

电气专业基础知识

第一部分 专业基础知识

一、电路与电磁场

(一) 电路模型和基本定律

1、掌握电阻、电容、电感、独立电压源、独立电流源、受控电压源、受控电流源元件的定义、性质。

什么是电阻：我们把物质对电流产生的阻碍作用叫电阻；

什么是电容：我们把在给定电位差下的电荷储藏量称作电容。(一般来说，电荷在电场中会受力而移动，当导体之间有了介质，则阻碍了电荷移动而使得电荷累积在导体上；造成电荷的累积储存，最常见的例子就是两片平行金属板。)

什么是电感：我们把线圈通电后，在线圈中形成磁场感应，感应磁场又会产生感应电流来抵制通过线圈中的电流。我们把这种电流与线圈的相互作用关系称其为电的感抗，也就是电感；

什么是独立电压源：我们把可用一个与电路中所有电流和电压无关的理想电压源与一个无源元件相串联来表示的有源元件；

什么是独立电流源：输出电流恒定不变的电源称为电流源，当内阻相对于外阻很大很大的时候，就可以把一个电源看做电流源，根据全电路欧姆定律 $I = E / (r + R)$ 。内阻 r 超级大的时候，外阻 R 改变对 I 的影响不大；什么是受控电压源：我们把受电路中另一部分电压或电流控制的电压源称作受控电压源；

什么是受控电流源：我们把受电路中另一部分电压或电流控制的电流源称作受控电流源；

2、掌握电流、电压参考方向的概念

电压的参考方向：在电路理论中，电压的方向规定为电压降的方向；

电流的参考方向：在电路理论中，电流的方向规定为电荷移动的方向；

3、掌握功率的概念

什么是功率：功率就是单位时间内所做的功，或单位时间内转移或转换的能量；

4、掌握基尔霍夫电流定律

什么是基尔霍夫电流定律：对于任意一个集中参数电路中的任意一个结点或闭合面，在任何时刻，通过该结点或闭合面的所有支路电流代数和等于零；

(二) 电路的分析方法

1、掌握常用的电源等效变换方法

电源对于负载来说，可以看成是电压的提供者，也可以看成是电流的提供者。如果一个实际电压源与一个实际电流源对负载等效变换的话，只要它们满足在任意负载上提供的电压相等或通过任意负载上电流相等即可相互等效。根据这一条件推导如下：①实际电压源可以看成是一个理想电压源 E 与一个内阻 R_o 串联组合，其输出电压为 $U = E - IR_o$ 或 $I = E / R_o - U / R_o$ ，②实际电流源可以看成是一个理想电流源 I_s 与一个内阻 R_s 并联组合，其输出电流为 $I = I_s - U / R_s$ ；

2、掌握节点电压法求解电路方程

以节点电压为对象列写电路方程分析电路的方法。步骤：①任意选择一个节点作为参考节点；②计算其它节点与参考节点之间的电压，节点电压方向为从独立节点指向参考节点；③参考节点经过独立节点再回到参考节点的电压为零。

3、熟悉回路电流法求解电路方程

什么是回路(网孔)电流法：在电路中确定出全部独立回路，以回路电流为未知数，根据基尔霍夫电压定律列出含有回路电流的回路电压方程，然后求解出各回路电流，而各支路电流等于该支路内所通过的回路电流的代数和；

4、掌握叠加定理、戴维南定理和诺顿定理

什么是叠加定理：在线性电路中，任一支路的电流(或电压)可以看成是电路中每一个独立电源单独作用于电路时，在该支路产生的电流(或电压)的代数和。当线性电路中有几个电源共同作用时，各支路的电流(或电压)等于各个电源分别单独作用时在该支路产生的电流(或电压)的代数和(叠加)；

什么是戴维南定理：对于任意含独立源、线性电阻和线性受控源的单口网络(二端网络)，都可以用一个电压源与电阻相串联的单口网络(二端网络)来等效。这个电压源的电压，就是此单口网络(二端网络)的开路电压，这个串联电阻就是从此单口网络(二端网络)两端看进去，当网络内部所有独立源均置零以后的等效电阻；

什么是诺顿定理：一个含独立电源、线性电阻和受控源的二端电路，对两个端子来说都可等效为一个理想电流源并联内阻的模型。其理想电流源的数值为有源二端电路的两个端子短路时其上的电流，并联的内阻等于内部所有独立源为零时电路两端子间的等效电阻。电路的这种特性，我们称之为诺顿定理；

(三) 正弦交流电路

1、掌握正弦交流电路的三要素和有效值

正弦交流电路的三要素是：频率、峰值和相位。(正弦交流电路是电压或电流的大小和方向随时间作周期性变化的电路。)

交流电的有效值：若某一交流电与另一直流电在相同时间内通过同一电阻产生相等的热量，则这一直流电的电压或电流的数值分别等于该交流电的电压或电流的有效值。 $I = I_m / \sqrt{2}$

2、掌握正弦交流电路的阻抗、导纳、电流、电压、有功功率、无功功率、视在功率和功率因数的概念

什么是阻抗：在具有电阻、电感和电容的电路里，对交流电所起的阻碍作用叫做阻抗；

什么是导纳：导纳是电导和电纳的统称。在电力电子学中导纳定义为阻抗的倒数，符号 Y ，单位是西门子；

什么是电流：电荷在媒质中的运动。电流方向规定为与电子运动方向相反、与电荷运动方向相同的方向。大小等于流过导体给定截面的电量除以相应时间求得；

什么是电压：电压也称作电势差或电位差，是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差。其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 A 点移动到 B 点所作的功，电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向；

什么是有功功率：有功功率就是电能用于做功被消耗的功率，这些功率转化为热能、光能、机械能或化学能而被利用的功率，称为有功功率；又叫平均功率。功率在一个周期内的平均值叫做有功功率，它是指在电路中电阻部分所消耗的功率，以字母 P 表示，单位瓦特；

什么是无功功率：交流电力系统需要电源供给两部分能量，一部分将用于作功而被消耗掉，这部分电能将转换为机械能、光能、热能或化学能，我们称为“有功功率”，在电力系统的负载中，只有电阻才消耗有功功率。另一部分能量是用来建立磁场，用于交换能量使用的，对于外部电路它并没有作功，由电能转换为磁能，再由磁能转换为电能，周而复始，并没有消耗，主要是建立磁场用，这部分能量我们称为“无功功率”，无功是相对于有功而言，不能说无功是无用之功，没有这部分功率，就不能建立感应磁场，电动机、变压器等设备就不能运转，在电力系统中，电感元件是消耗无功功率的；

什么是视在功率：视在功率又称“表观功率”。是电压有效值 u 与电流有效值 i 的乘积；由于视在功率等于网络电流、电压有效值的乘积，而有效值能客观地反映正弦量的大小和他的做功能力，因此这两个量的乘积反映了为确保网络能正常工作，外电路需传给网络的能量或该网络的容量。由于网络中既存在电阻这样的耗能元件，又存在电感、电容这样的储能元件，所以，外电路必须提供其正常工作所需的功率，即平均功率或有功功率，同时应有一部分能量被贮存在电感、电容等元件中。这就是视在功率大于平均功率的原因。只有这样网络或设备才能正常工作。若按平均功率给网络提供电能是不能保证其正常工作的；

什么是功率因数：在正弦交流电路中，有功功率一般小于视在功率，也就是说视在功率上打一个折扣才能等于平均功率，这个折扣就是 $\cos\varphi$ ，称为功率因数。由于 φ 是单口网络端电压与电流间的相位差角，故 φ 往往称之为功率因数角；

3、熟悉正弦交流电路分析的向量方法

正弦交流电路分析的向量方法：就是利用向量具有大小和方向的特点，表达正弦交流电路的所有变量，借助电阻电路的函数关系，解决交流正弦电路实际问题的一种方法；

4、了解频率特性的概念

频率特性是指当输入量频率变化时，其输出量随频率变化而变化的特性；

5、掌握三相电路中电源和负载的联接方式及相电压、相电流、线电压、线电流、三相功率的概念和关系

三相电路中电源和负载的联接方式一般都具有两种：一是星形连接；二是三角形连接；

什么是相电压：在多相交流电路中相线与零线之间的电压，或单相绕组两端的电压；

什么是相电流：三相电源中流过每相负载的电流为相电流；

什么是线电压：多相交流电路中两相线之间的电压；

什么是线电流：从电源引出三根相线中的电流为线电流；

什么是三相功率：三相功率就是三相负载各相功率之和；

线电压与相电压的关系：线电压 $= \sqrt{3}$ 相电压；

线电流与相电流的关系：线电流 $= \sqrt{3}$ 相电流；

三相功率 $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$ ；

6、掌握对称三相电路分析的向量方法

7、熟悉不对称三相电路的概念

不对称三相电路就是由三相不对称负载或三相不对称电源构成的三相电路；

(四) 非正弦周期交流电路

1、熟悉非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率的定义和计算方法

非正弦周期量的有效值 :对于任何周期性的电压或电流 ,不论是正弦还是非正弦的 ,其有效值的定义都是相同的 ,都为若某一交流电与另一直流电在相同时间内通过同一电阻产生相等的热量 ,则这一直流电的电压或电流的数值分别等于该交流电的电压或电流的有效值 ;

$$A = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

非正弦周期量的有效值就是周期函数在一个周期里的方均根值。

非正弦周期函数的平均值 :周期函数在一个周期内的绝对值的平均值。以电流为例 ,其数学表达式为

$$I_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt$$

非正弦周期量的平均功率 :非正弦周期量的的平均功率(有功功率)仍定义为瞬时功率在一个周期内的平均值 ,即

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

可以证明

$$\begin{aligned} P &= U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = P_0 + \sum_{k=1}^{\infty} P_k \\ &= P_0 + P_1 + P_2 + \cdots \end{aligned} \quad (6.7)$$

可见，非正弦周期性电路中的平均功率等于直流分量和各次谐波分量分别产生的平均功率之和。

例6.2 某一非正弦电压为

$$u = 40 + 180 \sin \omega t + 60 \sin(3\omega t + 45^\circ) + 20 \sin(5\omega t + 18^\circ) \text{ V}$$

电流为 $i(t) = [1.43 \sin(\omega t + 85.3^\circ) + 6 \sin(3\omega t + 45^\circ) + 0.73 \sin(5\omega t + 18^\circ)] \text{ A}$ elecfans.com 电子发烧友

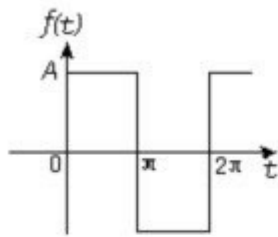
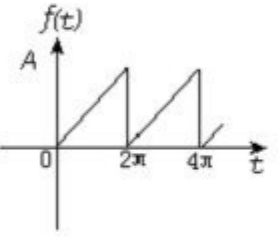
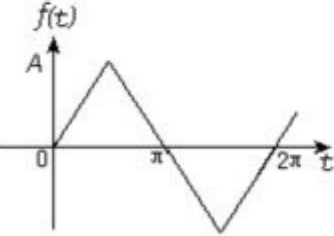
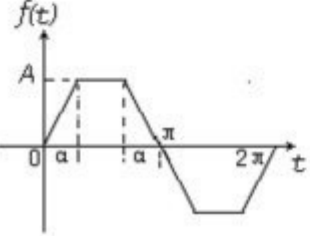
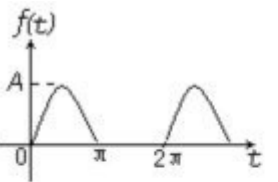
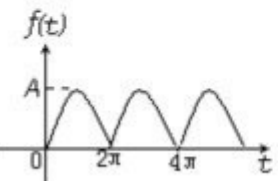
2、熟悉非正弦周期量的分析方法

非正弦周期量的分析方法，主要是利用数学中学过的傅里叶级数展开法；

3、了解非正弦周期量的傅立叶级数分解方法

傅立叶级数就是法国数学家傅里叶发现，任何周期函数都可以用正弦函数和余弦函数构成的无穷级数来表示，分解方法就是将非正弦周期量分解为一系列不同频率的正弦和余弦量之和，然后再对不同频率的正余弦量分别求解，根据线性电路的叠加原理进行叠加，就可以得到电路中实际的稳态电流和电压。这就是分析非正弦周期量的基本方法，也称为谐波分析法。它实质上就是把非正弦周期电路的计算化为一系列正弦电路的计算，这样我们就能充分利用相量法这个有效的工具。

工程中为了清晰地表示一个非正弦周期量所含各次谐波分量的大小和相位，通常采用频谱图的方法。所谓频谱图，就是用长度与各次谐波振幅大小或相位大小成比例的线段按照谐波频率的次序排列起来的图形。这种方法可以很直观地将各次谐波振幅、相位与频率的关系表示出来。非正弦周期函数的频谱图是离散的；

名称	$f(t)$ 的波形图	$f(t)$ 的傅立叶级数
矩形波		$f(t) = \frac{4A}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{k} \sin k\omega t + \dots \right)$ k 为奇数
锯齿波		$f(t) = \frac{A}{2} - \frac{A}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots + \frac{1}{k} \sin k\omega t + \dots \right)$
等腰三角形波		$f(t) = \frac{8A}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \dots + \frac{(-1)^{\frac{k-1}{2}}}{k^2} \sin k\omega t + \dots \right)$ k 为奇数
等腰梯形波		$f(t) = \frac{4A}{2\pi} \left(\sin \alpha \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{k^2} \sin k\alpha \sin k\omega t + \dots \right)$ k 为奇数 elecfans.com 电子发烧友
半波整流波		$f(t) = \frac{A}{\pi} \left(1 + \frac{\pi}{2} \sin \omega t - \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t - \dots - \frac{2}{(k-1)(k+1)} \cos k\omega t - \dots \right)$ k 为偶数
全波整流波		$f(t) = \frac{4A}{\pi} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \cos \omega t - \frac{1}{15} \cos 2\omega t - \dots - \frac{1}{4k^2 - 1} \cos k\omega t - \dots \right)$ k 为偶数 elecfans.com 电子发烧友

(五) 简单动态电路的时域分析

1、掌握一阶电路分析的基本方法

一阶电路分析的基本方法就是把一个动态元件组成的电路看成两个单口网络组成，其一含所有的电源和电阻元件，另一则含一个动态元件；按照电路分析列出一解方程式求解；

2、熟悉换路定则并能确定电压、电流的初始值

什么是换路定则：换路定则就是在换路瞬间，电容上的电压和电感中的电流不能突变；

$$U_C(0+) = U_C(0-); I_L(0+) = I_L(0-)$$

3、了解二阶电路分析的基本方法

二阶电路分析的基本方法是将含有两个动态元件组成的二阶线性电路，根据基尔霍夫定律和换路定律进行电路分析的方法，称作二阶电路分析方法；

(六) 静电场

1、熟悉电场强度、电位的概念

什么是电场强度：电场强度是作用于静止带电粒子上的力 F 与粒子电荷 Q 之比，为矢量，符号“ E ”；

什么是电位：将单位正电荷从参考点移到另一点反抗电场力所做的功。参考点位于无穷远处，或出于实用目的，取地球表面作为参考点；

2、了解应用高斯定律计算具有对称性分布的静电场问题

自由空间中静电场强度：通过任一闭合曲面的总通量，等于该闭合曲面内所包围的总电荷量与自由空间介电常数之比；

3、了解静电场的边值问题

静电场的边值问题：基于库仑定律与叠加原理的叠加积分或高斯定律计算电场的方法，只能适用于已知的电荷分布十分简单的问题。实际上在电工中经常遇到的是这样一类问题：给定空间某一区域内的电荷分布(可以是零)，同时给定该区域边界上的电位或电场(即边值，或称边界条件)，在这种条件下求解该区域内的电位函数或电场强度分布。

1 泊松方程和拉普拉斯方程

在高斯定律 $\nabla \cdot D = \rho$ 中，代入 $D = \epsilon E$ 和 $E = -\nabla \varphi$ 的关系，可得 $\nabla \cdot \epsilon (-\nabla \varphi) = \rho$
对于均匀电介质， ϵ 为常数，则得

$$\nabla^2 \varphi = -\rho / \epsilon \quad (1-53)$$

这就是电位 φ 的泊松方程。在自由电荷体密度 $\rho = 0$ 的区域内，(1-53) 式变为

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (1-54)$$

这就是电位 φ 的拉普拉斯方程。泊松方程和拉普拉斯方程表达了场中各点电位的空间变化与该点自由电荷体密度之间的普遍关系，是电位函数应当满足的微分方程。所有静电场问题的求解都可归结为在一定条件下寻求泊松方程或拉普拉斯方程的解的过程；

4、了解电场力及其计算

什么是电场力：电荷之间的相互作用是通过电场发生的.只要有电荷存在,电荷的周围就存在着电场,电场的基本性质是它对放入其中的电荷有力的作用,这种力就叫做电场力 ;方向为正电荷沿电场线的切线方向,负电荷沿电场线的切线方向的反方向；电场力的计算公式是 $F=qE$,其中 q 为点电荷的带电量 , E 为场强；

5、熟悉电容及部分电容的概念

电容或电容量指的是在给定电位差下的电荷储藏量 ;记为 C ,国际单位是法拉(F)。一般来说 ,电荷在电场中会受力而移动 ,当导体之间有了介质 ,则阻碍了电荷移动而使得电荷累积在导体上 ;造成电荷的累积储存 ,最常见的例子就是两片平行金属板。也是电容器的俗称；

部分电容 :对于由三个及三个以上带电导体组成的系统 ,任意两个导体之间的电压不仅要受到它们自身电荷还要受到其余导体上电荷的影响。这时 ,系统中导体间的电压与导体电荷关系一般不能仅用一个电容来表示 ,需要将电容的概念加以扩充 ,引入部分电容概念；

(七) 恒定电场

1、掌握电导和接地电阻的概念，计算典型接地电极系统的接地电阻。

什么是电导 :电导就是导电能力 ,对于某一种导体允许电流通过它的容易性的量度 ;它又电阻的倒数；欧姆是测量电阻的单位 ,它就是欧姆的倒数。表述导体导电性能的物理量。符号是 G ；

什么是接地电阻 :接地电阻就是电流由接地装置流入大地再经大地流向另一接地体或向远处扩散所遇

到的电阻，它包括接地线和接地体本身的电阻、接地体与大地的电阻之间的接触电阻以及两接地体之间大地的电阻或接地体到无限远处的大地电阻。接地电阻大小直接体现了电气装置与“地”接触的良好程度，也反映了接地网的规模；

接地电极系统接地电阻的计算：接地点处的电位 U_m 与接地电流 I 的比值定义为该点的接地电阻 R ， $R=U_m/I$ 。接地电阻的大小主要取决于接地装置的结构、尺寸、埋入地下的深度及当地的土壤电阻率。因金属接地体的电阻率远小于土壤电阻率，故接地体本身的电阻在接地电阻中可以忽略不计；

(八) 恒定磁场

1、熟悉磁感应强度、磁场强度及磁化强度的概念

什么是磁感应强度：磁感应强度就是描述磁场强弱和方向的基本物理量，是矢量，常用符号 B 表示。磁感应强度也被称为磁通量密度或磁通密度。在物理学中磁场的强弱使用磁感强度(也叫磁感应强度)来表示，磁感强度大表示磁感强；磁感强度小，表示磁感弱；

什么是磁场强度： 磁场强度是线圈安匝数的一个表征量，反映磁场源的强弱。磁感应强度则表示磁场源在特定环境下的效果；

什么是磁化强度：描述磁介质磁化状态的物理量。是矢量，通常用符号 M 表示；

2、熟悉自感、互感的概念及几种简单结构的自感、互感的计算

什么是自感：自感就是当线圈中的电流发生变化时，它周围的磁场就随着变化，并由此产生磁通量的变化，因而在线圈中就会产生感应电动势，这个电动势总是阻碍线圈中原来电流的变化，此电动势即自感电动势，这种现象就叫做自感现象；

什么是互感：互感就是当一线圈中的电流发生变化时，在临近的另一线圈中产生感应电动势，叫做互感现象；

自感的计算：自感电动势 $E = n\Delta\Phi/\Delta t = L\Delta I/\Delta t$ { L : 自感系数(H)(线圈 L 有铁芯比无铁芯时要大), ΔI : 变化电流, Δt : 所用时间, $\Delta I/\Delta t$: 自感电流变化率(变化的快慢) } ; $L = \Psi/i$, 自感系数取决于回路的性质. 长直螺旋管的自感系数为 $L = \mu_0 n^2 v$; $1H = 1000mH = 1000000\mu H$;

互感的计算：互感电动势 $E = M_{12} \Delta I_1 / \Delta t$ 注解： M_{12} 称为线圈 1 对线圈 2 的互感系数， ΔI_1 线圈 1 的变化电流， Δt : 所用时间， $\Delta I_1 / \Delta t$: 线圈 1 电流变化率(变化的快慢)；

3、了解恒定磁场的基本方程和分界面上的衔接条件

什么是恒定磁场：磁场强度和方向保持不变的磁场称为恒定磁场或恒磁场，如铁磁片和通以

直流电的电磁铁所产生的磁场。恒磁场又称为静磁场，而交变磁场，脉动磁场和脉冲磁场属于动磁场。磁场的空间各处的磁场强度相等或大致相等的称为均匀磁场，否则就称为非均匀磁场。离开磁极表面越远，磁场越弱，磁场强度呈梯度变化；
磁通连续性原理和安培环路定律表征了恒定磁场的基本性质。不论导磁媒质分布情况如何，凡是恒定磁场，都具备这两个特性。这里把它们的表达式列出

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad \oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I$$

并称它们为恒定磁场的(积分形式的)基本方程。 B 和 H 这两个场量，一般地可由关系式

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{M}$$

相联系，对于各向同性的线性媒质，它们有下式所示的关系，即

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

分界面上的衔接条件

磁场强度和磁感应强度在两种不同媒质分界面上必须满足的衔接条件。

$$H_{1n} - H_{2n} = K$$

4、了解磁场能量和磁场力的计算方法

什么是磁场能量：当线圈中通有电流时，线圈中就要储存磁场能量，通过线圈的电流越大，储存的能量就越多；在通有相同电流的线圈中，电感越大的线圈，储存的能量越多，因此线圈的电感也反映了它储存磁场能量的能力。磁场能量 $W_m = B^2 v / 2\mu_0$;

什么是磁场力：磁场力是磁场对运动电荷作用的洛伦兹力和磁场对电流作用的安培力；公式计算： $F = BIL$ ；

(九) 均匀传输线

1、了解均匀传输线的基本方程

什么是均匀传输线：传输线沿线的电介质性质、导体截面、导体间的几何距离处处相同，这样的传输线称为均匀传输线；

$$\partial U / \partial X + L_0 \partial i / \partial t + R_0 i = 0; \quad \partial i / \partial X + C_0 \partial U / \partial t + G_0 U = 0;$$

2、了解均匀传输线特性阻抗和阻抗匹配的概念

均匀传输线特性阻抗：是指传输线上入射波电压与入射波电流之比，或反射波电压与反射波电流之比的负值；

阻抗匹配：在很多情况下，传输线的终端接有一个集中参数的负载 Z_L 。当负载 Z_L 与特性阻抗 Z_0 相等时，称为传输线工作在匹配状态。显然，在匹配状态下，传输线的效率最高。另外，对传送信号而言，不匹配所产生的反射波还会使信号失真。因此，在实际中，传输线被用来传输电磁功率和信息时，总是希望负载与传输线的特性阻抗相匹配；

二、模拟电子技术基础

（一）半导体及二极管

1、熟悉二极管和稳压管特性、参数

二极管的特性：具有单向传导电流的性质。在半导体二极管内部有一个 PN 结，按照外加电压的方向，具备单向电流的导电性；

二极管的参数：硅二极管正向管压降 0.7V，锗管正向管压降为 0.3V，发光二极管正向管压降为随不同发光颜色而不同。主要有三种颜色，具体压降参考值如下：红色发光二极管的压降为 2.0--2.2V，黄色发光二极管的压降为 1.8—2.0V，绿色发光二极管的压降为 3.0—3.2V，正常发光时的额定电流约为 20mA；

稳压管的特性：当反向电压加到某一定值时，反向电流急增，产生反向击穿，电流有很大增量时，只引起很小的电压变化；反向击穿曲线愈陡，动态电阻愈小，稳压管的稳压性能愈好；

稳压管的参数：是指稳压管稳压时，通过该管的电流值；

2、了解载流子扩散，飘移；PN 结的形成及单向导电性

什么是载流子：载流子是指在半导体内运动的电荷载体。一般指其中的自由电子或空穴；

什么是载流子扩散：载流子扩散是指在浓度梯度驱动下的一种定向运动；

什么是载流子漂移：载流子漂移是指在外电场作用下的一种定向运动；

PN 结的形成及单向导电性：

PN 结的形成：在一块本征半导体的两侧通过扩散不同的杂质，分别形成 N 型半导体和 P 型半导体。此时将在 N 型半导体和 P 型半导体的结合面上形成如下物理过程：因浓度差 → 多子的扩散运动 → 由杂质离子形成空间电荷区 → 空间电荷区形成内电场 → 促使少子漂移，阻止多子扩散，最后，多子的扩散和少子的漂移达到动态平衡形成 PN 结。对于 P 型半导体和 N 型半导体结合面，离子薄层形成的空间电荷区称为 PN 结。在空间电荷区，由于缺少多子，所以也称耗尽层；

PN 结的单向导电性：PN 结具有单向导电性，若外加电压使电流从 P 区流到 N 区，PN 结呈低阻性，所以电流大；反之是高阻性，电流小，这就是 PN 结的单向导电性；

（二）放大电路基础

1、熟悉基本放大电路、静态工作点、直流负载和交流负载线

基本放大电路：晶体管基本放大电路有共射、共集、共基三种电路；

静态工作点：静态工作点就是当输入信号为零时，电路处于直流工作状态下，直流电流和电压的数值。

静态工作点要保证在被放大的交流信号加入电路时，不论是正半周还是负半周都能满足发射结正向偏置，集电结反向偏置的三极管放大状态。通过改变电路参数就可达到设置静态工作点的目的；

什么是直流负载线：直流负载线是只加入直流信号，而不加交流信号时的负载曲线；

什么是交流负载线：交流负载线是加了动态输入信号时的负载曲线；

2、熟悉放大电路的基本分析方法

放大电路的基本分析方法：就是“先静后动”。即先求解静态工作点，再求解电路动态指标；

3、了解放大电路的频率特性和主要性能指标

放大电路的频率特性：就是放大电路的输入信号不是单一频率的正弦信号，有可能为非正弦周期量。由于三极管本身具有电容效应，电路中有可能还存在着电容和电感等元件，因此，放大线路对不同频率信号的相位移也不同。所以，放大电路的电压放大倍数和相位成为频率的函数，我们把这种函数关系叫做放大电路的频率特性；

放大电路的主要性能指标：**a、输入电阻**：输入电阻 R_i 的大小决定了放大电路从信号源吸取信号幅值的大小。对输入为电压信号的放大电路，即电压放大和互导放大， R_i 愈大，放大电路输入端的 V_i 愈大；对输入为电流信号的放大电路，即电流放大和互阻放大， R_i 愈小，注入放大电路和输入电流 I_i 愈大；**b、输出电阻**：放大电路的输出电阻 R_o 的大小决定它带负载的能力。对输出为电压信号的放大电路，即电压放大和互阻放大， R_o 愈小，负载电阻 R_L 的变化对输出电压 V_o 的影响愈小，多用于信号的前置放大和中间级放大；对输出为电流信号的放大电路，即电流放大和互导放大，与受控电流源并联的 R_o 愈大，负载电阻 R_L 的变化对输出电流 I_o 的影响愈小，常用于电子系统的输出级；**c、增益**：四种放大电路分别具有不同的增益，如电压增益 A_v 、电流增益 A_i 、互阻增益 A_R 及互导增益 A_G 。它们实际反映了放大电路在输入信号控制下，将供电电源能量转换为信号能量的能力；

d、频率响应及带宽：放大电路的频率响应所指的是，在输入正弦信号情况下，输出随频率连续变化的稳态响应；**e、非线性失真**：非线性失真是由放大器的非线性特性所引起的。放大器包括分立器件（如半导体三极管等）和集成电路器件（如集成运算放大器等）。

此外，针对不同用途的电路，还有一些其他的指标，如最大输出功率、效率、信号噪声比、抗干扰能力等；

4、了解反馈的概念、类型和极性

反馈的概念：凡是将放大电路输出端信号（电压或电流）的一部分或全部引回到输入端，与输入信号叠加就称为反馈；

反馈的类型：a、串、并联反馈；b、电压、电流反馈；c、正、负反馈；

反馈的极性：当反馈信号的相位与输入信号的相位相同时，反馈为正反馈；反之，为负反馈；

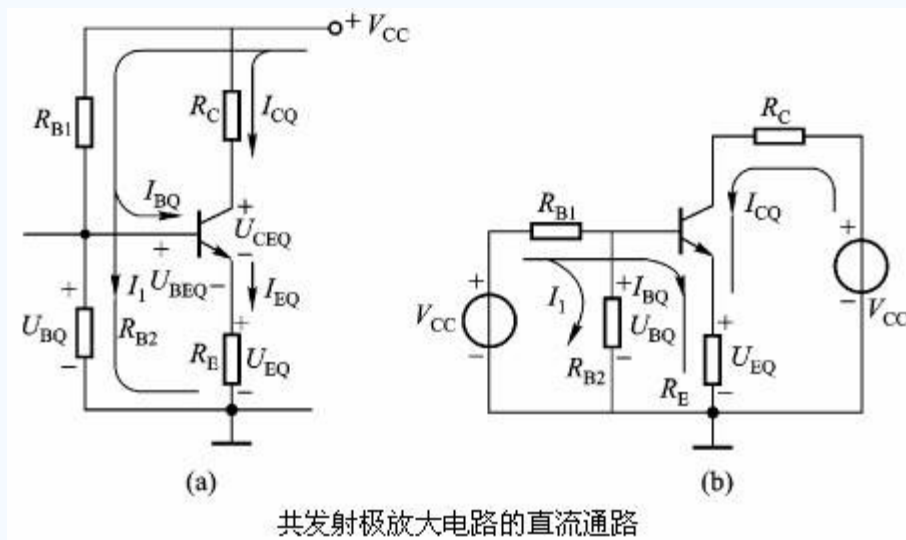
5、了解正负反馈的特点

正负反馈的特点：正反馈的特点为反馈导致输入信号增加；负反馈的特点为反馈导致输入信号减少；

（三）线性集成运算放大器和运算电路

1、熟悉放大电路的计算

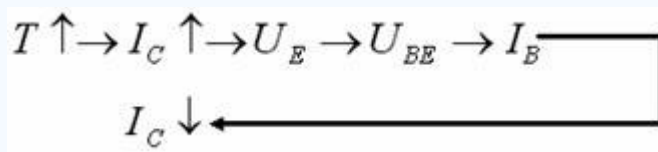
放大电路的计算：直流分析：开放大电路中的所有电容，即得到直流通路，如下图所示，此电路又称为分压偏置式工作点稳定直流通路。电路工作要求： $I_1 \gg (5 \sim 10) I_{BQ}$ ， $U_{BQ} \approx (5 \sim 10) U_{BEQ}$ 838 电子



求静态工作点 Q：

方法 1. 估算

工作点 Q 不稳定的主要原因： V_{CC} 波动，三极管老化，温度变化稳定 Q 点的原理：

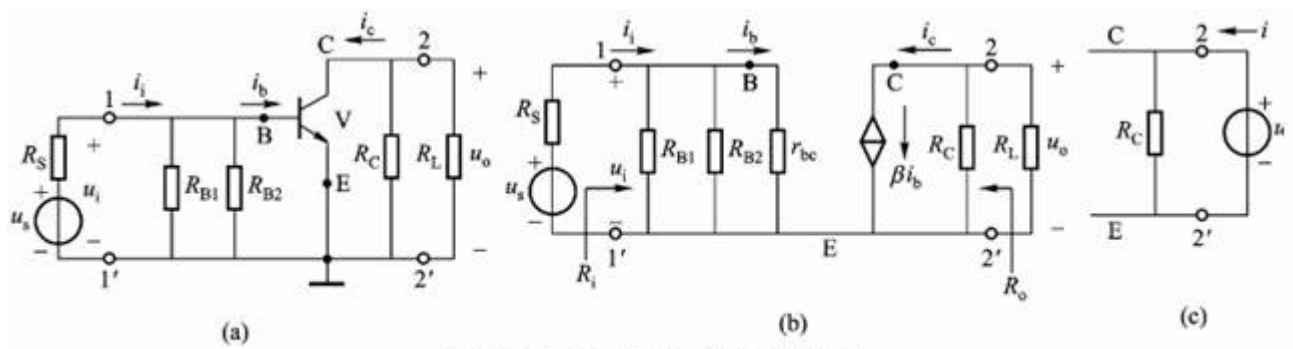


方法 2. 利用戴维宁定理求 I_{BQ}

$$V'_{CC} = \frac{V_{CC} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}, R'_B = R_{B1} // R_{B2} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}, I_{BQ} = \frac{V'_{CC} - U_{BEQ}}{R'_B + (1 + \beta) R_E}$$

(三) 性能指标分析

将放大电路中的 C_1 、 C_2 、 C_E 短路，电源 V_{CC} 短路，得到交流通路，然后将三极管用 H 参数小信号电路模型代入，便得到放大电路小信号电路模型如下



典型共射放大电路的交流小信号等效电路
(a) 交流通路 (b) 小信号等效电路 (c) 求输出电阻

1. 电压放大倍数

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-\beta i_b R'_L}{i_b r_{be}} = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$$

源电压放大倍数

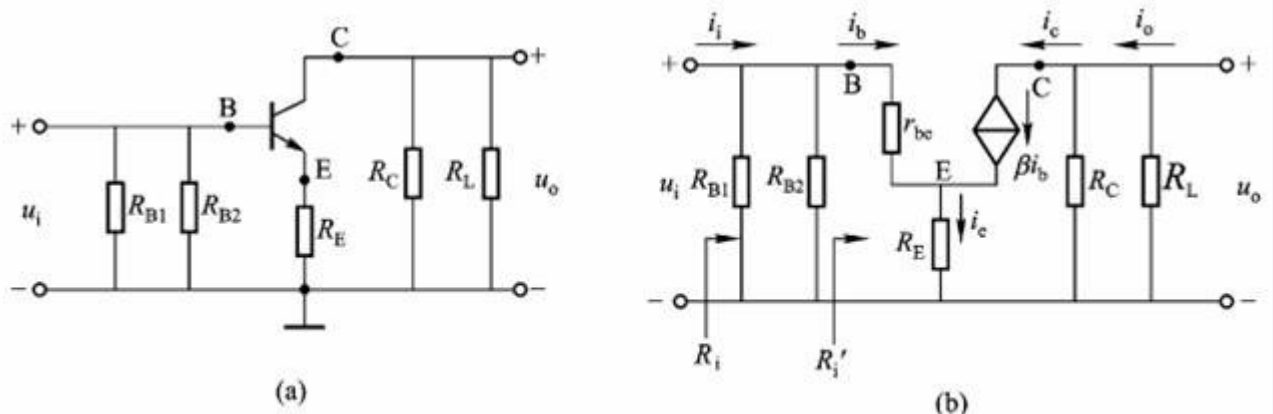
$$A_{us} = \frac{u_o}{u_s} = \frac{u_o}{u_i} \frac{u_i}{u_s} = \frac{u_i}{u_s} A_u = \frac{R_i A_u}{R_s + R_i}$$

2. 输入电阻计算

$$R_i = \frac{u_i}{i_i} = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

3. 输出电阻 $R_o = R_C$

没有旁路电容 CE 时：



发射极旁路电容开路的交流小信号等效电路
(a) 交流通路 (b) 小信号等效电路

1. 电压放大倍数

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-\beta i_b R'_L}{i_b [r_{be} + (1 + \beta) R_E]}$$

源电压放大倍数

$$A_{us} = \frac{u_o}{u_s} = \frac{u_i}{u_s} \frac{u_o}{u_i} = \frac{R_i A_u}{R_s + R_i}$$

2. 输入电阻

$$R_i = R'_B // [r_{be} + (1 + \beta) R_E]$$

3. 输出电阻 $R_o = R_C$

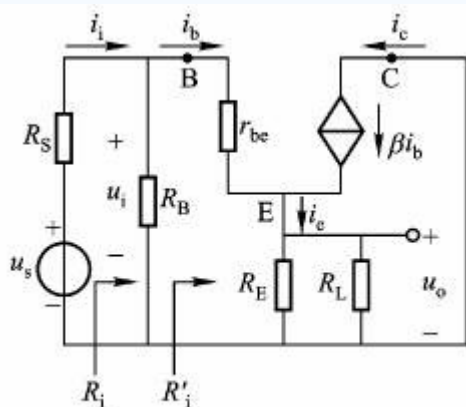
二、共集电极放大电路 (射极输出器、射极跟随器)

(一) 电路组成与静态工作点

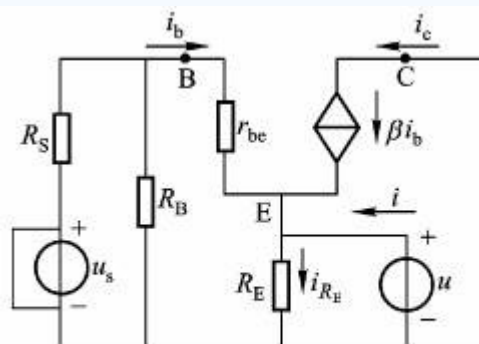
共集电极放大电路如下图(a)所示, 图(b)、(c)分别是它的直流通路和交流通路。由交流通路看, 三极管的集电极是交流地电位, 输入信号 u_i 和输出信号 u_o 以它为公共端, 故称它为共集电极放大电路, 同时由于输出信号 u_o 取自发射极, 又叫做射极输出器。

$$I_{BQ} = (V_{CC} - U_{BEQ}) / [R_B + (1 + \beta) R_E] \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ}, \quad U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_E$$

(二) 性能指标分析



共集电极放大电路H参数小信号等效电路



求共集电极放大电路输出电阻的等效电路

1. 电压放大倍数

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{(1 + \beta) i_b R_E // R_L}{i_b r_{be} + (1 + \beta) i_b R_E // R_L} = \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L} \leq 1$$

2. 输入电阻

$$R_i = \frac{u_i}{i_i} = \frac{u_i}{\frac{u_i}{R_B} + \frac{u_i}{r_{be} + (1+\beta)R'_L}} = R_B // [r_{be} + (1+\beta)R'_L]$$

$$R_o = R_E // R_L$$

3. 输出电阻

$$R_o = \frac{u}{i} \bigg|_{u_s = 0, R_L = \infty}$$

共集电极电路特点

共集电极电路用途

1. U_o 与 U_i 同相，具有电压跟随作用

1. 高阻抗输入级

2. 无电压放大作用 $A_u < 1$

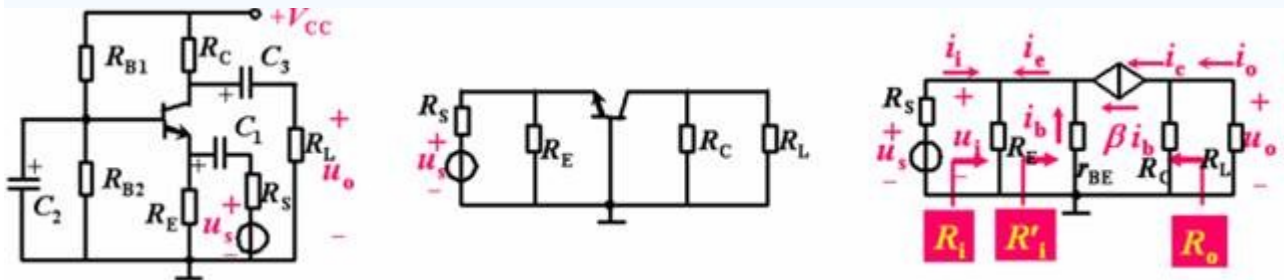
2. 低阻抗输出级

3. 输入电阻高；输出电阻低

3. 中间隔离级

一、共基极放大电路

共基极放大电路如下图所示。由图可见，交流信号通过晶体三极管基极旁路电容 C_2 接地，因此输入信号 u_i 由发射极引入、输出信号 u_o 由集电极引出，它们都以基极为公共端，故称共基极放大电路。从直流通路看，也构成分压式电流负反馈偏置。



