第一单元

电路基础

单元导入

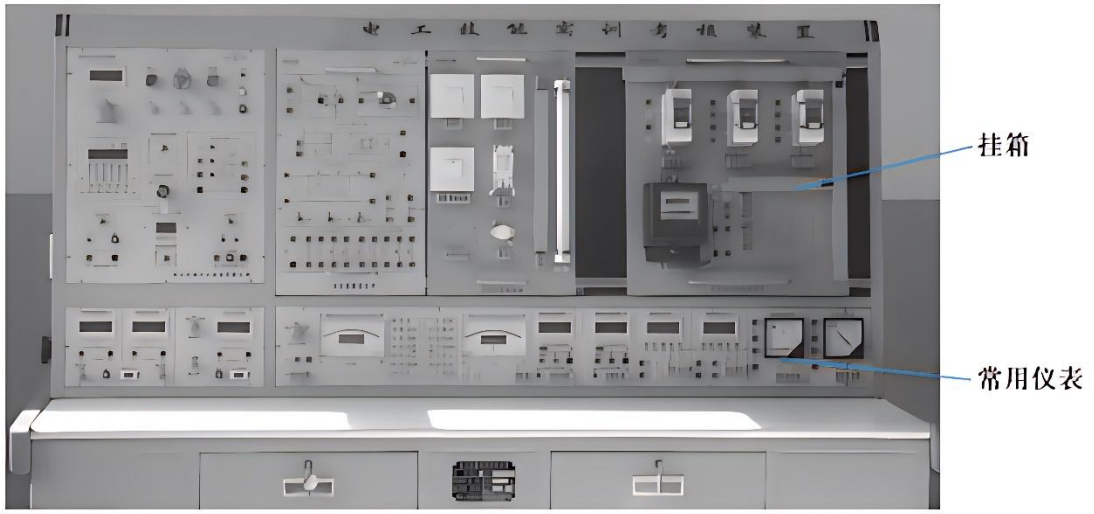
电工实训室认识与安全用电

一、 认识电工实训室

电工实训室是技能实训的重要场所，备有常用电工仪器仪表和若干实训台，如图所示。



电工实训室



实训台

二、常用电工仪器、仪表

1 低压电源

在大多数电子系统（如计算机系统）中，存在着几个需要不同低压的电路，这就需要使用低压电源将市电降压变换后，满足不同电路电压要求。



(a) 指针式　　(b) 数字式

低压电源

二、常用电工仪器、仪表

2 电压表

电压表是指用于测量电压大小的仪表，从功能上分为直流电压表和交流电压表两类，分别用于测量直流电路或交流电路的电压。通常有指针式和数字式两种类型。

（1）数字式电压表





交流电压表并联到被测电路两端时，不需要区分“+”“-”接线端，读数方法与数字式直流电压表相似。

- 读数方法

①选择量程

②连接电压表

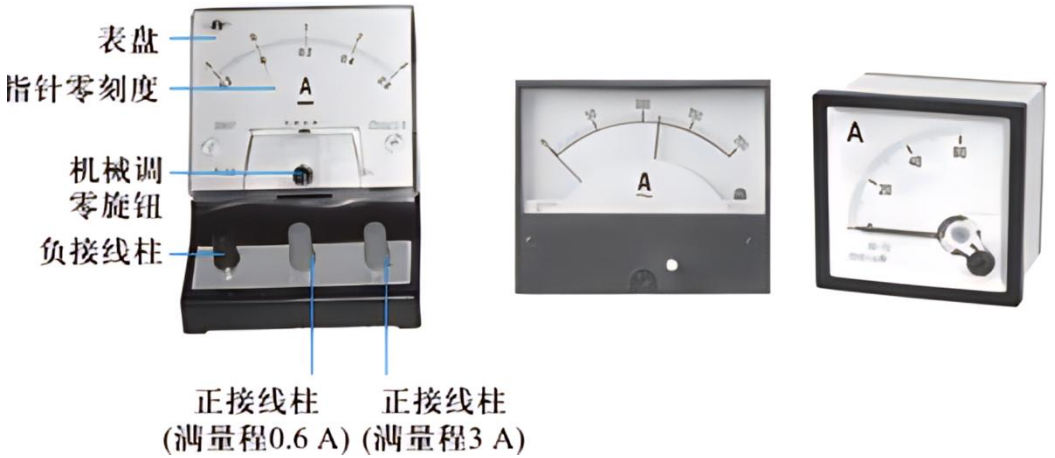
③根据显示屏显示的数值及单位进行读数。

二、常用电工仪器、仪表

2 电压表

电压表是指用于测量电压大小的仪表，从功能上分为直流电压表和交流电压表两类，分别用于测量直流电路或交流电路的电压。通常有指针式和数字式两种类型。

(2) 指针式电压表



指针式交流电压表并联到被测电路两端时，不需要区分“+”“-”接线端，读数方法与指针式直流电压表相似。

- 读数方法

①明确所使用电压表的量程。

②连接电压表。

③读数。

二、常用电工仪器、仪表

3 电流表

电流表是指用于测量电流大小的仪表，从功能上分为直流电流表和交流电流表两类，分别用于测量直流电路或交流电路的电流。通常有指针式和数字式两种类型。

（1）数字式电流表



交流电流表串联到被测电路中时，不需要区分“+”“-”接线端，读数方法与数字式直流电流表相似。

- 读数方法

①选择量程。

②连接电流表。

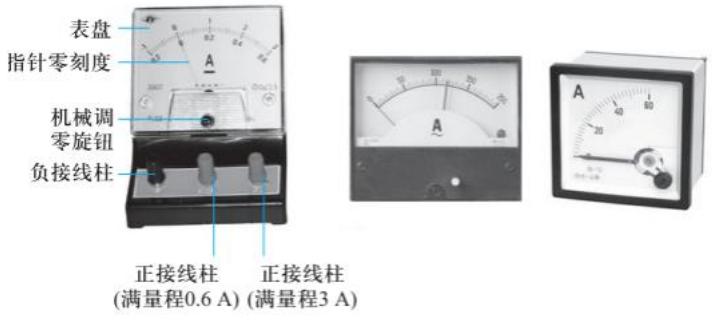
③根据显示屏显示的数值及单位进行读数。

二、常用电工仪器、仪表

3 电流表

电流表是指用于测量电流大小的仪表，从功能上分为直流电流表和交流电流表两类，分别用于测量直流电路或交流电路的电流。通常有指针式和数字式两种类型。

（2）指针式电流表



指针式交流电流表串联到被测电路中时，不需要区分“+”“-”接线端，读数方法与指针式直流电流表相似。

- 读数方法

①明确所使用电流表的量程。

②连接电流表

③读数。

二、常用电工仪器、仪表

4 万用表

万用表是一种多功能、多量程的测量仪表，集测量电压、电流和电阻等功能于一身，有的还可以测电容量、电感量及半导体的一些参数（如β）等，功能强大。常见万用表有数字式和指针式两种类型。





二、常用电工仪器、仪表

4 万用表

电阻挡

①共有 6 个挡，并标注了单位。例如，选择“400”挡，则所测电阻单位为“Ω”；选择“4k、40k、400k”挡，则所测电阻单位为“kΩ”；选择“4M、200M”挡，则所测电阻单位为“MΩ”；

②每个挡位上标注的是此挡的最大量程，即所测电阻的最大值。例如，选择“4k”挡，则被测电阻不允许超过 4kΩ；

③如果测量阻值时显示“OL”，证明所选量程小了，要选大一些的量程。



（a）数字式万用表的电阻挡位



1. 将量程开关拨到电阻挡挡位上，图为“40K”挡；
2. 将红表笔插入“ VΩμΛmA ”插孔，黑表笔插入“COM”插孔，并将两只表笔笔尖分别接触所测电阻的两端（与被测电阻并联）进行测量；
3. 从显示屏上读取测试结果，图为“4.66KΩ”。

（b）数字式万用表测量电阻的方法

二、常用电工仪器、仪表

4 万用表

数字式万用表使用注意事项：

①测电阻时，每个挡位上标注的量程是该挡位所测电阻的最大值，如果被测量电阻阻值超过量程，则显示屏显示“OL”，证明所选量程小了，不能正确测量，同时量程又不能选得过大，过大时测量不准确。

②测量电流时，万用表应串联在被测电路中；测量电压时，万用表应并联在被测电路两端。

③测量结束后，应将挡位开关置于OFF挡位，关闭电源开关。

二、常用电工仪器、仪表

4 万用表

指针式万用表测量电阻注意事项：

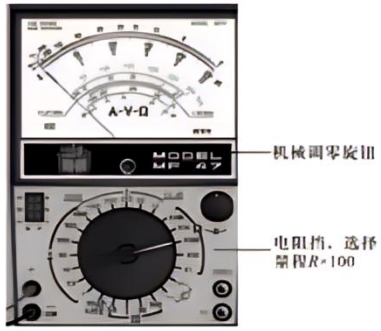
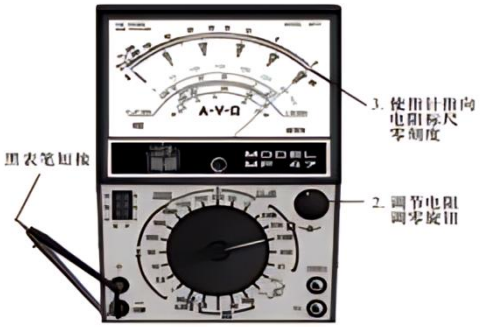
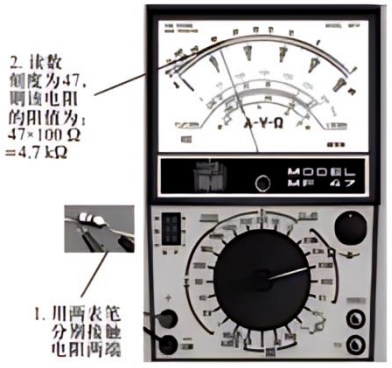
①使用前应先检查指针式万用表指针是否指在零点，若不在零点，应先进行机械调零。测量电阻每次更换新的量程时，在正式测量之前必须先进行电阻调零。

②红表笔插入万用表面板上“+”插孔，黑表笔插入“-”插孔；在测量直流电压或电流时，要注意红表笔接电路正极、黑表笔接电路负极，以免指针式万用表指针反转。但在指针式万用表内部，红表笔与内部电池的负极相接，黑表笔与内部电池的正极相接。

③ 测量时，应根据被测量的种类和量程，调准转换开关的位置；测量电压和电流时，若事先不知道被测量的大小，应把转换开关拨到最大量程试测，然后根据指针偏转情况逐步变换为合适的量程，再进行测量。合适的量程标准：测量电压、电流时，一般以万用表的指针偏转到满刻度的1/2-2/3左右位置时为合适量程。测量电阻时，以万用表的指针偏转到电阻挡中心位置时为合适量程，测量结果比较准确。

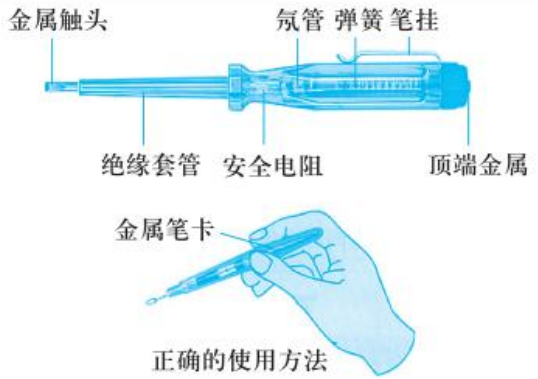
④测量电流时，万用表应串联在被测电路中；测量电压时，万用表应并联在被测电路两端。

⑤万用表使用完毕，务必将转换开关置于交流电压的最高量程挡，以防损坏。

序号	步骤	操作提示	图示
1	机械调零，选择适当的量程	首先进行机械调零，使指针指在零位。将量程转换开关置于电阻挡（Ω）合适的量程。电阻挡的量程有 $R\times1$、$R\times10$、$R\times100$、$R\times1\,k$、$R\times10\,k$ 等，测量前根据预估的被测电阻值，选择合适的量程	
2	电阻调零	把红、黑表笔短接，调节电阻调零旋钮，使指针指到电阻标尺的零位置上（当无法调节到零位时，则应更换电池）	
3	测量，读数	电阻调零后，用两表笔分别接触电阻两端，读出表盘上指针读数，该读数乘以选用的量程即为该电阻的阻值	

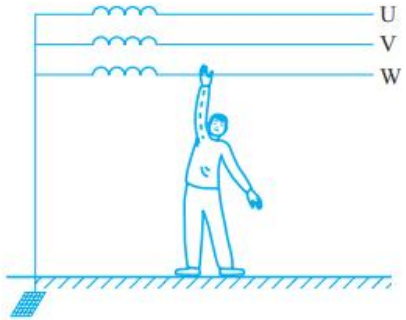
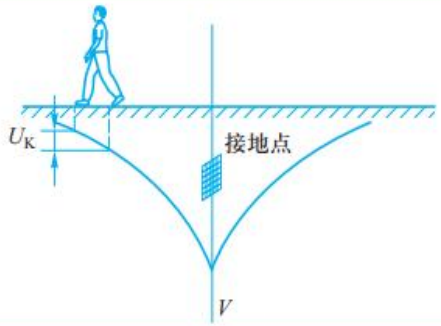
三、常用电工工具

常用电工工具是指维修电工常用的工具，通常有试电笔、钢丝钳、螺丝刀、电工刀、扳手等，其结构、用途和使用方法见下表。

工具		图例及使用	用途	要点提示
试电笔	接触式试电笔	 使用时，用手触及试电笔笔挂或顶端的金属部分，将氖管窗口背光面向操作者，观察试电笔中的氖泡是否发光以判断被测电路是否有电。普通试电笔测量电压范围为60～500 V，低于60 V时试电笔的氖泡可能不会发光	试电笔简称电笔，是一种常用电工工具。除了可以用来检测低压导体和电气设备外壳是否带电外，还可用于区分相线和中性线，区分交流电和直流电，区分直流电的正负极等	接触式试电笔使用时，应注意以下事项： （1）使用前，首先要检查试电笔里有无安全电阻，再直观检查试电笔是否损坏，有无受潮或进水，检查合格后才能使用 （2）使用时，一定要用手触及试电笔笔挂或顶端的金属部分，否则，因带电体、试电笔、人体与大地没有形成回路，试电笔中的氖泡不会发光，造成误判。但不能用手触及试电笔前端的金属探头，这样做会造成人身触电事故

四、安全用电常识

1 常见的触电类型

方式	图例	说明
单相触电		单相触电是指人体触及一根带电导体或接触到漏电的电气设备外壳，此时人体承受的电压是电源的相电压，在低压供电系统中是220 V
两相触电		两相触电是指人体的两个部位分别触及两相带电导体，此时加在人体触电部位两端的电压是电源的线电压，在低压供电系统中是380 V
跨步电压触电		跨步电压触电是指在高压电网接地点或防雷接地点及高压相线断落或绝缘损坏处，有电流流入接地点，电流在接地点周围土壤中产生电压降，当人体走近接地点附近时，两脚之间就有电位差，由此引起的触电事故称为跨步电压触电。步距越大、离接地点越近，跨步电压也越大。已受到跨步电压威胁者，应采取单脚或双脚并拢方式迅速跳出危险区域

四、安全用电常识

2 电流对人体的危害及触电急救

电流对人体的危害

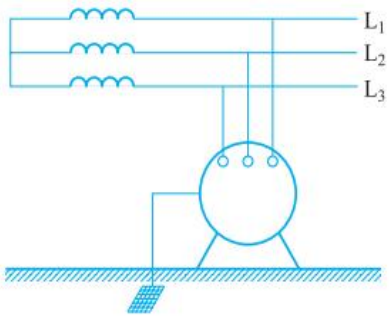
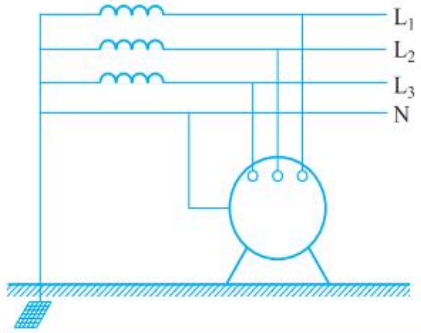
电流对人体的伤害程度，与流过人体电流的频率、大小、通电时间的长短、电流流过人体的路径，以及触电者本身的情况有关。

方法		图例	说明
脱离电源			可用绝缘棒拨开触电者身上的电线，或者用钢丝钳切断电源回路，也可直接迅速拉开刀闸或拔去电源插头，使触电者迅速脱离电源
现场急救	发现有人触电，除及时拨打“120”联系医护部门外，还需立即进行现场急救。急救的方法有口对口人工呼吸抢救法和人工胸外按压抢救法		
	口对口人工呼吸抢救法		若触电者呼吸停止，但心脏还有跳动，应立即采用口对口人工呼吸抢救法
	人工胸外按压抢救法		若触电者虽有呼吸但心脏停止跳动，应立即采用人工胸外按压抢救法
	两种方法同时采用		若触电者伤害严重，呼吸和心跳都停止，或瞳孔开始放大，应同时采用上述两种方法进行抢救

四、安全用电常识

3 预防触电的常用措施

（1）保护接地和保护接零

方式	定义	图例	说明
保护接地	在电源中性点不接地的低压供电系统中，将电气设备的金属外壳与埋入地下的接地体可靠连接，这种方法称为保护接地。通常接地体为钢管或角铁，接地电阻不允许超过4 Ω		当设备因绝缘损坏而漏电后，人体触及带电的外壳时，人体相当于接地电阻的一条并联支路。由于人体电阻远远大于接地电阻，此时通过人体的电流很小，保证了人体的安全
保护接零	在电源中性点已接地的三相四线制供电系统中，将电气设备的金属外壳与电源中性线可靠相连，这种方法称为保护接零		当设备的某相因绝缘损坏而碰外壳时，就会通过设备外壳形成该相与中性线间的单相短路，其很大的短路电流将使电路中的保护电器动作或该相熔丝熔断，从而切断电源，消除触电危险

（2）安装漏电保护器









四、安全用电常识

4 电气火灾的防范

电气火灾一旦发生，首先要切断电源，进行扑救。带电灭火时，切忌用水和泡沫灭火剂，应使用不导电的灭火剂，如二氧化碳灭火器、干粉灭火器、水基灭火器、气溶胶灭火器、七氟丙烷灭火器等。

五、安全操作规范

1 电工操作安全规范

（1）要熟练掌握电工基本操作技能，熟悉本岗位工作的规章制度和安全技术知识。

（2）工作前必须检查工具、测量仪表和防护用具是否完好，工作中必须按正确方法规范操作。

（3）工作时要戴安全帽，穿长袖衣服，戴绝缘手套，使用绝缘的工具，并站在绝缘物上进行操作。

（4）任何电气设备或线路在未经验电、确认无电之前一律视为有电，电气设备停电后即使是事故停电，在未拉开有关电源开关和采取安全措施以前不得触及设备，以防突然来电。

（5）检修电气设备或线路时应断电，并在电源开关处挂上“禁止合闸、有人工作”的警示牌，不准在运行中拆卸修理电气设备。必须在低压配电设备上进行带电工作时，要经领导批准，并要有专人监护。带电工作时，严禁使用锉刀、钢尺等金属工具进行工作。

（6）电气设备拆除送修后，对可能来电的线头应用绝缘胶布包好，线头必须有短路接地保护装置，凡拆除的线路，带电的线头须包好，整齐可靠，安装照明灯开关必须控制相线，所用导线及保险丝其容量须符合规定标准，选用开关应大于所控设备的容量。

（7）拆卸和装配电气设备时，操作要平稳，用力应均匀，不要强拉硬敲，防止损坏电气设备，任何检修工作完成后，必须彻底清扫工作场地和工作台面，防止灰尘等杂物落入电气设备内造成故障。

（8）由专门检修人员修理电气设备时，值班电工要负责进行登记，完工后要做好交待，共同检查，然后方可送电。禁止带负载操作动力配电箱中的电源开关。

（9）电气设备的金属外壳必须接地(或接零)，接地线要符合标准，不准断开带电设备的外壳接地线。

（10）动力配电盘、配电箱、开关、变压器等各种电气设备附近，不准堆放各种易燃、易爆、潮湿和其他影响操作的物件，严禁在工作场地，特别是易燃、易爆物品的生产场所吸烟及明火作业，防止火灾发生。

（11）对工作要认真负责，对机器设备、工具、原材料等要极为珍惜，具有较高的道德风尚和高度的主人翁责任感。具有较强的组织纪律观念，服从统一指挥。

（12）工作现场应经常保持整齐清洁，环境布置合乎要求，工具摆放合理整齐。

五、安全操作规范

2 电工实训安全操作规程

（1）实训进行中应正确操作，按电路图接线，元件连接要牢固，爱护元件、仪表，避免造成事故。

（2）根据实训要求连接线路后，认真检查，确认电路无误，并经教师允许后方可接通电源，未经教师允许，不得通电。接通电源后，如发现异常现象，应立即切断电源，并报告指导教师，检查故障原因。实训中要互相关心，互相提醒，互相监护，及时告知同组同学。实训时要严肃认真，讨论问题时应断开电源。

（3）实训过程中，如出现异常现象，应立即切断电源，并报告指导教师，检查故障原因。

（4）实训结束拆除线路时，务必断开电源，严禁带电操作。

第 一 章

直流电路

目录

01 电　　路

02 电路的常用物理量

03 电阻元件及欧姆定律

04 电　阻　的　连　接

05 基 尔 霍 夫 定 律

06 戴　维　宁　定　理

01 电 路

一、电路的组成

电路是电流流经的路径，包括电源、负载、连接导线、控制装置组成。

电源：提供电能，把其他形式的能转换为电能；

负载：取用电能，把电能转换为其他形式的能；

连接导线：传输电能；

控制装置：接通、断开、保护电路。

二、电路的状态

- 通路（闭路）：电路各部分连接成闭合电路，电路中有电流通过。
- 开路（断路）：电路断开，电路中无电流通过。
- 短路（捷路）：当电源两端用导线直接相连，电路中的电流不经负载，而只经过连接导线直接流回电源。
- 短路时电流很大，有可能损坏电源和电气设备等，应尽量避免。为此，电路中一般要安装熔断器。

三、电路中常用的电气符号

在电路图中，用国家统一规定的图形符号来表示电路组成的元器件和连接情况。

	直流电		铁心线圈		交流电
	开关		抽头线圈		电阻
	电池		直流发电机		电位器
	线圈		交流发电机		电容
	电流表		交直流电		不连接导线
	电压表		接机壳		熔断器
	二极管		接地		灯
	直流电动机		连接导线		交流电动机

技能实训　组装简单电路

一、实训目的

学会组装简单电路。

二、实训要求

利用所提供的器件，完成简单电路的组装，熟悉简单电路的 组成。

三、实训器材

指示灯1只，开关1个，电池盒1个，5号电池两节，导线若干。

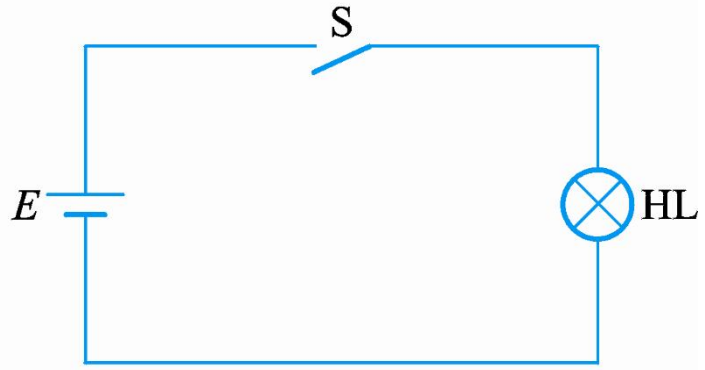
四、实训步骤

1. 设计一个简单电路，并在面包板上组装。

2. 检查电路无误后，闭合开关，观察指示灯是否发光。

五、注意事项

电路连接过程中开关要断开。



分组讨论，按上图连接电路。进一步理解短路、断路的含义。

02

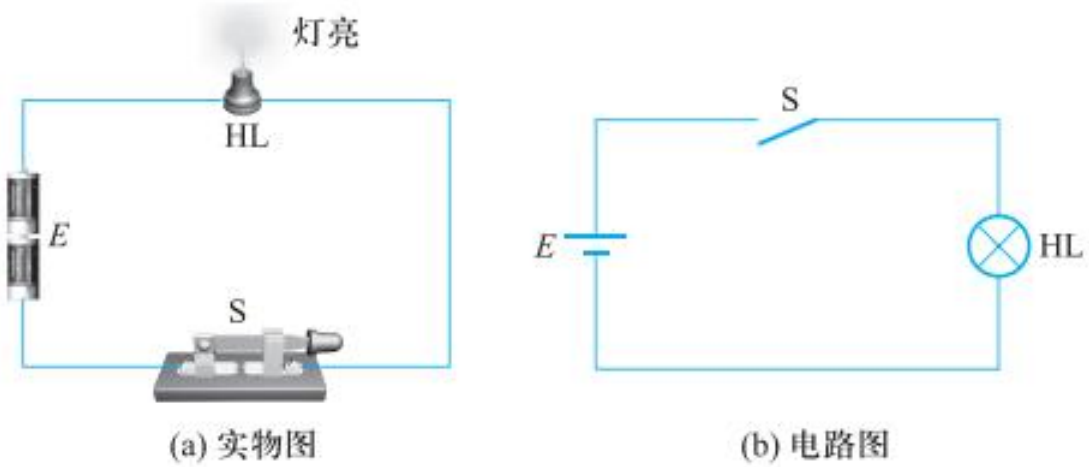
电路的常用物理量

一、电流

1 电流的形成

如右图示电路，当开关闭合时灯亮，指示灯上便有电流流过。

电荷的定向移动形成电流。在金属导体中自由电子的定向移动形成电流；在电解液中正负离子的定向移动形成电流；在半导体中自由电子和空穴的定向移动形成电流。而绝缘体之所以不容易导电是因为缺少大量自由电荷。



(a) 实物图　　(b) 电路图

一、电流

2 电流的大小

电流的大小定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量，记为

$$I = q / t$$

式中，I为电流，在国际电位制中，电流的单位安【培】，符号为A。实际应用中还有毫安（mA）、微安（μA）等较小单位，$1\,A = 10^3\,mA = 10^6\,\mu A$；q为电荷量，单位为库仑，符号为C；t为时间，单位为秒，符号为s。1秒钟内若通过导体横截面的电荷量是1库仑，则电流大小为1安。

一、电流

3 电流的方向

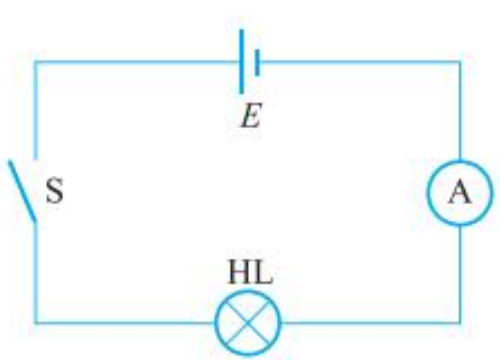
正、负两种电荷的定向运动都能形成电流，通常**规定正电荷的定向移动方向**为电流的方向。

一、电流

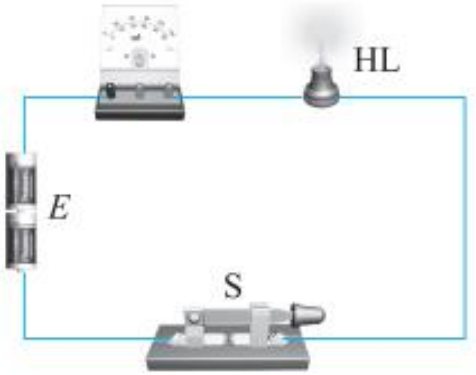
4 电流的测量

电路中直流电流的大小可用直流电流表测量。

按右图所示电路，将直流电流表串联于被测电路中，让电流从电 流表“+”接线柱流入，从“-”接线柱流出，闭合开关，测量出流过指示灯的电流。



(a) 原理图



(b) 实物图

二、电压与电位

1 电压的形成

通常情况下，导体中电荷的运动是杂乱无章的，因而不能产生电流。要使导体中有电流通过，导体两端必须要有电压的作用，正像由于重力或压力作用，水才会从高处流向低处或定向流动一样。电压是由电荷之间的引力或斥力即电场力的作用产生的。

二、电压与电位

2 电压的大小

电压定义为单位正电荷从a点移动到b点电场力所作的功。记为

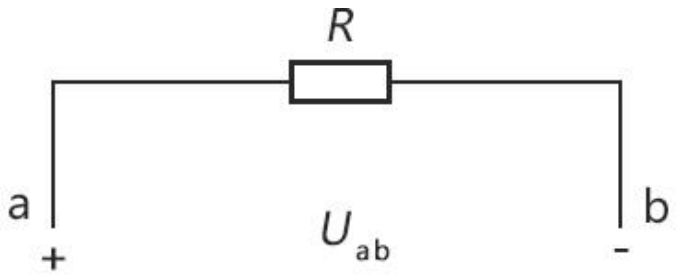
$$U_{ab}=W/q$$

式中，U_{ab}为a、b两点间电压，在国际单位制中，电压的单位是伏【特】，符号为V；也常用到千伏（kV）、毫伏（mV）、微伏（μV）等单位，$1kV=10^{3}V$,$1V=10^{3}mV=10^{6}\mu V$ 。若1库仑正电荷从a点移动到b点电场力所作的功为1焦，则a、b两点间的电压为1伏。

二、电压与电位

3 电压的方向

电压是相对电路中的两点而言的，所以用带双下标的字母U表示，例如U_{ab}表示a点到b点的电压。在电路图中，电压的方向用“+”和“-”两个符号表示，分别读作电压的正极和负极。与电流一样，电压的实际方向也很难判断，所以对电路进行分析计算时，也要任意假设电压的参考方向，并在电路图中标出，如图a所示。



图a电压的参考方向

二、电压与电位

4 电位

电路中某点相对于参考点的电压称为该点的电位，用 V表示。例如图a中，用 Va，表示a点的电位，用 Vb表示b点的电位，引入电位的概念后，电路中任意两点间的电压即为该两点之间的电位差，例如a、b之间的电压记为：

$$U\mathrm{ab} = V\mathrm{a} - V\mathrm{b}$$

参考点的电位规定为零电位，一般选用大地作为 参考点，在电子仪器中常把金属机壳或电路的公共节点作为参考点。

电位的单位与电压单位相同。电位没有方向，但有相对于参考点的正、负电位，规定高于参考点的电位为正，反之为负。

三、电动势

不同的电源将其他形式的能转化为电能的本领不同，通常用电动势这个物理量来衡量电源将其他形式的能转化成电能本领的大小。电动势越大，表示这个电源将其他形式的能转化为电能的本领越大。

电动势用字母E来表示，电动势的单位与电压的单位相同，但方向由电源的负极（低电位）指向正极（高电位）。

四、电功与电功率

1 电功

导体两端加上电压时，内部就会建立电场，电场力会推动自由电荷定向移动，设导体两端的电压为 U，时间 t 内通过导体横截面的电荷量为 q，则电场力所做的功为

$$W=qU=IUt$$

式中，W代表电功，国际单位是焦【耳】，符号为 J，实际中常用千瓦时（kW·h ）（俗称为度），换算关系为

1度=1 kW·h=1000×3600J=3.6×10^6J

四、电功与电功率

2 电功率

➢单位时间内电流所做的功。用 P 表示，记为 $P=W/t=UI$

国际单位制中，功率的单位是瓦，符号为W；工程中常用千瓦（kW）和兆瓦（MW)。

$$1MW=10^3kW=10^6W$$

小结

教师与学生一起回顾本节知识，引导学生在理解的基础上记忆。为便于学生记忆，教师总结出顺口溜，用多媒体投影，让学生在轻松的气氛下掌握知识。

电压电位电动势，单位相同意不同。

电压电位有联系，电压就是电位差。

电压电流因和果，参考方向很重要。

电功率名牌上标，度是电能的单位。

03 电阻元件及欧姆定律

一、 电阻元件

1 电阻

- 电流流动过程中会受到一定的阻碍作用，这种阻碍作用形成电阻。
- 电阻用字母*R*表示，单位是Ω（欧）。
- 利用电阻的这种特性制成的元件称为电阻器，简称电阻。
- 电阻器的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，作为分流器、分压器和负载使用。

一、电阻元件

2 常见电阻器

- 导体电阻的大小取决于导体材料、长度、横截面积。
- 电阻器是由各种不同电阻率的材料制成的。
- 按其阻值是否可变，分为固定电阻和可变电阻。

一、 电阻元件

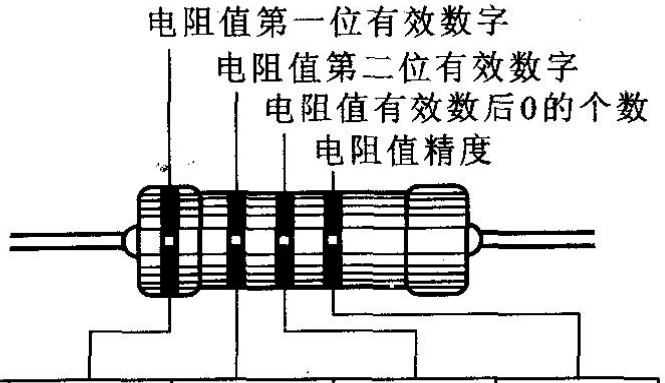
3 电阻器的主要参数

电阻器的标称值和误差

表示电阻器的阻值和误差的方法有两种：一是直标法，二是色标法。

➢直标法是将电阻的阻值直接用数字标注在电阻上。

➢色标法是用不同颜色的色环来表示阻器的阻值和误差。色环通常有四道，第一道、第二道各代表一位数字，第三道则代表零的个数，第四道代表误差。如图所示。



颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色 环倍数	第四色 环误差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	
红	2	2	10^2	
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	
蓝	6	6	10^6	
紫	7	7	10^7	
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	
金			10^{-1}	±5%
银			10^{-2}	±10%
无色				±20%

二、欧姆定律

1 部分电路的欧姆定律

流经负载的电流*I*与加在电路两端的电压成正比，与电路的电阻*R*成反比，这一结论称为欧姆定律。

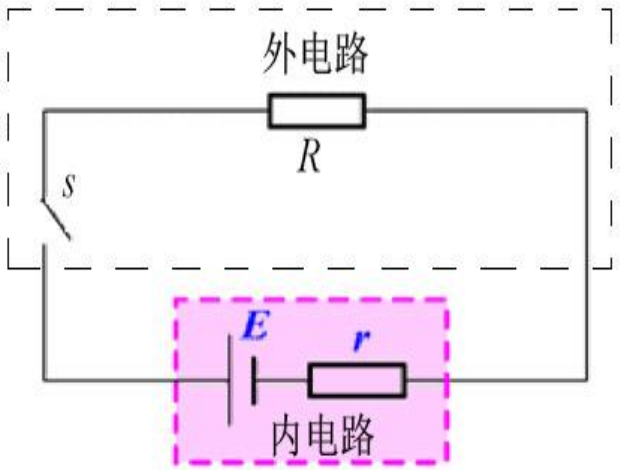
$$I = \frac{U}{R}$$

二、欧姆定律

2 全电路欧姆定律

如图所示为最简单的全电路。全电路欧姆定律的内容是：通过全电路的电流，与电源电动势成正比，与全电路的电阻成反比，用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + r}$$



二、欧姆定律

3 端电压

- 式$E = IR + Ir$ 中，IR 称为外电路的电压降，也是电源两端的电压，简称端电压；Ir 称为内电路的电压降。
- 断路时端电压等于电源电动势。
- 端电压随电路电流的增大而减小，原因在于电源存在内阻，所以我们希望电源内阻小一些好，这样内电阻分压小，输出的端电压就大一些。

技能实训 用万用表测量电阻阻值

- 在使用万用表的电阻挡测量电阻之前，把万用表转换开关放在电阻挡上，选择适当的量程。
- 首先应进行电阻调零。
- 用两表笔分别接触两管脚，读出表盘上指针读数，该读数乘以选用的量程数值即为该电阻的阻值。
- 测量时不要同时用手接触电阻两侧导电部分，被测电阻要与原电路断开，以免影响测量结果。
- 一般以指针摆至电阻刻度的中间位置处为好。

小结

一、电阻元件

1.电阻

2.常见电阻器

3.电阻的主要参数

4.用万用表测电阻器的阻值

二、欧姆定律

1.部分电路的欧姆定律.

