

İNERFEROMETRE VE OPTİK GİRİŞİM SAÇAK SAYICI SİSTEMİ İLE YER DEĞİŞTİRME ÖLÇÜMÜ

Haluk Orhan, Coşkun Coşar, Enver Sadıkhov

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), P.K. 21, 41470, Gebze, Kocaeli

Özet

Bu çalışmada, yer değıştirme ölçümlerini $0.3\mu\text{m}$ çözünürlükle gerçekleştiren He-Ne lazerli Michelson tipi interferometre sistemi ve optik girişim saçaklarının sayıldığı sayıcı kartı anlatılmıştır. 1 MHz optik girişim saçak sayma hızına sahip olan elektronik sayıcı kartı, interferometre düzeninde yer alan ve optik girişim saçaklarının üzerine düşürüldüğü fotodedektörde görülen sinyalleri gürültüsüz olarak kuvvetlendirebilmektedir. Ayrıca, referans sinyal ile fotodedektörden elde edilen ölçüm sinyali arasında 0° 'dan 180° 'ye kadar değışebilen, isteğe bağlı faz farkını yaratmak suretiyle hareket yönünü tesbit etme yeteneğine de sahiptir. Elektronik kart üzerindeki sayıcılardan elde edilen bilgi, arabirim kartı vasıtasıyla bilgisayara aktarılıp, ortam şartları göz önünde bulundurularak gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra, kat edilen mesafeye yüksek doğrulukla çevrilir. Bu sistemin bir prototipi kurulmuş ve çalıştırılmıştır. Bundaki amaç, prototipi, oluşturma çalışmaları sürmekte olan mutlak basınç standardı interferometrik manobarometrenin mekanik kısmına adapte ederek, U-tipi manometreye basınç uygulandığında yer değıştiren civa sütunlarını izleyebilmek ve aralarında oluşan seviye farkını otomatik olarak ölçebilmektir.

