

# Mikrodalga Soğuk Gürültü Kaynağının Geliştirilmesi

Murat Celep, Şenel Yaran, Cem Hayırlı, Doğan Dibekçi\*  
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü  
P.K. 51, 41470, Gebze  
Kocaeli  
murat.celep@ume.tubitak.gov.tr

\*Kocaeli Üniversitesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Kocaeli  
ddibekci@kocaeli.edu.tr

**Özet:** Standart soğuk gürültü kaynağının içerisinde kullanmak amacıyla, uyumlu yük ve iletim hattı üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Uyumlu yükün plastik kılıfı metal bir kılıf ile değiştirilmiş ve yükün içerisine sıvı azotun nüfuz edebilmesi için metal kılıf ve dielektrik parça üzerinde delikler açılmıştır. Soğuk gürültü kaynağı içerisinde kullanılan ve paslanmaz çelikten üretilen iletim hattı kaplanarak elektriksel iletkenliği iyileştirilmiş ve iletim kaybı 8 dB'den 3 dB'ye düşürülmüştür. Üretilen soğuk gürültü kaynağı, 12 GHz – 18 GHz frekans aralığında toplam güç radyometresi kullanılarak test edilmiş ve gürültü sıcaklığı 75 K – 110 K aralığında ölçülmüştür.

## 1. Giriş

Elektriksel gürültü olarak isimlendirilen çok düşük seviyeli işaretler, elektriksel cihazlar tarafından geniş frekans bandında rastgele olarak üretilirler. Devre elemanlarının içerdiği elektronların doğası gereği oluşan bu gürültünün değeri, laboratuvar ortamında değeri bilinen standart gürültü kaynakları ile karşılaştırılarak belirlenir [1]. Metroloji enstitülerinde birincil seviye standart mikrodalga gürültü kaynağı olarak, maruz bırakıldıkları fiziksel sıcaklığın değerine göre isimlendirilen standart sıcak veya soğuk gürültü kaynakları kullanılmaktadır [2]-[4]. Soğuk gürültü kaynağı çıkışından yaklaşık 77 K ve sıcak gürültü kaynağı çıkışından yaklaşık 500 K gürültü sıcaklığı elde edilmektedir.

Soğuk gürültü kaynağı elde etmek için TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde (UME) bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, soğuk gürültü kaynağı çalışma prensibi anlatılarak bir yük üzerinde değişiklikler yapılmış, iletim hattı ve soğuk gürültü kaynağı parçaları mekanik olarak üretilmiştir [5]. Bu çalışmada, yük kullanıma uygun hale getirilmiş, iletim hattı kaplaması yapılmış ve gürültü kaynağı içerisine sıvı azot konarak 12 GHz – 18 GHz frekans bölgesinde ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. Soğuk Mikrodalga Gürültü Kaynağı

Birincil seviye mikrodalga gürültü kaynağının elektriksel bileşenleri yük, iletim hattı ve çıkış bölümüdür. Kaynağın ürettiği gürültü, değeri bilinen bir sıcaklığın yük üzerine uygulanması sonucu, yükün çıkışında elektriksel bir işaretin elde edilmesi ile meydana gelmektedir. Ancak, sıcaklık değeri 77 K olduğundan, gürültü işaretinin oda sıcaklığında bulunan çıkışa aktarılması için özel iletim hatları kullanılmaktadır. Bu özel iletim hattı, elektriksel işareti yükten çıkışa aktarırken yük üzerindeki sıcaklık değerini oda sıcaklığından izole etmektedir. Ayrıca, soğuk gürültü kaynağının çıkış kısmının oda sıcaklığında sabit tutulması gerekmektedir.

Soğuk gürültü kaynağı içerisinde elektriksel gürültüyü üreten yük olarak, üzerinde değişiklik yapılmış olan Şekil 1'deki HP909A model uyumlu yük kullanılmıştır. Soğuk gürültü kaynağının referans sıcaklık değerini oluşturmak için, sıvı azotun içerisine yerleştirilen bu yükün her noktasında sıvı azot sıcaklığının sağlanması gerekir. Sıvı azotun yük içerisine nüfuz edebilmesi için yük içerisindeki dielektrik üzerinde delikler açılmıştır. Aynı zamanda yük'ün plastik dış kılıfı bakır ile değiştirilmiş ve bakır kılıf üzerinde de delikler açılarak azotun yük içerisine akmasına imkan sağlanmıştır. Böylece, önce kılıf üzerinden içeriye sonra da dielektrik üzerindeki deliklerden konnektör bağlantı noktasına doğru giren azot, direnç elemanı üzerine temas ederek yükün her noktasının 77 K azot sıcaklığında olmasını sağlamaktadır.

