

Mikrodalga Tekniği – EEM

334

# İçerik

- **İletim Hatlarının** (İH) incelenmesi
  - Gerilim ve akım dalgaları
  - Güç akışı
  - İH larda **kayıplar ve buruşum**
- Duran dalga oranı
- **Empedans uyumlama**
- Smith Abağı
- **Dalga kılavuzları**
  - Kılavuz yapıları
  - TE, TM, iletim kipleri,
  - Bağlantı elemanları, örn. sihirli-T
- Mikroşerit hatlar

# Ders Kitabı

‘Mühendislikte Elektromanyetiğin Temelleri’ D.K. Cheng, 2. Bası Palme Yayıncılık.

Çevirenler: Adnan Köksal, Birsen Saka

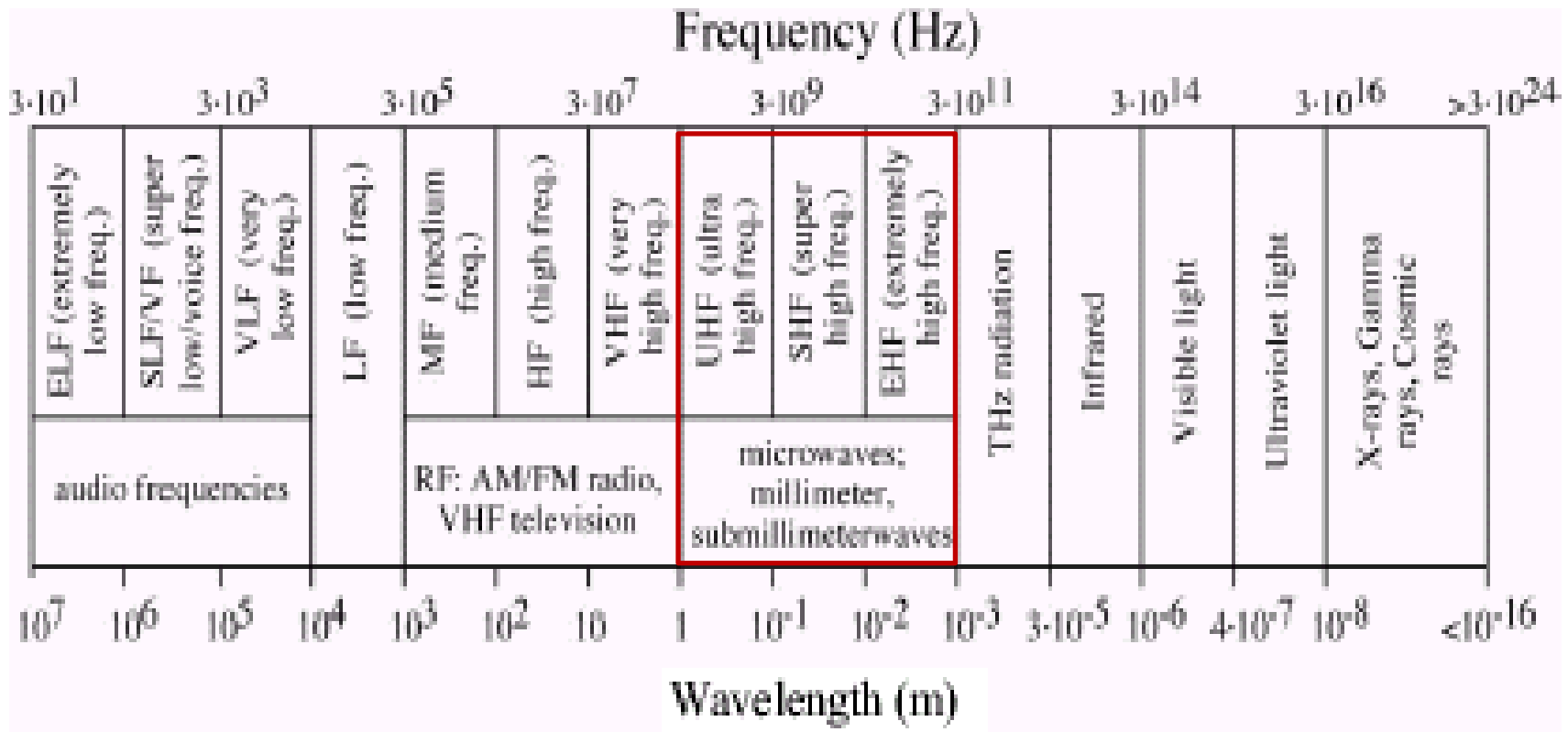
(‘Field and Wave Electromagnetics’, D.K. Cheng)

