



FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Antenler ve Mikrodalga Tekniği

DALGA KILAVUZLARI

ve

UYGULAMALARI

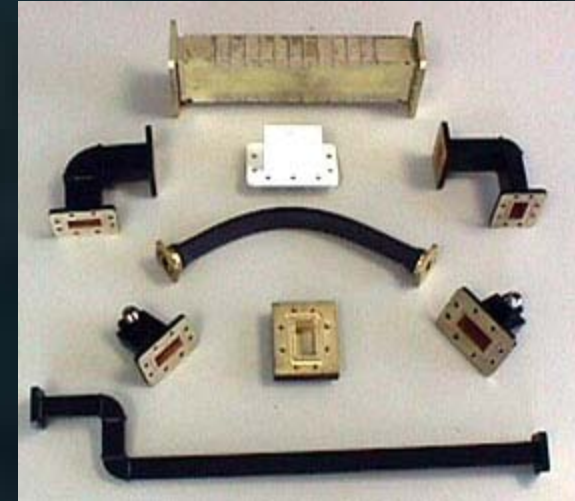
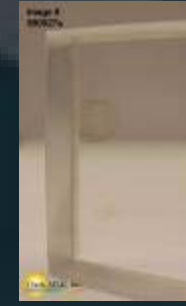
Mustafa ULAŞ 99220054

Yalçın YÜKSEL 99220024

Cengiz TUNCEL 99220053

İÇERİK

- Dalga Kılavuzları nedir ?
- Kullanım gerekleri nelerdir ?
- Dalga biçimleri -Modlar
- İlgili denklemler
- Sistemini oluşturacak ekleri ...
- Kullanım yerleri nelerdir ?
- İlgili örnekler
- Ayrıntılı bilgi için adresler



DALGA KILAVUZLARI

- Yüksek Frekanstaki bilgi sinyalinin taşınması için kullanılan, çeşitli şekilleri olan dalga iletim yoludur.

ÖZELLİKLERİ

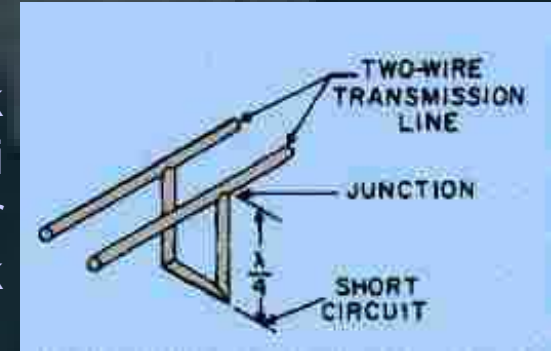
- Dalga Kılavuzları elektromanyetik dalga spektrumunun 1GHz ile 100GHz arasındaki bölgede kullanılır. Bu bölgedeki dalgalara MİKRODALGA denir. Dalgayı Mikro terimi ile adlandırılmasının sebebi, Elektromanyetik dalganın dalga boyunun fiziksel olarak kısadır. Kısa dalga boyu enerjisi , çoğu uygulamalarda belirgin avantajlar sunar . Mesela , mükemmel yönelme (excellent directivity) yeteneği , göreceli olarak küçük antenler ve düşük kuvvetli vericiler kullanma ile elde edilebilir.
- Mikrodalga uygulamalarının büyük bölümünde dalga kılavuzuna ihtiyaç duyulur.



Dalga Kılavuzuna Yaklaşım

Dalga Kılavuzu incelendiğinde görülecektir ki sinyal metal boru içerisinde taşınır. Bu daha önce alçak frekanslarda uğraşan biri için doğru değilmiş gibi görünebilir. Alçak frekanslarda çalışmaya alışmış bir kimsenin dalga kılavuzlarınının iletim hattı olarak kullanılmayacağı düşüncesi uyanabilir. Çünkü

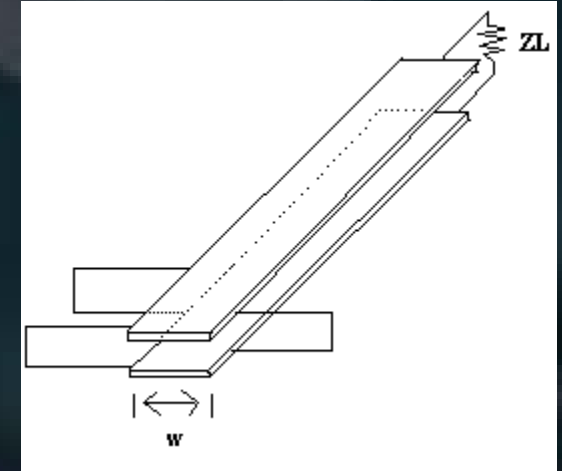
elektromanyetik dalganın, iki yandan kısa devre edilmiş iki telli bir iletim hattı sayılabilecek olan borudan iletilmesi mümkün değilmiş gibi görünebilir. Bu düşünce alçak frekanslar için geçerlidir ama dalga kılavuzları alçak frekanslarda kullanılmaz. Çünkü dalga kılavuzunun boyutları alçak frekanslarda dalga boyuna göre çok küçük kalmaktadır. Dalga kılavuzunun iletim hattı olarak kullanılabilmesi için boyutları en az ileteceği dalganın dalga boyunun yarısına eşit veya daha büyük olması gerekmektedir.



