

UME-BNM/LCIE 10V JOSEPHSON GERİLİM STANDARDI KARŞILAŞTIRMA ÖLÇÜMLERİ

Okan Yılmaz, Saliha Selçik, Özlem Yılmaz

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

ÖZET

Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), Türkiye ile Bureau National de Métrologie-Laboratoire Central des Industries Electriques (BNM/LCIE), Fransa arasında gerilim birimi Volt'un elde edilmesinde ulusal metroloji enstitülerinde birincil seviye referans standart olarak kullanılan Josephson Eklem Dizisi Gerilim Standartları'nın karşılaştırma ölçümleri EUROMET (A European Collaboration on Measurement Standards) Projesi olarak 10V gerilim değerinde gerçekleştirilmiştir.

Süperiletken malzemelerde gözlenen Josephson etkisi kullanılarak Uluslararası Volt birimi sadece fiziksel temel sabitlere bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Josephson eklem sistemi gerilim birimini temel SI birimlerinden türetmese de, çok kararlı ve tekrarlanabilir gerilim referansı olması sebebiyle gerilim ölçümlerinde birincil seviye standart olarak kabul edilmiştir ve önde gelen ulusal metroloji enstitülerinde birincil seviye DC Gerilim Standardı olarak kullanılmaktadır. Standart, Eylül 1997'den beri UME Gerilim Laboratuvarında faaliyettedir.

Standartın belirsizliği metrolojide en düşük belirsizlikle ölçülebilen frekansa bağlı olsa da, belirsizliği arttıran çevreden gelen katkılar göz önüne alındığında Josephson Eklem Dizisi Gerilim Standardı'nın doğruluğunu uluslararası alanda teyit etmek amacıyla karşılaştırmalı ölçümlerin gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu bağlamda UME ile BNM/LCIE arasında ortak EUROMET projesi kapsamında karşılaştırma ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Karşılaştırmada transfer standart olarak, UME'de muhafaza edilen dört adet FLUKE 732B zener diyot yapılı referans gerilim standartları kullanılmıştır. Ölçümler sırasıyla UME Gerilim Laboratuvarı, BNM/LCIE ve UME Gerilim Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. İki enstitü arasında alınan ölçümler son derece tatmin edici olup toplam belirsizlik 90 nV olarak saptanmıştır.

Bildiride karşılaştırmaları yapılan iki ülkenin Josephson Gerilim Standartlarının tanıtılması, ölçüm metotları, karşılaştırma sonuçları ve değerlendirilmesi sunulmaktadır.

1. GİRİŞ

Josephson Eklem Dizisi Gerilim standartları-JEDGS (Josephson Array Voltage Standards), bir çok ulusal metroloji enstitüsünde Josephson eklemının f frekansındaki mikrodalga doğruluğunu kuantize olmuş gerilime;

$$V=n (h/2e) f \quad (1)$$

matematiksel ifadesiyle yüksek doğrulukta aktarabilmesi özelliğinden dolayı, gerilim birimi Volt'un gerçekleştirilmesinde birincil seviyede standart olarak kullanılmaktadır. Formulde n bir tam sayı olan Josephson gerilim adımı sayısı, h Planck sabiti, e elektron yükü, f ise uygulanan mikrodalga frekansdır. Buna bağlı olarak Josephson gerilimi şu formülle ifade edilebilir:

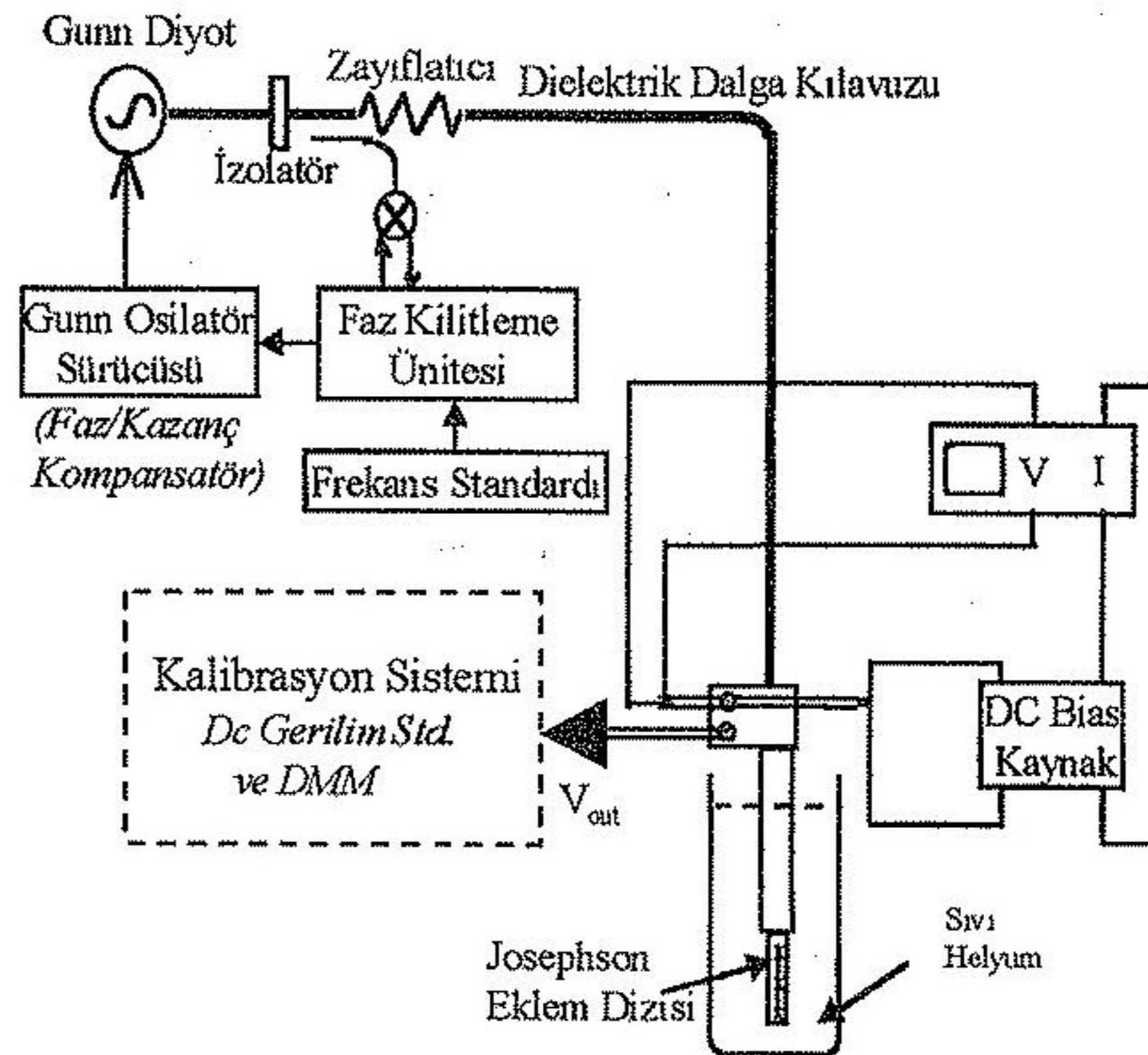
$$V = n \frac{f}{K_{J-90}} \quad (2)$$

K_{J-90} Josephson sabiti olarak adlandırılır ve 1990 yılında yapılan bir anlaşma ile uluslararası değeri 483 597.96 GHz/V olarak kabul edilmiştir.

Gerçekleştirilen JEDGS'nin doğrudan karşılaştırmaları, değişik teknolojilerle üretilmiş çeşitli dizilerden elde edilen gerilimlerin mükemmel bir biçimde uyumlu olduğunu teyid etmekte olduğundan, Josephson Etkisi olarak adlandırılan bu fiziksel olayın kullanılan dizilere ve teknolojilerine bağlı olmadığını deneysel olarak ispatlanmıştır [2]. JEDGS ile her ne kadar yüksek doğrulukta gerilim değerleri elde edilse de, Josephson Dizisi'ni çevreleyen cihazlardan gelen belirsizliklerden dolayı sistem belirsizliğinin bilinmesi ve bu sistemle yapılan kalibrasyonların uluslararası seviyede kabul görmesi amacıyla karşılaştırma ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır [3]. UME ve BNM/LCIE'ye ait 10 Volt JEDGS ile yapılan ölçümlerin tutarlılığının teyid edilmesi amacıyla Nisan ve Mayıs 1998 tarihleri arasında zener diyot yapılı referans standartları kullanılarak "iki taraflı karşılaştırmalı" ölçümler gerçekleştirilmiştir.

