

ULUSAL RF GÜRÜLTÜ STANDARDI

Murat Celep
TÜBİTAK – Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)
P. K. 54 Gebze, 41470 Kocaeli
murat.celep@ume.tubitak.gov.tr

Özet: *Düşük seviyeli bir işaret olan elektriksel gürültü hassas sistemlerde genellikle istenmeyen bir işarettir. Öte yandan bu işaret çok küçük olduğundan, gerçek değerinin belirlenmesi zordur. Elektriksel devre elemanlarının ve sistemlerinin gürültü analizleri yapılırken, değeri bilinen elektriksel bir gürültü kullanılır. Elektriksel bir gürültü işareti elde etmek için standart olarak ısı gürültü (sıcak/soğuk) kaynakları kullanılmaktadır. Standart gürültü kaynakları çıkışında elde edilen elektriksel gürültünün değeri oldukça hassas olarak hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada UME’de üretimi gerçekleştirilen soğuk tip gürültü kaynağının yapısı ve çalışması anlatılmıştır.*

1. Giriş

Elektriksel bir sistem veya cihaz tarafından üretilen rastgele işaretler elektriksel gürültü olarak isimlendirilmektedir. Bu elektriksel gürültü seviyesi cihaz veya sistemin hassasiyetini sınırlayan önemli parametrelerden biridir. Elektriksel gürültünün genlik değerinin oldukça düşük olması nedeni ile gürültü ölçümleri, değeri bilinen bir gürültü kaynağı ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilir. Bir elektrik sisteminde kullanılan bütün devre elemanları, içerdikleri elektron yapısı nedeniyle mutlaka elektriksel bir gürültü üretirler. Bu elektriksel gürültü, ortalaması sıfır olan bir işaret olup Eşitlik (1)’de verildiği gibi ifade edilmektedir [1].

$$V_n^2 = 4kTBR \quad (1)$$

Burada; k: Boltzman sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$ Joule/K), T: Mutlak sıcaklık (K), B: Band genişliği (Hz), R: Direnç (Ω)’dir. Bir direnç üzerinden elektriksel bir gürültü işaretini elde etmek için, direnci belirli bir sıcaklıkta tutmak yeterlidir. Eğer, sıcaklık ve direnç değeri kesin olarak bilinirse bu sistem çıkışında elde edilen gürültü gerilimi hesaplanabilir. Gürültü kaynağı çıkışında elde edilen gürültü gerilimi uyumlu bir yüke uygulandığında yük üzerinde bir güç oluşturur. Uygulamada, gürültü gücü yerine gürültü sıcaklığı ifadesi kullanılmaktadır [2]. Gürültü sıcaklığı kelvin (K) olarak Eşitlik (2)’de verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$T = \frac{P}{kB} \quad (2)$$

Eşitlik (2)’de verilen P değeri gürültü kaynağı çıkışından elde edilen güçtür. Standart bir gürültü kaynağının çıkışında elde edilen gürültü sıcaklığı, Eşitlik (3)’de verilen ifade ile hesaplanabilir [3-5].

$$T_s = \zeta(T_m + \Delta T) \quad (3)$$

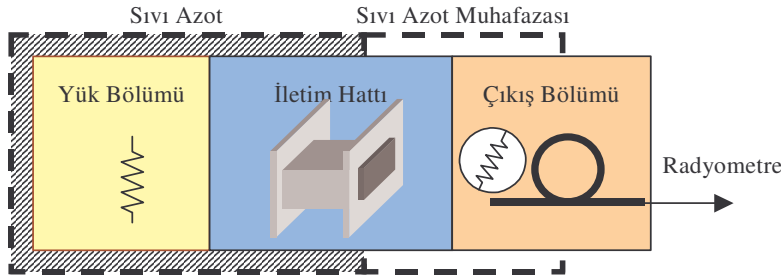
Burada; ζ düzeltme katsayısı, T_m yük gürültü sıcaklığı, ΔT ise iletim hattı ve çıkış bölümünden kaynaklanan gürültü sıcaklığını ifade etmektedir. Gürültü sıcaklığı, radyometre olarak isimlendirilen gürültü ölçme sistemi girişine uygulanarak ölçülür [6-7]. Gürültü sıcaklığı kullanılarak ölçülmek istenen diğer gürültü kaynaklarının ürettiği gürültü sıcaklıklarının değerleri belirlenir. Günümüzde elektriksel gürültüyü elde etmek için çeşitli standartlar kullanılmaktadır [8]. Birincil seviyede elektriksel gürültü elde etmek için ulusal metroloji enstitülerinde sıcak veya soğuk gürültü kaynağı kullanılmaktadır. UME’de ise, soğuk gürültü kaynağı seçilmiştir.

