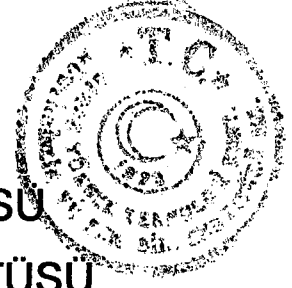


T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜNDE
PRİMER SEVİYEDEKİ AC GERİLİM
SİSTEMİNİN KURULMASI

Mehedin ARİFOVIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

109928

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Ali ALKUMRU

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

GEBZE

2001



Mehmet ARİFOVİC'in tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.01.2001 tarih ve 2001/1/2 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRI

ÜYE : Doç.Dr. Ali ALKUMRU
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul KARAÇUHA
Ertuğrul Karacuh

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Hakan HOCAOĞLU
Hakan Hocaoglu

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.02.2001 tarih ve 2001/6 sayılı kararı.



ÖZET

Gerilimin ana rolü oynadığı elektriksel ölçümler metrolojideki önemli alanlardan biridir. Düşük frekanslar için AC gerilim bölgesi, maksimum volt-hertz çarpımı 10^8 'i sağlayacak biçimde, 100mV-1000V ve 10Hz-1MHz arasında varsayılır. 1999 yılına kadar Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)' de AC gerilim, izlenebilirliği Almanya Metroloji Enstitüsü (PTB) tarafından sağlanan standartlar kullanılarak gerçekleştiriliyordu. Bu durum pratik bazı sorunlar içermekteydi.

Diğer taraftan, elektronik ölçüm cihazlarının doğruluklarında görülen sürekli ilerleme, daha doğru ölçümlere duyulan ihtiyacın artması UME'de mümkün olan en yüksek doğruluğa sahip standartların ve AC gerilim ölçüm sistemin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Yeni standartların dizaynını içeren çalışma PTB ile işbirliği içerisinde gerçekleştirilmiştir ki bu çalışma dahilinde, yazılımla beraber sistemin ve prosedürlerin oluşturulması ve yeni standartların değerlendirilmesi yer almaktadır.

Bu tezde, UME' de AC gerilim ölçümleri için kurulan ölçüm sistemi, içerdiği yeni standartlar ve bilgisayar kontrollü ölçümler için yazılan yeni bir program sunulacaktır. Yeni kurulan sistem ile PTB sistemi arasında yapılan gayri resmi karşılaştırmadan alınan ilk sonuçlar aradaki uyum açısından oldukça tatminkardır.

SUMMARY

One of the most important field of the metrology are electrical measurements, where voltage plays a central role. AC voltage range in the low frequency region is considered to be between 100mV-1000V and from 10Hz-1MHz, with maximum volt-hertz product of 10^8 . Up to 1999 in UME, AC volt has been realized trough standards that have traceability by PTB, German National Institute. This caused some practical problems.

On the other hand, constantly improvement in the accuracy of commercial electronic measurement equipment and consequently, increasing need for more precise measurements together with the general trend in UME (National Metrology Institute of Turkey) toward establishing standards of the highest available accuracy, stimulated upgrade of the AC voltage system. The work presented here includes; design of new standards for AC voltage, that is done in cooperation with PTB, development of procedures and system including software, and finally evaluation of the new standards.

In the thesis, the new AC voltage measurement standards, AC voltage measurements system, implemented in National Metrology Institute of Turkey, and a novel software for computer-controlled measurement are presented. Preliminary results from an unofficial comparison of the new system with the PTB system have shown a good agreement

TEŞEKKÜR



Bu tezin hazırlanmasında,

Yüksek Lisansa başladığım günden itibaren, gösterdiği dostane yaklaşım ve destekten dolayı, sayın Doç. Dr. Ali Alkumru başta olmak üzere GYTE Elektronik Bölümü öğretim görevlilerine,

Sayın Doç. Dr. Hüseyin Uğur başta olmak üzere, bu çalışmayı yaptığım Ulusal Metroloji Enstitüsü' nün yönetimine, bana güvendikleri ve destek oldukları için,

Tez çalışmalarımın dolaylı iş yoğunluğumu hafifleterek, bana destek olan UME-Gerilim laboratuvarındaki çalışma arkadaşlarıma ve özellikle bu proje üzerinde birlikte çalıştığım Elektronik Müh. sayın Züleyha Düz' e

PTB' de ac-dc transfer laboratuvarında geçirdiğim üç ay boyunca, büyük tecrübesiyle bana yardımcı olan, bu konu üzerinde yaptığı çalışmalarla dünyaca tanınan sayın Dr. Manfred Klonz' a

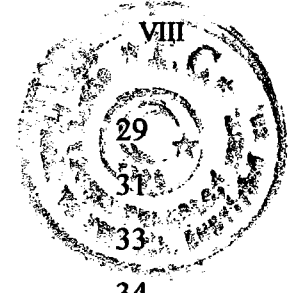
Özel olarak gösterdiği sabır ve sevgi için, eşim Narcisa ve oğlum Emin' e

Ve bana destek olan diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

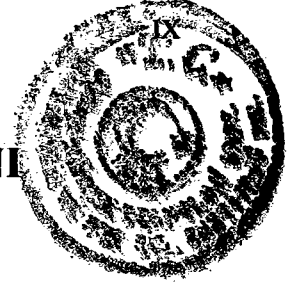


	Sayfa
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Metroloji ve Önemi	1
1.2. AC Gerilim Birimi-Volt	2
1.3. Isıl Çeviriciler	4
1.3.1. Tek-Eklemlı Isıl Çeviriciler	5
1.3.2. Çok-Eklemlı Isıl Çeviriciler	6
1.3.2.1. İnce-Film Çok-Eklemlı Isıl Çeviriciler	7
1.3.3. Elektronik Algılayıcı Isıl Çeviriciler	8
1.4. 1000V'a Kadar Gerilim Standartları	9
1.5. AC Ölçümlerde TVC'nin Kullanımı	9
2. UME AC GERİLİM ÖLÇÜM SİSTEMİ	11
2.1. UME AC gerilim Birincil Standartları	12
2.1.1. PMJTC Karakterizasyonu	15
2.2. AC Yüksek Gerilimlerin İzlenebilirliği	19
2.2.1. Yüksek Gerilim Çeviricilerinin Karakterizasyonu	21
2.3. Isıl Gerilim Çevirici Ölçüm Sistemi	22
2.3.1. TE Karşılaştırmacı (Diferansiyel Tip)	24
2.3.2. TE Karşılaştırmacı (İki Kanallı)	25
3. OTOMATİK SİSTEM	26
3.1. Diferansiyel Tip TVC Karşılaştırmacı	27
3.2. İki Kanallı TVC Karşılaştırmacı	27
3.3. Sistem Yazılımı	29



3.3.1. Yazılımın Organizasyonu	
3.3.2. Yazılımın Kullanımı	
3.4. Sistemin Donanım Düzenneği ile İlgili Önemli Noktalar	
3.4.1. TVC'nin Zaman Sabiti	34
3.4.2. "n" Ölçümü	35
3.4.3. Kaynak Ayarı	38
3.4.4. TVC Çıkışlarının Okunması	40
3.5. UME'de Yapılan Karşılaştırmalı ve "Step-Up" Ölçüm Sonuçları	43
3.6. Ölçüm Yapılmayan Frekanslardaki AC-DC Farkla	43
3.7. AC Gerilim Kaynak ve Ölçüm Cihazlarının Kalibrasyonu	45
4. BELİRSİZLİK	48
4.1. Ac-dc Transfer Standardı	48
4.2. AC Gerilim Kaynağı ve Voltmetreler	49
5. UME'DE İZLENEBİLİRLİK ZİNCİRİ	50
SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	55
EKLER	
EK-1	
EK-2	
EK-3	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ



δ	AC-DC Transfer Farkı
E	Isıl Çeviricinin Çıkış Gerilimi
T	Periyot
3dMJTC	3 dimensional multi junction thermal converter
BIPM	Bureau internationale des poids et mesures
CPEM	Conference for Precision Electromagnetic Measurements
DKD	Deutscher Kalibrierdienst (Almanya)
DVM	Dijital voltmetre
GPIB	General Purpose Interfacing Bus
GUI	Graphical User Interface
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEKO	International Measurements Congress
ISO	International Standards Organization
MJTC	Multi Junction Thermal Converter
NBS	National Buro of Standards (şimdi NIST)
NIST	National Institute of Standards and Technology (AMERİKA)
NPL	National Physical Laboratory (İNGİLTERE)
ppm	parts per million
PMJTC	Planar Multi Junction Thermal Converter
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (ALMANYA)
RMS	Root Mean Square
SI	International System of Units
SJTC	Single Junction Thermal Converter
TC	Thermo-Couple
TVC	Thermal Voltage Converter
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜRKİYE)

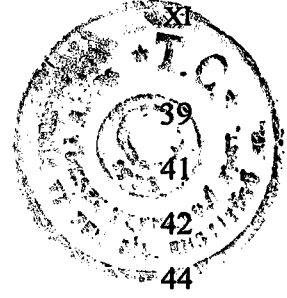
ŞEKİLLER DİZİNİ

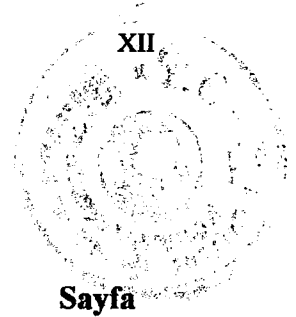


Şekil

1.1. Tek-Eklemlı Isıl Çeviriciler (SJTC)	5
1.2. n-Vin Fonksiyonu	6
1.3. Üç-boyutlu Çok Eklemlı Isıl Çevirici	7
1.4. Fluke Elektronik Yapılı Isıl Çevirici	8
1.5. AC Gerilim Ölçümlerinde TVC' nin Kullanımı	9
2.1. İnce Film Çok Eklemlı Isıl Çevirici	12
2.2. Obeliske Sahip PMJTC	13
2.3. Seramik Muhafaza İçerisinde PMJTC	14
2.4. UME PMJTC Gerilim Çeviricisinin Yapısı	14
2.5. UME PMJTC	15
2.6. PMJTC 'lerin Frekans Karakteristiğı	17
2.7. UME Temel Seviyedeki AC Gerilim Karşılaştırma Zinciri	18
2.8. Yüksek Gerilimler İçin Direnç ve Isıl Çevirici Kombinasyonu	19
2.9. Yüksek Gerilim Direnç Modülü	19
2.10. UME AC Yüksek Gerilim Standardı	20
2.11. Step-up Zinciri	21
2.12. Yüksek Gerilim Karşılaştırmaları	22
2.13. TVC Temel Karşılaştırma Devresi	23
2.14. TVC Karşılaştırma Sistemi – Fark Tipi (Differential type)	24
3.1. Otomatik TVC Karşılaştırması – Diferansiyel Tip	27
3.2. Otomatik TVC Karşılaştırması – İki Kanallı	27
3.3. UME Otomatik AC/DC Sistemi	28
3.4. Yazılımın Dosya Organizasyonu	29
3.5. Yazılımın Çalışma Organizasyonu	30
3.6. AC-DC Transfer Yazılımı Genel Akış Diyagramı	32
3.7. Aynı Giriş Gerilimine Karşın Farklı TVC Çıkış Karakteristikleri	34
3.8. Isıl Kaymanın Gerilim Dizisi ile Önlenmesi	34
3.9. n - Değerinin Hesaplanması	36
3.10. Programda “n”-Değerinin Hesaplamasının Akış Diyagramı	37

3.11. Kaynakların Ayarlanma Akış Diyagramı	
3.12. Programın, TVC Çıkışlarını Okuma Akış Diyagramı	
3.13. Programın ac-dc Transfer Farkını Hesaplama Akış Diyagramı	
3.14. Lineer İnterpolasyon	44
3.15. Polinomsal İnterpolasyon	44
3.16. AC Gerilim, Otomatik Kalibrasyon Sistemi	45
5.1. Primer Seviyedeki AC Gerilim Ölçüm Bölgesi	50
5.2. UME’de İzlenebilirlik Zinciri	51





ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge

Sayfa

2.1. Isıtıcı Direnç Değerlerine Bağlı Nominal Gerilim Değerleri	14
2.2. UME ve PTB Standartlarının Karşılaştırmalı Ölçüm Sonuçları	17
2.3. Isıl Çevirici Girişine Bağlanan Direnç Değerleri ve Nominal Gerilimler	20
3.1. UME’de Yapılan Ölçümlerin Sonuçları	43
4.1. Ac-dc Transfer Standardı Kalibrasyon Belirsizlikleri	48
4.2. AC Gerilim Kalibrasyon Belirsizlikleri	49





1. GİRİŞ

1.1. Metroloji ve Önemi

Dünyanın globalleşmesiyle, bilgi ve ürün alışverişinde görülen gelişmeler, doğru ölçümlerin gerekliliği ortaya çıkarmış hatta bilimsel alanın dışında resmi kontrol mekanizmalarını da zorunlu hale getirmiştir. Bugün, kalite güvence sistemi için duyulan ihtiyaçlar ISO 9000 serisi standartları tarafından sağlanmaktadır ve üretim sürecinde kullanılan ölçümlerin uygun bir şekilde yapılmasını sağlamak için ölçüm esnasında kullanılan ekipmanların kalibrasyonu bu standartların önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bütün bu ölçümler, uluslar arası metroloji sisteminde tanınmakta olan ulusal standartlara izlenebilir olmalıdır.

Uluslar arası alanda resmi metroloji açısından ilk resmi gelişme, 1875 yılında aralarında Osmanlı İmparatorluğunun da bulunduğu 17 ülkenin imzalamış olduğu “Metre Konvansiyonu” anlaşmasıdır. Anlaşmada göz önünde bulundurulmuş etkinlikler şunlardır; Uluslararası birimler sisteminde (SI) fiziksel parametreler ile tanımlanmış birimlerin, gerçekleştirilmesi, muhafazası ve yayılmasıdır. Bu etkinlikler CPIM tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu alandaki bir diğer önemli kuruluş olan BIPM’in görevi ise, üye ülkelerin sahip oldukları fiziksel standartlar arasında uyumun sağlanması üzerine odaklanmaktadır. Bugün 48 ülke, “Metre Konvansiyonu” anlaşması üzerine kurulmuş olan bu organizasyonun üyesidir.

Herhangi bir ülkedeki metroloji sistemi, o ülkede bu alandaki hiyerarşinin en üzerinde bulunan ulusal metroloji enstitüsü tarafından kurulur. Ulusal metroloji enstitüleri devletin otoritesi altında çalışırlar ve ülkenin ölçüm alanındaki primer standartlarının kurulması, muhafazası ve bunların doğruluklarının ülke içersine yayılması ile görevlidirler. Osmanlı İmparatorluğu “Metre Konvansiyonu” anlaşmasını imzalayan ilk ülkelerden biri olmasına rağmen, daha sonraki dönemlerde bu alanda bir boşluk görülmektedir. Özellikle ülkemizde endüstriyel alanda yaşanan gelişmelere paralel olarak artan, doğru ölçümlere karşı duyulan ihtiyaçların karşılanması amacıyla, TÜBİTAK bünyesinde 1992 yılında Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) kurulmuştur. Bugün UME, uluslar arası alandaki tüm metroloji organizasyonlarında Türkiye’yi temsil etmekte ve mevcut 29 laboratuvarı ile

endüstriye ve askeri kuruluşlara geniş bir alanda doğru ölçüm ve buna bağlı test hizmetleri vermektedir.



Uluslar arası birimler sistemi (SI), 1960 yılında 11. Ağırlıklar ve Ölçümler Genel Konferansı (11th General Conference on Weights and Measures - CGPM) sonucu kurulmuştur ve modern metrolojinin temelini oluşturmaktadır. SI temel birimleri, diğer bütün ölçüm parametrelerinin kendilerinden türetildiği yedi büyüklükten oluşmaktadır. Bu çalışmada, elektriksel büyüklüklerden biri olan AC gerilim ve bunun birimi “volt” un pratikte gerçekleştirilmesi üzerine odaklanmaktadır.

Metroloji ile ilgili yaygın olarak kullanılan terimler ile ilgili UME’ nin hazırlamış olduğu “Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü”nden alınan tanımlar Ek 3’ te verilmektedir.

1.2. AC Gerilim Birimi -Volt

Diğer elektriksel büyüklükler gibi gerilim de temelde SI sisteminin yedi ana biriminden biri olan Amper (A) üzerinden türetilir. Amper ise şu şekilde tanımlanır; *Bir amper, vakum bir ortama aralarındaki mesafe 1 m olacak biçimde birbirine paralel olarak yerleştirilmiş, yarıçapları ihmal edilebilecek kadar küçük, sonsuz uzunlukta iki tel arasında, metre başına $2 \cdot 10^{-7}$ newton değerinde kuvvet oluşturmak için, bu teller üzerinden geçirilmesi gereken sabit akım değeridir. [BIPM, 1998].*

Üzerinden akım geçirilen iletkenler arasındaki gücün ölçülmesi yoluyla akımın gerçekleştirilmesi artık pratik olarak uygulanmamaktadır. Amper temel SI birimlerinden olmasına rağmen, günümüzde en iyi şekilde, volt (V) ve ohm’a (Ω) bağlı olarak gerçekleştirilmektedir [Fluke, 1994]. Laboratuardaki volt ve ohm standartları Josephson ve quantum Hall etkilerine dayanmaktadırlar ve volt için 10^{-9} , ohm için 10^{-8} seviyelerindeki doğruluklarla ve yüksek tekrarlanabilirliğe sahiptirler. Her iki sistemde UME’de mevcuttur.

Amper tanımından anlaşıcağı üzere, bu sadece DC akımlar için uygulanabilir. Sonuçta amper bir DC büyüklük olarak tanımlanır. AC elektriksel büyüklükleri,

akım ve gerilim, belirleyebilmek için ise, bu büyüklükleri eşit DC değerlere çevirmek gerekir.

AC büyüklükleri tanımlamada kullanılan en önemli parametrelerden biri RMS'dir (Root Mean Square) ve bu parametre direkt olarak sinyalin gücüyle ilişkilidir. Bir $Q(t)$ AC sinyalin RMS değeri, bir direnç üzerinde bu sinyalin oluşturduğu güç ile aynı gücü oluşturan DC sinyal değerine eşittir. Matematiksel tanımı şu şekildedir;

$$RMS = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T Q^2(t) dt} \quad (1.1)$$

Tek frekanslı bir AC büyüklüğün sinüs fonksiyonuna bağlı ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$Q(t) = Q_m \cdot \sin(\omega t) \quad (1.2)$$

Böyle bir fonksiyon için 1.1 eşitliğinden, $RMS = Q_m / \sqrt{2}$ sonucu çıkarılır. RMS, sinyalin gücünü yansıttığı için, güç karşılaştırılması yoluyla AC sinyalin DC sinyal ile ilişkilendirilmesinde kullanılabilecek en uygun parametredir. Yukarıda belirtildiği gibi, bunun için bazı transfer metotlarının kullanılması gerekmektedir.

Geçmişte bu amaç için elektrostatik veya elektrodinamik gibi farklı bazı teknikleri kullanılmışken, günümüze düşük frekanslardaki (<1 kHz) en yüksek doğruluklar sayısal örnekleme teknikleri kullanılarak ve daha geniş bir frekans aralığında (10 Hz-100 MHz) ısı transfer tekniği kullanılarak sağlanmaktadır. Isıl çeviriciler bütün ulusal laboratuvarlarda AC gerilim ve akım için primer standartlar olarak kullanılmakta ve bunların doğruluğu ses frekanslarda 10^{-6} lar seviyesine ulaşmaktadır.

1.3. Isıl Çeviriciler

Isıl çevirici cihazları, bilinen bir DC ile bilinmeyen AC büyüklüklerin uygulanmaları durumunda, bu büyüklüklerin bir direnç üzerinde yayılan ısıyla yükselen sıcaklıkların karşılaştırılmaları prensibiyle çalışırlar. Bu cihazlarda sıcaklığın ölçülmesinde kullanılan yollar bakımından çeşitli farklar vardır:

1. Isılçift ile ısı algılanması, bunlar üç tipte ayırabiliriz:
 Tek-eklemli Isıl Çeviriciler (Single-Junction Thermal Converter-SJTC)
 3-boyutlu çok eklemli Isıl Çeviriciler (Multi-Junction Thermal Converter-MJTC)
 ve ince-film Isıl Çeviriciler (Thin-film (Planar) MJTC - PMJTC)
2. Isının, bipolar bir transistörün baz-emitöründeki gerilim değişimi ile algılanması, bu cihazlar katı-hal transfer standart olarak bilinirler
3. Isının, termorezistiv bir algılayıcı ile algılanması

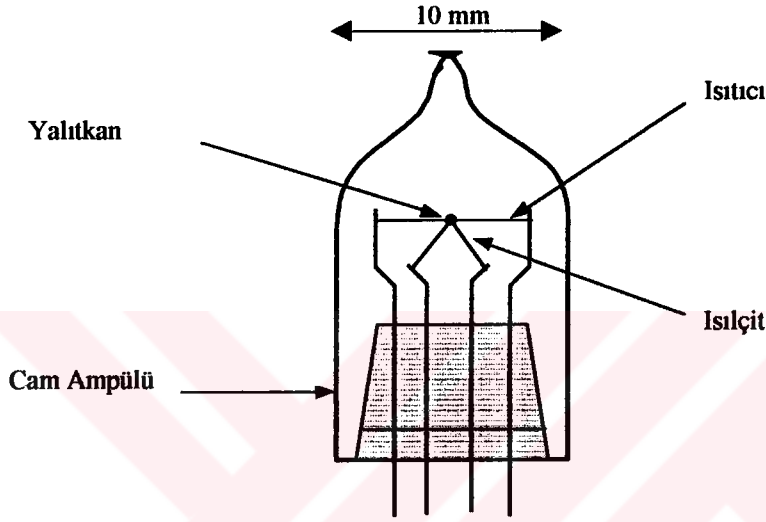
Teorik olarak aynı etkinlikteki DC ve AC giriş büyüklüklerine karşın, ısı çevirici çıkışlarının aynı olması beklenir. Pratikte bu durum farklı olup, ısı çevirici çıkışında aynı değeri verecek olan, AC ve DC giriş büyüklükleri arasında ac-dc transfer farkı olarak adlandırılan bir fark oluşmaktadır. Bağlı olarak ifade edilen bu fark, ac-dc ısı çeviriciyi karakterize etmekte kullanılan temel parametredir:

$$\delta = \frac{Q_{ac} - Q_{dc}}{Q_{dc}} \quad (1.3)$$

Burada Q_{ac} , AC giriş sinyali (gerilim veya akım), Q_{dc} her iki polarite de uygulandığında oluşan çıkışların ortalamasının Q_{ac} ' nın oluşturduğu çıkış ile aynı olması durumundaki DC giriş sinyallerinin ortalamasıdır.

