

ENDÜSTRİYEL OTOMASYON AĞI İLE ASENKRON MOTORUN UZAKTAN DENETİMİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Nihat ÖZTÜRK*, Cemal YILMAZ*, Arslan KAHRAMAN**

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 06500-Beşevler/Ankara

**Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06570-Maltepe/Ankara

Geliş Tarihi : 23.10.2006

ÖZET

Bu çalışmada, Profibus ağ tabanlı endüstriyel otomasyon sistemi tasarlanmış ve üç fazlı asenkron motorun ağ omurgası üzerinden denetimi gerçekleştirilmiştir. Ağ üzerinden yapılan hız denetimi esnasında, ağda meydana gelen gecikmeler incelenmiştir. Meydana gelen ağ gecikmesinin, ağ üzerindeki veri trafiğine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Meydana gelen gecikme, hareket sistemlerinde kabul edilebilir, maksimum ağ gecikmesinin sınırları içerisinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Endüstriyel otomasyon ağı, Asenkron motor, Uzaktan denetim, Ağ gecikmesi.

REMOTE CONTROL OF AN INDUCTION MACHINE WITH INDUSTRIAL AUTOMATION NETWORK AND THE PERFORMANCE ANALYSIS

ABSTRACT

In this study, a Profibus network based industrial automation system has been designed and it has been controlled on the spinal network of three phase induction machine. Delay occurred on the network has been examined during the speed control via the network. It has been determined that the network delay that occurred changes depending on data traffic on the network. Delay that occurred has been regarded as it is in the acceptable limits of maximum network-induced delay in motion systems.

Key Words : Industrial automation network, Induction machine, Remote control, Network-induced delay.

1. GİRİŞ

Gelişmiş ülkelerde üretilen toplam elektrik enerjisinin yarısından fazlası, elektrik motorlarıyla mekanik enerjiye çevrilmektedir (Trzynadlowski, 2001). Endüstride yüksek moment üretimi amacıyla kullanılan elektrik motorlar, elektronik devrelerle kontrol edilerek mekanik çıkışları iyileştirilebilir (Vas, 1999). Asenkron Motorlar (ASM) şu anda mekanik olarak sağlam ve nispeten ucuz hareket kontrol tekniği seçeneği olmak üzere çok geniş hız

yelpazesi sunar (Kamiyoma et al., 1992). Üç fazlı ASM'lar alternatif akım dışında herhangi bir uyartıma ihtiyaç duymazlar. Sıncap kafesli ASM basit, sağlam, bakım gerektirmeyen ve tüm güçlerde en ucuz motorlardır. Tüm bu sebeplerden dolayı, elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi gereken, evlerde, endüstrinin her alanında, robotlarda, taşımacılıkta ve otomasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişmiş ürün kalitesi ve daha fazla verimlilik ihtiyaçlarını karşılamak için artan sayıda robot ve otomasyon sistemleri kullanılmaktadır. Endüstriyel sürücülerin en az %

90°'inde asenkron motor yer almaktadır (Lorenz et al., 1994; Çolak, 2001; Sarıoğlu, 2003).

Endüstride üretim kalitesini ve hızını artırma yöntemlerinden biri olarak otomasyon sistemlerinin kullanımı görülmektedir. Bir otomasyon yapısını oluşturan önemli faktörlerden biri ise ağlardır. Ağ bağlantılarında kullanılan donanımlar ağı hızından tipine kadar birçok özelliğini belirleyen faktörler arasında yer alırlar. Bu aşamada dikkate alınması gereken temel unsur sistemde kullanılacak donanımlara uygun yapıda otomasyon ağının oluşturulmasıdır.