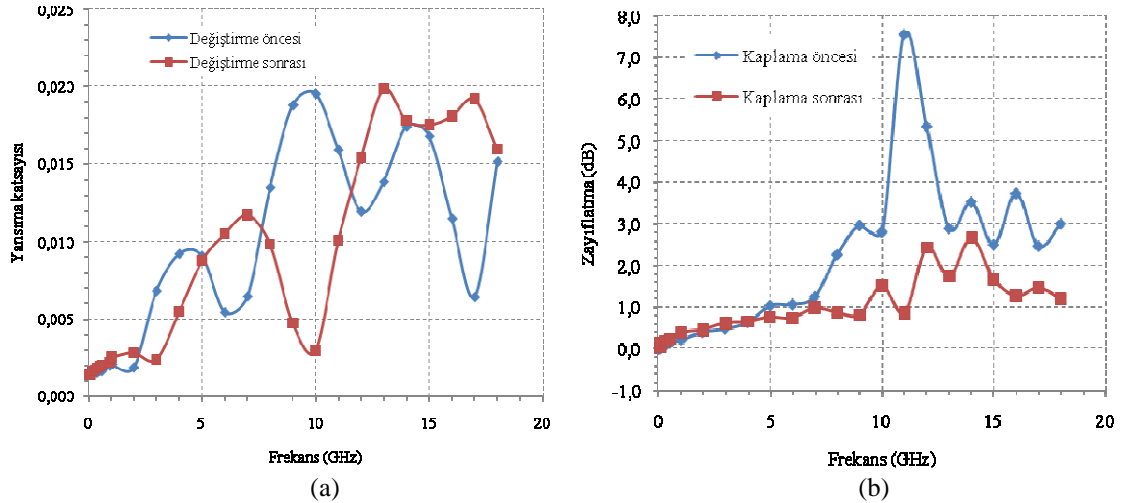


Şekil 1. a) Değiştirilmemiş ve b) değiştirilmiş yük.

Mikrodalga gürültü kaynağında kullanılan yükten düşük yansımaya katsayısı elde etmek için, yük direncinin karakteristik empedans değeri olan  $50 \Omega$ 'a yakın olması istenir. Burada kullanılan yükün değiştirilmeden önce ve değiştirildikten sonra, vektör network analizör kullanılarak elde edilen yansımaya katsayılarına ait ölçüm sonuçları Şekil 2a'da verilmiştir. Üzerinde değişiklik yapılan yükün yansımaya katsayısı büyüklüğü önceki yansımaya katsayısının büyüklüğü ile benzer olup en büyük değeri 0,02'den daha küçüktür.

Sıvı azot içerisindeki yük üzerinde elde edilen mikrodalga gürültü işaretinin ortam sıcaklığına aktarılması için kullanılan iki kapılı koaksiyel iletim hattının bir kapısı azot sıcaklığında, diğer kapısı ortam sıcaklığında bulunduğundan iletim hattının elektriksel olarak iyi, ısı olarak ise kötü bir iletken olması gerekir. Genelde, iletim hattı üretiminde, bu özelliklere en yakın malzeme olan paslanmaz çelik kullanılır. İletim hattında elektriksel işaret hat boyunca zayıflamaktadır. Zayıflama nedeni ile iletim hattı üzerinde harcanan güç ısı oluşmasına sebep olmaktadır. Bunu önlemek için iletim hattının içerisi elektriksel iletkenliği çok iyi bir malzeme ile kaplanmakta ve zayıflatma olabildiğince azaltılmaya çalışılmaktadır.