## Yararlanılan Diğer Kaynaklar

Pozar D., ‘Microwave Engineering’ Bölüm 4 – 6

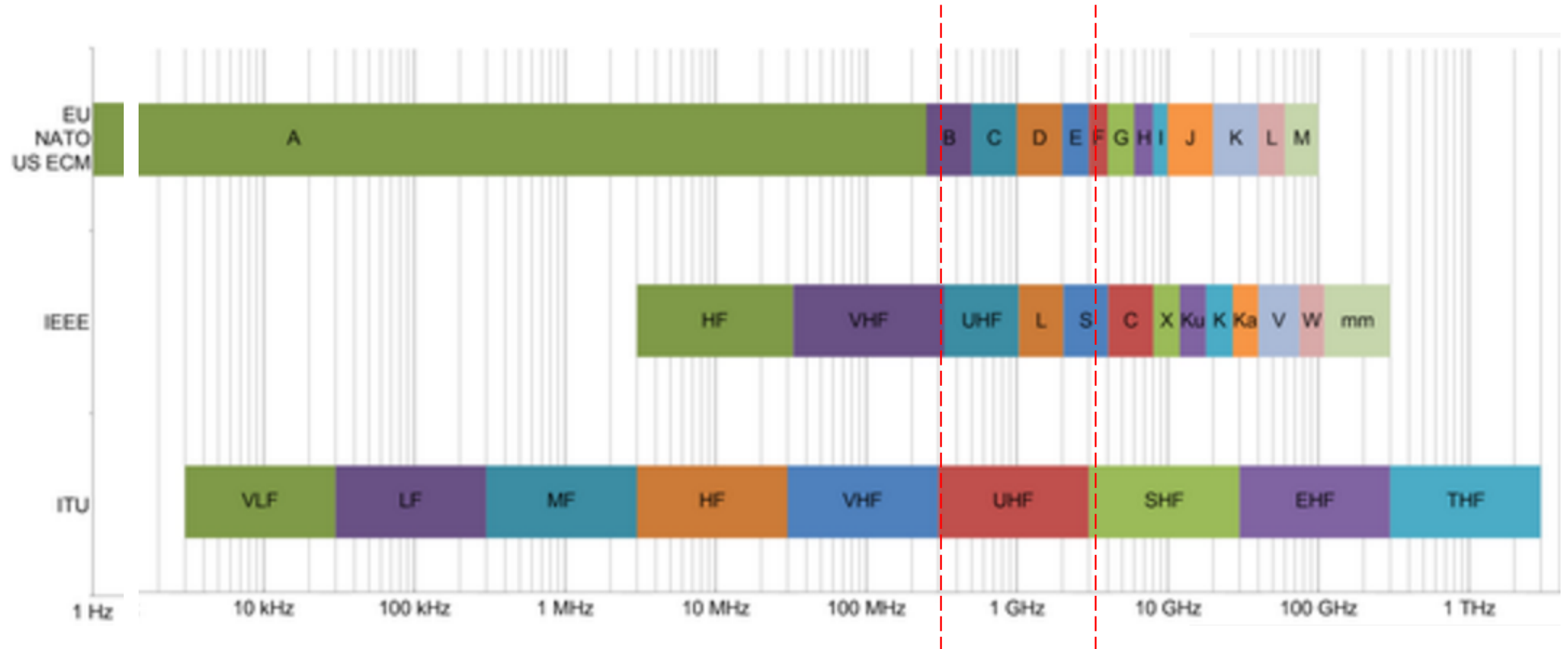
Rao N. N. ‘Elements of Engineering Electromagnetics’ Bölüm 7 – 9

# Elektromanyetik Spectrum / Tayf



- Mikrodalga frekansları :  $\sim 300 \text{ MHz} - 300 \text{ GHz}$  arasındaki frekanslar

# Frekans Band İsimleri



Treinkvist - Own work, CC BY-SA 4.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42989905>

# Yaygın Uygulamalar ve Frekansları

|   |  |
|---|--|
| Denizaltılar ile iletişim - ELF/SLF/ULF (extrm/super/ ultra Low Freq) | 3–3000 Hz 100,000 –100 km  |
| Genlik Modülas. Radyo   | 535 – 1605 kHz   |
| Kısa Dalga radyo  | 3 – 30 MHz   |
| FM Radyo  | 88 – 108 MHz   |
| VHF TV (2 - 4) ; (5 - 6)  | 54 – 72 MHz ; 76 – 88 MHz  |
| VHF 30-300 MHz  | Amatör radyo, uçak-yer LOS, denizcilik kablosuz iletişim                             |
| UHF TV (7 - 13); (14 - 83)  | 174-216 MHz; 470 – 890 MHz   |
| UHF 300 – 3000 MHz  | Cep tel, WiFi, mikrodalga fırın, Bluetooth,ZigBee, GPS, uzaktn kumanda, amatör radyo |
| SHF 3-30 GHz ; 100-10mm   | Modern radar,uydu iletişim, ...  |
| EHF 30-300 GHz; 10-1 mm   | Radio astronomy, uzaktan algılama, kablosuz yerel ağ                                 |

# Neden Mikrodalga Frekansları ?

- Düşük frekanslar başka uygulamalar için kullanılmakta
  - Lisans bulmak zor
- İyonosfer düşük frekansları kırar, saçar, geri yansıtır →  
uydu iletişimi için yüksek frekanslara çıkılmalı

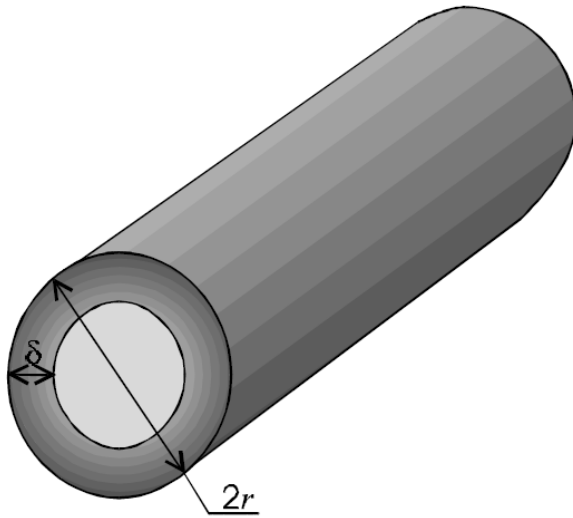
# Mikrodalga Frekansları Kullanımının İyi Yanları