Bu çalışmada, sahip olduğu teknik özellikler ve uygulanabilirliği yüksek olması açısından Profibus (Process Field Bus, Saha veri yolu işlemcisi) ağ protokolü kullanılmıştır. Profibus'ın yüksek hızlı veri iletimi uygulamalarında DP (Decentral Periphery, Dağıtık çevre) mimarisi kullanılmaktadır. Profibus, uygulamaya bağlı olarak veri iletiminde RS-485, IEC61158-2 ve Fiber Optik teknolojisinin

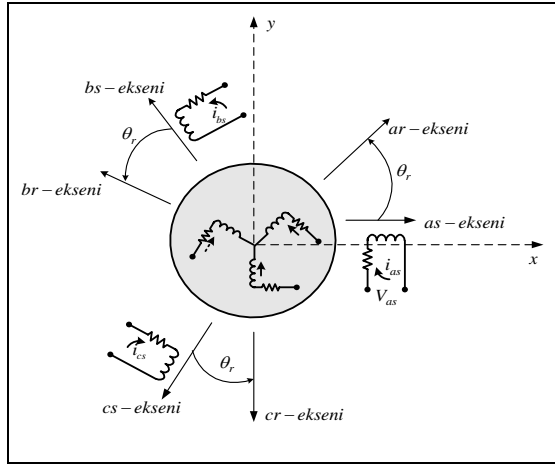
kullanımına imkan vermektedir (Yılmaz ve Gürdal, 2005).

Profibus ağının hareket denetiminde kullanılabilmesi için, gerçek zamanlı haberleşmenin gereksinimi olarak, tepki zamanı 5-10 ms arası makul kabul edilmektedir (Feld, 2004; Meicheng et al., 2005). Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmalar ile 3 Fazlı asenkron motorun Profibus ağı üzerinden uzaktan denetiminde tepki süresi ve ağ gecikmesinin motor çalışma performansına etkileri incelenmiştir.

2. ASM MODELİ

Üç fazlı bir ASM'un yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil vasıtasıyla stator ve rotor devrelerinin gerilim eşitlikleri matrisel formda aşağıdaki gibi ifade edilir (Eş. 1).

$$\begin{bmatrix} v_{qs}^e \\ v_{ds}^e \\ v_{qr}^e \\ v_{dr}^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s p & \omega_e L_s & L_m p & \omega_e L_m \\ -\omega_e L_s & R_s + L_s p & -\omega_e L_m & L_m p \\ L_m p & (\omega_e - \omega_r) L_m & R_r + L_r p & (\omega_e - \omega_r) L_r \\ -(\omega_e - \omega_r) L_m & L_m p & -(\omega_e - \omega_r) L_r & R_r + L_r p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^e \\ i_{ds}^e \\ i_{qr}^e \\ i_{dr}^e \end{bmatrix} \quad (1)$$



Şekil 1. Üç fazlı ASM'un manyetik eksen düzlemi.

ASM stator ve rotor gerilimleri, senkron hızda dönen d-q eksen düzleminde matrisel formda yazılabilir (Eş. 1).

$$\mathbf{v}_{abc_s} = \mathbf{r}_s \mathbf{i}_{abc_s} + p \boldsymbol{\lambda}_{abc_s} \quad (2)$$

$$\mathbf{v}_{abc_r} = \mathbf{r}_r \mathbf{i}_{abc_r} + p \boldsymbol{\lambda}_{abc_r} \quad (3)$$

Eşitliklerdeki p ifadesi (d/dt) türev operatörünü, \mathbf{r}_s ile \mathbf{r}_r sırasıyla stator ve rotor dirençlerini, $\boldsymbol{\lambda}_{abc_s}$ ile $\boldsymbol{\lambda}_{abc_r}$ stator ve rotor akılarını, \mathbf{v}_{abc_s} ile \mathbf{v}_{abc_r} ise stator ve rotor gerilimlerini ifade etmektedir. Asenkron motorda üretilen elektromanyetik moment ifadesi ise,

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} \left(\lambda_{dr}^e i_{qs}^e - \lambda_{qr}^e i_{ds}^e \right) \quad (4)$$

olarak elde edilebilir. Geçici ve sürekli rejimde denetimi sağlamak için geliştirilen vektör denetim yöntemi, motorun senkron hızda dönen dq koordinat sisteminden elde edilen yukarıdaki modeline dayanmaktadır (Krause Paul, 1986; Öztürk ve Bal, 2005). Eş. 1 ve Eş. 4'te kullanılan simgelerin tanımları aşağıda verilmiştir.