2.全电路欧姆定律

3.端电压

04 电阻的连接

一、电阻的串联

1 电阻串联的特点

(1) 电路中流经各电阻的电流处处相等。

(2) 电路中的总电压等于各个电阻上的电压之和。

(3) 电路的总电阻(等效电阻)等于各串联电阻之和。

(4) 电路中各个电阻两端的电压与他的阻值成正比。

一、电阻的串联

2 电阻串联的应用

（1）用几个电阻的串联来获得阻值较大的电阻。

（2）用几个电阻的串联构成分压器，使同一电源能提供几种不同电压。

（3）负载额定电压低于电源电压时，可用串联电阻的办法来分得一定电压，满足负载正常工作的需求。

（4）利用串联电阻的方法来限制和调节电路中的电流。

（5）在电工测量中利用串联电阻的方法来扩大电压表的量程。

二、电阻的并联

1 电阻并联的特点

(1) 电路中各并联支路两端的电压相等。

(2) 电路中的总电流等于各支路的电流之和。

(3) 电路中的总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和。

(4) 电路中通过各支路的电流与各支路的电阻成反比。

二、电阻的并联

2 电阻并联的应用

（1）凡是工作电压相同的负载几乎都是并联。

（2）用几个电阻的并联来获得阻值较小的电阻。

（3）如果电路中的电流超过某个元件所能允许的最大电流，可并联一个适当的电阻。

（4）在电工测量中利用并联电阻的方法来扩大电流表的量程。

三、电阻的混联

- 将电阻的混联电路分解成若干个只含串联或并联电阻的电路，并求出它们各自的等效电阻，用等效电阻去代替原电路中的串、并联电阻，将电路简化。
- 根据欧姆定律，计算简化等效电路中的总电流。
- 根据题意，计算所要求的电流和电压。

小结

一、电阻串联

1.电阻串联的特点

2.电阻串联的应用

二、电阻并联

1.电阻并联的特点

2.电阻并联的应用

三、电阻混联

05

基尔霍夫定律

复杂电路的几个概念

- 支路　电路中的各个分支叫支路。
- 节点　三条或三条以上支路的连接点称为节点。
- 回路　电路中的任一闭合路径都称为回路。
- 网孔　内部不含有支路的回路叫网孔。

一、基尔霍夫电流定律（KCL）

- 基尔霍夫电流定律也叫节点电流定律，或简写为KCL。含义为电路中任意一 个节点上，流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和。

$$\sum I_{流入} = \sum I_{流出}$$

- 基尔霍夫电流定律还可以推广应用于任意假定的封闭面。

二、基尔霍夫电压定律（KVL）

➢在任意回路中，从一点出发绕回路一周回到该点时，各段电压(电压降)的代数和等于零。列回路电压方程时，要注意电压的方向。

$$\sum U = 0$$

➢列回路电压方程时，要注意电压的方向。电压以点位降低为正。电阻上两端点电位的高低由通过电阻电流的方向决定；而电源上两端点的电位高低则可直接由电源的正负极确定，正极为高电位，负极为低电位。

➢基尔霍夫电压定律还可用于任一不闭合的电路，开路电压等于从 a 点到 b 点所经路径上全部电压的代数和。

三、基尔霍夫定律的应用

解题步骤：

(1)标出各支路的电流方向和网孔电压的绕向。

(2)用基尔霍夫电流定律列出节点电流方程式。(若电路有*m*个节点，只需列出任意*m* - *1*个独立节点电流方程)

(3)用基尔霍夫电压定律列出网孔的回路电压方程 (*n*条支路列*n*-（*m*-1）个方程)。

(4)联立方程求解各支路的电流 (*n*条支路列*n*个方程)。

(5)确定各支路电流的实际方向。

小结

一、基尔霍夫电流定律（KCL）

电路中任意一个节点上，流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和。

基尔霍夫电流定律还可以推广应用于任意假定的封闭面。

二、基尔霍夫电压定律（KVL）

在任意回路中，从一点出发绕回路一周回到该点时，各段电压(电压降)的代数和等于零。

开路电压U_{ab}等于从 a 点到 b 点所经路径上全部电压的代数和。

三、基尔霍夫定律的应用

06 戴维宁定理

一、二端网络

一个具有两个引出端的电路称为二端网络。

二端网络可分为有源二端网络和无源二端网络两种类型。其中含有电源的二端网络称为有源二端网络，不含电源的二端网络称为无源二端网络，电阻的串联、并联和混联电路都属于无源二端网络。

无源二端网络可以等效成一个电阻。

二、戴维宁定理的内容

对外电路来说，任何线性有源二端网络，都可以用一个理想电压源和一个电阻的串联组合代替。理想电压源的电动势等于原二端网络的开路电压，用U_{OC}表示；电阻等于原二端网络除源后的等效电阻，用R_0表示。这就是戴维宁定理。

三、戴维宁定理的应用

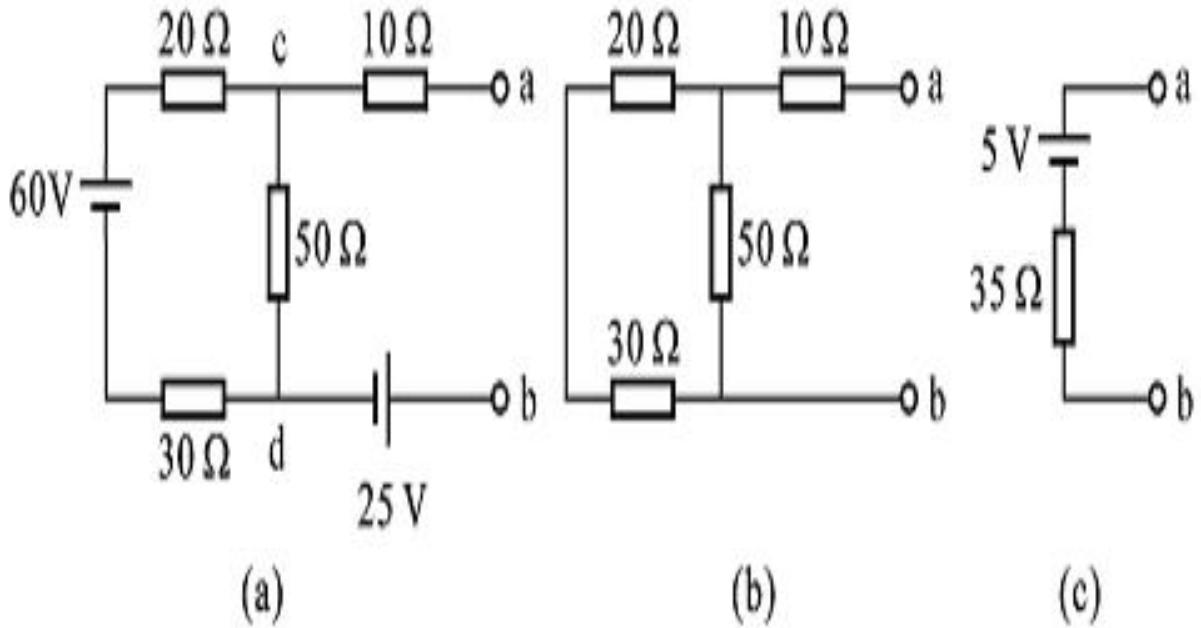
（1）计算开路电压（理想电压源电动势）：开路电压Uab等于从a点到b点所经路径上全部电压的代数和。

（2）计算等效电阻：常用网络除源法进行计算，即将有源二端网络的电源除去，仅保留电源内阻，使其变为无源二端网络，然后求其等效电阻。

（3）做出等效电源模型：将等效电源与等效电阻串联。

三、戴维宁定理的应用

➢用戴维宁定理化简有源二端网络。



三、戴维宁定理的应用

➢求开路端电压

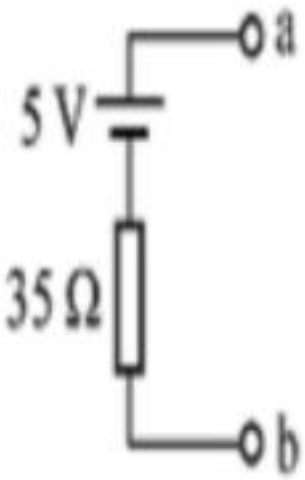
$$U_{oc} = U_{ab} = U_{cd} - 25$$

$$= \left(\frac{50}{30 + 20 + 50} \times 60 - 25 \right) \text{V}$$

$$= 5\,\text{V}$$

➢求输出电阻

$$R_o = R_{ab} = \left[10 + \frac{(20 + 30) \times 50}{(20 + 30) + 50} \right] \Omega = 35\,\Omega$$



➢等效电源模型如图所示。

小结

一、二端网络

1.有源二端网络

2.无源二端网络

二、戴维宁定理的内容

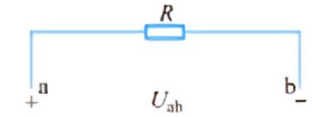
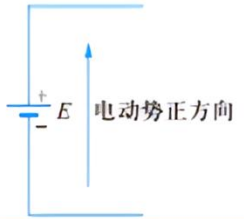
三、戴维宁定理的应用

本章小结

1.电路是用导线把电源、用电器、开关等连接起来组成的电流的路径。电路通常具有通路、断路、短路三种状态。

2.电路中的基本物理量有电流、电压、电位、电动势、电功（电能）、电功率等，见右表。

电路中常用的几个物理量

物理量	符号	单位及换算关系	计算公式及含义	方向
电流	I	kA、A、mA、μA， 1 kA = 10^3 A， 1 A = 10^3 mA = 10^6 μA	$I=\frac{q}{t}$ 单位时间内通过导体横截面电荷的多少	正电荷定向移动的方向
电压	U	kV、V、mV、μV， 1 V = 10^3 mV = 10^6 μV 1 kV = 10^3 V	$U_{ab}=V_a-V_b$ a、b两点间的电位之差	由高电位点指向低电位点 
电位	V	同电压的单位	$U_{ab}=V_a-V_b$	电位没有方向，但有相对于参考点的正、负电位，规定高于参考点的电位为正，反之为负
电动势	E	同电压的单位		由电源的负极（低电位点）指向正极（高电位点） 
电功（电能）	W	J（焦），kW·h（千瓦时，俗称度） 1 kW·h = 1 000×3 600 J = 3.6 × 10^6 J	$W=UIt$ 电流在一段电路上所做的功等于这段电路两端的电压U、电路中的电流I和通电时间t三者的乘积	
电功率	P	W，kW 1 kW = 10^3 W	$P=\frac{W}{t}=UI$ 单位时间内所做的功	

本章小结

3.电阻是导体本身具有的属性。可根据直标法、文字符号法、数码法、色标法识读电阻阻值，也可以使用万用表测量电阻阻值。

4.全电路欧姆定律：全电路里的电流跟电源的电动势成正比，跟内、外电阻之和成反比，即$I=\frac{E}{R+R_0}$。

5.串联电阻具有分压作用，阻值大的电阻分得的电压大。

$$U_1=\frac{R_1}{R_1+R_2}U,\ U_2=\frac{R_2}{R_1+R_2}U$$

6.并联电阻具有分流作用，阻值大的电阻分得的电流小。

$$I_1=\frac{R_2}{R_1+R_2}I,I_2=\frac{R_1}{R_1+R_2}I$$

本章小结

7.既有串联又有并联的电路称为混联电路，计算混联电路的等效电阻，可以采用等效替代法。

8.基尔霍夫电流定律也称节点电流定律，即电路中任意一个节点上，流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和，即$\sum I_{流入}=\sum I_{流出}$。

9.基尔霍夫电压定律：在任意回路中，从一点出发绕回路一周回到该点时，各段电压（电压降）的代数和等于零，即$\sum U=0$。

10.可以用支路电流法求解复杂直流电路中各支路电流。

11.戴维宁定理可以将线性有源二端网络简化成理想电压源与电阻的串联。

第 二 章

电容与电感

目录

01 电 容 元 件

02 磁 场

03 电 磁 感 应

04 电 感 元 件

学习目标

1.具有坚定的理想信念、深厚的爱国情感，热爱专业学习，善于发现生活中的学习点，乐于用所学知识解决实际问题。

2.具有环保意识、安全意识、合作意识，遵守职业道德准则和行为规范，具有高度的责任心。

3.掌握电容的概念、特性，电容器的分类及参数，能识别各种类型的电容器，会判断电容器的好坏。

4.掌握电感的概念、特性，电感器的分类及参数，能识别各种类型的电感器，会判断电感器的好坏。

5.掌握磁场的概念、性质、表示方法及导体在磁场中的受力特性，会判断电流产生磁场的方向及导体在磁场中的受力方向，会计算安培力的大小。

6.掌握电磁感性现象的产生及应用、楞次定律、法拉第电磁感应定律，并会判断电磁感性现象是否产生，会用楞次定律和右手定则判断感应电流的方向。

7.掌握电感现象和涡流，了解在工程技术上对涡流的避免和利用。

01 第一节 电容元件

1.1 电容器

1 电容器的概念

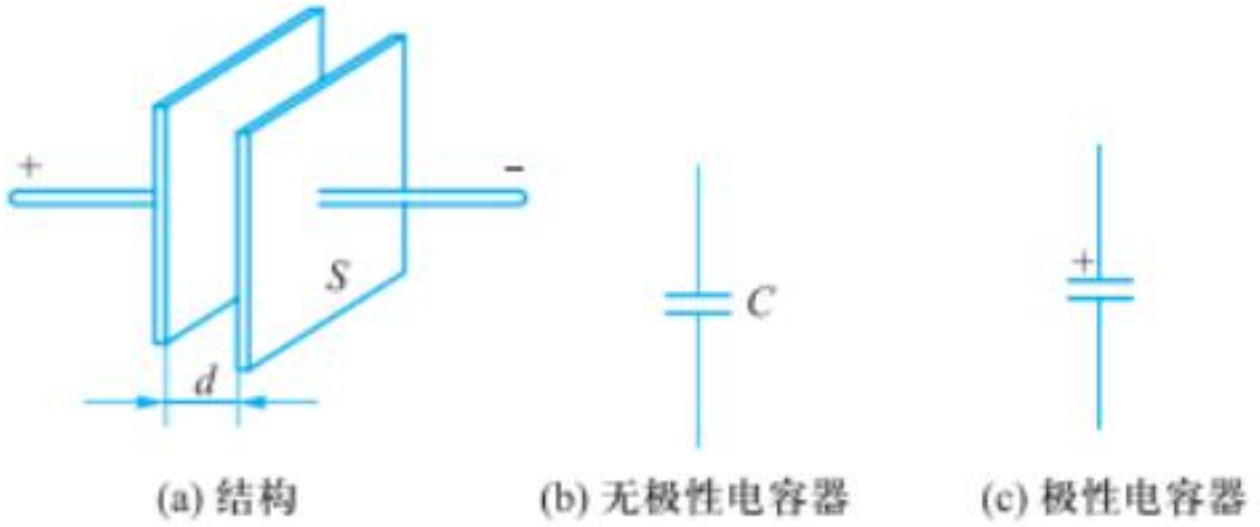
任何两个彼此绝缘而又互相靠近的导体，都可以看成是一个电容器，这两个导体就是电容器的两个极。

电容器的基本作用是储存电荷。

电容器在充、放电过程中都会有短暂的充、放电电流产生。

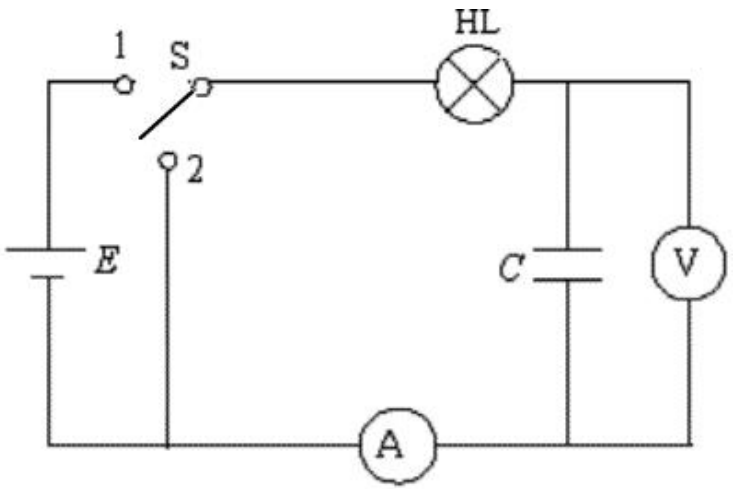
2 平行板电容器

如图所示，两块正对的平行金属板，中间夹上一层绝缘介质，就组成一个最简单的电容器——平行板电容器。平行板电容器的图形符号如图所示。



(a) 结构　(b) 无极性电容器　(c) 极性电容器

2 平行板电容器

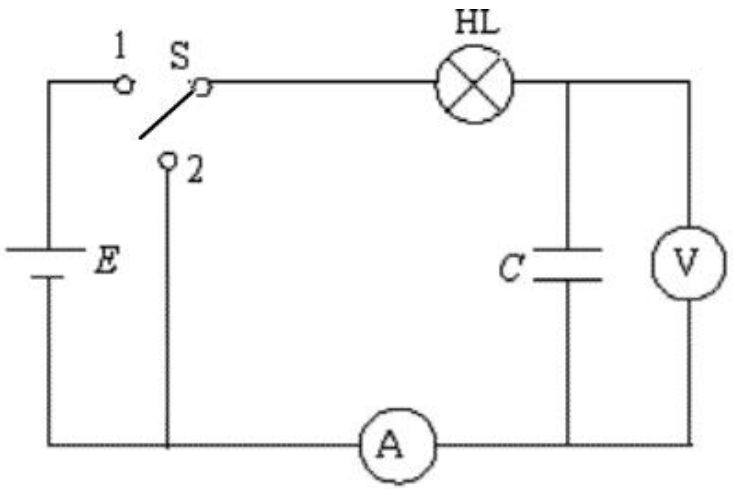


按照图所示连接电容充、放电电路。将开关S分别接在1和2位置时，请观察：指示灯的发光情况，电压表、检流计的指针变化情况?

（1）电容器的充电过程：开关S与1接通，在直流电源的作用下使电容器的两极板上分别带上等量异种电荷。开关S与1接通瞬间电流较大，所以指示灯最亮，检流计指针偏转角度最大，随着电荷的不断积聚，电容两端的电压不断增大，电压表指针偏转角度不断增大，回路电流越来越小，所以指示灯逐渐变暗。当电容两端电压与电源电动势相等时，电流为零，指示灯熄灭，检流计示数为零，电压表示数与电源电动势相等，充电过程结束。

2 平行板电容器

（2）电容器的放电过程：充电后电容器两极板间的电压与电源电动势相等，当开关S与2接通时，电容器相当于电源，与指示灯、检流计形成闭合回路。随着两极板上正负电荷的不断中和，电容器两极板间的电压不断下降，回路电路不断减小，指示灯不断变暗，当电容器两极板的正负电荷完全中和时，两极板间的电压为零，回路电流为零，指示灯熄灭，放电过程结束。



1.2 电容

把电容器所带的电荷Q，跟它两极间的电压U的比值叫做电容器的电容。

$$C = \frac{Q}{U}$$

在国际单位制中，电压的单位是V，电荷的单位是C，电容的点位是F。常用μF（微法）和pF（皮法）作单位。

$$1\text{F}=1F = 10^6\mu F = 10^6 pF$$

电容反映了电容器储存电荷能力的大小，是电容器的固有特性，与电容器是否带电及电容器两极板间有无电压无关。由电容器本身的结构来决定，包括两极板正对面积、两板间距离及板间的绝缘介质的材料。

1.3 电容器的参数级分类

1 电容器的分类

电容器由于用途和要求不同而种类繁多。从电容量是否可变来分，常用的电容器可分为固定电容器、可变电容器、半可变的容器。

根据中间绝缘材料的不同又分为：空气电容器、电解电容器、纸质电容器、云母电容器、油浸电容器、陶瓷电容器、涤纶电容器、聚苯乙烯电容器等。

电解电容器是有正负极之分的，使用时不可将极性接反，否则会将电解电容器击穿。

1.3 电容器的参数级分类

2 电容器的参数

标称容量电容器上所标明的电容值称为标称容量。电容器的标称容量和实际容量之间是有差额的，这一差额称为电容器的误差。

额定工作电压 电容器的外壳上一般都标有他的额定工作电压值，电容器使用时加在电容器上的电压不应超过他的额定工作电压值。

如果该电容器用在交流电路中，应使交流电压的最大值不超过他的额定工作电压值。

1.4 电容器的质量判别

利用电容器的充放电现象，可用万用表的电阻挡（$R\times100\ \Omega$或$R\times1\ k\Omega$）来判别较大容量电容器的质量好坏。

将万用表的表笔分别与电容器的两端相接，若指针偏转后又很快回到接近于起始位置的地方，则说明电容器的质量很好，漏电很小；若指针回不到起始位置，停在标度盘某处，说明电容器漏电严重；若指针偏转到零欧姆位置后不再回去，说明电容器内部短路；若指针根本不偏转，则说明电容器内部可能断路，或电容器容量太小，不足以使指针偏转。

小结

1.电容器的基本作用是储存电荷，电容反应了电容器储存电荷能力的大小。

2.电容器的主要参数有：电容值、允许误差、工作电压值。

3.有极性电容器，在使用时一定要区分电容的正负极，不可接反。

4.有极性电容的极性可以通过外观引线的长短或外壳标注识别。

5.用万用表的电阻挡检测较大电容量电容器质量的好坏。

02 磁　　场

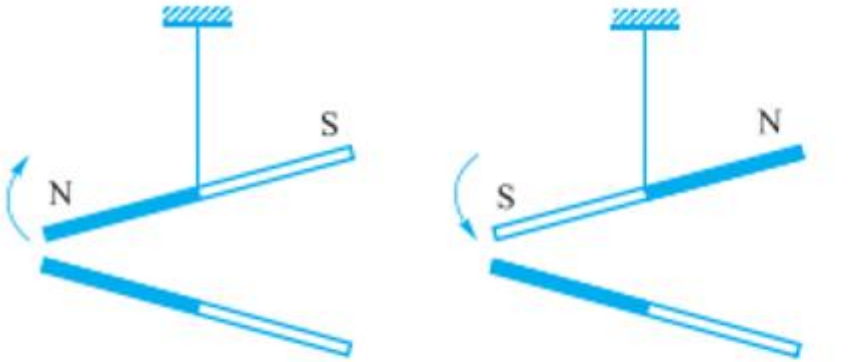
2.1 磁场及其主要物理量

1 磁场与磁感线

具有吸引铁、钴、镍等物质的性质称为磁性。具有磁性的物质叫做磁体。

磁体上磁性最强的地方称为磁极。磁体有两个极，S极和N极。磁极之间具有同名磁极互相排斥，异名磁极互相吸引的特性。

磁极之间的相互作用是通过磁场发生的。磁场是一种看不见的特殊物质。



(a) 同名磁极互相排斥　(b) 异名磁极互相吸引

图1.2.8　磁极之间存在相互作用力

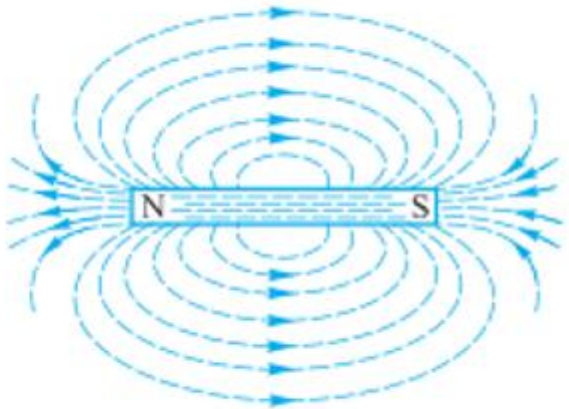


图1.2.9　条形磁铁的磁感线

2 电流的磁场——通电直导线的磁场

通电导线中的电流方向决定了该导线周围磁场的方向。

通电直导线中电流的磁感线方向与电流方向之间的关系可以用安培定则(也叫右手螺旋定则)来判定。

用右于握住导线，让伸直的大拇指所指的方向与电流方向一致，那么弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。



(a) 通电直导线磁场



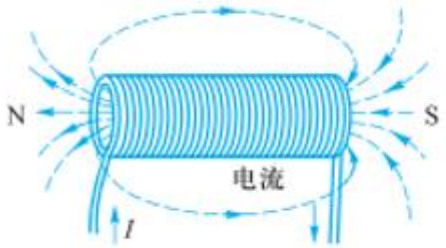
(b) 安培定则

2 电流的磁场——环形电流的磁场

环形电流磁场的磁感线方向与电流方向之间的关系可用安培定则来判断，即让右手弯曲的四指与环形电流的方向一致，伸直的大拇指所指的方向就是环形导线中心磁感线的方向。

2 电流的磁场——通电螺线管的磁场

通电螺线管磁场的磁感线方向与电流方向之间的关系，也可以用安培定则来判定，即用右手握住螺线管，让弯曲的四指所指的方向与电流方向一致，大拇指所指的方向就是螺线管内部磁感线的方向。



(a) 通电螺线管的磁场



(b) 安培定则

3 磁感的主要物理量——磁感应强度

用磁感应强度来表示磁场的强弱。磁感应强度用字母*B*表示，单位是T（特[斯拉]）。

磁感应强度是矢量，某点的磁感应强度的方向就是该点的磁场方向。

3 磁感的主要物理量——磁通量

磁通量是描述磁场在某一范围内分布情况的物理量。

在匀强磁场中，在与磁感线垂直的某截面上，截面积与磁感应强度的乘积称为通过该截面的磁通量，用字母Φ表示。

磁通量的计算公式：

$$\Phi = BS$$

3 磁感的主要物理量——磁导率

磁导率是表示物质导磁性能的物理量，用字母μ表示，单位是H/m。

真空中的磁导率是一个常数，$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$H/m，空气、铜、铝等物质与真空中的磁导率相近，铁磁物质的磁导率比真空中的磁导率大几千甚至几万倍。

3 磁感的主要物理量——磁场强度

磁场强度H是计算磁场所用的物理量，其大小为磁感应强度B和导磁率μ之比。磁场强度H是矢量，其方向与磁感应强度B方向相同，国际单位是：A/m（安培/米）。

磁场中各点磁场强度H的大小只与产生磁场的电流I的大小和导体的形状有关，与磁介质的性质无关。

2.2 磁路及交流铁心线圈

1 磁路

磁通经过的闭合路径称为此路。如图所示，线圈中通以电流后，大部分磁感线沿铁心、衔铁和工作气隙构成回路，这部分磁路称为主磁通。还有一小部分磁通，它们不经过工作气隙和衔铁，而经过空气形成葫芦，这部分磁通称为漏磁通，可忽略不计。

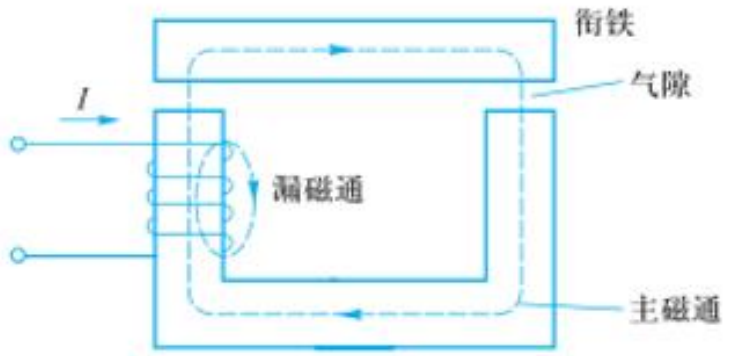
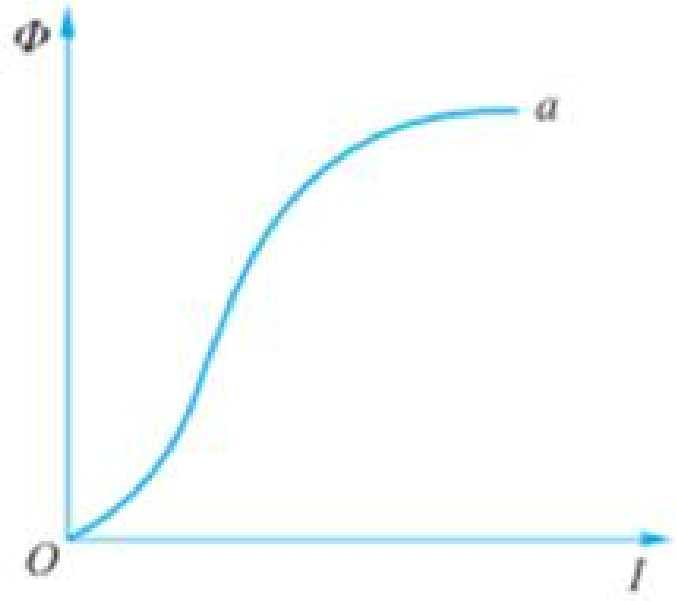


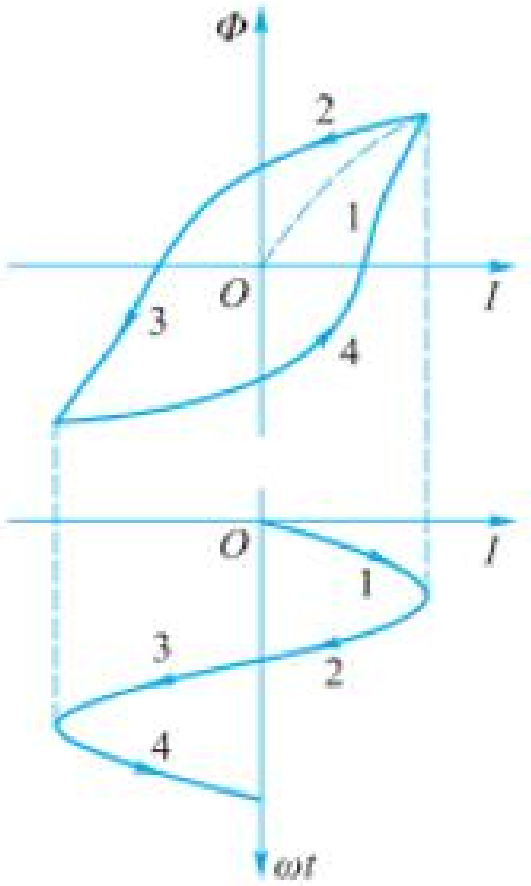
图1.2.13　磁路

2 磁饱和

空心电感线圈是一个线性元件，磁通与产生它的电流（励磁电流）成正比。而铁心线圈是一个非线性元件，磁通与励磁电流的关系为一条曲线，通常称为磁化曲线，如图所示。由曲线可以看出，当励磁电流和主磁通较小时，两者基本上成正比；而铁心中的磁通量达到一定数值后，当励磁电流增大时，磁通量基本不变。这种现象称为磁饱和。



3 磁滞和磁性材料



当铁心线圈通入交流电时，铁心会随交流电的变化而被反复磁化。磁化过程中，磁通的变化滞后于线圈电流的变化，这种现象称之为磁滞。反复磁化形成的封闭曲线称为磁滞回线，如图所示。铁心线圈通入甲流电时，铁磁材料被反复磁化需要消耗一定的能量，称为磁滞损耗。磁滞损耗是引起铁心发热的原因之一。

磁滞损耗小的铁磁材料称为软磁材料，这类材料的特点是在反复磁化过程中形成的磁滞回线狭长，面积小，容易磁化和退磁。

磁滞损耗大的铁磁材料称为硬磁材料，这类材料的特点是在反复磁化过程中形成的磁滞回线宽，面积大，充磁能够保持较强的剩磁。

2.3 磁场对电流的作用

1 安培力

磁场对电流的作用力称为安培力。

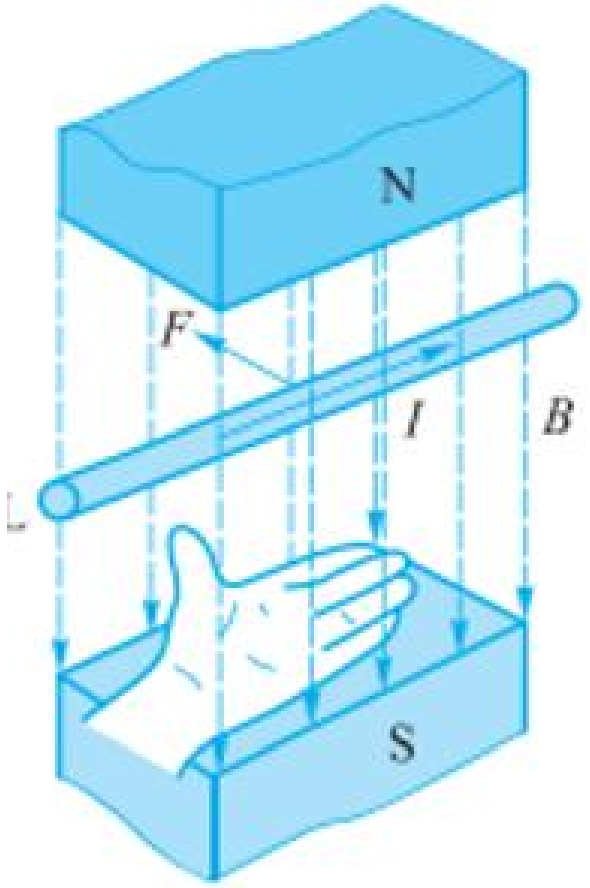
当导体垂直于磁场方向放置时，导线所受的安培力的大小与导体中电流的大小成正比，与导体在磁场中的有效长度成正比，与通电导体所在位置的磁感应强度成正比。

2.3 磁场对电流的作用

1 安培力

方向可以用左手定则来判定：

伸开左手，使拇指与其余四指垂直，并且都与手掌在同一个平面内。让磁感线垂直穿入手心，使四指指向电流方向，这时拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。



小结

一、磁场的基本知识

二、电流的磁场

1.通电直导线的磁场

2.环形电流的磁场

3.通电螺线管的磁场

三、磁场的基本物理量

1.磁感应强度

2.磁通量

四、安培力

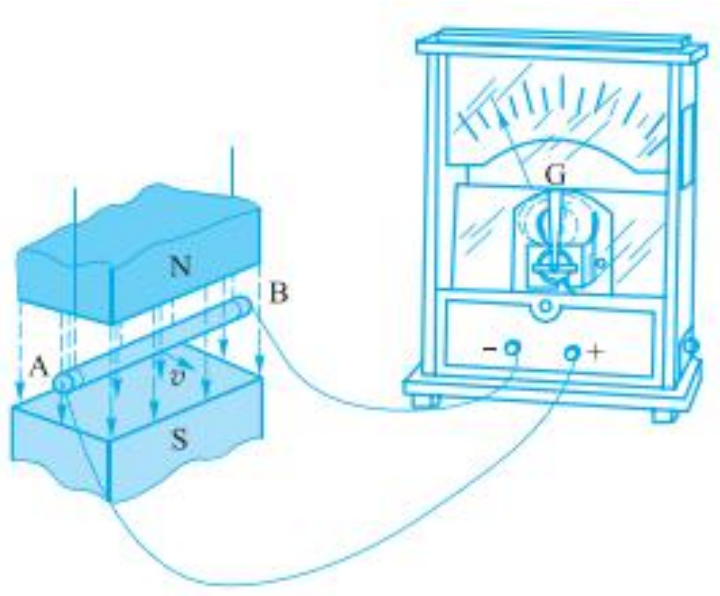
03 电 磁 感 应

3.1 直导线切割磁感线时的感应电动势

实验电路如图所示，AB为闭合电路中的一段导体。

当导体AB在匀强磁场中以速度v向右或向左运动时切割磁感线，穿过闭合电路的磁感线条数减少或增多，产生的感应电流，检流计指针偏转。

当导体AB在匀强磁场中以速度v不切割磁感线，穿过闭合电路的磁感线条数不变，不产生的感应电流，检流计指针不偏转。



3.1 直导线切割磁感线时的感应电动势

实验分析可知，闭合电路中的一段导体在磁场中切割磁感线时，导体内产生的感应电动势与磁场的磁感应强度，导体的有效长度和导体切割磁感线的有效速度的成绩成正比。感应电动势E的计算公式为

$$E = BLv\sin\theta$$

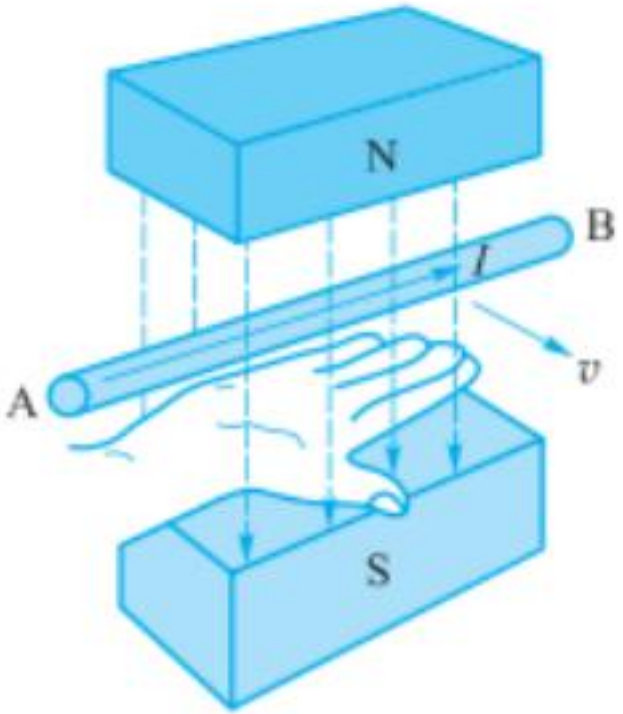
式中，θ为速度方向与磁场方向之间的夹角

$v\sin\theta$为导体切割磁感线的有效速度。

3.1 直导线切割磁感线时的感应电动势

导体中产生的感应电动势和感应电流的方向是一致的，可用右手定则来判断：

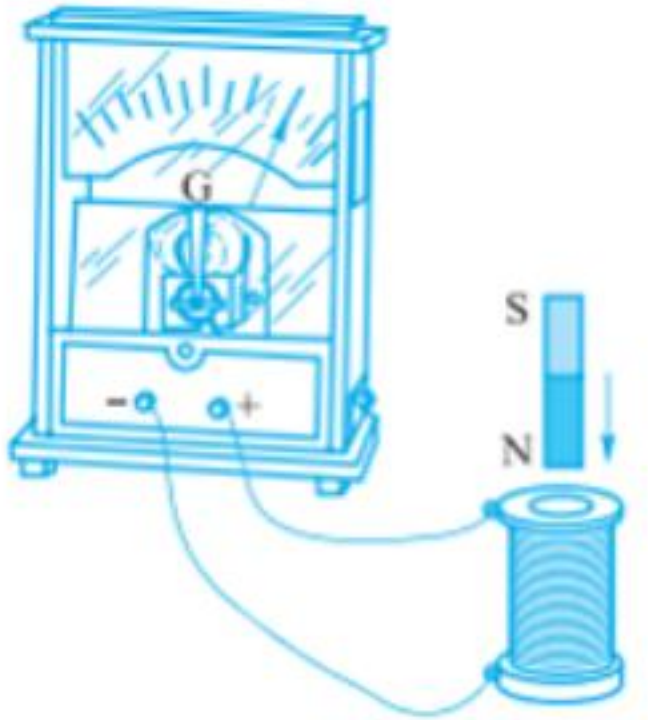
伸出右手，让大拇指与四指在同一平面内，大拇指与四指垂直，让磁感线垂直穿过手心，大拇指指向导体运动方向，这是四指所指的方向就是感应电流的方向。



3.2 电磁感应定律

如图所示，观察以下几种情况检流计指针的偏转情况，分析是否有感应电流产生

- 条形磁铁的N极向下插入线圈
- 条形磁铁静止
- 条形磁铁从线圈中拔出



3.2 电磁感应定律

条形磁铁的N极向下插入线圈时，检流计指针向右偏转；

条形磁铁静止时，检流计指针不偏转；

条形磁铁从线圈中拔出时，检流计指针向左偏转

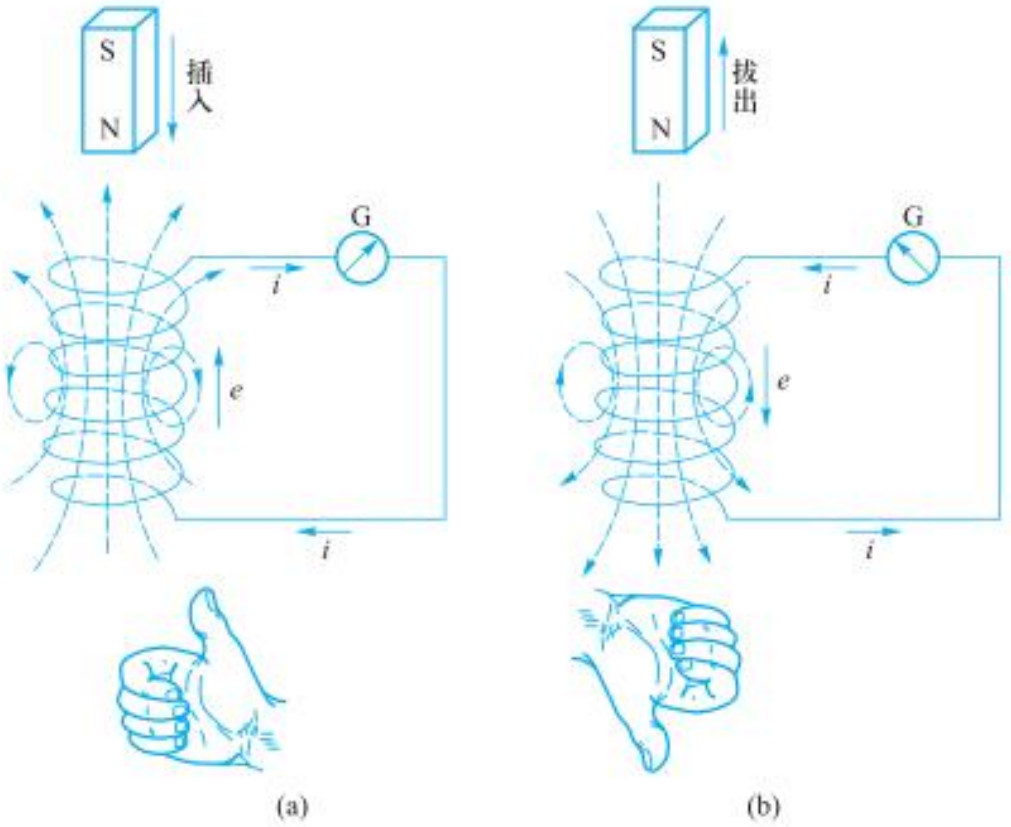
说明：闭合回路中的磁通量发生变化是，回路中会有电流产生。

实验分析可知：当穿过闭合电路的磁通量发生变化时，电路中就会产生感应电动势和感应电流，感应电动势的大小与穿过闭合电路的磁通量的变化率成正比，这就是法拉第电磁感应定律，用公式表示为：

$$E = -N\frac{\Delta \emptyset}{\Delta t}$$

3.3 楞次定律

条形磁铁的N极插入线圈和拔出线圈时，检流计指针偏转方向不同，说明在不同情况下感应电流的方向时不同的。分析可知：感应电流具有这样的方向，即感应电流产生的磁场总是要阻碍引起感应电流的磁通量的变化，这就是楞次定律，是判断感应电流方向的普遍规律。



3.3 楞次定律

楞次定律应用步骤：

首先判明闭合回路的原磁通量是沿什么方向，发生着什么变化(增加还是减少)；

然后根据楞次定律来确定感应电流所激发的磁场是沿什么方向(与原来的磁场方向是反向还是同向)；

最后根据安培定则确定感应电流的方向。

小结

一、电磁感应现象

二、感应电流方向的判断

1．右手定则

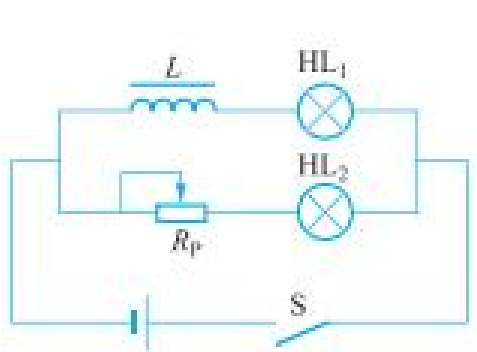
2．楞次定律

三、法拉第电磁感应定律

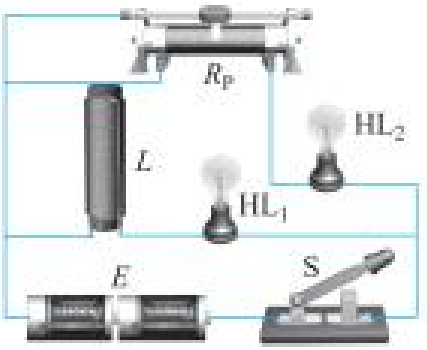
04 电 感 元 件

4.1 自感现象

如图所示，HL_1和HL_2是两个完全相同的指示灯，电感线圈L的阻值与R_p相等。当开关S闭合后，指示灯HL_2立即正常发光，而HL_1慢慢发光，过一段时间以后，两个指示灯才能达到同样的亮度，这是什么原因呢?



(a) 电路连接



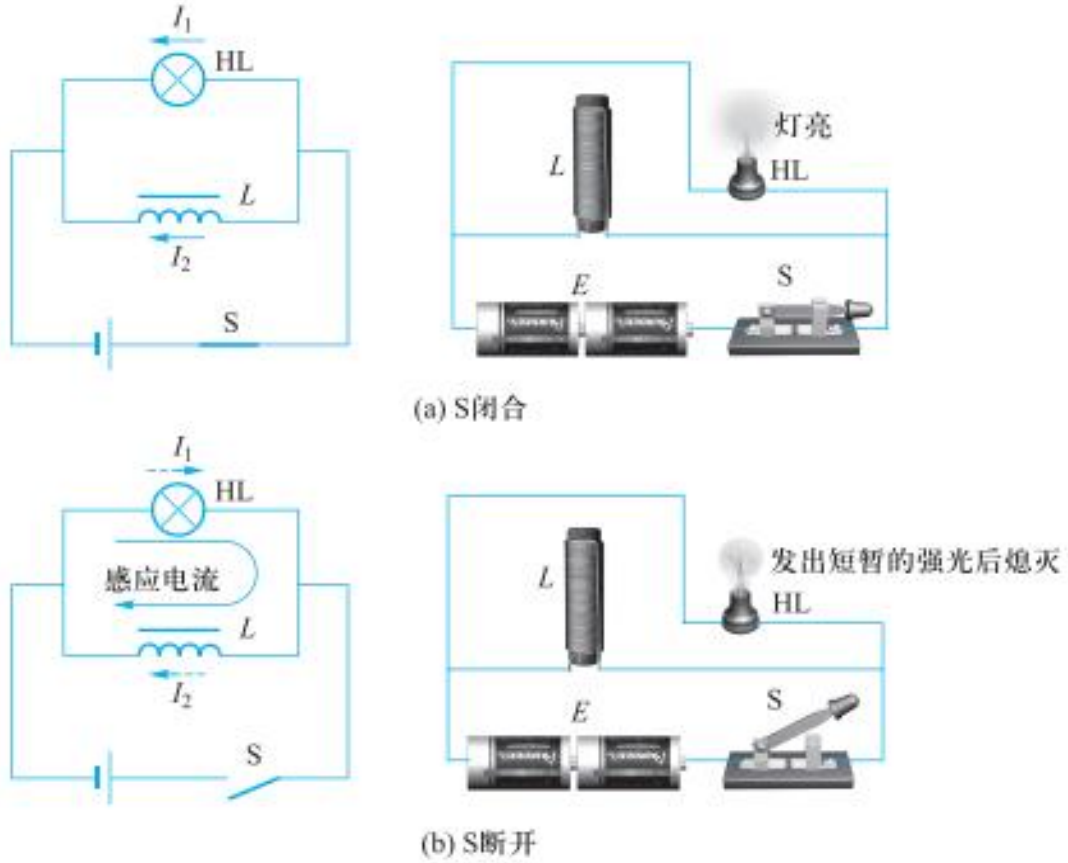
(b) 实物连接

当开关S闭合后，通过线圈中的电流由零开始增大，由电磁感应定律可知，线圈中变化的电流要产生感应电动势，由楞次定律可知，产生的感应电动势又要阻碍线圈中电流的增大，使电流I不能很快的增大，故指示灯HL_1慢慢变亮。

4.1 自感现象

如图所示，指示灯HL与线圈并联接在电路中，当开关S闭合后，指示灯HL正常发光，当把开关S断开的瞬间，发现指示灯HL不是立即熄灭，而是瞬间发出更强的光，然后才熄灭。这又是什么原因呢?