(一) 求“Q”略

(二) 性能指标分析

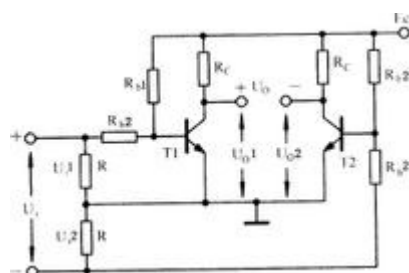
$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-\beta i_b R'_L}{-i_b r_{be}} = \frac{\beta R'_L}{r_{be}}, \quad R'_i = \frac{u_i}{-i_e} = \frac{-i_b r_{be}}{-(1+\beta)i_b} = \frac{r_{be}}{1+\beta}, \quad R_o = R_E // \frac{r_{be}}{(1+\beta)}$$

$$R_o = R_C$$

(三)特点:共基极放大电路具有输出电压与输入电压同相,电压放大倍数高、输入电阻小、输出电阻大等特点。由于共基极电路有较好的高频特性,故广泛用于高频或宽带放大电路中。

2、了解典型差动放大电路的工作原理

基本差动放大电路由两个完全对称的共发射极单管放大电路组成,该电路的输入端是两个信号的输入,这两个信号的差值,为电路有效输入信号,电路的输出是对这两个输入信号之差的放大。设想这样一种情景,如果存在干扰信号,会对两个输入信号产生相同的干扰,通过二者之差,干扰信号的有效输入为零,这就达到了抗共模干扰的目的;



3、熟悉集成运算放大器的特点及组成

集成运算放大器的特点:集成运算放大器简称集成运放,是由多级直接耦合放大电路组成的高增益模拟集成电路。其输入电阻大,输出电阻小,共模抑制比高,失调与漂移小,适用于正、负两种极性信号的输入和输出;

集成运算放大器的组成:集成运放通常由输入放大级、中间电压放大级、输出级及偏置电路组成;输入级采用差动放大电路,要求输入阻抗高、零点漂移小、抗共模干扰能力强,中间级一般有共发射极放大电路构成,主要用于高增益的电压放大,输出级与负载相连,要求输出阻抗低,带负载能力强。能够提供足够大的电压与电流,偏置电路一般由电路构成,给上述各级电路提供稳定合适的偏置电流,决定各级的静态工作点,此外电路还备有过流保护电路。

4、了解多级放大电路的耦合方式、频响

多级放大电路的耦合方式:有直接耦合、阻容耦合、变压耦合和光电耦合;

多级放大电路的频率响应:多级放大电路中可能存在多个耦合电容或旁路电容,因而其频率响应相应地存在多个低频转折频率。若多级放大电路中有多个三极管或场效应管,则在高频等效电路中就含有多个等效结电容 C_i ,即频率响应中存在多个高频转折频率。一般来讲,多级放大电路电压放大倍数的频率响应通常可表示为 f_{Hk} 表示第 k 个高频转折频率。低频转折频率和高频转折频率的个数由放大电路中的电容个数所决定,其数值则由电容所在回路的时间常数决定。以一个两级放大电路为例,设组成该电路的两个单管

放大电路具有相同的频率响应,即它们的中频段电压放大倍数 $A_{vm1} = A_{vm2}$,下限频率 $f_{L1} = f_{L2}$,上限频率 $f_{H1} = f_{H2}$,带宽 $BW1 = BW2$ 。两级放大电路的频率响应为单级和两级放大电路的幅频特性如图 1 所示。由图可见,两级放大电路的中频段电压放大倍数提高到(即 dB),但两级放大电路的上限频率和下限频率不能再取 f_{L1} 和 f_{H1} 了。这是因为在 f_{L1} 频率处,每个单级放大电路的电压放大倍数都下降了 3dB,这样两级放大电路的电压放大倍数就下降了 6dB。根据下限频率的定义,在幅频特性曲线上找到使电压放大倍数下降 3dB 的频率才是两级放大电路的下限频率 f_L ,显然 $f_L > f_{L1}$ 。同理可知 $f_H < f_{H1}$ 。因此,两级放大电路的通频带变窄了。以上结论可以推广到 n 级放大电路。多级放大电路的通频带一定比组成它的任何一级都要窄,整个电路的下限频率 f_L 大于任何一级的下限频率 f_{Lj} ,上限频率 f_H 小于任何一级的上限频率 f_{Hk} 。级数越多,则 f_L 越高, f_H 越低,通频带越窄;

5、熟悉实际运算放大电路的分析

运算放大电路的分析:运算放大电路的主要功能是进行线性放大。此外还有一些附加功能电路,如交流镜像电流源电路,输出保护电路,交越失真补偿电路,电平移动电路等,这些电路为保证放大功能提供辅助作用,通常并不影响放大电路指标计算。对辅助电路进行简化,可以方便交流分析。得到简化的交流等效电路后,将晶体管用小信号模型替代,就可以计算放大电路的动态指标。图 2 是 uA741 运算放大电路的等效电路图,试分析其基本工作原理。

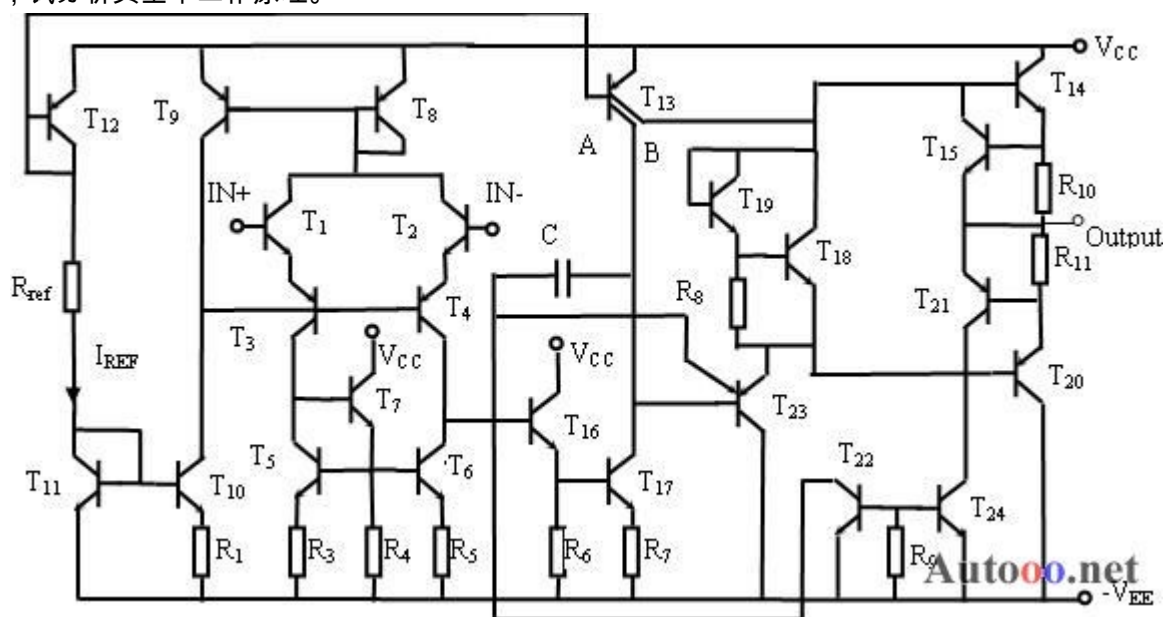


图 2

(1) 运放电路的结构分解

输入级是一个差动放大电路,主要由 T_1 、 T_3 (共集-共基组合)和 T_2 、 T_4 组成。中间放大级由 T_{16} 、 T_{17} 、 T_{23} 组成共集—共射电路;输出级由 T_{14} 、 T_{20} 组成互补输出电路;

(2)、基准电流分析: T_{12} 、 R_{REF} 、 T_{11} 组成运放的基准电流源, R_{REF} 中得到的基准电流为

$$I_{REF} = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_{REF}}$$

(3)、静态偏置分析： T_{10} 与 T_{11} 构成微镜像电流源，一方面给 T_3 、 T_4 的基极提供偏置，另一方面由 T_8 、 R_{10} 构成的镜像电流源给 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 的集电极提供恒流偏置，同时作为 T_1 、 T_2 的恒流负载。 T_{13} 是多集电极管，它与 T_{12} 构成镜像电流源。 T_{13A} 一方面给 T_{17} 提供偏置电流，同时作为 T_{17} 的有源负载。 T_{13B} 则是给 T_{23} 提供偏置电流，同时作为 T_{23} 的有源负载。将电路中的镜像直流电流源用等效恒流源代替，得到等效直流通路如图3所示。

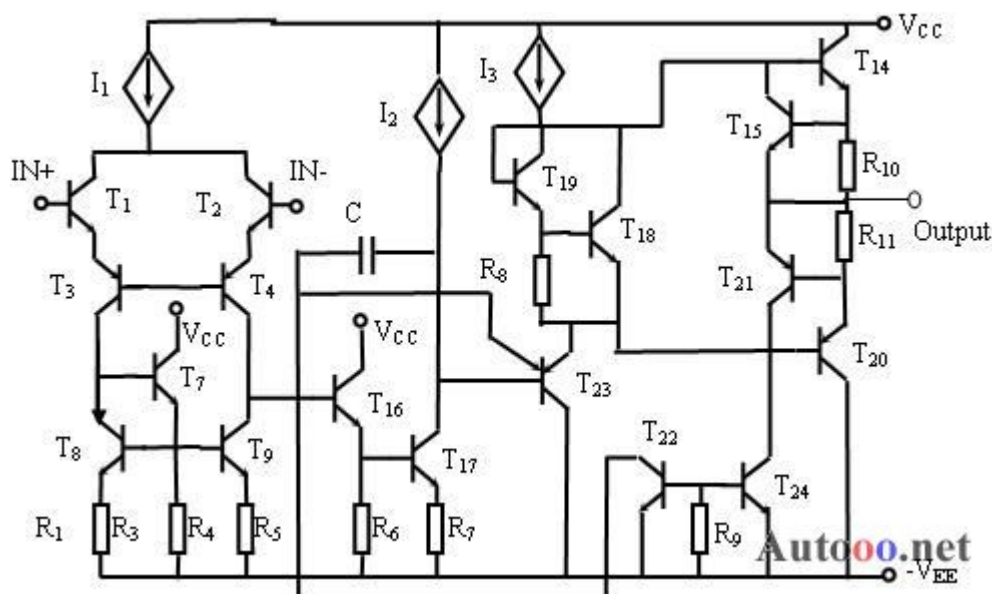


图3

(4) 交流分析：差分输入级中的 T_5 、 T_6 、 T_7 管构成高精度交流镜像电流源， $i_{C3} = i_{C6}$ ，因而提供给 T_{16} 的电流为 $\Delta i_{16B} = \Delta i_{C4} - \Delta i_{C6} = \Delta i_{C4} - \Delta i_{C3} \approx 2\Delta i_{C4}$ ，使单端输出的差分电路达到双端输出的效果。 T_5 、 T_7 同时分别作为 T_3 、 T_4 的有源负载。电容C的作用是进行相位补偿，用于防止该运放可能产生的自激振荡。输出级中的 T_{18} 、 T_{19} ，R8给互补输出管 T_{14} 、 T_{20} 提供静态偏置，以消除交越失真。 R_{10} 、 R_{11} 是输出限流保护用取样电阻，当输出电流过大时， T_{15} 或 T_{20} 导通，通过 T_{22} 、 T_{24} 组成的镜像电流源，将该电流镜像至 T_{23} 的另一个基极，通过负反馈抑制输出电流的增大。

将辅助电路简化后的等效交流通路如图4所示。

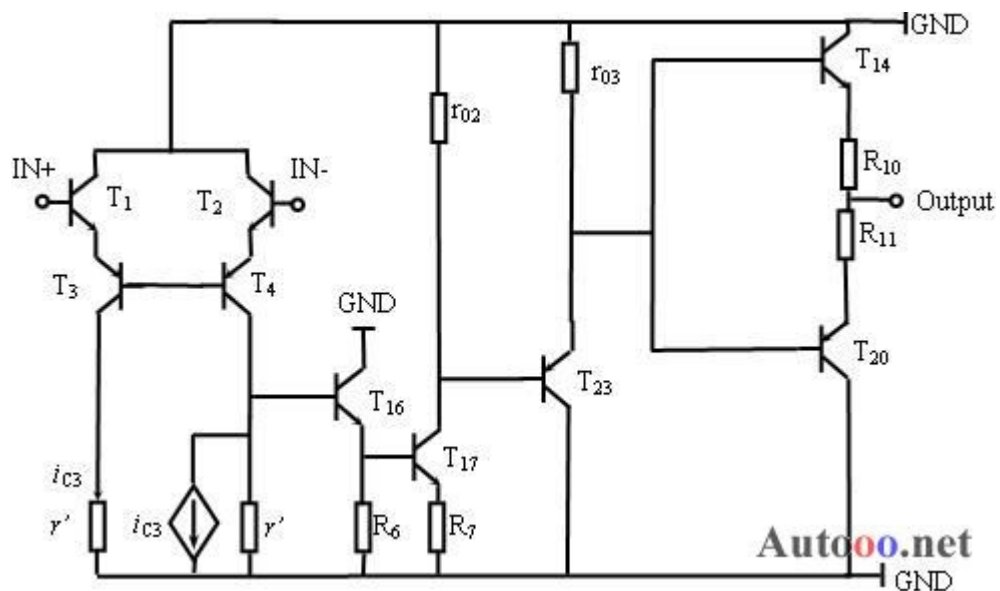


图 4

其中， r_{02}, r_{03} 是恒流源 I_2, I_3 的内阻。

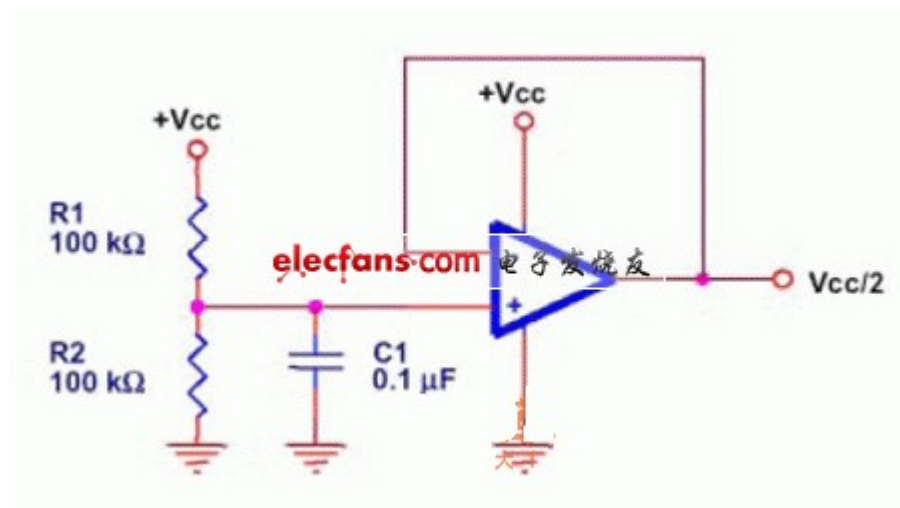
6、了解理想运算放大电路的虚短、虚地、虚断概念及其分析方法

理想运算放大电路的虚短：输入端差模输入信号电压约等于零，即 $U_+ = U_-$ ；

理想运算放大电路的虚断：输入端差模输入信号电流之和约等于零，即 $I_+ = I_- \approx 0$ ；

理想运算放大电路的虚地：单电源工作的运放需要外部提供一个虚地，通常情况下，这个电压是 $V_{CC}/2$ ，下图的电路可以用来产生 $V_{CC}/2$ 的电压

:



注：R1 和 R2 是等值的，电容 C1 是一个低通滤波器，用来减少从电源上传来的噪声。

(四) 信号处理电路

1、了解滤波器的概念、种类及幅值

什么是滤波器 :对特定频率的频点或该频点以外的频率进行有效滤除的电路 ,就是滤波器 ,其功能就是得到一个特定频率或消除一个特定频率 ;

滤波器种类 :按元件分类 :有源滤波器、无源滤波器、陶瓷滤波器、晶体滤波器、机械滤波器、锁相环滤波器、开关电容滤波器等 ;按信号处理方式可分为 :模拟滤波器、数字滤波器 ;按频带可分为 :低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器、带阻滤波器等 ;

滤波器的幅值 :

2、了解一阶和二阶低通滤波器电路的分析

一阶低通滤波器电路分析 :一阶低通滤波器的电路如图 4 所示 ,其幅频特性见图 5 ,图中虚线为理想的情况 ,实线为实际的情况。特点是电路简单 ,阻带衰减太慢 ,选择性较差。

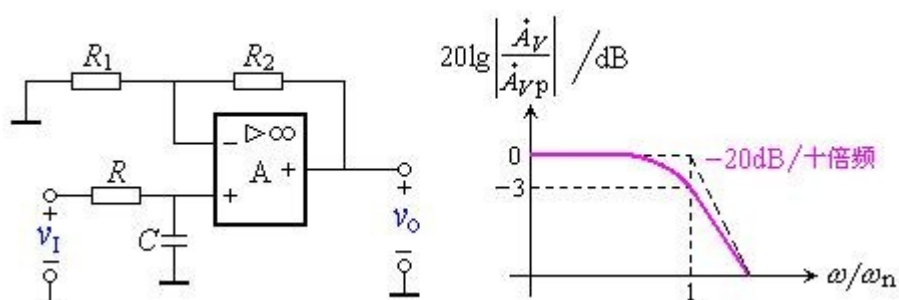


图 4 一阶低通电路 (LPF) 图 5 一阶 LPF 的幅频特性曲线

当 $f = 0$ 时 , 电容器可视为开路 , 通带内的增益为

$$A_{vp} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

一阶低通滤波器的传递函数如下

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_{vp}}{1 + \left(\frac{s}{\omega_0} \right)}$$

其中

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

二阶低通滤波器电路分析 :设计一个压控电压源型二阶有源低通滤波电路 ,要求通带截止频率 $f_0 = f_n = \frac{1}{2\pi RC}$

$f_0 = 100 \text{ kHz}$,等效品质因数 $Q=1$,试确定电路中有关元件的参数值。选择运放 ,设计要求的截止频率较高 ,

因此要求运放的频带较宽,选用通频带较宽的运放,本例选用运放 3554AM,带宽为 19 MHz,适合用于波形发生电路、脉冲放大电路等。输出电流,达到 100 mA,精度高,满足设计要求。为设计方便选取 $R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$,则通带截止频率为可首先选定电容 $C=1\ 000\ \text{pF}$,计算得 $R\approx 1.59\ \text{k}\Omega$,选 $R=1.6\ \text{k}\Omega$ 。等效品质因数,则 $R_F=R_6$ 。为使集成运放两个输入端对地的电阻平衡,应使 $R_6//R_F=2R=3.2\ \text{k}\Omega$,则 $R_6=R_F=6.4\ \text{k}\Omega$,选 $R_6=R_F=6.2\ \text{k}\Omega$,根据实际选择的元件参数重新计算滤波电路的特征参量。式(2)中,令 $s=j\omega$,得到二阶低通滤波电路的频率特性为

$$G(j\omega) = \frac{U_o(j\omega)}{U_i(j\omega)} = \frac{A_o}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j\frac{1}{Q} \cdot \frac{f}{f_0}} \quad (3)$$

其中, $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 100\ \text{kHz}$ 。

通带电压放大倍数为

$$A_o = A_{uf} = 1 + \frac{R_F}{R_6} = 1 + \frac{6.2 \times 10^3}{6.2 \times 10^3} = 2 \quad (4)$$

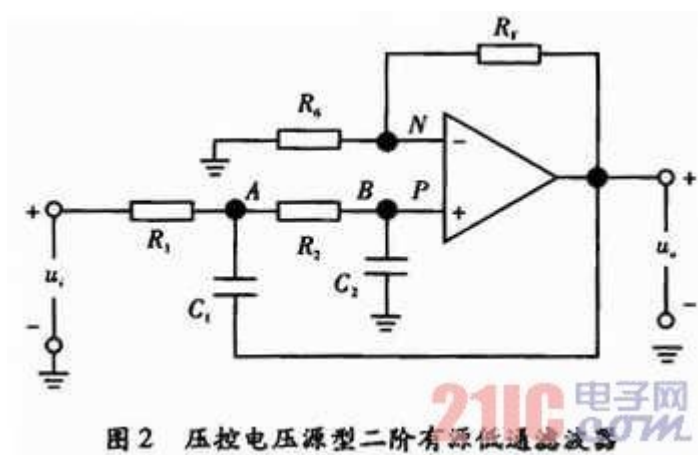
通带截止频率 f_0 与 3 dB 截止频率 f_c 计算如下

$$f_0 = f_n = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 1.6 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12}} \approx 99.47\ \text{kHz} \quad (5)$$

根据 f_c 的定义,当 $f = f_c$ 时,应有

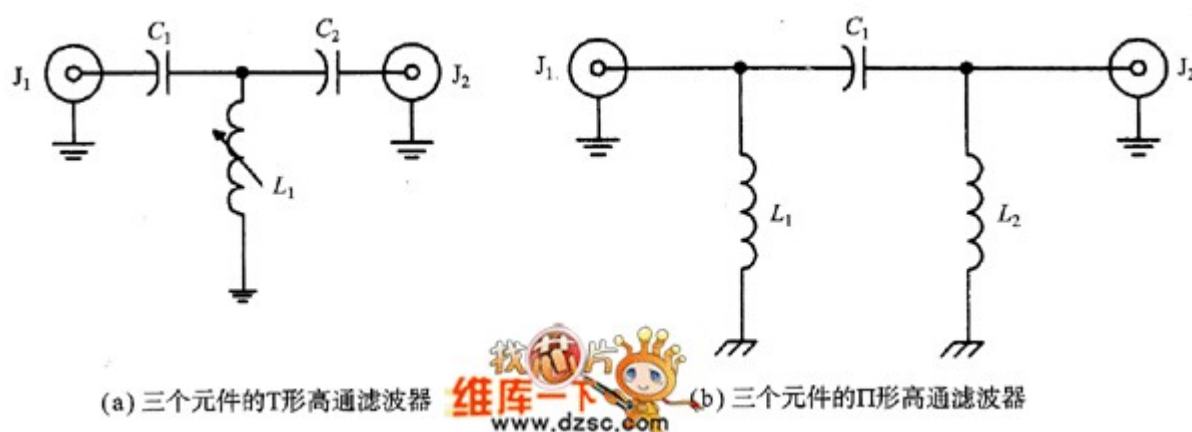
$$\left| 1 - \left(\frac{f_c}{f_0}\right)^2 + j\frac{1}{Q} \cdot \frac{f_c}{f_0} \right| = \sqrt{2}, \text{ 即 } f_c \approx 1.272\ 02\ f_0 = 126.53\ \text{kHz}。$$

实际设计的二阶有源低通滤波电路,如图 2 所示。



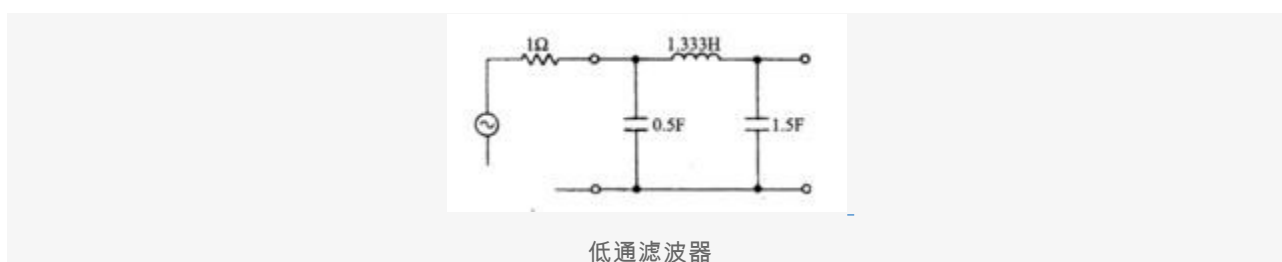
3、了解高通、低通、带通电路和低通电路的对偶关系、特性

高通电路：高通滤波器消减低于截止频率 - 3dB 的信号频率而通过高于截止频率的信号频率。图 (a) 和图 (b) 中是单节 高通滤波器。电容 串联在信号通道上而 电感 并联在信号通道上。图 (a) 中的模式是 T 形构造，图 (b) 中的模式是 π 形 滤波器。



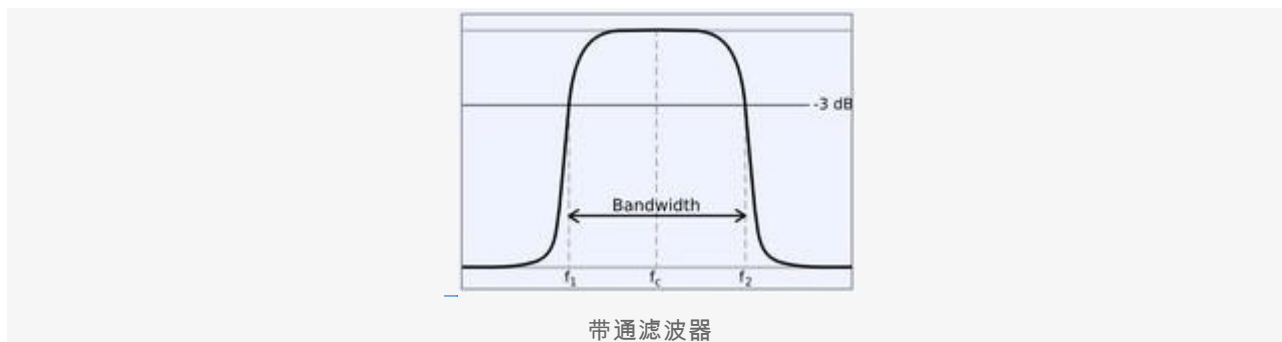
低通电路：低通滤波器是容许低于截止频率的信号通过，但高于截止频率的信号不能通过的电子滤波装置，

如下图：

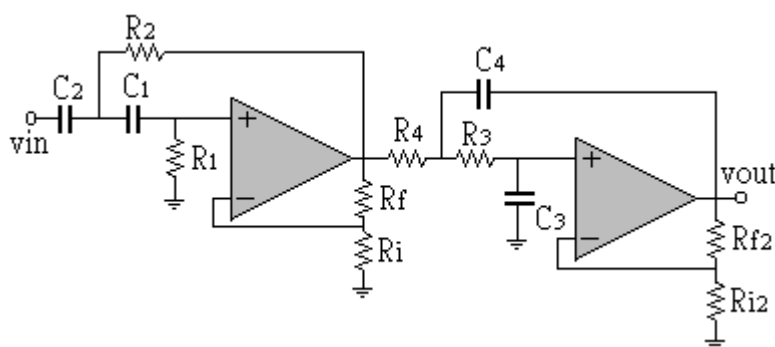


带通电路：带通滤波器是指能通过某一频率范围内的频率分量、但将其他范围的频率分量衰减到极低水平的滤波器，与带阻滤波器的概念相对。一个模拟带通滤波器的例子是电阻-电感-电容电路(RLC circuit)。

这些滤波器也可以用低通滤波器同高通滤波器组合来产生；



将高通滤波器串接低通滤波器,即可组合成带通滤波器,例如组合二阶高通与低通滤波器



低通电路的对偶关系： 1) 幅频特性的对偶关系：当低通滤波器和高通滤波器的通带增益 A_0 、截止频率或 f_0 分别相等时，两者的幅频特性曲线相对于垂直线 $f=f_0$ 对称；2) 传递函数的对偶关系：将低通滤波器传递函数中的 S 换成 $1/S$ ，则变成对应的高通滤波器的传递函数；3) 电路结构上的对偶关系：将低通滤波器中的起滤波作用的电容 C 换成电阻 R ，并将起滤波作用的电阻 R 换成电容 C ，则低通滤波器转化为对应的高通滤波器；

滤波电路的特性：从电气工程上,所有的元件可以归纳为三类最基本的元件,即电阻、电感和电容。电阻的阻值与交流电的频率无关，电感的阻值(称为感抗) $X_L=2\pi fL$ ，与交流电的频率成正比，频率越高，感抗越大；电

容元件则与电感元件相反，它的容抗 $X_C = 1/2\pi fC$ ，即与交流电频率成反比；

五) 直流稳压电源

1、掌握桥式整流及滤波电路的工作原理、电路计算

桥式整流电路的工作原理：桥式整流电路是使用最多的一种整流电路。这种电路，只要增加两只二极管口连接成"桥"式结构，便具有全波整流电路的优点，而同时在一定程度上克服了它的缺点。桥式整流电路的工作原理如下：e2 为正半周时，对 D1、D3 加正向电压，D1、D3 导通；对 D2、D4 加反向电压，D2、D4 截止。电路中构成 e2、D1、Rfz、D3 通电回路，在 Rfz 上形成上正下负的半波整流电压，e2 为负半周时，对 D2、D4 加正向电压，D2、D4 导通；对 D1、D3 加反向电压，D1、D3 截止。电路中构成 e2、D2、Rfz、D4 通电回路，同样在 Rfz 上形成上正下负的另外半波的整流电压。

上述工作状态分别如图 5-6 (A) (B) 所示。

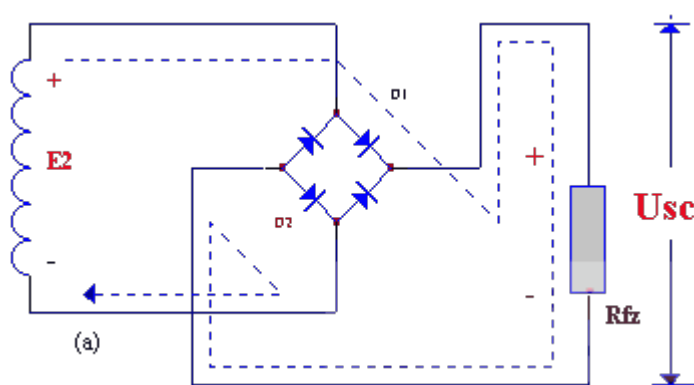
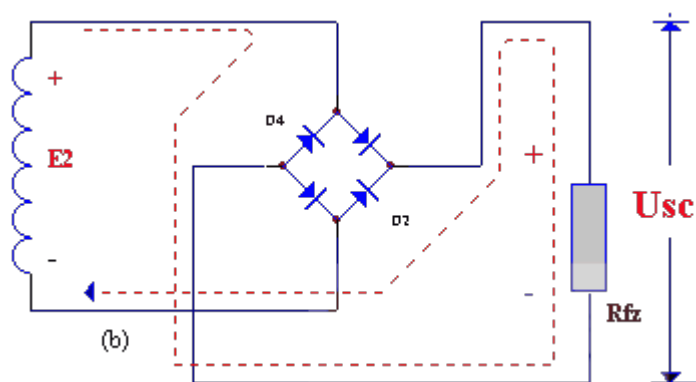


图 5-6 (A)



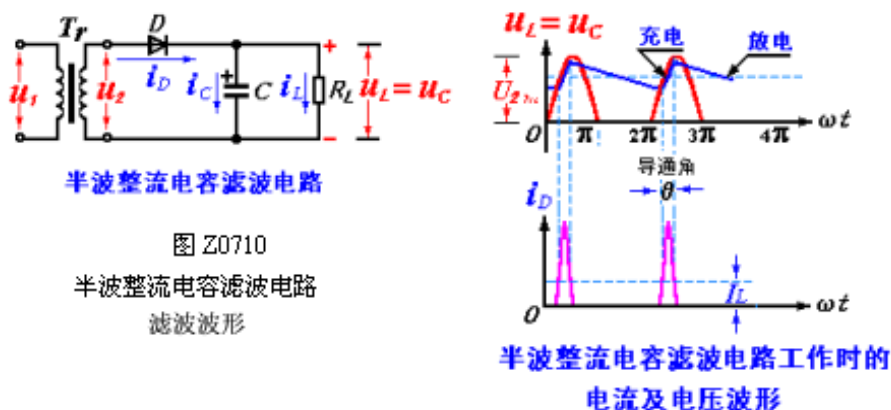
如图 5-6 (B)

如此重复下去 ,结果在 R_{fz} 上便得到全波整流电压。其波形图和全波整流波形图是一样的。从图 5-6 中还不难看出 ,桥式电路中每只二极管承受的反向电压等于变压器次级电压的最大值 ,比全波整流电路小一半 ! 带滤波电路的桥式整流器工作原理 : 图中各组成部分的功能如下 : (1) 电源变压器 : 将电网交流电压 (220V 或 380V) 变换成符合需要的交流电压 , 此交流电压经过整流后可获得电子设备所需的直流电压。因为大多数电子电路使用的电压都不高 , 这个变压器是降压变压器。(2) 整流电路 : 利用具有单向导电性能的整流元件 , 把方向和大小都变化的 50Hz 交流电变换为方向不变但大小仍有脉动的直流电。(3) 滤波电路 : 利用储能元件电容器 C 两端的电压 (或通过电感器 L 的电流) 不能突变的性质 , 把电容 C (或电感 L) 与整流电路的负载 R_L 并联 (或串联) , 就可以将整流电路输出中的交流成分大部分加以滤除 , 从而得到比较平滑的直流电。在小功率整流电路中 , 经常使用的是电容滤波。(4) 稳压电路 : 当电网电压或负载电流发生变化时 , 滤波电路输出的直流电压的幅值也将随之变化 ;

常用的滤波电路有无源滤波和有源滤波两大类。其中无源滤波的主要形式有电容滤波 , 电感滤波和复式滤波 (包括倒 L 型 LC 滤波 , π 型 LC 滤波和 π 型 RC 滤波等)。有源滤波的主要形式是有源 RC 滤波。

电容滤波

半波整流电容滤波电路如图 Z0710 所示。其滤波原理如下 :



电容 C 并联于负载 R_L 的两端, $u_L = u_C$ 。在没有并入电容 C 之前, 整流二极管在 u_2 的正半周导通, 负半周截止, 输出电压 u_L 的波形如图中红线所示。并入电容之后, 设在 $\omega t=0$ 时接通电源, 则当 u_2 由零逐渐增大时, 二极管 D 导通, 除有一电流 i_L 流向负载以外还有一电流 i_C 向电容 C 充电, 充电电压 u_C 的极性为上正下负。如忽略二极管的内阻, 则 u_C 可充到接近 u_2 的峰值 u_{2m} 。在 u_2 达到最大值以后开始下降, 此时电容器上的电压 u_C 也将由于放电而逐渐下降。当 $u_2 < u_C$ 时, D 因反偏而截止, 于是 C 以一定的时间常数通过 R_L 按指数规律放电, u_C 下降。直到下一个正半周, 当 $u_2 > u_C$ 时, D 又导通。如此下去, 使输出电压的波形如图中蓝线所示。显然比未并电容 C 前平滑多了;

2、了解滤波电路的外特性; 稳压电路中限流电阻的选择

滤波电路的外特性: 外特性(输出电压 u_L 与负载电流 i_L 之间的关系), 和脉动特性(指 s 与 i_L 之间的关系) 较差。如图 Z0712 所示。可以看出输出电压 u_L 和脉动系数 s 随着输出电流 i_L 的变化而变化。当 $i_L = 0$ (即 $R_L = \infty$) 时, $u_L = u_2$ (电容充电到最大值后不再放电), $s = 0$ 。当 i_L 增大(即 R_L 减小)时, 由于电容放电程度加快而使 u_L 下降, u_L 的变化范围在 $u_2 \sim 0.9 u_2$ 之间(指全波或桥式), s 变大。所以, 电容滤波一般适用于负载电流变化不大的场合。

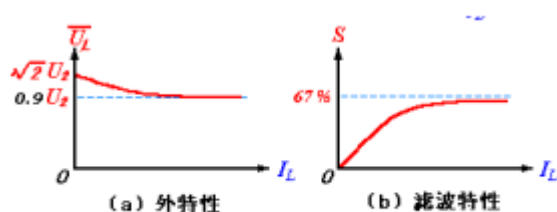
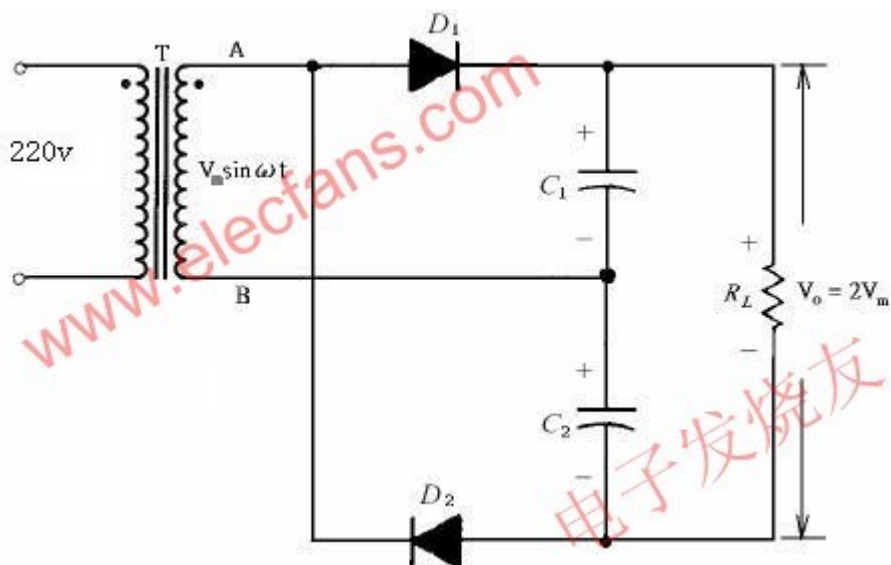


图 Z0712 电容滤波的特性

稳压电路中限流电阻的选择: 限流电阻不可过大, 过大将导致稳压管工作电流降低, 影响稳压效果; 限流电阻也不可过小, 过小将导致稳压管过载损坏, 两者兼顾即可;

3、了解倍压整流电路的原理; 集成稳压电路工作原理

倍压整流电路工作原理: 全波倍压电路



正半周时, D_1 导通, D_2 截止, 电容器 C_1 充电到 V_m , 其电流路径及电容 C_1 的极性如上图(a)所示; 负半周时, D_1 截止, D_2 导通, 电容器 C_2 充电到 V_m , 其电流路径及电容 C_2 的极性如上图(b)所示。由于 C_1 与 C_2 串联, 故输出直流电压, $V_o = V_m$ 。如果没有自电路抽取负载电流的话, 电容器 C_1 及 C_2 上的电压是 $2V_m$ 。如果自电路抽取负载电流的话, 电容器 C_1 及 C_2 上的电压是与由全波整流电路馈送的一个电容器上的电压同样的。不同之处是, 实效电容为 C_1 及 C_2 的串联电容, 这比 C_1 及 C_2 单独的都要小。这种较低的电容值将会使它的滤波作用不及单电容滤波电路的好;

三倍压电路图:

