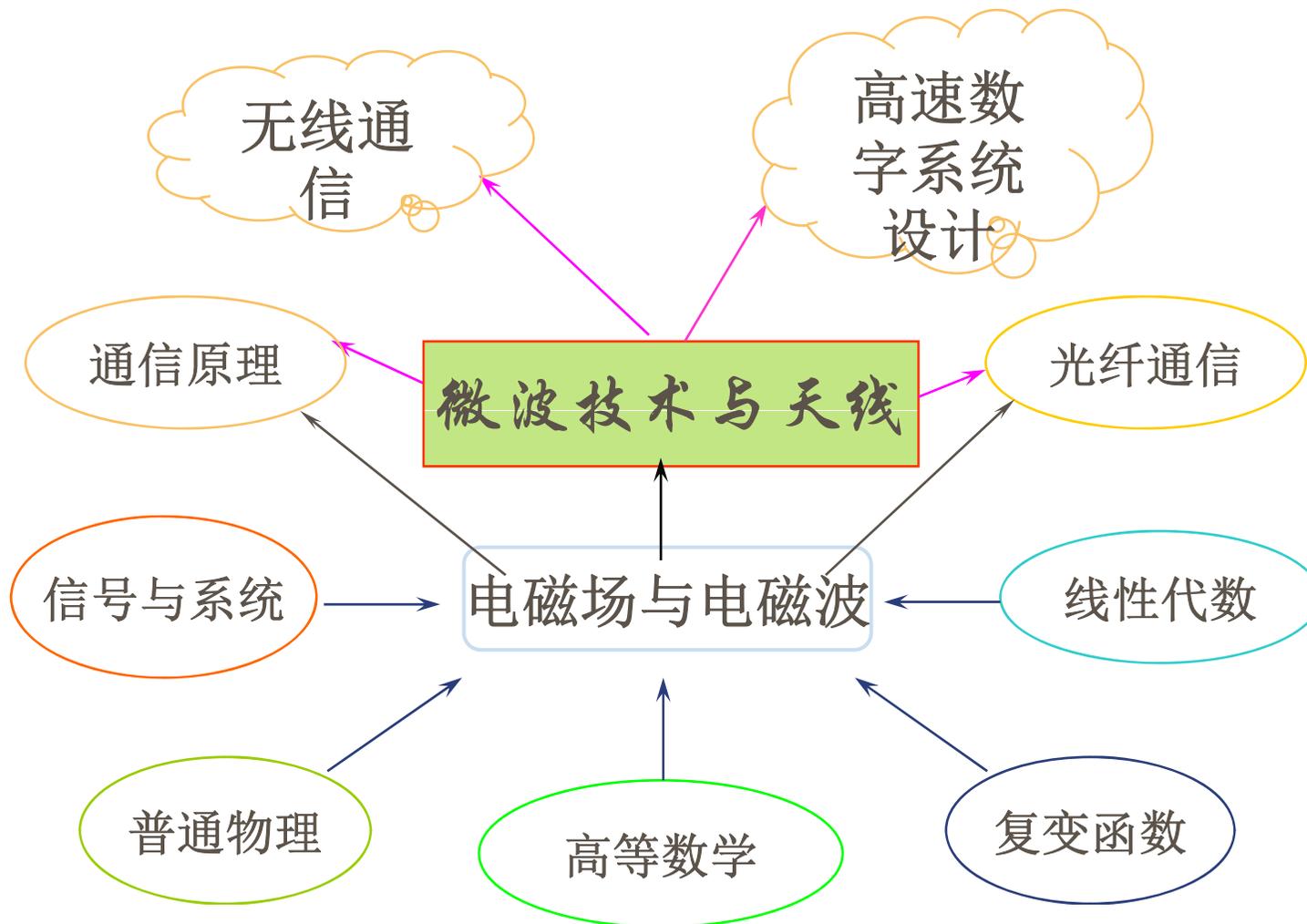


# 绪论基本内容

- 本课程与相关课程的关系
- 通信系统的分类
- 微波及其特点
- 本课程的体系结构

# 1.本课程与相关课程的关系



## 2. 通信的分类：通信系统有两种

### ■ 有线-----

- 通过有形的传输媒介如双绞线、同轴电缆、光纤等介质构成的线路网络形式进行传输信号的方式。

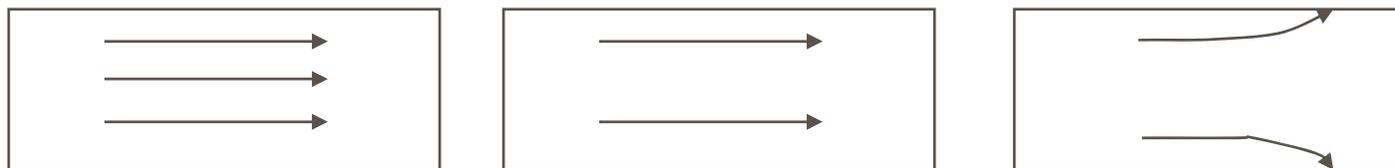
### ■ 无线-----

- 依靠电磁辐射，在发射点和接收点安装天线的通信方式，靠电磁波进行传输信号的方式。

它们分别有什么特点？

- 在低频（音频）通信中，通常是用双绞线连接各个用户-----