这是因为当开关S断开的瞬间，通过线圈的电流突然减弱，因而线圈中产生感应电动势。虽然这时电源已经断开，但是线圈和指示灯组成了闭合回路，有感应电流通过。



4.1 自感现象

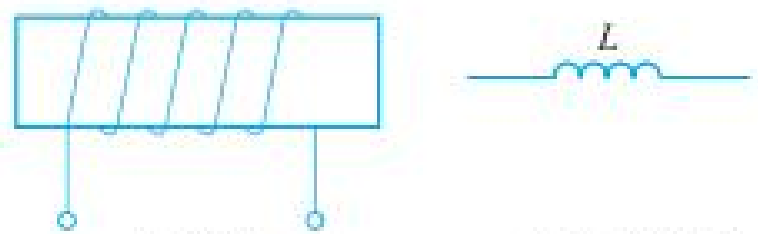
上述两个实验现象都是由于线圈中自身电流的变化而引起的。

这种由于通过线圈本身的电流发生变化而引起的电磁感应现象称为自感现象，又称电感现象。

4.2 电感器

凡是产生电感作用的元件统称为电感器，一般的电感器由线圈构成，所以又称电感线圈。

电感器的用途很广，例如发电机、电动机、变压器和继电器等电气设备中的绕组就是各种各样的电感线圈。



(a) 外形　　(b) 图形符号

4.3 电感器的分类及参数

1 分类

电感按有无心（心的作用是增加电感量）分为空心电感器、磁心电感器和铁心电感器。

按电感量是否可调，分为固定电感和可调电感。

按用途可分为振荡电感器、校正电感器、显像管偏转电感器、滤波电感器、补偿电感器等。

按工作频率高低可分为高频电感线圈和低频电感线圈。

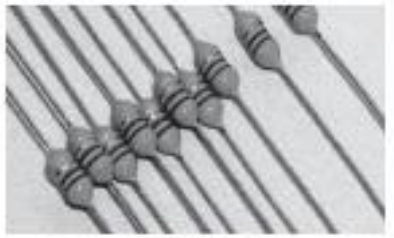

磁心电感



可调电感



贴片电感


色环电感

2 参数

（1）电感量

不同的线圈通过相同的电流产生的自感电动势不同，表征电感器产生自感能力的物理量称为自感系数简称电感，用字母*L*表示。电感的单位是H (亨[利])以及mH (毫亨)、μH (微亨)。

线圈的电感是由线圈本身的特性所决定的。

（2）允许误差

允许误差是指电感器上标称的电感量与实际电感的允许误差值。

2 参数

（3）标称电流值

电感器长期正常工作所允许通过的最大电流。它是高频、低频扼流线圈和大功率谐振线圈的重要参数。应用时实际通过电感器的电流不宜超过其标称电流值。

（4）品质因数

电感线圈中储存能量与消耗能量的比值称为品质因数，又称*Q*值。电感器的*Q*值一般为50～300。一般要求电感线圈的*Q*值越大越好，但*Q*值过大会使工作回路的稳定性变差。

4.4 电感器的识读与检测

1 识读电感器参数

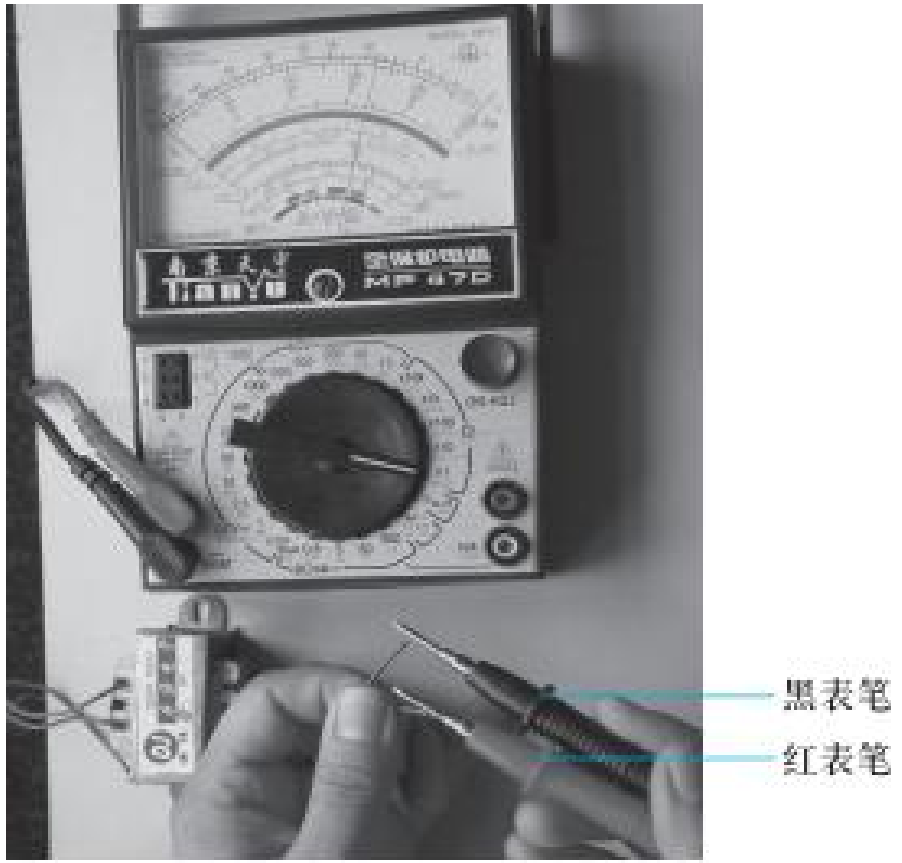
表 1.2.2　电感器参数的标注及识读方法

标注方法	图示	参数	识读方法	说明
直标法		电感大小：0.365 mH	各种参数用数字直接标注在电感器上	通常体型较大的电感器用直标法来标注
文字符号法		电感大小：2.0 μH	由数字和字母结合表示电感器的电感量，R前面的数字表示整数值，R后面的数字表示小数值，单位为μH	读数方法与电阻器、电容器读数方法类似
数码法		电感大小： 15×10^{1} μH = 150 μH	用三位数字表示电感量大小，数码从左到右，第一、二位表示电感量的有效数字，第三位表示倍率，单位为μH	
色标法		电感大小：22 μH； 允许误差：±10%	前两环色码表示有效数字，第三环表示倍率，单位为μH	电阻器、电容器、电感器使用的色环颜色代表的数字相同，只是电感器的单位是μH

2 检测电感器质量

将万用表置于$R\times 1\Omega$挡，把红、黑表笔各接电感器的任一引出端，根据测出的电阻值大小来确定电感器质量好坏。

根据测出的电阻值大小，可以分成以下三种情况。



2 检测电感器质量

（1）被测电感电阻值太小，说明电感器内部线圈有短路故障；

（2）被测电感有电阻值，色环电感器直流电阻值的大小与绕制电感线圈所用的漆包线线径、绕制线圈数有直接关系，线径越细，圈数越多，则电阻值越大，一般情况下用万用表的R*1挡测量，只要能测出电阻值，则可认为被测电感器使正常的。

（3）被测电感器的电阻值无穷大，说明电感器内部线圈或引出线与线圈接点处发生了断路故障。

4.5 涡流

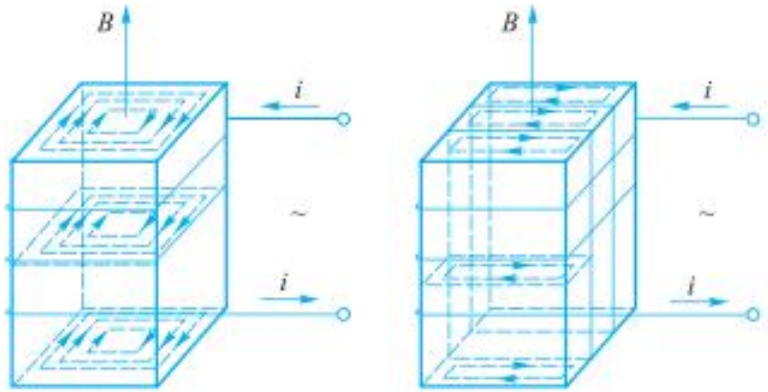
把整块金属放在交变磁场中，金属块内将产生感应电流。这种电流在金属块内自成闭合回路，很像水的漩涡，因此叫做涡电流，简称涡流。

为了减小涡流损失，电机和变压器的铁心通常用涂有绝缘漆的硅钢片叠压制成。

涡流在很多情况下是有害的，但在一些特殊场合，也可以被我们利用。利用涡流制作加热的高频感应炉。电磁炉也是利用电磁感应原理制成的。



图1.2.35　铁心



(a) 整块金属　　(b) 硅钢片叠压制成铁心

图1.2.36　涡流

小结

一、电感现象

二、电感器

1.电感器

2.电感器的主要参数

3.电感器的分类

4.使用万用表检测电感器质量

三、涡流

本章小结

1.电容器的基本作用电容器的基本作用是储存电荷。电容器所带的电荷q，跟它的两极间的电压U的比值称为电容器的电容$C=\frac{q}{U}$。

2.利用电容器的充、放电现象，可用万用表的电阻挡来检测较大容量电容器的质量。

3.电流可以产生磁场，电流的磁场方向用安培定则来判断。

4.用磁感应强度B来表示磁场的强弱，其单位是T。

5.在匀强磁场中，在与磁感线垂直的某截面上，横截面积与磁感应强度的乘积称为通过该截面的磁通量，用字母少表示，即$\Phi=BS$。

本章小结

6.磁场对电流的作用力称为安培力。其方向可用左手定则判定。

7.产生感应电流的条件是，闭合电路的磁通量发生变化。感应电流的方向，可以用右手定则或楞次定律来判断。感应电动势的大小可根据法拉第电磁感应定律计算。

8.电感器的主要参数为电感量、标称电流、品质因数。电感器参数的标注方法有直标法、文字符号法、数码法和色标法。用万用表可以简单地判断电感的质量好坏。

第 三 章

交 流 电 路

目录

01 正 弦 交 流 电

02 单一元件的单相正弦交流电

03 多个元件的单相正弦交流电

04 三相正弦交流电源

05 三 相 负 载 的 连 接

学习目标

1.了解交流发电机的工作过程，掌握表征正弦交流电的物理量。会用三角函函数法等表示正弦交流电。

2.掌握单一元件（纯电阻、纯电感、纯电容）在正弦交流电路中电压与电流的关系、特点。会根据它们对直流电与交流电的不同阻碍作用，分析电路特点。

培养学生对所学知识严谨认真、一丝不苟的大国工匠精神和良好的职业道德规范。

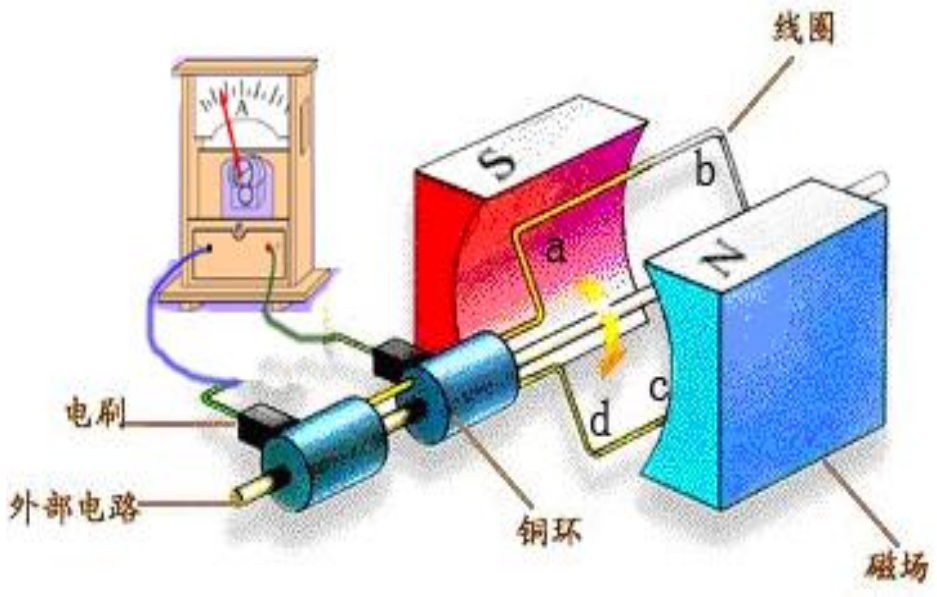
3.掌握电路的有功功率、无功功率、视在功率的概念及相互关系；掌握功率三角形、电路功率因数的概念及提高功率因数的方法。会利用所学知识解决实际生活中的问题。

4.掌握RLC串联电路的阻抗、功率和谐振的概念，会判断电路性质，会分析调谐电路。

5.掌握星形、三角形联结方式下线电压和相电压的关系及线电流、相电流和中性线电流的关系，三相电功率的概念。

01 第一节 正弦交流电

1.1 正弦交流电的产生



（1）基本组成------磁极、线圈（实际嵌在硅钢片制成的铁心上，通常叫电枢）、电刷（连接线圈与外电路）。

（2）电流表的指针会随着线圈的转动而摆动，并且线圈每转一周，指针左右摆动一次，转动的线圈里就产生感应电流，并且感应电流的大小和方向都在随着时间做周期性变化，即产生了交流电。

1.2 正弦交流电的基本物理量

1.正弦交流电的物理量

三要素

- 频率（角频率、周期）

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

- 有效值（最大值）

$$\begin{cases} E = \dfrac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m \\ U = \dfrac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m \\ I = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m \end{cases}$$

- 相位、初相位、相位差

$\omega t + \varphi_0$　　φ_0　　$\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$

2.三要素的意义

（1）反映正弦交流电的特征

频率（或角频率、周期）
最大值（或有效值）
初相位

反映正弦交流电的

变化快慢
变化幅度
起始状态

- 已知正弦量的三要素，即可画出正弦量的波形图，写出它的三角函数表达式，还可以利用三要素区别两个不同的正量。

2.三要素的意义

（2）在我国的电力系统中，我国工业交流电的标准频率为50Hz，简称为工频，周期是0.02s。

（3）有效值在电气工程中应用非常广泛。如照明电路的电源电压为220V、动力线路的电源电压为380V，都是指有效值；用交流电工仪表测量出来的电流、电压也是指有效值；大多数电器产品铭牌上标注的额定电压、额定电流都是指有效值。

1.3 正弦交流电的表示方法

1. 三角函数表示法

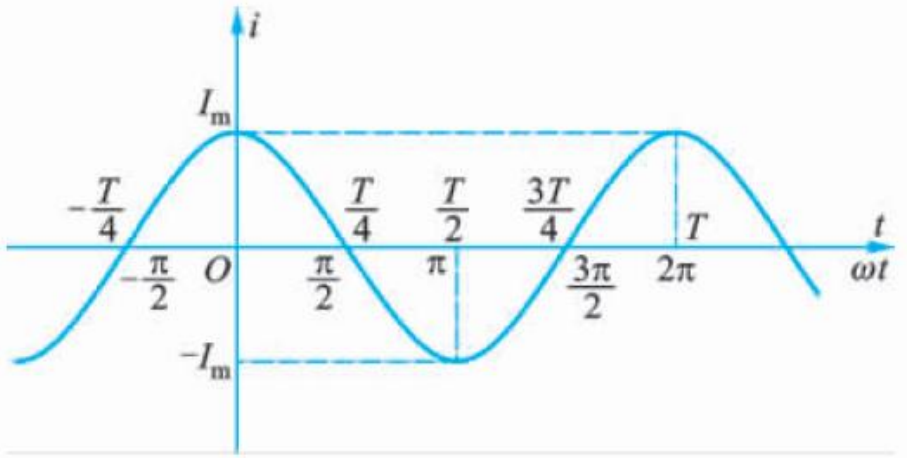
正弦交流电动势、电压和电流的函数表示式分别是

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

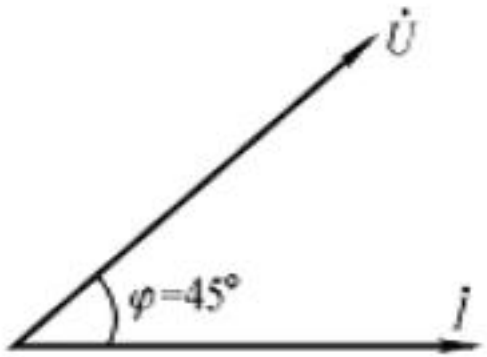
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

2. 波形图表示法



正弦交流电流波形图

3. 旋转矢量表示法



正弦交流电的相量表示法

旋转矢量的**长度**等于正弦量的有效值;

旋转矢量与**X轴正方向**的夹角等于正弦量的初相位;

旋转矢量的符号为有效值符号上加一圆点。

小结

1.正弦交流电的三要素：频率（或周期）、最大值（或有效值）和初相位

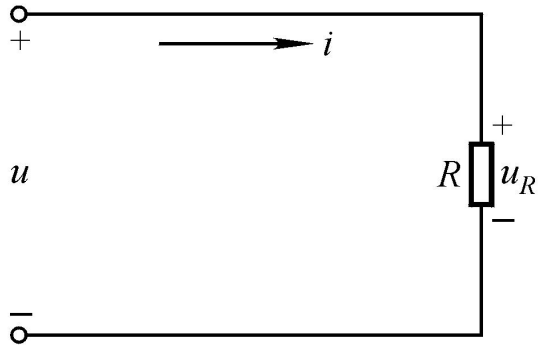
2.正弦交流电的表示方法：波形图、三角函数式和相量图

02

第二节　单一元件的单相正弦交流电路

2.1 纯电阻电路

1.电路结构



如上图所示，在交流电路中，只含有电阻，而没有电感和电容的电路叫纯电阻电路；在日常生活中使用的白炽灯、电烙铁和电炉等电器组成的电路均可以看作**纯电阻电路**。

2.电流与电压关系



实验一



实验二

2.1 纯电阻电路

由实验一可知：

灯的亮度相同，表明电阻对直流电和交流电的阻碍作用相同。

由实验二可知：

（1）当输入端加低频交流电时，可以观察电压表与电流表指针摆动步调一致，表明电阻两端电压和流过电阻的电流是同相的。

（2）电压表读数（交流电压有效值）与电流表读数（交流电流有效值）及电阻值之间符合欧姆定律关系 。

（1）数值关系

设电阻两端的电压为 $u_R = \sqrt{2}U_R \sin \omega t$

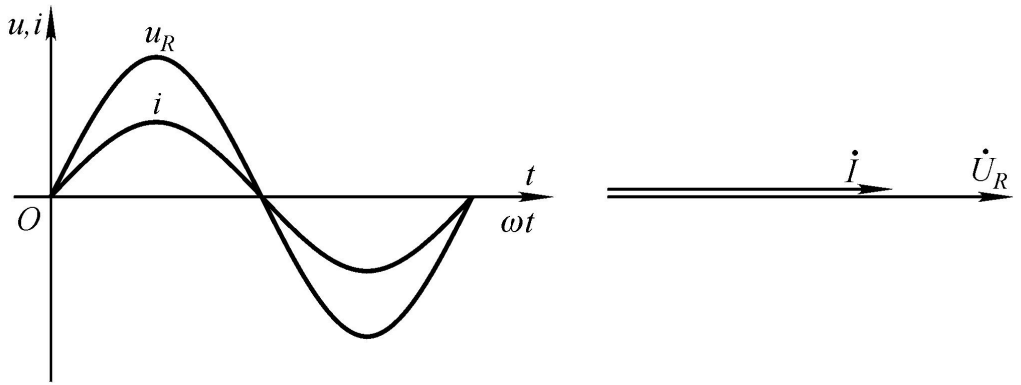
则：$i = \dfrac{u_R}{R} = \dfrac{\sqrt{2}U_R \sin \omega t}{R} = \sqrt{2}I \sin \omega t$

$I = \dfrac{U_R}{R}$

$I_{\mathrm{m}} = \dfrac{U_{R\mathrm{m}}}{R}$

交流电路中，电阻端电压和流过它的电流符合欧姆定律。

（2）相位关系



（a）波形图　　（b）相量图

电阻电压与电流的相位关系

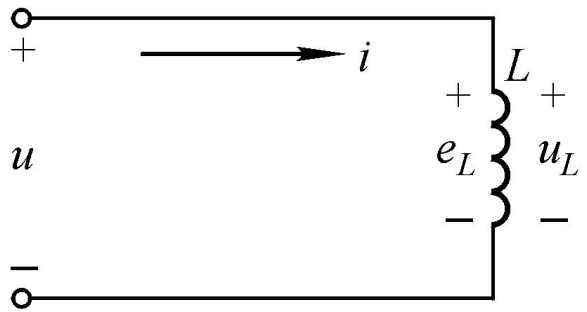
（3）电路的功率

（1）瞬时功率 $p_R = u_R i = U_{R\mathrm{m}} \sin \omega t \times I_{\mathrm{m}} \sin \omega t$

（2）有功功率 $P = IU_R = RI^2 = \dfrac{U_R^2}{R}$

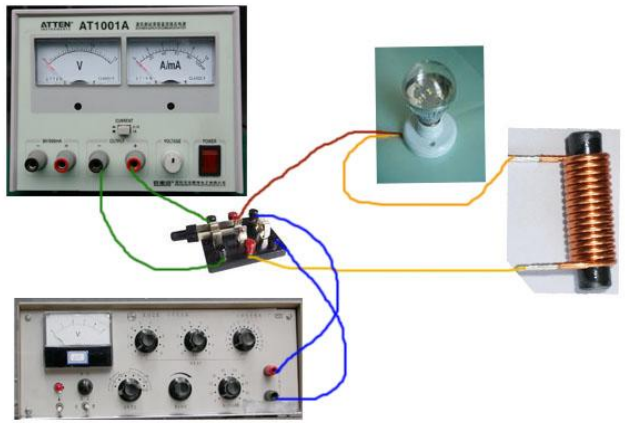
2.2 纯电感电路

1.电路结构

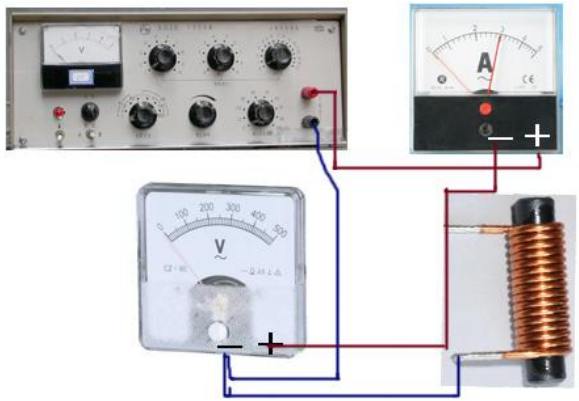


如上图所示，在交流电路中，如果用电感线圈作负载，且这些线圈的内阻忽略不计，那么这个电路称为纯电感电路。

2.电流与电压关系



实验一



实验二

2.2 纯电感电路

由实验一可知：

接通交流电源时灯的亮度明显变暗，表明电感对直流电和交流电的阻碍作用不同相，对于直流电，起阻碍作用的只是线圈的电阻；对于交流电，除了线圈的电阻外，电感也起阻碍作用。

由实验二可知：

（1）当输入端加低频交流电时，可以观察电压表与电流表指针摆动步调不一致，表明电感两端电压和流过电容的电流是不同相的。

（2）电压表读数（交流电压有效值）与电流表读数（交流电流有效值）成正比。

2.2 纯电感电路

（1）感抗

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

对于交流电，频率越高，则X_L越大；频率越低，则X_L越小。

对直流电，由于f=0，则X_L=0，电感相当于短路。因此，电感线圈有“通直流、阻交流，通低频、阻高频”的特性。

(2) 电流与电压数值关系

$$I_{\mathrm{m}} = \frac{U_{L\mathrm{m}}}{X_L}$$

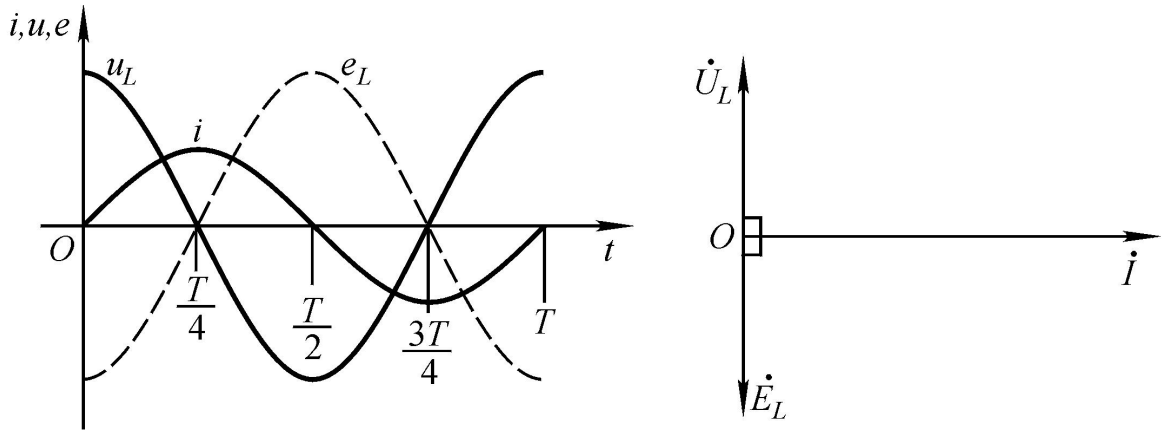
$$I = \frac{U_L}{X_L}$$

交流电路中，纯电感端电压和流过它的电流有效值、最大值之间符合欧姆定律，但瞬时值之间不符合欧姆定律。

（3）相位关系

设电感线圈中通过的电流为 $i_L = \sqrt{2} I_L \sin \omega t \text{ A}$

则：$u_L = \sqrt{2} U_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \text{ V}$



（a）波形图

（b）相量图

纯电感电路中电压与电流的相位关系

3.电路的功率

（1）瞬时功率

$$p_L = u_L i = \sqrt{2}U_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \times \sqrt{2} I \sin \omega t$$

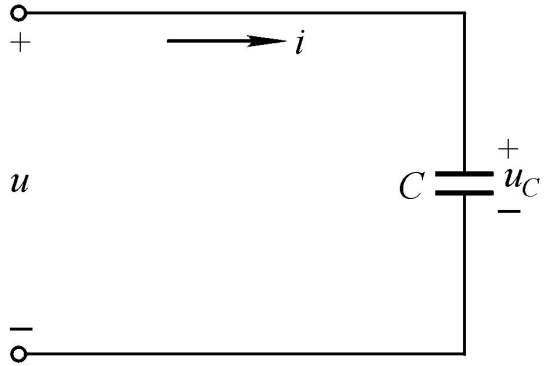
（2）有功功率 $P=0$

（3）无功功率 $Q_L = IU_L = I^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L}$

无功功率反映了电感元件与电源之间进行的能量交换的规模。

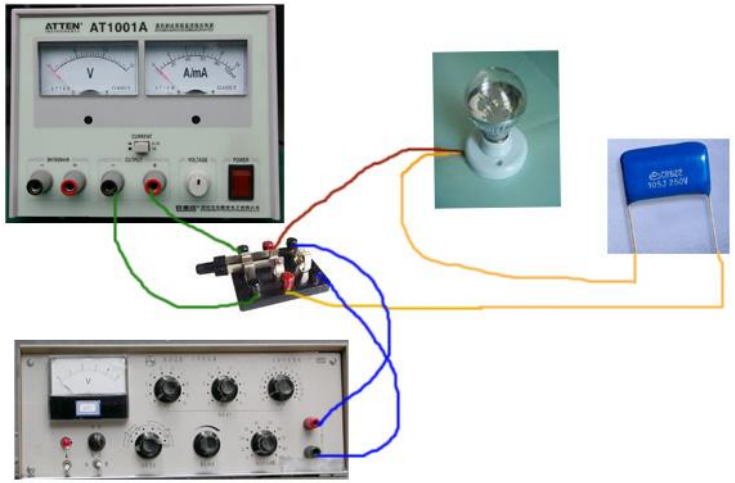
2.3 纯电容电路

1.电路结构



如上图所示，在交流电路中，如果只用电容器做负载，且可以忽略介质的损耗时，那么这个电路就叫做纯电容电路 。

2.电流与电压关系



实验一



实验二

2.3 纯电容电路

由实验一可知:

接通直流电源时灯亮一下随即熄灭，电容有隔直流作用，接交流电源时灯正常发光，说明交流电能通过电容器。

由实验二可知:

（1）当输入端加低频交流电时，可以观察电压表与电流表指针摆动步调不一致，表明电容两端电压和流过电容的电流是不同相的。

（2）电压表读数（交流电压有效值）与电流表读数（交流电流有效值）成正比。

2.3 纯电容电路

（1）容抗

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

对于交流电，频率越高，X_C就越小；反之，频率越低，X_C就越大。

对于直流电来说，由于f=0，X_C=∞，可视为断路。

因此，电容器有“通交流、隔直流，通高频、阻低频”的特性。

(2) 电流与电压数值关系

$$I_{\mathrm{m}} = \frac{U_{C\mathrm{m}}}{X_C}$$

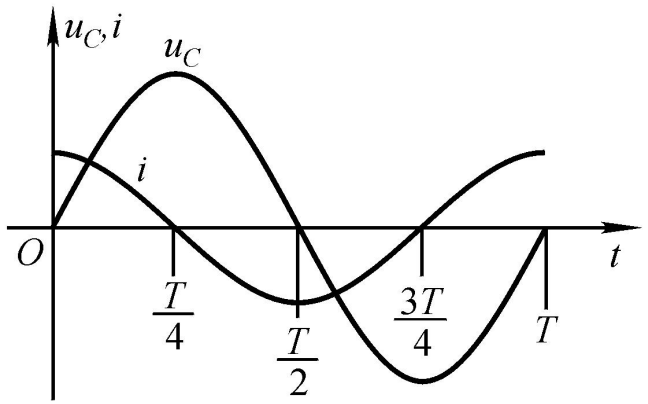
$$I = \frac{U_C}{X_C}$$

交流电路中，纯电容端电压和流过它的电流有效值、最大值之间符合欧姆定律，但瞬时值之间不符合欧姆定律。

（3）相位关系

设电容端电压为 $u_C = \sqrt{2}U_C \sin \omega t$

则： $i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$



（a）波形图



（b）相量图

纯电容电路中电压与电流的相位关系

3.电路的功率

（1）瞬时功率

$$p_C = u_C i = \sqrt{2}U_C \sin \omega t \times \sqrt{2} I \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

（2）有功功率 $P=0$

（3）无功功率 $Q_C = IU_C = I^2 X_C = \frac{U_C^2}{X_C}$

无功功率衡量电容器和电源之间交换能量规模

小结

（1）欧姆定律

纯电阻电路电阻两端电压与流过电流同相；

有效值、最大值、瞬时值均满足欧姆定律

纯电感电路电感两端电压超前电流90°；

有效值、最大值均满足欧姆定律，瞬时值不满足欧姆定律

纯电容电路电容两端电压滞后电流90°

有效值、最大值均满足欧姆定律，瞬时值不满足欧姆定律

小结

（2）功率

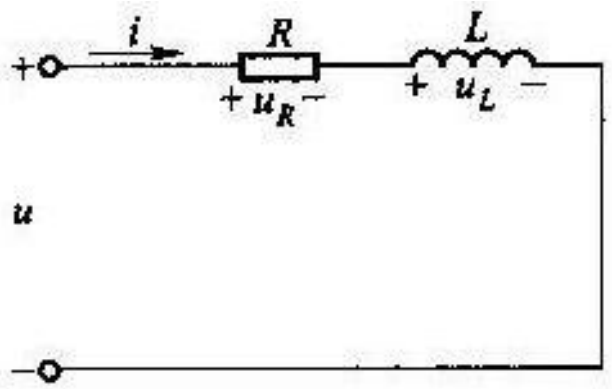
有功功率
- 纯电阻电路 $P = IU_R = RI^2 = \frac{U_R^2}{R}$
- 纯电感电路 $P=0$
- 纯电容电路 $P=0$

无功功率
- 纯电阻电路 $Q=0$
- 纯电感电路 $Q_L = IU_L = I^2X_L = \frac{U_L^2}{X_L}$
- 纯电容电路 $Q_C = IU_C = I^2X_C = \frac{U_C^2}{X_C}$

03

第三节　多元件的单相正弦交流电路

3.1 RL串联电路



请思考：

（1）电路组成；

（2）根据所设电流值，分析写出电路*R*、*L*两端的电压关系，画出相量图。

3.1 RL串联电路

1.电压与电流的关系

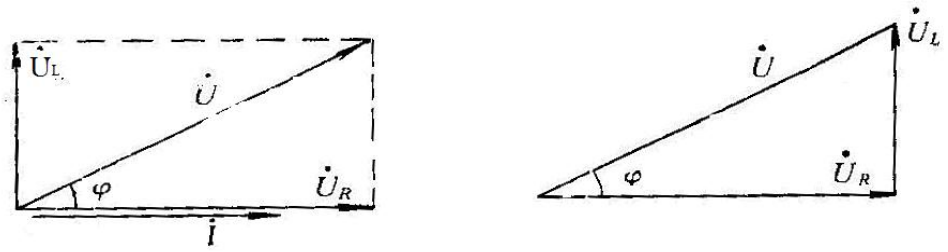
设通过电路的电流为：$i = I_m \sin \omega t = \sqrt{2} I \sin \omega t$

则电阻两端的电压为：$u_R = iR = \sqrt{2} IR \sin \omega t$

电感线圈两端的电压为：$u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ) = \sqrt{2} I X_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$

总电压为：$u = u_R + u_L$

用相量表示为：$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L$



(a) (b)

电阻与电感串联电路相量图及电压三角形

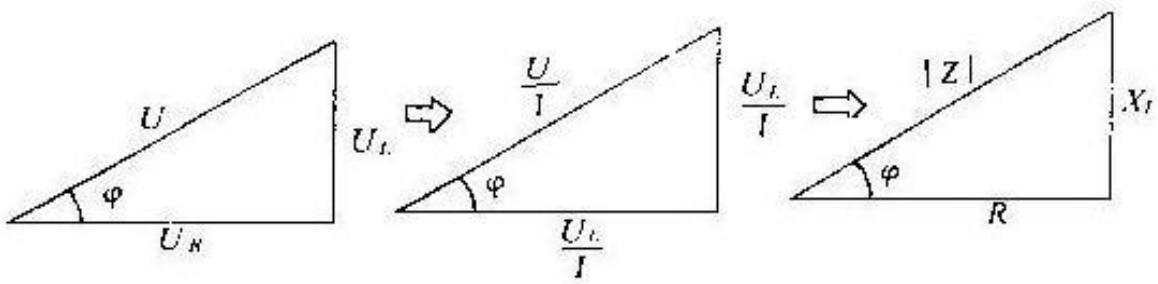
从电压三角形中可以看出

$$U_R = U\cos\varphi$$

$$U_L = U\sin\varphi$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L{}^2}$$

$$= I|Z|$$



阻抗三角形

2.电路的功率

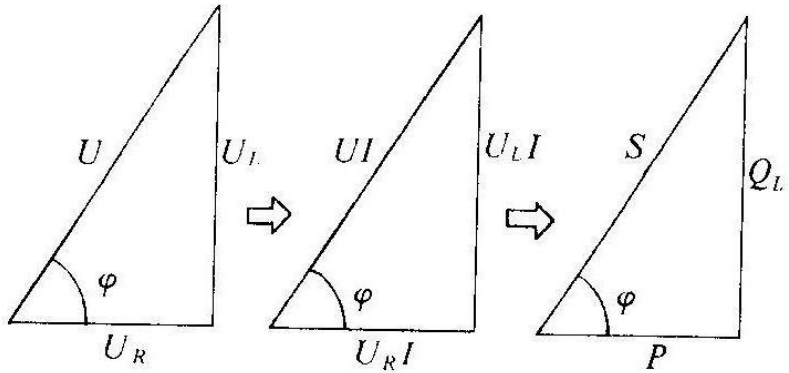
（1）有功功率 $P = P_R = IU_R = I^2R = \dfrac{U_R^2}{R}$

（2）无功功率 $Q_L = IU_L = I^2X_L = \dfrac{U_L^2}{X_L}$

（3）视在功率 $S = IU$

相互关系

$$\begin{cases} S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \\ Q_L = S\sin\varphi = IU\sin\varphi \\ P = IU\cos\varphi \\ \varphi = \arctan\dfrac{Q_L}{P} \end{cases}$$



功率三角形

3.功率因数

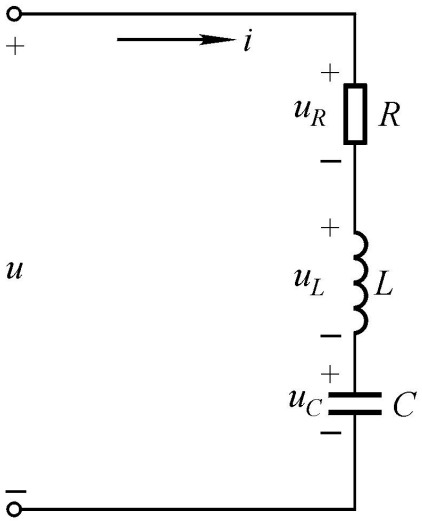
-------有功功率P和视在功率S的比值

$$\lambda = \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{|Z|}$$

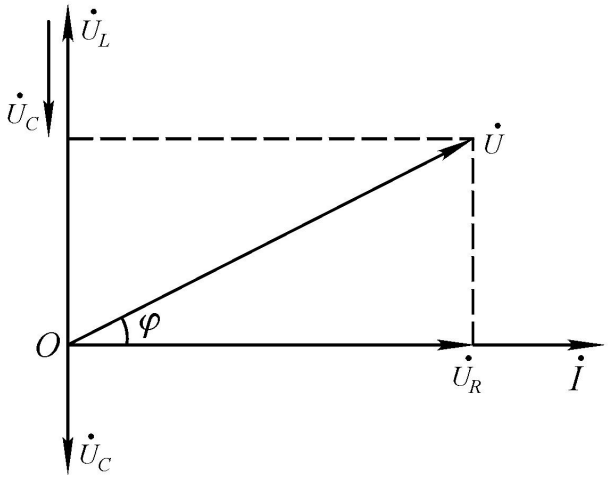
目前广泛应用的提高功率因数的方法是在感性负载两端并联适当的电容

3.2 RLC串联电路

1.RLC电路的阻抗



（a）*RLC* 串联电路



（b）相量图

$$U=\sqrt{U_R^2+(U_L-U_C)^2}$$

$$=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}I$$

$$=\sqrt{R^2+X^2}I=|Z|I$$

电抗

阻抗

RLC 串联电路及相量图

阻抗角的大小决定于电路中的参数R、L、C和电源的频率f；电抗X的数值决定了电路的性质。

（1）当$X_L > X_C$时，$X > 0$，

$\varphi > 0$，总电压u超前电流i，电路呈感性。

（2）当$X_L < X_C$时，$X < 0$，

$\varphi < 0$，总电压u滞后电流i，电路呈容性。

（3）当$X_L = X_C$时，$X = 0$，

$\varphi = 0$，总电压u与电流i同相，电路呈纯电阻性，

电路的这种状态称为谐振。

2.谐振电路

（1）*RLC*串联电路发生谐振的条件是：

$$X_L = X_C$$

根据 $2\pi fL = \dfrac{1}{2\pi fC}$

可得谐振时的频率为：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

f_0称为电路的固有频率。

（2）串联谐振电路具有以下特点：

①阻抗最小，且为纯电阻，即

$$|Z| = R;$$

②电路中的电流最大，且与电压同相，即

$$I_0 = \frac{U}{R}$$

③电感与电容两端的电压相等，其大小为总电压的Q倍，Q称为串联谐振电路的品质因数，电子技术中，常用品质因数Q值的高低来体现选择性的好坏。

小结

1．电压电流关系

（1）数值关系：$U=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}I=\sqrt{R^2+X^2}I=|Z|I$

（2）相位关系

2．谐振特点：

（1）阻抗最小，且为纯电阻，即$|Z|=R$

（2）电路中的电流最大，且与电压同相，即：$I_0=\frac{U}{R}$

（3）电感与电容两端的电压相等，其大小为总电压的Q倍，Q称为串联谐振电路的品质因数，电子技术中，常用品质因数Q值的高低来体现选择性的好坏。

04

第四节　三相正弦交流电源

4.1 三相正弦交流电源

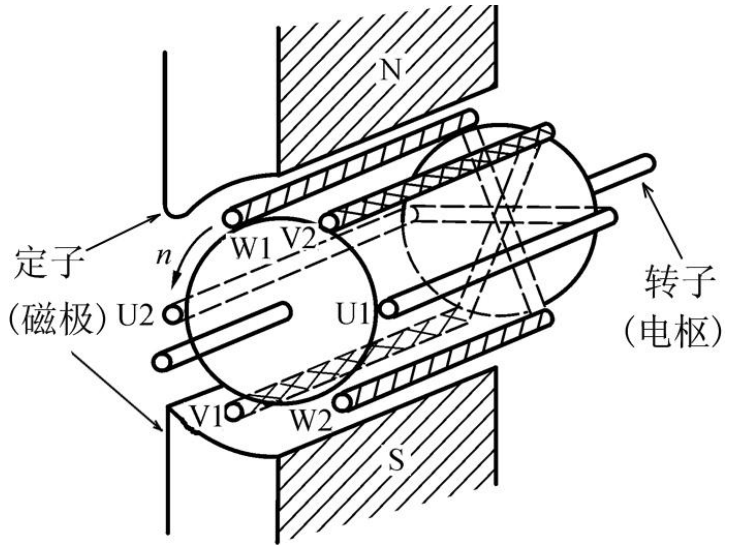
1.三相交流电的特点

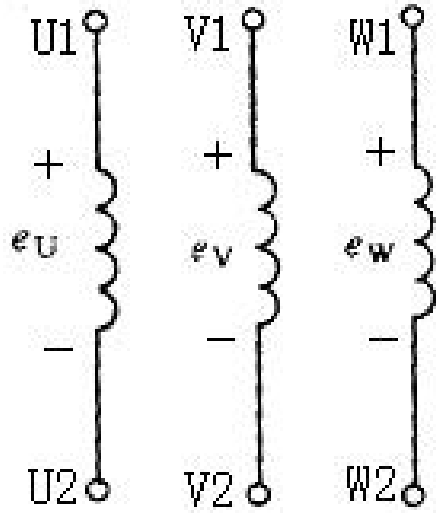
（1）三相交流发电机比同样体积的单相交流发电机输出的功率大，使用维护方便，振动小。

