

ÖZEL DURUMLAR

1. KISA DEVRE ($Z_L=0$) İLETİM HATTI



Şekil.2.21 Kısa devre iletim hattı

Kısa devre nedeniyle yük sınır şartı $V(0)=0$ dir ve bunun sonucu olarak,

$$V(d=0) = V^+ e^{j\beta_0} [1 + \Gamma_L e^{-j2\beta_0}] = V^+ [1 + \Gamma_L] = 0$$

$$\Rightarrow \Gamma_L = -1$$

elde edilir. Aynı zamanda,

$$\Gamma_L = \frac{V^-}{V^+} \text{ olduğundan, } V^- = -V^+$$

yazılabilir. Böylece, hat voltajının fazörünü,

$$\begin{aligned}
 V(d) &= V^+ e^{j\beta d} + V^- e^{-j\beta d} = V^+ e^{j\beta d} - V^+ e^{-j\beta d} = V^+ (e^{j\beta d} - e^{-j\beta d}) \\
 &= j2V^+ \sin \beta d
 \end{aligned}$$

şeklinde yazabiliriz. Benzer şekilde akım fazörünü de,

$$\begin{aligned}
 I(d) &= \frac{1}{Z_0} (V^+ e^{j\beta d} - V^- e^{-j\beta d}) = \frac{1}{Z_0} (V^+ e^{j\beta d} + V^+ e^{-j\beta d}) = \frac{V^+}{Z_0} (e^{j\beta d} + e^{-j\beta d}) \\
 &= \frac{2V^+}{Z_0} \cos \beta d
 \end{aligned}$$

şeklinde elde etmek mümkündür. Böylece **hat empedansı**,

$$Z(d) = Z_{KD} = \frac{V(d)}{I(d)} = \frac{j2V^+ \sin \beta d}{2V^+ \cos \beta d / Z_0} = jZ_0 \tan \beta d$$

olur. Aynı eşitlik,

$$Z(d) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta d}{Z_0 + jZ_L \tan \beta d}$$

denkleminde $Z_L=0$ yazılarak da elde edilebilir. Görüldüğü gibi, bir **kısa devre** ile sonlandırılmış d -uzunluğundaki kayıpsız iletim hattının giriş empedansı saf imajinerdir ve

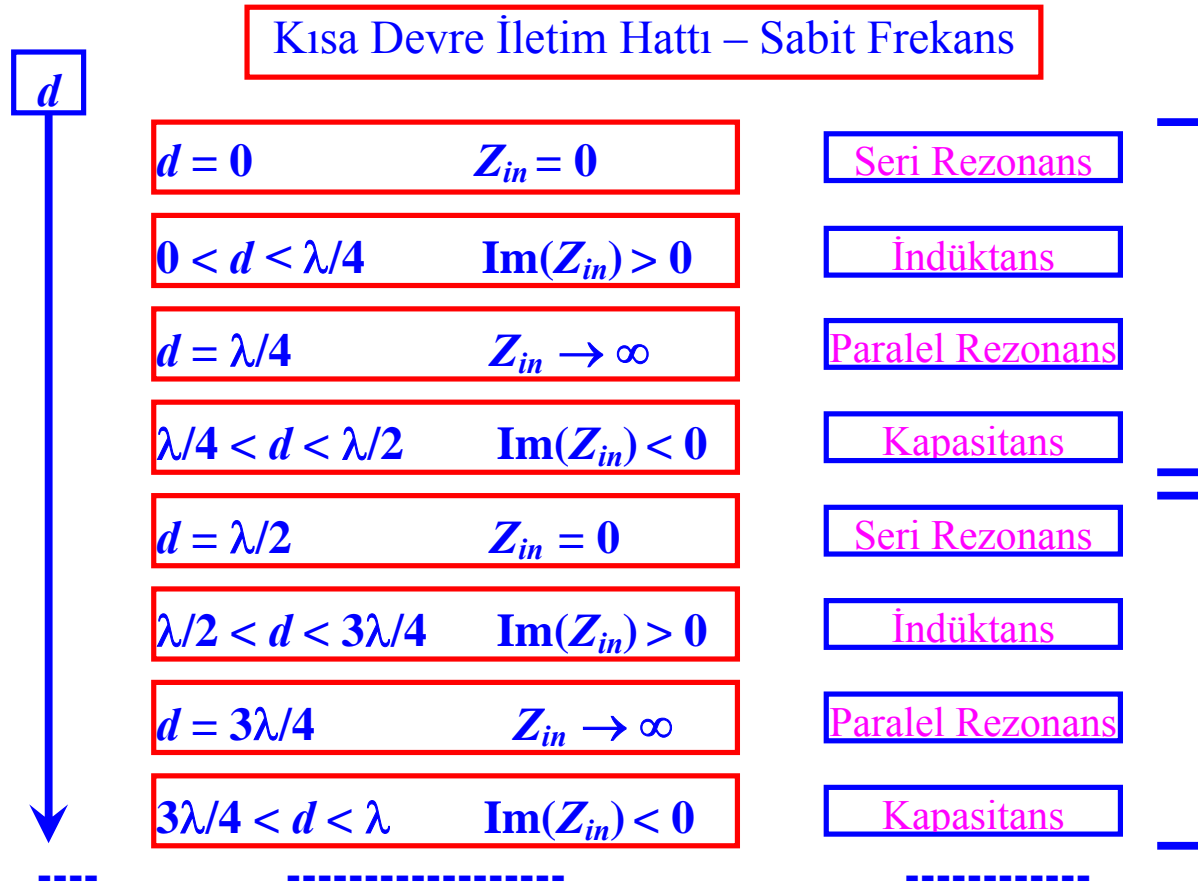
$$Z_{in} = jZ_0 \tan \beta d = jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda} d\right) = jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi f}{v_p} d\right) = jX_{KD}$$

şeklinde yazılabilir. Sabit bir f frekansında, hattın uzunluğu 0'dan $\lambda/2$ 'ye kadar değiştirilerek **herhangi bir reaktans değeri** elde edilebilir. Tanjant fonksiyonu periyodik olduğundan, empedansın davranışı her $\lambda/2$ mesafede özdeş olarak tekrarlayacaktır. Diğer taraftan tanjant fonksiyonu $(-\infty)$ ile (∞) aralığında değişeceğinden, şekil.2.22 ve 2.23'den de görüleceği gibi, kısa devre iletim hattının giriş empedansı indüktif veya kapasitif olacaktır. $d < \lambda/4$ olduğunda, X_{KD} pozitif dolayısıyla giriş empedansı saf indüktiftir. Bu nedenle, çeyrek dalga boyundan küçük kısa devre hattın eşdeğer indüktansı,