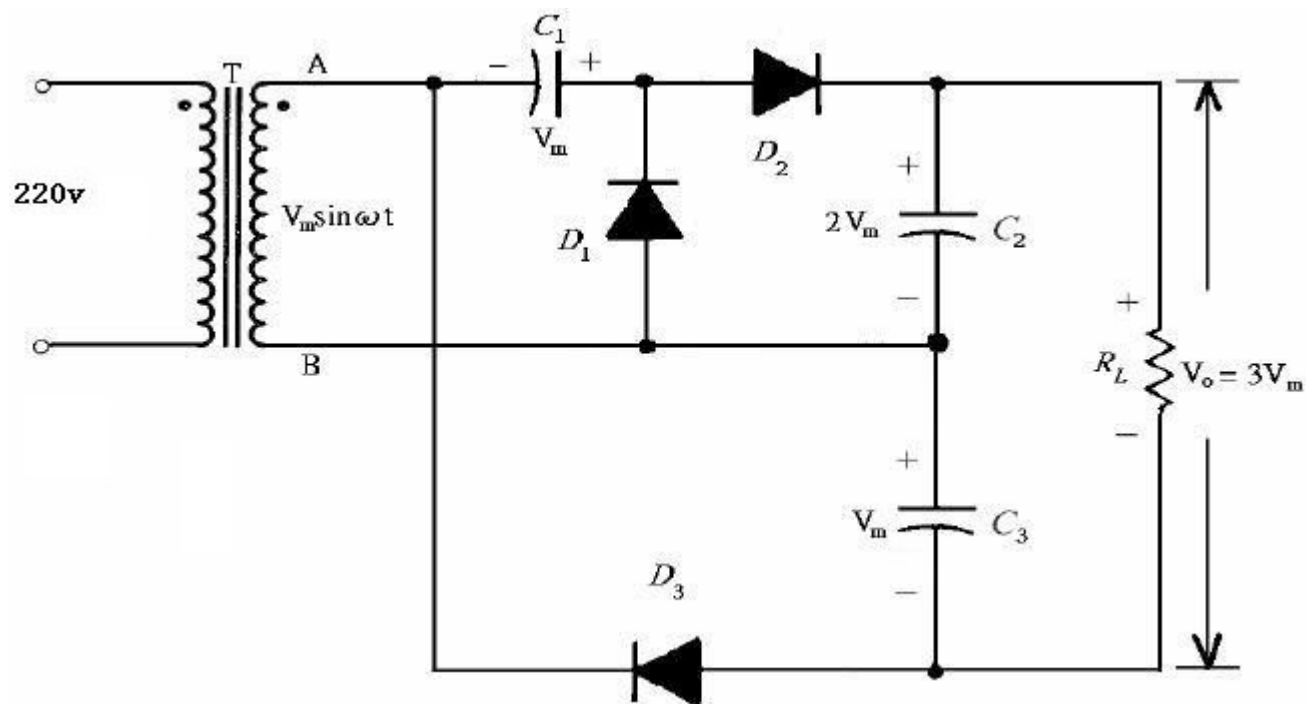
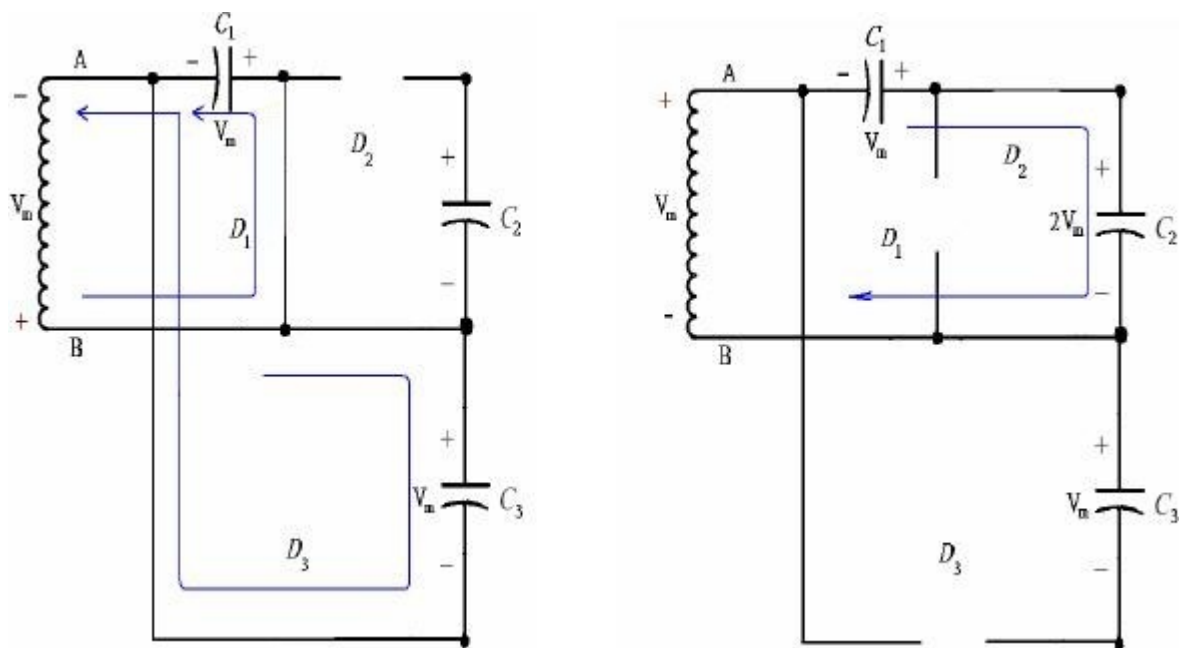


图 6 三倍压电路图



(a)负半周 (b)正半周

图 7 三倍压的工作原理

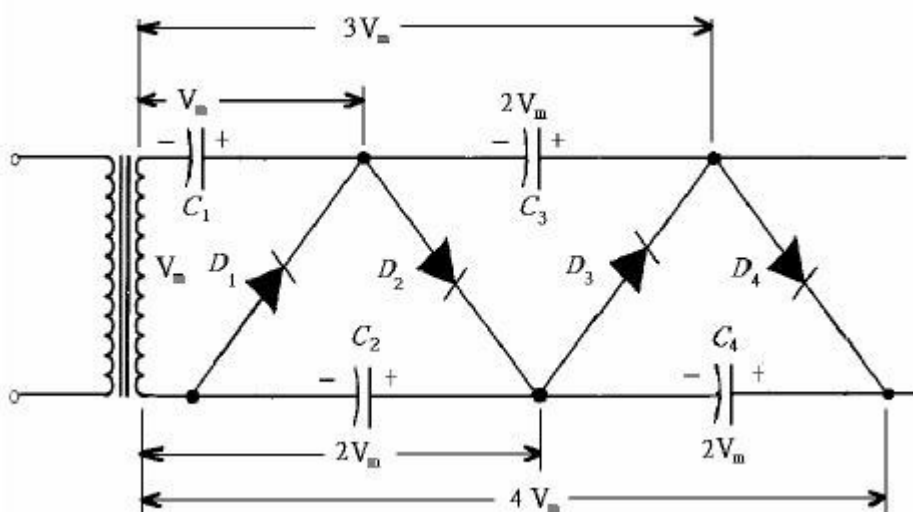
负半周时, D_1 、 D_3 导通, D_2 截止, 电容器 C_1 及 C_3 都充电到 V_m , 其电流路径及电容器的极性如上图(a)所示。

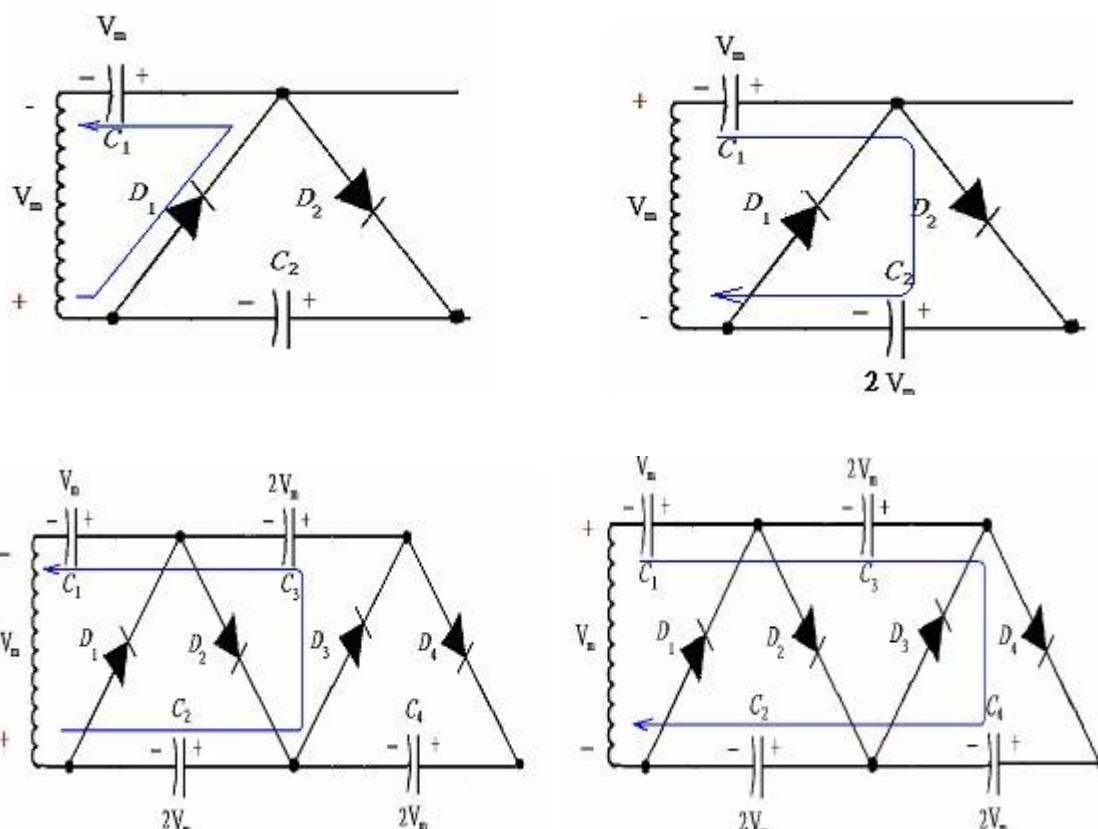
正半周时, D_1 、 D_3 截止, D_2 导通, 电容器 C_2 充电到 $2V_m$, 其电流路径及电容器的极性如上图(b)所示。

由于 C_2 与 C_3 串联。故输出直流电压 $V_0=3V_m$;

N 倍电压路

下图中的半波倍压电路的推广形式, 它能产生输入峰值的三倍或四倍的电压。根据线路接法的发式可看出, 如果在接上额外的二极管与电容器将使输出电压变成基本峰值(V_m)的五、六、七、甚至更多倍。(即 N 倍)





N 倍压电路的工作原理

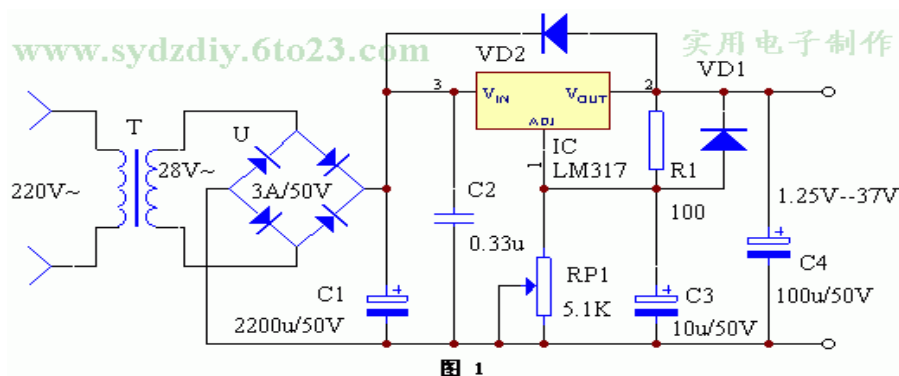
负半周时, D_1 导通, 其他二极管皆截止, 电容器 C_1 充电到 V_m , 其电流路径及电容器的极性如图(a)所示。

正半周时, D_2 导通, 其他二极管皆截止, 电容器 C_2 充电到 $2V_m$, 其电流路径及电容器的极性如上图(b)所示。

负半周时, D_3 导通, 其他二极管皆截止, 电容器 C_3 充电到 $2V_m$, 其电流路径及电容器的极性如上图(c)所示。

正半周时, D_4 导通, 其他二极管皆截止, 电容器 C_4 充电到 $2V_m$, 其电流路径及电容器的极性如上图(d)所示。所以从变压器绕线的顶部量起的话, 在输出处就可以得到 V_m 的奇数倍, 如果从变压器的绕线的底部量起的话, 输出电压就会是峰值电压的 V_m 偶数倍。

集成稳压电路工作原理：电路原理图见图 1)。LM317 输出电流为 1.5A, 输出电压可在 1.25 - 37V 之间连续调节, 其输出电压由两只外接电阻 R_1 、 RP_1 决定, 输出端和调整端之间的电压差为 1.25V, 这个电压将产生几毫安的电流, 经 R_1 、 RP_1 到地, 在 RP_1 上分得的电压加到调整端, 通过改变 RP_1 就能改变输出电压。注意, 为了得到稳定的输出电压, 流经 R_1 的电流小于 3.5mA。LM317 在不加散热器时最大功耗为 2W, 加上 $200 \times 200 \times 4\text{mm}^3$ 散热板时其最大功耗可达 15W。VD1 为保护二极管, 防止稳压器输出端短路而损坏 IC, VD2 用于防止输入短路而损坏集成电路。这是一种输出电压连续可调的集成稳压电源, 输出电压在 1.25 - 37V 之间连续可调, 输出最大电流可达 1.5A。电路简单, 很适宜电子爱好者自制, 可用于各种小电器供电。本机焊接完成检查无误即可正常使用, 无需调试。但焊接时要注意, 电容 C_2 应靠近 IC 的输入端, C_3 应靠近 IC 的输出端, 这样能更好地抑制纹波；



电力专业基础与实务（中级）考试大纲-2

三、数字电子技术

（一）数字电路基础知识

1、熟悉数字电路的基本概念

什么是数字电路：用数字信号完成对数字量进行算术运算和逻辑运算的电路称为数字电路，或数字系统。由于它具有逻辑运算和逻辑处理功能，所以又称数字逻辑电路；

2、熟悉数制和码制

什么是数制：数制也称计数制，是用一组固定的符号和统一的规则来表示数值的方法。人们通常采用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制；

什么是码制：码制是条形码的编码要求，数字系统的主要功能是处理信息。因此必须将信息表示成电路能够识别，便于运算存储的形式；

3、了解半导体器件的开关特性

半导体器件的开关特性：a、当外加正向电压 U_F 小于钳位电压 $V_{r'}$ 时，二极管截止，电流近似为 0，如同断了的开关。当外加正向电压 U_F 大于钳位电压 $V_{r'}$ 时，二极管导通，端电压为 0.7V，由外加电压来控制二极管的开关；b、三极管可以分为三个工作区域，即放大区、截止区和饱和区。对应这三个工作区域，三极管具有放大、截止和饱和三种工作状态。在数字电路中，三极管作为开关主要工作于截止和饱和两种状态，而放大状态是截止和饱和之间的过渡状态，它主要应用于模拟电路中；c、MOS 管有三个极 G（栅极）、S（源极）、D（漏极）。MOS 管的一个重要参数是 V_T ，称开启电压。当栅源电压 $V_{GS} < V_T$ 时，不管 V_{DS} 多大，由于漏源间导电沟道尚未形成，因此 $I_D = 0$ ， $V_O = V_{DD}$ ，此时 MOS 管处于截止状态，即“关态”。当栅源电压 $V_{GS} > V_T$ 时，漏源间形成导电沟道，MOS 管处于导通状态，即“开态”，此时 $V_{DS} \approx 0$ ；

4、熟悉三种基本逻辑关系及其表达方式

三种基本逻辑关系：三种基本逻辑关系是与、或、非；

三种基本逻辑关系表达方式： $Y = A * B$ ； $Y = A + B$ ； $Y = \bar{A}$ ；

(二) 数字基础及逻辑函数化

1、熟悉数字逻辑代数基本运算关系

数字逻辑代数基本运算关系：

与逻辑运算关系： $Y = A * B = 0 * 0 = 0 * 1 = 1 * 0 = 0$ ； $Y = A * B = 1 * 1 = 1$ ；

或逻辑运算关系： $Y = A + B = 0 + 0 = 0$ ； $Y = A + B = 1 + 0 = 0 + 1 = 1 + 1 = 1$ ；

非逻辑运算关系： $Y = \bar{A} = \bar{1} = 0$ ； $Y = \bar{0} = 1$ ；

2、了解逻辑代数的基本公式和原理

逻辑代数的基本公式和原理：

一、基本公式

表1.3.1 逻辑代数的基本公式

名称	公式 1	公式 2
交换律	$A + B = B + A$	$AB = BA$
结合律	$A + (B + C) = (A + B) + C$	$A(BC) = (AB)C$
分配律	$A + BC = (A + B)(A + C)$	$A(B + C) = AB + AC$
互补律	$A + \bar{A} = 1$	$A\bar{A} = 0$
0-1 律	$A + 0 = A$ $A + 1 = 1$	$A \cdot 1 = A$ $A \cdot 0 = 0$
对合律	$\bar{\bar{A}} = A$	$\bar{\bar{A}} = A$
重叠律	$A + A = A$	$AA = A$
吸收律	$A + AB = A$ $A + \bar{A}B = A + B$ $AB + \bar{A}B = B$	$A(A + B) = A$ $A(\bar{A} + B) = AB$ $(A + B)(A + \bar{B}) = A$
包含律	$AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$	$(A + B)(\bar{A} + C)(B + C) = (A + B)(\bar{A} + C)$
反演律	$\overline{A + B} = \bar{A}\bar{B}$	$\overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$

3、了解逻辑函数的建立和四种表达方法及其相互转换：

逻辑函数的建立：将输出与输入之间的逻辑关系写成由与、或、非等运算组合而成的逻辑代数式。

四种表达方法：逻辑函数式、真值表、逻辑图、波形图；

4、了解逻辑函数的最小项和最大项及标准与、或式

逻辑函数的最小项：在 N 个变量逻辑函数中，若 M 为包含 N 个因子的乘积项，而且这 N 个变量均已原变量或反变量的形式在 M 中出现一次，则称 M 为改组变量的最小项；

逻辑函数的最大项：在 N 个变量逻辑函数中，若 M 为 N 个变量之和，而且这 N 个变量均已原变量或反变量的形式在 M 中出现一次，则称 M 为改组变量的最大项；

逻辑函数标准与或式： $Y = F(A, B, C) = AB + \bar{A}C = AB(C + \bar{C})$

$$+ \bar{A}C(B + \bar{B}) = AB\bar{C} + \bar{A}BC + \bar{A}BC + ABC;$$

5、了解逻辑函数的代数化简方法

逻辑函数的代数化简方法：合并项法、吸收法、消去项法、配项法、综合法；

6、了解逻辑函数的卡诺图

什么是卡诺图：卡诺图就是将函数的最小项表达式中的各最小项相应地填入一个特定的方格图内，各小方格对应于各变量不同的组合，而且上下左右在几何上相邻的方格内只能有一个因子有差别，这个重要特点成为卡诺图化简逻辑函数的主要依据；

(三) 集成组合逻辑电路

1、了解组合逻辑电路输入输出的特点

组合逻辑电路输入输出的特点：任一时刻的输出信号仅仅与当时的输入信号有关；而时序逻辑电路的输出信号，不仅与当时的输入信号有关，而且与原来电路的状态有关；

2、了解组合逻辑电路的分析、设计方法及步骤

组合逻辑电路的分析：给定组合逻辑电路→输出函数表达式→列出真值表→功能描述→评价与改进；

组合逻辑电路设计方法：设计要求→逻辑抽象→选定器件类型→将函数变换为适当形式→画出逻辑电路；

3、了解编码器、译码器、显示器多路选择器及多路分配器的原理和应用

编码器的原理和应用：编码器就是将某种物理量转化为数字格式的装置；广泛用于旋转角度和直线的测量；

译码器原理和应用：译码器就是将给定的代码输入组合逻辑电路，进行翻译变成相应的输出状态，使输出通道中产生信号输出。广泛用于代码转换、终端数字显示、数据分配、存储器寻址、组合控制信号；

显示器原理和应用：LCD 液晶技术是把液晶灌入两个列有细槽的平面之间。这两个平面上的槽互相垂直(相交成 90 度)。也就是说，若一个平面上的分子南北向排列，则另一平面上的分子东西向排列，而位于两个平面之间的分子被强迫进入一种 90 度扭转的状态。由于光线顺着分子的排列方向传播，所以光线经过液晶时也被扭转 90 度。但当液晶上加一个电压时，分子便会重新垂直排列，使光线能直射出去，而不发生任何扭转。LCD 是依赖极化滤光器(片)和光线本身。自然光线是朝四面八方随机发散的。极化滤光器实际是一系列越来越细的平行线。这些线形成一张网，阻断不与这些线平行的所有光线。极化滤光器的线正好与第一个垂直，所以能完全阻断那些已经极化的光线。只有两个滤光器的线完全平行，或者光线本身已扭转与第二个极化滤光器相匹配，光线才得以穿透。LCD 正是由这样两个相互垂直的极化滤光器构成，所以在正常情况下应该阻断所有试图穿透的光线。但是，由于两个滤光器之间充满了扭曲液晶，所以在光线穿出第一个滤光器后，会被液晶分子扭转 90 度，最后从第二个滤光器中穿出。另一方面，若为液晶加一个电压，分子又会重新排列并完全平行，使光线不再扭转，所以正好被第二个滤光器挡住。总之，加电将光线阻断，不加电则使光线射出；

多路选择器的原理和应用：多路选择器又称数据选择器或多路开关，常用 MUX 表示。它是一种多路输入、单路输出的组合逻辑电路。只要用于多路数据选择和实现各种逻辑函数功能；

多路分配器的原理和应用：多路分配器又称数据分配器，常用 DEMUX 表示。多路分配器的结构与多路选择器正好相反，它是一种单输入、多输出组合逻辑部件，由选择控制变量决定输入从哪一路输出。多路分配器常与多路选择器联用，以实现多通道数据分时传送；

4、了解加法器、数码比较器、存储器、可编程逻辑阵列的原理和应用

加法器原理和应用：加法器是产生数的和的装置。加数和被加数为输入，和数与进位为输出的装置为半加器。若加数、被加数与低位的进位数为输入，而和数与进位为输出则为全加器。常用作计算机算术逻辑部件，执行逻辑操作、移位与指令调用；1.半加器：不考虑由低位来的进位，只有本位两个数相加，称为半加器。图 1(a)为半加器的方框图。其中：A、B 分别为被加数与加数，作为电路的输入端；S 为两数相加产生的本位和，它和两数相加产生的向高位的进位 C 一起作为电路的输出。

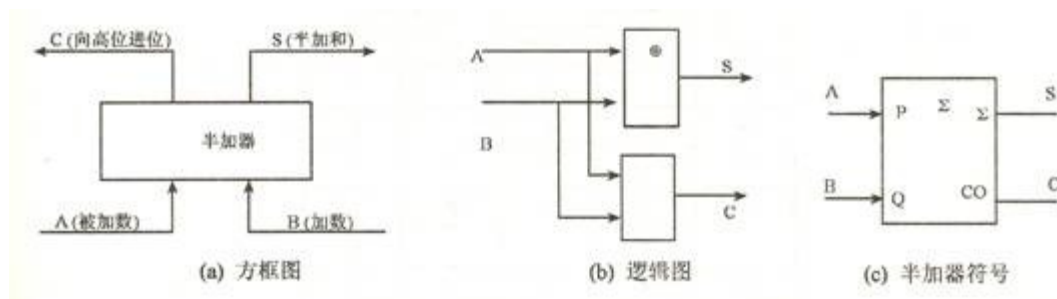


图 1 半加器框图、逻辑图和符号

根据二进制数相加的原则，得到半加器的真值表如表 1 所列。

表 1 半加器的真值表

信号输入		信号输出	
A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

由真值表可分别写出和数 S，进位数 C 的逻辑函数表达式为：

$$S = \overline{A}B + A\overline{B} = A \oplus B \quad (1)$$

$$C = AB \quad (2)$$

由此可见，式(1)是一个异或逻辑关系，可用一个异或门来实现；式(2)可用一个与门实现。其逻辑电路如图 1(b)所示。{{分页}}

2.全加器

除本位两个数相加外，还要加上从低位来的进位数，称为全加器。图 2 为全加器的方框图。被加数 A_i 、加数 B_i 从低位向本位进位 C_{i-1} 作为电路的输入，全加和 S_i 与向高位的进位 C_i 作为电路的输出。能实现全加运算功能的电路称为全加电路。全加器的逻辑功能真值表如表 2 中所列。

表 2 全加器逻辑功能真值表

信号输入端			信号输出端	
A_i	B_i	C_i	S_i	C_i
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

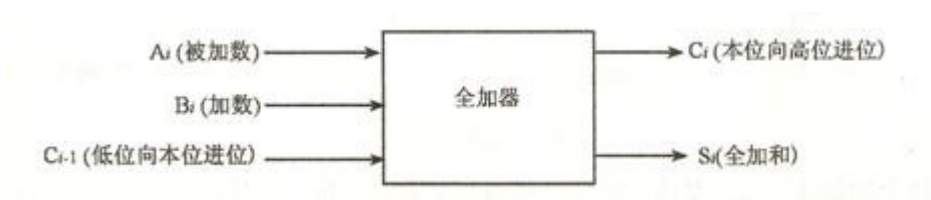


图 2 全加器方框图

根据表 2 可以写 S_i 和 C_i 的表达式。经过化简得到最简式： $\overline{A}\overline{B}\overline{C}_{i-1} + \overline{A}B\overline{C}_{i-1} + A\overline{B}\overline{C}_{i-1} + AB\overline{C}_{i-1}$

$$\begin{aligned} S_i &= \overline{A}_i \overline{B}_i C_{i-1} + \overline{A}_i B_i \overline{C}_{i-1} + A_i \overline{B}_i \overline{C}_{i-1} + A_i B_i C_{i-1} \\ &= \overline{A}_i (\overline{B}_i C_{i-1} + B_i \overline{C}_{i-1}) + A_i (B_i \overline{C}_{i-1} + \overline{B}_i C_{i-1}) \\ &= \overline{A}_i (B_i \oplus C_{i-1}) + A_i \overline{(B_i \oplus C_{i-1})} \\ &= A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1} \\ C_i &= \overline{A}_i \overline{B}_i C_{i-1} + A_i \overline{B}_i C_{i-1} + A_i \overline{B}_i \overline{C}_{i-1} + A_i B_i C_{i-1} \\ &= C_{i-1} (A_i \overline{B}_i + A_i B_i) + A_i \overline{B}_i (\overline{C}_{i-1} + C_{i-1}) \\ &= C_{i-1} (A_i \oplus B_i) + A_i B_i \end{aligned}$$

由异或门和与门组成的一位全加器的逻辑图如图 3(a)所示。其逻辑符号如图 3(b)所示。{{分页}}

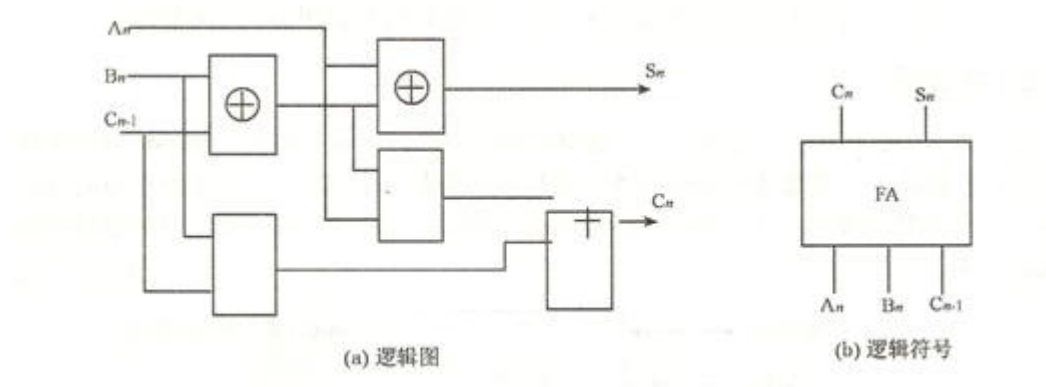


图 3 全加器逻辑图和符号

多位全加器连接可以是逐位进位，也可以是超前进位。逐位进位也称串行进位，其逻辑电路简单，但速度也较低。图 4 为四位逐位进位全加器。

$A_3 = B_3$ $A_2 = B_2$ $A_1 = B_1$ $A_0 =$	H H H	H H H
B_0		

该电路还增加了三个串联输入端 ,分别代表大于、等于、小于串联输入。串联输入用于几片四位数码比较器级联时 ,在片间传递某一片四位数码比较器比较结果而设置的。例如 16 位二进制码比较时可以由四片四位二进制码数码比较器级联而成 , 其比较电路如图 19-6-2 所示。

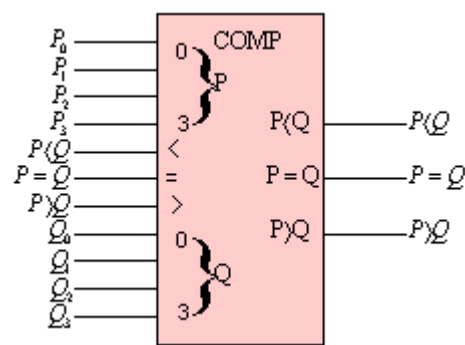
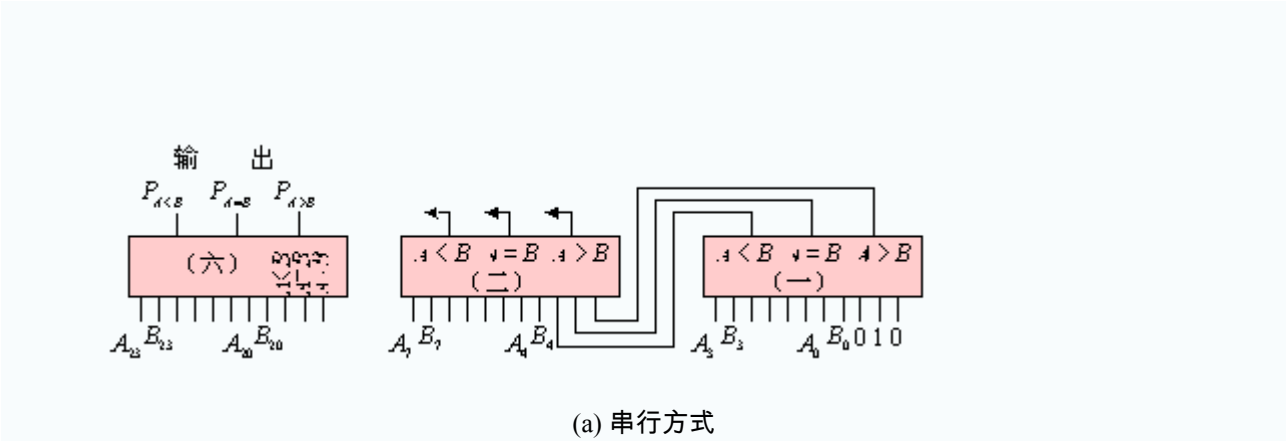


图 19-6-1 四位数码比较器逻辑符号

比较器的比较方式分串行比较方式和并行比较方式两种情况 ,显然串行方式比较时间较长 ,并行方式比较时间较短。实际上对于一片四位二进制码比较器而言 ,加上串联输入 ,就相当五位二进制码的比较。在进行四位二进制码比较时 ,联输入应保持中立 ,应将 $(A = B)_i$ 接“1” , $(A > B)_i$ 和 $(A < B)_i$ 接“0”。表 19-10 中最下方八种串联输入组合中 ,只有 $(A = B)_i$ 、 $(A > B)_i$ 和 $(A < B)_i$ 分别等于“1”这三行是合乎逻辑的 ,对于粗线以下所示的五种组合是不合逻辑的 ,对此 ,表中给出有什么样不合理的输入 ,就有什么样不合理的输出。



(a) 串行方式

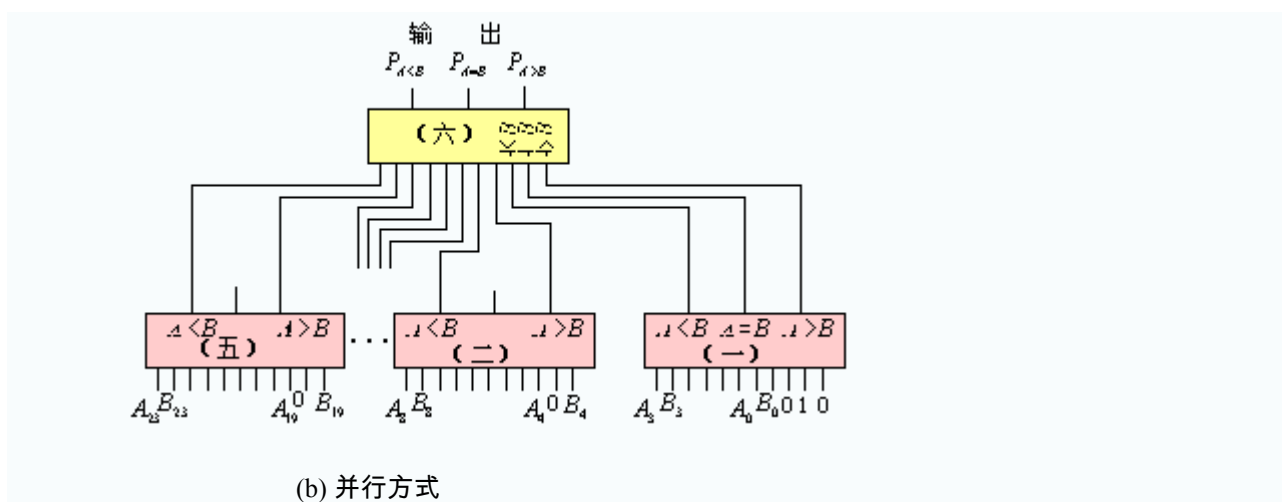
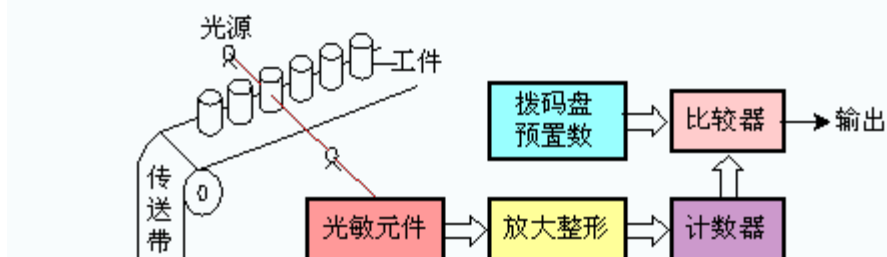


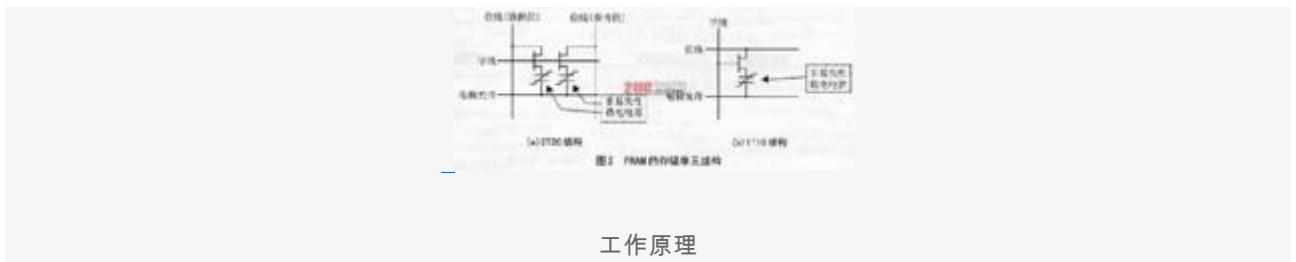
图 19-6-2 四位数码比较器的级联

19.6.2 比较器的应用

数码比较器是十分有用的电路，图 19-6-3 给出了对产品分装的方框图。图中的计数器是一种重要的逻辑部件，它能够完成符合双值逻辑系统高、低电平脉冲的计数。它可按二进制码计数，也可 BCD8421 码计数，有关计数器的详细内容将在下面的章节介绍。图中的拨码开关是一个机械开关，它利用触点的位置，可以将拨盘上的十进制码转换为 BCD8421 码。通过拨码开关可以设定分装产品的数目，将与此对应的 8421 码送往比较器的输入。产品在传送带上输送，经过光电变换，将获得的与产品个数一致的电脉冲放大整形，加到计数器上计数。当计数器计得的数目与设定值相等时，比较器输出高电平，用这个高电平去控制相应的装置，使产品分箱。以上只是一个简要的说明，要真正实现这个装置，需要解决许多机、电、光，以及抗干扰等问题。



存储器原理和应用：存储器是计算机系统中的记忆设备，用来存放程序和数据；根据存储器在计算机系统中所起的作用，可分为主存储器、辅助存储器、高速缓冲存储器、控制存储器等。动态存储器每片只有一条输入数据总线，而地址引脚只有 8 条。为了形成 64K 地址，必须在系统地址总线和芯片



地址引线之间专门设计一个地址形成电路。使系统地址总线信号能分时地加到 8 个地址的引脚上，借助芯片内部的行锁存器、列锁存器和译码电路选定芯片内的存储单元，锁存信号也靠着外部地址电路产生。

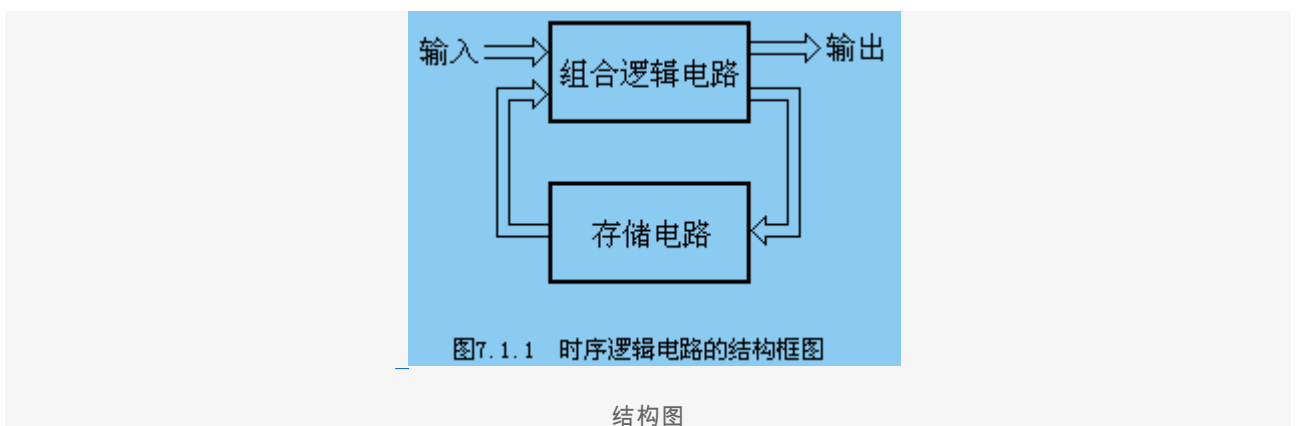
当要从 DRAM 芯片中读出数据时，CPU 首先将行地址加在 A0-A7 上，而后送出 RAS 锁存信号，该信号的下降沿将地址锁存在芯片内部。接着将列地址加到芯片的 A0-A7 上，再送 CAS 锁存信号，也是在信号的下降沿将列地址锁存在芯片内部。然后保持 $WE=1$ ，则在 CAS 有效期间数据输出并保持。当需要把数据写入芯片时，行列地址先后将 RAS 和 CAS 锁存在芯片内部，然后， WE 有效，加上要写入的数据，则将该数据写入选中的存储单元；

可编程逻辑阵列原理和应用：

(四) 时序逻辑电路

1、了解时序逻辑电路的特点及组成

时序逻辑电路：数字电路根据逻辑功能的不同特点，可以分成两大类，一类叫组合逻辑电路（简称组合电路），另一类叫做时序逻辑电路（简称时序电路）。组合逻辑电路在逻辑功能上的特点是任意时刻的输出仅仅取决于该时刻的输入，与电路原来的状态无关。而时序逻辑电路在逻辑功能上的特点是任意时刻的输出不仅取决于当时的输入信号，而且还取决于电路原来的状态，或者说，还与以前的输入有关。



在数字电路通常分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类，组合逻辑电路的有关内容在前面的章节里已经作了介绍，组合逻辑电路的特点是输入的变化直接反映了输出的变化，其输出的状态仅取决于输入的当前的状态，与输入、输出的原始状态无关，而时序电路是一种输出不仅与当前的输入有关，而且与其输出状态的原始状态有关，其相当于在组合逻辑的输入端加上了一个反馈输入，在其电路中有一个存储电路，其可以将输出的状态保持住，我们可以用下图的框图来描述时序电路的构成；

2、了解时序逻辑电路的分析步骤和方法

时序逻辑电路分析步骤：了解电路组成→根据给定的时序电路图，写出下列逻辑方程组，输出方程、各触发器的激励方程、状态方程→列出状态转换表或画出状态图和波形图→确定电路逻辑功能。分析方法为列出电路状态表或画出状态图、波形图；

3、了解计数器的基本概念、功能和分类

计数器概念：计数是一种最简单和基本的运算，计数器就是实现这种运算的逻辑电路。计数器在数字系统中主要是对脉冲的个数进行计数，以实现测量、计数和控制的功能，同时兼有分频功能；按照计数器中的触发器是否同时翻转分类，可将计数器分为同步计数器和异步计数器两种，按照计数过程中数字增减分类，又可将计数器分为加法计数器、减法计数器和可逆计数器；