- **Küçük boyutlu, yüksek kazançlı anten** tasarımı mümkün  
Anten kazancı  $\propto$  elektriksel uzunluk  
Verilen bir fiziksel uzunluk için:  
frekans  $\uparrow \rightarrow$  elektriksel uzunluk  $\uparrow \rightarrow$  anten boyu  $\downarrow$
- Yüksek frekans  $\rightarrow$  **geniş band ayrılabilir**
  - %1 lik band genişliği mikrodalga frekanslarında daha geniş band
- Yüksek kalite faktörlü rezonatörler elde edilebilir
- Mikrodalga frekanslarında çeşitli **moleküler, atomik rezonanslar** olur  
 $\rightarrow$  bir çok uygulamada kullanılır
  - Uzaktan algılama; Tıbbi teşhis ve tedavi ,
  - Isıtma (mikrodalga fırın)
- Radar uygulamaları ( $f \uparrow \rightarrow f_{\text{dop}} \uparrow$ )
- Mikrodalga frekanslarının büyük kısmı için
  - doğru görüş yayılımı geçerli
  - İyonosferden geri yansımaz  $\rightarrow$  yer-uydu arası iletişim
- RF frekansları ile karşılaştırıldığında mikrodalga frekanslarında daha **az 'arka plan' gürültüsü** vardır