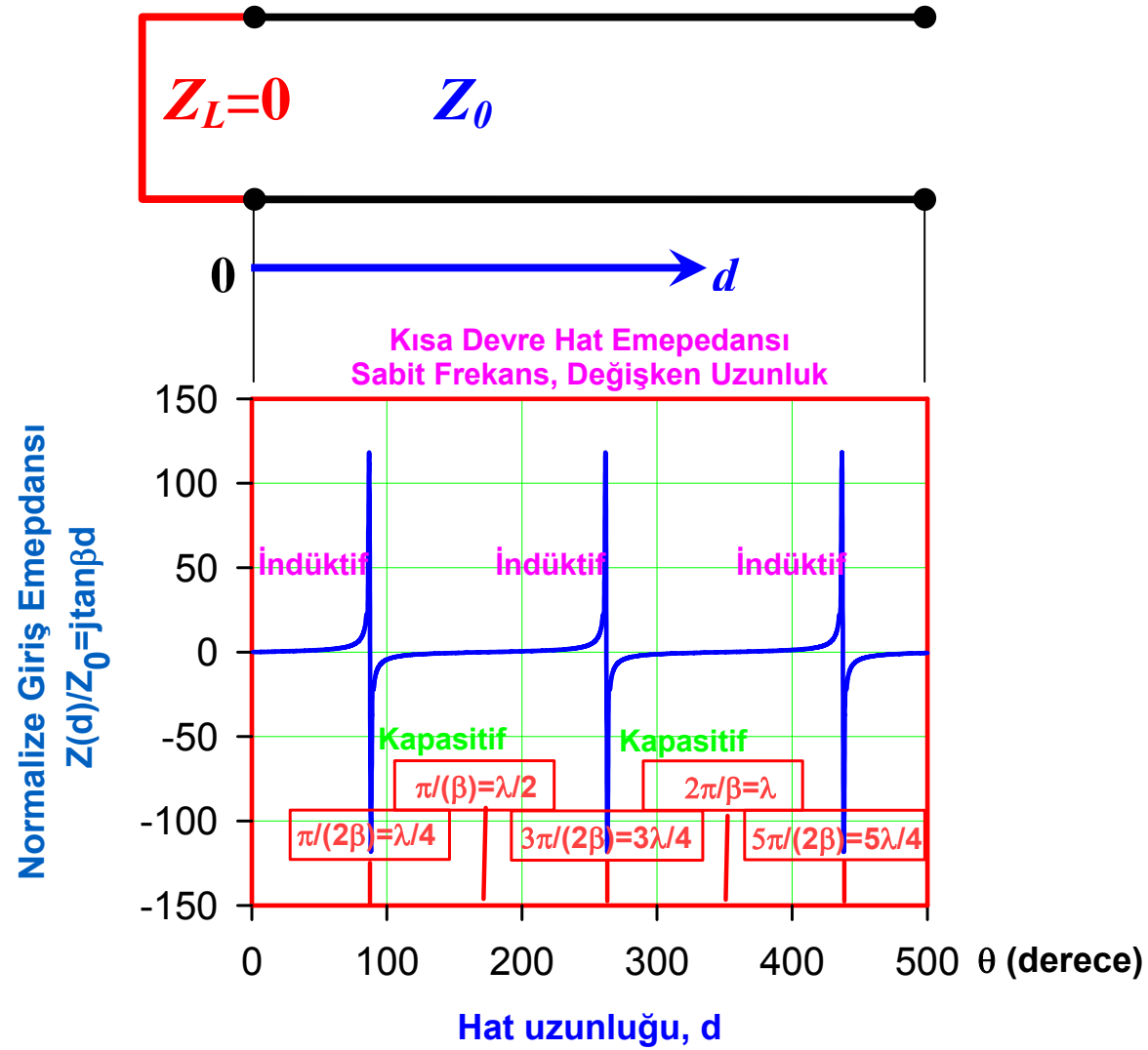
$$L = \frac{X_{KD}}{\omega} = \frac{Z_0}{\omega} \tan \beta d \quad (\text{H})$$

şeklinde elde edilir. $d < 0.08\lambda$ olduğunda, $\tan \beta d \approx \beta d$ dir ve indüktans,

$$L = (Z_0/v_p)d \quad (\text{H})$$

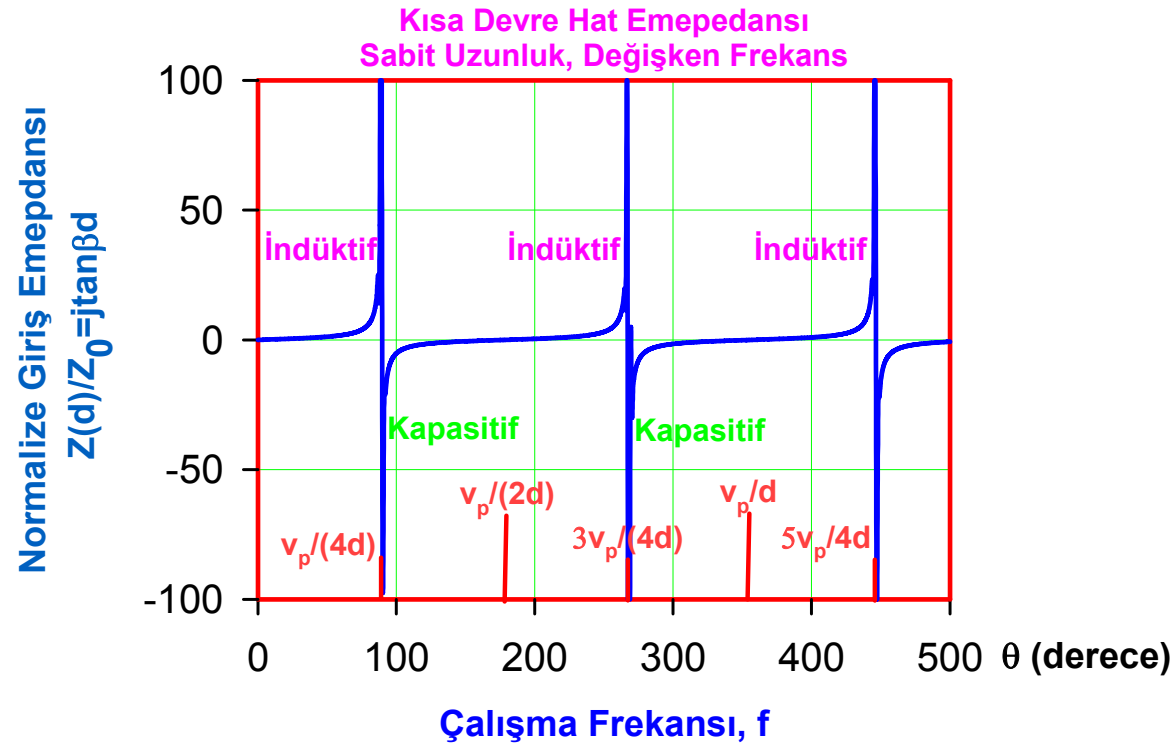


Şekil.2.22 Kısa devre ile sonlandırılmış iletim hattının giriş empedansının hat uzunluğu ile değişimi



Şekil.2.23 Kısa devre ile sonlandırılmış iletim hattının giriş empedansının hat uzunluğu ile değişimi

olur. Hat uzunluğunun artan değerleri için giriş empedansının aldığı değerler ve davranışı şekil.2.22 ve 2.23'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi giriş empedansı her yarım dalga boyu mesafede tekrarlanıyor.



