DALGA KILAVUZLARI

Paralel iletkenli iletim hatlarının alçak frekanslardaki gibi yan yana iki damarlı yapılması, değişken alanların çevreye yayılarak güç kaybına neden olmasından dolayı, mikrodalgalar için istenmez. Koaksiyel kablo kullanmak buna karşı bir çözümdür. Ancak koaksiyel kabloda orta damar ile çevre arasında yalıtkan malzeme kullanmak zorunludur, boş yapılamaz. Bu da bir miktar kayba yol açar. Ayrıca ezilip bükülmeyle şekil bozulmaları da çeşitli uyumsuzluklara ve kayıplara yol açabilir. Bunlara karşı daha verimli bir çözüm, dalgayı iletken borular içine hapsederek iletmektir. Bu borulara dalga kılavuzları denir.

Dalga kılavuzları dikdörtgen ya da dairesel kesitli olabilir. Çok iyi iletken malzemeyle yapılırlar. İçleri genellikle boştur. Serbest uzaydaki gibi düzlem dalgaların kılavuzun duvarlarından yansıya yansıya ilerlediği de düşünülebilir. Fakat sonuçta kılavuz içindeki dalga, düzlem dalgalardan farklı şekillere sahip olarak ilerler. Dalga kılavuzları, geometrisine bağlı bir alt kesim frekansının üstündeki dalgaları iletmede kullanılabilirler.

Yansıma konusunda inceleme kolaylığı amacıyla, elektrik alan ya da manyetik alandan birinin yansıma sırasında hiç yön değiştirmeden yansıdığı iki durumu ayrı ayrı görmüştük. Gerektiğinde diğer durumları bu iki durumun bileşkesi olarak düşünebiliyorduk. Burada da o iki durumu ayrı ayrı düşünürsek yön değiştirmeden yansıyan alan türünün vektörü, bileşke dalganın yayılma doğrultusuna dik düzlemde (*transverse plane*) kalır. Buna göre dalga:

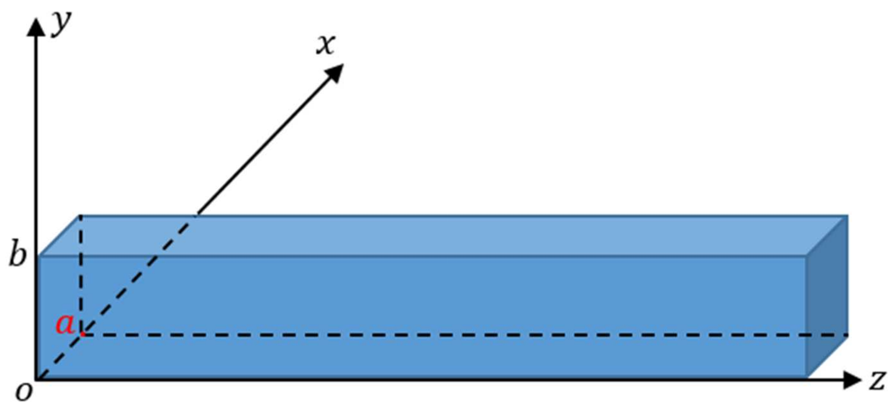
TE : Elektrik alanın yayılma eksenine dik düzlemde kaldığı (***T**ransverse **E**lectric*) mod

TM : Manyetik alanın yayılma eksenine dik düzlemde kaldığı (***T**ransverse **M**agnetic*) mod

TEM : Hem elektrik hem manyetik alanın yayılma eksenine dik düzlemde kaldığı (***T**ransverse **E**lectric and **M**agnetic*) mod

seçeneklerinden (modlarından) biriyle gönderilir. Ancak tek iletkenli dalga kılavuzlarında TEM modu mümkün değildir. Çünkü manyetik alan halkaları yayılma eksenine dik düzlemde ise, Amper kanunu gereğince o halkalar içinden yük akımı veya deplasman akımı geçmelidir. Dış iletkenden başka ortada bir iletken yoksa iç yük akımı yoktur. Elektrik alanın yayılma eksenine dik düzlemde bileşeni yoksa o manyetik halkaları oluşturabilecek deplasman akımı da yoktur. Dolayısıyla hem elektrik hem manyetik alan yayılma eksenine dik düzleme hapsedilmiş olarak dalga yayılımı olamaz. Sonuç olarak TEM modları en az iki iletkenli iletim hatlarında mümkündür. Dalga kılavuzlarında TE ve TM modları dışındaki seçenekler TE ve TM modlarının bileşkesi olarak düşünülebilir ama hesabı ve gerçekleştirmeyi zorlaştırdığı için aynı kılavuzda farklı modların birlikte gönderilmesi tercih edilmez.

DİKDÖRTGEN KESİTLİ DALGA KILAVUZLARI



Dalganın ilerleme doğrultusunu z ekseni kabul edelim. Daha önce düzlem dalgaların denklemlerini çıkartırken dalganın herhangi bir elektrik, manyetik vb alan bileşenini

$$U(x, y, z, t) = X(x)Y(y)Z(z)e^{j\omega t}$$

biçiminde alarak bulduğumuz şu ara adımdan devam edelim:

$$\frac{1}{X(x)}\frac{d^2X(x)}{dx^2}+\frac{1}{Y(y)}\frac{d^2Y(y)}{dy^2}+\frac{1}{Z(z)}\frac{d^2Z(z)}{dz^2}+\mu\varepsilon\omega^2=0 \qquad (*)$$

Soldaki toplam terimlerinden sonuncusu sabit olduğundan, diğer üçü de sabit olmak zorundadır demiştik. Çünkü x, y, z'den sadece birini değiştirmekle diğerleri değişmez; öyleyse o değişkene bağlı terim de değişmemelidir.

$$\frac{1}{X(x)}\frac{d^2X(x)}{dx^2}=c_x \ , \ \frac{1}{Y(y)}\frac{d^2Y(y)}{dy^2}=c_y \ , \ \frac{1}{Z(z)}\frac{d^2Z(z)}{dz^2}=c_z$$

sabitlerine eşitlemiştik. Hepsi aynı biçimli olduğundan mesela x bağımlılığına bakalım:

$$\frac{d^2X(x)}{dx^2}-c_xX(x)=0$$

Bu sabit katsayılı doğrusal adi diferansiyel denklemin karakteristik kökleri $\sqrt{c_x}$ ve $-\sqrt{c_x}$ 'tir. Serbest uzayda $c_x>0$ olsaydı, bu kökler reel olur ve çözüm bileşenleri $e^{\sqrt{c_x}x}$ ve $e^{-\sqrt{c_x}x}$ terimli olurdu ki bunlar kısa bir mesafede ya sönümlenir ya sonsuza gitmesi gerekir, yani dalga ifadesi vermez, $c_x=0$ da sabit ve t çarpanı vereceğinden dalga ifadesi olmaz demiştik. Dalga ifadesi veren çözümle ilgilendiğimiz için $c_x<0$ almış ve köklerine jk_x ve $-jk_x$ demiştik ($k_x>0$ reel). Burada da aslında yansıya yansıya giden düzlem dalgaların bileşkesini düşüneceğimiz için yine böyle çözümlerle ilgileneceğiz. Yani diğer çarpanlar hariç e^{jk_xx} ve e^{-jk_xx} çarpanlı terimler ortaya çıkmaktaydı. Fakat, serbest uzayda yansıma olmadığı için bu terimlerden yalnız birini almıştık. Burada ise bileşke dalga, düzlem dalgaların yansımalarına karşılık geleceği için her iki terimi de alacağız. Bu terimlerin bileşkesi ise

$$X(x)=c_1\cos(k_xx)+c_2\sin(k_xx)$$

kalıbında elde edilir. Benzer şekilde

$$Y(y)=c_3\cos(k_yy)+c_4\sin(k_yy)$$

olur. Dalganın $+z$ ekseni boyunca ilerlediğini kabul ettiğimiz için, düzlem dalgalarda olduğu gibi yine

$$Z(z)=e^{-jk_zz}$$

alınır. Sınır şartları gereği bazı alan bileşenleri, iletken duvarlarda sıfır olacağı için "$x=0$ ve $x=a$" ile "$y=0$ ve $y=b$" için bunların sıfır olmaları, m ve n tamsayılar olmak üzere ancak

$$k_x=\frac{m\pi}{a} \qquad \text{ve} \qquad k_y=\frac{n\pi}{b}$$

olmasıyla mümkündür. Yani a ve b, sırasıyla x ve y boyunca değişimlerin yarım periyodunun katları olmalıdır. Öncelikle gönderilecek dalganın o dalga kılavuzunda hangi m ve n tamsayı kabullerine göre gönderileceği, yani '*mn* modu' belirlenmelidir. Bunlar (*) denkleminde yerine yazılırsa:

$$-k_x^2-k_y^2-k_z^2+\mu\varepsilon\omega^2=0$$

Sönümlenmeden dalga halinde yayılma için $k_z^2>0$ olmalıdır. Buna göre belirli bir *mn* modu için $\omega>\omega_c^{mn}$ gibi belirli bir frekanstan büyük frekanslar dikdörtgen kesitli dalga kılavuzunda yayılabilirler. ω_{mn}^c ilgili *mn* modunun alt kesim frekansıdır (rad/s).

$$\omega_{mn}^c=\frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{k_x^2+k_y^2}=\frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2+\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

Dalga kılavuzunun içi boş ise 2π'ye de bölerek Hz cinsinden alt kesim frekansı şöyle bulunur:

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

Dikdörtgen kesitli dalga kılavuzlarında sadece TE ve TM modları yayılabilir ve bunlar *mn* indisleriyle anılır.

TE$_{mn}$ modları

$$E_z = 0$$

olur. H_z'nin genliğine H_{mn} dersek

$$H_z = H_{mn}\left(\cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) + c_3 \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\right)\left(\cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) + c_4 \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)\right)e^{-jk_z z}e^{j\omega t} \qquad (**)$$

biçiminde olur. c_3 ve c_4 birazdan belirlenecek sabitlerdir.

$$\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\mu\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ E_x & E_y & \underbrace{E_z}_{0} \end{vmatrix} = -\underbrace{\frac{\partial E_y}{\partial z}}_{jk_z E_y}\hat{x} + \underbrace{\frac{\partial E_x}{\partial z}}_{-jk_z E_x}\hat{y} + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right)\hat{z} = -j\omega\mu\left(H_x\hat{x} + H_y\hat{y} + H_z\hat{z}\right)$$

Aynı yöndeki bileşenleri eşitlersek:

$$jk_z E_y = -j\omega\mu H_x \ , \qquad -jk_z E_x = -j\omega\mu H_y$$

Buna göre TE dalgaları için karakteristik empedans:

$$\eta_{TE} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{E_y}{-H_x} = \boxed{\eta_{TE} = \frac{\omega\mu}{k_z}}$$

Yani

$$\boxed{E_x = \eta_{TE}H_y} \quad \text{ve} \quad \boxed{E_y = -\eta_{TE}H_x}$$

Diğer yandan akım yoğunluğu $\vec{J} = 0$ olan bir bölgede,

$$\vec{\nabla}\times\vec{H} = \varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} \quad \rightarrow \quad j\omega\varepsilon E_z = 0 = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}$$

$$\text{ve} \quad \frac{\partial H_z}{\partial y} - \underbrace{\frac{\partial H_y}{\partial z}}_{jk_z H_y} = j\omega\varepsilon E_x = j\omega\varepsilon\eta_{TE}H_y \quad \rightarrow \quad \boxed{\frac{\partial H_z}{\partial y} = -j(k_z - \omega\varepsilon\eta_{TE})H_y} \qquad (\Delta)$$

$(**)$ denklemindeki H_z ifadesinin y'ye göre türevinde ilgilendiğimiz kısmı yazarsak:

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} = \cdots\left(-\frac{n\pi}{b}\sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) + c_4\frac{n\pi}{b}\cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right)\right)\ldots \ \propto \ H_y$$

Sınır şartları gereği iletken duvarlara teğet elektrik alan bileşenleri sıfır olmalıdır:

$$E_x|_{y=0} = 0 \ \ \& \ \ E_x|_{y=b} = 0 \ \ \rightarrow \ \ H_y\big|_{y=0} = 0 \ \ \& \ \ H_y\big|_{y=b} = 0 \ \ \rightarrow \ \ c_4 = 0$$

Yine $\vec{\nabla}\times\vec{H} = \varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$ denkleminden:

$$-\frac{\partial H_z}{\partial x} + \underbrace{\frac{\partial H_x}{\partial z}}_{-jk_z H_x} = j\omega\varepsilon E_y = -j\omega\varepsilon\eta_{TE}H_x \quad \rightarrow \quad \boxed{\frac{\partial H_z}{\partial x} = -j(k_z - \omega\varepsilon\eta_{TE})H_x} \qquad (\Delta\Delta)$$

$(**)$ denklemindeki H_z ifadesinin x'e göre türevinde ilgilendiğimiz kısmı yazarsak:

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = \cdots \left(-\frac{m\pi}{a}\sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) + c_3\frac{m\pi}{a}\cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\right)\ldots \;\propto\; H_x$$

Sınır şartları gereği iletken duvarlara teğet elektrik alan bileşenleri sıfır olmalıdır:

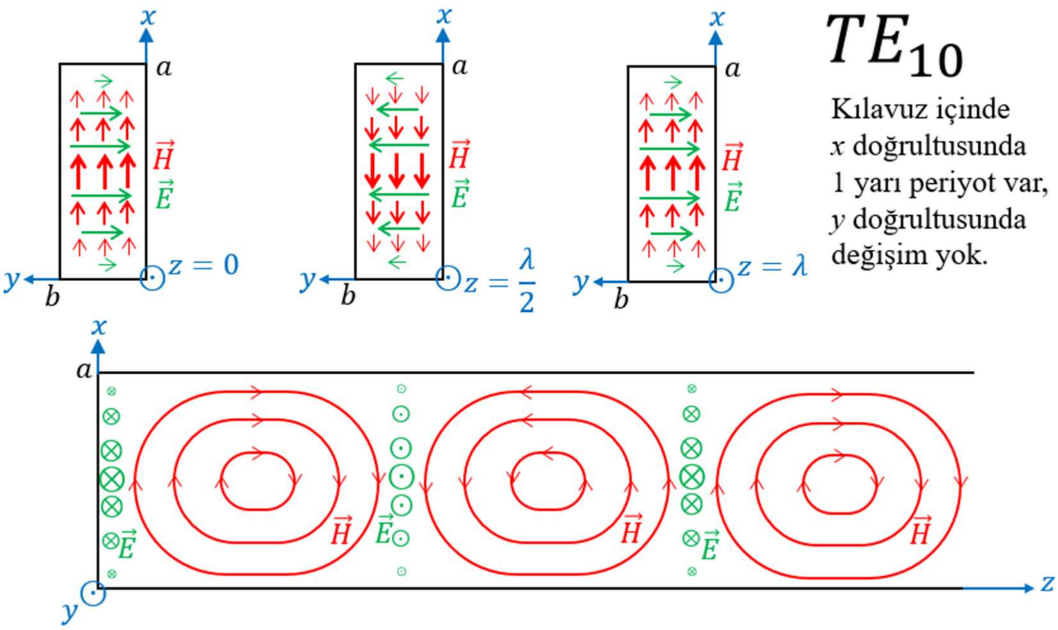
$$E_y\big|_{x=0} = 0 \;\;\&\;\; E_y\big|_{x=a} = 0 \;\;\rightarrow\;\; H_x|_{x=0} = 0 \;\;\&\;\; H_x|_{x=a} = 0 \;\;\rightarrow\;\; c_3 = 0$$

Dolayısıyla (Δ) ve (ΔΔ) denklemlerini de kullanarak şunları elde ederiz:

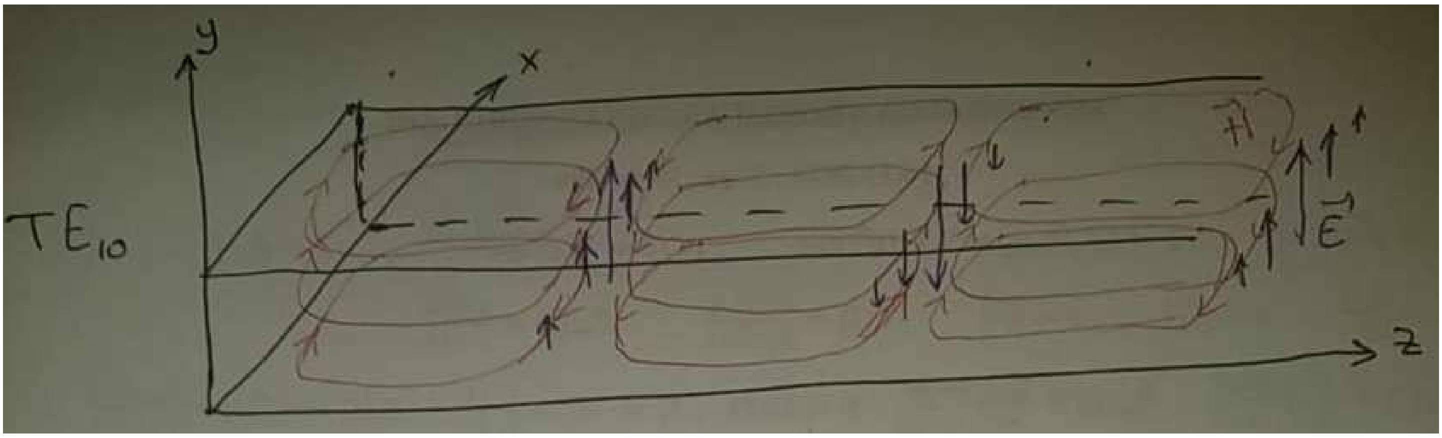
$$\boxed{\begin{aligned} H_z &= H_{mn}\cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right)e^{-jk_z z}e^{j\omega t} \\ H_y &= -j\frac{n\pi}{b}\cdot\frac{H_{mn}}{(k_z-\omega\varepsilon\eta_{TE})}\cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)e^{-jk_z z}e^{j\omega t} \\ H_x &= -j\frac{m\pi}{a}\cdot\frac{H_{mn}}{(k_z-\omega\varepsilon\eta_{TE})}\sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right)e^{-jk_z z}e^{j\omega t} \end{aligned}}$$

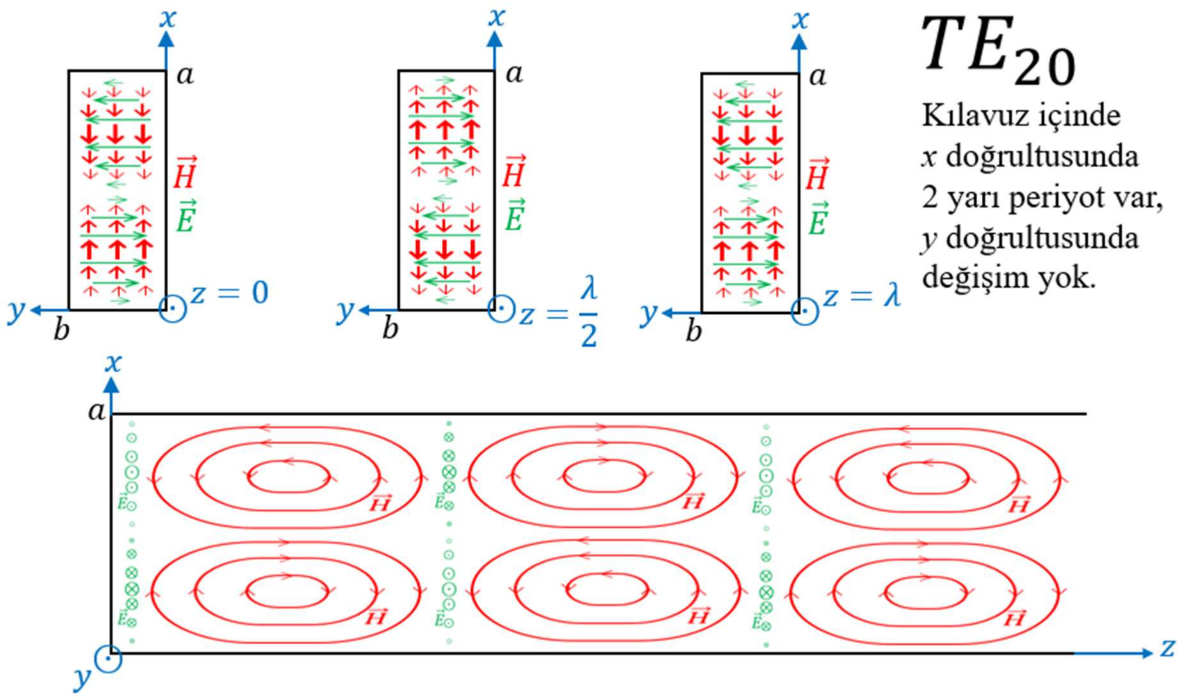
E_x ile E_y ise bunlardan η_{TE} ilişkisiyle kolayca bulunur.