Dalga Kılavuzuna Yaklaşım

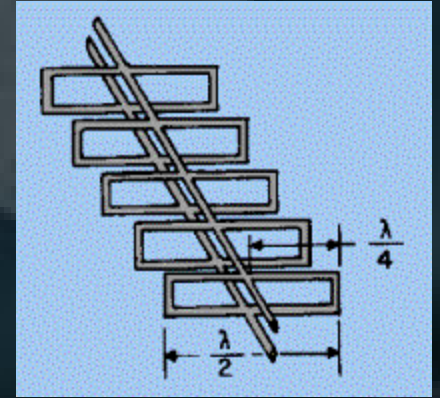
- Bu gereksinime, alçak frekanslar ile yüksek frekanslar arasındaki ayrımı belirlenmesi açısından çok önemlidir. Dalga kılavuzundaki iletim, çeyrek dalga boylu iletken tutucularla şekil 1.5 de görüldüğü gibidir. Bunun için genişliği w olan iki şerit iletken alınır ve iki telli bir iletim hattı gibi kullanılarak Z_L yüke beslenir

Daha sonra bu iletkenler dört yerinden şekilde görüldüğü gibi çeyrek dalga boylu tutucular yardımıyla kısa devre edilir. İletken bu şekilde kısa



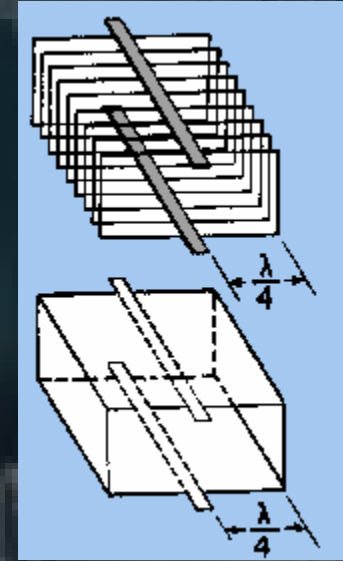
Dalga Kılavuzuna Yaklaşım

- devre edilmiş olmaları dalganın hat boyunca ilerlemesine hiçbir etki yapmaz. Diğer bir deyimle $\lambda/4$ boylu elemanlar ilerleyen dalgaya açık devre imiş gibi görünürler. Kısa devre bağlantılarını iki misline çıkarmak, sonucu değiştirmez ve bu bağlantılar yine açık devre imiş gibi davranırlar. En nihayet bağlantı sayısını sonsuza çıkarırız ve aynı sonucu elde ederiz. Bağlantılar sonsuz sayıda demek; bütün bağlantılar arasında açıklık yok demektir ki, buda dalga kılavuzunun şeklini verir. Burada dikkat edilecek husus şeridin genişliğidir. Bu genişlik, şeridin ortasından kenarlarına kadar en az çeyrek dalga boyuna eşit olmalı, yani tam genişlik yarım dalga boyu olmalıdır. Buradan da frekans büyüdükçe dalga boyunun kısalacağından "w" genişliğini azaltmak, frekans küçülünce "w" genişliğini arttırmak gerekeceği sonucuna varır



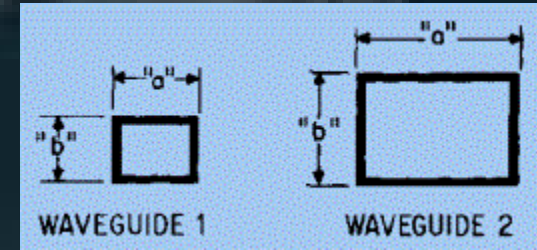
Dalga Kılavuzuna Yaklaşım

- Bu kısa devre çubukları yaklaşımından Dalga kılavuzu formu elde edilir.
- Hat Dalga kılavuzunun duvarları olur.
- Enerji kılavuz içerisindeki yalıtıktan iletilir.

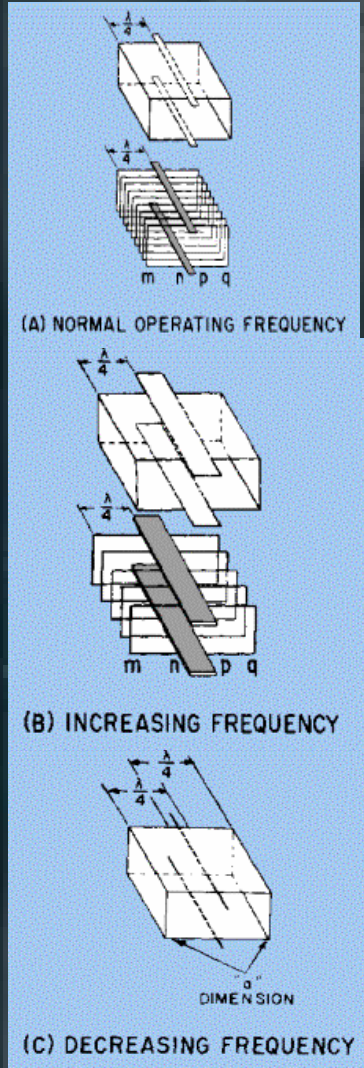


Boyutlandırma ve BUS-BAR

- Kılavuzun geniş kenar “a” işlem görebilecek frekans aralığını belirler. Dar kenar “b” ise idare kapasitesini belirler.
- $|mn|=|np|=\lambda/4$ dir ve işlem frekansı tarafından belirlenir. $|pq|$ ise BUS-BAR olarak adlandırılır.
- Boyutlar ve BUS-BAR frekansla değişir.



BOYUTLANDIRMA



Normal boyut

- Frekans artarsa çeyrek dalga bölümü artar. Bunun sebebi BUS-BAR 'ın artışıdır. Artım devam ederse teoride çeyrek dalga bölümü sifıra yaklaşır. Ancak pratikte üst frekans sınırı vardır.

- Frekans azalınca BUS-BAR sifıra yaklaşır. Ancak burada da CUT-OFF frekansı dediğimiz bir sınır vardır.

