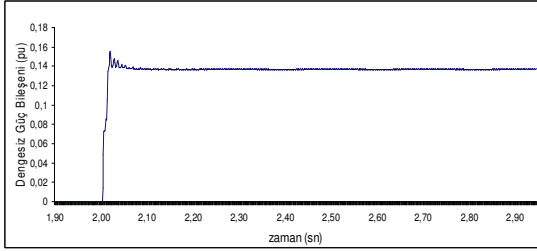
Şekil-2 de ise, motorun içinde oluşan faz-gövde (toprak) kısa devre arızası durumunda rölenin davranışını göstermektedir. Şekil-2 b de görülen bileşenin genliğinden arızanın ciddi bir arıza olduğunu ve Şekil-2c den ise arızanın motorun içinde olduğu anlaşılacaktır. Yeni koruma sistemi söz konusu arızayı 20 ms içinde algılayıp açma işareti üretmektedir.



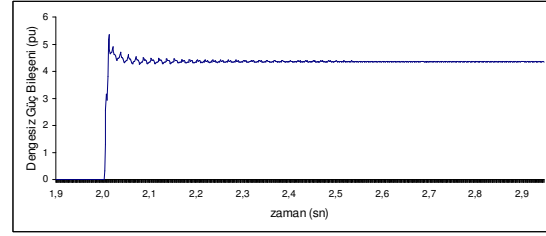
(a) Motorun Ani Gücü



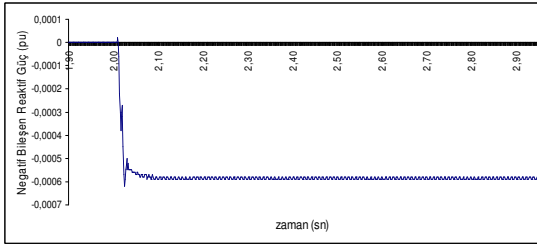
(a) Motorun Ani Gücü



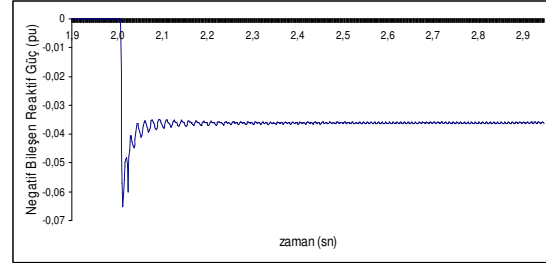
(b) Dengesiz Güç Bileşeni



(b) Dengesiz Güç Bileşeni



© Negatif Bileşen Reaktif Güç



© Negatif Bileşen Reaktif Güç

Şekil-1 Motorun a Fazı Sargısı Üzerinde Oluşan Sarım Kısa Devre Arızası Durumu.

Şekil-2 Motorun İçinde Oluşan Faz-Gövde Kısa Devre Arızası Durumu.

Motorun dışında oluşabilecek bir faz-toprak arızası durumu ise Şekil-3 de görülmektedir. Dengesiz güç bileşeninin varlığı bir dengesiz arızanın olduğunu göstermektedir. Şekil-3c de görüldüğü üzere Negatif Bileşen Reaktif Gücün işareti ise arızanın motoru besleyen devrede olduğunu göstermektedir. Arızanın dışarıda olmasından dolayı arızayı algılamakla sorumlu röle motor koruma rölesi olamaz. Ancak motor koruma sistemi (yeni röle) böyle bir arıza için Negatif Bileşen Aşırı Akım Rölesinin yaptığı korumayı yani yedek korumayı sağlayabilir. Bunu sağlayabilmek için Dengesiz Güç Bileşeni doğrudan kullanmak yerine zaman üzerinden integrali kullanılmıştır. Şekil-3b de görüldüğü üzere integralin çıkışı açma seviyesine yaklaşık olarak 4.1 sn de ulaşacaktır. Bu çalışmalarda ( $K = 10$  dış arızalar için) olarak alınmıştır.  $K$  nın değerinin düşürülmesi ile rölenin daha erken açması sağlanabilir.

Rölenin motoru besleyen üç-fazdan birinin kesilmesi durumunda rölenin nasıl davranacağı ayrı bir önem içermektedir. Çünkü bu durum motorlar için son derece sakıncalı bir durumdur ve mutlaka algılanmalı idi. Bu senaryo ve rölenin cevabı Şekil-4 de görülmektedir. Röle bu olayı algılayarak 9.1 sn de motor kesicisine açma işareti göndermektedir.

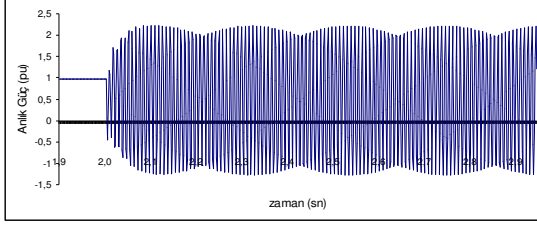
Son olarak dış devrede oluşan bir gerilim dengesizliğine yeni koruma sisteminin cevabı Şekil-5 de verilmiştir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere, dış devrede asimetrik bir arıza olmadığı, gerilim dengesizliği olduğu, bunun röle tarafından algılandığı ve rölenin yaklaşık 60sn sonra motoru devreden çıkardığı anlaşılmaktadır.

## 5. SONUÇ

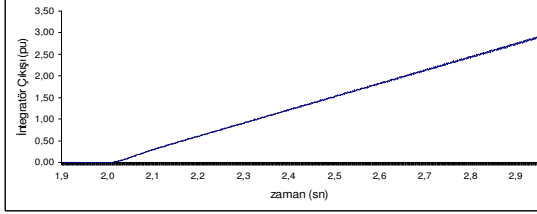
Bu makalede, daha önce geliştirilen ve generatörlerin korunmasında iyi bir performans gösteren koruma algoritmasının, sanayide çok kullanılan asenkron motorların korunmasında nasıl davrandığı analiz edilmiştir.

