

ULUSAL KAPASİTANS STANDARTLARI VE KAPASİTANS İZLENEBİLİRLİĞİ

Seçkin Varol

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

Özet

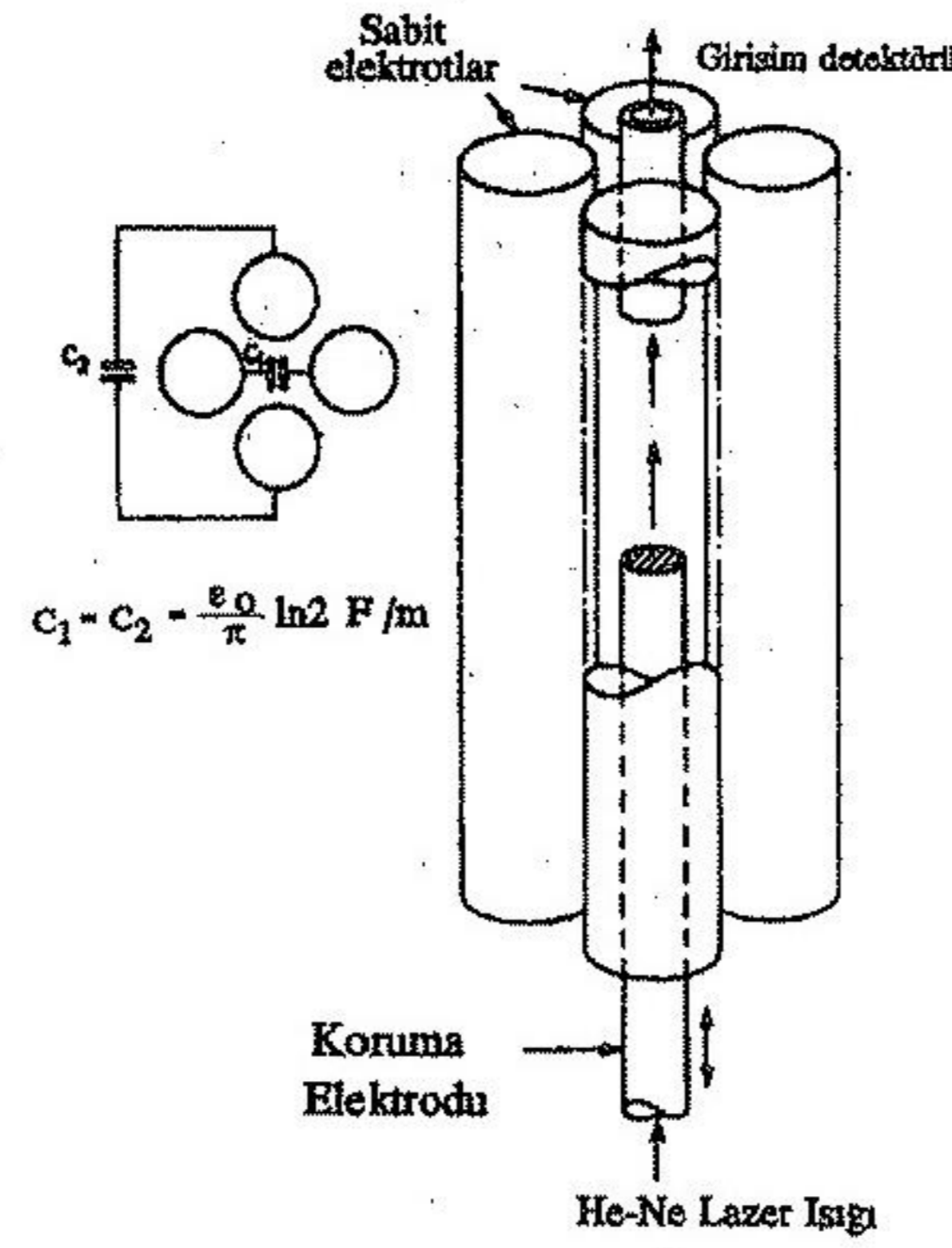
Kapasitans birimi birincil standardı olarak 1960'lı yıllardan bu yana "hesaplanabilir kros-kapasitör" kullanılmakta olup, bu birim uzunluk birimi metreye bağlı olarak türetilmekte ve mutlak olarak tanımlanabilmektedir. Birincil düzey standart için yapılan bu tanım uyarınca farad birimini 10^{-7} belirsizlikle ifade edebilmek mümkündür. $C=1.953\ 549\ 04$ pF/m olarak elde edilen bu değer özel ölçme teknikleri kullanılarak laboratuvar ortamında kullanılan ikincil düzey standartlara aktarılır. Zamanla, sıcaklıkla ve nemle çok az değişecek yapıda üretilmiş olan bu standartlar düzenli aralıklarla ölçülür ve böylelikle o laboratuvarın kapasitans belirsizliği ortaya çıkmış olur. Bu çalışmada ulusal kapasitans standartları ve ölçme teknikleri hakkında bilgi verilerek uluslararası düzeyde kapasitans biriminin izlenebilirliği ve Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde bu izlenebilirliğin çalışma standartlarına nasıl aktarıldığı anlatılacaktır.

