

MİKRODALGA TEKNİĞİ

GİRİŞ

Mikrodalgalar terimi, **1 cm** ile **1 m** arasında uzunluğa sahip EMD'ları tanımlamak için kullanılır. Bu dalga boylarına karşılık gelen frekans bölgesi **300 MHz** ile **30 GHz** arasındaki bölgedir. **1mm - 10 mm dalga boyuna** sahip EMD'lar **Milimetrik Dalgalar** olarak adlandırılır. **Infrared ışım**a spektrumu ise **1 µm - 1 mm** bölgesinde dalga uzunluğuna sahip EMD'ları ihtiva eder. Infrared bölgenin ötesinde görünür **optik** spektrum, **ultraviolet** spektrum ve son olarak **x-ışınları** bulunur. Elektromanyetik spektrumdaki **frekans bandlarını gösteren birkaç farklı sınıflandırma** mevcuttur. Bu sınıflandırmalar Tablo 1-1 ve 1-2 de özetlenmiştir. **Radar band sınıflandırması** II. Dünya Savaşı esnasında kullanılmaya başlanmış ve her ne kadar **yeni askeri band sınıflandırması** tavsiye edilse de, II. Dünya Savaşında yapılan bu tanımlama günümüzde de kullanılmaktadır.

1 GHz'e kadar olan UHF bandında, **toplu parametrel**i devre elemanları kullanılarak pekçok haberleşme devresi oluşturulmaktadır. **1-100 GHz** bölgesinde, toplu devre elemanları yerine **transmisyon hattı ve dalga kılavuzu** elemanları kullanılır. Bu nedenle, **Mikrodalga Mühendisliği** teriminden, genellikle **30 cm - 3 mm** dalgaboylarına karşılık gelen **1 GHz - 100 GHz** frekans bölgesindeki bilgi elde etme ve işleme sistemlerinin tasarımı ve **mühendisliğini anlayacağız**. Daha kısa dalgaboylarında, kullanılan tekniklerin pek çoğu klasik optik tekniklerden türetildiği için, **optik mühendisliği** terimi kullanılır. Mikrodalga Mühendisliğinin karakteristik özelliği kısa dalgaboylarıdır. **Bu dalgaboylarında kullanılan devre elemanları ve düzenler hemen hemen aynı mertebededir.**

TABLO 1.1. Frekans Bandlarının Kullanım Alanına göre Tanımı

Frekans Bandı	Tanımlama	Kullanıldığı Yer
3-30 KHz	Very Low Frequency (VLF)	Navigasyon, Sonar (ses galgaları ile deniz altı nesnelere belirleme yöntemi)
30-300 KHz	Low Frequency (LF)	Radyo ile yön bulma, Radyo ile seyir, Navigasyonel yardım
300-3000 KHz	Medium Frequency (MF)	AM yayını, Deniz radyosu, Sahil güvenlik haberleşmesi, Yön bulma
3-30 MHz	High Frequency (HF)	Telefon, Telgraf ve fax, Kırsaldalga uluslararası radyo yayını, Amatör radyo, Halk bandı, Gemiden-sahile, Gemiden-havaya haberleşme, Radyo ile seyir
30-300 MHz	Very High Frequency (VHF)	TV, FM yayını, hava trafik kontrolü, Polis, Taksit mobil haberleşme
300-3000 MHz	Ultrahigh Frequency (UHF)	TV, Uydu haberleşme, Radyo dalgalarıyla görüntüleme merkezine meteorolojik data iletme, Gözetleme Radarı, Navigasyonel yardım
3-30 GHz	Superhigh Frequency (SHF)	Uçak Radarı, Mikrodalga linkleri, Kara-mobil haberleşme, Uydu haberleşmesi
30-300 GHz	Extreme High Frequency (EHF)	Radar, Deneysel amaçlar

TABLO 1.2. Mikrodalga Frekans Bandları

Frekans	Mikrodalga Band Tanımı ESKİ	Mikrodalga Band Tanımı YENİ
100-250 MHz	VHF	A
250-500 MHz	VHF	B
500-1000 MHz	VHF	C
1-2 GHz	L	D
2-3 GHz	S	E
3-4 GHz	S	F
4-6 GHz	C	G
6-8 GHz	C	H
8-10 GHz	X	I
10-12.4 GHz	X	J
12.4-18 GHz	Ku	J
18-20 GHz	K	J
20-26.5 GHz	K	K
26.5-40 GHz	Ka	K
40-60 GHz	40-300 GHz Milimetrik Dalgalar	L
60-100 GHz		M
>300 GHz	Milimetre Altı Dalgalar	