Dalga kılavuzunun Avantajları

- Bakır ($I^2 \cdot R$) kayıplarını azaltır.
- Deri olayının çözümü için yüksek frekansta alternatifi yoktur.
- Enerji-taşıma kabiliyeti koaksiyel hatlara göre daha fazladır.
- Koaksiyel hatlara göre radyasyonla zayıflama, dış yüzeyi metal olduğu için dalga kılavuzlarında yoktur.
- Güç-kontrol kabiliyeti koaksiyel hatlara göre daha fazladır.

Dalga kılavuzunun dezavantajları

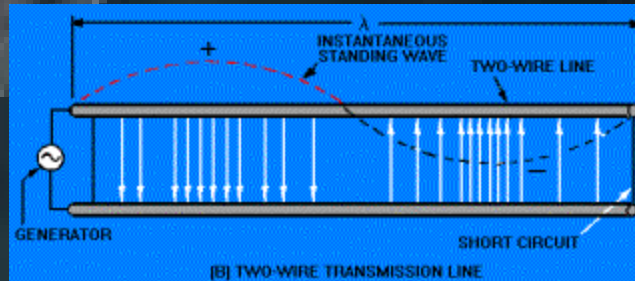
- Boyutları frekans belirlediği için ekonomik durumuna göre sınırlı olduğu alt frekanslar vardır.
- Mekanik özellikleri sebebiyle kurulması zordur. Birleşme yerlerine özel elemanlar gerektirir.
- Bakır ve deri olayı kayıplarını azaltmak için yüzey gümüş yada altınla kaplanır. Yine buda ekonomik bir sınır getirir.

Dalga Biçimleri – Modları

- Mikro dalgaların kılavuz içerisindeki yayılımını elektrik ve manyetik alanlar dikkate alınarak anlamak daha kolaydır.

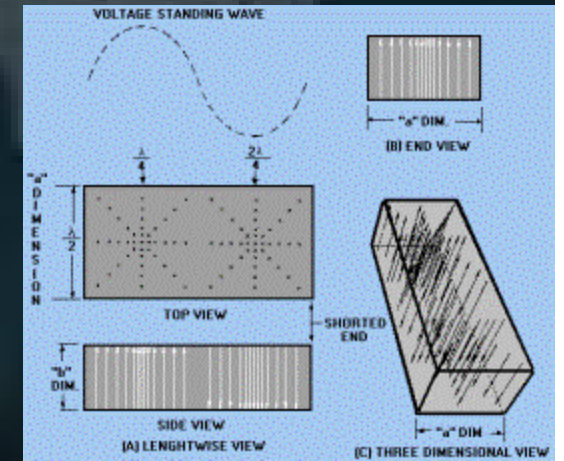
Elektromanyetik dalgalar

- two-wire iletim hattında bir generator tarafından oluşturulmuş gerilimin anlık dalga durumu görülür. Hat sinyalin bir dalga boyu sonra kısa devre edilmiştir. Buradaki oklar elektrik alanı vermektedir.
- E alan sinüsü takip ederek ilerler.



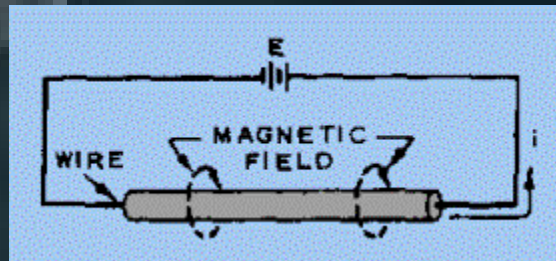
Elektromanyetik dalgalar

- Şekil A da Elektrik alan oklarla temsil edilmiştir. Şekil B de ise okların uçları noktalarla gösterilmiştir. (B) de görüldüğü gibi E alan ortadan azalarak dalga kılavuzunun duvarlarına doğru gider. (C) de ise elektromanyetik dalganın 3D görüntüsü vardır.



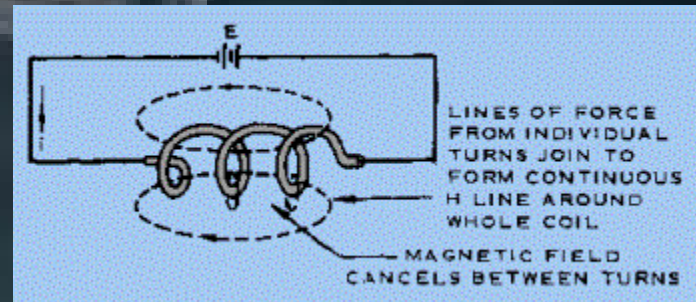
Manyetik (H) Alanı

- H ALANI : Manyetik alan kuvvet çizgilerinin oluşturduğu manyetik alan, dalga kılavuzunun metal yüzeylerinden akan akım tarafından oluşturulur. Manyetik kuvvet çizgileri H çizgileri olarak adlandırılır. H alanın şiddeti ,H çizgilerinin sayısı belirler ve akım değeri ile doğrudan değişir. H çizgileri hattı çevrelemiştir.