（2）在输送功率、电压相同和输电距离、线路损失相等的情况下，采用三相制输电比单相输电所用的导线的用量可以节约25%。

（3）能方便地获得三组单相交流电，满足单相、三相用电器的使用需要。

2.三相交流电的产生





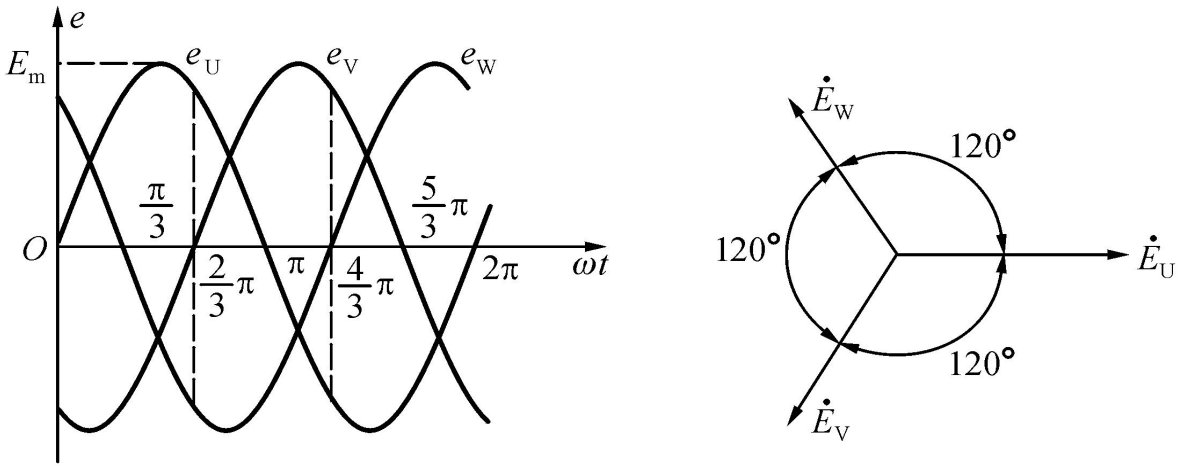
三相交流发电机示意图

3.三相对称电动势的表示法

三个电动势最大值相等、频率相同、相位互差120°，称为三相对称电动势

$$\begin{cases} e_{\mathrm{U}} = E_{\mathrm{m}} \sin \omega t \\ e_{\mathrm{V}} = E_{\mathrm{m}} \sin(\omega t - 120^{\circ}) \\ e_{\mathrm{W}} = E_{\mathrm{m}} \sin(\omega t + 120^{\circ}) \end{cases}$$

4.1 三相正弦交流电源



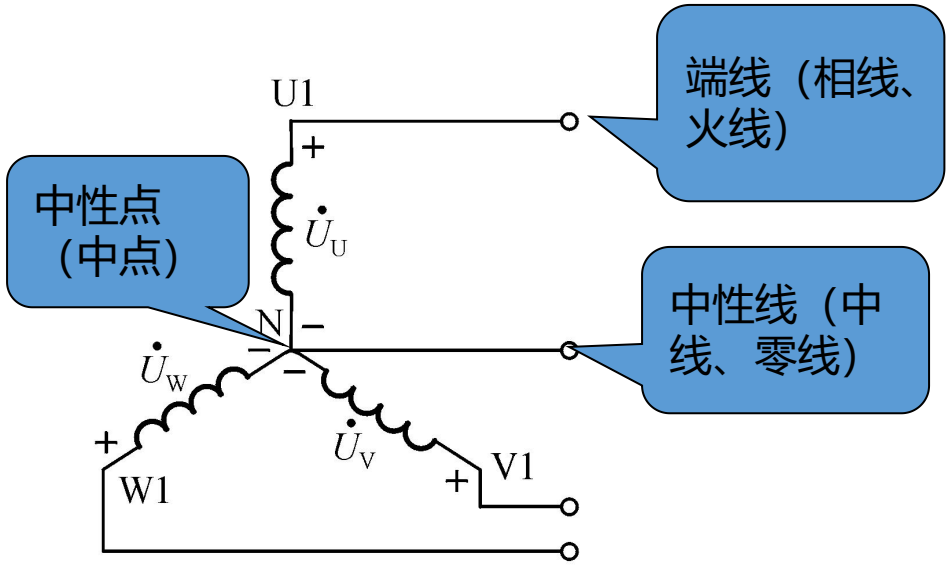
(a) 波形图

(b) 相量图

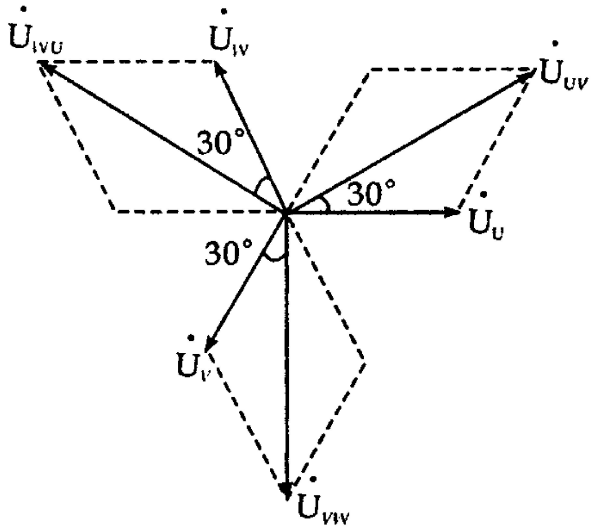
三相对称电动势波形图和相量图

4.2 三相电源供电方式

1.三相四线制供电（Y形）



三相四线制供电方式（Y形）



三相四线制相电压和线电压的相量图

（1）相电压：$\dot{U}_U$ $\dot{U}_V$ $\dot{U}_W$

（2）线电压：$\dot{U}_{UV}$ $\dot{U}_{VW}$ $\dot{U}_{WU}$

4.2 三相电源供电方式

三相四线制供电系统具有以下特点：

① 有两组供电电压，即相电压和线电压；

② 三个相电压和三个线电压均为对称电压；

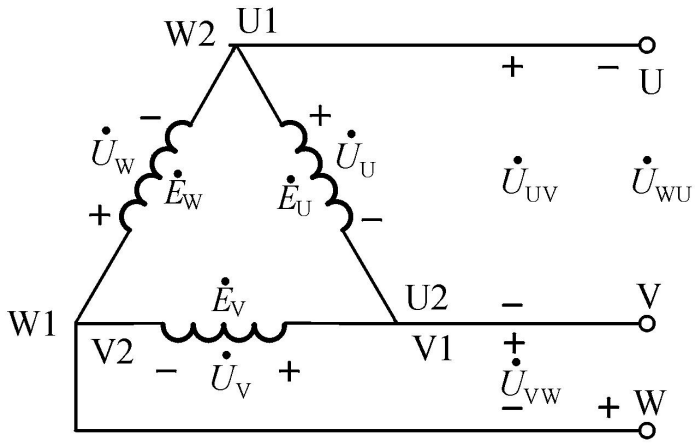
③ 线电压的大小等于相电压的$\sqrt{3}$倍，记为：

$$U_{\mathrm{L}} = \sqrt{3}\, U_{\mathrm{P}}$$

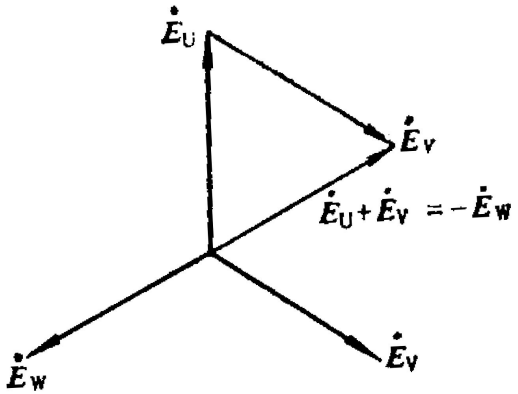
④ 各线电压在相位上比对应的相电压超前30°。

在日常使用的三相四线制低压供电系统中，相电压为220V，线电压为380V。

2.三相三线制供电方式（Δ形）



三相三线制供电方式（Δ形）



三相对称电动势之和

特点
- 线电压等于相电压
- 回路中的总电动势为零

小结

一、三相对称电动势特点

二、Y形联结的特点：

1、有两组供电电压，即相电压和线电压。

2、线电压的大小等于相电压的 $U_L = \sqrt{3}U_P$

3、各线电压在相位上比对应的相电压超前30°。

三、△形联结的特点：

1、只能提供一种电压，即 $U_L = U_P$

2、接线正确时，回路中不会产生环流。

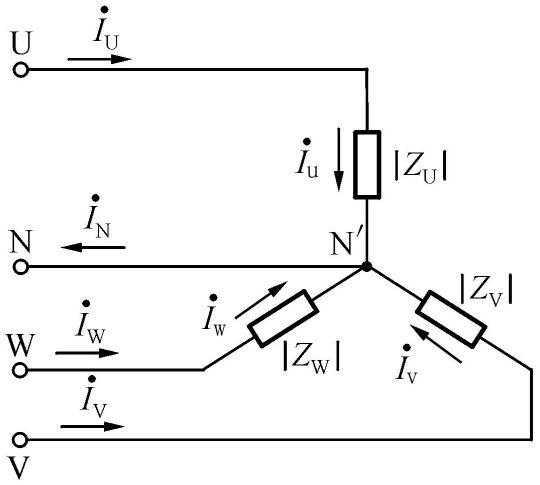
05

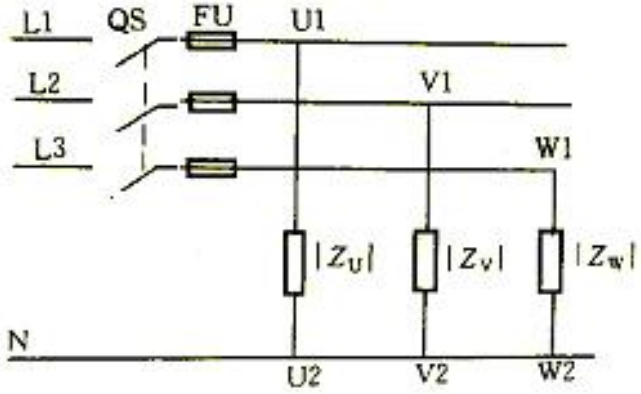
第五节　三相负载的连接

5.1 三相负载的连接

1.三相负载的星形（Y）联结

（1）电路





三相负载的星形（Y）联结

（2）概念

A.相电流——通过每相负载的电流

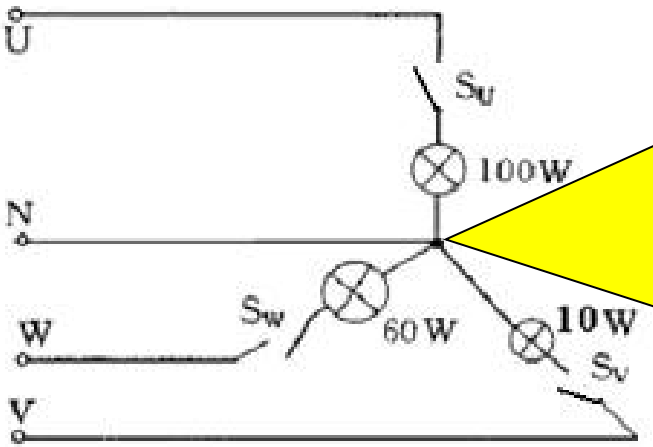
B.线电流——通过端线的电流

（3）三相对称负载

$$I_{\mathrm{YP}} = I_{\mathrm{YL}}$$

特点：各相电流大小相等，且每相电流的相位差为120°，中性线电流为零，可省去，三相四线制变为三相三线制。

（4）三相不对称负载



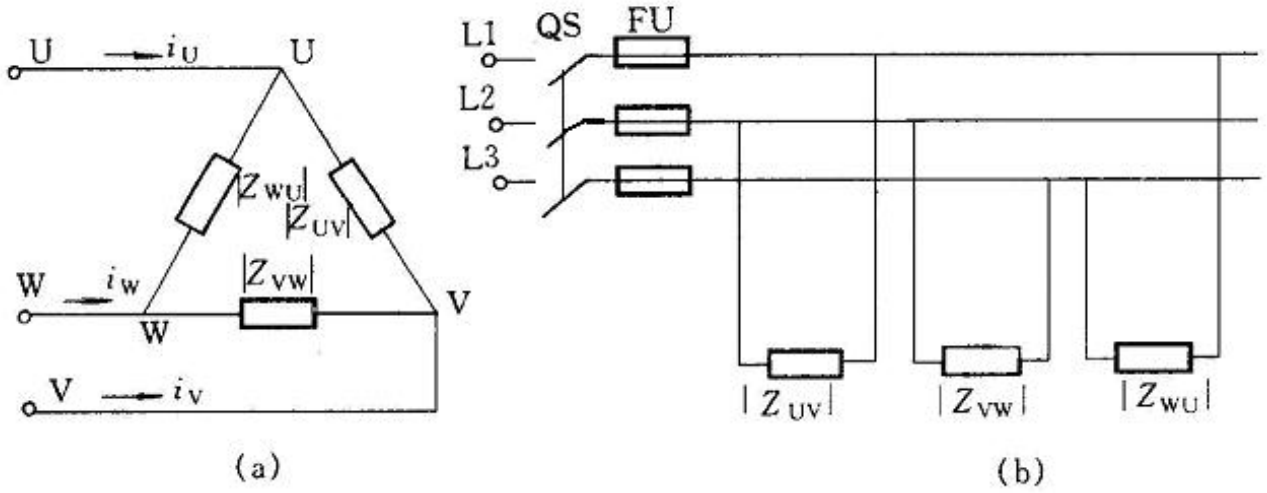
$$\begin{cases} I_U = \dfrac{U_U}{Z_U} \\ I_V = \dfrac{U_V}{Z_V} \\ I_W = \dfrac{U_W}{Z_W} \end{cases}$$

中性线的作用就在于使星形联结的三相不对称负载能够获得对称的电源相电压，保证负载正常工作。所以，在三相四线制供电系统中，规定中性线上不允许安装开关和熔断器，而且中性线常用钢芯导线来加强其机械强度，以免断开。在连接三相负载时，应尽量使其平衡，以减小中性线电流。

5.1 三相负载的连接

2.三相负载的三角形（Δ）联结

（1）电路



三相负载的三角形联结

（2）线电压和相电压的关系

$$U_{\Delta P}=U_{L}$$

（3）线电流和相电流的关系

$$I_{\Delta L}=\sqrt{3}I_{\Delta P}$$

3.三相电功率

三相对称负载无论是星形联结还是三角形联结的功率计算。

$$\begin{cases} P=\sqrt{3}U_{L}I_{L}\cos\varphi \\ Q=\sqrt{3}U_{L}I_{L}\sin\varphi \\ S=\sqrt{3}U_{L}I_{L} \end{cases}$$

小结

一、三相负载Y形联结时，归纳总结出以下关系式：

$$U_{\mathrm{L}}=\sqrt{3}U_{\mathrm{P}}$$

$$I_{\mathrm{L}}=I_{\mathrm{P}}=\frac{U_{\mathrm{P}}}{|Z|}$$ (若负载对称)

二、三相负载△形联结时，归纳总结出以下关系式：

$$U_{\mathrm{L}}=U_{\mathrm{P}}$$

$$I_{\mathrm{L}}=\sqrt{3}I_{\mathrm{P}}=\sqrt{3}\frac{U_{\mathrm{L}}}{|Z|}$$ (若负载对称)

三、三相电功率 $P=\sqrt{3}U_{\mathrm{L}}I_{\mathrm{L}}\cos\varphi$

$$Q=\sqrt{3}U_{\mathrm{L}}I_{\mathrm{L}}\sin\varphi$$

$$S=\sqrt{3}U_{\mathrm{L}}I_{\mathrm{L}}$$

本章小结

本章主要学习了：

1.单相正弦交流电的物理量及正弦交流电的表示法。

2.单一元件（纯电阻、纯电感、纯电容）正弦交流电路中电压和电流的关系、特点。

3.电路有功功率、无功功率、视在功率的概念及相互关系；功率三角形和电路功率因数的概念，提高功率因数的方法及其在实际生活中的意义。

4.多元件串联电路的阻抗、功率和谐振的概念，会判断电路性质。

5.不同联结方式下线电压和相电压的关系及线电流、相电流和中性线电流的关系，三相电功率的概念及计算。

第二单元

电工技术

单元导入

电力供电和节约用电

一、 电力供电

低压电器广泛应用于发电厂、变电所、工矿企业、交通运输、农业、国防工业、电力输配系统、电气传动、日用家电及自动化控制等各行业中。本章内容主要突出知识和能力的融合，强调以技术应用（职业岗位）能力为主线设计教学内容。学习内容包括：

1.在生活与工业中从多方面，多角度如功能、环境、安全、节能、使用寿命等方面熟悉各种照明灯具。

2.变压器的基本原理以及特殊变压器的接线特点。

3.熟悉和掌握各种低压电器的结构、性能、使用方法和操作规范，将有利于我们提高工作效率和产品质量乃至保障人身安全。在学习过程中，将专业知识与育人相融合,潜移默化中培养学生的知识总结归纳能力、个人表达能力、团队合作能力,引导学生关注科技前沿，了解产业发展动态,紧跟时代步伐。

一、 电力供电

1 电力系统

1.电力系统

由各种电压的电力线将发电厂、变电所和电力用户联系起来的发电、输电、变电、配电和用电的整体称为电力系统,如图2.0.1所示。

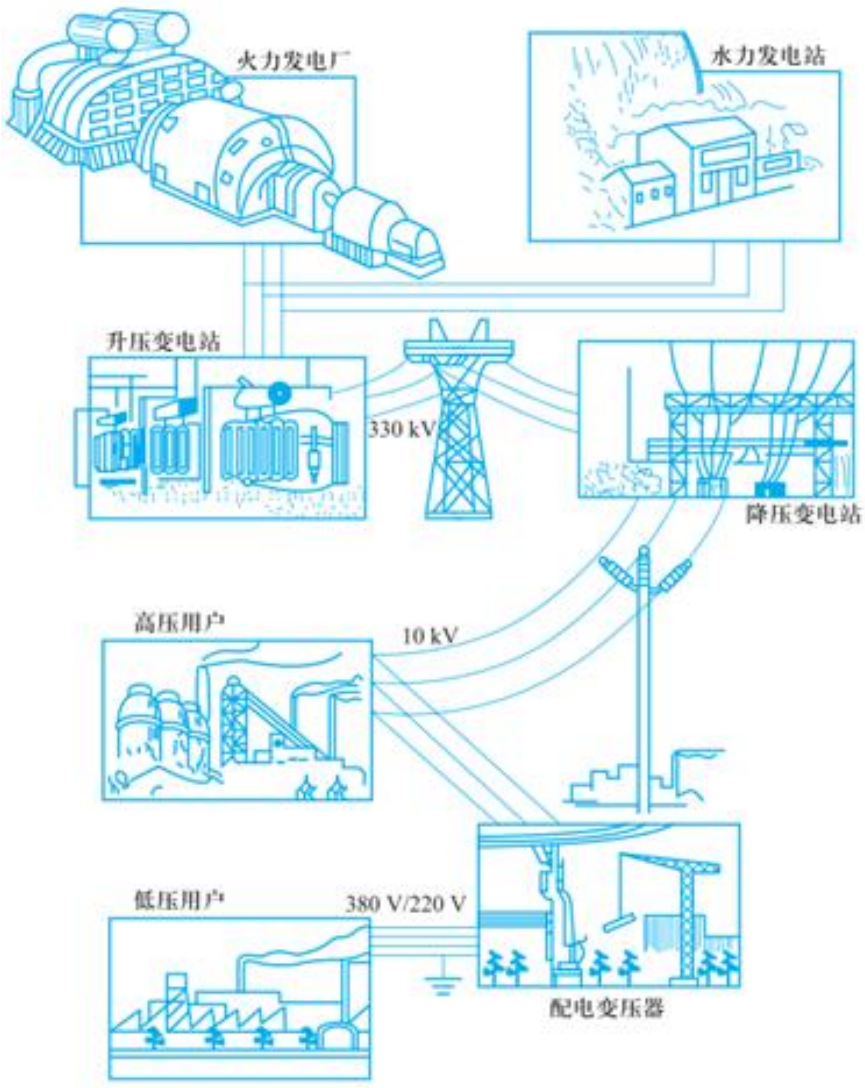


图2.0.1 电力系统示意图

一、 电力供电

1 电力系统

发电厂是把其他形式的能量转换成电能的场所。发电厂按所用能源不同，可分为火力发电厂、水力发电站、核能发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂等，如图2.0.2所示。


水力发电站


火力发电厂


核能发电厂


太阳能发电厂


风力发电厂

图2.0.2 各种发电厂

一、 电力供电

1 电力系统

在由发电厂向外输电的过程中，为了提高输电效率并减少输电线路上的损失，通常采用升压变压器将电压升高后再进行远距离输电。目前我国远距离输电线额定电压有35 kV、110 kV、220kV、330kV、500kV等。

高压电输送到用电地区，然后再降压分配给用户，高压配电线路的额定电压有3kV、6 kV和10 kV三种;低压配电线路的额定电压是380 V/220 V。

一、 电力供电

2 低压电力供电的主要方式

我国的低压配电系统，最常见的是TN系统，目前在生产生活中广泛采用的是TN-C和TN-S系统。TN-C方式供电系统，也就是三相四线制系统，如图2.0.3所示。由于TN-C系统需要依靠PEN线中的不平衡电流来维持三相电压的平衡，所以TN-C系统一般使用于三相负荷较平衡的工业企业用电场合。

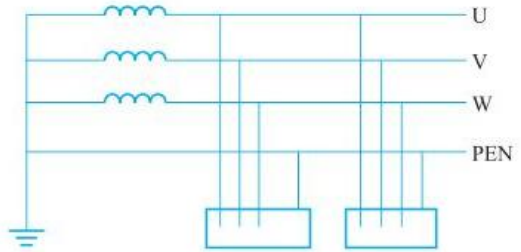


图2.0.3 TN-C系统

对于照明类三相不对称负载，由于通过漏电保护器的中性线只能作为工作零线，不能作为电气设备的保护零线，TN-C系统中不允许使用漏电保护器。因此，国家规定民用建筑不允许使用TN-C系统。

一、 电力供电

2 低压电力供电的主要方式

TN-S方式供电系统，是把工作零线N和专用保护零线PE严格分开的三相五线制供电系统，如图2.0.4所示。其特点为:

(1)系统正常运行时，只是工作零线N上有不平衡电流，保护零线PE上没有电流，PE线对地没有电压，但PE线绝对不允许断开。

(2)TN-S系统供电干线上可以安装漏电保护器。工作零线必须经过漏电保护器但不得有重复接地;而E线不允许经过漏电保护器但必须有重复接地。

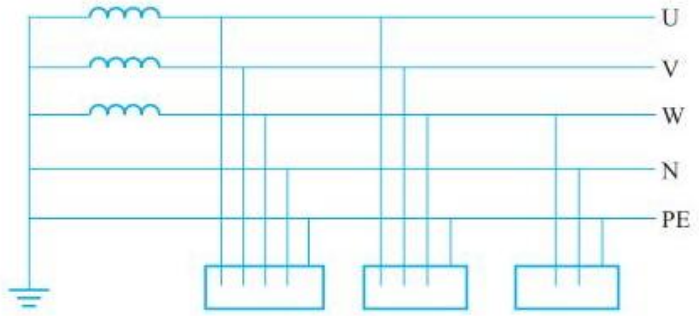


图2.0.4 TN-S系统

一、 电力供电

2 低压电力供电的主要方式

(3) TN-S系统安全可靠，适用于工业与民用建筑等低压供电系统。规定:凡是新扩建的建筑施工现场及临时线路，一律实行三相五线制供电方式。

(4)三相五线制导线的标准颜色: U相线用黄色，V相线用绿色，W相线用红色，中性线N线用黑色或淡蓝色，PE线用黄绿色。由此分出的单相三线线路中，一般相线用红色或棕色，中性线为蓝色，保护零线PE线用黄绿色。

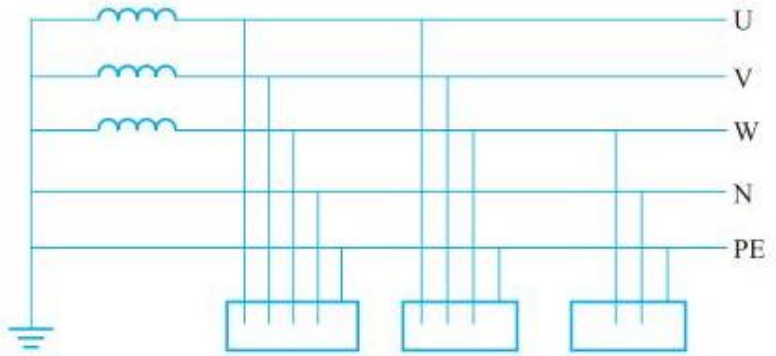


图2.0.4 TN-S系统

二、节约用电

节约用电，是指加强用电管理，采取技术上可行、经济上合理的节电措施，减少电能的直接和间接损耗，提高能源效率和保护环境。

节约用电的途径很多,一是电力部门不断加强科学研究，尽量降低输电线路的损耗，提高设备的功率因数；二是电力企业通过选用匹配合理的用电设备，提高电能的利用效率；三是在日常生活和生产中，尽可能地选用节能型的电器，如使用节能型照明灯，使用热效率高的家用电器等；四是要树立节能的意识，养成节约用电的好习惯。

第 四 章

家用电器

目录

01 照 明 灯 具

02 变 压 器

03 常 用 低 压 电 器

学习目标

1.具有坚定的理想信念、深厚的爱国情感，热爱专业学习，善于发现生活中的学习点，乐于用所学知识解决实际问题。

2.具有环保意识、安全意识、合作意识、节约用电意识，遵守职业道德准则和行为规范，具有高度的责任心。

3.掌握各种照明灯具的结构及应用。根据实际场合需求选择合适的照明灯具。熟练安装照明电路，并会进行简单故障排除。

4.掌握变压器的类型，同名端的判断工作特点和应用。

5.掌握常用低压电器的结构，工作过程和应用，认识各种低压控制电器会灵活使用，合理选用。

01 第一节 照明灯具

1 LED 灯

LED灯如图2.4.1所示，LED灯的主要器件是发光二极管，由于LED灯具有消耗能量较同光效的白炽灯减少80%、使用寿命长、色彩表现丰富等优点，因此广泛应用于仪器仪表的指示光源及各种信息的显示屏幕、交通信号、室内照明等，目前LED照明灯已经成为主流照明灯具。



图2.4.1 LED灯

1.1 常用照明灯具及应用

1 LED 灯

LED灯接法：LED灯LED灯电路安装接线图如图2.4.2所示，使用时，应注意将相线通过开关接到灯头的中心接点上。

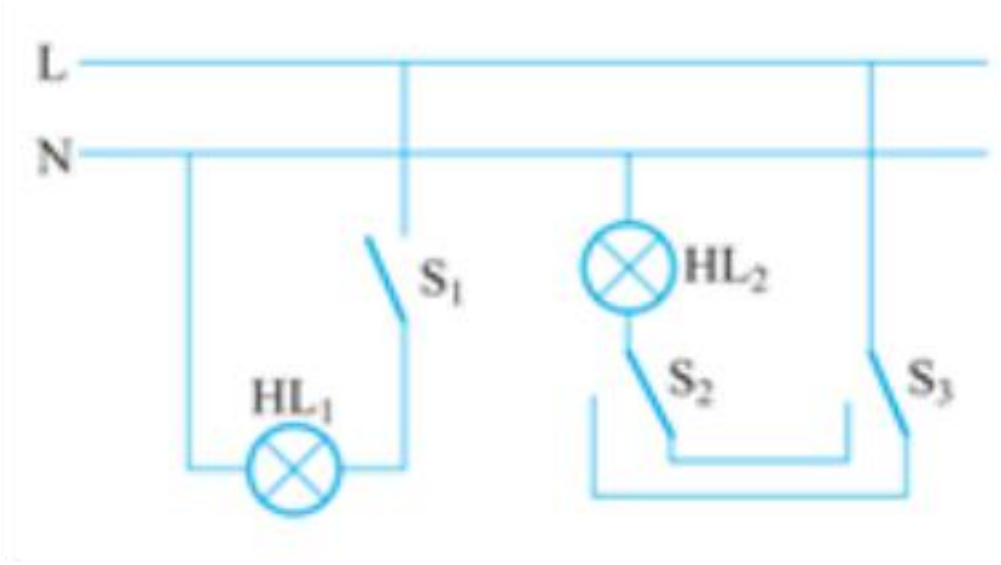


图2.4.2 安装接线图

1.1 常用照明灯具及应用

1 LED 灯

特点及使用场合：LED灯具有寿命长、光色纯正、防潮、抗震动、外形尺寸灵活、节能环保、多变幻、技术先进、低热量、小型化、响应时间短等优点，为应用于实际生产生活中创造了有利条件。LED灯是微电子产品，它成功融合了计算机技术、网络通信技术、图像处理技术、嵌入式控制技术等，是数字信息化产品，是半导体光电器件“高新尖”技术，具有在线编程、无限升级、灵活多变的特点。但是LED灯与其他光源比较也有不足的方面，比如在白光照明中显色性偏低等。

2 电子镇流器式荧光灯

电子镇流器是应用电子开关电路启动和点燃荧光灯的电子元件。常见的电子镇流器及电子镇流器式荧光灯如图2.4.3所示。



图2.4.3 常用电子镇流器式荧光灯

2 电子镇流器式荧光灯

使用电子镇流器式荧光灯接线图如图2.4.4所示，电子镇流器一般有6根引出线，其中2根接电源，另外4根分为两组，分别接灯管两边灯丝。

要点提示：

- 灯管每一端的灯丝在连接时没有正反之分。
- 区分电源线和灯丝连线，不要接错。

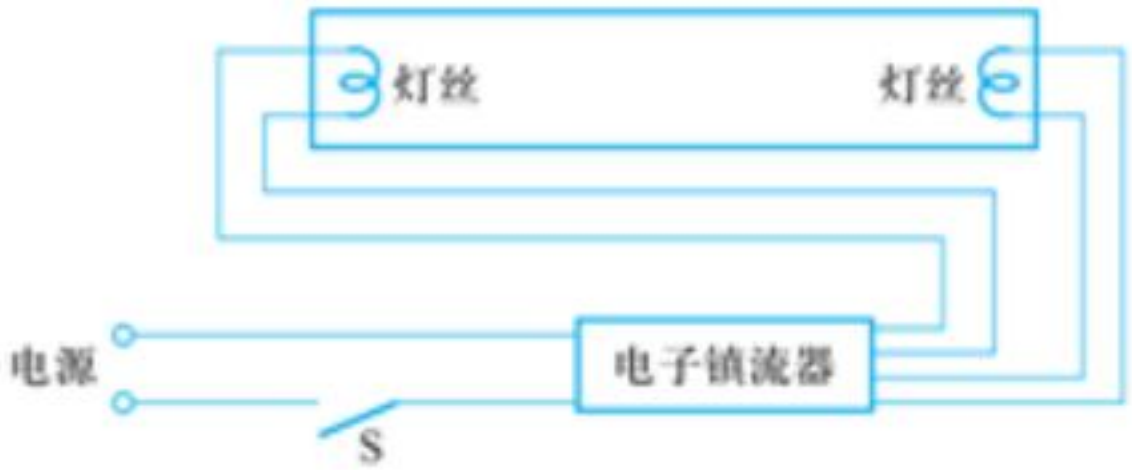


图2.4.4 电子镇流器式荧光灯接线图

1 碘钨灯

碘钨灯外观如图2.4.5所示。碘钨灯具有结构简单、使用可靠、光谱特性好、发光效率高、体积小、维修方便等优点，但同时也有使用寿命不长、安装要求高等缺点。这种灯：适用于照度要求较高、悬挂高度较高的室内外照明。使用时直接加交流电，用开关控制即可。



图2.4.5 碘钨灯外观

2 高压钠灯

高压钠灯外形如图2.4.6所示。高压钠灯是一种发光效率高、省电、透雾能力强的电光源，适用于街道、机场、车站、码头港口以及体育场等场所的照明。高压钠灯的灯管熄灭后，必须等管内温度下降后，热继电器复位，才能重新点亮。

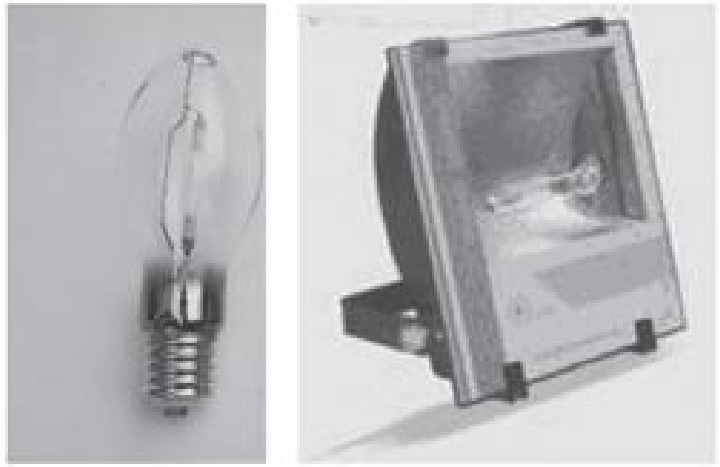


图2.4.6 高压钠灯外形

02

第二节　变压器

一 单相变压器

单相变压器实物图和图形符号如图2.4.7所示。

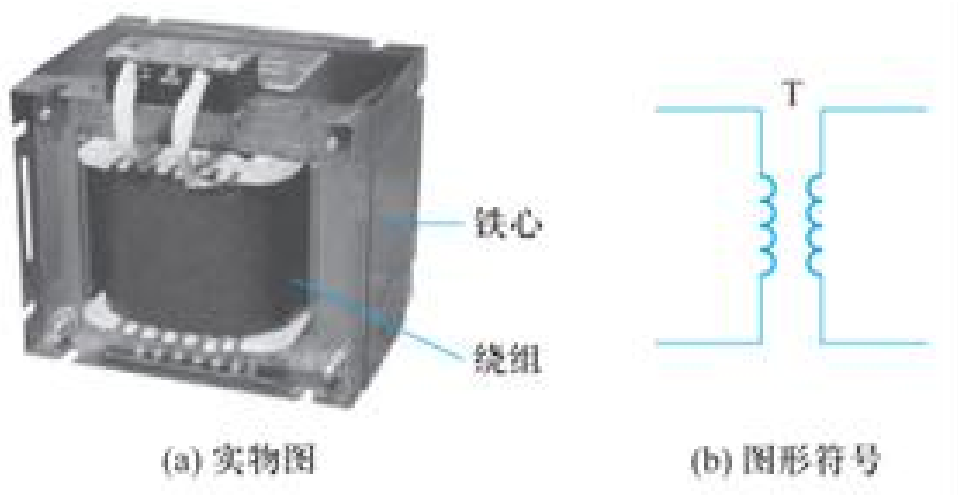


图2.4.7 单相变压器

2.1 变压器

1 单相变压器的结构

变压器的铁心是变压器的磁路部分。为了减少铁心内部的涡流损耗和磁滞损耗，铁心一般用0.35 mm厚的冷轧硅钢片叠成。铁心一般分为心式和壳式两大类，心式变压器在两侧铁心柱上安置绕组，壳式变压器在中间铁心柱上安置绕组。

绕组是变压器的电路部分。它由漆包线或绝缘的扁铜线绕制而成，套在铁心上。变压器一般有两个或两个以上的绕组，接电源的绕组称为一次绕组(或原绕组),接负载的绕组称为二次绕组(或副绕组)。

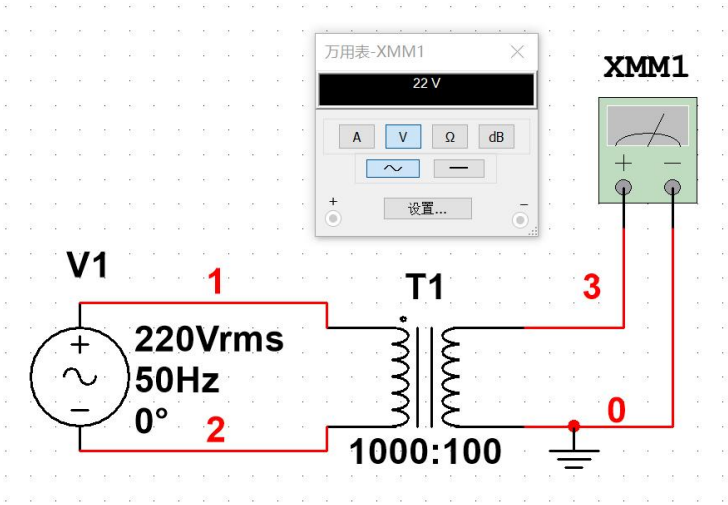
2 变压器的工作过程

（1）变压器的变压过程

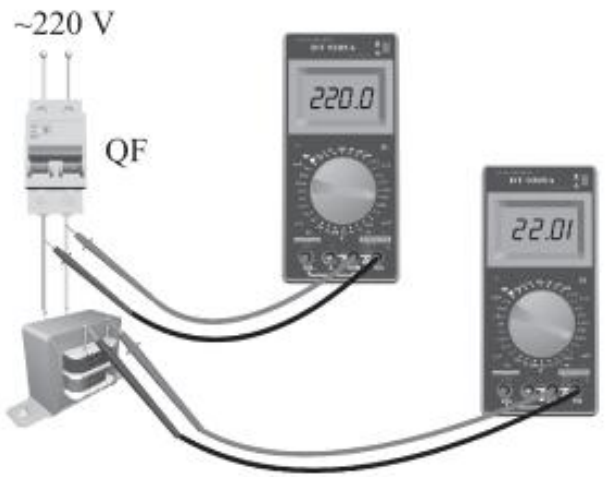
采用Multisim14仿真软件(也可采用实际变压器)连接变压器的变电压实验电路，如图2.4.8所示，分别设定变压器一次绕组、 二次绕组匝数及交流电源电压数值(频率是50 Hz),用交流电压表测二次电压数值。 变换电源电压数值或一次绕组、二次绕组匝数，再多测几组数据，计算匝数比与电压比，根据一次、二次电压数值与其匝数关系，总结变压器的变电压规律。

2 变压器的工作过程

（1）变压器的变压过程



（a）仿真实验电路



（b）实物电路

图2.4.8 变压器的变电压试验

2 变压器的工作过程

【提示】

在不计各种损耗的状态下，变压器的电压变换关系是:

$$\frac{U1}{U2} = \frac{N1}{N2} = K$$

其中，U1、U2,分别为一次、二次电压值； N1、N2分别为一、二次绕组的匝数； K称为变压比。

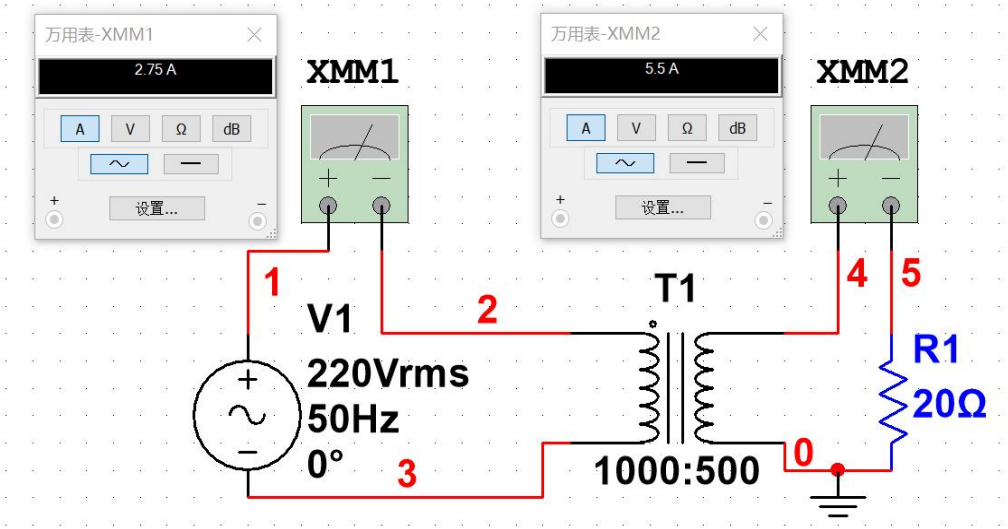
2 变压器的工作过程

（2）变压器的变电流过程

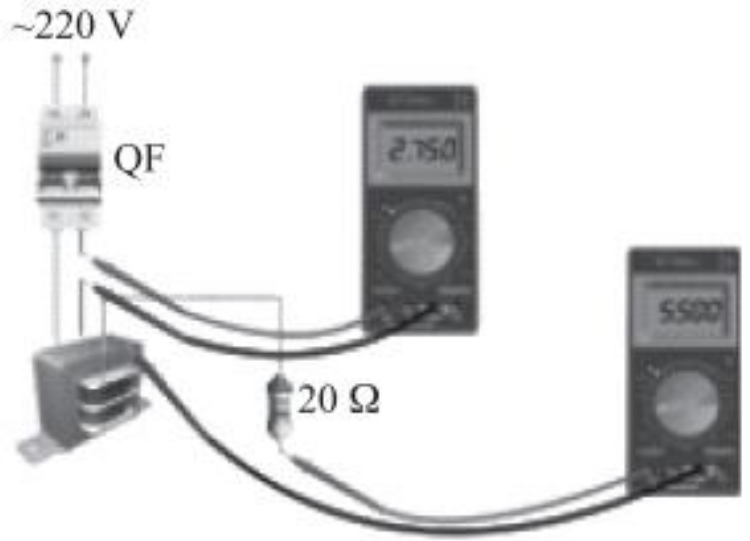
采用Multisim14仿真软件(也可采用实际变压器)连接变压器的变电流实验电路，如图2.4.9所示，分别设定变压器一次绕组、二次绕组匝数及交流电源电压数值(频率是50Hz)，二次侧接入20Ω负载电阻，用交流电流表分别测一次、二次电流数值。变换一次绕组、二次绕组匝数，再多测几组数据。计算匝数比与电流比，根据一次、二次电流数值与其匝数关系，总结变压器的变电流规律。

