

第四部分 电机学与电机控制

第一节 磁路与变压器

一 铁磁材料的磁性能

- 1.铁磁材料
- 2.磁化曲线
- 3.磁滞回线
- 4.磁滞损耗与涡流损耗

二 简单磁路分析

三 变压器

- 1.变换作用
- 2.外特性、损耗与效率、额定值
- 3.其它变压器

第二节 三相异步电动机

一 电机结构与工作原理

- 1.结构
- 2.工作原理

二 电机特性与额定值

- 1.电机特性曲线
- 2.额定值

三 电机使用与操作

- 1.起动
- 2.反转
- 3.调速

- 4.制动

第三节 三相异步电动机的控制

一 常见低压电器

- 1.交流接触器 KM
- 2.时间继电器 KT
- 3.按钮 SB
- 4.行程开关 ST
- 5.其它电器

二 常见三相异步电动机控制电路

- 1.直接启动控制电路
- 2.正反转控制电路
- 3.时间控制电路：Y - Δ 换接起动控制电路
- 4.行程控制电路

第四节 安全用电

一 触电方式

- 1.单相触电
- 2.双相触电

二 保护接地与保护接零

- 1.保护接地
- 2.保护接零

三 电气防火与防爆

四 静电的防护

第一节 磁路与变压器

知识梳理

一 铁磁材料的磁性能

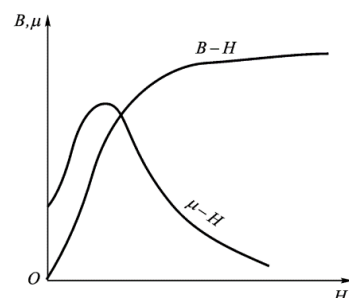
1. 铁磁材料

- 钢、铁、镍、钴及其合金等，放入磁场时会强烈磁化，制造变压器、电机和电器铁心的主要材料

2. 磁化曲线

- 磁场强度 H 从零逐渐增加时，铁磁材料的磁感应强度 B 的变化关系
- 磁导率 μ ：磁化曲线任意一点上 B/H 的值

铁磁材料的磁导率 μ 远大于真空磁导率 μ_0 ($4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$)



3. 磁滞回线

① 磁滞现象

当 H 从 0 增加至某值 H_m 后

- 继续增大 H ： B 沿着磁化曲线增加
- 在此状态下减小 H ： B 沿着高于磁化曲线的一条曲线减小（相比沿磁化曲线， B 的变化量更小）
→ 磁感应强度 B 的变化滞后于磁场强度 H 的变化（磁滞现象）

结果：当 H 减小至 0 时， $B = B_r > 0$ (B_r ：剩磁感应强度，简称剩磁)

只有当 H 继续减小至 $-H_c < 0$ (H_c ：矫顽力) 时， $B = 0$

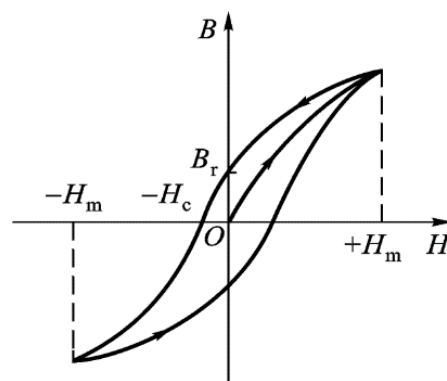
② 磁滞回线

接着①，当 H 减小至 $-H_m$ 后

- 若 H 继续减小 → B 沿磁化曲线减小
 - 若 H 增大至 H_m → B 沿低于磁化曲线的一条曲线增大
- ∴ H 在 H_m 和 $-H_m$ 之间变化（交变磁化）时，

B 会沿着一条闭合路径变化 → 磁滞回线

磁滞回线与磁化曲线相交于 $H = \pm H_m$



③ 不同材料的磁滞回线

不同种类的铁磁材料磁滞回线的形状不同

- 软磁材料： B_r 低、 H_c 小，如纯铁、纯钢、坡莫合金等，可制造变压器、电机和电器的铁心
- 硬磁/永磁材料： B_r 高、 H_c 大，如碳钢、铝镍钴、稀土等，可制造永久磁铁

