

## UME OTOMATİK KAPASİTANS ÖLÇÜM SİSTEMİ

*Enis Turhan, Gülay Gülmez, Yakup Gülmez, Turgay Özkan*

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), P.K.: 21 41470 Gebze-KOCAELİ  
Tel: 262 646 63 55 E-mail: gulay.gulmez@ume.tubitak.gov.tr

### ÖZET

UME Kapasitans Laboratuvarı'nda kapasitans ölçümleri Andeen-Hagerling Model 2500A 1 kHz Hassas Kapasitans Ölçüm Köprüsü ile gerçekleştirilmektedir. Endüstriye verilen kalibrasyon hizmetlerinde de AH2500A Kapasitans Ölçüm Köprüsü kullanılmaktadır. 10 pF, 100 pF ve 1000 pF değerlerindeki hava dielektrikli kapasitans standart gruplarının düzenli ölçümleri ve zaman zaman araştırma faaliyetlerini yavaşlatacak seviyelere gelen endüstriyel kalibrasyon yoğunluğu, AH2500A kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerin otomasyonu ihtiyacını doğurmuştur. Aynı anda 8 adet kapasitörün bağlanabildiği tarayıcı kullanılarak hava kapasitörlerinin hareket ettirilmeden ölçülebilme olanağı elde edilmiş bu şekilde kapasitörlerin uzun zaman kararlılıklarının arttırılmasına imkan sağlanmıştır. Tasarımı laboratuvarında gerçekleştirilen bu tarayıcı yapısında, parazitik kapasitansların ölçüm sonucuna etkisinin için kullanılan ve bu bildiride performans sonuçlarıyla birlikte ayrıntılı olarak anlatılacak olan tasarım yöntemleri göz önüne alınmıştır. Bu tarayıcı yapısı ve AH2500A köprüsünden oluşan otomatik sistemin son parçası ise Windows işletim sistemi altında Turbo PASCAL programlama dilinde yine Kapasitans Laboratuvarı'nda yazılmış ve bu bildiride ayrıntılı olarak anlatılacak olan programdır.

### 1. GİRİŞ

AH2500A Kapasitans Köprüsü ile 8 adete kadar kapasitans standardının otomatik olarak aynı anda ölçülmesi hedeflenmiştir. UME Kapasitans Laboratuvarı'nın envanterinde 10 pF, 100 pF, 1000 pF nominal değere sahip, herbir değerden 4 adet olmak üzere 12 adet hava dielektrikli kapasitans standardı; 1 pF, 10 pF, 100 pF nominal değere sahip, herbir değerden 4 adet olmak üzere 12 adet fused-silica dielektrikli kapasitans standardı; 1 pF, 10 pF, 100 pF, 1000 pF, 0.01 µF, 0.1 µF ve 1 µF nominal değere sahip, herbir değerden 1 adet olmak üzere 7 adet yüksek frekans kapasitans standardı bulunmaktadır.

Tüm bu kapasitans standartlarının düzenli olarak ölçülmesi ve de aynı zamanda endüstriden gelen kalibrasyon taleplerinin karşılanmasının zaman olarak sıkıntı yaratmasını engellemek için otomatik bir kapasitans ölçüm sisteminin tasarlanması düşünülmüştür.

Otomatik kapasitans ölçüm sistemi ile istenilen zamanda, istenilen zaman aralıkları ile ve istenen sayıda ölçümler alınabilmektedir. Bu da haftasonu veya geceleri ölçüm alabilme imkanını vermektedir. Laboratuvarın hafta sonu ya da geceleri ısı dengesi daha iyi olacağı düşünülürse bu zamanlarda alınan ölçümlerin daha kararlılığı artmış olacaktır.

## 2. KAPASİTANS ÖLÇÜM SİSTEMİNİ OLUŞTURAN KISIMLAR

Yazılım Windows 3.11 altında çalışan TURBO PASCAL'da kodlanmıştır. Program ölçüm cihazı ile IEEE-488 protokolu üzerinden haberleşmekte, ölçümlerin ortalaması ile standart sapması hesaplanmakta ve sonuçları bir "data file" içerisinde saklayabilmektedir.