- 当频率为10kHz左右时，传输线引入的损耗大约为2-3dB/km，双绞线不宜于高频使用(为什么?)。

### 趋肤效应



- 当频率升高，比如视频信号**基带传输（0-6MHz）**，通常用同轴电缆来传输的，引入的损耗大约为**4-5dB/km**。
- 传输线的损耗特性为指数规律 $e^{-\alpha z}$

如 **5dB/km-----20 km-----100dB**

线路加倍（**40 km**）-----再增加**100dB（ $10^{10}$ ）**

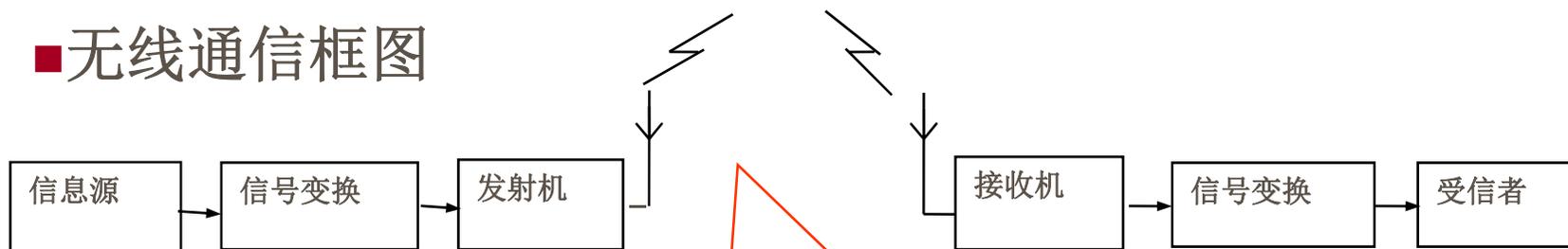
**100dB**的损耗相当于所接收的信号功率减少到发送端的 **$10^{-10}$**