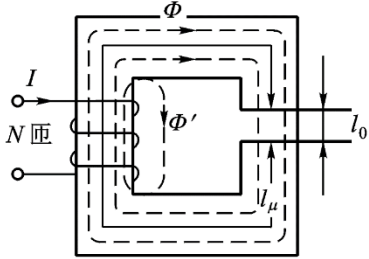
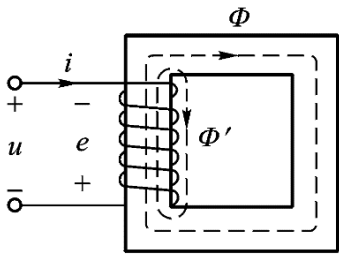
4. 磁滞损耗与涡流损耗

- ① 磁滞损耗 铁磁材料交变磁化时产生的损耗，是铁磁物质内分子反复取向所产生的功率损耗
大小与磁滞回线的面积成正比 → 软磁材料磁滞损耗小，硬磁材料磁滞损耗大

- ② 涡流损耗 当整块铁心中的磁通发生交变时，感应涡流在铁心的电阻上引起的功率损耗
大小与铁心厚度的平方成正比 → 用相互绝缘的硅钢薄片拼成铁心可以减弱涡流

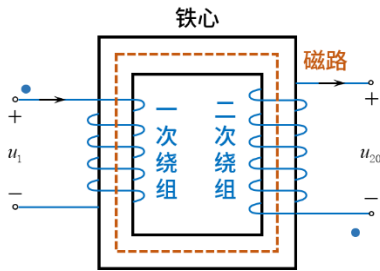
- ③ 铁损耗 磁滞损耗与涡流损耗的合称，一般产生的都是不利影响，但可以用来加热或冶炼金属

二 简单磁路分析

直流磁路	交流磁路
	
<p>N: 线圈匝数 I: 直流电流</p> <p>主磁通 Φ: 铁磁材料的空间内磁通路径</p> <p>漏磁通 Φ': 暴露在外的磁通路径, 一般忽略</p>	<p>e: 主磁通 Φ 在线圈中产生的感应电动势</p> <p>e': 漏磁通 Φ' 产生感应电动势, 一般忽略</p> <p>R: 线圈电阻, 一般忽略</p>
<div>$\Phi = \frac{NI}{\sum R_m}$(磁路欧姆定律)</div> <p>磁通势: NI 磁阻: $R_m = \frac{1}{\mu A}$</p> <p>铁心磁阻 $R_{m\mu}$ 与 B 有关, 空气隙磁阻 R_{m0} 较大</p>	<div>$U \approx E = 4.44 f N \Phi_m$</div>

三 变压器

1. 变换作用



电压变换	电流变换	阻抗变换
<div>$\frac{U_1}{U_{20}} \approx \frac{N_1}{N_2} = K$</div>	<div>$I_2 \approx K I_1$</div>	<div>$Z'_L = K^2 Z_L$</div>
<p>u_1: 一次绕组侧电压</p> <p>u_{20}: 二次侧空载电压</p>	<p>i_1: 有载时一次侧电流</p> <p>i_2: 有载时二次侧电流</p>	<p>Z_L: 二次侧负载阻抗</p> <p>Z'_L: 变压器与二次侧等效阻抗</p>
忽略漏磁通和线圈电阻	忽略漏磁通和线圈电阻 忽略一次侧空载电流	忽略漏磁通和空载电流

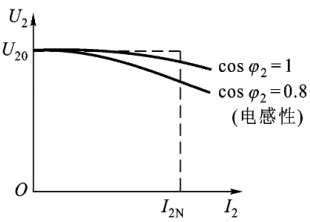
- 同名端: 电流流入/流出两个线圈时, 产生的磁通方向相同的两个流入 (或流出) 端
或 铁心中磁通变化时, 在两线圈中产生的感应电动势极性相同的两端

2. 外特性、损耗与效率、额定值

① 外特性

变压器一次电压 U_1 为额定值时, $U_2 = f(I_2)$ 的关系曲线

- 负载是电阻或感性时, 二次电压将随电流 I_2 的增加而降低



· 电压变化率 $\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\%$ 一般为 $3\% \sim 6\%$

