

# Yüksek Güç Mikrodalga Kaynaklar; Dünya'nın Yeni Silahları

## UNM –ECE Albuquerque İncelemesi

Selcuk HELHEL ve Şükrü ÖZEN  
Akdeniz Üniversitesi  
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü Konyaaltı, ANTALYA  
selcukhelhel@akdeniz.edu.tr

**Özet:** *Yüksek Güç Mikrodalga Kaynaklar – YG-MDK, yüksek çözünürlüklü radar sistemleri, petrol ve atıklarının sulardan arındırılması gibi çevre problemleri, tıp, nükleer füzyon ve plazma üretimi gibi pek çok alanda uygulama bulmaktadır. Bu çalışma, YG-MD, esaslarını ele almakta ve konuya ilgi duyan bilim insanlarını bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma içerisinde, yüksek güç mikrodalga kaynaklarının temel elemanları, Univeristy of New Mexico, Department of ECE, Pulsed Power Beam Laboratory'de, üzerinde çalışmalar yapılan SINUS-6 cihazı üzerinden anlatılmaktadır. SINUS- 6 cihazı, St. Petersburg Üniversitesi tarafından tasarlanmış, daha sonra UNM'e getirilerek halen geliştirme çalışmaları yürütülen ve 650MW a kadar çıkış verebilen bir yüksek güç mikrodalga kaynaktır. Burada tasarımı tamamlanan yeni nesil magnetron[1] ile denenmiş ve teorik çalışmaya [1] yakın sonuçlar vermiştir. Son kısımda ise yüksek güç mikrodalga kaynaklarının yukarıda bahsi geçen temel alanlardaki kullanımına ilaveten YG-MDK ların uzak mesafe etkileri ve karşı alınacak tedbirler tartışılacaktır.*

### 1. Giriş

Geçtiğimiz son çeyrek boyunca yüksek güç mikrodalga kaynaklar (YG-MDK), parçacık hızlandırıcılar, kablosuz güç iletimi, kotrollü füzyon reaktörleri, plazma üretimi ve yüksek güç radar gibi çok geniş bir kullanım alanı bulurken, ulaştıkları 1GW seviyesindeki enerji seviyeleri ile birlikte askeri savunma sistemlerinde, saldırgan elektronik sistemleri bozmak yada yok etmek için kullanılabilirler dikkati çekti. En çok kullanılacağı alan olarak yüksek çözünürlüklü radarlar akla gelmektedir. Burada en temel amaç mümkün olan en yüksek değerde güç üretirken en iyi verimi almaktır.

Burada YG-MDK ile neyin kastedildiği müphem bir ifade olmakla birlikte, kısaca şöyle tanımlanabilir; YG-MDK öyle bir kaynak ki ürettiği elektrik alan şiddeti havanın kırılma (delinme) dayanımı civarında elektrik alan üretebilen kaynaklardır. Bu değer kabaca 2MV/m ile 3MV/m arasında değişmektedir. Ancak biliyoruz ki ortalama güç yoğunluğu  $1.33\text{GW.m}^{-2}$  olması halinde havanın dayanım sınırı, istatistiksel olarak,  $1\text{MV.m}^{-1}$  ile sınırlıdır. Bunun ötesindeki bir değeri taşıyamaz. Tam bu noktada ortaya çıkan ilk problem bu değer ne şekilde daha yüksek değerlere çıkarılabileceğidir.

### 2. YG-MDK ve Esasları

Pratik olarak bir YG-MDK daha öncede bahsedildiği üzere, yüksek – gerilim çıkışlı güç kaynağı, yüksek güç elektron tabancası, yüksek güç rf devresi, uygun bir rf vakum penceresi ve elektron demeti toplayıcısını birleştiren bir yapıya sahiptir. Sistemin parçası olmak üzere, yüksek-güç dalga klavuzları, yükler, yönlendirici ve antenleri de dahil etmek gerekir.