Başlangıçta tasarlandığı gibi, röle asimetrik arızaları ve aşırı dengesizlikleri algılamakta, ve dengesizliğin kaynağının motorun içinde mi yoksa bağlı olduğu dış devrede mi olduğunu belirlemektedir. Röle iç arızalarda çok hızlı cevap verirken dış arızalar için beklenildiği gibi yedek koruma yapmaktadır.

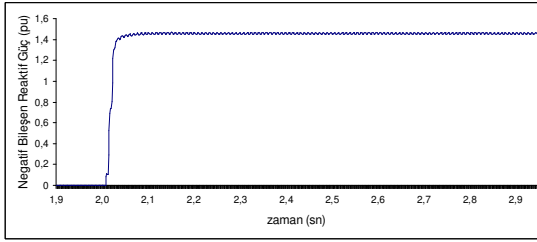
Yeni rölenin diğer bir üstünlüğüde diğer koruma sistemleri tarafından algılanamayan aynı faz üzerinde oluşan sarım kısa devre arızalarını algılamasıdır.



(a) Motorun Ani Gücü

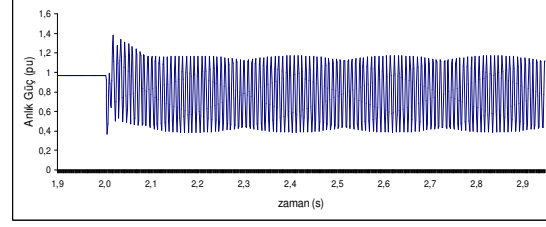


(b) Dengesiz Güç Bileşeninin Zaman Üzerinden İntegrali



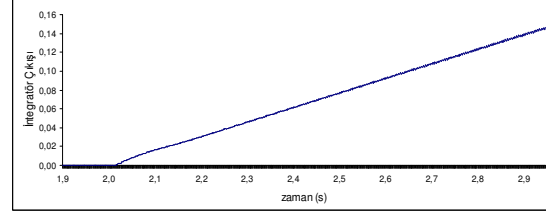
© Negatif Bileşen Reaktif Güç

Şekil-3 Faz-Toprak Dış Arıza Durumu

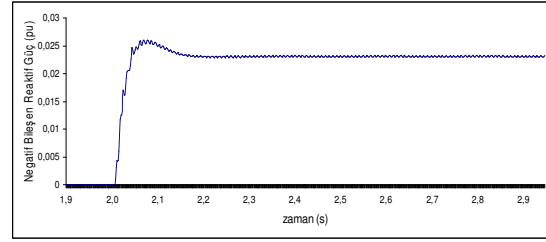


(a) Motorun Ani Gücü

(b)

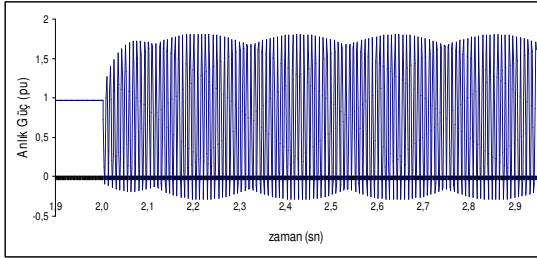


(c) Dengesiz Güç Bileşeninin Zaman Üzerinden İntegrali

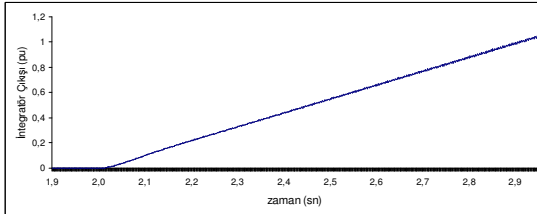


© Negatif Bileşen Reaktif Güç

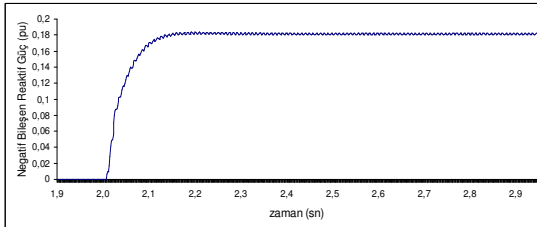
Şekil-5 Motorun Beslendiği Devrede Oluşan Gerilim Dengesizliği Durumu



(a) Motorun Ani Gücü



(b) Dengesiz Güç Bileşeninin Zaman Üzerinden İntegrali



© Negatif Bileşen Reaktif Güç

Şekil-4 Fazlardan Birinin Gitmesi Durumu

## KAYNAKLAR

- [1] J Robinson and C D Whelan, " Trends in Advanced Motor Protection and Monitoring", IEEE IA Vol.40, No.3, pp.853-860, May/June 2004.
- [2] G J Paoletti and A Rose," Improving Existing Motor Protection for Medium Voltage Motor", IEEE IA Vol.25, No.3, pp.853-860, May/June 1989.
- [3] A Maitra and C Melhorn," Automatic Detection of Voltage Unbalanced Conditions", ANSI, USA 2000..
- [4] Ö. Usta and M. Bayrak, " A New Power Based Digital Algorithm for Generator Protection", IEEE Power Engineering Review No.2, pp.49-53, February 2000.
- [5] M Bayrak "Generatörler için Yeni bir Dijital Koruma Algoritması", PhD Thesis, ITU, Istanbul Kasım 2000.
- [6] K Sayman, "A New Digital Relaying Method for Induction Motor Protection", MSc Thesis, ITU, Istanbul May 2005.