

# AC GERİLİM STANDARTLARI VE AC GERİLİM İZLENEBİLİRLİĞİ

Saliha Selçik

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

## Özet

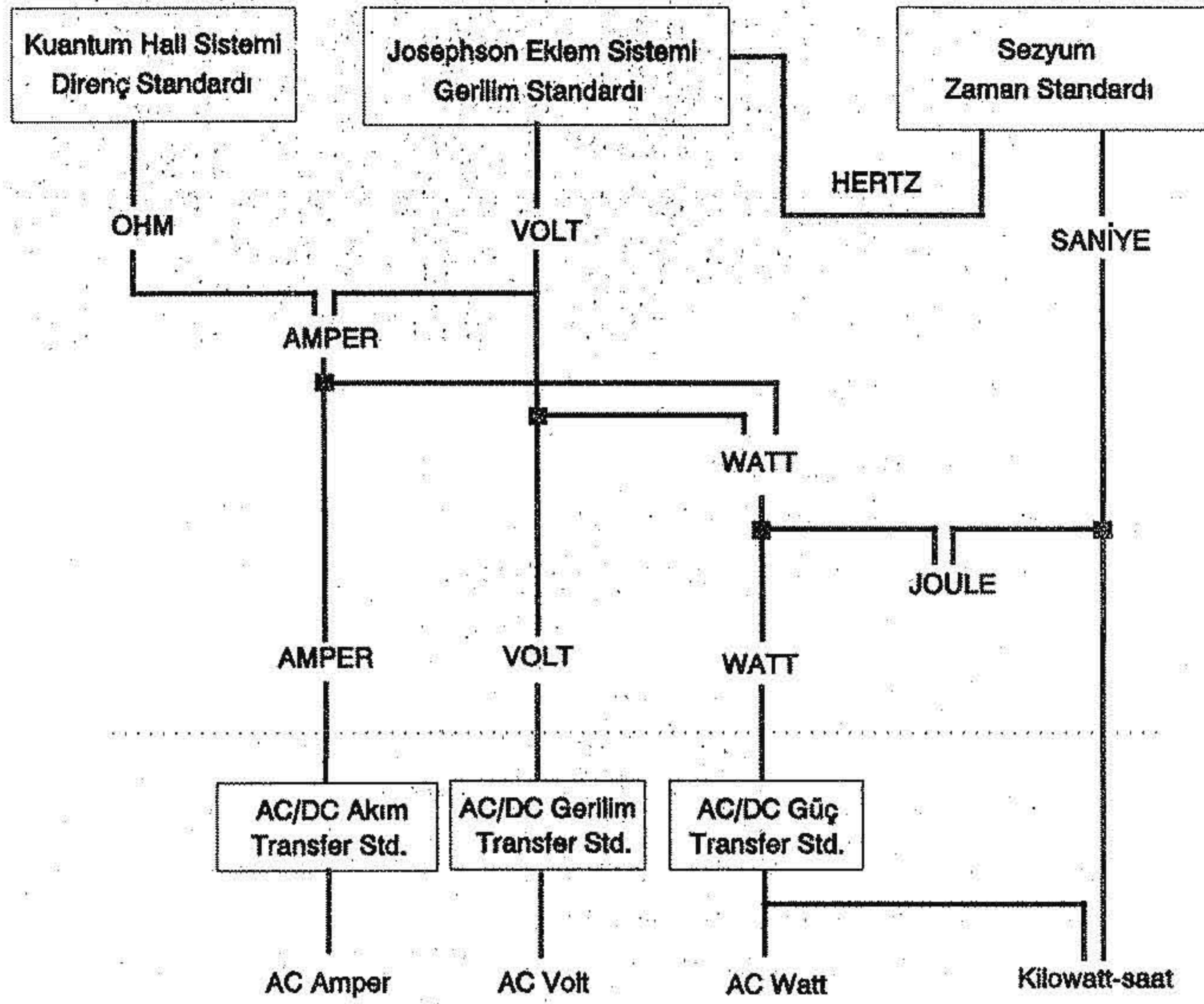
Ac elektriksel büyüklükler SI birimleri ile doğrudan tanımlanamadıklarından dolayı, bunlar için kabul edilmiş bir sistem yoktur. Günümüzde primer seviyedeki ac ölçümler, ac/dc transfer standart olarak adlandırılan ara birimler kullanılarak, bilinen bir dc gerilim ile karşılaştırmak suretiyle yapılmaktadır. Bu şekilde dc gerilim doğruluğu ac gerilime taşınmakta ve ac gerilim izlenebilirliği sağlanmaktadır. Bu çalışmada genel olarak ac ölçümlerde kullanılan standart ve cihazlar hakkında kısaca bilgi verilirken, ac/dc transfer standartları ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Çalışmada aynı zamanda, UME Gerilim Laboratuvarında mevcut ve kurulması planlanan ac gerilim izlenebilirlik sistemi de açıklanmaktadır.