2 变压器的工作过程

（2）变压器的变电流过程



（a）仿真实验电路



（b）实物电路

图2.4.9 变压器的变电流实验

3 变压器变阻抗的原理

电子线路中，总希望负载获得最大功率，而负载获得最大功率的条件是负载阻抗等于信号源的内阻，此时称为阻抗匹配。但在实际工作中，负载的阻抗与信号源内阻一般不相等，这就需要利用变压器进行阻抗匹配，使负载获得最大功率。

3 变压器变阻抗的原理

设$|Z_1|$为变压器一次绕组输入阻抗，$|Z_2|$为二次绕组负载阻抗，则有：

$$|Z_1|=K^2|Z_2|$$

通过上式可知，负载阻抗通过变压器接电源时，相当于该阻抗增加K^2倍。

4 变压器的同名端及其测定

（1）变压器的同名端：

在任何瞬间，两个或两个以上的绕组中感应电动势极性相同的两个端点，称为同名端，同名端也称为同极性端。绕组的同名端取决于绕组的绕向。在电路图中，变压器绕组的同名端常用点“●”或星号“*”表示，如图2.4.10所示，U_1,端与u_1,端为同名端。

4 变压器的同名端及其测定

（1）变压器的同名端：

在多绕组变压器中，为了得到不同的变比，往往需要把几个绕组串联或并联。连接时，必须注意同名端。若把同名端接错，设备不能正常工作，甚至会造成严重事故。在工程技术中，同名端是非常重要的。

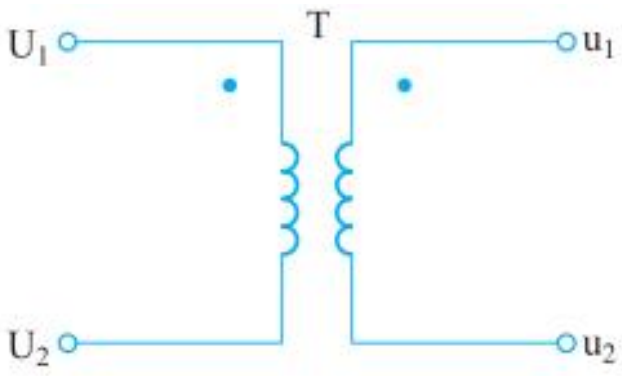


图2.4.10 同名端标记

4 变压器的同名端及其测定

（2）变压器同名端的测定：为了测定没有标记的两个绕组的同名端，常用的方法有交流法和直流法。

交流法：将两个绕组1-2和3-4的任意两端(如2和4)连接在一起，如图2.4.11(a) 所示。在任意一个绕组的两端加一个低压交流电压，分别测出U_1、U_2和U_3,若$U_3 = U_1 - U_2$,则1和3是同名端;若$U_3 = U_1 + U_2$,则1和4是同名端。

4 变压器的同名端及其测定

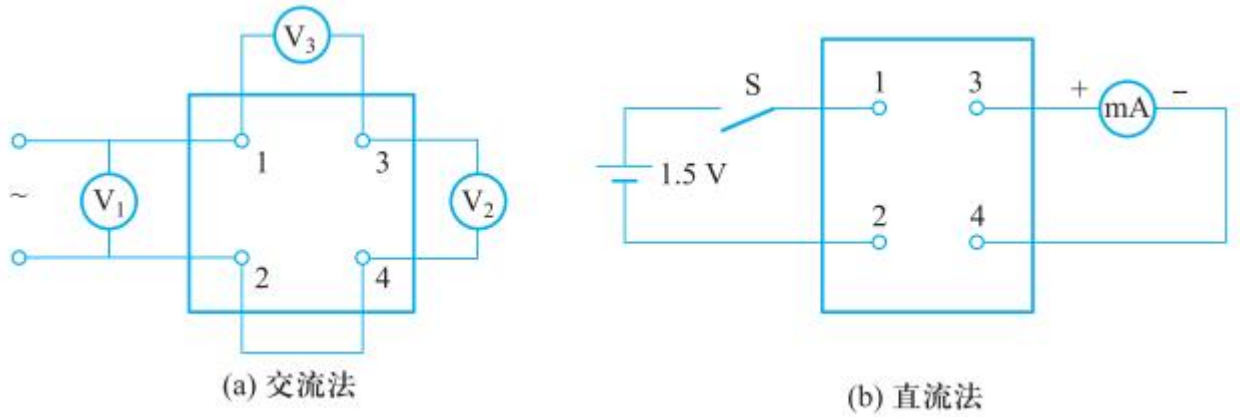


图2.4.11 变压器同名端的测定

直流法：将任意一个绕组通过开关S接一个1.5V的电池，另一绕组通过万用表的50 mA挡构成闭合回路，如图2.4.11(b)所示连接，在开关S闭合瞬间，若毫安表指针正向偏转，则1和3是同名端，若毫安表指针反向偏转，则1和4是同名端。

5 变压器的运行特性

变压器对电网来说相当于用电设备，因此希望损耗小、效率高;但对负载来说，它又相当于一个电源，要求其供电电压稳定。因此表示变压器运行特性的主要指标有两个:一是效率;二是输出电压的稳定性。

（1）变压器的外特性

变压器的外特性是指一次侧电压为额定值U_{1N}、负载功率因数cosφ-定时，二次侧端电压U_2,随负载电流I_2，变化的关系曲线，如图2.4.12所示。

5 变压器的运行特性

（1）变压器的外特性

从图2.4.12中可以看出，变压器的外特性与负载的大小和性质有关。随着负载的增大，对于纯电阻负载，端电压下降较少;对于电感性负载，端电压下降较多;对于电容性负载，端电压却上升。

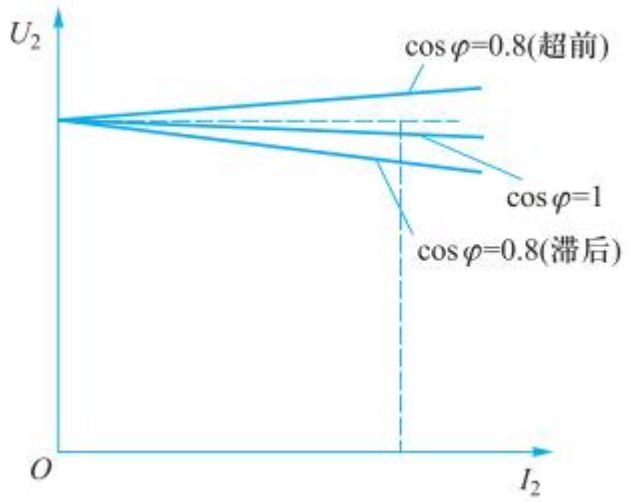


图2.4.12 变压器的外特性

5 变压器的运行特性

(1)变压器的外特性

当负载的功率因数过低、输出电流过大时，若是电感性负载，将引起输出电压过低;若是电容性负载，将引起输出电压过高;两者都会给负载的运行带来不良影响。

(2)变压器的损耗和效率

变压器的损耗:变压器的功率损耗主要有两部分，即铁损耗和铜损耗。

变压器铁心中的磁滞损耗和涡流损耗称为铁损耗，其值在电源电压与频率不变时固定不变，也称为不变损耗。

5 变压器的运行特性

(2)变压器的损耗和效率

变压器绕组有电阻，电流通过电阻时，在电阻上产生的功率损耗称为铜损耗，其值与电流的平方成正比。铜损耗的大小随负载的变化而变化，称为可变损耗。

变压器的效率:变压器的效率”是指它的输出有功功率P_2,与输入有功功率P_1，的比值，计算公式为：

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

5 变压器的运行特性

(2)变压器的损耗和效率

变压器的效率比较高，一般电力变压器的效率都在95%以上。同一台变压器在不同负载下效率也不同，当铜损耗等于铁损耗时效率最高。由于铁损耗固定不变，铜损耗随负载而变化，相对而言，减小铁损耗比较重要。要提高变压器的运行效率，变压器不应该工作在空载、轻载或过载的状态。

二 三相变压器

电力系统广泛采用三相电力变压器来实现电压的变换。目前使用最为广泛的是三相油浸式电力变压器。图2.4.13所示为S系列电力变压器。

1.结构组成

(1)铁心和绕组

铁心是三相变压器的磁路部分，由0.35 mm厚的硅钢片叠成。新型电力变压器铁心均采用高磁导率、低损耗的冷轧晶粒取向硅钢片制作，以降低损耗，提高变压器的效率。

1 三相变压器结构组成

绕组是三相电力变压器的电路部分，一般用绝缘纸包的扁铜线或扁铝线绕成。三相电力变压器大多采用同心式绕组结构，电力变压器器身如图2.4.14所示。



图2.4.13 S系列电力变压器

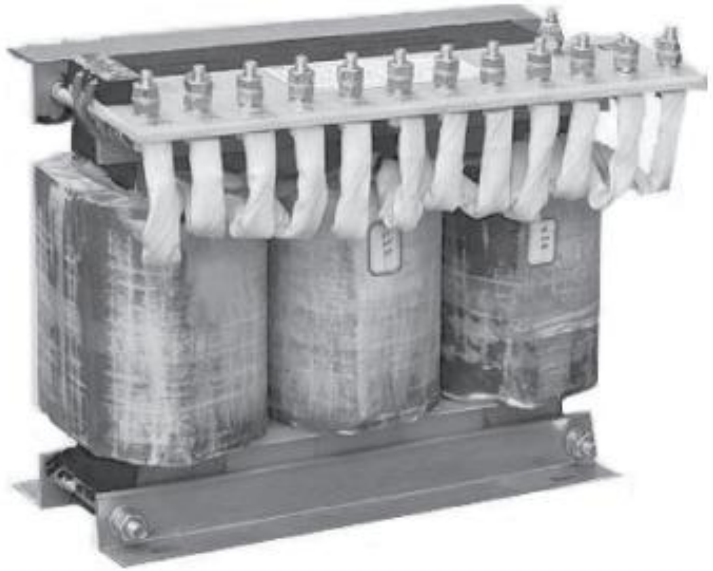


图2.4.14 电力变压器器身

1 三相变压器结构组成

(2)油箱及冷却装置

油箱由钢板焊接而成，它除放置变压器的器身外，还充满了变压器油。变压器油是一种作为绝缘介质和散热媒介的矿物油，新型号电力变压器油箱多采用片式散热器散热。

新型的全充油密封式电力变压器则取消了储油柜，运行时变压器油的体积变化完全由设在侧壁的膨胀式散热器(金属波纹油箱)来补偿。

1 三相变压器结构组成

(3)保护装置

保护装置主要是指气体继电器和防爆管。在油箱与储油柜之间的连接管中装有气体继电器。当变压器发生故障时，内部绝缘物汽化，使气体继电器动作，发出信号或使开关跳闸。

防爆管(安全气道)装在油箱顶部，它上端用酚醛纸板密封，下端与油箱相通。若变压器内部发生严重故障、继电器失灵，油箱内突然膨胀的气体使油箱内压力骤增时，油流冲破酚醛纸板，以免造成变压器箱体爆裂。

1 三相变压器结构组成

(4)绝缘套管

由瓷质材料制成，把高、低压引线从油箱中引出，以保证带电的引线与接地的油箱绝缘。不同等级的电压，采用的瓷套管结构不同。

(5)分接开关

电力变压器有±5%的抽头，通过分接开关改变分接头的连接，可以改变高压线圈的匝数，从而调节变压器的输出电压。

2 三相变压器铭牌与额定值

每台变压器都有铭牌，它是了解和使用变压器的依据，上面标有名称、型号、规格、出厂日期、制造厂等字样。三相变压器的铭牌如图2.4.15所示。

三相变压器

产品型号	S9-500/10	标准代号××××
额定容量	500 kV·A	产品代号××××
额定电压	10 kV	出厂序号××××
额定频率	50 Hz 3相	
联结组标号	Y,yn0	
阻抗电压	4%	
冷却方式	油冷	
使用条件	户外	

开关位置	高压		低压	
	电压/V	电流/A	电压/V	电流/A
Ⅰ	10 500	27.5		
Ⅱ	10 000	28.9	400	721.7
Ⅲ	9 500	30.4		

××变压器厂　　××年××月

图2.4.15 三相变压器的铭牌

2 三相变压器铭牌与额定值

型号表示变压器的结构特点、额定容量和高压绕组的电压等级。例如S9-500/10表示三相油浸自冷铜绕组变压器，额定容量为500kV·A，一次电压等级为10 kV。

额定电压U_{1N}/U_{2N}，在三相变压器中，额定电压是指线电压，单位是V或kV。

U_{1N}是指变压器正常工作时加在一次绕组上电压;

U_{2N}是指一次侧加U_{1N},变压器空载时二次绕组的电压值。

2 三相变压器铭牌与额定值

额定电流I_{1N}/I_{2N} I_{1N}和I_{2N}分别是指变压器一次、二次绕组连续运行所允许通过的电流。在三相变压器中，额定电流是指线电流，单位是A。

额定容量S_N S_N是指变压器额定的视在功率，即设计功率，通常称为容量。在三相变压器中，S_N是指三相总容量，单位为V·A或kV·A。

单相变压器： $S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$

三相变压器： $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{IN} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$

3 节能低耗三相电力变压器

20世纪70年代以前生产的电力变压器铁心采用热轧硅钢片，其主要缺点是变压器体积大、损耗大、效率低，主要型号为SJL系列。80年代起生产的新型电力变压器的铁心均采用高磁导率、低损耗的冷轧晶粒取向硅钢片，以降低损耗，提高变压器的效率，这类变压器，以S7及S9为代表产品。

进入21世纪，中国生产出S11型节能变压器，但只相当于西方80年代水平。随着国力日渐强盛，目前中国陆续研制出了S13、S15 系列变压器，现已开始批量生产，其损耗更小。非晶合金油浸式变压器的铁心不再采用传统的硅钢片制作，而是采用铁基、铁镍基、钴基等非晶带材料制作，具有体积小、

3 节能低耗三相电力变压器

效率高、节能等优点。目前我国能够生产1000kv、750kv、500kv、330kv、220kv、110kv、 66kv、35kv、20kv、10kv、6kv等型号的变压器。

全世界最大单变容量1500MV·A的电力变压器诞生在中国，中国生产的变压器电压等级最高达1100KV。2022年10月，我国自主研制的新型高压直出式100万KV·A/1000KV交流特高压变压器一次试验成功，试验数据表明，各项技术指标和性能指标均达到世界领先水平，标志着我国引领世界特高压变压器技术又迈出关键一步。

三 特殊变压器

1.仪用互感器

在电工测量中，被测量的电荷经常是高电压或大电流，为保证测量者的安全及仪表的标准化，必须将待测电压或电流按一定比例降低，以便于测量。用于测量的变压器称为仪用互感器。根据用途不同，互感器可以分为电压互感器和电流互感器。

1 仪用互感器

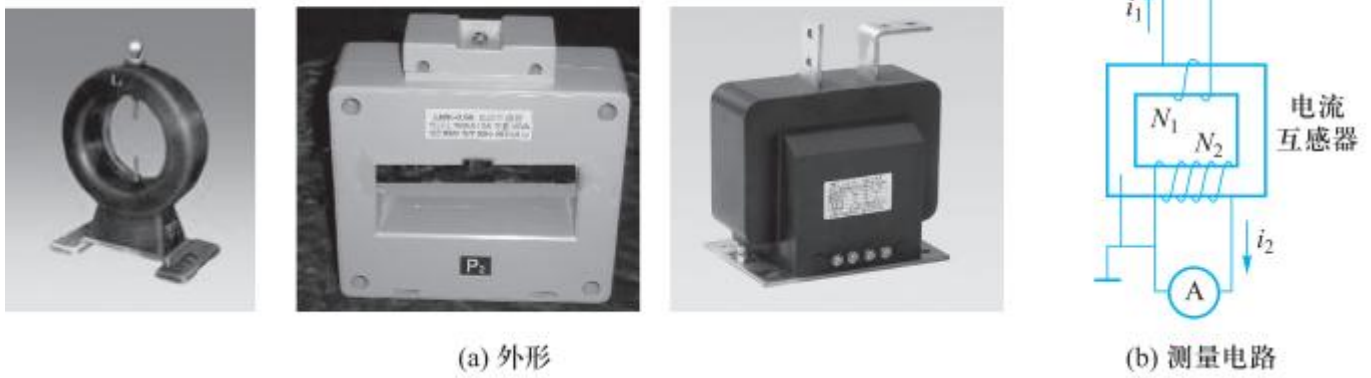
(1)电流互感器

电流互感器的外形及测量电路如图2.4.16所示。电流互感器的一次绕组的导线较粗，匝数很少，它串联在被测电路中，流过被测电流I_1。二次绕组的导线较细，匝数较多，与电流表串联，电流为I_2,其工作原理为变压器的变流原理。

1 仪用互感器

(1)电流互感器

电流互感器$N_1<N_2$,可将线路上的大电流变为小电流进行测量，被测电流的大小等于二次侧电流表的读数与变流比的乘积。通常其二次绕组的额定电流为5A。



(a) 外形　　(b) 测量电路

图2.4.16 电流互感器

1 仪用互感器

(2)电压互感器

电压互感器的外形及测量电路如图2.4.17所示。电压互感器的一次绕组匝数较多，与被测线路并联；二次绕组匝数较少，与电压表并联。其工作原理为变压器的变压原理。

电压互感器$N_2 < N_1$,可将线路上的高电压变为低电压来测量，被测电压的大小等于二次侧电压表的读数与变压比的乘积。通常规定其二次绕组的额定电压为100V。

1 仪用互感器



(a) 外形　　(b) 测量电路

图2.4.17 电压互感器

1 仪用互感器

【提示】

(1)电流互感器的二次侧可以短路，但不能开路；电压互感器的二次侧可以开路，但不能短路。

(2)相对于二次侧的负载来说，电流互感器可以认为是一个内阻无穷大的电流源，电压互感器可以认为是一个内阻很小的电压源。

(3)为保证工作人员及设备的安全，电流、电压互感器的铁心及二次绕组的一端都必须可靠接地。

2 自耦变压器

普通变压器的一次、二次绕组在电路上是相互分开的，无直接的电联系。而自耦变压器二次绕组电路是从一次绕组抽头而来。因此，自耦变压器的一次、二次绕组之间不仅有磁耦合，电路还互相连通，如图2.4.18所示。自耦变压器变压原理与普通变压器相同，即:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

2 自耦变压器

改变抽头位置，即可在次绕组获得所需电压。与同容量的自耦变压器相比，抽头做成滑动触点即可构成自耦调压器，如图2.4.19所示。

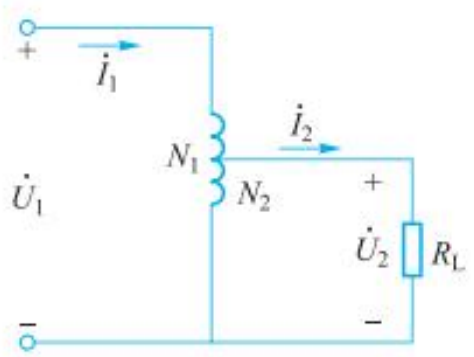


图2.4.18 自耦变压器原理图



图2.4.19 自耦调压器

【重点提示】

(1)自耦变压器体积较小，可以节省材料降低损耗，不但可以降压，也可用于升压。

(2)一次、二次绕组的电压不能接错，一次、二次绕组的公共端接中性线，最好能接地。低压侧的电气设备也要具备高压侧的绝缘等级。

(3)使用前，输出电压要调至零，接通电源后，慢慢转动手柄调节所需的电压。

(4)安全照明变压器不允许采用自耦变压器，不宜作为安全电源来使用。

03

第三节　常用低压电器

一 低压保护电器

1.熔断器

熔断器俗称保险丝，在低压配电网络和电力拖动系统中用作短路保护。常见熔断器的外形及图形符号如图2.4.20所示。



（a）外形　　（b）图形符号

图2.4.20 常见熔断器

3.1 常用低压电器

1 熔断器

熔断器主要由熔体、安装熔体的熔管和熔座三部分组成。

使用时，熔断器应串联在所保护的电路中。当线路或设备发生短路时，通过熔断器的电流如达到或超过某一规定值， 其自身产生的热量会使熔体熔断，从而使线路或电气设备脱离电源，起到保护作用。它结构简单、分断能力高、安装体积小、动作可靠、使用维护方便，还可以起到使电路与电源隔离的作用。

3.1 常用低压电器

1 熔断器

选用熔断器时，主要考虑其类型和熔体的额定电流两个因素。选择熔断器的类型时，主要依据负载的特性和使用场合，一般掌握如下原则：经常发生故障的地方应选用可拆式熔断器，易发生火灾或者有易燃易爆气体的地方应选用高分断能力、封闭良好的熔断器；电动机宜选用装有惯性大的锌质熔体熔断器。

1 熔断器

选择熔断器熔体时的注意事项：

(1)对于电炉和照明灯等电阻性负载，熔断器可用作过载保护和短路保护，熔体的额定电流应稍大于或等于负载的额定电流。

(2)对于单台电动机，其熔体的额定电流应不小于电动机额定电流的1.5 ~ 2.5倍。

2 断路器

低压断路器可用来保护电网的各种电气设备，在现代机床控制中被广泛作为电源的引入开关，也可用来控制不频繁起动的电动机。它不但能带负载接通和分断电路，而且对所控制的电路有短路、过载、欠电压和漏电保护等作用。常用的低压断路器为塑壳式，其外形及图形符号如图2.4.21所示。



(a) 外形　　(b) 图形符号

图2.4.21 常见低压断路器

2 断路器

【重点提示】

(1)断路器用作电源总开关或电动机的控制开关时，在电源进线侧必须加装刀开关或熔断器，以形成明显的断点；

(2)使用过程中若遇到分断短路电流，应及时检查触点系统，若发现电灼烧痕，应及时修理或更换。

3 热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理制成的一种自动电器，在电路中用作电动机的过载保护。常见的热继电器外形及图形符号如图2.4.22所示。

热继电器的结构如图2.4.23所示，当主电路中电流超过允许值而使双金属片受热时，它便向上弯曲，因而脱扣，扣板在弹簧的拉力下将动断触点断开，动断触点是接在电动机的控制电路中的，控制电路断开而使接触器的线圈断开，从而断开主电路。

3 热继电器



(a) 外形　　(b) 图形符号

图2.4.22 常见热继电器

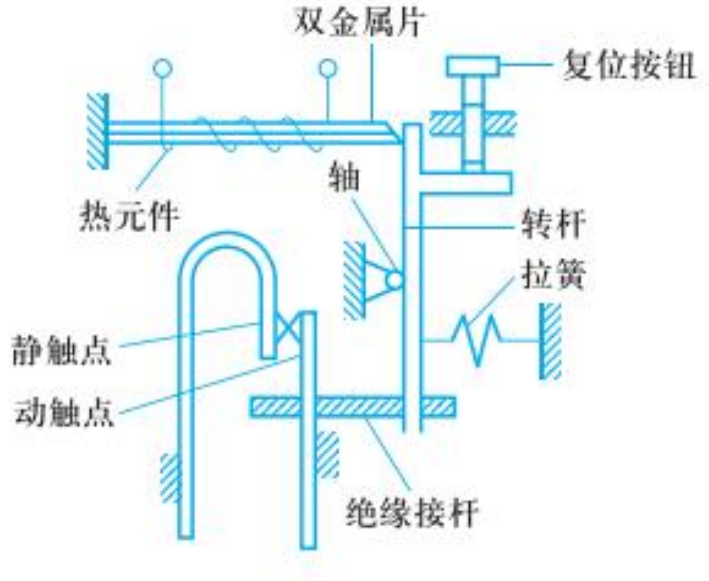


图2.4.23 热继电器的结构

3 热继电器

选择热继电器时要注意：

（1）热继电器的额定电流应等于或稍大于电动机的额定电流I_N。

（2）热继电器的整定电流(指热继电器长期不动作的最大电流，若超过此值就会动作)应等于(0.95 ~ 1.05) I_N 。

（3）对于三角形联结的电动机，应选用带断相保护功能的热继电器。

（4）对于三角形联结电动机的过载保护，当热继电器串联在电动机的相电路中时，其整定电流应等于0.58I_N 。

二 低压控制电器

1.低压开关

低压开关一般为非自动切换电器， 主要用作隔离、转换以及接通和分断电路。常用的低压开关主要有：闸刀开关、组合开关和断路器等。

(1)闸刀开关

闸刀开关又称刀开关，是结构最简单、应用广泛的一种手动电器。图2.4.24所示为常用的刀开关外形及图形符号。

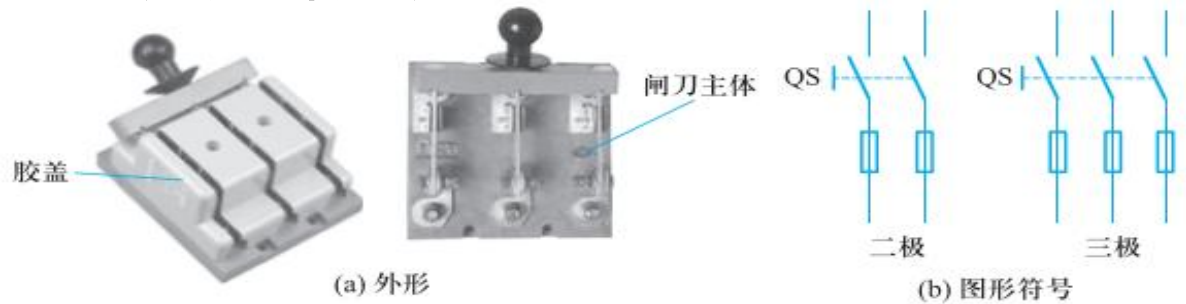


图2.4.24 常用的闸刀开关

1 低压开关

（2）组合开关

组合开关又称转换开关，有单极、双极和多极之分，常用于各种电气设备中换接电源和负载，如小容量电动机的直接起动控制等。图2.4.25所示为HZ系列组合开关，它由若干动触片和静触片组成，动触片装在带有手柄的转轴上，各动触片之间及各静触片之间都互相绝缘，转动手柄可使各动触片与各静触片接通或者断开。

1 低压开关

（2）组合开关



图2.4.25 HZ系列组合开关

2 按钮

按钮是一种手动操作接通或分断小电流控制电路，并具有储能复位的控制开关。常见按钮的外形及图形符号如图2.4.26所示。



(a) 外形　　(b) 图形符号

图2.4.26 常见按钮

2 按钮

按钮按静态时触点的分合状态，可分为动断按钮、动合按钮和复合按钮。其中动合按钮是指未按下时，触点是断开的，按下时触点闭合，当松开后，按钮自动复位。动断按钮与动合按钮动作状况相反。而复合按钮是将动合按钮和动断按钮组合为一体。按下复合按钮时，其动断触点先分断，然后动合触点再闭合；当松开按钮时，动合触点先断开，然后动断触点再闭合。

为了避免误操作，通常在按钮上涂以不同的颜色加以区分，停止按钮用红色，起动按钮用绿色。

3 行程开关

行程开关又称位置开关或限位开关，主要用来限制机械运动的位置或行程，使运动机械按一定位置或行程自动停止、反向运动、变速运动或自动往返运动等，其触点的动作不是靠手去操纵，而是利用机械设备的某些运动部件的碰撞来完成操作。常见行程开关的外形及图形符号如图2.4.27所示。

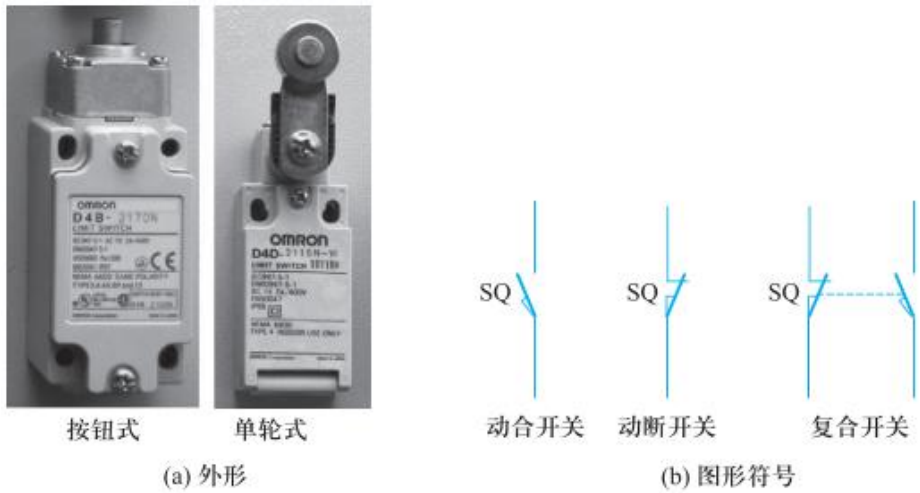


图2.4.27 常见行程开关

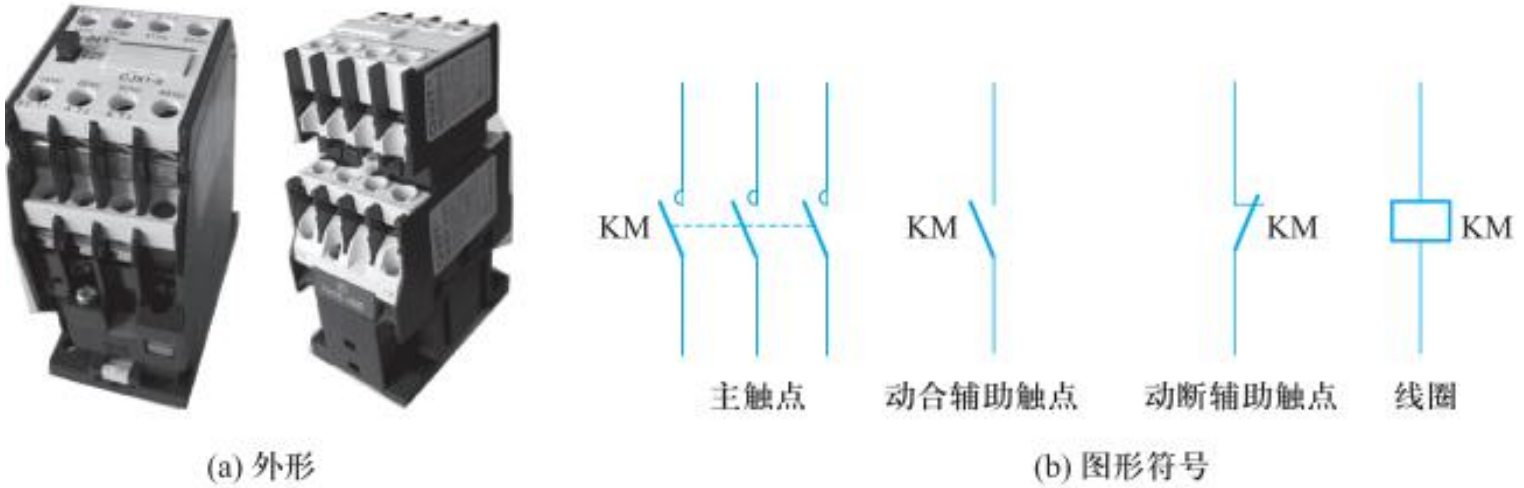
3 行程开关

安装行程开关注意事项：

- 安装位置要准确、牢固，防止尘垢造成接触不良或接线松脱而产生误动作导致设备和人身安全事故；
- 由于行程开关经常受到撞块的碰撞，安装螺钉经常松动造成位移，应注意经常检查另外在安装时还应该注意，行程开关在不工作时应处于不受外力的释放状态；
- 滚轮的方向不能装反。

4 交流接触器

交流接触器是一种用来频繁地接通或断开交流主电路及大容量控制电路的自动切换电器。常见交流接触器的外形与图形符号如图2.4.28所示。



(a) 外形　　(b) 图形符号

图2.4.28 常见交流接触器

4 交流接触器

交流接触器的动作原理示意图如图2.4.29所示。

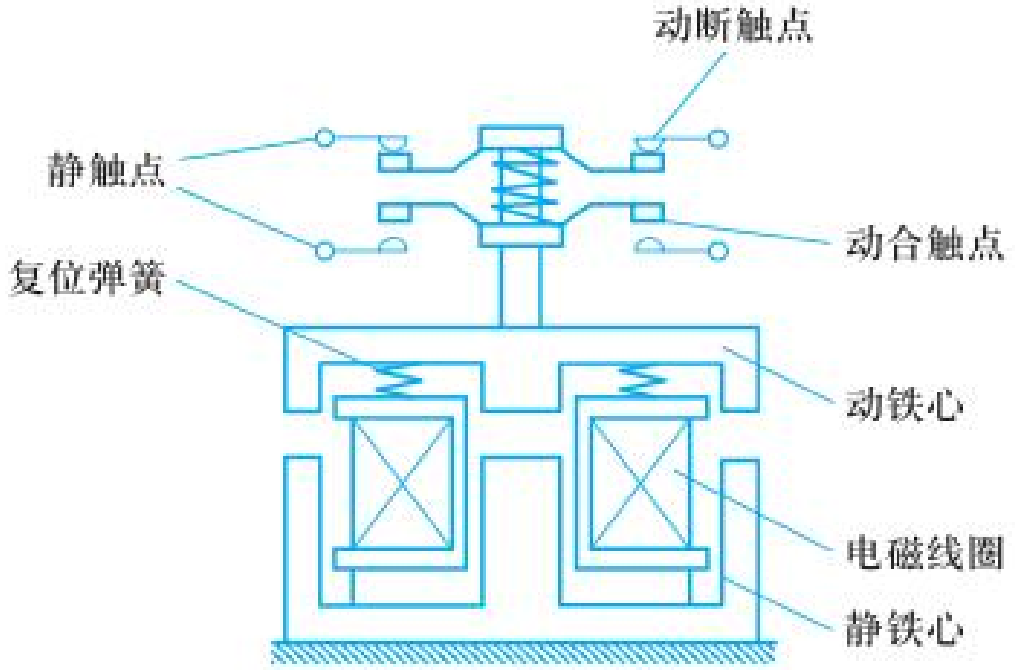


图2.4.29 交流接触器的动作原理示意图

4 交流接触器

当线圈通电后，线圈电流产生磁场，使静铁心产生电磁吸力，将动铁心吸台。动铁心带动触点动作，使动断触点断开，动合触点闭合。当线圈断电时，电磁吸力消失,衔铁在反作用弹簧力的作用下释放，各触点随之复位。交流接触器的电磁线圈的额定电压有36V、110V、 220V、380V等多种，选用时必须使线圈的额定电压等于控制电路的电压；主触点的额定电流有10A、20A、40A、60A等多种，选用时主触点的额定电流值应略大于或等于主电路中的额定电流值。交流接触器还有一定的欠电压保护作用，当电路中的电压降到一定的程度时，电磁铁因吸力不足而跳开，使动静触点分离。

5 时间继电器器

时间继电器是一种根据电磁原理或机械动作原理来实现触点系统延时接通或断开的自动切换电器。它广泛应用于机械电气控制电路。

时间继电器按动作原理分为电磁式、空气阻尼式、电动式与电子式时间继电器;按延时方式可分为通电延时型与断电延时型两种时间继电器。

常见时间继电器的外形与图形符号如图2.4.30所示。

5 时间继电器器

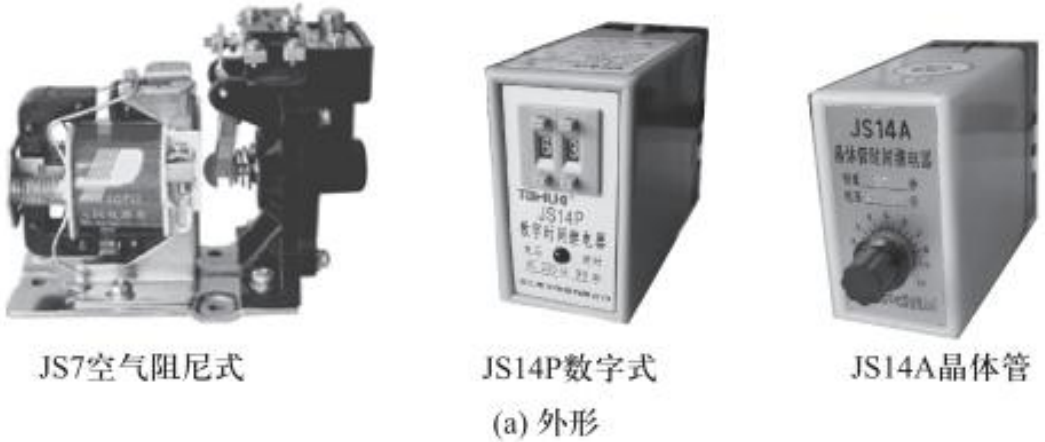


图2.4.30 常见时间继电器

5 时间继电器器

使用时间继电器注意事项：

- 在不通电的情况下整定时间继电器的整定值，并在试运行时校正；
- 时间继电器金属底板上的接地螺钉必须与接地线可靠连接；
- 通电延时型和断电延时型可在整定时间内自行调换。

【本章小结】

1.常用的照明灯具有LED灯和电子镇流器式荧光灯，其他节能电光源如碘钨灯和高压钠灯现在也得到广泛应用。

2.变压器是根据电磁感应原理制成的可以传输能量和传递信号的一种静止电器。其主要结构是铁心和绕组等，具有变换电压、变换电流、变换阻抗等作用。

(1)变压器的电压与绕组匝数的关系式为: $\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2}=K$，变压器的电流与绕组匝数的关系为: $\frac{I_1}{I_2}=\frac{N_2}{N_1}=\frac{1}{K}$，变压器的阻抗变换关系为: $|Z_1|=K^2|Z_2|$

