

# MİKROFON ÖNYÜKSELTEÇLERİNİN FREKANS TEPKİSİNE MİKROFON KAPASİTANSI ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

**Eyüp BİLGİÇ**  
**Gülay GÜLMEZ**

## ÖZET

Kapasitif mikrofonlar; kararlılık, doğrusallık, geniş frekans ve dinamik bölgelerinde kullanılabilme özellikleri nedeni ile ses basınç düzeyi ve ses şiddet düzeyi ölçümlerinde tercih edilmektedir. Kapasitif mikrofonların yapısı gereği yüksek empedans değerleri, bağlı oldukları ön yükselteçler aracılığı ile düşük empedansa dönüştürülür; böylelikle mikrofonların maruz kaldıkları ses basıncına karşılık üretmiş oldukları elektriksel sinyaller ölçülebilir. Ölçme amacına göre mikrofon ve mikrofon ön yükselteçleri uygun olarak eşleştirilmelidir. Genel olarak mikrofon ön yükselteçlerinin, kendilerine takılı olan mikrofonların ürettiği sinyallere herhangi bir kazanç ve/veya filtreleme yapması beklenmez. Ancak, mikrofon ön yükselteçlerinin düşük frekans bölgesindeki frekans tepkileri, takılı mikrofon kapasitansına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu bildiride, mikrofon ön yükselteçlerinin, mikrofon kartuşları yerine kullanılabilen farklı kapasitans değerine sahip mikrofon simülatörü kullanılarak yapılan kalibrasyonları ve sonuçları sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akustik, Kapasitif Mikrofon, Mikrofon Ön yükselteci, Frekans Tepkisi

## ABSTRACT

Condenser microphones are preferred in sound pressure level and sound intensity level measurements because of their properties such as stability, linearity and usability in wide frequency and dynamic range. High impedance value of the condenser microphones, due to their mechanical structure, is converted to low impedance by the preamplifiers they are connected, thus the electrical signals generated by the microphones in response to the sound pressure they are subjected to can be measured. The microphone and microphone preamplifiers must be matched for the purpose of the measurement. In general, microphone preamplifiers are not expected to gain and/or filter any signals generated by the microphones attached to them. However, the frequency responses of the microphone preamplifiers in the low frequency region may vary depending on capacitance of the microphone attached. In this paper, calibration and results of microphone preamplifiers using a microphone simulator with different capacitance values that can be used instead of microphone cartridges is presented.