Şekil.2.24 Kısa devre ile sonlandırılmış iletim hattının giriş empedansının frekansla değişimi

Dikkat edilmelidir ki; iletim hattının uzunluğu sabitlenip çalışma frekansı değiştirilirse, benzer bir davranış elde edilir (bkz. şekil.2.24). $d=\lambda/4$ ve $\lambda/2$ civarında, kısa devre hattın davranışı **LC** devrelerinin davranışına benzer. Toplu eleman **LC** devrelerinin karakteristikleri ile karşılaştırılırsa, kısa devre iletim hattının $d=\lambda/4$ ve $\lambda/2$ veya $\beta d=\pi/2$ ve π civarında şu özelliklere sahip olduğu görülür:

- $\beta d=(2n-1)\pi/2$ civarındaki frekanslarda **kısa devre hat paralel rezonans devresi** gibi davranır.
- $\beta d=n\pi$ civarındaki frekanslarda **kısa devre hat seri rezonans devresi** gibi davranır.

Kısa devre iletim hattının bu iki özelliği band geçiren ve band tutan filtre tasarımında önemli yer tutar.

Eğer kısa devre hat **kayıplı** ise, giriş empedansı,

$$Z_{KD} = Z_0 \tanh \gamma d = Z_0 \tanh(\alpha d + j\beta d) = Z_0 \frac{\tanh \alpha d + j \tan \beta d}{1 + j \tanh \alpha d \tan \beta d}$$

olur. **Kayıpsız** durumda $\beta d=n\pi$ için giriş empedansı sıfır idi. Ancak **kayıp nedeniyle**, şimdi giriş empedansı **sonlu** bir değere sahiptir. $\alpha=0.5$ **Neper** olmak üzere, **kayıplı** kısa devre hat

uzunluğu $d=n\lambda/2$ (n, tamsayı) ise, $Z_{KD} = Z_0 \tanh \gamma d \cong Z_0(\alpha d)$ ohm olur. Hat

uzunluğu $d=(2n-1)\lambda/4$ ise, $Z_{KD} = Z_0 \coth \gamma d \cong Z_0/\alpha d$ ohm olur.

Bu durumda, giriş empedansı sonlu ve reeldir.

Diğer taraftan kısa devre iletim hattında voltaj ve akımın zamana bağımlı ifadeleri,

$$\begin{aligned} V(d, t) &= \operatorname{Re} \left[V(d) e^{j\omega t} \right] = \operatorname{Re} \left[2j |V^+| e^{j\theta} \sin \beta d \cdot e^{j\omega t} \right] \\ &= 2 |V^+| \sin \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[j e^{j(\omega t + \theta)} \right] = 2 |V^+| \sin \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[j \cos(\omega t + \theta) - \sin(\omega t + \theta) \right] \\ &= -2 |V^+| \sin \beta d \cdot \sin(\omega t + \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(d, t) &= \operatorname{Re} \left[I(d) e^{j\omega t} \right] = \operatorname{Re} \left[2 |V^+| e^{j\theta} \cos \beta d \cdot e^{j\omega t} \right] / Z_0 \\ &= 2 \frac{|V^+|}{Z_0} \cos \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[j e^{j(\omega t + \theta)} \right] = 2 \frac{|V^+|}{Z_0} \cos \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[\cos(\omega t + \theta) + \sin(\omega t + \theta) \right] \\ &= 2 \frac{|V^+|}{Z_0} \cos \beta d \cdot \cos(\omega t + \theta) \end{aligned}$$

şeklinde elde edilir. Böylece, **ani güç** ve buna karşılık gelen **ortalama güç**, sırasıyla,

$$\begin{aligned} P(d, t) &= V(d, t) \cdot I(d, t) = -4 \frac{|V^+|^2}{Z_0} \sin \beta d \cos \beta d \cdot \sin(\omega t + \theta) \cos(\omega t + \theta) \\ &= -\frac{|V^+|^2}{Z_0} \sin 2\beta d \cdot \sin(2\omega t + 2\theta) \end{aligned}$$

$$\langle P(d, t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T P(d, t) dt = -\frac{|V^+|^2}{Z_0} \sin 2\beta d \cdot \frac{1}{T} \int_0^T \sin(2\omega t + 2\theta) dt = 0$$

olarak bulunur.

2. AÇIK DEVRE ($Z_L = \infty$) İLETİM HATTI



Şekil.2.25 Açık devre iletim hattı

Açık devre nedeniyle yük sınır şartı $I(0)=0$ dır ve bunun sonucu olarak,

$$I(d=0) = \frac{V^+}{Z_0} e^{j\beta_0} [1 - \Gamma_L e^{-j2\beta_0}] = \frac{V^+}{Z_0} [1 - \Gamma_L] = 0$$

$$\Rightarrow \Gamma_L = 1$$

elde edilir. Aynı zamanda,

$$\Gamma_L = \frac{V^-}{V^+} \text{ olduğundan, } V^- = V^+$$

yazılabilir. Böylece, hat akımı fazörünü,

$$\begin{aligned}
 I(d) &= \frac{1}{Z_0} \left(V^+ e^{j\beta d} - V^- e^{-j\beta d} \right) = \frac{1}{Z_0} \left(V^+ e^{j\beta d} - V^+ e^{-j\beta d} \right) \\
 &= \frac{V^+}{Z_0} \left(e^{j\beta d} - e^{-j\beta d} \right) = \frac{j2V^+}{Z_0} \sin \beta d
 \end{aligned}$$

şeklinde yazabiliriz. Benzer şekilde voltaj fazörünü de,

$$\begin{aligned}
 V(d) &= V^+ e^{j\beta d} + V^- e^{-j\beta d} = V^+ e^{j\beta d} + V^+ e^{-j\beta d} \\
 &= V^+ \left(e^{j\beta d} + e^{-j\beta d} \right) = 2V^+ \cos \beta d
 \end{aligned}$$

