

# 整理

---

## 整理

### 直流电机

- 直流电机结构—定子/转子部件

- 直流电机原理—基本方程(动态静态)/电枢反应/换向过程

  - 电枢反应

  - 换向过程

    - 换向火花

  - 基本方程

- 直流电机特性与调速控制—机械特性/调速/四象限运行

  - 机械特性

  - 调速

  - 四象限运行

- 直流电机选用—电机选择的步骤

### 功率放大电路

#### 基本知识

- 常见器件与工作区

- 注意事项

- 损耗

- 泵升泻放

#### 基本电路

- H桥

- T型电路

#### PWM驱动

- 基本原理

- 调制器特性

- 种类特点

  - 双极性

  - 单极性

  - 受限单极性

- PWM驱动微观过程与电机四象限运行宏观特性的联系？

- 电流纹波

### 变压器

- 4.44公式

- 平衡关系

  - 磁势平衡

  - 电压平衡

- 绕组折算

### 异步电机

#### 旋转磁场

- 整距绕组

- 一相分布绕组

- 多相合成磁场

- 反电势

- 运行原理与特性

  - 转速

  - 平衡关系

    - 磁势平衡

    - 电压平衡

  - 力矩公式（参数表达式）

## 调速运行

变极调速

变频调速

恒压频比控制

变转差率调速

变定子电压

转子串电阻

串级调速

## 单相异步电机

## 步进电机

### 运行原理

磁阻式

单双拍

正反转序列

永磁式

细分驱动

### 运行特性

矩角特性（静特性）

单相通电

多相通电

运行条件

矩频特性

启动矩频特性

运行矩频特性

## 同步电机

### 小功率同步电机——开环

永磁

磁阻

磁滞

电磁减速

### 闭环运行同步电机

无刷直流电机（方波永磁电机）

原理

驱动实现

永磁同步伺服电机（正弦波永磁电机）

## 测量元件

基本概念与特性

电流电压传感

电磁式位移传感器

旋变

感应同步器

光电式位移传感器

光电码盘

增量式

绝对式

光栅

### 转速测量

测速发电机

位置脉冲信号处理测速

M法（定时测角）

T法(定角测时)

M/T法(准角测时)

### 阻容感传感器

电阻式传感器

电感

电容  
热电/温度传感器  
热电偶  
热电阻  
热敏电阻

## 直流电机

---

### 直流电机结构一定子/转子部件

- 定子
  - 主磁极
  - 电刷
  - 机座
- 气隙
- 转子
  - 电枢铁心
  - 电枢绕组
  - 换向器

### 直流电机原理—基本方程(动态静态)/电枢反应/换向过程

#### 电枢反应

- 电枢磁场使得气隙中的合成磁场相对磁极磁场产生偏移
1. 物理中性面与几何中性面不重合
  2. 总气隙磁通减小（去磁）：空载已饱和，增加得比减少的少。

#### 换向过程

##### 换向火花

- 产生：电流突变，绕组电感产生很大感应电势
- 消除：
  1. 移动电刷
  2. 加换向磁极
  3. 选择合适电刷材料，改善接触

#### 基本方程

- $T_{em} = K_t I_a$
- $E_a = K_e \omega$
- $T_{em} = T_0 + T_L + J \frac{d\omega}{dt}$
- $U_a = L_a \frac{dI_a}{dt} + I_a R_a + E_a$
- **Remark:**

- 在SI单位下,  $K_e = K_t$
- $K_t = C_t \Phi$ ,  $K_e = 60 C_e \Phi / 2\pi$
- 额定功率  $P_N = T_N \omega_N = U_N I_N \eta$ , 注意  $\eta$  是效率

## 直流电机特性与调速控制—机械特性/调速/四象限运行

### 机械特性

- $\omega = \frac{U_a}{K_e} - \frac{T_{em} R_a}{K_e K_t}$
- 堵转转矩  $T_s$ , 启动电压  $U_s$ :  $\omega = 0$  时
  - 启动电流  $I_s = U_s / R_a$
- 理想空载转速  $\omega_0$ :  $T = 0$  时
- 硬: 直线较平; 软: 直线较陡

