

## UME-SİMKO 10V DC GERİLİM KARŞILAŞTIRMA ÖLÇÜMLERİ

Özlem Yılmaz<sup>1</sup>, Hanife Ural<sup>2</sup>, Okan Yılmaz<sup>1</sup>, T. Mursaloğlu<sup>2</sup>, Saliha Selçik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Pk. 21 41470 Gebze-KOCAELİ  
Tel: 262 6466355 E-Mail: ozlem.yilmaz@ume.tubitak.gov.tr

<sup>2</sup>SIEMENS-SİMKO Kalibrasyon Merkezi Yakacık Yolu No:111 81430 Kartal-İSTANBUL  
Tel: 216 4592443 E-Mail: hanife.ural@simko.com.tr

### ÖZET

SIEMENS SİMKO Elektrik-Elektronik Kalibrasyon Laboratuvarı, DC Gerilim izlenebilirliğini Fluke 732B DC Referans Standardı ile UME Gerilim Laboratuvarı üzerinden sağlamaktadır. Laboratuvar 1996 yılından beri TKS Laboratuvarı olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Laboratuvarın Türk Kalibrasyon Servisi (TKS) tarafından yürütülen akreditasyon çalışmaları çerçevesinde, 10V DC Gerilim Standardı kalibrasyonunun belirtilen belirsizlik değerleri içerisinde gerçekleştirildiğinin doğrulanması amacıyla karşılaştırma ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde transfer standart olarak Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)'ne ait iki adet zener diyot yapılı FLUKE 732B DC Referans Standartları kullanılmıştır.

Bildiride, her iki laboratuvarda kullanılan ölçüm sistemleri, yöntemleri ve karşılaştırma sonuçları sunulacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** İzlenebilirlik, karşılaştırma, DC Gerilim Standardı, Josephson DC Gerilim Standardı

### 1. GİRİŞ

Ülke içinde gerçekleştirilen tüm ölçümlerin güvence altına alınmasının sadece UME'de gerçekleştirilen kalibrasyonlar ile sağlanması mümkün değildir. İzlenebilirliğini UME'de muhafaza edilen ulusal standartlardan alan ve ortam şartları, teknik donanımı ve personeli ile kalibrasyonları istenen doğrulukta gerçekleştirebilecek yeterlilikte ikinci seviye kalibrasyon laboratuvarlarına ihtiyaç vardır. Ulusal metroloji sisteminin kurulmasında önemli olan bu test/kalibrasyon laboratuvarlarının yeterliliklerinin onaylanması (akreditasyonu) konusunda ihtiyacın karşılanması amacıyla UME bünyesinde akreditasyon çalışmalarının yürütülmesi için Türk Kalibrasyon Servisi (TKS) kurulmuştur.

SIEMENS SİMKO Elektrik-Elektronik Kalibrasyon Laboratuvarı TKS tarafından akredite edilen ilk laboratuvar olup, 1996 yılından beri TKS Kalibrasyon Laboratuvarı olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Bir test/kalibrasyon laboratuvarının ulusal standartlardan aldığı izlenebilirliği, belirtilen belirsizlik değerleri içinde kalibre edilen cihaz/standartlara aktardığının doğrulanması gereklidir. Bu ise TKS akreditasyon süreci içinde yer alan karşılaştırmalarla gerçekleştirilir. SİMKO Laboratuvarı'nın akreditasyon süreci içinde bu amaçla UME Gerilim Laboratuvarı ve SİMKO Laboratuvarı arasında 10 Volt DC gerilim değerinde karşılaştırma ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