#### 2.1 Güç Şartı

İki temel güç besleme katı bulunmaktadır; bunlardan ilki hat modülatörü ve diğeri “hard tube” modülatörlerdir. Bir yüksek gerilim kaynağı, darbe şekillendirme devresi ve genellikle gaz ile doldurulmuş tayratron anahtarlama tüpü ve adımli yüksek gerilim trafosu içermektedir. Adımli yüksek gerilim trafosu ile besleme gerilimi darbeli olarak elektron tabancasına verilir. Tayratronlar bir kere iletme geçtiklerinde kapatılmadıklarından dolayı, darbenin şekli darbe şekillendirme devresi - DŞD ve yük aracılığı belirlenir ve kontrol edilir.

#### 2.2 Elektron Tabancası

Her hangi bir mikrodalga kaynağın performansı, çok kritik bir şekilde cihazı süren elektron demetinin parametrelerine bağlıdır. Cihazın muhtemel çıkış gücü elektron demetinin gücü ile artarken(başlarken), demetin

akım ve gerilim çarpımı, aynı zamanda gerçekleştirilebilir cihaz verimine de bağlıdır [2]. Tekrarlı darbeleri cihazlar genellikle katı elektron demetleri kullanırlar. Burada katod ışına yüzeyi kürenin içi yüzeyinin bir parçasıdır ve genellikle odaklı elektrotlar tarafından sarılmıştır ve elektronlar anot açıklığının civarında odaklanırlar. YG-MDK larda kullanılan temel katod tipi, termiyonik katodlardır. Magnetronlar ise ikincil ışına katodları olarak bilinir. Katoddan oluşan ışına, yüzeyden elde edilen maksimum akım yoğunluğu ve gerilimin uygulandığı aralıktan elde edilen akım yoğunluğu olmak üzere iki temel noktaya dayanır. Bu yüzden de kısa rf darbeleri elde etme hedefine varmak için farklı cihaz tasarımlarına gidilmektedir.

### 2.3 Rf Çökme ve Darbenin Yokolması

YG-MDK larda çok karşılaşılan bir durum olup, çıkıştaki darbenin girişten daha dar olmasını ifade eder. Bu durum pek çok nedenden dolayı ortaya çıkarken, parametreler tamamen cihaza bağlıdır. Mikrodalga ışına üretmek üzere, yüksek gerilim elektron demetlerinin yavaşlatılması şiddetli rf alanlarının kullanılmasını gerektirir. Bu alanlar rf devre içerisinde, rf çökmesine neden olurken plazma üretilmesi sonucunu doğurur. Buna bağlı olarak magnetronlar üzerinde yapılan araştırmalar, bunun nedeni olarak; katoddaki plazmanın radyal genişlemesinin mikrodalga sınır koşullarını değiştirdiğini, dolayısı ile magnetron rezonans şartını bozarak MD darbenin sonlanmasına neden olduğunu göstermiştir [3]. Bir diğer neden ise, rf devre içerisinde uzay yüklerinin oluşmasıdır. Bu yükler, rf alanlar ile aksel manyetik alanların birleşmesi sonucu ortaya çıkarlar ve anot yada katoda ulaşamadıkları zaman yakalanırlar[2]. Pratikte, YG-MDK larda, rf çökmesi yalnızca yüzey manyetik alanlarının çok dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi ve  $10^{-8}$  Torr seviyesindeki ultra düşük vakum seviyeleri ile sağlanabilir.

### 3. SINUS VI ve Yapısı

Şekil 3 ile gösterilen kısım, 700kV'luk çıkış verebilen "TESLA" trafosu, adımli trafo, ile basıncı ayarlanabilir bir gas anahtarlama ünitesini içermektedir. Kabaca trafonun primerini besleyen yüksek kapasiteli bir sığa bulunmakta ve sekonder üzerinden darbe şekillendirme hattı (Pulse Forming Line) , gaslı anahtar mekanizması üzerinden beslenmektedir. Sisteme ilişkin bu ilk kısımda karşımıza çıkan en önemli mekanizma anahtarlama mekanizma-sıdır. Farklı anahtarlama düzeneklerine ilişkin akım gerilim özellikleri Tablo1 ile verilmektedir. Bu tip anahtarlama mekanizma-ları, çok yüksek akım ve gerilim sürebilmeleri ayrıca oldukça hızlı cevap verebilmeleri nedeni ile tercih edilirler. Oluşan arklar yüzünden ömürleri görece kısa olan bu anahtarların içerisinde; hava, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> ile su ve sıvı nitrojen kullanılabilmekte ancak mevcut çalışmada N<sub>2</sub> seçilmiştir. Anahtar içerisindeki gaz basıncı ayarlanarak 1MV dan daha büyük bir potansiyel ile toplam 100 Coulomb'dan fazla bir yük taşınabilirken, ticari olarak elde edilebilen modeller ile 50-75kA taşımak mümkündür [4]. Tablo 1 de anahtarlama için kullanılabilecek alternatif yöntemlerin karşılaştırması bulunmaktadır.