(2)变压器的损耗较少，效率较高。

(3)三相变压器、自耦变压器、仪用互感器从原理上与单相变压器相同，但各有特点。

第 五 章

电动机及其基本控制

目录

01 三相异步电动机

02 单相异步电动机

03 直 流 电 动 机

04 三相异步电动机的基本控制

05 普通车床控制电路

学习目标

1.热爱专业学习，善于发现电动机在生活中的学习点，乐于用所学知识解决实际问题。

2.具有节能环保意识、安全操作意识、合作共赢意识，遵守职业道德准则和行为规范，具有高度的责任心。

3.掌握三相异步电动机的结构、工作过程、机械特性及改变转向的方法。

4.掌握三相异步电动机起动控制和正反转控制的方法，会识读三相异步电动机的各种起动控制和正反转控制的电路，会安装各种控制线路配电板。

5.会应用兆欧表测量三相异步电动机的绝缘电阻，会应用钳形电流表测量三相异步电动机的空载电流，会判断三相异步电动机定子绕组的首末端。

6.了解单相异步电动机的结构、工作过程及常见应用。

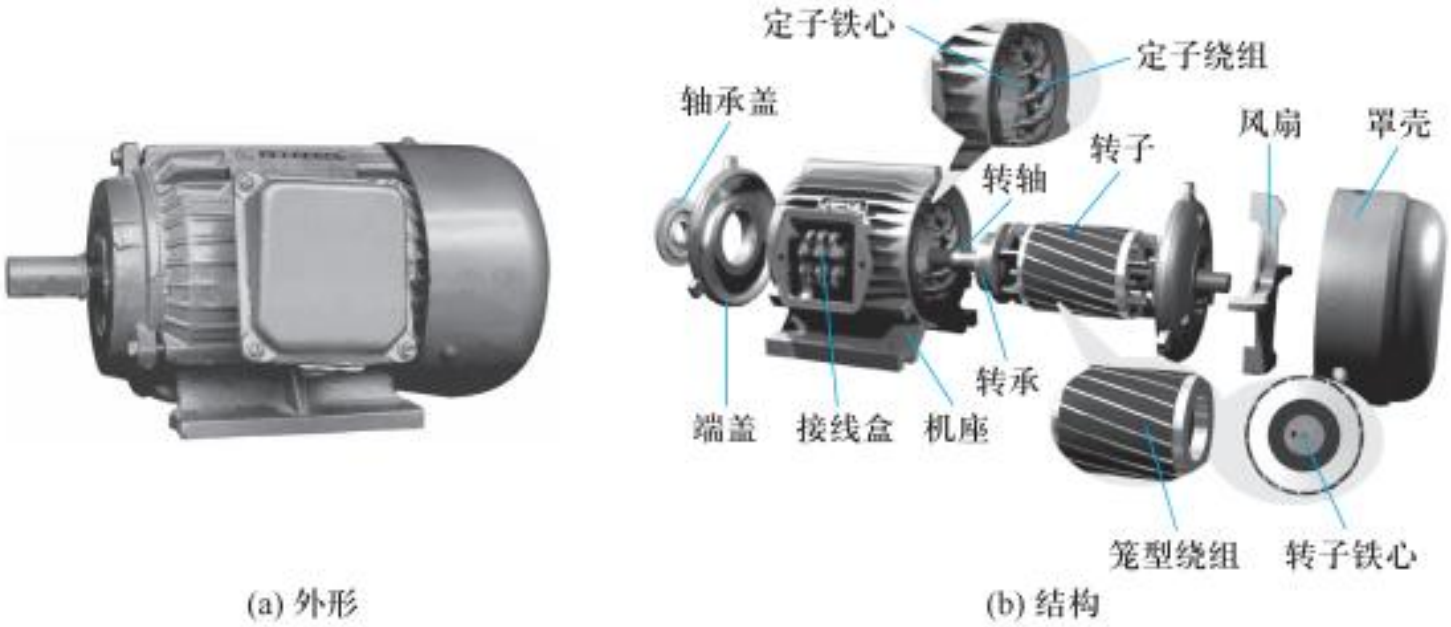
7.了解直流电动机的结构、工作过程、分类及应用。

8.了解普通车床的运动形式及电路结构。

01 第一节 三相异步电动机

1.1 三相笼型交流异步电动机的基本结构

三相笼型交流异步电动机主要由定子、转子组成，如图所示。静止部分称为定子，旋转部分称为转子。



(a) 外形　　(b) 结构

三相笼型交流异步电动机

1.1 三相笼型交流异步电动机的基本结构

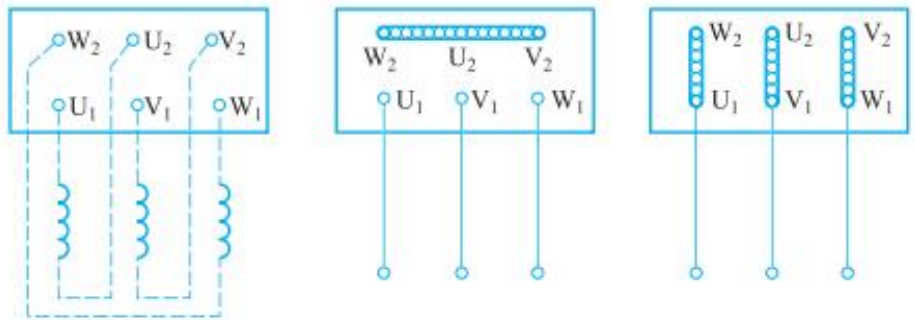
1 定子

由定子铁心、定子绕组和机座三部分组成。

（1）定子铁心：电动机的磁路部分，由0.5mm厚的硅钢片冲制、叠压而成，其内表面有许多分布均匀的槽沟，定子绕组放置在槽内。

（2）定子绕组：电动机的电路部分，由绝缘铜线或铝线绕制而成，三相绕组完全对称，6个出线端置于机座外部的接线盒内，根据需要可外接为星型或三角型，如图所示。

（3）机座：固定定子铁心和端盖。



(a) 接线盒　(b) 星形联结　(c) 三角形联结

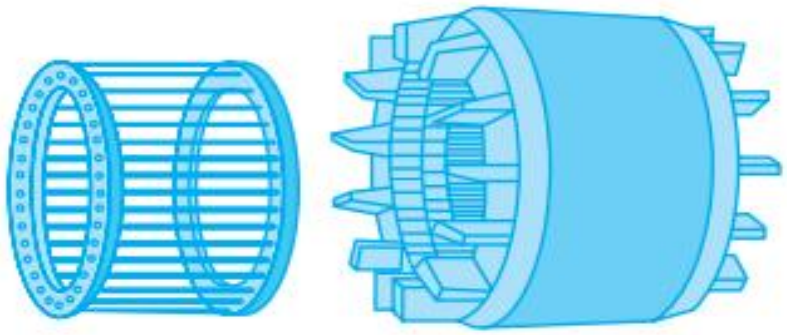
三相异步电动机的接线方式

2 转子

由转子铁心和转子绕组组成。

转子铁心：是电动机磁路的一部分。

转子绕组：一般做成笼型，作用是产生感应电动势和电磁转矩。



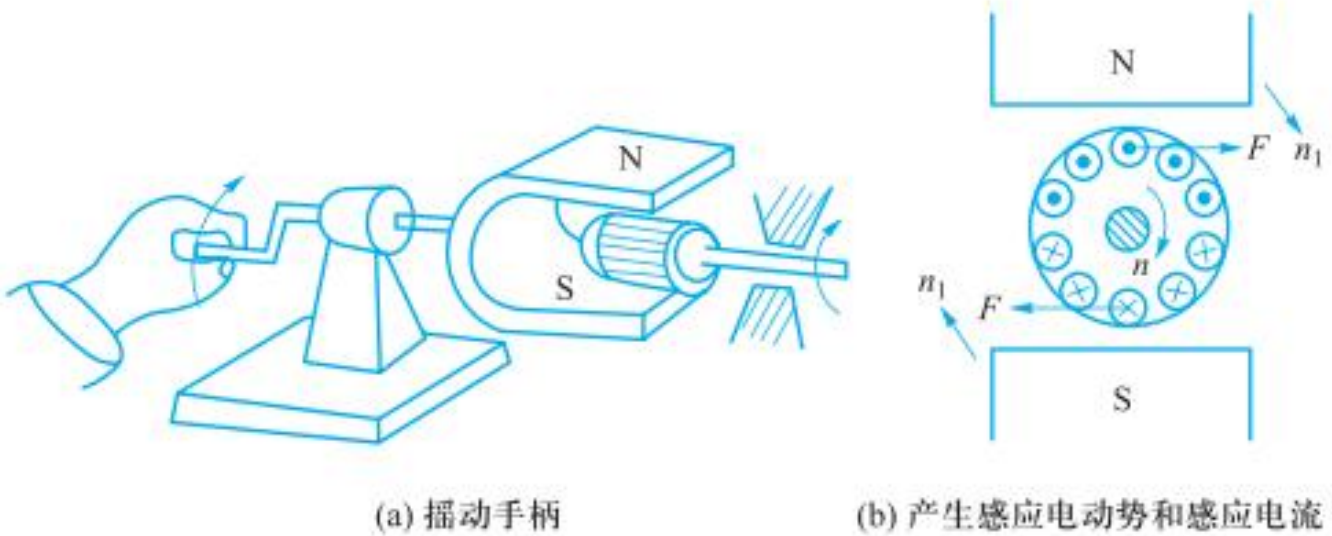
(a) 笼型转子绕组　　(b) 铸铝的笼型转子绕组

笼型转子绕组

1.2 三相笼型交流异步电动机的工作过程

1 转动原理

转子会跟着转动的磁铁朝同一方向一起旋转。实际的电动机靠定子绕组通过三相交流电来产生旋转磁场来代替实验中磁铁的转动。

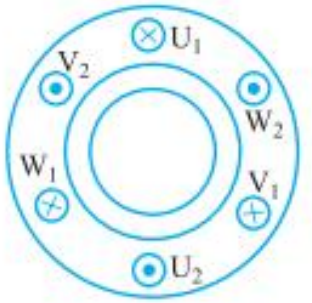


(a) 摇动手柄　　(b) 产生感应电动势和感应电流

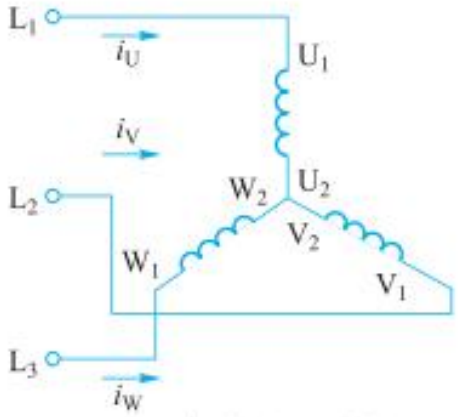
1.2 三相笼型交流异步电动机的工作过程

1 转动原理

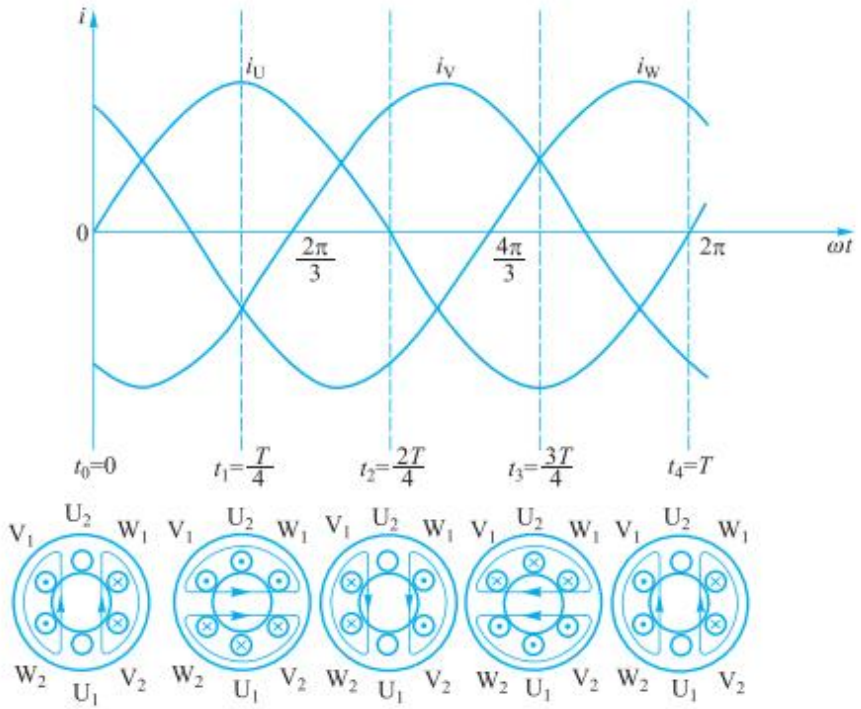
旋转磁场的产生：三相异步电动机三相对称定子绕组中通入三相对称交流电，可产生旋转磁场。



(a) 在空间的分布



(b) 绕组的联结(Y形联结)



1.2 三相笼型交流异步电动机的工作过程

1 转动原理

旋转磁场的转速：$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}$$

旋转磁场的方向：取决于定子电流的相序，只需将接在定子绕组上的三根电源线中的任意两根对调，即可改变转向。

如果转子转速$n = n_1$的话，则转子导体与旋转磁场间不存在相对运动了，只有当$n < n_1$时电动机才工作，故称为异步电动机。

1.2 三相笼型交流异步电动机的工作过程

1 转差率

定义：将转差n_1-n与旋转磁场转速n_1的比值称为转差率，通常用 s 表示。

起动瞬间：s=1

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

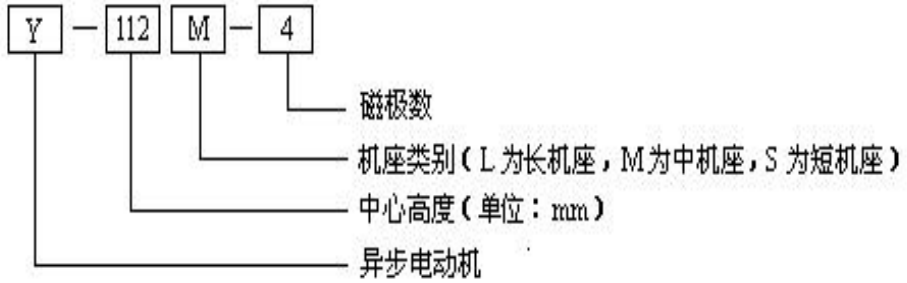
额定状态s的范围在0.02-0.06之间。

1.3 三相笼型交流异步电动机的铭牌参数和机械特性

1 铭牌参数

三相异步电动机			
型号Y-112M-4		编号	
4.0 kW	8.8 A		
380 V	1 440 r/min	LW	82 dB
接法Δ	防护等级IP44	50 Hz	45 kg
标准编号	工作制S1	B级绝缘	年 月
××电机厂			

◆ 型号：



◆ 额定功率P_N：电动机在额定工作状态下，从轴上输出的机械功率。

◆ 额定电压U_N：表示电动机在额定工作状态下，加到定子绕组上的线电压。

1.3 三相笼型交流异步电动机的铭牌参数和机械特性

1 铭牌参数



三相异步电动机			
型号Y-112M-4		编号	
4.0 kW		8.8 A	
380 V	1 440 r/min	LW	82 dB
接法Δ	防护等级IP44	50 Hz	45 kg
标准编号	工作制S1	B级绝缘	年 月
××电机厂			

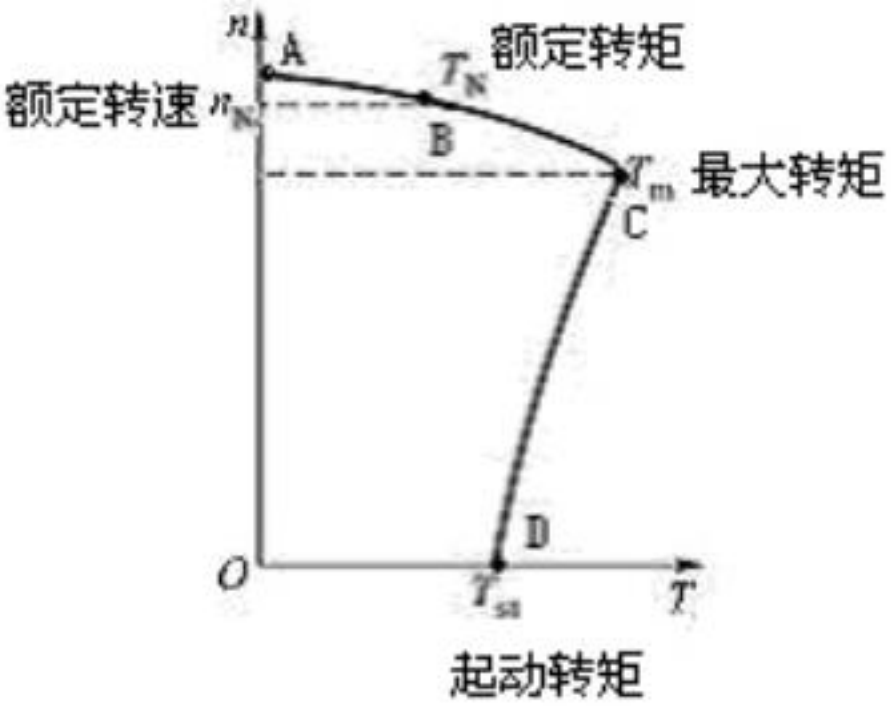
- 额定电流I_N：表示电动机在额定工作状况下运行时，定子电路输入的线电流。
- 三个额定值之间的关系为：

$$P_N = \sqrt{3}U_N I_N \cos\varphi_N \eta_N$$

- 额定转速n_N:表示电动机在额定工作状态时的转速。
- 接法:指电动机在额定电压下定子三相绕组的连接方法。

2 机械特性

三相异步电动机的机械特性是指定子电压和频率为常数时，转速n与电磁转矩T之间的关系。



1.3 三相笼型交流异步电动机的铭牌参数和机械特性

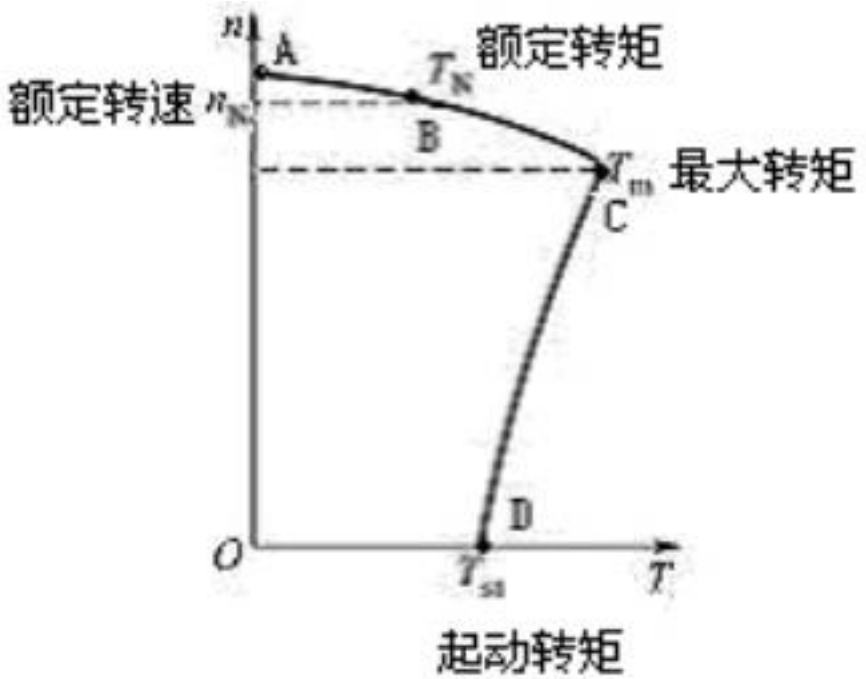
2 机械特性

机械特性曲线分析：

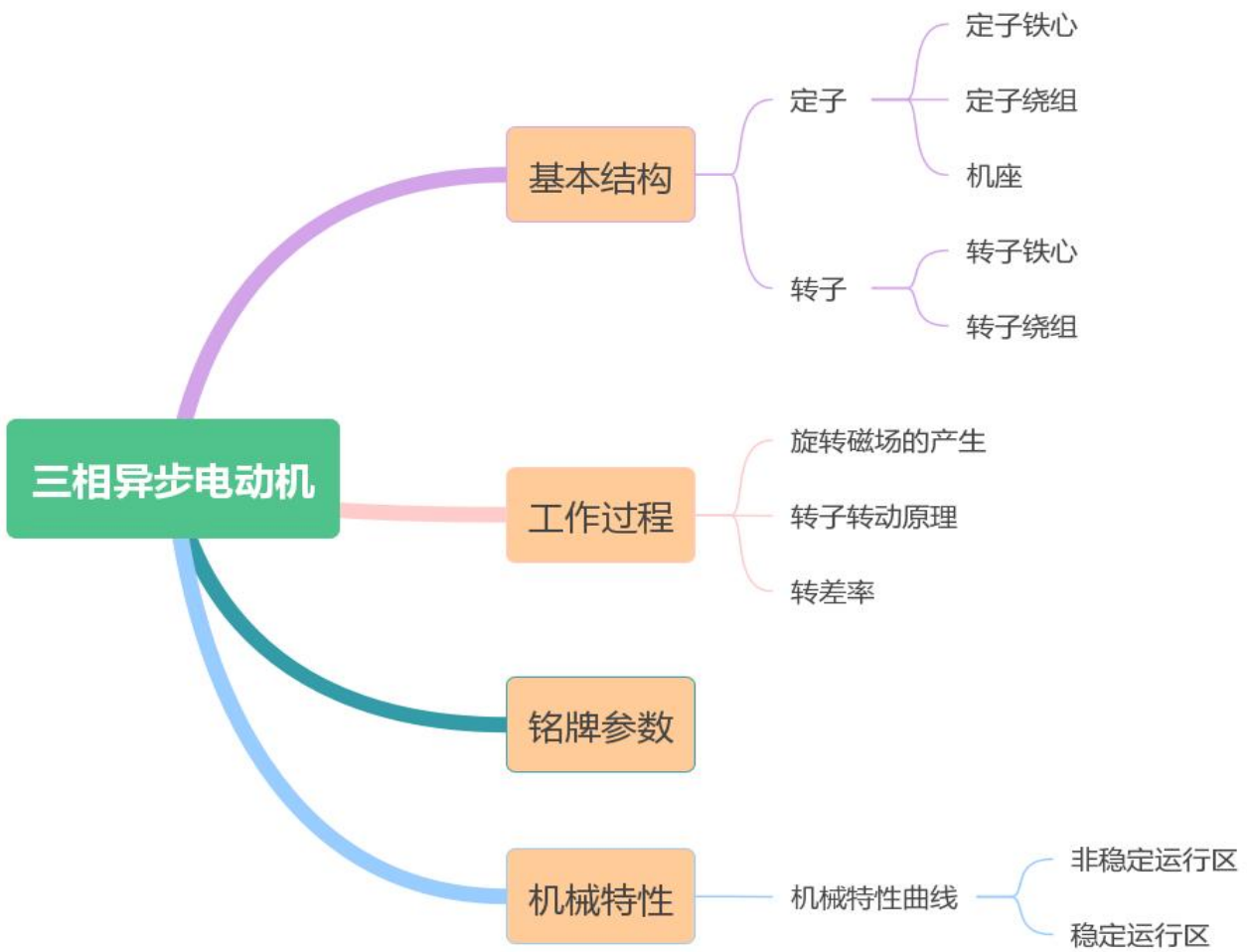
- 稳定运行区：AC段
- 不稳定运行区：CD段
- 过载系数λ：1.8-2.5

$$\lambda = \frac{T_{\mathrm{m}}}{T_{\mathrm{N}}}$$

- 额定转矩：$T_{\mathrm{N}} = 9550\dfrac{P_{\mathrm{N}}}{n_{\mathrm{N}}}$



小结



三相异步电动机的工作原理：

定子通入三相电，产生磁场就旋转；转子切割磁感线，笼条产生感应电；笼条受到磁场力，转子跟着磁场转；磁场快，转子慢，保持异步永远转。

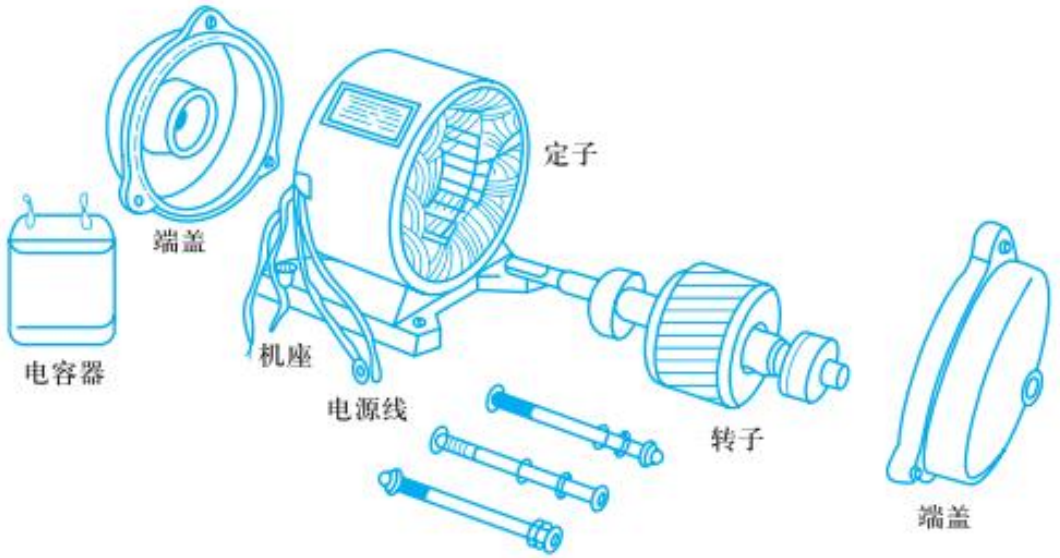
02 单相异步电动机

2.1 单相异步电动机的基本结构和工作过程

1 基本结构

1.定子：定子铁心由相互绝缘的硅钢片叠压而成，定子绕组有两个：工作绕组和起动绕组，两绕组在空间相隔90°

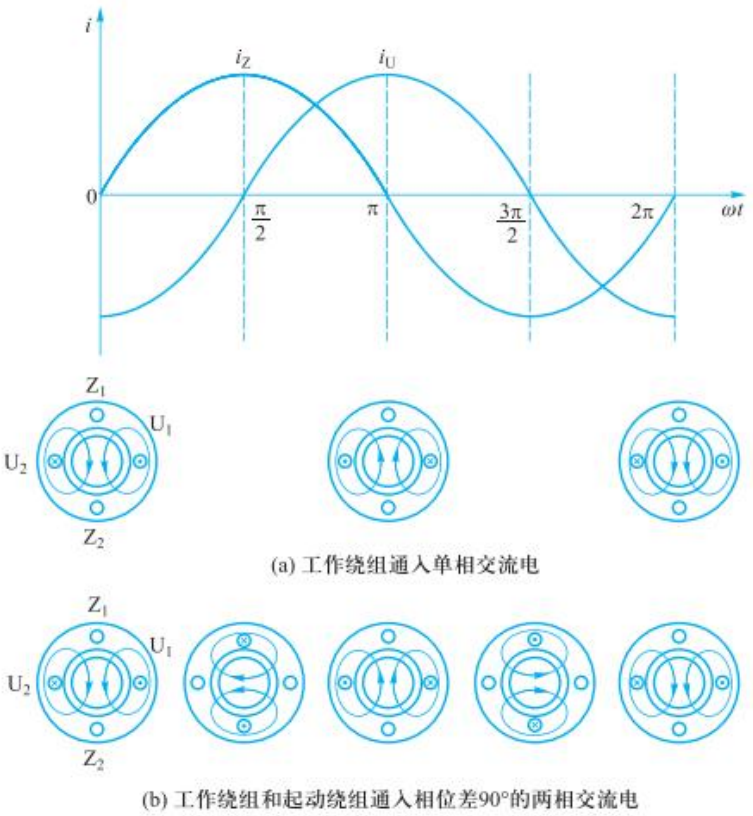
2.转子：笼型转子



单相异步电动机的结构

2 工作过程

单相异步电动机的工作绕组(U1、U2)中通入单相交流电后，将产生一个在空间位置不变、大小和方向随交流电流而变化、具有脉动特性的脉动磁场，如图(a)所示。磁场不旋转，不会产生起动力矩，因此电动机不能自行起动。单相异步电动机靠起动绕组解决起动问题。当工作绕组与起动绕组(Z1、Z2)通入相位差90°的两相交流电时，则可产生旋转磁场，如图(b)所示，转子便能自行起动。转动后的单相异步电动机，切除起动绕组后仍可继续运行。



(a) 工作绕组通入单相交流电

(b) 工作绕组和起动绕组通入相位差90°的两相交流电

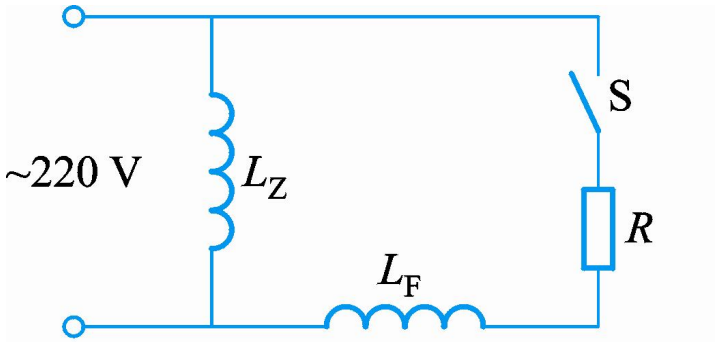
这种起动方法称为单相异步电动机的分相起动，即通过在起动绕组中接入起动元件，把单相交流电变为两相交流电，从而在单相异步电动机内部建立一个旋转磁场。

2.2 常见的单相异步电动机

1 电阻起动式单相异步电动机

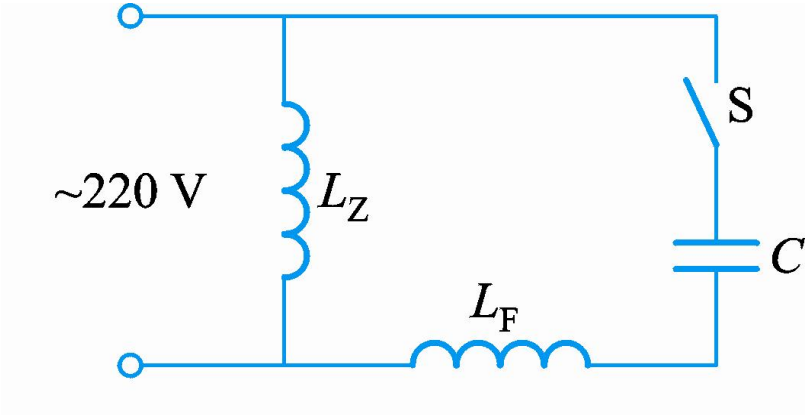
◆特点：中等起动转矩（一般为额定转矩的1.2～2倍），起动电流较大。

◆应用场合：电冰箱的压缩机、鼓风机等。



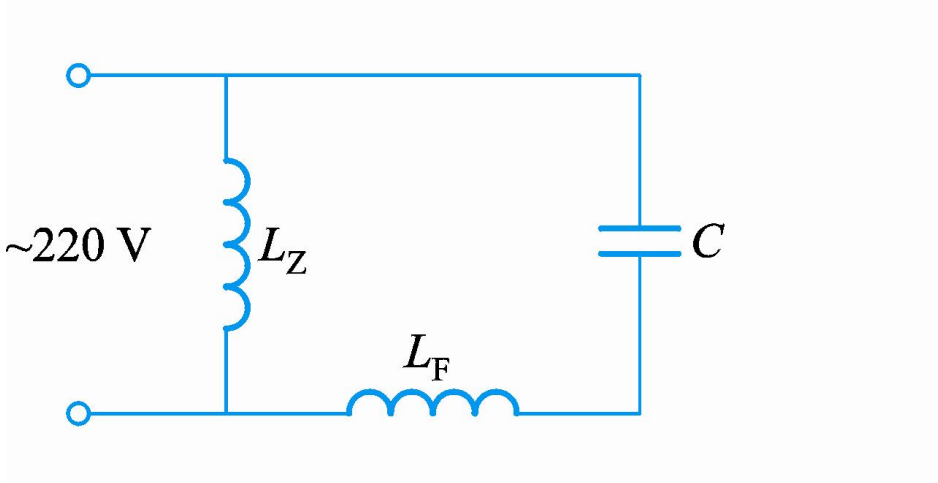
2 电容起动式单相异步电动机

- 特点：起动转矩大(一般为额定转矩的1.5 ~ 3.5倍)、起动电流相应增大，起动性能好。
- 应用场合：满载起动的机械，如小型空气压缩机，木工机械等。



3 电容运行式单相异步电动机

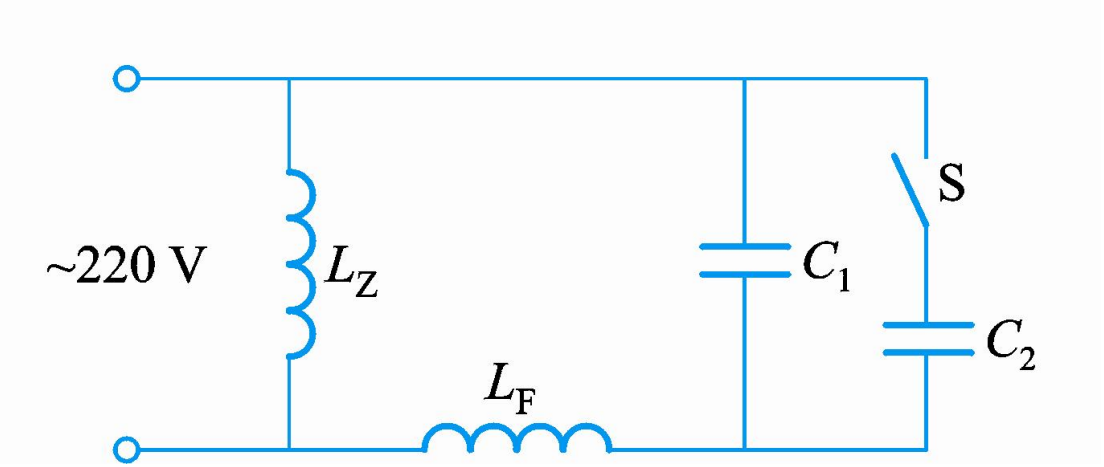
- 特点：起动转矩较小，工作可靠、效率与功率因数较高。
- 应用场合：电风扇、洗衣机。



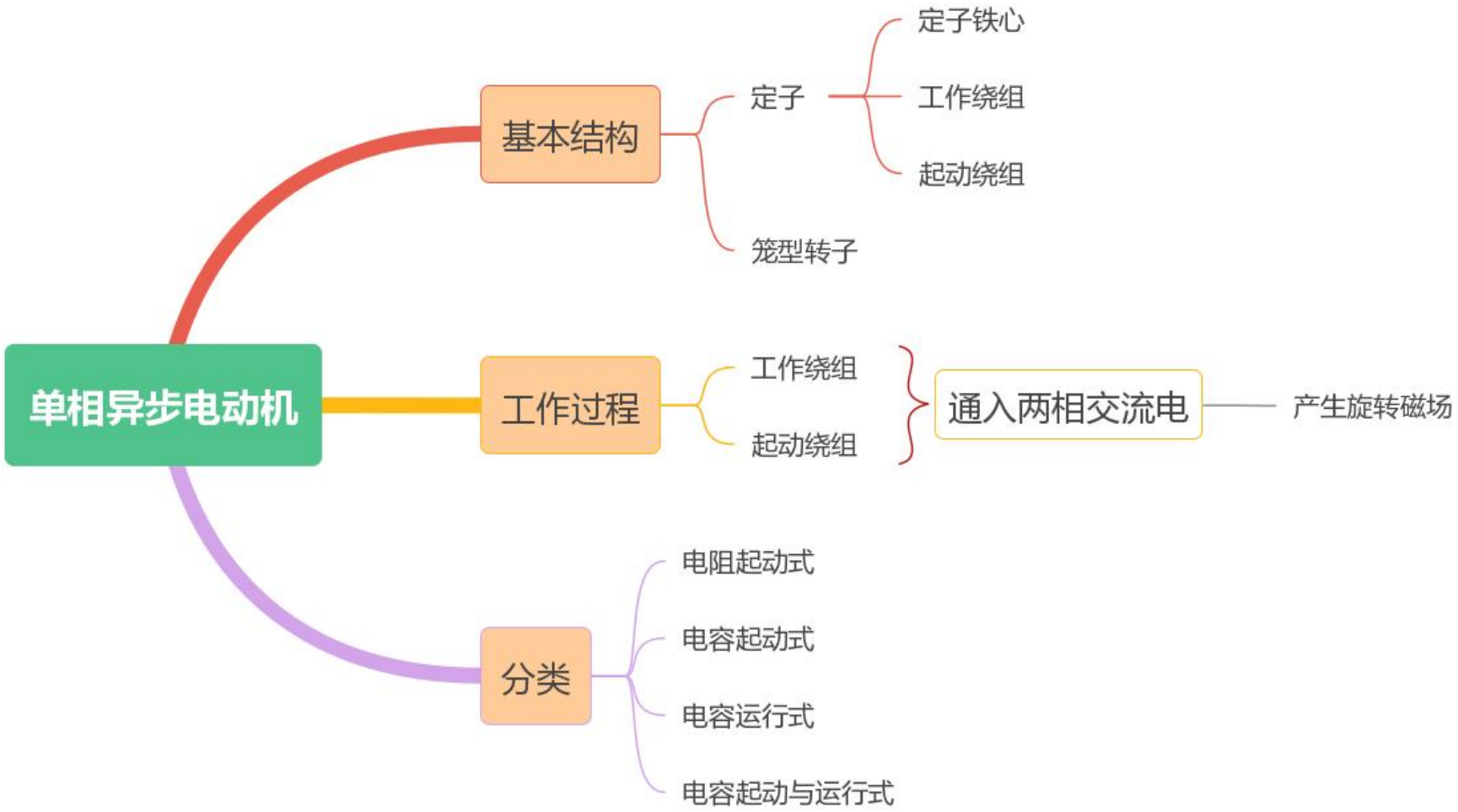
4 电容起动与运行式单相异步电动机

◆特点：结构复杂、但起动转矩大（约为额定转矩的2～2.5），效率与功率因数较高。

◆应用场合：空调、小型空压机。



小结

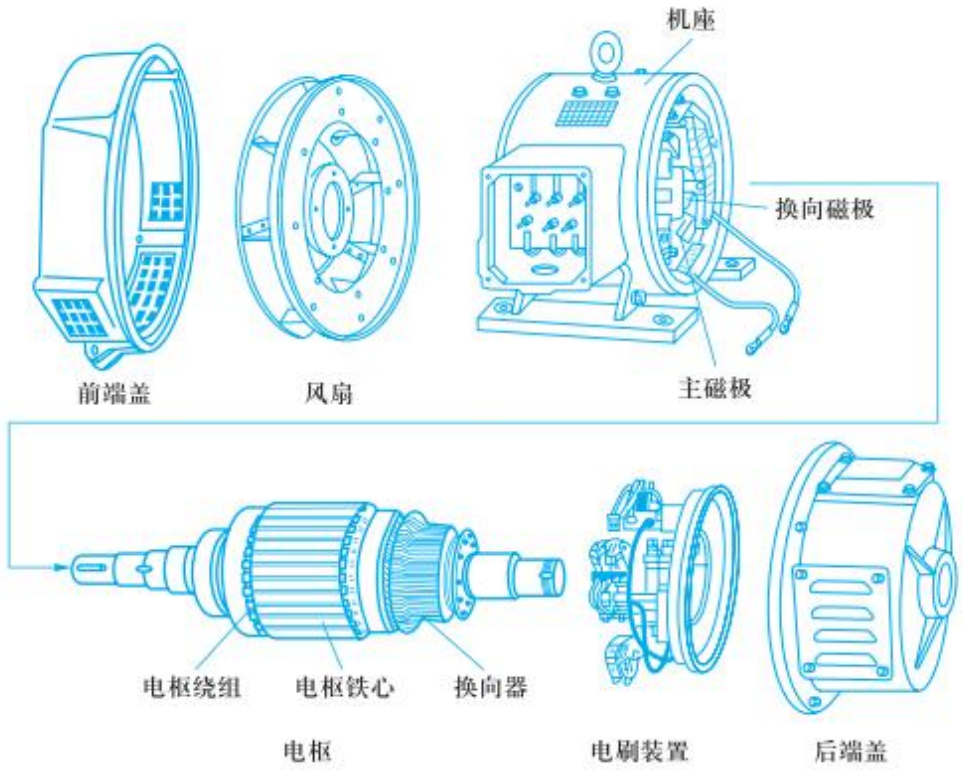

单相异步电动机
基本结构
定子
定子铁心
工作绕组
起动绕组
笼型转子
工作过程
工作绕组
起动绕组
通入两相交流电
产生旋转磁场
分类
电阻起动式
电容起动式
电容运行式
电容起动与运行式

03 直流电动机

3.1 直流电动机的基本结构和工作过程

1 基本结构

直流电动机的结构如图所示，主要分为定子和转子两大部分。

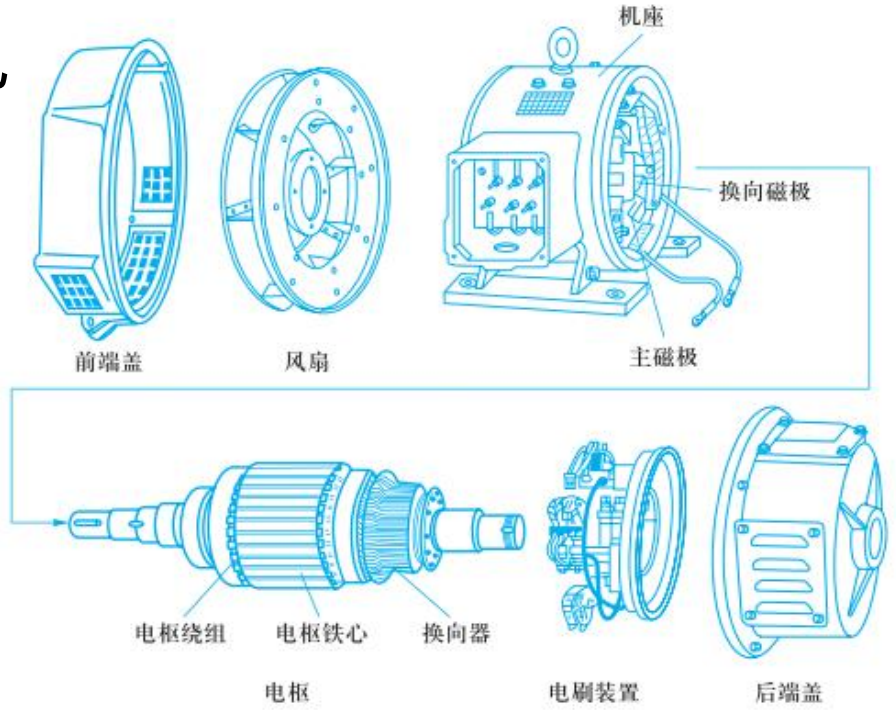


3.1 直流电动机的基本结构和工作过程

1 基本结构

（1）定子部分：由机座、主磁极、换向磁极、电刷组成

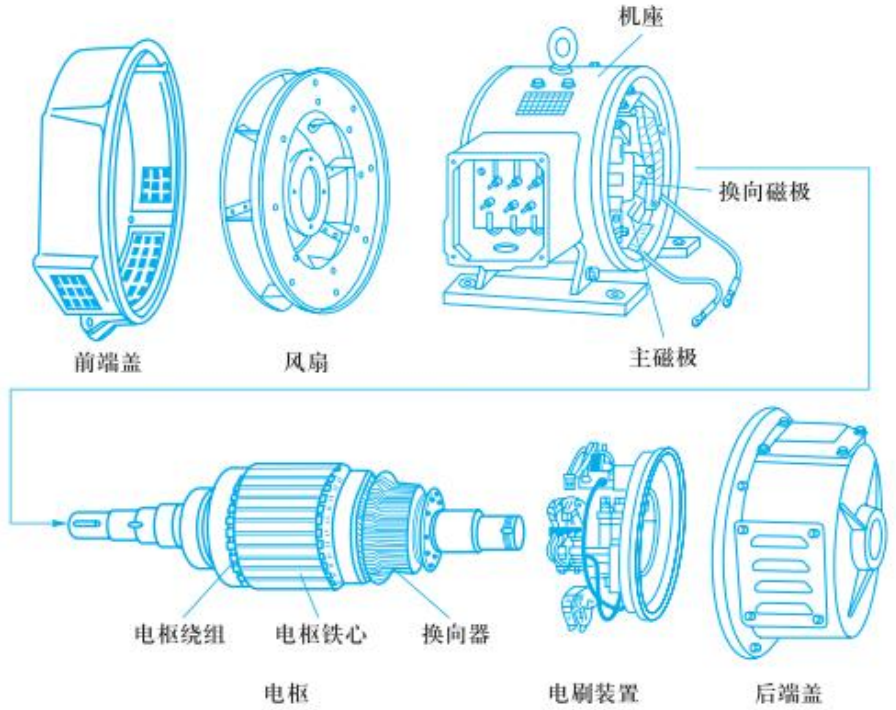
- 机座：起固定和支撑作用，是磁路的一部分
- 主磁极：产生气隙主磁场，由铁心和励磁绕组组成
- 换向磁极：改善换向、减少电刷与换向器之间的火花。
- 电刷：连接旋转的电枢电路与静止的外电路。



