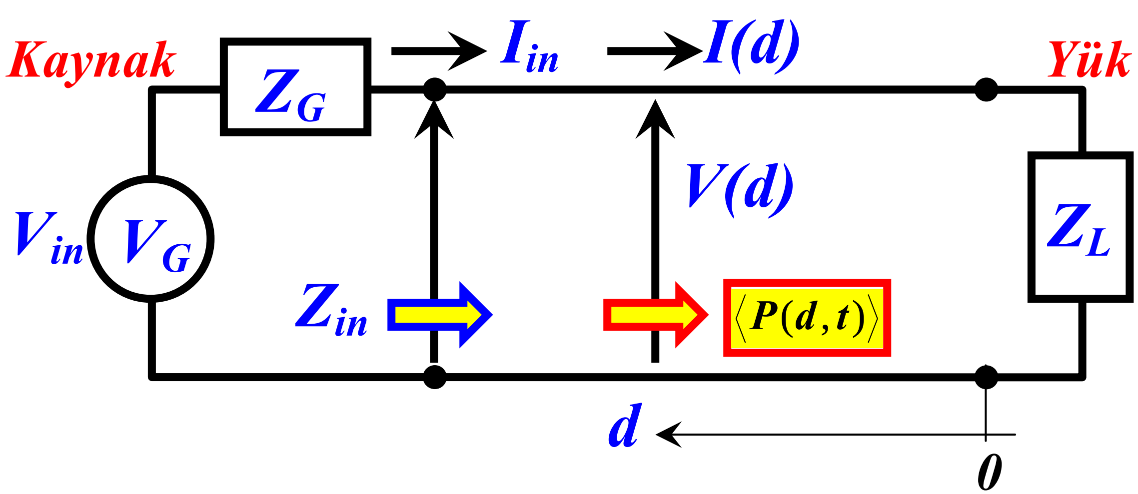
İLETİM HATLARINDA GÜÇ AKIŞI

Şimdi, devredeki rezistif elemanların harcadığı aktif gücü hesaba katan ortalama güç ile sınırlayarak, bir iletim hattındaki güç akışını göz önüne alalım. İletim hattının her hangi bir noktasında ortalama güç,

$$\langle P(d,t)\rangle = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V(d)I^*(d)\right]$$

ile hesaplanır. Bu büyüklük hattın d noktasında hat kesitinden akan ortalama gücü gösterir. Başka bir deyişle bu, verilen belirli bir giriş işaretinin d noktasına ulaşabilme gücünü ve bu noktanın öteki tarafında kalan hat parçasına bu gücün akışını tanımlar (bkz. şekil.2.17).

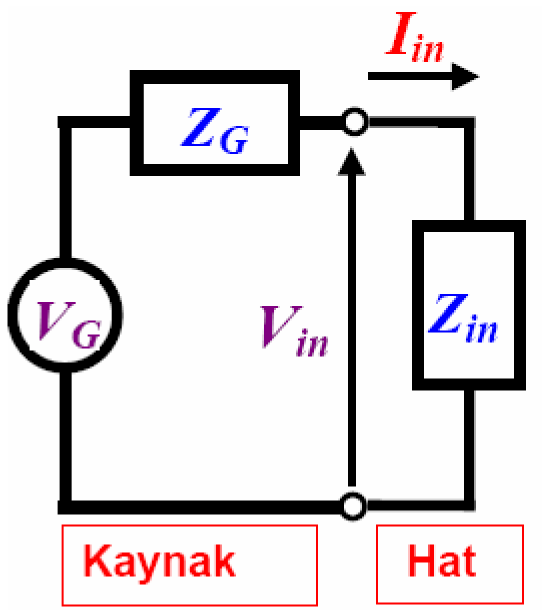
Bu gücün d noktasında harcanan güç olduğunu düşünmek genel bir hatadır!!!.