Tablo 1 Darbeleri Güç Uygulamalarında Kullanılan Anahtarların Özellikleri [4]

Anahtar Tipi	Gerilim Dayanımı (kV)	Tepe Akımı (kA)
Kıvılcım Aralıklı	100	10 – 1000
Tayratron	30	1-10
Pseudo kıvılcım	35	5-100
Tiristör	1-5	1-50
IGBT	1	1
Vakum Tüpü	200	0.25

Şekil 4 ile sunulan kısımda ise darbe şekillendirme birimi verilmektedir. Bu kısım aslında basitçe bir empedans uyumlandırma ünitesi olup tesla trafosunun çıkışında görülen direnç ile plazma girişindeki vakum diyodu arasındaki empedans uyumlandırma işini yapmaktadır. Aynı zamanda darbe uzunluğunu da belirlemektedir. Ancak darbe şekillendirme hattının üzerinde bulunan yüksek gerilim ve yüksek akım dolayısı ile oluşacak atlamalar için tedbirler almak gerekmektedir.

Şekil 5 ile gösterilen kısımda ise, oluşturulan manyetik enerji, daha yüksek enerji seviyelerine çıkartılarak bir horn anten aracılığı ile çıkışa verilmeye çalışılmaktadır. Darbe şekillendirme hattının, vakum ortama ( $\approx 10^{-8}$  Torr) ulaştığı noktada kullanılan bir Rogovski sarımı ile buradaki gerilim ve akım değerleri ölçülebilmektedir. Ortamda üretilen elektron demetinin aksel olarak belli bir doğrultuda hareket etmesini sağlamak için yeterince yüksek bir manyetik alan uygulanmaktadır. Sistemin darbe genişliği kabaca 6ns civarında ölçülmüştür.

Montajı tamamlanan sistem ile yapılan ölçüm-lerle  $V \approx 650kV$ ,  $I \approx 5kA$  ve  $P \approx 500MW$  lık bir çıkış elde edilmiş ayrıca daha önce bahsedildiği üzere geliştirilen yeni magnetron ile de bu değer kabaca 650MW seviyelerine ulaşmıştır. Buradaki deneysel kazanımlardan biri de kabaca 30 denemeden sonra diyet geriliminin yükselmesi ve buna bağlı

olarak uyumlandırma veriminin düşmesidir. Dolayısı ile kullanılan diyot için bir optimum noktanın bulunması gerekmektedir.



Şekil 3. Yüksek gerilim katı ve anahtarlama Şekil 4. Darbe şekillendirme birimi Şekil 5. Vakum altındaki çıkış anteni (horn anten).

#### 4. Uzak Mesafe Etkileri

YG-MDK ların etkileri inanılmaz boyutlarda olabilir. Bunlardan ilki 1967 yılında Viyetnam savaşı sırasında, dikkatsiz bağlanmış bir füze kablosu üzerinden alınan radar ışınlarının ortaya çıkardığı felakettir. Ayrıca MD kaynaklarının dielektrik malzemeleri ısıttığı bilinmekte ve endüstride kullanılmaktadır. Aynı şekilde, farklı dielektrik değerlerine sahip parçaların birlikteliğinden meydana gelen biyolojik yapılar üzerinde de doğal bir etki bırakmaktadır. Burada daha ilgi çeken ise, bir MD enerjisinin hedefe ulaşması halinde, hedefin dış yüzeyi boyunca harekete geçerek içindeki elektronik elemanlara kadar uzanan bir sızma ve yayılma işlemi meydana gelmektedir. Bu ise adı geçen cihazın işlevsizleştirilmesi anlamına gelmektedir. Literatürde[5,6,7], pek çok elektronik elemanın  $1\mu\text{J}$ 'den daha büyük bir enerjiye maruz kalması halinde yandığı not edilmektedir. Oysa aşağıda verilen Tablo 2 incelendiğinde 1.1GHz de çalışan ve  $20\text{m}^2$  lik verici ışın alanına sahip, 1GW çıkış gücündeki bir silahın, 1 km lik mesafede 26,000 kat ve  $20\text{km}$ 'lik bir mesafede ise bu değerın kabaca 65 kat daha üzerinde bir etki bıraktığı görülecektir.