② 损耗

铁损耗：交变磁通在铁心中产生，包括磁滞损耗与涡流损耗， U_1 和 f 一定时基本不变 → 固定损耗

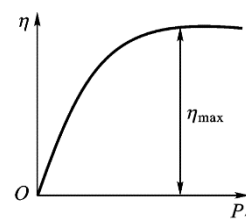
铜损耗：一次、二次绕组导线电阻所致产生的损耗 → 可变损耗

③ 效率

变压器的输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} \times 100\%$$

效率随输出功率而变，存在最大值



④ 额定值

· 额定电压 U_{1N} ：加在一次绕组上的正常工作电压

U_{2N} ：一次绕组加额定电压时的二次侧空载电压

· 额定电流 I_{1N} / I_{2N} ：根据变压器容许温升而规定的电流值，在三相变压器中指线电流

· 额定容量 S_N ：单相变压器 $S_N = U_{2N} I_{2N}$ 三相变压器 $S_N = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$

· 额定频率 f_N ：变压器应接入的电源频率

4. 其它变压器

① 自耦变压器

- 二次绕组是一次绕组的一部分
- 改变滑动端 P 的位置，便可得到不同的输出电压
- 使用时输入端和输出端不能对调，以防使用不当短路烧坏

② 电压互感器

- 将高电压变换成低电压 ($U_1 = KU_2$)，送至其它设备，以保护设备、仪表、人员
- 二次绕组不能短路；保护接地

③ 电流互感器

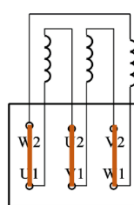
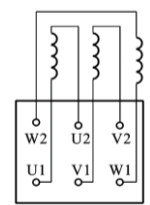
- 将大电流变换成小电流，送测量、控制等设备
- 二次绕组不得开路

第二节 三相异步电动机

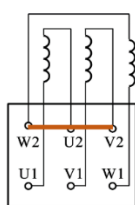
一 电机结构与工作原理

1. 结构

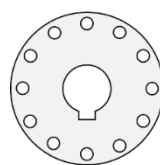
- ① 定子
- 定子铁心 由涂有绝缘漆的硅钢片叠成，固定在基座中
内圆周上有均匀分布的槽
 - 定子绕组 由绝缘导线绕制，嵌放在槽内形成三相对称结构
三个绕组，每个两端，可根据需要接成Y型或Δ型
- ② 转子
- 铁心 用硅钢片叠成圆柱形，并固定在转轴上
外圆周上有均匀分布的槽
 - 转子绕组 笼型异步电动机的转子绕组是导电条以及两端的导电端环
绕线转子异步电动机的转子绕组也为三相绕组



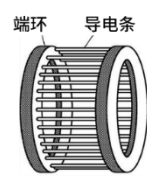
三角形联结



星形联结



笼型异步电动机
转子铁心片



笼型异步电动机
转子绕组

2. 工作原理

① 旋转磁场的产生

- 三相定子绕组在空间以一定关系放置，产生三相电流合成磁场
- 三相电流随时间变化时，所建立的合成磁场也不断地在空间旋转
磁场旋转方向与相序一致（如相序UVW，则旋转方向为u1→v1→w1）

磁场转速 n_1 与磁场的磁极对数 p 与电源频率 f 有关

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (\text{单位: r/min})$$

② 转子的旋转

- 转子导体相对切割旋转磁场磁感线 → 产生感应电流 → 感应电流与磁场作用产生电磁力
→ 转子受所有电磁力对旋转中心的转矩 T 作用旋转
- 转子转速 n 必低于磁场转速 n_1 ，否则无相对旋转，不能产生感应电流 → 所以叫做异步电动机
- 转差 $\Delta n = n_1 - n$ ，转差率 $s = \frac{\Delta n}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1}$ ，一般额定转差率很小，即 n 略低于 n_1

二 电机特性与额定值

1. 电机特性曲线

① 电磁转矩特性

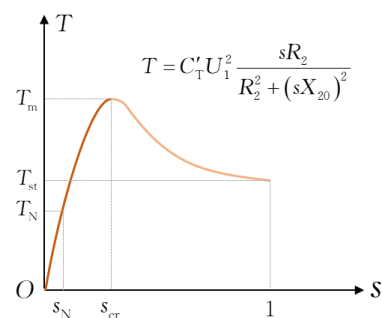
- 电源电压不变时电磁转矩 T 与转差率 s 的关系曲线

U_1 : 电源电压 R_2 : 转子各相绕组电阻 X_{20} : 电动机刚接通电源时转子绕组的感抗

- $s=0$ ($n=n_1$) 时, 无转矩

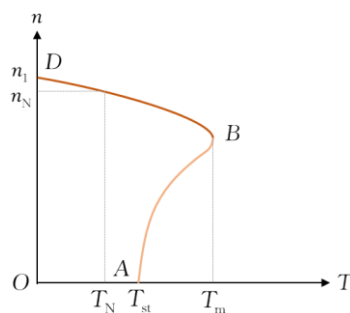
$$s=s_{cr}=\frac{R_2}{X_{20}} \text{ 时, } T \text{ 达到最大转矩 } T_m = C_T U_1^2 \frac{1}{2X_{20}}$$