## 1. Giriş

İzlenebilirlik, yapılan her ölçümün, oluşturulan bir kalibrasyon zinciriyle, BIPM (Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Bürosu) tarafından bilimsel tanımları yapılmış yedi temel ölçüm birimine bağlanması olarak tanımlanır. Bu yedi temel birim; Metre, Kilogram, Saniye, Amper, Kelvin, Kandela ve Mol olup, yapılan tüm ölçümlerin SI Uluslararası Birimler Sistemindeki temelini oluştururlar.

SI birimleri içinde tanımlanan elektriksel birim, akım birimi olan "amper" dir. Amper zamanla değişmeyen, dc bir büyüklüktür. SI sisteminde gerilim birimi "volt" olarak belirtilmiş ve ampere bağlı bir ifadeyle tanımlanmıştır. Bunun sonucu olarak volt, dc bir büyüklüktür. Günümüzde volt birimi, "Josephson Eklem Sistemi" (Josephson Junction System) olarak adlandırılan bir sistem ile, temel fiziksel doğa sabitleri cinsinden ifade edilmektedir [1]. Diğer bir elektriksel büyüklük olan, direnç birimi "ohm" ise, "Kuantum Hall Etkisi" (Quantum Hall Effect) adı verilen bir sistem ile SI birimlerine bağlı olarak tarif edilir [2]. Ohm, tanımı gereği dc bir büyüklüktür. Pratikte, akım, güç, ve enerji birimleri "volt" ve "ohm" birimleri üzerinden türetilir. Şekil 1, amper, watt ve joule için bu ilişkiyi göstermektedir.

Ac elektriksel büyüklükler SI birimleri ile doğrudan tanımlanamadıklarından dolayı, bunlar için kabul edilmiş bir sistem yoktur. Ac elektriksel büyüklüklerin ölçümünde, dc elektriksel büyüklüklerinden farklı olarak bazı güçlükler söz konusudur. Bu birimlerin ölçümünde, ac/dc transfer standart olarak adlandırılan ara birimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ac/dc transfer standartların temel işlevi, ac büyüklüğün karakteristik bir özelliğini, ölçülebilir bir dc büyüklük ile bilinen ve hesaplanabilir bir şekilde ilişkilendirilmesi olarak tanımlanabilir. Bilinmeyen ac gerilim seviyesi, transfer standartlar kullanılarak, düşük belirsizliğe sahip dc gerilim ile karşılaştırılmakta ve bu şekilde, düşük dc gerilim belirsizliği ac gerilime taşınarak, ac gerilim izlenebilirliği sağlanmaktadır.



Şekil 1. Ac elektriksel büyüklüklerin SI birimleri üzerinden sağlanmaları

## 2. Ac Gerilim Ölçümünde Kullanılan Standartlar

Ac gerilimin bir karakteristiğini (rms değeri, genlik tepe noktası vb), değeri ve belirsizliği bilinen bir dc gerilim ile ilişkilendirerek belirlemek üzere pek çok standart üretilmiştir. Bu standartlar, çalışma prensiplerine bağlı olarak doğruluk ve hassasiyet bakımından birbirlerinden farklılık gösterirler. Genel olarak ac gerilim standartları 3 kategoride toplanabilir:

1. Ac gerilimi, çeşitli anahtarlama [3] ve dijital-analog çevirme [4] tekniklerini kullanarak doğrudan bilinen bir dc gerilim seviyesinden elde eden standartlar bu kategoriye girer. 30 Hz'in altındaki düşük frekanslar için ac gerilimin rms değeri ile dc gerilim seviyesi arasındaki fark 1 ppm'in altına kadar düşürülmüştür. Fakat, standardın doğruluğu doğrudan sentezleme tekniğine bağlı olduğundan, doğruluk yüksek frekanslarda iyi değildir.
2. Analiz tekniğine dayanan "tepe değeri" ölçen cihazlar ve "sample and hold" tekniği [5] ile ölçüm yapan cihazlar ikinci kategoriye oluştururlar. Pek çok ac voltmetre ve multimetre çalışma prensibi olarak örnekleme tekniğine dayanmaktadır. Bu teknik, cihazlara 100 kHz'e kadar iyi doğrulukta ölçüm yapma özelliğini kazandırmaktadır. Bu standartların doğrulukları 20 kHz'e kadar 10 ppm'in altındadır.
3. Ac gerilim rms değerini, bilinen bir dc gerilim ile karşılaştırarak ölçen cihazlar bu kategoriye girer. Dinamometreler, elektrostatik voltmetreler ve termal transfer standartları bu kategori için verilebilen örneklerdir. Termal transfer standartları kullanılarak yapılan

ölçümlerde, elde edilen ac/dc transfer farkı 0.5 ppm'in altında olabilmektedir [6].