2. Soğuk Gürültü Kaynağı

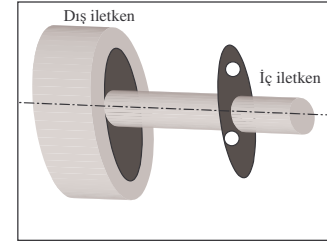
Gürültü kaynağı çıkışından elde edilmek istenen gürültü sıcaklığına (örneğin 77°K veya 500°K) göre gürültü kaynağı tasarımı yapılır. Sıvı azotun sıcaklığı olan 77 °K’de çalışan gürültü kaynakları soğuk gürültü kaynağı olarak nitelendirilir. Elektriksel gürültü kaynağı yük bölümü, iletim hattı ve çıkış bölümü olarak üç temel bölümü ile birlikte azot muhafazası gibi bölümlerden oluşur. Bu bölümleri içeren bir elektriksel gürültü kaynağı Şekil 1’deki gibidir. Şekil 1’de verilen yük bölümü, iletim hattı ve çıkış bölümü N tipi koaksiyel iletim hattında olup, yük bölümü ve iletim hattının bir kısmı sıvı azot içerisinde yer alır. Sıvı azot ve tüm sistem bir muhafaza içerisinde bulunur ve radyometreye uygun konnektörlü kablolar ile bağlanır.

2.1. Yük Bölümü

Yük bölümü gürültü kaynağının en önemli parçası olup elektriksel gürültü bu bölümde bulunan direnç kullanılarak elde edilir. Bu bölümde bulunan yük tamamen azot içerisindedir. Gürültü kaynağı tarafından üretilen gürültü teorik olarak hesaplanır. Pratikte, hesaplanan bu değer kullanılacağından yükün her noktasındaki sıcaklık aynı olmalıdır. Ancak, koaksiyel bir iletim hattı olması nedeni ile iç ve dış iletkenler, aralarına yerleştirilen bir dielektrik malzeme ile aynı merkeze getirilirler. Pratikte iki iletkenin her noktasındaki sıcaklığı eşit tutmak oldukça zordur. Bu zorluğu aşmak için koaksiyel yükün iç ve dış iletkenleri arasındaki dielektrik malzeme üzerine üç adet delik açılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Gürültü kaynağı yapısı

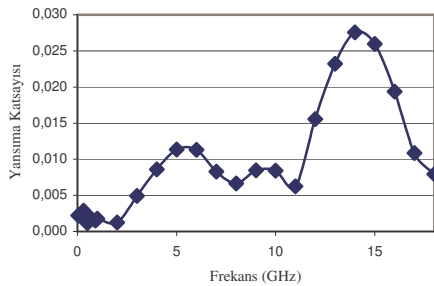


Şekil 2. Dielektrik delikleri

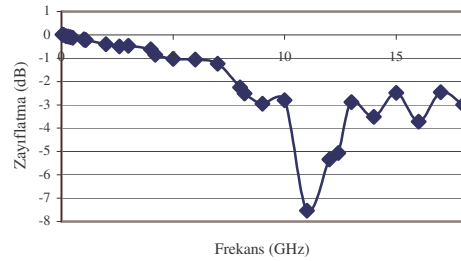
Diğer yandan sıvı azotun yük içerisine tam olarak nüfuz edebilmesi için yük muhafazası üzerinde bir çok delik açılmıştır. Açılan bu deliklerden yükün iç ve dış iletkenleri ile yükün tamamının sıvı azot içerisinde bulunması sağlanmıştır. Böylece, yükün herhangi bir noktasında sıcaklık farkının oluşması en aza indirgenmiştir. Üzerinde değişiklikler yapılmış olan N tipi konnektöre sahip yükün yansımaya katsayısı, 45 MHz-18 GHz frekans bandında Şekil 3'de verildiği gibi elde edilmiştir.

2.2. İletim Hattı

Sıvı azot içerisinde 77 °K'de bulunan yük üzerinde elde edilen elektriksel gürültünün oda sıcaklığına (293 °K) aktarılabilmesi için koaksiyel bir iletim hattı kullanılması zorunludur. Bu iletim hattının bir kapısı 77 °K ve diğer kapısı 293 °K'de olur. İletim hattı üzerinden, yük bölümünde elde edilen elektriksel gürültüyü çıkış bölümüne en düşük kayıpla aktarması gerekirken, ısı olarak herhangi bir aktarma yapmaması beklenir. Bu durum ise genellikle gerçekleştirilemez. İletim hattı paslanmaz çelik malzemeden üretilerek ısı yalıtım sağlanmaya çalışılmıştır. İletim hattının sıvı azot ile çıkış bölümü arasında kalan kısmı çok ince üretilerek ısı iletkenlik daha da azaltılmış ve azot kaybının az olması sağlanmıştır. Azot kaybı azaldığında ise gürültü kaynağının tek seferde kullanılabilirliği süre uzayacaktır. Şekil 4'de paslanmaz çelik malzemeden üretilen, N tipi konnektör yapısına sahip iletim hattının zayıflatma grafiği verilmektedir.