1. Giriş

Günümüz teknolojisine aktarılan kapasitans biriminin, doğruluğunun ve kararlılığının elde edilmesine ilişkin ilk çalışmalar 1956 yılında Thompson - Lampard teoremiyle başlatılmıştır. Thompson - Lampard teoremine göre, silindir biçimindeki dört metal elektrot şekil 1'de gösterildiği biçimde birbirlerine paralel olarak vakum içerisine yerleştirildiklerinde, aralarında oluşan kapasitör yalnızca elektrotların l uzunluğuna bağlı olup $C=\epsilon_0 \cdot l \cdot \ln 2 / \pi$ bağıntısıyla tanımlanır. Bu ifadedeki ϵ_0 'ın, 10^{-14} 'ler düzeyinde doğrulukla saniye cinsinden belirlenebilmesi ve l uzunluğunun 10^{-9} 'lar düzeyinde doğrulukla ölçülebilmesi, kapasitans birimindeki ölçme belirsizliğinin 10^{-7} 'ler seviyesine düşmesini olanaklı kılar. Böylelikle şekil 1'de şematik olarak gösterilen hesaplanabilir kros kapasitör $C=1,95354904$ pF/m değeriyle belirlenir [1].

2. Kros Kapasitör

Thompson - Lampard teoreminin bulunuşunu izleyen yıllarda, birincil düzeydeki bir çok metroloji enstitüsü hesaplanabilir kros kapasitörün gerçekleştirilmesi çalışmalarını başlatmıştır. Dönemin en gelişmiş mekanik bilgisinin uygulandığı bu çalışmada, elektrotların yapımı için düşük sıcaklık katsayısına sahip oluşu nedeniyle özel alaşımli paslanmaz çelik seçilmiştir. 85 mm çapındaki ve 850 mm uzunluğundaki çelik elektrotların vakum içerisinde birbirlerine paralel yerleşimlerdeki hata yalnızca $0.4\ \mu\text{m}$ dir. Kapasitörün değeri, şekil 1'deki gösterimde dört elektrodun ortasında bulunan koruma elektrodunun yer değişimi ile belirlenir. Lazer interferometre kullanılarak ölçülen 550 mm'lik bu uzunluk 1 pF'lık kapasitans değerine karşılık gelir. Oysa endüstride kullanılan çalışma standartları daha yüksek değerlidir ve 1 pF olarak elde edilen hesaplanabilir kros kapasitörün aşamalı olarak üst değerlere taşınması gerekmektedir. Bu taşıma işleminin gerçekleştirilmesinde o güne kadar kullanılan ölçme yöntemlerinin yetersiz kalması üzerine yeni kapasitans ölçme yöntemleri üzerine araştırmalar başlatılmıştır.