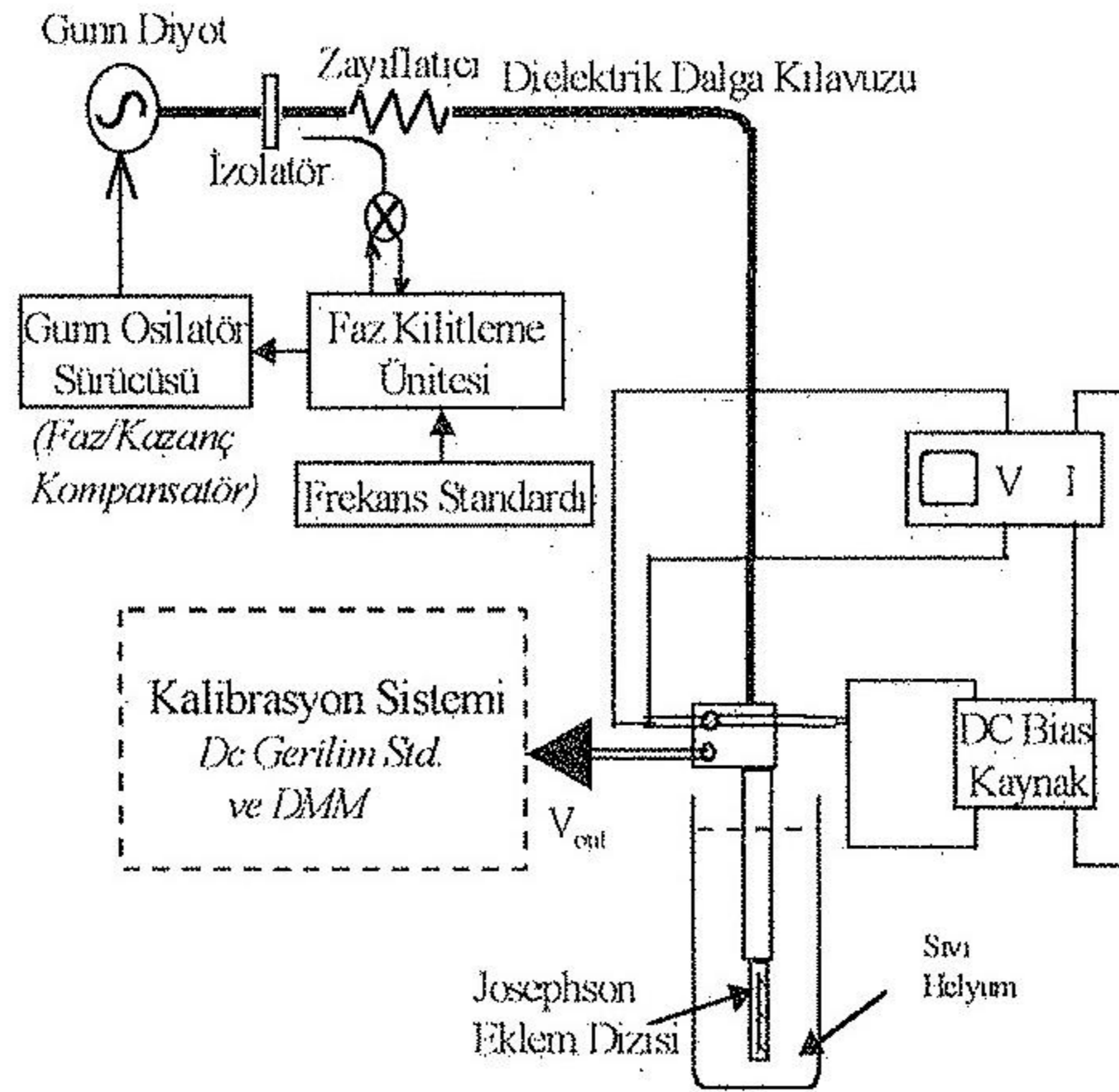
## 2. KARŞILAŞTIRMA ÖLÇÜMLERİ

Karşılaştırma ölçümleri, UME'ye ait iki adet Fluke 732B elektronik DC Referans Standardı (S/N: 5610210 / 5610310) kullanılarak 10 Volt gerilim değerinde gerçekleştirilmiştir. Zener Referans Standartların kalibrasyonu her bir laboratuvarın kendi laboratuvar ortamlarında, kendi ölçüm sistemleri ve ölçüm yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Standartlar ilk olarak iki hafta boyunca (11-21 Mayıs 1999) UME Gerilim Laboratuvarı'nda kalibre edilmiş ve sonra SİMKO Laboratuvarı'na gönderilerek 26 Mayıs-3 Haziran 1999 tarihleri arasında bu laboratuvarda ölçülmüştür. Daha sonra standartlar UME Gerilim Laboratuvarına geri getirilerek, ölçümleri 4-8 Haziran 1999 tarihleri arasında tekrarlanmıştır.

