

Elektro Erozyon ile İşleme (EDM) için Yüksek Hızlı Vurum Tanımlayıcı Tasarımı

Can ÇOĞUN

Öğretim Görevlisi,
Makina Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara

Abdülkadir ERDEN

Doç.Dr.,
Makina Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara

Elektro erozyon ile işlemede vurum zincirlerinin karakteristiklerinin incelenmesi için yüksek hızlı bir vurum tanımlayıcısı tasarlanmış, imal edilmiş, denenmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Burada vurum tanımlama sisteminin çalışma prensipleri ve diğer denetim bloklarıyla ilişkisi verilmiştir. Tanımlayıcıdan elde edilen ve bilgisayarda depolanan vurum bilgileri elektro erozyon ile işlemenin bilgisayar yardımı ile denetiminde ve işleme performansının iyileştirilmesinde kullanılacaktır.

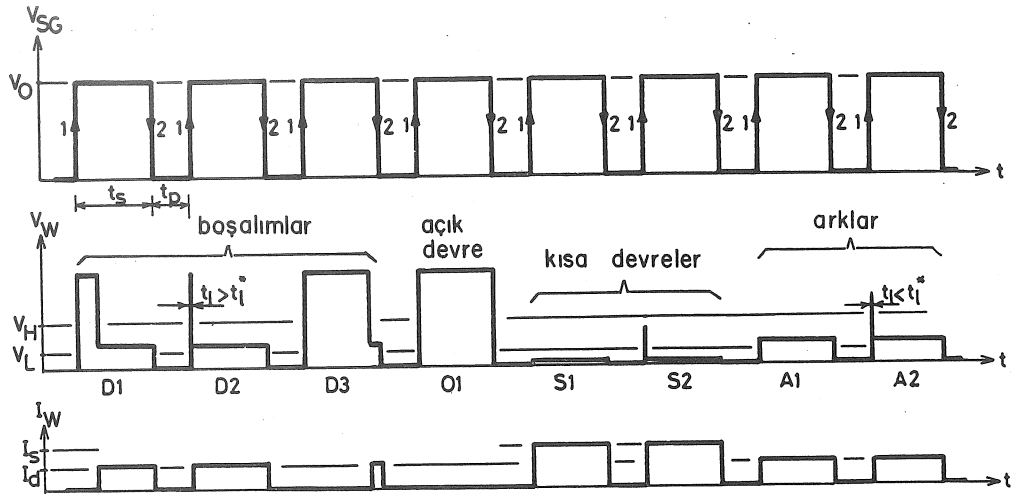
GİRİŞ

Elektro erozyon ile işleme esnasında, işleme performansı hakkında fikir sahibi olabilmek konunun halen kesin çözüm getirilememiş teknolojik sorunlarından birisidir. İşleme aralığının küçüklüğü (10-200 μm) ve işlemede kullanılan vurumların kısa süreli (10-150 μs) oluşu, fiziksel gözlem yöntemlerini güçleştirmektedir. Elektro erozyon ile işlemenin bilgisayar yardımı ile denetimi ve giderek tam bilgisayar denetimli tezgahlar geliştirilmesi ise işleme sırasında işleme performansının belirlenmesini gerektirmektedir. Bugüne kadar çeşitli kuruluşlarca yapılan birçok araştırmada, çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiş ve buradan işleme performansı konusunda bir ölçüt geliştirilmeye çalışılmıştır. İşleme performansının saptanması ve işlemenin denetiminin sağlanabilmesi için bazı çalışmalarda işleme esnasında yayılan radyo sinyalleri kullanılmıştır [1-4]. Çalışmaların çoğunda işleme esnasında kaydedilen vurum zincirleri performansa esas alınmıştır. Bu çalışmaların bazıları boşalım gerilimini [5,6], bazıları boşalımların gecikme sürelerini [7-11], bir kısmı ise boşalım akım dalga biçimlerini [12] sistem performansına esas olarak kabul etmiştir. Başka bir çalışmada ise boşalımların sayısı ile ortalama boşalım gerilimi performans göstergesi olarak kullanılmıştır [13]. Bu değişik yaklaşımlar içinde vurum zincirleri özelliklerinin ana ölçüt olarak alındığı çalışmalar, endüstriyel uygulamalar için daha uygun görülmektedir. Vurum zincirlerinin özelliklerinin belirlenmesi ise, vurumların karakteristik özelliklerinin en iyi şekilde belirlenmesi ve bilgisayar tarafından algılanmasını sağla-

yacak yaklaşımların geliştirilmesi ile mümkündür. Bu nedenle, öncelikle vurum özelliklerinin incelenmesi ve vurumların algılanabilir şekilde sınıflandırılması zorunludur.

ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEMEDE VURUM ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRMA

EDM için vurumların tanımlanması ve sınıflandırılması, uluslararası bir komite tarafından daha önce yapılmıştır [14]. Buna göre başlıca dört tür vurum belirlenmiştir; normal boşalımlar, arklar, açık devre vurumlar ve kısa devre vurumlar. Bunlardan başka ikinci derecede önemli vurum türleri belirlenmişse de, EDM'nin denetimi için önemli olmadıkları saptanmıştır [15]. Vurum özelliklerinin ve türlerinin belirlenmesi için Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde yapılan çalışmalarda elde edilen çeşitli vurum türlerinin osiloskop kayıtları Şekil 1'de görülmektedir. Bu şekilde verilen D1, D2 ve D3 tipik boşalım vurumlarıdır. D1 normal gecikme süreli bir boşalım, D2 çok kısa gecikme süreli (gerilim sıçraması) bir boşalım, D3 ise, uzun gecikme süreli bir boşalım göstermektedir. CIRP STC-E [14] raporunda kabul edildiği şekilde 200 ns'den kısa gecikme süreli vurumlar ark olarak kabul edilmiştir (Şekilde A2 tipi olarak gösterilmektedir.). O1 tipik bir açık devre vurumu, S1 ve S2 ise, kısa devre vurumları göstermektedir. S2'de vurum başlangıcında gerilim sıçraması görülmektedir. Kısa devre gerilimi 0.5 ile 2.3 V arasında



Şekil 1 Vurum üretici (SG) ve elektrotlar arası sinyallerin gerilim ve akım dalga biçimleri

ölçülmüştür. Kısa devre akım değeri 15 Amp. ile vurum üretici tarafından sınırlandırılmıştır. A1 ve A2 ise tipik ark vurumlarıdır. İdeal olarak ark tipi vurumlarda gecikme süresi yok kabul edilir.

Şekil 1'de verilen osiloskop kayıtları ile, 4 temel vurum türünü ayırtmak mümkündür. Bu vurum şekillerini elektronik olarak belirlemek ve sınıflamak amacıyla bugüne kadar, ODTÜ'de çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarla ilgili sonuçlar yayınlanmıştır [16-20]. Bu çalışmalarda prototip sistemler geliştirilerek EDM tezgahları üzerinde denenmiş ve çeşitli koşullarda deneysel veriler toplanarak analiz edilmiştir. Bilgisayar teknolojisindeki son gelişmelerin sağladığı olanaklardan da yararlanarak, geliştirilen prototip sistemler, her tür EDM tezgahına uyarlanabilir bir sistem haline getirilmiştir. Böylece tam bilgisayar kontrollü bir EDM tezgahı için gerekli olan bir vurum tanımlayıcı (EDM Pulse Discriminator) geliştirilerek uygulamaya konulmuş bulunmaktadır.

Kurulan mantık devresi ile, vurumlar iki eşik gerilimine (alçak gerilim V_L ve yüksek gerilim V_H) ve minimum gecikme süresine (t_1^*) göre sınıflandırılmıştır. Vurum başlangıcından minimum gecikme süresi (200 ns) geçtikten sonra, elektrotlar arası gerilim (V_W), alçak ve yüksek gerilimlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada sırası ile, V_L ve V_H , 4V ve 17V olarak alınmıştır. Bu değerler, tipik EDM vurumlarında yine tipik gerilim düzeyleri gözlenerek belirlenmiştir. Şekil 1'de, sinyal üreticinin ürettiği sinyallerde (V_{SG}) 1 ve 2 numaralı düşey gerilim çizgileri, sırası ile yükselen ve düşen gerilim kayıtlarıdır. Mantık devresinde, vurum üreticinin ürettiği her vurumun yükselen ve düşen kenarlarında (1 ve 2) aşağıdaki koşullara göre iki sinyal üretilir:

$$V_W > V_H \quad \text{veya} \quad V_W < V_L$$

Tezgah vurum üreticiden, gelen vurum sinyalleri (V_{SG}) ile birlikte bu sinyaller beraber değerlendirildiğinde, daha önce bahsedilen 4 tür vurum saptanabilmektedir. Vurumların 4 tür olarak tanımlanmasında Çizelge 1'de özetlenen algoritma kullanılmıştır.