Örnek bazı modların bazı anlar için çizimleri şöyle gösterilebilir (Üstteki küçük çizimler alttakinde sağdan sola bakıldırken bazı z konumlarındaki kesit görüntüleridir):



TE10 için üç boyutlu çizim ise şöyle gösterilebilir:





TM$_{mn}$ modları

$$H_z = 0$$

olur. E_z'nin genliğine E_{mn} dersek

$$E_z = E_{mn}\left(c_5\cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) + \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\right)\left(c_6\cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) + \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)\right)e^{-jk_z z}e^{j\omega t}$$

biçiminde olur. $x = 0$ ve $y = 0$ 'da E_z iletken duvarlara teğet olduğu için sıfır olduğu için $c_5 = 0$ ve $c_6 = 0$ olmalıdır. Yeniden yazarsak:

$$\boxed{E_z = E_{mn}\sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)e^{-jk_z z}e^{j\omega t}} \qquad (1)$$

Dalga kılavuzu içinde akım yoğunluğu $\vec{J} = 0$ olduğundan,

$$\vec{\nabla}\times\vec{H} = \varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ H_x & H_y & \underbrace{H_z}_{0} \end{vmatrix} = -\underbrace{\frac{\partial H_y}{\partial z}}_{jk_z H_y}\hat{x} + \underbrace{\frac{\partial H_x}{\partial z}}_{-jk_z H_x}\hat{y} + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}\right)\hat{z} = j\omega\varepsilon\left(E_x\hat{x} + E_y\hat{y} + E_z\hat{z}\right)$$

Aynı yöndeki bileşenleri eşitlersek:

$$jk_z H_y = j\omega\varepsilon E_x \ , \qquad -jk_z H_x = j\omega\varepsilon E_y$$

Buna göre TM dalgaları için karakteristik empedans:

$$\eta_{TM} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{E_y}{-H_x} = \boxed{\eta_{TM} = \frac{k_z}{\omega\varepsilon}}$$

Yani

$$\boxed{E_x = \eta_{TM}H_y} \quad \text{ve} \quad \boxed{E_y = -\eta_{TM}H_x}$$

Diğer yandan,

$$\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\mu\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} \quad \rightarrow \quad -j\omega\mu H_z = 0 = \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}$$

$$\text{ve}\quad \frac{\partial E_z}{\partial y}-\underbrace{\frac{\partial E_y}{\partial z}}_{jk_zE_y}=-j\omega\mu H_x=j\frac{\omega\mu E_y}{\eta_{TM}}\quad\rightarrow\quad \boxed{\frac{\partial E_z}{\partial y}=-j\left(k_z-\frac{\omega\mu}{\eta_{TM}}\right)E_y}$$

(1) denklemindeki E_z ifadesinin y 'ye göre türevini E_y'nin sağdaki katsayısına bölersek:

$$\boxed{E_y=\frac{j\frac{n\pi}{b}}{k_z-\frac{\omega\mu}{\eta_{TM}}}E_{mn}\sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right)e^{-jk_zz}e^{j\omega t}}\qquad (2)$$

Yine $\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\mu\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}$ denkleminden:

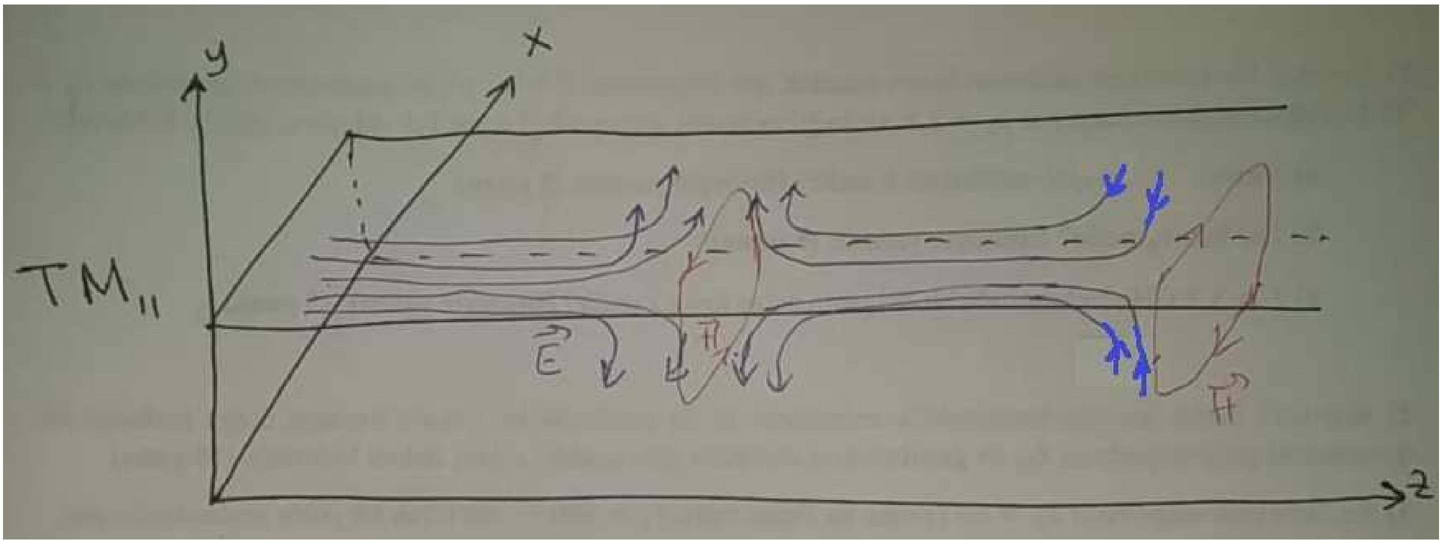
$$-\frac{\partial E_z}{\partial x}+\underbrace{\frac{\partial E_x}{\partial z}}_{-jk_zE_x}=-j\omega\mu H_y=-j\omega\mu\frac{E_x}{\eta_{TM}}\quad\rightarrow\quad \boxed{\frac{\partial E_z}{\partial x}=-j\left(k_z-\frac{\omega\mu}{\eta_{TM}}\right)E_x}$$

(1) denklemindeki E_z ifadesinin x 'e göre türevini E_x'nin sağdaki katsayısına bölersek:

$$\boxed{E_x=\frac{j\frac{m\pi}{a}}{k_z-\frac{\omega\mu}{\eta_{TM}}}E_{mn}\cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right)\sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right)e^{-jk_zz}e^{j\omega t}}\qquad (3)$$

(1), (2), (3) denklemleri ile elektrik alan bileşenleri bulunur. H_x ile H_y ise bunlardan η_{TM} ilişkisiyle kolayca bulunur.