ω_e = Senkron açısal hız (rad/s)

ω_r = Elektriksel hız (rad/s)

L_s = Stator bir faz endüktansı (H)

L_r = Statora aktarılmış rotor bir faz endüktansı (H)

L_m = Ortak Endüktans (H)

R= Direnç (Ω)
P= Motor kutup sayısı

Asenkron motorların denetiminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır, bu yöntemler şu şekilde özetlenebilir (Çolak, 2001);

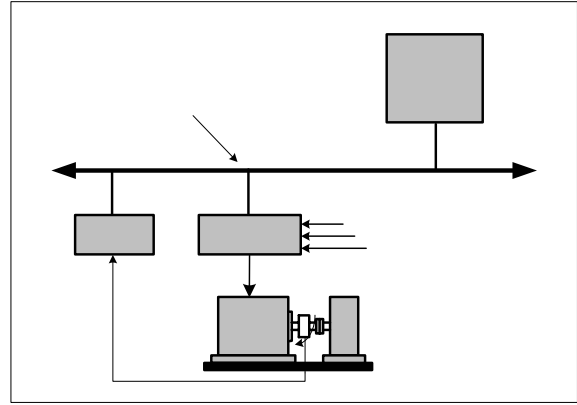
- Statora uygulanan gerilim frekansının değiştirilmesi,
- Statora uygulanan gerilim değerinin değiştirilmesi,
- Stator sargısı kutup sayısının değiştirilmesi,
- Rotorla bağlanan direncin değiştirilmesi,
- Rotor sargılarına dış kaynaktan uygun gerilim uygulanması.

Bu çalışmada, sistemde gerçek zamanlı veri iletimi kullanılarak ve buna uygun bir haberleşme protokolü ile ağ kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir.

ASM hız denetimi, sisteme bağlantısı kolay olan Micromaster-440 kullanılarak statora uygulanan gerilim frekansını değiştirme yöntemi ile sağlanmıştır. Sistemde asenkron motora ait bilgiler (hız, akım, gerilim) gerçek zamanlı olarak alınıp bu bilgiler bir PC'de toplanarak değerlendirme yapıldıktan sonra kontrol sinyalleri yine aynı ağ üzerinden asenkron motora gönderilmektedir. Motora gerçek zamanlı denetim sinyalleri Micromaster-440 aracılığı ile iletilerek istenen denetim sağlanmaktadır. Bu yöntemle 3 Fazlı Bir ASM Profibus-DP ağına adapte edilmiş ve motorun uzaktan denetimi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

3. ENDÜSTRİYEL OTOMASYON

Çalışmada ASM'nin uzaktan denetimi için tasarlanan endüstriyel otomasyon ağı Profibus-DP tabanlı olarak oluşturulmuştur. Profibus-DP, ISO (International Standards Organization, Uluslararası Standartlar Organizasyonu)/OSI (Open System Interconnection, Açık Sistem Bağlantıları) referans model tabanlı olarak geliştirilmiş olan Profibus'ın farklı mimari yapılarından birisidir ve uluslararası EN50170 ve EN50224 standartlarına uygun olarak geliştirilmiştir. Profibus-DP, uygulamaya bağlı olarak veri iletiminde RS-485, IEC61158-2 ve Fiber Optik teknolojisinin kullanımına imkan vermektedir. Profibus'ın protokol ve veri iletim tekniğindeki seçenekleri farklı uygulamalarda kullanılabilirliğini arttırmaktadır (Yılmaz ve Gürdal, 2005). Profibus-DP tabanlı Endüstriyel otomasyon uygulama şemasının blok diyagramı Şekil 2'de verilmektedir.