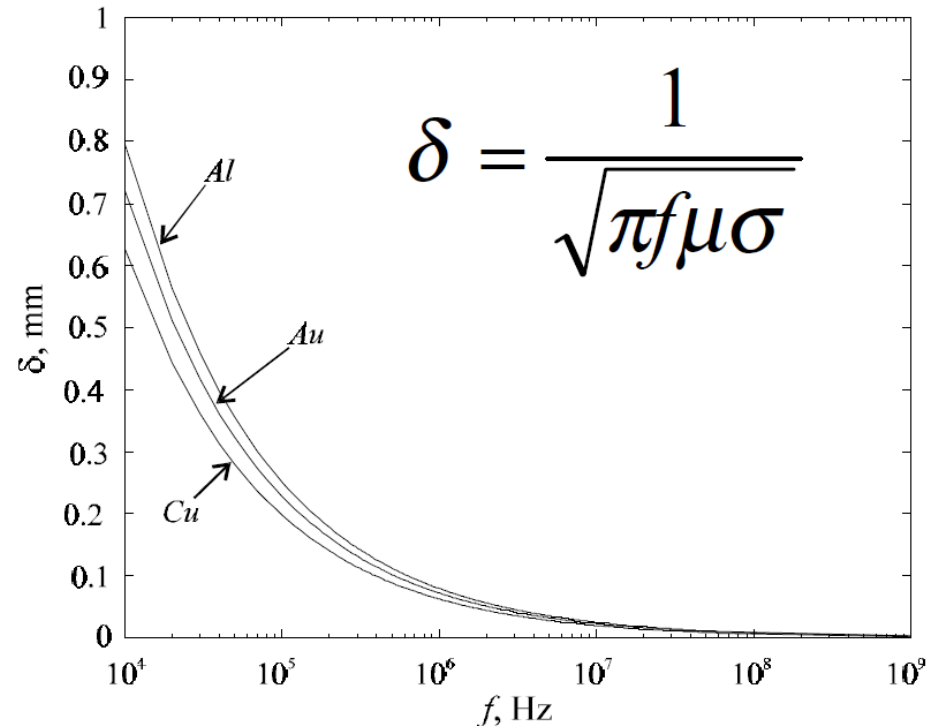


# Neden Mikrodalga Tekniği?

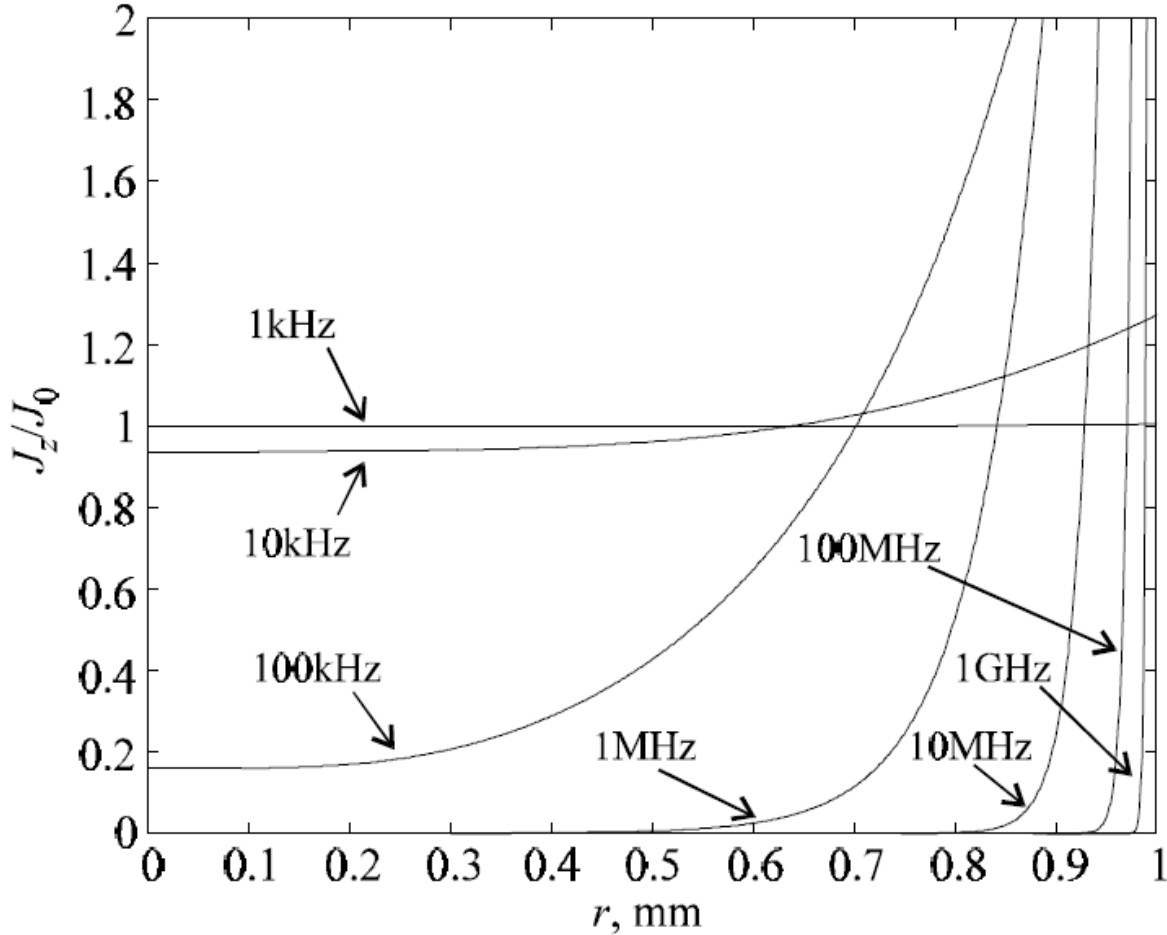
Örnek: direnç



$$R_{DC} = \frac{l}{\pi a^2 \sigma}$$
$$R / R_{DC} = \frac{a}{2\delta}$$
$$\omega L / R_{DC} = \frac{a}{2\delta}$$



# Deri Etkisi



- Düşük frek -> uniform akım dağılımı
- Orta ve yüksek frek -> akım dış çepere doğru itilir
- RF frek -> akım tamamen yüzeyde sınırlı  
