

LAZER DALGABOYU STANDARDI ATOMİK GAZ SICAKLIK ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

Yücel DENİZ
Adem GEDİK
Ersoy ŞAHİN
Nazmi EKREN
Ahmet Fevzi BABA

ÖZET

Bu çalışmada; TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiş, uzunluk ve boyutsal ölçümlerinde kullanılan $\lambda = 780$ nm dalga boylu taşınabilir ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb küvet sıcaklık kontrol devre tasarımının nasıl gerçekleştirildiği sunulmuştur. ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb küvet sıcaklık kararlık değeri 16 saat süresince ölçülmüş ve tepeden tepeye 1 mK değiştiği gözlemlenmiştir. Yapılan frekans kararlığı ölçümleri ile ulusal dalga boyu standartları frekans kararlığı 1s ile 16 saat zaman aralığında $5.5 \times 10^{-12} \tau^{-1/2}$ olarak belirlenmiştir [1].

Anahtar Kelimeler: Dalga boyu standardı, frekans kararlığı, ^{87}Rb küvet sıcaklığı.

ABSTRACT

In this study, how to ^{87}Rb cell temperature control circuit design of the $\lambda = 780$ nm portable national wavelength standards used in length and dimensional measurements was realized at TUBITAK National Metrology Institute, is presented. The temperature stability of ^{87}Rb cell temperature control of national wavelength standards were measured during to 16 hours and it were observed 1 mK peak to peak. With frequency stabilization measurements the frequency stabilization value of national wavelength standards was defined $5.5 \times 10^{-12} \tau^{-1/2}$ integration times 1s to 16 hours.

Key Words: Wavelength standard, frequency. stabilization, temperature of ^{87}Rb cell

1. GİRİŞ

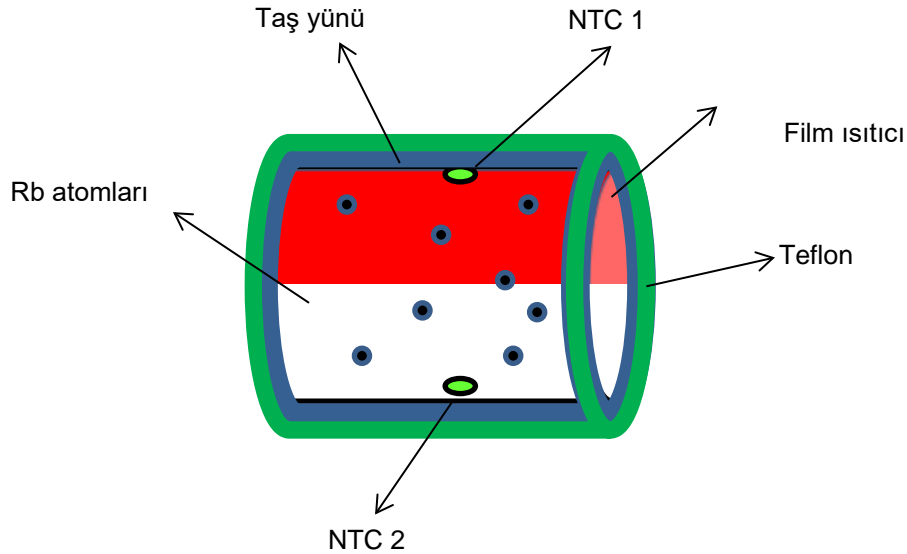
Uzunluk ve boyutsal ölçümleri frekansı kararlı hale getirilmiş, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nun (Bureau International des Poids et Mesures ,BIPM) tanımı doğrultusunda gerçekleştirilmiş dalga boyu standartları ile interferometrik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmektedir [2]. Serbest halde çalışan bir lazer ile hassas uzunluk ve boyutsal ölçümlerini gerçekleştirmek mümkün değildir. Lazerlerin frekansı çeşitli yöntemler kullanılarak kararlı hale getirilmelidir [3]. TÜBİTAK UME'de kurulmuş 780 nm dalga boyunda çalışan taşınabilir ulusal dalga boyu standardı; ^{87}Rb atomlarının d/f enerji geçişine kilitleyerek frekansı kararlı hale getirilmiştir. Lazer frekans kararlığı oluşumunu gerçekleştirmek için, lazer ışınımı sıcaklık kontrollü cam küvet içerisinde yer alan ^{87}Rb atomları ile etkileşime sokulmuş ve etkileşim sonucunda absorpsiyon sinyali Doppler – altı doyum soğurum spektroskopisi [4] yöntemi kullanılarak fotodetektör üzerinden algılanmıştır. Algılanan sinyal (hata sinyali) dalga boyu standardının frekansını kararlı hale getirmekte kullanılmıştır.

Lazerin frekansını kararlı hale getirmekte kullanılan hata sinyalinin dış ortamdaki sıcaklık değişiminden etkilenmesi, lazer frekans kararlılığını bozucu yönde etki gösterir. Örneğin dış ortamdaki sürekli artan veya azalan sıcaklık değişimi, hata sinyalinde de değişimine sebep olur ve bu durum lazer frekansında aynı yönde sürüklenmesine (temperature drift) neden olmaktadır. Yine dış ortamdaki sıcaklık dalgalanmaları, hata sinyalinin de dalgalanmasına dolayısıyla da lazer frekansında dalgalanmalara (temperature fluctation) neden olmaktadır. Bu her iki etkiden kurtulmak ancak ^{87}Rb atomlarının sıcaklık kontrolünün yapılması ile mümkün olur.

TÜBİTAK UME'de kurulmuş olan iki adet ulusal dalga boyu standardının sıcaklık kontrolü Oransal-integral - türev (Proportional Integral Derivative, PID) kontrol döngü yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile BIPM'in tanımı doğrultusunda dalga boyu standartlarının gerçekleştirilmesi için ^{87}Rb küvet sıcaklıkları: $23.3\text{ }^\circ\text{C}$ 'de kararlı hale getirilmiştir.

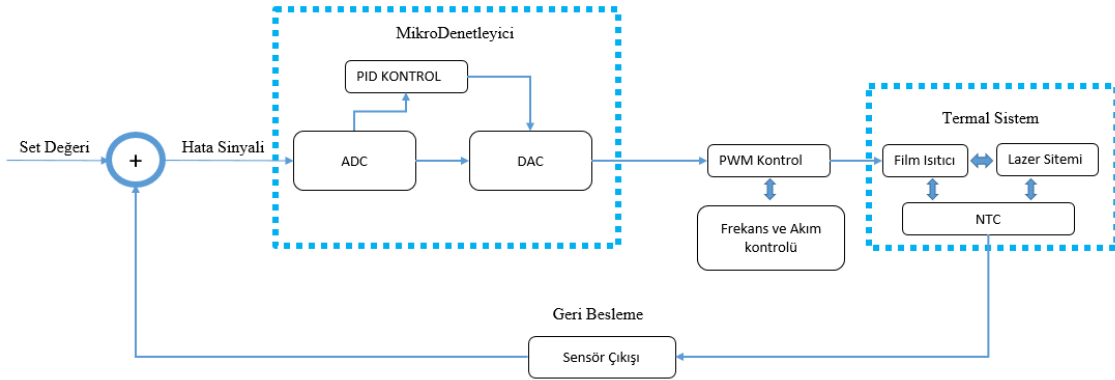
2. ATOMİK GAZ SICAKLIK ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI

Silindirik geometriye sahip cam hücre içerisinde yer alan ^{87}Rb atomlarının sıcaklık kontrolünü gerçekleştirmek için, cam hücrenin yüzeyinin yarısını kaplayacak biçimde ısıtıcı film ile kaplanmıştır. Cam hücrenin boyunun tam ortasına gelecek şekilde film ısıtıcının üzerine bir adet, bir diğeri de cam hücrenin boş kalan kısmına gelecek ikinci bir termistör (Negative Temperature Coefficient, NTC) yapıştırılmıştır. Film ısıtıcının üzerinde olan NTC 1 ile istenilen sıcaklık ayar değeri belirlenirken, cam hücrenin boş yüzeyinde yerleştirilmiş NTC 2 ile ise PID ayar değerleri ayarlanarak sıcaklık kararlılığını sağlamak ve ölçmek için kullanılmıştır. Cam hücrenin film ısıtıcı ile kaplanmış yüzeyi 1 cm kalınlığında sıcaklık izolasyon malzemesi (taş yünü) ile kaplanmıştır. Bu yapıya sahip cam hücre et kalınlığı 1 cm olan, silindirik geometriye sahip teflon içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 1).



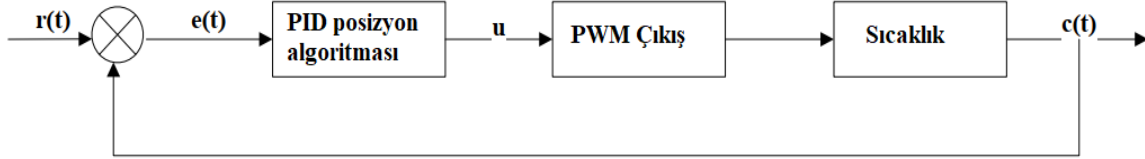
Şekil 1. ^{87}Rb Cam Hücre Sıcaklık İzolasyon Fiziksel Yapısı

Ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb Cam Hücre sıcak kontrol devre blok şeması şekil 2'de yer almaktadır. Sıcaklık kontrol çalışma prensibi; sıcaklık verisinin gerçek zamanlı olarak NTC 2'den ölçülmesi, mikrodenetleyici ile ADC (Analog to Digital Converter) örnekleme, sonrasında PID algoritması ve Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM) kontrol devresi katlarından geçerek, film ısıtıcıya iletilecek akımın gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi olarak ifade edilebilir.



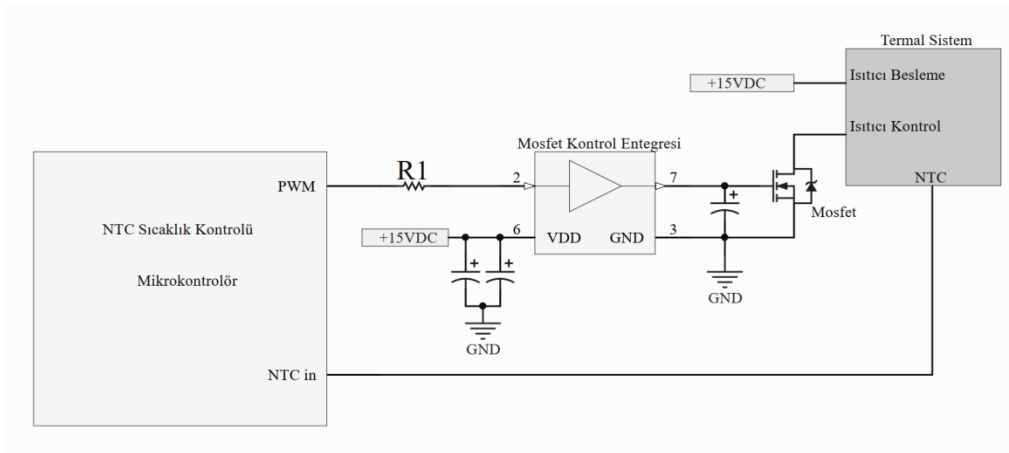
Şekil 2. Termal Sistem Genel Blok Diyagramı

Blok diyagramda yer alan mikro denetleyici geliştirme kartı ile sistem üzerinden sıcaklık sensörü (NTC 2) ile sistemin mevcut sıcaklık değeri okunmaktadır. Bu okunan değer mikrodenetleyici üzerinde sayısal olarak gerçekleştirilmiş PID denetleyicisi algoritması ile gerekli hesaplamalar yapılarak sistemin ihtiyacı olan Darbe Genişlik Modülasyonu hassas bir şekilde üretilmektedir. Üretilen bu kare dalga ile sistemin ısıtıcısının sürekli olarak kontrolünü sağlamaktadır. Bu işlemler sonucunda sistemin sıcaklığının istenilen değerde ve kararlı kalması sağlamaktadır (Şekil 3). Sıcaklık kontrol PID örnekleme hızı 5 Hz çalışma frekansına sahiptir, katsayıları $K_p = 25.0$ ve $K_i = 2.0$ olarak belirlenmiştir. Sistemimizde K_d kullanılmamıştır.



Şekil 3. PID Kontrol Ünitesi

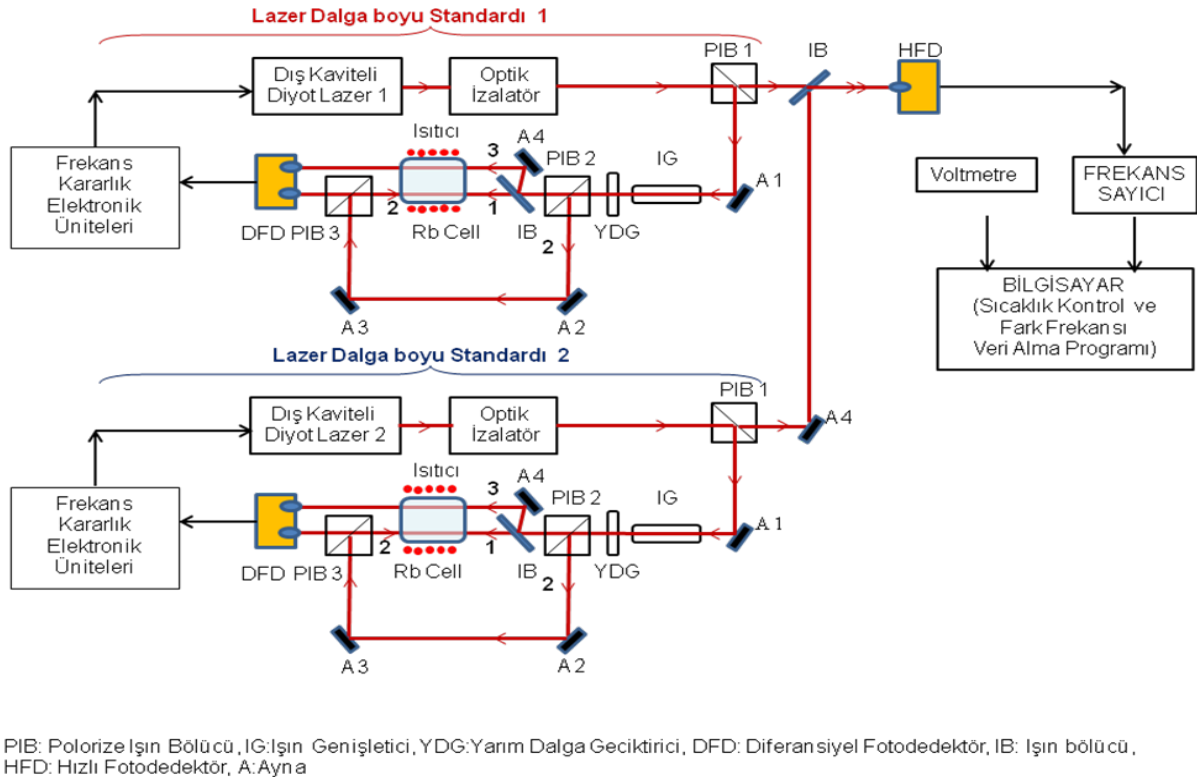
Blok şemada yer alan PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) kontrol devresinin amacı microdenetleyici DAC çıkışından gelen sinyali devre üzerindeki mosfet sürücü entegresi üzerinden mosfetin gate ayağına ileterek mosfetin bu kontrol sinyali ile ısıtıcı sisteminin güç beslemesinin sürekli bir şekilde kontrol edilmesinin sağlanmasıdır (Şekil 4).



Şekil 4. PWM Kontrol Devresi Genel Şematığı

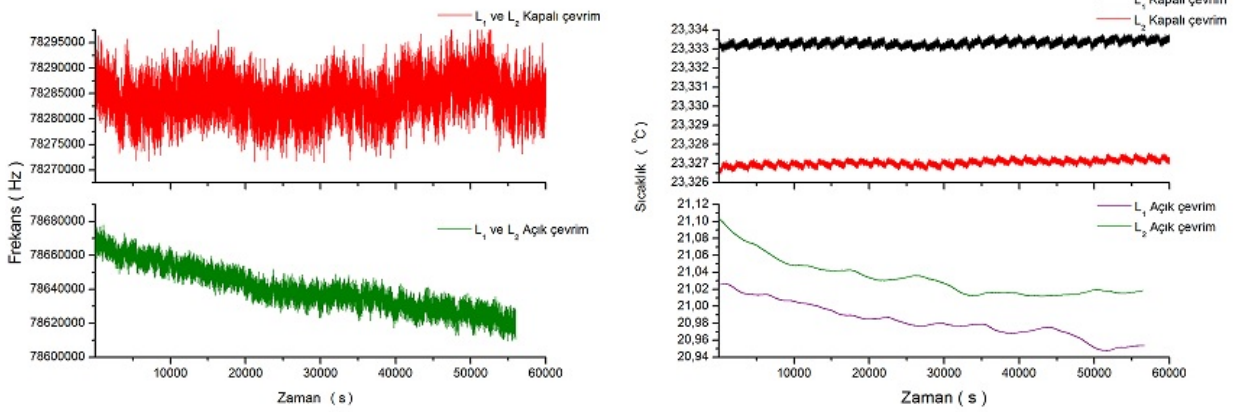
3. ^{87}Rb ATOMİK GAZ SICAKLIK KONTROL ÖLÇÜM SONUÇLARI

Lazer dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrol ünitelerinin sıcak kontrol kararlılığı ve dalga boyu standartlarının frekans kararlılığı üzerindeki etkilerinin ölçülmesi ve belirlenmesi amacı ile Şekil 5'de yer alan ölçüm düzeneği kurulmuştur. Lazer dalga boyu standardı 1 sıcaklık kontrollü cam hücre içerisinde yer alan ^{87}Rb atomlarının d/f enerji geçişine kilitlenerek kararlı hale getirilmiş iken, lazer dalga boyu standardı 2 f enerji geçişine kararlı hale getirilmiştir. Frekansları kararlı hale getirilmiş lazer ışınım demetleri hızlı fotodetektör (HFD) üzerinde üst üste bindirilerek lazerler arasındaki fark frekansı, bilgisayar kontrollü sayıcı ile kayıt edilmiştir. Frekansları kararlı hale getirilmiş dalga boyu standartlarının frekans değişiminin; ^{87}Rb atomlarının sıcaklık değişimi ile etkisinin belirlenmesi amacıyla standartların ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık değişimleri de eş zamanlı olarak bilgisayar kontrollü voltmetre ile kayıt edilmiştir.



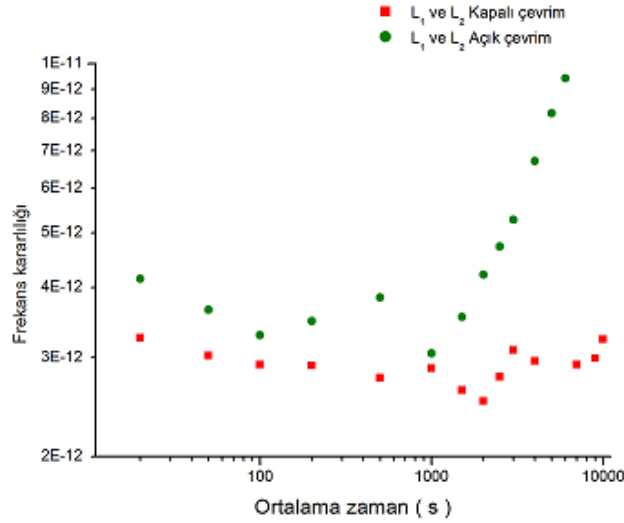
Şekil 5. Sıcak ve Frekans Kararlılığı Ölçüm Düzeneği

Şekil 6'da dalga boyu standartlarının fark frekansı değişiminin, ^{87}Rb atomlarının sıcaklık kontrollerinin var olduğu (kapalı çevrim) ve var olmadığı (açık çevrim) durumdaki zaman ile değişimini gösterilmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere sıcaklık kontrollerinin var olduğu durumda dalga boyu standartları arasındaki fark frekansında herhangi bir kayma gözlenmez iken, var olmadığı durumda ise ^{87}Rb atomik gazının ≈ 100 mK sıcaklık değişiminin fark frekansında ≈ 60 kHz'lik bir frekans kaymasına neden olduğu görülmektedir. Grafikten ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrolcülerinin kapalı çevrim durumunda tepeden tepeye sıcak değişimi ≈ 1 mK değerindedir.



Şekil 6. Frekans - Sıcak Kararlılığı Değişimi

Ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrolcülerinin frekans kararlılığı üzerindeki etkisini gösteren grafik Şekil 7'de görülmektedir. Şekil 7'deki grafik 60 ks (16 saat) süresince standartlar arasındaki fark frekansı kayıtları edilmiş verinin Allan varyans istatistiği [5] kullanılarak hesaplanmış, standartların frekans kararlılığı değerlerini ifade eden grafiklerdir. Dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrolcülerinin var olduğu durumda frekans kararlılığı uzun süre değişmezken, var olmadığı durumda 1000 s ortalama zaman sonra değişmeye (bozulmaya) başlamaktadır. Sıcaklık kontrolcülerinin çalıştığı durumda frekans kararlılığı ölçümleri ile ulusal dalga boyu standartları frekans kararlılığı 1s ile 16 saat zaman aralığında $5.5 \times 10^{-12} \tau^{-1/2}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Dalga Boyu Standartlarının Frekans Kararlılığı

SONUÇ

Bu çalışmada; TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde BIPM'in tanımı doğrultusunda gerçekleştirilmiş ulusal dalga boyu standartlarının, ^{87}Rb küvet sıcaklık kontrol devre tasarımının nasıl gerçekleştirildiği, elde edilmiş sıcaklık kararlılığı ölçüm sonuçları ve sıcaklık kararlılığının standartlarının frekansına nasıl etki ettiği anlatılmıştır. Ölçümler sonucunda sıcaklık kontrolcülerinin tepeden tepeye sıcaklığına ≈ 1 mK olduğu gözlemlenmiştir. Bu denli iyi sıcaklık kontrolcüler ile ulusal dalga boyu standartlarının ulaştığı frekans kararlılığı değeri $5.5 \times 10^{-12} \tau^{-1/2}$ olarak ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] ŞAHİN E, “ 780 nm Lazer Dalgaboyu Standardının Mutlak Frekans Parametleri ve Frekans Kararlılığı Ölçümleri”, Ölçübilim Sempozyumu ve Sergisi / 20-22 Kasım 2019 (Bildiri olarak kabul edildi)
- [2] CIPM Recommendation 2 (CI-2015): Updates to the list of standard frequencies <http://www.bipm.org/jsp/en/CIPMRecommendations.jsp>
- [3] Laser frequency Stabilization Techniques, http://budker.berkeley.edu/Physics250/Physics250_Las_Stab.PDF
- [4] Demtröder, W.,. Laser Spectroscopy (Second Enlarged Edition). Berlin, Springer (1996)
- [5] RILEY,W.J., ” Handbook of Frequency Stability Analysis”, NIST Special Publication 1065 <http://www.crya.unam.mx/radiolab/recursos/Allan/NIST-1065.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Yücel DENİZ

1988 yılı Kocaeli doğumludur. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli’nde tamamladı. 2006 yılında İzmit Mimar Sinan Lisesi’nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında bitirdi. 2016 yılında Marmara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2013-2017 yılları arasında M&T Displays firmasında ARGE Mühendisi olarak çalıştı. 2017 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü’nde Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Elektronik devre tasarımı üzerine çalışmaktadır.

Adem GEDİK

1971 yılında Suadiye’de doğdu. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden lisans, 1998 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden Yüksek Lisans derecesi almıştır. 1995 – 2000 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi, 2000 yılından beri ise TÜBİTAK UME Zaman Frekans Laboratuvarında Araştırmacı olarak çalışmaktadır. Zaman dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi, faz gürültüsü ölçümleri ile dopler tabanlı araç hız radar sistemleri konularında çalışmaktadır.

Ersoy ŞAHİN

1975 yılında Ankara’da doğdu. Ankara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden 1998, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü’nde sırası ile 2005 ve 2014 yıllarında tamamlamıştır. 1999 yılından beri TÜBİTAK UME Zaman - Frekans & Dalga boyu Laboratuvarı’nda Başuzman Araştırmacı ünvanıyla çalışmaktadır. Birincil ve ikincil seviye dalga boyu standartlarının kurulması, uluslararası izlenebilirliğin sağlanması, ikinci seviye dalga boyu standartlarının kalibrasyon ve test hizmetlerini verilmesi, atomik saatler ve optik saatlerin kurulması çalışmalarında görev almaktadır. Uzmanlık alanı lazer atom etkileşimi, lazerlerin metrolojik uygulamaları, atomik saatler ve optik saatlerdir.

Nazmi EKREN

1966 yılında İstanbul da doğdu. 1987 yılında Yıldız Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik mühendisliği bölümünü bitirdi. Marmara üniversitesinde Y.lisans, İstanbul Üniversitesin de doktorasını yaptı. Kısa bir süre özel sektör de çalıştıktan sonra, M.Ü Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi bölümünde Arş. Görevlisi oldu. 2011 yılında beri, M.Ü. Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümünde Devreler ve Sistemler A.B.D’da Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaktadır.

Ahmet Fevzi BABA

1986 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar bölümünden mezun oldu. Marmara Üniversitesinde Y.lisans ve Doktora yaptı. M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesinde, Profesör oldu. 2011 yılından itibaren M.Ü. teknoloji Fakültesinde, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölüm başkanlığı yapmaktadır.