AH2500A Kapasitans Köprüsü IEEE-488 portu kullanılarak bilgisayara bağlanmaktadır. AH2500A Kapasitans Köprüsü GPIB protokolunun 488.1 versiyonunu kullanmaktadır. Dolayısıyla bu versiyonun sahip olduğu GPIB komut setini kullanmaktadır.

Yapılan elektronik kart ile röleler seçilebilmektedir. Alternatif akımda kullanılmak üzere yapılan tarayıcı kartlarında kapasitif ve indüktif etkileşimlerin de etkisinin yok edilmesi gerekir. Bu problemlerin yok edilmesi ve değerlerinin değişmemesi için elektronik kart, elektro-manyetik ve elektro-statik topraklamanın kart üzerinde de devamlılığı dikkate alınarak tasarlanmıştır. Röleler alternatif akım üzerinden devreyi açıp kapatacaklarından emk'nin (elektro-motor kuvveti) neden olduğu termal etki sorunu yoktur. Daha doğrusu (+) alternansta oluşan emk ile (-) alternansta oluşan emk birbirini vektörel olarak yoketmektedir. Emk sorunu olmadığı için "polarized relay" kullanılmamış, sıradan bir "bipolar relay" kullanılmıştır. Aynı tarayıcı doğru akımda da kullanılsaydı, emk'dan kurtulması için "polarized relay" kullanılması zorunluluğu vardı. Tarayıcı kutusu içine  $\pm 12$  V'u oluşturan güç kaynakları yerleştirilmemiş ve bu gerilim AH2500A ölçüm cihazından sağlanmıştır. Bunun nedeni ise güç kaynağında kullanılan transformatör ile ölçüm devresi arasında electro-magnetic girişim oluşmasını engellemektir.

### 2.1 Program

#### a) Programa Girilen Bilgiler

Turbo Pascal'da yazılmış olan program ihtiyaca göre değiştirilebilir. Bu program çalıştırılınca sırasıyla şu bilgilerin girilmesini operatörden istemektedir:

- "C<sub>1</sub> kapasitansını ölçmek istiyor musunuz ? (E/H)" sorusuna "E" veya "e" cevabı verilirse ölçülmek istendiği bilgisi girilmiş olur. Klavyeden girilen diğer karakterler ise ölçülmek istenmediği anlamına gelir. C<sub>1</sub>'den C<sub>8</sub>'e kadar bütün kapasitanslar için aynı soru operatöre sorulur ve operatör burada hangi kapasitansların ölçülmesi gerektiği bilgisini bilgisayara girer.

- "Kaç adet ölçüm almak istiyorsunuz?" sorusu ile bilgisayara ölçüm sayısı bilgisi operatör tarafından girilir.

- "İlk ölçümü kaç dakika sonra yapmak istiyorsunuz ?" sorusu ile bilgisayar ölçümlere başlamadan önce gerekli gecikmenin dakika cinsinden girilmesi istenir. Bu soru ile program kullanıcıya laboratuvarın ısıl dengeye ulaşabilmesi için gerekli süreyi girebilmesini sağlar. Kullanıcı isterse "0" girerek hiç gecikme kullanmayabilir.

- "İki farklı kapasitans ölçümü zaman aralığı kaç dakika ?" sorusu ile C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> gibi iki farklı kapasitansın ölçümleri arasına kaç dakika gecikme girileceği bilgisi girilir. Burada amaç röle kontaklarının değişiminden dolayı oluşan darbe(impuls) fonksiyonunun ölçüm devresini etkilememesini sağlamaktır. Otomatik kontrol sistem teorisinden de bilindiği gibi darbe fonksiyonunun Laplace cevabı "A" gibi sabit bir değerdir. Ölçüm sisteminin kararlı bir hale gelmesi için e<sup>-ts</sup> gibi bir gecikmeye ihtiyacı vardır. Daha basit anlatımla ölçüm sisteminin

gerilim atlamalarından dolayı etkilenmemesi sağlanmış olacaktır. Yine istenilirse "0" değeri girilerek hiç gecikme kullanılmayabilir.