**Deri etkisi**

# İletim Hattı

- Propagating electric field

$$E_X = E_{0X} \cos(\omega t - kz)$$



Time factor

Space factor

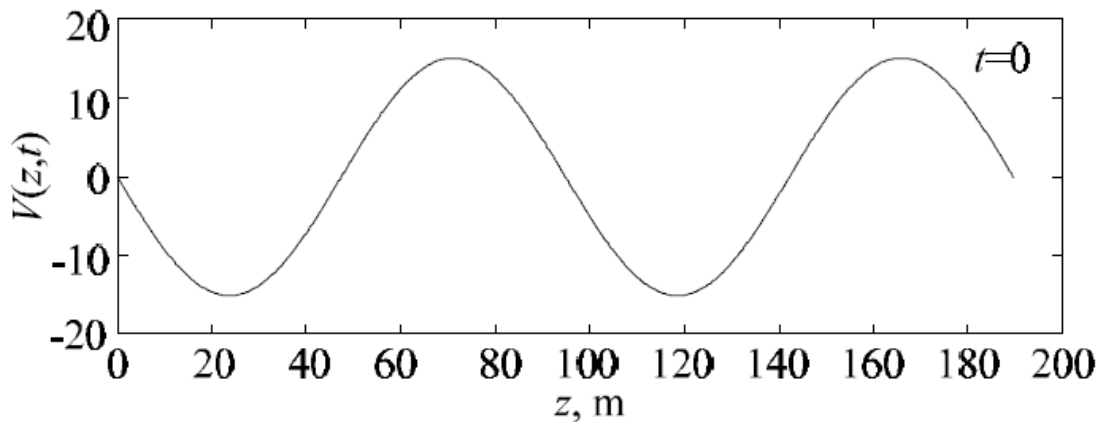
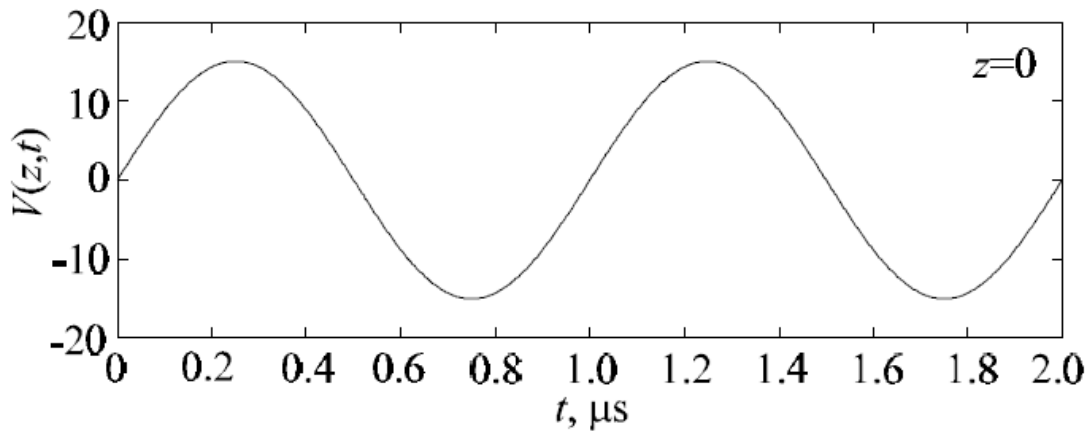
- Phase velocity

$$v_p = \lambda f = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

- Traveling voltage wave

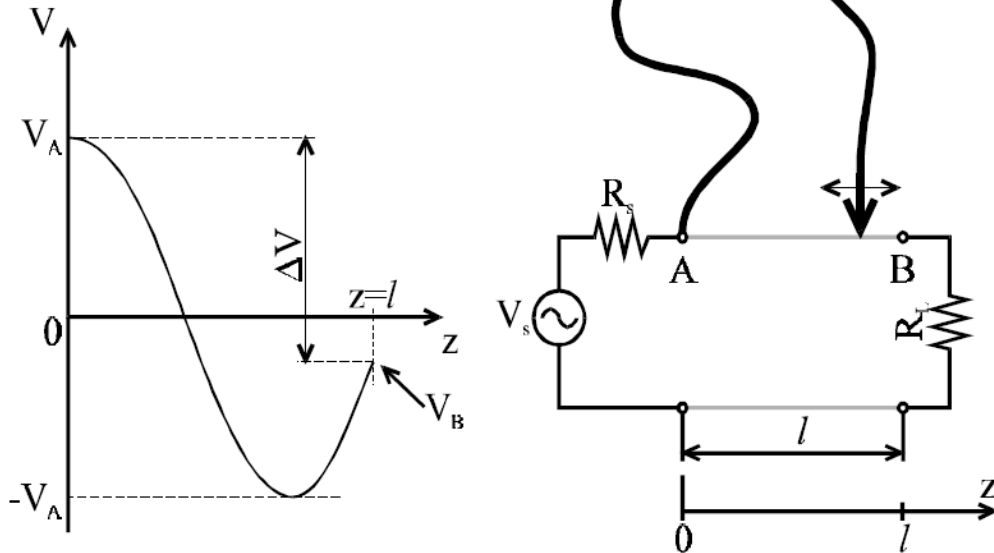
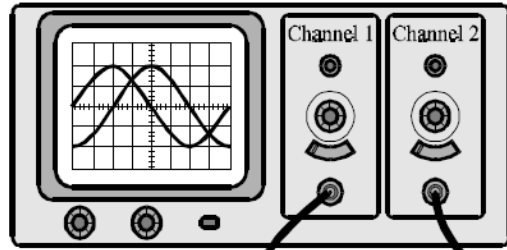
$$V(z, t) = E_{0X} \frac{\sin(\omega t - kz)}{k}$$

