

# TEKRARLAMA KAMERASI KONUM KONTROL SİSTEMİ

Edip TÜRAY  
Elektronik Y. Müh.  
TÜBİTAK - MAE - E AB - YİTAL(\*)

## ÖZET

Bu yazıda, YİTAL'de bipolar tümdevre teknolojisi araştırma-geliştirme çalışmaları kapsamında içinde gerçekleştirilen bir tekrarlama kamerası'nın (3) konum kontrol sistemi anlatılmıştır. Konumlandırma doğruluğunun artırılması için, adım motorlarının denetlenmesinde ve konum geribesleme işaretlerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.

## GİRİŞ

Gerçekleştirilen tekrarlama kamerası, yerdeğiştirme hareketi sayısal olarak programlanabilen ve denetlenebilen bir XY tablası ile bir optik düzenden oluşmuştur. Bu sistemle, gerçekleştirilecek tümdevre işleme girecek katmana ait "yerleşim planının", -"maske'sini oluşturmak üzere- bir fotoğraf camı üzerine gerçek boyutlarıyla matris düzeninde resminin çekilmesi, "tekrarlanması" sağlanmaktadır. Elde edilen maske görüntüsünün silisyum pul (wafer) üzerine aktarılması ile pul alanının tümünün mümkün olduğunca çok sayıda kırmık (chip) elde etmek amacıyla kullanılması sağlanmaktadır. Tekrarlama işlemi, tümdevrenin her katmanı için ayrı bir maske oluşturmak üzere yeniden yapılmaktadır. Tümdevreden beklenen elektriksel özelliklerin gerçekleşmesi için maskeden maskeye tekrarlama doğruluğunun tümdevredeki en küçük boyutların belirlediği bir değerden daha iyi olması gerekmektedir. YİTAL'de çalışılan boyutlarda bu doğruluk 1 mikrometre olarak verilmiştir.

Gerçekleştirilen sistem bir mikrobilgisayarın denetimi altında XY tablası konum denet birimi, Flash lambası sürücü birimi, sistem programlarının saklandığı bellek birimi ve RS-232-C seri giriş/çıkış birimlerinden oluş-

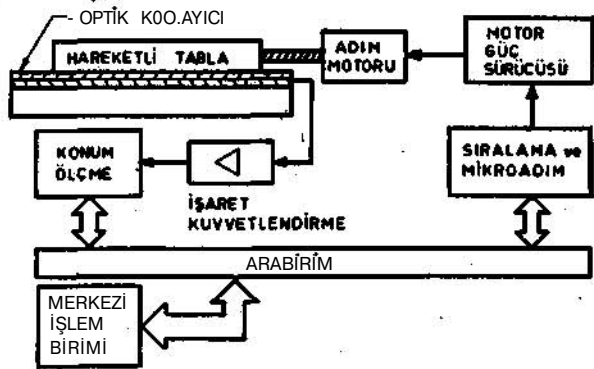
muştur. Bu yazıda yalnızca genel hatlarıyla konum denet düzeni anlatılacak, konumlandırma hızı ve doğruluğunu iyileştirmek için yapılanlar üzerinde durulacaktır.

## 1. XY TABLASI KONUM KONTROLÜ

Şekil 1.1'de X tablasına ait konumlandırma düzeni blok diyagram olarak gösterilmiştir. X tablası ile Y tablası konumlandırma düzenleri birbirinin aynısıdır.

Adım motoru "Sıralama ve Mikroadım Birimi" yoluyla kontrol edilmekte ve miline bağlı bir vida ile tablanın doğrusal hareketini sağlamaktadır. Tablanın yer değiştirme hareketi, fotoseüerden ve ölçekli bir cetvel düzeninden oluşan bir optik konum-kodlayıcısı ile izlenmekte, kodlayıcının benzeşimli (analog) çıkış işaretleri konum ölçme biriminde sayısallaştırılarak değerlendirilmektedir.