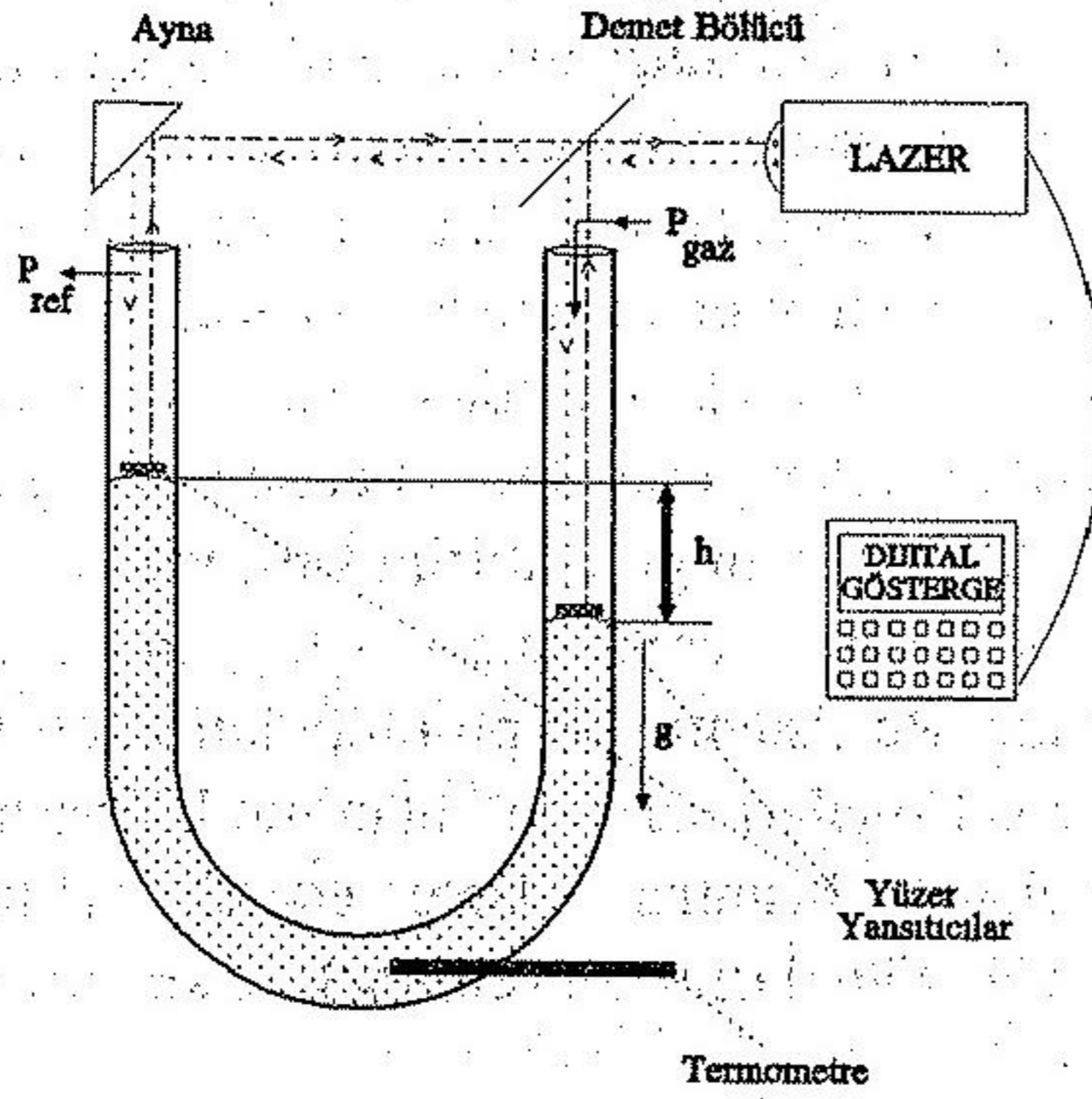
1. Giriş

Optik interferometre sistemlerine olan ilgi, son otuz yıl içerisinde inanılmaz ölçülerde artmıştır. Özellikle dünyadaki primer seviyedeki tüm metroloji enstitülerinde gerçekleştirilen mekanik ve fiziksel büyüklüklerin ölçümünde lazer interferometresi vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Küçük seviyelerde yer değıştirmelerin (titreşim ölçümü), çeşitli gaz ve sıvıların kırılma indislerinin ölçümünde, yüzey pürüzlüğü analizinde, uzaklık ölçümleri gibi daha birçok ölçümde lazerli optik interferometre sistemlerinden yararlanılmaktadır [1].

İnterferometrik sistemlerin metrolojideki başka bir uygulama örneği olarak, basınç metrolojisinde düşük basınç değerlerinin ölçülmesinde primer standart olarak kullanılan interferometrik manobarometre gösterilebilir. İnterferometrik manobarometrenin ana parçasını oluşturan Michelson İnterferometresi'dir ve kullanılan yöntem girişim saçaklarının sayılmasıdır. Bu çalışmanın amacı da, Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde oluşturma çalışmaları sürmekte olan primer basınç standardının gerçekleştirilmiş olan kayıt etme sistemini izah etmektir. Diğer bir deyişle, Michelson İnterferometre Sistemi kullanılarak, fotodedektörde görülen optik girişim saçaklarının, elektronik saçak sayıcı devre yardımıyla sayılması ve bu sayımın bir iletişim kartı vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılıp işlenerek uzunluk ölçümünün nasıl gerçekleştirildiğini anlatmaktır.

2. İnterferometrik Manobarometre

Dünyanın primer seviyedeki birçok metroloji enstitüsünde kullanılan interferometrik manobarometrelerin ölçüm aralığı genellikle 1 kPa ile 120 kPa arasında olup bu tip sistemlerle hem gage hem de mutlak basınç ölçümü gerçekleştirilebilmektedir [2]. Şekil 1.'de görülen interferometrik manobarometrenin temel elemanları; U-tüpü civalı manometre (tüpün iç çapı yaklaşık 50 mm'dir), He-Ne lazerli interferometre sistemi, referans basınç kaynağı ve mutlak ölçümlerde kullanılan mekanik ve turbomoleküler vakum pompaları ile birlikte vakum ölçerdir.