1.3.1. Tek-Eklemlı Isıl Çeviriciler (SJTC)

SJTC en basit yapıya sahip ısııl çeviricidir. İnce, düz, akıma karşı yüksek hassasiyete sahip bir tel ile bu tel üzerine yerleştirilmiş ancak elektriksel olarak izoleli bir ısııl-çiftten oluşmaktadır. Bu yapı cam bir vakum ortamına Şekil.1.1’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.

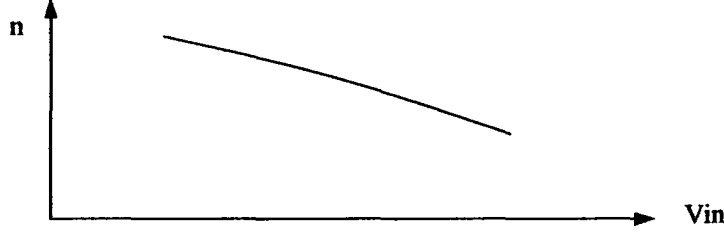


Şekil 1.1. Tek-Eklemlı Isıl Çeviriciler (SJTC)

JOULE kanununa göre ısı oluşumu direnç üzerine uygulanan akımın karesiyle orantılıdır: $Q \sim I^2$. Eğer akımın frekansı yetince büyük ise, ısııl zaman sabiti resistördeki ısı ısı darbelerinin zaman integrasyonunu gerçekleştirir ve sabit sıcaklık oluşturur. Bu ısı yükselişi ısııl-çift tarafından algılanır ve çıkışında DC gerilim (E) olarak görülür. Çıkıştaki bu DC gerilim giriş sinyalinin yaklaşık olarak karesiyle orantılıdır. Eğer girişteki AC büyüklük akım olarak ifade edilirse, çıkış gerilim ifadesi matematiksel olarak $E = K_i \times I^2$ şeklinde veya direnç üzerindeki gerilime bağlı olarak $E = K_v \times V^2$ şeklinde gösterilir. Burada I ve V ısıılıcı dirence uygulanan akım ve gerilim RMS değerleridir, K_i ve K_v ise ısııl çeviricinin fiziksel yapısını ifade eden parametrelerdir. Pratikte bu ifade tam olarak karesel değildir ve AC gerilim için aşağıdaki gibidir;

$$E = K_v \times V^n \quad (1.4)$$

Buradaki n’ in yaklaşık değeri $1.6 < n < 1.9$ dur. Bu parametre giriş sinyalinin değişimine bağlı olarak lineere yakın bir değişim gösterir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. n-Vin Fonksiyonu

Yaygın olan çeviricilerde sıcaklık artışı, nominal girişe karşın ısıtıcının ortasında 150 °C' ye kadar çıkar ve ısıl-çift çıkışında yaklaşık 7 mV oluşturur.

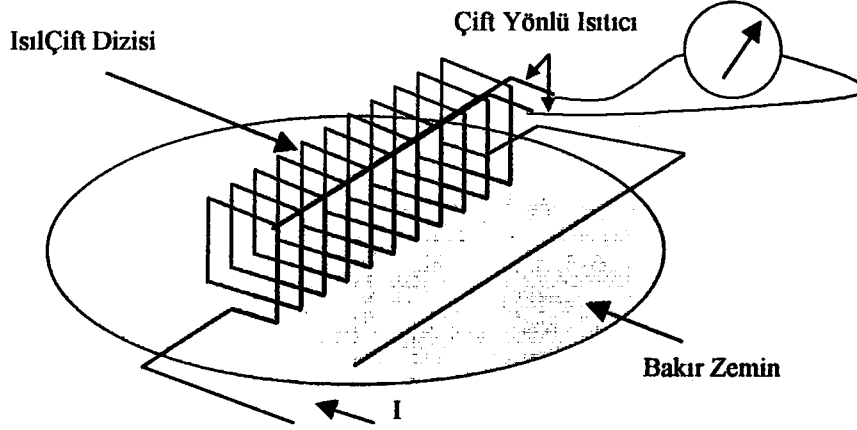
AC ölçümlerinde bu ilk olarak Hermach [Hermach, 1952] tarafından bulunarak kullanılmıştır ve pek çok bilim adamı tarafından yaygın olarak üzerine çalışılmış ve geliştirilmiştir.

Bugün artık, bunların ac-dc transfer farkları, 40 Hz-20 kHz frekans aralığında 10^{-7} 'ler seviyesindedir. Ses frekanslarda, ac-dc farkların en büyük kaynakları Thomson ve Peltier etkileridir, ancak yüksek frekanslarda kapasitans, dielektriksel kayıplar, endüktans, deri etkisi ve duran dalga etkin olan parametrelerdir. SJTC' de görülen ac-dc fark değerlerinin kaynaklarıyla ilgili ayrıntılı bilgi EK 2'de verilmektedir [Iglis, 1992].

1.3.2. Çok-Eklemlı Isıl Çeviriciler

Yukarıda bahsedilen ve termoelektrik etkilerden kaynaklanan transfer farkları üzerine yapılan çalışmalar göstermektedir ki, TC'lerin temel doğruluğunda yapılabilecek önemli herhangi bir gelişme, Thomson etkisinden dolayı oluşan ısıl gradyanın oldukça düşürecek yeni bir cihaz gerektirir. Wilkins [Wilkins, 1972] bunu gerçekleştirmek için yeni bir ısıl-çift yapısı dizayn etti. Konstantan yolların halezon şeklindeki sargılar haline getirilmesi ve bakır kaplama tekniğinin kullanılmasıyla, 250'ye kadar ısıl-çift bir araya getirilebilir ve bunlar bir çift sarımlı ısıtıcı üzerine yerleştirilebilirler.

Kullanılan materyalin optimizasyonu, dikkatli bir dizayn ile hassas bir kontrol altında yapılan PTB'nin üç boyutlu MJTC [Klonz, 1987] Şekil.1.3'te görülmektedir.



Şekil 1.3.Üç-boyutlu Çok Eklemli Isıl Çevirici

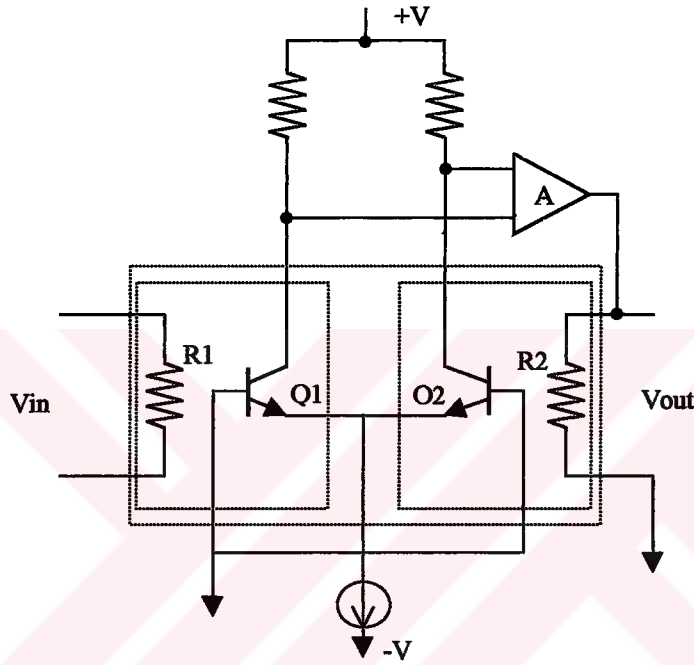
Isıtıcın çift sarımlı olarak yapılışı ve ısıl-çiftin periyodik yapısı Thomson etkisini önemli derecede azaltır. İlk ısıl-çiftin uzaklığı ve ısıtıcı ile ara yollar arasındaki bağlantılar, ısıtıcının her iki ucundaki sıcaklık gradyanının etkisini azaltmak için optimize edilmişlerdir. Peltier etkisini azaltmak için, ısıtıcının her iki ucu bir Al_2O_3 boncuğu vasıtasıyla ısıl olarak kısa devre edilerek bakır çubuğa bağlanmışlardır. Isıtıcı direnci ve ısıl-çift sayısı düşük ve yüksek frekans transfer farklarını azaltmak için optimize edilmişlerdir. Klonz, bütün transfer farkları kaynaklarının toplamı, tahmini olarak $0.1 \cdot 10^{-6}$ den daha küçük olduğunu gösteren detaylı bir çalışma yapmıştır. Ayrıca, transfer farkları 100 kHz'e kadar $0.5 \cdot 10^{-6}$ ve 1 MHz'e kadar $10 \cdot 10^{-6}$ belirsizlik değerleriyle belirlenmişlerdir. Ancak bu cihazların fabrikasyonu zor ve pahalıdır.

1.3.2.1. İnce-Film Çok-Eklemli Isıl Çeviriciler

İnce-film ve fotolitografik gibi modern teknolojiler, ısıl cihazların yapımını tekrar inceleme fırsatını sağlamıştır. Bu teknolojiler güçlü bir fabrikasyon olanağı sağlamakta ve böylece fiyat önemli oranda düşmektedir. İnce-film MJTC ayrıca düzlemsel (planar - PMJTC) olarak ta bilinmektedir ve bunlar ilk kez PTB' de Klonz ve Weimann [Klonz at al, 1989] tarafından daha sonrada bazı değişikliklerle NIST' de [Kinard at al, 1995]. (ABD) geliştirilmişlerdir. PMJTC daha sonraki bölümlerde detaylı ele alınacaktır.

1.3.3 Elektronik Algılayıcı Isıl Çeviriciler

Bu tip çeviricilerden en yaygını Fluke firması tarafından 1970'lerin başlarında geliştirilmiştir. Bu cihaz bir tek çip üzerinde üretilmiş iki transistor ve bir difüze resistörden oluşuyordu, daha sonralar ısıl olarak izoleli iki ayrı silikon adacığı üzerindeki resistör - transistor yapısı ile değiştirilmiştir. Bu devre Şekil.1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4 Fluke Elektronik Yapılı Isıl Çevirici

Devre şu şekilde çalışır;

- Vin R1'i ısıtır
- R1 ısısı Q1'in baz sıcaklığını artırır, buda 1'in kolektör akımını artırır.
- Q1'in artan kolektör akımı, güçlendiricinin (-) girişindeki dengeyi bozar.
- Güçlendirici çıkışı, Vout, R2'yi ısıtır ve buda Q2'nin kolektör akımının artmasına sebep olur. Böylece güçlendiricinin girişi tekrar dengeye getirilir.
- Dengede; $V_{in} = V_{out}$ (nominal olarak). Vout, DC bir gerilim olup Vin ile aynı güç bileşenine sahiptir. Vin, AC veya DC gerilim olabilir.

SJTC ile karşılaştırdığında bu çevirici bazı avantajlara sahiptir. Bu, nominal girişe karşılık SJTC çıkışı 7 mV iken, bu cihazlarının çıkışının yaklaşık 2 V olması faktörünü içerir. Bu cihazlar ayrıca, daha kısa ısıl zaman sabitine ve oldukça iyi

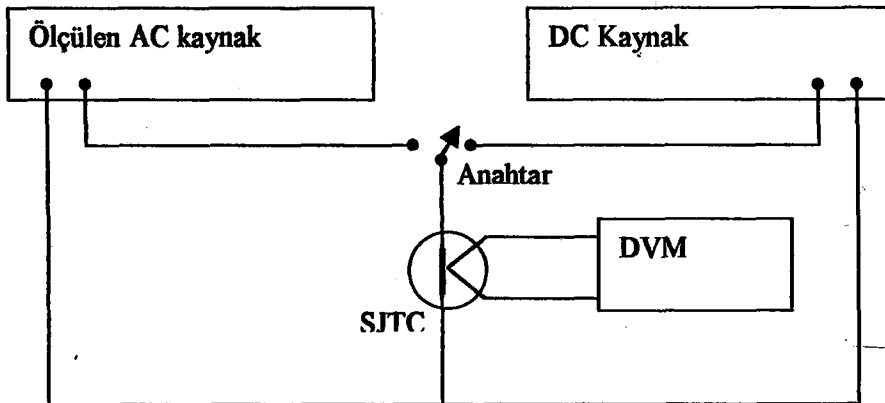
reversal karakterine sahiptirler (Bkz EK 1). Bu cihazları, sahip oldukları bu karakteristik özelliklerden dolayı AC ölçümlerde oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Ancak bunlar, teorik olarak belirlenmiş SJTC veya MJTC gibi standartlar ile karşılaştırılmalıdırlar. Daha önce izlenebilirliği sağlamak için, SJTC'ler PTB'ye kalibre edilmek üzere gönderilirken, UME'de Elektronik yapılı ısı çeviriciler alındıktan sonra, PTB'den izlenebilirliğin aktarılmasında bu standartlar kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu standartlar, sadece belli frekanslarda kalibre edildikleri için, UME'de gerçekleştirilebilen kalibrasyonlar da sadece bu noktalarda mümkün oluyordu, bu da UME açısından oldukça sıkıntılı bir durumdu.

1.4. 1000V'a Kadar Gerilim Standartları

Daha önce bahsedildiği gibi, ısı sensörler yaklaşık 0.5-3V bölgesinde çalışırlar. Genelde, sensörler nominal gerilimin %30'dan %100'üne sabit ac-dc transfer farkına sahiptirler. Isıl sensörlerin düşük gerilim sınırı yaklaşık 100 mV'tur. Yüksek gerilimler için bu sensörler, gerilimin çalışma seviyelerine düşürmek için bir resistörle beraber kullanılırlar. Sensör ve resistörden oluşan bu kombinasyon ısıl gerilim çevirici (Thermal Voltage Converter -TVC) olarak adlandırılır.

1.5. AC Ölçümlerde TVC' nin Kullanımı

Şekil.1.5'te, ısıl çevirici kullanılan AC gerilim ölçümleri için gerekli basit bir sistem gösterilmektedir. Şekilde, ısıl çevirici SJTC sembolüyle gösterilmiştir.



Şekil 1.5. AC Gerilim Ölçümlerinde TVC' nin Kullanımı

Prosedür, test edilecek AC kaynağın anahtar ile seçilmesiyle başlar. Yaklaşık 1 dakika sonra TC'nin DC çıkışı durağan hale gelir ve DVM' de görülen değer kaydedilir. Daha sonra anahtar hızlı bir şekilde DC' ye çevrilir ve TC çıkışının durağan hale gelmesinin ardından, DC kaynak, AC gerilim ile aynı TC çıkışı verene kadar ayarlanır. Sonra DC kaynağının polaritesi ters çevrilir ve yine TC çıkışında aynı değeri görene kadar DC kaynak ayarlanır. Bu durumda AC gerilim, ayarlanan ters polaritedeki DC gerilimlerin ortalamasına eşittir. Eğer ısıl çeviricinin ac-dc transfer farkı biliniyorsa bu durumda AC gerilim şu şekilde hesaplanır.

$$V_{ac} = (1+\delta) \cdot [V_{dc(+)} + V_{dc(-)}] / 2 \quad (1.5)$$

2. UME AC GERİLİM ÖLÇÜM SİSTEMİ



UME 1992'de kurulduğunda, AC gerilim ölçümleri ve kalibrasyonları ilk başlarda PTB' de kalibre edilen bir grup SJTC ve elektronik yapılı ısı transfer standart ve bu standartlarla uyumlu olarak dizayn edilmiş otomatik kalibrasyon olanağı sağlayan bir yazılımı kullanılmıştır [Özgül at al. 1997]. Bu sistemle, transfer standartlarının kalibrasyonları elle hiç müdahale bulunmadan, 15 ppm gibi bir belirsizlikle mümkün olmuştur. Sistem, PTB ile yapılan bir karşılaştırma sonucu neredeyse aynı sonuçları vererek doğrulanmıştır ve bu direkt olarak iki enstitü arasındaki izlenebilirlik bağının bir sonucudur.

Bu sistem, transfer standartlarının kısa ve tutarlı bir şekilde kalibrasyonunu sağlar ise de bazı dezavantajlara sahipti. Öncelikle, standartlar hala PTB' de kalibre edildiği için, UME izlenebilirlik açısından bağımlı durumdaydı. Ayrıca transfer standardının kalibrasyonunun iki ay gibi uzun bir zamanda yapılması nedeniyle, UME'de bu süre boyunca kalibrasyonlar birincil seviyede gerçekleştirilemiyor dolayısıyla süreklilik sağlanamamış oluyordu. Bütün bunların yanı sıra, yazılımdan kaynaklı bazı sıkıntılar da mevcut idi. Bunlar:

- Sadece transfer standardı kalibrasyonu için gerekli prosedüre sahipti
- Belirli bazı cihazlarla çalışmak üzere dizayn edilmişti
- Kalibrasyonu sadece sınırlı frekans noktalarda gerçekleştiriyordu

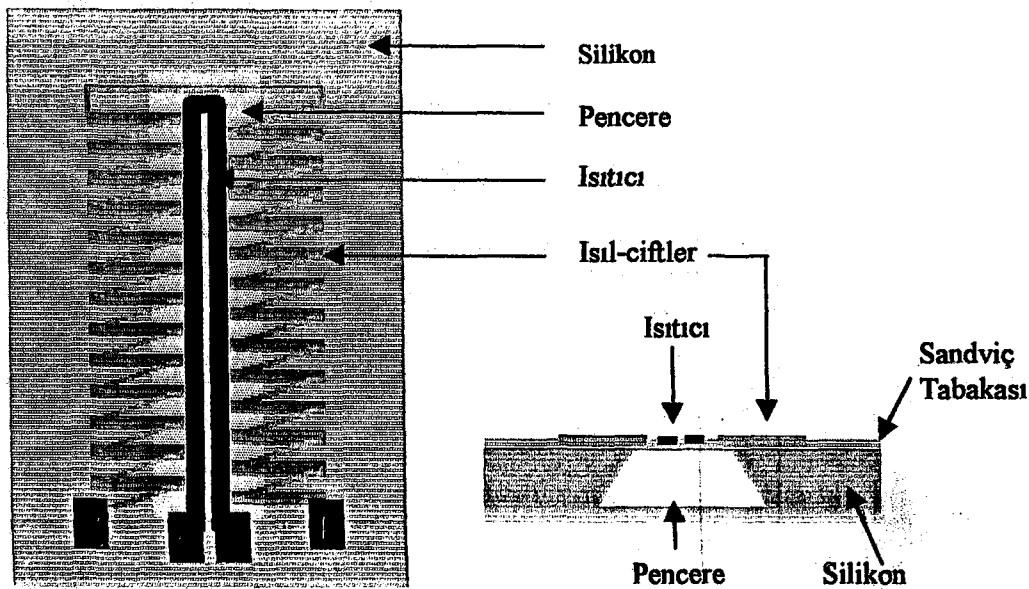
Bu problemleri kaldırmak için, 1999 yılında yeni standartların kurulmasını ve yeni bir yazılımı dizaynını içeren bir proje ele alınmıştır. Bu proje kapsamında, AC gerilim için primer standart olan bir grup PMJTC' nin kullanmasına karar verilmiştir.

2.1. UME AC Gerilim Birincil Standartları

MJTC' ler 90'ların başlarında bulunduktan sonra, SJTC' lere göre çok açık avantajları olmasına rağmen, üretimlerinde bu cihazların tam potansiyelde gerçekleştirilmesini önleyen bazı zorluklarla karşılaşmıştır. PTB' de, Wilkins ve Klonz tarafından yapılan bir optimizasyon sonucu 3d MJTC yapılmıştır ve bu cihazın 0.5 ppm' den daha düşük ac-dc farklara sahip olduğu düşünülmektedir. Hala bu cihazın üretimi karmaşık ve pahalı olup pek az laboratuvarında bulunmaktadır.

MJTC' lerin bir çip üzerinde litografik teknikleri kullanılarak üretilmesi daha ucuz ve daha kolaydır. Bugün UME' de, dünyadaki pek çok ulusal laboratuvarında olduğu gibi PMJTC' ler AC gerilim ve akım için temel standart olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar Almanya'daki Jena Yüksek Teknolojiler Enstitüsünden alınmışlardır.

Teorik ve pratik çalışma göstermiştir ki iyi dizayn edilmiş bir MJTC' nin ses frekanslarda ac-dc transfer farkının pratikte ihmal edilecek kadar küçük olması gerekir ve 100 kHz' e kadar ancak birkaç ppm değere kadar ulaşabilir. Özel planar yapısından dolayı, PMJTC' lerin teorik değerlendirilmesi zordur, ancak 3d MJTC ile karşılaştırıldığında ideal yapıya sahip bir PMJTC' nin 3dMJTC kadar olması gerekir. PMJTC' nin yapısı Şekil.2.1'de gösterilmektedir.

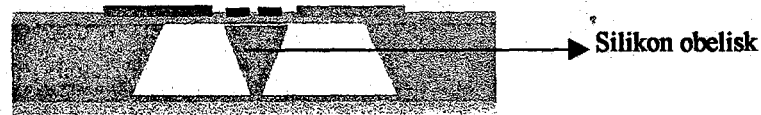


Şekil 2.1. İnce Film Çok Eklemlili Isıl Çevirici

PMJTC, bir çift yönlü ısıtıcı resistörü ile bunun etrafını çeviren bir çok katmanlı ısıl-çift dizisinden ve ikisinde destekleyen bir sandviç zardan oluşmaktadır. Isıl-çift serisinin sıcak eklemleri boyunca yerleştirilir, soğuk eklemleri ise simetrik olarak, bir ısı havuzu olarak davranan silikon üzerine yerleştirilir. Isıtıcı olarak Ni45Cr50Si5 (45% nikel, 50% krom ve 5% silikon) alışımlı kullanılır. Silikon zarın düşük ısı transfer özelliği, cihazın hassasiyetinin yüksek olmasına önemli rol oynar. Isının, zarın üzerine yarattığı yüksek stres problemini ortadan kaldırmak için, zar çok katmandan oluşturulmuştur; 200 nm kalınlığında Si_3N_4 (germeli), 400 nm kalınlığında SiO_2 (sıkıştırılmalı) ve 200 nm kalınlığında Si_3N_4 (germeli).