Gerçeklenen konum denetleme sisteminde, tekrarlama işleminde kullanılacak sayısal değerleri oluşturan ve işleme koyan bir dizi denetleme programı oluşturul-



Şekil 1.1. Konumlandırma düzeni

(\*) Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu - Marmara Araştırma Enstitüsü - Elektronik Araştırma Bölümü, Yarı İletken Teknolojisi Araştırma Laboratuvarı.

muştur. Tekrarlama noktalarının yerlerine ait konum değerleri ile optik kodlayıcı işaretlerinin değerlendirilmesinde ve adım motorlarının kontrol edilmesinde kullanılacak olan değerler, Basic dilinde yazılan programlarla oluşturulup tablolar halinde oku/yaz belleğe yerleştirilmiştir. Sistem dinamiğinin kontrol edilmesi ve izlenmesi süreçleri mikroişlemci dilinde yazılan programlarla sağlanmıştır.

## 2. ADIM MOTORU KONTROLÜ

XY tablasına bağlı tahrik elemanı olarak 4 fazlı 200 adım/devir'lik birer adım motoru kullanılmış, motorların hız kontrolü açık çevrimli olarak yapılmıştır. İyi bir hız performansı elde etmek amacıyla adım sürelerindeki değişimin (hızlanma profili) belirlenmesi ve uygulanması yazılım olarak gerçekleştirilmiş, bu uygulama için ve ortam koşullarına (sıcaklık vb.) bağlı olarak uygun olan hızlanma profilinin seçilmesinde kullanıcıya kolaylık sağlanmıştır.

Genel olarak adım motorunun açısal konum kontrolünün iki biçimde yapılabildiği bilinmektedir. Motor, her seferinde bir faz ya da iki faz uyarılarak "tam adımlarla (200 adım/devir) ya da bir faz ve iki fazın birbirinin ardısına uyarılmasıyla "yarım adımlarla (400 adım/devir) çalıştırılabilmektedir. Bu uygulamaya için 400 adım devir'de, 0.9'lik açısal kontrol duyarlılığı 2,54 mm'lik vida aralığı ile birlikte düşünüldüğünde 6.35 mikrometre'lik bir doğrusal konumlandırma duyarlılığı vermektedir. Ancak, motorun sürdürdüğü yükün tablanın hareket yolu boyunca değişebilirliği, vidanın diş aralıklarının ve adım açılarının hataları, diş boşluğu ve motorun adım cevabı (aşım vb.) gibi konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkiler göz önüne alındığında 0.9'lik kontrol duyarlılığı yeterli olamamaktadır. Yeterli olabilecek bir duyarlılığın elde edilmesi için adım motoru alışıl gelmiş "adımlı" çalışmadan farklı bir teknikte, "mikroadımlarla da kontrol edilmiştir.

Konumlandırma yapılmayacak bölgeler, her adım için iki fazın birlikte uyarıldığı "tam adımlı" çalışma ile hızla geçilmekte, motorlar, konumlandırma yapılacak bölgeye ulaşıldıktan sonra mikroadımlarla çalıştırılmaktadır.

## 3. ADIM MOTORUNUN MİKROADIM KONTROLÜ

Bir fazı uyarılmış bir adım motorunda, rotor bir dış etki ile açısal konumundan sapılmaya çalışıldığında, motor bu etkiye karşı sinüs eğrisi biçiminde değişen bir "tutma momenti" ile karşı koyacaktır (1). Şekil.3.1'de tutma momenti eğrileri birarada gösterilerek iki fazın birlikte uyarılması durumu üzerinde inceleme yapılmıştır.

Çalışma akımının en büyük değerinde elde edilen statik moment;  $T_{max}$ , rotorun -elektriksel derece olarak- açısal konumu;  $\theta$ .

$\theta$  andaki sargı akımının çalışma akımının en büyük değerine oranı;  $K_1$  olmak üzere M1 fazına ilişkin moment bağıntısı,

$$T_1 = T_{max} * K_1 * \cos \theta \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir (1), (2), (3). M2 fazına ilişkin moment bağıntısı da Şekil 3.1'de incelenen bölge için,