## 有线通信的特点：

优点：抗干扰性好，节省费用、使用方便

缺点：损耗大，不使用转发放大器的通信距离是由指数规律决定的！

## ■ 无线通信框图



电磁波由天线辐射到空间的一个区域后，以某种方式传播到接收天线处。它从发射点到接收点所经过的传输媒质，对信号会产生损耗

若不考虑天线的因素，自由空间的传输损耗为：

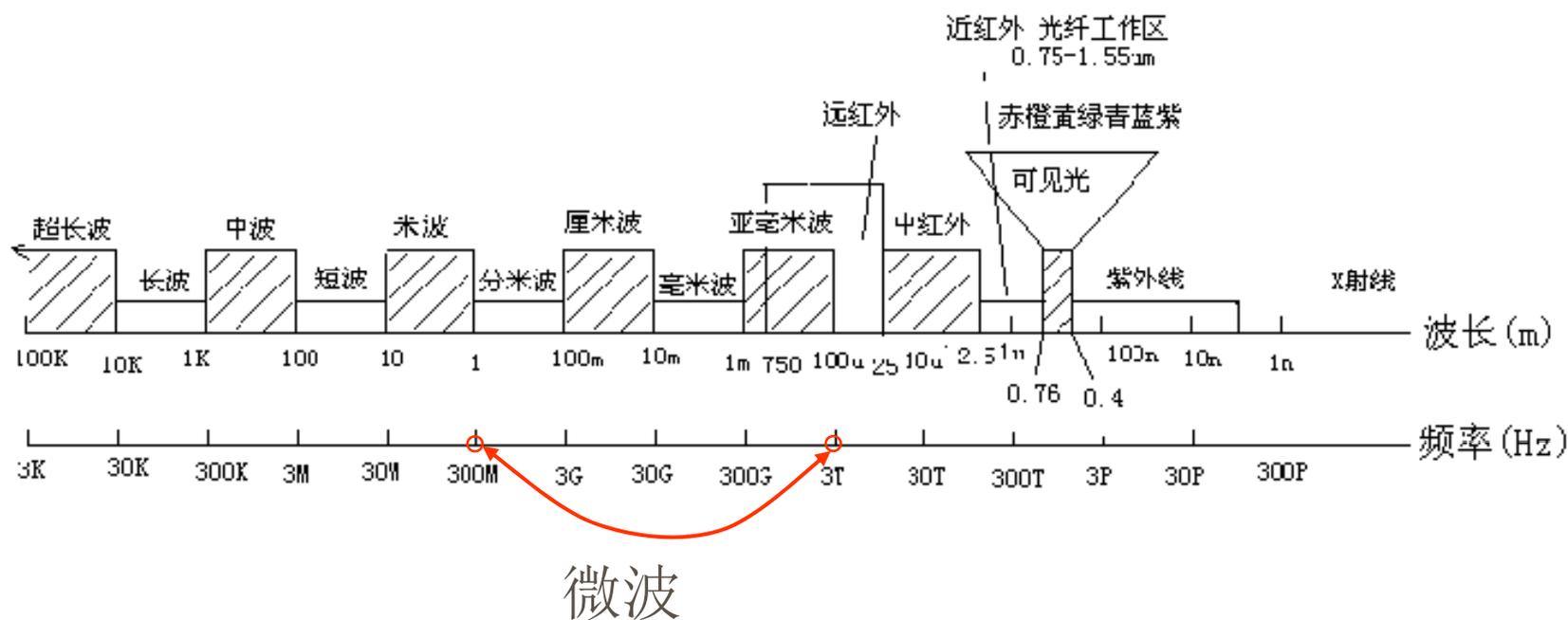
$$L_{bf} = 10 \lg \frac{P_i}{P_R} = 32.45 + 20 \lg f (\text{MHz}) + 20 \lg r (\text{km})$$

- 距离每增加一倍，接收功率减少到原来的四分之一，或**6dB**，如果在**20km**长的路径上总衰减为**100dB**，当路径加长一倍，衰减只增加了**6dB**。

## 无线通信特点

- 衰减随距离按对数规律----距离较大的两地通信
- 通电缆较麻烦的两地-----海岛之间
- 空间通信
- 电缆较多

## 3. 微波及其特点



## 1) 常用微波波段的划分

波段符号	频率 (GHZ)	波段符号	频率 (GHZ)
UHF	0.3--1.12	Ka	26.5--40.0
L	1.12--1.7	Q	33.0--50.0
LS	1.7--2.6	U	40.0--60.0
S	2.6--3.95	M	50.0--75.0
C	3.95--5.85	E	60.0--90.0
XC	5.85--8.2	F	90.0--140.0
X	8.2--12.4	G	140.0--220.0
Ku	12.4--18.0	R	220.0--325.0
K	18.0--26.5		