$s=1$ ($n=0$) 时, 电动机刚启动, T 为起动转矩 T_{st}



② 机械特性

- 电动机转速 n 与转矩 T 的关系曲线
- 电机带动负载启动: 起动转矩 $T_{st} >$ 负载转矩 T_L ,
- 稳定运行: $T = T_L$
BD 为稳定运行范围, 电机可自调速适应负载变化, 且 n 变化不大
- 过载状态: $T_L >$ 额定转矩 T_N (允许短时间过载)
- $T_L > T_m \rightarrow n$ 迅速降入 AB, $T \downarrow$, 停转 \rightarrow 堵转 $\rightarrow I$ 过大烧毁
- U_1 的影响: 机械特性曲线发生变化 (横向伸缩)
- R_2 的影响: $R_2 \uparrow \rightarrow T_m$ 不变, $n_m \downarrow$, $T_{st} \uparrow$ (纵向伸缩)



③ 工作特性

- 外加电源电压 U_1 和频率 f_1 一定时, 以下参数对电动机输出机械功率 P_2 的关系:
电动机的转速 n 、输出转矩 T_2 、定子电流 I_1 、定子电路功率因数 $\cos \varphi_1$ 、效率 η

2. 额定值

- ① 额定功率 P_N 额定运行状态下, 电动机轴上输出的机械功率
- ② 额定电压 U_N 电动机额定运行时的线电压
- ③ 额定电流 I_N 电动机在额定运行时的线电流
如果三相定子绕组有两种接法, 就有两个相对应的额定电流值
- ④ 额定频率 f_N 电动机在额定运行时交流电源的频率
- ⑤ 额定转速 n_N 电动机在额定运行时的转速, 单位: r/min (转/分)

忽略电动机的机械损耗, n_N (r/min)、 P_N (kW)、 T_N (N·m) 三者之间的关系:

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} \quad (\text{注意单位!})$$

- ⑥ 额定功率因数 $\cos \varphi_N$ 电动机在额定运行时定子电路的功率因数, 通常在 0.70 ~ 0.90 之间
- ⑦ 额定效率 η_N 电动机在额定运行时的效率

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_S} = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N} \times 100\%$$

- ⑧ 定额 电动机的运行情况, 可分为三种基本方式: 连续运行、短时运行和断续运行

三 电机使用与操作

1. 启动

- ① 直接启动
 - 启动时直接将三相定子绕组接至额定电压的电源上
 - 优点: 简单、方便、经济、起动过程快, 不需要专门的启动设备;