2. UME 10 V JOSEPHSON EKLEM DİZİSİ GERİLİM STANDARDI

UME JEDGS Eylül 1997 yılından beri kullanılmaktadır [4]. Standart normal laboratuvar şartlarında, elektromagnetik olarak ekranlanmamış bir odada manuel olarak kullanılmaktadır. Şekil 1'de UME JEDGS blok şema olarak gösterilmektedir. Standartın temelini 10 Volt PTB



Şekil 1. UME 10 Volt Josephson Eklem Dizisi Gerilim Standardı

(Physikalisch-Technische Bundesanstalt) tarafından Nb/Al₂O₃/Nb teknolojisi ile üretilmiş Josephson eklem dizisi oluşturmaktadır. Dizi, 85 mW gücünde 75 GHz Gunn Diyot mikrodalga kaynağına bağlı bir dairesel dalgaklavuzun ucuna monte edilmiştir. Gunn Diyot tamamıyla faz-kilitlidir; 10 MHz Rubidyum frekans standardı ile kilitlenmiş 5 GHz frekanslı mikrodalga referansının 15. harmoniğinden 10 MHz Rb frekansının eksiğine kilitlenmiştir. Dolayısıyla kilitlenmiş durumda 74.99 GHz frekans elde edilmektedir. Eklemleri istenen bölgede çalıştırmak için kararlı akım sağlayan bir akım kontrol birimi kullanılır. Ölçümler kontrol birimi sisteme bağlı iken alınmaktadır. Josephson Gerilimi ile kalibre edilen referans standardı arasındaki fark gerilimi Keithley 182 Voltmetre ile ölçülmektedir. Voltmetre ile kalibre edilen referans arasında, bağlantı konfigürasyonu değiştirilerek polariteyi değiştirmek amacıyla özel bir düşük termal emf'e sahip anahtar kullanılmıştır. Standart tamamen bir operatör kontrolü ile çalıştırılmaktadır.

10 dakikalık bir ölçüm süresince anahtar polaritesi değiştirilmesinden ve offset termal emf'ten kaynaklanan toplam kaymanın kararlı ve 2nV'tan küçüktür. Gerilim çıkış uçlarındaki filtrenin seri direnci 3,5Ω ve leakage direnci 1,5x10¹⁰Ω olup, bu sistemle yapılan rutin referans standartlarının kalibrasyonunun bileşik belirsizliği, (1σ_{A+B}) kalibre edilen referansların kısa dönem kararlılıklarına bağlı olarak 50 nV'tan küçük olabilmektedir.

3. BNM/LCIE JOSEPHSON EKLEM DİZİSİ GERİLİM STANDARDI

BNM/LCIE bu karşılaştırmalı ölçümlerde Hypres firmasının ürettiği 10V Nb/Al₂O₃/Nb eklem dizisini kullanmıştır. Ölçüm düzeneği daha önce değişik makalelerde belirtilmiş olup[2][5] laboratuvarında yapılmış olan akım kaynağı, Keithley 182 Voltmetre, Data Proof scanner, ayarlanabilir frekans kaynağından oluşmaktadır. Frekans EIP frekans sayıcı ile ölçülmektedir. Sistem tam otomatiktir. Bu nedenle ölçümler süresince sistemi etkileyen akım kaynağı, Josephson Gerilim adımının yakalanmasından sonra sistem bağlantıları çıkarılır. Böylece dizinin tam olarak elektriksel izolasyonu sağlanmaktadır. JEDGS'nin otomatik olması, ölçümlerin birkaç gün aralıksız olarak operatör kontrolü gerekmeden gerçekleştirilmesine imkan tanımaktadır.