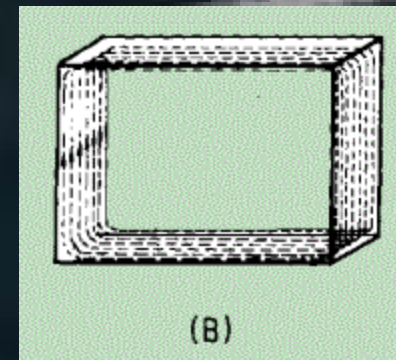
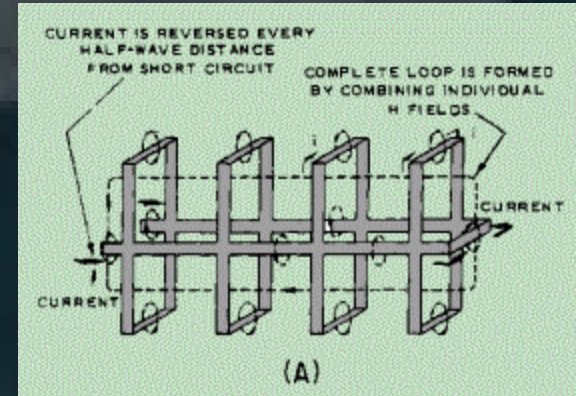
Manyetik (H) Alanlar

- Hat bobin şeklinde olduğu zaman H çizgilerin davranışı da değişir. H alan çizgileri bobini sararlar. Sık bobin sarmalları arasında H çizgilerinin çakışması sonucu birbirlerinin etkisini yok eder. Bobin içinde ve dışında manyetik alan çizgileri aynıdır ve bobin etrafında oluşan manyetik alan (H) çizgileri tarafında düzenlenir.



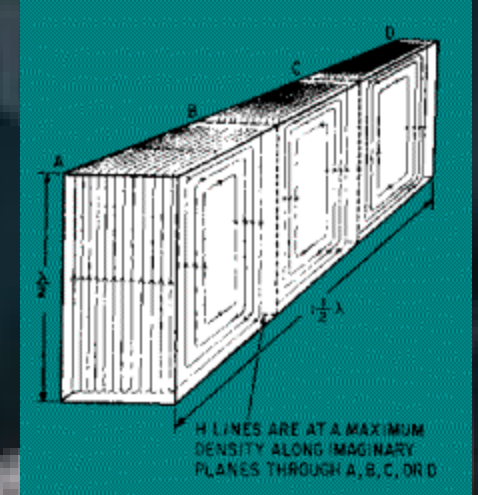
Manyetik (H) Alanlar

- Bu two-wire hat için düşünülürse;
- Daha önceki gibi aradaki kısa devre telleri sonsuz sayıda olursa dalga kılavuzu formunu elde ederiz.



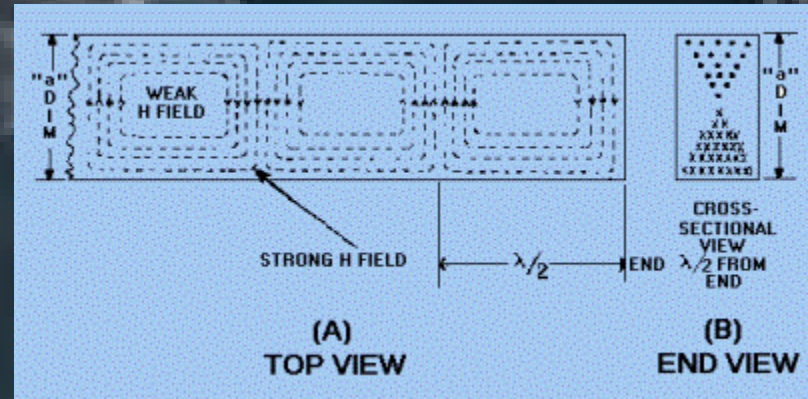
Kılavuzda H Alanının oluşması

- H çizgilerinin yayınımlı şekilde verildiği gibidir. Dalga kılavuzunun $\frac{1}{2}$ sine ulaşıldığı zaman , bu H çizgileri yarım dalga kesitinde döngüsünü tamamlar ve yön değiştirirler. Tekrar belirtmek gerekirse H çizgileri dalga kılavuzunun dışına taşmaz.