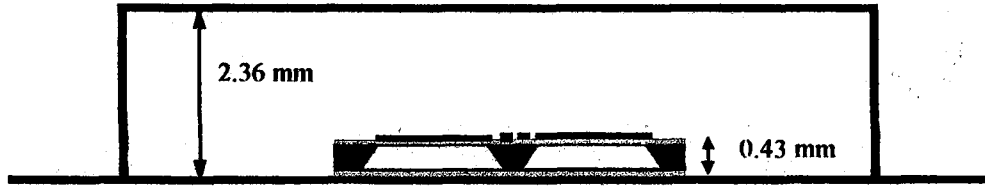
Isıl-çiftlerin, dizide periyodik şeklinde yerleşmesinden dolayı, ısıtıcı boyunca ortaya çıkan sıcaklık sabit olup, Thomson etkisinden kaynaklanan ac-dc transfer farkı azalmaktadır. Isıtıcının iki ucu silikon üzerine birlikte yerleştirilmiştir, bunlar elektriksel olarak sandviç zar kullanılarak izole edilmiştir, fakat ısıl olarak, silikon altındaki yüksek ısıl iletkenlik nedeniyle kısa-devredirler. Bu yapı, Peltier etkisinin azaltmasını sağlar. Yüze kadar Bi/Sn tipi ısıl-çift önce buharlaştırma yoluyla tabaka üzerine ve daha sonra bu tabakayla beraber silikon wafer üzerine açılmış pencereye yerleştirilirler.

Daha önce bahsedildiği gibi, düşük frekanslarda TVC' nin çıkışı, giriş gerilim frekansının iki katında bir osilasyon yapacaktır. PMJTC' nin düşük ısıl sabitine, 30 ms, bağlı olarak, düşük integrasyon yeteneği ortaya çıkar, bu da düşük frekanslardaki ac-dc farkları belirler. Zaman sabitini büyütmek PMJTC' nin integrasyon yeteneğini geliştirir. Bunu gerçekleştirmek için, Klonz ve Weimann [Klonz at al, 1991] ısıtıcının altına ısıl bir kütle eklemişlerdir. Bu yapı Şekil.2.2'de gösterilmektedir.



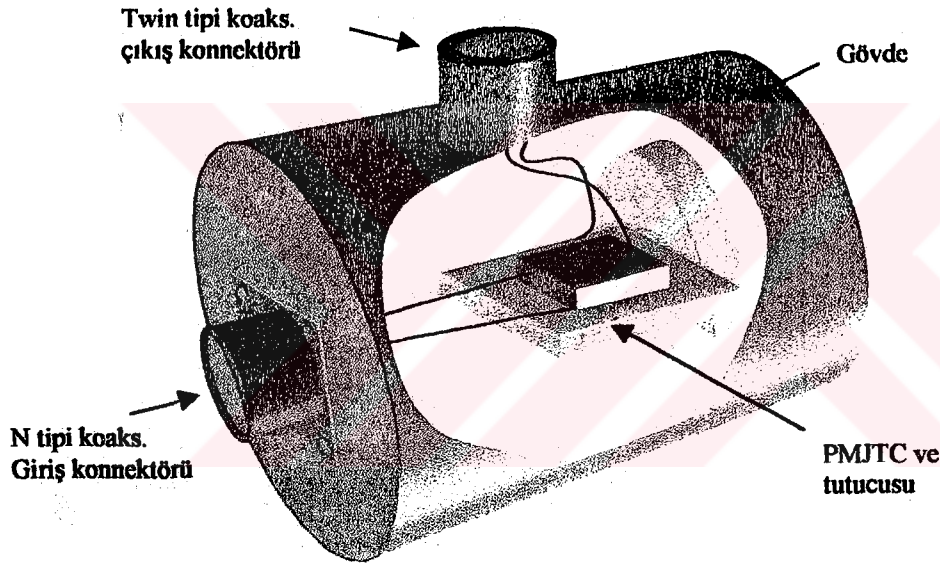
Şekil 2.2. Obeliske Sahip PMJTC

Altındaki silikon obelisk zaman sabitini 1,3 saniyeye çıkarır, ve düşük frekanslardaki ac-dc farkları önemli bir ölçüde düşürür. Seramik bir muhafaza içine yerleştirilmiş PMJTC yapısı Şekil.2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Seramik Muhafaza İçerisinde PMJTC

En sonunda PMJTC, NiCr kaplı bir pirinç muhafaza içine yerleştirilerek, dış ortamdaki sıcaklık değişiminden ve elektromanyetik alan etkilerinden korunmuş olur. Giriş konnektörü N tipi olup, elektriksel ve mekaniksel özellikleri oldukça iyidir. UME standartlarının yapısı Şekil.2.4'te gösterilmektedir, dış görünümü de Şekil 2.5.



Şekil 2.4. UME PMJTC Gerilim Çevircisinin Yapısı

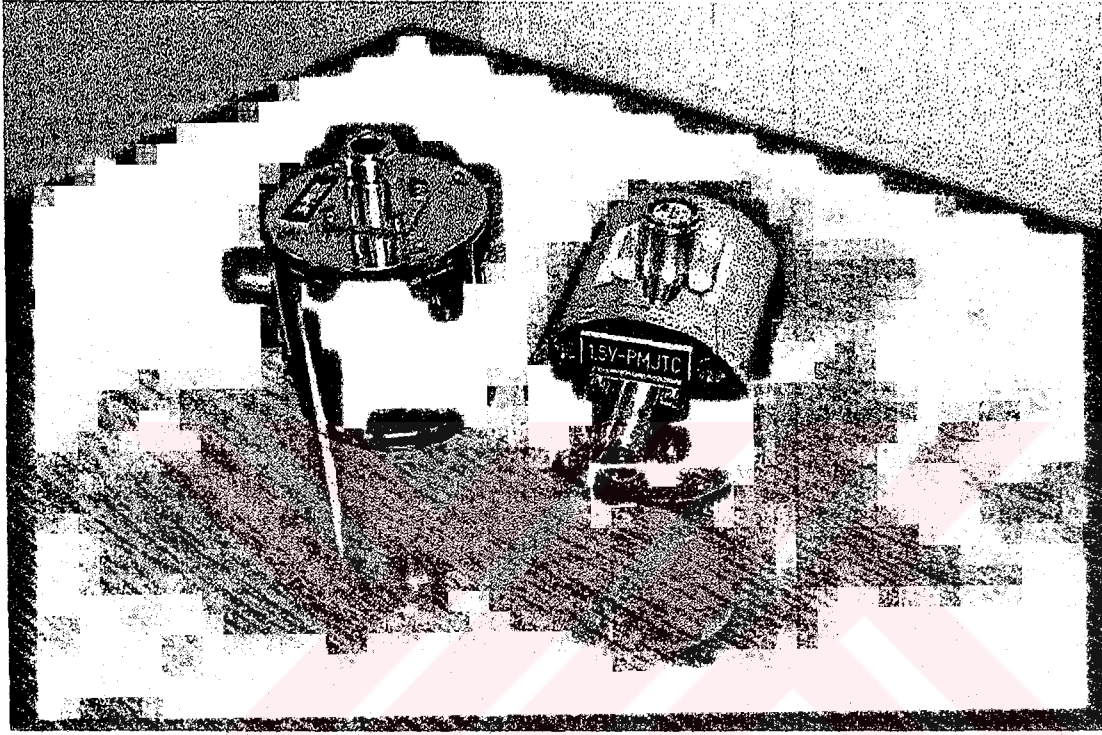
PMJTC' ler, çalışabilecekleri nominal gerilim değerlerini belirleyen ısıtıcı direncine bağlı olarak sınıflandırılabilirler. (Çizelge.2.1)

Isıtıcı direnci	Gerilim
90 Ω	1 V
180 Ω	1.5 V
400 Ω	2 V
900 Ω	3 V

Çizelge 2.1. Isıtıcı Direnç Değerlerine Bağlı Nominal Gerilim Değerleri



PMJTC girişine nominal gerilim uygulandığında ısıçift dizisinin çıkış gerilim değeri yaklaşık 100mV' tur. PMJTC' nin giriş-çıkış karakteristiği $E_{dc}=k \cdot V_{in}^{1/n}$ üssel fonksiyonu ile tanımlanır ve buradaki "n" değeri 2' ye çok yakın bir değerdir.



Şekil 2.5. UME PMJTC

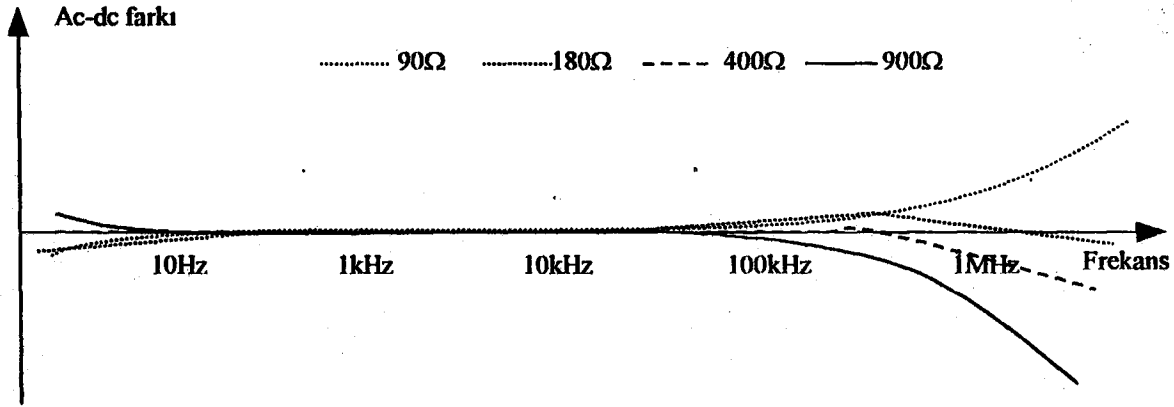
2.1.1. PMJTC Karakterizasyonu

Bir TVC'nin karakterizasyonu, temel parametre olarak kabul edilen ac-dc transfer fark değerlerinin çalışılan frekanslar için belirlenmesiyle gerçekleştirilir. 80'li yılların sonlarında PMJTC' lerin ortaya çıkmasıyla, ac-dc fark değerlerini düşürmek üzere pek çok gelişme kaydedilmiştir. Bilgisayar simülasyon araçlarının ve Sonlu Element Metodunun (Finite Element Method-FEM) kullanımı (Laiz, 1999) PMJTC için daha iyi dizayn ve yaklaşım olanağı sağlamıştır. Ancak, bunların performansı hala, 1MHz'e kadar yaklaşık 1ppm'lik belirsizliklerle teorik bir yaklaşım üzerinden belirlenmiş 3dMJTC ile kontrol edilmektedir. PTB' de Klönz, 3dMJTC'yi dizayn ederek, farklı ısıtıcı dirençlerinde (27, 92, 190, 340 ve 700Ω) frekans cevabı için bir yaklaşım geliştirmiştir [Klönz, 1987]. Klönz, yaptığı çalışmaların sonucunda, 100kHz'in altındaki frekans bölgesinde, ac-dc fark için en

düzgün cevabın, 180Ω 'luk ısıtıcı direnci kullanmak suretiyle mümkün olduğunu görmüştür. Daha düşük direnç değerlerinde ac-dc farklar pozitif doğru bir eğilim gösterirler, yüksek direnç değerlerinde ise yüksek frekanslar için ac-dc farklar pozitif hale gelir. Teorik yaklaşımlarla bulunan bütün transfer farkları, ölçülmüş bu değerlerle 10^{-7} ler mertebesinde uyum gösterirler. Benzer değerlendirmelerin ardından AC akım için yapılan çalışmalar, en iyi sonuçların yaklaşık 27Ω 'luk ısıtıcıyla mümkün olduğu göstermişlerdir.

Bugün dünyada, AC Gerilimde mutlak primer standart olarak, özellikle ses frekanslarda, MJTC'lerin kullanılması ve MJTC ile karşılaştırılabilecek ve bu noktayı ispatlanabilecek bağımsız bir standardın olmaması nedeniyle, metrolojistlerin araştırma konusu olmuştur. Bu konuda yapılan en önemli çalışma, hızlı-çevrimli DC kaynak (Fast-Reversed DC Source-FRDC) dizaynıdır [Klonz at al, 1996]. Bu cihaz, MJTC içindeki Thomson ve Peltier etkilerini incelemek için kullanılmıştır ki bu etkiler, özellikle ses frekanslarda ana hata kaynaklarıdır. PMJTC' de bu hataların 1ppm'in çok altında olduğu ve SJTC için birkaç ppm civarında olduğu belirlenmiştir. Bu etki PMJTC' nin ses performansının neredeyse ideal olduğunu doğrulamaktadır. Yüksek frekanslarda MJTC' nin, iyi dizayn edilmiş hesaplanabilir bir yüksek frekans SJTC (High Frequency SJTC) [van Mullem at al, 1997] ile yapılan karşılaştırılması sonucu ayrıca göstermektedir ki PMJTC, 100kHz'e kadar oldukça düzgün cevaba sahiptir. 100 kHz' ten 1MHz'e kadar, PMJTC, SJTC' ye karşı avantajlarını yitirir. 100kHz'ten yüksek frekanslarda, UME'de PMJTC' ye paralel olarak hesaplanabilir SJTC kullanılır, böylece olası farklılıklardan sakınılmış olunur, diğer taraftan SJTC' lerin primer standart olarak kullanıldıkları 1MHz'in üzerindeki frekanslardaki gerilimler için iyi bir belirsizlik geçişi sağlanmış olur.

PTB' de pek çok sayıda farklı ısıtıcı dirence sahip PMJTC' nin 3dMJTC ile karşılaştırılması sonucu, PMJTC' nin frekans cevabında bir genellemeye götürülmüştür. Şekil.2.5'te, ac-dc farkların, frekansa bağlı olarak değişimi 90, 180, 400 ve 900 Ω 'luk farklı ısıtıcılara sahip PMJTC' ler için gösterilmektedir.



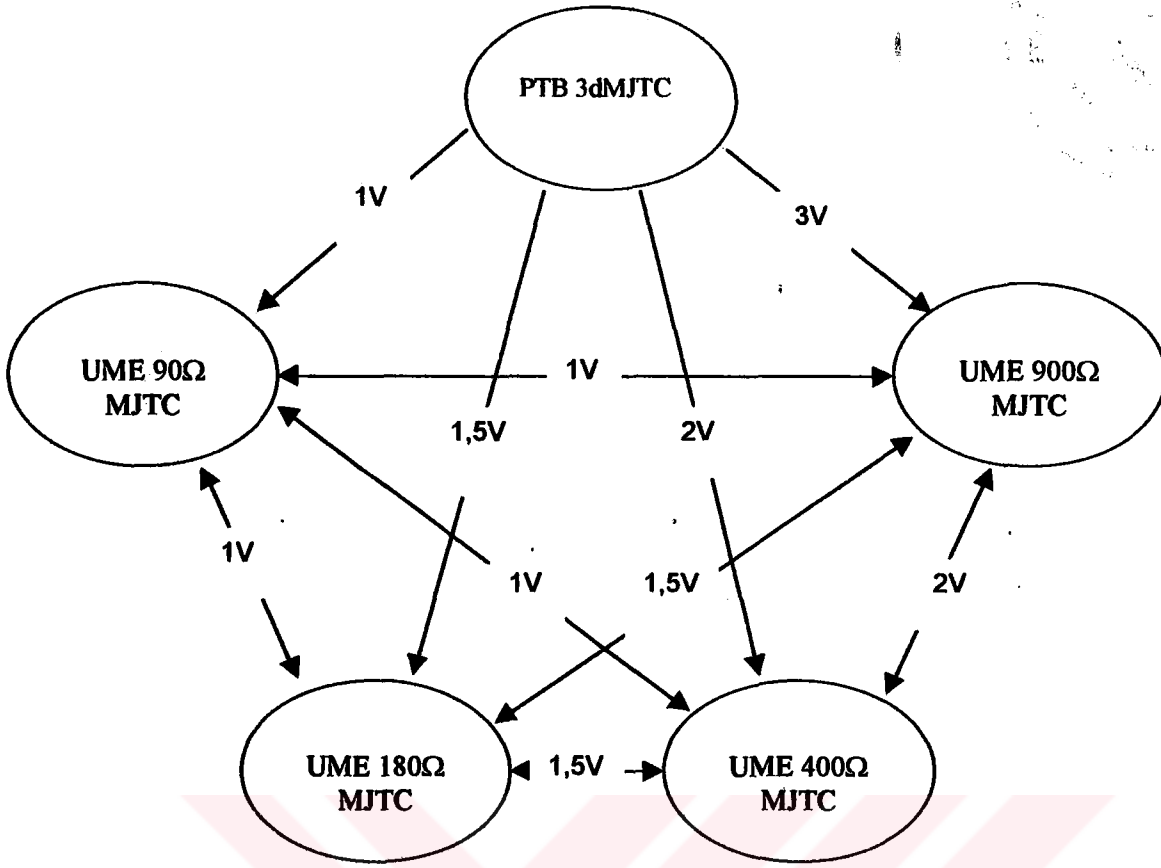
Şekil 2.6. PMJTC 'lerin Frekans Karakteristiği

UME PMJTC ölçümleri yukarıda genellenmiş değerlerle uyumludur. Çizelge.2.2'de UME PMJTC'ları ile PTB 3dMJTC'ı arasında yapılan karşılaştırmalı ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

Isıtıcı	10 Hz	20 Hz	30 Hz	40 Hz	500Hz	1 kHz	10kHz	20kHz	50kHz	70kHz	100kHz	200kHz	500kHz	700kHz	1MHz
90Ω	-3.0	-1.0	-0.7	-0.3	0.0	-0.1	0.8	1.6	3.9	5.7	6.8	11	21	27	37
180Ω	-2.0	-2.3	-0.9	-0.8	0.0	0.0	0.6	1.1	2.1	3.3	2.9	1	1	-1	-1
400Ω	1.3	-0.8	-0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	-0.9	-4	-17	-30	-52
900Ω	2.5	1.4	0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.7	-1.2	-3.0	-8	-33	-56	-98

Çizelge 2.2.UME ve PTB Standartlarının Karşılaştırmalı Ölçüm Sonuçları

Tabloda verilen temel seviyedeki dört çevirici, PMJTC' nin oldukça düz cevabının performansını yansıtır. Ayrıca, grup içindeki çeviricilerin birbirleriyle karşılaştırılmaları da (Şekil.2.7) PTB MJTC ile yapılan karşılaştırmanın sonuçlarıyla uyumludur. Bu çift taraflı karşılaştırma özetlenerek, AC gerilim primer seviye biçimlendirilmektedir.



Şekil 2.7. UME, Temel Seviyedeki AC Gerilim Karşılaştırma Zinciri

Isıl çeviricilerin, zamana bağlı karakteristikleri dikkate alındığında yüksek kararlılığa sahip oldukları anlaşılmaktadır. PTB' de son 20 yıl içerisinde PMJTC' ler ile gerçekleştirilen ölçümler bunun, PMJTC' ler için de doğru olduğunu teyit etmektedir. Öncelikle PTB standartlarıyla yapılan direkt karşılaştırma ve sonrasında PMJTC' lerden oluşan grup içerisindeki karşılaştırmalar ile, PMJTC' lere ait ac-dc transfer fark değerlerinin oldukça detaylı bir biçimde belirlenmeleri, AC gerilimde temel bir seviyenin oluşturulması için yeterlidir. Uygun biçimde ve benzer şartlar altında kullanılmaları durumunda, bir kez belirlenmiş olan ac-dc fark değerleri değişmeyecektir. Ancak ölçümlerin güvenilirliği açısından PMJTC' lerin bir grup içerisindeki karşılaştırmaları periyodik olarak tekrarlanmalıdır. Bu uygulama UME' de gerçekleştirilmekte ve karşılaştırma ölçümleri için periyot bir yıl olarak alınmaktadır.

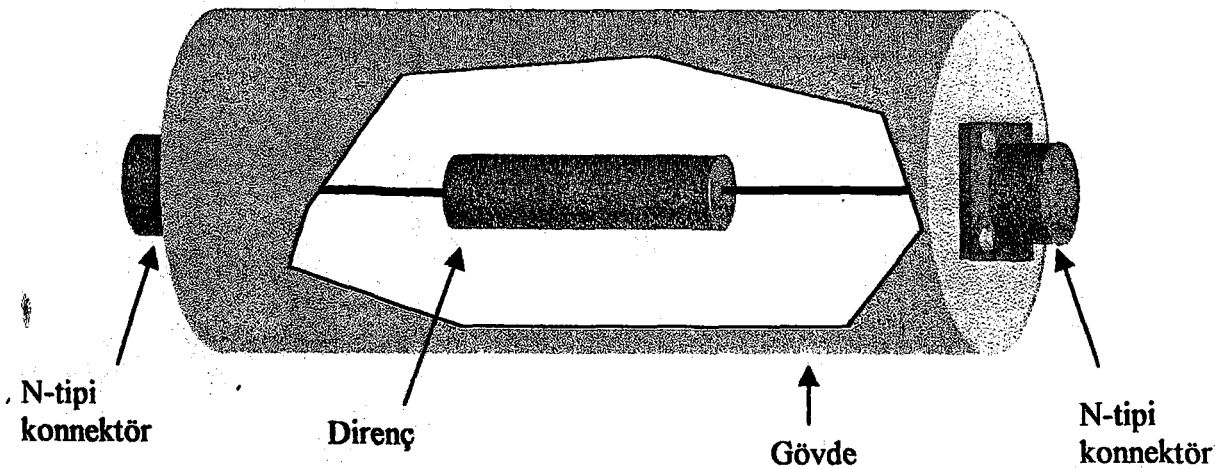
2.2. AC Yüksek Gerilimlerin İzlenebilirliği

Daha önce bahsedildiği gibi, AC gerilim standartlarının teorik olarak belirlenmesi genelde düşük gerilimlerde yapılır (4 V'a kadar). Bu, standart içinde kullanılan sensörün tipine bağlıdır, ki bu PMJTC için bu sınır 3 V' tur. Yüksek gerilimleri ölçebilmek için, yüksek oranlı sensör dizaynı ya da giriş geriliminin sensörün kabul edebileceği seviyeye düşürülmesi gerekmektedir. İkinci teknikle çok daha iyi sonuçlar alınabilmektedir, yani bir resistör kullanmak suretiyle giriş geriliminin bölünerek sensörün çalışma seviyesine düşürülmesidir. Bu yapı Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Yüksek Gerilimler İçin Direnç ve Isıl Çevirici Kombinasyonu

Uygun olarak seçilmiş bir direnç değerindeki resistör, 1000 V'a kadar ki gerilimler için ısı sensör ile bağlanabilir. Rezistörler koaksiyel, ince-film seramik tiptirler ve oldukça düşük endüktansa ve düşük ısıl katsayıya sahiptirler. Bunlar koaksiyel pirinç bir muhafaza içerisinde sensörle birlikte yada ayrı olarak yerleştirilirler. UME'de ayrı ayrı muhafazalar kullanılmaktadır. Direnç muhafazası Şekil.2.9'da gösterilmektedir.