-”İki ölçüm arasında ne kadar zaman bırakmak istiyorsunuz ?=” sorusu ile bir tur ile diğer tur arasında kaç dakika zaman bırakılması istendiği bilgisi girilir. Burada da istenilirse "0" değeri girilerek hiç gecikme kullanılmayabilir.

### b) Programın Çıktıları

Programın bir çıktı örneği Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. “Exmpdosy.exe” programıyla elde edilen kapasitans ölçüm sonuçları

Ölçüm zamanı	Kapasitans Değeri(pF)	Kayıp Faktörü
7:10:14:	9.9998121800E+00	8.4000000000E-06
7:10:49:	9.9998123400E+00	8.4000000000E-06
7:11:24:	9.9998124700E+00	8.4000000000E-06
7:11:59:	9.9998125800E+00	8.4000000000E-06
7:12:34:	9.9998127400E+00	8.4000000000E-06
7:13:09:	9.9998128700E+00	8.4000000000E-06
7:13:44:	9.9998129900E+00	8.4000000000E-06
7:14:18:	9.9998131500E+00	8.4000000000E-06
7:14:53:	9.9998132800E+00	8.4000000000E-06
7:15:28:	9.9998133700E+00	8.4000000000E-06

Cort Degeri	Cstd Sapma	Dort Degeri	Dstd Sapma
C4= 9.9998127970E+00	4.0491415172E-07	8.4000000000E-06	0.0000000000E+00

Program ölçüm zamanını saat, dakika ve saniye cinsinden raporlamaktadır. Kapasitans değerini AH2500A Köprüsü pF cinsinden okuduğu için, bu tarz program çıktısına da yansımaktadır. AH2500A ön panelindeki LED göstergeye kapasitans değerini 8 haneli aktarmakta iken, IEEE-488 portuna 9 hane aktarmaktadır. Bu durumda kapasitans okuma değerindeki çözünürlük miktarı da 1 hane artmış olmaktadır. Kayıp faktörü bilgisi de yine bir hane fazla çözünürlüğe sahiptir. AH2500A ön panelindeki LED göstergeye kayıp faktörü değerini 8 haneli aktarmakta iken, IEEE-488 portuna 9 hane olarak aktarmaktadır.

AH2500A'nın IEEE-488 portuna yolladığı string, sayısal değişkenlere dönüştürülerek program içerisinde kapasitans standardının değeri, standardın kayıp faktörü değeri ve bu değerlerin ortalamaları ile standart sapmaları hesaplanmaktadır.

### c) Programın tasarımı ve içeriği

Sözkonusu program tasarlanırken ilk olarak gereksinimler üzerinde durulmuştur. Aynı düşünce altında programın açıklanması istenirse ilk önce temel tasarım gereksinimi olan zaman probleminin nasıl çözüldüğünden bahsedilmelidir. Metroloji için gerekli olan farklı zamanlarda alınmış ölçümleri elde edebilmek için, programın daha önceden belirlenmiş zamanlarda aktif hale getirilmesi gerekir. Bunun için Pascal programlama dilinin “GetTime” fonksiyonundan faydalanılmıştır. Geliştirilmiş algoritma şu şekildedir: Bilgisayara operatör tarafından girilen zaman dakika olarak değerlendirilir. Sözkonusu zamanın bir saatten fazla olup olmadığını kontrol etmek için bu rakam 60’a bölünür, sonuç ve kalan birer değişkene atanırlar. Sonuç operatör tarafından istenen zamanın saat( varsa) kısmı kalan ise arta kalan

dakika kısmıdır. Bu işlemlerin ardından GetTime fonksiyonu çalıştırılır ve zaman; saat, dakika, saniye ve salise olarak herbiri bir başka değişkene olmak kaydıyla atanır. Bundan sonra ise GetTime fonksiyonu çalıştırılır ve her seferinde elde edilen zamanın ilk olarak alınmış zamanla istenilen zamanın toplamına eşit olup olmadığına bakılır. Eğer eşitse istenilen zaman kadar zaman geçmiş olur ve program tekrar aktif hale getirilir. Bu döngü saat ve dakika değerleri için ayrı ayrı koşudur. Her iki şartı da sağladığı durumda istenilen zamana gelmiş olur. Fakat bu durumda işletilen mantığın bir hatası mevcuttur. Anlatılmış olan algoritma saatin değiştiği durumlarda ve tabii ki günün değiştiği durumlarda sonsuz döngüye girecektir, çünkü program dakika 59 olduktan sonra 60 olmasını bekleyecektir. Aynı şekilde günün değiştiği durumda da saat 23 olduktan sonra da saatin 24 olmasını bekleyecektir. Bu durumda programa saatin 23 ve dakikanın 59 değerini aldıktan sonra bir sonraki değer 00 olduğu 'if' şartı kullanılarak programa girilir. Program ise bu durumlarda bu atanmış değerlere döner ve bahsedilmiş bulunan mantık tekrar işlemeye başlar. Bu anlatılmış olan mantık programda bir alt program olarak yazılmıştır.