Bir devredeki bir noktadan başka bir noktaya elektriksel etkilerin ulaşması için gerekli propagasyon (yayıma) zamanı, sistemdeki osilasyon yapan akımların ve yüklerin periyodu ile mukayese edilebilir seviyededir. **Sonuç olarak**, Kirchoff Kanunları ve Voltaj-Akım kavramlarına dayanan konvansiyonel alçak frekans devre analizi, oluşan elektriksel olayın uygun şekilde tamamlanabilmesi için artık yeterli değildir. Devreyle ilgili elektrik ve manyetik alanların tanımı vasıtasıyla analiz yapmak gerekir. Esasen, Mikrodalga Mühendisliği uygulamalı Elektromanyetik Alan Mühendisliği'dir denilebilir. Bu nedenle, başarılı bir mikrodalga mühendisinin iyi bir Elektromanyetik Alan bilgisine sahip olması gerekir.

Toplu parametrelili devre elemanları yerine dağılmış devre elemanlarının kullanıldığı başka bir frekans sınırı yoktur. Modern teknolojik gelişmelerle, **10 GHz'e kadar** hatta daha yüksek frekanslarda, toplu parametre karakteristiklerini kaybetmeyecek kadar küçük **baskılı devre indüktörleri** oluşturmak mümkündür. Ayrıca, **1 m veya daha uzun dalga boylu mikrodalgaları** odaklamak için **parabolik reflektörler ve lensler** gibi optik elemanlar kullanılır. Bunun sonucu olarak, bir mikrodalga sisteminin tasarımında optik düzenlere ilaveten, mikrodalga mühendisliğinde minyatür indüktör ve kapasitörler gibi alçak frekans toplu parametrelili devre elemanları da sık sık kullanılmaktadır.

MİKRODALGA UYGULAMALARI

II. Dünya Savaşı süresince ve savaş sonrasında bir süre, **düşman uçak ve gemilerini belirleme ve yerlerini tayin etme** kapasitesine sahip yüksek çözünürlüklü **Radar (RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging) ihtiyacı nedeniyle, mikrodalga sistemlerinin gelişmesi için sağlanan büyük destekten dolayı, **mikrodalga mühendisliği radar mühendisliği ile** hemen hemen eş anlamlıydı. Bugün dahi; **füze-izleme radarı** (missile-tracking radar), **atış-kontrol radarı** (fire-control radar),

meteoroloji radarı (weather-detecting radar), **füze-kılavuz radarı** (missile-guidance radar), **hava trafik kontrol radarı** (airport traffic-control radar), v.s. gibi pekçok değişik formdaki radarlar mikrodalga frekanslarının önemli bir kısmını kullanır. Bu kullanım, verici gücünün tamamını dar bir kalem ucuna benzer bir ışın demeti şeklinde ışınlayacak antenlere sahip olabilme ihtiyacından doğar. Bir antenin ışımayı dar bir demete yoğunlaştırma kabiliyeti kırınım etkileriyle sınırlanır. Bu kabiliyet dalgaboyu cinsinden ışınma açıklığının bağlı boyutuyla ilgilidir. Örnek olarak, parabolik reflektör tipi bir anten, $140^\circ/(D/\lambda)$ (burada D parabol çapı ve λ dalgaboyudur.) kadar açısal demet genişliğine sahip (kalem ucu tipi) ışıyan enerji demeti üretir. Böylece **90 cm'lik** (yaklaşık 3 ft = 3x30.48 cm) bir parabol, **10^{10} Hz'lik frekansta yani 3 cm'lik dalgaboyunda yaklaşık 4.7°'lik bir demet üretir.** Bu tip bir demet radarın gözlediği bir hedef için önemli derecede doğru bir konum bilgisi verebilir. **100 MHz'lik bir frekansta** benzer bir performans elde edebilmek için, **300 ft (yaklaşık 90 m) bir parabol gerekir** ki, bu kadar büyük bir anteni uçakta taşımak mümkün değildir.