## 3. UME GERİLİM LABORATUVARINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜMLER

Transfer Standart olarak kullanılan Fluke 732B DC Referans Standartlarının kalibrasyonu, 10V Josephson Eklem Dizisi Gerilim Standardı (JEDGS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma ölçümleri Fluke 732B'ler akü modunda çalışırken alınmıştır. Standartların kararlılığı için ölçümler, standartlar şebekeden çıkarıldıktan iki saat sonra alınmaya başlanmış, ancak standartların akü modunda 6 saatten fazla çalıştırılmamasına dikkat edilmiştir. Ölçümler sırasında laboratuvar ortam koşullarının  $(45 \pm 10)\%$  nem ve  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. UME 10 Volt Josephson Eklem Dizisi Gerilim Standardı

### 3.1. Ölçüm sistemi

UME JEDGS, Josephson eklem dizisi, dizinin monte edildiği prob, diziyeye 75 GHz'de güç uygulayan Gunn osilatör, 10 MHz Rb frekans standardı, faz kilitleme modülü, Josephson gerilimi ve kalibre edilen referans arasındaki gerilim farkını ölçen bir voltmetre, n-Josephson gerilim adım sayısını belirleyen DC akım kaynağı ve çalışma noktasını gözlemlemek için kullanılan bir osiloskoptan oluşmaktadır (Şekil 1) [1].

UME JEDGS ile -10V ve +10V arasında, 155  $\mu$ V'luk adımlarla, kararlı ve tekrarlanabilir gerilim değerleri elde edilebilmektedir. Eylül'97 tarihinden beri Laboratuvar'da faaliyette olan Josephson Gerilim Standardı ile DC gerilim birimi "Volt" 10 V'a kadar  $10^{-9}$  belirsizlik ile elde edilebilmektedir.

JEDGS'inin temelini, PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt) yapımı Josephson eklem dizisi oluşturmaktadır. Bir Josephson eklemi birbirlerinden ince yalıtkan bir oksit tabakasıyla ayrılmış iki süperiletken malzemenin zayıfça biraraya getirilmesiyle oluşmaktadır [2]. DC akımla sürülmüş bir Josephson eklemi, bir mikrodalga kaynak ile uyarıldığında, eklem üzerinde, uygulanan sinyalin frekansı ile orantılı, sabit gerilim adımları elde edilir. Elde edilen bu gerilim (V);

$$V = n \frac{h}{2e} f \quad n= 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

formülü ile ifade edilir. Formülden de görüldüğü gibi Josephson gerilimi sadece uygulanan mikrodalga kaynağın frekansına (f) bağlı olduğundan, metrolojide en yüksek doğrulukla ölçülebilen frekans doğruluğunu ( $10^{-14}$ ) gerilim doğruluğuna aktarmakta ve Volt'un fiziksel sabitler üzerinden elde edilebilmesini sağlamaktadır.