Zaman ayarlama probleminin ardından çözülmesi gereken bir başka problem ise ölçüm cihazından bilgisayara gönderilen verilerin işlenmesi hakkında ortaya çıkan sorundur. Ölçme cihazının bilgisayara gönderdiği bilgi 'string' biçimindedir. Üstelik bu sözkonusu string biçiminde olan bilgi tamamen sayısal verilerden de oluşmamaktadır. Bu durumda bilgisayarın ölçme cihazından gelen veriden kendisine lazım olan veriyi alıp onun üzerinde işlem yapması gereklidir. Bunun için işletilen mantık ise ölçme cihazından gelen verilerin incelenip hangi verilerin program için gerekli olduğuna karar verip bu verilerin program tarafından kullanılabilir hale getirilmesidir. Bu işlem için 'copy' komutu kullanılmıştır. Bu komutla karakterler üzerinde tek tek işlem yapılabilmektedir. Yapılmış olan inceleme sonucunda gerekli olan veriler bu komutla diğer sayısal olmayan verilerden ayrılırlar. Fakat bunun sonucunda ortaya çıkan veriler gene işlenecek duruma getirilmemiştir çünkü veriler her ne kadar yalnızca rakamlardan oluşuyorsa da hala daha 'string' tipindedir. En son olarak bu 'string' biçiminde olan veriyi nümerik forma çeviren 'val' komutu kullanılır. Artık bilgisayar bu veri üzerinden istenen işlemleri yapabilecektir. Bu iki ana sorunun ortadan kaldırılmasından sonraki işlemler artık yalnızca verilerin nasıl işleneceği üzerinde yoğunlaşmıştır.

Program otomatik kapasitans ölçme sisteminde aynı anda 8 adet kapasitans ölçme amacına yöneliktir. Operatöre rölelere bağlı kapasitanslardan ölçmek istediklerini seçme şansını sağlamak için programın başında hangi kapasitansların ölçülmek istenildiği teker teker sorulur. Her sorulduğunda 'E' veya 'e' tuşlarına basıldığında program o kapasitansın ölçülmek istenildiğini kaydeder. Bu, 'E' ve 'e' harflerinin ASCII kodlarının kullanılması ile yapılır. 'ord' fonksiyonu değişkeninin ASCII değerini çıktı olarak verebilen bir fonksiyondur. 'E' ASCII değeri 69, 'e' ASCII değeri ise 101'dir. Operatör tarafından klavye aracılığı ile girilen karakterin ASCII değeri sözkonusu değerlerle karşılaştırılır. Sonuç olumlu olursa o kapasitansın ölçme işlemi program sırasında sırası geldiğinde yapılır. Klavyeden girilen 'E' ve 'e' harici karakterler olumsuz olarak değerlendirilir. Yalnızca 'H' ve 'h' karakterlerinin olumsuz olarak değerlendirilmesine gerek duyulmamıştır. Program satırında bundan hemen sonra yazılan satırlar çalıştırılan programın ekrana olan çıktılarını düzenlemek için yazılmıştır. Daha sonra ise alınan ölçümlerin birer veri dosyasında bulundurulma formatı oluşturulur. Dosya isimleri C1..C8 olarak birebir atanmıştır, fakat isteğe göre verilerin aktarılmasının istendiği dosya isimlerinin kullanıcı tarafından girileceği bir seçenek ihtiyaca göre düzenlenebilir.