Ölçümler ters polaritelerde tekrarlanmakta ve dolayısıyla voltmetre ve kalibre edilen standartdan kaynaklanan offset termal emf'in büyük kısmı bertaraf edilmektedir. Geriye kalan termal emf etkisi ayrıca belirlenerek hesaplamalar ile gerçek sonuç elde edilmektedir.

4. KARŞILAŞTIRMA ÖLÇÜMLERİ

Karşılaştırma ölçümleri UME'ye ait ener diyot yapılı dört adet FLUKE 732B DC Referans Standardı'nın 10V çıkış gerilimlerinin iki laboratuvar tarafından sırayla ölçülmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Zenerlerin aküleri karşılaştırma yapılmadan önce değiştirilmiştir. Ölçümler süresince standartların akülerden kaynaklanan bir problem yaşanmamış ve standartlar tüm ölçümler süresince "in cal" modunda kalmışlardır.

Ölçümler Nisan-Mayıs'98 dönemleri arasında üç haftalık bir süre zarfında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 732B'ler UME'de bir hafta süresince ölçülmüştür. Sonra bu referanslar ölçülmek üzere bir haftalık bir süre için BNM/LCIE'ye (Fransa) götürülmüş ve bu

süreninin sonunda tekrar UME geri getirilerek bir hafta daha ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarlararası standartların taşınması, mekanik şoklardan ve aşırı sıcaklık değişimlerinden etkilenme risklerinin azaltılması amacıyla hava yolu ile bir kişi nezaretinde gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler süresince her iki laboratuvarın ortam sıcaklığı, basıncı ve herbir standardın sıcaklık sensörü değerleri kayıt edilmiştir.

Zenerler UME'ye getirildikten sonra bir gün laboratuvar ortamında ve şarj da bekletilerek iç sıcaklıklarının kararlılığı sağlanmıştır. Ölçümler sırasında 732B'ler aküleri ile beslenmişlerdir. 732B'lerin "Low" terminalleri "guard" a ve buradanda toprağa bağlanmıştır.

BNM/LCIE'deki ölçümlerde de referanslar yine laboratuvara geldikten sonra bir gün süresince laboratuvar ortamında şarj'a alınmışlardır. Ölçümler değişik bağlantı konfigürasyonlarında yapılmıştır. Ölçümlerin bir kısmı referanslar iç aküleri ile beslendiği sırada "Low" terminalleri "guard" terminallerine oradanda toprağa bağlı iken alınırken, bir kısım ölçüm ise cihazlar şebeke geriliminden beslenirken alınmıştır. Bu iki değişik bağlantı için alınan ölçümlerde önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.