### 调速

- 串电阻 (增加  $R_a$ )
  - 易实现
  - 降速调速
  - 有级调速
  - 损耗大
  - 轻载调速范围小
- 弱磁 (降低  $\Phi$ )
  - 升速调速
  - 基速以上, 额定电流以下
  - 高效
  - 恒功率
- 降压调速
  - 基速以下
  - 线性直线族特性
  - 无级调速
  - 效率高

### 四象限运行

•

$T_{em}, \omega$ 同向	$T_{em}, \omega$ 反向	~反向	~反向
电动	再生制动/发电机	能耗/短接制动	反接制动
$u > e$	$u < e$	$u = 0$	$u < 0$
$ i  = \left  \frac{u - e}{R} \right $	$i = \frac{e - u}{R}$	$i = \frac{e}{R}$	$i = \frac{u + e}{R}$
$n < n_0$	$n > n_0$		
$E_e \rightarrow E_m$	$E_m \rightarrow E_e$	$E_m \rightarrow i^2 R$	$E_m + E_e \rightarrow i^2 R$

## 直流电机选用—电机选择的步骤

1. 峰值力矩——加速度+阻力矩（考虑减速比）

- $$T_p = \frac{T_L}{i\eta} + \left( J_m + J_i + \frac{J_L}{\eta^2} \right) \alpha$$

2. 额定转矩——确定额定电流

- $$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\sum \int T_i^2 dt}{\sum t_i}}$$

3. 额定转速

4.  $K_t$ ,  $K_e$

5. 尺寸、质量接口
- 

## 功率放大电路

---

### 基本知识

#### 常见器件与工作区

- MOSFET
- 功率二极管
- IGBT

#### 注意事项

- 防直通
  - 二极管钳位：阻塞二极管
    - 加在上管与下关之间，并将上管发射极（源级）与下管基极（栅极）相连，抬高下管基极/栅极电压
- 反并续流二极管
- 加死区时间

#### 损耗

- 功率管的损耗
  - 静态损耗：断态损耗、通态损耗
  - 动态损耗
  - 频率增加，功率管总损耗与动态损耗增加
- PWM驱动下 **电机** 的损耗增加

#### 泵升泻放

- PWM电路要求电源能吸收电流和电能
- 直接利用直流电源中的滤波电容作储能元件，吸收泵升电压；也另外在滤波电容旁并联一电阻串开关，当

泵升电压过高时接通开关，电阻消耗电能，限制泵升电压。

## 基本电路

### H桥

- 4x功率管+4x续流二极管
- 单极性PWM vs. 双极性PWM

### T型电路

- 正反驱动电机需要正反两个电源

## PWM驱动

### 基本原理

- 冲量相等形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时效果基本相同
- 用一系列等幅度但不等宽的脉冲来代替一个正弦半波

### 调制器特性

- 静特性：设 调制比/信号系数： $\rho = \frac{u_i}{|U_{im}|}$ ，占空比  $\gamma = \frac{t_1}{T}$ ，且设  $t_1$  与  $\rho$  呈线性关系：

- 双极性：

$$\gamma = \frac{1}{2}(1 + \rho)$$

- 单极性：

$$\gamma = |\rho|$$

- 动特性：传递函数

$$G(s) = Ke^{\tau s}$$

- 在直流电机中，忽略延迟时间，认为调制器是比例环节

## 种类特点

### 双极性

- 一个开关周期内，方波有正有负，电源交替输出和吸收电能
- 对管（对角线：1、4，2、3）控制信号反相
- $U_{av} = U_D \left( 2\frac{t_1}{T} - 1 \right)$ ， $\frac{t_1}{T}$  为占空比
- 电动机、发电机、轻载状态

### 单极性

- 一个开关周期内，输出电压只有一个极性
- 调制臂上两管输入反相控制信号；方向臂下管导通，上管截止
- 电动机、发电机、轻载状态

### 受限单极性

- 桥式电路中只有一个开关管工作在开关状态，其对管连续导通，其余两管连续关断
- 轻载时，电流不可改变方向，为断续电流

## PWM驱动微观过程与电机四象限运行宏观特性的联系？

- 黑人问号.jpg ?