Veri dosyalarının formatının oluşturulmasından sonra programda ölçüm alma ve bu ölçümleri dosyalara yazma komutları bulunur. Ölçüm cihazına bir komutun gönderilmesi 'send' komutu ile yapılmaktadır.

Programda örnek bir komut satırı şu şekildedir:

```
send ( 28, 'sa 1', status );
```

Komut satırındaki 28 ölçme cihazının GPIB portundaki adresidir. Bu adresin yazılması o adrese bağlı cihaza komut yollanması anlamına gelmektedir. Aynı GPIB portuna birden fazla cihaz bağlanabilmektedir. 'sa 1' ifadesi sample 1 , yani 1 numaralı örnek anlamında kullanılmıştır. Bu özellik ise ölçme cihazına ait bir özelliktir. AH 2500 A ölçüm cihazına 64 adet örnek bağlanabilmektedir, fakat ölçüm sisteminin örnek sayısının 8 olması ihtiyaca göre kararlaştırılmıştır. En son olarak yazılan "status" ifadesi ise bilgisayar ile ölçüm cihazı arasındaki verinin gönderilip gönderilmediği ve alınıp alınmadığı bilgilerini içeren durum sekizlisidir. Bu komutun ardından ölçme cihazının komutu gerçekten alıp almadığını kontrol etmek için 'spoll' komutu kullanılır. Komutun kullanılış şekli şöyledir:

```
spoll (28, a, status);
```

Sözkonusu komut satırı 28 numaralı adresten status sekizlisini alır ve 'a' değişkenine atar. Bir sonraki satırda bu 'a' değişkeninin değerinin 128' den küçük olup olmadığı sorgulanır. Eğer durum sekizlisinin değeri ('a') 128 değerinden küçükse program bu değer 128'e eşit veya büyük olana dek yani gönderilen komut ölçüm cihazı tarafından alınana dek döngüye girer. AH2500A Kapasitans Köprüsü'ndeki GPIB haberleşmesi status saklayıcısının 8. bitinin 1 veya 0 olup olmadığına bağlıdır. 8. bit 1 yani, 128 sayısına sahip olması IEEE-488 protokolu açısından "Data Valid" anlamına gelir. Bundan sonraki aşamada ölçüm cihazından veri alınması gerekmektedir. Bu da şu komut satırı yardımıyla yapılmaktadır:

```
enter ( r, 80, 1, 28, status);
```

"r" burada string değişkenidir ve verinin alınıp alınmadığı ile ilgili bilgiler bilgisayar tarafından buraya yazılır, 80 alınacak verinin en büyük uzunluğu, 1 ise gerçek uzunluğudur. Ölçüm cihazından verinin alınmasının ardından bu veri üzerinde daha önce anlatılmış bulunan işleme yapılır. Sonra veri dosyaya yazılır. Örneğin 1 numaralı kapasitansın değerinin dosyaya yazılması şu şekilde gerçekleşir:

```
assign ( data, 'c1.dat');  
append (data);  
writeln ( data, r1[I] );  
close ( data );
```

Yukarıdaki gibi yazılan bir komut kümesinin ardından r1[I] değişkeni c1.dat isimli dosyaya yazılır. Şekli daha önceki satırlarda hazırlanmış veri dosyasına bilgi aktarımı bu şekilde yapılır. Eğer bir dosyaya ilk defa veri girişi yapılacaksa bu işlem 'append' yerine 'rewrite' komutu kullanılarak yapılmalıdır. Anlaşılabildiği üzere 'append' komutu dosyalara veri eklemek için kullanılmıştır, çünkü daha önce veri dosyalarının formatı oluşturulurken bu dosyalara ilk veri girişi yapılmıştır. Bu nedenle de 'rewrite' komutu kullanılmıştır. Veri dosyasının formatının oluşturulmasının nedeni kullanıcının program bittikten sonra verileri okuyacağı dosyada sonuçları daha rahat algılayabilmesidir.