5. BELİRSİZLİKLER

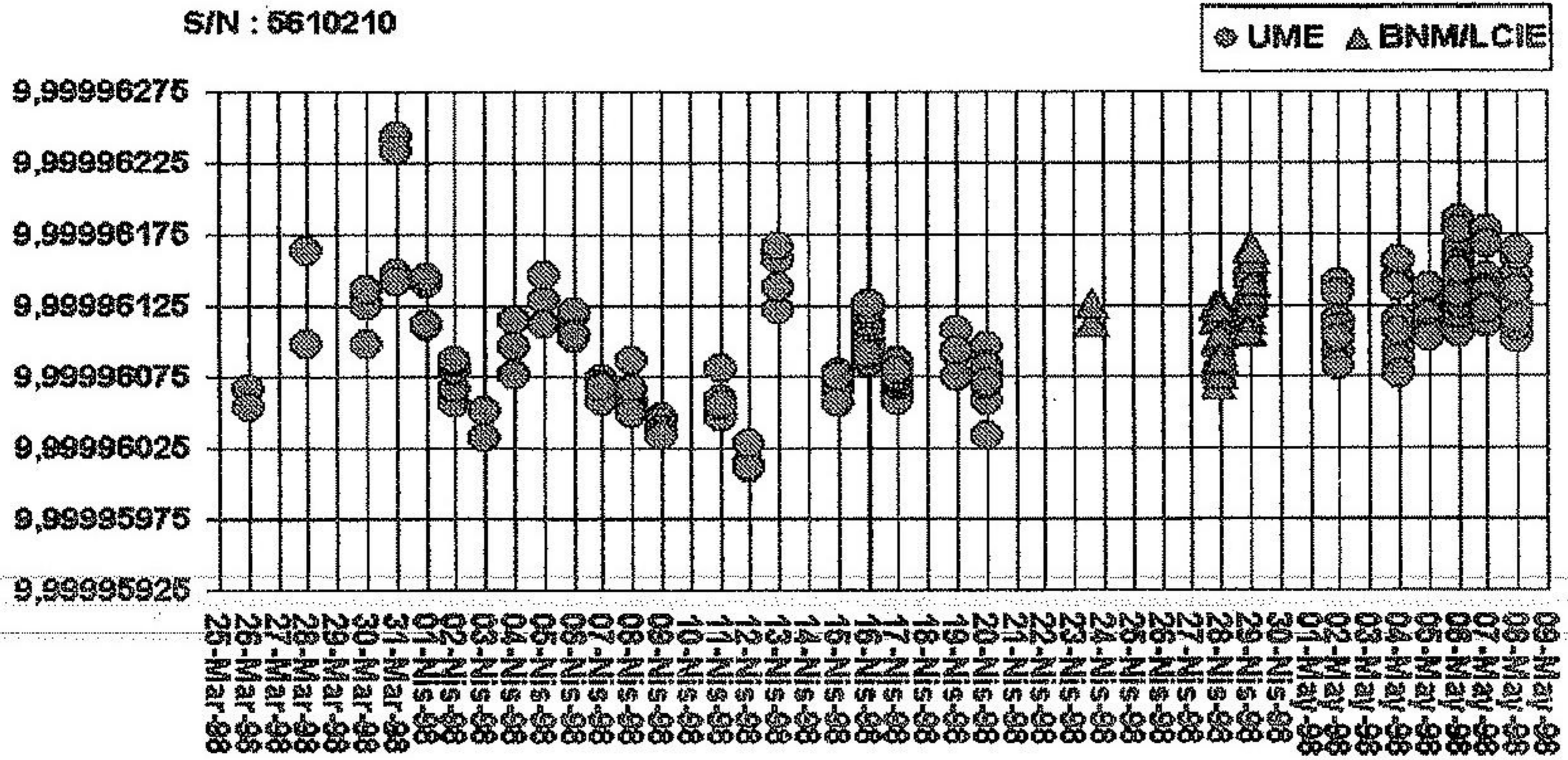
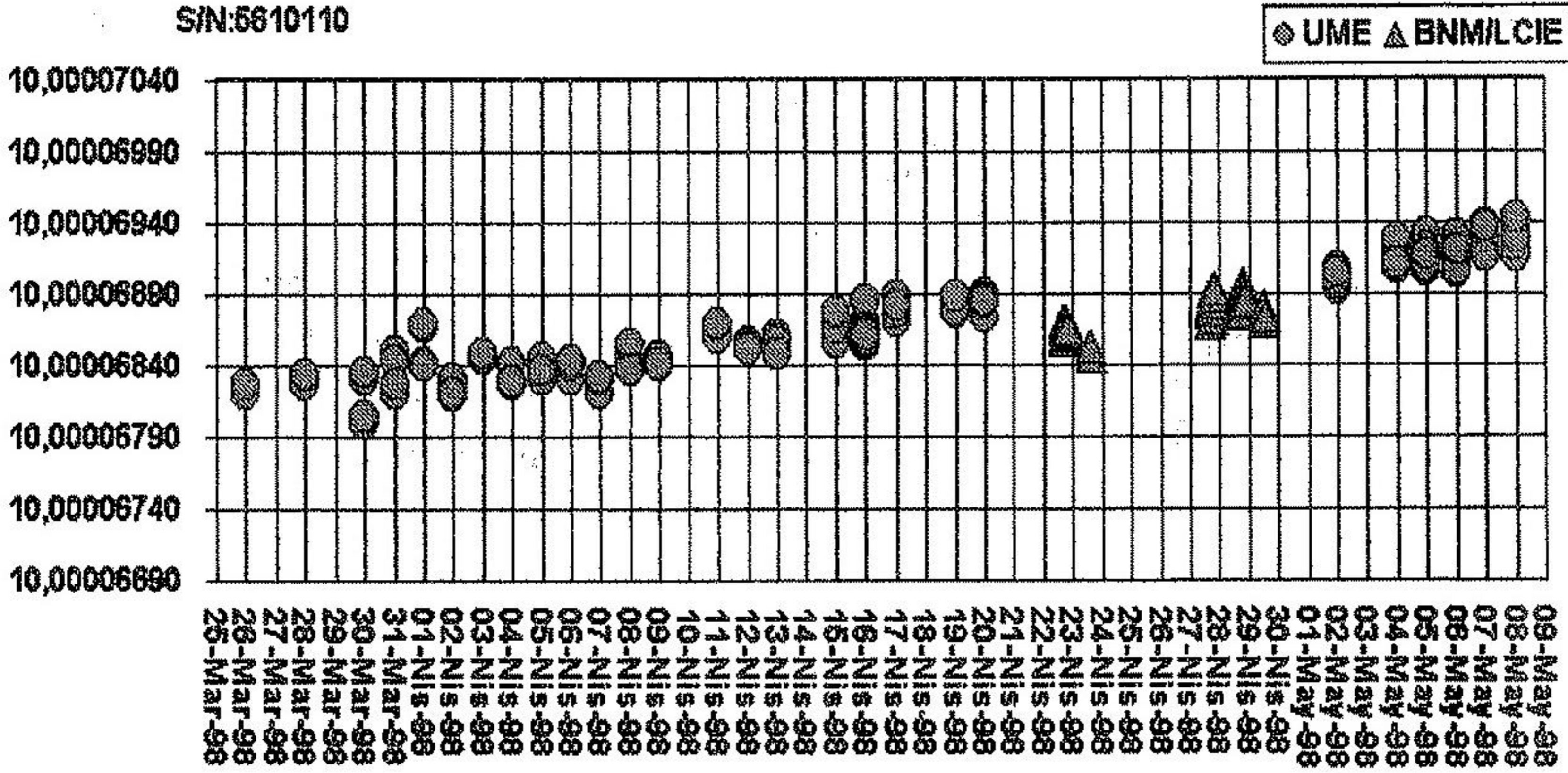
Her iki ülkenin ölçüm sistyemi için tahmin edilen B tipi belirsizlik kaynakları, frekans doğruluğu, kaçak direnç, termal emf ve dedektör' dür. Bu bileşenler için belirsizlik değerleri tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Her bir Josephson Sistemi için B Tipi belirsizlik bileşenleri (1σ)