TM modlarının en basiti TM_{11} 'dir. Çünkü m veya n sıfır olursa $E_z=0$ olur.

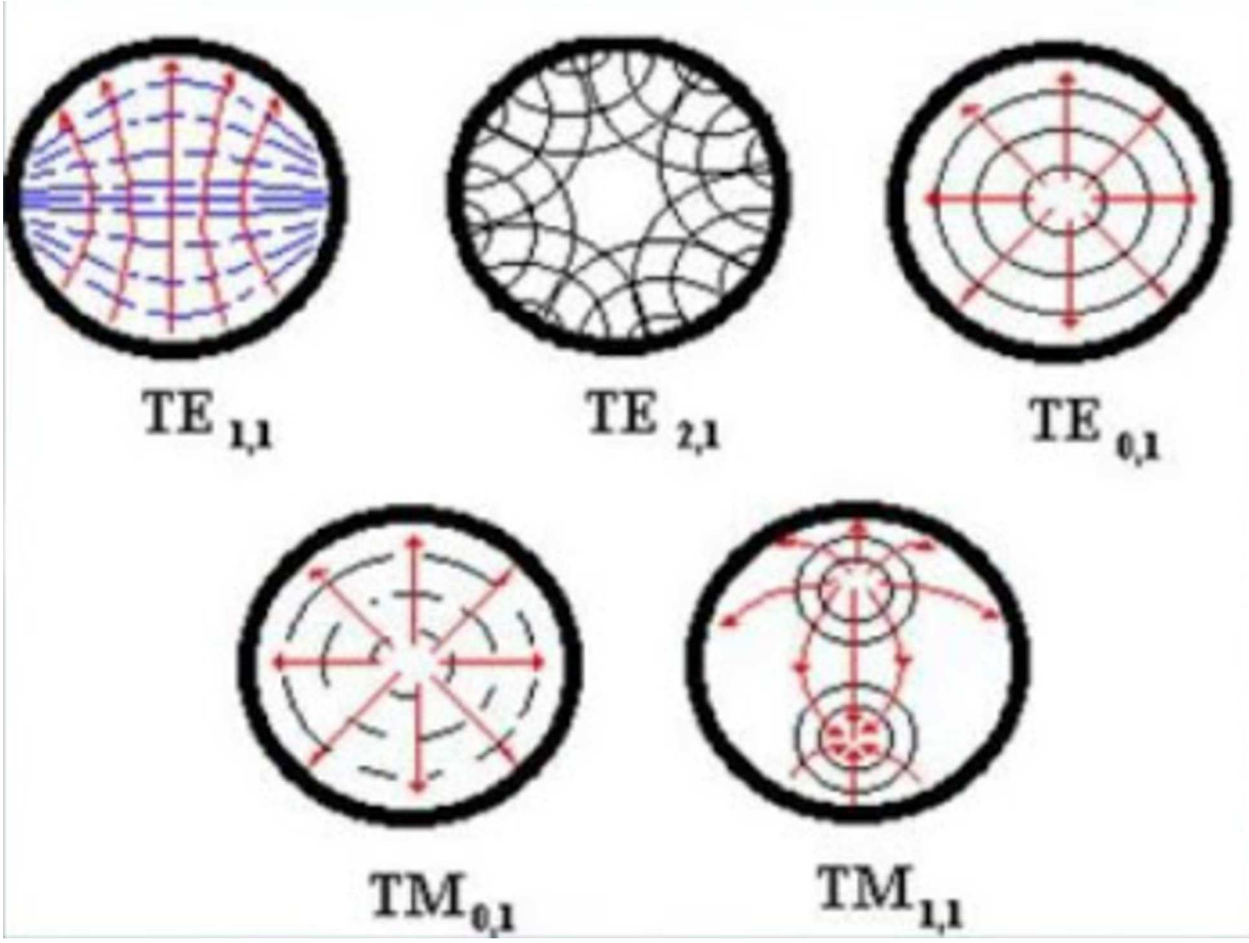


Elektrik alan her yönde duvarlara dik olarak başlar veya sonlanır.

DAİRESEL KESİTLİ DALGA KILAVUZLARI

"Silindirik dalga kılavuzları" da denir. Dalganın yayılma doğrultusu z ekseni seçilerek silindirik koordinatlar ile hesap kullanışlıdır. Ancak bunların hesabında Bessel diferansiyel denklemi çözümü gerektiği için dikdörtgen kesitli olanlara göre hesaplamaları daha karışıktır. Çözümler de Bessel fonksiyonları içerir. Buna göre TE_{mn} ve TM_{mn} modlarındaki birinci indis m, desenlerin (*pattern*) açısal (φ) yönde bir turdaki periyot sayısını ifade eder. İkinci indis n ise Bessel fonksiyonu türünü ifade eder ve radyal yöndeki değişimle daha çok ilgili olup desenlerin radyal yöndeki periyot sayısı cinsinden basit bir karşılığı yoktur.

Bazı kesit desen örnekleri şöyledir:



Burada kılavuz duvarlarına hep dik olan vektör elektrik alan, diğer renkte olan manyetik alandır (TM_{11} şeklinde kırmızı vektörler elektrik alan olup eğik geliyormuş gibi gösterilmiş ise de yüzeye dik gelmeliydi).

Dalga kılavuzu desenlerindeki (*pattern*) *z* ve *t* bağımlılıklarından gelen karmaşık değerlerin gerçek dünyadaki karşılığı, belirli bir faz kabulüyle mesela hepsinin gerçel kısımları ya da hepsinin sanal kısımları kabulüyle kullanılır.