Çizelge 1 Vurumları tanımlama algoritması

Yükselen SG sinyali (1) tarafından	Düşen SG sinyali (2) tarafından	Vurum Türü
$V_W > V_L$	$V_W > V_L$	Boşalım vurumlar (D1, D2 ve D3)
$V_W > V_H$	$V_W < V_H$	Ark vurumlar (A1)*
$V_W > V_L$	$V_W > V_L$	Açık devre vurumlar (O1)
$V_W < V_H$	$V_W < V_H$	Kısa devre vurumlar (S1)*
$V_W > V_L$	$V_W > V_L$	
$V_W > V_H$	$V_W > V_H$	
$V_W < V_L$	$V_W < V_L$	
$V_W < V_L$	$V_W < V_H$	

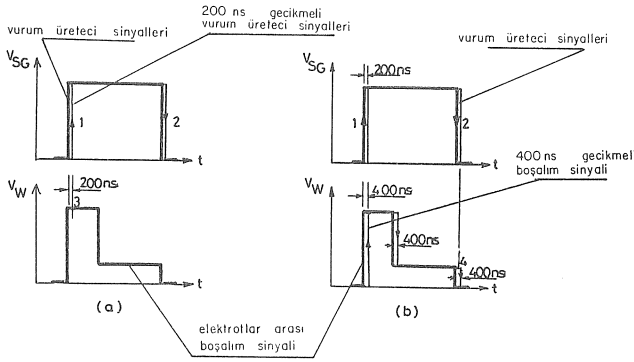
* Algılama devresi, vurumların gerilim sinyalleri (V_W) ile iki eşik seviyesini (V_L ve V_H) gerçek zamandan 200 ns daha gecikmeli olarak karşılaştırıldığından, A2 ve S2 tipi gerilim sıçramalı ark ve kısa devre vurumlarını A1 ve S1 tiplerinde olduğu gibi algılamaktadır.

İşleme sırasında kaydedilen vurumların % 99'dan fazlası bu algoritma içine girmiştir. Geri kalan çok az sayıda vurum ise, çalışmanın bütünlüğünü bozmayacağı için göz önüne alınmamıştır.

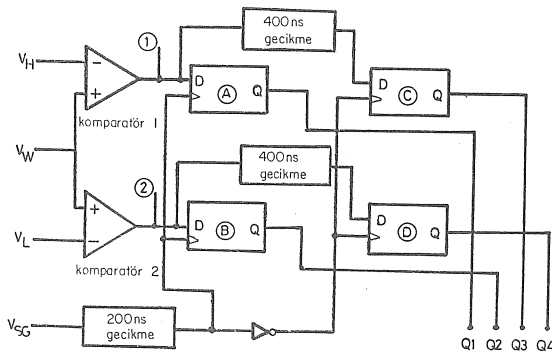
Yukarıda verilen algoritma uygulanırken, vurum üretici sinyallerine (V_{SG}) 200 ns'lik bir gecikme verilmiştir (Şekil 2a). Böylece 200 ns'den daha az gecikmeli boşalmalar, ark olarak algılanmıştır. Benzer şekilde, elektrotlar arası vuruma, düşen gerilim tarafından da 400 ns'lik bir gecikme verilmiştir. Böylece ilk gerilim değeri, vurum başlangıcından 200 ns sonra, ikinci değer ise, vurumun bitiminden 200 ns önce alınmıştır. Bu noktalar Şekil 2'de grafik üzerinde 3 ve 4 olarak gösterilmiştir.

MANTIK DEVRESİ TASARIMI

Çizelge 1'de verilen algoritmayı uygulamak için özel bir mantık devresi geliştirilmiştir. Şekil 3'te bu devrenin şeması verilmiştir. Devre içindeki 1 ve 2 numaralı komparatörler, V_H ve V_L değerlerini V_W ile karşılaştırmaktadır. Böylece oluşan elektronik mantık sinyalleri (1 ve 0), vurum üretici sinyalinin (V_{SG}) yükselen kenarında A ve B, düşen kenarında C ve D anahtarlarını tetiklemektedir. Sonuçta, Q1, Q2, Q3 ve Q4 anahtarlarında, Çizelge 2'deki gerilim karşılaştırmalarını yansıtan mantık sinyalleri oluşmaktadır. Böylece Q1-4 anahtarlarında vurum ile ilgili bilgiler oluşmaktadır. Bu bilgileri, 1 ve 0 olarak alırsak Çizelge 3'de verilen mantık çizelgesi oluşur.