Daha sonraki yıllarda, mikrodalga frekansları genellikle mikrodalga linkleri adıyla, haberleşme linklerinde geniş kullanım alanı buldu. Mikrodalgaların yayılması, **görüş hattı boyunca etkin** olduğundan bu linkler haberleşme yolu boyunca aralıklarla yerleştirilmiş **tekrarlama istasyonları (repeater stations)** şeklinde reflektörlü veya lens-tipi antenli yüksek kuleler gerektirir. Çevreyol polisi, kamu şirketleri ve TV ağlarının çok sık kullanımlarından dolayı, bu tür linkler çok seyahat edenlerce sıkça görülür. Mikrodalgaların daha ilginç haberleşme amaçlı kullanımı, mikrodalga röle istasyonu olarak uydu haberleşmesindeki kullanımıdır. Bunların ilki, Temmuz **1962** de gönderilen ve Amerika'dan Avrupa'ya ilk canlı **TV yayını sağlayan Telstar**'dır.

O zamandan beri atmosferik ve hava şartlarıyla ilgili data toplama ve gözetleme ile birlikte haberleşme amaçlı olarak pekçok uydu yerleştirildi. Direkt TV yayını için en çok kullanılan band C bandıdır. Kullanılan **up-link frekansı 5.9-6.4 GHz bandı** ve alma veya **down-link frekans bandı 3.7-4.2 GHz** bandıdır. Evde kullanım için genellikle 8-ft çapında parabolik reflektör anten kullanılır.

Direkt TV yayını için ikinci bir frekans bandı daha tahsis edildi. Bu band için, **up-link frekansı 14-14.5 GHz** bölgesinde ve **down-link frekansları ise 10.95-11.2 GHz ve 11.45-11.7 GHz** bandları içindedir. Bu bandda 3-ft çapında bir alıcı parabolik anten uygundur. Şu anda bu frekans bandı Amerika'da fazlaca kullanılmazken, Avrupa ve Japonya'da yoğun olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca yıllardır mikrodalga yer linkleri de kullanılmaktadır. Bell şebekesinin parçası olarak 1948 yılında TD-2 sistemi servise konuldu. Bu sistem 3.7-4.2 GHz bandında çalıştı ve herbiri 3.1 KHz band genişliğini kapsayan 480 ses devresine sahipti. 1974'de 10.7-11.7 GHz bandında çalışan TN-1 sistemi işleme sokuldu. Bu sistem 4.5 MHz band genişlikli bir video kanal veya 1800 ses devresi kapasitesine sahipti. Bu zamandan beri yer mikrodalga linklerinin kullanımı hızla büyüdü.

Şu anda haberleşme sistemleri dijital transmisyona doğru hızla kaymaktadır. Yani analog işaretler transmisyondan önce digital işarete dönüştürülmektedir. Mikrodalga dijital haberleşme sistemlerinin gelişimi de hızla ilerlemektedir. Eski sistemlerde basit modülasyon metodları kullanıldı ve bu durum, elde edilebilen frekans spektrumunun verimsiz kullanımı ile sonuçlandı. 64-kat quadrature genlik modülasyonundaki (64-QAM) gelişme bir tek 30 MHz RF kanalıyla 2016 ses kanalının iletişimini mümkün hale getirdi. Bu, ses için FM analog modülasyon metodu ile rekabet etmektedir. Bundan sonraki adım geliştirilmekte olan 256-QAM sistemidir. Bir modülasyonlu taşıyıcının

elde edilmesi ve işlenmesi için modülasyon yan bantları taşıyıcı frekansın sadece yüzde bir kaçı olabilir. Bu durumda görülüyor ki, bir link üzerinden pek çok TV programının verimli bir şekilde iletimi için taşıyıcı frekans mikrodalga bölgesinde olmalıdır. Mikrodalga sistemlerinde gelişme olmasaydı, haberleşme araçlarımız ciddi olarak aşırı yüklenir ve mevcut iletim sistemleri yetersiz hale gelirdi.

Bütün bunların dışında **mikrodalgalar temel ve uygulamalı araştırma alanlarında ve mikrodalga fırınları** gibi pratik düzenlerin pek çoğunda geniş kullanım alanına sahiptir. Şimdi bu özel uygulamaların bazılarını kısaca açıklayalım.

Şönt süseptans elemanları ile periyodik olarak yüklenmiş dalga kılavuzları ışık hızından daha düşük hızlara sahip yavaş dalgalar oluşturur ve bunlar lineer hızlandırıcılarda kullanılır. Bunlar atomik ve nükleer araştırmalarda kullanılmak üzere yüklü parçacıkların yüksek enerji demetlerini üretir. Yavaş yürüyen elektromanyetik dalgalar aynı hıza sahip yüklü parçacık demetleriyle çok verimli bir şekilde etkileşir ve bu suretle demete enerji verirler. Diğer durumda ortaya çıkan amplifikasyonla bir elektron demetindeki enerji elektromanyetik dalgaya verilir. Böyle düzen **yürüyen dalga tüpü** olarak adlandırılır.