şeklinde elde etmek mümkündür. Böylece **hat empedansı**,

$$Z(d) = Z_{AD} = \frac{V(d)}{I(d)} = \frac{2V^+ \cos \beta d}{j2V^+ \sin \beta d / Z_0} = -j \frac{Z_0}{\tan \beta d}$$

olur. Aynı eşitlik, kısa devre durumunda belirtildiği gibi, genel hat empedansı ifadesinden de elde edilebilir. Görüldüğü gibi, bir **açık devre** ile sonlandırılmış **d**-uzunluğundaki kayıpsız iletim hattının giriş empedansı saf imajinerdir ve

$$Z_{in} = -jZ_0 \cot \beta d = -jZ_0 \cot \left(\frac{2\pi}{\lambda} d \right) = -jZ_0 \cot \left(\frac{2\pi f}{v_p} d \right) = -jX_{KD}$$

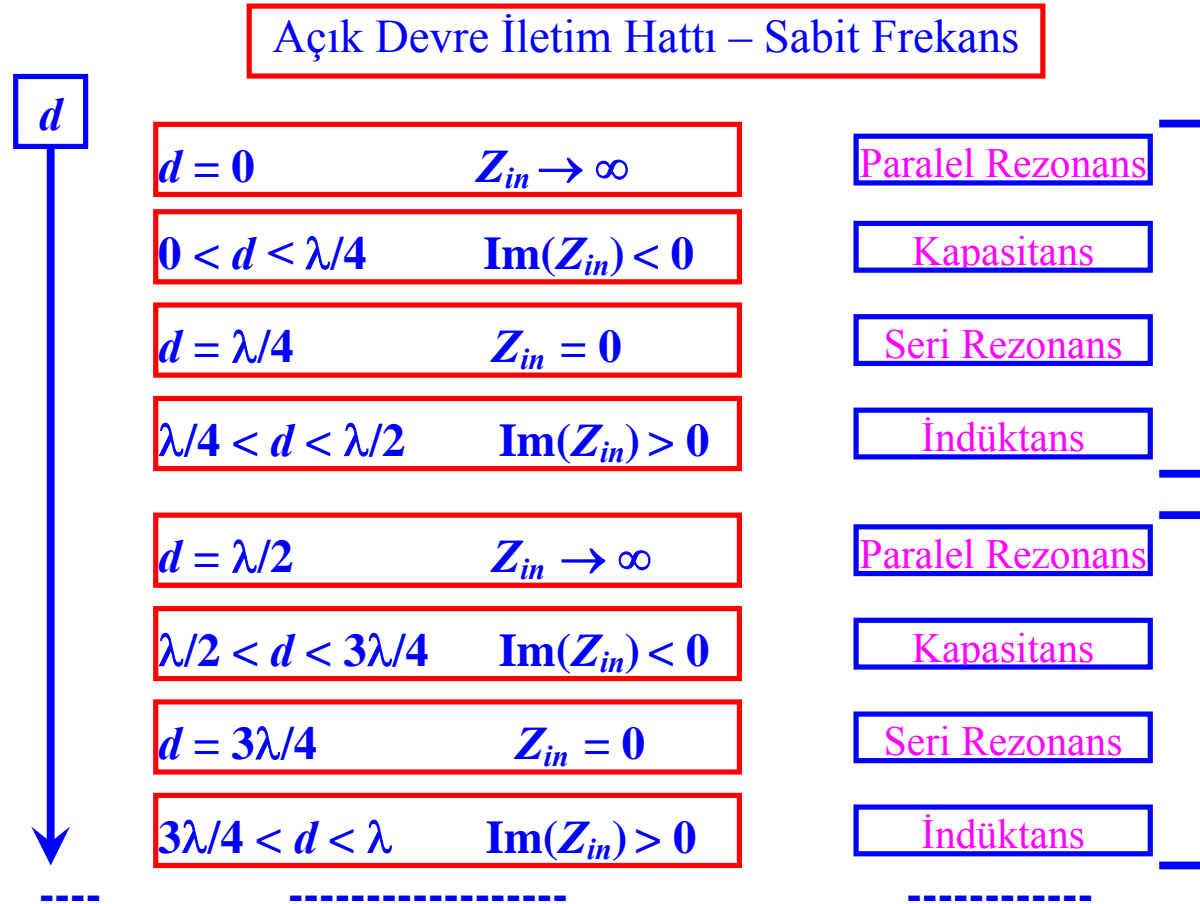
şeklinde yazılabilir. Sabit bir f frekansında, hattın uzunluğu 0'dan $\lambda/2$ 'ye kadar değiştirilerek kapasitanstan başlayan herhangi bir reaktans değeri elde edilebilir. Yukarıdaki empedans fonksiyonu da periyodik olduğundan, empedansın davranışı her $\lambda/2$ mesafede özdeş olarak tekrarlayacaktır. Diğer taraftan cotanjant fonksiyonu $(-\infty)$ ile (∞) aralığında değişeceğinden, şekil.2.26 ve 2.27'den de görüleceği gibi, açık devre iletim hattının giriş empedansı yine kapasitif veya indüktif olacaktır. $d < \lambda/4$ veya $\beta d < \pi/2$ olduğunda, X_{AD} negatif dolayısıyla giriş empedansı saf kapasitif olacaktır. Bu nedenle, çeyrek dalga boyundan küçük açık devre hattın eşdeğer kapasitansı,

$$C = \frac{1}{\omega X_{AD}} = \frac{1}{\omega Z_0} \tan \beta d \quad (\text{Farad})$$