Çelikten üretilmiş iletim hattının iletim kaybını iyileştirmek için, iletim hattının iç iletkeninin dış yüzeyi ile dış iletkenin iç yüzeyi, elektriksel iletkenliği paslanmaz çelikten daha iyi olan altın ( $\sigma_{Au}=4,5 \cdot 10^7$  S/m) ile kaplanmıştır. İletim hattına ait elektriksel iletim kaybının kaplama yapılmadan önce ve kaplama yapıldıktan sonraki değerleri, Şekil 2b'de verilmiştir. Kaplama yapılmadan önce 8 dB'ye kadar çıkan iletim kaybı kaplama yapıldıktan sonra 3 dB'den daha düşük olarak elde edilmiştir. Kaplama ile sadece iletkenlik iyileştirilmemiş aynı zamanda iletim hattının üretiminde oluşan mekanik devamsızlıklar da kısmen giderilerek daha düzgün bir iletim kaybı eğrisi elde edilmiştir.

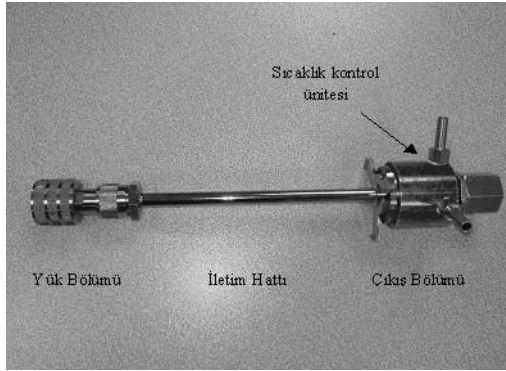


Şekil 2. a)Yük yansımaya katsayısı ve b) iletim hattının elektriksel iletim kaybı.

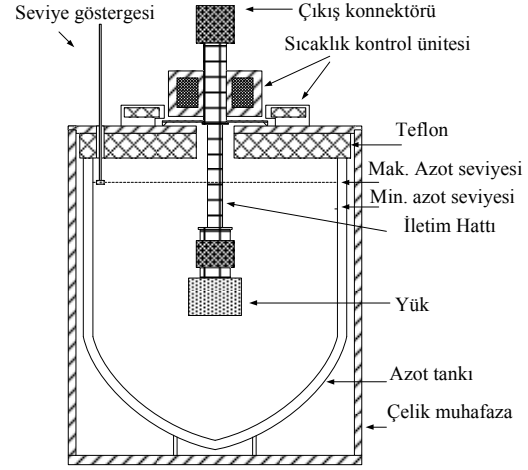
Yükten elde edilen mikrodalga gürültünün kullanılabilmesi için yükün tamamen, iletim hattının da belli bir kısmının sıvı azot içerisinde olması gerekmektedir. İletim hattı üzerinde oluşan ısı akışı nedeniyle azot buharlaştığından seviyesi zaman içerisinde azalır ve bir süre sonra iletim hattının ve daha sonra da yükün altına düşer. Azotun kullanım süresini uzatmak için, iletim hattının dış iletkeninin çeper kalınlığı 1 mm'den daha ince üretilerek ısı akışı daha da azaltılmış ve azot kaybının yavaşlatılması sağlanmıştır. Azot kaybının yavaşlatılması ile gürültü kaynağının

tek seferde kullanılabileceği ölçüm süresi uzatılmıştır. Gerçekleştirilen testlerde, sıvı azotun istenen seviyede bir saatten daha uzun süre kaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 3a'da verilen çıkış bölümü, mikrodalga gürültü ölçme sistemine (radyometre) elektriksel bağlantıyı sağlayan bir konnektörden ve bu konnektör ile radyometrenin aynı sıcaklıkta olmasını sağlamak için içerisinden sıcaklığı kontrol altında olan suyun dolaştığı bir hazneden oluşmaktadır. Şekil 3a'da verilen yük, iletim hattı ve çıkış bölümü azotun içerisinde olduğu soğuk gürültü kaynağı muhafazası içerisine Şekil 3b'deki gibi yerleştirilmiştir.