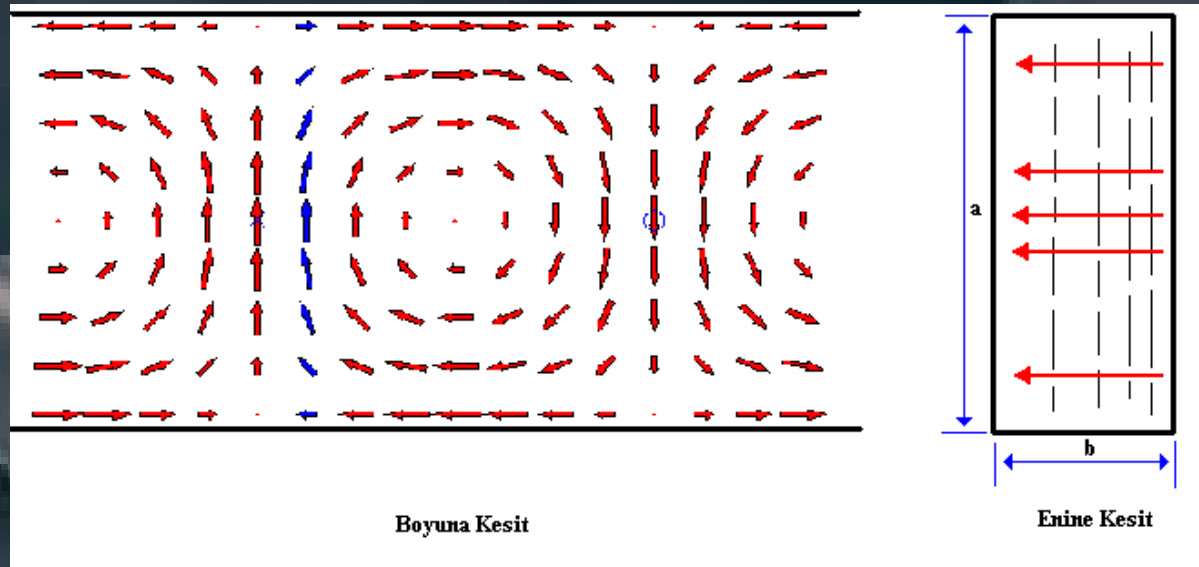


Kılavuzda H Alanının oluşması

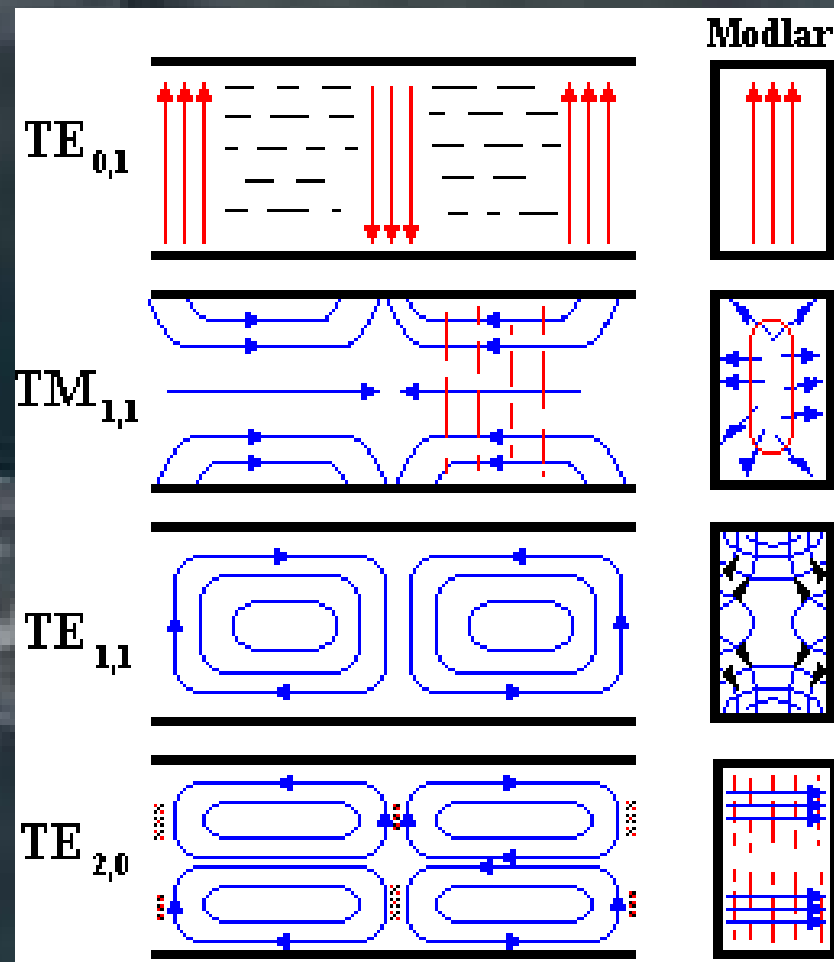
- Şekil A da alan dalga kılavuzunun kenarlarında daha kuvvetlidir. Buralarda akım yüksektir. Minimum alan kuvveti ise akımın sıfır geçişlerinde olur. Şekil B de alanın $\frac{1}{4}$ dalga boyu sonra dalga kılavuzunun son görünüşüdür.



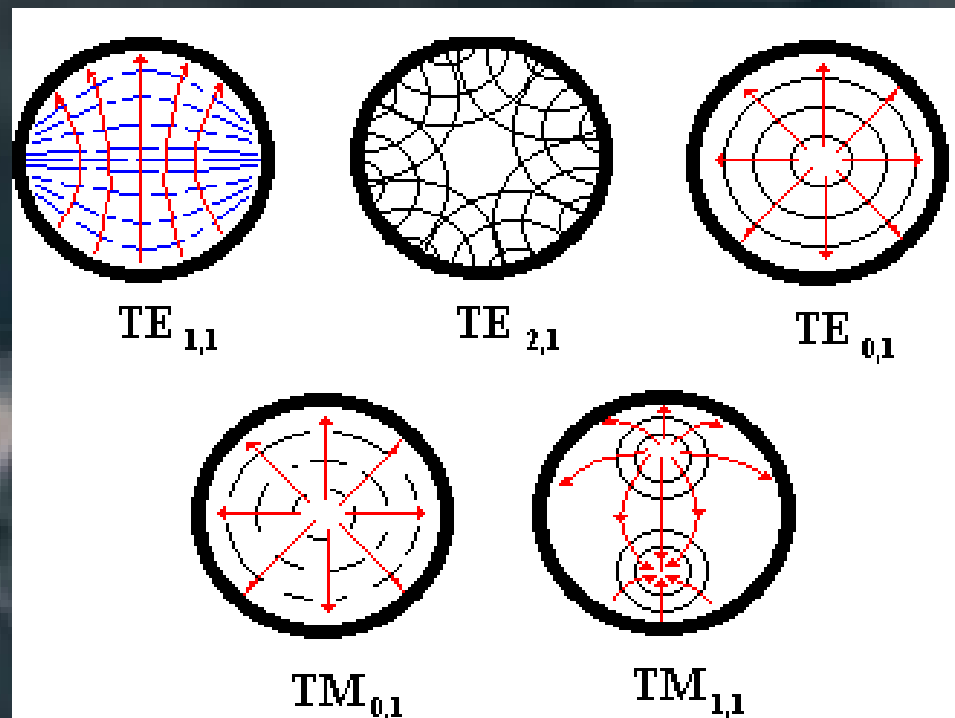
Dalga Kılavuzunda E ve H alanları ile enerji iletimi



Dikdörtgen Dalga Kılavuzunda Modlar



Dairesel Dalga Kılavuzunda Modlar



Kesim Dalga Boyları ve Kesim Frekansı

Dalga Biçimi (modu)	λ_c
TE _{1,0}	2a
TM _{1,1} veya TM _{1,1}	$\frac{2ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$
TE _{2,0}	a
TE _{0,1}	2b
TE _{m,n} veya TM _{m,n}	$\frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$

Tablo 1 dikdörtgen kesitli dalga kılavuzlarında kesim dalga boyları

Dalga biçimi (modu)	λ_c
TE _{1,1}	1,706d
TM _{0,1}	1,306d
TE _{2,1}	1,028d
TE _{0,1}	0820d
TM _{1,1}	0820d

Tablo 2 dairesel kesitli dalga kılavuzlarında kesim dalga boyları

Kılavuz içerisindeki dalga boyunun hesaplanması

- Aşağıdaki eşitlikte herhangi bir dalga nın kılavuz dalga boyu ile kesim frekansı arasındaki bağıntısı verilir.