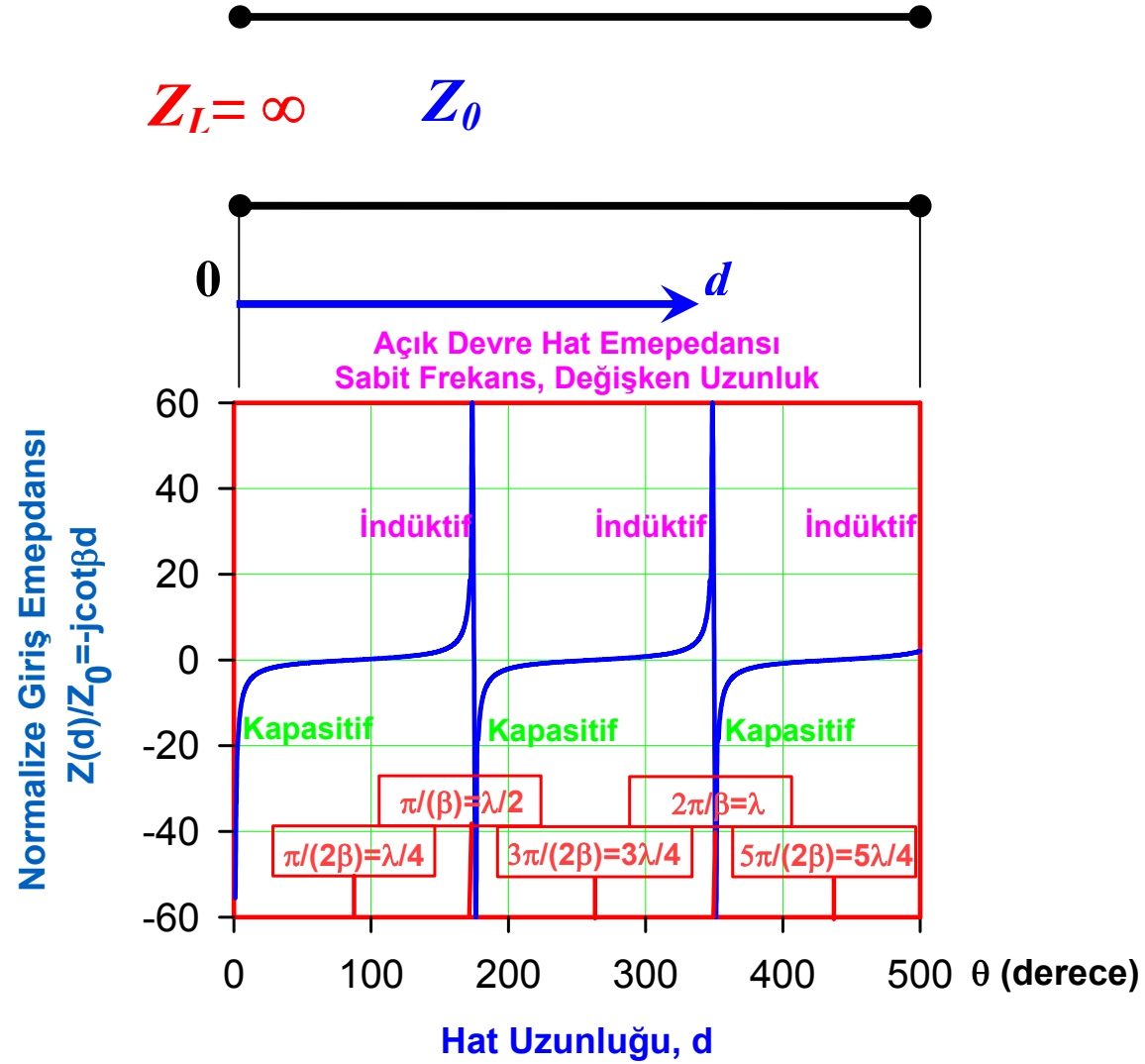
şeklinde elde edilir. $d < 0.08\lambda$ veya $\beta d < 0.5$ olduğunda, yaklaşık olarak,

$$C \cong (1/v_p Z_0) d \quad (\text{F})$$

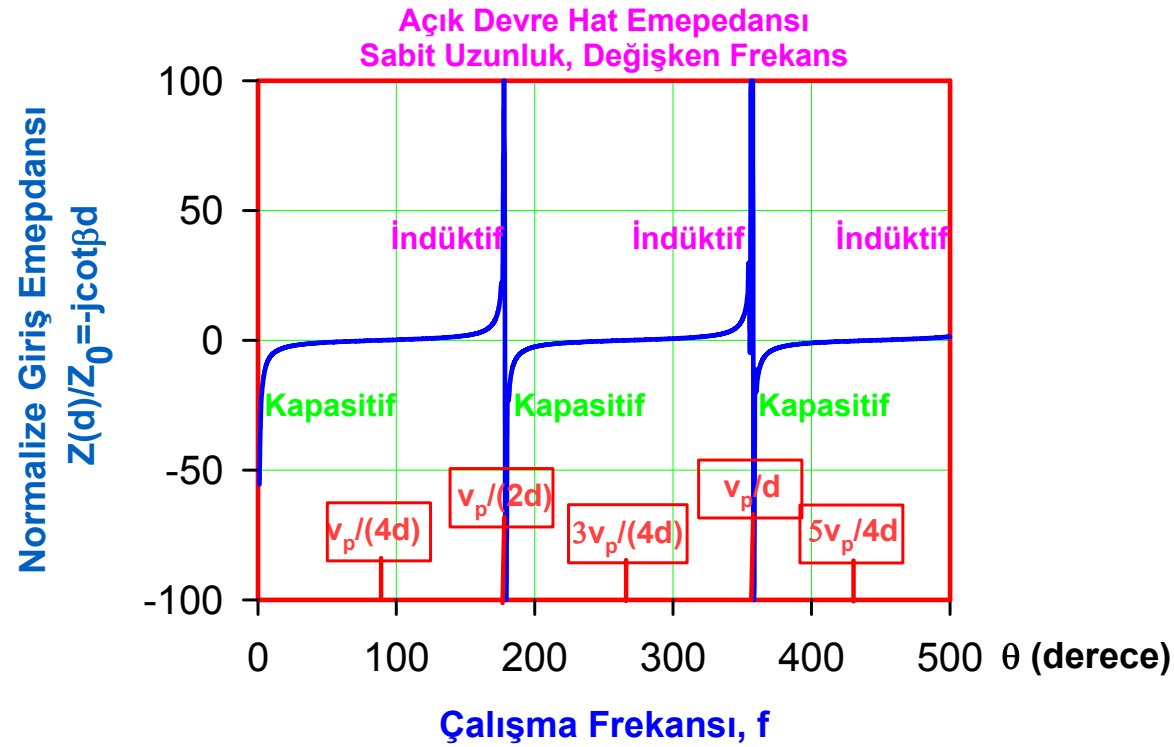
eşitliği elde edilir. Bu durumda, kısa devre hattın indüktansına benzer şekilde, kapasitenin frekanstan bağımsız olduğuna dikkat edilmelidir. Diğer hat uzunlukları için reaktans değerleri ve giriş empedansının davranışı şekil.2.26'da gösterilmiştir.



Şekil.2.26 Açık devre iletim hattının giriş empedansının hat uzunluğu ile değişimi



Şekil.2.27 Açık devre iletim hattının giriş empedansının hat uzunluğu ile değişimi



Şekil.2.28 Açık devre iletim hattının giriş empedansının frekansla değişimi

Dikkat edilmelidir ki; iletim hattının uzunluğu sabitlenip çalışma frekansı değiştirilirse, benzer bir davranış elde edilir (bkz. şekil.2.28). $d=\lambda/4$ ve $\lambda/2$ civarında, açık devre hattın davranışı toplu eleman **LC** devrelerinin davranışına benzer. Toplu eleman

LC devrelerinin frekans karakteristikleri ile karşılaştırılırsa, açık devre iletim hattının $d=\lambda/4$ ve $\lambda/2$ veya $\beta d=\pi/2$ ve π civarında şu özelliklere sahip olduğu görülür:

- $\beta d=(2n-1)\pi/2$ civarındaki frekanslarda, yani çeyrek dalga boyunun tek katları olan frekanslarda, açık devre **hat seri rezonans devresi** gibi davranır.
- $\beta d=n\pi$ civarındaki frekanslarda, yani yarım dalga boyunun tam katları olan frekanslarda, açık devre hat **paralel rezonans devresi** gibi davranır.