### 2) 分析方法

- 对于低于微波频率的无线电波，其波长远大于电系统的实际尺寸，可用集总参数电路理论进行分析，即**电路分析法**；

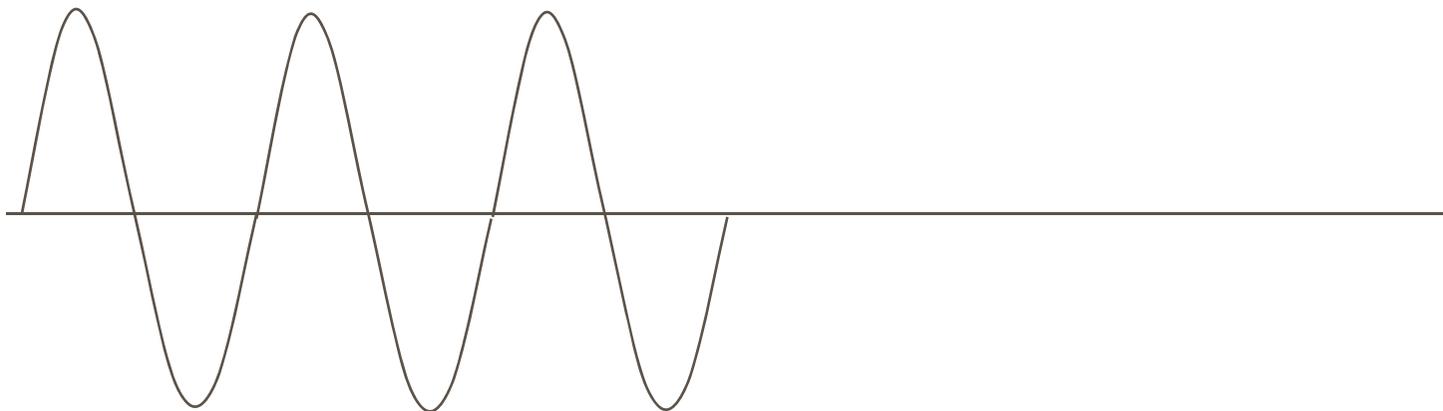
**频率 $f=50\text{Hz}$ ， $\lambda=6000\text{km}$**

- 频率高于微波波段的光波、X射线、射线等，其波长远小于电系统的实际尺寸，甚至与分子、原子的尺寸相比拟，因此可用光学理论进行分析，即为**光学分析法**；

**频率 $f=30\text{THz}$ ， $\lambda=0.01\text{mm}$**

- 而微波则由于其波长与电系统的实际尺寸相当，不能用电路的方法或用光的方法直接去研究，而必须用场的观点去研究：即由麦克斯韦尔方程组出发，结合边界条件，来研究系统内部的结构，这就是**场分析法**。

频率 $f=3\text{GHz}$ ， $\lambda=0.1\text{m}$



### 3) 微波的特性

- 似光性---反射性、直线传播性及集束性
- 穿透性---云、雾、雪等对微波传播影响较小；穿越电离层；穿透生物体
- 宽频带特性---传输的信息越多所需的带宽就越宽
- 热效应特性---微波加热具有内外同热、效率高、加热速度快
- 散射特性---微波遥感、雷达成像等、微波散射通信等
- 抗低频干扰特性---宇宙和大气在传输信道噪声一般在中低频区域，基本不能影响微波通信的正常进行。