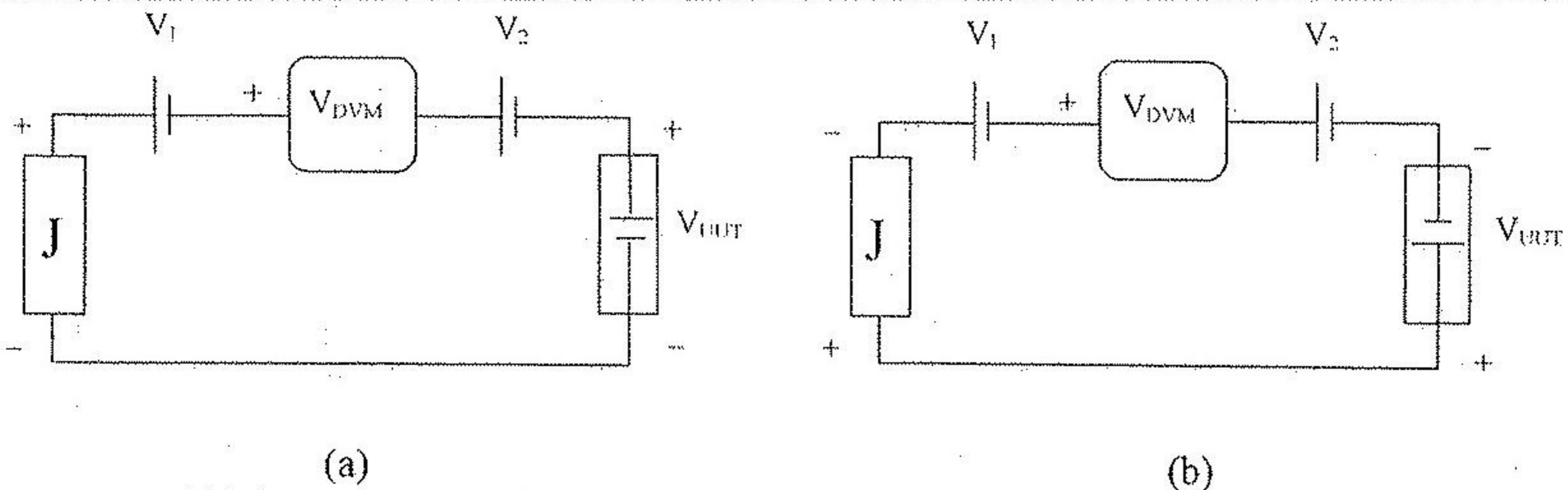
### 3.2. Ölçüm yöntemi

JEDGS ile DC Gerilim Standartlarının kalibrasyonu, Josephson gerilimi ve standartların 10V gerilim değerleri arasındaki farkın "karşılaştırma yöntemi" kullanılarak belirlenmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Josephson dizisi ve kalibre edilecek standart ters polaritede seri bağlanarak aralarındaki gerilim farkı giriş empedansı yüksek ve düşük gürültü seviyesine sahip Keithley 182 hassas sayısal voltmetre ile ölçülmüştür. Voltmetre ile ölçülen gerilim idealde aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\Delta V_{DVM} = V_J - V_{UUT} \quad (2)$$

Formülde  $V_J$  değeri bilinen Josephson gerilimi,  $V_{UUT}$  kalibre edilen gerilim standardının gerilim değeri,  $V_{DVM}$  ise voltmetre ile ölçülen gerilim farkıdır. Gerçekte ise voltmetrede okunan değer, kablo ve kontak dirençlerinden kaynaklanan sabit artık gerilimini de içermektedir. Bu gerilim değeri, iki farklı anahtar bağlantısı ile gerçekleştirilen ölçümlerin ortalaması alınmak suretiyle ölçüm sonucundan uzaklaştırmaktadır.

Şekil 2'de pozitif ve negatif polarite ölçümleri için Josephson Gerilimi ile kalibre edilen gerilim standardının bağlantı şekli gösterilmektedir.



Şekil 2. a) Pozitif b) Negatif polaritede alınan ölçümler için anahtarın konfigürasyonu ve sistemin bağlantı şeması

$\Delta V_{DVM1}$  ve  $\Delta V_{DVM2}$  değerleri birinci ve ikinci ölçümlerde okunan gerilim değerleri olup matematiksel olarak ;

$$\Delta V_{DVM1} = V_J - V_{UUT} - (V_1 + V_2) \quad (3)$$

$$\Delta V_{DVM2} = V_{UUT} - V_J - (V_1 + V_2) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilirler. İki ölçüm sonunda okunan gerilim değerlerinin toplamı bize artık emf değerini verirken, farkları da artık emf değerinden bağımsız olarak Josephson gerilimi ve kalibre edilen gerilim standardının çıkış gerilimi arasındaki gerilim farkını vermektedir;

$$\Delta V_{DVM1} + \Delta V_{DVM2} = -2 (V_1 + V_2) \quad (5)$$

$$\Delta V_{DVM1} - \Delta V_{DVM2} = 2 (V_J - V_{UUT}) \quad (6)$$

Denklem 6 düzenlendiğinde kalibre edilen gerilim standardının değeri;

$$V_{UUT} = V_J - V_{DVM} \quad (7)$$

olarak belirlenmektedir. Denklem 7'de  $V_{DVM}$ , pozitif ve negatif polaritede voltmetre ile ölçülen gerilimler arasındaki farkın yarısıdır;

$$V_{DVM} = \frac{V_{DVM1} - V_{DVM2}}{2} \quad (8)$$

### 3.3. Sistem Belirsizliği

Sistemdeki sistematik belirsizlik kaynakları, frekans doğruluğu, voltmetre etkileri ve kaçak akımlardan gelen hatalardır. UME 10V JEDGS'nin belirsizlik bileşenleri tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. UME JEDGS'nin B tipi belirsizlik bileşenleri ( $1\sigma$ )

Frekans	0.4 nV
Voltmetre	1.0 nV
Kaçak Akım	2.0 nV
Termal emf	1.0 nV
Bileşik Belirsizlik	2.5 nV

Görüldüğü gibi UME JEDGS'nin sistematik belirsizliği oldukça küçüktür. Bu nedenle DC gerilim standardı kalibrasyonunda, etkili olan belirsizlik bileşeni, kalibre edilen standardın kısa dönem kararsızlığından kaynaklanan A tipi standart belirsizliktir. Tablo 2'de her iki standardın UME ölçümleri için A tipi belirsizlik bileşeni ( $1\sigma$ ) ile sistematik ve A tipi belirsizlik bileşenlerini içeren genişletilmiş belirsizlik ( $2\sigma$ ) değerleri verilmektedir.