Açık devre hattın bu özellikleri de mikrodalga filtrelerinin tasarımında önemli bir yer tutar.

Eğer kısa devre hat **kayıplı** ise, giriş empedansı,

$$Z_{AD} = Z_0 \coth \gamma d = Z_0 \coth(\alpha d + j\beta d)$$

olur. **Kayıpsız** durumda $\beta d=n\pi$ için giriş empedansı sonsuz idi. Ancak **kayıp nedeniyle**, şimdi giriş empedansı **sonlu** bir değere sahiptir. $\alpha=0.5$ **Neper** olmak üzere, **kayıplı** açık

devre hat uzunluğu $d=n\lambda/2$ (n, tamsayı) ise, $Z_{AD} \cong Z_0/\alpha d$ ohm olur.

Açık devre hat uzunluğu $d=(2n-1)\lambda/4$ ise, $Z_{AD} \cong Z_0(\alpha d)$ ohm olur.

Bu durumda, **giriş empedansı sonlu ve reeldir**.

3. İLETİM HATLARININ REZONANS DEVRESİ OLARAK KULLANILMASI

Bilindiği gibi indüktans veya kapasitansın reaktansı,

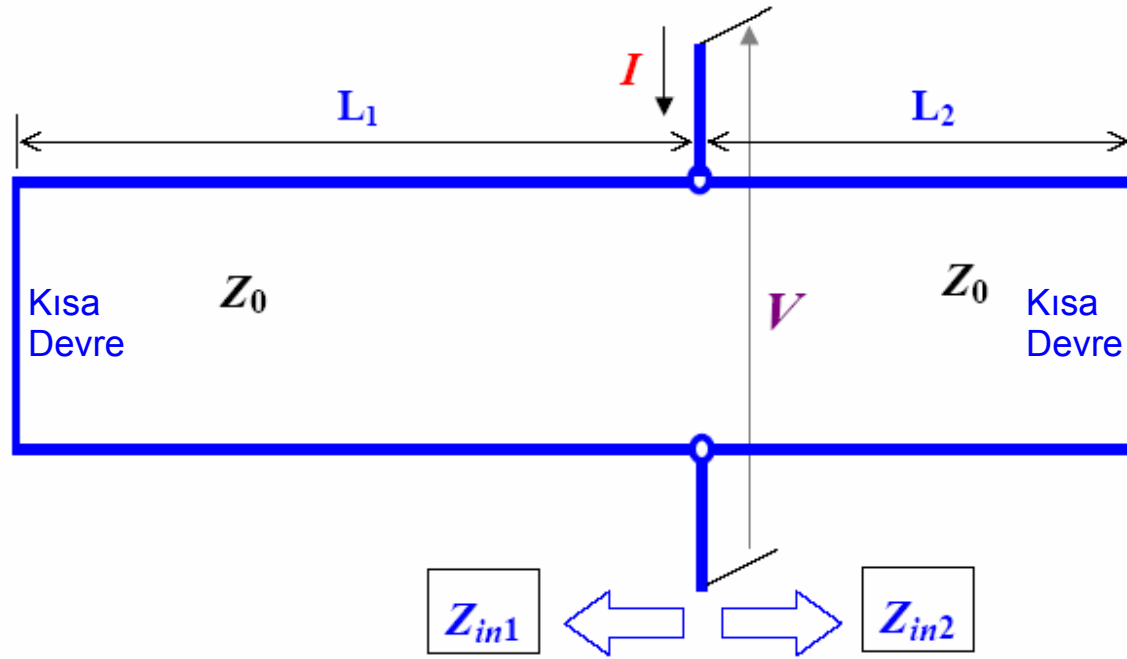
$$X = \omega L \text{ (indüktans)}$$

veya

$$X = 1/\omega C \text{ (kapasitans)}$$

eşitlikleri ile tanımlandığından, **toplu eleman** (alçak frekanslarda) durumunda frekansla **lineer** olarak değişir. **Reaktans bir iletim hattının parçası olarak gerçekleştirildiğinde ise, bu doğru değildir.**

Reaktif eleman olarak **iletim hatlarını** kullanarak, **rezonans devrelerini** gerçekleştirmek mümkündür. Örnek olarak, aynı karakteristik empedansa sahip hatlarla gerçekleştirilen şekil.2.29'daki devreyi göz önüne alalım.



Şekil.2.29 İletim hatları ile gerçekleştirilmiş rezonans devresi

Bu devrede,

$$Z_{in1} = jZ_0 \tan \beta L_1$$

$$Z_{in2} = jZ_0 \tan \beta L_2$$

dir. L_1 ve L_2 uzunlukları, bir indüktans ve kapasitans gerçekleştirecek şekilde seçilirse, devre **rezonansta** olur. Paralel devrenin toplam giriş empedansı **sonsuz** olursa (veya eşdeğer olarak, paralel devrenin giriş admitansı sıfır olursa), **rezonans şartı** sağlanmış olur. Yani,

$$\frac{1}{jZ_0 \tan \beta_r L_1} + \frac{1}{jZ_0 \tan \beta_r L_2} = 0$$

veya

$$\tan\left(\frac{\omega_r}{v_p} L_1\right) = -\tan\left(\frac{\omega_r}{v_p} L_2\right)$$

olur. Burada,

$$\beta_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{v_p}$$

dir. Tanjant periyodik bir fonksiyon olduğundan, yukarıdaki rezonans şartını sağlayan, mümkün **rezonans açısal frekansının** ω_r 'nin katlarında da rezonans oluşur. Çözümler, **nümerik** yöntemler kullanılarak bulunabilir.