### 4) 微波的特点:

- 视距传播特性——微波中继接力
- 分布参量的不确定性——微波的频率很高，电磁振荡周期极短，与微波电路中从一点到另一点的电效应的传播时间相比是可比拟的，因此就必须用**随时间、空间变化的参量即分布参量**来表征。由于分布参量具有明显的不确定性，增加了微波理论与技术的难度，从而增加了微波设备的成本。
- 电磁兼容与电磁环境污染——飞行器、舰船上不同通信设备之间及十分拥挤的公共场所众多的移动用户之间的相互影响是显而易见的，因此必须考虑电磁兼容的问题；越来越多的无线信号充斥空间，必然对人体造成影响，因此电磁环境污染已成为新的污染源。

### 4. 本课程的体系结构

微波、天线与电波传播研究的**对象和目的**有所不同：

--微波研究如何导引电磁波在微波传输系统中有效传输。

--天线是将导行波变换为向空间定向辐射的电磁波，或将在空间传播的电磁波变为微波设备中的导行波；

--电波传播是分析和研究电波在空间的传播方式和特点。

**有机的整体**----它们三者是无线电技术的一个重要组成部分，三者的共同基础是电磁场理论，是电磁场在不同边值条件下的应用。

# 第一章 均匀传输线理论

- 1.1节 均匀传输线方程及其解
- 1.2节 传输线的阻抗与状态参量
- 1.3节 无耗传输线的状态分析
- 1.4节 传输线的传输功率、效率与损耗
- 1.5节 阻抗匹配
- 1.6节 史密斯圆图及其应用
- 1.7节 同轴线的特性阻抗

# 1.1 均匀传输线方程及其解

## ■ 本节要点

- 传输线分类
- 均匀传输线等效及传输线方程
- 传输线方程解及其分析
- 传输线的特性参数

## 1.微波传输线定义及分类

微波传输线是用以传输微波信息和能量的各种形式的传输系统的总称，它的作用是引导电磁波沿一定方向传输，因此又称为导波系统。

- 第一类是双导体传输线，它由二根或二根以上平行导体构成，因其传输的电磁波是横电磁波（TEM波）或准TEM波，故又称为TEM波传输线，主要包括平行双线、同轴线、带状线和微带线等。



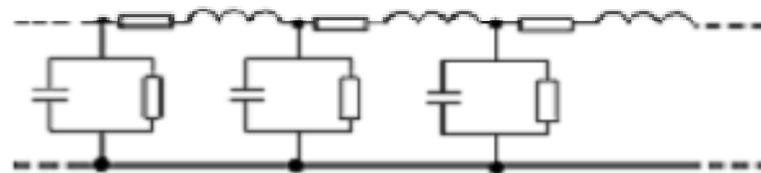
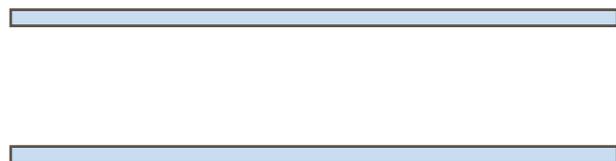
- 第二类是均匀填充介质的金属波导管，因电磁波在管内传播，故称为波导，主要包括矩形波导、圆波导、脊形波导和椭圆波导等。