缺点：启动电流 I_{st} 大（4~7 倍的额定电流）。

- 适合：中小型笼型异步电动机、当电源容量相对于电动机的功率足够大时

② 降压起动

- 目的：减小启动电流

- **Y-Δ 换接起动**

先以定子绕组星形联结起动，到达一定转速后迅速切换为三角形联结

仅适用于正常运行时三角形联结的电机，此时启动电压为额定电压的 $1/\sqrt{3}$

- **自耦减压起动**

起动时接入自耦变压器，使电动机起动电压低于电源电压，达到一定转速后断开变压器

适用于容量较大的或正常运行时联成 Y 形不能采用 Y-Δ 起动的笼型异步电动机

③ 转子串接电阻起动

- 起动时将适当的 R 串入转子电路中，起动后将 R 短路

- 仅适用于绕线转子异步电动机

2. 反转

- 方法：任意调换电源的两根进线

3. 调速

- 目的：在负载不变的情况下，用人为的方法改变电动机的转速

- 方法：**改变磁极对数 p** → 可以调的速只有几种值

改变电源频率 f → 可实现无级平滑调速，调速性能优异

改变转差率 → 转子接入可调电阻，只适用于绕线型异步电动机

4. 制动

- 目的：使电动机切断电源后迅速停车

- 分类：机械制动 和 电气制动（以下 2 例）

① 反接制动

在电动机停车时加反相序三相电源，产生制动转矩，使电动机快速停车，当转速接近零时，切断电源。

反接制动时电流大，常在主（定子）电路中串入限流（制动）电阻

常用于小容量电动机

② 能耗制动

- 断开三相电源时，在两电源接线端间加直流电源，产生直流磁场，使转子产生制动转矩

使电动机快速停车，当转速接近零时，切断直流电源

- 能耗制动电源能量消耗小，制动平稳，需要直流电源

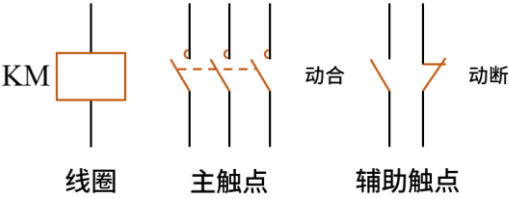
第三节 三相异步电动机的控制

知识梳理

一 常见低压电器

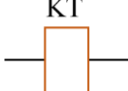






1. 交流接触器 KM

- 线圈通电 → 产生电磁吸力 → 上铁心吸下 → 触点闭合或断开 → 可实现**低压保护**
- 触点类型：**主触点**（能通过大电流，用于被控电路）**动合触点**（线圈通电时闭合）
辅助触点（通过较小电流，用于控制电路）**动断触点**（线圈通电时断开）



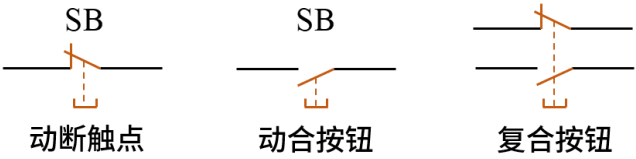
2. 时间继电器 KT

- 当继电器线圈通电或断电时，其触点的动作依照类型可能会比信号变化的时刻滞后

线圈		
瞬时动合触点		线圈通电时立即闭合
瞬时动断触点		线圈通电时立即断开
延时闭合动合触点		线圈通电一段时间后闭合
延时断开动断触点		线圈通电一段时间后断开
延时断开动合触点		线圈断电一段时间后断开
延时闭合动断触点		线圈断电一段时间后闭合
总结：延时闭合 → 闭合会延迟，断开瞬时 圆弧外凸 → 通电延时 延时断开 → 断开会延迟，闭合瞬时 圆弧外凹 → 断电延时		

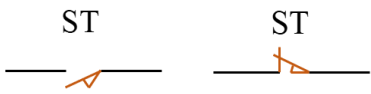
3. 按钮 SB

- 手动按下按钮后该处接通或断开，松开按钮后恢复

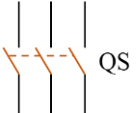

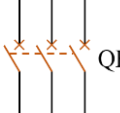
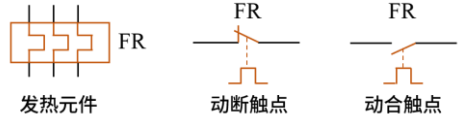


4. 行程开关 ST

- 运动部件撞击时闭合或断开



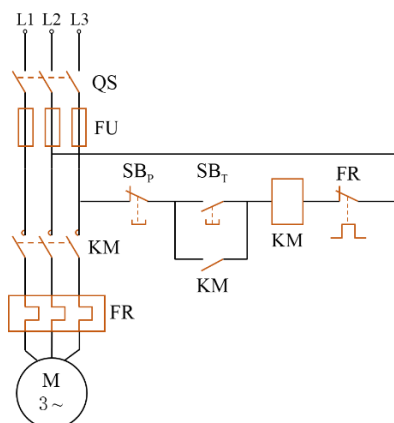
5. 其它电器（控制电路分析中不需要分析的电器）

闸刀开关 QS		<ul style="list-style-type: none"> · 手动控制电器，由刀片（动触点）和刀座（静触点）组成 · 一般作电源隔离开关：先合上闸刀开关才能操作控制电路
熔断器 FU		<ul style="list-style-type: none"> · 串接在被保护的电路中，实现短路保护 · 电路短路时，大电流使其中的熔体发热后熔断，切断电路
低压断路器		<ul style="list-style-type: none"> · 也称自动空气开关，实现短路、过载、失压保护 · 电路电压过低时，电磁铁吸力不足，主触点断开，切断电路 · 电压恢复正常后，需要重新合闸后才能工作
热继电器 FR		<ul style="list-style-type: none"> · 过载时电流产生超额热量，金属片弯曲控制电路中触点断开 · 过载保护，但不能提供短路保护
剩余电流动作保护装置	<ul style="list-style-type: none"> · 适用于三相四线制供电系统 · 漏电时四线电流之和非 0，产生剩余电流，经装置获取处理后，控制切断电路 	
中间继电器 KA	<ul style="list-style-type: none"> · 类似交流继电器 	