(五) 数模与模数转换

1、了解典型集成数模与模数转换器的结构

集成数模转换器结构：数模转换器就是把在时间和幅值上离散的数字量转化为连续变化的模拟量的装置，

又称 D/A 转换器或 DAC；模数转换器是把连续变化的模拟量转化为在时间和幅值上离散数字量的装置，

又称 A/D 转换器或 ADC。时序电路的基本特点是具有记忆过去输入的功能，这一功能可以通过在电路内

部引入反馈来实现。图 6-0-1 典型的数字控制系统框图

§ 6-1 集成数模转换器 (DAC)

输入数字和输出电压（模拟量）之间的关系：

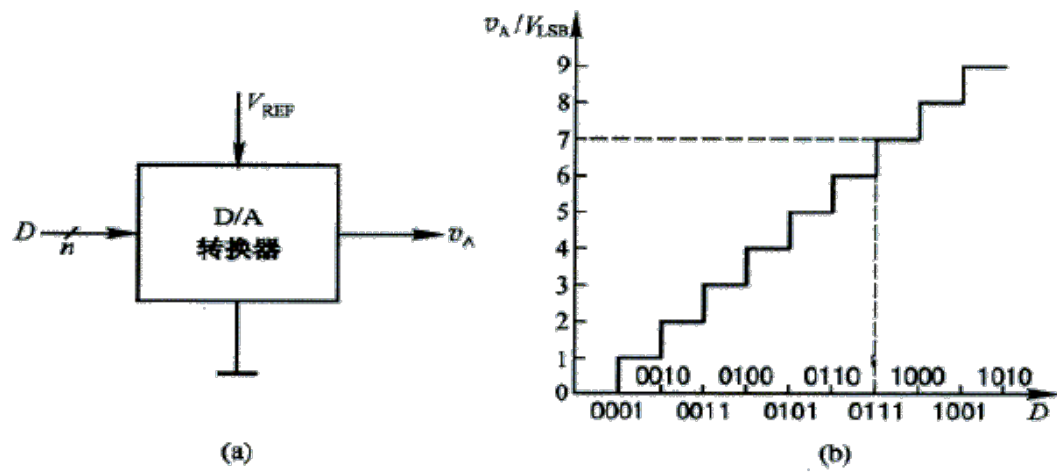


图 6-1-1 数模转换器

6.1.1 常用 D/A 转换技术

二进制权电阻网络 D/A 转换器,由四部分组成:(1)权电阻网络;(2)模拟开关;(3)参考电压;(4)权电阻网络输出端的电流--电压变换器。图 6-1-2 4 位权电阻网络 D/A 转换器

二进制 T 形权电阻网络 D/A 转换器 ,采用最常见的 R-2R T 形电阻网络。它与权电阻网络的显著区别在于 , 无论 DAC 有多少位 , 整个网络只需要 R 和 2R 两种阻值。

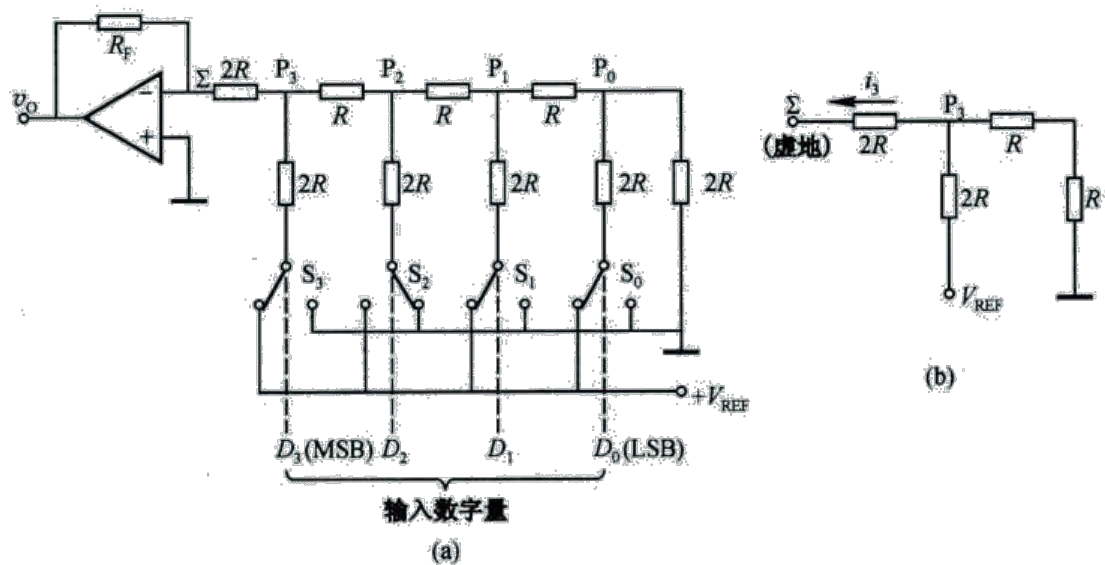


图 6-1-3 电流相加型 4 位 R-2R T 形电阻网络 DAC

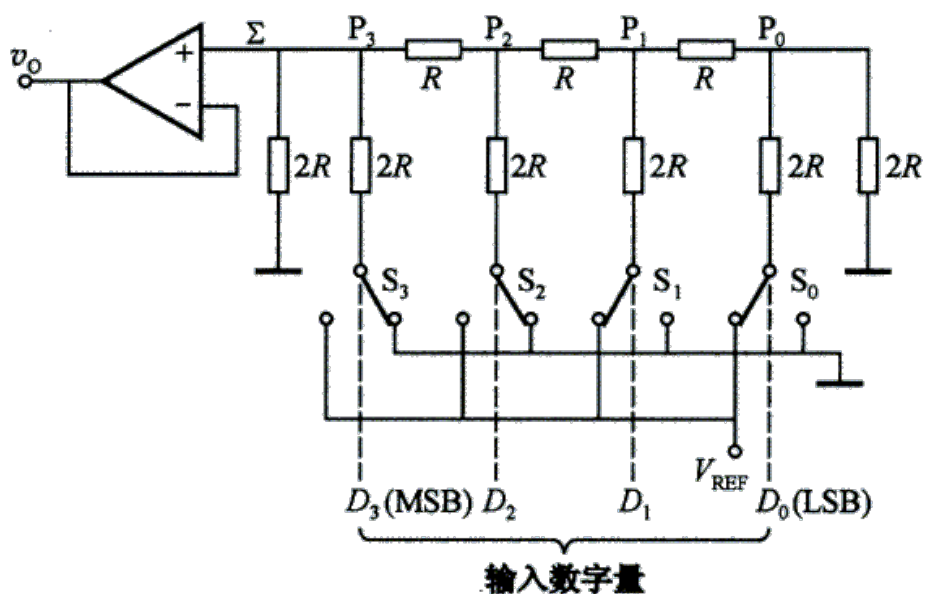


图 6-1-4 电压相加型 4 位 R-2R T 形电阻网络 DAC

倒 T 形 R-2R 网络 D/A 转换器，上述 T 形电阻 DAC 在开关变换接同方向时，各支路的电流，即流过开关的电流变化比较大，为克服这一缺点，引入下述倒 T 形网络 DAC。

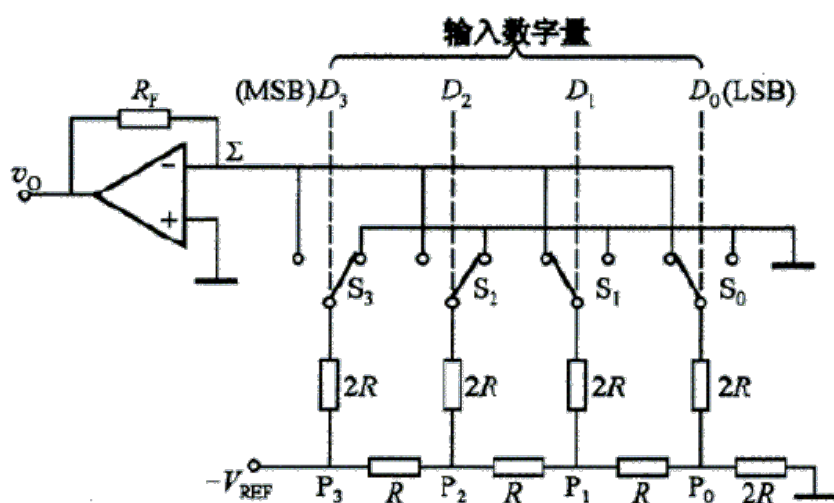


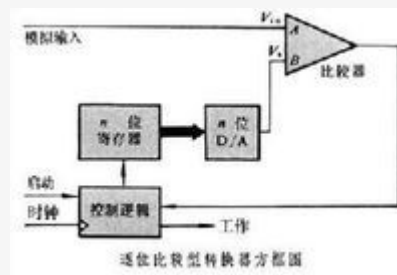
图 6-1-5 倒 T 形电阻网络 DAC

上述各种 DAC 都是既可以输出模拟电流，也可以输出模拟电压，仅取决于输出电路，但他们的共同特点是基准电源均为电压源，统称为电压激励型 DAC。

集成模数转换器结构：模数转换器最重要的参数是转换的精度，通常用输出的数字信号的位数的多少表示。

转换器能够准确输出的数字信号的位数越多，表示转换器能够分辨输入信号的能力越强，转换器的性能也

就越好。A/D 转换一般要经过采样、保持、量化及编码 4 个过程。在实际电路中，有些过程是合并进行的，



模数转换器

如采样和保持，量化和编码在转换过程中是同时实现的。

模数转换过程包括量化和编码。量化是将模拟信号量程分成许多离散量级，并确定输入信号所属的量级。编码是对每一量级分配唯一的数字码，并确定与输入信号相对应的代码。最普通的码制是二进制，它有 2^n 个量级（ n 为位数），可依次逐个编号。模数转换的方法很多，从转换原理来分可分为直接法和间接法两大类。直接法是直接将电压转换成数字量。它用数模网络输出的一套基准电压，从高位起逐位与被测电压反复比较，直到二者达到或接近平衡（见图）。控制逻辑能实现对分搜索的控制，其比较方法如同天平称重。先使二进制数的最高位 $D_{n-1}=1$ ，经数模转换后得到一个整个量程一半的模拟电压 V_S ，与输入电压 V_{in} 相比较，若 $V_{in} > V_S$ ，则保留这一位；若 $V_{in} < V_S$ ，则 $D_{n-1}=0$ 。然后使下一位 $D_{n-2}=1$ ，与上一次的结果一起经数模转换后与 V_{in} 相比较，重复这一过程，直到使 $D_0=1$ ，再与 V_{in} 相比较，由 $V_{in} > V_S$ 还是 $V_{in} < V$ 来决定是否保留这一位。经过 n 次比较后， n 位寄存器的状态即为转换后的数据。这种直接逐位比较型（又称反馈比较型）转换器是一种高速的数模转换电路，转换精度很高，但对干扰的抑制能力较差，常用提高数据放大器性能的方法来弥补。它在计算机接口电路中用得最普遍；

2、了解采样保持器的工作原理：计算机系统模拟量输入通道中的一种模拟量存储装置。它是连接采样器和模数转换器的中间环节。采样器是一种开关电路或装置，它在固定时间点上取出被处理信号的值。采样保持器则把这个信号值放大后存储起来，保持一段时间，以供模数转换器转换，直到下一个采样时间再取出一个模拟信号值来代替原来的值。采样保持电路由模拟开关、存储元件和缓冲放大器 A 组成。在采样时刻，加到模拟开关上的数字信号为低电平，此时模拟开关被接通，使存储元件（通常是电容器）两端的电压 U_B 随被采样信号 U_A 变化。当采样间隔终止时， D 变为高电平，模拟开关断开， U_B 则保持在断开瞬间的值不变。缓冲放大器的作用是放大采样信号，它在电路中的连接方式有两种基本类型：一种是将信号先放大再存储，另一是先存储再放大。对理想的采样保持电路，要求开关没有偏移并能随控制信号快速动作，断开的阻抗要无限大，同时还要求存储元件的电压能无延迟地跟踪模拟信号的电压，并可在任意长的时间内保持数值不变；

第二部分 专业理论知识

一、电力系统分析

(一) 电力系统基本知识：

1、了解电力系统运行特点和基本要求：

电力系统运行特点：1、电能的生产和使用同时完成；2、正常输电过程和故障过程都非常迅速；3、具有较强的地区性特点；4、与国民经济各部门关系密切；

电力系统运行基本要求：1、保证供电的安全可靠性；2、保证电能的良好质量；3、保证电力系统运行的稳定性；4、保证运行人员和电气设备工作的安全；5、保证电力系统运行的经济性；

2、熟悉电能质量的各项指标：电能质量从严格意思上讲，是衡量电能质量的主要指标，有电压、频率和波形。

1、电压不平衡是指三相电压的幅值或相位不对称。不平衡的程度用不平衡度（电压负序分量和正序分量的均方根值百分比）来表示，典型的三相不平衡是指不平衡度超过 2%，短时超过 4%。在电力系统中，各种不平衡工业负荷以及各种接地短路故障都会导致三相电压的不平衡；2、过电压是指持续时间大于 1 分钟，幅值大于标称值的电压。典型的过电压值为 1.1~1.2 倍标称值。过电压主要是由于负载的切除和无功补偿电容器组的投入等过程引起，另外，变压器分接头的不正确设置也是产生过电压的原因；3、欠电压是指持续时间大于 1 分钟，幅值小于标称值的电压。典型的欠电压值为 0.8~0.9 倍标称值。其产生的原因一般是由于负载的投入和无功补偿电容器组的切除等过程。另外，变压器分接头的错误设置也是欠电压产生的原因；4、电压骤降是指在工频下，电压的有效值短时间内下降。典型的电压骤降值为 0.1~0.9 倍标称值，持续时间为 0.5 个周期到 1 分钟。电压骤降产生的原因主要有电；5、电压骤升是指在工频下，电压的有效值短时间内上升。典型的电压骤升值为 1.1~1.8 倍标称值，持续时间为 0.5 个周期到 1 分钟。电压骤升产生的原因主要有电力系统发生故障，如系统发生单相接地等故障；大容量电机的停止和负载突降也是电压骤升的重要原因；6、供电中断是指在一段时间内，系统的一相或多相电压低于 0.1 倍标称值。瞬时中断定义为持续时间在 0.5 个周期到 3 秒之间的供电中断，短时中断的持续时间在 3~60 秒之间，而持久停电的持续时间大于 60 秒；7、电压瞬变又称为瞬时脉冲或突波，是指两个连续的稳态之间的电压值发生快速的变化，其持续时间

很短。电压瞬变按照电压波形的不同分为两类：一是电压瞬时脉冲，是指叠加在稳态电压上的任一单方向变动的电压非工频分量；二是电压瞬时振荡，是指叠加在稳态电压的同时包括两个方向变动的电压非工频分量。电压瞬变可能是由闪电引起的，也可能是由于投切电容器组等操作产生的开关瞬变；8、电压切痕是一种持续时间小于 10ms 的周期性电压扰动。它是由于电力电子装置换相造成的，它使电压波形在一个周期内有超过两个的过零点。由于其频率非常高，用常规的谐波分析设备无法测出，因此以前一直未把此项作为电压质量的一个指标；

3、了解电力系统中各种接线方式及特点

电力系统接线方式：(1)单母线：单母线、单母线分段、单母线加旁路和单母线分段加旁路；

(2)双母线：双母线、双母线分段、双母线加旁路和双母线分段加旁路；

(3)三母线：三母线、三母线分段、三母线分段加旁路；

(4)3/2 接线、3/2 接线母线分段；

(5)4/3 接线；

(6)母线—变压器—发电机组单元接线；

(7)桥形接线：内桥形接线、外桥形接线、复式桥形接线；

(8)角形接线(或称环形)：三角形接线、四角形接线、多角形接线；

电力系统接线方式特点：

(1)单母线接线：单母线接线具有简单清晰、设备少、投资小、运行操作方便且有利于扩建等优点，但可靠性和灵活性较差。当母线或母线隔离开关发生故障或检修时，必须断开母线的全部电源；

(2)双母线接线：双母线接线具有供电可靠、检修方便、调度灵活或便于扩建等优点。但这种接线所用设备(特别是隔离开关)多，配电装置复杂，经济性较差；在运行中隔离开关作为操作电器，容易发生误操作，且对实现自动化不便；尤其当母线系统故障时，须短时切除较多电源和线路，这对特别重要的大型发电厂和变电所是不允许的；

(3)单、双母线或母线分段加旁路 :其供电可靠性高 ,运行灵活方便 ,但投资有所增加 ,经济性稍差。特别是用旁路断路器带该回路时 ,操作复杂 ,增加了误操作的机会。同时 ,由于加装旁路断路器 ,使相应的保护及自动化系统复杂化 ;

(4)3/2 及 4/3 接线 :具有较高的供电可靠性和运行灵活性。任一母线故障或检修 ,均不致停电;除联络断路器故障时与其相连的两回线路短时停电外 ,其他任何断路器故障或检修都不会中断供电;甚至两组母线同时故障(或一组检修时另一组故障)的极端情况下 ,功率仍能继续输送。但此接线使用设备较多 ,特别是断路器和电流互感器 ,投资较大 ,二次控制接线和继电保护都比较复杂 ;

(5)母线—变压器—发电机组单元接线 :它具有接线简单 ,开关设备少 ,操作简便 ,宜于扩建 ,以及因为不设发电机出口电压母线 ,发电机和主变压器低压侧短路电流有所减小等特点 ;

4、熟悉我国规定的网络额定电压与发电机、变压器等元件的额定电压

- 1、线路首末两端电压的平均值应等于电网额定电压 ,此电压作为确定其他电力设备额定电压的依据 ;
- 2、用电设备的额定电压等于电网额定电压 ;3、发电机额定电压规定比同级电网电压高 5% ,补偿电压损失 ;
- 5、了解电力网络中性点运行方式及对应的电压等级

电力网络中性点运行方式 :

1、中性点经小电阻接地方式 :中性点经小电阻接地方式中 ,一般选择的电阻值较小。在系统单相接地时 ,控制流过接地点的电流在 500A 左右 ,也有的控制在 100A 左右 ,通过流过接地点的电流来启动零序保护动作 ,切除故障线路。其特点是 :

(1)系统单相接地时 ,健全相电压不升高或升幅较小 ,对设备绝缘等级要求较低 ,其耐压水平可以按相电压来选择。

(2)接地时 ,由于流过故障线路的电流较大 ,零序过流保护有较好的灵敏度 ,可以比较容易切除接地线路。

(3)由于接地点的电流较大 ,当零序保护动作不及时或拒动时 ,将使接地点及附近的绝缘受到更大的危害 ,导致相间故障发生。

(4)当发生单相接地故障时 ,无论是永久性的还是非永久性的 ,均作用于跳闸 ,使线路的跳闸次数大大增加 ,严重影响了用户的正常供电 ,使其供电的可靠性下降 ;

2、中性点经消弧线圈接地方式 :采用中性点经消弧线圈接地方式 ,在系统发生单相接地时 ,流过接地点的电流较小 ,其特点是线路发生单相接地时 ,可不立即跳闸 ,按规定电网可带单相接地故障运行 2h。从实际运行经验和资料表明 ,当接地电流小于 10A 时 ,因消弧线圈的电感电流可抵消接地点流过的电容电流 ,电弧能自灭。对于中压电网中日益增加的电缆馈电回路 ,虽接地故障的概率有上升的趋势 ,但因接地电流得

到补偿,单相接地故障并不发展为相间故障。因此中性点经消弧线圈接地方式的供电可靠性,大大高于中性点经小电阻接地方式,但中性点经消弧线圈接地方式也存在着以下两个问题。

(1)当系统发生接地时,由于接地点残流很小,且根据规程要求消弧线圈必须处于过补偿状态,接地线路和非接地线路流过的零序电流方向相同,故零序过流、零序方向保护无法检测出已接地的故障线路。

(2)因目前运行在中压电网的消弧线圈大多为手动调匝的结构,必须退出运行才能调整,也没有在线实时检测电网单相接地电容电流的设备,故在运行中不能根据电网电容电流的变化及时进行调整,所以不能很好地起到补偿作用,仍出现弧光不能自灭及过电压问题。

中性点经消弧线圈接地方式存在的两大缺点,也是两大技术难题,多年来电力学者致力于解决这方面技术难题,随着微电子技术、检测技术的发展和运用,我国已研制生产出自动跟踪消弧线圈及单相接地选线装置,并已投入实际运行取得良好效果,现在正处在推广应用阶段;

(二) 电力线路、变压器的参数与等值电路:

1、了解输电线路四个参数所表征的物理意义及输电线路的等值电路

输电线路四个参数:1、电阻;铜电阻率: $1.88 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$;铝电阻率: $3.15 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$;反映线路有功功率损失;2、电抗:反映载流导线产生磁场效应;3、电导:反映泄漏电流和空气游离所引起的有功功率损耗,电阻的倒数;4、电容,反映带电导线周围电场效应,表示导线与导线、导线与大地之间的分布电容,电纳是电抗的倒数;阻抗包括电阻和电抗,电抗包括感抗和容抗;

输电线路的等值电路:1、一字型等值电路;线路长度不超过100KM,线路电压不高时;2、 π 型和T型等值电路,对于长度在100-300KM的架空线路,或长度不超过100KM的电缆线路,电容的影响不可忽略时;

2、了解双绕组、三绕组变压器空载与短路实验数据计算;变压器参数及其等值电路

双绕组变压器空载与短路实验数据计算:变压器的空载试验就是从变压器任一组线圈施加额定电压,其它线圈开路的情况下,测量变压器的空载损耗和空载电流。空载电流用它与额定电流的百分数表示。进行空载试验的目的是:测量变压器的空载损耗和空载电流;验证变压器铁心的设计计算、工艺制造是否满足技术条件和标准要求;检查变压器铁心是否存在缺陷,如局部过热,局部绝缘不良等;

变压器的短路试验就是将变压器的一组线圈短路,在另一线圈加上额定频率的交流电压使变压器线圈内的电流为额定值,此时所测得的损耗为短路损耗,所加的电压为短路电压,短路电压是以被加电压线圈的额定电压百分数表示的:此时求得的阻抗为短路阻抗,同样以被加电压线圈的额定阻抗百分数表示:变压器的短路电压百分数和短路阻抗百分数是相等的,并且其有功分量和无功分量也对应相等;

变压器参数及其等值电路:短路损耗 P_k 、短路电压 $U_k\%$ 、空载损耗 ΔP_0 、空载电流 $I_0\%$;双绕组变压器的等值线路为 r 型电路;

3、了解电网等值电路中有名值和标么值参数的简单计算

标么值是没有量纲的数值,标么值 = 实际有名值 / 基准值;

标么值计算步骤：选好基本级，一般选多级网络的最高级→确定基本级的基准值参数→对各元件的有名值参数进行归算。

(三) 简单电网的潮流计算：

1、了解电压降落、电压损耗、功率损耗的定义，无功功率平衡概念及无功功率平衡的基本要求

电压降落：电压降落是指电力网中，首端相电压与末端电压相量之差；

电压损耗：就是指输电线路首端和末端电压有效值之差；

功率损耗：某时刻电网元件或全网有功输入总功率与有功输出总功率的差值；

无功功率平衡：电力系统中无功电源所发出的无功功率应与系统中的无功负荷及无功损耗相平衡，同时还应有一定的无功功率备用电源；

无功功率平衡的基本要求：1、无功功率 $\geq$ 无功负荷 + 无功损耗；

2、了解已知不同点的电压和功率情况下的潮流简单计算方法

简单潮流计算方法有：高斯-塞德尔法、牛顿法、快速解耦法；

3、了解输电线路中有功功率、无功功率的流向与功角、电压幅值的关系

输电线路中有功功率、无功功率的流向：有功功率一般是由电压相位相对超前的一段向电压相位相对滞后的一端传送；而无功功率在线路上的传输条件是电压高的一端向电压低一端传送；

功角、电压幅值的关系：功角越大，电压越高；功角越小，电压越低；

4、了解输电线路的空载与负载运行特性

输电线路空载运行特性：在空载情况下，线路末端的电压将高于其始端电压，这种现象称为输电线路空载的末端电压升高现象；

输电线路负载运行特性：当线路首端电压和末端电压的相位差为 0 的时候，线路首段和末端的电压同相位，电流比较小，传递的有功功率最大，线路电容产生的无功功率超过线路电感消耗的无功功率，有盈余的无功功率向两端输送；

随着首末端电压相位差的不断增大，线路上传送的电流将增大，线路首端输出的有功功率将逐渐减少，感性无功功率将逐渐增大，而首段和末端都必须向线路提供大量的无功功率以抵偿线路无功功率的损耗；

5、了解系统中各无功电源的调节特性

无功电源包括发电机、调相机、电容器、静止无功补偿器以及并联电抗器等。无功功率补偿应遵照分层、分区就地平衡的原则，尽可能避免长距离或经多级变压器输送无功功率。这是有别于有功功率的平衡的重要特点。无功功率平衡首先应尽可能提高负荷的功率因数，并研究发电机提高功率因数及进相运行的可能性。无功补偿应有足够的备用容量，并能适应各种运行方式下电压调整及无功功率电源最优分布的要求。在无功补偿设备中，分组投切的并联电容器和电抗器投资省，损耗小，基建安装简单，运行维护方便，应优先予以考虑。当系统的运行和安全稳定有特殊要求时，可研究装设调相机、静止无功补偿器。若系统的无功功率较充裕，在中低压配电网中可装设有载调压变压器以适应不同运行方式下对电压质量的要求。在 220

千伏及以上电压等级网络中,有载调压变压器投资高,可靠性差,除非增加无功补偿设备无效果或不经济,一般不宜采用;

6、了解利用电容器进行补偿调压的原理与方法:

电容器在原理上相当于产生容性无功电流的发电机。其无功补偿的原理是把具有容性功率负荷的装置和感性功率负荷并联在同一电容器上,能量在两种负荷间相互转换。这样,电网中的变压器和输电线路的负荷降低,从而输出有功能力增加。在输出一定有功功率的情况下,供电系统的损耗降低。比较起来电容器是减轻变压器、供电系统和工业配电负荷的最简便、最经济的方法。因此,电容器作为电力系统的无功补偿势在必行。当前,采用并联电容器作为无功补偿装置已经非常普遍;

(四) 短路电流计算:

1、了解实用短路电流计算的近似条件

1、假设系统有无限大的容量.用户处短路后,系统母线电压能维持不变.即计算阻抗比系统阻抗要大得多,具体规定:对于3~35KV级电网中短路电流的计算,可以认为110KV及以上的系统的容量为无限大.只要计算35KV及以下网络元件的阻抗;2.在计算高压电器中的短路电流时,只需考虑发电机、变压器、电抗器的电抗,而忽略其电阻;对于架空线和电缆,只有当其电阻大于电抗1/3时才需计入电阻,一般也只计电抗而忽略电阻;3、短路电流计算公式或计算图表,都以三相短路为计算条件。因为单相短路或二相短路时的短路电流都小于三相短路电流,能够分断三相短路电流的电器,一定能够分断单相短路电流或二相短路电流;

2、熟悉简单系统三相短路电流的实用计算方法

短路电流标么值: $I^*D = I/X^*$ (总电抗标么值的倒数);

短路电流有效值: $ID = IJZ \cdot ID = IJZ/X^*(KA)$;

冲击电流有效值: $IC = ID \cdot \sqrt{1+2(KC-1)^2(KA)}$;

冲击电流峰值: $IC = 1.41 \cdot Id \cdot KC = 2.55 Id(KA)$;

3、了解短路容量的概念

短路容量是指电力系统在规定的运行方式下,关注点三相短路时的视在功率,它是表征电力系统供电能力强弱的特征参数,其大小等于短路电流与短路处的额定电压的乘积;

4、了解冲击电流、最大有效值电流的定义和关系

冲击电流:非周期性瞬态电流。通常使用的有两种波形:第一种为电流从零值以很短时间上升到峰值,然后以近似指数规律或阻尼正弦波形下降至零;

最大有效值电流:将一直流电与交流电分别通过相同阻值的电阻,如果相同时间内两电流通过电阻产生的热量相同,就说这一直流电的电流值是这一交流电的有效值;

冲击电流是偶然的,短暂的,而有效值电流是长期的,必然的。有效值电流包含冲击电流,而冲击电流视有效值电流的大小决定冲击效果;

5、了解同步发电机、变压器、单回、双回输电线路的正、负、零序等值电路

变压器等值电路为 r 型；输电线路的正序等值电路为反 r 型；发电机等效电路为 π -字型；

发电机输出电压：

$$U_q = U_d + I_l * X_d$$

6、熟悉简单电网的正、负、零序网络的制定方法

凡属由同一序的相应的电势和阻抗根据电力系统的接线所构成的单相等值电路，称为该序的序网络。

在制订各序网络时，必须先了解系统的接线，接地中性点的分布状况以及各元件的各序参数和等效电路；进而再分别各序，由短路点开始，查明序电流在网络中的流通情况，以确定各序网络的组成元件及其网络的具体连接。

1. 正序网络：正序网络就是通常用以计算对称三相短路时的网络，流过正序电流的全部元件的阻抗均用正序阻抗表示。在不对称短路时短路点的正序电压和不为零，所以短路点不能和零电位线相连。正序电势就是发电机的电势；

2. 负序网络：负序电流在网络中所流经的元件与正序电流所流经的相同。因此，组成负序网络的元件与组成正序网络的元件完全相同，只是各元件的阻抗要用负序参数表示，其中发电机及各种旋转电机的负序阻抗与正序阻抗不同，而其它静止元件的负序阻抗等于正序阻抗。因为发电机的负序电势为零，所以负序网络中电源支路负序阻抗的终点不接电势，而与零电位相连，并作为负序网络的起点，短路点就是该网络的终点。短路点的负序电压不为零；

3. 零序网络：在零序网络中，不包含电源电势。只在短路点存在有由故障条件所决定的不对称电势源中的零序分量。各元件的阻抗均应以零序参数表示。零序电流实际上是一个流经三相电路的单相电流，经过地或与地连接的其它导体（例如地线、电缆包皮等），再返回三相电路中。只有当和短路点直接相连的网络中至少具有一个接地中性点时，才可以形成一个零序回路。如果与短路点直接相连的网络中有好几个接地的中性点，那么有几个零序电流的并联支路。

在绘制等值网络时，只能把有零序电流通过的元件包括进去，而不通过零序电流的元件应舍去。作出系统的三线图，在短路处将三相连在一起，接上一个零序电势源，并从这一点开始逐一的查明零序电流可能通行的回路。

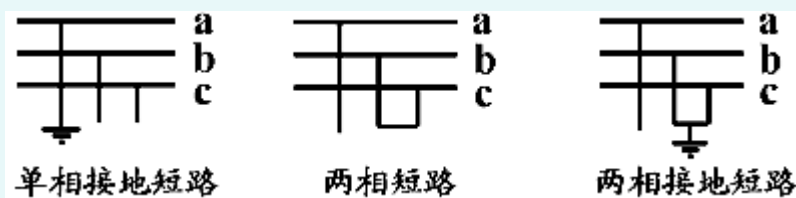
1、求零序分量：把三个向量相加求和。即 A 相不动，B 相的原点平移到 A 相的顶端（箭头处），注意 B 相只是平移，不能转动。同方法把 C 相的平移到 B 相的顶端。此时作 A 相原点到 C 相顶端的向量（此时是箭头对箭头），这个向量就是三相向量之和。最后取此向量幅值的三分之一，这就是零序分量的幅值，方向与此向量是一样的；

2、求正序分量：对原来三相向量图先作下面的处理：A 相的不动，B 相逆时针转 120 度，C 相顺时针转 120 度，因此得到新的向量图。按上述方法把此向量图三相相加及取三分之一，这就得到正序的 A 相，用 A 相向量的幅值按相差 120 度的方法分别画出 B、C 两相。这就得出了正序分量；

3、求负序分量：注意原向量图的处理方法与求正序时不一样。A 相的不动，B 相顺时针转 120 度，C 相逆时针转 120 度，因此得到新的向量图。下面的方法就与正序时一样了；

7、了解不对称短路的故障边界条件和相应的复合序网

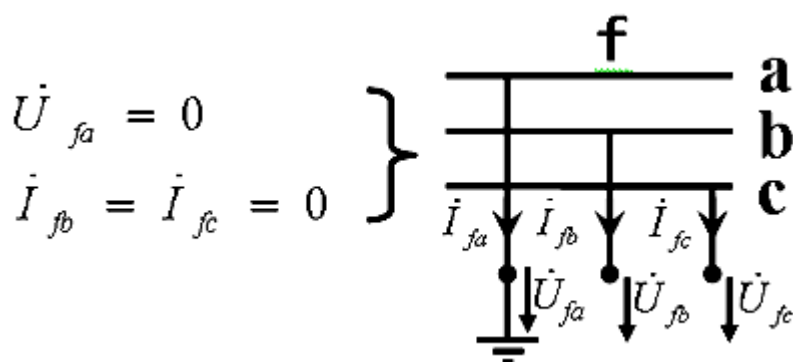
不对称短路分为单相接地短路、两相接地短路、两相相间短路等属于不对称短路。三相短路属于对称短路。就实际发生的概率来看，电力系统的短路 90% 为不对称短路，这 90% 里面 90% 又是单相接地短路。简单不对称短路包括：



利用对称分量法可以求解简单不对称短路，但需要根据不对称短路的边界条件再列出三个方程。

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{f1} &= \dot{E}_{1\Sigma} - j\dot{I}_{f1} X_{1\Sigma} \\ \dot{U}_{f2} &= 0 - j\dot{I}_{f2} X_{2\Sigma} \\ \dot{U}_{f0} &= 0 - j\dot{I}_{f0} X_{0\Sigma} \end{aligned} \right\} \quad (6-3)$$

6.3.1 单相接地短路边界条件:



由式 6-1 直接可以得到（略去了 a 相的下标 a）：

$$\begin{aligned} \dot{U}_{f1} + \dot{U}_{f2} + \dot{U}_{f0} &= 0 \\ \dot{I}_{fb} &= \dot{I}_{fc} = 0 \end{aligned}$$

由式 6-2 可以得到：

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{fa1} \\ \dot{I}_{fa2} \\ \dot{I}_{fa0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{fa} \\ \dot{I}_{fb} \\ \dot{I}_{fc} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{fa} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\dot{I}_{fa}}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

所以（略去了 a 相的下标 a）：

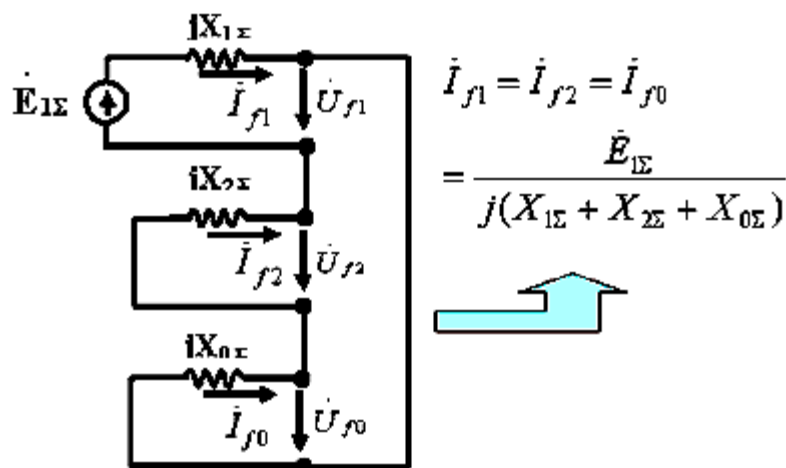
$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{f1} + \dot{U}_{f2} + \dot{U}_{f0} &= 0 \\ \dot{I}_{f1} &= \dot{I}_{f2} = \dot{I}_{f0} \end{aligned} \right\} \quad (6-4)$$

将式 6-3 和式 6-4 联立求解，则

$$\dot{I}_{f1} = \frac{\dot{E}_{1\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})} \quad (6-5)$$

根据式 6-4 可以得到单相接地短路的复合序网。

复合序网—根据边界条件所确定的短路点各序量之间的关系，将各序网络连接起来所形成的网络。



显然，由复合序网也可以直接得到式 6-5。此外：

$$\dot{U}_{f2} = -j\dot{I}_{f1}X_{2\Sigma}$$

$$\dot{U}_{f0} = -j\dot{I}_{f1}X_{0\Sigma}$$

$$\dot{U}_{f1} = -(\dot{U}_{f2} + \dot{U}_{f0}) = j\dot{I}_{f1}(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})$$

再利用式 6-1，可以得到短路点的故障相电流：

$$\dot{I}_{fa} = 3\dot{I}_{f1} = \frac{3\dot{E}_{1\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$$

$$I_f^{(1)} = |\dot{I}_{fa}| = 3I_{f1}$$

短路点的非故障相电压：

$$\dot{U}_{fb} = j\dot{I}_{f1}[(a^2 - a)X_{2\Sigma} + (a^2 - 1)X_{0\Sigma}]$$

$$\dot{U}_{fc} = j\dot{I}_{f1}[(a - a^2)X_{2\Sigma} + (a - 1)X_{0\Sigma}]$$

$$I_f^{(1)} = 3I_{f1} = \frac{3E_{1\Sigma}}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$$

一般 $X_{1\Sigma} \approx X_{2\Sigma}$ ，因此，如果 $X_{0\Sigma} < X_{1\Sigma}$ ，则单相短路电流大于同一地点的三相短路电流；反之，则单相短路电流小于三相短路电流；

8、了解不对称短路的电流、电压计算

根据不对称短路的边界方程和复合序网求出的各序电流、电压对称分量及各相电流、电压值，一般都是指起始时或稳态时的基频分量。不对称短路的电流、电压计算可以根据短路序网的基本方程式和边界条件方程式列出若干个独立方程，针对防城中的未知数，联立求解，即可获得电流、电压的计算值。

电力系统不对称短路电流的计算

(一) 相量及其计算：相量 $\dot{a}$ 是旋转相量，他在复数平面用一个有向线段和初相角表示，以 ωt 角速度逆时针绕原点旋转，他在竖轴上的投影即为正弦波的瞬时值。计算出相量即可算出正弦波的瞬时值。(正弦波的瞬时值才能进行四则运算) 相量在数学上表示为 $\dot{a} = A e^{j\varphi}$ 如两个相量： $\dot{A} = A e^{j\varphi_A}$ $\dot{C} = C e^{j\varphi_C}$ 它的四则运算：相量加减用平行四边形计算、相量乘除是幅值相乘除，角度相加减。如两相量相乘：

$$\dot{A} \times \dot{B} = A e^{j\varphi_A} \times C e^{j\varphi_C} = AC e^{j(\varphi_A + \varphi_C)} \quad \text{单位相量：} \alpha = e^{j120^\circ} \text{ 为算子。}$$

(二) 对称分量法及其应用

1、对称分量法

任何一组三相不对称相量都可用数学分析的方法分解成三组三相对称相量，他们是三相正序对称相量、负序对称相量和零序对称相量，如图 1 - 7 所示 图 1 - 7 三相不对称电压分解成三组正、负、零序对称电压或者说，三相不对称相量的相值等于相应于该相各序值的和：以三相电压为例 $\dot{u}_A = \dot{u}_{a1} + \dot{u}_{a2} + \dot{u}_{a0}$

$$\dot{u}_B = \dot{u}_{b1} + \dot{u}_{b2} + \dot{u}_{b0}$$

$$\dot{u}_C = \dot{u}_{c1} + \dot{u}_{c2} + \dot{u}_{c0}$$

各序值为三相对称相量，则上面方程式可写成：

$$\dot{U}_{a1} = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a\dot{U}_B + a^2\dot{U}_C);$$

$$\dot{U}_{a2} = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a^2\dot{U}_B + a\dot{U}_C);$$

$$\dot{U}_{a0} = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C). \quad \text{联立求解}$$

