

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE ASENKRON MOTORLARA YOL VERİLMESİ SONUCU OLUŞAN KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞÜMLERİ

Ahmet Serdar Yılmaz, Ertan Yanıkoğlu, Zafer Demir

Özet- Enerji kalitesi incelemelerinde gerilim değişimleri önemli bir yer tutmaktadır. Kısa devreler ve motora yol verme iki önemli düşü sebebidir. Bunlardan ilki ikincisinden daha şiddetli ve kısa süreli düşmeye yol açmaktadır. İkincisi ise daha sığ fakat daha uzun süreli gerilim düşmelerine yol açmaktadır. Bu makalede motora yol verilmesi sonucu oluşan gerilim düşümleri dikkate alınmaktadır. Sanayi tesislerindeki orta gerilimde çalışan büyük asenkron motorlara doğrudan yol verilmektedir. Böylece meydana gelen gerilim düşümünün süresi kısa devre kaynaklı düşmelere göre daha uzun olmaktadır. Ayrıca bu olay ortak kaynaktan beslenen diğer yükleri ve motorları da etkilemektedir.

Anahtar kelimeler- Gerilim düşümleri, Dağıtım sistemleri.

Abstract- Voltage variations have an important role in power quality investigations. Short circuit faults and motor starting are the two main causes of voltage sags. The first one can cause more severe and shorter voltage sags than second one. The motor starting produces shallow sags but of longer duration. In this paper, voltage sags due to motor starting are considered. Medium voltage large induction motors are started directly in industrial plants. So sag duration can be longer than sags due to short circuits. This event also affects other loads and motors that are supplied with common source.

Key words- Voltage sags, Distribution systems.

I. GİRİŞ

Kısa süreli gerilim düşümleri, gerilimin efektif değerinde meydana gelen ve çeşitli sebeplere dayanan bir takım azalmalar olarak tanımlanmaktadır. En çok karşılaşılan iki sebep mevcuttur; Kısa devre arızaları ve büyük güçlü yüklerin yada motorların devreye alınması [1]. Bunun yanı sıra gerilim düşümünü karakterize etmek üzere iki önemli öge bulunmaktadır. Bunlar genlik ve süre kavramlarıdır [2]. Özellikle meydana gelen gerilim düşümünün tanımını yaparken bu iki öge önem kazanmaktadır. Buna göre meydana gelen gerilim düşümünün nominal genliğin %10'u ile %90'ı arasında olması ve bu olayın 0.5 periyot ile 1 dakika arasında sürmesi gerekmektedir. Aksi takdirde başka bir tanıma göre adlandırılır.

Motorlara yol verilmesi sonucu oluşan gerilim düşümü analizlerini iki kısım altında derlemek mümkündür. İlk olarak yol alan tüm sistem üzerinde meydana gelen gerilim azalması ve bunun yayılımı, ikinci olarak ise sistemde faal durumda olan yüklerin ve motorların bu durumdan etkilenmesi şeklinde iki başlık altında incelenebilir. Asenkron motorlar sabit güç yükü özelliği göstermektedirler. Bir motora direkt olarak yol verildiğinde ilk anda nominal akımının 6-8 katı arasında akım çeker. Bu sırada meydana gelen gerilim düşümünün % 15'i geçmemesi gerekir. Gerilim %85'den daha aşağıya indiği takdirde, motorun yol alma işlemi başarısız olur [3].

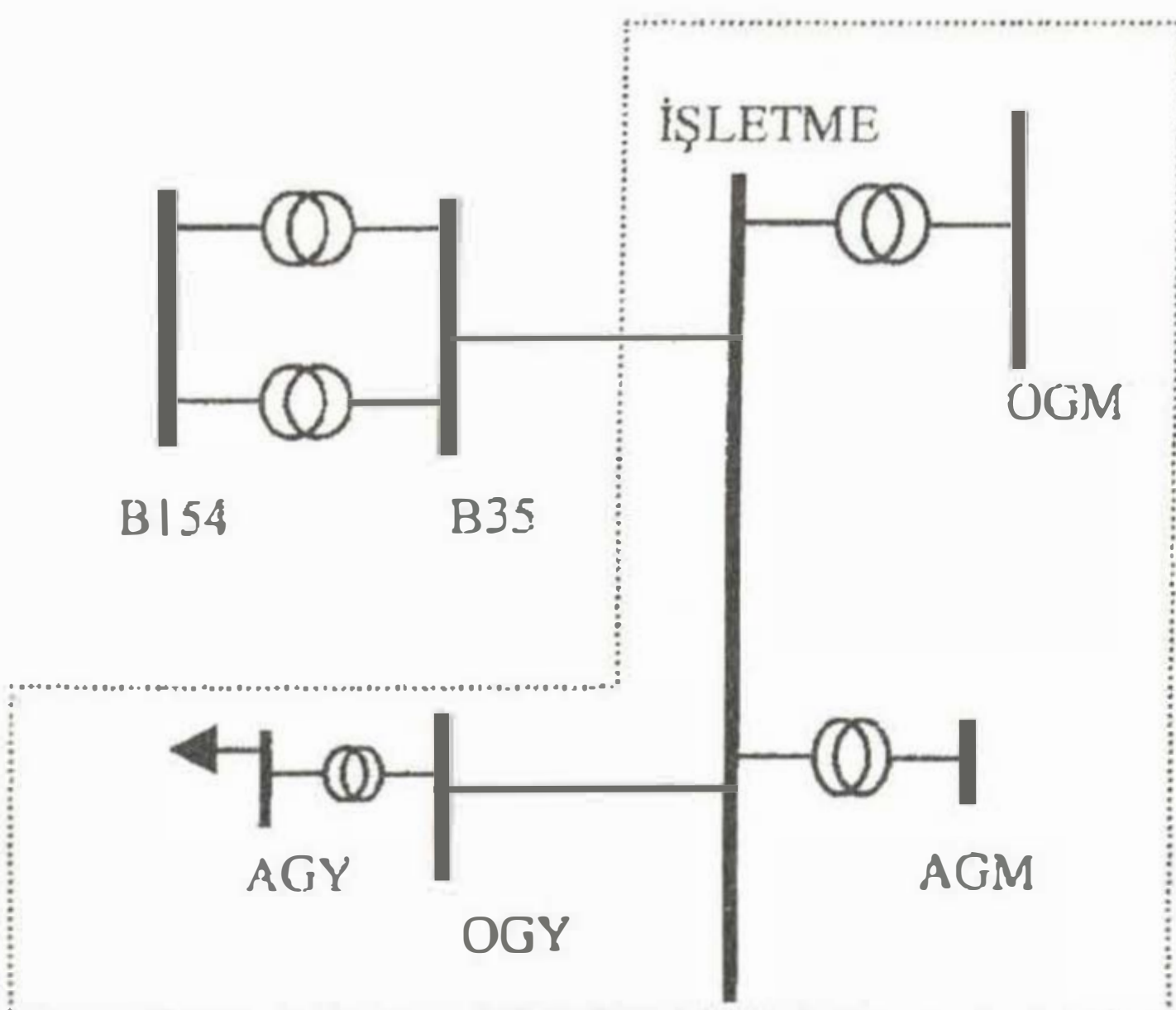
Asenkron motorlara yol verilmesi sırasında aynı ve komşu fiderlerden beslenen yükler ve diğer asenkron motorlarda olumsuz yönde etkilenmektedirler. Gerilimde yaşanan azalma sonucu yüklerin karakteristiğine bağlı olarak kayıplar yaşanırken, diğer motorlarda daha farklı değişimler yaşanır. Diğer motorlarda gerilimdeki azalmaya bağlı olarak yüksek reaktif akım çekme, yavaşlama ve moment değişimleri ile karşılaşılır. Bu makalede esas olarak incelenen konu, orta gerilimde

büyük güçlü bir asenkron motorun yol alması sırasında aynı sistem içerisindeki diğer asenkron motorların bundan etkilenmelerinin ortaya konulmasıdır. Yapılan bilgisayar benzetimlerinde bir sanayi tesisindeki orta gerilim (3.3 kV) motorlarının yol alması ve bundan hem aynı gerilimdeki ve hem de 380 V alçak gerilim motorlarının etkilenmeleri incelenmiştir.