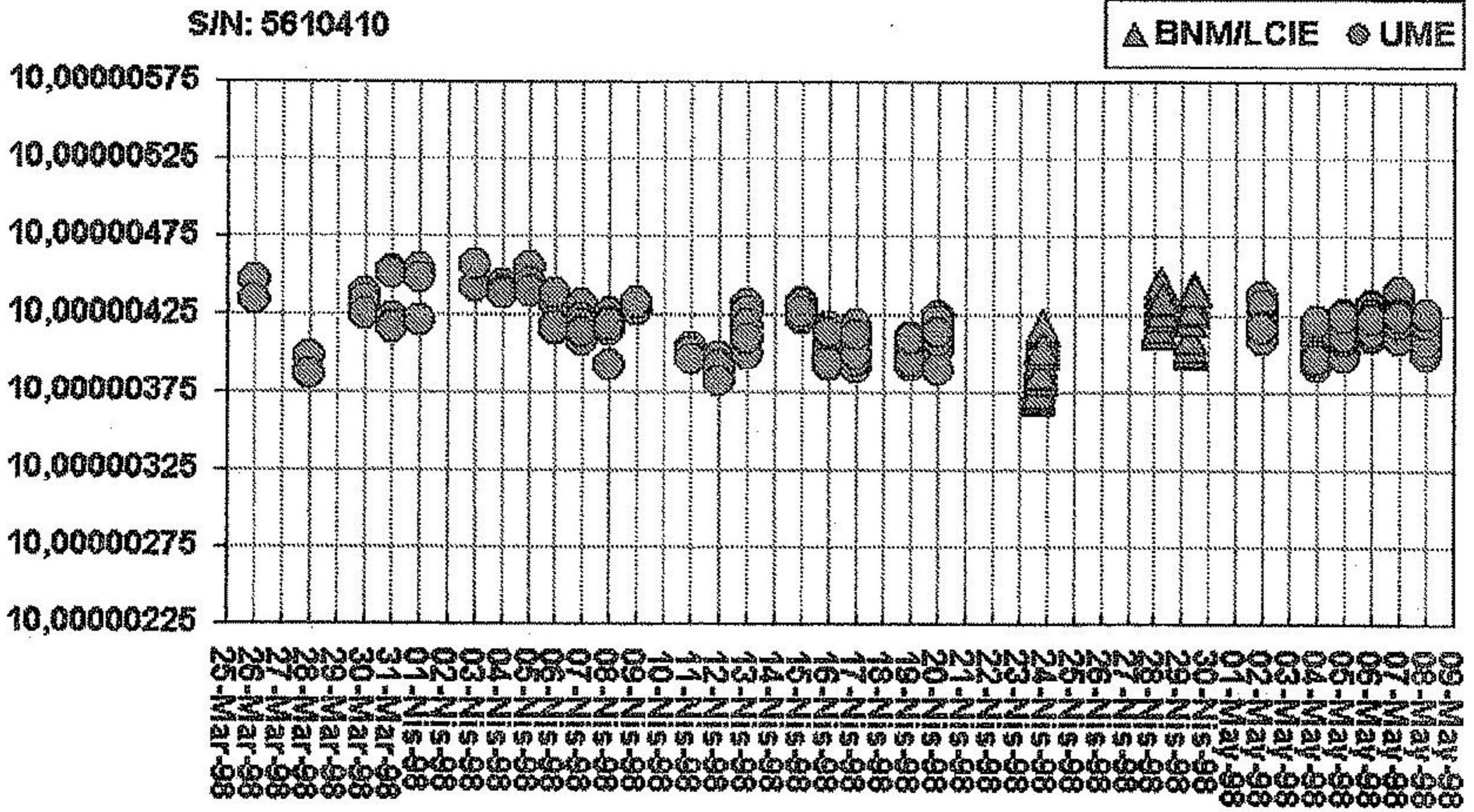
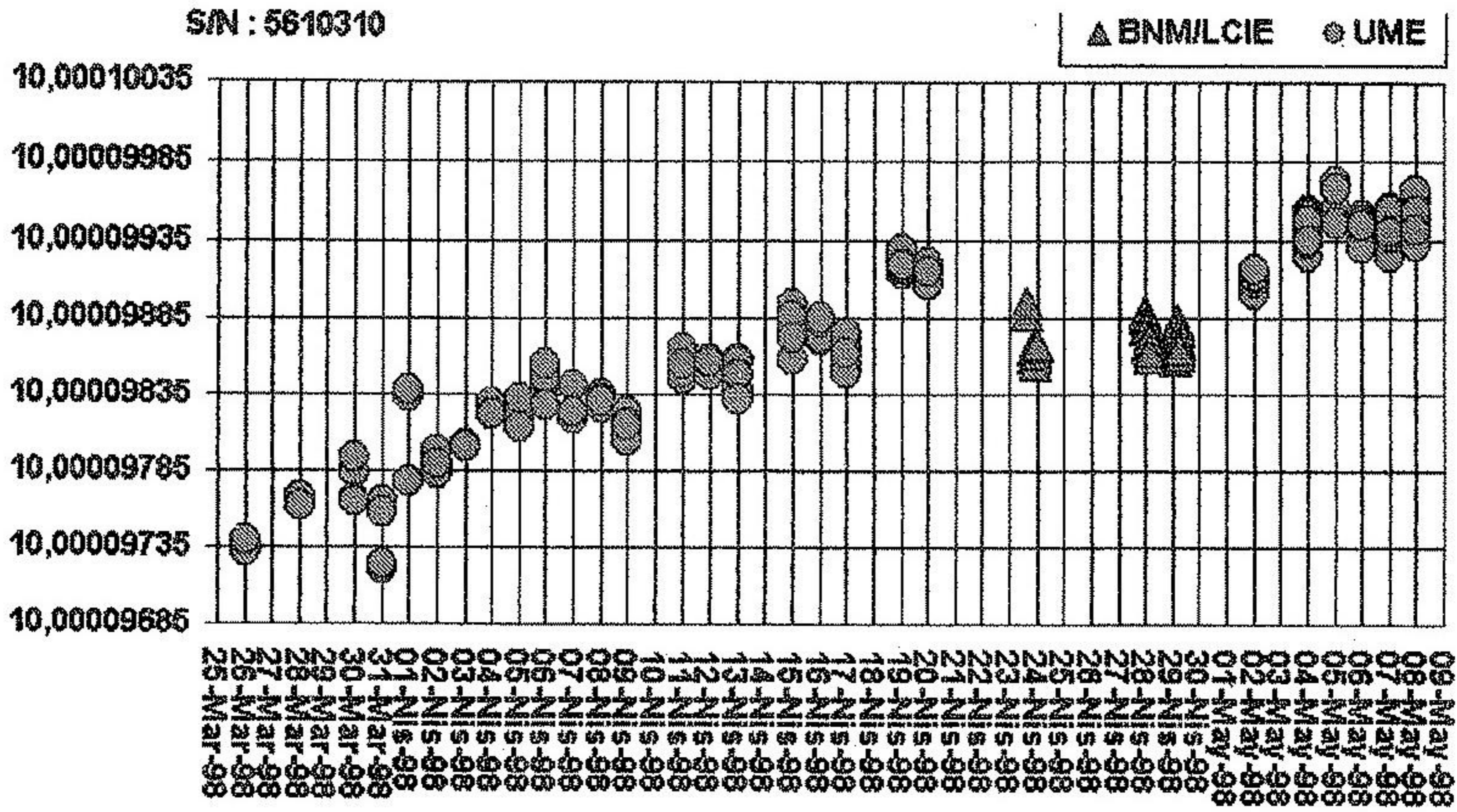
	Belirsizlik/(nV)	
	UME	BNM/LCIE
Frekans	0.5	0.1
Kaçak Direnç	2	1
Dedektör	2	1
Termal EMF'ler	1.5	1
Total (RSS)	3.2	1,7