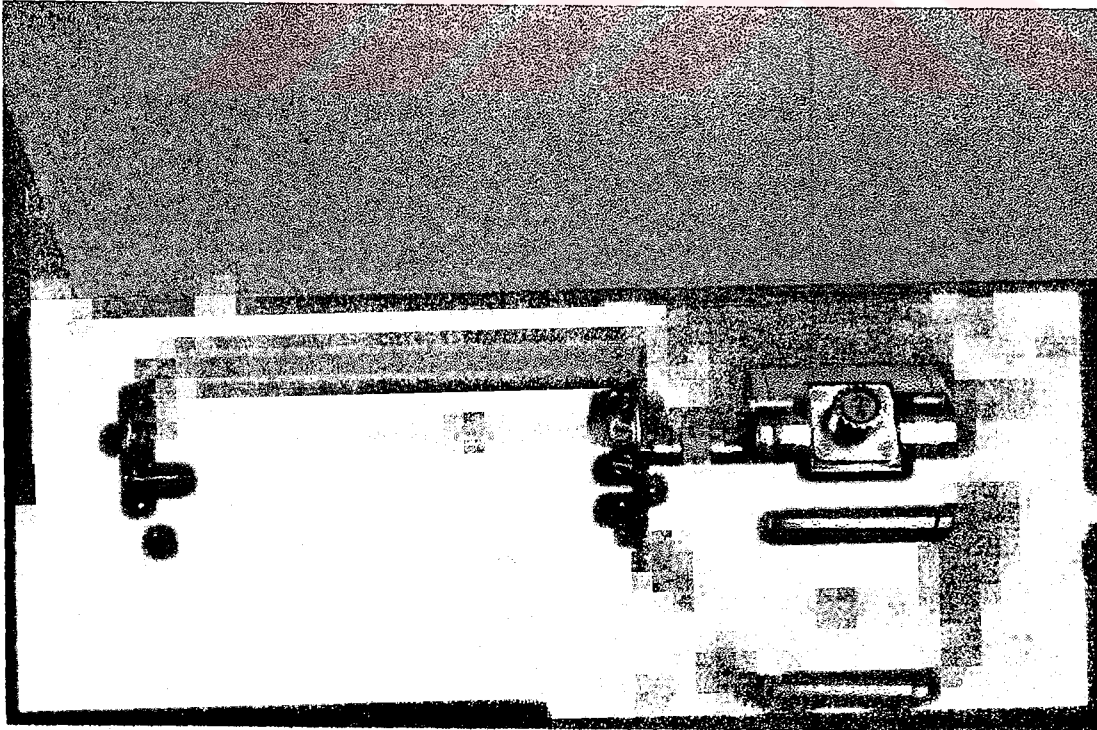
Şekil 2.9. Yüksek Gerilim Direnç Modülü

Bu resistör modülü, 1V (90 Ω) değerindeki çevirici ile beraber kullanılarak yüksek gerilim çeviricileri oluşturulur (Şekil 2.10). Bu kombinasyonda 1V çevirici kullanılmasının sebebi, direnç ile birlikte kullanılan bu çeviricinin akım modunda çalıştırılması ve düşük dirence sahip çeviricilerin akım modunda daha iyi sonuçlar vermesidir. [Klonz, 1987]

UME' de kullanılan resistörler Çizelge 2.3'te verilmektedir;

Direnç	Gerilim
900 Ω	10V
1.9 k Ω	20V
2.9 k Ω	30V
4 k Ω	50V
10 k Ω	100V
30 k Ω	300V
100 k Ω	1000V

Çizelge 2.3. Isıl Çevirici Girişine Bağlanan Direnç Değerleri ve Nominal Gerilimler



Şekil 2.10. UME Yüksek Gerilim Standardı

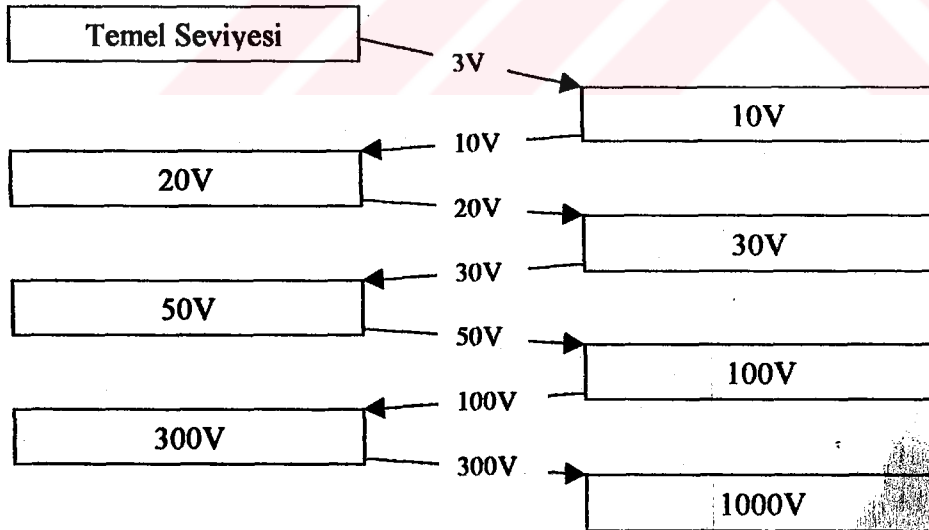
2.2.1. Yüksek Gerilim Çeviricilerinin Karakterizasyonu

Resistör ve sensör kombinasyonunun yaklaşık 4 V' a kadar ki düşük gerilimlerde teorik yaklaşımı yapılabilmesine rağmen, yüksek gerilimlerde bu güvenilir bir sonuç vermemektedir.

Özellikle yüksek gerilim ve frekanslarda kapasitif ve endüktans etkilerinden dolayı, resistör kullanımı bazı hatalara sebep olur. Isıl sensörler temel seviyede teorik olarak karakterize edilirken, yüksek gerilimdeki TVC' lerin izlenebilirliği 'built-up' prosedürü [Williams, 1971] üzerinden sağlanır. Bu prosedür, TVC' nin nominal gerilim değerinin yarısında, bir alt seviyedeki TVC ile kalibrasyonunu içerir ve daha sonra bu TVC de bir üst seviyedeki TVC' nin kalibrasyonunda kullanılır.

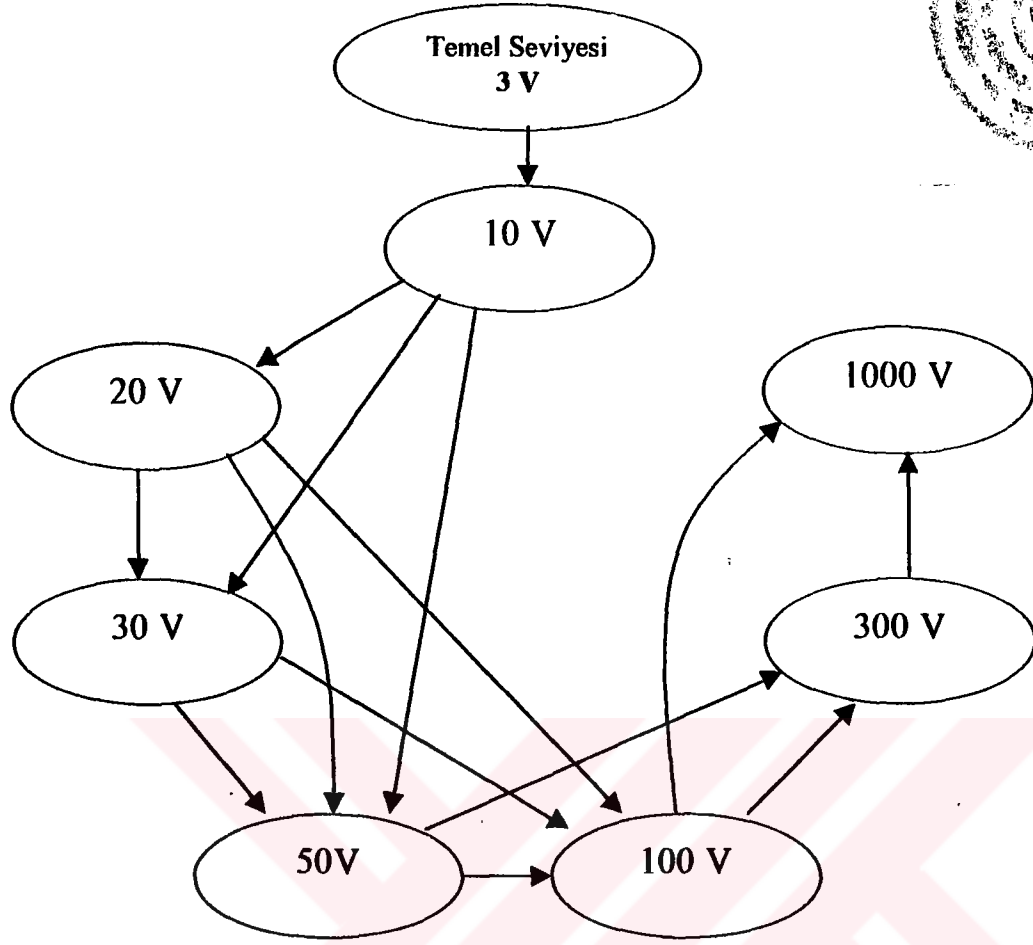
Kalibrasyon zinciri Şekil 2.11' de görülmektedir.

Bu teknik, çeviricilerin karakteristiklerinin (ac-dc transfer farkı), nominal gerilim değerlerinin %30'dan itibaren sabit olduğunu varsayımına dayanır. Bu nokta, temel seviyedeki PMJTC' ler için doğru olmakla beraber, resistör-sensör yapısı bu durumdan farklıdır ve resistörün ısı etkileri ac-dc transfer farkının değişmesine yol açar. Bu hata, her bir adımda artan ölçüm belirsizliklerinde yansıtılmaktadır.



Şekil 2.11. Step-up Zinciri

Prosedürün güvenilirliği arttırmak için, yüksek gerilim çeviricileri arasında, temel adımların yanı sıra, olanaklı olan bütün karşılaştırma ölçümleri yapılmaktadır, Şekil.2.12

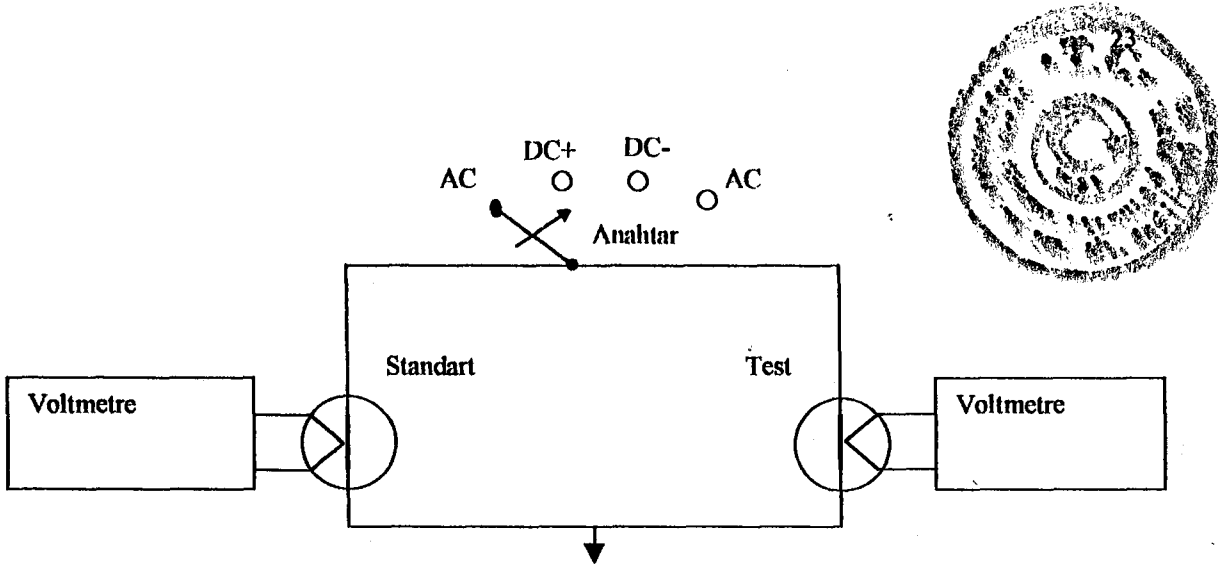


Şekil 2.12. Yüksek Gerilim Karşılaştırmaları

Daha önce, bu prosedürde ısıl çeviricilerin nominal değerlerinin %30'dan itibaren kullanıldıkları söylene de bu durum göz ardı edilmiştir.

2.3. Isıl Gerilim Çevirici Ölçüm Sistemi

Bir ısıl transfer standardının ac-dc transfer farkları, ac-dc transfer farkları bilinen benzer bir cihaza bağlı olarak belirlenir. Temel prensip Şekil.2.13'de verilen konfigürasyon ile gösterilmiştir [Williams, 1972]. Genellikle, transfer farkları bilinmeyen TVC "test", bilinen ise "standart" olarak adlandırılmaktadır. Isıl transfer çeviriciler kullanılarak gerçekleştirilen ölçümler ac transfer ölçümleri olarak adlandırılırlar.



Şekil 2.13. TVC Temel Karşılaştırma Devresi

TVC' ler birbirlerine paralel bağlıdır ve girişlerine aynı gerilimler uygulanır. Prosedür, AC ve DC gerilimlerin, AC, DC+, DC- ve AC sırasıyla uygulanmasını ve bu gerilimlerin, test cihazın çıkışında aynı değeri görmek üzere ayarlanmasını içerir. Her bir ayarlama sonunda standart cihazın çıkışı okunur ve okunan ortalama AC ile ortalama DC gerilimler arasındaki fark, bağıl ac-dc farkın bir göstergesidir. Test çıkışını eşitlemek için yapılan ayarlardan sonra:

$$V_a = V_d(1 + \delta_t) = V_d'(1 + \delta_s) \quad (2.1)$$

Burada, V_d standart çıkışında V_a ile aynı çıkışı sağlamak için gerekli DC gerilimdir.

$$\left| \delta_s \cdot \left(\frac{V_d'}{V_d} - 1 \right) \right| \ll 1 \quad \text{olduğu için}$$

$$\delta_t - \delta_s = \frac{V_d' - V_d}{V_d} \quad (2.2)$$

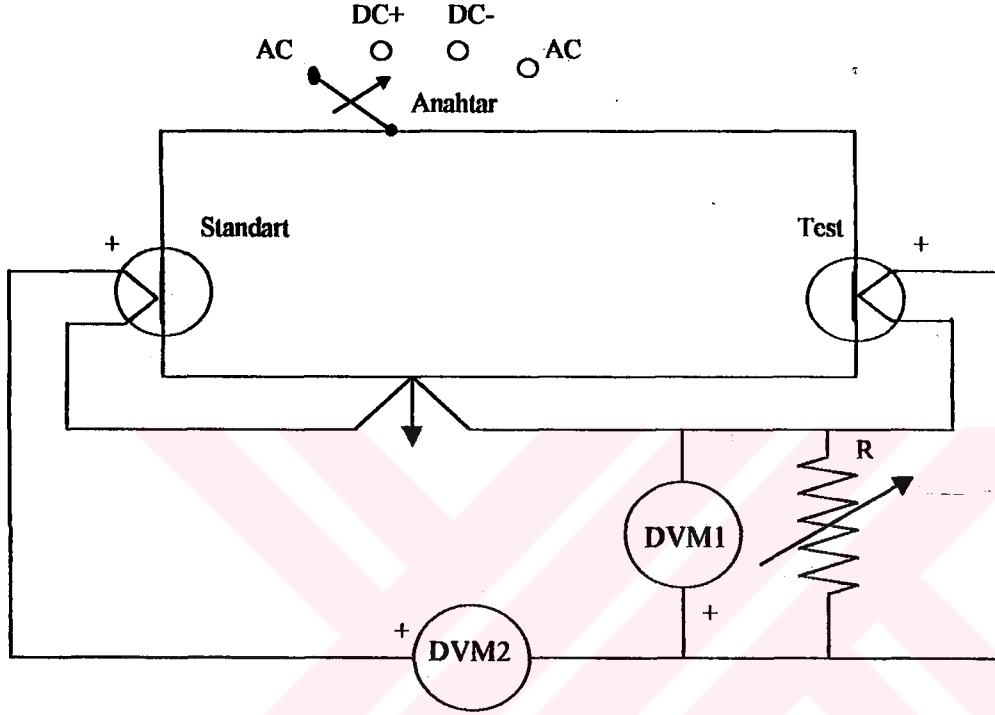
olarak ifade edilir. "n" in belirlenmesinde kullanılan eşitlik (Bkz 3.6) göz önünde bulundurulduğunda;

$$\delta_t - \delta_s = \frac{E_{as} - E_{ds}}{n_s \cdot E_{ds}} \quad (2.3)$$

Gerilim kaynağı durağan değilse eğer bu ac-dc fark tekrar yapılabilirliğini engelleyebilir. Bu zorluk, TVC' lerin çıkışlarında bir direnç bölücünün bağlanmasıyla aşılabılır [Klonz, 1987].

2.3.1. TE Karşılaştırıcı (Diferansiyel Tip)

Şekil 2.14'teki resistör öncelikle, DVM2'de yaklaşık sıfır görmek üzere ayarlanır, bunun anlamı TVC' lerin çıkışları arasındaki fark sıfırlanır.



Şekil 2.14. TVC Karşılaştırma Sistemi – Fark Tipi (Differential type)

AC, DC-, DC+, AC adımları esnasında DVM1 ile okunan test çıkışları sabit tutulacak biçimde kaynaklar ayarlanır. Eğer TVC' ler arasında bağla bir fark var ise ($\delta s \neq \delta t$), DVM2'de fark edilir bir değişim olacaktır. Bu durumda $E_s = -E_s - E_1$, ayrıca $E_1 \gg E_2$, dolayısıyla DVM1'de okunan değer standart çıkışı olarak alınabilir, böylece

$$\delta t - \delta s = \frac{E_{a2} - E_{d2}}{n \cdot E_{d1}} \quad (2.4)$$

Bu karşılaştırmanın avantajı, güç kaynağındaki düzensiz değişimlerin etkisinin kaldırılmış olmasıdır. Uygulanan gerilimdeki değişim, TVC' lerin çıkışında yaklaşık olarak aynı oranda değişime sebep olacaktır ve bu nedenle DVM1 bu durumdan fark edilir bir şekilde etkilenmeyecektir.



2.3.2. TE Karşılaştırıcı (İki Kanallı)

Test ve standart cihazlar birbirinden farklı giriş-çıkış karakteristiğine sahiptirler; örneğin giriş-çıkış karakteristiği, ısı-çift için ütsel, ve elektronik sensörlü transfer standartlar için logaritmik fonksiyonlarla ifade edilir, bu durumda bu iki standardın birbirleriyle karşılaştırılmasında yukarıdaki metot kullanılamaz.

Bu ölçüm için “iki kanallı metot” olarak adlandırılan farklı bir prosedür uygulanır [Williams at al, 1985]. Sistem bağlantıları Şekil 2.12 gösterilmiştir, fakat farklı hesaplama yöntemleri kullanılır. Öncelikle AC ve DC kaynaklar birbirlerine yakın olmak için ayarlanırlar, sonra sırasıyla AC, DC+, DC- ve AC uygulanır, standart ve testin çıkışları ölçülür. Uygulanan V_{ac} ve V_{dc} arasındaki fark küçük olduğu için, bunların bağıl farkı TVC’lerin çıkışlarında bağıl olarak hesaplanabilir.

$$\frac{V_a - V_d}{V_d} = \frac{E_a - E_d}{n \cdot E_d} + \delta \quad (2.5)$$

Bu büyüklük hem test hem de standart TVC için ölçüldüğünden;

$$\frac{V_a - V_d}{V_d} = \frac{E_{at} - E_{dt}}{n_t \cdot E_{dt}} + \delta_t = \frac{E_{as} - E_{ds}}{n_s \cdot E_{ds}} + \delta_s \quad (2.6)$$

Yukarıdaki eşitlikten hareketle δ_t şu şekilde hesaplanır.

$$\delta_t = \frac{E_{as} - E_{ds}}{n_s \cdot E_{ds}} + \frac{E_{at} - E_{dt}}{n_t \cdot E_{dt}} + \delta_s \quad (2.7)$$

3. OTOMATİK SİSTEM



AC transfer ölçümlerinde görülen en önemli problem, bu ölçümlerin uzun sürmesidir. Daha önce bahsedilen zaman sabiti, her frekansta gerilimlerin artarda uygulanmaları ve her frekans için bu ölçümlerin birden fazla sayıda tekrarlanması yanı sıra, ölçüm prosedürü kaynakların ayarlanması ve pek çok hesaplanmayı da içermektedir. Sonuçta, operatörden kaynaklanabilecek hata olasılığı artmaktadır.