Şekil 1. İnterferometrik Manobarometre

suretiyle sütunlar arasındaki yükseklik farkı ölçülür. Ölçülen seviye farkı değeri "h" ve diğer sütundaki vakum değerini gösteren vakum ölçerde okunan referans basınç değeri (P_{ref}), g yerel yerçekimi ivmesi, ρ civa yoğunluğu olmak üzere $P = \rho gh + P_{ref}$ formülünde yerine konularak, basınç kaynağı ile oluşturulan basınç değeri hesaplanmış olur. Atmosfer basıncının referans olarak alındığı gage basınç ölçümlerinde, civa sütunlarının atmosfer basıncına maruz kalması amacıyla üstleri açılır ve vakum pompaları kullanılmaz. Civanın yoğunluk değerine (bu değer saptanırken referans sıcaklık 20°C alınmıştır) sıcaklık düzeltmesi yapılabilmesi için her iki moddaki ölçüm sırasında civanın sıcaklık değeri de PRT (platinyum dirençli termometre) ile okunur. Sıcaklık değişimlerinin ölçüm üzerindeki etkisinin fazla olması yüzünden, civadaki sıcaklık değişimlerini engellemek amacıyla U-tüpü, sıcaklığı 20°C 'de sabit tutulan su banyosu içerisine yerleştirilmiştir [3].

Civa yüksekliğinin interferometrik metotla ölçülmesi ticari olarak satılan cihazlarla yapılabildiği gibi UME'de yapılan bir sistemle interferometre düzeneğindeki fotodedektör üzerine düşürülen girişim saçaklarının elektronik olarak sayılması ile de gerçekleştirilebilir. UME'de yapılan bu sistemde interferometre düzeneği olarak Michelson tipi interferometre kullanılmıştır.

3. Michelson İnterferometresi İle Yer Değiştirme Ölçümü

Şekil 2. 'de görülen lazerden çıkan ışın demeti, demet bölücü tarafından aynı şiddete sahip iki demete ayrıldıktan sonra bu demetler, yansıtıcılar (sabit ve hareketli aynalar) tarafından geldikleri yoldan ayrı bir yol üzerinden yansıtılarak fotodetektör üzerinde giriştirilir. (1) demeti referans, (2) demeti de ölçme demeti olarak adlandırılır [4].

Bu tip interferometrelerde, her iki aynadan yansıyan demetlerden hiçbiri tekrar lazer kaynağı üzerine dönmeyecek şekilde ayarlanarak, yansıyan demetin lazer kavitesine tekrar girmesi önlenir ve böylece lazer kavite kararlılık şartları etkilenmez. İki

kısmi dalga arasındaki yol farkı hareketli aynalardan birisi hareket ettirilerek değiştirilebilir.

Hareketli ayna "x" kadar hareket ettirildiğinde, iki ışının izlediği optik yollar farklılaşır. 2 numaralı ışın bir giderken bir de aynadan döndüğünde iki kere ortam içinden geçtiğinden iki ışın arasındaki optik yol farkı, "2x" değerinde olacaktır [5].