II. ENDÜSTRİYEL DAĞITIM ŞEBEKELERİ

Dağıtım sistemlerinde iki tür karakteristik yük tipi bulunmaktadır. Endüstriyel yükler ve yerleşim merkezlerinin oluşturduğu yükler. Yerleşim merkezlerinden kastedilen köyler, kentler ve metropollerdir. Endüstriyel karakteristik yükler ise fabrikalar, ağır sanayi tesisleri gibi çok büyük güç seviyelerinde ve farklı karakteristikleri olan yüklerdir. Endüstriyel yükler endüktif olup, reaktif gücün gerilimle değişimi yönünden oldukça hassas ve güç faktörü daha düşüktür. Yaklaşık güç faktörü 0.85 civarındadır. Ark fırınları, orta ve alçak gerilim asenkron motorları endüstriyel yükleri oluştururlar. Yerleşim merkezleri ise elektriksel olarak endüktifliği az olan yaklaşık olarak 0.9 ve 0.99 arasında güç faktörüne sahip yüklerdir. Aydınlatma, elektrikli ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemleri ise bu tür yüklerin önemli bir kısmını oluştururlar [4].

Günümüzde petrokimya tesisleri, rafineriler, metalurji tesisleri, kimya ve kağıt sanayi gibi örnekleri bulunan endüstriyel yüklerin beslemesi 34.5 kV ve 154 kV'luk dağıtım trafo merkezlerinden sağlanmaktadır. Özellikle rafineriler ve ark fırınları gibi fabrikalar 154 kV'luk hat üzerinden enterkonnekte şebekeye bağlanıp, tesis girişinde uygun gerilime (11 kV–34.5 kV) indirilirler. Bu tür fabrikalar şebeke üzerinde yüksek oranda gerilim değişmelerine yol açtığından diğer yüklerin etkilenmeyeceği şekilde şebekeden beslenmektedirler. Daha az güce sahip fabrikalar ise 34.5 kV'luk OG dağıtım şebekesine bağlanmaktadır.



Şekil.1 Örnek Sistemin Tek Hat Şeması

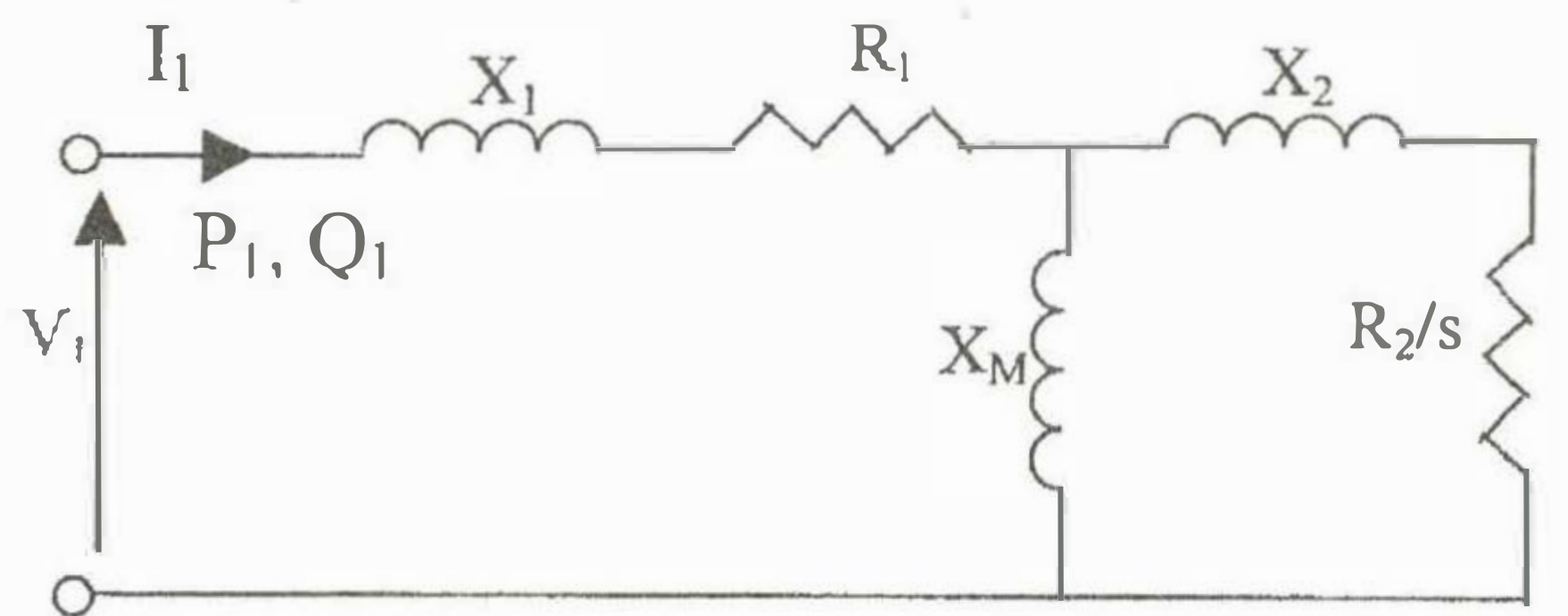
Bu makalede incelenen ve Şekil.1'de tek hat diyagramı verilen örnek sistem 154/34.5 kV'luk trafo üzerinden şebekeye bağlanmakta ve 11 kV'a düşürülerek fabrika girişine uygulanmaktadır. B154 barası, salınım barası olarak seçilmiştir. Şekil 1'den de görüleceği gibi yapılan analizlerde aynı tesis içerisindeki yüklerin yol alma olayından etkilenmesi sunulmuştur.

Bu örnek sistem İŞLETME ve OGY barası 34.5 kV, OGM barası 3.45 kV ve AGM ile AGY baraları ise 0.4 kV anma gerilimindedir. OGM barasında 7 adet 1.5 MVA anma gücünde motor çalışır durumda bulunmaktadır. Motorlar %80 yükte çalışmaktadırlar. AGM barasına bağlı olan 400 V'luk motorlar 8 adet olup herbiri 100 kW anma gücüne sahiptir. İki tanesi %80, diğerleri ise %70 oranında yüklenmektedirler. AGY barasındaki sabit empedans yükü ise $S=2.1+j1.8$ MVA anma değerindedir. Motorlar ve diğer elemanlara ait karakteristik değerler EK'te verilmektedir. Yapılan benzetimde OGM barasına diğerleri ile aynı özelliklere sahip 4 motorun daha yüklenmesi gerçekleştirilmiştir. $T=0.5$ s anında devreye giren bu motorlar, meydana getirdikleri gerilim düşümü ile aynı baraya bağlandıkları OG motorlarını ve AGM barasına bağlı AG motorlarını olumsuz etkilemektedir.

III. ASENKRON MOTOR MODELİ

Asenkron motorların kullanım alanı, yükler içerisinde %60-%70 civarındadır. Son derece non-linear olup, düşük gerilimlerde devre dışı kalabilmektedir. Gerilim ve hız azaldığında yüksek oranda reaktif güç çekmektedir [5]. Gerilim düşümünü incelemelerinde kullanılan eşdeğer motor modeli Şekil.2'den görüleceği gibi sürekli hal modelidir [4,5]. Burada 1 indisi statoru, 2 indisi ise rotoru temsil etmektedir.

Burada s sembolü motorun kaymasını göstermektedir. (1)'de kaymaya ait bağlantı verilmektedir. Rotor direncinin kaymaya bağlı değişimi $R_R=R_2/s$ dönüşümü yapılarak eşdeğer direnç ve reaktanslar (2) ve (3)'teki gibi bulunur.