1 基本结构

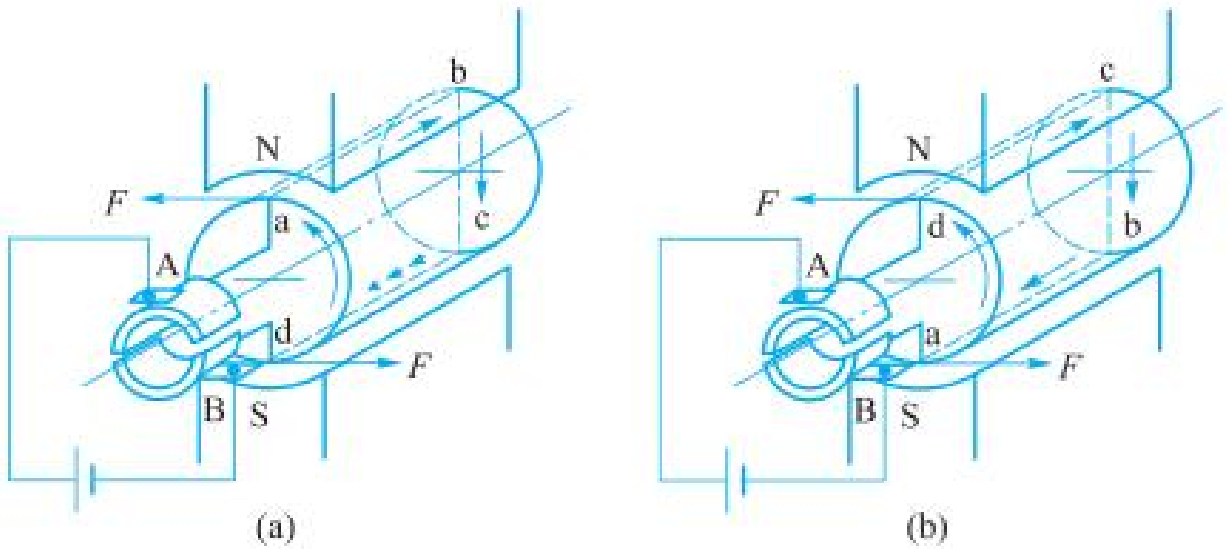
（2）转子部分：由电枢铁心、电枢绕组、换向器组成

- 电枢铁心：用来嵌放电枢绕组，是磁路的一部分
- 电枢绕组：产生电磁转矩和感应电动势，是直流电动机进行机电能量转换的关键部件。
- 换向器：实现交直流的转换



2 工作过程

直流电动机借助电刷和换向器的作用，把电源的直流电转变为电枢绕组中的交流电，保持电磁转矩的方向不变，确保直流电动机朝一定的方向连续旋转。



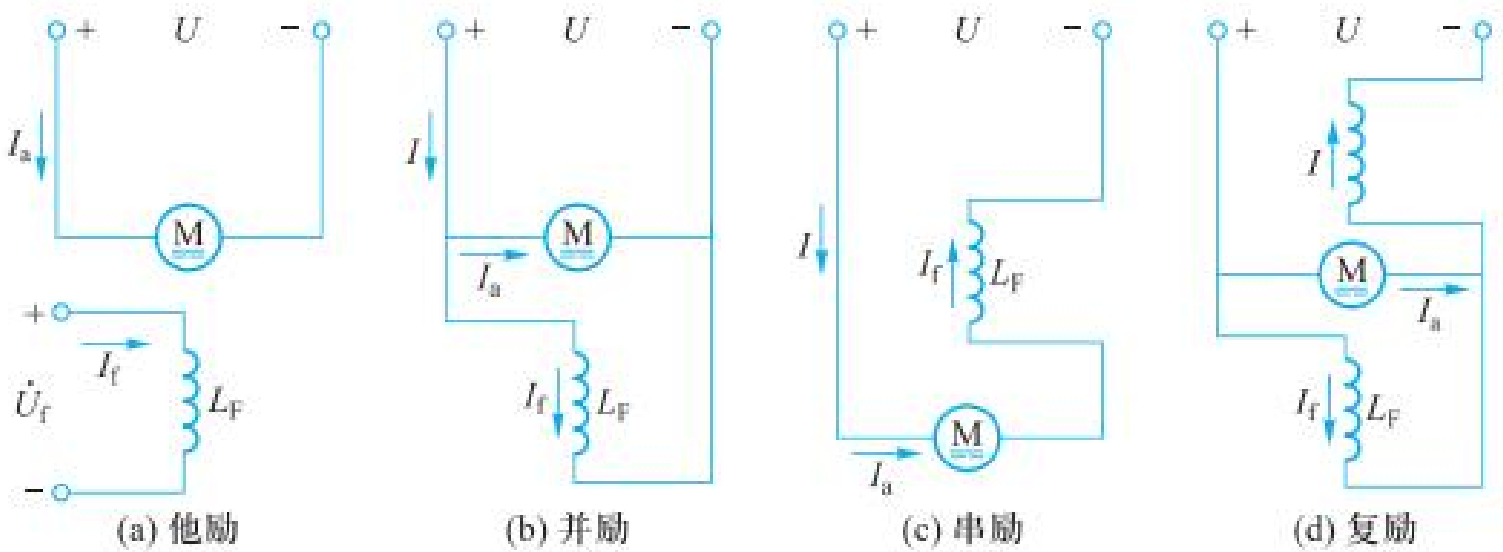
直流电动机的工作原理

3.2 直流电动机的分类和应用

1 分类

直流电动机按励磁方式可分为：

- 他励直流电动机
- 并励直流电动机
- 串励直流电动机
- 复励直流电动机

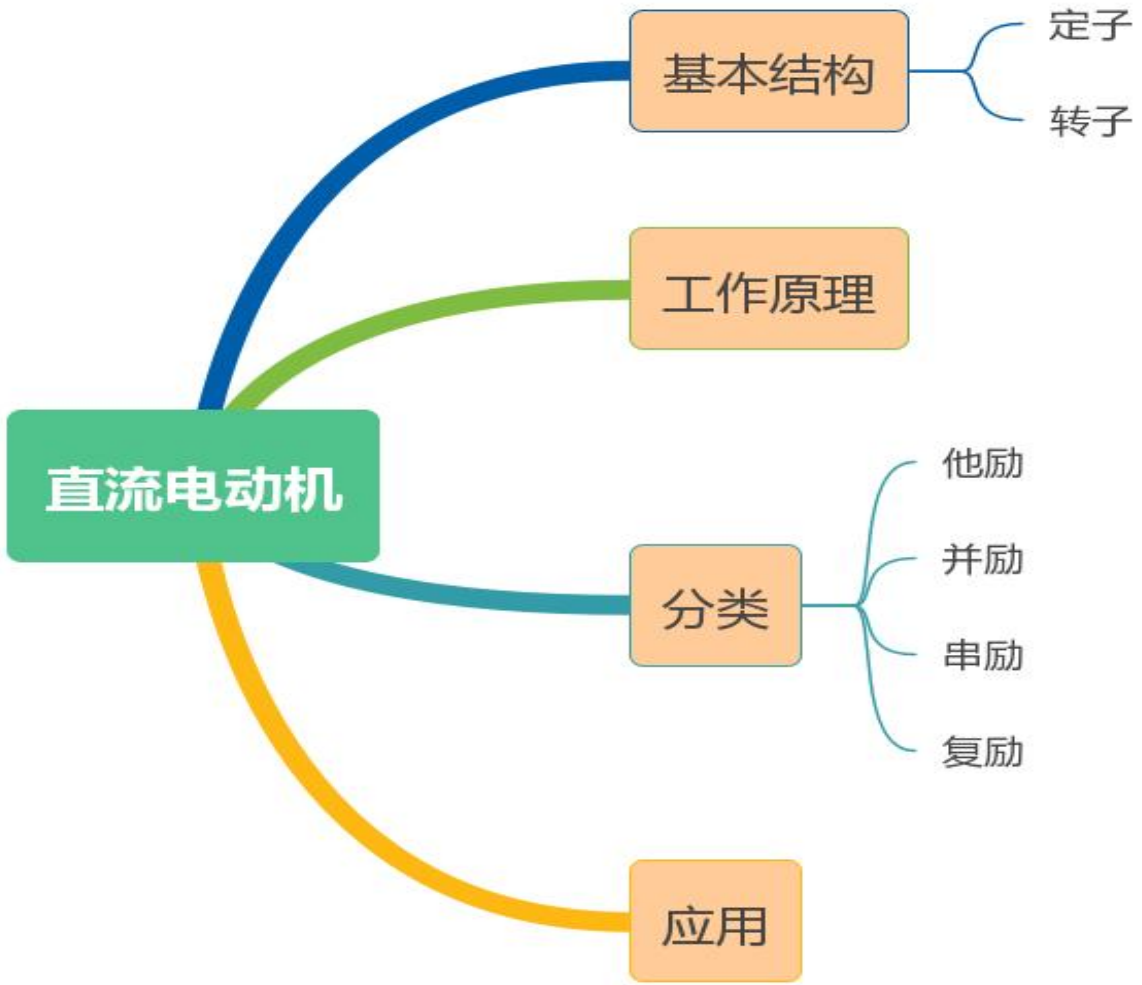


3.2 直流电动机的分类和应用

1 应用

- 并励电动机应用于龙门刨床、大型机床和冶金机械等。
- 串励电动机特别适用于起重设备、城市电车及电传动机车。
- 串励电动机在空载或轻载时转速很高，对电动机本身及操作人员都不安全，因此串励电动机绝不允许空载起动，不允许采用带传动或链传动。

小结



04 三相异步电动机的基本控制

4.1 三相异步电动机的直接起动控制

1 起动

- 起动：电动机接通电源后，从开始转动到正常运行的过程。
- 起动特点：一般情况下，三相异步电动机起动瞬间的电流可达额定值的5～7倍。如此大的起动电流会使电网电压产生波动，影响其他电器正常工作，而电动机本身的起动转矩并不大。
- 起动方法：直接起动和降压起动。

2 直接起动

- 将电动机定子绕组接到额定电压的电网上直接起动。
- 起动特点：操作和起动设备简单，缺点是起动电流大。
- 应用场合：只适用于小容量笼型异步电动机的起动（一般情况下功率在7.5kW以下的异步电动机）。

4.2 三相异步电动机的单向运转控制

1 电动机点动控制电路

- 点动是指当按下按钮，电动机得电运转；松开按钮，电动机就失电停转。
- 应用场合：电动葫芦起重电动机控制和车床拖板箱快速移动控制。

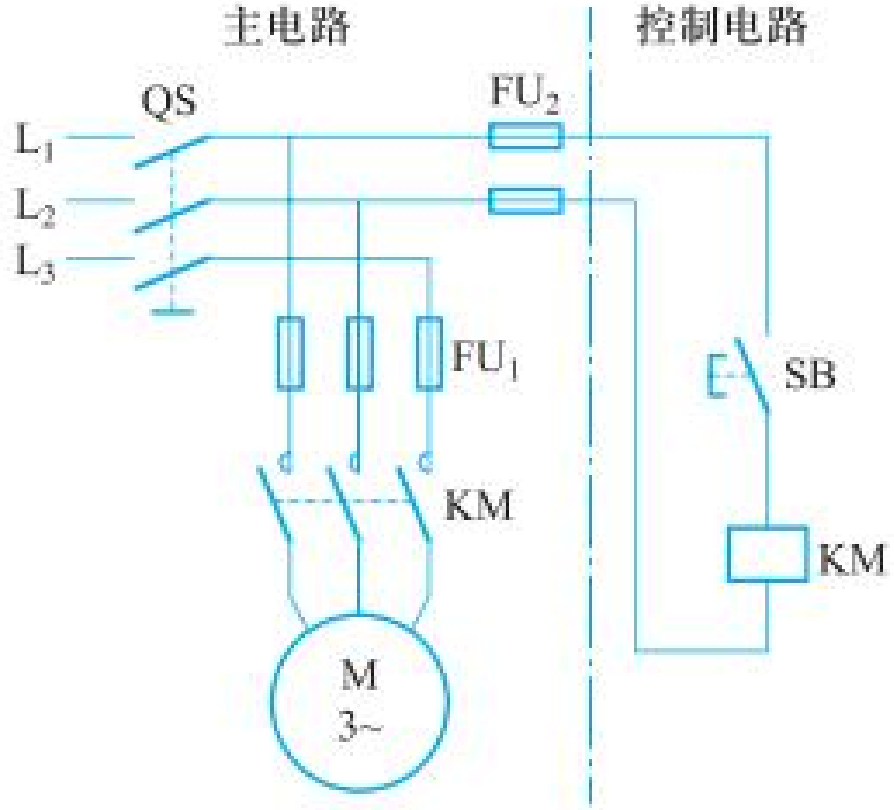




4.2 三相异步电动机的单向运转控制

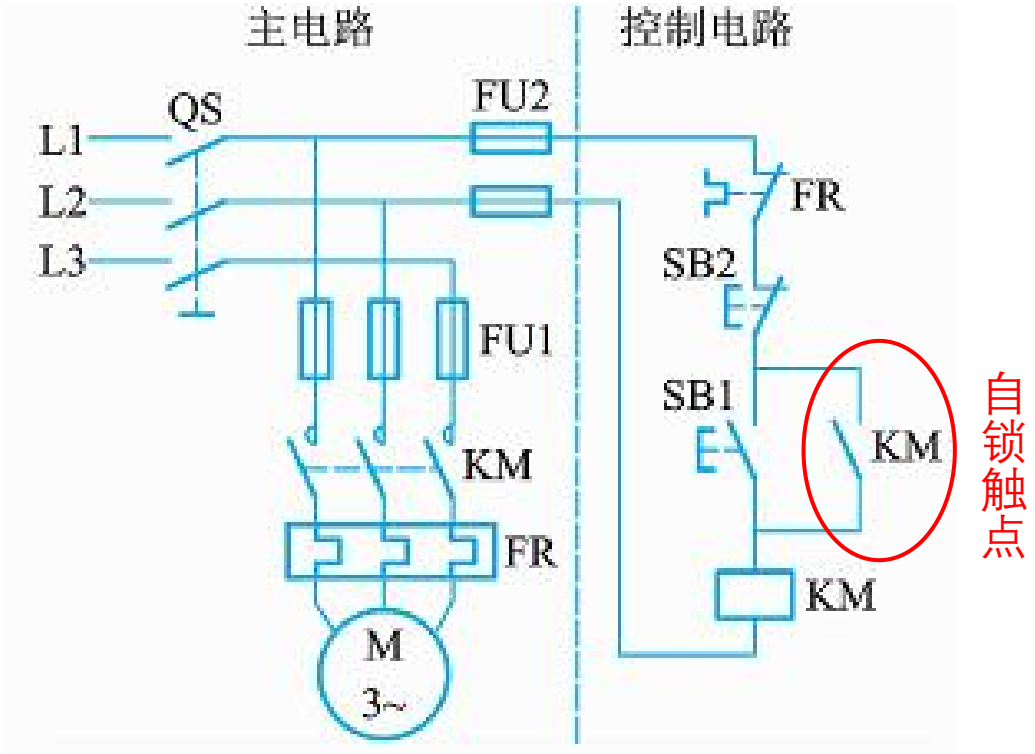
1 电动机点动控制电路

- 电路组成：由主电路和控制电路组成
- 工作原理：先合上电源开关QS。
- 起动：按下按钮SB→KM线圈得电→ KM动合主触点闭合→电动机M起动运转。
- 停止：松开按钮SB→KM线圈失电→ KM动合主触点分断→电动机M失电停转。



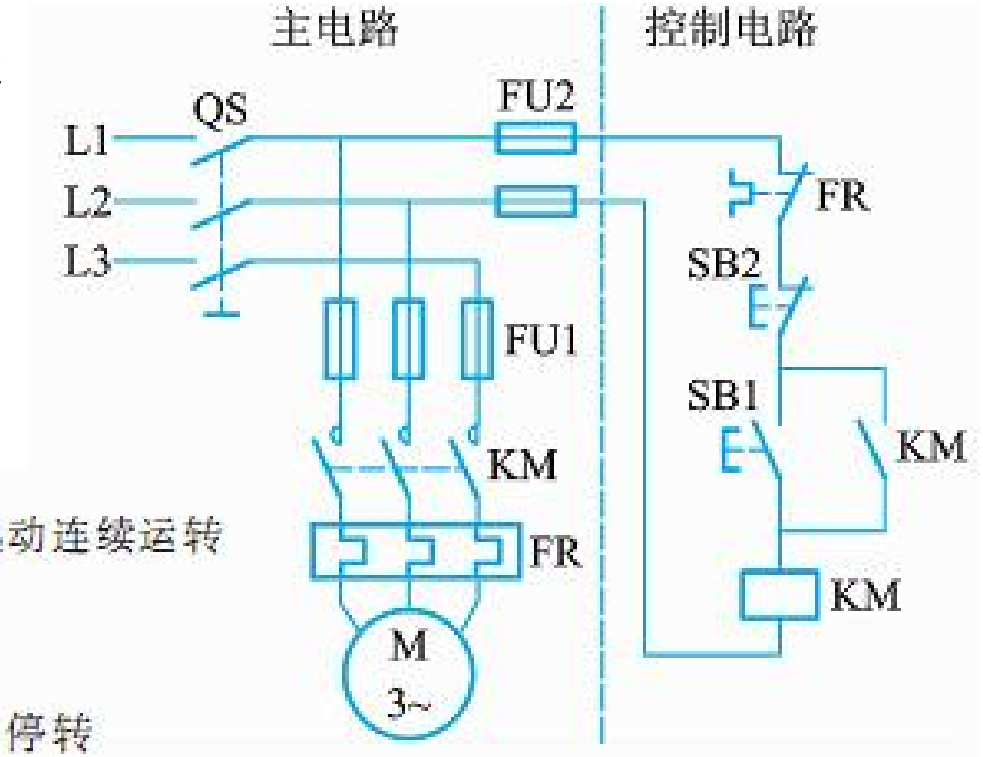
2 电动机连续控制电路

- 电动机连续控制：采用了一种具有自锁环节的控制电路
- 自锁：接触器KM通过自身动合辅助触点而使线圈保持得电的作用。与起动按钮SB1并联起自锁作用的动合辅助触点叫自锁触点。



2 电动机连续控制电路

- 组成： 由主电路和控制电路组成，起动按钮为SB1、停止按钮为SB2。
- 工作原理： 合上电源开关QS。



起动：按下 SB1 → KM 线圈通电 → KM 主触点闭合 → M 起动连续运转
KM 动合辅助触点闭合 →

停止：按下 SB2 → KM 线圈断电 → KM 主触点分断 → M 断电停转
KM 自锁触点分断 →

2 电动机连续控制电路

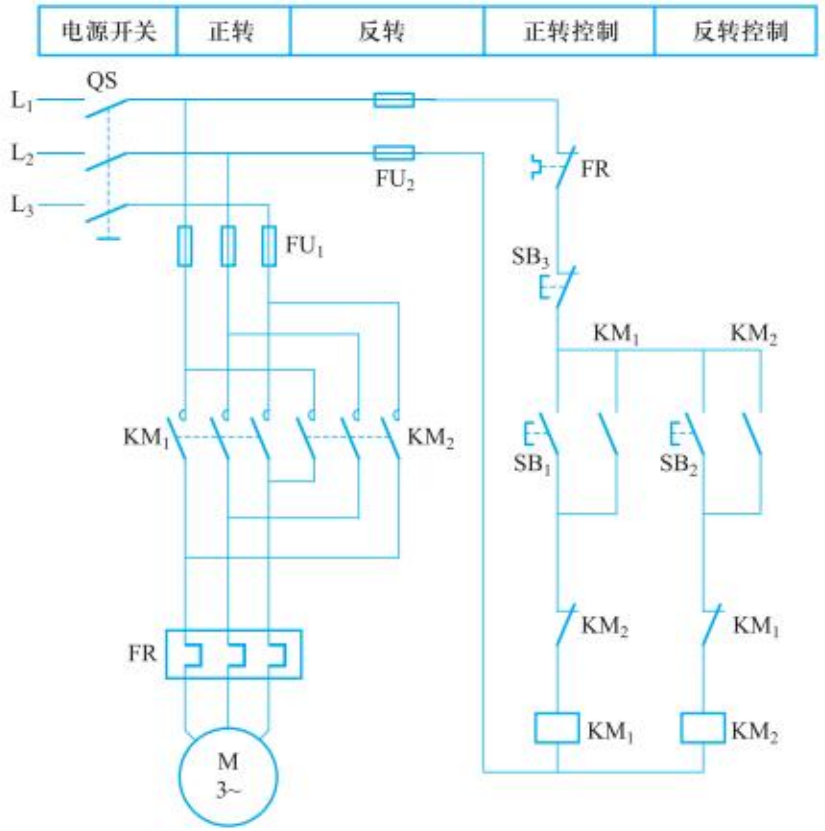
电路的保护设置

- 短路保护：由熔断器FU1、FU2分别实现主电路与控制电路的短路保护。
- 过载保护：由热继电器FR实现电动机的长期过载保护。
- 欠压保护：当电路电压下降到某一数值时，电动机能自动脱离电源而停转，避免电动机在欠压下运行的一种保护。
- 失压保护：电动机在正常运行中，由于某种原因引起突然断电时，能自动切断电动机电源；当重新供电时，保证电动机不能自行起动的一种保护。

4.3 三相异步电动机的正反转控制

1 接触器联锁正反转控制——电路组成

实现形式：通过两个接触器改变电源相序来实现电动机正反转控制。



4.3 三相异步电动机的正反转控制

1 接触器联锁正反转控制——工作原理

工作原理：先合上电源开关QS

- **正转起动：**

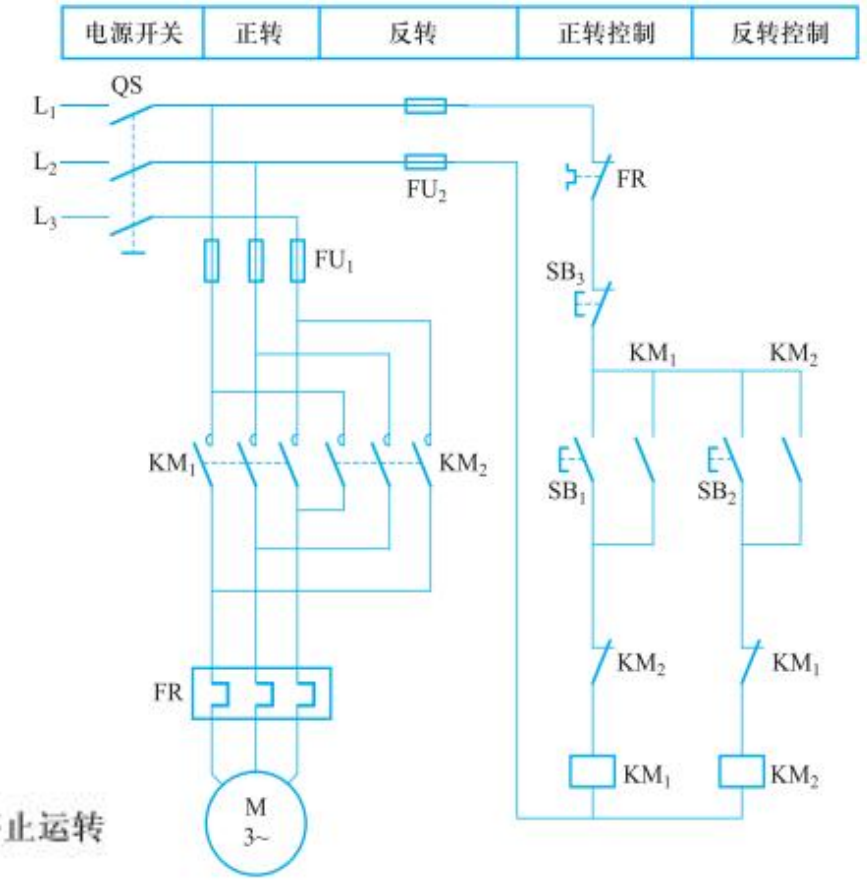
按下 SB_1 → KM_1 线圈通电 → KM_1 自锁触点闭合 → 电动机 M 起动连续正转
KM_1 主触点闭合 → 电动机 M 起动连续正转
KM_1 联锁触点分断，对 KM_2 联锁

- **反转起动：**

按下 SB_2 → KM_2 线圈通电 → KM_2 自锁触点闭合 → 电动机 M 起动连续反转
KM_2 主触点闭合 → 电动机 M 起动连续反转
KM_2 联锁触点分断，对 KM_1 联锁

- **停止：**

按下停止按钮 SB_3 → KM_1 或 KM_2 线圈断电 → KM_1 或 KM_2 主触点分断 → 电动机停止运转



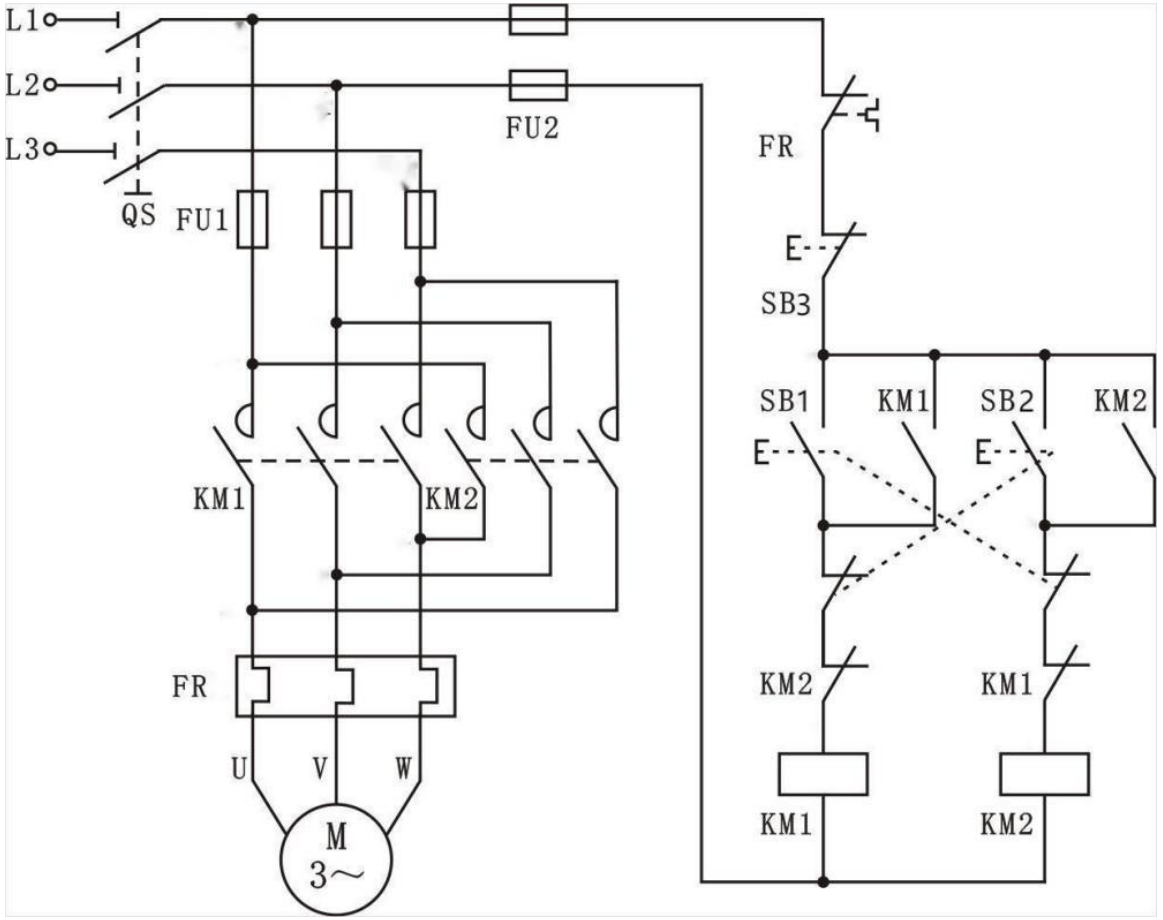
4.3 三相异步电动机的正反转控制

1 接触器联锁正反转控制——电路特点

- 联锁：接触器的一对动断辅助触点串接在另一只接触器线圈电路中，使得两只接触器不能同时得电动作，接触器间这种相互制约的作用称联锁（互锁）。
- 特点：优点是工作安全可靠。缺点是操作不便，当电动机从正转变为反转时，必须先按下停止按钮。

2 双重联锁正反转控制——电路组成

实现形式：采用两个接触器和两个复合按钮双重联锁的形式实现正反转控制。



4.3 三相异步电动机的正反转控制

2 双重联锁正反转控制——工作原理

工作过程：先合上电源开关QS。

正转控制：

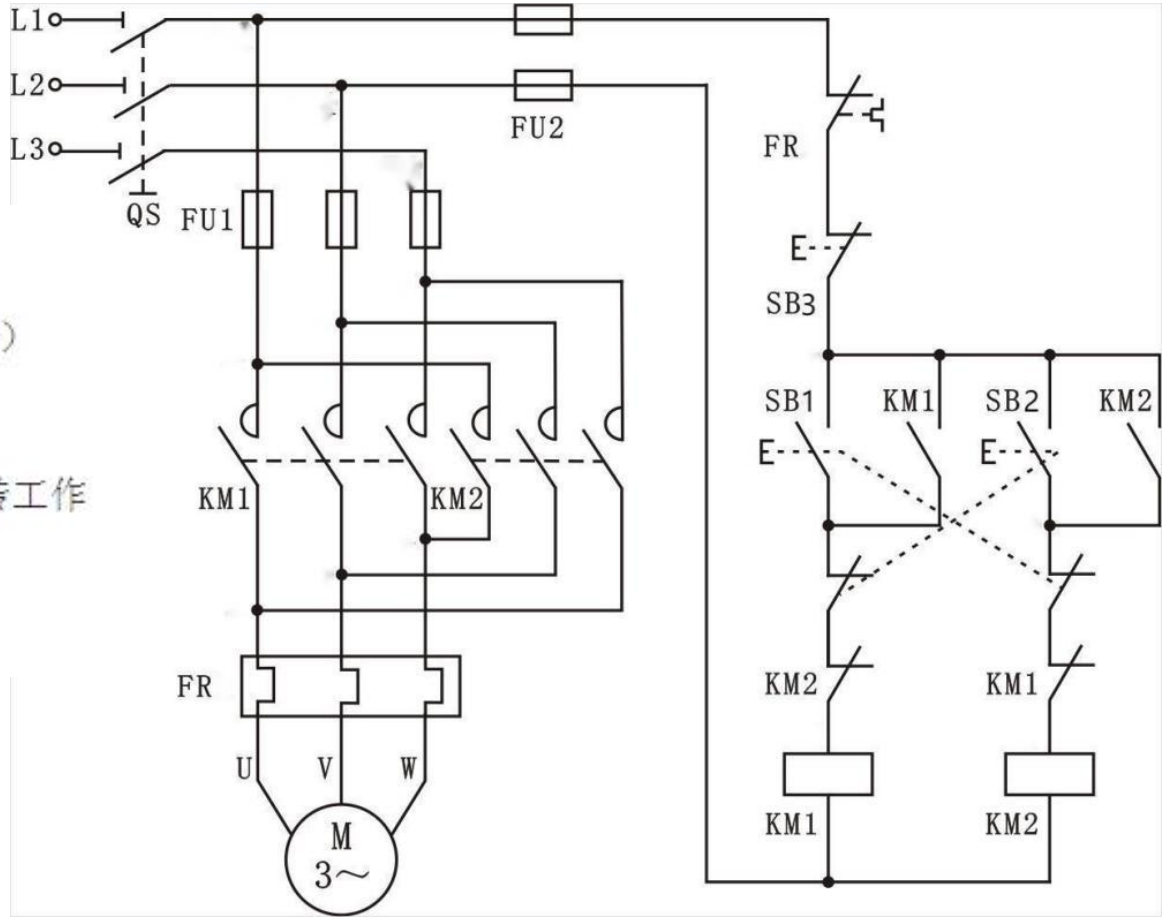
按下起动按钮 SB1 → SB1 常闭动断触头先断开（对 KM2 实现联锁）

SB1 常开触头闭合 → KM1 线圈得电

KM1 自锁触头闭合（实现自锁）→ 电动机 M 启动连续正转工作

KM1 主触头闭合

KM1 联锁触头断开（对 KM2 实现联锁）



4.3 三相异步电动机的正反转控制

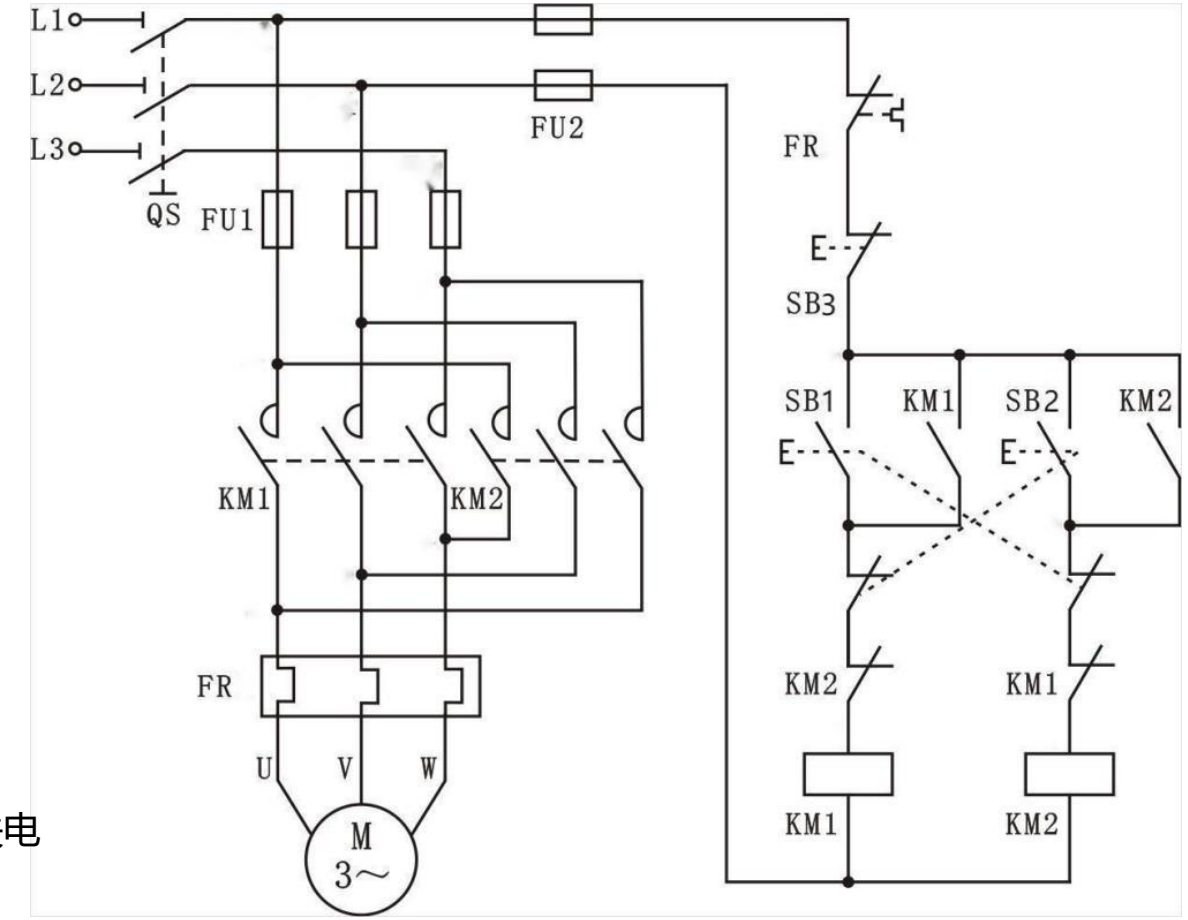
2 双重联锁正反转控制——工作原理

反转控制：



停止：

按下SB3，整个控制电路失电，接触器各触点复位，电动机M失电停转。



2 双重联锁正反转控制——电路特点

与接触器联锁正反转控制电路相比，该电路将正转按钮SB1和反转按钮SB2换成了两个复合按钮，并使两个复合按钮的动断触点串入彼此电路中，这种控制方式称为按钮联锁控制。

双重联锁正反转控制电路克服了接触器联锁正反转控制电路的不足，可以直接进行正反转的变换控制，操作方便，提高了劳动效率，工作安全可靠，在生产实际中应用广泛。

4.4 三相异步电动机的Y-Δ降压起动控制

1 Y-Δ降压起动

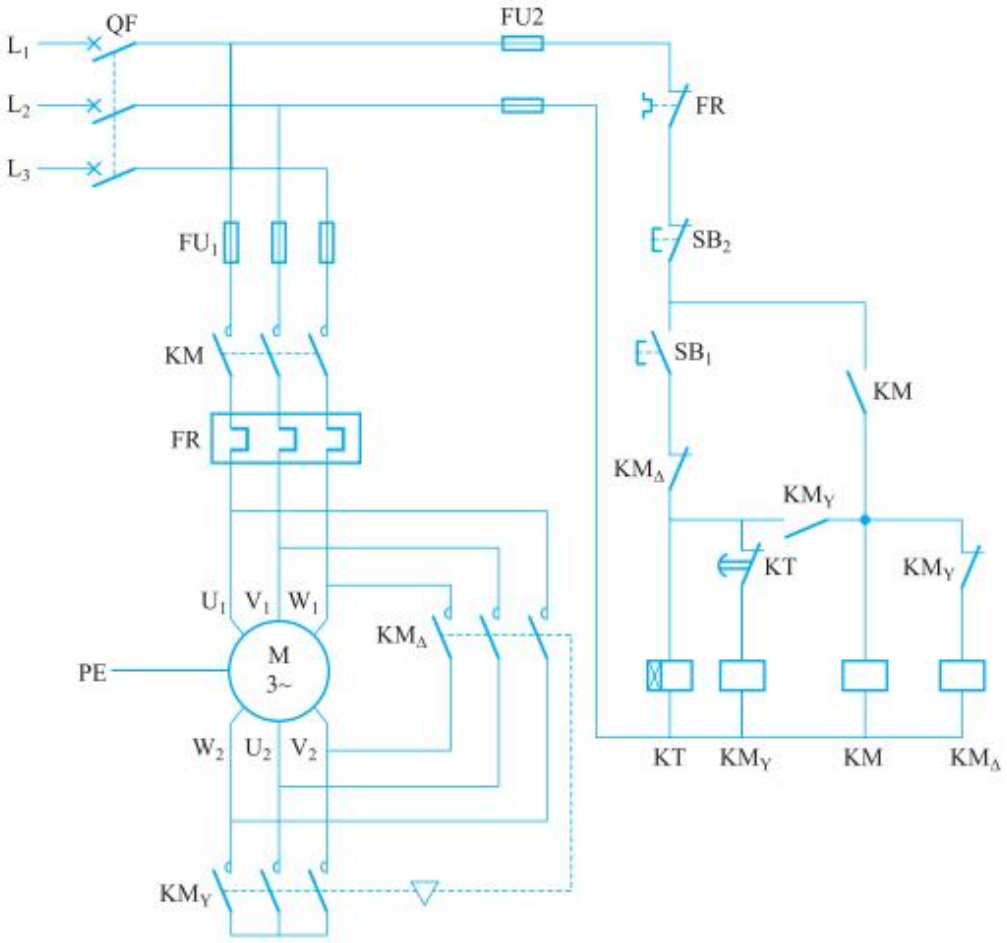
由于大容量笼型异步电动机的起动电流很大，会引起电网电压降低，使电动机转矩减小，甚至起动困难，而且还要影响同一电网中其他设备的正常工作，所以大容量笼型异步电动机的起动电流应限制在一定的范围内，不允许直接起动，应采用降压起动。降压起动是将电源电压适当降低后，加到电动机定子绕组上进行起动，当电动机起动后，再使电压恢复到额定值。

Y-Δ降压起动是常用的降压起动方式，是指电动机起动时定子绕组接成Y形，正常运行时接成Δ形。起动时加在定子绕组上的电压只有Δ形接法的$1/\sqrt{3}$，起动电流和起动转矩是Δ形接法的1/3，因此Y-Δ降压起动只适用于轻载或空载起动的场合。