## 电流纹波

- 输出纹波：

$$\Delta I_a = \frac{AU_D(1 - \rho^2)}{4L_a f}$$

- 输出平均电流：

$$I_{av} = \frac{U_{av} - E}{R_a} = \frac{\rho U_D - E}{R_a}$$

## 变压器

### 4.44公式

$$E = 4.44 f N \Phi_m$$

## 平衡关系

### 磁势平衡

$$i_1 N_1 + i_2 N_2 = i_0 N_1$$

### 电压平衡

- $U_1 = -(E_1 + E_{1\delta}) + r_1 I_1 = -E_1 + (r_1 + jx_{1\delta}) I_1$
- $E_2 = -E_{2\delta} + r_2 I_2 + Z_L I_2 = (r_2 + jx_{2\delta}) I_2 + Z_L I_2$

## 绕组折算

- 功率不变，磁动势不变

$$\begin{cases} Z'_L &= k^2 Z_L \\ I'_2 &= \frac{1}{k} I_2 \\ U'_2 &= k U_2 \end{cases}$$

- 注意副边电压电流方向

# 异步电机

## 旋转磁场

- 既是空间函数，也是时间函数
- 设电流为正弦量： $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$

## 整距绕组

- 磁势波空间分布为矩形波，按Fourier级数展开取基波得

$$F_1(x) = 0.9NI \sin \omega t \cos x$$

- 脉振磁势

## 一相分布绕组

- 单相分布绕组由集中线圈串联，磁势波为矩形波叠加呈阶梯波
- 设 $k_{bi}$ 为分布系数（基波及各谐波矢量和与代数和之比），有Fourier级数得

$$F_1 = 0.9 \frac{N}{p} I k_{b1} \sin \omega t \cos x$$

## 多相合成磁场

- 黑人问号.jpg ?

## 反电势

$$E_1 = 4.44 f N k_{W1} \Phi_1$$

- $k_{W1}$  解释见本章“磁势平衡”一节

## 运行原理与特性

### 转速

- 旋转磁场转速（同步转速）：

$$n_s = \frac{60f}{p} \text{ (rpm)}$$

- 注意：

- $p$  是磁极对数！不是相数！
- 极对数与绕组绕法相关，具体见pp69笔记。

- 滑差率（转差率）：

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Delta n}{n_s}$$

- 电机转速

$$n = n_s(1 - s) = \frac{60f_1}{p}(1 - s)$$



## 平衡关系

### 磁势平衡

- 0: 气隙; 1: 定子; 2: 转子

$$F_0 = F_1 + F_2$$

- 整理得

$$I_0 = I_1 + \frac{I_2}{k_i}$$

其中  $k_i$  电流变比, 取决于电机结构:

$$k_i = \frac{m_1 N_1 k_{W1}}{m_2 N_2 k_{W2}}$$

式中  $k_{Wi}$  为综合考虑绕组短距、绕组分布后的衰减系数

### 电压平衡

- 电压平衡式:

$$\begin{aligned} U_1 &= -E_1 + I_1(r_1 + jx_1) \\ E_{2s} &= I_2(r_2 + jx_{2s}) \\ E_1 &= k_e E_2 \end{aligned}$$

其中 电势变比  $k_e$ :

$$k_e = \frac{N_1 k_{W1}}{N_2 k_{W2}}$$

注意与  $k_i$  区别;

且

$$\begin{aligned} E_{2s} &= sE_2 \\ x_{2s} &= sx_2 \end{aligned}$$

式中  $s$  为滑差率

- 等效电路, 折算:

$$\begin{aligned} r'_2 &= k_e k_i r_2 \\ x'_2 &= k_e k_i x_2 \\ E'_2 &= k_e E_2 \\ I'_2 &= \frac{1}{k_i} I_2 \end{aligned}$$

## 力矩公式 (参数表达式)

- 机械特性:

$$T_{em} = \frac{m_1 p U_1^2 r'_2}{2\pi f_1 s \left[ \left( r_1 + \frac{r'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_2)^2 \right]}$$