Tablo 2. UME'de gerçekleştirilen kalibrasyonların A tipi belirsizlik bileşenleri ( $1\sigma$ ) ve genişletilmiş belirsizlikleri ( $2\sigma$ )

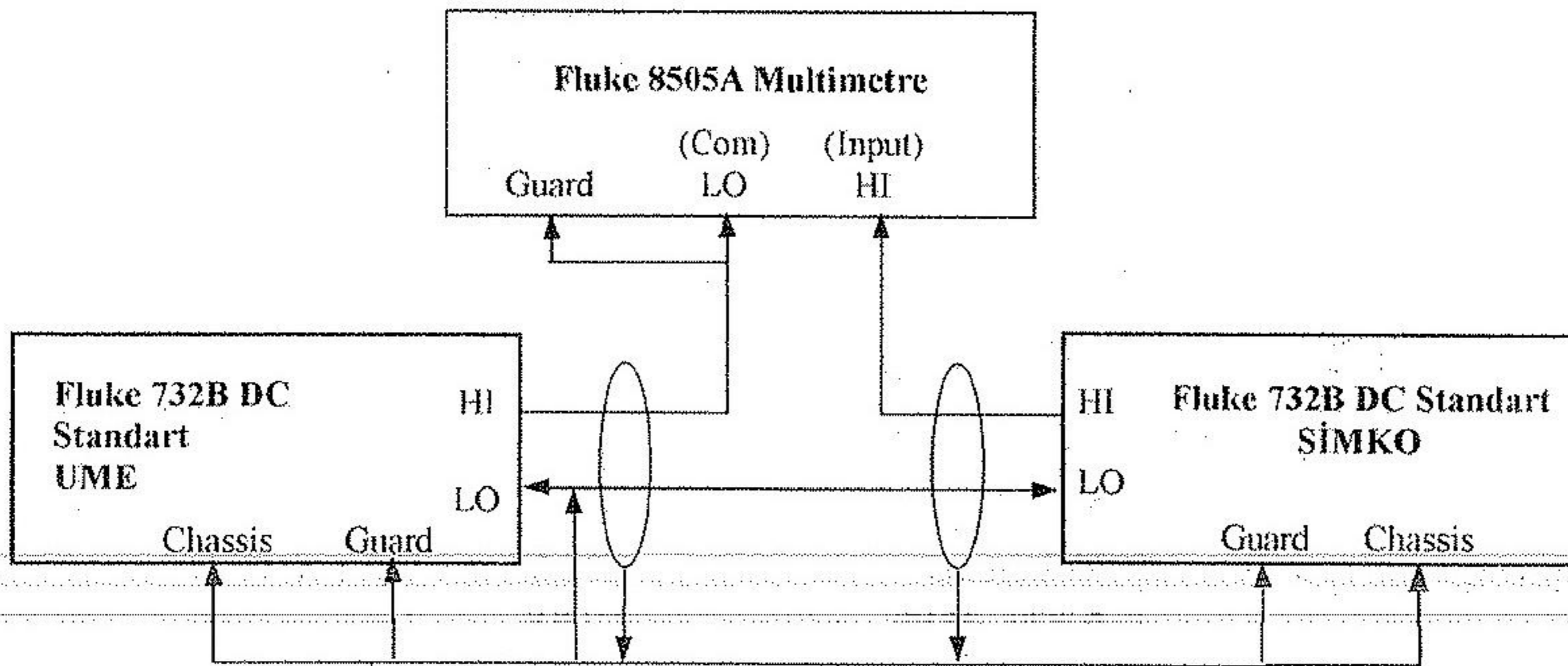
FLUKE 732B	A Tipi ( $\mu V$ )	Genişletilmiş Belirsizlik ( $\mu V$ )
Ref.1 (S/N: 5610210)	0.52	1.04
Ref.2 (S/N: 5610310)	0.73	1.46

#### 4. SİMKO KALİBRASYON LABORATUVARI'NDA GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜMLER

Transfer Standart olarak kullanılan Fluke 732B DC Referans Standartlarının kalibrasyonu, Laboratuvar'da referans standart olarak kullanılan ve izlenebilirliğini UME'de mevcut ulusal standartlardan alan Fluke 732B DC Gerilim Standardı (S/N: 5890002) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