Şekil 2 Elektrotlar arası sinyallerin tanımlanmasında vurum dalga biçimlerine uygulanan gecikme süreleri



Şekil 3 Vurum tiplerinin tanımlanmasında kullanılan komparatör mantık devresi

Çizelge 2 Gerilim karşılaştırmalarını yansıtan mantık sinyalleri

Anlamı	Mantık Sinyali
$V_W < V_H$	0
$V_W > V_H$	1
$V_W < V_L$	0
$V_W > V_L$	1
$V_W < V_H$	0
$V_W > V_H$	1
$V_W < V_L$	0
$V_W > V_L$	1

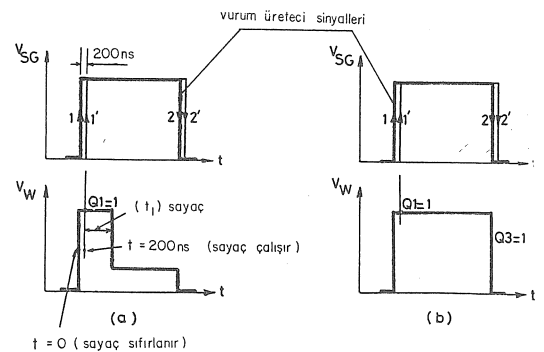
Çizelge 3 Vurum tanımlama için mantık çizelgesi

Q1	Q2	Q3	Q4	Karar
1	1	0	1	Boşalım (D1,D2,D3)
1	1	1	1	Açık devre (O1)
0	0	0	0	Kısa devre (S1, S2)
0	1	0	0	Ark (A1,A2)

1 ve 0'ın diğer kombinasyonları Tanımsız

SAYAÇ DEVRESİ TASARIMI

Vurumların gecikme sürelerini belirlemek için ayrı bir sayaç devresi tasarımı yapılmıştır. Sayaç, Q1 anahtar sinyali 1 ise çalışmaya başlamakta ve $V_W < V_H$ olduğunda durmaktadır (Şekil 4a). Q3 anahtar 1 sinyali ile tetiklendiğinde sayaç yine durmaktadır (Şekil 4b). Ancak bu ikinci durumda ($Q3 = 1$), Q1-4 anahtarlarında 1-1-1-1 bilgisi olduğundan, vurum açık devre olarak kabul edilerek, ölçülen gecikme süresi değeri, bilgisayara aktarılmamakta, bunun yerine, açık devre oluşum bilgisi gönderilmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, vurum üreticinin ürettiği sinyallerin (V_{SG}) yükselen gerilim kenarı sayacı sıfırlamaktadır. Ancak daha önce açıklanan nedenlerle, ölçülen gecikme sürele-



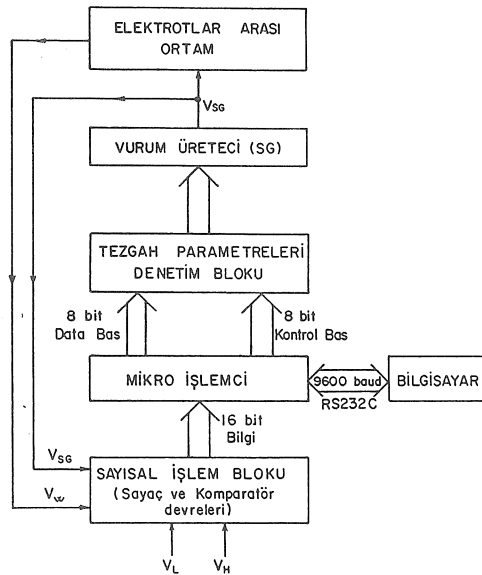
Şekil 4 Elektrotlar arası sinyallerin gecikme sürelerinin ölçülmesi

ri, gerçek gecikme sürelerinden 200 ns daha azdır. Bu durum bilgisayar yazılımı içinde düzeltilmektedir.

Sayaç devresinde önceleri frekansı 4 MHz olan bir kristal osilatör kullanılmıştı. Daha sonra 2 MHz'lik bir osilatör kullanarak öncekinden farksız sonuçlar alınca, bellek kapasitesini küçültebilmek ve bilgi aktarım zamanını kısaltabilmek için 2 MHz'lik kristal osilatör tercih edilmiştir. Q1-4 anahtarlarındaki bilgiler için 4 bit kullanılmış, kalan 12 bit'lik yer ise gecikme sürelerinin depolanmasında kullanılmıştır. 12 haneli en büyük ikili sistem (binary system) sayısı ondalık 4096 sayısına karşı geldiğinden ölçülebilen en yüksek gecikme süresi değeri 2048 μ s olmaktadır. Bu değer uygulamada görülen değerlerin (20-200 μ s) çok üstünde olduğundan bir sorun yaratmamaktadır.