其中  $m_1$  为定子相数

- 三相异步机转矩实用表达式

$$T_e = \frac{2T_m}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}}$$

其中 $s_m$  为临界转差率，为转矩值最大即 $T_e = T_m$  时对应的转差率

## 调速运行

- 基本调速方法与特点

### 变极调速

- 改变极对数 $p$
- 转速成倍变化，平滑性差：有极调速
- 稳定性好，机械特性硬，极对数越多启动转矩越大
- 效率高
- 接线简单、控制方便、价格低廉

### 变频调速

#### 恒压频比控制

- 4.44 公式
1. 基频向下
    - 恒磁通
  2. 基频向上
    - 恒压、弱磁

### 变转差率调速

#### 变定子电压

- 稳定运行区变窄，不适合恒转矩负载的普通异步机
- 高电阻转子异步机可用，调速范围宽

#### 转子串电阻

- 转速低、效率低
- 电阻不连续，调速不平滑
- $n \downarrow \Rightarrow s \uparrow \Rightarrow P_{Cu_2} \uparrow$

#### 串级调速

- 黑人问号

## 单相异步电机

- 本质的两相运行（电容分相/罩极）
-

# 步进电机

## 运行原理

### 磁阻式

- 转子齿数  $Z_r = 2pK \pm 2$  (错齿)
- 齿距角  $\theta_t = \frac{360^\circ}{Z_r}$
- 步距角 (机械角)  $\theta_b = \frac{\theta_t}{N} = \frac{360^\circ}{Z_r N}$
- 旋转磁场+最小磁阻原理+错齿
- 转速:  $n = \frac{60f}{Z_r N}$
- 一个通电周期电机转过一个齿距角
  - 机械角  $\theta_t$  对应  $2\pi$  rad 电角

### 单双拍

- 一个通电周期内的各相通电的不同状态数 (状态: 按各相是否通电组成的01有序序列)
- M相K N拍
  - 同时有K相通电, 总共有N拍
- M相单双N拍 或 P相2N拍
  - 同时有1或2相交替通电, 总共有2N拍
- $N = km$ 
  - 单拍制:  $k = 1$ , 相应步距角为整步距角
  - 双拍制:  $k = 2$ , 对应 半步距角

### 正反转序列

- 四相单四拍:
  - $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$
  - $A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$
- 四相双四拍:  $AB \rightarrow BC \rightarrow CD \rightarrow DA \rightarrow AB$
- 四相单双八拍:  $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CD \rightarrow D \rightarrow DA \rightarrow A$

### 永磁式

- 转子磁极数  $Z_r = 2p$
- 转子极距角(齿距角)  $\theta_r = \frac{360^\circ}{Z_r}$
- 定子磁极总数  $Z_s = 2mp$
- 定子极距角  $\theta_s = \frac{360^\circ}{2mp}$
- $m$ 相电机拍数  $N = 2m$
- 步距角  $\theta_b = \theta_s = \frac{360^\circ}{2mp}$

### 细分驱动

- 改变相电流大小从而改变合成磁场夹角，以控制电机

#### 优点

- 消除低频振荡
- 提高输出转矩
- 提高电机运行分辨率
- 受制于电机制造精度与电流控制精度，超过16倍的细分驱动已无意义。

## 运行特性

### 矩角特性（静特性）

#### 单相通电

$$T = -T_m \sin \theta_e$$

- 步进电机**静转矩**与**失调角**的关系叫步进电机的矩角特性
- 电机偏离稳定平衡位置的角度叫失调角
- 静稳定区： $-\pi \leq \theta_e \leq \pi$

#### 多相通电

- 单拍制：各相单独通电，并错开一个**整步距角**(电角) $\theta_{be} = 2\pi/m$
- 双拍制、单双2N拍：单拍制情形线性相加，可由图知各稳定点依次错开一个步距角(电角) $2\pi/N$
- $m$ 相电机 $n$ 相同时通电的最大静转矩： $T_{m(n)} = \frac{\sin \frac{n\pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{m}} T_m$ 
  - 三相以上步进电机，多相通电能提高最大静转矩！