Bu bandda ışımaya yayan güneş ve birçok radyo yıldızından doğan elektromanyetik ışımaya dedekte etmek ve onlar üzerine çalışmak için **radyo astronomide** hassas mikrodalga alıcılar kullanılır. Bu tür alıcılar plazmalardan (elektron ve iyonların yaklaşık olarak nötr birikimleri, mesela gaz deşarjı) ışıyan gürültüyü dedekte etmek için de kullanılır. Elde edilen bilgi, plazma ışımaya neden olan çeşitli mekanizmaları belirlemek ve analiz etmek için bilim adamlarına imkan sağlar. Ayrıca, atmosferik sıcaklık profilleri ile toprak ve ekili alanlardaki rutubet şartlarının haritasını çıkarmak ve diğer uzaktan algılama uygulamaları için mikrodalga radyometreleri (ışın ölçer) kullanılır.

Moleküler, atomik ve nükleer sistemler, uygulamalı elektromanyetik alandan kaynaklanan periyodik kuvvetlerin etkisi altında çeşitli rezonans olayı gösterirler. Bu rezonansların çoğu mikrodalga bölgesinde oluşur. Bundan dolayı malzemelerin temel özelliklerinin tespiti için mikrodalgalar çok güçlü bir deneysel sondaj sağlar. Malzemelerle ilgili bu araştırma dışında, feritlerin kullanıldığı karşılıksız bazı düzenler, bazı katı-hal mikrodalga amplifikatör ve osilatörleri, mesela maser'ler, ve hatta, koherent (yapışık) ışık kaynağı ve amplifikatörleri (laser) gibi pekçok düzen de mikrodalga konusundaki gelişmelerin sonucu olarak ortaya çıktı.

Laser'in (esasen monokromatik yani tek frekanslı koherent ışık dalgaları kaynağının) gelişimi optik dalgaboylarında haberleşme sistemlerinin geliştirilebileceği ihtimalleri üzerine büyük bir ilgi uyandırdı. Bu frekans bandı bazen ultramikrodalga bandı olarak da anılır. Bazı modifikasyonlarla, mevcut mikrodalga teknolojisinin bir çoğundan optik sistemlerin gelişiminde istifade edilebilir. Bu nedenle, konvansiyonel mikrodalga teorisi ve düzenleri ile ilgili iyi bilgi, elektromanyetik spektrumun yeni sınırındaki çalışma için iyi bir temel sağlar.

Mikrodalga ev fırını 2.450 GHz de çalışır ve 500-1000 W'lık çıkış gücüne sahip bir magnetron tüp kullanılır. **Tanecik kurutma, ağaç ve kağıt ürünleri üretme, ve malzeme işleme** gibi ısıtma uygulamaları için, 915-2450 MHz'lik frekans bölgesi belirlenmiştir. **Tıbbi hipertermiya** veya tümörlerin lokal olarak ısıtılması için de mikrodalga ışması kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, insan vücudunun sürekli ve aşırı oranda mikrodalga etkisi altında kalması, bazı sakıncalar doğurur. Bu yüzden, mikrodalga üreten ve kullanan cihazlar daima sızdırmaz tipte yapılmalıdır. Ayrıca insan vücuduna mikrodalgaları uygulayacak personelin de eğitilmiş olması gerekir. **İnsan vücuduna uygulanabilecek mikrodalga enerjisinin değeri 100-3000 MHz'de 0.01 W/cm²'yi aşmamalıdır.** Bu değer, kısa bir uygulama

zamanı için 0.1 W/cm^2 'ye çıkarılabilir. **Vücuda uygulanacak 100 Watt'lık bir mikrodalga enerjisi vücut ısısını 5 dakikada 5° artırır. Bu ise, son derece tehlikelidir.** Mikrodalgalara en hassas organlar ise, **göz ve beyindir.** Her iki organda ve özellikle gözde kan dolaşımı zayıf olduğundan, bu organlarda oluşan ısı artışı, kanla yayılamayacağından, kısa zamanda tehlikeli hale gelmektedir. **Gözün dayanabileceği maksimum radyasyon 2.4 GHz'de 0.08 W/cm^2 'dir.**