# Yüksek Frekans -> Gerilim dağılımı Konuma bağlı



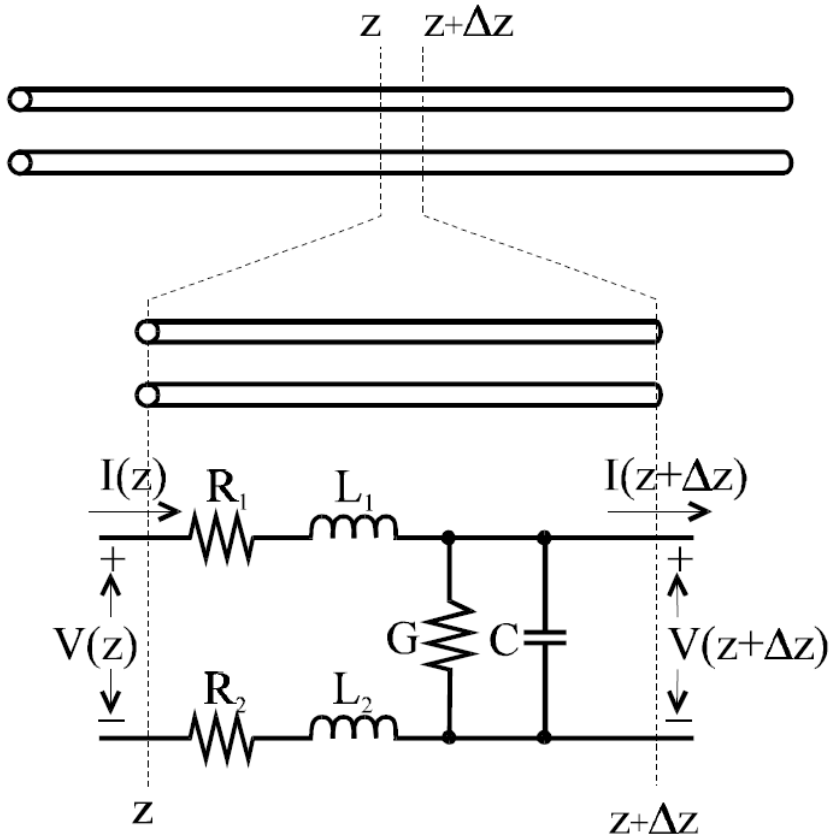
- Gerilim zaman ve uzayda tanımlanır
- Oysaki düşük frekanslarda uzay / konum ihmal edilir
- RF de konuma bağlı büyük değişimler

# Konuma Bağı Gerilim Değişiminin Ölçümü



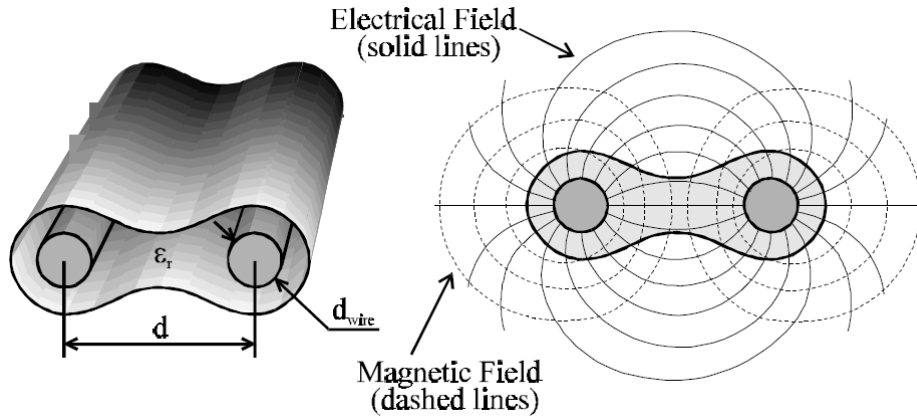
- Düşük frek -> Kirchoff yasası uygulanır
- Yüksek frekans -> ??