2、 对称分量法的应用

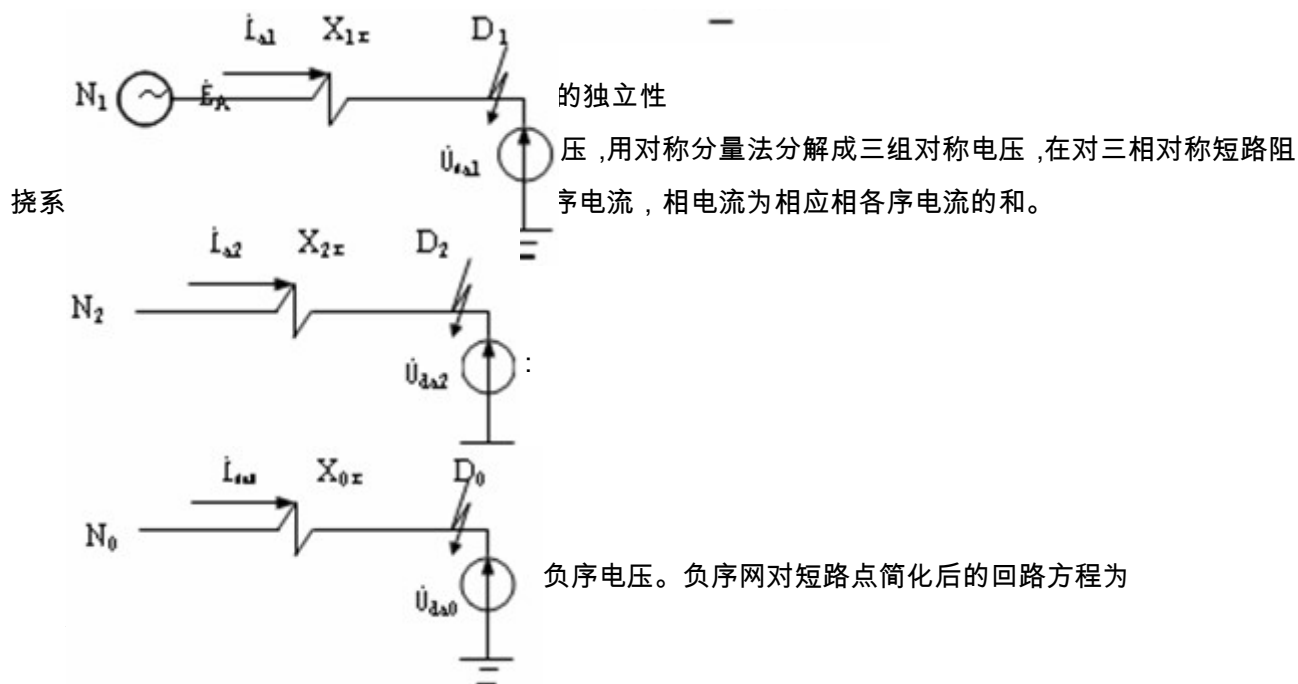


图 1 - 11 零序网等值图

电源没有零序电压，只有短路点有一组零序电压。零序网对短路点简化后的回路方程为：

$$\dot{U}_{da0} = 0 - j\dot{I}_{da0}X_{0\Sigma}$$

3、电力系统的序参数

$$x_1 = x_d''; x_2 \approx \frac{x_d'' + x_q''}{2}; x_0 = (0.15 \sim 0.6)x_d''$$

2) 变压器

$$x_1 = x_2 = U_d q_0, Y\Delta-11 \text{ 接线变压器}$$

$$x_0 = x_1$$

3) 架空输电线路

$$x_1 = x_2, x_0 = (3.5 \sim 5.5)x_1$$

4、电力系统的序网：

1) 正序网及其简化

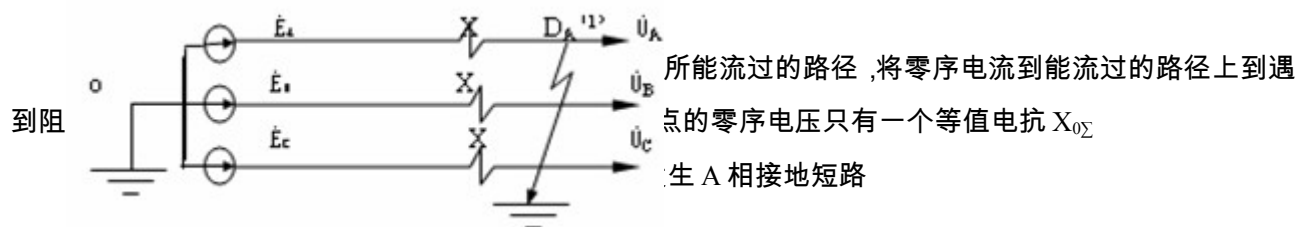


图 1 - 12 A 相单相接地电路图

在短路点相电 $\dot{E}$ 边界条件为：

$$\dot{I}_{da1} = \dot{I}_{da2} = \dot{I}_{da0} = \frac{j\dot{E}}{jX_{1\Sigma} + jX_{2\Sigma} + jX_{3\Sigma}}$$

$$\dot{U}_{da2} = -j\dot{I}_{da1}X_2;$$

$$\dot{U}_{da0} = -j\dot{I}_{da1}X_0;$$

$$\dot{U}_{da1} = -\dot{U}_{da2} - \dot{U}_{da0} = j\dot{I}_{da1}X_2 + j\dot{I}_{da1}X_0;$$

复合序网：为了记忆和计算短路电流方便，在满足序值求解后的方程： $\dot{I}_{da1} = \dot{I}_{da2} = \dot{I}_{da0} = \dot{E} / (jX_1 + jX_2 + jX_0)$ ，将序网适当的串并联起来。如图 1-13 单相接地短路复合序网。

图 1-13 单相接地短路复合序网

电力系统单相接地短路，短路点短路电流的相值：相值等于相应各序电流的和

$$\dot{I}_{dA} = \dot{I}_{da1} + \dot{I}_{da2} + \dot{I}_{da0} = 3\dot{I}_{da1}$$

$$\dot{U}_{dB} = \dot{U}_{db1} + \dot{U}_{db2} + \dot{U}_{db0}$$

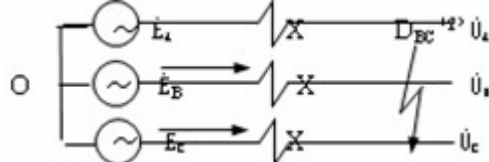
$$\dot{U}_{dC} = \dot{U}_{dc1} + \dot{U}_{dc2} + \dot{U}_{dc0}$$

讨论：当 $X_{0\Sigma} = \frac{1}{3}X_{1\Sigma}$ 时， $\dot{I}_0 = \frac{1}{3}\frac{\dot{E}_A}{X_{1\Sigma}}$ ；电流的变化。（一般 $X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma}$ ）

$$\text{当 } X_{0\Sigma} = X_{1\Sigma} \text{ 时 } \dot{U}_0 = -\frac{1}{3}\dot{E}_A, \quad \dot{I}_0 = \frac{1}{6}\frac{\dot{E}_A}{X_{1\Sigma}}$$

$$\text{当 } X_0 = 2X_{1\Sigma} \text{ 时 } \dot{U}_0 = -\frac{2}{3}\dot{E}_A, \quad \dot{I}_0 = \frac{1}{6}\frac{\dot{E}_A}{X_{1\Sigma}}$$

当 $X_{0\Sigma} = \frac{1}{3}X_{1\Sigma}$ 时



电力系统在 D_{BC} 点发生 BC 两相短路，如图 1-14 所示：

图 1-14 B、C 两相短路接线图

在短路点有一组不对称电压，短路点相值的边界条件为：

$$\dot{U}_{dB} = \dot{U}_{dC} \quad \dot{I}_{dB} = -\dot{I}_{dC} \quad \dot{I}_{d0} = 0$$

短路点序值的边界条件：

$$\dot{I}_{da0} = 1/3(\dot{I}_{dA} + \dot{I}_{dB} + \dot{I}_{dC}) = 0 \quad \dot{U}_{da0} = -j\dot{I}_{da0}X_{0\Sigma} = 0$$

$$\dot{I}_{da1} = -\dot{I}_{da2} = \frac{\dot{E}}{jX_{1\Sigma} + jX_{2\Sigma}} \quad \text{序的边界条件方程：}$$

$$\dot{U}_{da1} = \dot{U}_{da2} = j\dot{I}_{da2}X_{2\Sigma}$$

$$\dot{E}_A = X_{1\Sigma}\dot{I}_{da1} + X_{2\Sigma}\dot{I}_{da2} \quad \text{后的方程}$$

$$\dot{I}_{dB} = -\dot{I}_{dC} = -j\sqrt{3}\frac{\dot{E}}{jX_{1\Sigma} + jX_{2\Sigma}}$$

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{da1} + \dot{U}_{da2} = \dot{E}_A \quad \dot{U}_A = \dot{U}_{da1} + \dot{U}_{da2} = \dot{E}_A$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_C = -\frac{1}{2}\dot{E}_A \quad \dot{U}_B = \dot{U}_C = -\frac{1}{2}\dot{E}_A$$

应用举例：YD—11 接线变压器一侧发生两相短路变压器另一侧的相电流。在变压器 D 侧的线路上发生两相短路 DBC，，变压器 Y 接线侧的相电流。接地点序电流为：

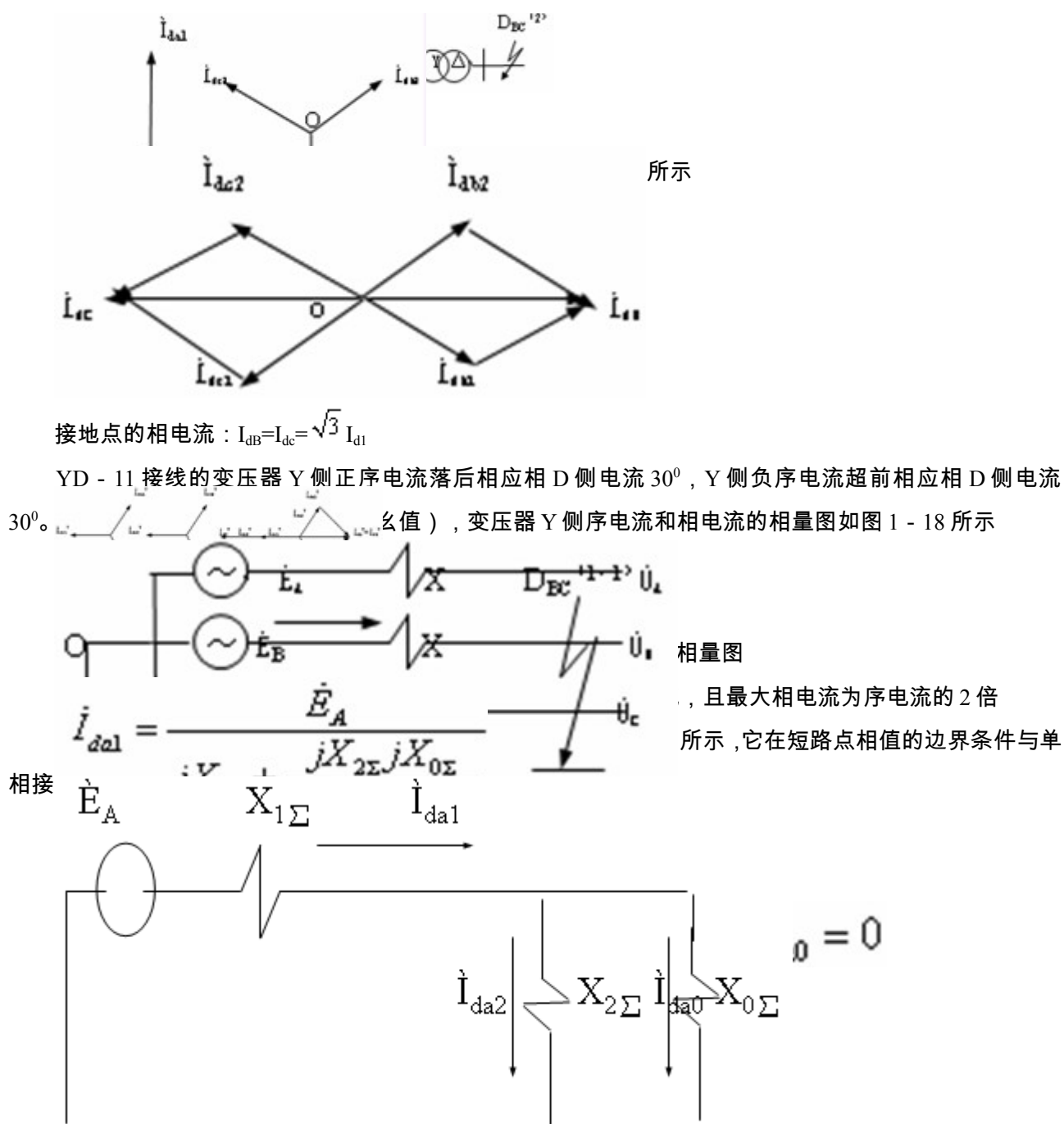


图 1 - 20 两相接地短路复合序网图

9、了解正、负、零序电流、电压经过 Y/△—11 变压器的相位变化

电力变压器是发电厂和变电站的主要电气设备之一，它们对电力系统的安全稳定运行至关重要。一旦保护没设置好，会造成变压器保护误跳。造成很大的经济损失，对社会造成不良影响。由于县级电力线路网络在早期建设时有些进入变电站的双圈变压器的高压侧(型号为 Y/△—11 型)的电压相序，由于高压一次设备无法调整。造成接入变压器高压侧的电压相序是负序，所以对变压器的保护程序作相应的改动。为了形象

地表示变压器一、二次侧电动势相量的相位差电力系统中通常采用所谓时钟表示法把高压电动势看作时钟的长针低压电动势看作时钟的短针，把代表高压电动势的长针固定指向时钟 12 点代表低压电压电动势的短针所指的时数作为绕组的组别。 $\text{Y}/\Delta-11$ 的变压器组别用一、二次绕组的线电动势相位差如图(1-1)所示， $\text{Y}/\Delta-11$ 的电流相位在微机保护中显示高压侧相位是低压侧相位是 B、C) B、C) $150^\circ-120^\circ$ 。270°AA 用一、二次绕组的线电动势相位差如图(1-3)所示(1-3)由于变压器一次电压相序是负序。 $\text{Y}/\Delta-11$ 的双圈变压器一、二次绕组的线电动势相位差高压侧电动势超前低压侧电动势 30° ；

10、了解继电保护的概念与要求

什么是继电保护：继电保护是对电力系统中发生的故障或异常情况进行检测，从而发出报警信号，或直接将故障部分隔离、切除的一种重要措施；

继电保护要求：1)选择性：选择性就是指当电力系统中的设备或线路发生短路时，其继电保护仅将故障的设备或线路从电力系统中切除，当故障设备或线路的保护或断路器拒动时，应由相邻设备或线路的保护将故障切除；2)速动性：速动性是指继电保护装置应能尽快地切除故障，以减少设备及用户在大电流、低电压运行的时间，降低设备的损坏程度，提高系统并列运行的稳定性；3)灵敏性：灵敏性是指电气设备或线路在被保护范围内发生短路故障或不正常运行情况时，保护装置的反应能力，能满足灵敏性要求的继电保护，在规定的范围内故障时，不论短路点的位置和短路的类型如何，以及短路点是否有过渡电阻，都能正确反应动作，即要求不但在系统最大运行方式下三相短路时能可靠动作，而且在系统最小运行方式下经过较大的过渡电阻两相或单相短路故障时也能可靠动作。系统最大运行方式：被保护线路末端短路时，系统等效阻抗最小，通过保护装置的短路电流为最大运行方式；系统最小运行方式：在同样短路故障情况下，系统等效阻抗为最大，通过保护装置的短路电流为最小的运行方式。保护装置的灵敏性是用灵敏系数来衡量。4)可靠性：可靠性包括安全性和信赖性，是对继电保护最根本的要求。安全性：要求继电保护在不需要它动作时可靠不动作，即不发生误动。信赖性：要求继电保护在规定的保护范围内发生了应该动作的故障时可靠动作，即不拒动。继电保护的误动作和拒动作都会给电力系统带来严重危害。即使对于相同的电力元件，

随着电网的发展,保护不误动和不拒动对系统的影响也会发生变化。以上四个基本要求是设计、配置和维护继电保护的依据,又是分析评价继电保护的基础。这四个基本要求之间是相互联系的,但往往又存在着矛盾。因此,在实际工作中,要根据电网的结构和用户的性质,辩证地进行统一。

11、了解电力系统稳定性的基本概念

给定运行条件下的电力系统,在受到扰动后,重新回复到运行平衡状态的能力。系统中的多数变量可维持在一定的范围,使整个系统能稳定运行。根据性质的不同,电力系统稳定性可分为功角稳定、电压稳定和频率稳定三类;

(五) 电气主接线:

1、掌握对电气主接线的基本要求和设计原则

根据电能输送和分配的要求,表示主要电气设备相互之间的连接关系,以及本变电站(或发电厂)与电力系统的电气连接关系,通常以单线图表示。电气主接线中有时还包括发电厂或变电站的自用电部分,常称作自用电接线。电路中的高压电气设备包括发电机、变压器、母线、断路器、隔离刀闸、线路等。它们的连接方式对供电可靠性、运行灵活性及经济合理性等起着决定性作用。一般在研究主接线方案和运行方式时,为了清晰和方便,通常将三相电路图描绘成单线图。在绘制主接线全图时,将互感器、避雷器、电容器、中性点设备以及载波通信用的通道加工元件(也称高频阻波器)等也表示出来;

电气主接线设计原则:1、运行的可靠性:主接线系统应保证对用户供电的可靠性,特别是保证对重要负荷的供电;2、运行的灵活性:主接线系统应能灵活地适应各种工作情况,特别是当一部分设备检修或工作情况发生变化时,能够通过倒换开关的运行方式,做到调度灵活,不中断向用户的供电。在扩建时应能很方便的从初期建设到最终接线;3、经济合理:主接线系统还应保证运行操作的方便以及在保证满足技术条件的要求下,做到经济合理,尽量减少占地面积,节省投资;

2、熟悉电气主接线的基本接线形式

1、线路变电所组接线:线路变压器组接线便是线路和变压器直接相连,是一种最简略的接线要领。线路变压器组接线的好处是断路器少,接线简略,造价省。相应 220kV 接纳线路变压器组,110kV 宜接纳单母分段

接线,正常分段断路器打开运行,对限定短路电流结果显著,较得相当于 110kV 开环运行的网架。但其可靠性相对较差,线路妨碍检修停运时,变压器将被迫停运,对变电所的供电负荷影响较大。其较得当用于正常二运一备的城区中间变电所,如上海中间城区就有接纳;

2、桥形接线

桥形接线接纳 4 个回路 3 台断路器和 6 个隔离开关,是接线制止路器数量较少。也是投资较省的一种接线要领。根据桥形断路器的位置又可分为内桥和外桥两种接线。由于变压器的可靠性宏大于线路,因此中应用较多的为内桥接线。若为了在检修断路器时不影响和变压器的正常运行,偶然在桥形外附设一组隔离开关,这就成了长期开环运行的四边形接线;

3、多角形接线

多角形接线便是将断路器和隔离开关相互连接,且每一台断路器两侧都有隔离开关,由隔离开关之间送出回路。多角形接线所用配置少,投资省,运行的机动性和可靠性较好。正常环境下为双重连接,任何一台断路器检修都不影响送电,由于没有母线,在连接的任一部门妨碍时,对电网的运行影响都较小。其最紧张的缺点是回路数受到限定,因为当环形接线中有一台断路器检修时就要开环运行,此时当别的回路产生妨碍就要造成两个回路停电,扩大了妨碍停电范畴,且开环运行的时间愈长,这一缺点就愈大。环中的断路器数量越多,开环检修的机遇就越大,所一样平常只采四角(边)形接线和五角形接线,同时为了可靠性,线路和变压器接纳对角连接原则。四边形的掩护接线比力庞大,一。二次回路倒换操作较多;

4、单母线分段接线

单母线分段接线便是将一段母线用断路器分为两段，它的好处是接线简略，投资省，操作方便；缺点是母线妨碍或检修时要造成部门回路停电；

5、母线接线

双母线接线便是将事情线。电源线和出线议决一台断路器和两组隔离开关连接到两组（一次/二次）母线上，且两组母线都是事情线，而每一回路都可议决母线团结断路器并列运行。

与单母线相比，它的好处是供电可靠性大，可以轮番检修母线而不使供电制止，当一组母线妨碍时，只须要将妨碍母线上的回路倒换到另一组母线，就可敏捷光复供电，别的还具有调治。扩建。检修方便的好处；其缺点是每一回路都增长了一组隔离开关，使配电装置的构架及占地面积。投资费用都相应增长；同时由于配电装置的庞大，在变化运行要领倒闸操作时容易产生误操作，且不宜实现自动化；尤其当母线妨碍时，须短时切除较多的电源和线路，这对特别紧张的大型发电厂和变电站是不容许的。

6、母线带旁路接线

双母线带旁路接线便是在双母线接线的根本上，增设旁路母线。其特点是具有双母线接线的好处，当线路（主变压器）断路器检修时，仍有连续供电，但旁路的倒换操作比力庞大，增长了误操作的机遇，也使掩护

及自动化体系庞大化，投资费用较大，一样平常为了节省断路器及配置隔绝，当出线到达 5 个回路以上时，才增设专用的旁路断路器，出线少于 5 个回路时，则接纳母联兼旁路或旁路兼母联的接线要领。

7、母线分段带旁路接线

双母线分段带旁路接线便是在双母线带旁路接线的根本上，在母线上增设分段断路器，它具有双母线带旁路的好处，但投资费用较大，占用配置隔绝较多，一样平常接纳此种接线的原则为：

(1) 当配置连接的出入线总数为 12 ~ 16 回时，在一组母线上设置分段断路器；

(2) 当配置连接的出入线总数为 17 回及以上时，在两组母线上设置分段断路器。

8、 $3/2(4/3)$ 断路器接线： $3/2(4/3)$ 断路器接线便是在每 3(4) 个断路器中间送出 2(3) 回回路，一样平常只用于 500kV (或紧张 220kV) 电网的母线主接线。它的紧张好处是：

(1) 运行调治机动，正常时两条母线和全部断路器运行，成多路环状供电；

(2) 检修时操作方便，当一组母线停支时，回路不必要切换，任一台断路器检修，各回路仍按原接线要领运行，不需切换；

(3) 运行可靠，每一回路由两台断路器供电，母线产生妨碍时，任何回路都不停电。

$2/3(4/3)$ 断路器接线的缺点是利用配置较多，特别是断路器和电流互感器，投资费用大，掩护接线庞大；

3、熟悉各种主接线中主要电气设备的作用和配置原则

电气设备是在电力系统中对发电机、变压器、电力线路、断路器等设备的统称。变压器、电动机、断路器、隔离开关、交直流系统、保护屏、开关柜（含断路器、互感器、避雷器、接地开关等），电容器。

一、发电机的作用和基本结构

（一）发电机作用

- 1、将机械能转变成电能
- 2、调整输入功率可改变发电机有功功率。
- 3、调节发电机转子电流可改变发电机无功功率。
- 4、改变励磁电流就是改变发电机端电压。

（二）基本结构

定子、转子、励磁绕组、端盖。

二、变压器的作用和基本结构

（一）变压器的作用

- 1、升压变压器升高电压减小电流。
- 2、降压变压器降低电压以满足用户用电设备需要。
- 3、改变变压器结构和电压以满足需要。

（二）基本结构

铁心、绕组、油箱、继电器、测温装置等。

三、互感器的作用

- 1、与仪表配合进行测量。
- 2、与继电器配合起保护作用。
- 3、互感二次接地保护人员安全。

四、断路器和隔离开关的作用

(一) 断路器的作用 1、关合、开断运行线路。2、倒闸操作。3、用隔离开关接通或断开电压互感器、避雷针等；

主接线中主要电气设备配置原则：①牵引变电所、铁路变电所电气主接应综合考虑电源进线情况(有无穿越通过)、负荷重要程度、主变压器容量和台数，以及进线和馈出线回路数量、断路器备用方式和电气设备特点等条件确定，并具有相应的安全可靠、运行灵活和经济性。②具有一级电力负荷的牵引变电所，向运输生产、安全环卫等一级电力负荷供电的铁路变电所，城市轨道交通降压变电所(见电力负荷、电力牵引负荷)应有两回路相互独立的电源进线，每路电源进线应能保证对全部负荷的供电。没有一级电力负荷的铁路变、配电所，应有一回路可靠的进线电源，有条件时宜设置两回路进线电源。③主变压器的台数和容量能满足规划期间供电负荷的需要，并能满足当变压器故障或检修时供电负荷的需要。在三相交流牵引变电所和铁路变电所中，当出现三级电压且中压或低压侧负荷超过变压器额定容量的15%时，通常应彩三绕组变压器为主变压器。④按电力系统无功功率就地平衡的要求，交流牵引变电所和铁路变、配电所需分层次装设并联电容补偿设备与相应主接线配电单元。为改善注入电力统的谐波含量，交流牵引变电所牵引电压侧母线，还需要考虑接入无功、谐波综合并联补偿装置回路(见并联综合补偿装置)。对于直流制干线电气化铁路，为减轻直流12相脉动电压牵引网负荷对沿线平行通信线路的干扰影响，需在牵引变电所直流正、负母线间设置550 Hz、650 Hz等谐波的并联滤波回路。⑤电源进(出)线电压等级及其回路数、断路器备用方式和检修周期，对电气主接线形式的选择有重大影响。当交、直流牵引变电所35 kV~220 kV电压的电源进线为两回路时，宜采用双T形分支接线或桥形接线的主接线，当进(出)线不超过四回路及以上时，可采用单母线或分段单母线的主接线；进(出)线为四回路及以上时，宜采用带旁路母线的分段单线主接线。对于有两路电源并联运行的6 kV~10 kV铁路地区变、配电所，宜采用带断路器分段的单母线接线；电源进线为一主一备时，分段开关可采用隔离开关。无地方电源的铁路(站、段)发电所，装机容量一般在2 000 kV·A以下，额定电压定为400 V或6.3 kV，其电气主接线宜采用单母线或隔离开关分段的单母线接线。⑥交、直流牵引变电所牵引负荷侧电气接线形式，应根据主变压器类型(单相、三相或其他)及数量、断路器或直流快速开关类型和备用方式、馈线数目和线路的年运输量或者客流量因素确定。一般宜采用单母线分段的接线，当馈线数在四回路以上时，应采用单母线分段带旁路母线的接线。

4、熟悉限制短路电流的方法：

在电力系统结构上采取措施降低短路电流：

- ①结合电力系统规划及时采用更高一级电压；
- ②贯彻电力网“分层分区”原则，在高一级电压电力网形成后，适时将低一级电压电力网解列分片运行；
- ③在必要时，两个大电网采用直流或背靠背方式连接，可以隔离互联电网间其他效益；
- ④尽量减少不同电压等级的环网；

- ⑤电力网解列或多母线运行或母线分段运行；
 - ⑥不同容量的机组应分别接入相适应电压等级的电力网，大容量电厂和机组直接接至最高一级电压电力网，发电厂之间不直接相连，避免远方电源在送电端或中途互联；
 - ⑦受端系统中大型发电厂可考虑以发电机、变压器、线路组单元方式直接接入最近的变电所或开关站。
- 在设备上采取措施：
- ①采用高阻抗变压器限制低压侧短路电流；
 - ②采用分裂电抗器或分裂绕组变压器；
 - ③采用限流电抗器或其他限流措施；
 - ④限制或不采用自耦变压器作为系统联络变压器

电力专业基础与实务（中级）考试大纲-3

二、电机与电器

（一）变压器：

1、了解三相组式变压器及三相芯式变压器结构特点

结构特点：三相组式变压器的三相磁路是相互独立，互不关联，且各磁路的几何尺寸完全相同；三相芯式变压器的三相磁路相互不独立，互相关联，各相磁路的长度不等，三项磁阻不对称。在外加对称电压时，由于中间相磁路长度小于其他两相的磁路长度，磁阻小，中间相的空载电流小于其他两相的空载电流。

2、熟悉变压器额定值的含义及作用

变压器额定值：(1) 额定电压 U_{1N}/U_{2N} 单位为 V 或者 kV。 U_{1N} 为正常运行时一次侧应加的电压。 U_{2N} 为一次侧加额定电压、二次侧处于空载状态时的电压。三相变压器中，额定电压指的是线电压；

(2) 额定容量 S_N 单位为 VA、kVA、MVA S_N 为变压器的视在功率。通常把变压器一、二次侧的额定容量设计为相同，反映变压器对外输出功率能力；

(3) 额定电流 I_{1N}/I_{2N} 单位为 A、kA。是变压器正常运行时所能承担的电流，在三相变压器中均代表线电流。
对单相变压器： $I_{1N}=S_N/U_{1N}$ $I_{2N}=S_N/U_{2N}$ 对三相变压器： $I_{1N}=S_N/[\sqrt{3}U_{1N}]$ $I_{2N}=S_N/[\sqrt{3}U_{2N}]$

(4)额定频率 f_N 单位为 Hz , 工频用 $f_N=50\text{Hz}$

此外 , 铭牌上还会给出三相联结组以及相数 m 、阻抗电压 U_k 、型号、运行方式、冷却方式和重量等数据。

3、了解变压器变比和参数的测定方法

变压器变比 : 变压器原绕组和变压器副绕组中的感应电势 , 与绕组的匝数成正比。原绕组输入电压与副绕组输出电压之比,等于它们的匝数比 , 比值 K 称为变比系数;

变压器参数测定方法 :

一、空载试验 : 空载试验一般都在低压侧施加电压 , 而将高压侧开路。这主要是从试验安全和选择仪表方便考虑的 , 这样所加电压较低 , 操作较方便 , 而且所测的是低压侧的空载电流 , 数值较大 , 准确性较高。试验时 , 在低压侧施加额定电压 , 高压侧开路 , 可测得高低压侧的电压、低压侧的空载电流和空载损耗 ; 略去空载电流在漏阻抗的压降 , 可计算出变压器的变比 , 即高、低压侧电压之比。可计算出低压侧励磁阻抗 , 即低压侧端电压与低压侧空载电流之比。铁损是空载损耗的主要成份 , 略去铜损不计 , 可计算出低压侧励磁电阻 , 即低压侧空载损耗与低压侧空载电流平方之比。随之就可算出低压侧的励磁电抗 , 即低压侧励磁阻抗的平方减去低压侧励磁电阻的平方之平方根。以上所得各阻抗类参数是低压侧的 , 分别乘以变比的平方 , 可得高压侧数值 ;

二、短路试验 : 短路试验一般在高压侧施加电压 , 而将低压侧短路 , 这样 , 试验电流较小 , 为高压侧额定电流 , 电压较高 , 是高压低的阻抗电压 , 准确性较好。根据变压器的简化等值电路 , 可测得阻抗电压、短路损耗。在短路试验时 , 高压侧电压为测得的阻抗电压 , 测得的电流为短路电流 , 一般等于额定电流 , 负载阻抗为零 , 根据基尔霍夫第二定律 , 可知短路电压等于短路电流在短路阻抗上的压降 , 从而可计算出短路阻抗 , 即短路电压与短路电流之比。也因短路电流等于额定电流 , 所以短路损耗与变压器在额定状态下的损耗相当 , 所以也叫负载损耗。因为短路试验时 , 所加电压较低 , 主磁通较小 , 故铁耗可忽略不计 , 短路损耗就等于

变压器的铜损,从而可计算出变压器的短路电阻,即短路损耗与短路电流的平方值之比。随之可用阻抗三角形,算出短路电抗。如所算阻抗类参数需按原、副边分开,可平均分配。只是所得低压侧值是折算值。由于绕组电阻随着温度变化,为了便于比较,应将所测的数值换算到 75°C 。在短路试验时,使短路电流恰为额定电流值,而加于原边的电压值称为阻抗电压,也称为短路电压,它等于额定电流在短路阻抗上的压降,通常以额定电压的百分数表示。阻抗电压有两个分量,一个是电阻电压,一个是电抗电压,也都用额定电压的百分数表示。计算时短路电阻与短路阻抗都是换算到 75°C 时的数值。阻抗电压是变压器的主要参数之一,标示在变压器的铭牌上,大小反映了变压器负载时内部压降的大小,取决于变压器的结构,从运行角度看,希望它小一些,这样可使运行中输出端的电压变动和内部容量损耗小一些;从限制短路电流的角度看,则要求短路阻抗大一些。因此它应有一个适当的值。阻抗电压的两个分量都与变压器的容量有关,电阻分量随容量的增大而减小,电抗分量随容量增大而增大,整体来看电抗分量占的比重大。

三、变压器的标么值:在变压器和电机的工程计算中,常以额定值为基值,各物理量对额定值的比值称为各量的标么值,用各量原来符号右上角加星号表示。标么值实际上是将额定值标为1,各物理量与它的比值。同理,将额定值标为100,各物理量与它的比值为百分值,标么值和百分值都是与基值相比所得的相对值。

1、空载电流的标么值:不论从原边还是副边进行计算,空载电流用标么值表示,其值都相等。所以不必指出是原边的或副边的值。2、阻抗电压的标么值:不论从原边还是副边看,其值都是一样的。3、短路阻抗的标么值:用标么值表示阻抗时,常用额定阻抗,即变压器的额定相电压与额定相电流的比值做为基值。从而不难推算出,短路阻抗的标么值等于阻抗电压的标么值,两者是同性质的物理量。实际计算中应注意,变比、参数、功率的计算均用相值,用实际值表示阻抗的大小,必须指出是在哪一边电压基础上的,否则没有意义。用标么值表示,则从哪边看进去的阻抗标么值都相等,因为两边的阻抗只差变比的平方倍,而两边阻抗的基值也只差变比的平方倍。

4、掌握变压器工作原理

变压器均有固定的铁芯,其上绕有一次与二次的线圈。基于铁材的高导磁性,大部份磁通量局限在铁芯里,因此,两组线圈藉此可以获得相当高程度之磁耦合。在一些变压器中,线圈与铁芯二者间紧密地结合,其一次与二次电压的比值几乎与二者之线圈匝数比相同。因此,变压器之匝数比,一般可作为变压器升压或降压的参考指标。变压器利用电磁感应原理,从一个电路向另一个电路传递电能或传输信号的一种电器是电能传递或作为信号传输的重要元件。变压器又是一个静止的电磁装置,可将一种电压的交流电能变换为同频率的另一种电压的交流电能,电压器的主要部件是一个铁心和套在铁心上的两个绕组。与电源相连的线圈,接收交流电能,称为一次绕组;与负载相连的线圈,送出交流电能,称为二次绕组。

一次绕组的	二次绕组的
电压相量 U_1	电压相量 U_2
电流相量 I_1	电流相量 I_2
电动势相量 E_1	电动势相量 E_2
匝数 N_1	匝数 N_2

同时交链一次，二次绕组的磁通量的相量为 φ_m ，该磁通量称为主磁通；

5、了解变压器电势平衡方程式及各量含义

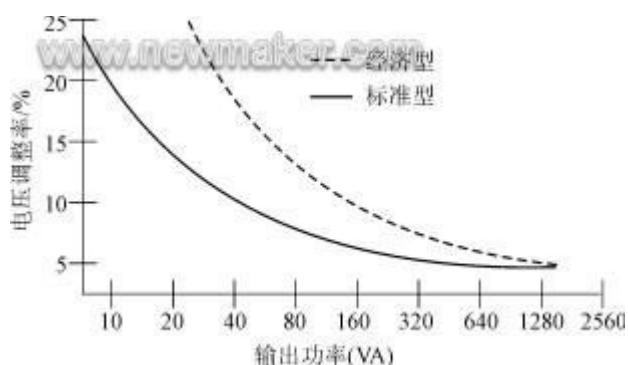
忽略一次、二次绕组的电阻和铁耗，其间耦合系数 $K=1$ 的变压器称之为理想变压器

描述理想变压器的电动势平衡方程式为： $e_1(t) = -N_1 \frac{d\varphi}{dt}$ ； $e_2(t) = -N_2 \frac{d\varphi}{dt}$ ；

若一次、二次绕组的电压、电动势的瞬时值均按正弦规律变化，则有不计铁心损失，根据能量守恒原理可得出一次、二次绕组电压和电流有效值的关系，令 $K=N_1/N_2$ ，称为匝比（亦称电压比）；

6、熟悉变压器电压调整率的定义

电压调整率是指当输入电压不变，负载电流从零升到额定值时，输出电压 U_2 的相对变化值，通常以百分数表示，电压调整率是衡量变压器负载特性的重要指标。如式(2)所示： $\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \times 100\%$ (2) 式中： ΔU ——电压调整率； U_{20} ——空载输出电压（V）； U_2 ——变压器额定负载时的输出电压（V）。

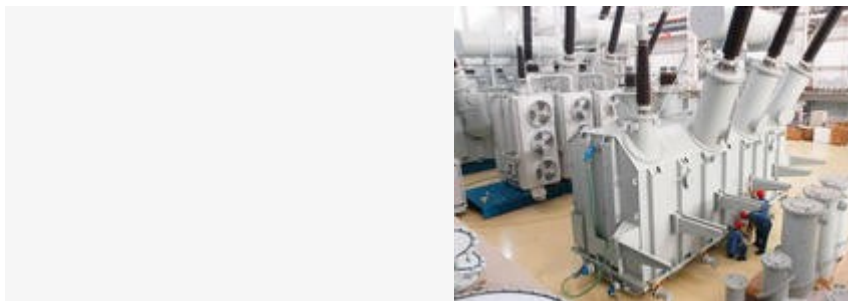


7、了解变压器在空载合闸时产生很大电流的原因

变压器合闸的瞬间，由于直流分量的作用，使铁芯饱和，绕组的阻抗降低，产生较大的电流，这个很大的电流即为变压器铁心的励磁电流。但是该电流的波形和幅值与稳态时的励磁电流有显著不同。称为合闸涌流。在交流电流的作用下，铁芯的剩磁逐步退去，电流也就恢复正常的空载励磁电流。涌流的大小和时间与变压器的容量、合闸的相角还有原来的剩磁有关；

8、了解变压器的效率计算及变压器具有最高效率的条件

在额定功率时,变压器的输出功率和输入功率的比值,叫做变压器的效率,即: $\eta = (P_2 \div P_1) \times 100\%$ 式中, η 为变压器的效率; P_1 为输入功率, P_2 为输出功率。



大功率高压配电变压器

当变压器的输出功率 P_2 等于输入功率 P_1 时,效率 η 等于 100%,变压器将不产生任何损耗。但实际上这种变压器是没有的。变压器传输电能时总要产生损耗,这种损耗主要有铜损和铁损。铜损是指变压器线圈电阻所引起的损耗,当电流通过线圈电阻发热时,一部分电能就转变为热能而损耗。由于线圈一般都由带绝缘的铜线缠绕而成,因此称为铜损。变压器的铁损包括两个方面:一是磁滞损耗,当交流电流通过变压器时,通过变压器硅钢片的磁力线其方向和大小随之变化,使得硅钢片内部分子相互摩擦,放出热能,从而损耗了一部分电能,这便是磁滞损耗。另一是涡流损耗,当变压器工作时,铁芯中有磁力线穿过,在与磁力线垂直的平面上就会产生感应电流,由于此电流自成闭合回路形成环流,且成旋涡状,故称为涡流。涡流的存在使铁芯发热,消耗能量,这种损耗称为涡流损耗。变压器的效率与变压器的功率等级有密切关系,通常功率越大,损耗就越小,效率也就越高。反之,功率越小,效率也就越低;

9、了解三相变压器联接组和铁芯结构对谐波电流、谐波磁通的影响

三相变压器绕组的联结方式对空载损耗和空载电流有一些影响。运行中变压器的三相电压是否对称,电压谐波分量和电流谐波分量取决于三相变压器绕组的联结方式。铁心的磁性联结决定了变压器能否得到与电网电压变化相对应的磁通密度变化所需的励磁电流的所有高次谐波。如果三相变压器一次绕组是中性点不接地,星形联结,二次侧是三角形联结,一次侧不能得到 2 及 3 倍数的电流谐波,所需的 2 及 3 倍数的电流谐波在三角形联结的绕组内流通。如果三相变压器绕组是星形联结,中性点与三相供电电网的中性点连

