

BİR ISIL SİSTEMİN MODELLENMESİ VE SIEMENS SIMATIC S7-200 PLC İLE KONTROLÜ

Tansel YÜCELEN¹

Özgür KAYMAKÇI²

Salman KURTULAN³

^{1,2,3} Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, Maslak, İstanbul

¹ e-posta: yucelent@itu.edu.tr

² e-posta: kaymakci@elk.itu.edu.tr

³ e-posta: kurtulan@elk.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Sistem Modelleme, PID Kontrolör, PLC

ABSTRACT

In this paper, control of a laboratory thermal system called PT326 is achieved by a programmable logic controller (PLC) and a PLC code is proposed according to the object. Thermal system is defined and modelled primarily and then system step response is adjusted due to design criterions. PID controller is chosen as the system controller. Parameters of PID controller are calculated and control of the system is achieved by performing these parameters to the system with PLC. This paper points out a control method for a thermal system.

1. GİRİŞ

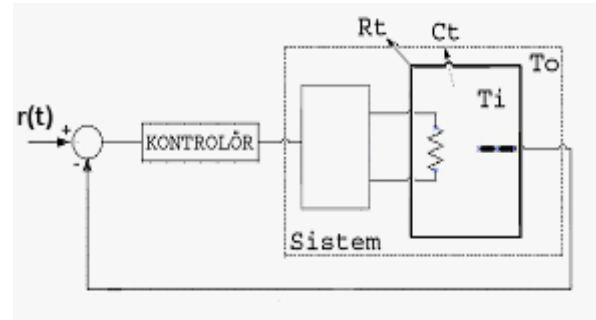
Kontrolörler, kontrol edilen sistemin davranışına olumsuz yönde etki eden her türlü bozucu etkiyi gidererek sistemin davranışını iyileştiren düzeneklerdir. Bir sistemin davranışını değerlendirirken, o sistemin basamak cevabına bakılır. İdeal sistem davranışına yakın davranış gösteren bir sistem elde etmek için, aşımın olabildiğince az, yükselme zamanının kısa ve geçici hal hatasının sıfır ya da sıfıra ihmal edilebilecek kadar yakın olması istenir. Bu amaçla, sıcaklığı kontrol edilmek istenen PT326 adlı ısı bir sistemin ilk olarak matematiksel modeli çıkarılmış ve basamak yanıtı incelenmiştir. Bu incelemeden sonra sistem davranışını ve geçici hal hatasını iyileştirmek için sisteme uygulanacak PID kontrolöre yönelik oran (P), integral (I) ve türev (D) katsayıları belirlenmiştir.

PID kontrolörü, endüstriyel bir sistemin kontrolünde yaygın olarak kullanılan programlanabilir lojik kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda sürekli zaman için belirlenen P, I, D katsayıları, sayısal bir ortamda kullanılacağı için ayrık zamana çevrilmişlerdir. Bu çevirme işlemi sonucunda elde edilen PID kontrolörüne yönelik, Siemens Simatic S7-200 Kontrolörü için bir PLC program kodu önerilmiş ve PLC'ye bu önerilen kod yüklenmiştir. Bu

gerçekleme sonucunda PID programı ile programlanabilir lojik kontrolör (PLC), sisteme fiziksel bağlantılar ile monte edilmiş ve ısı sisteminin kontrolü gerçekleştirilmiştir.

2. SİSTEMİN MODELLENMESİ VE PID KONTROLÖR PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

Isıl sistem ve PID kontrolörden oluşan geribeslemeli blok yapı şekil 1 ' de gösterilmiştir. Bu sistemin modelini oluşturmak için öncelikle sistem elemanlarını tanımak gerekir. Şekil 1 ' deki giriş $r(t)$, istenen referans sıcaklığıdır; sistem $T_i(t)$ çıkışının bu referans sıcaklığını olabildiğince yakın takip etmesi istenir. $T_o(t)$ çevre sıcaklığıdır, çevre sıcaklığı devamlı sistemi saracağı için bu sistem için sabit değerli bir bozucu olarak değerlendirilebilir. Ayrıca bu sistemde C_t ısı kapasite, R_t ısı direnç elemanlarıdır.