Programda ölçüm cihazından okunan veriler birer dizi değişkenine atanırlar. Bu değerler okunan kapasitansların ortalama ve standart sapma değerlerinin hesaplanmasında kullanılır. Ortalama değer hesaplamasından sonra ölçüm sonuçlarının standart sapmasının hesaplanması aşağıdaki formüle göre yapılır.

$$C_{std} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_{ort} - x_n)^2}$$

Son olarak da verilerin işlenmesi sonucunda oluşan ortalama ve standart sapma değerlerinin veri dosyalarına yazılması için gerekli format oluşturulur ve bu format altında veriler bu dosyalara saklanır. Tüm bu işlemler sonucunda kullanıcının ölçülen her kapasitansa ait verileri işlenmiş ve bu veriler veri dosyalarında anlaşılır bir biçimde düzenli olarak saklanmıştır.

Fakat şu ana kadar tam olarak bahsedilmeyen bir önemli konu daha mevcuttur bu da ölçüm cihazıyla haberleşmede kullanılan 'send' ve 'enter' harici komutlardır. Sözkonusu komutlarla ölçüm cihazının bahsedilen ölçmeleri nasıl alması gerektiği tarif edilir. Bu komutlardan takip eden bölümde söz edilecektir.

#### *a) AH 2500A Dijital Köprünün Komutları*

Bu bölümde sistemde kullanılan komutlardan bahsedilmiştir.

**AVERAGE:** Bu komutla cihazın ne kadar süre sonra ölçüm örneği alacağı bilgisi girilir. Diğer bir ifadeyle "integration time" süresi belirlenmiş olmaktadır. Örneğin, "av 10" seçildiğinde cihaz yaklaşık olarak 30 sn bekler, 0.1 sn süresince bir örnek olmak üzere 256 adet örnek alır. Cihaz kendisine bu komutla bildirilen kadar ölçüm alıp bunların ortalamasını ekrana yazar (bilgisayar ile kontrol durumunda veriler hem ön paneldeki ekrana yazılır hem de bilgisayara gönderilir). Bu komutun kullanımı için X istenilen ölçüm miktarı olmak üzere 'send' komutu içine 'av X' yazmak yeterli olacaktır.

**SINGLE:** Bu komut ölçüm cihazının sözkonusu ölçümü hangi formda alması gerektiğini bildirilir. Cihazı herhangi bir ölçümü iki şekilde alabilir. Bunlardan ilki bu yazdığımız 'single' ölçümdür, diğerinden ise bir sonraki kısımda söz edilecektir. Eğer cihaza single ölçüm alması için komut verilirse cihaz daha önceden average komutuyla verilen sayıda ölçümü alır ve durur. Cihaza başka komut verilmesini bekler. Bu komut için gene 'send' komutu içine 'si' yazmak yeterli olacaktır.

**CONTINUOUS:** Bu komutla cihaz verilmiş olan average sayısına göre verilmiş olan ölçüm alma işlemine kullanıcı müdahale edip durdurana kadar. Gene bu komutun kullanımı ise 'send' komutu içine 'co' komutu yazılmasıyla olur.

**SAMPLE:** Bu komut otomatik kapasitans ölçüm sistemi için en önemli komuttur. AH2500A'nın sample portunda toplam 8 adet switch(anahtar) konumu bulunmaktadır. Sözkonusu komutla bu anahtar konumlarından herhangi birine bağlı bulunan kapasitansın ölçümü alınabilir. Komut kullanımı 'send' komutu içine, X ölçülmek istenen kapasitansın bağlı bulunduğu anahtar konumu olmak üzere, 'sa X' biçimindedir.

Gerek duyulduğu takdirde komuta edilebilecek anahtar sayısı 64'e çıkarılabilir. Bunun için sözkonusu 8 adet anahtar konumu matris biçiminde kullanılır. Satır ve sütun seçiminin hatırlanabilmesi için bellek elemanı(latch) kullanılır. Bu durumda bir kapasitansın okunabilmesi için bilgisayardan ardarda iki adet 'sample' bilgisi girilmesi gerekir. Bunlardan seçilen satırı diğeri de sütunu belirtir.

64 adet örnek üzerinde ölçüm alma durumu sözkonusu olmasına rağmen tarayıcı devresi 8 adet örnek üzerinde ölçüm almak için tasarlanmıştır. Bunun en büyük nedeni sözkonusu ölçme kapasitesinin yeterli olmasıdır.