接，零序电流仅在一次侧流动，变压器处于自由励磁状态。

对中性点不接地的星形联结的绕组来说，由于 3 及 3 倍数的电流谐波不能通过，磁通中将有 3 及 3 倍数次奇次谐波存在。它将在每相中感应出电压谐波，这些高次谐波磁通分量因相位相同会离开铁心进入周围的金属结构件中，导致附加损耗增大，并可能引起局部过热。在非对称负载情况下，星形，星形绕组一次侧中性点没有引出时，一次绕组不能得到需要与二次侧零序励磁保持平衡的零序电流。合成的零序励磁将在铁心中引起电网频率的零序磁通。如果一次绕组是三角形联结，3 及 3 倍数次电流谐波出现在各相绕组中，只有铁心不对称时才会有谐波分量。如果变压器没有三角形联结绕组，三次谐波磁通便会离开铁心引起附加损耗。因此，若要消除这种由 3 及 3 倍数次谐波磁通造成的影响，变压器应至少有一个绕组要以三角形联结。

对大型变压器来说，为了补偿零序磁通，可增设三角形联结的第三绕组。星形星形联结的变压器采用三角形第三绕组的理由是：1 减小 3 次谐波分量；2 可为不平衡的三相负载供电；3 可对第 3 绕组的辅助负载供电。

如果铁心是三相三柱式结构，三次谐波磁通或零序磁通要通过上铁轭、油箱壁和下铁轭，在此回路中，磁阻较大。大型三相五柱式变压器绕组如果采用 YNyn 联结，必须增设 d 联结第三绕组。要求第三绕组有高的机械强度，并对两个主绕组有足够大的阻抗，以便承受主绕组的短路作用。第三绕组通常布设在铁心与低压

绕组之间 ,用来补偿零序磁通的第三绕组端子不从变压器顶部引出 ,仅引出一、两个端子以便接地 ,引出的端子不能接负载。

10、了解用变压器组接线方式及极性端判断三相变压器联接组别的方法

变压器的接线组别就是变压器一次绕组和二次绕组组合接线形式的一种表示方法 ; 常见的变压器绕组有二种接法 , 即“三角形接线”和“星形接线” ; 在变压器的联接组别中“D 表示为三角形接线 , “Yn”表示为星形带中性线的接线 , Y 表示星形 , n 表示带中性线 ; “11”表示变压器二次侧的线电压 U_{ab} 滞后一次侧线电压 U_{AB} 330 度(或超前 30 度)。变压器的联接组别的表示方法是 : 大写字母表示一次侧(或原边) 的接线方式 , 小写字母表示二次侧(或副边) 的接线方式。Y(或 y) 为星形接线 , D(或 d) 为三角形接线。数字采用时钟表示法 , 用来表示一、二次侧线电压的相位关系 , 一次侧线电压相量作为分针 , 固定指在时钟 12 点的位置 , 二次侧的线电压相量作为时针。“Yn , d11” , 其中 11 就是表示 : 当一次侧线电压相量作为分针指在时钟 12 点的位置时 , 二次侧的线电压相量在时钟的 11 点位置。也就是 , 二次侧的线电压 U_{ab} 滞后一次侧线电压 U_{AB} 330 度(或超前 30 度)。变压器二个绕组组合起来就形成了 4 种接线组别 : “Y , y”、“D , y”、“Y , d”和“D , d”。我国只采用“Y , y”和“Y , d”。由于 Y 连接时还有带中性线和不带中性线两种 , 不带中性线则不增加任何符号表示 , 带中性线则在字母 Y 后面加字母 n 表示。n 表示中性点有引出线。Yn0 接线组别 , U_{AB} 与 u_{ab} 相重合 , 时、分针都指在 12 上。“12”在新的接线组别中 , 就以“0”表示 ;

11、了解变压器的绝缘系统及冷却方式、允许温升

变压器绝缘系统是由内绝缘和外绝缘构成。内绝缘 : 1、绕组绝缘 ; 2、引线及分接开关绝缘 ; 3、套管内绝缘、套管下部油中的液面绝缘 ; 外绝缘 : 1、套管上部空气中的绝缘 ; 2、套管之间或对地的空气绝缘 ; 绝缘等级是指其所用绝缘材料的耐热等级 , 分 A、E、B、F、H 级 ,

最高允许温度 (°C)	105	120	130	155	180
-------------	-----	-----	-----	-----	-----

绕组温升限值 (K)	60	75	80	100	125
------------	----	----	----	-----	-----

性能参考温度 (°C)	80	95	100	120	145
-------------	----	----	-----	-----	-----

变压器冷却方式 : 变压器常用的冷却方式有以下几种 : 1、油浸自冷 ; 2、油浸风冷 ; 3、强迫油循环风冷 ; 4、强迫油循环水冷 ; 5、强迫导向油循环风冷 ; 6、强迫导向油循环水冷 ;

变压器允许温升 :

1、允许运行温度 : 在变压器运行中 , 电能 在铁芯和绕组中的损耗转变为热能 , 引起各部位发热 , 使变压器

油温升高,当热量向周围辐射传导、发热和散热达到平衡状态时,各部位的温度趋于稳定。变压器运行时,其内部各部分的温度是不同的,其中,绕组的温度最高,其次是铁芯,绝缘油的温度最低。为了便于监视运行中变压器各部分温度的情况,规定以上层油温来确定变压器运行中的允许温度。采用 A 级绝缘的变压器(我国电力变压器大部分采用 A 级绝缘)在正常运行中,当周围空气温度最高为 40°C 时,变压器绕组的极限工作温度为 105°C 。由于绕组的平均温度比油温高 10°C ,同时为了防止油质劣化,所以规定变压器上层油温最高不得超过 95°C 。而若变压器的温度长时间超过允许值,则变压器的绝缘容易损坏。因为绝缘材料长期受热后要老化,温度越高,绝缘老化越快。当绝缘老化到一定程度时,在运行的震动和电动力的作用下,绝缘容易破坏,且易发生电气击穿而造成故障,因此变压器必须在其允许的温度范围内运行,以保证变压器合理的使用寿命。

2、温升:变压器温度与周围空气温度的差值叫变压器的温升。对变压器在额定负荷时各部分的温升作出的规定为允许温升。对 A 级绝缘的变压器,当周围最高温度为 40°C 时,国家标准规定绕组的温升为 65°C ,上层油温的允许温升为 55°C ,只要上层油温及其温升不超过规定值,就能保证变压器在规定的使用年限内安全运行;

(二) 感应电机:

1、了解感应电动机的种类及主要结构

感应电动机是由定子绕组形成的旋转磁场与转子绕组中感应电流的磁场相互作用而产生电磁转矩,进而驱动转子旋转的交流电动机,也称为异步电动机。1.按工作电源可分为直流电动机和交流电动机;2.按结构及工作原理可分为异步电动机和同步电动机;3.按起动与运行方式分为电容起动式单相异步电动机、电容运转式单相异步电动机、电容起动运转式单相异步电动机和分相式单相异步电动机;4.按用途分类可分为驱动用电动机和控制用电动机;5.按转子结构可分为笼型感应电动机和绕线转子感应电动机;6.按运转速度分为高速电动机、低速电动机、恒速电动机、调速电动机;7.按防护型式分为开启式、封闭式、网罩式、防滴式、防溅式、封闭式、防水式、水密式、潜水式、隔爆式;8.按通风冷却方式分为自冷式、自扇冷式、他扇冷式、管道通风式、液体冷却、闭路循环气体冷却、表面冷却和内部冷却;9.按安装结构型式可分为卧式安装、立式安装;10.按绝缘等级分为:A级、E级、B级、F级、H级、C级;11.按额定工作制分为:连续、断续、短时工作制;

基本结构 (一) 定子(静止部分):1.定子铁心作用:电机磁路的一部分,并在其上放置定子绕组,构造:定子铁心一般由 $0.35\sim 0.5$ 毫米厚表面具有绝缘层的硅钢片冲制、叠压而成,在铁心的内圆冲有均匀分布的

槽,用以嵌放定子绕组。定子铁心槽型有以下几种:半闭口型槽:电动机的效率和功率因数较高,但绕组嵌线和绝缘都较困难。一般用于小型低压电机中。半开口型槽:可嵌放成型绕组,一般用于大型、中型低压电机。所谓成型绕组即绕组可事先经过绝缘处理后再放入槽内。开口型槽:用以嵌放成型绕组,绝缘方法方便,主要用在高压电机中。

2. 定子绕组作用:是电动机的电路部分,通入三相交流电,产生旋转磁场。构造:由三个在空间互隔 120° 电角度、队称排列的结构完全相同绕组连接而成,这些绕组的各个线圈按一定规律分别嵌放在定子各槽内。定子绕组的主要绝缘项目有以下三种:(保证绕组的各导电部分与铁心间的可靠绝缘以及绕组本身间的可靠绝缘)。

1. 对地绝缘:定子绕组整体与定子铁心间的绝缘。

2. 相间绝缘:各相定子绕组间的绝缘。

3. 匝间绝缘:每相定子绕组各线匝间的绝缘。

电动机接线盒内的接线:电动机接线盒内都有一块接线板,三相绕组的六个线头排成上下两排,并规定上排三个接线桩自左至右排列的编号为1(U_1)、2(V_1)、3(W_1),下排三个接线桩自左至右排列的编号为6(W_2)、4(U_2)、5(V_2),将三相绕组接成星形接法或三角形接法。凡制造和维修时均应按这个序号排列。

3. 机座作用:固定定子铁心与前后端盖以支撑转子,并起防护、散热等作用。构造:机座通常为铸铁件,大型异步电动机机座一般用钢板焊成,微型电动机的机座采用铸铝件。封闭式电机的机座外面有散热筋以增加散热面积,防护式电机的机座两端端盖开有通风孔,使电动机内外的空气可直接对流,以利于散热。

(二) 转子(旋转部分)

1. 三相异步电动机的转子铁心:作为电机磁路的一部分以及在铁心槽内放置转子绕组,所用材料与定子一样,由0.5毫米厚的硅钢片冲制、叠压而成,硅钢片外圆冲有均匀分布的孔,用来安置转子绕组。通常用定子铁心冲落后的硅钢片内圆来冲制转子铁心。一般小型异步电动机的转子铁心直接压装在转轴上,大、中型异步电动机(转子直径在300~400毫米以上)的转子铁心则借助与转子支架压在转轴上。

2. 三相异步电动机的转子绕组:切割定子旋转磁场产生感应电动势及电流,并形成电磁转矩而使电动机旋转。构造:分为鼠笼式转子和绕线式转子。

1. 鼠笼式转子:转子绕组由插入转子槽中的多根导条和两个环行的端环组成。若去掉转子铁心,整个绕组的外形像一个鼠笼,故称笼型绕组。小型笼型电动机采用铸铝转子绕组,对于100KW以上的电动机采用铜条和铜端环焊接而成。

2. 绕线式转子:绕线转子绕组与定子绕组相似,也是一个对称的三相绕组,一般接成星形,

三个出线头接到转轴的三个集流环上,再通过电刷与外电路联接。特点:结构较复杂,故绕线式电动机的应用不如鼠笼式电动机广泛。但通过集流环和电刷在转子绕组回路中串入附加电阻等元件,用以改善异步电动机的起、制动性能及调速性能,故在要求一定范围内进行平滑调速的设备,如吊车、电梯、空气压缩机等上面采用。(三)三相异步电动机的其它附件:1.端盖:支撑作用。2.轴承:连接转动部分与不动部分,3.轴承端盖:保护轴承。4.风扇:冷却电动机;

2、熟悉感应电动机转矩、额定功率、转差率的概念及其等值电路

电动机转矩就是转动力量的大小。转矩是一种力矩,力矩在物理中的定义是:力矩 = 力 $\times$ 力臂;这里的力臂就可以看成电机所带动的物体的转动半径。电动机的转矩 = 皮带轮拖动皮带的力 $\times$ 皮带轮的半径。电动机的转矩与旋转磁场的强弱和转子笼条中的电流成正比,和电源电压的平方成正比所以转矩是由电流和电压的因素所决定的,计算公式是 $T=9549 \cdot P / n$ 。P 是电机的额定功率单位是千瓦(KW),分母是额定转速 n,单位是转每分(r/min);

额定功率:表示额定运行时电动机轴上输出的额定机械功率,单位 KW 或 HP,1HP=0.736KW;

转差率:转差率就是定子旋转磁场转速与转子转速之差再除以定子旋转磁场转速;

等值电路:感应电动机的等值电路为“T”型;由电阻和感抗组成;

3、了解感应电动机三种运行状态的判断方法

三种运行状态:1、转子转速低于旋转磁场转速,且方向相同,电磁转矩是驱动性质,电机处于电动机状态,转差率 $0 < s < 1$;2、转子转速高于旋转磁场转速,且方向相同,电磁转矩是制动性质,电机处于发电机状态,转差率 $s < 0$;3、转子转向与旋转磁场转向相反,电机转矩是制动性质,电机处于电磁制动状态,转差率 $s > 1$;

电机处于电动机运行时的三种状态:1、电动机空载运行状态,电机电流一般为 $1/3$ 额定电流左右;电动机轻载运行状态,电机电流一般为 $2/3$ 额定电流左右;电动机满载运行状态,电机电流一般为 $3/3$ 额定电流左右;

4、熟悉感应电动机的工作特性

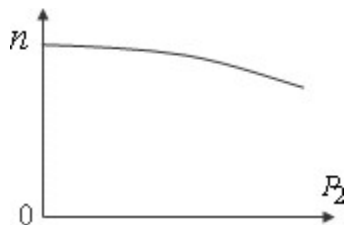
感应电动机的工作特性是指在额定电压,定频率条件下,电动机的转速 n 、定子电流 I_1 、功率因数、电磁转矩 T 、效率等与输出功率 P_2 的关系。即:

$$U_1 = U_e, f = f_e \text{ 时, } n, I_1, \cos \varphi_1, T, \eta = f(P_2)$$

一、工作特性的分析：

1、转速特性：

空载时，转子转速接近于同步转速。随着负载的增大，转速降低。是一条稍微向下倾斜的曲线。



2、电流特性：

随负载的增大而增大，空载时，有一空载励磁电流 I_m 。

3、功率因数特性：

感应机的总阻抗是电感性的，其功率因数总是滞后的。

4、电磁转矩特性：

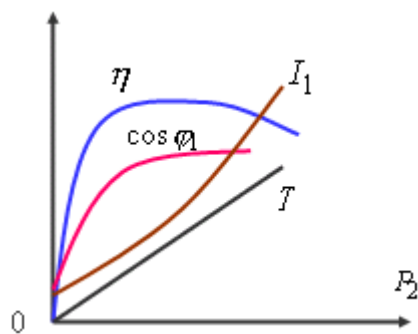
近似为一条斜率为 $1/\Omega$ 的直线。

5、效率特性：

可变损耗，不可变损耗；二者相等时，效率达最大值。

二、工作特性的测取：

直接负载法或等值电路计算。 $I_1, \cos \varphi_1, T, \eta$



5、熟悉感应电动机的启动特性：

感应电动机的启动特性为：1、定子电流大；2、启动转矩小；

6、了解感应电动机常用的启动方法

感应电动机常用启动方法：1、直接启动；2、在定子绕组串接电阻或电抗启动降压启动；3、Y/Δ降压启动；

7、了解感应电动机常用的调速方法

感应电动机常用调速方法：1、变极调速；2、调压调速；3、变频调速；

8、了解转子电阻对感应电动机转动性能的影响

依照三相异步电动机的转矩特性得知,电动机转矩跟转子电阻的平方成反比；最大转矩跟转子电阻无关；
临界转差率跟转子电阻成正比；

9、了解电机的发热过程、绝缘系统、允许温升及其冷却方式

电机的发热过程：

1. 电机定、转子之间气隙很小，容易导致定、转子之间相碰：

在中、小型电机中，气隙一般为 0.2mm~1.5mm。气隙大时，要求励磁电流大，从而影响电机的功率因数；气隙太小，转子有可能发生摩擦或碰撞。一般由于轴承严重超差及端盖内孔磨损变形，使机座、端盖、转子三者不同轴心引起扫膛，很容易使电机发热甚至烧毁。如发现轴承磨损应及时更换，对端盖进行更换或刷镀处理，比较简单的处理方法是给端盖镶套。

2. 电机的不正常振动或噪音容易引起电机的发热：

这种情况属于电机本身引起的振动，多数是由于转子动平衡不好，以及轴承不良、转轴弯曲，端盖、机座、转子不同轴心，紧固件松动或电机安装地基不平、安装不到位造成的，也可能是机械端传递过来的，应针对具体情况排除。振动不仅会产生噪声，还会产生额外负荷；

3. 轴承工作不正常，必定造成电机发热 轴承工作是否正常可凭听觉及温度经验来判断。可用手或温度计检测轴承端判断其温度是否在正常范围内；也可用听棒（铜棒）接触轴承盒，若听到冲击声，就表示可能有一只或几只滚珠轧碎，如果听到有咝咝声，那就是表示轴承的润滑油不足，电机应在运行 3,000 小时~5,000 小时左右换一次润滑脂；

4. 电源电压偏高，励磁电流增大，电机过度发热

过高的电压会危及电机的绝缘，使其有被击穿的危险。电源电压过低时，电磁转矩就会大大降低，如果负载转矩没有减小，转子转数过低，这时转差率增大会造成电机过载而发热，长时间过载会影响电机的寿命。当三相电压不对称时，即一相电压偏高或偏低时，会导致某相电流过大，电机发热，同时转矩减小会发出“嗡嗡”声，时间长了会损坏绕组。总之，无论电压过高、过低或三相电压不对称都会使电流增加，电机发热而损坏电机。因此按照国家标准，电机电源电压的变化应不超出额定值的±5%，电机输出功率可保持额定值。电

机电源电压不允许超过额定值的 $\pm 10\%$ ，三相电源电压之间的差值不应超出额定值的 $\pm 5\%$ ；

5. 绕组短路，匝间短路，相间短路和绕组断路：

绕组中相邻两条导线之间的绝缘损坏后，使两导体相碰，称为绕组短路。发生在同一绕组中的绕组短路称为匝间短路。发生在两相绕组之间的绕组短路称为相间短路。不论是那一种，都会使某一相或两相电流增加，引起局部发热，使绝缘老化损坏电机。绕组断路是指电机的定子或转子绕组碰断或烧断造成的故障。不论是绕组短路或断路都可能引起电机发热甚至烧毁。因此，发生这种情况后必须立即停机处理：

6. 物料泄露进入电机内部，使电机的绝缘降低，从而使电机的允许温升降低：

固体物料或粉尘从接线盒处进入电机内部，则会到达电机定子、转子的气隙之间，造成电机扫膛，直到磨坏电机绕组绝缘，使电机损坏或报废。如果液体和气体介质泄漏进入电机内部，将会直接造成电机绝缘下降而跳闸。一般液体和气体泄漏有以下几种表现形式：(1)各种容器和输送管道泄漏、泵体密封泄漏、冲洗设备和地面等。如我公司洗瓶机碱液泵曾经由于机械密封磨损，水进入电机内部而烧毁电机；(2)机械油泄漏后从前端轴承盒缝隙中进入电机；(3)与电机相连的减速机油封磨损，机械润滑油顺着电机轴进入，在电机内部积聚后，溶解电机绝缘漆，使电机绝缘性能逐步降低。如果发现电机有漏油情况就立即更换处理。一般是用灯泡或碘钨灯泡进行烘烤，用500V兆欧表测量电机三相绕组对机壳的绝缘电阻值。要求电阻值高于0.5 M Ω 才可使用；

7. 几乎有一半以上电机烧毁都是由于电机缺相运行引起的：

缺相常常造成电机不能运行或启动后转速缓慢，或转动无力电流增大有“嗡嗡”的响声现象。如果轴上负载没有改变，则电机处于严重过载状态，定子电流将达到额定值的2倍甚至更高。短时间内电机就会发热甚至烧毁。造成缺相运行的主要原因如下：(1)电源线路上因其它设备故障引起一相断电，接在该线路上的其它三相设备就会缺相运行；(2)断路器或接触器一相由于偏电压烧毁或接触不良造成缺相；(3)电机接进线由于老化、磨损等原因造成的缺相；(4)电机一相绕组断路，或接线盒内一相接头松脱。为了预防电机出现缺相运行，除了正确选用和安装低压电器和保护装置外，还应严格执行有关规范，敷设馈电线路，同时加强定期检查和维护；

8. 其它非机械电气故障原因

其它非机械电气故障原因造成的电机温度升高，严重时也可能导致电机故障。如环境温度高，电机缺少风扇、风扇不完整或缺少风扇罩。这种情况下必须强制冷却保证通风或更换风叶等，否则无法保证电机的正常运行；

高压电机的绝缘系统：1、定子绝缘系统；2、转子绝缘系统。

定子绝缘系统包括：1、线圈绝缘系统；2、配套绝缘系统及配套材料；3、铁芯绝缘；4、绝缘处理；

转子绝缘系统包括：1、凸极式转子绝缘；2、隐极式转子绝缘；3、绕线式转子绝缘；4、鼠笼式转子绝缘；

低压电机的绝缘系统：1、导线绝缘；2、匝间绝缘；3、层间绝缘；4、相间绝缘；5、固定支撑和绑扎绕组的绝缘；6、对地绝缘；7、引接线绝缘和绝缘处理；

电机允许温升：电机允许温升是指电机温度与环境温度的差值，由电机发热引起，也是绝缘等级温度与环境温度的差值。绝缘材料的允许温度就是电机的温度，绝缘材料的寿命就是电机的寿命；

电机冷却方式：1、按照冷却部位分为：表面冷却和内部冷却；2、按照冷却形式分为：空冷、水冷和蒸发冷却；

10、了解感应电动机拖动的形式及各自的特点

异步电动机拖动按照转子结构分为两种形式：鼠笼式、绕线式；

异步电动机拖动的基本特点是，转子绕组不需与其他电源相连，其定子电流直接取自交流电力系统；与其他电机相比，异步电动机拖动的结构简单，制造、使用、维护方便，运行可靠性高，重量轻，成本低；

11、了解感应电动机运行及维护工作要点；

电动机运行要点：1、电动机可在额定温度下按厂家铭牌数据长期运行；2、三相交流电动机的标准电压，高压电动机为 6KV，低压电动机为 380V；3、电动机一般可在额定电压变动-5%至 10%的范围内运行，其额定出力不变；4、电动机在额定出力运行时，其三相不平衡电压差不得超过额定电压的 5%，三相不平衡电流差不得超过额定电流的 10%，并且在任一相电流不得超过额定值；5、电动机运行时，各部的允许温度与温升，应按厂家铭牌规定执行，无铭牌规定可按下表规定执行(环境温度按+35℃计算)；6、电动机运行时的轴向串动值，滑动轴承不超过 2—4mm，滚动轴承不超过 0.05mm；7、6KV 电动机应用 1000V—2500V 摇表测量绝缘电阻，在常温下，其值不应低于 6MΩ；8、380V 及以下低压电动机，用 500V—1000V 摇表测量绝缘电阻，在 50℃以上，其值不应低于 0.5 MΩ；9、电动机停用不超过一周，切未经检修，送电或起动前可不测绝缘，超过一周虽没超过一周，但遇电动机进汽、淋水等异常情况，则在送电或起动前应测绝缘；10、互为备用的电动机，每半月应轮换运行一次或采用试转半小时的方式，以提高其备用电动机绝缘；电动机维护要点：1、电动机电流、电压在规定范围内；2、电动机无噪音，金属撞击声、烟气及焦味；3、振动、串动不应超过规定值；4、各部温度不超过规定值；5、基础及各部螺丝、接地线牢固；6、电动机开关、接触器、刀闸及电缆头不应有过热变色及漏油现象；7、各轴承应无漏油、甩油及过热，油温、油色正常，油环带油正常；8、装有通风机的电动机，应检查通风机运行正常，通风道清洁无杂物，不应有进汽进水受潮现象，对大型密闭式冷却的电动机应检查冷却水系统运行是否正常；9、低压电机保险丝额定电流为其额定电流的 2—2.5 倍；

12、了解异步发电机基本工作原理：

发电机主要由定子、转子、端盖、电刷、机座及轴承等部件构成。定子由机座、定子铁芯、线包绕组、以及固定这些部分的其他结构件组成。转子由转子铁芯、转子磁极(有磁扼、磁极绕组)、滑环、(又称铜环、集电环)、风

扇及转轴等部件组成。通过轴承、机座及端盖将发电机的定子，转子连接组装起来，使转子能在定子中旋转，通过滑环通入一定励磁电流，使转子成为一个旋转磁场，定子线圈做切割磁力线的运动，从而产生感应电势，通过接线端子引出，接在回路中，便产生了电流。由于电刷与转子相连处有断路处，使转子按一定方向转动，产生交变电流所以家庭电路等电路中是交变电流，简称交流电。我国电网输出电流的频率是 50 赫兹；

(三) 同步电机：

1、了解同步电机额定值的含义

同步电机的额定值有：

额定容量 S_N (VA, kVA, MVA 等) 或额定功率 P_N (W, kW, MW 等)：指电机输出功率的保证值。发电机通过额定容量值可以确定电枢电流，通过额定功率可以确定配套原动机的容量。电动机的额定容量一般用 kW 数表示，补偿机则用 kVAR 表示；

额定电压 U_N (V, kV 等)：指额定运行时定子输出端的线电压；

额定电流 I_N (A)：指额定运行时定子的线电流；

额定功率因数 $\cos \varphi_N$ ：额定运行时电机的功率因数；

额定频率 f_N ：额定运行时电机电枢输出端电能的频率，我国标准工业频率规定为 50Hz；

额定转速 n_N ：额定运行时电机的转速，即同步转速。除上述额定值外，同步电机名牌上还常列出一些其它的运行数据，例如额定负载时的温升 τ_N 、励磁容量 P_{fN} 和励磁电压 U_{fN} 等。

2、了解同步电机电枢反应的基本概念

电枢绕组电流所产生的基波磁势对转子主极磁场基波的作用和影响。当电枢绕组中没有电流通过时，由磁极所形成的磁场称为主磁场，近似按正弦规律分布。当电枢绕组中有电流通过时，绕组本身产生一个磁场，称为电枢磁场。电枢磁场对主磁场的作用将使主磁场发生畸变，产生电枢反应；(1) 纯电阻性负载时的电枢反应：电枢磁场的电动势与电流相位相同，电枢磁场使主磁场发生畸变，一半加强，一半削弱；(2) 纯电感性负载时的电枢反应：电枢磁场的电流滞后于电动势 90 度，电枢磁场产生的电动势与主磁场产生的电动势方向相反，因此削弱了主磁场电动势，这就是为什么三相电路中含有电感性元件时电压下降的原因；这时叫做纵轴去磁电枢反应；(3) 纯电容性负载时的电枢反应：电枢磁场的电流超前于电动势 90 度，因电枢磁场与主磁场成 90 度，电枢磁场产生的电动势与主磁场产生的电动势方向相同，因此加强了主磁场电动势，这就是为什么三相电路中含有电容性元件时端电压上升的原因；这时叫做纵轴辅助磁电枢反应；

3、了解电枢反应电抗及同步电抗的含义

电枢反应电抗：当三相对称电枢电流流过电枢绕组时，将产生旋转的电枢磁势 $\vec{F}_a$ ， $\vec{F}_a$ 将在电机内部产生跨过气隙的电枢反应磁通 $\vec{\Phi}_a$ 和不通过气隙的漏磁通 $\vec{\Phi}_\sigma$ ， $\vec{\Phi}_a$ 和 $\vec{\Phi}_\sigma$ 将分别在电枢各相绕组中感应出电枢反应电势 $\vec{E}_a$ 和漏磁电势 $\vec{E}_\sigma$ 。 $\vec{E}_a$ 与电枢电流 $\vec{I}_a$ 的大小成正比(不计饱和)，比例常数称 X_a 为电枢反应电抗。考虑到相位关系后，每相电枢反应电势为：

$$\vec{E}_a = -jX_a \vec{I}_a \quad (16-3)$$

电枢反应电抗的大小和电枢反应磁通 Φ_a 所经过磁路的磁阻成反比，磁阻与电枢磁势 $\vec{F}_a$ 轴线的
位置有关。

同步电抗：同步电抗就是电枢绕组的漏电抗和电枢反应电抗之和；

4、了解同步发电机并入电网的条件及方法

同步发电机并入电网的条件：1，发电机电压的有效值和电网电压的有效值相等；2，发电机电压的相
位和电网电压的相位相同；3，发电机的频率和电网的频率相等；4，发电机电压的相序和电网的相序
一致；

同步发电机并入电网的方法：

并入电网的方法为：

1、同步指示法：

1、1：灯光明暗法：如图 17.3a 所示，将三只灯泡直接跨接于电网与发电机的对应相之间。并车方法为：①
通过调节发电机励磁电流的大小使得；②电压调整好后，如果相序一致，灯光应表现为明暗交替，如果灯光
不是明暗交替，则说明相序不一致，这时应调整发电机的出线相序或电网的引线相序，严格保证相序一致；
③通过调节发电机的转速改变的频率，直到灯光明暗交替十分缓慢时，说明和的频率已十分接近，这时等待
灯光完全变暗的瞬间到来，即可合闸并车。

1、2：灯光旋转法：图 17.3b 和图，灯 1 跨接于 A1B，灯 2 跨接于 B1A，灯 3 跨接于 C1C。旋转法并车方法为：
①通过调节发电机励磁电流的大小使得；②电压调整好后，如果相序一致，则灯光旋转，否则说明相序不一
致，这时应调整发电机的出线相序或电网的引线相序，严格保证相序一致；③通过调节发电机的转速改变
的频率，直到灯光旋转十分缓慢时，说明和频率已十分接近，这时等待灯 3 完全熄灭的瞬间到来，即可合
闸并车。灯光法又称为理想整步法。由于它对并车条件逐一检查和调整，所以费时较多。

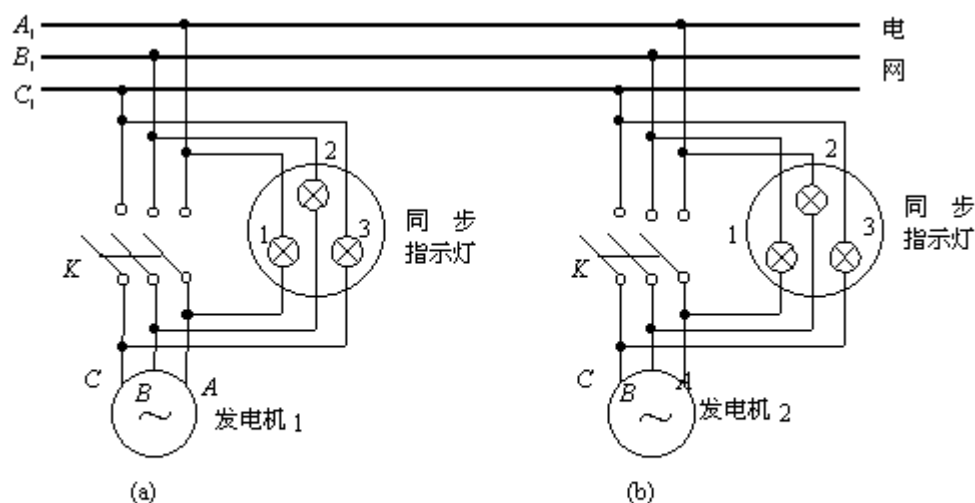


图 17.3 三相同步发电机整步

(a) 灯光明暗法 (b) 灯光旋转法

2、自整步法

自整步法是在相序一致的情况下将励磁绕组通过适当的电阻短接，再用原动机把发电机拖动到接近同步速(相差 2~5%)，在没有接通励磁电流的情况下将发电机接入电网，再接通励磁并调节励磁强弱，依靠定子磁场和转子磁场之间的电磁转矩将转子拉入同步转速，并车过程即告结束。需要注意的是，励磁绕组必须通过一限流电阻短接，因为直接开路，将在其中感应出危险的高压；直接短路，将在定、转子绕组间产生很大的冲击电流。自同步法的优点是：操作简单，方便快捷；缺点是：合闸时有冲击电流。

5、了解同步发电机有功功率及无功功率的调节方法；

同步发电机有功功率调节方法： 功角特性

功角特性指的是电磁功率 P_M 随功角 δ 变化的关系曲线 $P_M=f(\delta)$ 的。

$$P_M = m \frac{UE_0}{X_d} \sin \delta + m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta$$

凸极电机

令 $\frac{dP_M}{d\delta} = 0$ 可以求出对应于最大

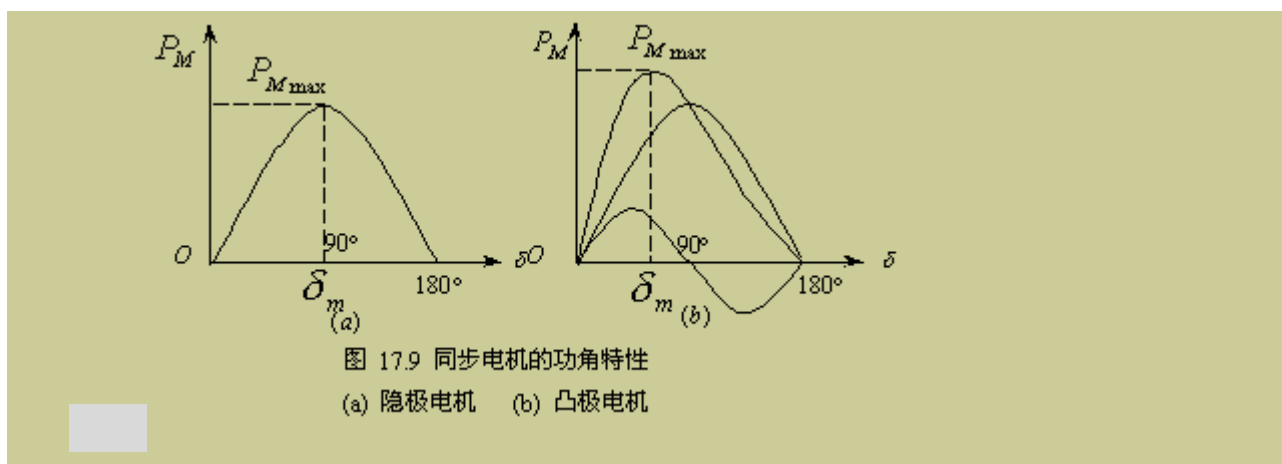
电磁功率 $P_{M\max}$ 的功角 δ_m ，一般来说凸极电机的 δ_m 在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

$$P_M = m \frac{UE_0}{X_s} \sin \delta$$

隐极电机

最大功率与额定功率的比值定义为同步发电机的过载能力。对隐极电机来说

$$K_M = \frac{P_{M\max}}{P_N} = \frac{1}{\sin \delta_N}$$



功角特性 $P_M = f(\delta)$ 反映了同步发电机的电磁功率随着功角变化的情况。稳态运行时，同步发电机的转速由电网的频率决定，恒等于同步转速，即，发电机的电磁转矩 T_M

和电磁功率 P_M 之间成正比关系： $T_M = \frac{P_M}{\Omega}$ 电磁转矩与原动机提供的动力转矩相平衡 $T_1 = T_M + T_0$ 其中 T_0 为空载转矩因摩擦、风阻等引起的阻力转矩）。

可见要改变发电机输送给电网的有功功率，就必须改变原动机提供的动力转矩，这一改变可以通过调节水轮机的进水量或汽轮机的汽门来达到。

当功角处于 0 到 δ_m 范围内时，随着 δ 的增大， P_M 亦增大，同步发电机在这一区间能够稳定运行。而当 $\delta > \delta_m$ 时，随着 δ 的增大， P_M 反而减小，电磁功率无法与输入的机械功率相平衡，发电机转速越来越大，发电机将失去同步，故在这一区间发电机不能稳定运行。

同步发电机失去同步后，必须立即减小原动机输入的机械功率，否则将使转子达到极高的转速，以致离心力过大而损坏转子。另外，失步后，发电机的频率和电网频率不一致，定子绕组中将出现一个很大的电流而烧坏定子绕组。因此，保持同步是十分重要的。

综上所述：并联于电网的发电机所承担的有功功率可以通过调节原动机输入的机械功率来改变的。而且电机承担的有功功率的极限是 $P_{M\max}$ 。当 $0 < \delta < \delta_m$ 时发电机可以稳定运行； $\delta > \delta_m$ 发电机不能稳定运行。

同步发电机无功功率调节方法：1、通过调节励磁电流可以达到调节同步发电机无功功率的目的。当从某一欠励状态开始增加励磁电流时，发电机输出的超前的无功功率开始减少，电枢电流中的无功分量也开始减少；达到正常励磁状态时，无功功率变为零，电枢电流中的无功分量也变为零，此时；如果继续增加励

磁电流，发电机将输出滞后性的无功功率，电枢电流中的无功分量又开始增加；2、当发电机的励磁电流不变时， δ 的变化也将无功功率的变化。无功功率随着有功功率的增加而减少，甚至可能导致无功功率改变符号，这是应当避免的。因此如果只要求改变发电机所承担的有功功率时，应该在调节发电机有功功率的同时适当调节发电机的无功功率；

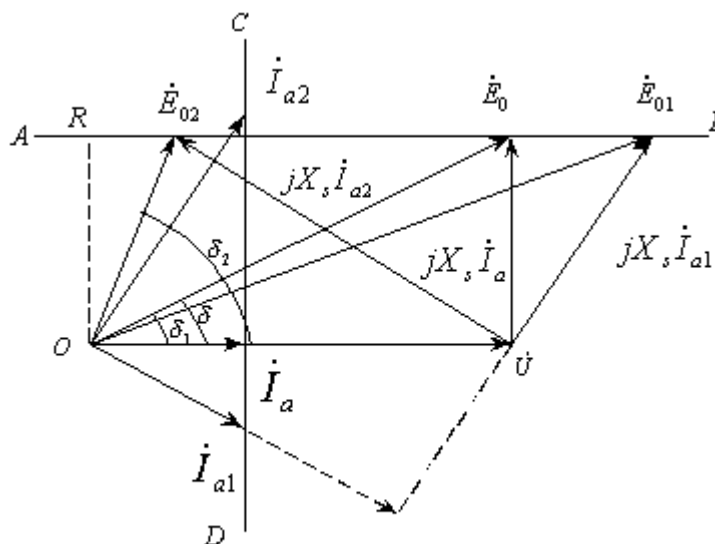


图 17.11 同步发电机无功功率的调节

6、了解同步电动机的运行特性

7、了解同步发电机的绝缘系统、允许温升及其冷却方式

8、了解同步发电机的励磁系统

获得励磁电流的方法称为励磁方式。目前采用的励磁方式分为两大类：一类是用直流发电机作为励磁电源的直流励磁机励磁系统；另一类是用硅整流装置将交流转化成直流后供给励磁的整流器励磁系统。现说明如下：

1、直流励磁机励磁：直流励磁机通常与同步发电机同轴，采用并励或者他励接法。采用他励接法时，励磁机的励磁电流由另一台被称为副励磁机的同轴的直流发电机供给。如图 15.5 所示。

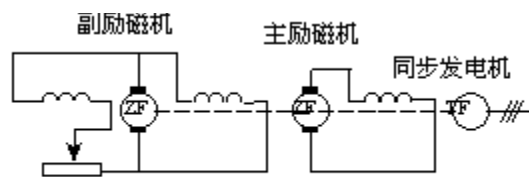


图15.5 直流励磁机励磁

2、静止整流器励磁：同一轴上有三台交流发电机，即主发电机、交流主励磁机和交流副励磁机。副励磁机的励磁电流开始时由外部直流电源提供，待电压建立起来后再转为自励（有时采用永磁发电机）。副励磁机的输出电流经过静止晶闸管整流器整流后供给主励磁机，而主励磁机的交流输出电流经过静止的三相桥式硅整流器整流后供给主发电机的励磁绕组。（见图 15.6）