Şekil-1. Isıl Sistem Kontrolü.

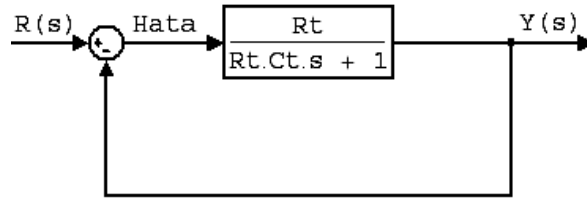
Isı debisini [J/s] $q(t)$ ve sıcaklık [K] $T(t)$ olarak tanımlanırsa, şekil 1 ' deki sisteme ait diferansiyel denklem, kontrolör devrede yokken, (1) bağıntısındaki gibi verilebilir.

$$q = C_t \frac{d(T_i - T_o)}{dT} + \frac{T_i - T_o}{R_t} \quad (1)$$

Fakat bilindiği gibi diferansiyel denklemlerle tasarım yapmak zordur. Bu yüzden (1) nolu denklem (2) bağıntısındaki gibi Laplace dönüşümü kullanılarak s- domeninde tanımlanabilir [4].

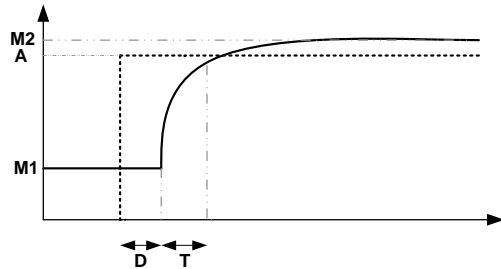
$$Q(s) = T_i(s) + \left(\frac{1}{R_t} + C_t s \right) T_0(s) \quad (2)$$

Bu tasarım sonucunda (2) bağıntısı, şekil 2 ' deki gibi bir blok diyagram formunda ve bozucu sabit olduğu için bozucu ihmal ile ifade edilebilir [7].



Şekil-2. Isıl Sistem Kontrol Blok Yapısı.

Sisteme kontrolör tasarlamadan önce sistemin kendi dinamikleri ile nasıl bir basamak cevabına sahip olduğu incelenir. Bunun için R_t , C_t ve sistem ölü zaman değerleri deneysel olarak hesaplanabilir. Bu değerlerin deneysel olarak bulunması, sisteme osiloskop bağlanıp, basamak cevabının incelenmesi ile elde edilmiştir. Buna ilişkin osiloskoptan gözlenen basamak cevabı şekil 3 ' te verilmiştir.



Şekil-3. Sistem Osiloskop Basamak Cevabı.

Şekil 3 ' teki veriler yardımıyla R_t değeri, (3) bağıntısından hesaplanabilir.

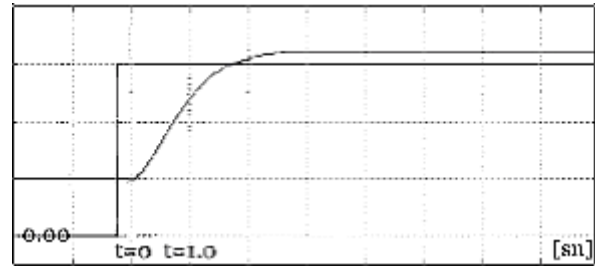
$$R_t = (M_2 - M_1) / A \quad (3)$$

Osiloskopta; M_2 değeri 7.2 V, M_1 değeri 2.3 V ve A değeri 6.1 V olarak okunur. Buna göre (3). bağıntıdan R_t değeri 0.8 olarak bulunur. Şekil 3 ' te T ile gösterilen değer zaman sabitidir ve sistem bloğunda ' $C_t \cdot R_t$ ' değerine karşılık gelir. Zaman sabiti sistem cevabının, son değerinin %63.2 ' sine ulaşması olarak tanımlanabilir [6]. Buna göre $C_t \cdot R_t$ değeri 0.6 olarak belirlenir. Bu bağlamda C_t değeri de 0.75 olacaktır. Son olarak D ölü zaman (zaman gecikmesi) değeri osiloskoptan 0.2 s olarak okunur. Zaman gecikmeleri bilindiği gibi sistem kontrolünde önemli kısıtlamalar getirebilir [1], ve geribeslemenin faydalarını azaltırlar. Bu nedenle gecikmeyi de sistem transfer