Şekil.2 Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi

$$s = \frac{ns - n}{ns}; \quad (1)$$

$$R_e = \frac{R_R \cdot X_M^2}{R_R^2 + (X_2 + X_M)^2} \quad (2)$$

$$X_e = \frac{R_R \cdot X_M^2 + X_2 \cdot X_M \cdot (X_2 + X_M)}{R_R^2 + (X_2 + X_M)^2} \quad (3)$$

Motorun elektriksel veya elektromagnetik momentinin rotor milindeki moment ve hızın karesine bağlı olarak değişmektedir. Buna göre motor momenti (4)'deki gibi olacaktır. m katsayısının sıfıra eşit olması sabit momentini ifade etmektedir.

$$M_E = M_T \cdot (1-s)^m = I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s \cdot \omega_0} \quad (4)$$

Burada $\omega_0=314$ (50 Hz için)'dir. Rotor akımı ise şu şekilde hesaplanır.

$$I_2 = \frac{V_1 \cdot X_M}{\sqrt{(w_1^2 + w_2^2)}} \quad (5)$$

Burada w_1 ve w_2 eşitlikleri aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$w_1 = R_1 \cdot R_R - X_1 \cdot X_2 - X_1 \cdot X_M - X_2 \cdot X_M \quad (6)$$

$$w_2 = R_1 \cdot X_2 + R_1 \cdot X_M + R_R \cdot X_1 + R_R \cdot X_M \quad (7)$$

Buna göre motorun terminallerinde ölçülecek aktif ve reaktif güç şu şekilde olacaktır.

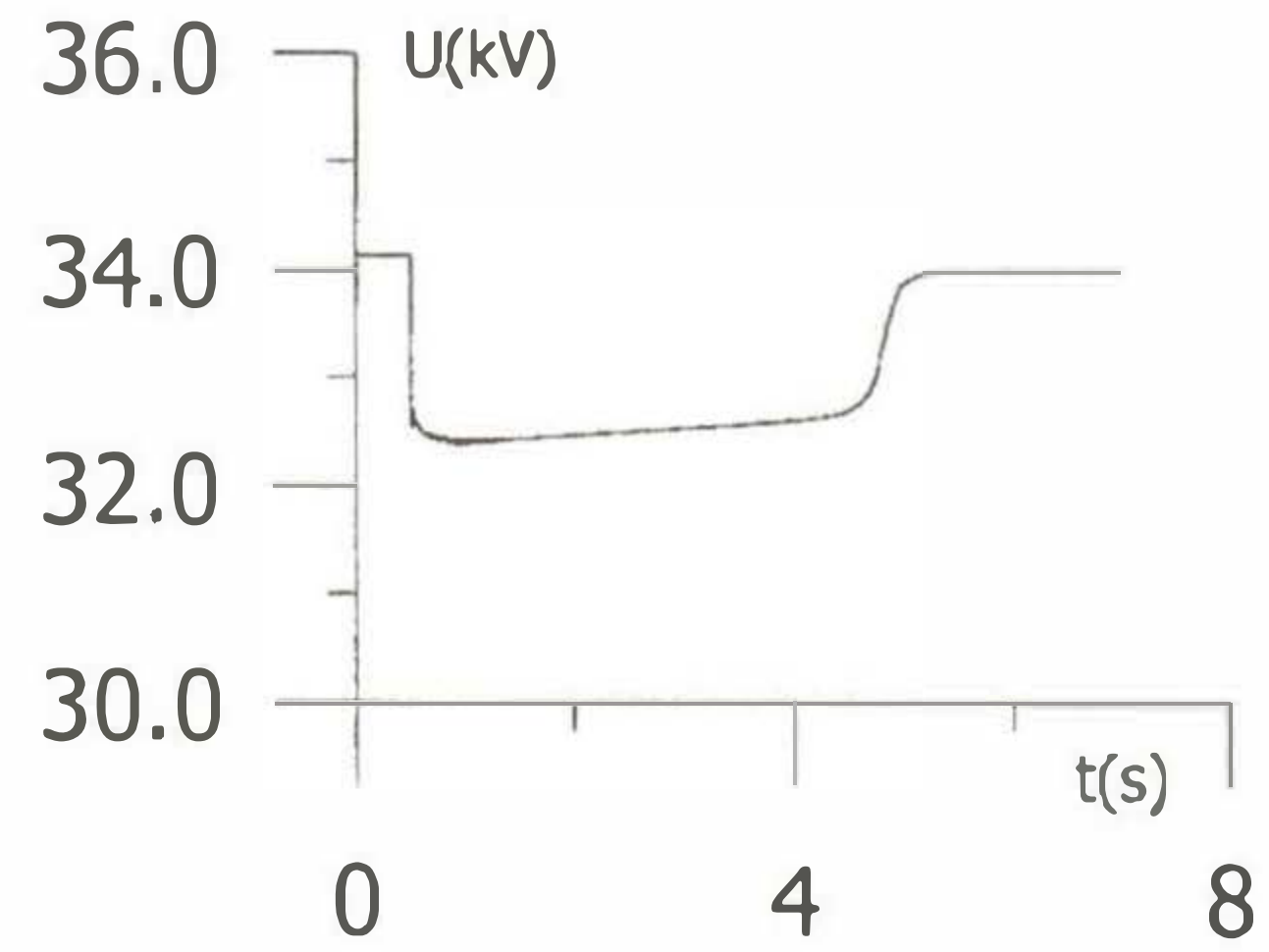
$$P_1 = \frac{R_1 + R_e}{(R_1 + R_e)^2 + (X_1 + X_e)^2} V_1^2 \quad (8)$$