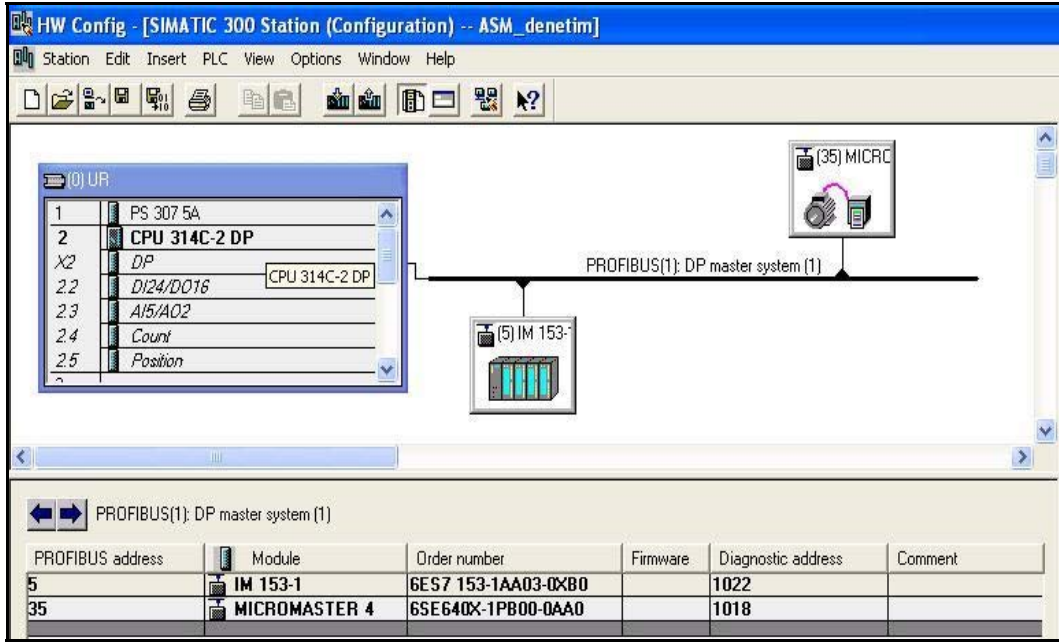


Şekil 2. Otomasyon ağı ile motor denetiminin blok şeması.

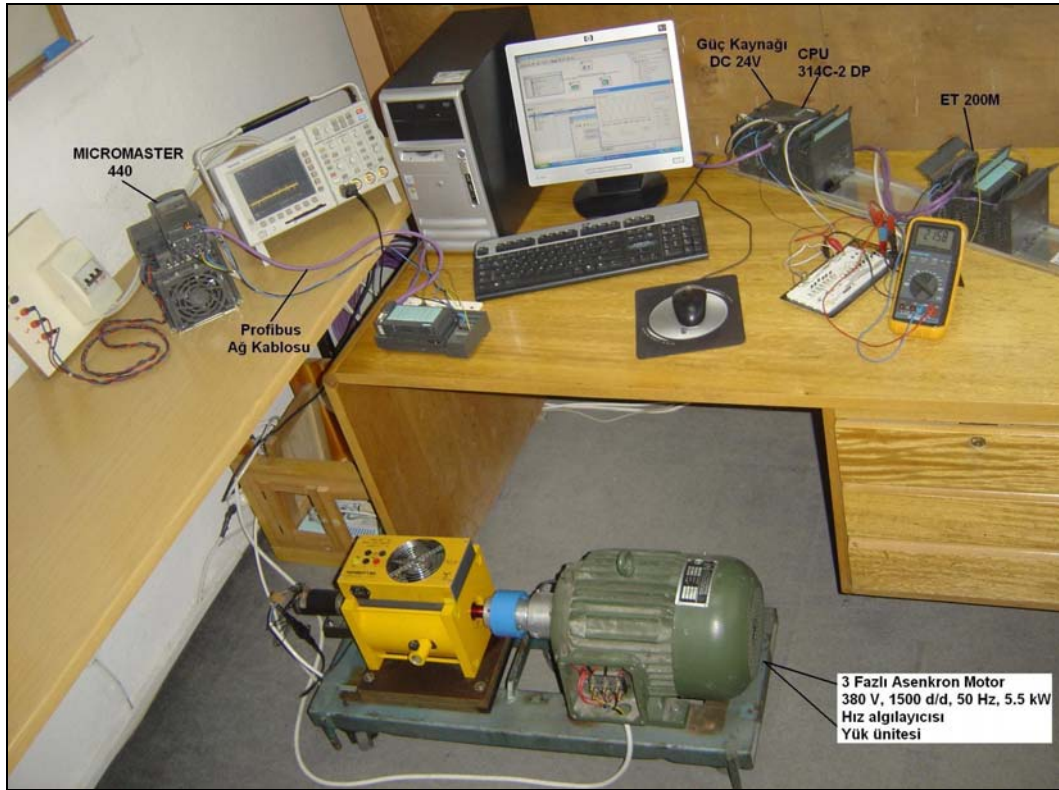
Şekil 3'te ASM denetimi için SIMATIC Manager programı kullanılarak kurulan Profibus-DP ağı, ağa bağlanan modüller, Profibus adresleri ve CPU bağlantısı görülmektedir. Sistem denetiminde CPU 314C-2DP kullanılmıştır. ASM'dan elde edilen geri besleme bilgileri ET 200M ile Profibus ağ omurgası üzerinden işlemciye iletilmekte ve burada denetim sinyali elde edilerek tekrar Profibus ağ omurgası üzerinden MM 440 sürücüsüne gönderilerek istenilen denetim gerçekleştirilir. Tasarlanan sistemin genel görünüşü Resim 1'de verilmiştir. Resim 1'de görülen, 3 Fazlı besleme ünitesi (MM 440 güç beslemesi), 24 V DC Güç kaynağı, CPU 314C-2DP işlemcisi, Analog Input/Output (Giriş/Çıkış) modülleri, Dijital (sayısal) Giriş/Çıkış modülleri, ET 200 M, Micromaster 440 modülleri, 3 Fazlı ASM, konum algılayıcısı, motor yükleme ünitesi, tako generatör ve yazılımın gerçekleştirildiği bilgisayar Profibus-DP ağı kullanılarak haberleştirilmektedir.