二 常见三相异步电动机控制电路

· 为简洁表示，以下控制电路分析中**闭合/通电/按下**用“√”表示，**断开/断电/松开**用“×”表示

1. 直接启动控制电路



○ 首先要闭合闸刀开关 QS

① SB_T √

KM √ → KM 主触点 √ → 电机 √

辅助触点 √ → 实现**自锁**

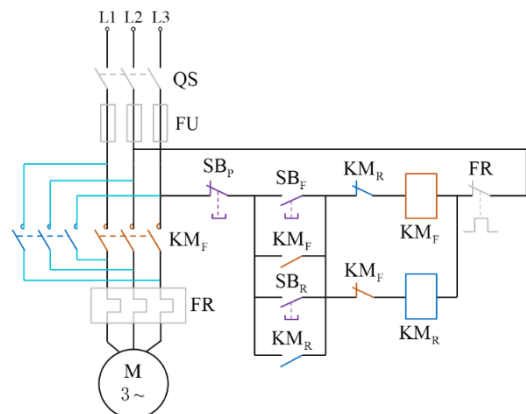
SB_T × → 控制电路 √ → KM √ → 电机继续 √

· 若没有自锁，按钮操纵电机**点动运行**

② SB_p √

KM × → KM 主触点和辅助触点 × → 电机 ×

2. 正反转控制电路



SB_F √ → KM_F √ → KM_F 主触点 √ → 电机**正转**

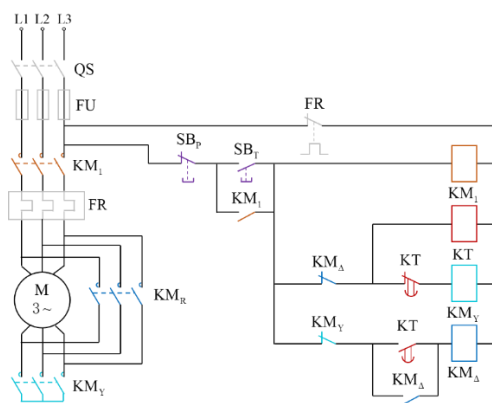
· 同时 KM_F 动合辅助触点 √ 形成自锁

动断辅助触点 × 使 KM_R 无法 √ (**联锁 / 互锁**)

∴ 需要先按 SB_p 停止运动，然后再按 SB_R

按下 SB_R 后的过程与 SB_F 类似

3. 时间控制电路：Y-Δ 换接起动控制电路



① $SB_T \checkmark$

$KM_1 \checkmark \rightarrow KM_1$ 主触点 \checkmark 辅助触点 $\checkmark \rightarrow$ 电机 \checkmark & 自锁

$KM_Y \checkmark \rightarrow KM_Y$ 主触点 \checkmark 辅助触点 $\times \rightarrow$ 电机接成 Y 形

$KT \checkmark \rightarrow$ 一段时间后 \rightarrow ②

② KT 动断触点 $\times \rightarrow KM_Y \times \rightarrow KM_Y$ 主触点 \times 辅助触点 \checkmark

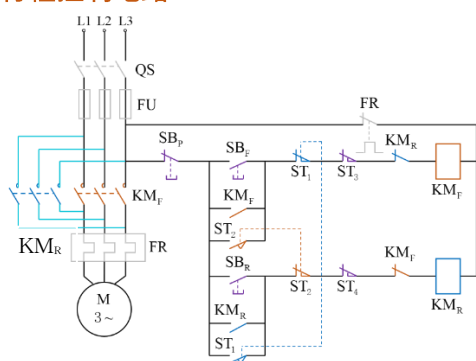
KT 动合触点 \checkmark + KM_Y 辅助触点 $\checkmark \rightarrow KM_\Delta \checkmark$