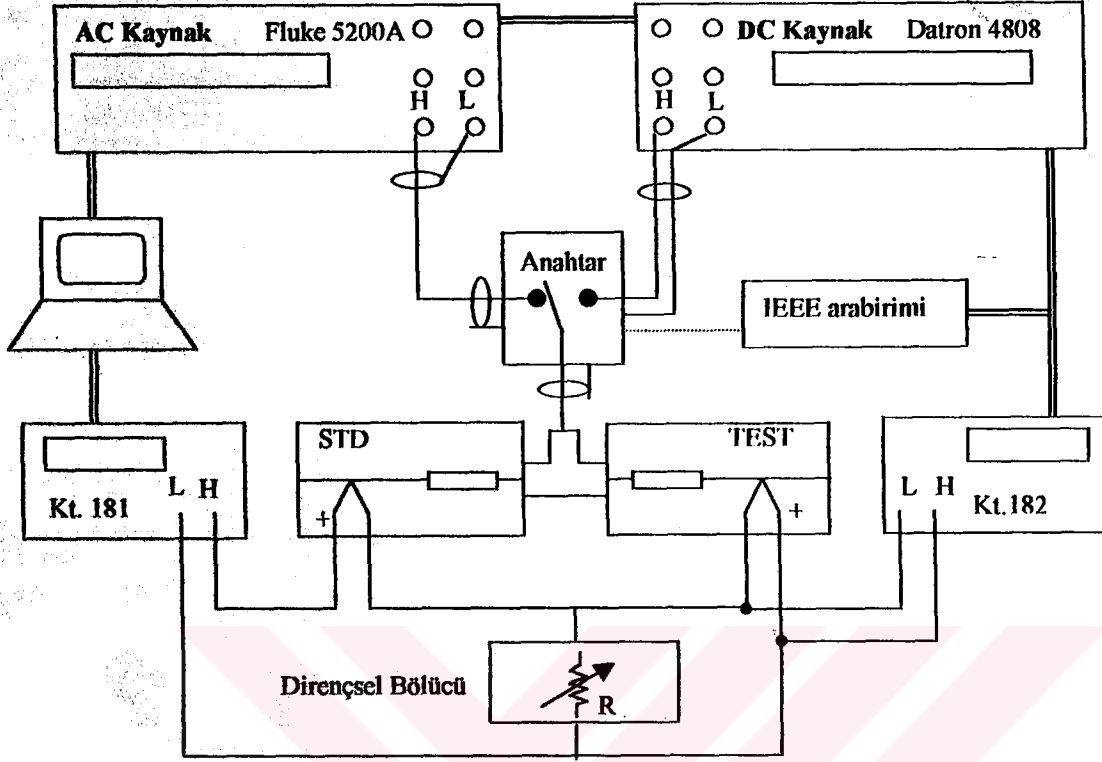
Ayrıca, TVC çıkışlarında görülen kaymalar, her ölçümün tekrarlanmasını gerektirir. Ölçümlerin tekrarlanmasında zamanlama oldukça önemlidir ve elle yapılan ölçümlerde gerekli hassasiyeti sağlamak mümkün değildir.

Bunları önlemenin en iyi yolu, ölçüm sisteminin otomatizasyonudur. Bu özellikle, yeni ölçüm elektronik ekipmanların (kaynaklar, ölçüm cihazları vb) bilgisayarla kontrol edilebilmelerini sağlayan bağlantı opsiyonuna sahip olmalarıyla olanaklı hale gelmiştir. En popüler bağlantı IEEE 488 tipi olup, bazen GPIB olarak da adlandırılır ve bu bağlantı günümüzde kullanılan pek çok sofistike ölçüm cihazında mevcuttur. Bu bağlantı, özellikle AC transfer sistemi gibi pek çok cihazın bağlanması gereken ölçüm sistemleri için uygundur.

Daha önce belirtildiği gibi, TVC'lerin karşılaştırılmasında iki tip düzenek kullanılabilir. UME'de TVC'lerin step-up kalibrasyonlarında diferansiyel, elektronik transfer standartlarının kalibrasyonlarında ise iki kanallı sistem kullanılmaktadır.

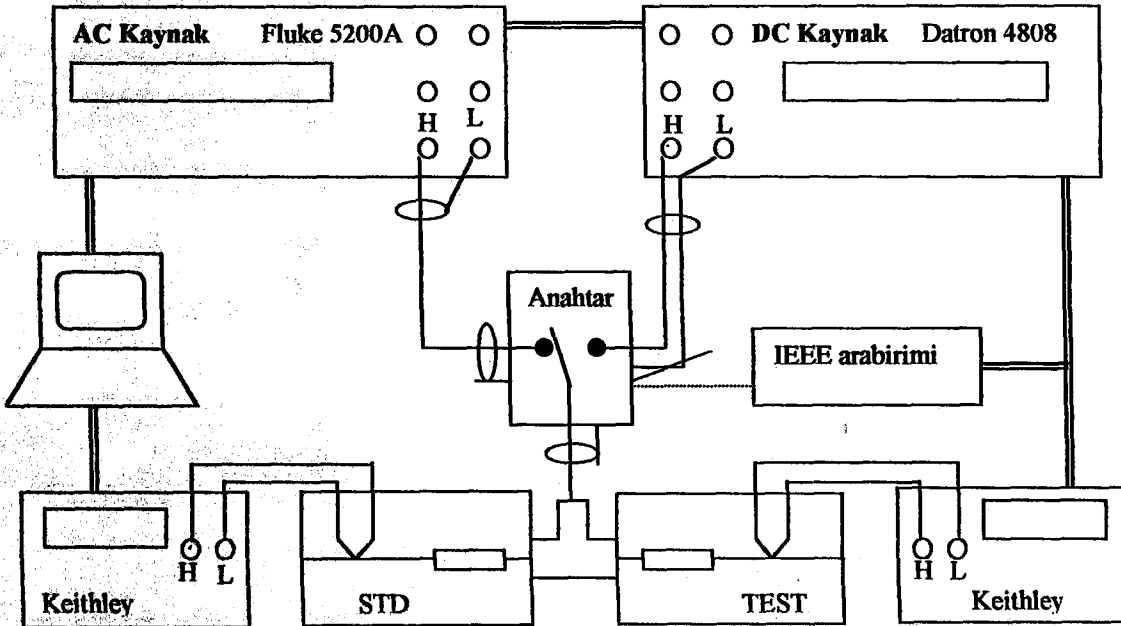
UME'de kullanılan ve otomatik hale getirilmiş olan bu iki düzeneğin bağlantıları Şekil.3.1 ve Şekil.3.2'de gösterilmektedir. Sistemin fotoğrafı ise, Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

3.1. Diferansiyel Tip TVC Karşılaştırması

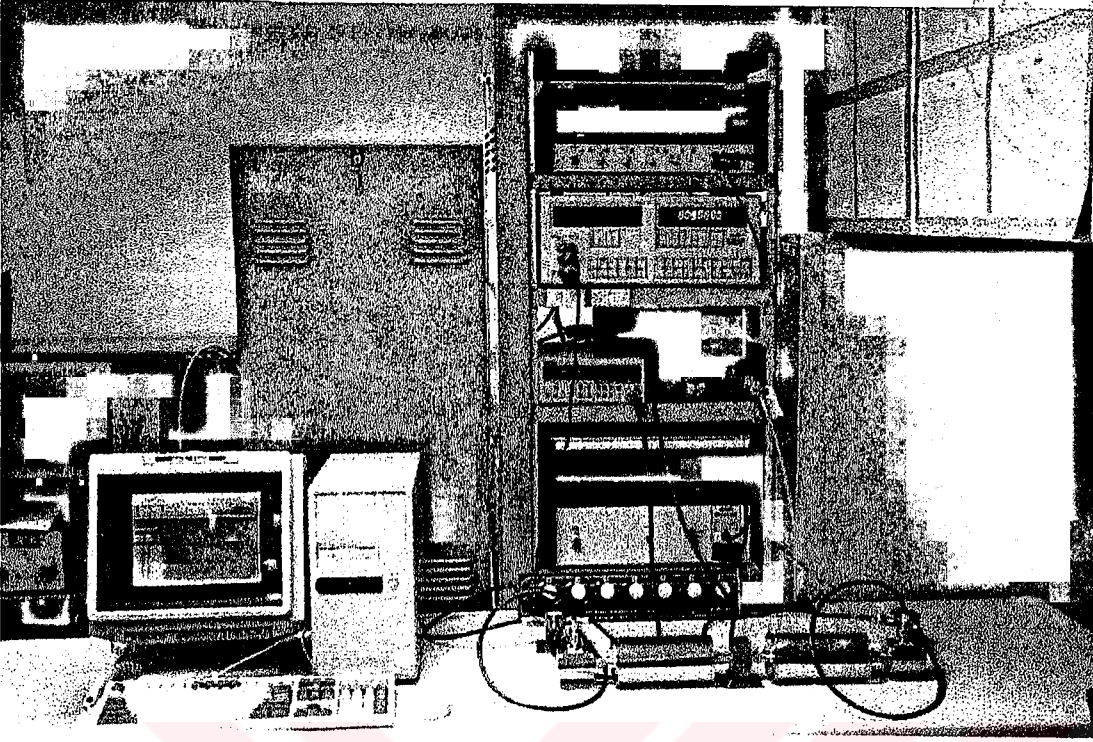


Şekil 3.1 Otomatik TVC Karşılaştırması – Diferansiyel Tip

3.2. İki Kanallı TVC Karşılaştırması



Şekil 3.2 Otomatik TVC Karşılaştırması – İki Kanallı



Şekil 3.3. UME Otomatik AC/DC Sistemi

Otomatik sistemin çalışma prosedürü, elle yapılan ölçümler için daha önce anlatılan prosedür ile aynıdır. Her iki şekilde de GPIB bağlantıları çift çizgi olarak gösterilmiştir. Şeklin açıklığı için topraklama yolları gösterilmiştir.

100 V' un üzerindeki gerilimler, anahtarın arkasına bir güç yükseltici bağlanarak sağlanır, çünkü yaygın olarak kullanılan AC gerilim kaynaklarının yüksek gerilimlerde frekansları sınırlıdır. Anahtar hariç, bütün ekipmanlar direkt olarak GPIB' ye bağlıdır. Anahtar el yapımı olup step motora dayalıdır ve bunun basit çalışmasını kontrol eden bir GPIB ünitesiyle birlikte kullanılır. 200 ms civarındaki bir anahtarlama zamanı, AC ve DC arasında hızlı bir anahtarlama sağlar, böylece ısıl çevirici çıkışında büyük değişimlerden kaçınılmış olunur. Bu, sistemdeki TVC' ler farklı zaman sabitine sahip olduklarında önemlidir, bu durumda AC, DC gerilimler arasındaki hızlı geçiş, TVC' lerin çıkışlarının çok fazla değişmemesini sağlar, dolayısıyla daha kısa "settling time" in kullanılmasını olanaklı kalar.

3.3. Sistem Yazılımı

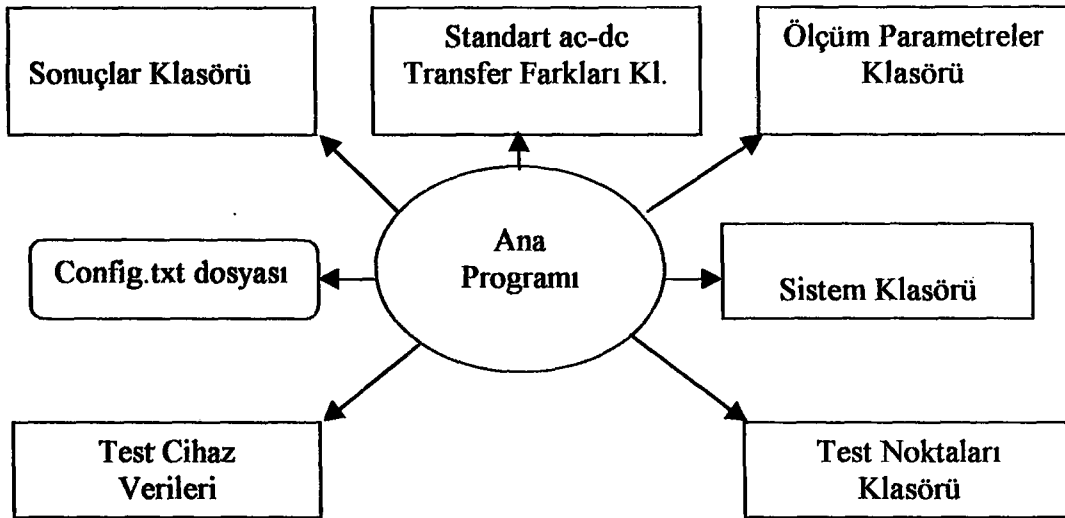
3.3.1. Yazılımın Organizasyonu

UME’de ac-dc transfer ölçümleri için kullanılan yazılım LabWindows’ ta yazılmıştır. Bu program, GPIB cihazların kontrolü için gerekli kütüphanelerle donatılmış ve cihazların bilgisayar kontrolünde kullanılan popüler bir paket programıdır. Yazılım, Lab Windows editör penceresinde çalışmaktadır ve aşağıdaki dosyalardan oluşmaktadır;

- Kaynak kodu (.c)
- GUI nesne kaynak dosyası (.uir)
- Yukarıdaki iki dosya arasında bağlantı kuracak olan dosya (.h)

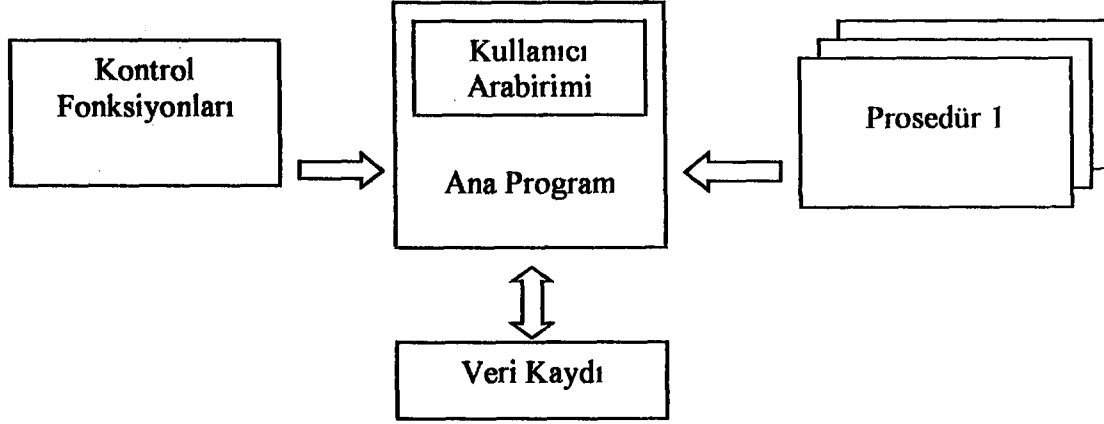
Yapısında bu dosyaların mevcut bulunduğu Lab Windows’ ta yazılan herhangi bir program için bu dosyalar var olacaktır.

Programın iç kontrolü ve konfigürasyonu, kullanıcı yetki seviyesini belirlemek için temel verileri sağlayan config.txt in açılmasıyla gerçekleştirilir. Programın bir diğer önemli yapısı da daha önceden belirlenmiş kalibrasyon parametreleri ve yardım dosyalarından oluşan “Sistem Klasörü” dür. Kalibrasyon boyunca yazılım, temel verilerin kaydedildiği çeşitli tipte klasörler oluşturmaktadır. Bunlar Şekil.3.4’te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Yazılımın Dosya Organizasyonu

Programın çalışması veri kaydı, prosedürler ve kontrol fonksiyonları alt programlarıyla bağlantı içerisinde bulunan ana program tarafından kontrol edilir. Programın çalışma organizasyonu aşağıdaki Şekil.3.5’de verilmiştir.



Şekil.3.5. Yazılımın Çalışma Organizasyonu

Ana programın tanıyabileceği bir formatta yazılmış olan prosedürler üzerinde değişiklikler yapılması ve yeni prosedürlerin eklenmesi mümkündür. Prosedürlerin çalışması için ana programdan gelmesi gereken bilgiler; kalibrasyon noktaları ve ölçüm parametreleridir.

Kontrol fonksiyonları programın çalışmasını takip eder ve herhangi bir yanlış uygulama durumunda uyarı mesajları vererek operatörü yönlendirir, ayrıca kritik durumlarda programın çalışmasını durdurur.

Veri kaydı programın her bölümünde aktif durumda olup, programa dışarıdan girilen bütün verilerin ve ölçüm sonuçlarının kaydedilmesini sağlar.

Ana programın çalışması, “sysctrl”- sistem kontrolü, “insctrl”- cihaz kontrolü, “measctrl”- ölçüm kontrolü ve “error”- hata kontrolü adındaki dört temel register üzerinden gerçekleştirilir. Bunlar programın global değişkenleri olup, birer integer dizi formatındadırlar. Dizinin her elemanı bir parametreyi temsil etmektedir, örneğin, ölçüm kontrol integer dizisinin beşinci parametresi “ölçüm tekrar sayısıdır”. Yazılımın kaynak kodu ile beraber diğer dosyalar disket içerisinde EK 4 olarak verilmiştir.

3.3.2. Yazılımın Kullanımı



Otomatik ölçüm prosedürü bir bilgisayar ve yazılım ile kontrol edilir. Yazılımın dizaynına, bazı önemli noktalar göz önüne bulundurulmuştur

- Yazılımın kolay kullanımı
- Yazılım, elle yapılan ölçümler için hazırlanmış prosedüre bağlı olarak çalışmalıdır
- Yazılımın mutlaka, gerilim aşımına karşın çok hassas olan TVC' lere sürekli olarak uygulanan gerilimin kontrolü için koruma üniteleri olmalıdır
- Ölçüm sonuçları açık bir şekilde sunulmalı ve kaydedilmelidir

UME yazılımı kullanıcı grafik arabirimi (Graphic User Interface-GUI) özelliğinden dolayı kullanımı çok kolaydır. Yedi ana pencerenin her biri, operatörün, yazılımın çalışması için gerekli bilgiler girmesi gerektiği alanlar içerir. Program, çalıştırılması için gerekli ön hazırlıkların (parametrelerin belirlenmesi) girilmesini adım adım yönlendirir. Herhangi bir yanlış parametrenin program tarafından uyarısı yapılır ve uygun konfigürasyon yapılarına kadar ölçüm başlatılamaz.

Program kendini tanıtan bilgiyle beraber kontrolünde kullanılan menünün gösterilmesiyle başlar. Aktif olan ilk menü öğesi Test Data' dır. Bu pencere açılarak, test cihazı ile ilgili temel bilgiler girilir. Bunlar: cihazın tipi, üreticisi, modeli, seri numarası ve müşteri bilgisi. İkinci pencerede, kalibrasyon noktaları (gerilim ve frekanslar) seçilir. Gerilim değeri direkt olarak girilirken, frekans, ekranda görülen değerlerden seçilmelidir. Üçüncü pencere standart hakkındaki bilgiler girilir. En önemlisi, bir önceki pencerede seçilen frekansları için, standardın sahip olduğu ac-dc transfer farklarıdır.

Dördüncü pencerede, ölçüm parametreleri, yani programın en önemli bölümü tanımlanır. Bunlar:

- Sistemde kullanılan cihazların tipi, modeli ve GPIB adresiyle beraber seçilmesi

- Ölçüm parametreleri: n-karakteristiği, ısınma (warm-up) zamanı, oturma (settling) zamanı, her frekansta tekrarlanan ölçüm sayısı, gerilimlerin uygulayış düzenini
- Sonuçların kaydı yanı dosya adı

Sonuncu olan Monitör penceresinde, ölçüm başlatılır ve sürekli olarak en son hesaplanan sonuçlar görülür. Ölçüm boyunca sonuçlar otomatik olarak operatör tarafından seçilen dosyaya kaydedilir.

Genel olarak programın çalışması Şekil.3.6'da görülen akış diyagramıyla özetlenebilir.



Şekil 3.6.AC-DC Transfer Yazılımı Genel Akış Diyagramı

Programda varolan pencereler EK2'de gösterilmiştir.

3.4. Sistemin Donanım Düzenneği ile İlgili Önemli Noktalar



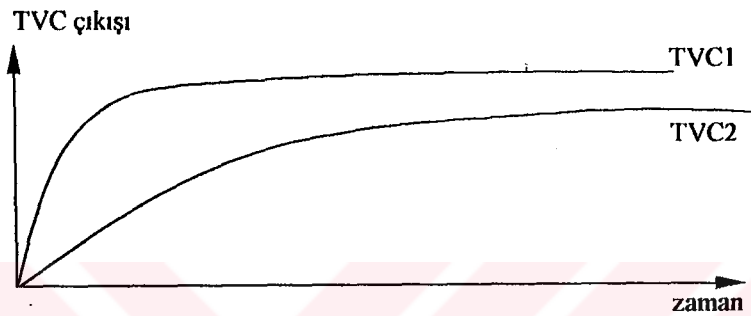
Isıl transfer standartlarının kullanıldığı AC gerilim ölçümleri ısı olarak dengeli bir ortamda yapılmalıdır., çünkü sıcaklıktaki geliş güzel değışimler, standardın temel yapısı olan ısı-elektrik sensörlerde büyük hatalara sebep olabilir. UME Gerilim Laboratuvarında sıcaklık $23\pm1^{\circ}\text{C}$ aralığında tutulmaktadır. AC gerilimin RMS değerin ölçmek için kullanılan ısı cihazlar, elektriksel gürültüye oldukça duyarlıdır. Ölçüm sistemi elektriksel gürültünün esas kaynakları olan güç transformatörleri, motorlar, EM kaynakları, flüoresan ampul vb şeylerden uzak tutulmalıdır.

Sistemde kullanılan bütün elektronik ekipmanlar UPS sistemine bağlanarak, şebekedeki gerilim değışimlerinin etkisi ortadan kaldırılmıştır.

AC sinyal transmisyonu için kullanılan kablolar koaksiyel, DC sinyal için ise iyi ekranlanmış örgülü çift olmalıdır. Sistemdeki cihazlar, AC ve DC güç kaynakları, voltmetreler, toprak döngüsündeki toprak akımlarından sakınmak için tek bir noktada topraklanmalıdır. Ayrıca ölçüm esnasında mekanik sarsıntılar ve hareket ettirilen kablolar hatalara yol açabilir, bu nedenle bunlardan kaçınmalıdır.

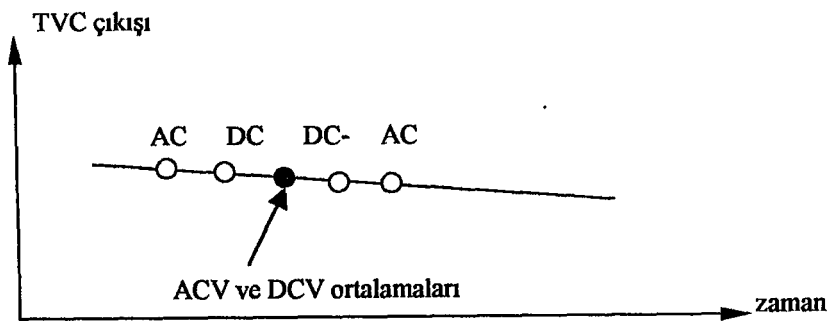
3.4.1. TVC' nin Zaman Sabiti

Isıl transfer standartlarının kullandığı AC ölçümler teknikleri içerdiği için zaman alan ölçümlerdir. Gerilim uygulandıktan sonra, ısı cihazın zaman sabitine bağlı olarak, çıkışının durağan hale gelmesi için en az 1 dakika, elektronik transfer cihazları için en az 30 saniyedir (Şekil.3.7). Ancak daha doğru ölçümler için bu süre daha da uzun tutulmalıdır, özellikle de karşılaştırılan cihazların zaman sabitleri birbirinden önemli oranda farklıysa. UME'de bu süreler sırasıyla 80 ve 60 saniyedir.