**HOLD:** Bu komut ölçüm cihazının saniye cinsinden verilen gecikme miktarı kadar hiçbir işlem yapmamasını sağlar. Komutun kullanımı 'send' komutu içinde X girilmesi, istenen zaman(saniye) olmak üzere, 'ho X' biçimindedir. Verilebilecek en fazla gecikme süresi 99,999,999 saniyedir. Sözkonusu komut Pascal'da program yazılımı sırasında gecikme alt programlarına alternatif olarak düşünülmüştür. Vazgeçilmesinin nedeni ölçüm cihazının çok uzun süre aktif kalmak durumunda olmasıdır.

**LOCAL:** Bilgisayar kontrolü sırasında 'remote' konumuna geçen ölçüm cihazının tekrar ön panelinden komut alabilmesi için 'local' konuma geçmesini sağlayan komuttur. Aslında cihaz üzerinde de aynı işlevi gören aynı adlı komut bulunmaktadır. Bu nedenle program sırasında bu komutun kullanımına gerek duyulmamıştır.

**RESET:** Ölçüm cihazının resetlenmesi için kullanılan bir komuttur. Ölçüm cihazının resetlenmesi daha önceden girilmiş olan komutların kullanılmaması ve cihazın tekrar açılış konumundaki bilgileriyle çalışmasını sağlamak içindir. Ölçüm cihazının önpanelden kullanımı sırasında karşılaşılan herhangi bir aksaklık da bu komutun kullanılmasının gereksinimine neden olabilir. Kullanımı 'send' komutu içinde 'rst' biçimindedir.

**UNITS:** Ölçüm cihazının ön panelinde 'units' olarak tanımlanmış 4 adet konum bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla şunlardır:

- |                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Nanosiemens                     | (nS)            |
| 2. Dissipation Factor              | (dimensionless) |
| 3. Series resistance in Kiloohms   | (kΩ)            |
| 4. Parallel resistance in Gigaohms | (GΩ)            |

'send' komutu içinde verilecek ve 1 ile 4 arasında değişen değişkenle beraber tanımlanacak 'un X' komutu ölçüm cihazının kapasitansın başka hangi veriyi okuyacağını bildirir. Kapasitans ölçümünde bu genellikle kayıp faktörüdür. Program sırasında 'un 2' olarak tanımlanmıştır.

## 2.b Tarayıcı(scanner)

Tarayıcı tasarımında 12 Volt'luk röleler kullanılmıştır. Sözkonusu röleler transistör ile sürülmüştür. AH2500A ölçüm cihazı örnek almadan önce röleyi uyardıktan sonra belli bir süre beklemektedir. Yani 'sample' komutu verildikten sonra ölçüm cihazı belirli bir zaman beklemektedir. Bunun nedeni rölenin, uyarıldıktan ancak belli bir süre sonra kararlılığa ulaşabilmesidir. Sample komutu işleme geçtiği anda devre kontrol girişi üzerinden +12V ile sürülür. Bu gerilimle kutuplanmış olan transistör ilettime geçer ve rölenin uyarılmasını sağlar. Eğer sözkonusu rölenin uyarılmaması gerekiyorsa devre kontrol girişi üzerinden -12V ile sürülür ve transistörün kesime girmesi sağlanır. Tarayıcı devresinde 8 adet sürücü devresi bulunmaktadır. Rölelerin kontak uçlarından biri sabit olarak kapasitansların H ( high ) ucuna bağlı diğer ucu da uyarılma durumuna göre ya AH 2500A'nın H ucuna ya da toprağa bağlıdır. Ölçüm alınmayan kapasitansların bağlı bulunduğu rölelerin sabit olmayan uçları toprakta tutulmaktadır. Eğer herhangi bir kapasitans ölçülmek istenirse o kapasitansın bağlı bulunduğu röle uyarılır ve kapasitansın H ucu ölçüm cihazının H ucu ile kısa devre olur. Bu, ölçüm cihazının o kapasitansı okuyabilmesi için gerekli ve yeterlidir. Dekoder devresi de tek bir zaman aralığında sadece bir röleyi sürebileceğinden dolayı, aynı anda iki adet ölçülecek

kapasitansın H uçlarının AH2500A'nın H ucuyla kısa devre olması tehlikesi sözkonusu değildir.