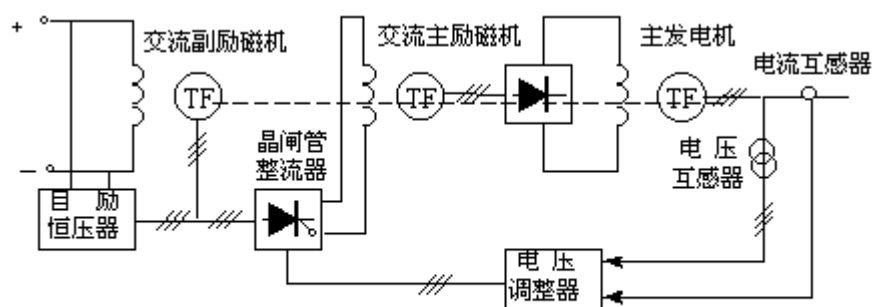


图 15.6 静止整流器励磁系统

3、旋转整流器励磁：静止整流器的直流输出必须经过电刷和集电环才能输送到旋转的励磁绕组，对于大容量的同步发电机，其励磁电流达到数千安培，使得集电环严重过热。因此，在大容量的同步发电机中，常采用不需要电刷和集电环的旋转整流器励磁系统，如图 15.7 所示。主励磁机是旋转电枢式三相同步发电机，旋转电枢的交流电流经与主轴一起旋转的硅整流器整流后，直接送到主发电机的转子励磁绕组。交流主励磁机的励磁电流由同轴的交流副励磁机经静止的晶闸管整流器整流后供给。由于这种励磁系统取消了集电环和电刷装置，故又称为无刷励磁系统。

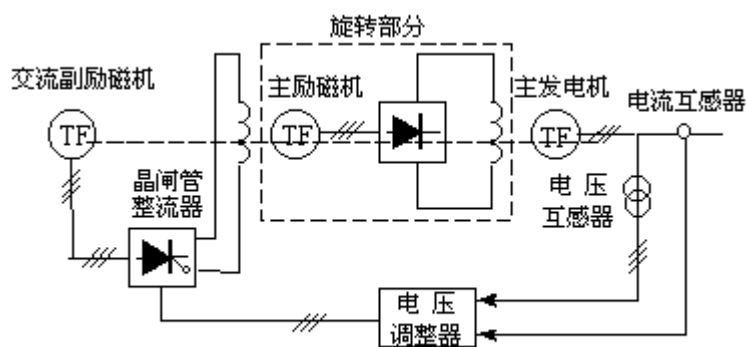


图 15.7 旋转整流器励磁系统

9、了解同步发电机的运行及维护工作要点

当空载运行时,励磁电势随励磁电流变化的关系 称为同步发电机的空载特性。励磁电势的大小(有效值)与转子每极磁通成正比,而励磁电流的大小又和作用于同步电机磁路上的励磁磁势 正比例变化,所以空载特性与电机磁路的磁化曲线具有类似的变化规律。如图 16.2 所示。

由图可见,当励磁电流较小时,由于磁通较小,电机磁路没有饱和,空载特性呈直线(将其延长后的射线称为气隙线)。随着励磁电流的增大,磁路逐渐饱和,磁化曲线开始进入饱和段。为了合理地利用材料,空载额定电压一般设计在空载特性的弯曲处,如图中的 c 点。

空载特性可以通过计算或试验得到。试验测定的方法与直流发电机类似。同步电机的空载特性也常用标么值表示,空载电势以额定电压为基值,取时的励磁电流(称为额定励磁电流)为励磁电流的基值。用标么值表示的空载特性具有典型性,不论电机容量的大小,电压的高低,其空载特性彼此非常接近。

空载特性在同步发电机理论中有着重要作用:① 将设计好的电机的空载特性与表 16-1 中的数据相比较,如果两者接近,说明电机设计合理,反之,则说明该电机的磁路过于饱和或者材料没有充分利用。②空载特性结合短路特性(在后面介绍)可以求取同步电机的参数。③发电厂通过测取空载特性来判断三相绕组的对称性以及励磁系统的故障。

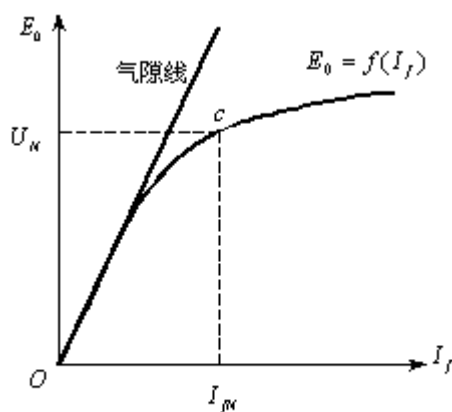


图 16.2 同步发电机的空载特性

同步发电机运行于同步转速时，将电枢绕组三相的端点持续短路然后加上励磁电流，称为短路运行。这时端电压 $U=0$ ，如果改变励磁电流 I_f ，则电枢短路电流的有效值 I_k 也改变。短路特性就是指二者之间的关系： $I_k=f(I_f)$ 。

短路运行时， $\dot{I}_k$ 和励磁电势 $\dot{E}_0$ 之间的相位差 仅受同步电抗 X_s 和绕组本身电阻的制约，在忽略绕组电阻时， $\dot{I}_k$ 将滞后于 $\dot{E}_0$ 90 电角度，交轴分量 $\dot{I}_q=0$ ，其电枢反应表现为纯去磁作用。

去磁作用减少了电机中的磁通，磁路处于不饱和状态，励磁电势和励磁电流之间在数量上呈线性关系。由于短路电流 $\dot{I}_k = -j\dot{E}_0 / I_k$ ，所以 I_k 和励磁电流 I_f 在数量也呈线性关系，短路特性就是一条通过原点的直线。

可见，稳态短路时，电机中的电枢反应为纯去磁作用，电机的磁通和感应电势较小，短路电流也不会过大，所以三相稳态短路运行没有危险。

图 16.8 给出了隐极同步发电机稳态短路运行的等效电路和相量图。对凸极式电机来说，短路时交轴电枢磁势 $\vec{F}_{aq}=0$ ，故分析方法同隐极电机，只需将 X_s 用 X_d 代替，将 $\dot{I}_a$ 用 $\dot{I}_d$ 来代替即可。

利用短路特性和空载特性求取同步电抗

设励磁电流为 I_f ，每相空载电势为 $\dot{E}_0$ ，如果把电枢端点短路，测得每相短路电流为 $\dot{I}_k$ ，显然在略去电枢电阻时，同步电抗上的压降 $X_s I_k$ 即为 E_0 （参看图 16.8(a)）。

根据此关系可以得到测定同步电抗的简单方法：

- ① 用原动机带动同步发电机在同步转速下运转，测取其开路和短路特性。
- ② 将测取的数据在同一坐标纸上绘制成曲线，并作出气隙线
- ③ 选取一固定的 I_f ，求得对应的短路电流 I_k 和对应于气隙线上的电势 E'_0 ，则同步电抗可按式求得

$$X_s \text{ 或 } X_d = E'_0 / I_k \quad (16-12)$$

按照上述方法求得的是不饱和同步电抗，而实际运行中磁路总是有点饱和，求取同步电抗饱和值的近似方法为：从空载曲线求得对应于额定电压 U_N 的励磁电流 I_{fN} ，再从短路特性求得对应于 U_N 的短路电流 I_{kN} ，则

$$X_s \text{ 或 } X_d \text{ 的饱和值} = U_N / I_{kN} \quad (16-13)$$

凸极电机的交轴同步电抗可以利用经验公式求得

$$X_q \approx 0.65 X_d \quad (16-14)$$

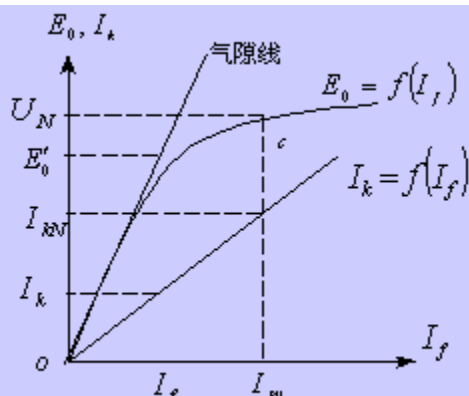


图 16.9 同步电抗的求取

零功率因数负载特性：

发电机的负载特性是指当负载电流 $I_a = \text{常数}$ ，功率因数 $\cos\varphi = \text{常数}$ 的条件下，端电压 U 与励磁电流 I_f 的关系。其中当 $\cos\varphi = 0$ 时一条负载特性称为零功率因数特性。

$\cos\varphi = 0$ 的负载为纯电感负载，即 $\varphi = 90^\circ$ ，从相量图(图 16.10)可以看出， $\dot{E}_0, jX_d I_d, \dot{U}$ 处于同一方位，其相量加减可简化为代数加减，即

$$U = E_0 - X_d I_d = E_0(I_f) - X_d I_d \quad (16-15)$$

在已知空载特性 $E_0(I_f)$ 和同步电抗 X_d (或 X_s) 的情况下，由式(16-15)可以作出同步电机的零功率因数特性曲线，见图 16.11。反之通过测取空载特性和零功率因数特性就可以求得同步电抗，经过进一步的处理，还可以求得定子漏抗。

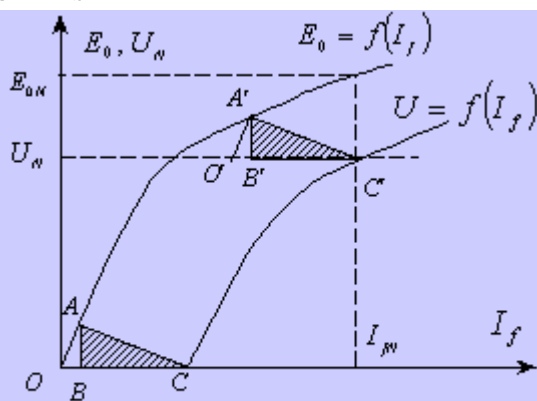


图 16.11 零功率因数特性与空载特性

外特性和电压调整率：

外特性是指： $n = n_1, I_f = \text{常数}, \cos\varphi = \text{常数}$ 的条件下，同步发电机作单机运行时，端电压 U 随负载电流 I_a 而变化的关系，即 $U = f(I_a)$ 曲线。

外特性曲线的走向和负载的性质有关。对于感性负载($\varphi > 0, \psi > 90^\circ$)，在励磁电流不变的情况下，随着电枢电流的增大，有两个因素导致端电压下降，其一是电枢反应的去磁作用的增强，其二是漏抗压降的增大，所以感性负载时，同步电机的外特性是下降的曲线。对于 $\varphi < 0, \psi < 90^\circ$ 的容性负载，电枢反应表现为增磁作用，随着电枢电流的增大，端电压反而增大。图 16-12 给出了各种情况下的外特性曲线。

发电机的端电压随着负载电流的改变而变,保持额定运行时的励磁电流 I_{fN} 和转速 n_N 不变,将发电机的完全卸载,发电机的端电压将由 U_N 变化为空载电势 E_0 ,电压变化的幅度可以用电压调整率来表示

$$\Delta U = \frac{E_0 - U_N}{U_N} \times 100\%$$

$$\Delta U = \{ (E_0 - U_N) / U_N \} \times 100 \% \quad (16-18)$$

ΔU 是发电机的性能指标之一 , 按国家标准规定 应不大于 40% 。

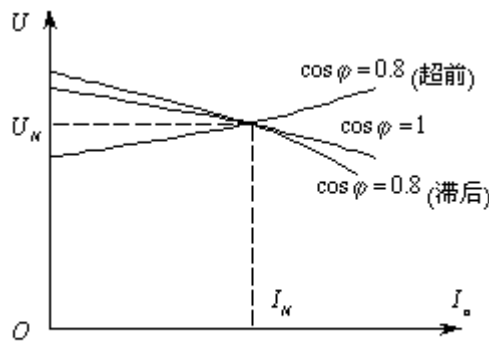


图 16.12 同步发电机外特性曲线

(四) 直流电机：

1、了解直流电机的分类

直流电机：将直流电能转换成机械能(直流电动机)，或将机械能转换成直流电能(直流发电机)的旋转电机。直流电机分类：1、按电源分为直流电动机和直流发电机；2、按类型分为直流有刷电机和直流无刷电机；3、按励磁方式分类：1．他励直流电机；2．并励直流电机；3．串励直流电机；4．复励直流电机；

2、了解直流电机的励磁方式

励磁方式分为：1、他励直流电机；2、并励直流电机；3、串励直流电机；4、复励直流电机；

3、掌握直流电动机及直流发电机的工作原理

1、直流发电机的工作原理就是把电枢线圈中感应产生的交变电动势，靠换向器配合电刷的换向作用，使之从电刷端引出时变为直流电动势的原理。

电刷上不加直流电压，用原动机拖动电枢使之逆时针方向恒速转动，线圈两边就分别切割不同极性磁极下的磁力线，而在其中感应产生电动势，电动势方向按右手定则确定。这种电磁情况表示在图上。由于电枢连续地旋转，，因此，必须使载流导体在磁场中所受到线圈边 ab 和 cd 交替地切割 N 极和 S 极下的磁力线，虽然每个线圈边和整个线圈中的感应电动势的方向是交变的，线圈内的感应电动势是一种交变电动势，而在电刷 A、B 端的电动势却为直流电动势(说得确切一些，是一种方向不变的脉振电动势)。因为，电枢在转动

过程中,无论电枢转到什么位置,由于换向器配合电刷的换向作用,电刷 A 通过换向片所引出的电动势始终是切割 N 极磁力线的线圈边中的电动势,因此,电刷 A 始终有正极性。同样道理,电刷 B 始终有负极性,所以电刷端能引出方向不变的但大小变化的脉振电动势。如每极下的线圈数增多,可使脉振程度减小,就可获得直流电动势。这就是直流发电机的工作原理。同时也说明直流发电机实质上是带有换向器的交流发电机。

2、直流电动机的工作原理:如果直流电机的转子不用原动机拖动,而把它的电刷 A、B 接在电压为 U 的直流电源上(如图 2 所示),那么会发生什么样的情况呢?从图上可以看出,电刷 A 是正电位,B 是负电位,在 N 极范围内的导体 ab 中的电流是从 a 流向 b,在 S 极范围内的导体 cd 中的电流是从 c 流向 d。前面已经说过,载流导体在磁场中要受到电磁力的作用,因此,ab 和 cd 两导体都要受到电磁力 F_{de} 的作用。根据磁场方向和导体中的电流方向,利用电动机左手定则判断,ab 边受力的方向是向左,而 cd 边则是向右。由于磁场是均匀的,导体中流过的又是相同的电流,所以,ab 边和 cd 边所受电磁力的大小相等。这样,线圈上就受到了电磁力的作用而按逆时针方向转动了。当线圈转到磁极的中性面上时,线圈中的电流等于零,电磁力等于零,但是由于惯性的作用,线圈继续转动。线圈转过半周之后,虽然 ab 与 cd 的位置调换了,ab 边转到 S 极范围内,cd 边转到 N 极范围内,但是,由于换向片和电刷的作用,转到 N 极下的 cd 边中电流方向也变了,是从 d 流向 c,在 S 极下的 ab 边中的电流则是从 b 流向 a。因此,电磁力 F_{dc} 的方向仍然不变,线圈仍然受力按逆时针方向转动。可见,分别处在 N、S 极范围内的导体中的电流方向总是不变的,因此,线圈两个边的受力方向也不变,这样,线圈就可以按照受力方向不停的旋转了,通过齿轮或皮带等机构的传动,便可以带动其它工作机械。

从基本电磁情况来看,一台直流电机原则上既可作为电动机运行,也可以作为发电机运行,只是约束的条件不同而已。在直流电机的两电刷端上,加上直流电压,将电能输入电枢,机械能从电机轴上输出,拖动生产机械,将电能转换成机械能而成为电动机,如用原动机拖动直流电机的电枢,而电刷上不加直流电压,则电刷端可以引出直流电动势作为直流电源,可输出电能,电机将机械能转换成电能而成为发电机。同一台电机,能作电动机或作发电机运行的这种原理,在电机理论中称为可逆原理。

4、了解并励直流发电机建立稳定电压的条件

- (1) 电机中要有剩磁;
- (2) 励磁电流所产生的磁通与剩磁同方向;
- (3) 励磁回路的总电阻要小于临界电阻值。

5、了解直流电动机在他励、并励、串励时的机械特性

1、他励直流电动机的工作特性与并励直流电动机的工作特性相同:

1. 转速特性

他励直流电动机的转速特性可表示为 $n = f(I_a)$,把上一节式(1—19)代入式(1—20),整理可得:

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e \Phi_N} I_a$$

elecfans.com 电子发烧友

此式即为转速特性的表达式。如果忽略电枢反应的去磁效应,则转速与负载电流按线性关系变化,当负载电流增加时,转速有所下降。并励直流电动机的工作特性如图 1—24 所示

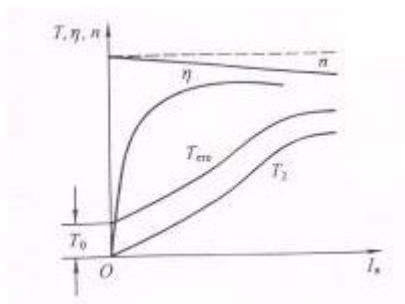


图 1—24 并励电动机的工作特性

2. 转矩特性

当 $U=U_N$, $I_f=I_{fN}$ 时, $T_{em} = f(I_a)$ 的关系称为转矩特性。根据直流电机电磁转矩公式可得电动机转矩特性表达式

$$T_{em} = C_T \Phi_N I_a$$

elecfan

由此式可见,在忽略电枢反应的情况下电磁转矩与电枢电流成正比,若考虑电枢反应使主磁通略有下降,电磁转矩上升的速度比电流的上升的速度要慢一些,曲线的斜率略有下降。

2、串励电动机的励磁绕组与电枢绕组相串联,电枢电流即为励磁电流。串励电动机的工作特性与并励电动机有很大的区别。当负载电流较小时,磁路不饱和,主磁通与励磁电流(负载电流)按线性关系变化,而当负载电流较大时,磁路趋于饱和主磁通基本不随电枢电流变化。因此讨论串励电动机的转速特性、转矩特性和机械特性必须分段讨论。

当负载电流较小时、电机的磁路没有饱和，每极气隙磁通 Φ 与励磁电流 $I_f = I_a$ 呈线性变化关系，即

$$\Phi = K_f I_f = K_f I_a$$

式中， K_f 是比例系数。根据式（1—40），串励电动机的转速特性可写为

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R I_a}{C_e \Phi} = \frac{U}{k_f C_e I_a} - \frac{R}{k_f C_e}$$

式中， R 为串励电动机电枢回路总电阻， $R = R_a + R_f$ 。

串励电动机的转矩特性可写为

$$T_{em} = C_t \Phi I = k_f C_T I_a^2 \quad (1-42)$$

elecfa

由上述可知，当负载电流较小时，转速较大，负载电流增加，转速快速下降，当负载电流趋于零时，电机转速趋于无穷大。因此串励电动机不可以空载或在轻载下运行，电磁转矩与负载电流的平方成正比。

当负载电流较大时，磁路已经饱和，磁通 Φ 基本不随负载电流变化，串励电动机的工作特性与并励电动机相同。

串励直流电动机的工作特性曲线如图 1—25 所示。

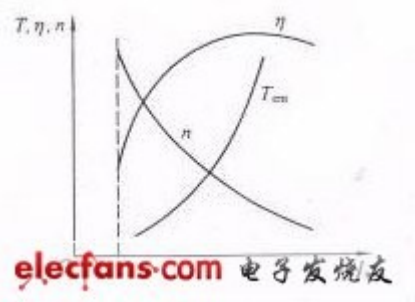


图 1—25 串励直流电动机的工作特性

1、他励直流电动机的机械特性

1. 机械特性的表达式

直流电动机的机械特性是指在电动机的电枢电压、励磁电流、电枢回路电阻为恒值的条件下，即电动机处于稳态运行时，电动机的转速 n 与电磁转矩之间的关系： $n=f(T_{em})$ 。由于转速和转矩都是机械量，所以把它称为机械特性。

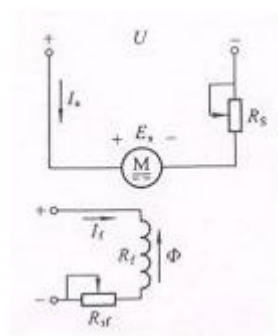


图 1—26 他励直流电动机电路原理图

图 1—26 所示是他励直流电动机的电路原理图。图中 U 为外施电源电压， E_a 是电枢电动势， I_a 是电枢电流， R_s 是电枢回路串联电阻， I_f 是励磁电流， Φ 是励磁磁通， R_f 是励磁绕组电阻， R_{sf} 是励磁回路串联电阻。按图中标明的各个量的正方向，可以列出电枢回路的电压平衡方程式

$$U = E_a + RI_a \quad (1-43)$$

式中， $R = R_a + R_s$ ，为电枢回路总电阻， R_a 为电枢电阻。将电枢电动势 $E_a = C_e \Phi n$ 和电磁转矩 $T_{em} = C_T \Phi I_a$ 代入式

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e C_T \Phi^2} T_{em} = n_0 - \beta T_{em} = n_0 - \Delta n \quad (1-44)$$

式中， C_e 、 C_T 分别为电动势常数和转矩常数（ $C_T = 9.55 C_e$ ）； $n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}$ 为电磁转矩 $T_{em} = 0$ 时的转速，称为理想空载转速。

由公式 $T_{em} = C_T \Phi I_a$ 可知，电磁转矩 T_{em} 与电枢电流 I_a 成正比，所以只要励磁磁通 Φ 保持不变，则机械特性为一条直线。

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e \Phi} I_a \quad (1-45)$$

由式(1—45)可知, 当 U 、 Φ 、 R 为常数时, 他励直流电动机的机械特性是一条以 β 为斜率向下倾斜的直线,

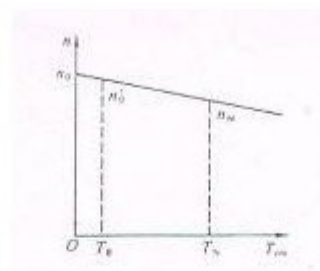


图1—27 他励直流电动机的机械特性

必须指出, 电动机的实际空载转速 n'_0 比理想空载转速略低。这是因为电动机有摩擦等原因存在一定的空载转矩

故实际空载转速应为

$$n'_0 = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e C_T \Phi^2} T_0 \quad (1-46)$$

转速降 Δn 是理想空载转速与实际转速之差, 转矩一定时, 他与机械特性的斜率 β 成正比。 β 越大, 特性越软, 而 β 小的机械特性为硬特性。

2、串励电动机的机械特性

1. 固有特性

串励电动机的励磁绕组与电枢绕组串联, 励磁电流 I_f 等于电枢电流 I_a , 主磁通 Φ 是电枢电流 I_a 的函数。

当 I_a 较小, 磁路未饱和时, Φ 与 I_a 成正比, 即

$$\Phi = k I_a \quad (1-53)$$

式中, k 为比例常数。此时, 电磁转矩 T_{em} 与 I_a 的平方成正比, 即

$$T_{em} = C_T \Phi I_a = C_T k I_a^2 \quad (1-54)$$

由此 (1-54) 式可得

$$I_a = \sqrt{\frac{T_{em}}{C_T k}} \quad (1-55)$$

直流电动机机械特性的一般表达式为

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e C_T \Phi^2} T_{em} \quad (1-56)$$

将式 (1-53) 和式 (1-55) 代入式 (1-56) 中, 得出在磁路不饱和时串励电动机的机械特性为

$$n = \frac{\sqrt{C_T k}}{C_e k} \frac{U}{\sqrt{T_{em}}} - \frac{R}{C_e k} \quad (1-57)$$

式 (1-57) 表明, 当磁路不饱和时, 串励电动机的转速 n 与 $\sqrt{T_{em}}$ 成反比, 其机械特性为非线性软特性, 如图 1—33 中曲线 AB 段。当 I_a 较大, 磁路饱和时, Φ 基本保持不变, 这时串励电动机的机械特性与他励电动机的机械特性相似, 变为较硬的直线特性, 如图 1—33 中曲线 BC 段。

串励电动机的固有特性是在 $U=U_N$, $R_S=0$ 时的特性 (图 1—33 所示), 具有以下特点:

(1) 它是一条非线性的软特性, 负载时的转速降落很大。

(2) 空载时, $T_{em}=0$, $I_a=0$, $\Phi=0$, $n_0 \rightarrow \infty$, 即理想空载转速为无穷大。但实际上, 即使 $I_a=0$, 由于存在剩磁通 Φ_0 , 故空载转速 n_0 为一有限值, 但其值很高, 一般可达 (5~6) n_N , 这就是所谓的“飞车”现象, 因此, 串励电动机是不允许空载或轻载运行的。

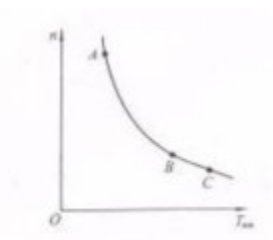


图 1—33 串励电动机的固有特性

(3) 由于 $T_{em} \propto I_a^2$, 起动和过载时 I_a 均较大, 故串励电动机的起动转矩大, 过载能力强。

6、了解直流电动机稳定运行条件

1、电机的机械特性跟负载转矩特性必须有焦点,在焦点处电动机电磁转矩跟负载转矩满足下列条件:

$T = T_L$; 2、在焦点附近应有: $dT / dn < dT_L / dn$;

7、了解直流电动机的启动、调速及制动方法

直流电动机的启动方法: 1、降压启动; 2、电枢串电阻启动;

直流电动机的调速方法: 1、机械调速; 2、电气调速: 调压调速、调磁调速、电枢串电阻调速;

直流电动机的制动方法: 1、机械制动; 2、电磁制动(能耗制动、反接制动、回馈制动);

(五) 断路器:

1、熟悉断路器的作用、功能、分类

断路器的作用: 能够关合、承载和开断正常回路条件下的电流,并能关合在规定的时间内承载和开断异常回路条件(包括短路条件)下电流的开关装置。

断路器的功能: 用以切断或关合高、低压电路中的工作电流或故障电流。低压断路器又称自动开关,俗称"空气开关"也是指低压断路器,它是一种既有手动开关作用,又能自动进行失压、欠压、过载、和短路保护的电器。它可用来分配电能,不频繁地启动异步电动机,对电源线路及电动机等实行保护,当它们发生严重的过载或者短路及欠压等故障时能自动切断电路,其功能相当于熔断器式开关与过欠热继电器等的组合。而且在分断故障电流后一般不需要变更零部件,已获得了广泛的应用。高压断路器(或称高压开关)是发电厂、变电所主要的电力控制设备,具有灭弧特性,当系统正常运行时,它能切断和接通线路以及各种电气设备的空载和负载电流;当系统发生故障时,它和继电保护配合,能迅速切断故障电流,以防止扩大事故范围。

断路器的分类: 1、按操作方式分为: 电动操作、储能操作、手动操作; 2、按结构分为: 万能式和塑壳式; 3、按使用类别分为: 选择型、非选择型; 4、按灭弧介质分为: 油浸式、真空式、空气式、六氟化硫式; 5、按动作速度分为: 快速型、普通型; 6、按极数分为: 单极、二极、三极、四极; 7、按安装方式分为: 插入式、固定式、抽屉式; 8、按其使用范围分为: 高压断路器、低压断路器;

2、了解断路器的主要性能与参数的含义

断路器的主要性能: 断路器既有手动开关作用,又能自动进行失压、欠压、过载、和短路保护。它可用来分配电能,不频繁地启动异步电动机,对电源线路及电动机等实行保护,当它们发生严重的过载或者短路及欠

压等故障时能自动切断电路，其功能相当于熔断器式开关与过载热继电器等的组合。而且在分断故障电流后一般不需要变更零部件。

断路器的主要参数：1、额定工作电压(U_e)：这是断路器在正常(不间断的)的情况下工作的电压；2、额定电流(I_n)：这是配有专门的过电流脱扣继电器的断路器在制造厂家规定的环境温度下所能无限承受的最大电流值，不会超过电流承受部件规定的温度限值；3、短路继电器脱扣电流整定值(I_m)：短路脱扣继电器(瞬时或短延时)用于线路短路故障电流值出现时，使断路器快速跳闸值 I_m ；4、额定短路分断能力(I_{cu} 或 I_{cn})：断路器的额定短路分断电流是断路器能够分断而不被损害的最高(预期的)电流值。

3、了解断路器常用的熄弧方法

1、绝缘油(多油断路器、少油断路器)；2、六氟化硫(SF_6)；3、真空；4、压缩空气。

4、了解断路器的运行和维护工作要点

断路器的运行要点：1、断路器压力(六氟化硫、液压系统)巡视和相关记录；2、在断路器的巡视过程中，不得随意改变设备内部元件的运行状态；在没有专业人员在场的情况下，不得人为的对设备进行储能操作或用手按动设备内部接触器的触点；3、在设备运行过程中，如遇到设备出现缺陷或故障，应立即通知相关部门进行处理，同时告知设备在出现问题前相关的运行状态以及故障前相关的检修、光子牌信号情况。如断路器可以操作，一般情况下不得擅自对断路器进行除分闸以外的操作，特殊情况另行处理。

断路器维护工作要点：1、断路器的投运，2、断路器正常运行的巡视检查，3、断路器的特殊巡视，4、断路器的正常维护，5、断路器的操作，6、断路器的运行监督，7、断路器的绝缘监督，8、断路器的检修监督，9 断路器绝缘油油质监督，10、断路器用压缩空气气质监督，11、断路器 SF_6 气体气质监督；

(六) 互感器：

1、熟悉电流、电压互感器的工作原理、接线形式及负载要求

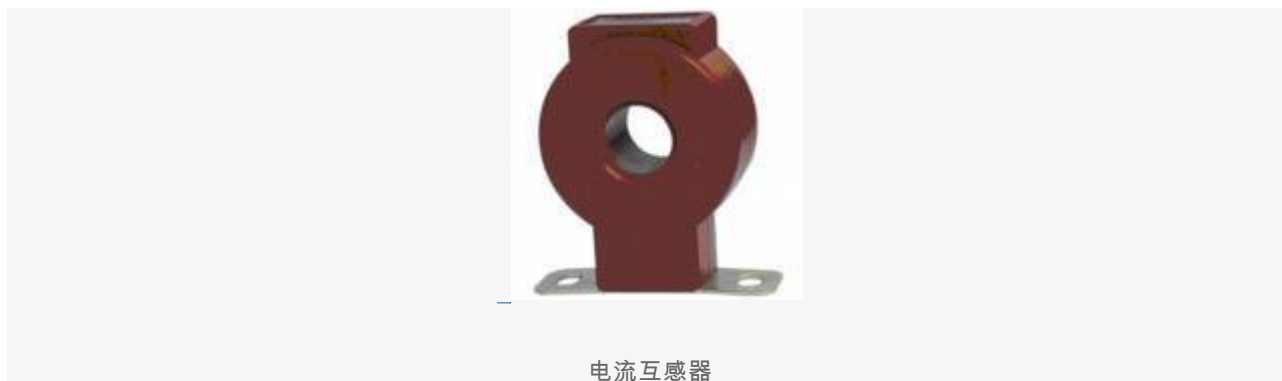
电流互感器：工作原理是在供电用电的线路中电流电压大小相差悬殊从几安到几万安



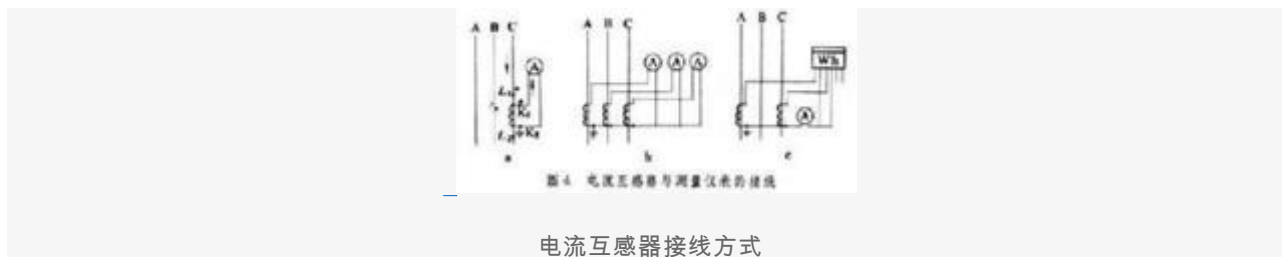
都有。为便于二次仪表测量需要转换为比较统一的电流，另外线路上的电压都比较高如直接测量是非常危险的。电流互感器就起到变流和电气隔离作用。显示仪表大部分是指针式的电流电压表，所以电流互感器的二次电流大多数是安培级的(如5等)。随着时代发展，电量测量大多已经达到数字化，而计算机的采样的信号一般为毫安级(0-5V、4-20mA等)。微型电流互感器二次电流为毫安级，主要起大互感器与采样之间的

桥梁作用。微型电流互感器称之为“仪用电流互感器”。(“仪用电流互感器”有一层含义是在实验室使用的多电流比精密电流互感器，一般用于扩大仪表量程。)电流互感器原理线路图微型电流互感器与变压器类似也是根据电磁感应原理工作，变压器变换的是电压而微型电流互感器变换的是电流罢了。绕组 N1 接被测电流，称为一次绕组(或原边绕组、初级绕组)；绕组 N2 接测量仪表，称为二次绕组(或副边绕组、次级绕组)；

接线方式：电流互感器的接线方式按其所接负载的运行要求确定。最常用的接线方式为单相，三相星形和不完全星形(图 4a、b、c)。



电流互感器接线方式：



负载要求：(1)额定电流(一次侧)：应为线路正常运行时负载电流的 1.0~1.3 倍，(2)额定电压：应为 0.5kV 或 0.66kV，(3)注意精度等级：若用于测量，应选用精度等级 0.5 或 0.2 级；若负载电流变化较大，或正常运行时负载电流低于电流互感器一次侧额定电流 30%的应选用 0.5 级，(4)根据需要确定变比与匝数：(5)型号规格选择：根据供电线路一次负荷电流确定变比后，再根据实际安装情况确定型号。(6)额定容量选择。电流互感器二次额定容量要大于实际二次负载，实际二次负载应为 25~100%二次额定容量。容量决定二次侧负载阻抗，负载阻抗又影响测量或控制精度。负载阻抗主要受测量仪表和继电器线圈电阻、电抗及接线接触电阻、二次连接导线电阻的影响；

电压互感器：工作原理与变压器相同，基本结构也是铁心和原、副绕组。特点是容量很小且比较恒定，正常运行时接近于空载状态。电压互感器本身的阻抗很小，一旦副边发生短路，电流将急剧增长而烧毁线圈。为此，电压互感器的原边接有熔断器，副边可靠接地，以免原、副边绝缘损毁时，副边出现对地高电位而造成人身和设备事故；

接线方式：(1)用一台单相电压互感器来测量某一对地电压或相间电压的接线方式；(2)用两台单相互感器接成不完全星形，也称 V—V 接线，用来测量各相间电压，但不能测相对地电压，广泛应用在 20kV

以下中性点不接地或经消弧线圈接地的电网中 (3) 用三台单相三绕组电压互感器构成 $YN, y_n, d0$ 或 $YN, y, d0$ 的接线形式 ;

负载要求 :1、电压互感器在投入运行前要按照规程规定的项目进行试验检查。例如 ,测极性、连接组别、摇绝缘、核相序等 ,2 .电压互感器的接线应保证其正确性 ,一次绕组和被测电路并联 ,二次绕组应和所接的测量仪表、继



电压互感器

电保护装置或自动装置的电压线圈并联 ,同时要注意极性的正确性 ,3 .接在电压互感器二次侧负荷的容量应合适 ,接在电压互感器二次侧的负荷不应超过其额定容量 ,否则 ,会使互感器的误差增大 ,难以达到测量的正确性 ,4 .电压互感器二次侧不允许短路。由于电压互感器内阻抗很小 ,若二次回路短路时 ,会出现很大的电流 ,将损坏二次设备甚至危及人身安全。电压互感器可以在二次侧装设熔断器以保护其自身不因二次侧短路而损坏。在可能的情况下 ,一次侧也应装设熔断器以保护高压电网不因互感器高压绕组或引线故障危及一次系统的安全 ,5 .为了确保人在接触测量仪表和继电器时的安全 ,电压互感器二次绕组必须有一点接地。因为接地后 ,当一次和二次绕组间的绝缘损坏时 ,可以防止仪表和继电器出现高电压危及人身安全。

2、了解电流、电压互感器在电网中的配置原理及接线形式

电流互感器在电网中的配置分为 1、测量用电流互感器 ,2、保护用电流互感器。接线形式为 1、单相 ,
2、三相星形。

电压互感器在电网中的配置分为 1、测量用电压互感器 ,2、保护用电压互感器 ,接线形式为用三台单相三绕组电压互感器构成 $YN, y_n, d0$ 或 $YN, y, d0$;

3、了解各种形式互感器的构造及性能特点

1、普通电流互感器结构原理 :电流互感器的结构较为简单 ,由相互绝缘的一次绕组、二次绕组、铁心以及构架、壳体、接线端子等组成。其工作原理与变压器基本相同 ,一次绕组的匝数(N_1)较少 ,直接串联于电源线路中 ,一次负荷电流(I_1)通过一次绕组时 ,产生的交变磁通感应产生按比例减小的二次电流(I_2) ;二次绕组的匝数(N_2)较多 ,与仪表、继电器、变送器等电流线圈的二次负荷(Z)串联形成闭合回路 ;2、穿心式电流互感器结构原理 :穿心式电流互感器其本身结构不设一次绕组 ,载流(负荷电流)导线由 L_1 至 L_2 穿过由硅钢片擗卷

制成的圆形(或其他形状)铁心起一次绕组作用。二次绕组直接均匀地缠绕在圆形铁心上,与仪表、继电器、变送器等电流线圈的二次负荷串联形成闭合回路;3、多抽头电流互感器构造原理:这种型号的电流互感器,一次绕组不变,在绕制二次绕组时,增加几个抽头,以获得多个不同变比。它具有一个铁心和一个匝数固定的一次绕组,其二次绕组用绝缘铜线绕在套装于铁心上的绝缘筒上,将不同变比的二次绕组抽头引出,接在接线端子座上,每个抽头设置各自的接线端子,这样就形成了多个变比;4、不同变比电流互感器构造原理:这种型号的电流互感器具有同一个铁心和一次绕组,而二次绕组则分为两个匝数不同、各自独立的绕组,以满足同一负荷电流情况下不同变比、不同准确度等级的需要;5、一次绕组可调,二次多绕组电流互感器构造原理:这种电流互感器的特点是变比量程多,而且可以变更,多见于高压电流互感器。其一次绕组分为两段,分别穿过互感器的铁心,二次绕组分为两个带抽头的、不同准确度等级的独立绕组。一次绕组与装置在互感器外侧的连接片连接,通过变更连接片的位置,使一次绕组形成串联或并联接线,从而改变一次绕组的匝数,以获得不同的变比。带抽头的二次绕组自身分为两个不同变比和不同准确度等级的绕组,随着一次绕组连接片位置的变更,一次绕组匝数相应改变,其变比也随之改变,这样就形成了多量程的变比;6、固体绝缘电压互感器;7、油纸绝缘电压互感器;8、FS6 气体绝缘电压互感器;

(七) 配电装置:

1、掌握室内外配电装置的安全距离

配电装置是指用来计量和控制电能的分配装置。由母线、开关设备、保护电器、测量仪表和其他附件等组成。其布置应满足电力系统正常运行的要求,便于检修,不危及人身及周围设备的安全。设在发电厂、变电站等处。配电装置按供电系统的要求分为:(1)一级配电设备,统称为动力配电中心。它们集中安装在企业的变电站,把电能分配给不同地点的下级配电设备。这一级设备紧靠降压变压器,故电气参数要求较高,输出电路容量也较大。(2)二级配电设备,是动力配电柜和电动机控制中心的统称。动力配电柜使用在负荷比较分散、回路较少的场合;电动机控制中心用于负荷集中、回路较多的场合。它们把上一级配电设备某一电路的电能分配给就近的负荷。这级设备应对负荷提供保护、监视和控制。(3)末级配电设备总称为照明动力配电箱。它们远离供电中心,是分散的小容量配电设备。按结构特征和用途分类:(1)固定面板式开关柜,常称开关板或配电屏。它是一种有面板遮拦的开启式开关柜,正面有防护作用,背面和侧面仍能触及带电部分,防护等级低,只能用于对供电连续性和可靠性要求较低的工矿企业,作变电室集中供电用。(2)防护式(即封闭式)开关柜,指除安装面外,其它所有侧面都被封闭起来的一种低压开关柜。这种柜子的开关、保护和监测控制等电气元件,均安装在一个用钢或绝缘材料制成的封闭外壳内,可靠墙或离墙安装。柜内每条回