BİLGİ AKTARIMI

Q1-4 anahtarlarında (4 bit) ve sayaçta (gecikme süresi için 12 bit) oluşan bilgi Doğrudan Bellek Girişimi (DMA) ile mikro işlemci kapsamındaki bellek bloklarına (RAM) aktarılmaktadır (Şekil 5). DMA bilgi aktarımına, vurum üreticinin ürettiği sinyallerin (V_{SG}) düşen gerilim kenarı ile başlamakta ve vurum ara süresi (t_p) içinde bu bilgiyi RAM'a aktarmaktadır. Zaman ve yer kazanmak açısından bilginin RAM'dan alınıp bilgisayara aktarılmasını da mikro işlemci kontrol etmektedir. Bu mikro işlemci, Q1-4 bilgisini değerlendirerek, vurum türünü saptamaktadır. Vurum, bir açık devre vurum ise mikro işlemci bilgisayara ondalık 1 sayısını 1 byte'lık bir blokla göndermektedir. Kısa devre ve ark tipi vurumların belirtilmesi ise ondalık 2 ve 3 sayılarının 1 byte'lık bloklarla ana bilgisayara



Şekil 5 Vurum tanımlama biriminin diğer denetim bloklarıyla bağlantısını gösteren blok şeması

gönderilmesi ile sağlanmaktadır. Boşalım tipi vurumlarda ise önce ondalık 4 sayısı 1 byte'lık bir blokla gönderilmekte daha sonra 12 bit'lik sayaç değerine karşı gelen gecikme süresi ardaşık 1'er byte'lık 4 blokla gönderilmektedir. Gönderilen ilk blok ondalık gecikme süresi değerinin 1000'ler hanesini, son blok ise 1'er hanesini göstermektedir. Ardaşık 2100 vurum için gönderilen bu bilgiler bilgisayarda açılan bir veri matrisi içerisinde depolanmaktadır. Mikro işlemci ile bilgisayar arasında bilgi aktarımı RS232C ile sağlanmaktadır. Aktarım hızı 9600 baud alınmıştır (Şekil 5).

Halen kullanılan bellek (RAM) her biri 16 bitlik 2100 vuruma ait bilgiyi depolamak üzere sınırlandırılmış olmakla beraber 4000 ardaşık vurum bilgisini depolayabilecek kapasitededir.

VURUM TANIMLAMA YAZILIMLARI

Vurum biçimlerinin tanımlanması tekniğini içeren yazılım mikro işlemci blokunun içerisindeki ROM birimine kaydedilmiştir. Bu yazılım tüm sistem işletimini kontrol eden programın bir parçasıdır. Öz olarak bu yazılım gelen 4 bitlik vurum tipi (Q1-4) bilgisine göre vurumun türünü tanımlar ve 12 bitlik sayaç bilgisine göre gecikme süresini μ s bazına çevirir. Bu bilgileri bilgisayarın belleğindeki bir bilgi matrisine yollar. Ardaşık 2100 vurumla ilgili bilgiyi yolladıktan sonra bilgi yollamayı durdurur, matrisi kapatır ve depolanmış bilgileri analiz için bilgisayarın kontrolüne bırakır. Bilgisayar analizi tamamlandıktan sonra program tekrar işlevlerine başlar.

SONUÇ

Bu çalışmada, elektro erozyon ile işlemenin bilgisayar yardımı ile denetimini sağlamak üzere kurulmuş olan kontrol sisteminin en önemli kısımlarından biri olan "vurum tanımlama" birimi tanımlanmıştır. Vurum tanımlayıcı, gerilim vurum zincirlerinin özelliklerini, mantık ve sayaç devreleri yardımı ile değerlendirerek değişik vurum oluşumlarına karar vermektedir. Daha sonra vurum tipi ve boşalım vurumlarının gecikme süresi bilgileri yardımcı kontrol birimleri tarafından ardaşık olarak bilgisayara gönderilmektedir. Bilgisayar tarafından değerlendirilmeye alınan bu bilgiler, işleme esnasında tezgahın işleme performansının anlaşılmasında ve geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HIGH SPEED PULSE DISCRIMINATOR FOR ELECTRIC DISCHARGE MACHINING

A high speed pulse discrimination circuit is designed, constructed and applied successfully to investigate characteristics of pulse trains in Electro Discharge Machining (EDM). In this paper the operation principles of the discrimination circuit and its connection with the other control units are given. Information obtained from discrimination unit is stored in a computer and used for adaptive on-line control of Electric Discharge Machining.