Kapasitansların H uçları rölelere bağlıdır ve tarayıcı ile aynı kutu içinde bulunmaktadır. L (low) uçları ise ayrı bir kutu içinde bulunmaktadır. Burada amaç H ve L uçlarına ait ekranların sürekliliğini sağlamaktır. Ekranın sürekliliği aynı kutu içerisinde uygun koaksiyel kablo ve BNC tipleri kullanılarak da sağlanabilir. Ekranın bu şekilde tasarlanması ile ölçülecek  $C_{HL}$  kapasitansı dışındaki bütün artık kapasitanslar  $C_{HG}$  ve  $C_{LG}$  toprak kapasitansları haline getirilmektedir.  $C_{HG}$  ve  $C_{LG}$  artık toprak kapasitansları ise 3 terminalli kapasitans ölçüm tekniğinden dolayı yokedilmekte ve sadece  $C_{HL}$  kapasitansı AH2500A tarafından ölçülmektedir. İlk tasarımda güç kaynağı ile tarayıcı aynı kutu içinde bulunmaktaydı. Güç kaynağında bulunan transformator ile tarayıcı pirinç-bakır karışımı ekran ile birbirlerinden manyetik açıdan izole edildiği halde, yine de transformator ile devre arasında elektromanyetik girişim oluşmuştur. Bu durum alınan ölçümlerin kötü sonuçlar vermesine neden olmuştur. Daha sonra AH2500A'nın içerisinde bulunan güç kaynakları kullanılarak röleler sürülmüş ve böylelikle kutu içerisinde transformator kullanılmadığı için transformatorün oluşturduğu manyetik girişim etkisi sözkonusu olmamaktadır. H ve L uçlarının ölçüm cihazından alınarak kutulara ayrı olarak verilmesi ile elektrostatik ekranlama sağlanmıştır. Elektrostatik ekranlama ile ölçüm sisteminin H ve L tanımlı uçları ile çevredeki objeler arasında kapasitif etkileşim oluşması engellenmiştir.

Kayıp faktörü ölçümünde ise tarayıcı belli bir doğruluk hatası oluşturmuştur. Zaten kayıp faktörü ölçüm sisteminde bu ilave resistif etkiyi tam anlamıyla yok etmek mümkün olmadığından, bahsedilen artık parametrelerin matematiksel yolla ortadan kaldırılması yoluna gidilmiştir.

### 3. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Otomatik kapasitans ölçüm sisteminin performansının incelenmesi için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kısa süre içinde (birkaç gün) alınan bu ölçümler sistemin tarayıcı kullanılmadan alınan ölçümlere göre doğruluk farkını vermektedir.

Nominal Değer	Tarayıcı ile Alınan Ölçüm ( $C_s$ )	Tarayıcısız Alınan Ölçüm ( $C_n$ )	$(C_s - C_n) / C_n$ ( $\times 10^{-6}$ )
1 pF	1.0000059	1.0000031	2.8
10 pF	10.0000157	10.0000116	0.41
100 pF	100.0000802	100.0000615	0.19
1000 pF	999.96695	999.96674	0.22

Ölçüm sonuçlarından görülebileceği gibi 1 pF ölçüm sonuçları dışında diğer ölçümlerde sistemin ölçüm değerine olan etkisi ihmal edilebilecek derecededir.

### 3. SONUÇ

Yapılan tüm bu değişiklikler sonucunda otomatik kapasitans ölçüm sisteminin performansı tüm kademelerde incelenmiştir. Bu inceleme sonuçlarına göre sistemin hangi değerlerin ölçümünde ne kadar hata ile ölçüm aldığı bilgilerine erişilmiştir. Sözkonusu incelemede tüm standart kapasitanslar hem tarayıcı ile hem de direkt ölçüm cihazına bağlanarak ölçülmüştür. Bu ölçüm işlemi birkaç defa tekrarlanmıştır. Tüm bu ölçümler sonucunda sistemin 1000, 100, 10 pF standart kapasitans ölçümlerinde  $10^{-7}$ 'ler mertebelerinde hatalar oluşturduğu