(a)

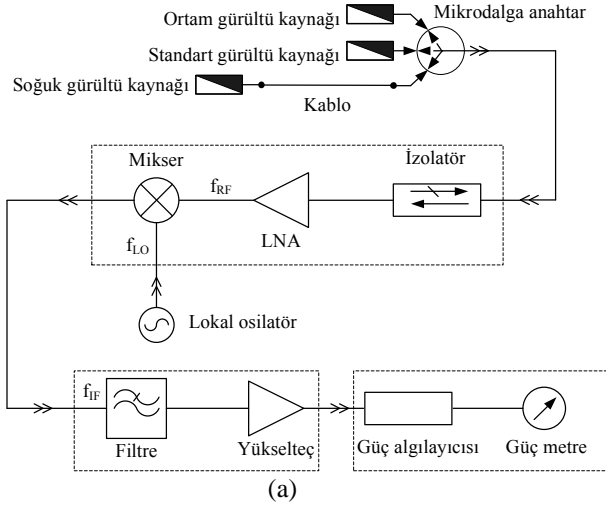


(b)

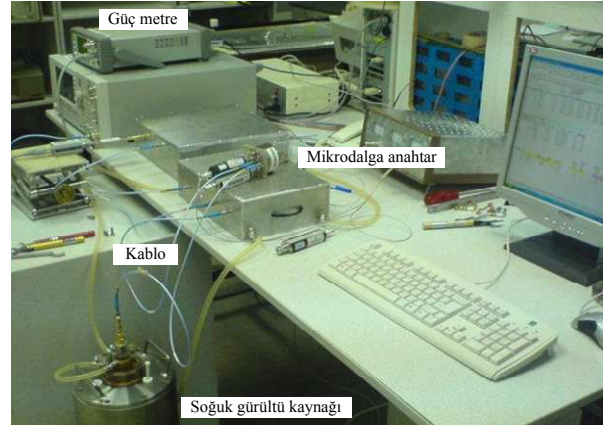
Şekil 3. Üretilen gürültü kaynağının a) bölümleri ve b) yapısı.

### 3. Ölçüm Sonuçları

Soğuk gürültü kaynağını test etmek için, soğuk gürültü kaynağı toplam güç radyometreye Şekil 4'de verildiği gibi bağlanmıştır. Soğuk gürültü kaynağını ölçebilmek için anahtara olan bağlantısı bir kablo üzerinden yapılmıştır.



(a)

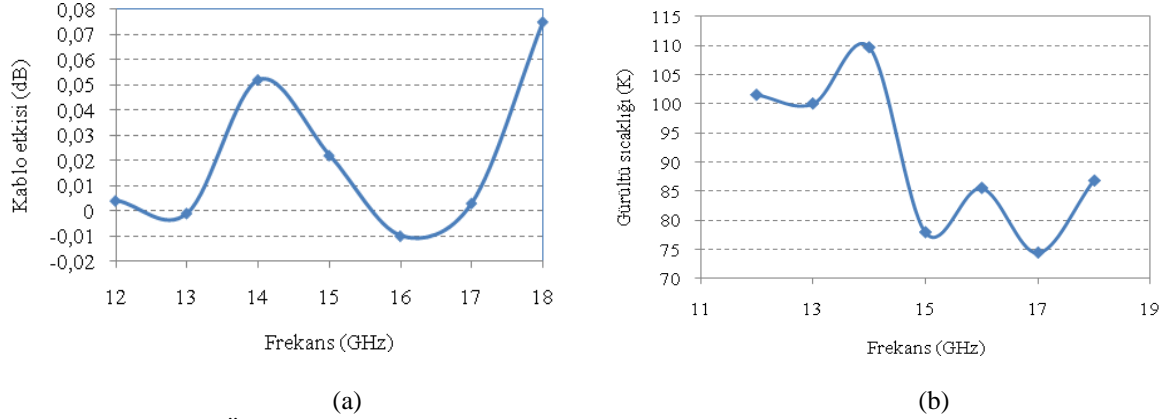


(b)

Şekil 4. Soğuk gürültü kaynağı ölçme sistemi a) blok gösterimi ve b) fotoğrafı.