Voltaj ve akımın zamana bağımlı ifadeleri,

$$\begin{aligned}
 V(d, t) &= \operatorname{Re} \left[V(d) e^{j\omega t} \right] = \operatorname{Re} \left[2|V^+| e^{j\theta} \cos \beta d \cdot e^{j\omega t} \right] = 2|V^+| \cos \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[e^{j(\omega t + \theta)} \right] \\
 &= 2|V^+| \cos \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[\cos(\omega t + \theta) + j \sin(\omega t + \theta) \right] \\
 &= 2|V^+| \cos \beta d \cdot \cos(\omega t + \theta)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I(d, t) &= \operatorname{Re} \left[I(d) e^{j\omega t} \right] = \operatorname{Re} \left[j2|V^+| e^{j\theta} \sin \beta d \cdot e^{j\omega t} \right] / Z_0 \\
 &= 2|V^+| \sin \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[j e^{j(\omega t + \theta)} \right] / Z_0 \\
 &= 2|V^+| \sin \beta d \cdot \operatorname{Re} \left[j \cos(\omega t + \theta) - \sin(\omega t + \theta) \right] / Z_0 \\
 &= -2 \frac{|V^+|}{Z_0} \sin \beta d \cdot \sin(\omega t + \theta)
 \end{aligned}$$

şeklinde elde edilir. Böylece, **ani güç** ve buna karşılık gelen **ortalama güç**, sırasıyla,

$$P(d,t) = V(d,t) \cdot I(d,t)$$

$$= -4 \frac{|V^+|^2}{Z_0} \sin \beta d \cos \beta d \cdot \sin(\omega t + \theta) \cos(\omega t + \theta)$$

$$= -\frac{|V^+|^2}{Z_0} \sin 2\beta d \cdot \sin(2\omega t + 2\theta)$$

ve

$$\langle P(d,t) \rangle = \frac{1}{T} \int P(d,t) dt$$

$$= -\frac{|V^+|^2}{Z_0} \sin 2\beta d \cdot \frac{1}{T} \int \sin(2\omega t + 2\theta) dt = 0$$

olarak bulunur.

3. UYUMLU YÜKLE SONLANDIRMA ($Z_L=Z_0$)



Şekil.2.30 Uyumlu yük ile sonlandırılmış iletim hattı

Uyumlu yük ile sonlandırılmış iletim hattında yansımaya katsayısı,

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{Z_0 - Z_0}{Z_0 + Z_0} = 0$$

Yansımaya Yok

olur. Hat voltajı ve hat akımı fazörleri,

$$V(d) = V^+ e^{j\beta d} (1 + \Gamma_L e^{-j2\beta d}) = V^+ e^{j\beta d}$$

$$I(d) = \frac{V^+}{Z_0} e^{j\beta d} (1 - \Gamma_L e^{-j2\beta d}) = \frac{V^+}{Z_0} e^{j\beta d}$$

şeklinde yazılır. Bu durumda, **hat empedansı** konumdan **bağımsızdır** ve hattın karakteristik empedansına eşittir. Yani,

$$Z(d) = \frac{V(d)}{I(d)} = \frac{V^+ e^{j\beta d}}{\frac{V^+}{Z_0} e^{j\beta d}} = Z_0$$

olur. Ani voltaj ve akım ise,

$$\begin{aligned} V(d, t) &= \text{Re} \left[V(d) e^{j\omega t} \right] = \text{Re} \left[|V^+| e^{j\theta} e^{j\beta d} \cdot e^{j\omega t} \right] \\ &= |V^+| \text{Re} \left[e^{j(\omega t + \beta d + \theta)} \right] = |V^+| \cos(\omega t + \beta d + \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(d, t) &= \text{Re} \left[|V^+| e^{j\theta} e^{j\beta d} \cdot e^{j\omega t} \right] / Z_0 \\ &= \frac{|V^+|}{Z_0} \text{Re} \left[e^{j(\omega t + \beta d + \theta)} \right] = \frac{|V^+|}{Z_0} \cos(\omega t + \beta d + \theta) \end{aligned}$$

şeklinde ifade edilebilir. **Ani güç** ve **yükün harcadığı ortalama güç**, sırayla,

$$\begin{aligned} P(d, t) &= |V^+| \cos(\omega t + \beta d + \theta) \frac{|V^+|}{Z_0} \cos(\omega t + \beta d + \theta) \\ &= \frac{|V^+|^2}{Z_0} \cos^2(\omega t + \beta d + \theta) \end{aligned}$$

ve

$$\langle P(d, t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{|V^+|^2}{Z_0} \cos^2(\omega t + \beta d + \theta) dt = \frac{|V^+|^2}{2Z_0}$$

olur.

4. SAF REAKTANSLA SONLANDIRMA ($Z_L=jX$)



Şekil.2.31 Saf reaktans ile sonlandırılmış iletim hattı

Saf reaktif yükün yansımaya katsayısı,

$$\begin{aligned}\Gamma_L &= \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{jX - Z_0}{jX + Z_0} = \frac{(jX - Z_0) \cdot (Z_0 - jX)}{(jX + Z_0) \cdot (Z_0 - jX)} \\ &= \frac{X^2 - Z_0^2}{X^2 + Z_0^2} + j \frac{2XZ_0}{X^2 + Z_0^2}\end{aligned}$$

olur. Polar (kutupsal) formda bu ifade,

$$\Gamma_L = |\Gamma_L| e^{j\theta_L}$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$$|\Gamma_L| = \sqrt{\frac{(X^2 - Z_0^2)^2}{(X^2 + Z_0^2)^2} + 4 \frac{X^2 Z_0^2}{(X^2 + Z_0^2)^2}} = \sqrt{\frac{(X^2 + Z_0^2)^2}{(X^2 + Z_0^2)^2}} = 1$$

$$\theta_L = \tan^{-1} \left(\frac{2XZ_0}{X^2 - Z_0^2} \right)$$

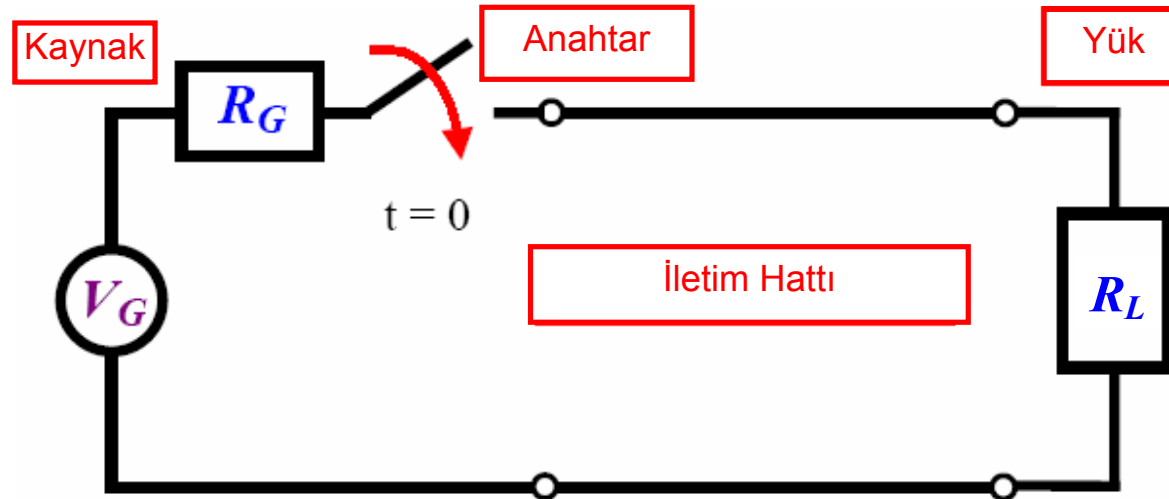
dir. Kısa ve açık devre yük durumunda olduğu gibi, yükün harcadığı sıfır ortalama güç ile **yansımaya katsayısı birim** genliğe sahiptir. Hem voltaj hem de akım yükte sonlu değere sahiptir ve ani güç, pozitif ve negatif değerler arasında osilasyon yapar. Bunun anlamı şudur; güç harcamadan, yük periyodik olarak depolar ve gücü iletim hattına geri döndürür.