Şekil 1 Kros kapasitörün şematik gösterimi

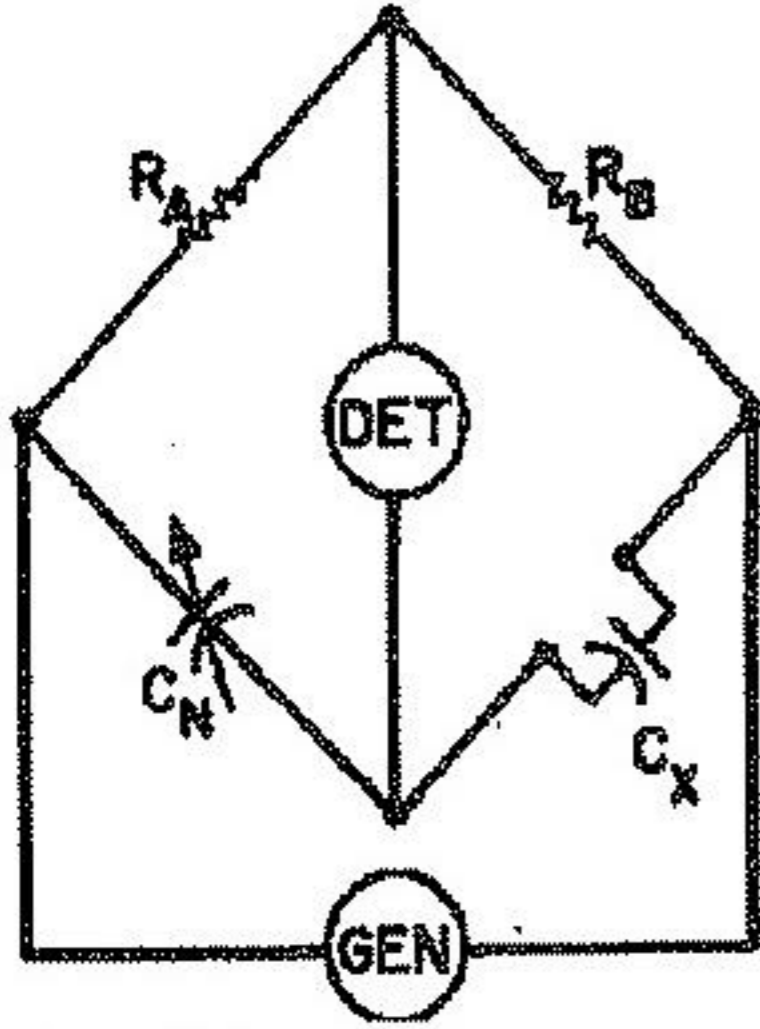
3. Kapasitans Ölçümü

Kros kapasitörün yapımından önce, şekil 2a'daki ölçme yönteminde görüldüğü gibi iki kapasitörün ilişkisi, iki direncin oranındaki doğruluğa bağlıydı. Oysa bu değişken akım köprüsünde kullanılan dirençlerin, gerek zamanla ve ortam koşullarıyla yüksek oranda değişmeleri, gerekse yüksek belirsizlikle tanımlanmaları dolayısıyla kapasitans skalasının oluşturulması için yeterli doğruluğu ve tekrarlanabilirliği sağlamaları sözkonusu değildi. Bunun üzerine, direnç bölücülerle gerçekleştirilen köprülere seçenek olarak şekil 2b'de gösterilen indüktif gerilim bölücülerin kullanıldığı köprüler üzerine çalışmalar yoğunlaştırıldı. 1930'lu yıllardan bu yana tanınan indüktif gerilim bölücüler, 1960'lı yıllardan sonra değişken akımda elektrik birimleri (kapasitans, indüktans, direnç) ölçümünde hemen hemen birincil düzeyde önem kazandılar. Öyle ki, bu bölücüler ile 10^{-8} ler düzeyinde çözünürlük ve doğrulukla gerilim oranı tanımlanabildiği gibi, bu oranın zamandan ve ortam koşullarından en az etkilendiği indüktif gerilim bölücüler yapmak olanaklıydı. Günümüze kadar uzanan bu gelişmelerle, bugün birçok ulusal laboratuvar değişken akım elektrik metrolojisinde ölçme belirsizliğini düşürmek için indüktif gerilim bölücüler üzerine araştırmalarını sürdürmektedir.