Şekil 3.7. Aynı Giriş Gerilimine Karşın Farklı TVC Çıkış Karakteristikleri

TVC' lerdeki Isıl kaymanın varlığı, ölçümlerde AC ve DC gerilimlerin sıra ile uygulanmalarını gerektirir, ve bu sıranın, AC ve DC gerilimlerin birbirlerine simetrik olacak biçimde belirlenmesi gerekir, örneğin AC, DC-, DC+, AC. Bu durum Şekil.3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Isıl Kaymanın Gerilim Dizi ile Önlenmesi

DC ve AC gerilimlerin ortalaması, birbirine yakın olan adımlar boyunca olan kaymanın ortasına düşer, böylece çıkış gerilimdeki kayma etkisi ortadan kaldırılır.

Programda, aşağıda verilen ölçüm sıraları kullanılabilir;

- AC, DC+, AC, DC-, AC
- AC, DC+, DC-, AC
- DC-, AC, DC+

Ölçümün güvenebilirliği ve standardın kararlılığın görülebilmesi için, ölçüm her bir frekans noktasında birkaç kez tekrarlanır. Ölçüm daha fazla sayıda da tekrar edilebilir ancak 10 kez güvenilir sonuçlar verecektir.

3.4.2. “n” Ölçümü

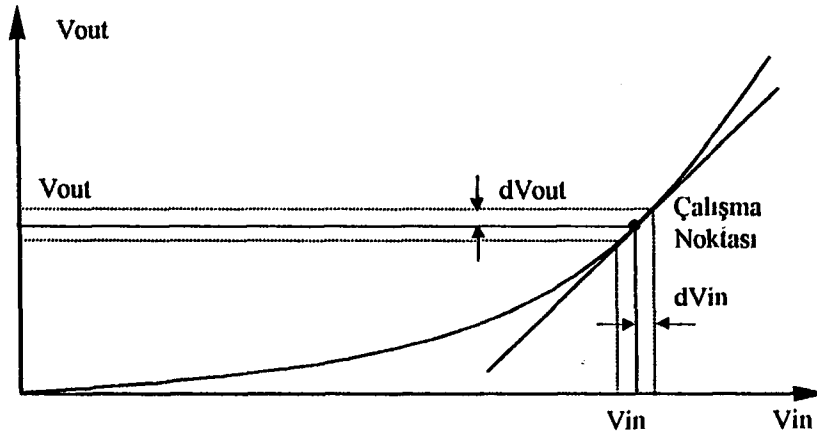
Giriş – çıkış karakteristik değeri olan n , ac-dc farkla beraber TVC’nin en önemli parametresidir. Bu nedenle, bu değerin doğru olarak belirlenmesi ac transfer ölçümlerindeki temel adımlardan biridir. MJTC için 2’ye çok yakın olan n değeri, pratikte 1,995’e yakın bir değerdir. Bu değerin 2 olarak alınması ölçümlerde fark edilir bir hata teşkil etmez. Fakat SJTC için durum farklıdır ve n , giriş gerilimine bağlı olarak, yaklaşık 1.6-1.9 arasında değişir. Daha önce bahsedildiği gibi n , TVC’nin giriş-çıkış eşitliği (1.3) içinde yer alır. Eşitlik (1.3)in türevi,

$$dV_{out} = k \cdot n \cdot V_{in}^{n-1} dV_{in} \quad (3.1)$$

verir, sonra (1.3) ve (3.1) den,

$$n = \frac{dV_{out}/V_{out}}{dV_{in}/V_{in}} \quad (3.2)$$

Bilinen dc V_{in} geriliminin TVC’ye uygulanması ve çıkışındaki V_{out} geriliminin ölçülmesiyle, n karakteristik değeri yukarıdaki formül üzerinden hesaplanabilir. dV_{out} , girişteki dV_{in} değişimine karşılık çıkışta görülen değişimdir. Pratikte girişin değişimi genelde %0.5 ile %1 arasında alınır. Bu prosedür Şekil.3.9’da özetlenmektedir.

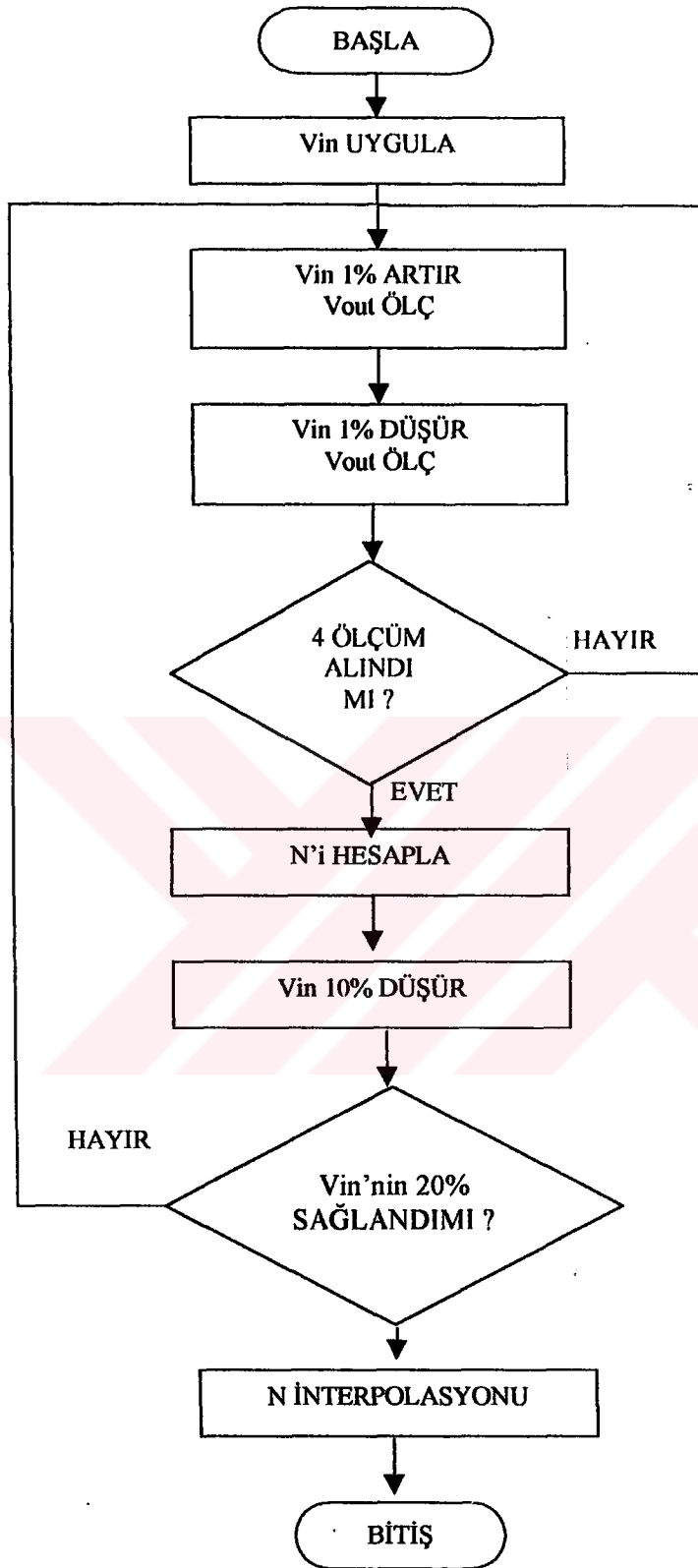


Şekil 3.9. n - Değerinin Hesaplanması

Kullanılan TVC için gerilim ölçüm bölgesi boyunca farklı noktalarda n hesabının yapılması faydalı bir çalışma olacaktır. Nominal gerilim değerinin %30'dan başlayarak %10'luk artımlarla her gerilim noktasında n hesabı yapıldıktan sonra interpolasyon yoluyla n 'in giriş gerilimine bağlı eğrisini çizmek mümkündür. Bunun avantajı, programın her bir giriş gerilimi için n değerini bilmesidir, böylece kaynak ayarı esnasında, çalışılan noktanın dışına çıkılması durumunda oluşacak hatalardan kaçınılmış olacaktır.

Lineer interpolasyon, iyi bir doğruluk sağladığı halde, programda daha doğru yaklaşımlar sağlayacak 4. dereceden polinomsal interpolasyon kullanılmaktadır.

Şekil.3.10'da " n "-değerinin hesaplaması için programda yapılan işlemler, bir akış diyagramı ile verilmiştir.



Şekil 3.10,Programda “n”-Değerinin Hesaplamasının Akış Diyagramı

3.4.3. Kaynak Ayarı

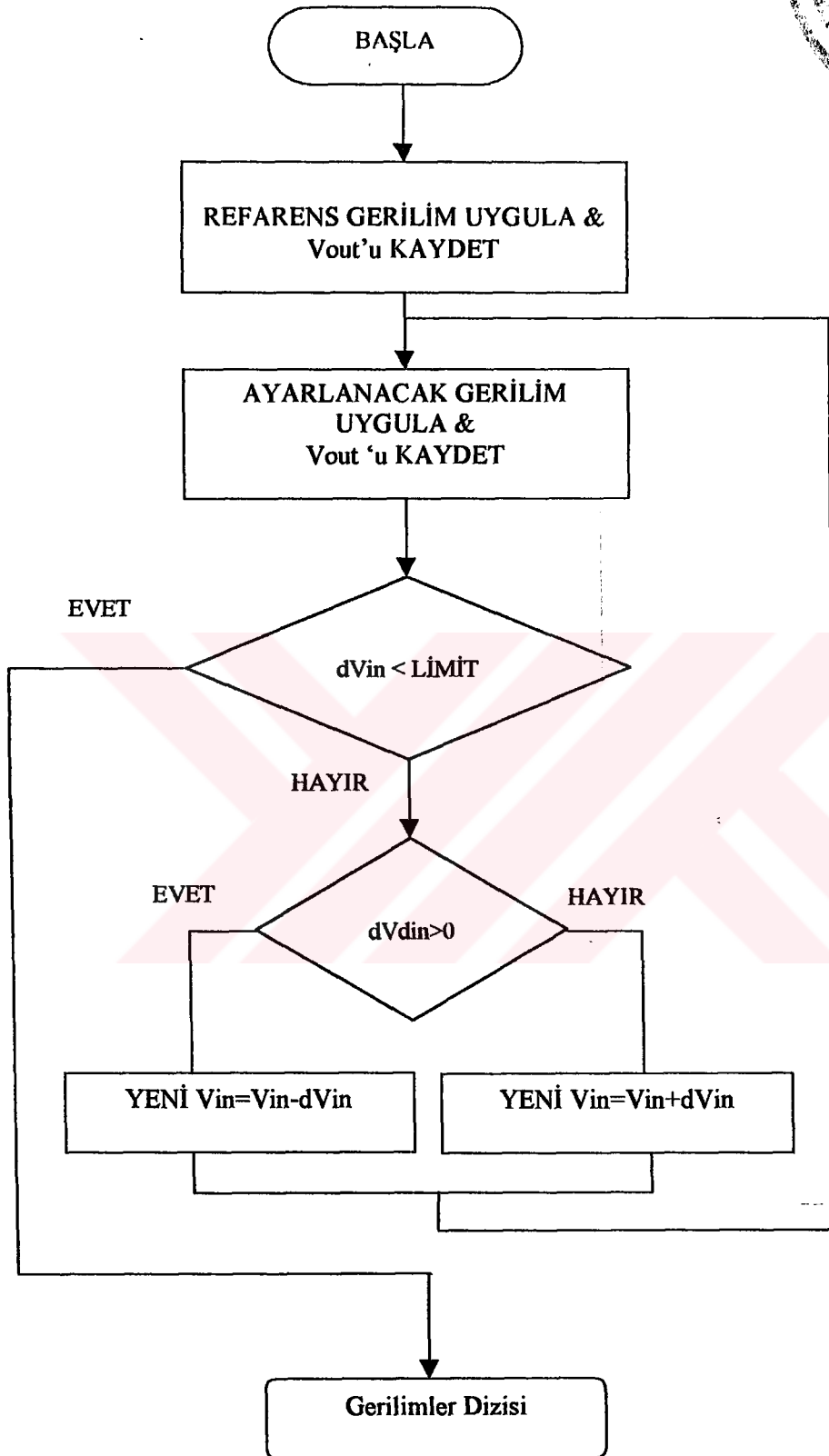
Programın en kullanışlı özelliklerinden bir tanesi de, test TVC' si çıkışını aynı tutabilmek için kaynakları ayarlayabilmesidir. Bu süreci elle yapmak oldukça zahmetlidir ve operatörün çok fazla çaba harcaması gerekir. Ayarlama, kalibratör çıkışı değiştirilirken TVC çıkışının görüntülenmesiyle gerçekleştirilir. Aynı yöntem, program üzerinden uygulandığında ise, zamandan çok fazla kazanç sağlanmasa da bilgisayarın hesaplama yeteneklerinden dolayı çok daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Bu prosedür, n karakteristik değerinin hesaplanmasında (3.1) eşitliğini kullanır. Eşitlikten açıkça görüldüğü gibi, V_{in} çalışma noktasındaki gerilim değişimi, dV_{in} , TVC' nin çıkışında ölçülen değişime, dV_{out} 'a, bağlı olarak hesaplanabilir;

$$dV_{in} = (V_{in} \cdot dV_{out}) / (V_{out} \cdot n) \quad (3.3)$$

Eşitlikteki dV_{out} , TVC' nin çıkış gerilimleri arasındaki fark, V_{out} , TVC' ye V_{in} uygulandığında görülen çıkış gerilimi ve n, TVC' nin karakteristik değeridir. Programda ilk ayarlanacak olan kaynak AC kaynaktır. Eğer 4. girişimin ardından hala DC gerilim ile aynı seviyeye gelmediyse DC kaynak ayarına geçilir. Bu durumda da ayarlama gerçekleştirilemezse sistem çalışmaya devam eder.

Kararlı olmayan kaynak ya da zayıf bağlantılar, kaynağın yanlış ayarlanmasına ve gerilim aşımına karşı aşırı duyarlı olan TVC' lerin zarar görmesine sebep olabilir. Bu sorunun önüne, programdaki koruma fonksiyonlarıyla geçilebilir. Eğer ayarlanan gerilim nominal gerilimden %10'dan daha fazla saparsa sistem otomatik olarak kapanır. Ayrıca kaynakta yapılan tüm ayarlamalar ekranda sürekli olarak görüntülenmektedir.



Şekil 3.11. Kaynakların Ayarlanma Akış Diyagramı



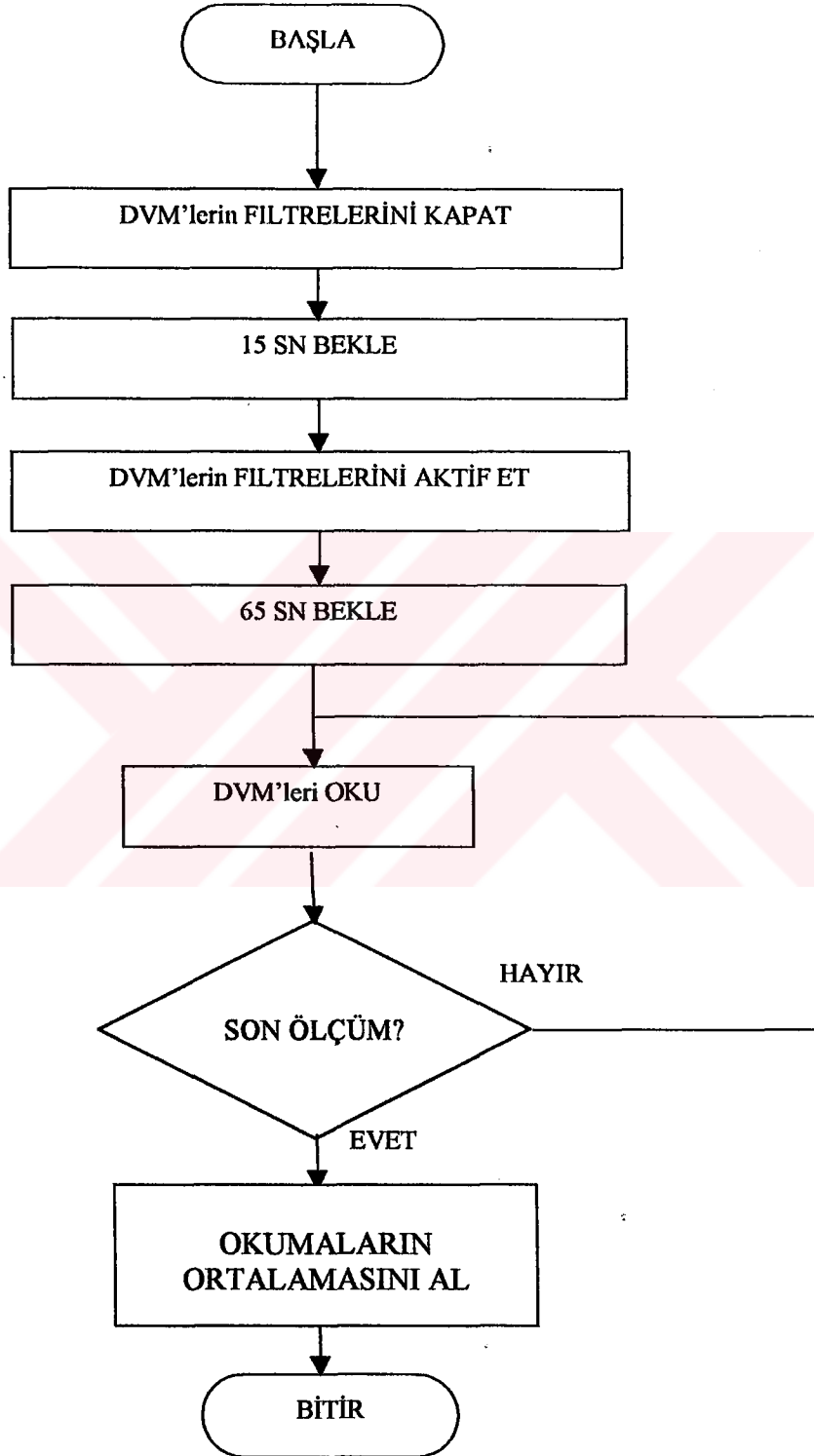
3.4.4. TVC Çıkışlarının Okunması

Daha önce de bahsedildiği gibi, TVC' lerin DC çıkış gerilimleri oldukça düşük olup, nominal giriş gerilimine karşılık, PMJTC için 100mV, SJTC için ise 7mV civarındadır, ve düşük üstsel giriş-çıkış karakteristiklerinden dolayı bu değerler, nominal gerilim değerinden daha düşük gerilimlerde çok hızlı bir şekilde düşer. Ayrıca, diferansiyel karşılaştırmada, fark okumak üzere atanan voltmetreler mikrovoltlardan daha düşük gerilimler ölçerler. Öteki taraftan, TVC çıkışlarının artarda ölçülmesi, ac-dc fark hesaplanmasında kritik bir öneme sahiptir. Otomatik sistemde, bu amaç doğrultusunda yüksek hassasiyetli iki voltmetre kullanılmaktadır. Bunların mikrovolt seviyelerinde dahi oldukça iyi çalışmalarına rağmen ekranda okunan değer yine de bazı gürültüler içermektedir.

Bu problemleri en aza indirmek için programda, ileride anlatılacak olan teknik dikkate alınır. Öncelikle, DVM' in iç filtreleri kullanılır. Analog filtreler "düşük-geçiren" tipte olup beyaz gürültüyü engellerken, dijital filtreler "hareketli-ortalama" tipindedir ve DVM' de düzgün bir okuma sağlamak üzere kullanılırlar. Daha sonra dikkat edilecek nokta ise, DVM üzerinden yapılan her bir okumanın, operatör tarafından belirlenen sayıda ölçümün ortalaması şeklinde alınmasıdır. Filtreler, ekranın yavaş bir şekilde değişmesine sebep olduklarından, DVM ekranında hızlı bir ayar yapılmasını sağlamak için, her bir gerilim geçişinden sonraki 15sn süresince kapalı tutulurlar. Ayrıca, test ve standart TVC' lerin çıkışları eşzamanlı olarak okunur.

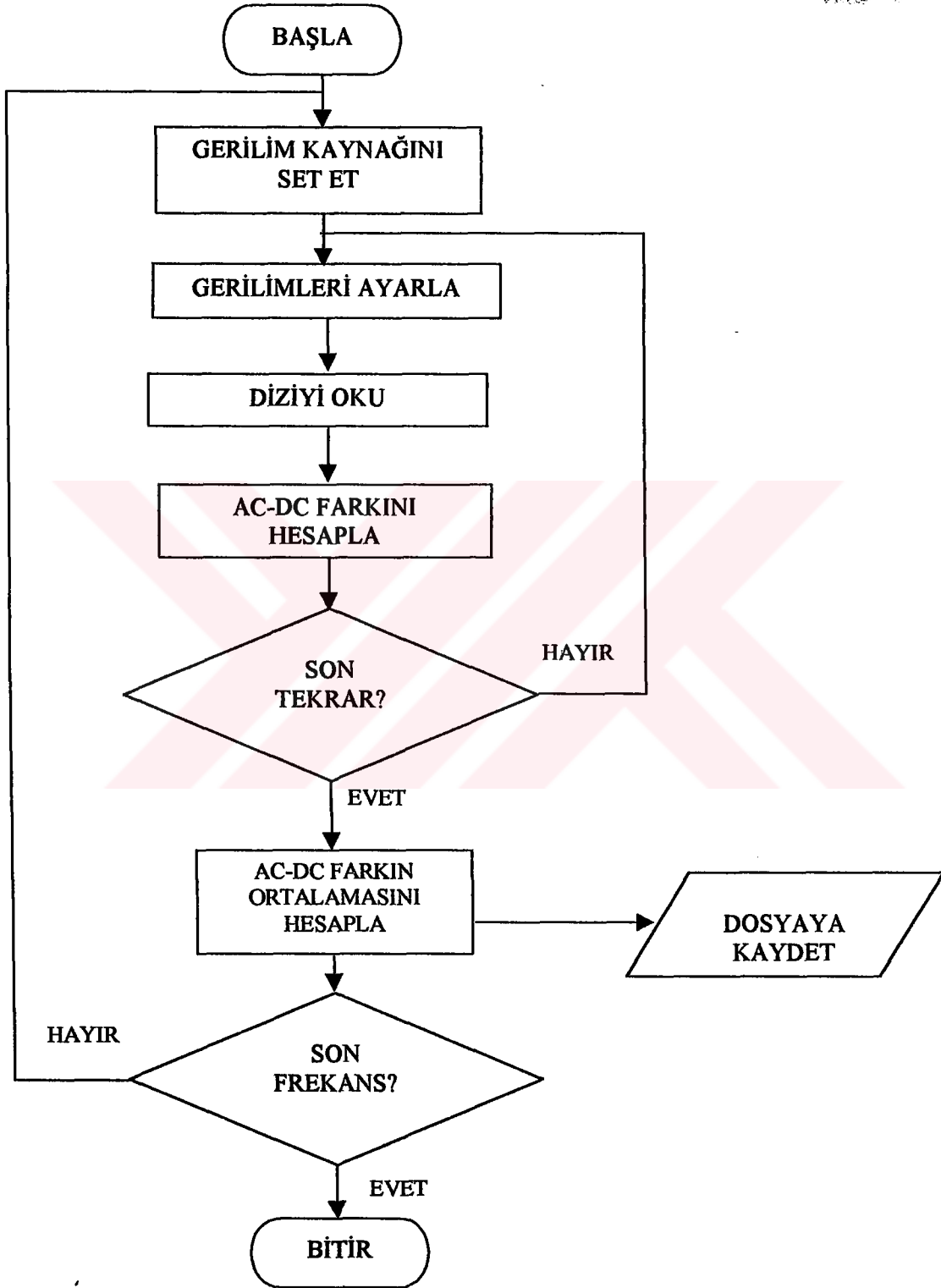


Şekil.3.12'deki blok diyagramda, TVC çıkışlarının okunması için uygulanan prosedür özetlenmektedir.