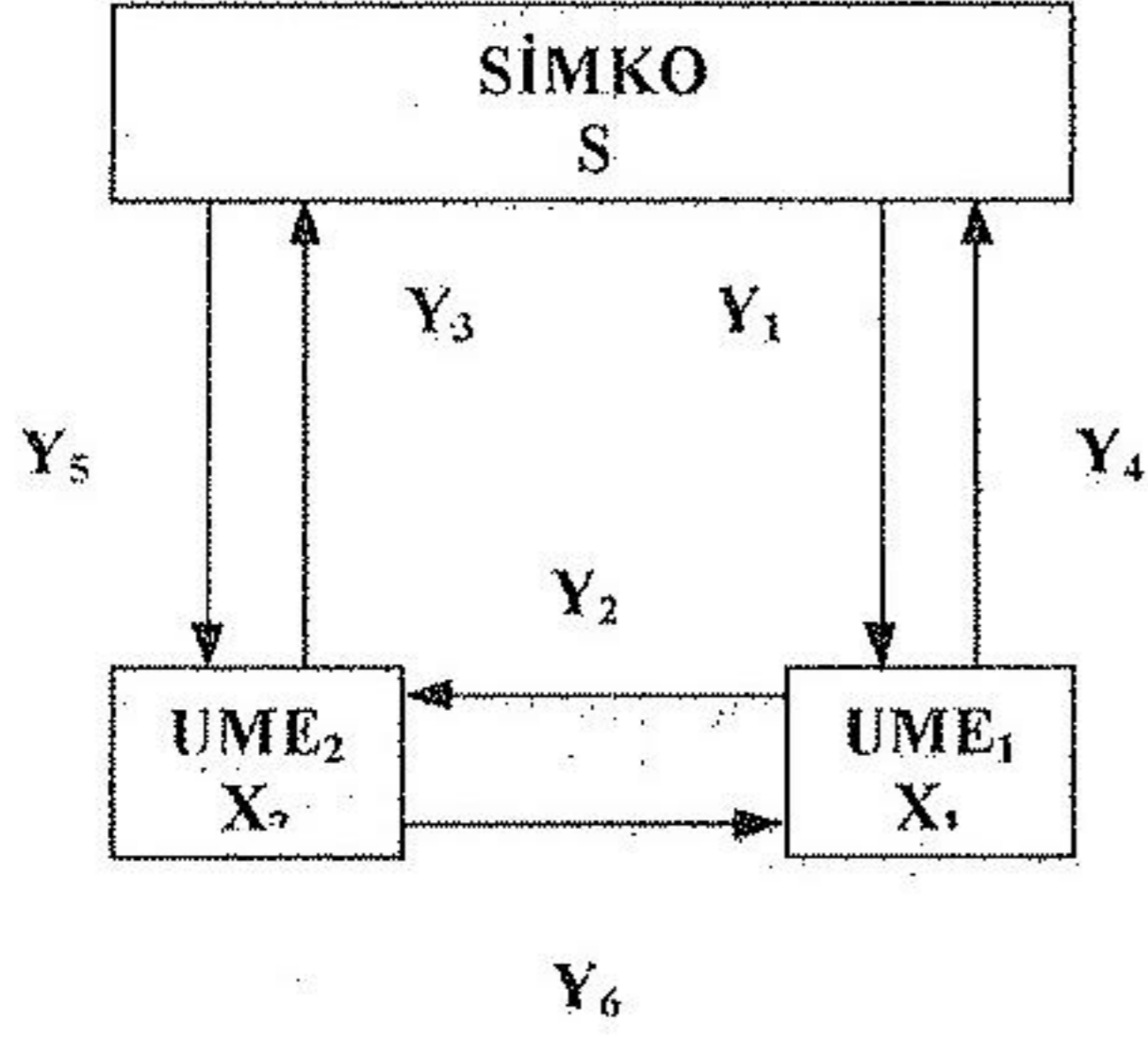
##### 4.1. Ölçüm sistemi ve yöntemi

UME'ye ait Fluke 732B DC Referans Standartları bir gün SİMKO laboratuvar şartlarında bekletildikten sonra ölçümler alınmaya başlanmıştır. Önce Fluke 845A Null dedektör ile fark ölçümleri alınmış, ancak fark değerleri skala başlarına geldiği için beklenen çözünürlük elde edilememiştir. Bu nedenle ölçüm sistemi değiştirilerek null detektör yerine Fluke 8505A Multimetre (S/N: 4420003) kullanılmıştır. Multimetrede, DC Referans Standartları şebeke geriliminden beslenirken ve laboratuvar ortam şartları ( $50 \pm 25$ ) Rh% , ( $23 \pm 2$ ) °C iken gerilim fark değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde, düşük termal gerilim özelliğine sahip kablolar kullanılmıştır. Ölçüm sisteminin şeması şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. SİMKO ölçüm sistemi blok şeması

Kullanılan multimetrenin sistematik hatasından kurtulmak ve rastgele hataları azaltmak amacıyla aşağıda verilen istatistiksel karşılaştırma yöntemi uygulanmıştır;