Resim 1'deki deneysel çalışma seti kullanılarak uzaktan denetim analizleri yapılmıştır. Bu analizler ağ uzunluğu ve ağ gecikmesinin denetlenen motorun çalışma performansına etkileri açısından yapılmıştır. Burada kullanılan bilgisayar, sistemin çalışmasını programlamak, gerçek zamanlı denetim elde etmek ve sistem çalışmasında gerçek zamanlı değişimler sağlamak üzere server olarak kullanılmaktadır. Sistemin gerçek zamanlı denetimi, ağ üzerinde bulunan ve bilgisayar ile de haberleşebilen CPU 314C-2DP kullanılarak elde edilmiştir.

Sistemlerin programlanmasında SIMATIC Step 7 V5.3 yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4'te sistem programının LAD (Ladder Diagram) görüntüsü sunulmuştur. Burada sistemin istenilen denetiminin sağlanması için gerekli olan yazılım, programlama blokları kullanılarak oluşturulmuştur.



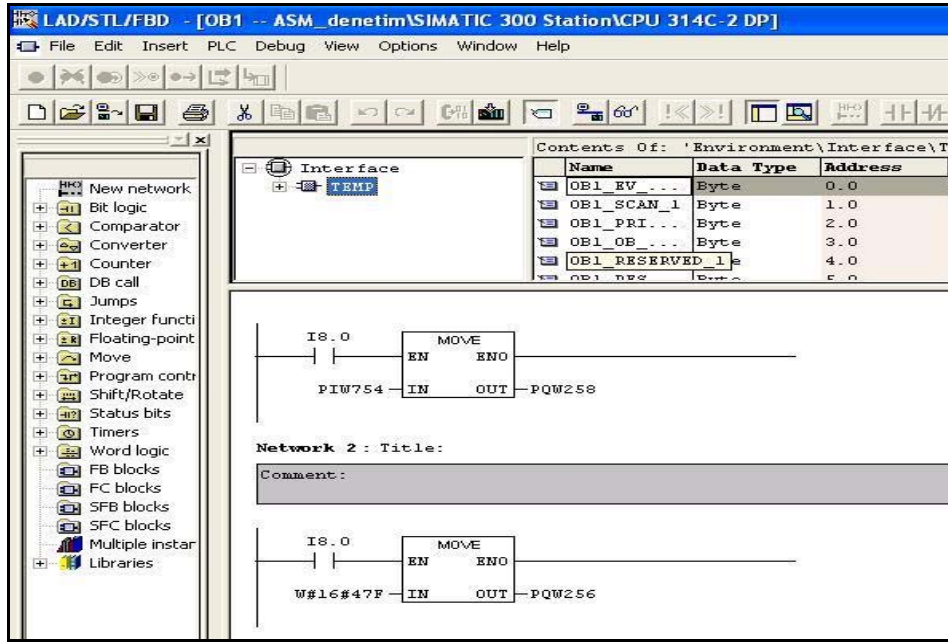
Şekil 3. SIMATIC Manager ile kurulan Profibus ağı