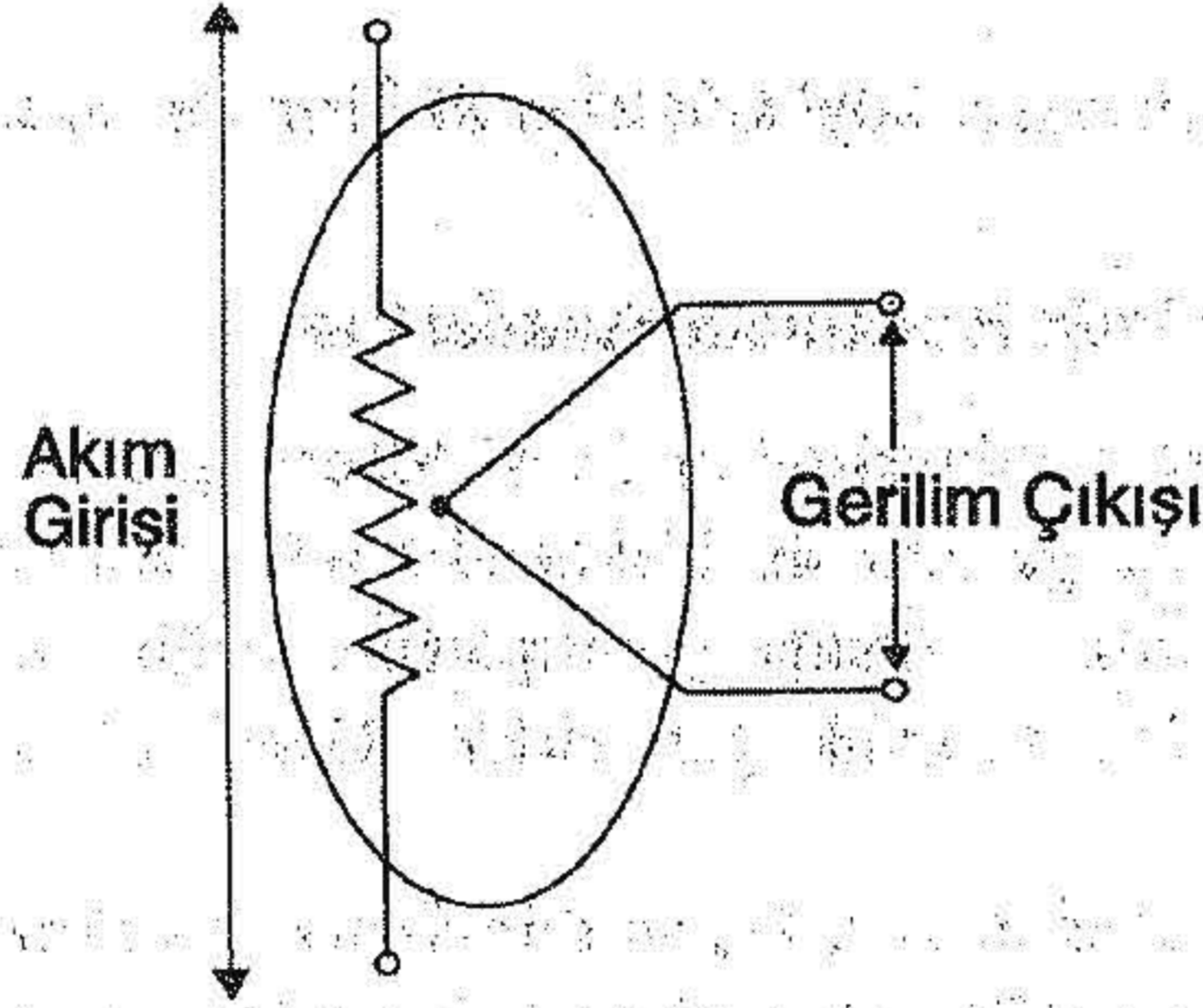
Görüldüğü üzere, ac ölçümlerde elde edilen en iyi doğruluk, termal transfer standartlar kullanılarak sağlanmıştır. Günümüzde ulusal metroloji laboratuvarları primer olarak ac gerilimin rms değerini belirleyen, yapısında tek-eklem termal çevirici (single-junction thermal converter-SJTC), çoklu- eklem termal çevirici (multi-junction thermal converters-MJTC) veya RMS sensör bulunan bu standartları kullanmaktadır.