### 运行条件

- 运行要求：不失步

$$T_L < T_{st}$$

$$T_{st} = T_m \cos \frac{\pi}{N}$$

其中 $T_{st}$ 是电机单步运行矩角特性交点，称 启动转矩

- 还与控制频率和负载转动惯量有关：
  - 控制频率必须小于某一值：启动频率——步进电机无失步启动和停转的最高频率

### 矩频特性

#### 启动矩频特性

- 启动频率与负载转矩的关系
- 启动频率随负载转矩升高而减小  $T_L \uparrow f_{st} \downarrow$

#### 运行矩频特性

- 动态最大输出转矩与运行频率的关系
- 从启动转矩开始，随控制频率升高而减小  $f \uparrow T_m \downarrow$ 
  - 原因：定子绕组电感阻止电流突升

---

# 同步电机

---

## 小功率同步电机——开环

- 四种电机基本特性
- 启动困难：
  - 转子惯性
  - 起动时转差率
  - 解决：
    - 鼠笼启动绕组，异步启动
    - 降频起动

### 永磁

- 转子为永磁体
- 转矩

$$T = K F_s F_r \sin \theta_e$$

- 转速

$$n = \frac{60f}{p} \text{ (rpm)}$$

### 磁阻

- 转子为软磁材料
- 转速同上
- 转矩

$$T = K_1 \sin 2\theta_e$$

### 磁滞

- 转子由半硬磁材料制成
- 转速同上
- 转矩：
  - 同步时同永磁同步电机
  - 异步：
- 特点
  1. 可自启动
  2. 异步低速运行时效率低
    - 涡流损耗
    - 磁滞损耗
  3. 阻尼弱，易振荡
  4. 成本高

电磁减速

- 定、转子齿数与极对数关系

$$Z_R - Z_S = 2p$$

- 转子转速

$$n = \frac{60f(Z_R - Z_S)}{pZ_R} = \frac{120f}{Z_R} \text{ (rpm)}$$

闭环运行同步电机

- 原理、驱动实现、特性

无刷直流电机（方波永磁电机）

- 电动机+位置传感器+电子开关线路

原理

- 定转子磁势夹角

$$\theta = 90^\circ \pm \frac{180^\circ}{N}$$

N 为状态数

$$N = km$$

- 导通角：每相绕组通电时转子所能转过的角度

$$\alpha_c = \frac{2\pi}{m} \text{ (rad)}$$

- 转矩

$$T = K \sin \theta$$

驱动实现

- H桥+三相星型绕组 pp150

永磁同步伺服电机（正弦波永磁电机）

- $T_{em} = \frac{3}{2}K_t I_m$
- Clarke-Park 变换： 矢量控制

---

测量元件

---

## 基本概念与特性

- 组成：
  - 敏感元件
  - 转换元件
  - 转换电路
- 静特性：输入输出均为常量或变化极慢时，输出和输入之间的关系（数学关系式中无变量对时间的微分项）
  - 变换函数
  - 灵敏度：  $k = \frac{dy}{dx}$
  - 线性度：  $\varepsilon_L = \frac{|\Delta y_m|}{y_{FS}} \times 100\%$  ,  $\Delta y_m$  非线性最大偏差
  - 滞环：正反行程输入输出曲线不重合
  - 重复性误差(precision): 输入按同一方向做全量程连续多次变化时得到的最大误差
  - 静态误差（accuracy）：量程内任意一点的输出与理论输出的偏离程度，用  $2\sigma$  或  $3\sigma$  表征：
    - Standard Deviation:  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\Delta y_i)^2}$
- 动特性：输入输出均随时间变化的关系
- 精度：用静态误差衡量
- 分辨率与分辨力
  - 分辨率：以满量程的百分比表示，无量纲
  - 分辨力：最小量程的单位值表示，有量纲
  - 阈值：对最小输入的分辨力

## 电流电压传感

- 线性霍尔
- 电阻采样

## 电磁式位移传感器

- 结构、原理、信号处理

## 旋变

- 结构：
  - 定子，齿槽中嵌有两极两相绕组
  - 转子，齿槽中嵌有两极两相绕组
  - 有刷 vs. 无刷
- 原理
  - 空载运行：

$$\begin{cases} E_{R13} = ku \sin \omega t \cos \theta \\ E_{R24} = ku \sin \omega t \sin \theta \end{cases}$$