- 第三类是介质传输线，因电磁波沿传输线表面传播，故称为表面波波导，主要包括介质波导、镜像线和单根表面波传输线等。

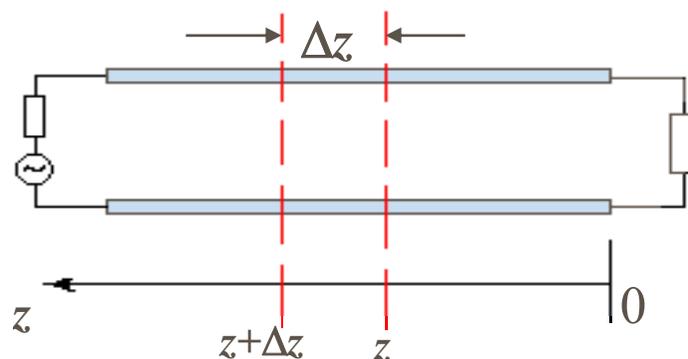


## 2. 均匀传输线方程

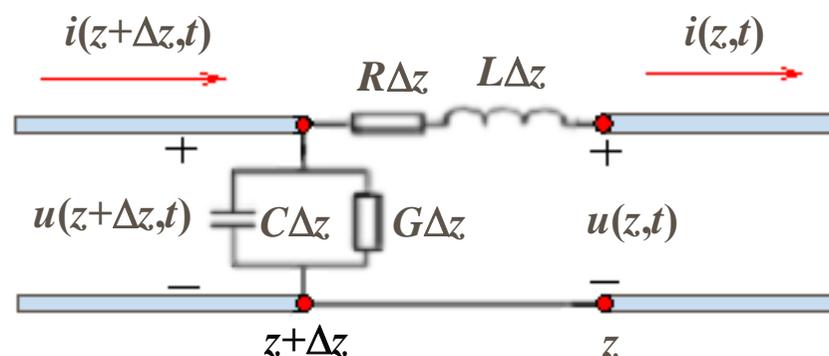


- 当高频电流通过传输线时，在传输线上有：
  - 导线将产生热耗，这表明导线具有分布电阻；
  - 在周围产生磁场，即导线存在分布电感；
  - 由于导线间绝缘不完善而存在漏电流，表明沿线各处有分布电导；
  - 两导线间存在电压，其间有电场，导线间存在分布电容。
- 这四个分布元件分别用单位长分布电阻、漏电导、电感和电容描述。

- 设传输线始端接信号源，终端接负载，坐标如图所示。



其上任意微分小段等效为由电阻 $R\Delta z$ 、电感 $L\Delta z$ 、电容 $C\Delta z$ 和漏电导 $G\Delta z$ 组成的网络。



- 设时刻 $t$ 在离传输线终端 $z$ 处的电压和电流分别为 $u(z,t)$ 和 $i(z,t)$ ，而在位置 $z+\Delta z$ 处的电压和电流分别为 $u(z+\Delta z,t)$ 和 $i(z+\Delta z,t)$

- 对很小的 $\Delta z$ ，应用基尔霍夫定律，有：

$$u(z + \Delta z, t) - u(z, t) = R\Delta z i(z, t) + L\Delta z \frac{\partial i(z, t)}{\partial t}$$

$$i(z + \Delta z, t) - i(z, t) = G\Delta z u(z + \Delta z, t) + C\Delta z \frac{\partial u(z + \Delta z, t)}{\partial t}$$

- 将上式整理，并忽略高阶小量，可得：

$$\frac{\partial u(z, t)}{\partial z} = Ri(z, t) + L \frac{\partial i(z, t)}{\partial t}$$

$$\frac{\partial i(z, t)}{\partial z} = Gu(z, t) + C \frac{\partial u(z, t)}{\partial t}$$

- 对于角频率为 $\omega$ 的正弦电源，传输线方程为

$$\frac{dU(z)}{dz} = ZI(z) \quad Z = R + j\omega L \text{ 为单位长串联阻抗}$$

$$\frac{dI(z)}{dz} = YU(z) \quad Y = G + j\omega C \text{ 为单位长并联导纳}$$

### 3. 传输线方程的解

■ 将传输线方程整理得

$$\frac{d^2 U(z)}{dz^2} - \gamma^2 U(z) = 0$$
$$\frac{d^2 I(z)}{dz^2} - \gamma^2 I(z) = 0$$

其中  $\gamma^2 = ZY = (R + j\omega L)(G + j\omega C)$

■ 通解为

$$U(z) = A_1 e^{\gamma z} + A_2 e^{-\gamma z}$$
$$I(z) = (A_1 e^{\gamma z} - A_2 e^{-\gamma z}) / Z_0$$