Reaktif empedanslar kısa veya açık devre ile sonlandırılmış **iletim hatları** ile gerçekleştirilebilir.

İLETİM HATLARINDA GEÇİCİ VE SÜREKLİ HAL

Şimdi iletim hatları için elde edilen matematiksel sonuçların fiziksel yorumuna ihtiyacımız var. Her şeyden önce, dikkat edilmelidir ki; iletim hattı boyunca dalga yayılımının zamana göre mükemmel periyodik olduğu kararlı hal rejimini göz önüne alıyoruz. Bunun anlamı şudur: bu durumda zaten geçici olayların hepsi bozulmuş oluyor.

Kararlı hal rejiminin ne olduğunu anlamak için, $t=0$ referans anında bir anahtarın kapatılması ile kaynağa bağlanan bir iletim hattını göz önüne alalım. Kolaylık açısından, hattın karakteristik empedansı da dahil, bütün empedansların reel olduğunu kabul edelim.



Şekil.2.32 İletim hattında geçici hal

Anahtar kapatıldıktan sonra, iletim hattının girişindeki voltaj, iletim hattına akmaya başlayan I^+ akımı ile, kaynağın açık devre voltajı V_G 'den V^+ değerine ani olarak değişecektir. İletkenlerdeki yükler hareket ettikçe (yüke doğru akım akışıyla) iletim hattında bir geçici hal oluşur. Yük akışı iletim hattının sonuna varıncaya kadar, yük voltajı sıfırda kalır.

Başlangıçta, iletim hattının giriş empedansının hattın karakteristik empedansı ile aynı olduğu gözlenir, çünkü akım, henüz yük empedansının değerini algılayamaz. Bundan dolayı, I^+ gelen akımı ile V^+ gelen voltajı yayılır. Burada,

$$V^+ = I^+ Z_0 = V_G \frac{Z_0}{Z_G + Z_0}$$

$$I^+ = \frac{V^+}{Z_0} = V_G \frac{V_0}{R_G + Z_0}$$

dır. Eğer yük, hattın karakteristik empedansına tam olarak uyumlu değilse, dalga hat sonuna ulaştınca I^+ akımı ile V^+ voltajı R_L yükü üzerinde oluşmaz, çünkü bu durumda,

$$V^+ \neq I^+ R_L$$

dır. Bundan dolayı,

$$V^+ + V^- \neq (I^+ + I^-)R_L$$

olacak şekilde, I^- akımı ve V^- voltajı ile geriye yansıyan bir dalga cephesi ile yükte akım ve voltaj kendi kendilerini ayarlar. Aynı zamanda yansıyan dalga Z_0 empedansını göreceğinden,

$$V^+ = Z_0 I^+ \quad \text{ve} \quad V^- = -Z_0 I^-$$

$$V^- = V^+ \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0}$$

elde edilir. Bu durumda yük yansıma katsayısı,

$$\Gamma_L = \frac{V^-}{V^+} = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0}$$

olur. Yükten yansıyan dalga negatif yönde yayılan dalgadır ve iletim hattı boyunca (kaynaktan uygulanmaya devam eden) voltaj ve akımın osilasyon yapan değerleriyle girişim yapar.

Yansıyan dalga iletim hattının girişine ulaştığında, kaynak empedansı R_G ile karşılaşır ve bu empedans karakteristik empedans ile uyumlu değilse, yeniden yüke doğru yansıma oluşur. Bu kez, pozitif yönde yüke doğru yayılan voltaj,

$$V_2^+ = V^- \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0}$$

olur. Unutulmamalıdır ki; ideal voltaj kaynağı yansıyan dalga için bir kısa devre gibi davranacaktır.

Kaynak tarafından yansıyan dalga tekrar yüke ulaşacak, ve giderek azalan bir genlikle dalgalar hat boyunca, başlangıçtaki dalga cephesi kayboluncaya kadar, ileri-geri yansımaya devam edecektir.

Osilasyon yapan kaynaktan sağlanan her ardışık dalga cephesi özdeş katlı yansıma olayına maruz kalır. Eğer **sinüzoidal** bir kaynak kabul edilirse, iletim hattına verilen voltaj ve akım, osilasyon periyoduna göre, periyodik olarak tekrarlanır. Bundan dolayı, hattın uçlarındaki ardışık yansımalar aynı yansıma katsayısına uyarlar, ancak zamana göre farklı **genlik ve faz değerleri** içerirler. Eğer kaynak kararlı bir osilasyonla hattı beslemeye devam ederse, **yeterli bir zaman** sonra, pozitif ve negatif yönlerdeki dalgaların birleşik girişimi kararlı olur ve

hat üzerinde yürüyen sonsuz geçici bileşenlerin süperpozisyonundan doğan, iyi-tanımlı **gelen** ve **yansıyan kararlı hal dalgaları** tanımlanabilir.

Dikkat edilmelidir ki; dalgalar, telleri kuşatan ortamdaki **ışık hızına** eşit bir **faz hızı** ile yayılırlar. Ayrıca, hat uzunluğu dalgaların girişim paternini etkileyecektir. Böylece **farklı uzunluktaki hatlar**, hat boyunca **farklı voltaj ve akım dağılımına** neden olacaktır.

Bir iletim hattında kararlı hal voltaj ve akımlarıyla çalışıldığında, **sadece** hattın her noktasında kararlı hal osilasyonlarını gösteren **fazörlerin** bilinmesi **gerekir**. Fazörler, bir referans anında, genlik ve faz vasıtasıyla, voltaj ve akımın uzayda birbiriyle nasıl ilişkili olduğunun **anlık durumunu** sağlar. Kararlı halde, voltaj ve akımın hattın her noktasında, kaynak periyoduna göre, mükemmel periyodik olduğunu bildiğimiz için, zamana göre gerçek osilasyon kolayca belirlenebilir.

Eğer **kaynak birden fazla osilasyon frekansı** sağlarsa, kararlı halde, spektrumdaki her frekansın davranışı bağımsız olarak çalışılabilir ve toplam sonuç, **süper pozisyon** ile elde edilir.