Resim 1. Tasarlanan sistemin görüntüsü

Programlama bloklarında kullanılan tanımlamaların, ağ kurulumu sırasında yapılan donanım tanımlamaları dikkate alınarak elde edilen

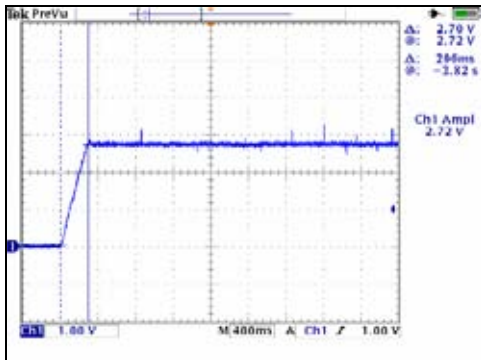
adresleri kullandığı ve bu şekilde donanımların yazılım içinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Program LAD görüntüsü

4. DENEYSEL ANALİZ

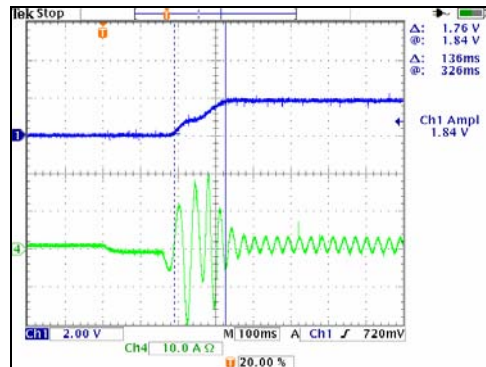
Deneysel analizlerde ağ gecikmesi, motorun tepki süresi ve donanımlar ile CPU çalışma hızları dikkate alınarak sistemin performansı irdelenmiştir. Sistemde meydana gelen ağ gecikmesi “denetim birimi-motor girişi” ve “motor çıkışı-denetim birimi” arasındaki veri iletimi olarak iki aşamalı bir değerlendirme ile incelenmiştir. Şekil 5’te motorun referans hız değerine rampa şeklinde yükselerek ulaşması, referans hız değerine ulaştıktan sonra motorun 1500 d/d’ da dönmesi amaçlanmıştır. Motor referans hız değerine 296 ms’de ulaşmakta ve toplam 4s çalışmaktadır.



Şekil 5. ASM’un hız eğrisi (n=1500 d/d, 296 ms)

Şekil 6’da motorun faz akımı ve referans hız değerine ulaşmasına ait eğriler görülmektedir.

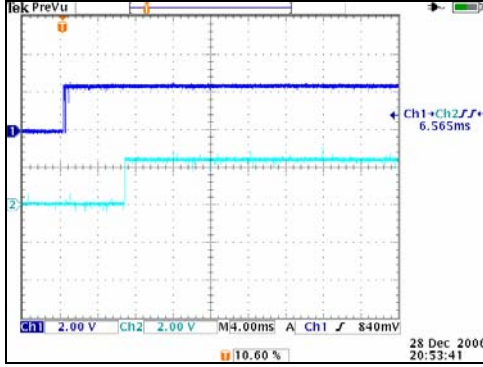
Şekilde 6’da, motor ilk kalkınma anında yaklaşık 15A çekilmekte, kararlı duruma ulaştığı 136ms sonucunda ise, akım 4 A seviyesine düşmektedir. İlk durumda hızı sıfır olan motorun, dönme momenti üretilebilmesi için şebekeden fazla akım çektiği, motor akımı ve hızın oturma sürelerinin eşit olduğu görülmektedir. Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı şartlarda farklı ağ gecikmeleri meydana gelmektedir.