Şekil 3. Yüke ait yansımaya katsayısı

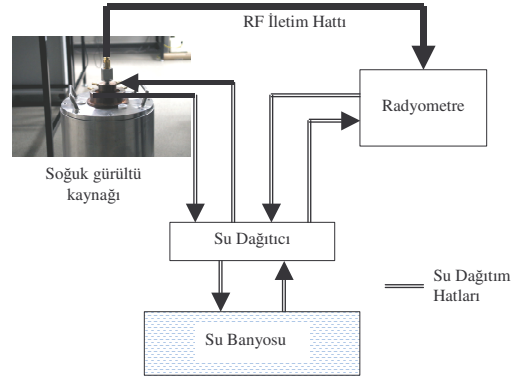


Şekil 4. İletim hattının zayıflatması

İletim hattının paslanmaz çelikten ($\sigma_{\text{PaslanmazÇelik}} = 0,7 \cdot 10^7 \text{ S/m}$) olması, elektriksel zayıflatma değerinin yüksek olarak elde edilmesine neden olmaktadır. Bu zayıflatma değerlerinin düşürülmesi için paslanmaz çelik malzemenin elektriksel olarak daha iyi bir malzeme ile ($\sigma_{\text{Au}} = 4,5 \cdot 10^7 \text{ S/m}$ veya $\sigma_{\text{Ag}} = 6,14 \cdot 10^7 \text{ S/m}$) kaplanması gerekmektedir.

2.3. Çıkış Bölümü

Yük üzerinden elde edilen elektriksel gürültü iletim hattı üzerinden standart gürültü kaynağının çıkışına aktarılır. Bu bölümde, ölçüm sistemine bağlantı için bir konnektör ve bağlantı noktası ile radyometrenin aynı sıcaklık değerinde olmasını sağlamak için ısı kontrol ünitesi yer alır. Ölçüm yapılan sistem çoğunlukla oda sıcaklığındadır. Dolayısıyla çıkış bölümünün de oda sıcaklığında olması gerekir. Çıkış bölümünün oda sıcaklığında olmasını sağlamak için konnektör üzerine yerleştirilen ve içerisinde su döndürülen bir ünite bulunmaktadır. Bu ünite içerisinde dolaşan su, sıcaklık kontrollü bir su banyosundan alınır (Şekil 5). Su, tüm sistemde döndürülerek ölçme sistemi ile gürültü kaynağının çıkış noktası (Şekil 6a) sıcaklıklarının aynı olması sağlanır.



Şekil 5. Sistemde su dolaşımı



(a)



(b)

Şekil 6. Soğuk Gürültü Kaynağı (a)Yük Bölümü, İletim Hattı ve Çıkış Bölümü (b) Sıvı Azot Muhafazası

3. Sonuç

Standart olarak kullanılmak üzere tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen ve Şekil 6b'de verilen N tipi soğuk gürültü kaynağının Şekil 3'de verilen yansıma katsayısı değerleri 18GHz'e kadar oldukça iyi ($SWR < 1,1$) olmasına rağmen, Şekil 4'de verilen ölçüm sonuçları dikkate alındığında 10 GHz'e kadar olan frekanslarda (< 3 dB), kullanıma uygun olduğu değerlendirilmektedir. İletim hattının 3 dB'ye kadar olan zayıflama değeri kullanım için yinede büyük olduğundan, iletim hattının iletkenliği daha iyi olan bir malzeme ile kaplanması gerekmektedir. Bu çalışma ile, UME'de kurulumu devam eden RF gürültü ölçme sisteminin en önemli parçalarından biri olan standart gürültü kaynağının üretimi gerçekleştirilmiştir.

4. Kaynaklar

- [1]. Nyquist H., "Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors", Phys Rev 32, s. 110-113, 1928.
- [2]. Yaran Ş., "Birincil seviye RF ve Mikrodalga Gürültü Ölçüm Sistemi", 1. RF ve Mikrodalga Ölçümleri Ulusal Çalıştayı, TÜBİTAK UME, Kocaeli, Eylül 2005.
- [3]. Kessel W. ve Buchholz F., "The PTB R 100 Primary Thermal-Noise Standard", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. IM-32, No. 1, s. 286-288, 1983.
- [4]. Daywitt W. C., "A Set of Primary Noise Standards for the mm-Wave Bands", Microwave Journal, s. 122-126, Kasım 1993.
- [5]. Daywitt W. C., "A Coaxial Noise Standard for the 1 GHz to 12.4 GHz Frequency Range", NBS Teknik Not 1074, Mart 1984.
- [6]. Kato Y. ve Yokoshima I., "A 4-GHz Band Low-Noise Measurement System", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. IM-36, No. 1, s. 60-66, 1987.
- [7]. Ulaby F. T., Moore R. K. ve Fung A. K., "Microwave Remote Sensing", ArtechHouse, 1981.
- [8]. Miller C. K. S., Daywitt 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.