İki girişim saçığı arasında λ ışık dalga boyu kadar açıklık olduğundan,

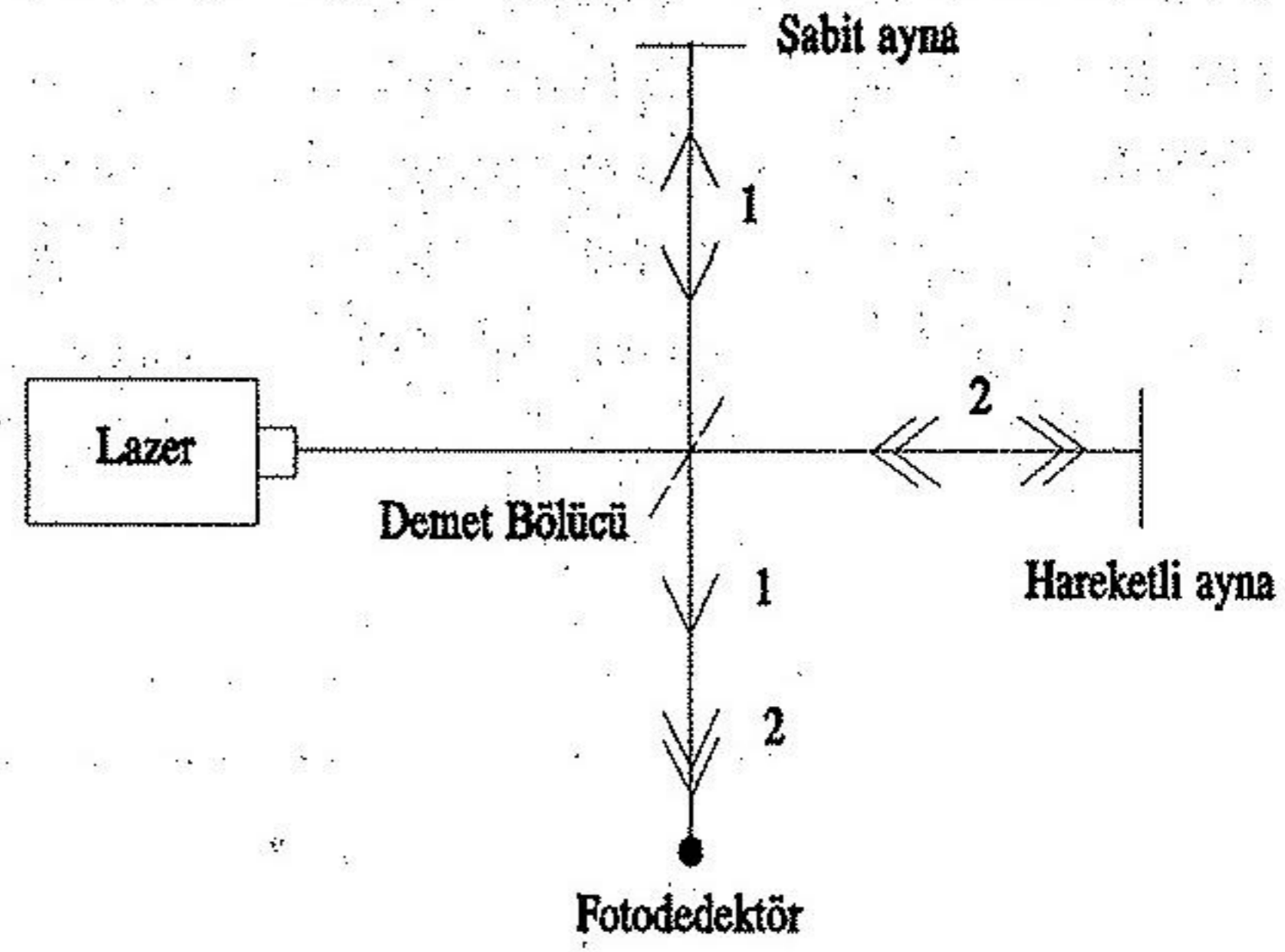
$$m = \frac{2 \cdot x}{\lambda} \quad (1)$$

değerinde girişim saçığı meydana gelir. Diğer bir deyişle, girişim saçıkları elektronik sayıcı devre aracılığıyla sayıldığında mutlak yer değiştirme $\lambda/2$ cinsinden hesaplanabilir.