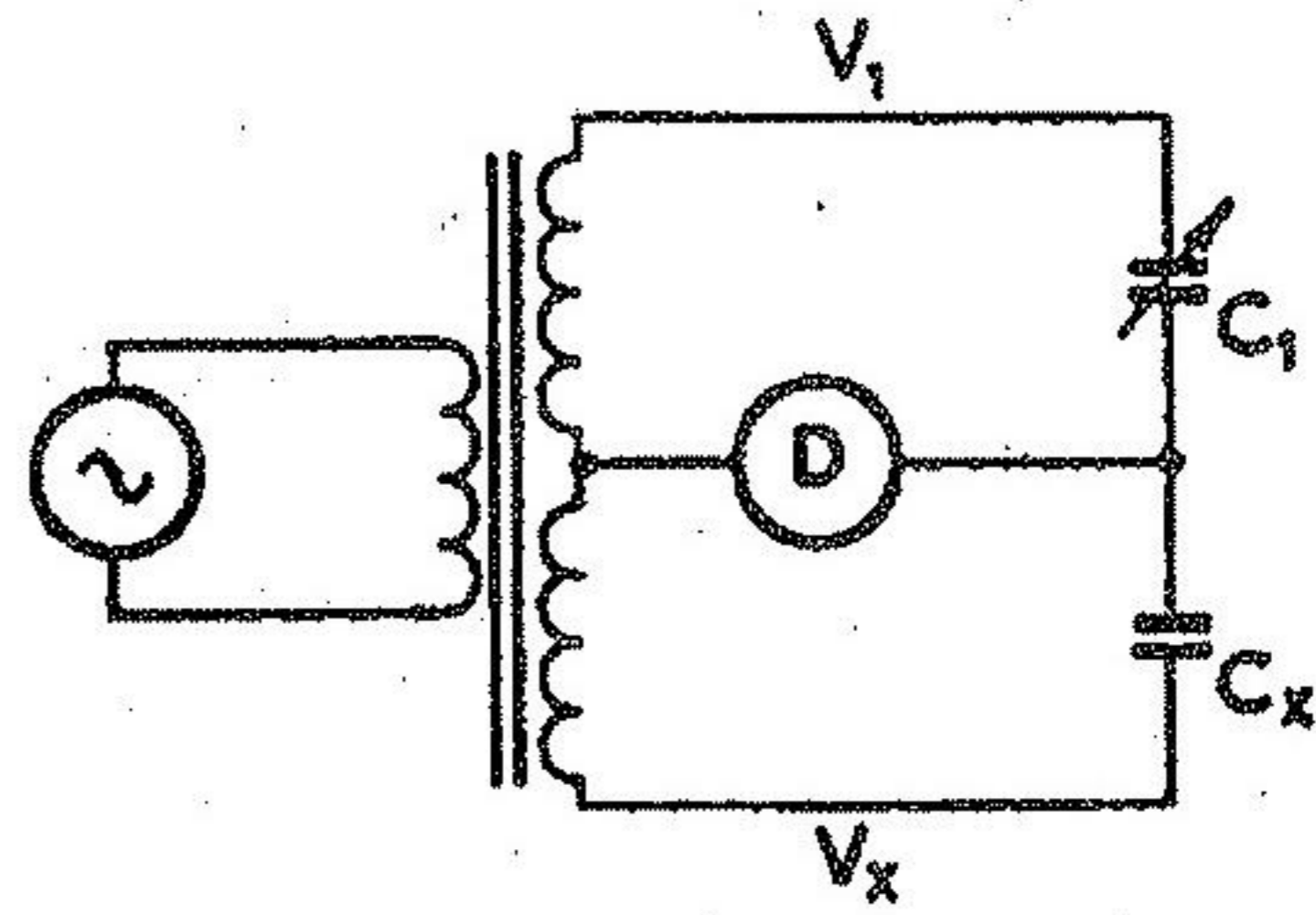
4. Kapasitans Skalasının Oluşturulması

Şekil 3 'te 1 pF'dan 1 mF 'a kadar olan kapasitans skalası ve 1σ güvenlik aralığında aktarma belirsizlikleri görülmektedir. Skalanın ikinci adımında yer alan fused-silika kapasitör, uzun dönem kararlılığının yüksek oluşu nedeniyle, kros kapasitörün uluslararası karşılaştırmalarında kullanılır. Üçüncü ve dördüncü aşamada yer alan hava ve mika dielektrikli kapasitörler, gerek uzun dönem kararlılıkları, gerekse sıcaklık katsayıları yönünden, çalışma standardı olarak kullanılabilirler.