$$Q_1 = \frac{X_1 + X_e}{(R_1 + R_e)^2 + (X_1 + X_e)^2} V_1^2 \quad (9)$$

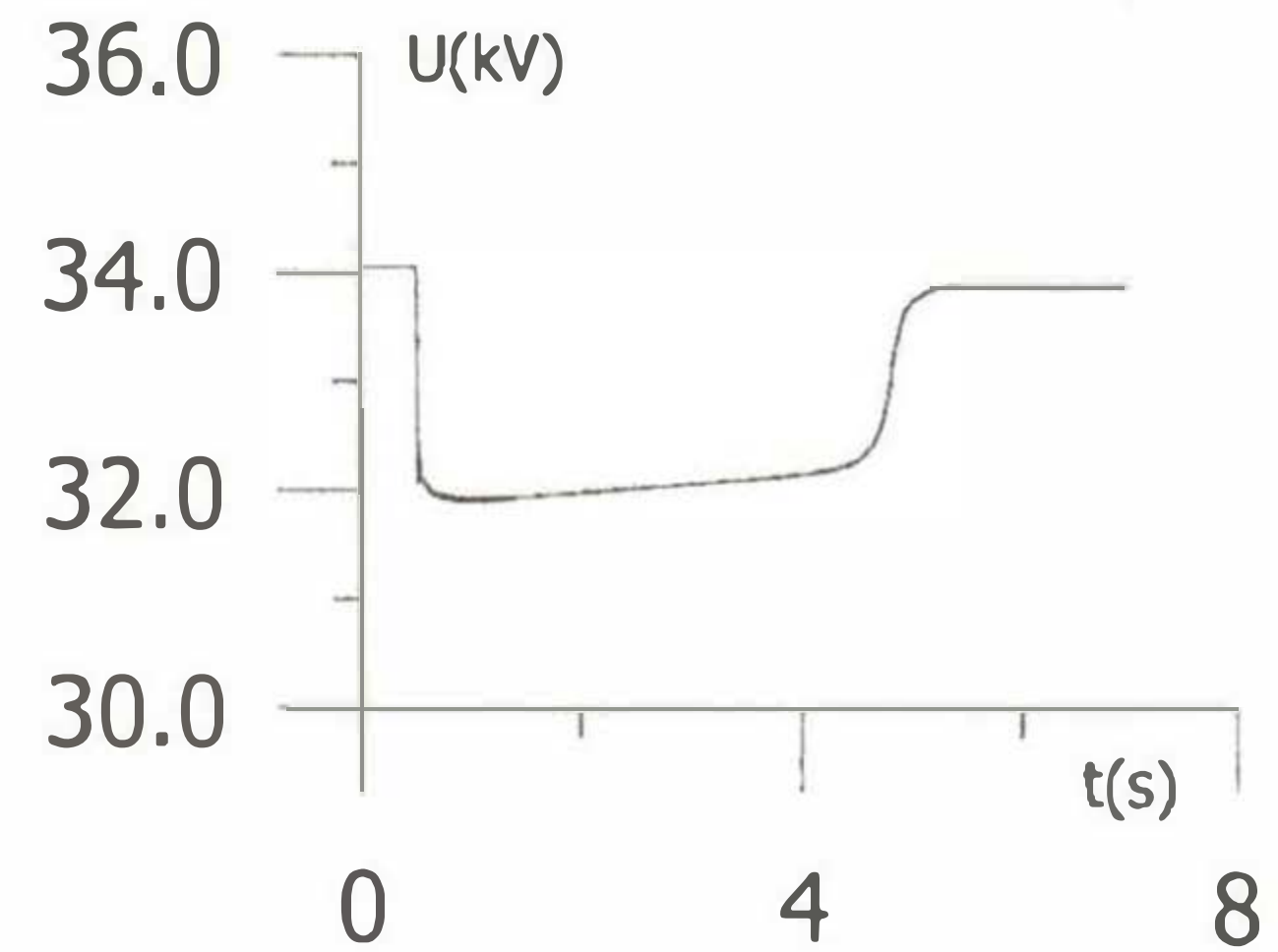
IV. ASENKRON MOTORA YOL VERİLMESİ SONUCU OLUŞAN KISA SÜRELİ GERİLİM DÜŞÜMLERİ

OG motorlarının yol alması sırasında çekilen yüksek akım kendi barasında daha fazla olmak üzere tüm baralarda gerilimde bir miktar azalmanın oluşmasına sebep olmuştur. Yol alan motorun elektromagnetik momentini, hızın karesiyle orantılı olmasından dolayı

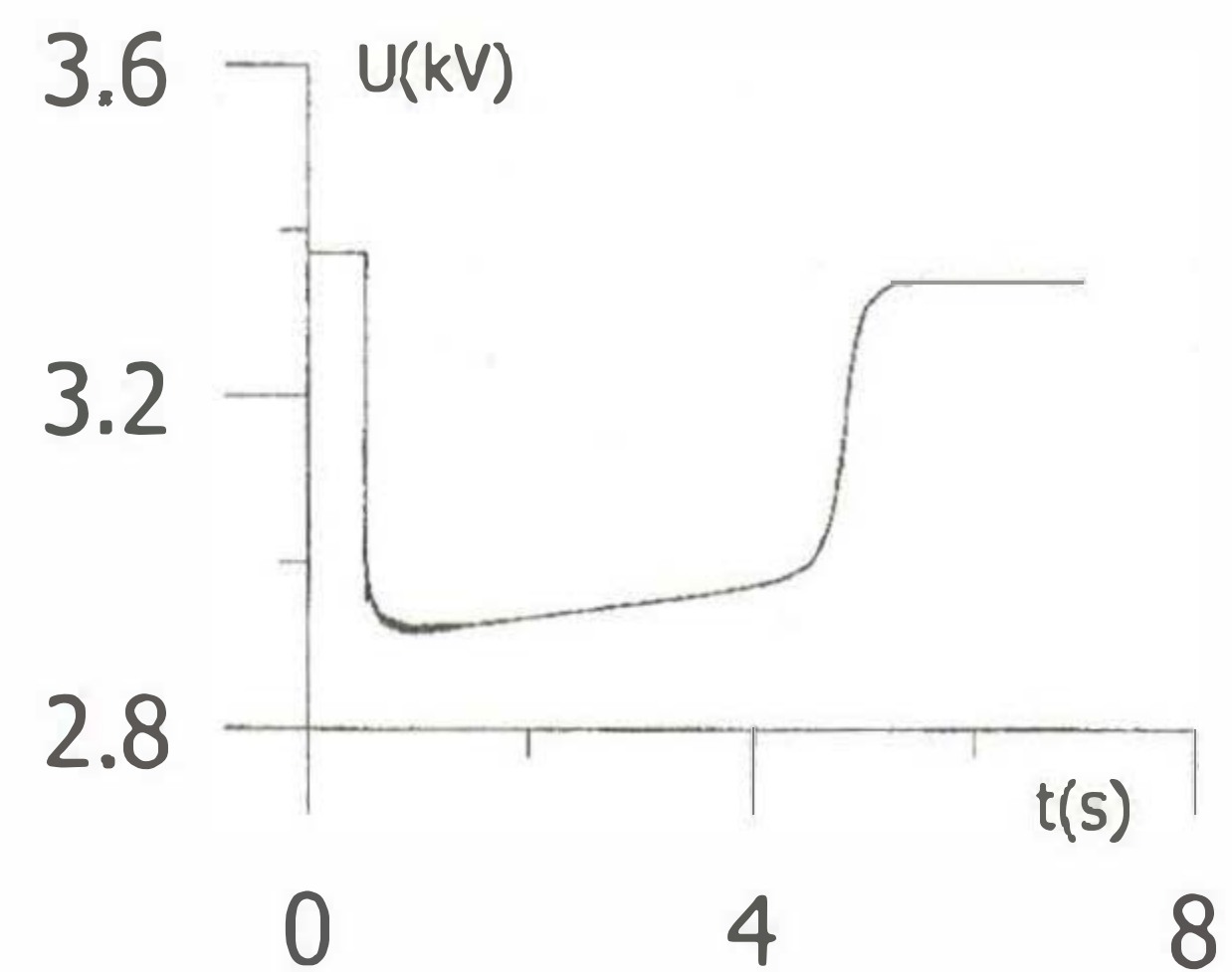
hızdaki doğrusal artış momente karesel artış şeklinde yansımaktadır. Örnek alınan sistemdeki tüm OG motorları aynı türdeki yüklerle sahiptirler. AG motorları ise sabit moment karakteristiğine sahiptir.