- 负载运行：交轴磁势无法抵消，电流越大，角度越大，误差则越大， $\theta = 45^\circ$  时误差最大：

$$F_{R13q} = E_R W_R \sin 2\theta / 2(Z_L + Z_{13})$$

- 副边补偿：两个副边绕组加同样的负载， $Z'_L = Z_L$
- 原边补偿：在原边另一相接入与激磁电源内阻相等的阻抗， $Z_s = Z_f$
- 实际应用：同时采用原、副边补偿

## 感应同步器

- 结构：
  - 定尺（定子）
    - 连续单相绕组
  - 滑尺（转子）
    - 直线式：正弦绕组+余弦绕组，交替排列、各自串联：减小误差
    - 旋转式：极数
- 原理：
  - 极距 $\tau$
  - 节距 $L = 2\tau = a + b$ （片宽 $a$ 与间隔 $b$ 相等）
  - 滑尺正余弦绕组相距 $(K \pm \frac{1}{4})L$
  - 绕组感抗 $\ll$ 电阻，故电流与激磁电压几乎同相位，即感应电势领先 $90^\circ$ 
    - 设激磁电压 $u = \sqrt{2}U \sin \omega t$

$$\begin{cases} e_s = \sqrt{2}E_m \sin \frac{2\pi}{L}x \cos \omega t \\ e_c = \sqrt{2}E_m \cos \frac{2\pi}{L}x \cos \omega t \end{cases}$$

又定义电角：直线式： $\theta_e = \frac{\pi}{\tau}x$ ，旋转式： $\theta_e = \frac{\pi}{\tau}\theta$ ，则有效值：

$$\begin{cases} E_s = E_m \sin \theta_e \\ E_c = E_m \cos \theta_e \end{cases}$$

- 信号处理
  - 鉴相：
    - 将正余弦信号直接叠加： $e_2 = kU \sin(\omega t + \theta_e)$
    - 脉冲计数求相位差：
      - 整形+双稳态触发器+AND·脉冲源+计数器： $\theta_e = 2\pi f N t_n$ ， $t_n$  是脉冲源周期
      - 分辨力 $\theta_1 = \frac{f}{f_n}L$ ， $f_n$  是脉冲源频率
  - 鉴幅：
    - 指令角 $\theta_1$
    - $u_s = U_m \cos \theta_1 \sin \omega t$ ， $u_c = -U_m \sin \theta_1 \sin \omega t$
    - 正余弦叠加： $e_2 = kU_m \sin(\theta_e - \theta_1) \cos \omega t$

## 光电式位移传感器

- 结构、原理、信号处理

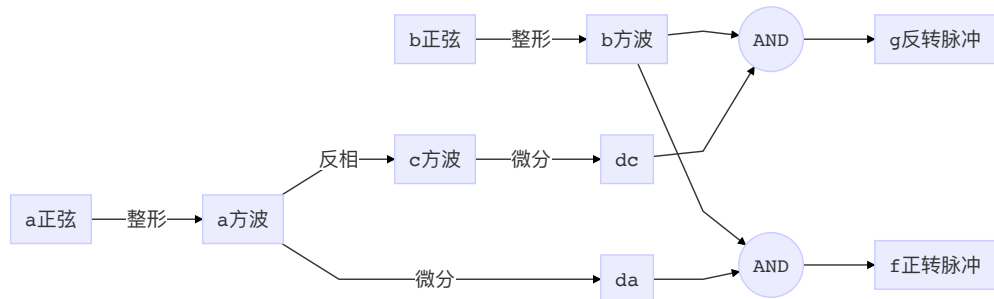
### 光电码盘

#### 增量式

- 结构
  - 窄缝圆盘：窄缝周期，节距 $L$
  - 检测狭缝群（光栅板）： $a$ 、 $b$ 两组，相距 $(K \pm \frac{1}{4})L$



- 三相信号输出：ABZ，Z用以判断绝对零位
- 原理：
  - 码盘转动，透过检测窄缝群的光强随转角周期性变化，光电转换器电流周期性变化
  - 取基波作为输出信号
- 信号处理：