fonksiyonunun içinde düşünürsek, sistem transfer fonksiyonu,

$$T_f(s) = \frac{0.8}{0.6s + 1} e^{-0.2s} \quad (4)$$

olur. Daha önce de değinildiği gibi bir sisteme kontrolör tasarlariken sistemin basamak yanıtını inceleyip, basamak yanıtı nasıl ideale yakın bir hale getirilebilir konusu üzerinde durularak kontrolör tasarlanmalı denilmiştir. Bu bağlamda sisteme PID kontrolör tasarlamadan önce MATLAB programı kullanılarak da elde edilmiş basamak cevabı şekil-3'teki gibi verilebilir [2]. Sistem cevabının MATLAB'a aktarılmasının nedeni, tasarlanacak PID kontrolörünün ilk olarak bu programda simule edilmesini sağlamak ve simulasyon sonucuna göre sisteme bu katsayıları uygulamaktır. 4. şekilde basamak giriş uygulandıktan 0.2 sn sonra başlayan çıkış $y(s)$ ' in başladığı an tasarım kolaylığı bakımından $t=0$ kabul edilmiştir.

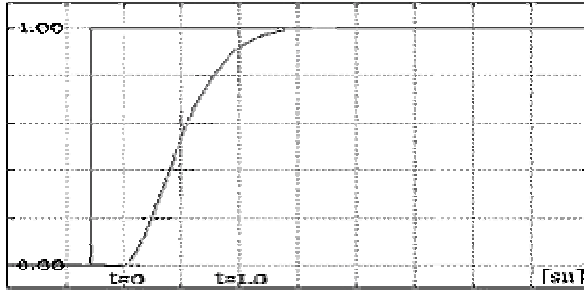


Şekil-4. Sistem Basamak Cevabı.

Bu birim basamak cevabında yerleşme süresi 2.369 s (görülebileceği gibi yaklaşık olarak zaman sabitinin 4 katı büyüklüğünde) ve sistem sürekli hal hatasını sifra çekmektedir. Bu sistem de öncelikle sürekli hal hatasını düzeltmeye, yerleşme zamanını 1 saniye mertebesine kadar azaltmaya ve aşımın yine olmamasını sağlamaya çalışırsak; kutup atama tasarım yöntemini kullanarak PID parametreleri $K_p=1.50$, $K_d=0.0080$, $K_i=2.0$ olarak elde ederiz [1].

$$F(s) = \frac{K_i + K_p s + K_d s^2}{s} = \frac{2 + 1.5s + 0.008s^2}{s} \quad (5)$$

(5) denkleminde $K_c=K_p=1.5$, $T_d = K_d / K_p = 0.0053$, $T_i = K_p / K_i = 0.750$ şeklinde parametreleri ifade edebiliriz. PID kontrolörü sistem bloğuna şekil 1 'deki gibi eklenir ve MATLAB programını kullanarak, tasarım sonucu şekil 5 ' teki basamak yanıtından analiz edilebilir. Bu basamak yanıtına göre sistemin $s=0$ ' da bir sıfırı olduğu için sistem sürekli hal hatası yapmamaktadır. Ayrıca yerleşme zamanı da 1.183 s 'dir (önerilen 1 sn değerine yakın bir değer). Sistem ilk halinde olduğu gibi aşım yapmamaktadır. Değinishmesi gereken bir nokta PID parametreleri elde edilirken, sistem kararlılığını da düşünerek kararlılığın daha iyi olması için T_d parametresinin küçük seçilmiş olmasıdır.

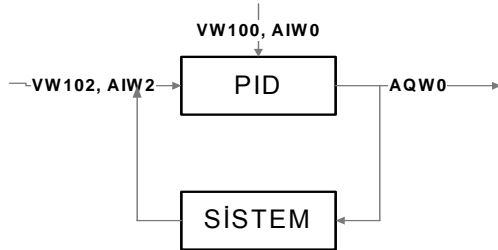


Şekil-5. Sistemin PID Kontrolör ile Birim Basamak Cevabı.