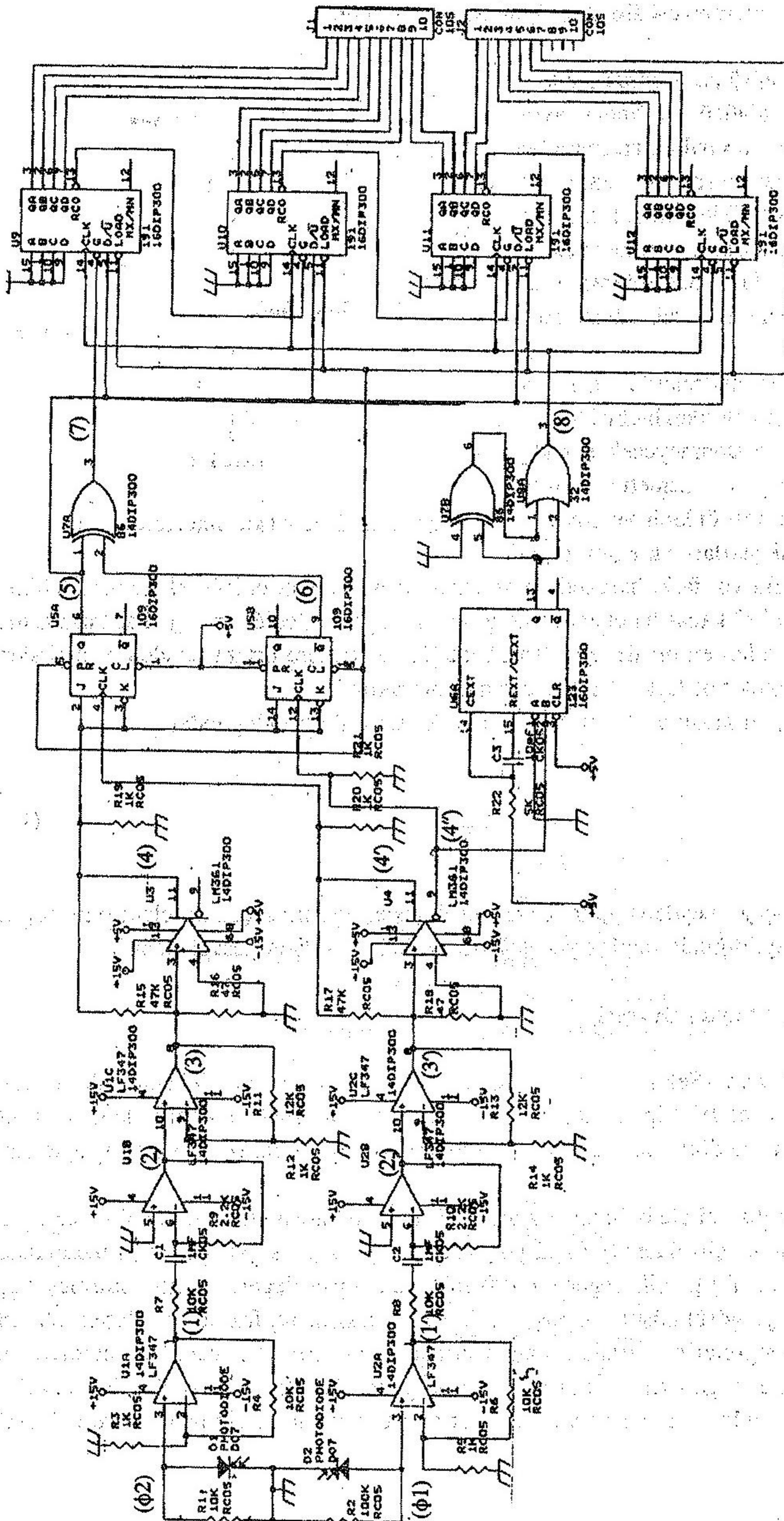
4. Elektronik Saçak Sayıcı Devresi

Saçak sayıcı devresi (Şekil 3), altı adet işlemsel kuvvetlendiriciden, iki adet yüksek hızlı komparatörden, iki adet JK flip-floptan, iki adet ex-or ve bir adet or kapısından, bir adet darbe jeneratöründen ve dört adet de ikili düzende çift yönlü (artan/azalan) sayan sayıcıdan oluşmuştur.

İnterferometre düzeninde bulunan aralarında 0 ile 180° arasında ayarlanabilir faz farkı olan iki çıkışa sahip çift-hücreli fotodiyot üzerine girişim saçıkları düşürüldüğünde fotodiyodun çıkışlarındaki genlik değerleri 100 mV 'luk offset değeri üzerine oturmuş $V_{p-p} = 50$ mV (AC) olduğu görülmüştür. Amaç, bu iki sinyal arasındaki fazı tespit ederek, oluşan saçıkları, sayıcı entegreleriyle artan/azalan şeklinde saymaktır. Bu nedenle fotodiyodun çıkışlarındaki sinyallerin gerekli gerilim değerlerine getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, ilk etapta birer işlemsel kuvvetlendiriciyle sinyaller on kat kuvvetlendirilmiştir (1 ve 1'). AC