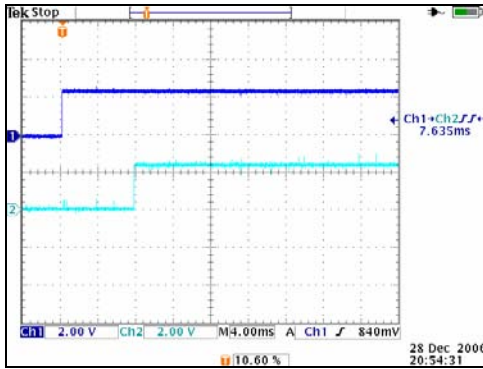
Şekil 6. ASM hız eğrisi (n=1500 d/d, 136 ms)

Şekil 7, 8 ve 9’da Profibus ağının sabit çalışma şartları (motor hızı ve devri yönü sabit) altındaki gözlemler verilmiştir. Burada da görüldüğü gibi çalışma şartları sabit olmasına karşın meydana gelen ağ gecikmesi sabit kalmamaktadır. Bu durum ağ tabanlı sistemlerin denetiminde performansı olumsuz etkilemekte ve kararsız çalışmaya neden olmaktadır. Bu nedenle ağ tabanlı otomasyon sistemlerinde ağ gecikmesi dikkate alınarak sistem

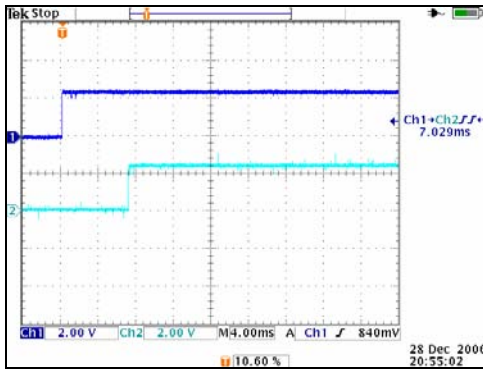
çalışması programlanmalıdır. Ağ gecikmesinin sürekli değişkenlik göstermesi sistem tasarımını zorlaştıran önemli bir etkidir.



Şekil 7. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (6.565 ms)



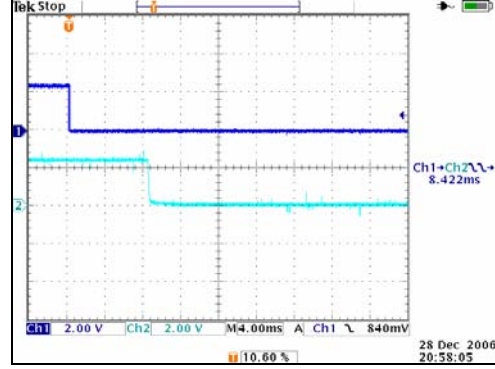
Şekil 8. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (7.635 ms)



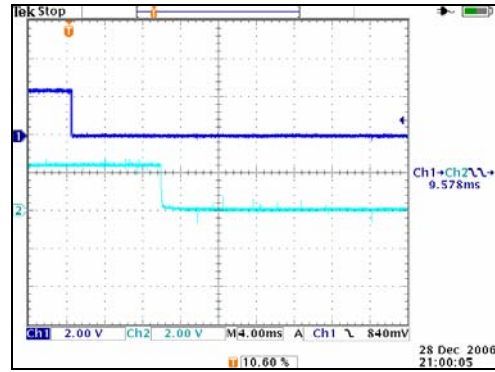
Şekil 9. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (7.029 ms).

Bu aşamaya kadar elde edilen ağ gecikmeleri ve donanımların veri işleme süreleri işlem başlatma, yükselen kenar, akım geçişinin başlaması, motor hızının yükselmesi gibi durumlar gözlenerek elde edilmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11'de ise sabit çalışma şartları altında aynı işlemin sonlandırılması farklı zamanlarda gerçekleştirilmiş ve farklı ağ gecikmeleri olduğu görülmüştür. Burada sinyallerde

düşen kenar veya akımın, gerilimin azalması işleminin gerçekleşme süreleri incelenmiştir.