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}$$

- Burada λ_g kılavuz dalga boyu λ_0 boşluk dalga boyu, λ_c kesim dalga boyunu verir. Denklem tam olarak çözülürse;

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2}}$$

Dalga kılavuzunun faz ve grup hızı

- Yayınım hızı dalga boyu ile frekansın çarpımından olduğundan bir dalga kılavuzunda yayınım hızı şöyle yazılacaktır.

$$V_p = \lambda_g \cdot f$$

- Faz hızı ışık hızından $V_p = \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \times c$
- Aynı şekilde grup hızı;

$$V_g = \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \times c$$

- İki eşitliğin iki tarafını birbiriyle çarparsak;

$$V_p \cdot V_g = c^2$$

Dikdörtgen dalga kılavuzunda TM mod çözümü

- Dalga denklemi yazılırsa;

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + k_c^2 E_z = 0$$

- Buradan k_c ;

$$k_c^2 = \gamma^2 + \omega^2 \mu \epsilon$$

- Diferansiyel denklem çözümü yapılırsa

$$E_z(x, y) = E_{z,mn} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)$$

- Burada;

$$\frac{m\pi}{a} = k_x, \quad \frac{n\pi}{b} = k_y \quad \text{ve} \quad k_c^2 = k_x^2 + k_y^2$$

Dikdörtgen dalga kılavuzunda TM mod çözümü

$$E_x(x, y) = E_{x,mn} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \quad E_y(x, y) = E_{y,mn} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right)$$

$$H_x(x, y) = H_{x,mn} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \quad H_y(x, y) = H_{y,mn} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)$$

$$k_c^2 = k_x^2 + k_y^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 = k_c^2 = \gamma^2 + \omega^2 \epsilon \mu = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

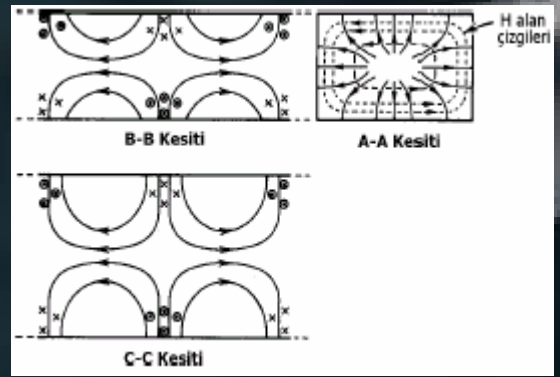
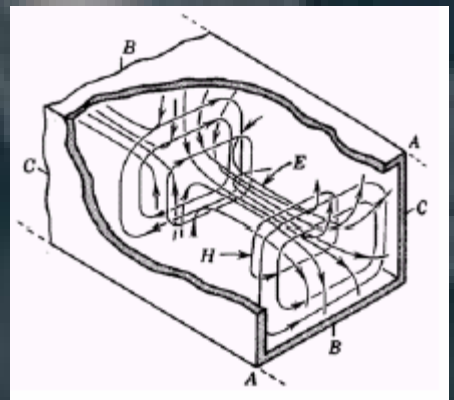
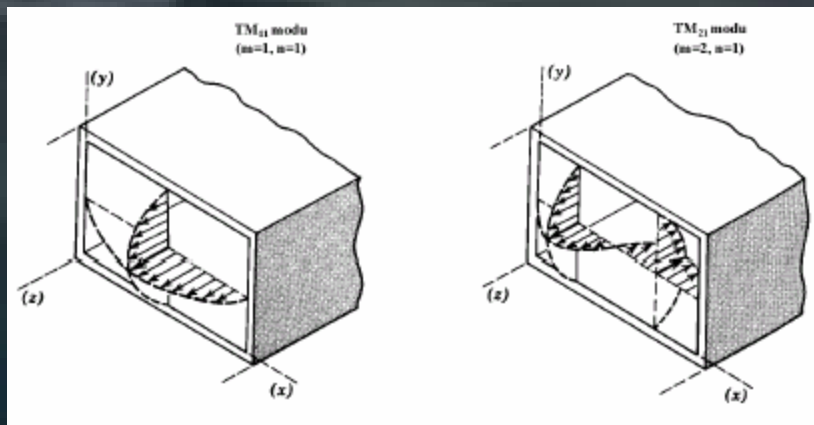
$$\gamma_{mn} = \sqrt{\left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2\right] - [\omega^2\mu\epsilon]} \quad \omega_{c,mn}^2 \mu\epsilon = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \quad \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = c$$

Sonuç

$$f_{c,mn} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

bulunur.

Dikdörtgen dalga TM modu



Dalga Kılavuzu

- Boyutlarının seçimi

- Egemen olacak modun tüm kılavuz boyunca sağlanmasını sağlanacak şekilde seçilir.