$$T_2 = T_{max} * K_2 * \sin \theta \quad (3.2)$$

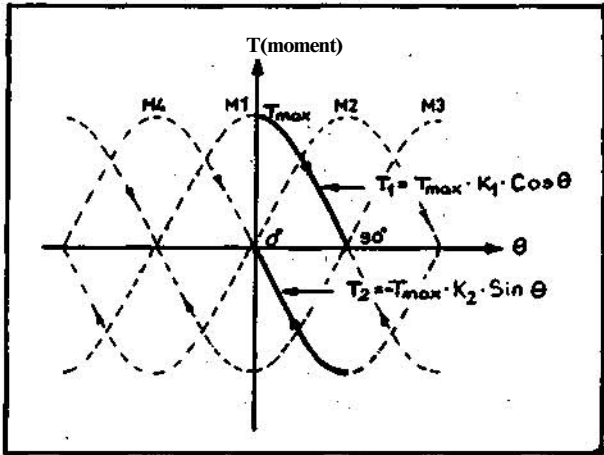
olacaktır. Rotorun "tutulduğu" noktalarda toplam momentin sıfıra eşit olması gerekeceği göz önüne alınarak, sargı akımı oranları  $K_1 - \sin \theta$  ve  $K_2 \cos \theta$  biçiminde değiştirildiğinde toplam moment ifadesi,

$$T = T_1 + T_2 = T_{max} * \sin(6 - \theta) - 0 \quad (3.3)$$

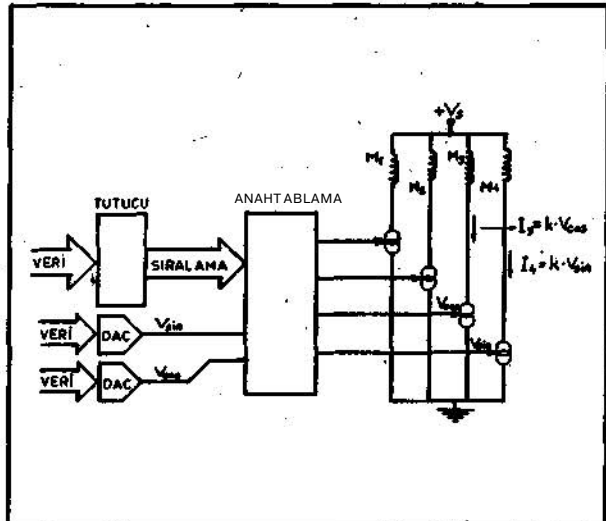
olacaktır.

3.3 ifadesinden görüleceği gibi  $T = 0$  koşulunu sağlamak üzere  $\theta$  açısı  $a$  değerini izleyecektir,  $a$  değerleri arasındaki fark istenildiği kadar küçük tutularak mikro açısal değişiklikler, "mikroadımlar" elde edilebilir.

Bu uygulamada sargı akımlarının sinüs ve kosinüs biçiminde değiştirilmesi gerilim kontrollü akım kaynakları



Şekil 3.1. 4 fazlı adım motorunun tutma momenti eğrileri (M<sub>1</sub> ve M<sub>4</sub> fazları uyarılmış).



Şekil 3.2. Mikroadım ve sıralama birimi.

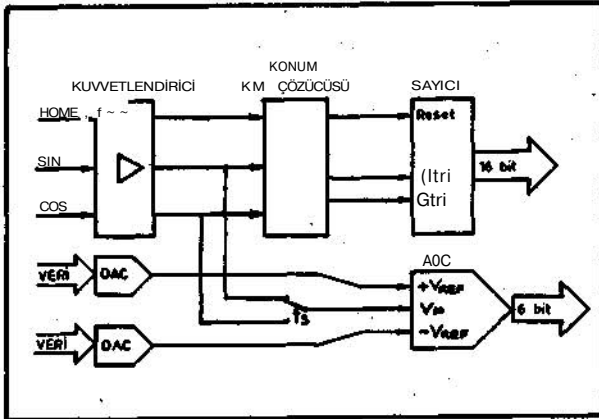
kullanılarak yapılmıştır. Sıralama ve mikroadım birimi blok diyagram olarak şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bellekte oluşturulan 90'lık bir sinüs/kosinüs tablosunun sayısal değerleri D/A çevirimi işleminden geçirilerek "sıralama" nm gösterdiği akım kaynaklarına kontrol büyüklüğü olarak uygulanmaktadır. Bu yolla 1.8'lik bir tam adım bölgesi 90 mikroadıma bölünmüş, adım motorunun 0.02'lik bir açısal duyarlılıkla (18 000 mikroadım/devir) kontrol edilmesi öngörülmüştür.