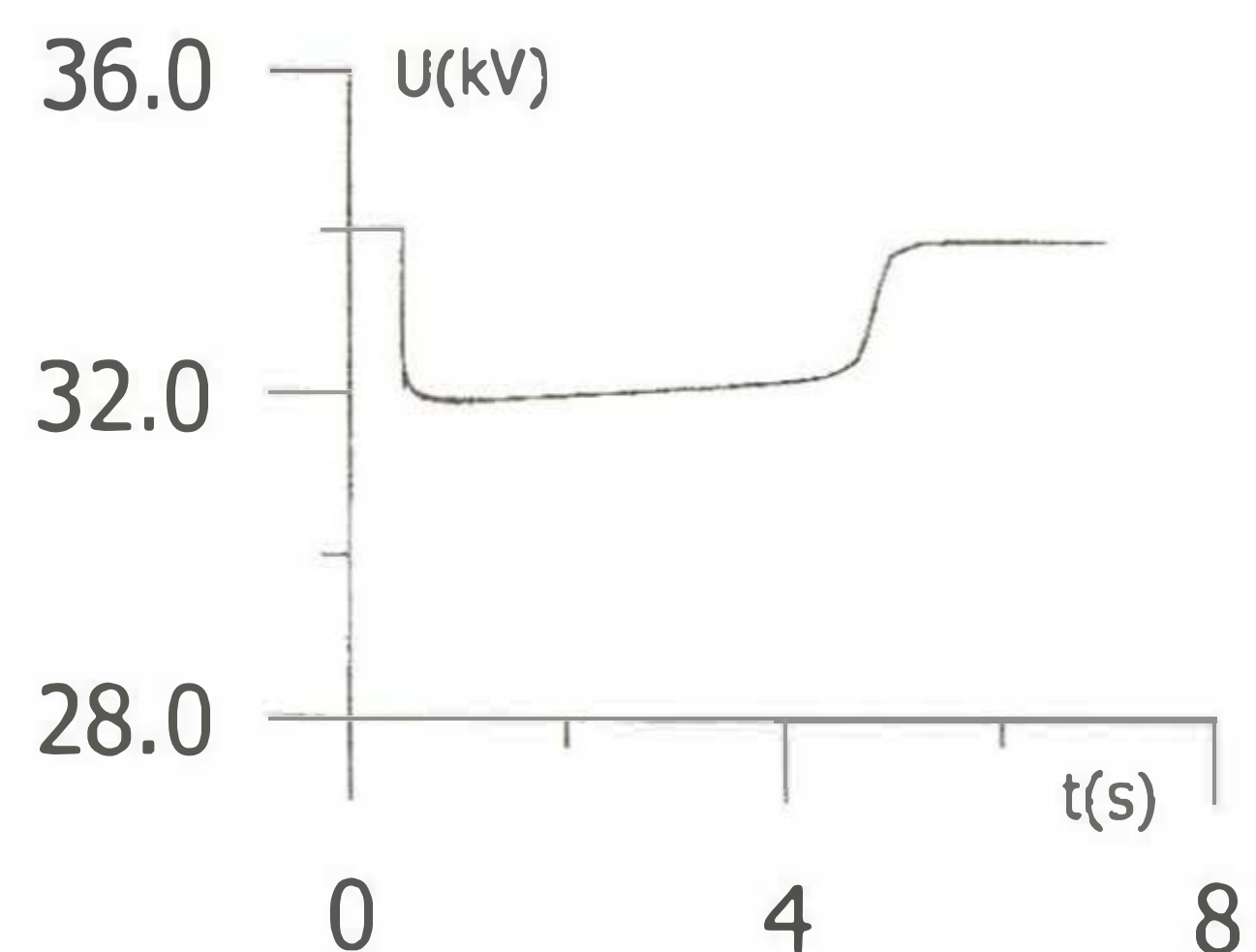
Şekil.3 B35 Barası Efektif Gerilimi



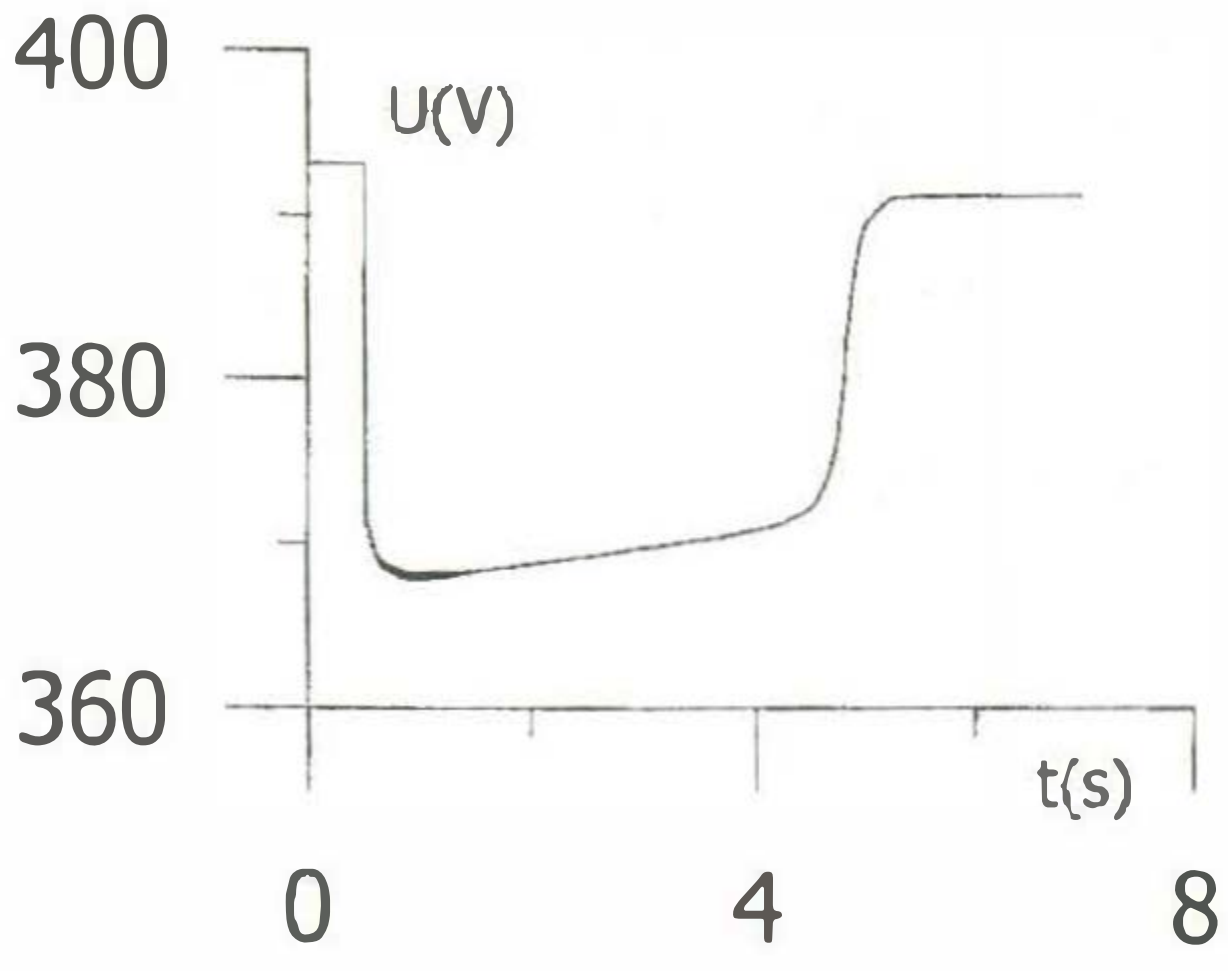
Şekil.4 İŞLETME Barası Efektif Gerilimi



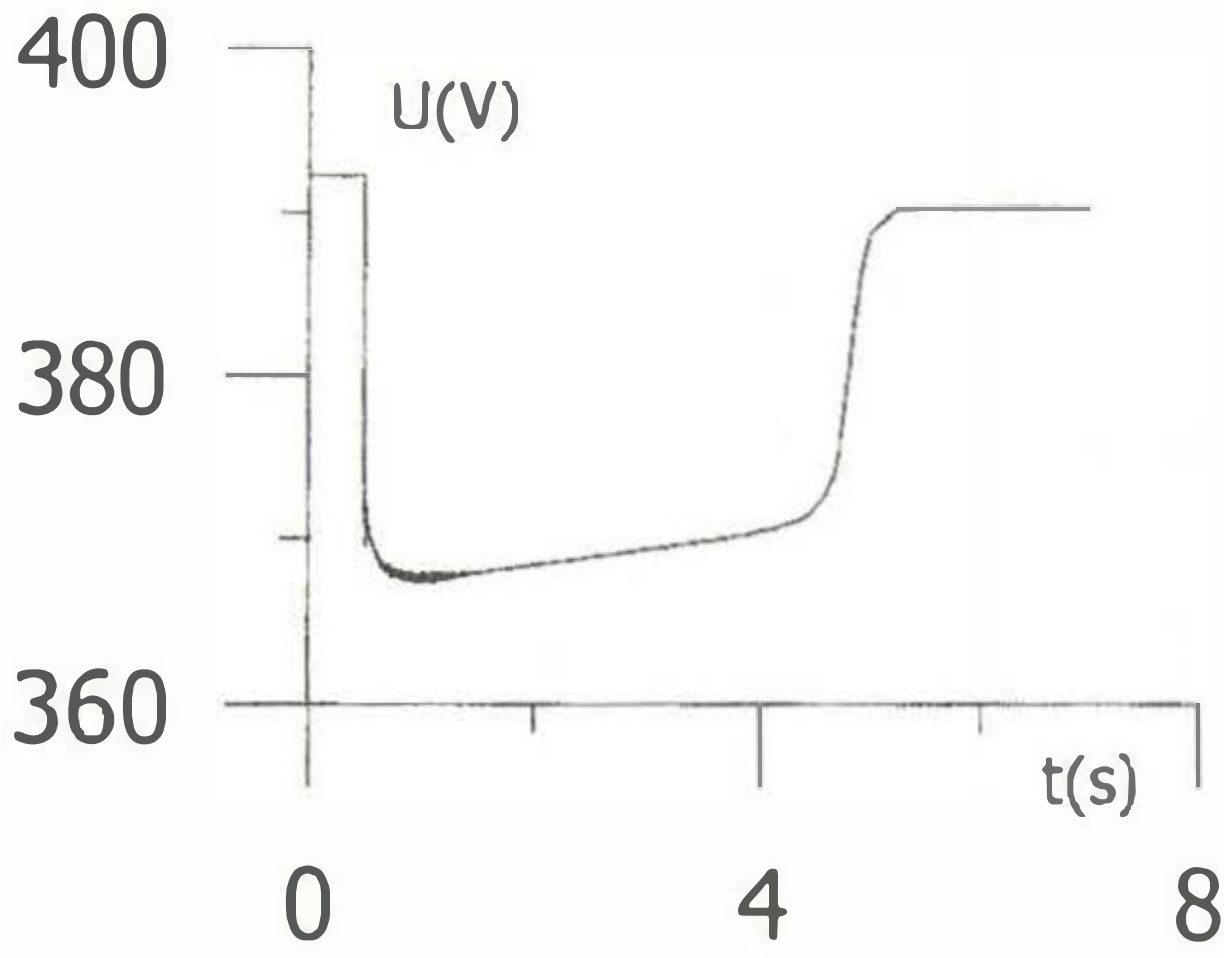
Şekil.5 OGM Barası Efektif Gerilimi



Şekil.6 OGY Barası Efektif Gerilimi

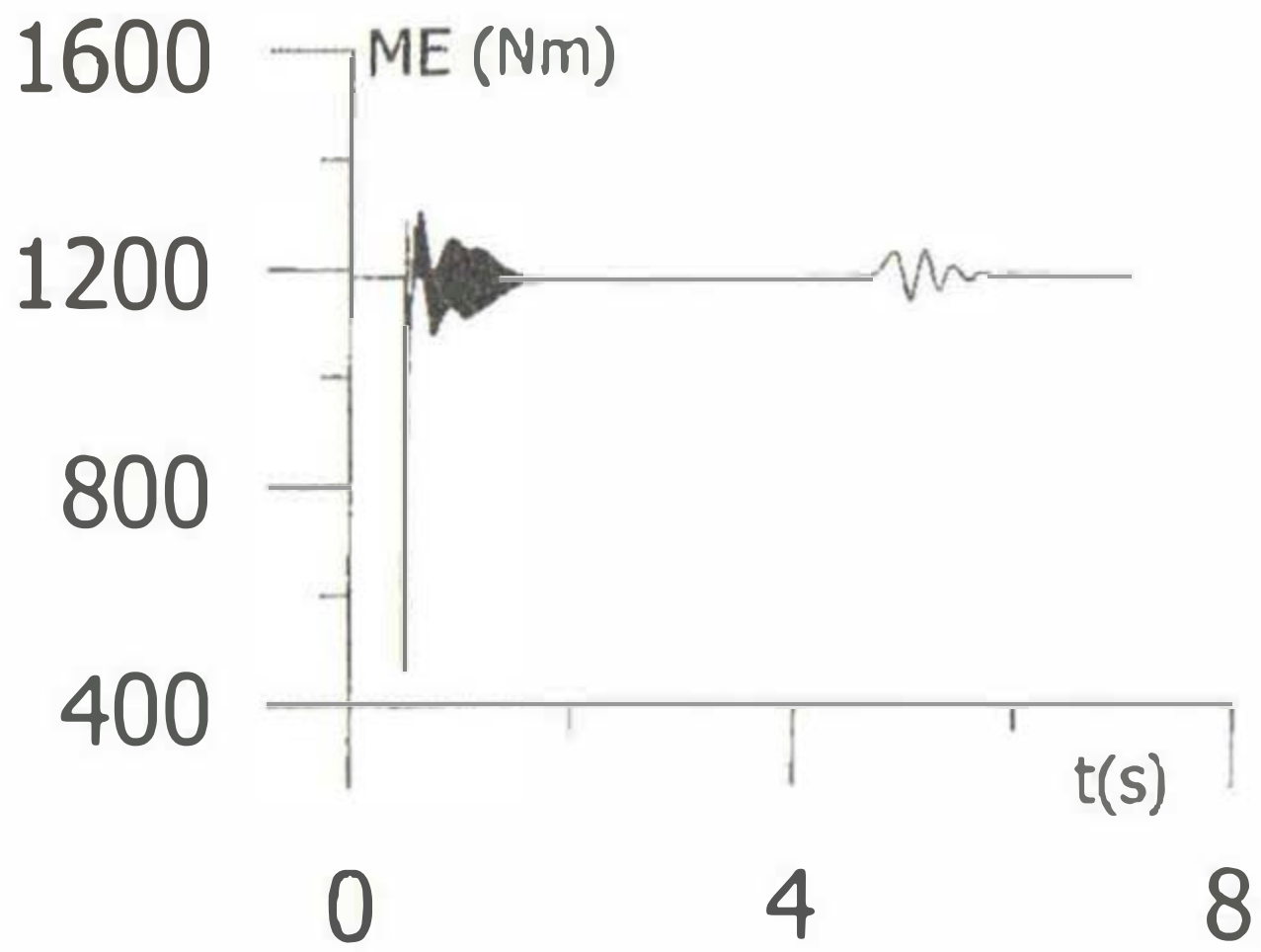


Şekil.7 AGM Barası Efektif Gerilimi

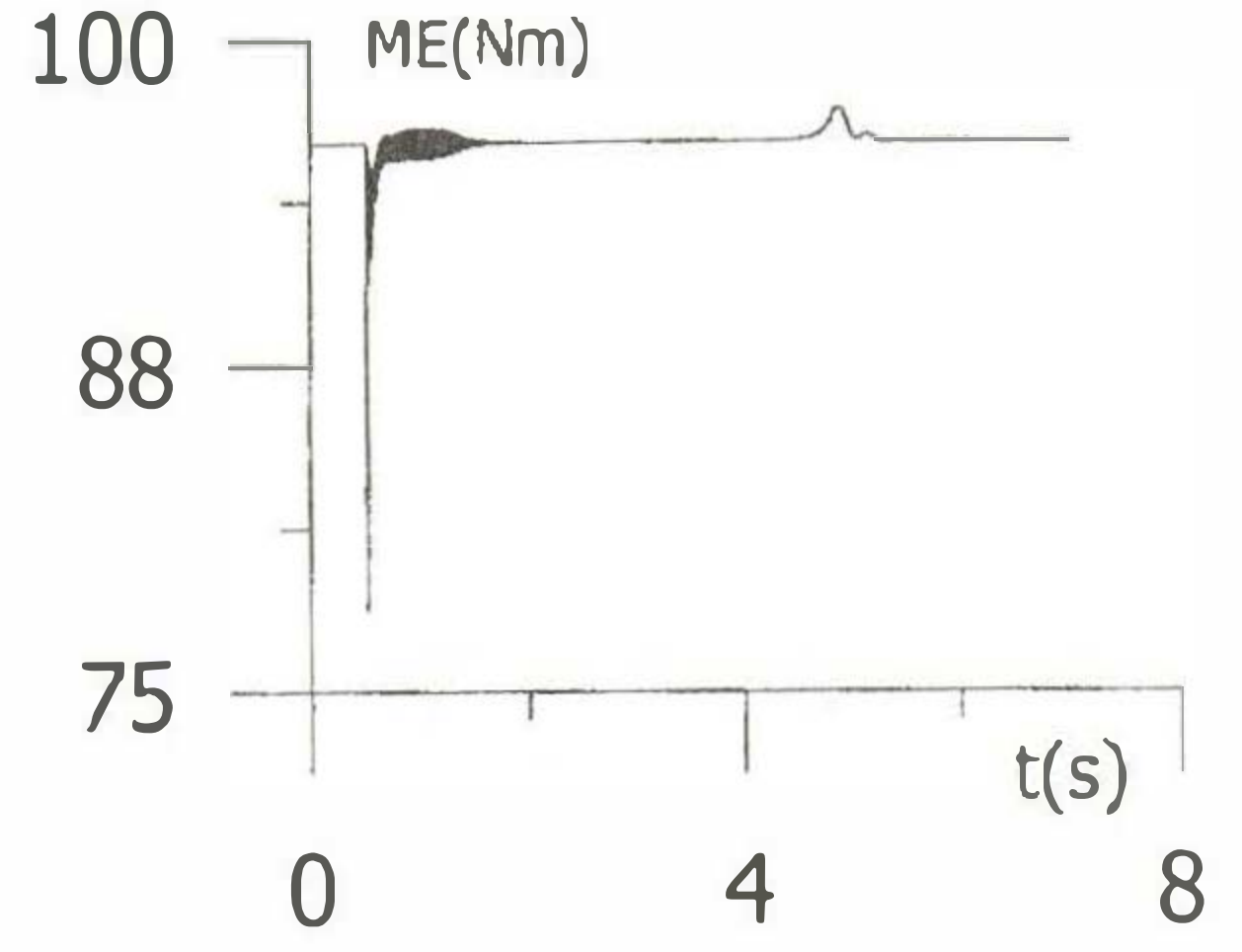