S : SİMKO DC Referans Standardının değeri  
 X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> : UME DC Referans Standartlarının değerleri  
 Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>, Y<sub>4</sub>, Y<sub>5</sub>, Y<sub>6</sub> : Fark ölçümleri  
 P : Multimetrenin sistematik hatası  
 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub> : Fark ölçümlerde rastgele hatalar

$$\begin{aligned} S - X_1 + P &= Y_1 - R_1 & Y_1 - S + X_1 - P &= R_1 \\ X_1 - X_2 + P &= Y_2 - R_2 & Y_2 - X_1 + X_2 - P &= R_2 \\ X_2 - S + P &= Y_3 - R_3 & Y_3 - X_2 + S - P &= R_3 \\ X_1 - S + P &= Y_4 - R_4 & Y_4 - X_1 + S - P &= R_4 \\ S - X_2 + P &= Y_5 - R_5 & Y_5 - S + X_2 - P &= R_5 \\ X_2 - X_1 + P &= Y_6 - R_6 & Y_6 - X_2 + X_1 - P &= R_6 \end{aligned}$$

$$\Sigma R_i^2 = R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + R_4^2 + R_5^2 + R_6^2$$

$$\Sigma R_i^2 / \partial X_1 = 0$$

$$\Sigma R_i^2 / \partial X_2 = 0$$

$$X_1 = S + (1/6)X(-2Y_1 + Y_2 + Y_3 + 2Y_4 - Y_5 - Y_6)$$

$$X_2 = S + (1/6)X(-Y_1 - Y_2 + 2Y_3 + Y_4 - 2Y_5 + Y_6)$$

#### 4.2. Sistem Belirsizliği

- u<sub>1</sub> = SİMKO 10 V DC Referans Standardının ölçme belirsizliği (sertifikada verilen değer, B tipi, 2σ) 20 μV
- u<sub>2</sub> = SİMKO 10 V DC Referans Standardının değerindeki muhtemel kayma (B tipi, dikdörtgenel dağılım) 10 μV
- u<sub>3</sub> = Ölçümlerdeki tekrarlama ölçme belirsizliği (A tipi belirsizlik 1σ) 0.1 μV

U = Genişletilmiş ölçme belirsizliği;

$$U = 2x \left[ \sqrt{(u_1/2)^2 + (u_2/\sqrt{3})^2 + (u_3)^2} \right]$$

U = 23 μV ≈ 30 μV (Kalite El Kitabı'nda DC gerilim standartları kalibrasyonları için verilen belirsizlik)

### 5. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Karşılaştırma sonuçlarının analizi, doğrusal en küçük kare uydurma yöntemi (Linear Least Square Fit) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her 732B'nin zamanla değişim sabitleri (a ve b) sadece UME'de gerçekleştirilen ölçüm sonuçları kullanılarak, doğrusal en küçük kare uydurma yöntemi ile belirlenmiştir;