### 3. Termal Transfer Standartlar

Pratikte, bütün yüksek hassasiyetli transfer standartların temelini bir termal çevirici (Thermal Converter-TC) oluşturmaktadır. Termal çeviriciler, yapılarına göre iki gruba ayrılırlar. Her iki grup, prensipte aynı ölçüm tekniği ile ac gerilim seviyesini belirlemektedir.

#### a) Isılçift Yapılı Termal Çeviriciler :

Şekil 2, en çok bilinen ve en basit yapıya sahip tek-eklem termal çeviricinin (SJTC) yapısını göstermektedir. İlk olarak 1940 'larda F.L.Hermach tarafından oluşturulan SJTC, bir direnç ve bu direncin orta noktasına oturtulmuş bir ısılçiftten (thermocouple) oluşmaktadır [7]. Isılçift elektriksel olarak dirençten izole edilmiştir.



Şekil 2. SJTC yapısı

Diğer termal çeviricilerde olduğu gibi, SJTC da çalışma prensibi olarak etkin değeri (rms) aynı olan ac ve dc gerilimlerin aynı direnç üzerinde aynı gücü harcayacakları prensibine dayanmaktadır. SJTC 'a ac veya dc gerilim uygulandığında, direnç üzerinde harcanan güç ısı olarak ortaya çıkmakta ve bu ısı ısılçift tarafından algılanarak sıcaklıkla orantılı olarak çıkış uçlarında bir dc gerilim oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle, ısılçift çıkış gerilimi, ac veya dc gerilim tarafından, direnç üzerinde harcanan gücün bir fonksiyonudur. Isılçift çıkış gerilimi matematiksel olarak;

$$V_{out} = kV_{inp}^n$$

şeklinde ifade edilmektedir. Formülde,

- $V_{out}$  : Isılçift çıkışında oluşan dc gerilim  
 $V_{inp}$  : Giriş uçlarına uygulanan dc veya ac gerilimin etkin değeri  
 $k$  : Sabit (genellikle 0.028)  
 $n$  : Termal çeviricinin karakteristik değeri ( $1.6 < n < 1.9$ ) 'dir.