# Kirchoff Yasası Mikroskobik Seviyede Uygulanır



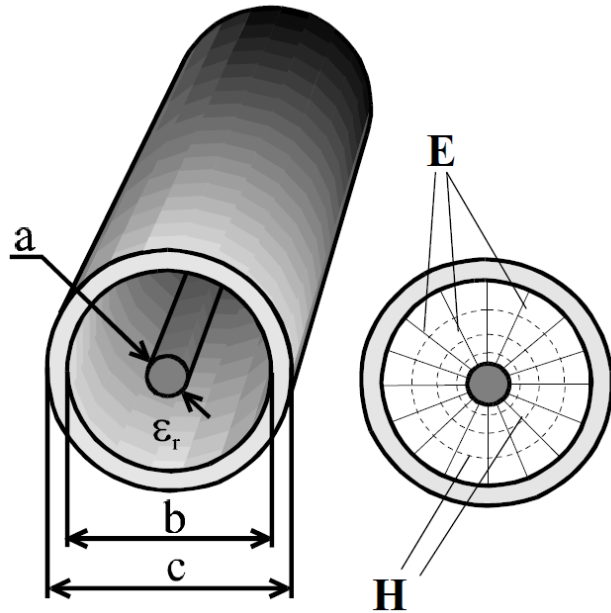
- Çok küçük aralıklarda temel devre kuramı kullanılabilir
- Hat ve dieletrik kayıplarını dikkate alan bir model
- ideal hat (**kayıpsız**) yalnızca L ve C ler içerir

# İletim Hattı Örnek: İki tel hat



- İletken teller arasında dalgalı elektrik alan
- İletkenler çevresinde dalgalı magnetik alan
- Alanlar yalıtkan ortam içinde barınma eğiliminde

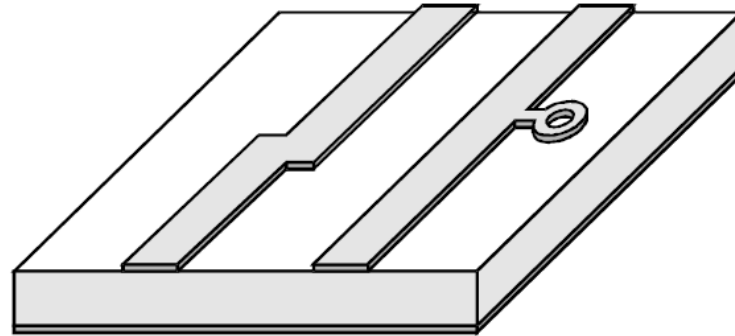
# İletim Hattı Örnek: Ortak-eksenli hat



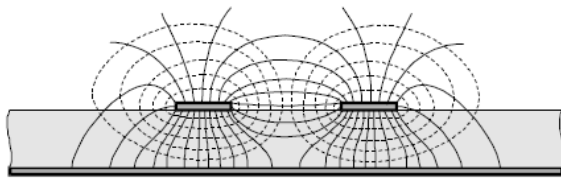
- elektrik alan tamamen iç ve dış iletken arasında
- Magnetik alana çok iyi ekranlama
- Belli bir **kesim/kesme frekansına** kadar TEM dalgaları iletilir



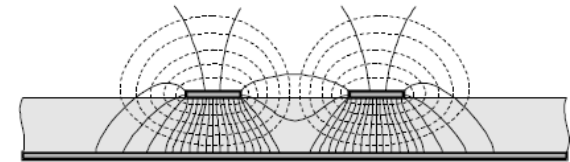
# İletim Hattı Örnek: mikroşerit hat



Cross-sectional view



Low dielectric medium



High dielectric medium

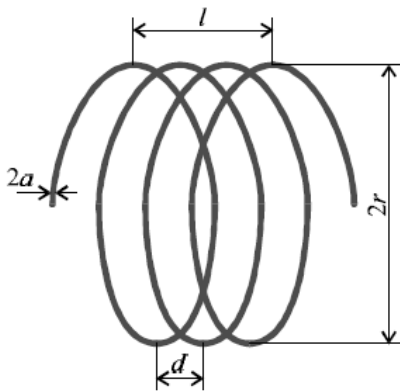
# Neden Mikrodalga Tekniği?

Örnek: endüktör

1

Düşük frekans

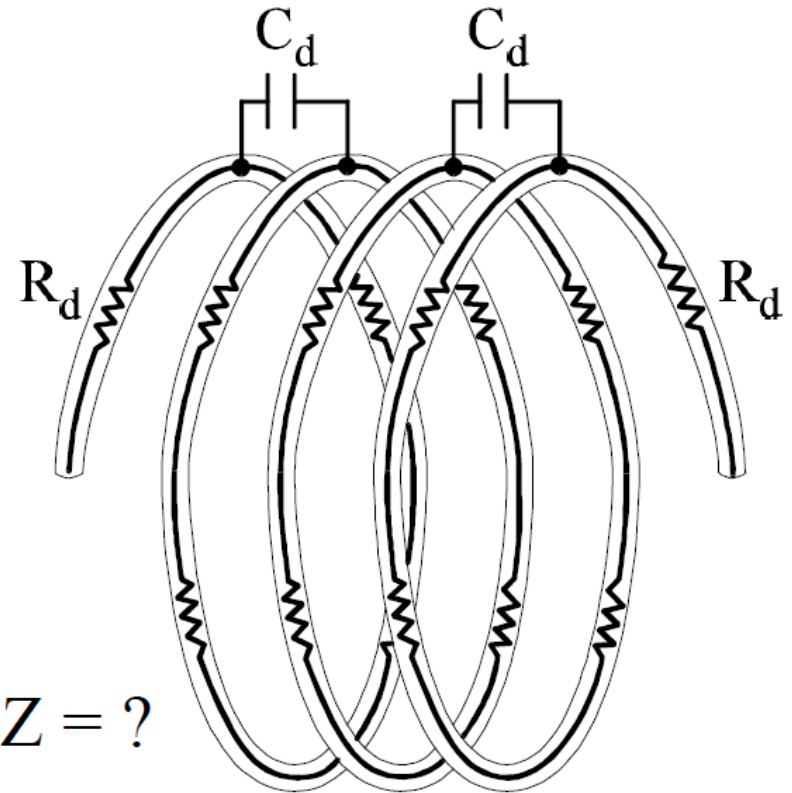
(lumped)