MİKRODALGA OYUK REZONATÖRLERİ

Dalga kılavuzunun yayılma doğrultusunda iki tarafı iletken duvarla kapatılırsa dalga, duvarlar arasında yansıyan ve propla giriş yapılan dalgaların bileşimi olur. Yani daha önce $e^{-jk_z z}$ çarpanıyla ifade edilen *z* bağımlılığı bu defa hem $e^{-jk_z z}$ hem de $e^{jk_z z}$ çarpanı içeren terimlerin bileşkesi olur. Böylece alan bileşenlerinin her birinde *z* bağımlılığı

$$(c_7 \cos(k_z z) + c_8 \sin(k_z z))$$

kalıbında çarpan olur. Elektrik alanın *x* ve *y* bileşenleri, $z = 0$ duvarında her *x* ve *y* için sıfır olmak zorundadır ($c_7 = 0$), çünkü baştaki duvara teğet bileşenlerdir. Ayrıca dalga kılavuzunun *z* doğrultusundaki boyuna *d* dersek, $z = d$ duvarında da E_x ve E_y her *x* ve *y* için sıfır olmak zorundadır. Bu da ancak

$$k_z = \frac{s\pi}{d} \quad ; \quad s \text{ pozitif tamsayı}$$

ile mümkündür. Bu yüzden E_x ve E_y bileşenlerinin *z* bağımlılığı tüm modlarda

$$\sin\left(\frac{s\pi}{d} z\right)$$

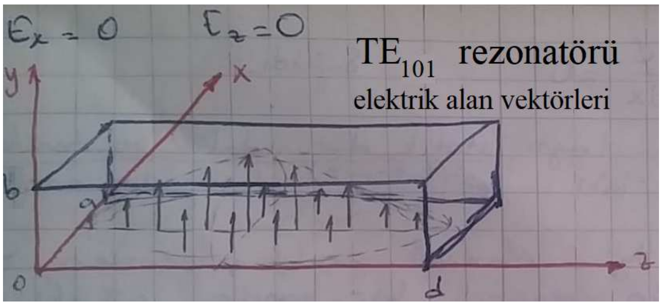
çarpanıdır. Diğer bileşenlerde moda da bağlı olarak *z* bağımlılığı ya $\sin\left(\frac{s\pi}{d} z\right)$ ya da $\cos\left(\frac{s\pi}{d} z\right)$ olur. Modlarda artık *m* ve *n* indislerine ilaveten *s* de belirtilir. Böylece dikdörtgen kesitli rezonatörlerde modlar TE_{mns}, TM_{mns} gibi ifade edilir. Ana katsayılar da E_{mns} ya da H_{mns} ile gösterilir.

Ancak rezonatörde her frekansta salınım barınamaz. Dalga denklemi gereği barınabilecek frekanslarda

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \mu\varepsilon\omega^2 \quad (= \frac{\omega^2}{c^2} \text{ boşluk için})$$

olduğundan, *mns* modlarında dikdörtgen kesitli içi boş rezonatörün rezonans frekansı rad/s cinsinden

$$\omega_{mns}^{\text{res}} = c\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{s\pi}{d}\right)^2}$$



Hz cinsinden rezonans frekansı ise bunun 2π'ye bölümüdür:

$$\boxed{f_{mns}^{\text{res}} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{s}{d}\right)^2}}$$

İçi boş değilse buradaki *c* yerine $1/\sqrt{\mu\varepsilon}$ kullanılmalıdır.

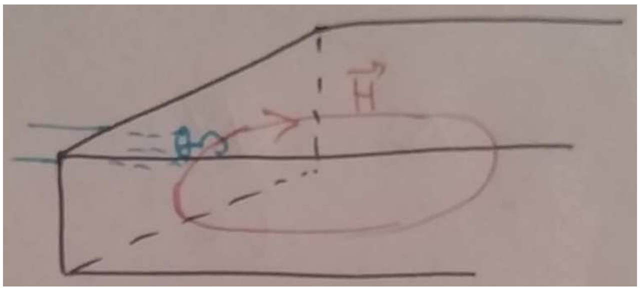
DALGA KILAVUZLARINDA UYARTIM, ÖLÇÜM VE ÇIKIŞ ALMA

Uyartım

Dalga kılavuzuna dalga girişi yandaki gibi başka bir dalga kılavuzundan veya çanak anten odaklamasıyla vb olabileceği gibi, koaksiyel kabloyla gelen sinyal ile uyartım şeklinde de yapılabilir. Dalga yayılma doğrultusundaki tekrarlar hariç her yarı periyot için birer uyartım yapılır. Komşu yarı periyotların uyartımları zıt fazlarda yapılmalıdır. Manyetik alan ya da elektrik alandan birinin uyartılması yeterlidir, diğeri Maxwell denklemlerine ve sınır şartlarına uyumlu biçimde doğal olarak oluşur ve dalga kılavuzu boyunca yayılırlar.

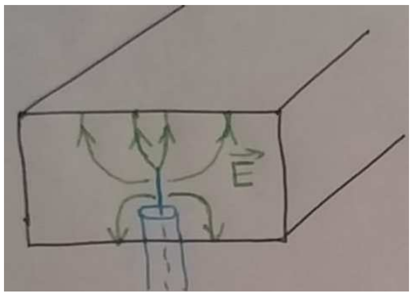
Manyetik alan uyartımı

İstenen modun manyetik alanının maksimum genlikte olması gereken noktalarda uyartım yapılır. Bu noktalarda dalga kılavuzu duvarına açılan delikten girilen koaksiyel kablonun orta damarı yaklaşık (tam kapatılmamış) halka şeklinde bükülerek manyetik alan propu elde edilir. Manyetik alan vektörünün bu halkanın ortasından geçecek şekilde üretileceği düşünülerek uyartım konumu ve halkanın yönü belirlenir.



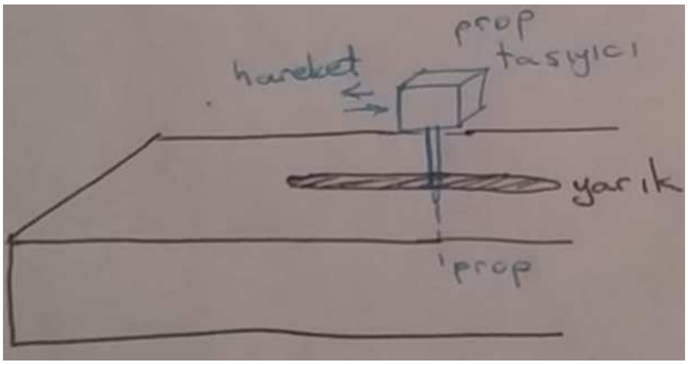
Elektrik alan uyartımı

İstenen modun elektrik alanının maksimum genlikte olması gereken noktalarda uyartım yapılır. Bu noktalarda dalga kılavuzu duvarına açılan delikten girilen koaksiyel kablonun orta damarı düz çıkartılarak elektrik alan propu elde edilir. Elektrik alan vektörünün bu damara dik üretilip kılavuz duvarlarına da dik olarak şekilleneceği düşünülerek uyartım konumu ve yönü belirlenir.