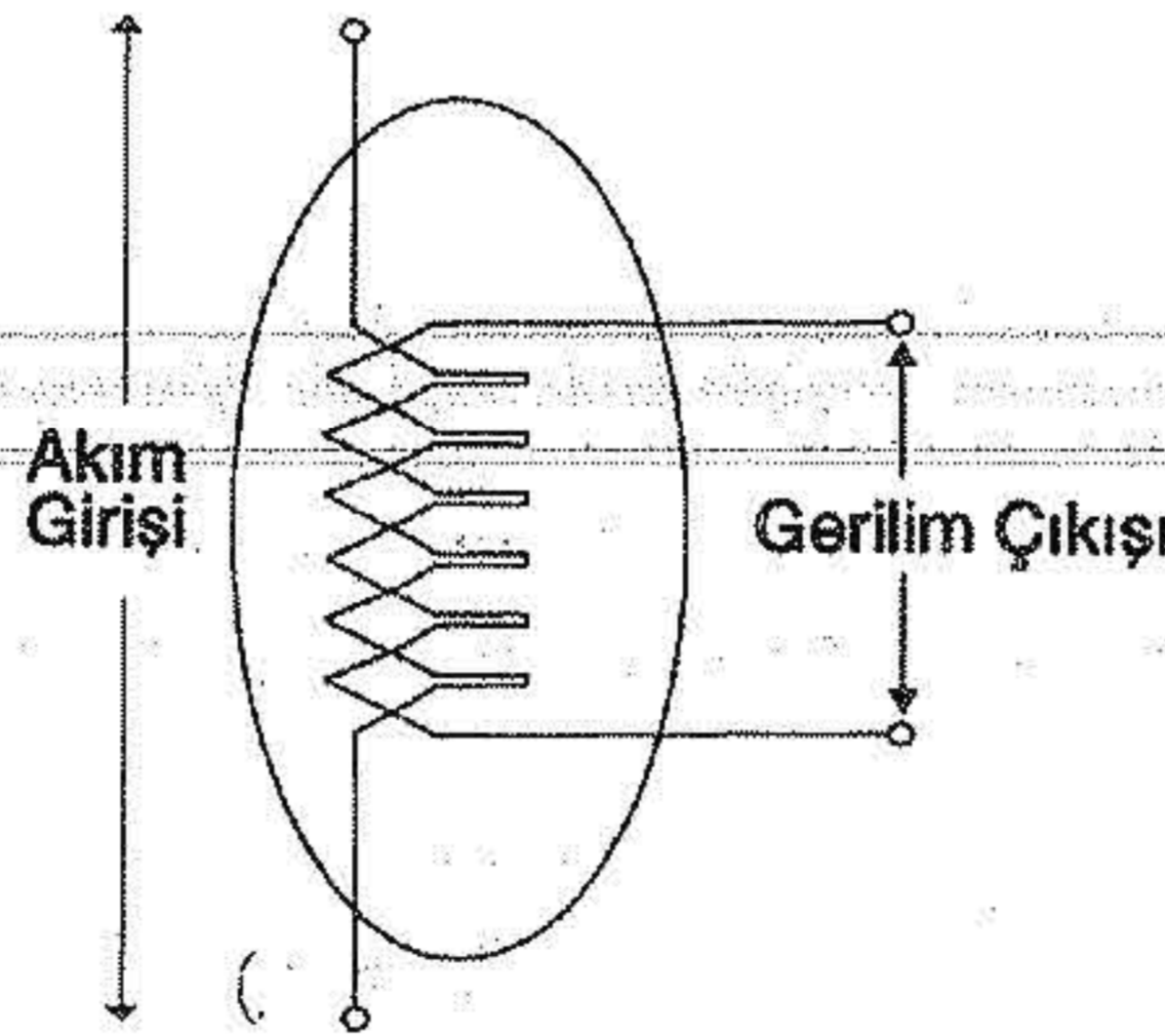
İdeal durumda, ısılciftin  $V_{inp}$  uçlarına uygulanan dc gerilim ile rms değeri bu dc gerilime eşit olan ac gerilimin,  $V_{out}$  çıkışında aynı dc çıkış gerilimini oluşturması beklenir. Ancak, pratikte Thomson ve Peltier etkileri gibi çeşitli termoelektrik etkilerden dolayı farklı değerler oluşur [8]. Oluşan bu değerler arasındaki fark, termal çeviricinin ac/dc transfer farkı veya transfer hatası olarak adlandırılır. Ac/dc transfer farkının matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$\delta = \frac{V_{ac} - V_{dc}}{V_{dc}}$$

- $V_{ac}$  : Uygulanan ac gerilimin rms değeri  
 $V_{dc}$  : Uygulanan dc gerilim değeri

$\delta$  değeri çoğunlukla ppm cinsinden ifade edilmektedir. Her termal çevirici için, değişik gerilim/frekans çiftlerinde bu farklar hesaplanmak veya ölçülmek suretiyle belirlenmektedir.

SJTC'lar için  $\delta$  değeri 0.5 ppm'in altına düşürülebilmiş olmasına rağmen, uzun ısı zaman sabitine sahip olması, termoelektrik etkilerinin fazla etkin olması, düşük çıkış geriliminin (5-10 mV) olması gibi ölçümlere getirdiği dezavantajlar yeni arayışlara yolaçmış ve sonuç olarak çoklu-eklem termal çeviriciler (Multi-junction thermal converter-MJTC) üretilmiştir [9]. MJTC, sayısı 250 'ye kadar çıkabilen ısılciftlerin direnç üzerine oturtulmasıyla oluşturulur. Isılçiftlerin çıkış uçları seri bağlanarak, yüksek seviyeli çıkış gerilimi sağlanır. Şekil 3, bir MJTC yapısını göstermektedir.