Şekil.2.17 Hat boyunca güç akışı

Kaynak, giriş empedansı, giriş gerilimi ve giriş akımı iletim hattının girişine uygulanan gücü belirler (bkz. şekil.2.18 ve aşağıdaki denklemler).

$$V_{in} = V_G \frac{Z_{in}}{Z_G + Z_{in}} \qquad I_{in} = V_G \frac{1}{Z_G + Z_{in}} \qquad \langle P_{in} \rangle = \frac{1}{2} \mathrm{Re}\left[V_{in} I_{in}^{*} \right]$$



Şekil.2.18 Hattın giriş gücü

İletim hattının yüküne ulaşan ortalama güç ise (yük konumunda d=0 olduğundan),

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

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

eşitliklerinde d=0 yazılarak,

$$\langle P(d=0,t)\rangle = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V(0) I^{*}(0)\right]$$

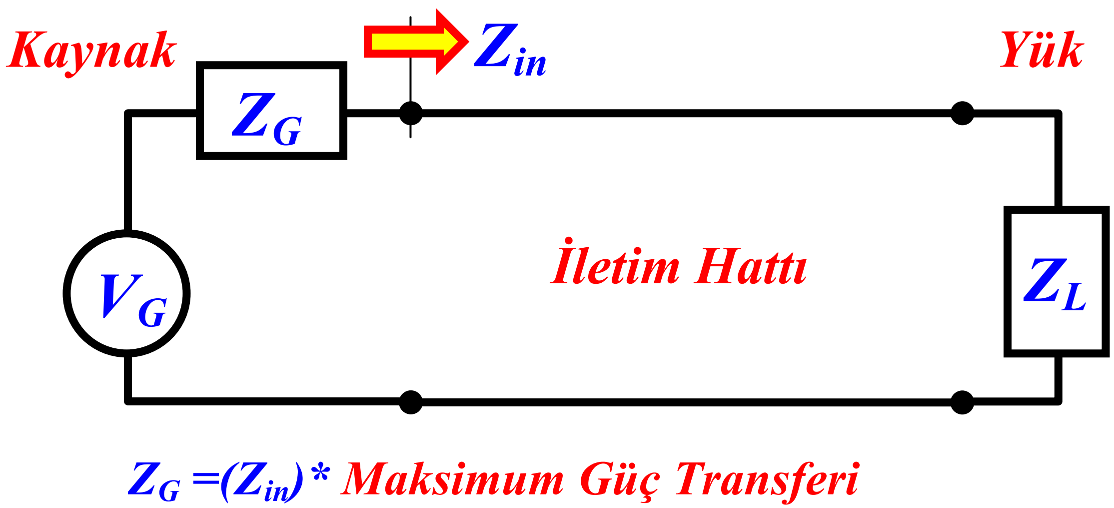
$$= \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V^{+}(1+\Gamma_L)\frac{1}{Z_0^{*}}\left(V^{+}(1-\Gamma_L)\right)^{*}\right]$$

şeklinde verilir. Bu, **yükün harcadığı gücü temsil eder**. **Hattın absorbe ettiği (soğurduğu veya harcadığı) ortalama güç**, basitçe, giriş gücü ile yükün harcadığı güç arasındaki fark olarak,

$$\langle P_{hat}\rangle = \langle P_{in}\rangle - \langle P(d=0,t)\rangle$$

şeklinde verilir. Unutulmamalıdır ki; üretilen toplam gücün bir kısmı kaynağın iç empedansında harcanır.

İletim hattının giriş empedansı ile kaynak empedansı birbirinin kompleks eşleniği olursa, hattın girişine verilen güç maksimum olur (bkz. şekil.2.19).



Şekil.2.19 Maksimum güç transferi

Kayıpsız iletim hattında, **hattın harcadığı güç yoktur.** Bu nedenle, ortalama giriş gücü yükün absorbe ettiği ortalama güç ile aynıdır. Kayıpsız hattın karakteristik empedansı **reeldir** ve güç akışını,

$$\langle P(d,t)\rangle = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V(d)I^*(d)\right]$$
$$= \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V^+ e^{j\beta d}(1+\Gamma_L e^{-j2\beta d})\cdot\frac{1}{Z_0}(V^+)^* e^{-j\beta d}\left(1-\Gamma_L e^{-j2\beta d}\right)^*\right]$$
$$= \frac{1}{2Z_0}\left|V^+\right|^2 - \frac{1}{2Z_0}\left|V^+\right|^2\left|\Gamma_L\right|^2$$

şeklinde yazabiliriz. Burada ilk terim gelen dalga, ikinci terim yansıyan dalga gücünü temsil eder.