Faz akımlarının sinüs/kosinüs biçiminde değiştirilmesi ile elde edilen mikroadımların birbirlerine eşit olması, motorun tutma momenti eğrilerinin sinüs/kosinüs biçimine ne ölçüde yakın olduğuna, sargı akımıyla oluşan moment arasındaki ilişkinin doğrusallığına ve motor miline gelen yük momentinin değişmezlik derecesine bağlıdır. Motor özelliklerinden kaynaklanan bu etkenlerle birlikte, mikroaısal hareketin tablanın doğrusal hareketine dönüştürülmesinde kendini gösteren vida boşluklarının, mekanik bağlantılardaki sürtünmelerin ve düzensizliklerin doğrusal konumlandırma üzerindeki etkileri, konum geribesleme yapılarak mikroadım sayısı ve hızının kontrol edilmesiyle ortadan kaldırılmıştır.

#### 4. KONUM ÖLÇME

Konum ölçme işleminde kullanılan geri besleme işaretleri tablaya bağlı bir optik kodlayıcıdan alınmaktadır.

Optik kodlayıcı işaretleri yer değiştirmiş hareketine bağlı 20 mikrometre periyottu sinüs ve kosinüs değişimi gösteren iki işaretten (SIN ve COS), referans noktayı gösteren bir işaretten (HOME) oluşmaktadır. Konum ölçme düzeni blok diyagram olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Konum ölçme düzeni

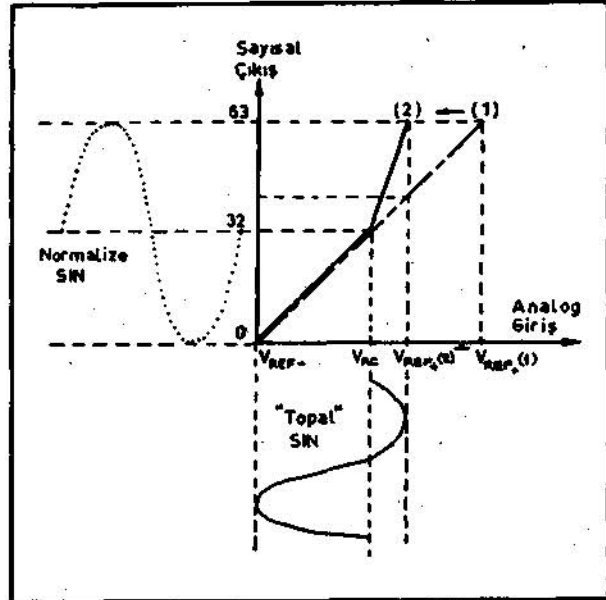
20 mikrometre'lik periyotları saymak üzere SIN işareti ile birlikte COS işaretinin sıfır geçişleri 16 bitlik bir sayıcıya ileri/geri darbeleri olarak uygulanmaktadır. HOME işareti de çalışma bölgesi başlangıcını göstermek üzere sayıcıları sıfırlamak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca SIN ve COS işaretleri 6 bitlik bir A/D çeviriciden geçirilerek 20 mikrometrelik periyot içinde 128 ayrı konum değeri elde edilecek biçimde sayısallaştırılmıştır. SIN ve COS işaretlerinin ideal sinüs ve kosinüs biçimli oldukları

varsayıldığında konum ölçme duyarlılığının yaklaşık 20/128 s 0.156 mikrometre olacağı öngörülebilir. Ancak SIN ve COS işaretlerinin sinüs ve kosinüs biçimli olmaları belirli bir yaklaşıklıkla mümkündür. Ayrıca tablanın hareket yolu boyunca ve sıcaklık değişimiyle işaretlerin genlikleri % 30 dolayında değişebilmektedir. Bu değişimin ölçme duyarlılığına etkisini ortadan kaldırmak amacıyla genlik kompanzasyonu yapılmıştır.

Sonuç olarak elde edilebilecek konum ölçme doğruluğu söz konusu olduğunda, Konum Ölçme Birimi "elektronik" optik kodlayıcı işaretleri üzerinde neden olacağı şekil bozulması, gürültü gibi olumsuz etkilerin de göz önüne alınması gerekli olacaktır.