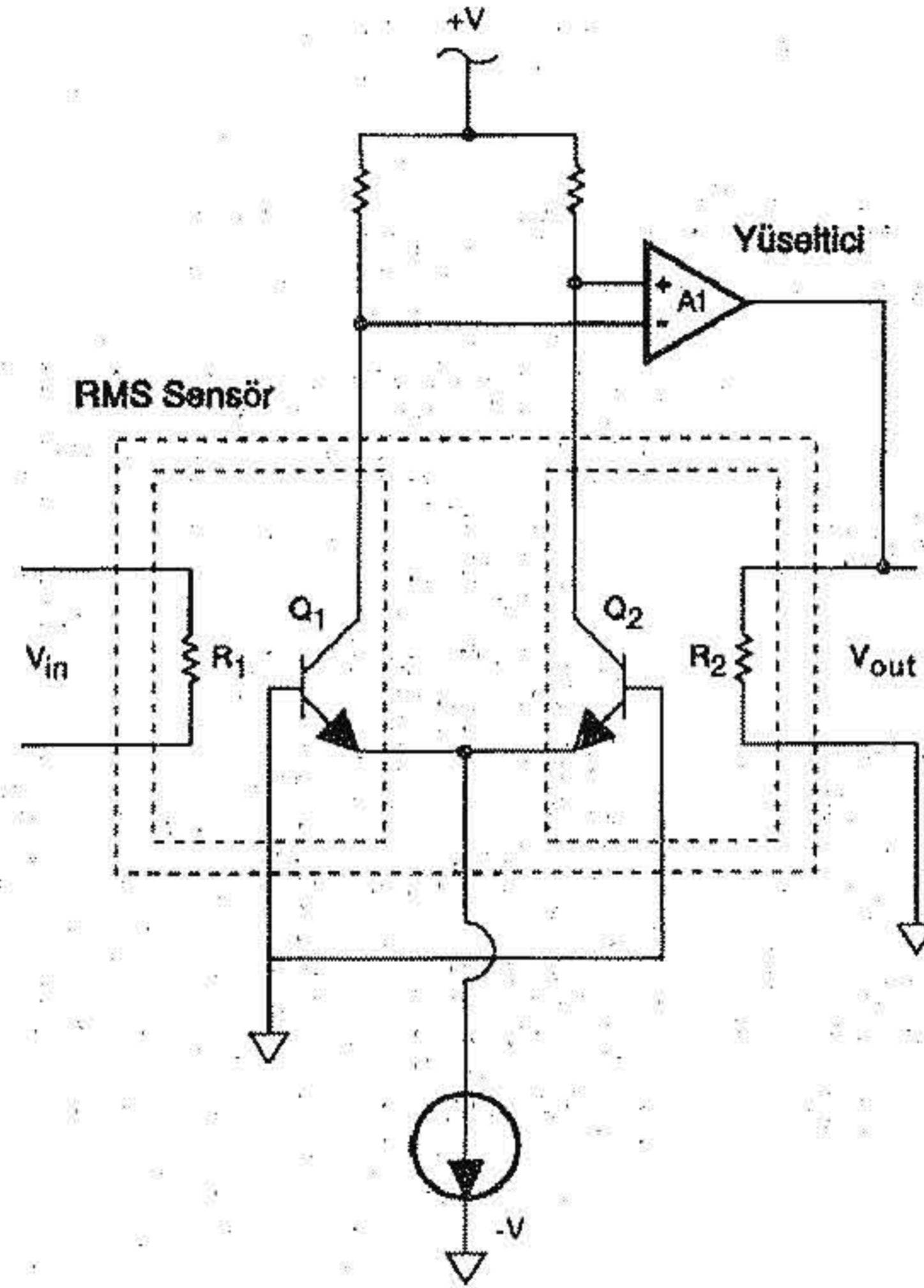
Şekil 3. MJTC yapısı

Transfer standartlarının dc çıkış gerilimi, MJTC kullanılarak 100 mV değerine kadar artırılabilmiştir. Fakat yapılan ölçümler sonucunda, bu tip standartların yüksek frekanslarda

iyi performans göstermediği görülmüştür. MJTC 'lar, SJTC 'lar gibi uzun ısı zaman sabitine sahiptir. Bu gibi dezavantajlar sonucunda, ac ölçümler için standart arayışları sürmüş ve 1974 yılında W.E.Ott tarafından yeni bir transfer standart tasarlanarak üretilmiştir [10]. Standartın temelini "RMS Sensör" olarak adlandırılan bir tümleşik devre oluşturmaktadır.

b) RMS Sensör Yapılı Termal Çeviriciler :

Şekil 3, sensörün iç yapısını göstermektedir. Görüldüğü gibi direnç üzerinde harcanan güç diğer standartlardan farklı olarak ısıçift tarafından değil, bir transistörün baz-emiter eklemi tarafından algılanmaktadır.