Her ne kadar şekil 3'te yalnızca kapasitans skalası gösterilmiş ise de, aslında o yıllarda amaç kros kapasitörün doğruluğunu aynı zamanda diğer bir elektrik birimi olan dirence de aktarmaktı. Diğer bir deyişle direnç birimi (ohm) kapasitans birimine (farad) bağlı olarak türetiliyordu. Gelişmeleri izleyen yıllarda direnç birimi hemen hemen aynı doğrulukla

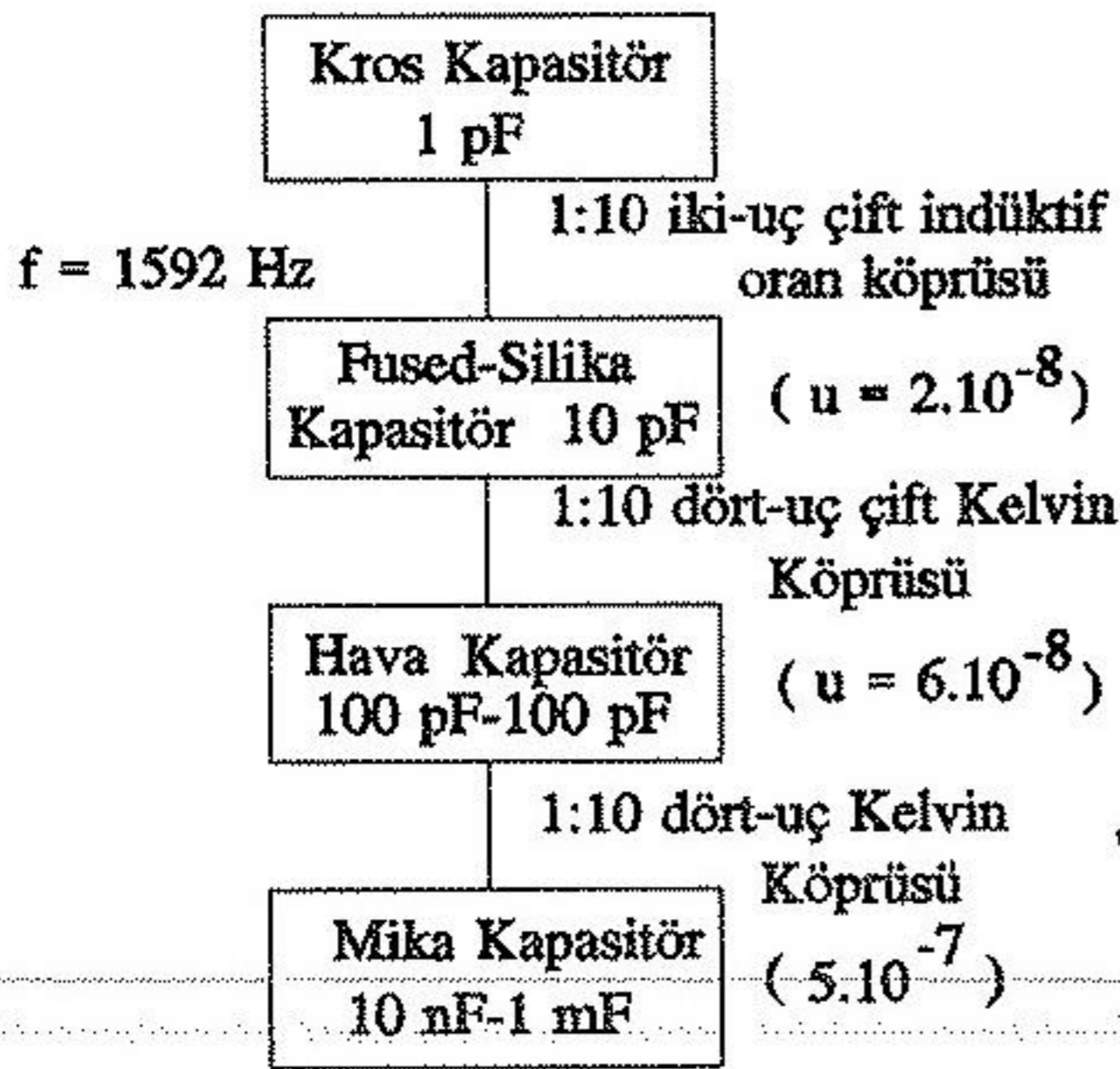


Şekil 2a. Direnç köprüsü

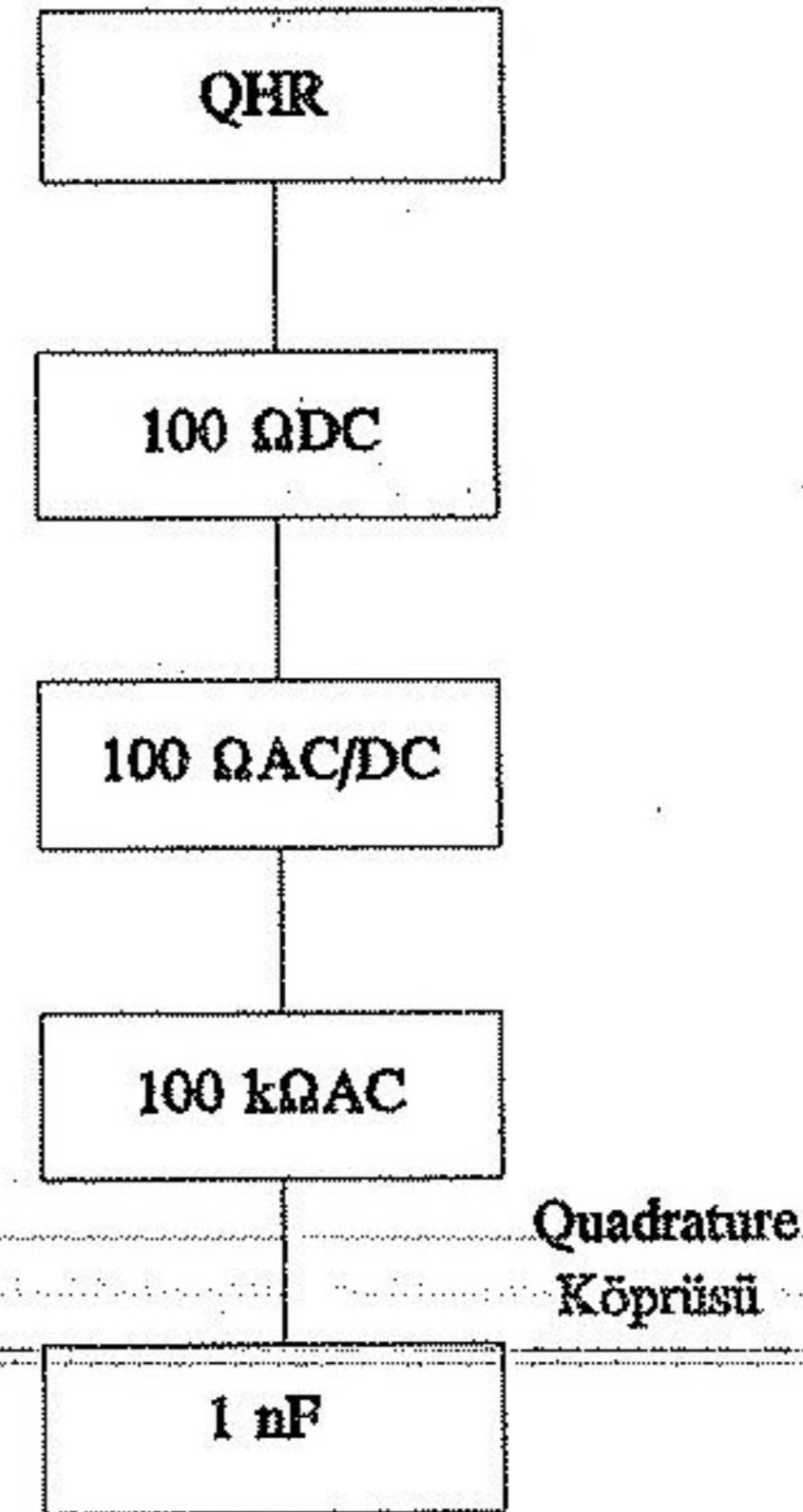


Şekil 2b. Transformer köprü

Quantum Hall yöntemiyle de tanımlanmaya başlanır. 1980'li yıllarda Quantum Hall ile yürütülen çalışmalarda Hall etkisinin değişken akımda da elde edilip edilemeyeceği incelenir. 1990'lı yılların başında ise Quantum Hall direncinin değerini AC dirençlere aktarmak amacıyla ilk çalışmalar yapılır. Elde edilen sonuçlar Quantum Hall değerini doğrudan kapasitans birimine aktarmaya yetecek kadar umut vericidir. Elektrik birimlerinin üretiminde otuz yıl boyunca başrolü oynayan "farad" ın bu görevi "ohm" a terkedip terketmeyeceğinin yanıtını ise bu alanda elde edilecek başarılar gösterecektir. Günümüzde henüz devam etmekte olan bu çalışmanın oluşturduğu ilk skala ve belirsizlikler şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kros kapasitör referans alınarak kapasitans sıklasının oluşturulması