Sisteme tasarlanan PID kontrolörü sistemin kontrolsüz davranışına göre daha ideal bir davranış sergilemektedir ve PID kontrolör sayesinde sisteme istenilen yerleşme zamanı ve aşım olmama özelliği uygulanabilmektedir.

3. SIEMENS SIMATIC S7-200 KONTROLÖRÜ İÇİN PID KONTROLÖR YAZILIMI

Bu bölümde, sistemlerde yaygın olarak kullanılan PID kontrolörün belirtilen ısıl sistem için bir PLC kullanılarak nasıl gerçekleştirildiği ve bu amaçla hazırlanan yazılımın temel prensipleri ve özellikleri anlatılacaktır. Bu amaç için seçilen PLC, S7-200 CPU 226 tür. Şekil 6 ' te PLC ile sistemin temel giriş ve çıkış adreslerini gösteren diyagram verilmiştir.



Şekil-6. PLC Giriş ve Çıkış Adresleri.

Şekil 6 ' da, sistem geribeslemesi PLC ' nin analog AIW2 girişine gelir ve VW102 belleğinde saklanır. Yine aynı şekilde referans işareti AIW0 analog adresinden alınır ve VW100 ' de saklanır, analog çıkış ise AQW0 çıkışından sisteme tekrar aktarılır. PLC ' de PID kontrolör tasarlayabilmek için ilk olarak s-domeni fonksiyonlarını z-domeni fonksiyonlarına çevrilmesi gerekir. Bu amaçla PID kontrolörüne z dönüşümü yapılırsa elde edilen kontrolör fark denklemi ve denklemin katsayıları,

$$u(k) = u(k-1) + a e(k) + b e(k-1) + c e(k-2) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} a &= K_p + K_d \\ b &= -K_p + K_i \cdot T - K_d \\ c &= K_d \end{aligned} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada T örnekleme zamanıdır. Bu programda örnekleme zamanı 100

milisaniye olarak seçilmiştir. Yani sıcaklık her 100 milisaniyede bir denetlenecektir.

(6) ile ifade edilen fark denkleminin programlanması ile sayısal PID yazılımı gerçekleştirilir. Ancak bu şekilde gerçekleştirilen bir PID yazılımı uygulamada çeşitli sorunlara neden olur. Bunun en önemli nedeni türev işleminin gürültüye çok duyarlı olması ve gürültü ya da hatanın hızlı değişimi sonucu hesaplanan büyük türev değerlerinin kontrolör çıkışı üzerinde baskın duruma gelmesidir. Bunun yerine (8) nolu ifade de yer alan $u(k)$ fonksiyonu kullanılır.

$$u(k) = up(k) + ui(k) + ud(k) \quad (8)$$

Bu ifadedeki $up(k)$, $ui(k)$ ve $ud(k)$ (9) ile ifadedeki fark denklemleri ile ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} up(k) &= K_c e(k) \\ ui(k) &= ui(k-1) + (T/2Ti) \cdot [e(k) - e(k-1)] \\ ud(k) &= Td \cdot [e(k) - e(k-1)] / T \end{aligned} \quad (9)$$

(7) nolu ifade kullanılarak PID kontrolör yazılımı PLC ile gerçekleştirilebilir. Sistemin ana program kodu tablo 1 ile verilmiştir.

Tablo-1. PID Ana Program Kodu.

LD	SM0.1	; İlk Döngüde Sadece = 1
MOVB	100, SMB34	; T = 100 ms
ATCH	0, 10	; Kesme Servis Hizmet Prg.
ENI		; Kesme Serv. Hizm. Prg. Aktif
CALL	0	; Alt Programın Çağırılması

Bu kod ile PLC, kesme hizmet servis programını tanımlar ve T=100 değeri ile bu kesme hizmet servis programını 100 ms süre ile çağırır. Son satırda alt program çağırılır. Bu alt programa ilişkin kod tablo 2 ile verilmiştir [3]

Tablo-2. PID Alt Program Kodu.