Az kayıplı hat durumunda, yine karakteristik empedans **reel** olduğundan, hat boyunca ortalama güç akışı,

$$\langle P(d,t)\rangle = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V(d)I^*(d)\right]$$
$$= \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V^+ e^{\alpha d} e^{j\beta d}(1+\Gamma_L e^{-2\gamma d})\cdot\frac{1}{Z_0}(V^+)^* e^{\alpha d} e^{-j\beta d}\left(1-\Gamma_L e^{-2\gamma d}\right)^*\right]$$
$$= \frac{1}{2Z_0}\left|V^+\right|^2 e^{2\alpha d} - \frac{1}{2Z_0}\left|V^+\right|^2 e^{-2\alpha d}\left|\Gamma_L\right|^2$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada ilk terim gelen dalga, ikinci terim yansıyan dalga gücünü temsil eder.

Dikkat edilmelidir ki; bir kayıplı iletim hattında, gelen voltaj dalgasının genliği için referans noktası yükün bulunduğu konumdadır ve genlik girişe doğru ilerledikçe üstel olarak artar. Gelen dalganın genliği aşağıdaki şekilde davranır.

$$\underbrace{V^{+} e^{\alpha L}}_{\text{Giris}} \Leftrightarrow \underbrace{V^{+} e^{\alpha d}}_{\text{Hat}} \Leftrightarrow \underbrace{V^{+}}_{\text{Yük}}$$

Yansıyan voltaj dalgası yükte maksimum genliğe sahip ve kaynağa doğru ilerledikçe üstel olarak azalır. Yansıyan dalganın davranışı aşağıdaki şekilde olur.

$$\underbrace{V^{+}\Gamma_L e^{-\alpha L}}_{\text{Giriş}} \Leftrightarrow \underbrace{V^{+}\Gamma_L e^{-\alpha d}}_{\text{İletim Hattı}} \Leftrightarrow \underbrace{V^{+}\Gamma_L}_{\text{Yük}}$$

Genel kayıplı hatlar için, **karakteristik empedans komplekstir** ve ortalama güç,

$$\begin{aligned}\langle P(d,t)\rangle &= \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V(d)I^*(d)\right] \\ &= \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[V^+e^{\alpha d}e^{j\beta d}\left(1+\Gamma(d)\right)\cdot Y_0^*(V^+)^*e^{\alpha d}e^{-j\beta d}\left(1-\Gamma(d)\right)^*\right] \\ &= \frac{G_0}{2}\left|V^+\right|^2 e^{2\alpha d} - \frac{G_0}{2}\left|V^+\right|^2 e^{-2\alpha d}\left|\Gamma_L\right|^2 \\ &\quad + B_0\left|V^+\right|^2 e^{2\alpha d}\,\mathrm{Im}\left(\Gamma(d)\right)\end{aligned}$$

olur. Burada, yazma kolaylığı açısından, kompleks karakteristik empedans yerine,

$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} = G_0 + jB_0$$

şeklinde tanımlanan karakteristik admitans kullanılmıştır. Az kayıplı iletim hatları için karakteristik empedansın yaklaşık olarak reel olduğuna ve

$$B_0 \approx 0$$

olması gerektiğine dikkat ediniz. Az kayıplı hat için elde edilen önceki sonuç, genel kayıplı hattın ortalama gücünden kolayca bulunabilir.

İletim hattı problemini tam olarak belirlemek için, halen giriş sınır şartından V^{+}'nın değerini belirlemek zorundayız.