Şekil 3.12, Programın TVC Çıkışlarını Okuma Akış Diyagramı

Şekil.3.13' de verilen diyagramda, bir grup frekans için, ac-dc farkların ölçülmesinde kullanılan temel fonksiyon gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Programın ac-dc Transfer Farkını Hesaplama Akış Diyagramı

3.5. UME’de Yapılan Karşılaştırmalı ve “Step-Up” Ölçüm Sonuçları



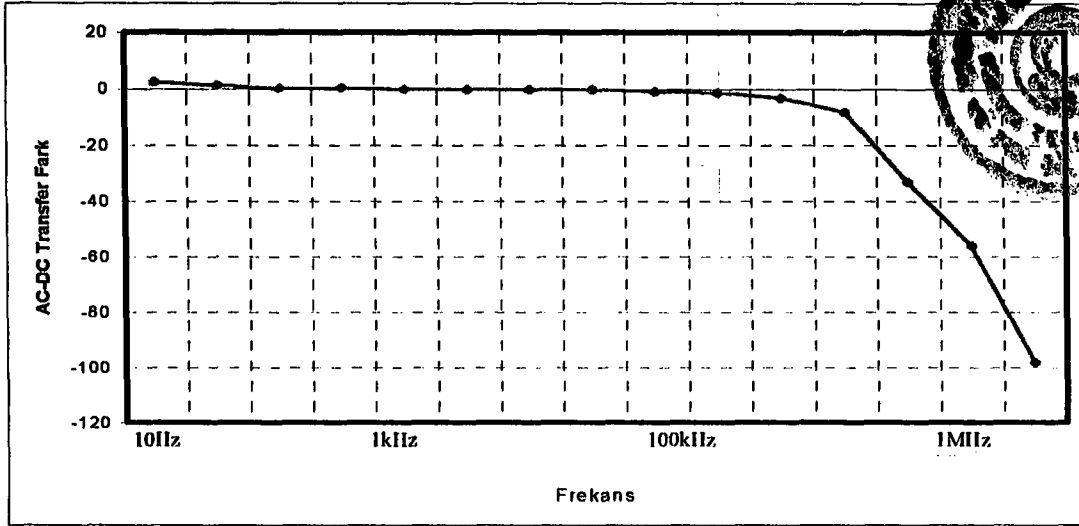
Çizelge.3.1’de UME’ de gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları verilmektedir.

Voltage	10Hz	40Hz	500Hz	1kHz	10kHz	20kHz	50kHz	70kHz	100 kHz	200kHz	500kHz	1MHz
1 V	-3	-1	0	-0,1	0,8	1,6	3,9	5,7	6,8	11	21	37
1.5 V	-2	-0,8	0	0	0,6	1,1	2,1	3,3	2,9	1	1	-1
2 V	1,3	0,1	0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	-0,9	-4	-17	-52
3 V	2,5	0,6	0,1	0	0	0	-0,7	-1,2	-3	-8	-56	-98
10 V	1,2	0,8	0,5	0,6	1,8	3,9	10	13	15,5	27	60	145
20 V	1,3	0,4	0,5	0,7	1,8	2,9	6,2	7,1	7,5	11	30	42
30 V	0,2	-0,2	0,4	1,1	1,6	2,4	4,5	5,6	5,1	5,2	30	10
50 V	-2,4	-0,5	0	0,7	0,4	0,7	1,2	-0,5	-1,5	-3,8	26	20
100 V	2,2	1,1	0,8	1,8	1,9	1,7	1,5	1	-1,5	-	-	-
300 V	48	0	5	5	4	1	-9	-16	-31	-	-	-
1000 V	207	5	5	7	13	8	-1	2	-9	-	-	-

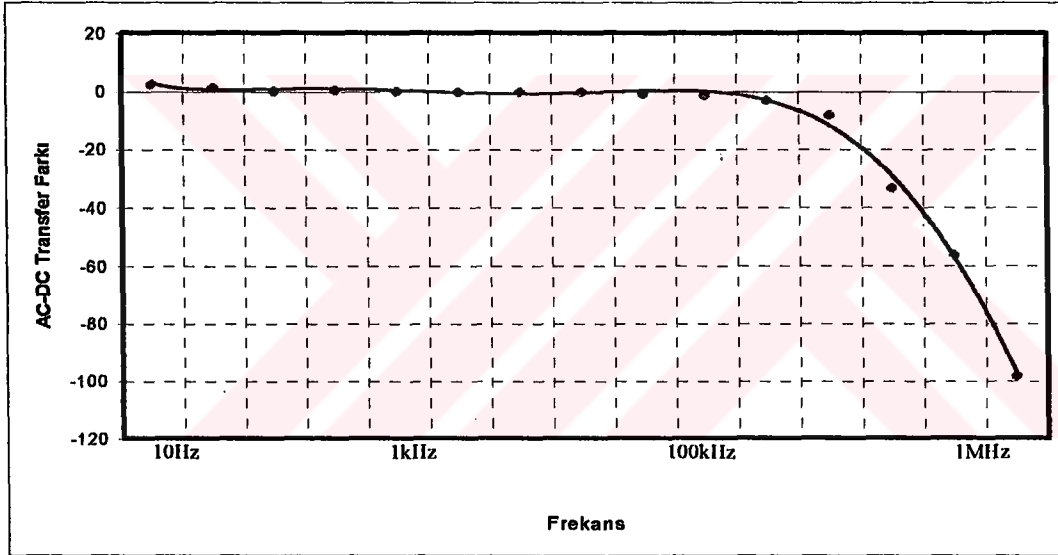
Çizelge 3.1. UME’de Yapılan Ölçümlerin Sonuçları

3.6. Ölçüm Yapılmayan Frekanslardaki AC-DC Farklar

AC gerilim ölçümleri iki-boyutlu olarak gerçekleştirilir; gerilim ve frekans. Bir önceki bölümde belirtildiği gibi, her bir çevirici, nominal değerinin %30’u ile %100’ü arasındaki gerilim ölçme bölgesinin içinde kalan bir gerilim noktasında kalibre edilerek, bu bölgede değişmeyen değerlerle kullanılabilir. Ancak, pratikte görülen bazı nedenlerden dolayı, frekans için direkt belirli değerlerde ac-dc fark değerleri belirlenmelidir. Standardı herhangi bir frekans değerinde kullanmak için, orta noktadaki frekanslarda bazı yaklaşımlarda bulunmak gerekmektedir. MJTC’nin oldukça düzgün cevabından dolayı, frekans cevabı karakteristiği, ölçülen noktaların interpolasyonu yoluyla tahmini olarak çıkartılabilir. Lineer interpolasyon yapılarak dahi, belirli aralıklarla alınan frekans noktaları arasında, kabul edilebilir sonuçlar alınabilir. UME otomatik sisteminde lineer yerine polinomsal interpolasyon uygulanır. Polinomsal interpolasyon düzgün ve daha doğal bir cevap verir. Şekil.3.11 ve Şekil.3.12’ de, bu noktaları resimleyen grafiksel bir gösterim verilmiştir.



Şekil 3.14. Lineer İnterpolasyon

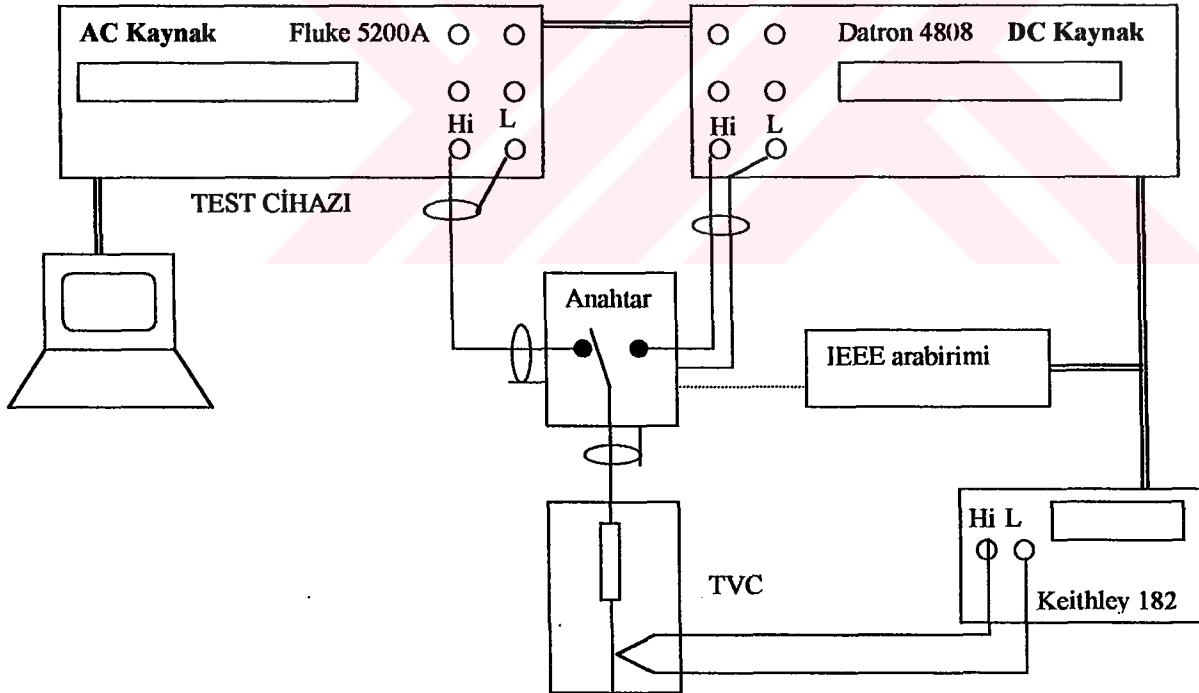


Şekil 3.15. Polinomsal İnterpolasyon

Yüksek dereceden polinomlar, interpolasyonda daha düşük hatalar verir. Genelde 5. dereceden polinomlar bu iş için uygun görülür. Polinomun katsayıları belirlendikten sonra, herhangi bir noktadaki ac-dc fark değeri hesaplanabilir. Bu olguyu doğrulamak için aşağıda verilen prosedür uygulanır; Step-up prosedüründe artarda gelen iki çevirici için interpolasyon yapılarak, birincisinin interpolasyon ile belirlenen ara noktadaki sonuçları, ikinci çeviricinin bu noktadaki değerlerini belirlemek için kullanılır. İkinci çeviricinin bu işlem sonucu belirlenen değerleri ile interpolasyon sonucu belirlenen değerleri arasındaki farklar belirsizlik limitleri içinde kalmalıdır.

3.7. AC Gerilim Kaynak ve Ölçüm Cihazlarının Kalibrasyonu

Isıl transfer standartları esas olarak, aralarında kalibratörlerin ve voltmetrelerin yaygın olarak bulunduğu, AC gerilim fonksiyonuna sahip elektronik cihazların kalibrasyonunda kullanılırlar. Elektronik ölçüm cihazlarının üreticileri bugün, 20ppm'e kadar düşen belirsizlikler vermektedirler. Standart olarak alınan cihazın belirsizliğinin, test cihazının belirsizliğinden 4 kat daha küçük olması gerekliliği nedeniyle, bu elektronik cihazların kalibrasyonu için kullanılacak cihaz 5ppm'ler civarında belirsizliklere sahip olmalıdır. UME'de MJTC'lerin, Fluke 792A ve tam otomatik kontrol olanağına sahip olan Fluke 5790A gibi elektronik standartlar ile oluşturduğu kombinasyon, bu tip kalibrasyonlarda kullanılmaktadır. Ancak daha doğru ölçümlerin gerçekleştirilmesi için doğrudan MJTC'ler kullanılmaktadır. AC gerilim ölçüm sistemi Şekil.3.16'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16. AC Gerilim, Otomatik Kalibrasyon Sistemi

Farklı prosedürlerin [Arifoviç ve ark, 1999] kullanılabildiği bu ölçüm için otomasyona en uygun olan prosedür seçilmiştir. AC test gerilimi, transfer standardı vasıtasıyla, doğrudan bilinen DC gerilim ile karşılaştırılmaktadır. Eğer DC kaynak uygun değil ya da DC kaynağın lineer karakteristiği yeterince iyi değilse, DC kaynak çıkışını görüntülemek için, doğruluğu yüksek, kalibreli bir DC voltmetre

kullanılabilir. Ölçüm prosedürüne göre öncelikle dikkat edilmesi gereken nokta DC gerilimin, ısı standart çıkışında AC gerilim ile aynı değeri verecek biçimde ayarlanması ve gerilimlerin sırasıyla uygulanarak, AC kaynak hatasının hesaplanmasıdır.

$$\text{Hata} = (\text{Vdc}-\text{Vac})/\text{Vdc} + (\text{Eac}-\text{Edc})/n \cdot \text{Edc} + \delta + \text{Dh} \quad (3.4)$$

Förmülde:

Vdc, Vac TVC'ye uygulanan giriş gerilimleri

Edc, Eac TVC'den okunan çıkış gerilimleri

δ TVC ac-dc transfer farkı

Dh DC kaynak bağıl hatası

Hata bağıl olarak verilmiştir, ve mutlak değeri elde etmek için şu

formül uygulanıyor:

$$\text{Vac} = \text{Vac}' \cdot (1 + \text{Hata}) \quad (3.5)$$

Çevirici karşılaştırmalarında dikkat edilmesi gereken ve daha önce bahsedilen noktalar bu ölçümler için de göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlardan yük etkisi en önemli olanıdır. Eğer kaynaklardan anahtara giden kablolar uzunsa, bunların direnci ölçüm doğruluğunu önemli oranda düşürebilir, özellikle kalibratörün uzaktan algılama (remote sense) olanağının olmadığı veya kullanılmadığı durumlarda. Örneğin, bu ölçümde referans olarak kullanılan ve doğruluğu bilinen bir DC kalibratör 1V değerinde $\pm (6\text{ppm} + 1,2\mu\text{V})$ özelliğine sahip olsun. Tahmini olarak, 180 Ω 'luk bir TVC üzerinden yaklaşık 5mA'lık bir akım geçer. Bu akım 2 m Ω 'luk bir bağlantı üzerinde 10 μV 'luk bir gerilim düşümüne sebep olur ki bu değer kalibratörün tanımlanmış belirsizliğinden büyüktür. Bu durum, yüksek akımlar için daha büyük sorun teşkil etmektedir. Dışardan algılama (External sensing) özelliği bu sorunu devre dışı bırakır.

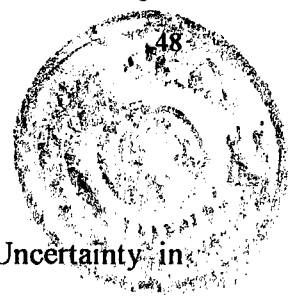
AC kaynak için de uzaktan algılama özelliği kullanılır, ancak daha iyi bir ölçüm için anahtar ve TVC direkt AC kaynağın çıkışına bağlanılmalıdır. Bu durumda AC kaynağın uçlarındaki gerilim ölçülmüş olur.

Bu sistem ile dijital voltmetrelerin AC gerilim fonksiyonlarının kalibrasyonlarını gerçekleştirmek de mümkündür. Bunun için, test voltmetresi TVC'ye paralel olacak biçimde sisteme bağlanır. Referans olarak kullanılacak AC kaynaktan uygulanan AC gerilim değerinin gerçek değeri (Vacs), DC kaynağa bağlı olarak daha önce anlatılan prosedüre uygun bir şekilde belirlenirken, aynı zamanda AC voltmetre üzerinde, uygulanan bu değere karşılık okunan değerde (Vdvm) kaydedilir. Uygulanan AC gerilimin gerçek değeri ile kalibre edilen voltmetre üzerinde okunan değer arasındaki fark bize voltmetrenin hatasını verir ve bu hata değeri bağıl olarak aşağıdaki formül ile (3.6) ifade edilir.

$$\text{Hata} = (\text{Vdvm} - \text{Vacs}) / \text{Vacs} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki formül (3.6) kullanılarak hesaplanan bağıl hata, Formül 3.5'te yerleştirilerek ac voltmetrenin mutlak gerilim değeri bulunur.

Bu ölçümde, daha önce bahsedilen uzaktan algılama (remote sense) özelliği her iki kalibratör içinde kullanılmaktadır.



4. BELİRSİZLİK

Ölçüm belirsizlikleri “ISO Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement” dokümanına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Sonuç olarak verilen genişletilmiş belirsizlikler, iki bileşenin karelerinin toplamının karekökü şeklinde hesaplanmaktadır. Bunlar; primer standardın ve öteki parametrelerin belirsizlikleri (B tipi) ve ölçümün istatistiksel belirsizliği (A tipi).

4.1. Ac-dc Transfer Standardı

Standart sapma (A tipi) genelde, orta-gerilimlerde 1 ppm’ in, yüksek gerilimlerde ise 3 ppm’ in altındadır.

UME’de uygulamasına yeni başlanan step-up yöntemiyle gerçekleştirilen kalibrasyonların, tekrarlanmaları ve ölçüm sonuçlarının istatistiksel bir yaklaşımla karşılaştırılmaları sayesinde, verilen ölçüm belirsizliklerinin zaman içerisinde düşürülmesi mümkün olacaktır. Step-up yönteminin ilk adımı olan 10V için belirsizlik bileşenleri ve değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelgede verilen temel seviye standart belirsizlikleri, PTB tarafından teorik yaklaşımlarla bulunmuştur.

Bileşenler	100Hz	1-50kHz	50-100kHz	>100kHz
Temel Seviye Standart Belirsizlikleri	2	2	3	20
Çıkış Okuma Hataları	0.5	0.5	0.5	0.5
Set-up Prosedürünün Hataları	2	1	2	5
Yüksek Frekans Etkileri	0	0	0	4
Standart Sapması (A tipi)	1	1	2	3
Toplam	5	4	7	30

Çizelge 4.1. Ac-dc Transfer Standardı Kalibrasyon Belirsizlikleri

4.2. AC Gerilim Kaynağı ve Voltmetreler



AC gerilim ölçümleri DC gerilim referans aldıkları için toplam B tipi belirsizliği ac-dc transfer standardı ve sisteminden gelen belirsizliği yanı sıra DC standardı belirsizliği de içeriyor. Aşağıdaki çizelgede belirsizlik değerleri verilmiştir

Bileşenler	En iyi	tipik	Maksimum
Temel seviye standart belirsizlikleri	2	10	100
DC kaynak belirsizliği	1	5	10
Sistem Belirsizliği	1	2	10
Standart Sapması (A tipi)	1	2	*
Toplam	5	20	*

Çizelge 4.2. AC Gerilim Kalibrasyon Belirsizlikleri

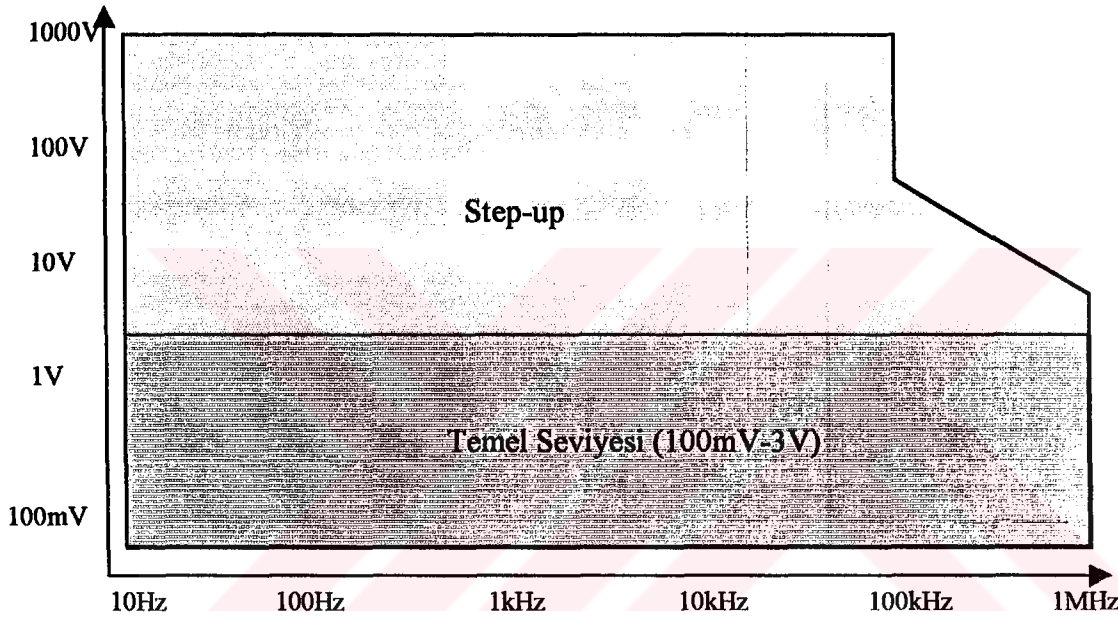
Yüksek gerilimlerde, AC kaynaklarının stabilitesi önemli bir faktördür ve farklı cihazlarda farklı olabilmektedir. Dolayısıyla yukarıdaki genelleştirilmiş belirsizlik içinde yer verilmemiştir.