Şekil 4. RMS Sensör yapısı

RMS sensörün çalışma prensibi kısaca şu şekilde açıklanabilir :  $R_1$  direnci uygulanan gerilimin rms değerine bağlı olarak üzerinde harcanan güçden ( $V_{rms}^2/R$ ) dolayı ısınır. Bu ısınma,  $Q_1$  transistörünün baz-emiter eklemesinde sıcaklık artışına ve dolayısıyla  $V_{be}$  geriliminde de artışa sebep olur. Baz-emiter gerilimi ile sıcaklık arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle formüle edilir:

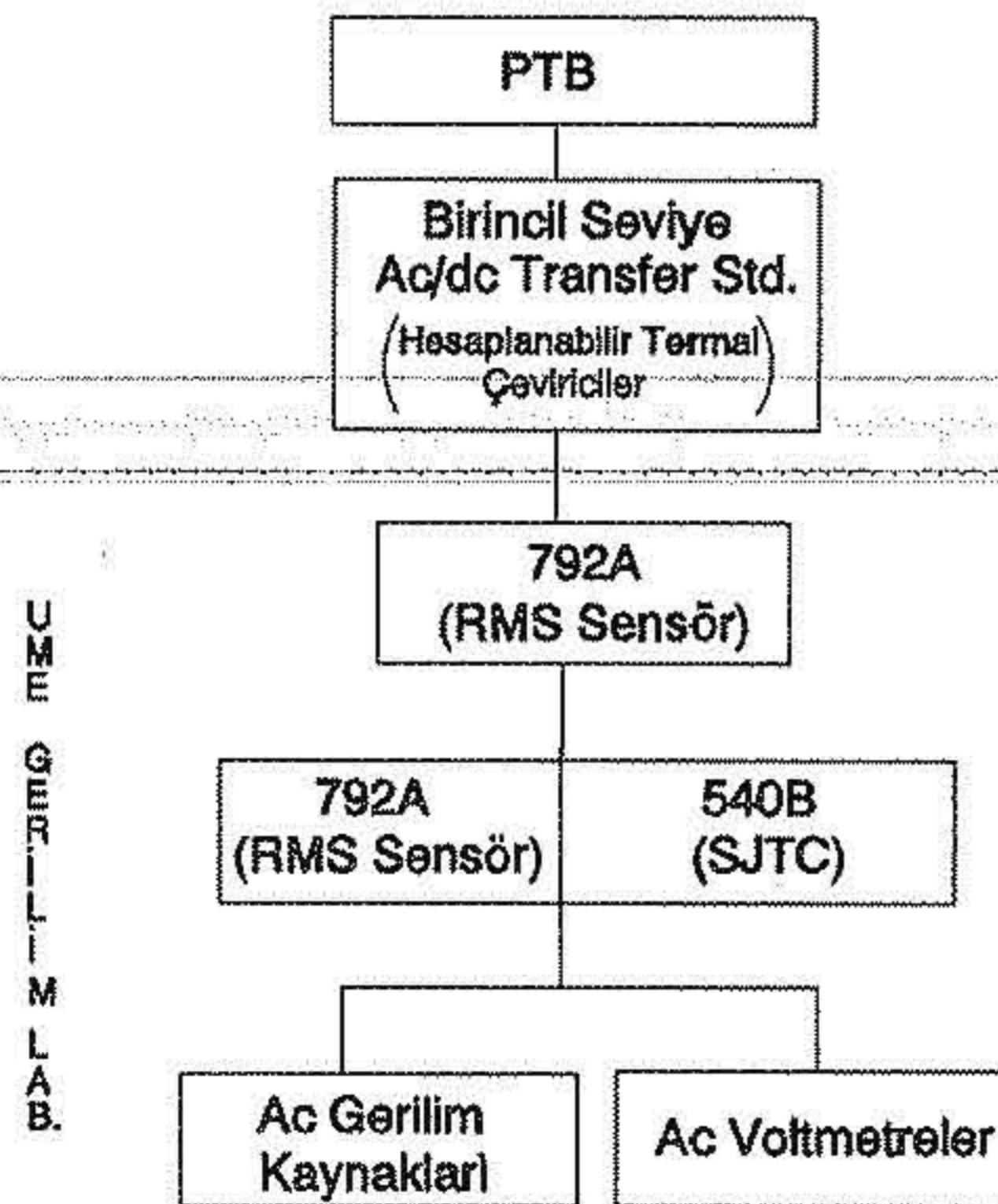
$$V_{be} = \frac{kT}{q} \ln(I_c)$$

- k : Boltzman sabiti
- q : Elektron yükü
- $I_c$  : Kollektör akımı
- $V_{be}$  : Baz-emiter eklem gerilimi