KAYNAKÇA

- 1 Bhattacharyya, S.K. ve El-Menshaw, M.F., "Identification of Discharge Profile in EDM", **Sixth North American Metalworking Research Conference**, University of Florida, 16-17 Nisan 1978.
- 2 Bhattacharyya, S.K. ve El-Menshaw, M.F., "Monitoring and Controlling the EDM Process", **ASME Journal of Engineering for Industry**, 102, (1980), 2, 301-305.
- 3 Motoki, M. ve Ono, T., "Bridge Phenomenon in the Gap, Instability of the Low Current Discharge and High Frequency Oscillation", **6th International Symposium, for Electromachining (ISEM 6)**, Wolfsberg, İsviçre, 21-24 Haziran 1977.
- 4 Fluckiger, H., "Monitron, a New EDM Interactive Control System", **SME Technical Paper**, MS73-199, (1973).
- 5 Ateliers des Charmilles S.A., "Method and Aparatus for Positioning and Electrode-Tool Relative to a Workpiece in EDM", **American Patent No.3**, 860,779, 14 Ocak 1975.
- 6 Cooke, R.F. ve Crookall, J.R., "An Investigation of Some Statistical Aspect of EDM", **Int. J. of Machine Tool Design and Research**, 13, (1973), 5, 63-68.
- 7 Heuvelman, C.J., Horsten, H.J.A. ve Veenstra, P.C., "An Introductory Investigation of the Breakdown Mechanism in Electro-Discharge Machining", **Annals of the CIRP**, 20, (1971), 1, 13-20.
- 8 Enning, H.J. ve Koning, W., "Einfluss Der Schnellen Prozessabhängigen Einstellung Der Pausen dauer Auf Das Arbeitsergebnis Beim Funkenerosiven Senken", **Industrie Anzeiger**, 100, (1979), 93, 38-40.
- 9 Weck, M. ve Peuler, H., "Die Zundverzögerungszeit als Beurteilungs Kriterium bei der Funkenerosiven Senken Bearbeitung", **Industrie Anzeiger**, 101, (1979), 64,312-318.
- 10 Enning, H.J., "Verschleissminderung durch Adaptive", **Industrie Anzeiger**, 101, (1979), 55, 43-46.
- 11 Weck, M., Koning, W. ve Peuler, H., "Automatic Control and Supervision of the EDM-Process", **ISEM7**, Birmingham, 1983.
- 12 Endel, A. ve Diveky, P., "Concept and the Solution of Control Systems For EDM Machines", **ISEM7**, Birmingham, 1983.
- 13 Koning, W. ve Kurr, R., "Fundamentals and an Operative System of Adaptive Control in Electro Discharge Machining", **Technical Paper**, Tech. Univ., Aachen, 1982.
- 14 CIRP Scientific Technical Committee E., "Summary Specifications of Pulse Analysers for Spark Erosion Machining", **Teknik Rapor** 01/02/1979, 1979.
- 15 Dauw, D. ve Snoeys, R., "Pulse Discrimination for Real Time EDM Analysis", **ISEM7**, Birmingham, 1983.
- 16 Erden, A., "Investigations on Pulse Trains in EDM", **METU J. Pure and Appl. Sciences**, 15, (1982), 1.
- 17 Çoğun, C., Erden, A. ve Türkvan, H., "Design and Application of a Digital Time-Lag Counter to Investigate Characteristics of Pulse Trains in EDM", **Proc., 24th MTDR Conf.**, Manchester, İngiltere, 1983.
- 18 Çoğun, C., Erden, A., "Effect of Pause Time on Pulse Trains in Electric Discharge Machining", **METU J. Pure and Appl. Sciences**, 17, (1984), 3, 191-208.
- 19 Çoğun, C., Erden, A., "Elektriksel Aşındırma ile İşlemede Vurum Zincirlerinin Özelliklerinin, İstatistiksel Modellenmesi ve incelenmesi", **Doğa Bilim Dergisi, Seri B**, 9, (1985), 2, 149-161.
- 20 Çoğun, C., Erden, A., "Correlation Between Pulse Train Characteristics and Machining Parameters in Electric Discharge Machining", **Int. Symp. on Measurement and Control (MECO 85)**, İstanbul, 23-25 Temmuz 1985.