$\rightarrow KM_\Delta$ 主触点 $\checkmark \rightarrow$ 电动机接成 Δ 形

KM_Δ 动合触点 $\checkmark \rightarrow$ 形成自锁

动断触点 $\times \rightarrow KT \times \quad KM_Y$ 无法 \checkmark

4. 行程控制电路



① $SB_F \checkmark \rightarrow KM_F \checkmark \rightarrow KM_F$ 主触点 \checkmark

\rightarrow 电机正向起动 \rightarrow 工作台右移 & 自锁

② 右移至预定位置撞击 $ST_1 \rightarrow ST_1$ 动断触点 $\times \rightarrow KM_F \times$

ST_1 动合触点 $\checkmark \rightarrow KM_R \checkmark$

\rightarrow 电机反转 \rightarrow 工作台左移 & 自锁

③ 左移至预定位置撞击 $ST_2 \rightarrow$ 与 ② 同理

④ $SB_p \checkmark$ 或撞击极限位置 ST_3 、 $ST_4 \rightarrow$ 控制电路 \times 电机 \times

第四节 安全用电

知识梳理

一 触电方式

1. 单相触电

- ① 电源中性点接地
 - 人站在地面上触及一根相线，此时人体处于相电压下，危险性较大
- ② 电源中性点不接地
 - 输电线与大地间有分布电容，交流电可经分布电容构成通路而流过人体
 - 若输电线对地绝缘性能差（绝缘电阻小），则可能通过人体形成一定电流
- ③ 接触正常不带电的金属体
 - 当电气设备内部绝缘损坏而与外壳接触，将使其外壳带电
 - 人触及带电设备的外壳时，相当于接触相线 → 单相触电 大多数触电事故属于这一种

2. 双相触电

- 人同时与两根相线接触，此时人体处于线电压下，更加严重

二 保护接地与保护接零

1. 保护接地

- 将电气设备的金属外壳接地
- 起到分流作用，减少通过人体的电流（相当于将接地电阻与人体电阻并联）
- 适用于中性点不接地的三相供电系统，中性点接地时不能用

2. 保护接零

- 将电气设备的外壳接到中性线（零线）上
- 绝缘损坏时形成单相短路，自动开关自动断开，切除电源
- 适用于中性点接地的三相四线制供电系统
 - 若负载不平衡，会再引出一条保护用的中性线，形成三相五线制
- 保护接零导线中不允许安装开关和熔断器，不能与保护接地同时使用

三 电气防火与防爆

原因：内部短路、严重过载、触点接触不良、绝缘损坏或老化、散热部件或通风设施损坏

措施：选用合理的电气设备类型、严格遵守操作规范、定期检查、保持通风、耐火材料、保护装置

四 静电的防护

工业产品生产或运输过程中可能产生和积累静电，有时可高达数万伏，放电形成的火花可引发火灾和爆炸

常用防静电措施：限制产生、提供转移和泄漏路径、利用异性电荷中和、采用防静电接地

考点解析

考点一 变压器变换作用计算

例 1 一台单相降压变压器，一次侧电压为 6000V，二次侧电压为 220V，如果二次侧接入一个 220V、50kW 的电阻炉，若不考虑变压器的绕组阻抗，则一次侧电流 $I_1 =$ _____A。（保留两位小数）

解 由变压器的变换关系： $\frac{U_1}{U_{20}} = K \quad I_2 \approx KI_1$

由电阻炉的特性，其接入 220V 的电压时，电流 $I_2 = \frac{P}{U_{20}}$

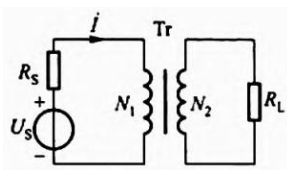
联立得到 $\frac{P}{U_{20}} \approx \frac{U_1}{U_{20}} I_1$ ，即 $I_1 \approx \frac{P}{U_1} = \frac{50\text{kW}}{6\text{kV}} = 8.33\text{A}$

例 2 如图所示电路中， $R_L = 8\Omega$ ，已知 $N_1 = 300$ ， $N_2 = 100$ ，信号源电压有效值 $U_s = 6\text{V}$ ，内阻 $R_s = 100\Omega$ ，则信号源输出功率 $P =$ _____W。

解 将电路等效为串联电阻电路即可轻松求得输出功率，因此先将变压器及其二次侧负载等效

由 $R'_L = K^2 R_L$ ，其中 $K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{100} = 3$ ，得到 $R'_L = 3^2 \times 8 = 72\Omega$

因此信号源输出功率 $P = \left(\frac{U_s}{R_s + R'_L} \right)^2 R'_L = \left(\frac{6}{100 + 72} \right)^2 72 = 0.088\text{W}$