Şekil 2. Michelson interferometresi



Şekil 3. Saçak Sayıcı Devresi Şeması

sinyal ile beraber DC-offset değerinin de büyümesi sebebiyle ikinci etapta türev alıcı devreyle DC offset gerilimi yok edilmiştir (2 ve 2'). Fakat AC sinyalin tepeden tepeye değeri istediğimiz seviyeye ulaşmadığı için sinyaller 12 kat daha kuvvetlendirilmiştir (3 ve 3'). Tepeden tepeye gerilim değeri 3,6 V olan kuvvetlendirilmiş AC sinyallerin ikili sayıcılar tarafından değerlendirilebilmesi için kare dalgaya dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple kullanılan yüksek hızlı komparatörler ile AC işaretler aynı frekanstaki kare dalgaya çevrilmiştir (4 , 4' ve 4''). Burada kullanılan flip-floplar yardımıyla ϕ_1 ve ϕ_2 fazlı sinyaller (biri ölçüm sinyali diğeri de referans sinyal olarak kullanılmıştır), birbirleriyle karşılaştırılarak faz farkları tespit edilip, hem sayıcılara sayma izni verilmekte hem de yer değiştirmenin yönüne (optik düzende sağa veya sola) göre sayıcıların artan veya azalan şekilde saymalarını sağlamaktır. Bu karar algoritması aşağıda verilmiş olan tablodaki gibidir [6].

Tablo-1 Saçak sayıcı devresi fazı tespit etme algoritması

Sayıclardaki sayma yönü	Q_1 (5)	Q_2 (6)	ex-or (7)	Sayıclardaki sayma durumu
Artan	0	0	0	Say
Artan/Azalan	0	1	1	Sayma
Artan/Azalan	1	0	1	Sayma
Azalan	1	1	0	Say

ϕ_1 sinyali ise, sayıcılara giden say izni sinyalinden her zaman daha sonra gidecek şekilde mantık devreleriyle geciktirilerek (8), sayıcıların saat darbesi girişine bağlanmıştır. Ölçülmesi hedeflenen maksimum yer değiştirme miktarı 20 mm 'nin sayılması için bu devrede dört adet artan/azalan sayıcı kaskat olarak bağlanmıştır. Sayıcılardan çıkan 16 bit ikili düzendeki sayılar tarafımızdan yapılan arabirim kartı vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılabilir. Aktarılan bilgiler kullanılarak, Turbo C dilinde yazılmış bir program ile yer değiştirme hareketinin, bilgisayar ekranında simulasyonu yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu tasarım ile 20 mm'ye kadar yer değiştirmeler, yüksek doğrulukla ve 0,3 μm çözünürlükle ölçülebilmektedir.

5. Sonuç

Tasarlanmış olan devrenin doğru çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla Michelson İnterferometresi'nin bir kolundaki hareketli ayna (bkz. Şekil 2.) mikrometre ile hareket eden bir platform üzerine sabitlenmiştir. Bu platformu ileri veya geri hareket ettirdiğimizde hareketli aynanın yer değiştirme miktarı, mikrometreden ve Bölüm 4. 'de anlatılmış olan elektronik kartlar yardımıyla bilgisayardan okunarak karşılaştırılmıştır.

Okunan deęerler arasında mikrometrenin okunabilirlięi olan 1 μm dahilinde uyum gözlenmiřtir.

Bu sistem, alternatif olarak, ölçüm amacına uygun yapılacak küçük değişikliklerle, aşağıdaki ölçümlerde kullanılabilir;

- 1) Michelson İnterferometresi kullanılarak statik ve/veya zamana göre değişen yer değiştirme ölçümlerinde,
- 2) İvme ölçerlerin mutlak kalibrasyonunda,
- 3) Ultrasonik güç ölçümleri "Su terazisi".

Kaynakça

1. Genceli O.F., Optik Ölçme Metotları, s. 129-138, (1989)
2. Tilford C.R., Three and a Half Centuries Later -The Modern Art Of Liquid Column Mercury-, Metrologia, cilt 30, s. 545-552, (1993/94)
3. Alasia, Capelli A., Cignolo G., Sardi M., A New Generation of Mercury Manometers at the IMGc, Metrologia, cilt 30, s. 571-577, (1993/94)
4. Yalçın T., Metrolojide Enterferometrik Ölçümler, TÜBİTAK-UME Yayınları, s. 3-4, (1987)
5. Gasvik J.K., Optical Metrology, s. 14-15, (1987)
6. Martin F., Gauthier J., Gulick S., Laroche F., Position and velocity sensing laser interferometer-fringe counter, Rev. Sci. Ins., cilt 59, s. 1110-1114, (1988)