LD	SM0.0	
MOVR	0.1, VD116	; Örnekleme zamanı [s]
MOVR	-32000.0, VD132	; En az u(k) değeri
MOVR	32000.0, VD128	; En çok u(k) değeri
MOVR	0.008, VD108	; Kd = Kc katsayısı
MOVR	0.75, VD120	; Ti katsayısı
MOVR	0.005334, VD140	; Td katsayısı

Bu alt programda PLC belleklerine ilk değer atamaları yapılır ve sistem kesme hizmet servis programı için hazır hale getirilmiş olur. Kesme hizmet servis programında hata işaretlerinin elde edilmesine ilişkin kod tablo 3, 4, 5 ve 6 ' da sırasıyla açıklanarak verilmiştir [6]

Tablo-3. Hata İşaretinin Elde Edilmesi.

LD	SM0.0	
MOVW	AIW0, VW100	; AIW0, R ' ye atanır
MOVW	AIW2, VW102	; AIW2, Y ' ye atanır
XORD	AC0, AC0	; Akümülatör sıfırlanır
MOVW	VW100, AC0	; R, Akümülatöre atanır
-I	VW102, AC0	; R-Y=E (Hata), AC0'a alınır
DTR	AC0, AC0	; Reel Sayı Dönüşümü

Tablo-3 ' e göre AIW0 ve AIW2 adreslerinden alınan değerler PLC belleklerine aktarılır ve bu iki işaretin farkı alınarak akümülatöre kaydedilir ve akümülatördeki işaret (hata işareti) reel sayıya çevrilir. Türev işaretinin hesaplanmasına ilişkin program kodu Tablo 4 ' te verilmiştir [5].

Tablo-4. Türev İşaretinin Elde Edilmesi.

LD	SM0.0	
MOVR	VD104, AC0	;Hatanın değerini AC0 ' a yaz
-R	VD136, AC0	;e(k) – e(k-1)'ni AC0 ' a yaz
*R	VD140, AC0	;Td ile çarp
/R	VD116, AC0	;T ' ye böl
MOVR	VD104, VD140	;Yeni e(k-1) değeri = e(k)
MOVR	AC0, VD144	;Sonucu Ud = VD140 'a yaz

Tablo-4'te (8) nolu ifade ile verilen ud(k) terimi elde edilir. Bu işaretin sınırlandırılmasına ilişkin program kodu Tablo 5 ile verilmiştir.

Tablo-5. Türev İşaretinin Sınırlandırılması.

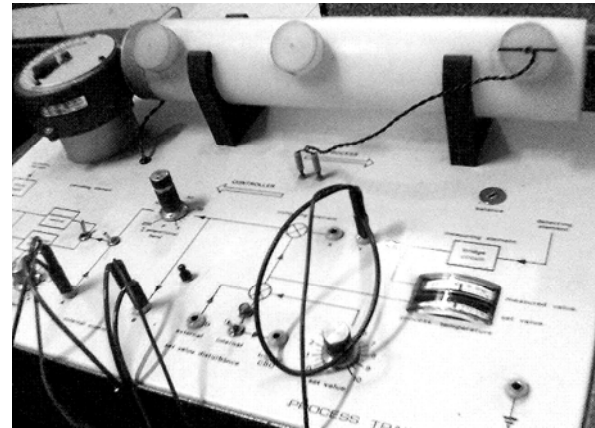
LDR>=	VD144, VD128	
MOVR	VD128, VD144	;Türev Sınırlamaları (Maks)
LDR<=	VD144, VD132	
MOVR	VD132, VD144	;Türev Sınırlamaları (Min)

Tablo 4 ' tekinen benzer bir şekilde (8) nolu ifadedeki $u_i(k)$ ve $u_p(k)$ fark denklemi PLC ile yazılır ve tablo 5 ' teki sınırlama işlemi $u_i(k)$ ve $u_p(k)$ yani integral fark ve oran fark parametreleri için de yapılır. Bu değerlerin (7) ifadesindeki gibi toplanıp $u(k)$ kontrol işaretinin oluşturulması ve PLC çıkışına gönderilmesine ilişkin program kodu tablo 6 ile verilmiştir [5].

Tablo-6. Kontrolör İşaretinin Oluşturulması ve PLC Analog Çıkışına Yazılması.