- Empedans

- $Z = E/I$

- $Z = P/I^2$

- $Z = E^2/P$

- TE modu için;

- $Z_0 = 377 \frac{b\lambda_g}{a\lambda_0}$

- TM modu için

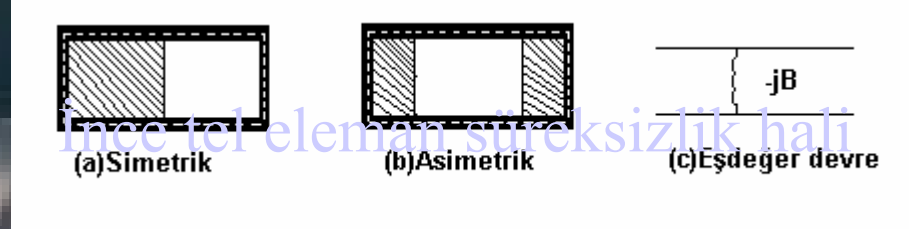
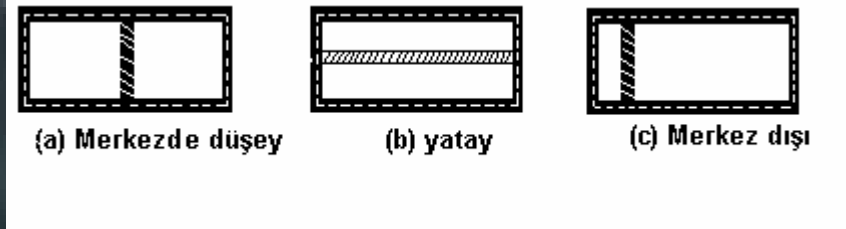
- $Z_0 = 377 \frac{b\lambda_0}{a\lambda_g}$

Yalıtkan Dolgu Maddesi

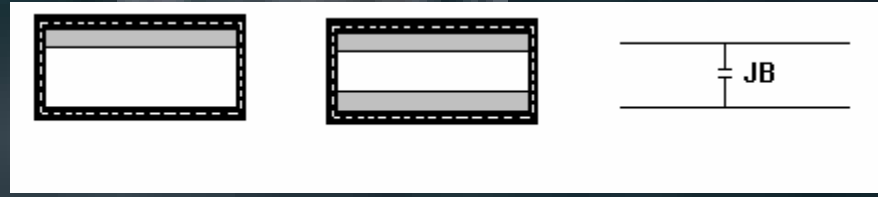
- Örneğin bir dalga kılavuzu 2,25 cm geniş kenara sahip ve iç kısmı di elektrik sabiti $\epsilon=2,56$ olan Polystyrene ile doldurulmuş olsun . Bu kılavuzun Tablo 4,1 den TE_{10} dalga biçimindeki kesim dalga boyu $\lambda_c=4,5$ cm dir. Boş dalga kılavuzundan 6700 MHz ($\lambda_0=4,45$ cm) geçebilir ve 6600 MHz ($\lambda_0=4,55$ cm) geçemez. Fakat kılavuza yalıtkan doldurulması halinde ise 4200 MHz lik dalga bile $\lambda=7,12$ cm olmasına rağmen yol olabilir. Zira yukarıda belirtilen yöntemi uygularsak:

$$\frac{7.12}{\sqrt{2.56}} = \frac{7.12}{1.2} = 4.45$$

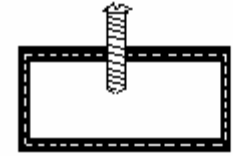
Süresizlik



Endüktif etkili yarım perdeler



Kapasitif Etkili Yarım Perdeler



Şekil 4.8 Ayar vidası

- Dalga biçimi filitreleri
- Güç kapasitesi
- Zayıflama

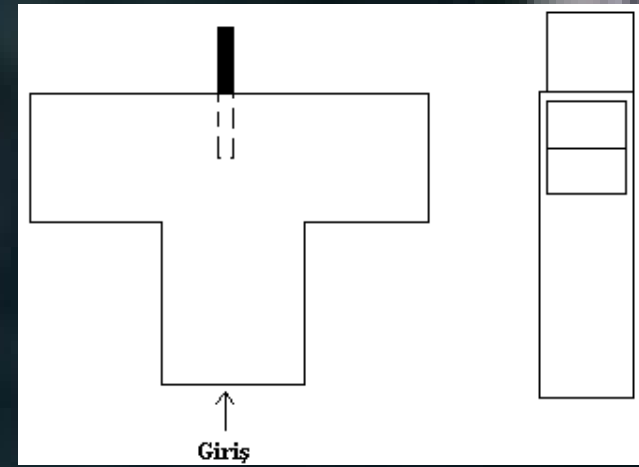
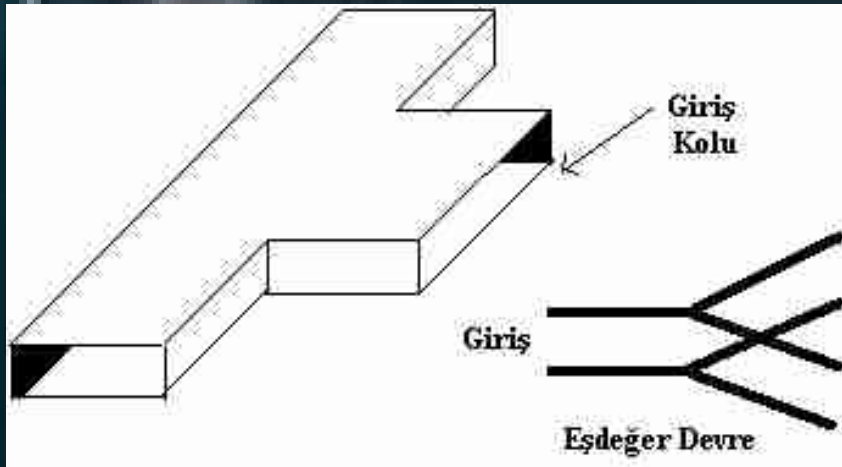
$$\alpha = \frac{0001107}{a^{3/2} \cdot 2,54^{3/2}} \left[\frac{\frac{a}{2b} \left(\frac{f}{fc} \right)^{3/2} + \left(\frac{f_c}{f} \right)^{3/2}}{\sqrt{\left(\frac{f}{f_c} \right)^2 - 1}} \right]$$

$$\text{TE}_{0,1} \quad \alpha = \frac{0.00485(f/fc)^{3/2}}{a^{3/2} (2.54)^{3/2} \sqrt{(f/fc)^2 - 1}}$$