$V_{be}$  gerilimindeki artış kollektör geriliminin artmasına sebep olur.  $Q_1$  ve  $Q_2$  transistörlerinin kollektör gerilimlerini karşılaştıran fark yükselticisi, bu değişimi dengelemek amacıyla  $R_2$  direnci üzerindeki  $V_{out}$  gerilimini artırır. Gerilimdeki bu artış,  $R_2$  direncinin ısınmasına, bu ısınmayı algılayan  $Q_2$  transistörünün  $V_{be2}$  geriliminin artmasına sebep olur. Denge durumunda her iki transistörün kollektör gerilimleri aynı olup, dirençler üzerinde aynı güç harcanmaktadır. Bu durumda  $V_{out}$  gerilimi  $V_{inp}$  geriliminin rms değerine eşit bir dc gerilimdir. RMS Sensör, yüksek çıkış gerilimi ve  $2 \text{ mV}_{rms}$  ile  $1100 \text{ V}_{rms}$  değerleri arasında 1 MHz e kadar ölçüm yapabilme özellikleri dolayısıyla pekçok transfer standardın yapısını oluşturmaktadır.

#### 4. UME Gerilim Laboratuvarı Ac Ölçüm Sistemi

Gerilim Laboratuvarında ac ölçümler, ac/dc transfer standartlar kullanılarak yapılmaktadır. Laboratuvarında bir adet isilçift termal çevirici yapılı "FLUKE 540B Thermal Standard" ve iki adet RMS sensör yapılı "FLUKE 792A AC/DC Transfer Standard" olmak üzere 3 transfer standart bulunmaktadır. Ac gerilimin uluslararası birimlere izlenebilirliği, FLUKE 792A transfer standardının Almanya'nın ulusal metroloji enstitüsü PTB'ye (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) gönderilmesi suretiyle sağlanmaktadır. Standart, burada kendinden daha iyi bir transfer standartla karşılaştırılmakta ve çeşitli gerilim/frekans noktalarındaki ac/dc transfer farkları hesaplanmaktadır. Daha sonra, laboratuvarımızda bulunan diğer standartlar bu referans standart kullanılarak kalibre edilmekte ve ac/dc transfer farkları saptanmaktadır. Kalibre edilen bu iki standart da, dışarıdan gelen endüstriyel kalibrasyon taleplerinin karşılanmasında kullanılmaktadırlar. Bu şekilde oluşturulan bir kalibrasyon zinciri ile ac gerilim izlenebilirliği uluslararası tanımlı birimlerden testlerde kullanılan en küçük ac voltmetreye kadar indirilmesi sağlanır. Şekil 5, UME Gerilim Laboratuvarında mevcut bulunan ac gerilim izlenebilirliğini göstermektedir.



Şekil 5. UME Gerilim Laboratuvarı ac gerilim izlenebilirlik zinciri

Laboratuvarımızda ac ölçümler için otomatik sisteme geçiş çalışmaları başlatılmış bulunmaktadır. Bu sistem kullanılarak, ölçümlerin doğruluğunun göstergesi olan ac/dc transfer farklarının düşürülmesi amaçlanmaktadır. Gerilim Laboratuvarının mevcut kalibrasyon imkanları 10 Hz-1 MHz frekans bandında  $100 \text{ mV}_{\text{rms}}$ - $1000 \text{ V}_{\text{rms}}$  gerilim aralığında ac/dc transfer standart, ac voltmetre, ac kalibratör kalibrasyonları olarak sayılabilir.

#### Kaynaklar

1. Pöpel R., Josephson Effect and Voltage Standards, Metrologia, 1992, 29, 153-174
2. Hartland A., The Quantum Hall Effect and Resistance Standards, Metrologia, 1992, 29, 175-190
3. Vastrade C., IEEE Trans. Instrum. Meas., 1980, IM-29, 416-419
4. Oldham N.M., Hetrick P.S., Zeng X., IEEE Trans. Instrum. Meas., 1989, IM-38, 368-371
5. Clarke J.J.J., Stockton J.R., J.Phys. E., 1982, 15, 645-652
6. Klonz M., IEEE Trans. Instrum. Meas., 1987, IM-36, 320-329
7. Hermach F.L., J. Res.Nat. Bur. Stand., 1952, 48, 121-138
8. Inglis B.D., Standards for AC-DC Transfer, Metrologia, 1992, 29, 191-199
9. Wilkins F.J., Deacon T.A., Becker R.S., Prac. Inst. Elect. Eng., 1965, 112, 794-805
10. Calibration: Philosophy in Practice, Fluke, Second Edition, 10.6-10.7