考点二 电机参数的计算

例 3 某三相异步电动机的额定数据如下表所示，求：

功率	转速	电压	效率	功率因数
45kW	1480 r/min	380V	92.3%	0.88

(1) 磁极对数 p ；(2) 额定转差率 s_N ；(3) 额定电流 I_N ；(4) 额定转矩 T_N

解 (1) 由表得额定转速 1480 r/min，因此磁场转速 $n_1 = 1500$ r/min

$$\text{由 } n_1 = 60 \frac{f}{p} \rightarrow p = 60 \times \frac{50}{1500} = 2$$

$$(2) s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1480}{1500} = 0.013$$

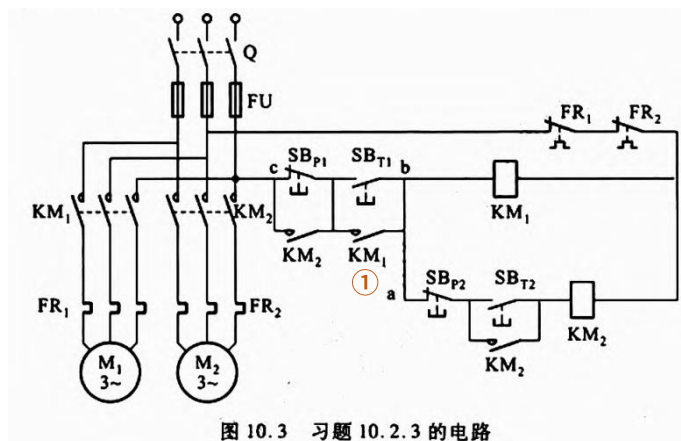
$$(3) \text{由 } \eta = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N} \rightarrow I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \eta \cos \varphi_N} = \frac{45\text{kW}}{\sqrt{3} \times 380\text{V} \times 92.3\% \times 0.88} = 84.2\text{A}$$

$$(4) T_N = 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{45}{1480} = 290.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

注 由于额定转速 n_N 通常略微小于磁场转速 n_1 ，题目有时候不会给出 n_1 ，需要根据 n_N 推测（如由 1480 推出与其最接近的 1500）。额外的计算都是套公式。

考点三 三相电机控制电路的分析

例 4 分析如图所示的控制电路



解 首先关注功能独立的部分，FU 和 FR 都是保护措施，与控制部分无关，因此可以无视

按下 SB_{T1} 时， KM_1 通电，对应主触点闭合，电动机 M_1 起动，同时 KM_1 辅助触点①闭合，形成自锁

按下 SB_{T2} 时，若 KM_1 未通电，则辅助触点①断开，无法构成回路，因此无事故发生

若 KM_1 通电，则触点①闭合构成回路， KM_2 通电，主触点闭合，电机 M_2 起动并形成自锁

按下 SB_{P2} 时， KM_2 断电，电机 M_2 停车，辅助触点断开

按下 SB_{P1} 时，若 KM_2 通电，则 KM_1 回路未断开，无事故发生；

若 KM_2 断电，则按下时 KM_1 断电，因此电机 M_1 停车，同时辅助触点断开

总结： SB_{T1} 起动电机 M_1 ， SB_{T2} 起动电机 M_2 ， SB_{P1} 停止电机 M_1 ， SB_{P2} 停止电机 M_2

但 M_2 必须在 M_1 起动后起动， M_1 必须在 M_2 停止后停止。

- 技巧**
- ① 无视与控制部分关联不大的电器，如 FU、FR 等
 - ② 分析的思路为按下某个按钮后，电路会怎样；依次分析各个按钮后，即可得到最终结果
 - ③ 一些比较经典的结构，比如自锁和互锁，要能够看出来

例 5 分析如图所示的控制电路，其中 KM_1 主触点闭合后电机 M_1 起动， KM_2 主触点闭合后电机 M_2 起动

解

- 按下 SB_T 后， KM_1 通电， KM_1 主触点闭合，电机 M_1 起动
- 同时 KM_1 辅助触点闭合，形成自锁并使 KT 通电
- KT 触点为通电延时闭合触点，一段时间后闭合使 KM_2 通电
- 因此 KM_2 主触点闭合，电机 M_2 起动
- 按下 SB_P 后，控制电路断开，两个电机都停止

因此，该控制电路使 M_1 、 M_2 两台电动机按时间顺序起动， M_1 先， M_2 后