- **Yük sınır şartı, hat boyunca voltaj ve akımın girişim paterninin şeklini etkiler.**
- **Kaynakla ilgili giriş sınır şartı ise, girişim paterninin ölçeklenmesini etkiler.**

Şimdi (hat girişinde $d=L$ olduğundan),

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1+\Gamma(L)}{1-\Gamma(L)}$$

veya

Kayıpsız hat için $$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta L}{Z_0 + jZ_L \tan \beta L}$$

Kayıplı hat için $$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh \gamma L}{Z_0 + Z_L \tanh \gamma L}$$

olmak üzere,

$$V_{in} = V(L) = V_G \frac{Z_{in}}{Z_G + Z_{in}}$$

yazabiliriz. Böylece,

Kayıpsız hat için

$$V(L) = V^{+} e^{j\beta L}\left[1+\Gamma(L)\right] = V^{+} e^{j\beta L}\left[1+\Gamma_L e^{-j2\beta L}\right]$$
$$\Rightarrow V^{+} = V_G \frac{Z_{in}}{Z_G + Z_{in}} \frac{1}{e^{j\beta L}\left[1+\Gamma_L e^{-j2\beta L}\right]}$$

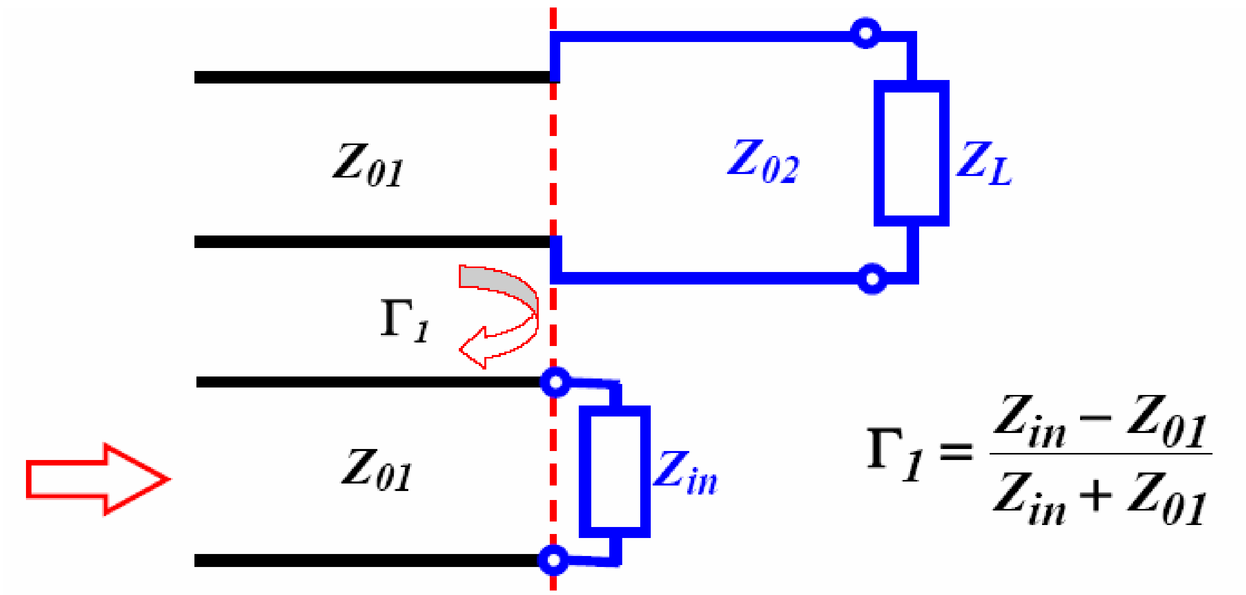
Kayıplı hat için

$$V(L) = V^{+} e^{\gamma L}\left[1+\Gamma(L)\right] = V^{+} e^{\gamma L}\left[1+\Gamma_L e^{-2\gamma L}\right]$$
$$\Rightarrow V^{+} = V_G \frac{Z_{in}}{Z_G + Z_{in}} \frac{1}{e^{\gamma L}\left[1+\Gamma_L e^{-2\gamma L}\right]}$$

yazılabilir.

Bir yüksek frekans devresinin davranışını iyi kontrol edebilmek için, onların uzunlukları boyunca mümkün olduğu kadar uniform olmasını sağlamak çok önemlidir. Çünkü, uniform hatların empedans davranışı değişmez ve kolayca karakterize edilebilir.

İletim hatlarının özelliklerindeki (istenen veya istenmeyen) bir değişim, karakteristik empedansta bir değişime yol açar ve bu da yansımaya neden olur. Böyle bir örnek şekil.2.20'de gösterilmiştir.



Şekil.2.20 Ardışık iki iletim hattından kaynaklanan süreksizlik