Şekil 10. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (8.422 ms)



Şekil 11. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (9.578 ms)

Teorik olarak aynı şartlar altında aynı işin başlatılması da bitirilmesi de eşit sürelerde gerçekleşmesi beklenir. Ancak elde edilen grafikler bunun böyle olmadığını göstermektedir. Bunun nedeni olarak şu ana kadar elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere ağdaki gelişigüzel davranışlar silsilesinin etkili olduğu ve işlemlerin sonlandırılmasının genellikle daha uzun sürelerde gerçekleşmesi söylenebilir.

5. SONUÇ

Çalışmada endüstriyel otomasyon protokollerinden biri olan Profibus ağı kullanılarak bir ASM'un uzaktan denetimi gerçekleştirilmiştir. ASM Profibus ağına MM 440 sürücüsü ile bağlanmış ve denetimi bu sürücü kullanılarak çalışma frekansının ayarlanması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Motor denetiminde kullanılan geri besleme bilgileri ET 200M arabirimi kullanılarak Profibus ağ omurgası üzerinden alınarak CPU 314C-2DP'de işlenmiş ve

gerekli denetim sinyali elde edilmiştir. Motor denetiminde kullanılan bilgilerin motora iletilmesi ve motordan alınan geri besleme bilgilerinin denetim merkezine gönderilmesi işlemleri Profibus ağ omurgası üzerinden gerçekleştirilmiş olması motorun uzaktan denetimini yapabilmeyi sağlamıştır ancak aynı zamanda da ağların önemli bir problemi olan ağ gecikmesinin ortaya çıkmasına da neden olmuştur. Ağ gecikmesinin gerçekleştirilmek istenen denetim şartlarını bozacağı göz önünde bulundurularak denetim bilgisi hesaplanmalı ve ağ ortamına bırakılmalıdır. Deneysel sonuçlarda da görülmüştür ki ağ gecikmesi, sabit bir süre olmayıp sürekli farklılık gösteren ve önceden tahmin edilmesi mümkün olmayan değişken bir karakteristiğe sahiptir. Bu durum ağ tabanlı kontrol sistemlerinin denetiminde farklı denetim yöntemlerini kullanmayı zorunlu kılmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Çolak, İ. 2001. Asenkron Motorlar, Nobel Yayın, Ankara, 144-159.

Feld, J. 2004. "PROFINET-scalable Factory Communication for All Applications", *Factory Communication Systems, 2004. Proceedings. 2004 IEEE International Workshop on*, 33-38.

Kamiyoma, K., Ohmac, T. and Sukegawa, T. 1992. "Application trends in AC motor drives", *IEEE Transaction on Power Electronic*, 7 (3): 31-36.

Krause Paul, C. 1986. "Analysis of Electric Machinery", *McGraw-Hill Book Company*, New York, 133-150.

Lorenz, R. D., Lipo, T.A. and Novotny, D.W. 1994. "Motion Control With Induction Motors", *Proceeding of the IEEE*, 8(8):1215-1240.

Meicheng, C., Yanjun, F. and Jun, X. 2005. "Implementation of Fully Integrated Automation With Profibus", *Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 32nd Annual Conference of IEEE*, 412-415.

Öztürk, N., Bal, G. 2005. "Bulanık Mantık ve PI Denetimli Asenkron Motorda Parametre Etkisinin İncelenmesi", *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu BMYS'2005*, Kocaali, 131-138.

Sarıoğlu, M.K., Gökaşan, M., Boğosyan, S. 2003. Asenkron Makinalar ve Kontrolü, Birsen Yayınevi, İstanbul, 273-274.

Trzynadlowski, A.M. 2001. "Control of Induction Motors", Academic Pres., 119-134.

Vas, P. 1999. "Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives", *Oxford University Press*, New York, 100-101.

Yılmaz, C., Gürdal, O. 2005. "Profibus ile Klasik Ağ Sistemleri Arasında Bir Karşılaştırma", *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, BMYS'2005*, Kocaali, 557-564.