$Z_0 = \sqrt{(R + j\omega L) / (G + j\omega C)}$  称为传输线的特性阻抗。

$A_1, A_2$  为积分常数，由边界条件决定。

- 传输线的边界条件通常有以下三种
  - 已知始端电压和始端电流 $U_i$ 、 $I_i$
  - 已知终端电压和终端电流 $U_l$ 、 $I_l$
  - 已知信号源电动势 $E_s$ 和内阻 $Z_s$ 以及负载阻抗 $Z_l$ 。
- 以第二种边界条件为例，传输线上任一点的电压、电流

$$\begin{bmatrix} U(z) \\ I(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma z & Z_0 \sinh \gamma z \\ \frac{1}{Z_0} \sinh \gamma z & \cosh \gamma z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_l \\ I_l \end{bmatrix}$$

- 因此，只要已知终端负载电压 $U_l$ 、电流 $I_l$ 及传输线特性参数 $\gamma$ 、 $Z_0$ ，则传输线上任意一点的电压和电流就可求得。

## 4.传输线方程解的分析

- 令  $\gamma = \alpha + j\beta$ ，且假设  $A_1 = |A_1| e^{j\theta_1}$ 、 $A_2 = |A_2| e^{j\theta_2}$ ， $Z_0$  为实数，并考虑时间因子  $e^{j\omega t}$ ，电压和电流的瞬时值表达式为：

$$u(z, t) = |A_1| e^{+\alpha z} \cos(\omega t + \beta z + \theta_1) + |A_2| e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \theta_2)$$

$$i(z, t) = \frac{1}{Z_0} \left[ |A_1| e^{+\alpha z} \cos(\omega t + \beta z + \theta_1) - |A_2| e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \theta_2) \right]$$

### ■ 结论

- 传输线上任意点上的电压和电流都由二部分组成，在任一点处电压或电流均由沿  $-z$  方向传播的入射波和沿  $+z$  方向传播的反射波叠加而成。
- 不管是入射波还是反射波，它们都是行波。
- 行波在传播过程中其幅度按  $e^{-\alpha z}$  衰减，称  $\alpha$  为衰减常数。而相位随  $z$  连续滞后  $\beta z$ ，故称  $\beta$  为相位常数。

## 5. 传输线的工作特性参数

- (1)特性阻抗——传输线上行波的电压与电流的比值

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

- 它通常是个复数，且与工作频率有关。特性阻抗由传输线自身分布参数决定，而与负载及信号源无关，故称为“特性阻抗”。

- 对于均匀无耗传输线  $Z_0 = \sqrt{L/C}$

- 当损耗很小时，即当  $R \ll \omega L$  和  $G \ll \omega C$  时，特性阻抗为

$$Z_0 \approx \sqrt{L/C}$$

- 此时，特性阻抗为实数，且与频率无关。
- 可见，损耗很小时传输线的特性阻抗近似为实数。

## (2) 传播常数(propagation constant)

- 传播常数由衰减常数和相位常数构成，表达式为

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta$$

- 传播常数一般为复数。
- 对于无耗传输线， $\alpha = 0$ ，此时  $\gamma = j\beta$  ( $\beta = \omega\sqrt{LC}$ )
  - 可见，传播常数为纯虚数。
- 对于损耗很小的传输线，其衰减常数和相位常数分别为

$$\alpha = \frac{1}{2}(RY_0 + GZ_0)$$
$$\beta = \omega\sqrt{LC}$$

### (3) 相速与传输线波长

- 相速(phase velocity) —传输线上行波等相位面沿传输方向的传播速度。其表达式为

$$v_p = \frac{\omega}{\beta}$$

- 传输线上波长(wavelength)与自由空间的波长有以下关系:

$$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$$

- 其中,  $\epsilon_r$  为传输线周围填充介质的介电常数。

均匀无耗传输线上的导行波为无色散波, 有耗线的波为色散波。