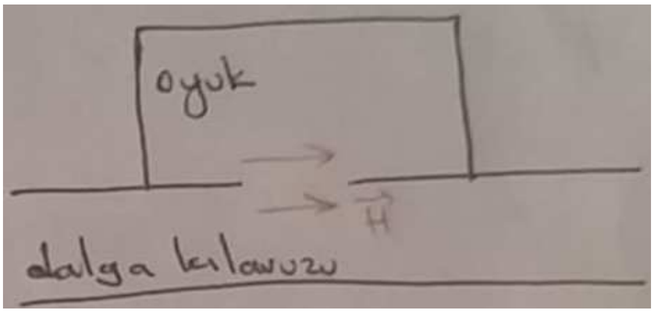
Ölçüm

Uyartım için kullanılan proplar, aynı türde alan ölçümü için de kullanılabilirler. Eğer sabit bir nokta yerine bir bölgenin değişik noktalarından ölçüm isteniyorsa prop bir yarıkta kaydırılabilecek şekilde yerleştirilir.



Çıkış alma

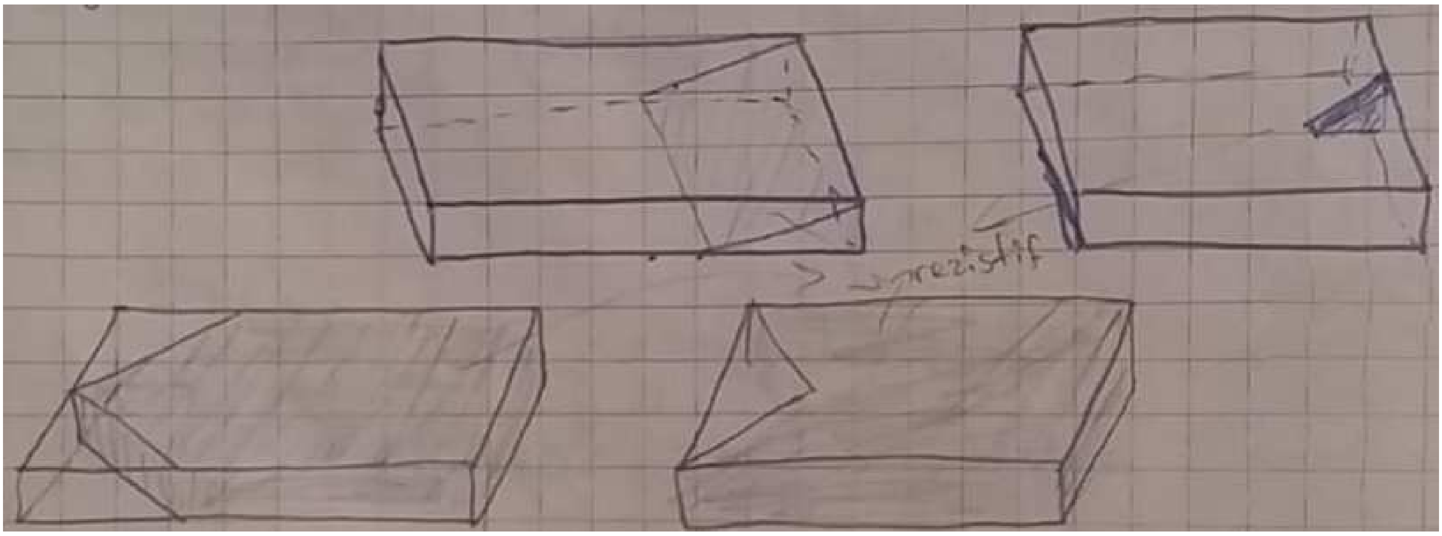
Proplarla sinyal seviyesinde çıkış alınabileceği gibi bir dalga kılavuzundaki bir açıklık yardımıyla dalganın bölünmesiyle de çıkış alınabilir. Bunun bir yolu yanda gösterilmiştir. Diğer bazı şekilleri de güç bölücüler kısmında gösterilecektir.



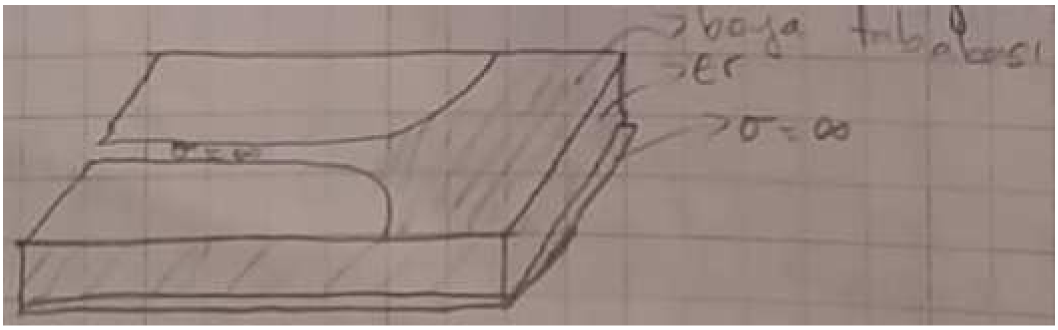
ÇEŞİTLİ DALGA KILAVUZU ELEMANLARI

Sonlandırmalar

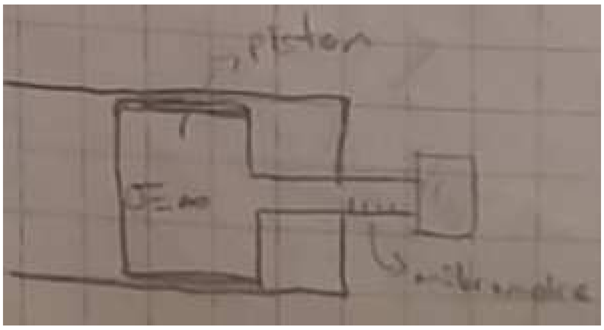
Aşağıda gösterildiği gibi dalga kılavuzu sonuna rezistif elemanlar yerleştirilerek dalganın emilmesi sağlanır.



Şerit hatlarda sonlandırma boyalarla yapılır.



Kısa devre sonlandırmanın ayarlı yapılması için mikrometre ile yeri ayarlanabilen pistonlu bir sonlandırma yapılır.



Yön Değiştiriciler

Dirsek, burgu, burgulu dirsek gibi elemanların fotoğrafları şu linkten görülebilir.