1. KARŞILAŞTIRMA SONUÇLARI

Herbir Zener için sonuçları gösteren grafikler şekil 2a ve Şekil 2b'de verilmiştir.



Şekil2a- 5610110ve 5610210 seri numaralı Zenerler için ölçüm sonuçları



Şekil2b 5610310 ve 561410 seri numaralı Zenerler için ölçüm sonuçları

Karşılaştırma sonuçları doğrusal en küçük kareler uydurma metodu kullanılarak analiz edilmiştir. FLUKE 732B'lerin herbiri için BNM/LCIE'de gerçekleştirilen ölçümleri kullanılarak zamanla değişim sabitleri belirlenmiştir. Referansların UME Laboratuvarında ölçümlerinin gerçekleştirildiği tarih ve saatlerde ölçümlerinin BNM/LCIE'de gerçekleştirilmiş olması durumunda ölçülebilecek tahmini gerilim değerleri, zaman sabitleri kullanılarak hesaplanmış ve aynı saatteki UME'de ölçülen değerleri ile aralarındaki farklar belirlenmiştir. Karşılaştırma ölçüm sonucu her ölçülen standart için, bu farkların ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Referansların herbirine karşılık gelen toplam A tipi belirsizlik UME ölçümleri ile ilişkili doğrusal interpolasyonlar referans alınarak UME sonuçlarının A Tipi belirsizliklerinin ve BNM/LCIE sonuçlarının A Tipi belirsizliklerinin kuadratik toplamları alınarak bulunmuştur. Herbir 732B referans standardın karşılaştırma sonuçları, dolayısıyla UME ve BNM/LCIE Josephson Eklem Dizisi Gerilim Standartlarının arasındaki gerilim farkları ($U_{UME} - U_{BNM/LCIE}$) ve A Tipi belirsizlikleri (1σ) Tablo 2'de verilmiştir.