$$V_{732B} = a + bt \quad (9)$$

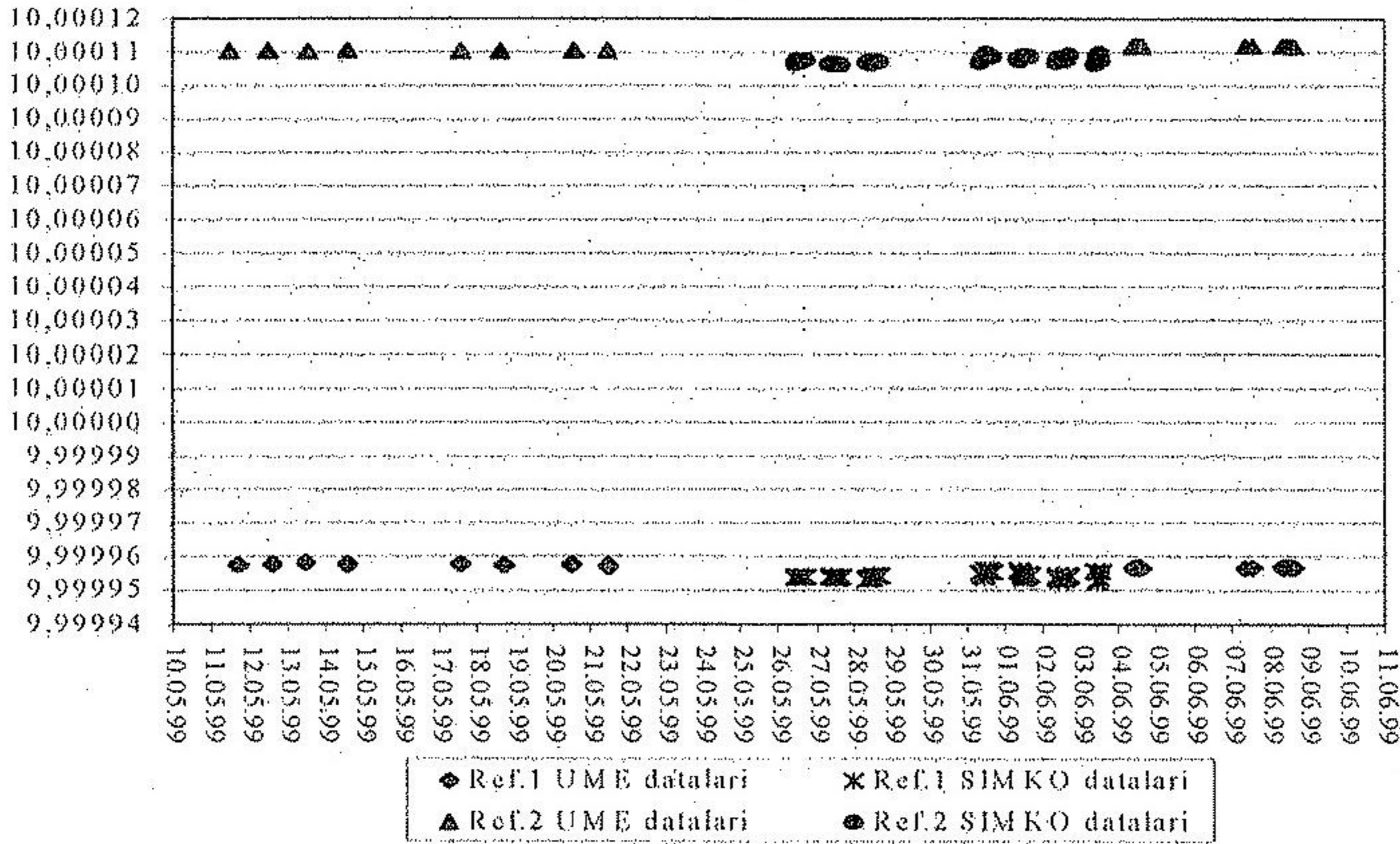
Standartların SİMKO Laboratuvarında ölçümlerinin gerçekleştirildiği tarih ve saatlerde ölçümlerinin UME'de gerçekleştirilmiş olması durumunda ölçülebilecek tahmini gerilim değerleri formül 9 kullanılarak hesaplanmış ve aynı saatteki SİMKO'da ölçülen değerleri ile farkları belirlenmiştir. Karşılaştırma ölçüm sonucu her ölçülen standart için, bu farkların ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Herbir 732B referans standardı için ölçüm değerleri ve 2σ seviyesindeki genişletilmiş belirsizlik değerleri tablo 3'de verilmiştir. Tablodaki V<sub>UME</sub>-V<sub>SİMKO</sub> fark değeri iki laboratuvarın ölçüm sonuçları arasındaki gerilim farkını göstermektedir.

Tablo 3. FLUKE 732B DC Gerilim Standartları'nın ölçüm sonuçları ve genişletilmiş belirsizlik değerleri ( $2\sigma$ )

FLUKE 732B DC Gerilim Standartları	$V_{UME} - V_{SİMKO}$ ( $\mu V$ )	$\sigma_{A+B}$ ( $\mu V$ )
Ref.1 (S/N: 5610210)	2.91	30
Ref.2 (S/N: 5610310)	3.67	30

Ölçüm sonuçları şekil 4'de verilen grafik üzerinde sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre SİMKO TKS Elektrik-Elektronik Laboratuvarının ölçüm sonuçları ile UME sonuçları arasındaki fark değerleri belirsizlik değerleri içindedir. Bu ise, SİMKO TKS Elektrik-Elektronik Laboratuvarının DC gerilim standardı kalibrasyonlarını akreditasyon kapsamında belirttiği belirsizlik değerleri içerisinde gerçekleştirebilecek yeterliliğe sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 4. Karşılaştırma Ölçüm Sonuçları

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Selçik, S., Akyel, B., Gutmann, P., "The 10V Fixed Frequency Josephson Voltage Standard at UME-Ulusal Metroloji Enstitüsü", CPEM Digest, pp.556-557, 1998  
 [2] R. Pöpel, Metrologia, 1992,29,153-174