**Key Words:** Acoustics; Condenser Microphone, Microphone Preamplifier, Frequency Response.

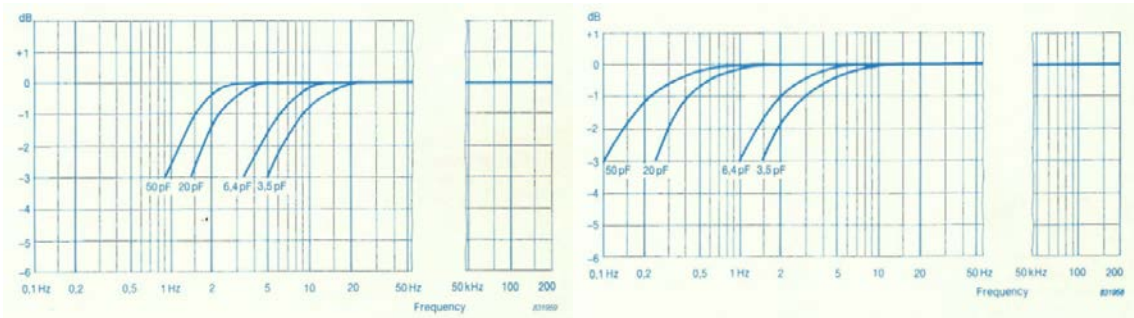
## 1. GİRİŞ

Ses ve gürültü ölçümlerinde, farklı yapısal özelliklere sahip mikrofonlar kullanılmaktadır. Mikrofonların çalışma prensiplerine bağlı olarak gerilim kaynakları, direnç köprüleri, gerilim ölçme devreleri vb cihaz ve elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Metrolojik amaçlı ses ve gürültü ölçümlerinde kullanılan kapasitif mikrofonların özellikleri ve kalibrasyon yöntemleri "IEC 61094 Measurement Microphones" isimli standardın Bölüm 1 – Bölüm 8'de tanımlanmıştır. Bu standartlarda, mikrofonlara takılan mikrofon ön yükselteçlerinin hem mekanik hem de bazı elektriksel özellikleri de ayrıca tanımlanmıştır. Kapasitif

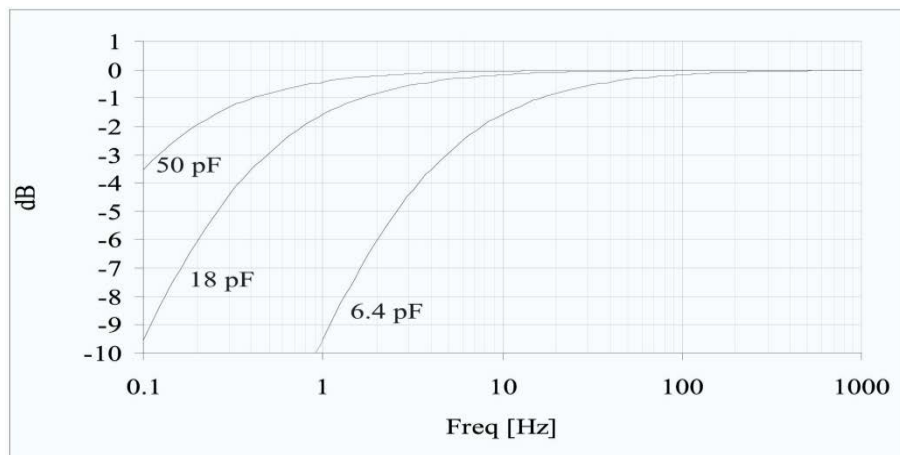
mikrofon, ses basıncı etkisi altında iken diyaframına etkileyen basınç etkisi ile yük ve dolayısı ile gerilim oluşturur. Oluşan bu gerilim, mikrofon kapsülünün (cartridge) bağlı olduğu ön yükselteç aracılığı ile ölçüm ve analiz sistemlerine aktarılır. Ölçülebilen minimum ve maksimum ses basınç düzeyi değeri, sadece mikrofon kapsülüne bağlı olmayıp, mikrofon ön yükseltecine de bağlıdır. Mikrofon ön yükselteci kimi zaman ölçülen ses basıncı ve frekans aralığını (dinamik bölge) kısıtlamaktadır. Kullanışlı ölçüm aralığı için üreticiler, hem mikrofon hem de ön yükselteçlerin özellikleri değerlendirilerek belirli eşleştirmeler yapmaktadırlar. Genel olarak mikrofon ön yükselteçlerinin, kendilerine takılı olan mikrofonların ürettiği sinyallere herhangi bir kazanç ve/veya filtreleme yapması beklenmez. Ancak, mikrofon ön yükselteçlerinin düşük frekans bölgesindeki frekans tepkileri, takılı mikrofon kapasitansına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu bildiride, mikrofon ön yükselteçlerinin, mikrofon kartuşları yerine kullanılabilen farklı kapasitans değerine sahip mikrofon simülatörü kullanılarak yapılan kalibrasyonları ve sonuçları sunulmaktadır.

## 2. MİKROFON ÖN YÜKSELTECİ ve FREKANS TEPKİSİ

Kapazitif mikrofonların elektriksel uçlarındaki empedans çok büyük olduğundan, ses basıncı etkisi altında ürettiği gerilim doğrudan ölçülemez. Empedans uyumlaştırması için mikrofon ön yükselteci adı verilen elemanlar kullanılmaktadır. Ön yükselteçlerin frekans bağımlılığının olmaması diğer bir deyişle tepkilerinin frekansa göre değişmemesi ve gelen sinyal üzerinde kazanç veya zayıflatma yapmaması beklenir. Ön yükselteç üreticileri, ürünlerinin teknik özelliklerini kullanım kılavuzlarında ve ayrıca internet sayfalarında kullanıcılar ile paylaşmaktadır. Mikrofon ön yükselteçlerinin, uçlarına bağlanan mikrofonların kapasitans değerlerine bağlı olarak verilen frekans tepkilerine örnek olması için Şekil 1 ve Şekil 2'deki üretici bilgileri verilebilir.



Şekil 1. Mikrofon ön yükselteci frekans tepkisi, [1] solda B&K Tip 2645, sağda B&K Tip 2639

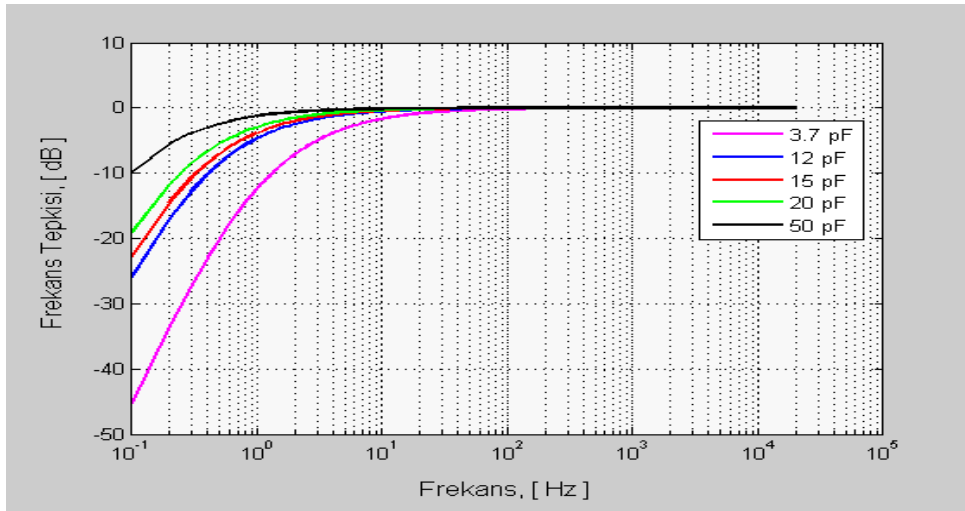


Şekil 2. Mikrofon ön yükselteci frekans tepkisi, GRAS Tip 26AG [2]

### 3. MİKROFON ÖN YÜKSELTECİNİN KALİBRASYONU

Şekil 1 ve 2'den görüleceği üzere mikrofon ön yükselteçlerin frekans tepkisi, diğer bir deyişle transfer fonksiyonu olarak adlandırılan bu özellik üreticiye ve modele göre değişiklik göstermektedir. Mikrofon ön yükselteçlerin girişlerine uygulanan sinyal bilindiği takdirde çıkışından ölçülen sinyal ile frekans tepkileri elde edilebilir dolayısı ile kalibrasyonları yapılabilir. Normal kullanım koşullarında ön yükselteç, kapasitif mikrofonla birlikte kullanılmaktadır. Bu bağlantı şekli ile ortamdaki ses basınç sinyallerine karşılık mikrofon kartuşu, ön yükseltece elektriksel sinyaller uygulamaktadır. Mikrofon kapasitif özellik gösterdiğinden, mikrofon kartuşunun ön yükseltece mekanik bağlandığı gibi bağlanabilen bir kapasitör, frekans tepkisi ölçümlerinde kullanılabilir.

Üreticiler mikrofon da dahil olmak üzere tüm ölçüm zincirinin durumunu test etmek için ölçme yöntemleri geliştirmişlerdir. Bunlardan birisi de Yük Enjeksiyonu Kalibrasyon (Charge Injection Calibration) tekniğidir [3]. Diğer taraftan mikrofon hassasiyetini elde etmek için Eşdeğer Gerilim Yöntemi (Insert Voltage Technique) de kullanılmaktadır [3]. Akustik ve titreşim alanında kullanılan sinyal şartlandırıcıların kalibrasyonlarına yönelik TÜBİTAK UME'de yapılan çalışmalarla ilgili teknik raporlar hazırlanmış ayrıca çeşitli kongrelerde sunulmuştur [4-6]. Kaynak [3]'te verilen eşitlikler incelenmesi sonrasında, kullanılan mikrofon ön yükseltecinin frekans tepkisi için teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, ön yükseltecin giriş kapasitansı yaklaşık 0,3 pF, direnci yaklaşık 50000 GΩ alınmıştır. Mikrofonları simüle etmek için 3,7 pF, 12 pF, 15 pF, 20 pF ve 50 pF değerlerine sahip mikrofon adaptörleri kullanılmıştır. Matlab yazılımı kullanılan hesaplamalarda elde edilen frekans tepkisi eğrisi Şekil 3'te verilmiştir.



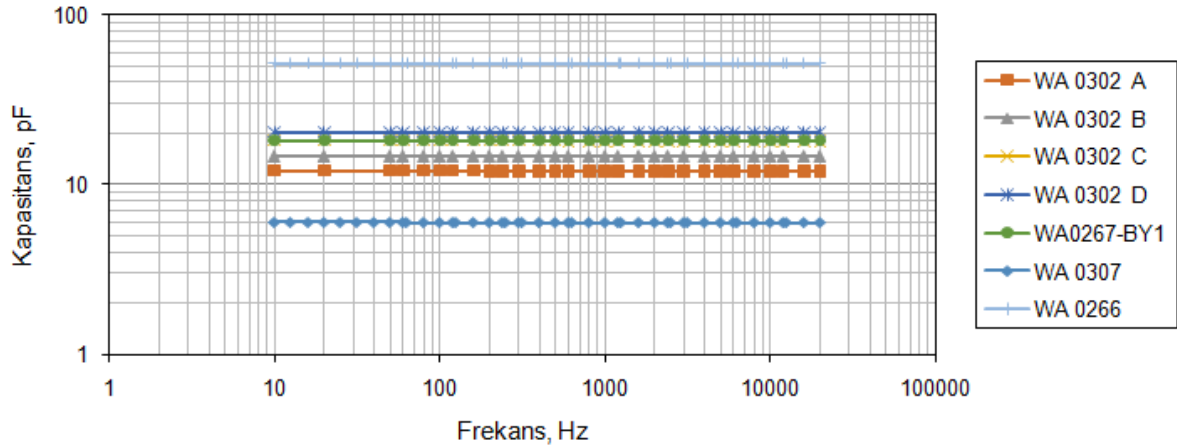
Şekil 3. Farklı mikrofon kapasitansına karşılık mikrofon ön yükseltecinin hesaplanan frekans tepkileri

TÜBİTAK UME'de mikrofon ön yükselteçlerin frekans tepkisini elde etmek diğer bir deyişle kalibrasyonlarını yapmak için ölçüm düzeneği kurulmuştur. Ölçüm düzeneğinde, Kararlı sinüzoidal sinyal üretebilen sinyal kaynağından elektriksel sinyaller ön yükseltece bağlı olan mikrofon adaptörlerine uygulanmaktadır. Mikrofon adaptörü ve mikrofon ön yükseltecin bağlı olduğu durum Şekil 4'de verilmiştir. Mikrofon adaptörüne uygulanan girişi gerilimi ve mikrofon ön yükseltecinin çıkışındaki gerilim HP 3458A ve Agilent 3458A Sayısal voltmetreleri ile ölçülmektedir. Çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranı temel olarak ön yükseltecin frekans tepkisini oluşturmaktadır.



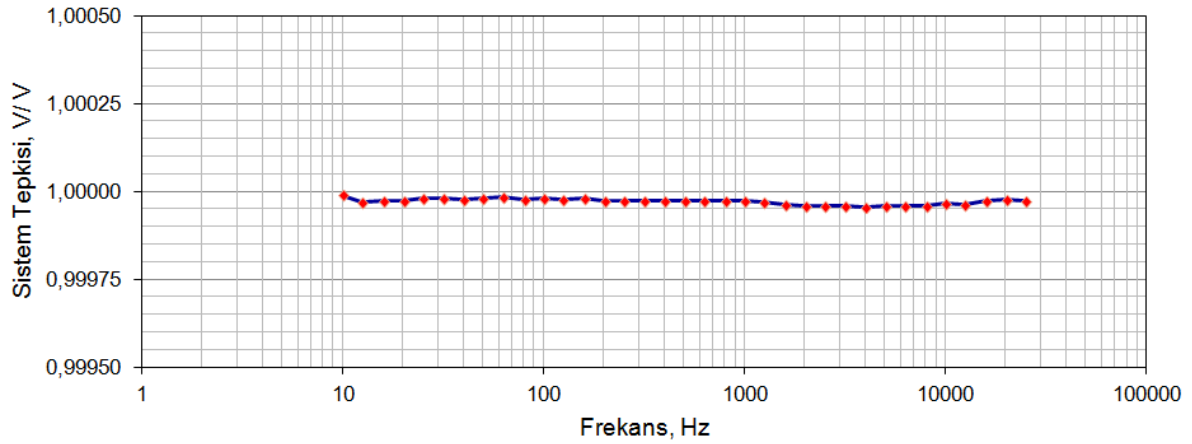
**Şekil 4.** Frekans tepkisi ölçümleri için mikrofon adaptörü ve ön yükseltecin bağlı olduğu durum

Ön yükselteçlerin frekans tepkisi ölçümlerinde farklı kapasitans değerlerine sahip mikrofon adaptörleri kullanılmıştır. Bu adaptörlerin frekans bağımlılıklarını incelemek için TÜBİTAK UME Empedans Laboratuvarı'nda kalibrasyonları yaptırılmıştır. Kalibrasyon sonucunda elde edilen kapasitans değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Mikrofon adaptörlerinin nominal kapasitans değerleri WA 0302A = 12 pF, WA 0302B = 15 pF, WA 0302C = 18 pF, WA 0302D = 20 pF, WA0267 = 18,2 pF, WA 0307 = 5,98 pF ve WA0266 = 51,72 pF'tir.



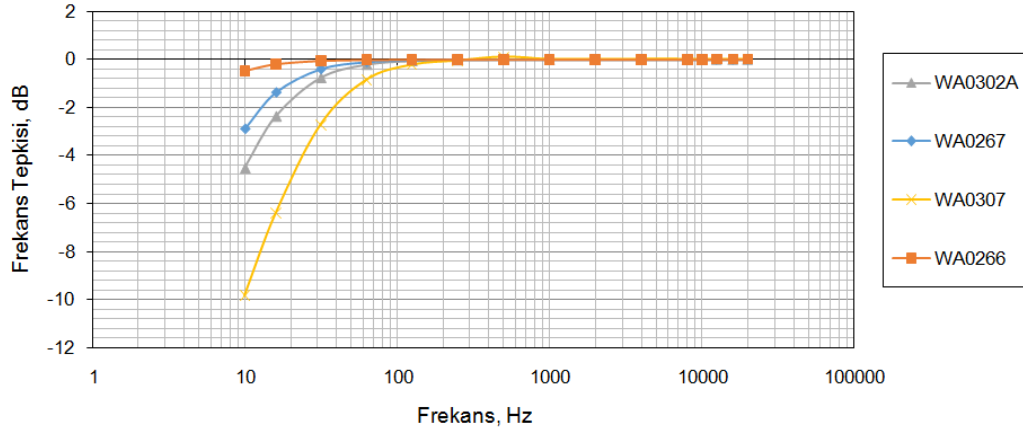
**Şekil 5.** Değerleri 6 pF – 50 pF aralığında değişen mikrofon adaptör kapasitansının frekans bağımlılıkları

Mikrofon ön yükseltecinin çıkışı, 7 pinli ön yükselteç kablosu ile birlikte bir besleme kaynağına bağlanmıştır. Bu kaynak, ön yükselteci çalışabilmesi için gerekli olan besleme gerilimini sağlamaktadır. Mikrofon adaptörüne uygulanan sinyal, ön yükselteçten geçtikten sonra besleme kaynağından çıkmaktadır. Besleme kaynağının ölçümler üzerindeki tepkisini görmek özel bir kablo kullanılarak, 7 pinli besleme kaynağı giriş soketine, sadece ön yükseltecin çıkış sinyalinin bağlandığı ucuna 10 Hz – 25 kHz aralığında 50 mV sinyal uygulanarak çıkışındaki gerilim değeri ölçülmüştür. 50 mV/Pa hassasiyetine sahip bir mikrofon kapsülüne 94 dB re 20 µPa ses basınç düzeyi uygulanırsa 50 mV değerinde sinyal üreteceğinden besleme kaynağının sistem tepkisi 50 mV değerindeki sinyallerle yapılmıştır. 1 V değerindeki sinyaller de kullanılabilir. Ölçümlerde kullanılan besleme kaynağının sistem tepkisi Şekil 6'da verilmiştir.



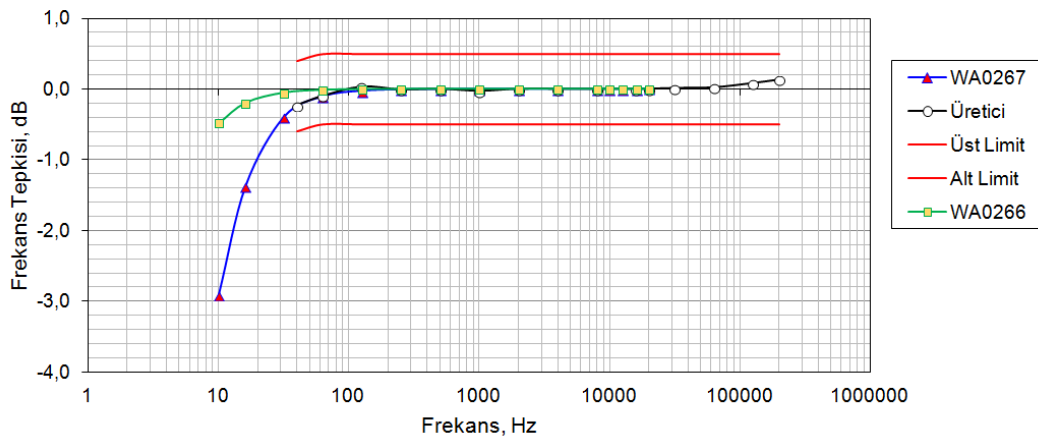
**Şekil 6.** Ön yükselteci gerekli olan besleme gerilimini sağlayan kaynağının ön yükselteç çıkış gerilimi ölçümlerinde kullanılan giriş ve çıkış uçları için sistem tepkisinin frekans bağımlılığı

TÜBİTAK UME Akustik Laboratuvarında 10 Hz – 20 kHz aralığında yapılan ön yükselteç frekans tepkisi ölçüm sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.



**Şekil 7.** Ön yükseltecin farklı mikrofon adaptörleri kullanılarak elde edilen frekans tepkileri

TÜBİTAK UME'de kalibre edilen mikrofon ön yükselteci frekans tepkisi sonuçları ve bununla aynı model ancak farklı bir ön yükseltecin, üreticisi tarafından yapılan akredite kalibrasyon sonuçları Şekil 8'de sunulmuştur.



**Şekil 8.** Aynı model ön yükseltecin TÜBİTAK UME ve Üreticisi tarafından yapılan kalibrasyonlarından elde edilen frekans tepki değerleri

## SONUÇ

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde bulunan bir adet ön yükseltecin kalibrasyonu yapılmış ve frekans tepkisi değerleri, farklı kapasitans değerlerine sahip mikrofon adaptörleri için elde edilmiştir. Buna göre:

Teorik hesaplama sonuçlarının verildiği Şekil 3 ile deneysel ölçüm verilerinin verildiği Şekil 7 karşılaştırılırsa her iki sonucun benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Düşük frekans bölgesindeki ölçümler, teorik değerlerden kısmen sapma göstermektedir.

Diğer taraftan Şekil 8'de verilen sonuçlar sadece merteye olarak değerlendirildiğinde, ön yükselteç frekans tepkilerinin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları görülmektedir.

Ön yükselteçlerin düşük frekans bölgesindeki tepkileri, kendilerine takılan mikrofonların dolayısı ile mikrofon adaptörlerinin kapasitörlerine bağlı olarak değişenlik göstermektedir. Bu nedenle ön yükselteçlerin kalibrasyonları yapılırken, bu ön yükselteçle birlikte kullanılan mikrofon kapasitans değerinin dikkate alınması gereklidir. Buna yönelik bir bilgi bulunmaması durumunda ise büyük kapasitans değerine sahip mikrofon adaptörünün kullanımı tercih edilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Master Catalogue, Brüel & Kjaer, May 1989
- [2] <https://www.gras.dk/products/calibration-equipment/preamplifiers/product/214-26ag>
- [3] <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp1422.ashx>
- [4] Bilgic, E., Turhan, E. "Yük Tipi Şartlandırıcı Yükselteç Kalibrasyon Yöntemleri ve TÜBİTAK ÜME'de Gerçekleştirilen Kalibrasyonları", 10. Ulusal Akustik Kongresi, İstanbul(16-17/12/2013):9 s.
- [5] Bilgic, E., Gul, E. "Yük Tipi Şartlandırıcı Yükselteçlerin Dönüştürücü Hassasiyeti Kademelerinin Ölçümleri", Gebze : Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarı, 2016
- [6] Bilgic, E., N. Alsubaey, F., A. Aladhyani, I., Sadikoglu, E., Kirbas, C. "Current Situations on Vibration Field at NMCC and Calibration of Signal Conditioner ", IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference, Helsinki (30/05-01/06/2017) : 4 p.

## ÖZGEÇMİŞ

### Eyüp BİLGİÇ

1966 yılı Ankara doğumludur. 1988 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendislik Bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Anadolu Üniversitesi'nden Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden Doktor ünvanı almıştır. 1991 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarında çalışmaktadır. Halen Akustik Laboratuvarı sorumlusu, TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde Baş denetçi, teknik alanda denetçi olarak görev yapmaktadır.

### Gülay GÜLMEZ

1969 yılında Karaman'da doğdu. 1992 yılında Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1992 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde araştırmacı olarak çalışmaktadır. Empedans metrolojisi, primer seviyede indüktans, kapasitans AC direnç, DC Direnç, indüktif gerilim bölücü ölçüm sistemlerinin gerçekleştirilmesi alanlarında çalışmaktadır. 20'nin üzerinde makalesi mevcuttur. TCEM Teknik komitesinde empedans alanında teknik denetçi olarak görev almaktadır aynı zamanda Türk Akreditasyon Kurumu'nda Elektrik alanında teknik denetçi ve baş denetçi olarak çalışmaktadır.