LD	SM0.0	
MOVR	0.0, AC0	;Akümülatör sıfırlanır
MOVR	VD112, AC0	;Up Oransal değeri
+R	VD124, AC0	;+ Ui Integral değeri
+R	VD144, AC0	;+ Ud Türev değeri
		;Kontrol İşr.= Up + Ui + Ud
LDR>=	AC0, VD128	
MOVR	VD128, AC0	;Kont İşr. Sınırlamaları (Umak)
LDR<=	AC0, VD132	
MOVR	VD132, AC0	;Kont İşr. Sınırlamaları (Umin)
LD	SM0.0	
TRUNC	AC0, AC0	;Reel sayının tam sayı kısmı
MOVW	AC0, AQW0	;AC0 analog çıkışa yazıldı

Tablo-6'da belirtildiği gibi ilk olarak kontrol işareti oluşturulur ve sonrasında sınırlandırılır. Son olarak bu parametreler tam sayıya çevrilerek AQW0 analog çıkışına aktarılır ve kontrol işareti sisteme verilmiş olur. Yukarıda belirtilen işlemler PLC tarafından 100 ms ' de bir tekrarlanır ve sistem istenen sıcaklığı, referansa göre ayarlayarak, kontrol işaretini sisteme aktarır. Bu program kodunun PLC ' ye yüklenmesi ve PLC 'nin ısı sistemine fiziksel bağlantılar ile bağlanmasıyla, ısı sistem kontrolü PLC tarafından gerçekleştirilmiş olur. Son olarak Şekil-7'de, kontrol edilen ısı sistemin bir görünümü verilmiştir.



Şekil-7. PT326 Isıl Sistemi.

4. SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak; endüstriyel bir ısı sistem benzeri olan, PT326 adlı laboratuvar ısı eğitim sistemi, modellenmiş ve modelin basamak davranışı incelenerek, bu davranışı belirlenen tasarım kriterleri çerçevesinde düzeltebilmek için bir PID kontrolörü tasarlanmıştır. Bu tasarım sırasında PID parametreleri, sistemi kritik sönümlü ve küçük yerleşme zamanına sahip olacak şekilde, baskın kutup atama yöntemi ile belirlenip, bulunan değerler Td en küçük olacak şekilde MATLAB aracılığı ile analiz edilerek seçilmiştir. Td değerinin küçük seçilme nedeni sistem kararlılığını küçük Td değerlerinin olumlu etkilemesidir [7].Sonuç olarak tasarım amacına uygun PID kontrolör katsayıları önerilmiştir.

Yine bu çalışmada; modellenen ve PID kontrolör katsayıları belirlenen sistem için kontrolör, PLC kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirme sırasında ölçme gürültülerine az duyarlı, uygun bir PLC kodu önerilmiştir. Önerilen PLC kodu sisteme uygulandığında, ısı sistemin sıcaklığı 20 C ile 65 C arasında kontrol edilebildiği, aşımın teorik hesapta tespit edildiği gibi olmadığı, yerleşme zamanının belirlenen tasarım kriterindeki gibi yaklaşık 1 saniye olduğu gözlemlenmiştir.

Sistemde PLC olarak, hızlı işlem yeteneğine sahip, EM222 adlı A/D ve D/A modül bulunduran ve

benzerlerine nazaran ucuz bir PLC olan S7-200 CPU 224 PLC kullanılmıştır [8]

KAYNAKLAR

- [1] Bateson N. R., CONTROL SYSTEM TECHNOLOGY, Printice Hall, 1996
- [2] Bingöl, Z., MATLAB VE SIMULINK'LE MODELLEME VE KONTROL I, Birsen Yayınevi, 2005.
- [3] Crispin A.J., PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS AND THEIR ENGINEERING APPLICATIONS, Mc Graw-Hill, 1990.

[4] Kuo B., AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS, Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company, 1999.

[5] Kurtulan S., PLC İLE ENDÜSTRİYEL OTOMASYON, Birsen Yayınevi, 2003.

[6] Kurtulan S., PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROLÖRLER VE UYGULAMALARI, Bileşim Yayıncılık, 1996.

[7] Nise N., CONTROL SYSTEMS ENGINEERING, Wiley International Edition, 2004.

[8] Siemens, SIMATIC S7-200 Programmable Controller System Manuel, 2000.