Şekil.8 AGY Barası Efektif Gerilimi

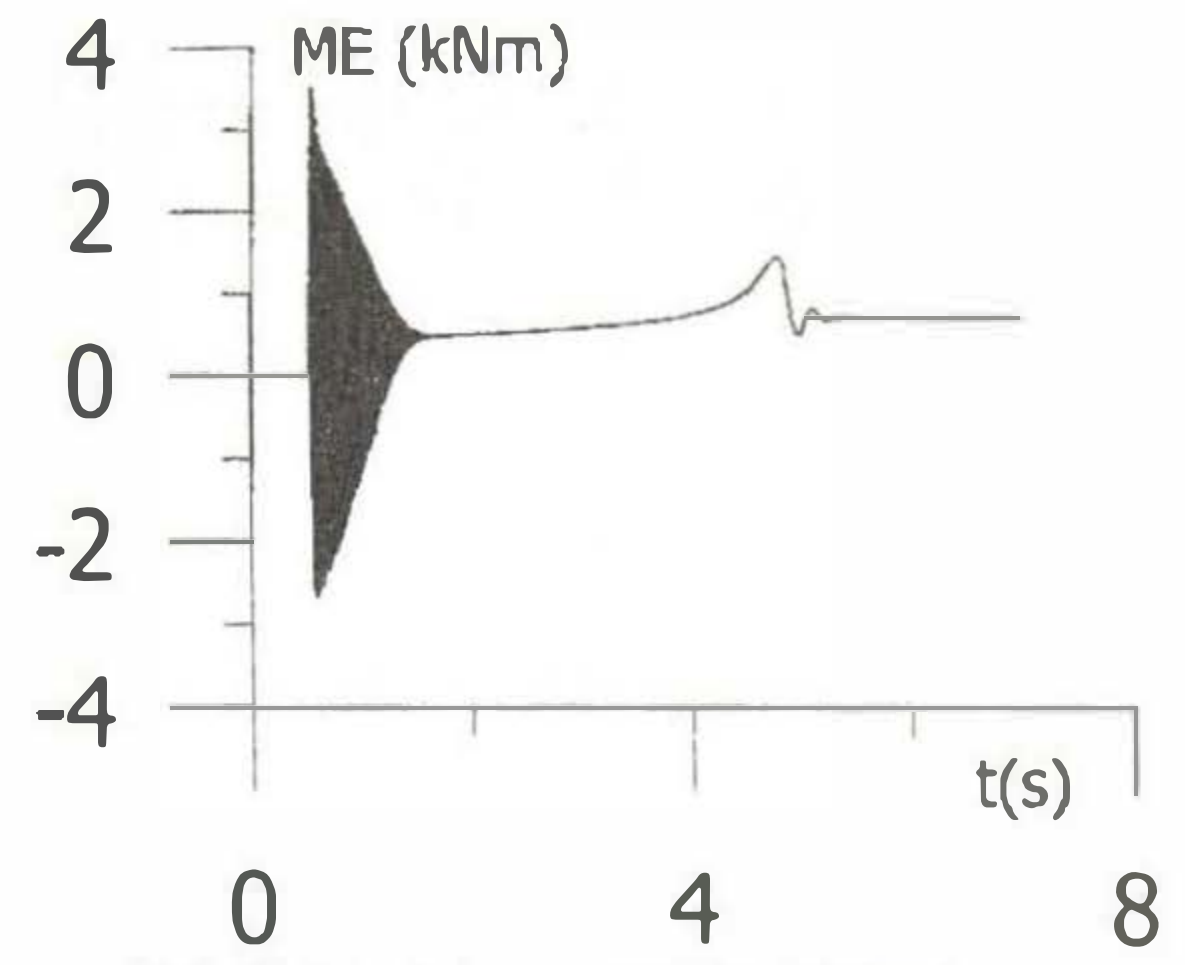
Yukarıda verilen gerilim değişimleri her bir baranın efektif gerilimine aittir. En büyük gerilim düşümü OGM barasında yani yol verilen motorların bağlı olduğu barada gerçekleşmiştir. Tablo.1'de karşılaştırmalı olarak tüm bara gerilimlerinde yaşanan azalma oranı verilmektedir. AGM ve OGM barasındaki çalışır durumdaki asenkron motorlarda bu gerilim azalmasından etkilenmektedir. Asenkron motorlar sabit güç yükleri sınıfına girmektedir. Gerilimde yaşanan azalma sırasında çekilen akımda artma ve elektromagnetik momentte azalmalar yaşanır. Bu durum motorun hız kaybetmesine yol açar. Böylelikle motorun yüke verdiği momentte azalacak yani motor yavaşlamaya başlayacaktır.