$$Z = R + j\omega L$$

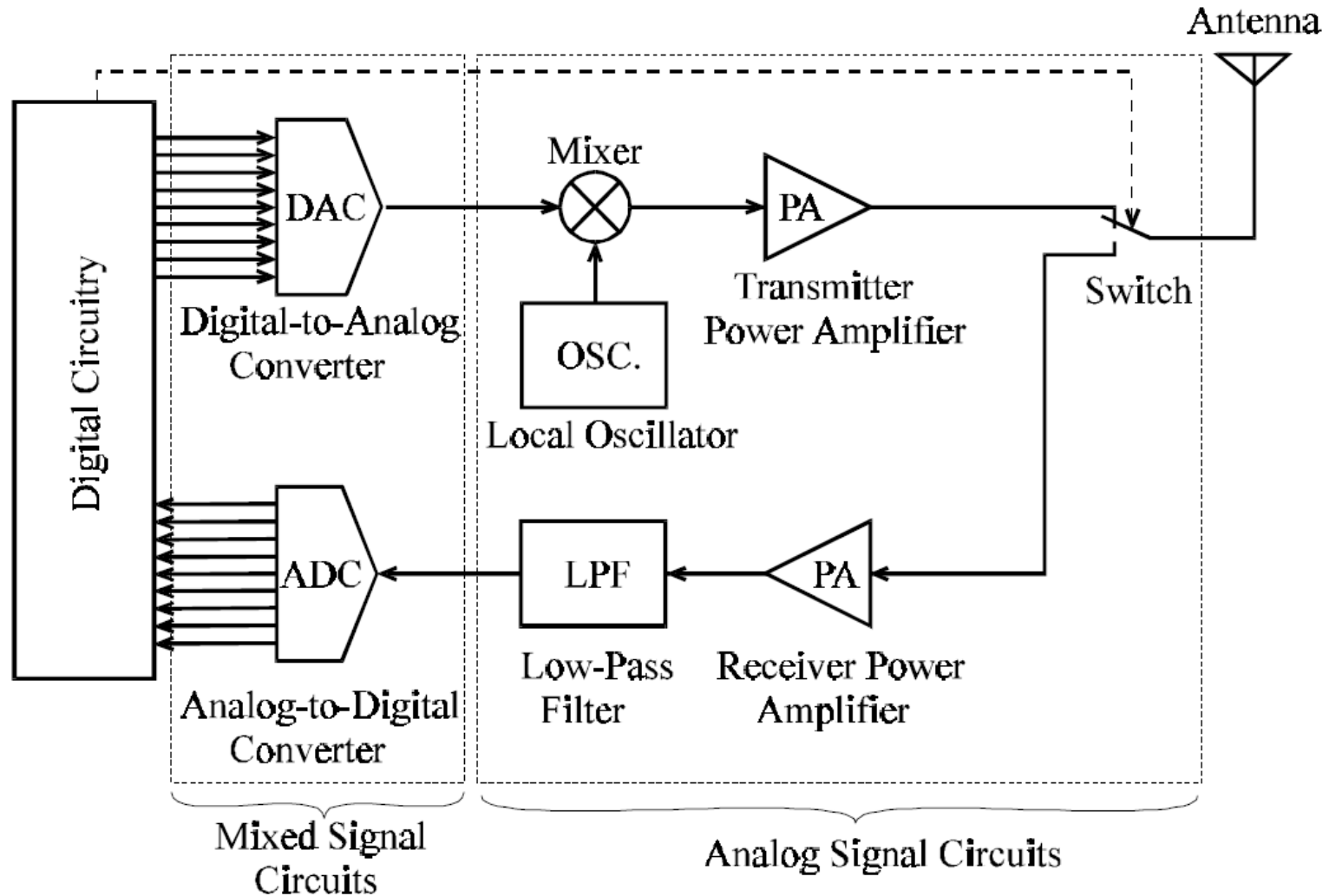


Yüksek frekans



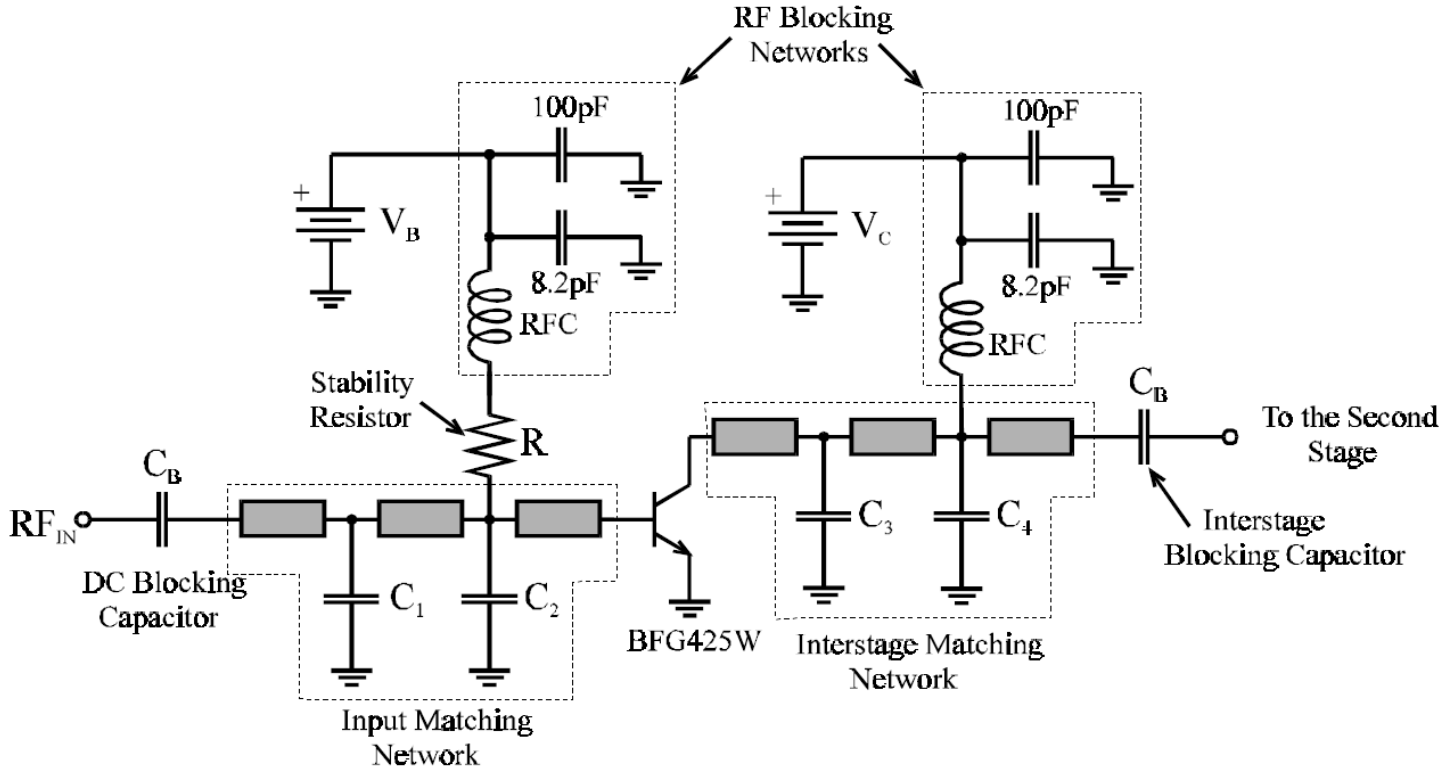
$$Z = ?$$

# Cep Telefonu Alıcı-Verici



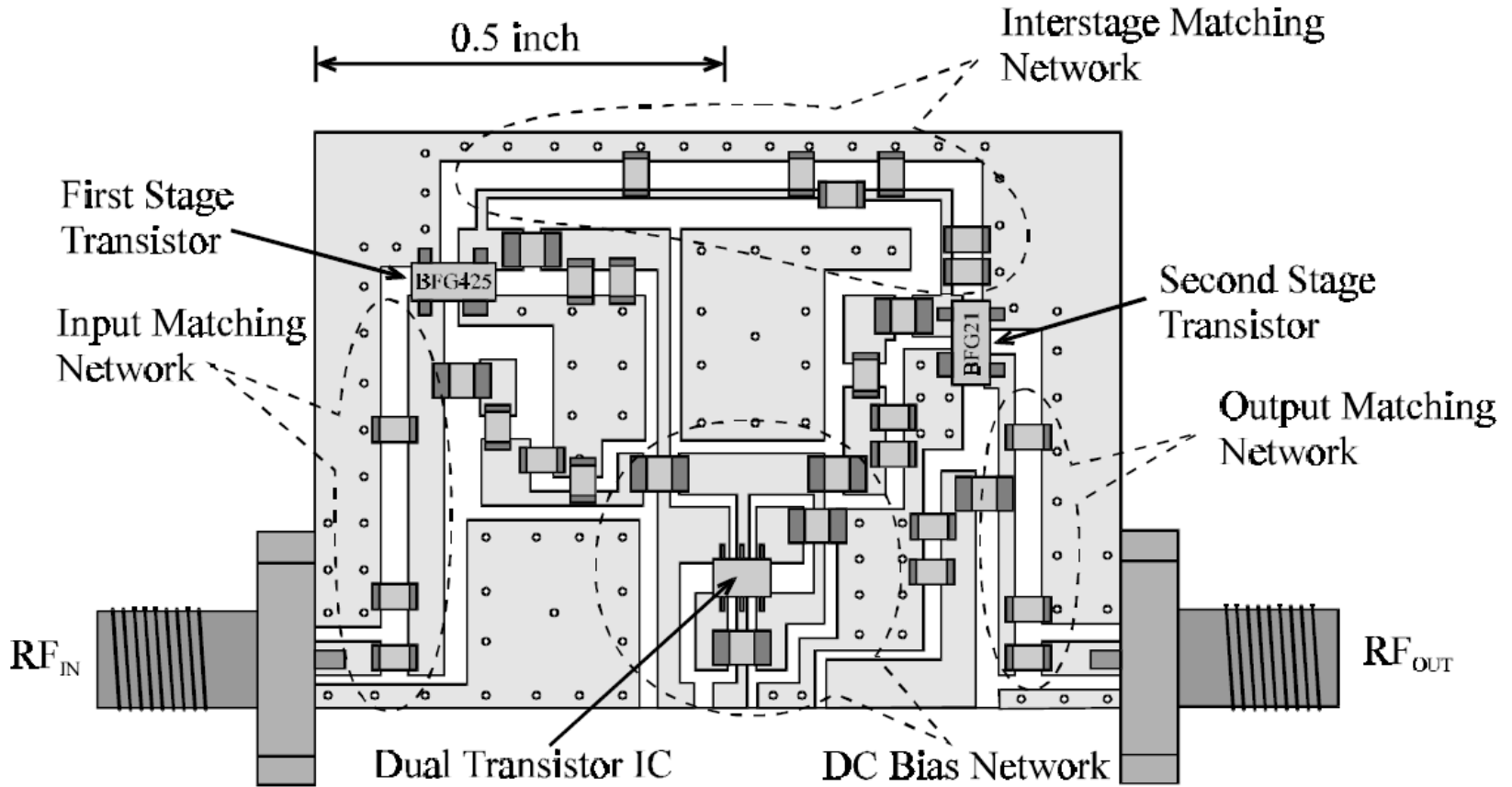
Cep telefonu alıcı/verici devresi – 950 MHz, 1.9 GHz

# Mikrodalga Devreleri



- Uyumlama devreleri
- BJT/FET gibi aktif devre elemanları

# Mikrodalga Devreleri



- Baskı devre
- Mikroşerit hatlar
- Yüzey monte devre elemanları