Genlik, kompanzasyonu için SIN ve COS işaretleri, konum arama bölgesi civarındaki maksimum ve minimum değerleriyle normalize edilmektedir. Bu işlemi sağlamak amacıyla yeterince hızlı olan ve analog giriş için Vref+, Vref- ve Vrc (referans center) olarak üç referans gerilim seviyesi belirleme olanağı olan bir A/D çevirici kullanılmıştır. Normalize etme işlemi, Vref+ ve Vref- seviyelerinin değiştirilerek normalize edilecek işaretin o civarda ölçülen pozitif ve negatif tepe değerlerine eşit seviyelere getirilmesiyle yapılmaktadır. Bu işlemden sonra A/D çeviriciden okunan değerler normalize edilmiş değerler olmaktadır.

Şekil 4.2'de A/D çeviricinin transfer karakteristiğinin değiştirilmesiyle (referans seviyeler değiştirilerek) "total" bir SIN işaretinin normalizasyonu gösterilmiştir. Konumlandırma işleminde kullanılacak olan SIN değerleri, transfer karakteristiği "total" SIN işaretine uyarlanmış A/D çeviriciden okunan, sayısal olarak "iyileştirilmiş" değerler olacaktır.



Şekil 4.2. "Total" bir SIN işaretinin normalize edilmesi.

işaretlerdeki genlik değişimi kompanze edilerek, bellekte oluşturulmuş sinüs ve kosinüs tablolarındaki

değerlerin, her konumlandırma işlemi sırasında optik kodlayıcı çıkış işaretlerini daha iyi bir yaklaşıklıkla temsil edebilmesi mümkün olmuştur. Böylelikle konumlandırma duyarlılığının optik kodlayıcı işaretlerindeki genlik değişimlerinden etkilenmemesi sağlanmıştır.

## 5. ÖNERİLER

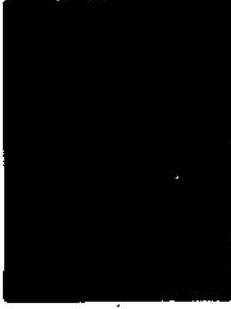
Kullanılan optik kodlayıcı işaretlerinin faz farklarında, konumlandırma doğruluğunu etkileyecek derecede bir değişiklik gözlenmemiştir. Bununla birlikte üretici firma, aynı tür kodlayıcılar için faz farkı doğruluğunu +/- 25° olarak vermektedir. Bu nedenle benzer bir uygulama için, işaretler arasındaki faz farkı hareket yolu boyunca ve/veya ortam koşullarına bağlı olarak değişiyorsa bu değişiklik de kompanze edilmelidir. Bu amaçla faz hatasının, her konumlandırma işlemi öncesinde normalize edilmiş değerler üzerinde ölçülmesi ve bellekteki sinüs (ya da kosinüs) tablosundaki değerlerin ölçülen faz hatasını karşılayacak kadar kaydırılarak kullanılması yeterli olacaktır.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada, adım motorlarının mikroadımlarla kontrol edilmesi ve konum geribesleme işaretlerindeki bozulmaların kompanze edilmesiyle doğrusal konumlandırma doğruluğunun artırılacağı gösterilmiştir. Gerçekleştirilen Tekrarlama Kamerası ile elde edilen "maske"lerdeki konumlandırma doğruluğunun amaca uygun yeterlilikte olduğu görülmüştür.

## 7. KAYNAKÇA

- (1) Kuo, B.C., "Step Motors as Control Devices", Theory and Applications of Step Motors, West Publishing Co. 1974.
- (2) Leenhouts, A.C., "Techniques for Microstepping of Step Motors", Control Engineering, pp. 58, March 1979.
- (3) Türay, Edip, "Tekrarlama Kamerası Kontrol Sistemi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Ocak 1987.



108 sicil no.lu üyemiz Fatma Semaat KÖMORCOOĞLU'nu kaybettik.  
Yakınlarına ve dostlara başsağlığı dileriz.

520 sicil no.lu Oyemiz Turan V. AKDEVELİOĞLU'nu kaybettik.  
Yakınlarına ve dostlara başsağlığı dileriz.



13545 sicil no.lu üyemiz Demirhan AYBERICI  
26.5.1989 tarihinde trafik kazası  
sonucu kaybettik.  
Yakınlarına ve dostlara başsağlığı dileriz.