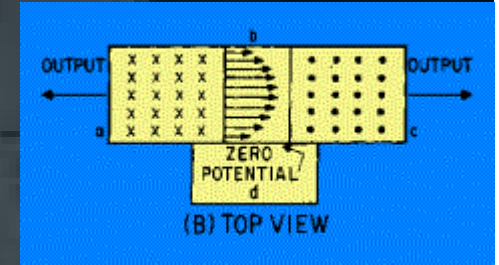
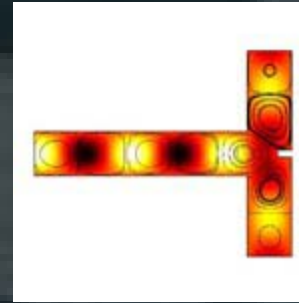
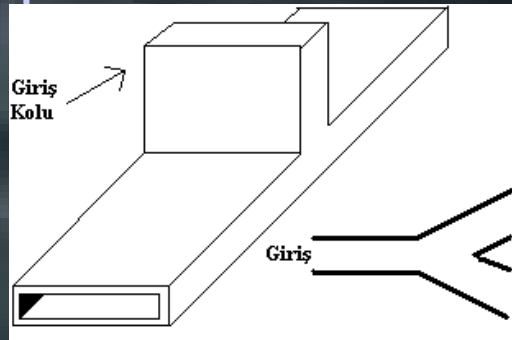
$$\text{TM}_{0,1} \quad \alpha = \frac{0.00485(f/fc)^{3/2}}{a^{3/2} (2.54)^{3/2} \sqrt{(f/fc)^2 - 1}}$$

$$\text{TE}_{0,1} \quad \alpha = \frac{0.00611}{a^{3/2} (2.54)^{3/2}} \frac{(f/fc)^{1/2}}{\sqrt{(f/fc)^2 - 1}}$$

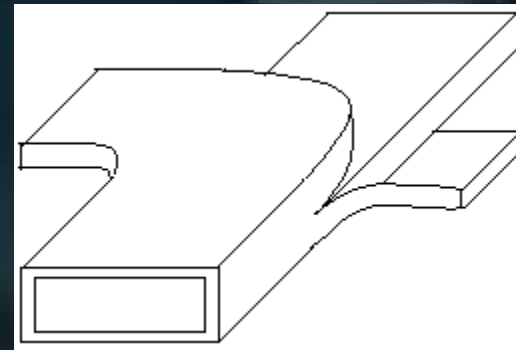
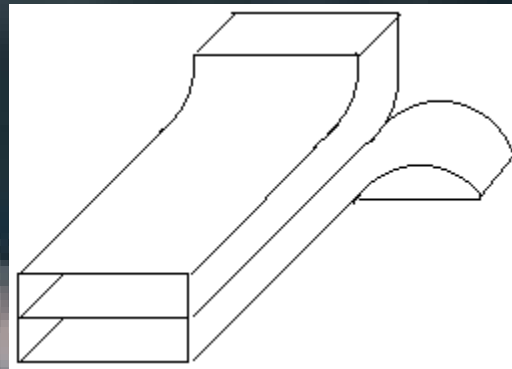
- Malzemeler
- Girintili dalga kılavuzları
- Mikrodalga ekleme elemanları ve kuplajları
 - Dalga kılavuzlarında ekleme elemanları
 - Şönt T tipi eleman



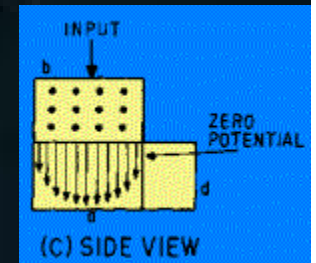
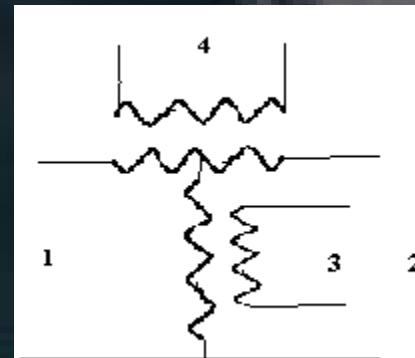
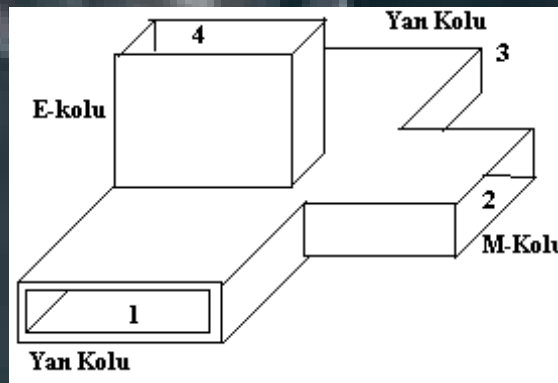
- Seri T Tipi Ekleme Elemanı



- Kanca tipi ekleme elemanı



- Sihirli T



DAĞGA KLAVUZLARI