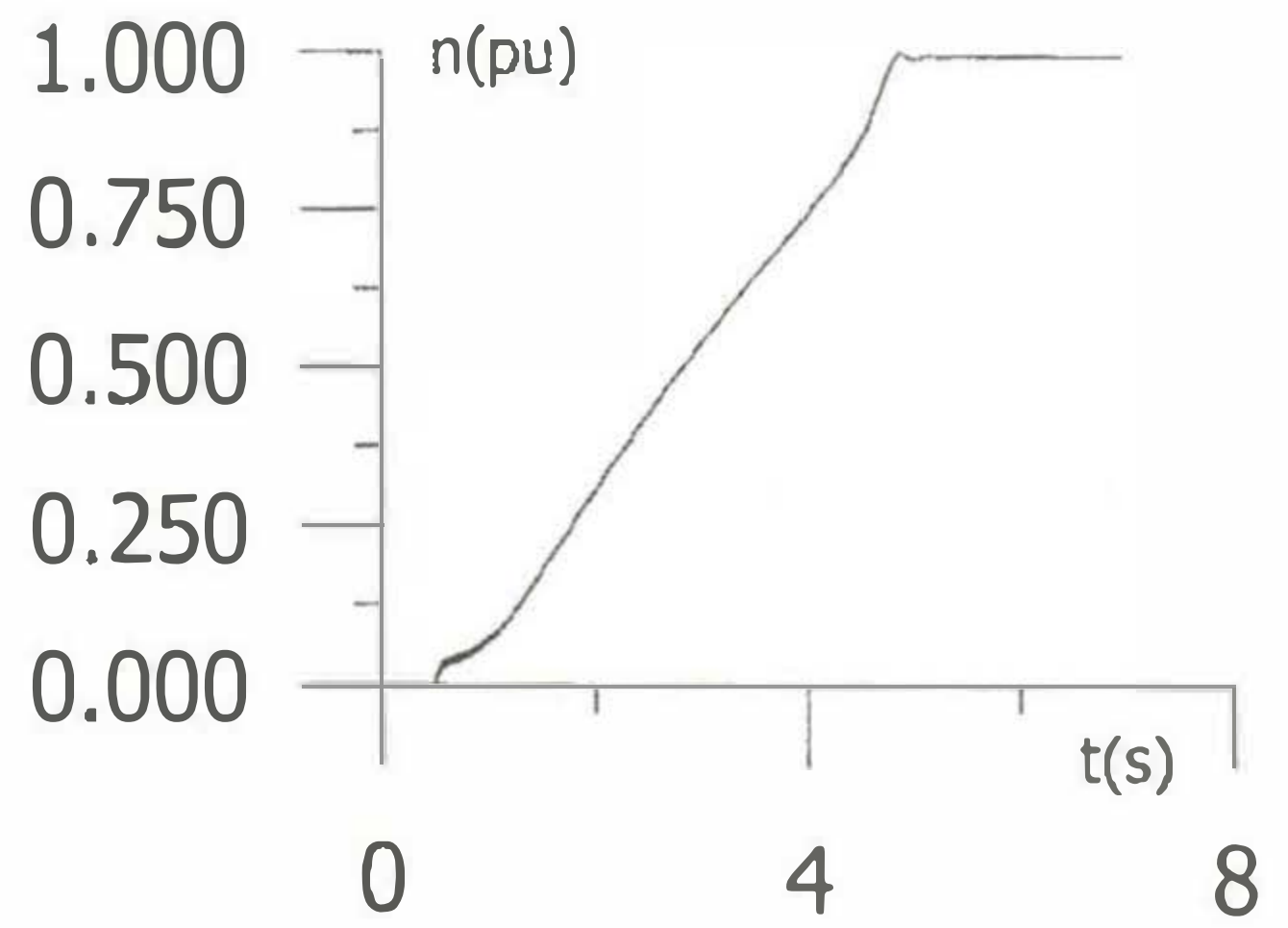
Şekil.9 OG Motor Moment Değişimi



Şekil.10 AG Motor Moment Değişimi



Şekil.11 Moment Değişimi



Şekil.12 Hızlanma Eğrisi

T=0.5 nci saniyede dört motora aynı anda direkt yol verilmesi işlemi bilgisayarda programlanmıştır. Söz konusu motorların hızlanma ve elektromagnetik moment değişimleri aşağıda gösterilmektedir. Şekil.11'deki moment değişiminden de görüleceği gibi ilk anda çekilen yüksek akım ile momentte yüksek frekanslı ve genlikli salınımlar oluşmuştur. Daha sonra salınımlar sona ermiş ve motor devrini yakalayıp, kararlı bir noktaya geldiğinde, moment, kararlı bir çalışma noktasında oturmuştur. Benzer olarak Şekil.12'deki hızlanma eğrisinde de motorun yaklaşık 5-6 saniye içerisinde anma devrine ulaştığı görülmüştür. Ancak ilk anda çekilen kuvvetli akımın bara geriliminde meydana getirdiği azalma sistemin her noktasında kendini hissettirmiştir.

Benzetimlerin gerçekleştirildiği SIMPOW [6] yazılımı İsveç merkezli ABB şirketi tarafından üretilen bir güç sistem analizi yazılımıdır. Yazılım Windows NT ortamında çalışmaktadır.

V. SONUÇLAR

Elektrik dağıtım sistemlerinde yaşanan problemlerin önemli bir kısmı gerilimde yaşanan düşmeler yada kesintilerdir. Özellikle gerilime duyarlı yükler bu durumlarda ya devreden çıkmakta yada arızalanmaktadır. Bu tür gerilim düşmelerinin sebeplerinden biri olan büyük güçlü motorların devreye girmesi sonucunda tam yük akımının 5-6 katı daha fazla akımı çekmektedir [7]. Bu yüksek akımın kaynaktan motora gelene kadar mevcut bulunan hat yada kablodan akmakta ve gerilim düşümü aynı oranda yüksek çıkmaktadır. Yine bu gerilim düşümü tüm şebekeye yayılarak aradaki uzaklığa yani empedansa göre değişen oranlarda gerilimde düşmeler oluşmaktadır. Eğer bu olayın yaşandığı noktanın yakınında bir fiderden beslenen duyarlı yükler varsa onların arızalanması, yanlış koşullarda çalışması yada devreden çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bununla birlikte maddi kayıplara yol açması gerilim düşümlerinin meydana getirdiği sıkıntıları arttırmaktadır.

Bu durumdan korunmanın yolları mevcuttur. Uygulanabilecek en basit yöntem gerilim değişimine duyarlı yüklerin yani bilgisayar, elektronik cihazlar, kağıt, iplik, dokuma vb duyarlı yükler ile şebekeye önemli bir yük getiren söz konusu tesislerin mümkün olduğu kadar birbirlerinden uzakta ve farklı trafo istasyonlarından beslenmesi gerekmektedir. Hatta bu tür yükler için 154 kV hat üzerinden ayrı bir besleme yapılması uygulama kolaylığı olan bir önlemdir. Bunu yanı sıra alınacak önlemler arasında kritik yüklerdeki gerilim düşmesini öteleyerek nominal değere getirecek bir takım esnek kontrol cihazları sayılabilir. Dinamik gerilim düzenleyicileri, statik seri gerilim regülatörleri bu alanda geliştirilmeye başlanan uygulama alanına yeni yeni konulan cihazlardır. Bu tür cihazların ek mali yük getireceği ve ileri teknoloji gerektirdikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

OG motorlarına direkt yol verilmesi bazı büyük fabrikalarda tercih edilmektedir. Pahalı yol verme cihazları ve bu motorların sık devreye girip çıkmaması, bu tercihi avantajlı yapmıştır. Bu gibi durumlarda işletmeye ilk kez alınacak büyük güçlü OG motorlarının direkt yol verilmesi sırasında kritik yüklerin bir süre devreden çıkarılması, motor yol aldıktan sonra tekrar duyarlı yüklerin devreye girmesi önerilen alternatiflerden biridir.

Sonuç olarak, kısa süreli gerilim düşümlerinin sebeplerinden olan motorlara yol verilmesi şebekedeki diğer yüklere ve özellikle diğer motorlara zarar verebilmektedir. Bu makalede asenkron motorların yol alması sırasında şebekenin davranışı ve motorların etkilenmesi bilgisayar benzetimleri ile ortaya konmuştur.

EK-Örnek Sistem Parametreleri

A. Dağıtım Şebekesi ve Transformatörler

$S_{BAZ}=100$ MVA (Temel güç)
Tr1 (B154-B35) : 25 MVA, 154/34.5 kV, $x=\%10$, Y, Δ
Tr2 (B154-B35) : 25 MVA, 154/34.5 kV, $x=\%10$, Y, Δ
Tr3 (B35-İŞLETME) : 7.5 MVA, 34.5/11 kV, $x=\%7.5$, Y,Y
Tr4 (İŞLETME-AGM) : 5 MVA, 34.5/0.4 kV, $x=\%5.5$, Y,Y
Tr5 (OGY-AGY) : 5 MVA, 34.5/0.4 kV, $x=\%5.5$, Y,Y
Hat 1 (B35-İŞLETME) : $R=0.0001$ pu, $X=0.01$ pu
Hat 2 (İŞLETME-OGY) : $R=0.0005$ pu, $X=0.003$ pu

B. OG Motorları

(Empedanslar birim motorların kendi temel değerine göre birim değerinde verilmiştir. Bu barada 7 adet aynı özellikte motor vardır. Sonradan devreye giren 4 motorda mevcut motorlarla özdeşdir.)

$S_N=1.5$ MVA, $U_N=3.3$ kV, $H=0.85$ pu $R_1=0.0105$ pu
 $X_1=0.152$ pu $X_2=0.0924$ pu $X_M=5.416$ pu $R_M=0$ pu

C. AG Motorları

(Empedanslar birim motorların kendi temel değerine göre birim değerinde verilmiştir. Bu barada 5 adet 100 kW'lık motor vardır. Motorlar özdeşdir.)

$S_N=0.1$ MVA, $U_N=0.4$ kV, $H=0.25$ pu $R_1=0.038$ pu
 $X_1=0.139$ pu $X_2=0.119$ pu $X_M=3.14$ pu $R_M=0$ pu

D. Statik Yükler

AGY Barası (380 V, $S=2.1+j1.8$ MVA, Sbt. Emp.Yükü)

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, L., and Bollen, M.H.J., Characteristics of Voltage Dips (Sags) in Power Systems, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.15, No.2, April 2000, pp.827-832.
- [2] Conrad, L.E., (Chairman), Proposed chapter 9 for predicting voltage sags (dips) in revision to std 493, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.30, 1994, pp.805-821.

[3] Das, J.C., Effects of Momentary Voltage Dips on the Operation of Induction and Synchronous Motors, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.26, No.4, July/Aug 1990, pp.711-717.

[4] Kundur, P., Power System Stability and Control, IEEE Press, 1994.

[5] Morrison, K., Modeling for voltage stability studies, seminer notu, June 21, 1993.

[6] SIMPOW User Manual Release 10, ABB Power Systems, Power System Analysis Dept., Vasteras, Sweden.

[7] Dugan, R.,C., and et al, Electric Power Systems Quality, Mc-Graw Hill, 1996.