4.4 三相异步电动机的Y-Δ降压起动控制

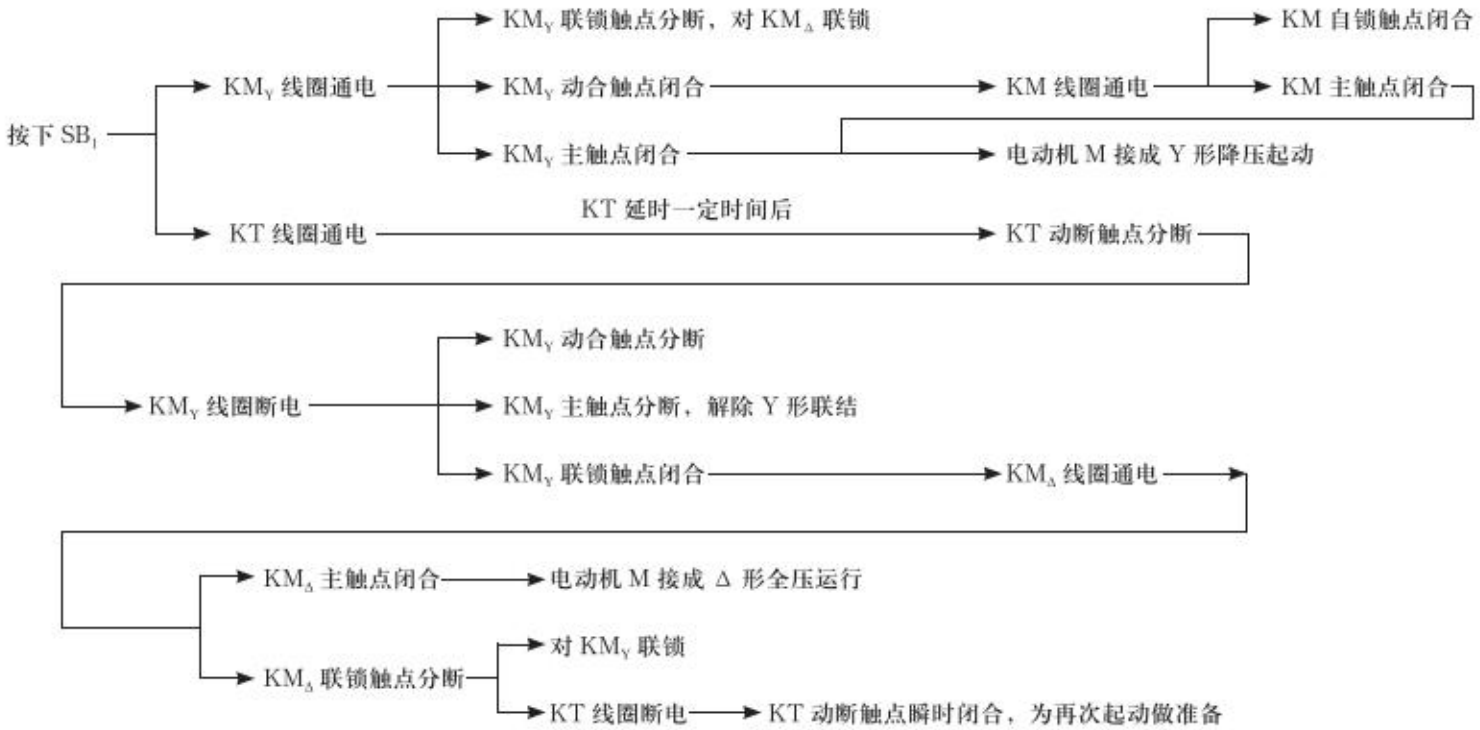
2 Y-Δ降压起动电路组成

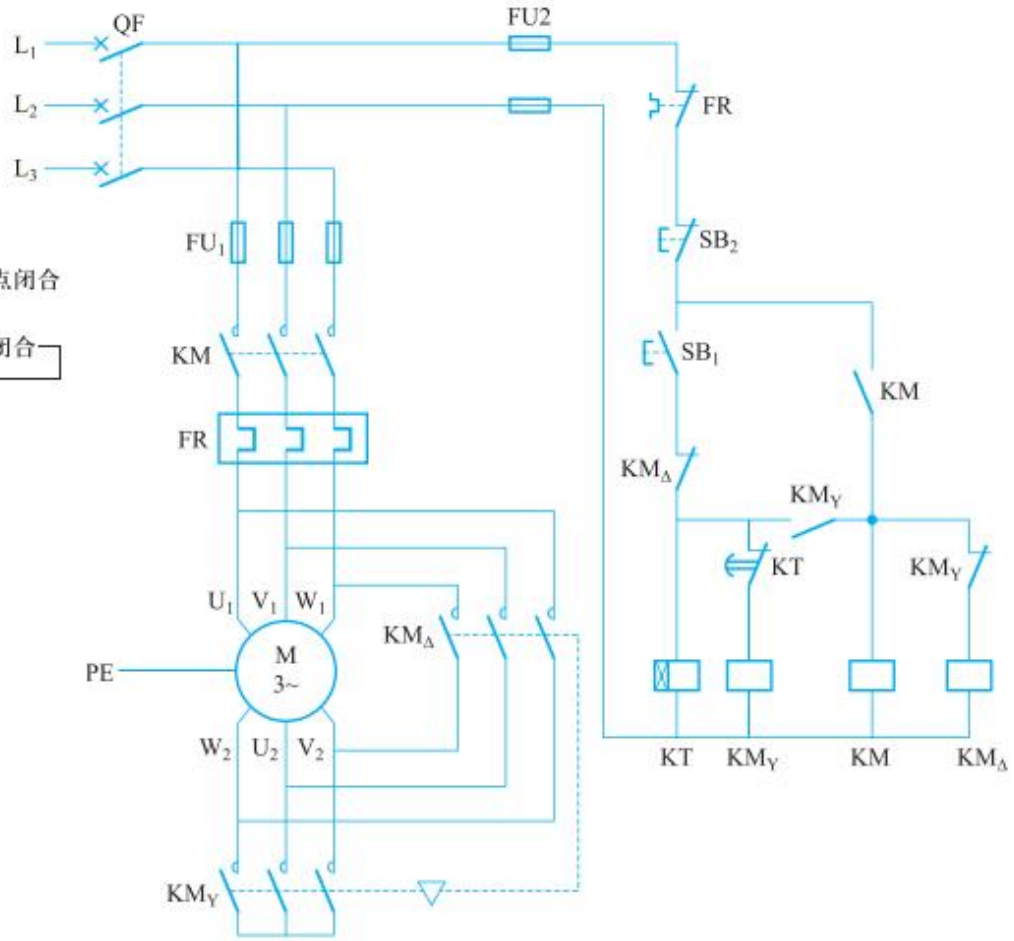
Y-Δ降压起动电路如图所示，它由三个接触器、一个热继电器、一个时间继电器和两个按钮组成。接触器KM作引入电源用，接触器KMY和KMΔ分别作Y形起动和Δ形运行控制，时间继电器KT用于控制Y形降压起动时间和完成Y-Δ自动切换，SB1是起动按钮，SB2是停止按钮，FU1作为主电路的短路保护，FU2作为控制电路的短路保护，FR为过载保护。



3 Y-Δ降压起动电路工作过程

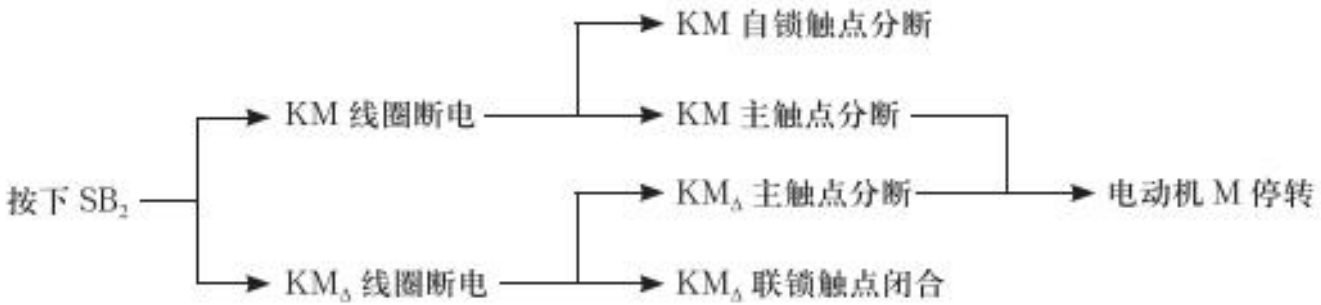
先合上电源开关QF，降压起动全压运行:

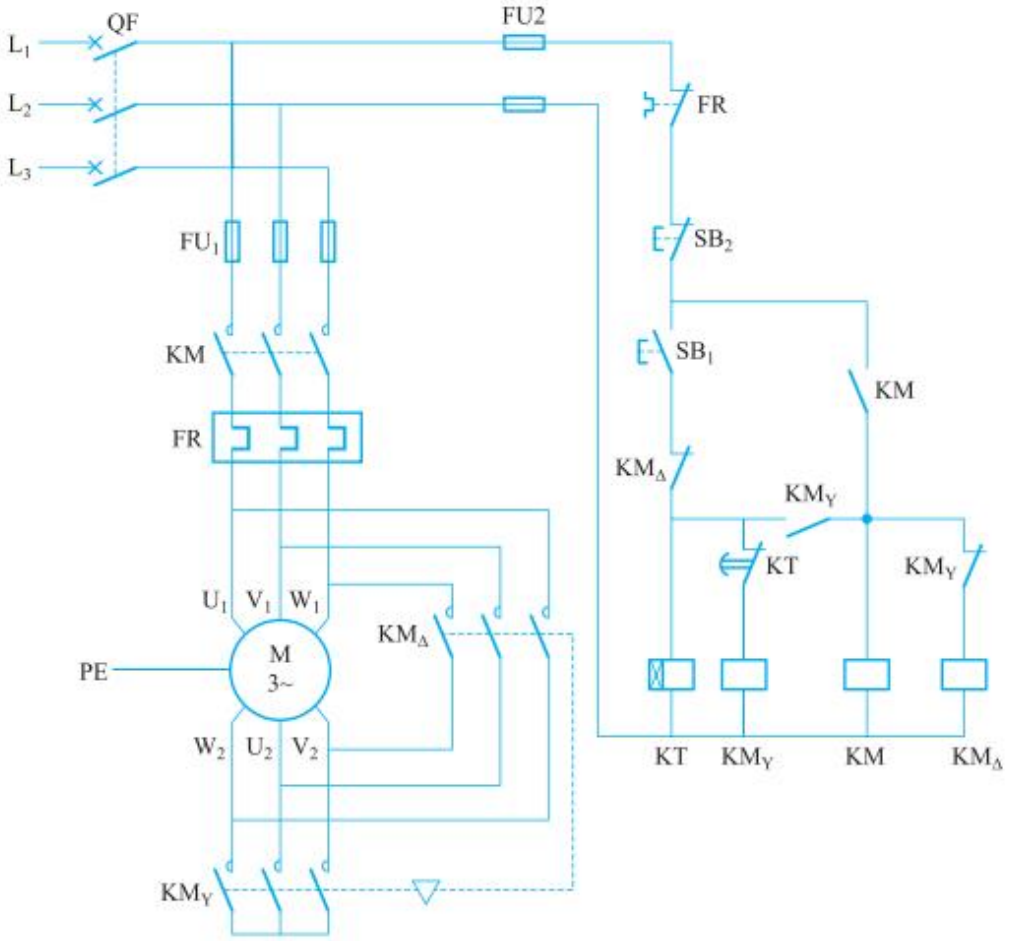




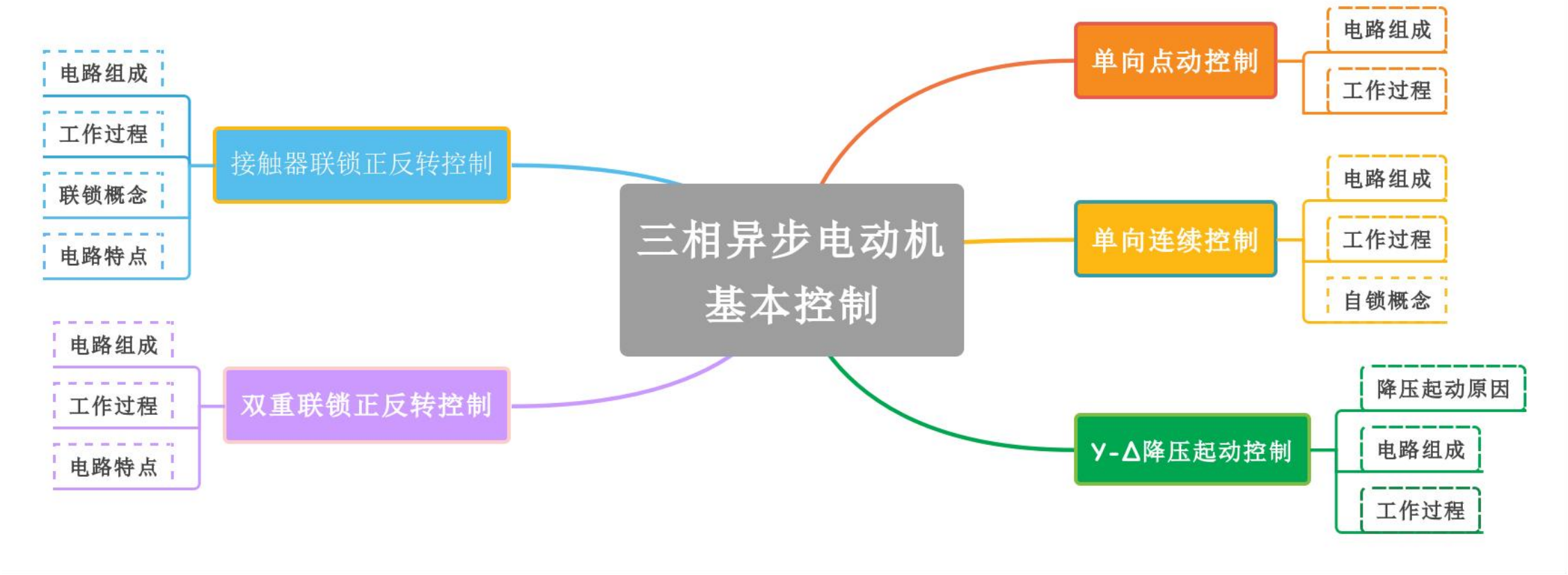
3 Y-Δ降压起动电路工作过程

停止控制：





小结

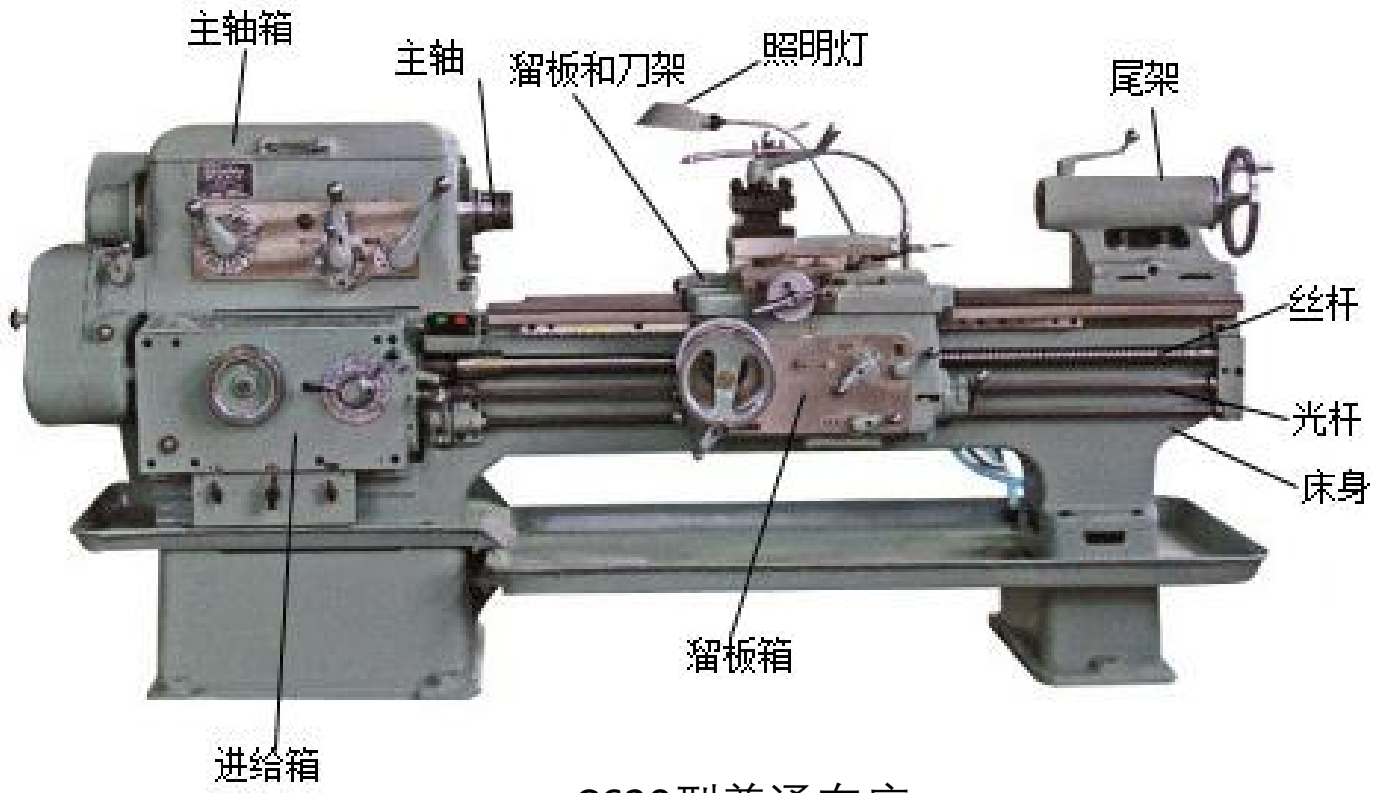

三相异步电动机基本控制
单向点动控制
电路组成
工作过程
单向连续控制
电路组成
工作过程
自锁概念
Y-Δ降压起动控制
降压起动原因
电路组成
工作过程
接触器联锁正反转控制
电路组成
工作过程
联锁概念
电路特点
双重联锁正反转控制
电路组成
工作过程
电路特点

05 普通车床控制电路

5.1 普通车床的主要结构和运动形式

1 主要结构

结构示意图如图所示

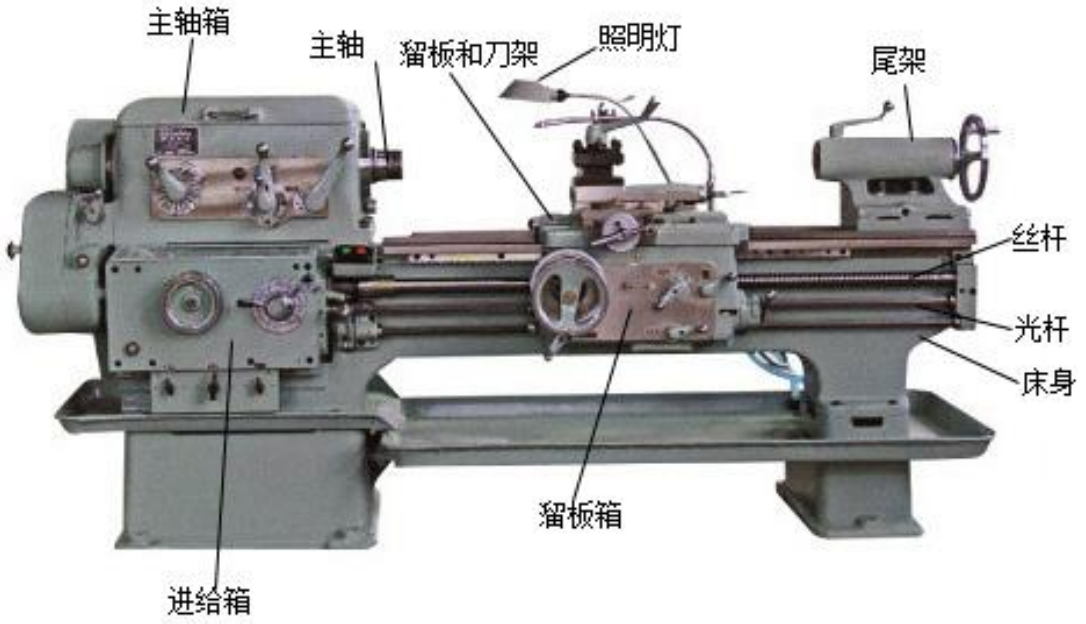


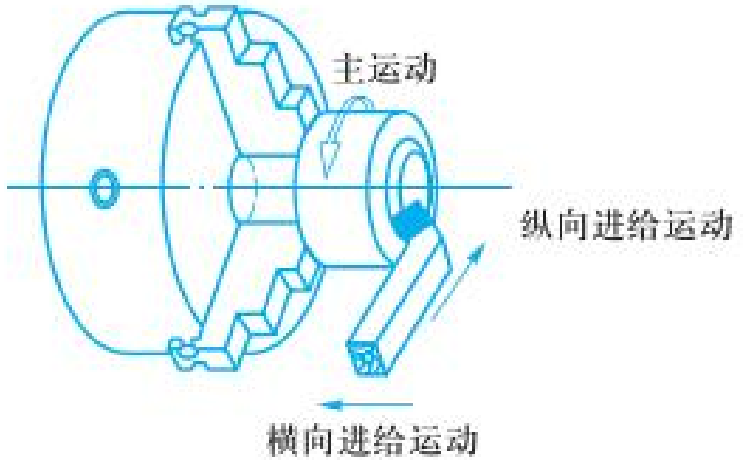
C620型普通车床

5.1 普通车床的主要结构和运动形式

2 运动形式

车床在进行车削加工时，工件被夹在卡盘上由主轴带动旋转；车刀(加工工具)被装在刀架上，由溜板和溜板箱带动做横向和纵向运动，以改变车削加工的位置和深度。因此，车床的主运动是主轴的旋转运动，进给运动就是溜板箱带动刀架的直线运动如图所示，而辅助运动则包括刀架的快速移动和工件的夹紧和放松。



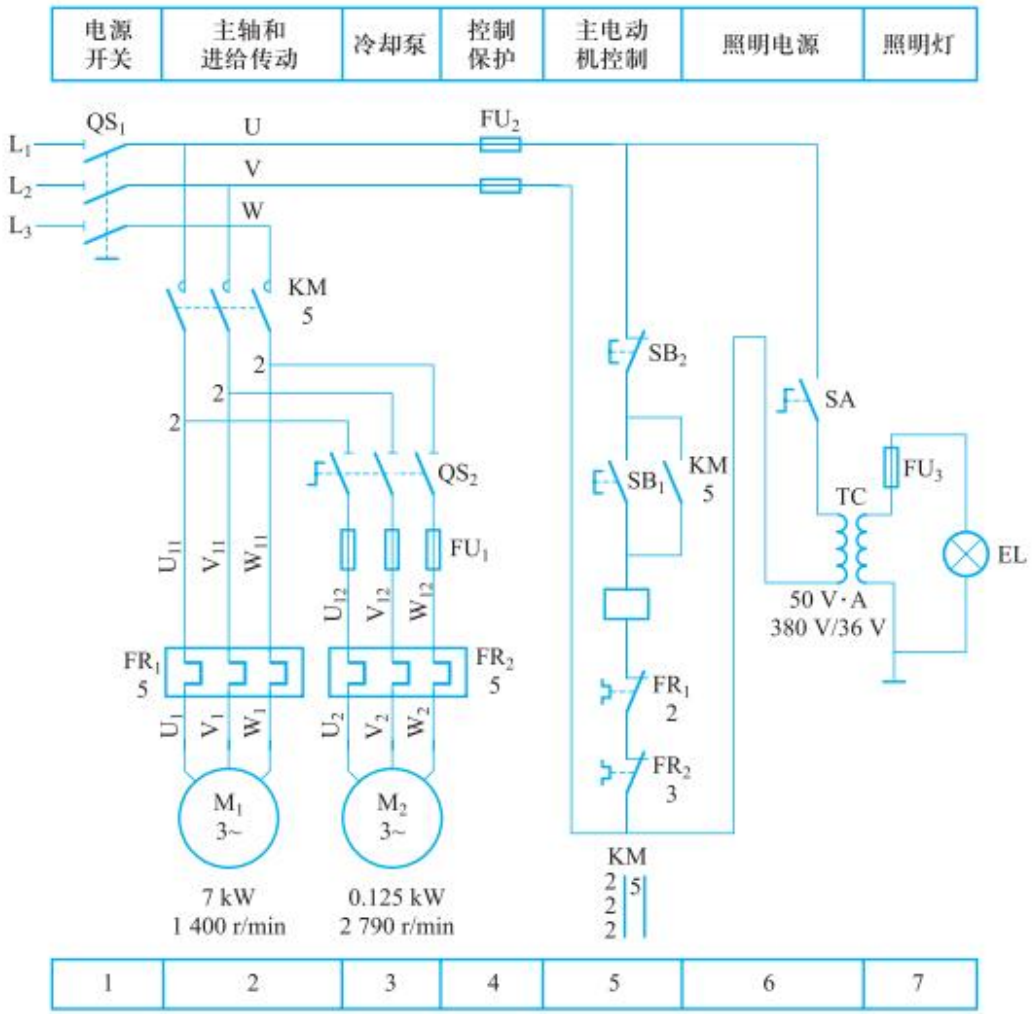


5.2 C620型普通车床的电气控制电路

1 电路图分析

图中自左至右共分7条支路，由下端的数字编号表示，图的顶端示出的是编号所对应的分支电路的功能。

在控制线路图中，如果某些元器件符号之间有相关功能或因果关系，要标出它们之间的关系。如接触器KM线圈下面，竖线的左边有3个“2”，表示在2号支路中有它的3个主触点;第二条竖线的左边有1个“5”，则表示在5号支路里有1个动合辅助触点:右边空着，表示接触器KM没有使用动断触点。如果该处有数字“6”则表示在6号支路中有一个动断辅助触点。在触点KM的下面有个“5”，表明它的线圈在5号支路里。



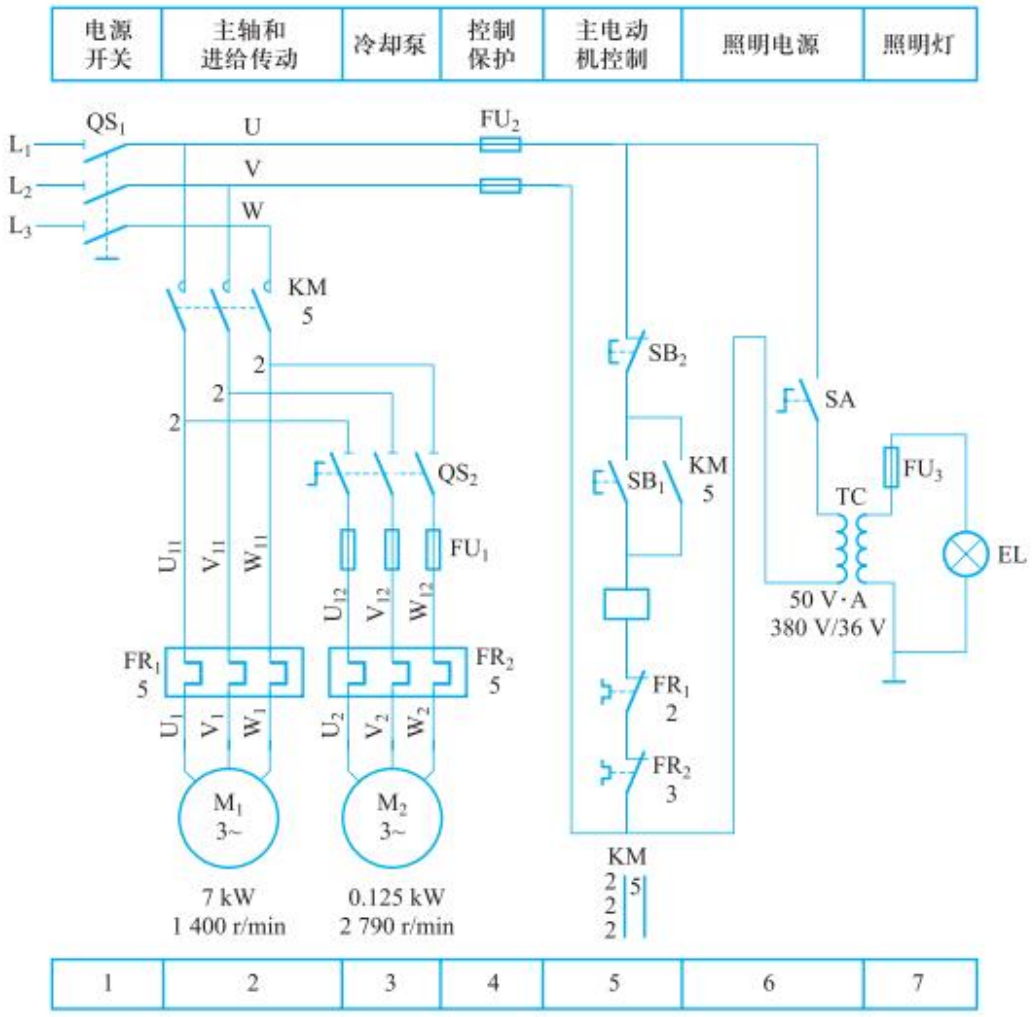
C620型普通车床电气控制电路

5.3 C620型普通车床的电路组成及功能分析

1 主电路

（1）M1为主轴电动机，在拖动主轴旋转的同时，通过进给机构实现车床的进给运动。主轴通过摩擦离合器实现正反转。

（2）M2为冷却泵电动机，拖动冷却泵供给冷却液，降低加工时刀具的温度。冷却泵电动机必须在主轴电动机起动后才能起动，受开关QS2控制。但M2的供电也受SB1和KM的控制。

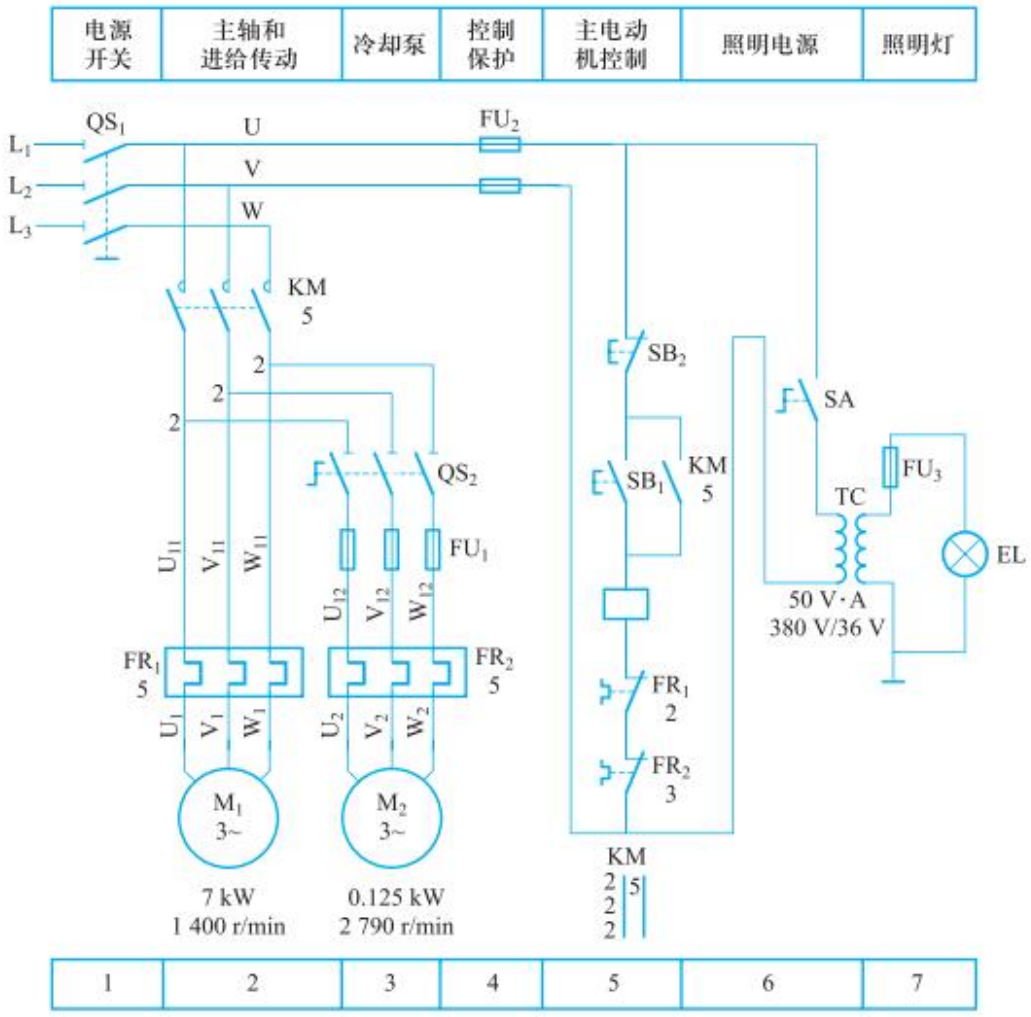


C620型普通车床电气控制电路

2 控制电路

主轴电动机：合上电源开关QS1，按下起动按钮SB1，接触器KM线圈通电使铁心吸合，电动机M1由KM的三个主触点吸合而通电起动运转，同时并联在SBI两端的KM自锁触点吸合，实现自锁；按下停止按钮SB2，M1停转。

冷却泵电动机：当主轴电动机MI起动后(KM主触点闭合)，合上QS2，电动机M2得电起动；若要关掉冷却泵，断开QS2即可；当MI停转后，M2也停转。



C620型普通车床电气控制电路

3 照明电路和保护环节

（1）照明电路

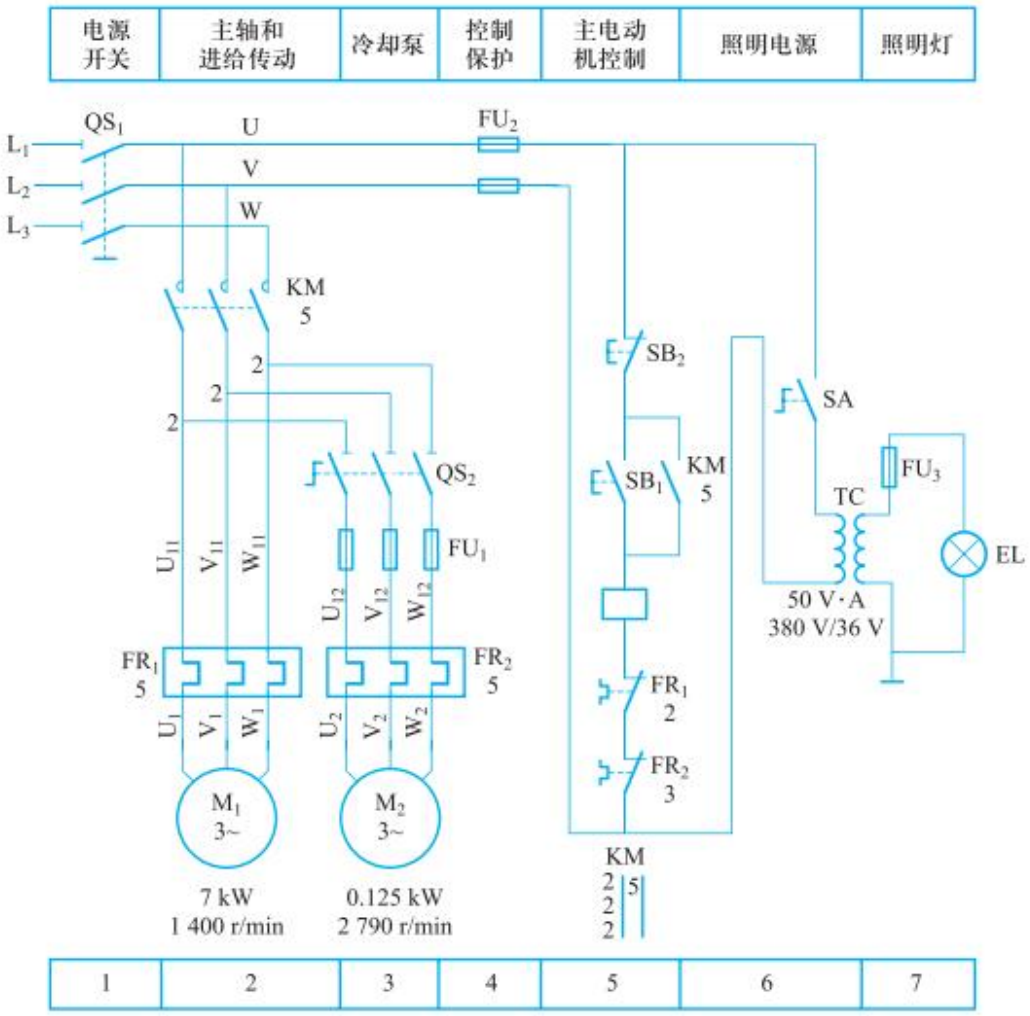
照明电路由变压器T将交流380V转换为36V的安全电压供电，FU3为短路保护。合上开关SA，照明灯EL亮。照明电路必须接地，以确保人身安全。

（2）保护环节分析

过载保护：热继电器FR1、FR2

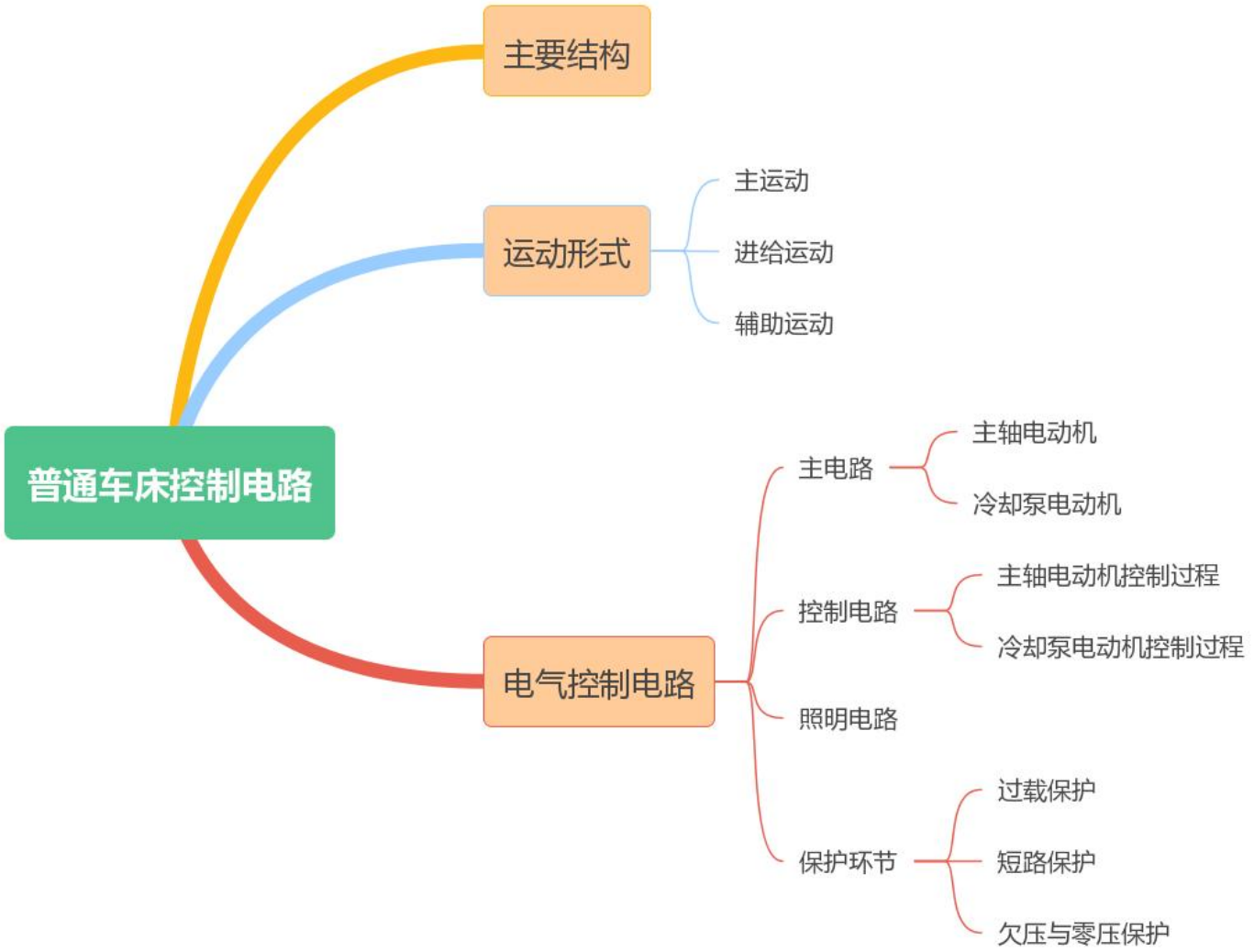
短路保护：FU1、FU2、FU3实现对冷却泵电动机、控制电路及照明电路的短路保护。

欠压与零压保护：当外加电源过低或突然失压，由接触器KM实现欠压与零压保护。

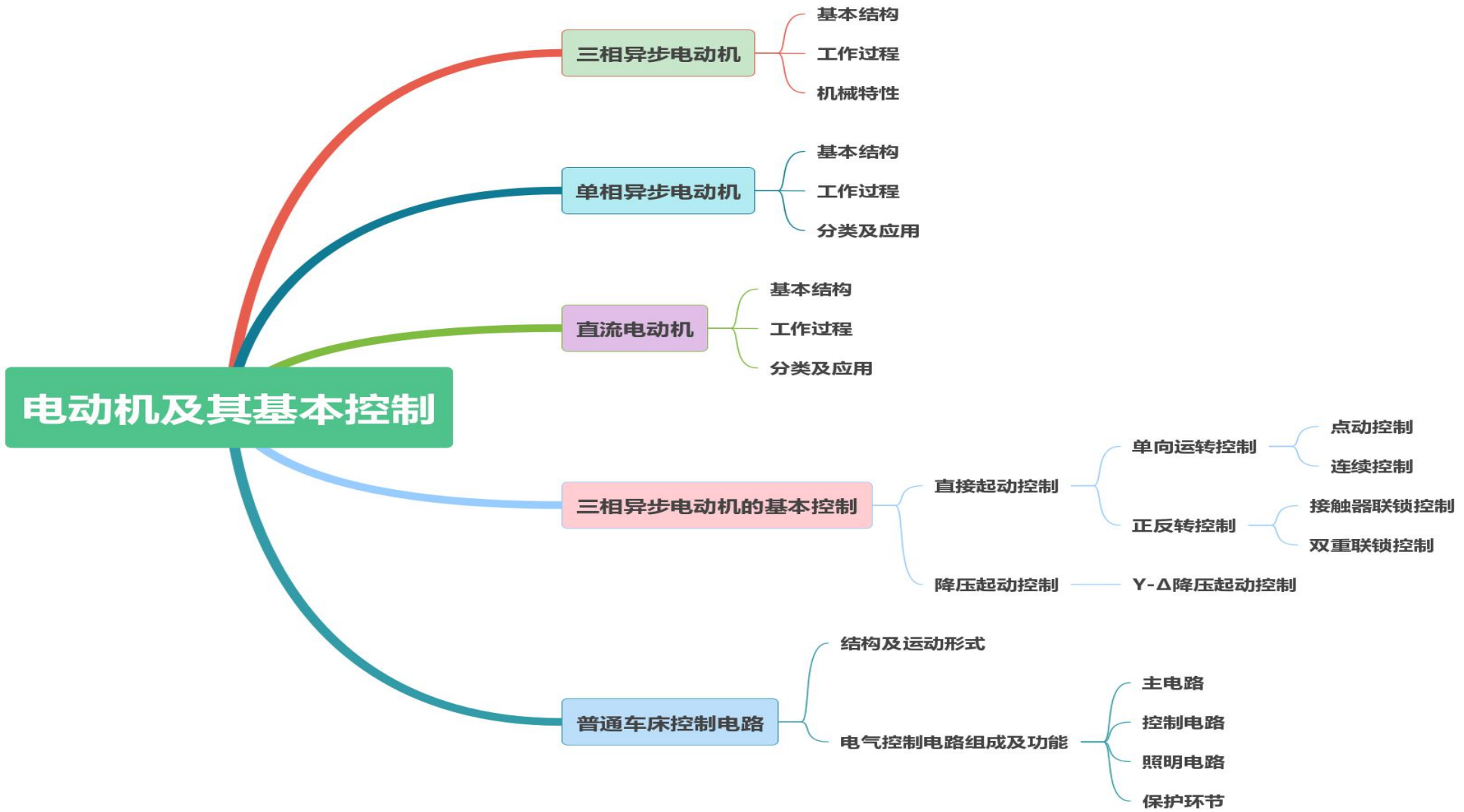


C620型普通车床电气控制电路

小结


普通车床控制电路
主要结构
运动形式
主运动
进给运动
辅助运动
电气控制电路
主电路
主轴电动机
冷却泵电动机
控制电路
主轴电动机控制过程
冷却泵电动机控制过程
照明电路
保护环节
过载保护
短路保护
欠压与零压保护

本章小结


电动机及其基本控制
三相异步电动机
基本结构
工作过程
机械特性
单相异步电动机
基本结构
工作过程
分类及应用
直流电动机
基本结构
工作过程
分类及应用
三相异步电动机的基本控制
直接起动控制
单向运转控制
点动控制
连续控制
正反转控制
接触器联锁控制
双重联锁控制
降压起动控制
Y-Δ降压起动控制
普通车床控制电路
结构及运动形式
电气控制电路组成及功能
主电路
控制电路
照明电路
保护环节