- f或g的脉冲频率代表转速
- 分辨力：  $\Delta\theta = \frac{360^\circ}{\text{线数}}$
- 四倍频提高分辨率

## 绝对式

- 结构：
  - 码盘：透光区、不透光区
  - 光源
  - 光电敏感元件
- 原理
  - 码道：越靠中心权值越高
  - 各码道输出组合的二进制数代表转角位置
  - 分辨力：  $\Delta\theta = \frac{360^\circ}{2^N}$
  - 格雷码

## 光栅

- 结构
  - 光源
  - 长光栅（标尺光栅）
  - 短光栅（指示光栅）
  - 光电元件
- 原理
  - 莫尔条纹：
    - 条纹间距  $W = \frac{a}{\sin\theta} \approx \frac{a}{\theta}$ ，位移被放大！
  - 记录条纹数量，乘以光栅常数即得位移：  $x = Na$ 
    - 可选用倍频电路提高分辨率

- 信号处理
  - 正反转
    - 采用2个狭缝，相距 $W/4$ ，电信号相位差 $\pi/2$
    - 处理方式完全与增量式光电码盘相同，输出正转脉冲f与反转脉冲g

## 转速测量

### 测速发电机

- 直流测速发电机
- 异步测速发电机

### 位置脉冲信号处理测速

#### M法（定时测角）

- 检测时间 $T_g$ 内测得脉冲数 $m_1$ ，设每转脉冲数 $P$ ，转速：

$$n = \frac{60m_1}{PT_g} \text{ (r/min)}$$

- 分辨力： $Q = \frac{60}{PT_g}$
- 误差与转速无关，相对误差为 $\Delta n/n$ ，该法适合**高速测量**。

#### T法(定角测时)

- 用固定频率 $f_c$ 时钟脉冲计数，记录传感器两个相邻脉冲间的时钟脉冲数 $m_2$ （测时： $T = m_2/f_c$ ），设传感器每转脉冲数 $P$

$$n = \frac{60f_c}{m_2P} \text{ (r/min)}$$

- 分辨力： $Q = \frac{n^2P}{nP + 60f_c}$
- 相对误差 $\Delta n/n \approx 1/m_2$ ，故改法适用于**低速测量**。

#### M/T法(准角测时)

- $m_1$ 无误差
- 转速：

$$n = \frac{60m_1f_c}{Pm_2}$$

- 分辨力： $Q = \frac{n}{m_2 - 1}$

## 阻容感传感器

### 电阻式传感器

- 电位器
  - 构造简单、性能稳定、精度较高、信号处理简单
  - 存在活动摩擦接触，易磨损

- \*双极性输出电路 Fig. 12-3, pp212.
- 应变式电阻传感器
  - 金属或半导体在外力作用下产生变形，电阻发生变化
  - 基本功能：测出物体微小形变

## 电感

- 变压器式传感器
  - 原边 $x_1$ +副边 $x_2$ ，副边反串输出，呈差动变压器式传感器
  - 基于变压器原理，将机械位移变换成与位移成比例的互感变化
  - $U_o = K\alpha$

## 电容

- 平板电容：  $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{\delta}$
- 结构类型
  1. 改变遮盖面积
  2. 改变极板距离
  3. 变介电常数

## 热电/温度传感器

### 热电偶

- 热电现象、赛贝克效应
- 自由端补偿：热电势与两端温度差相关，如需反映被测温度，须使自由端温度保持稳定。

### 热电阻

- 材料：Pt、Cu、Ni
- 优点：低温测量精度较高、 $R = f(t)$  特性稳定
- 缺点：
  - 阻值随温度变化率较低；
  - 体积大；
  - 热惯性大，无法用于快速测量

### 热敏电阻

- 材料：多种半导体氧化物混合， $\text{CuO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ...
- 优点：
  - 热惯性小、反应迅速
  - 耐腐蚀
  - 体积小、结构简单
- 缺点：
  - 线性度差
  - 测量范围小