Tablo 1 .  $P_{av}=1\text{GW}$ ,  $f=1.1\text{GHz}$  ve  $A_{ef}=20\text{m}^2$  olan bir YGMD silahın uzak alanda oluşturduğu enerji seviyesi.

R(km)	$E_{peak}$ (Uzak Alan)	$P_{av}$ (Uzak Alan)	Enerji U
1	14kV/m	260 kW-m <sup>-2</sup>	26,000 $\mu\text{J.m}^{-2}$
3	4,7kV/m	29 kW-m <sup>-2</sup>	2900 $\mu\text{J.m}^{-2}$
10	1,4kV/m	2.6 kW-m <sup>-2</sup>	260 $\mu\text{J.m}^{-2}$
20	0,7kV/m	0.65 kW-m <sup>-2</sup>	65 $\mu\text{J.m}^{-2}$

#### Tartışma ve Öneriler

Gelecekte ülke savunmaları açısından çok öncelikli olacak YG-MDK'lar, kontrollü kullanılmaları halinde IRA antenler vasıtası ile kanser tedavisinde kullanılabilir. Savunma ihtiyaçlarının yanısıra, saldırı amaçlı da kullanılabilir sistemlerin tasarımı pek çok araştırmacı ve bilim adamı ile pek çok araştırma merkezini birlikte çalışmaya zorlamaktadır. Sistemlerin tasarımı; teorisyenleri ve uygulamacıları içine alacak gruplar oluşturulmasını gerektirmektedir. Ülkemiz-de, konuya ilişkin olarak henüz literatüre geçmiş kapsamlı çalışmalar bulunmamaktadır. Bu toplantı vesilesi ile ortak çalışma gruplarının oluşturulması bir gereklilik ortaya olarak çıkmaktadır.

**Teşekkür:** Bu çalışma Akdeniz Üniveritesi, BAPAYB tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, yakın ilgi ve desteklerinden ötürü UNM – ECE'den Sayın Prof. Dr. Edl SCHAMİLOGLU ve Sayın Prof. Dr. Carl BAUM'a teşekkürü bir borç bilirim.

#### Referanslar

- [1] Michail Fuks and Edl Schamiloglu, Rapid Start of Oscillations in a Magnetron with a "Transparent" Cathode, Physical Review Letters, PRL 95, 205101 (2005), 11 November 2005.
- [2] Steven H. Gold, Review of High-Power Microwave Source Research, Rev.Sci. Instriments, 68 (11), Nov 1997.
- [3] D.Price, J.S.Levine, and J.Banford, in SPIE Proceedings, Vol 3158 ( SPIE-The International Society for Optical Engineering, Bellingham, WA, 1997).
- [4] Edl Schamiloglu, Robert J. Barker, Martin Gundersen and A.A. Neuber, Modern Pulsed Power: Charlie martin and Beyond, Proceedings of IEEE, Special Issue on Pulsed Power Technology and Applications, page: 1014-1019, July 2004.
- [5] M.K. Floring, The Future Battlefield: A Blast of Gigawatts, IEEE Spectrum, pp:50-54, March 1988.
- [6] Clayborne D. Taylor, D.V. Giri, High Power Microwave Systems and Effects, Taylor and Francis, 1994.
- [7] Carl E. Baum, Compression of Sinusoidal Pulses for High – Power Microwaves, Air Force Research Laboratory, Note 48. 1993.