Sistem belirsizliği içinde en önemli etken ac ve dc yolların farklı empedansları.
(Bkz Bölüm 3.11)

5. UME' DE İZLENEBİLİRLİK ZİNCİRİ



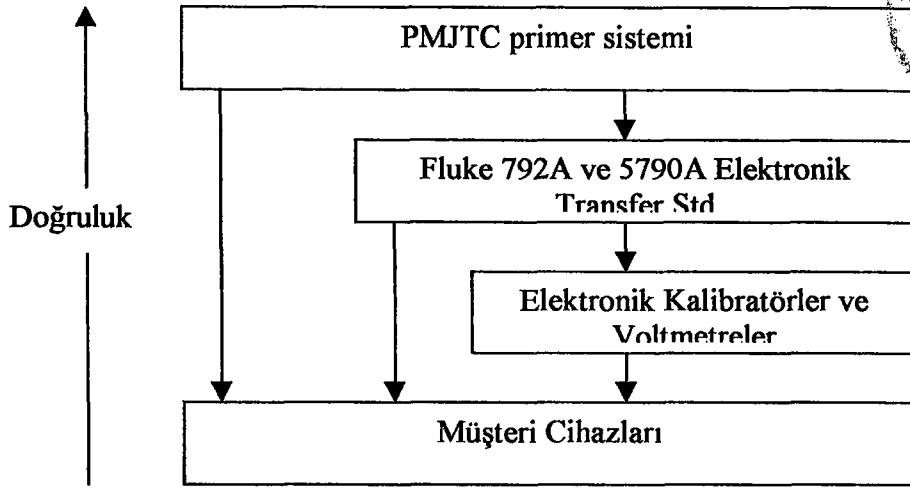
UME AC Gerilimde primer seviyeye, iç değerlendirmesi her yıl tekrarlanacak olan PMJTC sisteminin kurulması ve ölçüm prosedürlerinin hazırlanmasıyla geçmiştir. PMJTC kullanılarak primer seviyede gerçekleştirilen AC gerilim ölçümleri 100mV-1000V@(10Hz-1MHz) ölçüm bölgesinde yapılabilmektedir, ve bu bölge Şekil 5.1 gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Primer Seviyedeki AC Gerilim Ölçüm Bölgesi

Bu ölçüm bölgesi, biri temel seviye olarak adlandırılan ve 100mV'tan 3V'a kadar uzanan, diğeri ise izlenebilirliğini step-up yöntemiyle temel seviyeden alan ve 3V üzerindeki gerilim değerlerini kapsayan iki bölgeye ayrılabilir.

Müşteri cihazlarının kalibrasyonu için bu cihazların doğruluklarına bağlı olarak farklı seviyelerde farklı çalışma standartları kullanılır. En yüksek doğrulukta kalibrasyonlar direkt olarak MJTC' ler ile gerçekleştirilirken, daha düşük doğrulukların yeterli olduğu kalibrasyonlarda, daha önceden primer sistem içerisinde kalibrasyonu yapılmış olan elektronik ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu durum Şekil.5.2'de özetlenmektedir.



Şekil 5.2.UME’de İzlenebilirlik Zinciri

Elektronik transfer standartları, avantajlarından (Bkz Bölüm 1.3.3) dolayı UME’de AC Gerilim çalışma standartları olarak kullanılırlar. Bu standartlardan biri olan Fluke 792A transfer standardı zamana karşı oldukça sabit değerlere sahiptir. Örneğin, UME’de bulunan 5130002 seri nolu standardın, 1993 yılında Almanya-DKD laboratuvarında yapılan kalibrasyon sonuçları ile 2000 yılında UME’de yapılan kalibrasyon sonuçları verilen belirsizlik aralıklarında birbirlerine oldukça yakındırlar.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, UME’de kurulan birincil seviyedeki AC gerilim ölçüm sistemi tanımlanmıştır. Bu sistemdeki yeni standartlar, İnce-Film çok eklemli ısıt çeviricilerdir. Bu cihazların çok düz olan frekans karakteristikleri (ac-dc transfer fark değerleri, ses frekanslarında 0 olup, 100 kHz kadar 3 ppm ve 1MHz’e kadar 10 ppm’in altındadır) ve çalışma bölgesi dahilinde gerilim seviyesi değişimine karşı özelliklerinin değişmemesi, AC gerilimin, (100mV-1000V)@(10Hz-1MHz) ölçüm bölgesinde step-up metoduyla değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. UME daha önce, 1000V’a kadar AC gerilim izlenebilirliğini PTB’den sağlarken, bu sistemin kurulmasıyla beraber izlenebilirlikte PTB’ye olan bağımlılığı ortadan kaldırılmıştır. Aynı zamanda, yeni kurulan sistemin belirsizliği de eskisine nazaran birkaç kat düşüktür. Örneğin, eski sistemin en iyi belirsizliği 15 ppm iken yeni sistemin en iyi belirsizliği 4 ppm civarındadır.

Ayrıca PMJTC’ nin iyi frekans karakteristiğinden dolayı, interpolasyon yoluyla ac-dc transfer farkının frekans sürekliliğini sağlamak ta mümkün olmuştur. Bu model geliştirilmek suretiyle, artık eski sistemde bu alanda görülen eksiklik giderilmiştir.

Daha önce kullanılan prosedürlerin yerine, kurulan sisteme uygun yeni prosedürler geliştirilmişlerdir. Bunlar; ac-dc transfer standardı, AC gerilim kaynağı ve AC voltmetre kalibrasyon prosedürleridir.

Artan müşteri kalibrasyon taleplerini karşılayabilmek için transfer standardının yanı sıra , AC gerilim kaynağı ve AC voltmetre kalibrasyonlarının da yapılabileceği yeni bir yazılım geliştirilmiştir. Böylece, elle yapılan kalibrasyonların sürelerinin %50 kısaltılmış olmasının yanı sıra kalibrasyonu yapacak teknisyenden kaynaklanabilecek hatalar da önlenmiş olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. "The International System of Units," BIPM, 7th. Edition, 1998
2. "Calibration: Philosophy in Practice," Fluke Corp., Second Edition 1994.
3. Hermach F.L., "Thermal Converters at ac-dc Transfer Standards for Current and Voltage Measurements at Audio Frequencies," J. Research NBS, vol.48, 1952
4. Wilkins F.J., "Theoretical analysis of the ac-dc difference of the NPL multijunction thermal converter in the range of dc-100 kHz," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol 21, 1972
5. Klönz M., "Entwicklung von Vielfachthermokonvertern zur genauen Rückführung von Wechselgrößen auf äquivalente Gleichgrößen," PTB-Bericht-E-29, Dr. Thesis, Braunschweig Technical University, 1987
6. Klönz M., Weimann T., "Accurate thin film multijunction thermal converter on a Silicon chip," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol 38, 1989
7. Kinard J.R., Huang D.X., Novotny D.B., "Performance of multilayer thin-film multijunction thermal converters," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 44, 1995
8. Williams E.S., "Thermal Voltage converters and comparators for very accurate ac voltage measurements," J. Res.Nat. Bur. Stand, 75C, 1971
9. Klönz M., Weimann T., "Increasing the Time-Constant of a Thin Film Multijunction Thermal Converter for Low Frequency Application," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 40, 1991
10. Klönz M., Spiegel T., Inglis B., Sasaki H. and Takahashi K., "Fast reversed dc: Basic reference for ac-dc transfer," CPEM'96 Conf. Dig., 1996
11. Van Mullem C., Janssen W., De Vreede J., "Evaluation of the Calculable High Frequency ac-dc Standard", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 46, 1997
12. Williams E.S. and Kinard J.R., "Dual channel automated comparator for ac-dc difference measurements," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 34, 1995
13. Oldham Nile.M., Parker M.E., Young A.M. and Smith A.G., "A High-Accuracy 10 Hz-1MHz Automatic AC Voltage Calibration System" IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.36, 1987
14. Arifoviç Mehedin ve Düz Züleyha, "AC Büyüklüklerin Ölçülmesi" III.Eskişehir Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, 1999

15. Özgül Ş., Selçik S., Klonz Manfred “The Automated AC-DC Transfer Calibration System at UME and Intercomparison with PTB” IMEKO, Osaka, Japan, 1999
16. Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurements. ISO-International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1995
17. LabWindow for DOS, User Manual, National Instruments Corporation, 1994



ÖZGEÇMİŞ

Mehedin Arifoviç 1970 yılında Yugoslavya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini orada tamamlayarak, Saraybosna Elektro-Teknik Fakültesi Kontrol Bölümü’nde lisans eğitimine başlamış, ancak savaş nedeniyle tamamlayamamıştır. 1993 yılında Türkiye’ye gelerek, Çukurova Üniversitesi’nin Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde eğitimine devam etmiş ve 1997 yılında buradan mezun olmuştur. 1997 yılından itibaren TÜBİTAK UME’de (Ulusal Metroloji Enstitüsü) araştırmacı olarak görev yapmaktadır.



EK-1

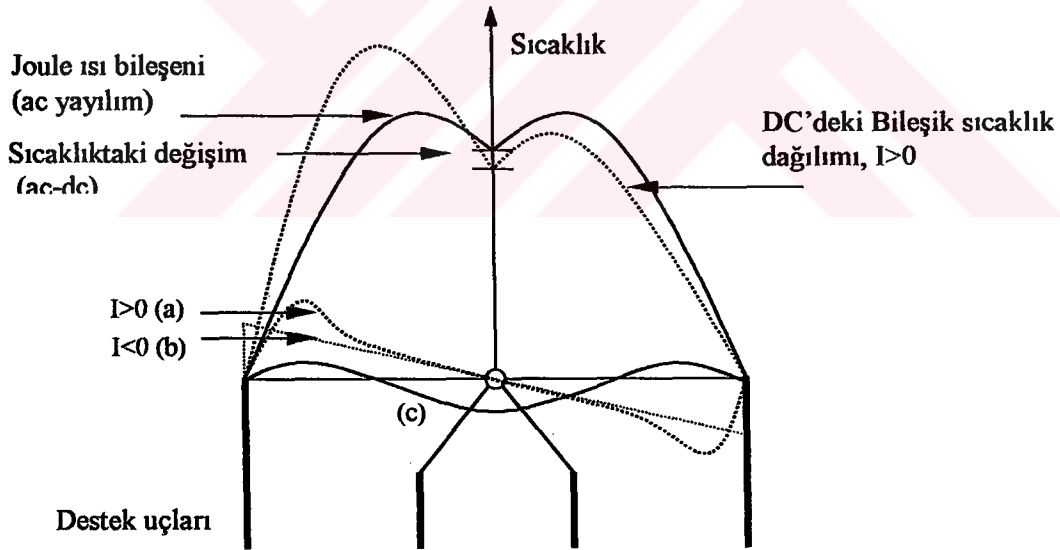
SJTC'DE AC-DC FARKLARIN KAYNAKLARI

Farkların kaynakların frekans-bağımlı veya frekans-bağımsız olarak sınıflandırılabilirler.

Frekans-Bağımsız Transfer Hataları

Frekans-bağımsız hatalar, destek uçlarında ortaya çıkan termoelektrik etkilerinin sonucudur.

Termoelektrik etkiler aşağıda açıklanmaktadır, ve bunların ısıtıcının sıcaklık dağılımına etkisi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.,



Şekil E.1.1. SJTC üzerindeki termoelektrik etkiler

- a) Thomson ısısı, bir akım bir sıcaklık gradyanı boyunca akarken yayılabilir veya soğurulabilir. Isıtıcı' nın herhangi bir noktasındaki, Thomson ısısı Q_t , ortaya çıkan sıcaklık gradyanı ve akım I ile orantılıdır.

$$\partial Q_t = -I \cdot \sigma_T \cdot (\partial T / \partial x) \cdot \partial x$$

Burada σ_T , ısıtıcı malzemesinin Thomson katsayısıdır. Sonuç olarak, Thomson etkisinden dolayı akan ısıнын yönü değiştiğinde değişir.

- b) Peltier ısısı, iki veya daha fazla farklı iletken den oluşan bir devreden elektriksel akım akıtıldığında yayılabilir veya soğurulabilir. Peltier ısısı Q_p iletkenlerin s eklem inde yayılır veya soğurulur ve akıma lineer olarak bağlıdır.

$$\partial Q_p = \pi_p \cdot I$$

Burada π_p ısıtıcının dayandırma uçların Peltier katsayısıdır. Bu etki ayrıca akımın yönü değiştiğinde, işaretin yönünü değiştirir.

Bu iki unsur, DC için ısıtıcı üzerindeki sıcaklık dağılımında, akımla birlikte yön değiştiren bir eğri oluşturur. AC için, yeterince yüksek frekans ve yeterli ısıl zaman sabitine sahip ısıl çeviriciler ile bu iki etkinin birinci dereceden etkisi ortalama da kaybolur. DC yön değiştirdiğinde sıcaklık dağılımında oluşan değişim, eğer ısıl-çiftin yerleştirildiği nokta ısıtıcı üzerinde ısıl simetriği sağlamıyorsa, çıkıştaki gerilimin de değişmesinde yol açar. Bu değişim reversal farkı olarak bilinir ve bunun ac-dc transfer üzerindeki etkisi, pozitif ve negatif polaritede uygulanan DC girişlerin ortalaması alınarak ortadan kaldırabilir.

Termoelektrik etkilerin sebep olduğu ikinci dereceden transfer farkları vardır ve bunlar DC girişin yönünü değiştirerek ortadan kaldırılamazlar. Bunlar şu şekilde özetlenebilir.

- c) Akımın, birinci dereceden Thomson ısısıyla oluşan sıcaklık gradyanıyla etkileşimi sonucu meydana gelen ikinci dereceden Thomson ısısı.
- d) Akımın, Peltier etkisiyle oluşan sıcaklık gradyanıyla etkileşimi sonucu meydana gelen ikinci dereceden Thomson ısısı.
- e) Peltier etkisine bağlı sıcaklıkla oluşan ikinci dereceden Peltier etkisi.
- f) Akımın, Peltier etkisiyle oluşan sıcaklık gradyanıyla etkileşimi sonucu, ısıtıcıya bağlantı uçlarında oluşan ikinci dereceden Thomson etkisi.

AC-DC transfer hata bileşenlerden yukarıda bahsedilenlerin her biri, DC uygulandığında oluşur ve ısıl-çift sensördeki, ısıtıcı sıcaklık değişiminden kaynaklanırlar fakat bunlar AC uygulandığında görülmezler.

Genelde SJTC'lerde (a) en önemli transfer farkı kaynağıdır ve ısıtıcı akımın karesiyle orantılıdır.

Frekans – Bağımlı Transfer Farkları

Düşük Frekanslar

Frekans , yaklaşık olarak ısıl çeviricinin ısıl zaman katsayısının tersine eşit oluncaya kadar düştüğünde, cihazın ısıl ataleti, Joule ısıısının frekans değişimini integre etmek için yetersiz kalır. Bu cihazın sıcaklığında, giriş sinyal frekansının iki kat değerinde frekansla osilasyonuna yol açar ve sonuçta, çıkış gerilim ölçümlerini zorlaştırıyor.

Yüksek Frekanslar

Yüksek frekanslarda, kapasitans, dielektrik kayıp, endüktans, deri-etkisi ve duran dalgaların varlığı önemli hale gelir, ve bu etkilerin varlığı durumunda ısıtıcıda yayılan joule ısıısı, bir ac rms girişi için, eşit bir dc değerde olduğundan farklıdır.

EK-2**AC-DC Transfer Yazılımının Ana Pencerelemi**

Pencerelerle ilgili açıklamalar için 3.3.1 bölümüne bakınız

DATAI CAL POINTI STANDARDI PARAMETERSI MONITORI HELP QUIT		
DATA ABOUT TEST DEVICE		
Instrument type		
		
Manufacturer	Model	Serial No
Calibration Period	Device Code	Issued for
Address		
Comment		
Operator		
Save (^S)		OK (^O)
Recall (^R)		

Şekil E.2.1. Test Cihaz bilgileri

DATA: CALPOINT: STANDARD: PARAMETER: SCANMODE: HOLD

CALIBRATION POINTS

Voltage(Current):

mV

Up to five points

- | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| ☐ 10 Hz | ☐ 100 Hz | ☐ 1 kHz | ☐ 10 kHz | ☐ 50 kHz |
| ☐ 20 Hz | ☐ 200 Hz | ☐ 2 kHz | ☐ 11 kHz | ☐ 60 kHz |
| ☐ 30 Hz | ☐ 300 Hz | ☐ 3 kHz | ☐ 12 kHz | ☐ 70 kHz |
| ☐ 40 Hz | ☐ 400 Hz | ☐ 4 kHz | ☐ 13 kHz | ☐ 80 kHz |
| ☐ 55 Hz | ☐ 500 Hz | ☐ 5 kHz | ☐ 14 kHz | ☐ 90 kHz |
| ☐ 60 Hz | ☐ 600 Hz | ☐ 6 kHz | ☐ 15 kHz | ☐ 100 kHz |
| ☐ 70 Hz | ☐ 700 Hz | ☐ 7 kHz | ☐ 16 kHz | ☐ 200 kHz |
| ☐ 80 Hz | ☐ 800 Hz | ☐ 8 kHz | ☐ 17 kHz | ☐ 300 kHz |
| ☐ 90 Hz | ☐ 900 Hz | ☐ 9 kHz | ☐ 18 kHz | ☐ 400 kHz |
| | | | ☐ 19 kHz | ☐ 500 kHz |
| | | | ☐ 20 kHz | ☐ 700 kHz |
| | | | ☐ 30 kHz | ☐ 800 kHz |
| | | | ☐ 40 kHz | ☐ 1 MHz |

Std Freq(F1)

Save (^S)

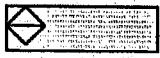
All Freq(F2)

Recall(^R)

OK(^O)

Şekil E.2.2 Kalibrasyon Noktaları



DATA/ CALIBRATION STANDARD/ DATA/ CALIBRATION STANDARD/ DATA/ CALIBRATION STANDARD				
STANDARD DIFFERENCES				
Std Type	Inlab Name	Nominal Value	Serial No	Certificate
				
10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz
20 Hz	200 Hz	2 kHz	11 kHz	60 kHz
30 Hz	300 Hz	3 kHz	12 kHz	70 kHz
40 Hz	400 Hz	4 kHz	13 kHz	80 kHz
55 Hz	500 Hz	5 kHz	14 kHz	90 kHz
60 Hz	600 Hz	6 kHz	15 kHz	100 kHz
70 Hz	700 Hz	7 kHz	16 kHz	200 kHz
80 Hz	800 Hz	8 kHz	17 kHz	300 kHz
90 Hz	900 Hz	9 kHz	18 kHz	400 kHz
Save (^S)	Recall(^R)		19 kHz	500 kHz
INTRPLT	OK(^O)		20 kHz	700 kHz
			30 kHz	800 kHz
			40 kHz	1 MHz

Note: All Transfer differences are assumed to be given in $\mu\text{V/V}$ ($\mu\text{A/A}$)

Şekil E.2.3 Standart Cihazın ac-dc Transfer Farkları

SYSTEM PARAMETERS			
INSTRUMENTS USED		MEASUREMENT PARAMETERS	
AC Source	Address	N std	N test
			☐ Measure N
DC Source		Measurement Method	Freq. Cycles
DVM diff(std)		Settling Time	WarmUp Time(min)
DVM abs(test)		Averaged No of DVM rdgs.	Measurement Place
Switch		Measurement Sequence	
Tr.CndAmp			
Use Pow Amp		Save Results	
☐	Gain		Save to
Use Attenuator			
☐	Attn	File Name(F1)	
		OK(^O)	Recall(^R)
		Save (^S)	

Şekil E.2.4 Ölçüm Parametreler

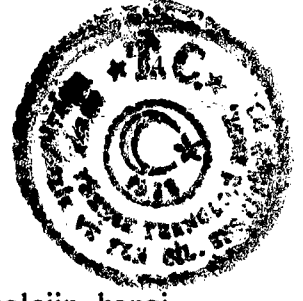
DATE: CALIBRATION: STATION: MONITOR

MEASUREMENT MONITOR

MEASUREMENT PARAMETERS	LAST MEASUREMENT...
	RESULTS INFO
	SAVE PAUSE STOP INITIAL START QUIT

Şekil E.2.5 Ölçüm Görüntüleme Penceresi

EK-3



Metroloji – Ölçüm ile ilgili bilgi alanı. Metroloji bilim veya teknolojin hangi alanında gerçekleştiğinde ve doğruluk seviyelerine bakılmaksızın ölçmeye dayanan uygulanmalı ve teorik tüm konuları kapsar.

Ölçüm Belirsizliği – Ölçülen büyüklüğün gerçek değerinin içinde bulunduğu değerler aralığını karakterize eden tahmini değer. Ölçüm belirsizliği, genel olarak bir çok bileşeni içerir. Bu bileşenlerin bir kısmı, ölçüm serileri sonuçlarının istatistiksel dağılımına bakılarak tahmin edilebilir ve deneysel standart sapma yardımıyla karakterize edilebilir. Diğer bileşenlerin tahmini ise sadece tecrübeye veya diğer bilgilere dayandırılabilir.

Ölçüm Sistemi – Belirli bir ölçüm faaliyetini gerçekleştirmek amacıyla birleştirilmiş ölçme cihazları ve diğer ekipmanlardan oluşan komple set.

Primer Standart – Belirli bir alanda en yüksek metrolojik vasa sahip standart.

Referans Standart – Genelde belirli bir mahalde mevcut en yüksek metrolojik vasa sahip olan ve o mahalde yapılan ölçümlerin kendisinden elde edildiği standart.

Çalışma Standart – Ölçme cihazı veya maddi ölçütü kalibre veya kontrol etmek için rutin olarak kullanılan ve genelde referans standart ile kalibre edilmiş standart.

Transfer Standart – Standartların, maddi ölçütlerin veya ölçme cihazlarının karşılaştırılmasında aracı olarak kullanılan standart.

İzlenebilirlik – Ölçümün sonucunun, uygun standartlarla, genel olarak uluslar arası veya ulusal standartlara, kesintisiz bir karşılaştırma zinciri boyunca bağlanabilmesi özeliği.

Kalibrasyon – Belirlenmiş koşullar altında, ölçme cihazı veya ölçme sisteminin gösterdiği değerler veya maddi ölçüt ile gösterilen değerler ile ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisi