

TÜBİTAK UME'DE 50 GHz'E KADAR RF GÜÇ ALGILAYICI KALİBRASYONLARININ DOĞRUDAN KARŞILAŞTIRMA TRANSFER METODU KULLANILARAK YAPILMASI

Erkan DANACI
Murat CELEP
Özlen TUNCEL
Murat ARSLAN

ÖZET

2015 yılından beri Yüksek frekanslı güç algılayıcı kalibrasyonlarında düşük belirsizlikle daha doğru hesaplamaya neden olan doğrudan karşılaştırmalı transfer metodu TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda uygulanmaya başlanmıştır. Doğrudan karşılaştırmalı transfer metodu, önceki kalibrasyon faktörü ölçüm (yerine koyma) metoduna göre daha karmaşık bir ölçüm düzeneği içermekle birlikte daha düşük belirsizlik değeri elde etmeye neden olmuştur. Bu çalışmada yeni ölçüm metodunun detayları verilirken, eskiden uygulanan yerine koyma yöntemi ile de karşılaştırmalı analizleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kalibrasyon faktörü, güç algılayıcısı, doğrudan karşılaştırmalı transfer metodu, yerine koyma metodu.

ABSTRACT

Since 2015, the direct comparison transfer method, which leads to more accurate calculation with low uncertainty in high frequency power sensor calibrations, has been started to be applied in TÜBİTAK UME RF and Microwave laboratory. The direct comparative transfer method included a more complex measurement mechanism than the former calibration factor measurement methods, but resulted in a lower uncertainty value. In this study, while the details of the new measurement method are given, comparisons are made with the previously applied substitution method.

Key Words: Calibration factor, power sensor, direct comparison transfer method, substitution method.

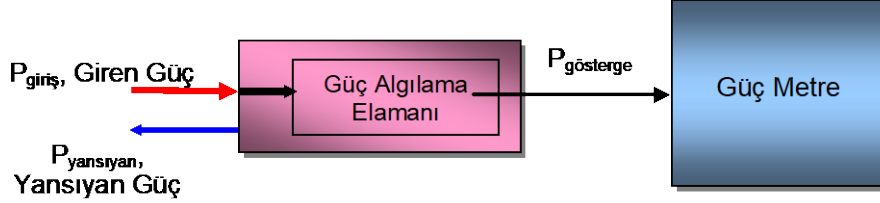
1. GİRİŞ

Yüksek frekanslarda iletişimin (GSM, wi-fi, zig bee, uzaktan kumanda sistemleri, v.b.) artması ile tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yüksek frekanslı cihaz üretimi ve kullanımı artış göstermiştir. Frekanslar yükseldikçe, işaret üreteçlerinden sağlanan güç seviyeleri de önem kazanmıştır. Güç seviyelerinin uluslararası standartlara uygun ölçümlerinin yapılabilmesi için dünyada birçok firma değişik frekans ve güç seviyeleri için güç algılayıcılar üretmişlerdir.

Güç algılayıcılar birçok kayıplar içermektedir. Bu kayıpların belirlenmiş olması güç algılayıcısının ölçtüğü değer doğruluğu hakkında kullanıcıya bilgi vermektedir. Güç algılayıcıları kalibrasyon faktörü (KF) adı verilen bir parametre ile karakterize edilir ve bu parametre algılayıcının içindeki kayıpları ve doğruluklarını içerir [1, 2].

Güç algılayıcılarının KF'leri, çıkışındaki okunan gücün girişine uygulanan güce oranı şeklinde basitçe tarif edilmektedir (Eşitlik 1) (Şekil 1).

$$CF = \frac{P_{gösterge}}{P_{giriş}} \quad (1)$$



Şekil 1. Güç algılayıcısı ve güçleri

KF hesabı için güç algılayıcısının girişindeki ve çıkışındaki güç değerlerinin ölçümleri için birçok değişik ölçüm metotları kullanılırken [3-7] en yaygın olarak uygulanan metotlar aşağıda verilmiştir;

- Yerine koyma metodu (YKM)
- Doğrudan karşılaştırma transfer metodu (DKTM)

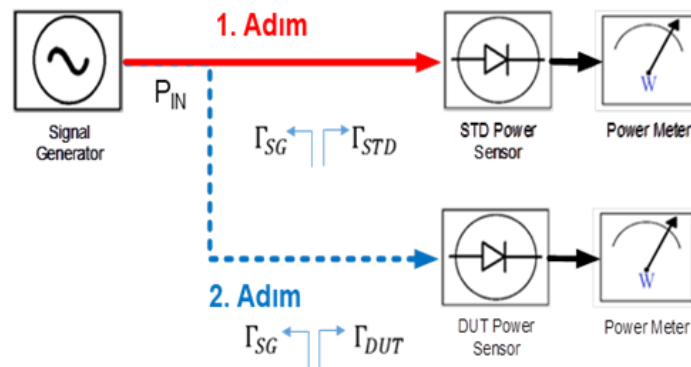
Bazı üretici firmalar KF ölçümü yapabilmek amacıyla özel olarak ölçüm cihazı düzeneğini kompakt olarak içinde bulunduran cihazlar da üretmişlerdir.

Yukarıda verilen her iki metodun birbirine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Her iki metodun da bir ölçüm yazılımına ihtiyaç duyuyor olması, kullanıcıları ilk başta yapılılamayacak endişesi verse de geniş bir mikrodalga frekans spektrumunda çalışan güç algılayıcıların kısa sürede operatör hatası en aza indirgenmiş şekilde ölçülebilmesi için olmazsa olmaz gerekliliktir.

YKM yeni kurulmuş bir RF ve mikrodalga ölçümleri yapan laboratuvar için diğer metoda göre daha az devre elemanı ile uygulanabilirken, DKTM daha hassas ve doğru ölçümler için tercih edilen ancak birçok mikrodalga devre elemanı ile çalışılmasını gerektiren bir metottur.

1.1. Yerine Koyma Metodu

KF değeri bilinmeyen güç algılayıcısının iki adımda ölçümlerle KF değerinin hesaplanması prensibine dayalı ölçüm metodu YKM'dir [8, 9]. Bu metotta, KF değeri bilinen standart güç algılayıcısı (STD) ile KF değeri bilinmeyen güç algılayıcısı (DUT) sıralı olarak RF sinyal kaynağına bağlanarak ölçümler alınır. YKM düzeneğinde alınan ölçüm sonuçları ile KF Eşitlik 2'deki gibi hesaplanır.



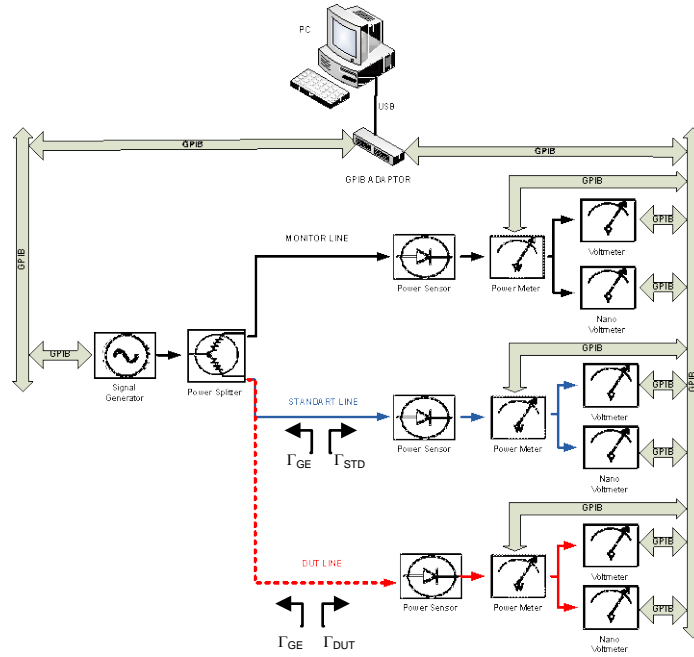
Şekil 2. YKM ile KF ölçüm düzeneği

$$KF_{STD} = \frac{P_{STD}}{P_{IN}} \text{ ve } KF_{DUT} = \frac{P_{DUT}}{P_{IN}} \Rightarrow KF_{DUT} = KF_{STD} \frac{P_{DUT}}{P_{STD}} \frac{|1 - \Gamma_{DUT} \cdot \Gamma_{SG}|^2}{|1 - \Gamma_{STD} \cdot \Gamma_{SG}|^2} \quad (2)$$

YKM'nin en büyük dezavantajlarında biri işaret kaynağının çıkış gücünün kaymasını içermemesidir. Ayrıca işaret kaynağının frekansa bağlı vektörel yansıma katsayı değerlerinin bilinmemesi ölçümdeki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan ölçüm hatalarının belirlenmesine engel oluşturmaktadır.

1.2. Doğrudan Karşılaştırma Transfer Metodu

DKTM'da, YKM'deki dezavantajları gidermek için işaret kaynağının önüne bir güç bölücü bağlanarak işaret kaynağının çıkışının sürekli başka bir güç algılayıcısı ile (MON) görüntülenmesi sağlanır [6]. Böylece işaret kaynağının kayma etkisi giderilebilmektedir. DKTM'a ait ölçüm düzeneğinin fonksiyon şeması Şekil 3'te verilmiştir. Güç bölücünün diğer koluna sırayla KF değeri bilinen standart güç algılayıcı (STD) ve KF değeri bilinmeyen güç algılayıcısı (DUT) bağlandığında hem bu güç algılayıcılarının ardındaki güç metrelerden hem de güç bölücünün diğer koluna bağlı güç algılayıcı ve güç metreden güçler okunarak kaydedilir. Bu tip çok cihazlı ve geniş bir frekans spektrumunda ölçümler için bu metotta özel olarak geliştirilmiş bir yazılım ve bir PC kullanılmalıdır.



Şekil 3. DKTM ile KF ölçüm düzeneği

DUT güç algılayıcısı frekans ve güç aralığına uygun izlenebilirlik zinciri içinde yer alan STD ve MON güç algılayıcılar, güç bölücü ve işaret kaynağının temini gereklidir.

Bu metotta kullanılan güç bölücünün çıkış kapısının eşdeğer empedansı belirlenebildiğinden, empedans uyumsuzluğunun vektörel olarak hesaplanması için YKM'de eksik olan veri de temin edilmiştir. Şekil 3'te verilen ölçüm düzeneği ile elde edilen ölçüm verileri kullanılarak Eşitlik 3 ile bilinmeyen KF hesabı yapılmaktadır.

$$\begin{aligned}
KF_{DUT} &= KF_{STD} \frac{P_{DUT} P_{mS} |1 - \Gamma_{DUT} \Gamma_{GE}|^2}{P_{STD} P_{mD} |1 - \Gamma_{STD} \Gamma_{GE}|^2} \\
&= KF_{STD} \frac{P_{DUT} P_{mS} (1 + |\Gamma_{DUT}|^2 |\Gamma_{GE}|^2 - 2 |\Gamma_{GE}| |\Gamma_{DUT}| \cos(\Theta_{GE} + \Theta_{DUT}))}{P_{STD} P_{mD} (1 + |\Gamma_{STD}|^2 |\Gamma_{GE}|^2 - 2 |\Gamma_{GE}| |\Gamma_{STD}| \cos(\Theta_{GE} + \Theta_{STD}))}
\end{aligned} \quad (3)$$

- KF_{DUT} : DUT güç algılayıcısının Kalibrasyon Faktörü
 KF_{STD} : STD güç algılayıcısının Kalibrasyon Faktörü
 P_{DUT} : DUT güç algılayıcısının güç metresinden okunan gücün ortalaması
 P_{STD} : STD güç algılayıcısının güç metresinden okunan gücün ortalaması
 P_{mD} : DUT güç algılayıcı ölçüm sistemine bağlı iken görüntüleme amaçlı kullanılan güç algılayıcısının güç metresinden okunan gücün ortalaması
 P_{mS} : STD güç algılayıcı ölçüm sistemine bağlı iken görüntüleme amaçlı kullanılan güç algılayıcısının güç metresinden okunan gücün ortalaması
 Γ_{DUT} : DUT güç algılayıcısının yansıma katsayısı (karmaşık),
 Γ_{STD} : STD güç algılayıcısının yansıma katsayısı (karmaşık),
 Γ_{GE} : Güç bölücünün STD ve DUT bağlanan kapısının eşlenik yansıma katsayısı (karmaşık),
 Θ_{DUT} : DUT güç algılayıcısının yansıma katsayısının fazı
 Θ_{STD} : STD güç algılayıcısının yansıma katsayısının fazı
 Θ_{GE} : Güç bölücünün STD ve DUT bağlanan kapısının eşlenik yansıma katsayısının fazı

2. YKM ve DKTM ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

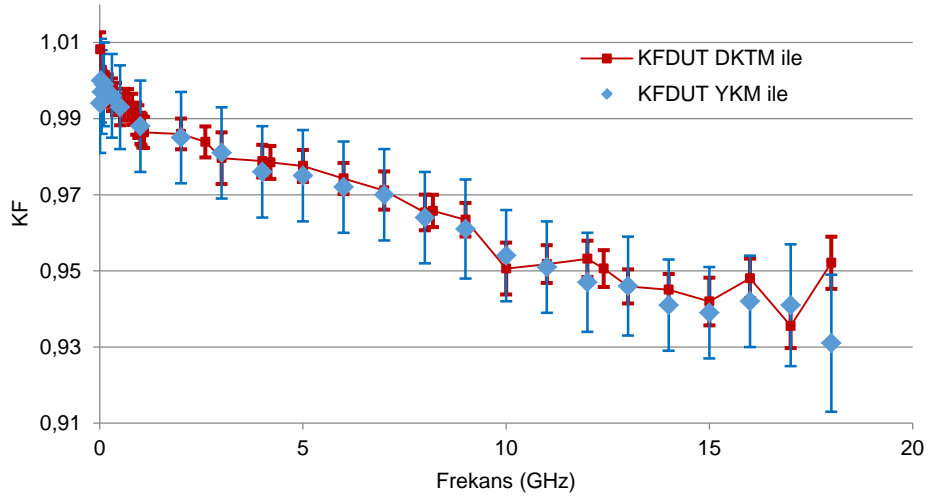
YKM ve DKTM ölçüm yöntemlerinin ikisi de kalibrasyon laboratuvarlarında güç algılayıcıların KF ölçümlerinde kullanılmaktadır. Yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 YKM ve DKTM avantaj ve dezavantajları

Metot	Avantajlar	Dezavantajlar
YKM	Daha az cihaz kullanılmaktadır	Yüksek belirsizlik elde edilmektedir
	Uygulaması kolaydır	İşaret kaynağının kayması göz ardı edilmektedir
		KF hesabında empedans uyumsuzluğunun etkisi hesaba katılmamaktadır
DKTM	YKM'ye göre daha düşük belirsizlik elde edilmektedir	Daha çok cihaz kullanılmaktadır
	KF hesabında empedans uyumsuzluğunun etkisi hesaba vektörel olarak katılmaktadır	Uygulaması zordur, yetenekli bir operatör gerektirir

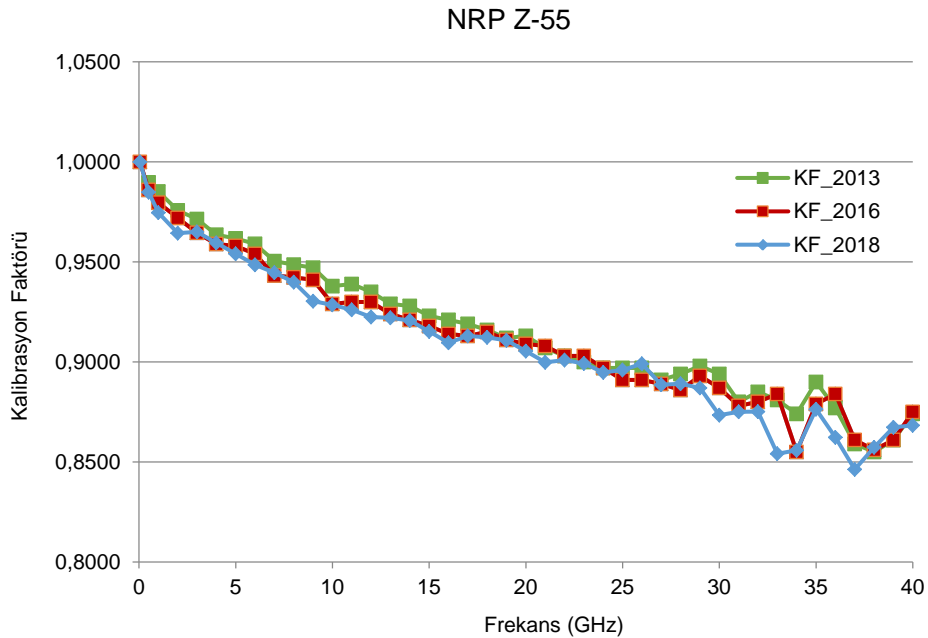
TÜBİTAK UME'de 2015 yılından beri uygulanmakta olan DKTM ve daha önce uygulanan YKM ile laboratuvar ölçüm standartlarından HP 8481A'nın KF değerleri ve belirsizlikleri Şekil 4'de verilmiştir. YKM ve DKTM için TÜBİTAK UME'de geliştirilen yazılım kullanılmıştır [10]. Şekil 4'ten de görüleceği gibi DKTM belirsizlikleri daha düşük YKM belirsizlikleri daha yüksektir.

8481A'nın KF ve KF Belirsizlikleri



Şekil 4. HP 8481A'nın DKTM ve YKM karşılaştırmalı ölçüm sonuçları

Bu yöntem, sistemde kullanılan cihazların kalibrasyonları yapıldığı takdirde çok yüksek frekanslara kadar kullanılabilir. TÜBİTAK UME'de hali hazırda 50 GHz frekansına kadar 2.4 mm konektör yapısındaki cihazların ölçümleri de yapılabilmektedir. Laboratuvar standartlarına ait bir tane ölçüm sonucu Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. R&S NRP Z55 yıllara göre KF değerleri

SONUÇ

TÜBİTAK UME, kendi geliştirdiği yazılımı kullanarak, DKTM ile güç algılayıcılarının KF değerlerinin kalibrasyonu yöntemini uygulamıştır. Bu metot ile KYM'ye göre KF'nin daha doğru ve daha düşük belirsizliklerde elde edildiği görülmüştür. Böylelikle TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga laboratuvarı hizmet verdiği sektörlere 50 GHz frekansına kadar daha doğru ve düşük belirsizlikle güvenilir hizmet sunmaya başlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Famton A., "Radio frequency & microwave power measurement", *IEE Electrical Measurement Series 7*, Peter Peregrinus Ltd, London, UK (1990)
- [2] Orford G.R., "RF power-review of current techniques for power sensor calibration", *Accreditation of RF Measurement, IEE Colloquium on*, pp:5/1-10 (1993)
- [3] Weidman M.P., "Direct Comparison Transfer of Microwave Power Sensor Calibration", *NIST Technical Note 1379* (1996)
- [4] Juroshek J. R., "NIST 0.05-50 GHz direct-comparison power calibration system", *CPEM Conference Proceeding*, pp.166-167, Sydney, Australia (2000)
- [5] Yhland K., Judaschke J.R., Rausche F., Wingqvist C., Stenarson J., "Bilateral comparison on calibration factor of a 2.92 mm power sensor", *CPEM Conference Proceeding*, pp. 86-87, Maryland, USA (2012)
- [6] Cai Y., Shan Y., Lin Z., Neo H., "Coaxial power sensor calibration with adaptor by direct comparison transfer", *CPEM Conference Proceeding*, pp. 90-91, Maryland, USA (2012)
- [7] Wallis T.M., Crowley T.P., LeGolvan D.X., Ginley R.A., "A direct comparison system for power calibration up to 67 GHz", *CPEM Conference Proceeding*, pp. 726-727, Maryland, USA (2012)
- [8] İnce, R., "Microwave Calibration Measurements", UME içi rapor, M1/96, December 1996
- [9] İnce, R., "Microwave Calibration Measurements II", UME içi rapor, M3/97, April 1997
- [10] Danacı E., Celep M., Tuncel Ö., "Calibration Factor Measurement Software Validation Report", TÜBİTAK UME, December, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Erkan DANACI

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 1991 yılında mezun olmuştur. Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda sırasıyla 1996 yılında Yüksek Lisans ve 2002 yılında Doktora çalışmasını tamamlamıştır.

1992-2000 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Devreler ve Sistemler Teorisi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 1998-2000 yılları arasında TÜBİTAK MAM BTAE'de Milli Savunma Bakanlığının bir projesi kapsamında yazı zamanlı araştırmacı olarak RF devre tasarım çalışmalarında bulunmuştur. 2000 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2007-2014 yılları arasında TÜBİTAK UME Stratejik Planlama ve İş Geliştirme Birimi Sorumluluğu görevini yürütmüş, bunun yanında 2011-2014 yıllarında arasında TÜBİTAK UME Müdür İdari Yardımcılığı görevine vekalet etmiştir. 2014 yılından itibaren TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda Başuzman Araştırmacı olarak RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil s-parametreleri, empedans ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmalarını yürütmektedir. Ayrıca Yapay Sinir

Ağları ilgi alanındadır. EURAMET TC-IM Türkiye delegasyonu, EURAMET TC-IM FGNMID Türkiye delegasyonu ve her yıl düzenlenen Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı'nın Bilim Kurulu üyeliği görevlerini sürdürmektedir.

2002 yılında Kanada'da düzenlenen CPEM konferansına sunduğu çalışması ile Genç Bilim Adamı Ödülü almış, 3 makalesi, 2 kitapta bölüm yazarlığı ve 17 ulusal ve uluslararası bildirisi mevcuttur.

Murat CELEP

Trakya Üniversitesi Tekirdağ M.Y. Okulu'ndan 1992 yılında, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde 2004 yılında tamamlamıştır.

1995 yılında bir süre CEDETAŞ A.Ş.'de çalışmış ve 1997 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda göreve başlamıştır. RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil seviye güç, s-parametreleri, empedans, zayıflatma ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmakta olup aynı zamanda bu ölçümler için, ölçme sistemlerinin kurulması, karakterize edilmesi ve belirsizlik hesaplamalarının yapılması konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. Mikrodalga güç ve s-parametrelerinin uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır. 100 MHz - 1GHz frekans aralığında gerilim izlenebilirliğinin güç standartları üzerinden alınması için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda özgül soğurma oranı (SAR) ölçme sisteminin çalıştırılması, karakterize edilmesi ve SAR ölçümleri konusunda çalışmaktadır. Halen RF ve Mikrodalga Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

Özlen TUNCEL

Uludağ Üniversitesi Bursa M.Y.O. Endüstriyel Elektronik Bölümü'nden 1997 yılında mezun olmuştur. 1997 yılı ile 2003 yılları arasında TÜBİTAK UME Özel Ölçümler Laboratuvarı'nda elektronik cihaz tasarım, üretim ve tamir çalışmalarında aynı zamanda klima sisteminin genel kontrol ve arıza onarımlarında bulunmuştur.

Ayrıca TÜBİTAK UME laboratuvarlarının gerçekleştirdiği, ulusal standartların oluşturulması ve geliştirilmesi kapsamında yer alan elektronik cihaz bazlı tasarım, üretim ve test projelerinde, 2003 ile 2006 yılları arasında ise Empedans Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen çeşitli test ve kalibrasyon hizmetlerinde görev almıştır.

2006 yılında RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda çalışmaya başlamış, mikrodalga güç algılayıcısı üretim ve test, CDN, LISN test cihazları ölçme aparatlarının üretim ve test çalışmalarında bulunmuştur.

Halen aynı laboratuvarında gerçekleştirilen mikrodalga güç, s-parametreleri ve birincil - ikincil seviye güç algılayıcısı kalibrasyonlarının yapılmasında görev almaktadır. Diğer yandan EMRP, gürültü ve mikrokaloremetre ölçme sisteminin kurulması gibi ulusal ve uluslararası laboratuvar projelerinde yer almaktadır.

Murat ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Beşikdüzü Meslek Yüksek Okulu Elektronik ve Haberleşme Bölümünden 2010 yılında onur öğrencisi derecesi ile mezun olmuştur. 2010-2012 yılları arasında cep telefonu distribütörlüğü yapan bir firmada cep telefonu onarım teknikeri olarak çalışmıştır. 2012-2013 yıllarında askerlik hizmetini yapmıştır. 2013-2017 yıllarında Siemens telefon santralleri kurulumu ve zayıf akım çözümleriyle ilgili teknik servis birimlerinde çeşitli projelere katkı sağlamıştır.

2017 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda çalışmaya başlamıştır. RF ve Mikrodalga Laboratuvarında, mikrodalga güç, birincil ve ikincil seviye güç algılayıcısı kalibrasyonları ve HES boyutsal ölçümlerini yapmaktadır.