Anahtar ile soğuk gürültü kaynağı arasındaki bağlantıyı sağlayan kablounun da ürettiği bir gürültü vardır. Kabloya ait gürültüyü belirlemek için, iki adet değeri bilinen yarı iletken gürültü kaynağı kullanılmıştır. Bu gürültü kaynaklarından bir tanesi bir ucu anahtara bağlı olan kablounun diğer ucuna, diğeri ise anahtarın standart kanalına doğrudan bağlanmıştır. Kablounun ucuna bağlanan gürültü kaynağı, değeri bilinmeyen gürültü kaynağı olarak atanmış ve ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen veriler kullanılarak gürültü sıcaklığı hesaplanmıştır. Bu gürültü sıcaklığı kullanılarak, aşırı gürültü oranı (AGO, excess noise ratio),  $AGO(dB)=10\log((T_x-290)/290)$  ifadesi ile hesaplanmıştır. Burada,  $T_x$ , ölçümden hesaplanan gürültü sıcaklığıdır. Hesaplanan değer ile gürültü kaynağının gerçek değeri arasındaki fark kablo etkisi olarak belirlenmiş ve Şekil 5a'da verilmiştir.

İkinci aşamada gürültü sıcaklığı hesaplanan gürültü kaynağı standart olarak kullanılırken kablo ucundaki yarı iletken gürültü kaynağı yerine ise soğuk gürültü kaynağı bağlanmıştır. Yapılan ölçümlerde, soğuk gürültü kaynağının çıkışı ve toplam güç radyometresi, sabit bir değerde sıcaklığı kontrol edilen su ile ısı dengede tutulmuştur. Söz konusu ölçüm sonucunda, tasarımı ve yapımı gerçekleştirilen soğuk gürültü kaynağına ait gürültü sıcaklığı hesaplanmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen değerler Şekil 5b’de verilmiştir. Hesaplanan gürültü sıcaklığı değerleri 75 K ile 110 K aralığında değişmektedir. Soğuk gürültü kaynağına ait iletim hattı ve konnektör gibi malzemelerin kayıpları, hataları ve kendi ürettikleri gürültü nedeni ile sıcaklık değeri 77 K’den farklı elde edilmiştir.



Şekil 5. a) Ölçümde kullanılan kablonun etkisi ve b) soğuk gürültü kaynağının gürültü sıcaklığı.

#### 4. Sonuç

Soğuk gürültü kaynağı üretmek için ticari olarak temin edilen uyumlu bir yük değiştirilmiş, iletim hattı ve konnektörleri üretilerek kaplaması yapılmıştır. Uyumlu yükün, değiştirilmeden önce ve değiştirildikten sonra yansıma katsayıları ölçülmüş ve değiştirilen yükün yansıma katsayısında anlamlı bir fark elde edilmemiştir. İletim hattının iletkenliğinin iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen kaplama sonrası iletim katsayısı değerinin kaplama öncesine göre düşük olduğu ve başarılı bir kaplamanın gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Üretilen tüm parçalar bir araya getirilerek soğuk gürültü kaynağı oluşturulmuştur.

Soğuk gürültü kaynağı 12 GHz – 18 GHz frekans aralığında çalışan UME toplam güç radyometresi kullanılarak test edilmiştir. Soğuk gürültü kaynağı büyük ve ağır olduğundan radyometre girişine doğrudan bağlantısı gerçekleştirilememiş, bu sebeple bağlantı için bir SMA kablo kullanılmıştır. Bu kablonun etkisi yapılan ölçümlerle hesaplanmış ve soğuk gürültü kaynağının ölçümlerinden çıkarılmıştır. Soğuk gürültü kaynağına ait hesaplanan gürültü sıcaklığı değeri 77 K’e yakın olarak elde edilmiştir.

#### 4. Kaynaklar

- [1]. Miller, C. K. S., Datwitt, W.C., ve Arthur, M. G., “Noise Standards, Measurements, and Receiver Noise Definitions”, Proceedings of the IEEE, Vol. 55, No. 6, s. 865-877, 1967.
- [2]. Blundell, D. J., Houghton, E. W., Sinclair, M. W., “Microwave Noise Standards in the United Kingdom”, IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, s. 484-488, Kasım 1972.
- [3]. Pucic, S. P., “A Null-Balanced Total-Power Radiometer System NCSI”, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, s. 45-53, 1994.
- [4]. Achkar, J., “A Set of Waveguide Primary Thermal Noise Standards and Related Calibration Systems for the Frequency Range 8.2-40 GHz”, IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, s. 638-641, Nisan 1999.
- [5]. Celep M., “Ulusal RF Gürültü Standardı”, URSI 3. Bilimsel Kongresi, Ankara, s. 294-296, Eylül 2006.