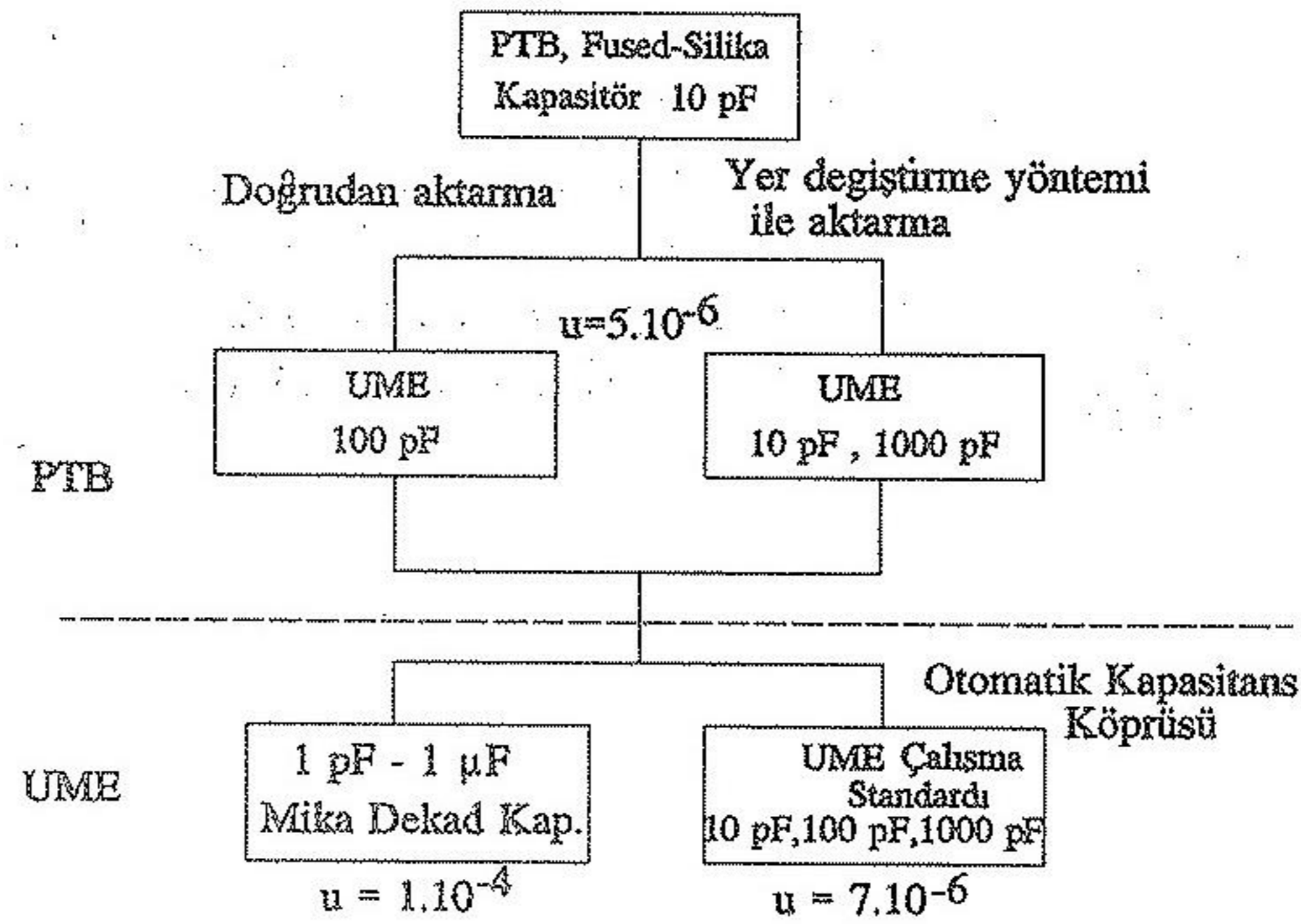


Şekil 4. QHR referans alınarak kapasitans biriminin elde edilişi

5. Ulusal Kapasitans Standartları İzlenebilirliği

Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde kapasitans birimini oluşturmak üzere ilk çalışmalar 1986 yılında 10 pF, 100 pF, 1000 pF değerindeki üç hava dielektrikli kapasitörün ve bire bir

karşılaştırma doğruluğu 10^{-6} lar seviyesinde olan indüktif gerilim bölücülerle yapılmış bir kapasitans köprüsünün alımıyla başlatılır. Belirsizlik tarihçesini daha güvenli oluşturmak amacıyla 1993 yılında bu değerler dörtlü gruplara tamamlanıp ilk izlenebilirlik Alman Ulusal Metroloji Enstitüsü'nden alınır. Bir taraftan bu değerlere yönelik ölçümler alınarak zamanla değişimleri incelenirken diğer taraftan ulusal birimin izlenebilirlik değerini düşürmek için 10 pF'lık dört adet fused-silika kapasitör ile yıllık kararlılığı $5 \cdot 10^{-7}$, doğruluğu $3 \cdot 10^{-6}$ lar düzeyinde olan ikinci bir kapasitans köprüsünün alımı gerçekleştirilir. Şekil 5'de ulusal kapasitans standartlarına ilişkin izlenebilirlik zinciri ve 2σ güvenlik aralığında aktarma belirsizlikleri gösterilmiştir.



Şekil 5. Ulusal kapasitans standartları izlenebilirliği

6. İleriye Dönük Amaçlar

Kapasitans Laboratuvarı; metroloji zaman dilimi içerisinde henüz çok yeni olup yalnızca iki yıllık bir geçmişe sahiptir. Dolayısıyla şekil 5'te verilen belirsizlikler laboratuvarın özgün deneyimi sonucu olmayıp, diğer ülkelerdeki tarihsel süreç referans alınarak verilmiştir. Ülke gereksinimleri göz önünde bulundurularak ileriki yıllarda 10 pF 'dan 1 mF'a kadar olan skalanın gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Bununla birlikte, gerek uluslararası gelişmeler yakından izlenerek gerekse Direnç Laboratuvarı ile birlikte yürütülecek çalışmalarla UME kapasitans birimini Quantum Hall direncine bağlı olarak elde etmek Kapasitans Laboratuvarı'nın uzun dönem amaçları içerisinde yer almaktadır.

Kaynaklar

- [1] Thomson, AM. and Lambard, DG.: Nature., 1956, 177. s888
- [2] Thomson, AM.: IRE Trans. on Ins., 1958., Dec., s249