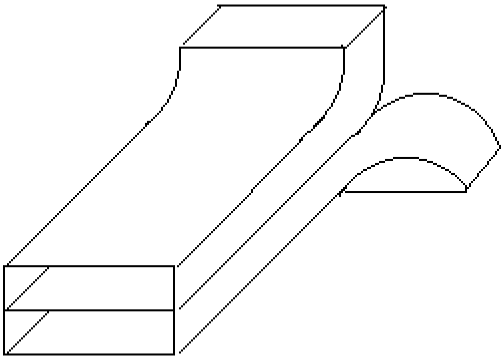
http://www.rfcell.com/resize.ashx?path=/sites/rfcell/UserContent/images/Picture2(1).jpg

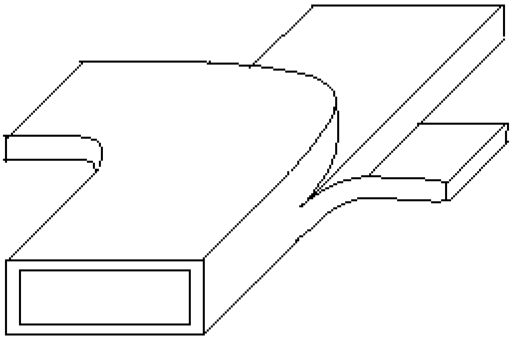
Dairesel kesitlli ve dikdörtgen kesitli dalga kılavuzları arasında geçiş yapan elemanlar için ise:

https://microwaveeng.com/wp-content/uploads/2017/10/7-7-pic_Page_1-e1510777217658.png

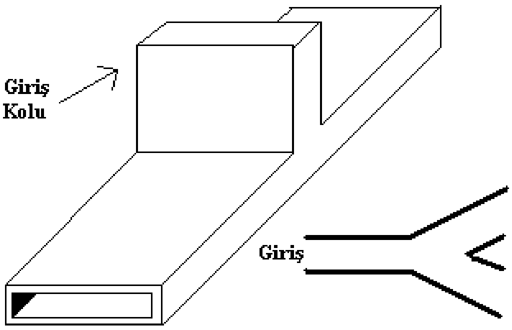
Güç Bölücüler ve Birleştiriciler

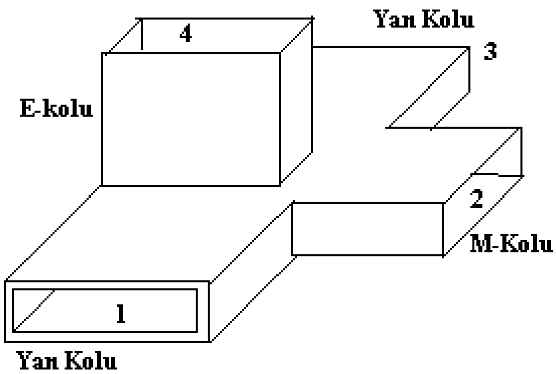
Aşağıdaki şekillerdeki gibi dalga kılavuzu katmanlara bölünerek (kanca tipi) güç bölünebilir.



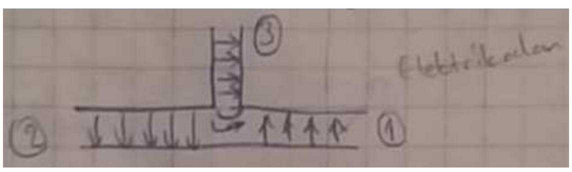


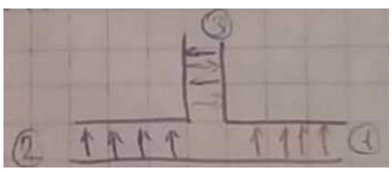
Aşağıda soldaki gibi seri T ya da sağdaki gibi sihirli T elemanlarıyla da güç bölünebilir.

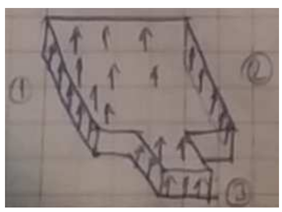




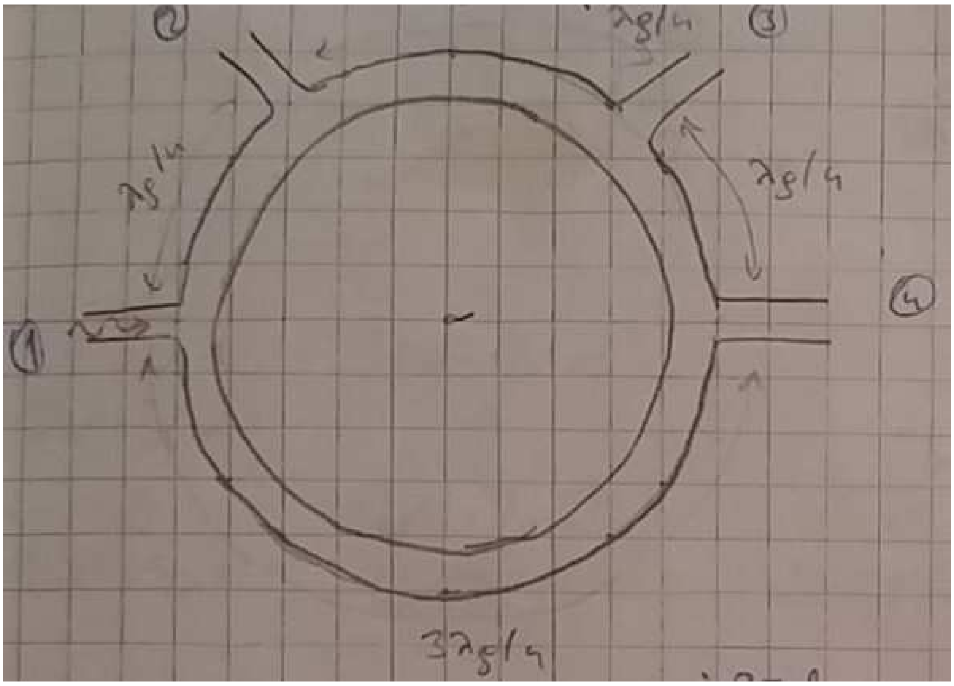
Güç bölücüler tersten kullanılarak toplayıcı ya da fark alıcı şeklinde güç birleştirmek için de kullanılabilir. Mesela seri T, aşağıda soldaki gibi gücü bölerken zıt fazlarda böler. Aşağıda ortadaki gibi toplarken de zıt fazlarda birleştirir, yani farkını alır. Eğer aynı fazda bölmek ya da toplamak istersek sağdaki eleman kullanılabilir.







Aşağıdaki halka tipi hibrit eklemde ise bir kapıdan verilen dalga iki kola ayrılır. Bu iki kolda değişik faz farklarına maruz kalarak, diğer kapıların ağzında ya toplanarak çıkış verir ya da farkı alınarak birbirini götürdüğü için çıkış vermez.



Mesela 1. kapıdan verilen dalganın, 3. kapıya kısa yoldan ($2\lambda_g/4$) gelen yarısı 180°’’lik, uzun yoldan ($4\lambda_g/4 = \lambda_g$) gelen yarısı gelen yarısı 360° ≡ 0°’’lik faz kaymasına maruz kalarak birleşince birbirini götürdüğü için çıkış vermez. 2. kapıya kısa yoldan ($\lambda_g/4$) gelen yarısı da uzun yoldan ($5\lambda_g/4 \equiv \lambda_g/4$) gelen yarısı da 90°’’lik faz kaymasına maruz kalarak geldiği için toplanarak 2. kapıdan iletilir. Benzer şekilde 4. kapıdan da 270°’’lik faz kayması ile her iki koldan gelen dalgalar toplanarak iletilir.