路之间可以不加隔离措施 ,也可以采用接地的金属板或绝缘板进行隔离。通常门与主开关操作有机械联锁。

另外还有防护式台型开关柜(即控制台) ,面板上装有控制、测量、信号等电器。防护式开关柜主要用作工艺现场的配电装置。(3)抽屉式开关柜。这类开关柜采用钢板制成封闭外壳 ,进出线回路的电器元件都安装在可抽出的抽屉中 ,构成能完成某一类供电任务的功能单元。功能单元与母线或电缆之间 ,用接地的金属板或塑料制成的功能板隔开 ,形成母线、功能单元和电缆三个区域。每个功能单元之间也有隔离措施。抽屉式开关柜有较高的可靠性、安全性和互换性 ,是比较先进的开关柜 ,目前生产的开关柜 ,多数是抽屉式开关柜。它们适用于要求供电可靠性较高的工矿企业、高层建筑 ,作为集中控制的配电中心。(4)动力、照明配电控制箱。多为封闭式垂直安装。因使用场合不同 ,外壳防护等级也不同。它们主要作为工矿企业生产现场的配电装置。

名词解释 :1 断路器——又称开关 ,主要功能是分断和接通电路(包括分断和接通正常电流、分断短路电流) ,具有灭弧结构。2 高压断路器——又称高压开关 ,它不仅可以切断或闭合高压电路中的空载电流和负荷电流 ,而且当系统发生故障时 ,通过继电保护装置的作用 ,切断过负荷电流和短路电流。它具有相当完善的灭弧结构和足够的断流能力。3 六氟化硫断路器——采用具有优良灭弧性能和绝缘性能的 SF₆ 气体作灭弧介质的断路器 ,称为 SF₆ 断路器。它具有开断能力强、体积小等特点 ,但结构较复杂 ,金属消耗量大、价格较贵。4 真空断路器——利用真空的高介质强度来灭弧的断路器 ,称真空断路器。此种断路器具有灭弧速度快、触头材料不易氧化、寿命长、体积小等特点。5 隔离开关——也叫刀闸 ,用来隔离电压并形成明显的断开点 ,以保证电气设备在检修或备用时 ,与母线或其它正在运行的设备隔离。但其能分断的电流很小(一般只有几个安培) 。由于没有专门的灭弧装置 ,所以它不能用来分断故障电流和正常工作电流 ,不允许带负荷进行分断操作。6 负荷开关——负荷开关的构造与隔离开关相似 ,只是加装了简单的灭弧装置。它也是有一个明显的断开点 ,有一定的断流能力 ,可以带负荷操作 ,但不能直接断开短路电流 ,如果需要 ,要依靠与它串接的高压熔断器来实现。7 空气断路器 ——也叫自动开关 ,是用手动(或电动)合闸 ,用锁扣保持合闸位置 ,由脱扣机构作用于跳闸并具有灭弧装置的低压开关 ,目前被广泛用于 500V 以下的交、直流装置中 ,当电路内发生过负荷、短路、电压降低或消失时 ,能自动切断电路。8 熔断器——也被称为保险丝 ,它是一

种按装在电气线路或电气设备的电器回路上，用以防止短路和严重过负荷的保护装置，保证电路安全运行的电器元件。保险丝的作用是：当电路发生故障或异常时，保险丝就会在电流异常升高到一定的高度和一定的时候，自身熔断切断电流，从而起到保护电路安全运行的作用 9 电缆——由芯线(导电部分)、外加绝缘层和保护层三部分组成的电线称为电缆。10 母线——电气母线是汇集和分配电能的通路设备，它决定了配电装置设备的数量，并表明以什么方式来连接发电机、变压器和线路，以及怎样与系统连接来完成输配电任务。11 互感器——是电力系统中测量仪表、继电保护和自动装置等二次设备获取电气一次回路信息的传感器。互感器作用是将高电压、大电流按比例变成低电压和小电流 12 电流互感器——将大电流转变为小电流的专用变压器。电流互感器的二次电流一般规定为(5A)或(1A)，以提供电流表、功率表、电能表和继电器的电流线圈的电流。13 电压互感器——将高压转变为一定数值电压的专用变压器。电压互感器的二次电压一般规定为(100V)，以供电电压表、功率表、电能表和继电器的电流线圈所需要的电压。14 电容式电压互感器——由电容分压器和中间电压电磁单元组成，可兼顾电压互感器和电力线路载波耦合装置中的耦合电容器两种设备的功能，同时在实际应用中又能可靠阻尼铁磁谐振和具备优良的瞬变响应特性等。15 5P20 电流互感器——其中 5P 为准确等级，20 为准确限值系数(ALF)。当电流互感器通过的稳态对称短路电流产生的二次电动势超过一定值时，互感器铁心将开始出现饱和。16 TPY 电流互感器——按是否考虑短路电流的暂态过程，电流互感器分为 P 和 TP 两大类。P 类电流互感器要求在 Φ_{ac} (Φ_{ac} 代表传变故障电流工频分量所需的磁通)情况下不饱和，而 TP 类电流互感器则要求在整个工作循环中的总磁通 $\Phi = \Phi_{ac} + \Phi_{dc}$ (Φ_{dc} 则代表传变暂态(非周期)分量所需的磁通，其值远大于传变工频分量的 Φ_{ac} 。磁通暂态分量)情况下不饱和。因此要求 TP 类电流互感器的铁心远大于 P 类电流互感器。高压侧为 500kV 的发电机变压器组，高压侧母线一般为一个半断路器接线，差动保护回路 500kV 侧宜选用带小气隙的 TPY 级电流互感器，按考虑重合闸的两次工作循环进行暂态特性验算。断路器失灵保护不宜使用 TPY 级电流互感器，可选用 TPS 级或 5P 等电流可较快衰减的互感器，但应注意防止互感器饱和时电流检测元件拒动。) 17 阻波器——是载波通信及高频保护不可缺少的高频通信元件，它阻止高频电流向其他分支泄漏，起减少高频能量损耗的作用。18 高频阻波器——是防止高频信号向母线方向分流的设备。它是由电感和电容组成的并联谐振回路，调谐在所选用的载波频率，因而对高频载波电流呈现的阻抗很大，防止了高频信号的外流，对工频电流呈现的阻抗很小，不影响工频电力的传输。19 耦合电容器——高频收发信机和高压输电线路之间的重要连接设备。由于它的电容量很小，对工频电流具有很大的阻抗，可防止工频高电压对收发信机的侵袭，而对高频信号呈现的阻抗很小，不妨碍高频电流的传送。耦合电容器的另一个作用是与结合滤波器组成带通滤波器，当传送高频信号时，处于谐振状态，使高频信号畅通无阻，而对工频电压呈现很大的阻抗。20 消弧线圈——是一个具有铁心的可调电感线圈，装设在变压器或发电机的中性点，当发生单相接地故障时，起减少接地电流和消弧作用。21 电抗器——电抗器是电阻很小的电感线圈，线圈各匝之间彼此绝缘，整个线圈与接地部分绝缘。电抗器串联在电路中限制短路电流。22 变频器——把电压和频率固定不变的交流电变换为电压或频率可变的交流电的装置称作“变频器”23 接触器——是用来远距离接通或断开电路中负荷电流的低压开关，广泛用于频繁启动及

控制电动机的电路。24 交流接触器——是利用电磁力，使电路接通和断开的一种自动控制器。交流接触器的结构主要由电磁系统(铁芯、线圈)和触头组成。线圈有铁芯固定不动，当接通开关线圈通电时，铁芯线圈产生电磁吸力，使动铁芯吸合。同时动铁芯带动三个动触头向下运动与三个静触头接触，使电源可以由接触器的输入端送到接触器的输出端。25 继电器——是控制电路种的执行部件，由一个线圈、一组或几组带触点的簧片组成。根据用途可分为交流继电器和直流继电器。继电器用字母 K 表示。继电器的触点由动触点和静触点之分。继电器的工作原理是：当继电器通电后，铁芯被磁化产生足够大的电磁力，吸动衔铁并带动簧片，使动触点与静触点闭合；当线圈断电后，电磁吸力消失，簧片带动衔铁返回原来的位置，使动触点与静触点分开。26 热继电器——是利用电流效应而动作的一种保护继电器，主要用于电机的过载保护。热继电器由双金属片、加热元件、动作机构和触点系统等部分组成。双金属片是用两层膨胀系数相差较大的金属片，焊在一起做成的。使用时，将加热元件与电机电源串联，触点串联在接触器线圈控制电路中。当电机发生过载时，电流较大，使双金属片受热弯曲，通过动作机构，把动触点和静触点断开，使接触器线圈断电，电机脱离电源，因而起到保护作用。这种继电器由一个手动调节旋钮，可以选择所需的电流值的大小。快断快触点可自动复位与手动复位。27 双母线接线——它具有两组母线：工作母线 I 和备用母线 I。每回线路都经一台断路器和两组隔离开关分别接至两组母线，母线之间通过母线联络断路器(简称母联)连接，称为双母线接线。28 单元接线——所谓单元接线就是发电机与变压器直接连接成一个单元，组成发电机—变压器组。29 一个半断路器接线——每两个元件(出线或电源)用三台断路器构成一串接至两组母线，称为一个半断路器接线，又称为 3/2 接线。30 完整串——运行时，两组母线和同一串的三个断路器都投入运行，称为完整串。31 不完整串运行——当一串中只接入一个元件，如仅有出线或仅有进线时，可以使用两台断路器，此时称为不完整串。32 厂用电——发电厂在启动、运转、停役、检修过程中，有大量以电动机拖动的机械设备，用以保证机组的主要设备和输煤、碎煤、除灰、除尘及水处理等辅助设备的正常运行。这些电动机以及全厂的运行、操作、试验、检修、照明等用电设备都属于厂用负荷，总的耗电量，统称为厂用电。33 厂用电率——厂用电耗电量占发电厂全部发电量的百分数，称为厂用电率。厂用电率是发电厂运行的主要经济指标之一。34 明备用——明备用指专门设置一台备用变压器，当厂用电失去电源时，借备用电源自动投入装置将迅速恢复对厂用电的供电。35 暗备用——暗备用指不另设专用的备用器，而是将每台变压器容量加大。正常工作时，每台工作变压器在不满载状态下运行，当任一台变压器因故障被切除后，其厂用电负荷则由完好的厂用变压器承担。36 电动机——把电能转化成机械能，用来驱动其他装置的电气设备。37 电动机的自启动——厂用系统中正常运行的电动机，当其供电母线电压突然消失或显著降低时，若经过短时间(一般在 0.5—1.5s)在其转速未下降很多或尚未停转以前，厂用母线电压又恢复正常(如电源故障排除或备用电源自动投入)，电动机就会自行加速，恢复到正常运行，这一过程称为电动机的自启动。38 异步电动机——又叫感应电动机，它是按照导体切割磁力线产生感应电动势，和载流导体在磁场中受到导磁率的作用这两条原理工作的。为了保持磁场和转子导体之间有相对运动，转子的转速总是小于旋转磁场的转速，所以叫异步电动机。39 同步转速——在异步电动机三相对称绕组中通入三相对称电流时，便在电动机的气隙中产生一个旋转磁场，根据电机极数的不同，旋转磁场的转速也不同，极数多的转速慢。我们把这个旋转磁场的转速叫同步转速。40 转差率——同步转速 n_1 与电动机的转速 n 之差 $(n_1 - n)$ 叫做转速差，转速差与同步转速的比值叫做转差率，转差率 S 通常用百分数表示，即 $S = (n_1 - n) / n_1 \times 100\%$ 。41 星—三角换接启动

——若电动机在正常工作时,定子绕组接成三角形,在启动时定子绕组接成星形,启动结束后在接成三角形运行,这种启动方法叫做星—三角换接启动;

安全距离:

1、屋内 配电装置的最小安全净距

表 5-1 屋内 配电装置的最小安全净距 (单位: mm)				
项目		3kv	6kv	10kv
带电部分至接地部分 (A1)		75	100	125
不同带电部分之间 (A2)		75	100	125
1、带电部分至栅栏 (B1) 2、交叉的不同时停电检修的无遮拦带电部分之间		825	850	875
带电部分至网状遮拦 (B2)		175	200	225
无遮拦裸导体至地 (楼) 面 (C)		2500	2500	2500
不同时间停电检修的无遮拦带电部分之间的水平净距 (D)		1875	1900	1925
出线套管至屋外通道的路面 (E)		4000	4000	4000

2、
置室
的最
表 5-2)

高压配电装
内各种通道
小净宽 (见

表 5-2 高压配电装置室内各种通道的最小净宽 (单位 m)				
通道分类 布置方式	维护通道	操作通道		通往防爆间 隔的通道
		固定式	手车式	
一面有开关设备时	0.80	1.50	单车长+0.90	1.20
两面有开关设备时	1.00	2.00	双车长+0.60	1.20

3、变压器防护外壳间的最小净距 (见表 5-3)

项目			变压器容量/(kv.A)	
			100-1000	1250-1600
变压器侧面具有 1P2X 防护等级及以上的金属外壳	A	净 距/m	0.60	0.80

变压器侧面具有 1P2X 防护等级及以上的 金属外壳	A		可贴邻布置	可贴邻布置
考虑变压器外壳之间有一台变压器拉出防 护外壳	B1		变压器宽度 b 加 0.60	变压器宽度 b 加 0.60
不考虑变压器外壳之间有一台变压器拉出 防护外壳	B		1.00	1.20

4、变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距 (见表 5-4)

表 5-4 变压器外廓 (防护外壳) 与变压器墙壁和门的最小净距			
		变压器容量/(kv.A)	
项目	净距	100-1000	1250-1600
油浸变压器外廓与后壁、侧 壁净距		0.60	0.80
油浸变压器外廓与门净距		0.80	1.00
干式变压器带有 1P2X 及以 上防护等级金属外壳与后 壁、侧壁净距		0.60	0.80
干式变压器有金属网状遮拦 与后壁、侧壁净距		0.60	0.80
干式变压器带有 1P2x1 及以 上防护等级金属外壳与门净 距		0.80	1.00
干式变压器有金属网状遮拦 与门净距		0.80	1.00

5、外配电装置的最小电气安全净距（见表 5-5）

表 5-5 室内、外配电装置的最小电气安全净距（单位 mm）

符 号	适用范围	场 所	额定电压/kv			
			<0.5	3	6	10
	无遮拦裸带电部分至地（楼）面之间	室 内	屏 前 2500 屏 后 2300	2500	2500	2500
		室 外	2500	2700	2700	2700
	有 1P2x 防护等级遮拦的通道净高	室 内	1900	1900	1900	1900
A	裸带电部分至接地部分和不同相的裸带电部分之间	室 内	20	75	100	125
		室 外	75	200	200	200
B	距地（楼）面 2500mm 以下裸带电部分的遮拦防护等级 为 1P2x 时，裸带电部分与遮护物间水平净距	室 内	100	175	200	225
		室 外	175	300	300	300
	不同时停电检修的无遮拦裸导体之间的水平距离	室 内	1875	1875	1900	1925
		室 外	2000	2200	2200	2200

		外				
	裸带电部分至无孔固定遮拦	室内	50	105	130	155
C	裸带电部分至用钥匙或工具才能打开或拆卸的栅栏	室内	800	825	850	875
		室外	825	950	950	950
	低压母排引出线或高压引出线的套管至屋外人行通道地面	室外	3650	4000	4000	4000

6、屋外配电装置的安全净距（见表 5-6）

表 5-6 屋外配电装置的安全净距（单位 mm）

符 号	适用范围	图 号	额定电压/kv					
			3 -- 10	15- 20	35	63	110J	110
A1	1、带电部分至接地部分之间	5-5 5-6						
	2、网状遮拦向上延伸线距地 2.5m 处，与遮拦上方带电部分之间		200	300	400	650	900	1000
A2	1、不同相的带电部分之间	5-5 5-7						
	2、断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间		200	300	400	650	1000	1100
B1	1、设备运输时，其外廓至无遮拦带电部分之间	5-5 - 5-7	950	1050	1150	1400	1650	1750

	2、交叉的不同时停电检修的无遮拦带电部分之间 3、栅状遮拦至绝缘体和带电部分之间 4、带电作业时的带电部分和接地部分之间							
B2	网状遮拦至绝缘体和带电部分之间	5-6	300	400	500	750	1000	1100
C	1、无遮拦裸导体至地面之间 2、无遮拦裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	5-6 5-7	2700	2800	2900	3100	3400	3500
D	1、平行的不同时停电检修的无遮拦带电部分之间 2、带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间	5-5 5-6	2200	2300	2400	2600	2900	3000

7、不同条件下的计算风速和安全净距（见表 5-7）

表 5-7 不同条件下的计算风速和安全净距（单位 mm）							
条件	检验条件	计算风速/ (m/s)	A 值	额定电压/kv			
				35	63	110 J	110
外 过 电 压	外过电压和风偏	10①	A ₁	400	650	900	1000
			A ₂	400	650	1000	1100
内 过 电 压	内过电压和风偏	最大设计风 速的 50%	A ₁	400	650	900	1000
			A ₂	400	650	1000	1100
最 大 工	1、最大工作电压，短路和风偏	10 或最大设	A ₁	150	300	300	450

作电压	(取 10mm/s 风速	计风速	A 2	150	300	500	500
	2、最大工作电压和风偏 (取最大 设计风速)						

2、了解室内外配电装置的基本特点

室内配电装置的特点: 1.安全净距小并可分层布置,占地面积小; 2.维护、巡视和操作都在室内进行,不受外界气象条件的影响,比较方便; 3.设备受气象及外界有害气体影响较小,可减少维护工作量; 4.建筑投资大; 屋外配电装置的特点: 1、安全净距大,占地面积大,但便于带电作业 2、维护、巡视和操作在室外进行,受外界气象条件影响; 3、设备受气象及外界有害气体影响较大,运行条件较差,须加强绝缘,设备价格较高; 4、土建工程量和费用较少,建设周期短,扩建较方便。

3、了解 GIS 配电装置的基本特点

高压配电装置的型式有三种:第一种是空气绝缘的常规配电装置,简称 AIS;其母线裸露,直接与空气接触,断路器可用瓷柱式或罐式,其特点是外绝缘距离大,占地面积大,但投资少,安装简单,可视性好,现大多数电力用户使用的均是这类配电装置;第二种是混合式配电装置,简称 H-GIS。母线采用开敞式,其它均为六氟化硫气体绝缘开关装置;第三种是六氟化硫气体绝缘全封闭配电装置,简称 GIS。

GIS 配电装置的基本特点:占地面积小,可靠性高,安全性强,维护工作量很小,其主要部件的维修间隔不小于 20 年,但投资大,对运行维护的技术性要求很高;

4、了解发电厂和变电站的电气平面布置

三、高电压与绝缘

(一) 过电压与绝缘配合

1、了解电力系统过电压的种类

过电压是在相对地或导线之间出现的,峰值超过设备最高电压峰值的电压。电力系统在特定条件下所出现的超过工作电压升高的异常电压。过电压属于电力系统中的一种电磁扰动现象。电工设备的绝缘长期耐受着工作电压,同时还必须能够承受一定幅度的过电压,这样才能保证电力系统安全可靠地运行。过电压是指工频下交流电压均方根值升高,超过额定值的 10%,并且持续时间大于 1 分钟的长时间电压变动现象;过电压的出现通常是负荷投切的结果。过电压分外过电压和内过电压两大类。

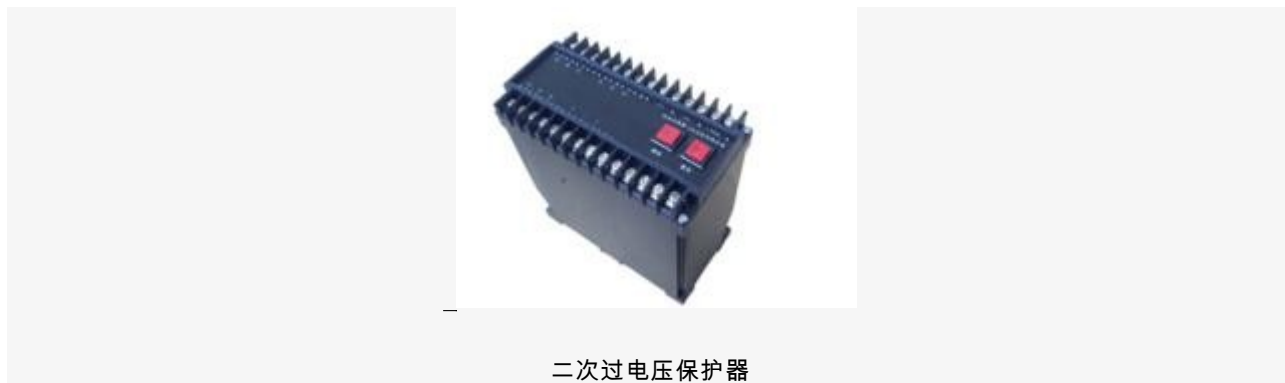
1、大气过电压:由直击雷引起。特点是持续时间短暂、冲击性强、与雷击活动强度有直接关系,与设备电压等级无关。因此,220KV 以下系统的绝缘水平往往由防止大气过电压决定;

2、工频过电压 :由长线路的电容效应及电网运行方式的突然改变引起 ,特点是持续时间长 ,过电压倍数不高 ,一般对设备绝缘危险性不大 ,但在超高压、远距离输电确定绝缘水平时起重要作用 ;

3、操作过电压 :由电网内开关操作引起 ,特点是具有随机性 ,但最不利情况下过电压倍数较高。因此 30KV 及以上超高压系统的绝缘水平往往由防止操作过电压决定 ;

2、了解雷电过电压特性

雷电过电压 也称大气过电压。由大气中的雷云对地面放电



而引起的。分直击雷过电压和感应雷过电压两种。雷电过电压的持续时间约为几十微秒 ,具有脉冲的特性 ,故常称为雷电冲击波。直击雷过电压是雷闪直接击中电工设备导电部分时所出现的过电压。雷闪击中带电的导体 ,如架空输电线路导线 ,称为直接雷击。雷闪击中正常情况下处于接地状态的导体 ,如输电线路铁塔 ,使其



电位升高以后又对带电的导体放电称为反击。直击雷过电压幅值可达上百万伏 ,会破坏电工设施绝缘 ,引起短路接地故障。感应雷过电压是雷闪击中电工设备附近地面 ,在放电过程中由于空间电磁场的急剧变化而使未直接遭受雷击的电工设备 (包括二次设备、通信设备) 上感应出的过电压。

3、了解接地和接地电阻、接触电压和跨步电压的基本概念

接地 :在电力系统中 ,将设备和用电装置的中性点、外壳或支架与接地装置用导体作良好的电气连接叫做接地。常用的有保护接地、工作接地、防雷接地、屏蔽接地、静电接地 ;

接地电阻 : 接地电阻 就是电流由接地装置流入大地再经大地流向另一接地体或向远处扩散所遇到的电阻 , 它包括接地线和接地体本身的电阻、接地体与大地之间的接触电阻以及两接地体之间大地的电阻或接

地体到无限远处的大地电阻。接地电阻大小直接体现了电气装置与“地”接触的良好程度,也反映了接地网的规模;

接触电压:人体同时触及具有不同电位的部位时承受的电压。绝缘损坏时,同时可触及部分之间出现的电压;

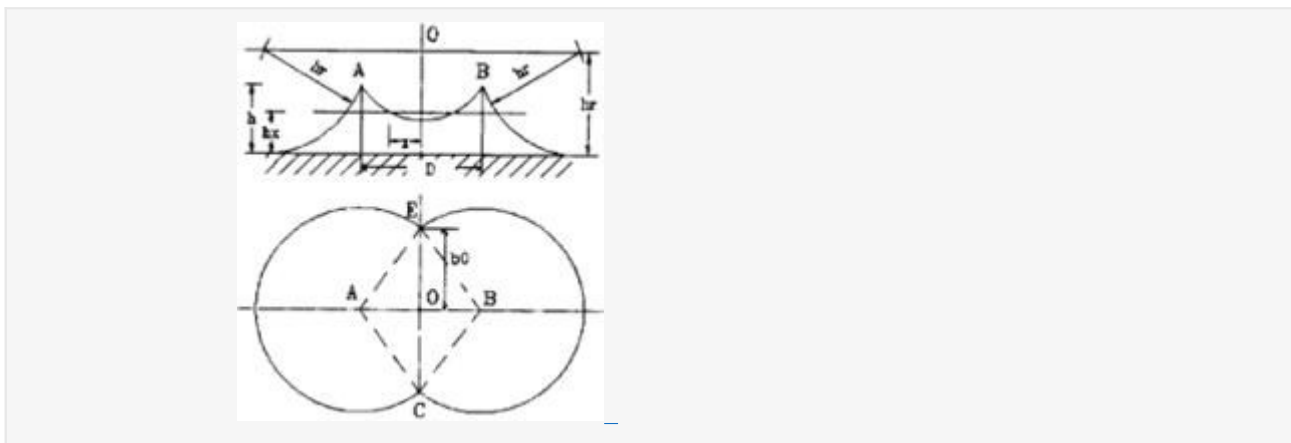
跨步电压:人站立在有电流流过的大地上,存在于两足之间的电压,就是指电器设备发生接地故障时,在接地电流入地点周围电位分布区行走的人,其两脚之间的电压。

4、了解氧化锌避雷器的基本特性

氧化锌避雷器是具有良好的保护性能的避雷器。利用氧化锌良好的非线性伏安特性,使在正常工作电压时流过避雷器的电流极小(微安或毫安级);当过电压作用时,电阻急剧下降,泄放过电压的能量,达到保护的效果。这种避雷器和传统的避雷器的差异是它没有放电间隙,利用氧化锌的非线性特性起到泄流和开断的作用;

5、了解避雷针、避雷线保护范围的确定

独立避雷针的保护范围:



当避雷针的高度 $h \leq h_r$ 时,距地面 h_r 处作一条平行于地面的平行线,以避雷针的针尖为圆心, h_r 为半径画弧,交水平线于 A 、 B 两点,又分别以 A 、 B 两点为圆心, h_r 为半径,从针尖向地面画弧。如图 1 所示,则图中曲线就是避雷针保护范围的边界,保护范围是一个对称的锥体;

避雷线的保护效果还同它下方的导线与它所成的角度有关,角度较小时,保护效果较好。在架有两根避雷线的情况下,容易获得较小的保护角,线路运行时的雷击跳闸故障也较少,但建设投资较大。我国近年来新建的 220 千伏以下线路,多采用一根避雷线。

(二) 高电压试验

了解电气设备的试验方法及类型

试验方法:1、交流耐压试验;2、直流耐压及泄漏电流试验;3、绝缘电阻、吸收比、极化指数测量;

试验类型:电气试验大致可分为如下几种类型:

1、型式试验:对新设计的电气设备进行比较严格的试验,检查其内、外部结构是否符合设计要求。每种产品在定型前都必须经过此项试验。

2、出厂试验:电气设备制造完毕后进行的试验,检查每台产品的工艺质量,不使出厂后返工,其试验要求比较高。

3、交接试验:新设备安装后投运前的试验,是运行单位的初次试验,主要是检查设备在运输和安装过程中存在的缺陷,其项目比较多,要求比较高,但一般不超过出厂试验标准。

4、预防性试验:为了监视运行中的电气设备的绝缘性能和导电性能,掌握绝缘变化规律和趋势,对运行设备所做的定期试验。

5、检修试验:为了保证设备运行良好,在设备定期检修或事故检修的前、中、后期所做的试验,以确定零部件是否需要调换或修理,并检查检修的质量。

(三) 电气设备选择

1、掌握导体和电气设备选择和校验的基本原则和方法

导体选择:①在正常工作电流长期通过或短路电流短时通过时,发热温度都不应超过允许限度;②能承受短路电流所引起的电动力;③具有一定的绝缘水平,能承受运行中的长期工作电压和可能发生的短时过电压;

电气设备选择:(1)按正常工作条件选择电器。正常工作条件是指电器的额定电压、额定电流、环境条件(海拔高度、温度、装设位置);(2)按短路情况校验电器的热稳定和动稳定。通过短路电流愈大,电器受到的影响愈严重。选择通过电器的短路电流为最大的那些点为短路计算点;

2、了解母线、电缆、绝缘子、套管及避雷器的选择和校验的原则

母线的选择和校验原则:可以连接多个电气回路的低阻抗导体称为母线。在电力系统中,母线将配电装置中的各个载流分支回路连接在一起,起着汇集、分配和传送电能的作用,母线采用铜排或者铝排。母线按外型和结构,大致分为以下三类:1、硬母线:包括矩形母线、槽形母线、管形母线等,2、软母线:包括铝绞线、铜

绞线、钢芯铝绞线、扩径空心导线等,3、封闭母线:共箱母线、分相母线。母线选择原则:电流密度大,电阻小,集肤效应小,无须降容使用;

电缆的选择和校验原则:选择:1) 电缆载流量应大于最大工作电流;2) 电缆的抗短路能力:热稳定能力应能承受最严酷的短路热效应;3) 电缆产生的电压降:不得影响负荷正常工作;4) 电缆的经济性:要考虑投资、运行的经济效益。校验:将原来截面选择后的校验改为电缆选择前的限定,这是本质上的改进。其好处是将原来重复的、分散的各系统电缆的校验工作集中在一个时间段处里,将所有低压电力电缆的热稳定参数一次性的汇总完成,工作效率大为提高,二是在根据短路电流确定断路器及保护配置的同时,随即可以确定与断路器配套的最小截面电缆。这样可以减少很多重复工作,在选择电缆时无需再查找短路电流、低压断路器保护的動作时间等参数;

绝缘子的选择和校验原则:绝缘子是安装在不同电位的导体之间或导体与地电位构件之间互相绝缘,能够耐受电压和机械应力作用的器件。1、绝缘子通常分为可击穿型和不可击穿型;2、按结构可分为柱式绝缘子、悬式绝缘子、防污型绝缘子和套管绝缘子;3、按应用场合又分为线路绝缘子和电站、电器绝缘子。其中用于线路的可击穿型绝缘子有针式、蝶形、盘形悬式,不可击穿型有横担和棒形悬式。用于电站、电器的可击穿型绝缘子有针式支柱、空心支柱和套管,不可击穿型有棒形支柱和容器瓷套;4、架空线路中所用绝缘子,常用的有针式绝缘子、蝶式绝缘子、悬式绝缘子、瓷横担、棒式绝缘子和拉紧绝缘子等;5、现在常用的绝缘子有:陶瓷绝缘子,玻璃钢绝缘子,合成绝缘子,半导体绝缘子。用户可根据不同环境、不同要求、不同方式自主选择。

避雷器选择和校验的原则:选择:在电力配电线路中,常用的避雷器有:阀型避雷器、管型避雷器、氧化锌避雷器等,低压配电系统提倡选用低压氧化锌避雷器。氧化锌阀片在正常运行电压下,阀片的电阻很高,仅可通过微安级的泄漏电流。但在强大的雷电流通过时,却呈现很低的电阻,使其迅速泄入大地,实现限压分流的目的。阀片上的残压几乎不随通过电流的大小而变化,时常维持在小于被保护电器的冲击试验电压,使设备的绝缘得到保护,雷电流过后又恢复到原绝缘状态。校验:1、绝缘电阻的测量,2、测量直流和泄漏电流,3、运行电压下交流泄漏电流测量;

套管选择和校验的原则:

第三部分 新理论知识

一、掌握电气设备安全知识

一、电气基本常识

(一)电流和电路

在电源的作用下,带电微粒会发生定向移动,正电荷向电源负极移动、负电荷向电源正极移动。带电微粒的定向移动就是电流,一般以正电荷移动的方向为电流的正方向。电流的方向和大小不随时间变化的电流称为直流电,电流的大小和方向随时间作周期性变化的电流称为交流电。

电流的大小称为电流强度,电流强度简称为电流。电流的常用单位是安培(A)或毫安(mA),即 $1\text{A}=1000\text{mA}$ 。

电流所流经的即电路。在闭合电路中,实现电能的传递和转换。电路由电源、连接导线、开关电器、负载及其它辅助设备组成。电源是提供电能的设备,电源的功能是把非电能转换为电能,如电池把化学能转换为电能,发电机把机械能转换为电能,太阳能电池将太阳能转化为电能,核能将质量转化为能量等。干电池、蓄电池、发电机等是最常用的电源。负载是电路中消耗电能的设备,负载的功能是把电能转变为其它形式的能量。如电炉把电能转变为热能,电动机把电能转变为机械能等。照明器具、家用电器、机床等是最常见的负载。开关电器是负载的控制设备,如刀开关、断路器、电磁开关、减压起动器等都属于开关电器。辅助设备包括各种继电器、熔断器以及测量仪表等。辅助设备用于实现对电路的控制、分配、保护及测量。连接导线把电源、负载和其它设备连接成一个闭合回路,连接导线的作用是传输电能或传送电信号。

(二)保险丝的作用

保险丝又称熔丝,主要是用于防止因电流过大而烧坏电线的一道保险。保险丝是一种容易烧断的细合金丝,它只能通过正常用电电流,当电流量超过一定的数值时,它就会发热熔断而切断电源,从而保护电线不被烧坏,特别是当电线短路时,如不很快切断电源,电线在瞬间就会被烧坏,甚至发生火灾。保险丝的大小应视用电量大小而定,一般1安培的保险丝可以正常使用100-200瓦的电器。太大起不到良好的保护作用,太小又会经常烧断,影响正常用电。

(三)安全电压

安全电压是在一定条件下、一定时间内不危及生命安全的电压。安全电压的限值是在任何情况下,任意两导体之间都不得超过的电压值。我国标准规定工频安全电压有效值的限值为50V。我国规定工频有效值的额定值有42V、36V、24V、12V、和6V。特别危险环境使用的携带式电动工具应采用42V安全电压;有电击危险环境使用的手持照明灯和局部照明灯应采用36V和24V安全电压;金属容器内、隧道内、水井内以及周围有大面积接地导体等工作地点狭窄、行动不便的环境应采用12V安全电压;水上作业等特殊场所应采用6V安全电压。

(四)颜色标志常用来区分各种不同性质、不同用途的导线,或用来表示某处安全程度。

按照规定,为便于识别,防止误操作,确保运行和检修人员的安全,采用不同颜色来区别设备特征。如电气母线,A相为黄色,B相为绿色,C相为红色,明敷的接地线涂为黑色。在二次系统中,交流电压回路用黄色,交流电流回路用绿色,信号和警告回路用白色。

图形标志一般用来告诫人们不要去接近危险场所。

一般采用的安全色有以下几种:

1、红色--用来标志禁止、停止和消防,如信号灯、信号旗、机器上的紧急停机按钮等都是用红色来表示“禁止”的信息。 禁止启动 禁止合闸 禁止触摸

2、黄色--用来标志注意危险。如“当心触电”、“注意安全”、“当心电缆”等。 当心触电 注意安全
当心电缆

3、绿色--用来标志安全无事。如“在此工作”等。 在此工作

4、蓝色--用来标志强制执行。如“必须带安全帽”、“必须带防护手套”等。 必须带安全帽 必须带防护手套

5、黑色--用来标志图像、文字符号和警告标志的几何图形。

二、触电事故方式

按照人体触及带电体的方式和电流流过人体的途径,电击可分为单相触电、两相触电和跨步电压触电。

(一)单相触电

当人体直接碰触带电设备其中的一相时,电流通过人体流入大地,这种触电现象称为单相触电。对于高压带电体,人体虽未直接接触,但由于超过了安全距离,高电压对人体放电,造成单相接地而引起的触电,也属于单相触电。

(二)两相触电

人体同时接触带电设备或线路中的两相导体,或在高压系统中,人体同时接近不同相的两相带电导体,而发生电弧放电,电流从一相导体通过人体流入另一相导体,构成一个闭合回路,这种触电方式称为两相触电。发生两相触电时,作用于人体上的电压等于线电压,这种触电是最危险的。

(三)跨步电压触电

当电气设备发生接地故障,接地电流通过接地体向大地流散,在地面上形成电位分布时,若人在接地短路点周围行走,其两脚之间的电位差,就是跨步电压。由跨步电压引起的人体触电,称为跨步电压触电。

三、触电事故抢救

(一)现场急救原则:

- 1、迅速:施救者要迅速将触电者移到安全的地方进行施救。
- 2、就地:要争取时间,在现场(安全地方)就地抢救触电者。
- 3、准确:抢救的方法和施救的动作要正确。
- 4、坚持:急救必须坚持到底,直至医务人员判定触电者已经死亡,才能停止抢救。

(二)现场急救措施:

1、立即切断电源,或用不导电物体如干燥的木棍、竹棒或干布等物使伤员尽快脱离电源。急救者切勿直接接触触电伤员,防止自身触电而影响抢救工作的进行。

2、当伤员脱离电源后,应立即检查伤员全身情况,特别是呼吸和心跳,发现呼吸、心跳停止时,应立即就地抢救。

3、呼吸心跳均停止者,则应在人工呼吸的同时施行胸外心脏按压,以建立呼吸和循环,抢救一定要坚持到底一直到医护人员到达。

四、电气火灾扑救:

(一)电气火灾的特点

电气火灾与一般火灾相比，有两个突出的特点：

- 1、电气设备着火后可能仍然带电，并且在一定范围内存在触电危险。
- 2、充油电气设备如变压器等受热后可能会喷油、甚至爆炸，造成火灾蔓延且危及救火人员的安全。

所以，扑救电气火灾必须根据现场火灾情况，采取适当的方法，以保证灭火人员的安全。

(二)断电灭火

电气设备发生火灾或引燃周围可燃物时，首先应设法切断电源，必须注意以下事项：

- 1、处于火灾区的电气设备因受潮或烟熏，绝缘能力降低，所以拉开开关断电时，要使用绝缘工具。
- 2、剪断电线时，不同相电线应错位剪断，防止线路发生短路。
- 3、应在电源侧的电线支持点附近剪断电线，防止电线剪断后跌落在地上，造成电击或短路。
- 4、如果火势已威胁邻近电气设备时，应迅速拉开相应的开关。
- 5、夜间发生电气火灾，切断电源时，要考虑临时照明问题，以利扑救。如需要供电部门切断电源时，应及时联系。

(三)带电灭火

为了争取灭火时间，防止火灾扩大，来不及断电；或因需要或其他原因，不能断电，则需要带电灭火。如果无法及时切断电源，而需要带电灭火时，要注意以下几点：

- 1、应选用不导电的灭火器材灭火，如干粉、二氧化碳、1211 灭火器，不得使用泡沫灭火器带电灭火；
- 2、要保持人及所使用的导电消防器材与带电体之间的足够的安全距离，扑救人员应带绝缘手套和绝缘靴或穿均压服操作；
- 3、对架空线路等空中设备进行灭火时，人与带电体之间的仰角不应超过 45° ，而且应站在线路外侧，防止电线断落后触及人体，如带电体已断落地面，应划出一定警戒区，以防跨步电压伤人；
- 4、用水枪灭火时宜采用喷雾水枪，这种水枪通过水柱的泄漏电流较小，带电灭火比较安全；用普通直流水枪灭火时，为防止通过水柱的泄漏电流通过人体，可以将水枪喷嘴接地。
- 5、人体与带电体之间要保持必要的安全距离。用水灭火时，水枪喷嘴至带电体的距离：电压 110kV 及以下者不应小于 3m；220kV 及以上者不应小于 5m；用二氧化碳等有不导电的灭火机时，机体、喷嘴至带电体的最小距离；10kV 者不应小于 0.4m；36kV 者不应小于 0.6m。

6、充油电气设备灭火

- ① 充油设备着火时，应立即切断电源，如外部局部着火时，可用二氧化碳、1211、干粉等灭火器材灭火。
- ② 如设备内部着火，且火势较大，切断电源后可用水灭火，有事故贮油池的应设法将油放入池中，再行扑救。

五、手持电动工具安全使用

(一)手持电动工具容易发生触电事故的原因：

- 1、手持电动工具是在人的紧握之下运行的，人与工具之间的电阻小。一旦工具外露部分带电，将有较大的电流通过人体，容易造成严重后果。
- 2、手持电动工具是在人的紧握之下运行的，一旦触电，由于肌肉收缩而难以摆脱带电体，容易造成严重后果。
- 3、手持电动工具有很大的移动性，其电源线容易受拉、磨而漏电，电源

线连接处容易脱落而使金属外壳带电,导致触电事故。4、手持电动工具有很大的移动性,运行时振动大,而且可能在恶劣的条件下运行,容易损坏而使金属外壳带电导致触电事故。5、小型手持电动工具采用 220V 单相交流电源,由一条相线和一条工作零线供电。如错误地将相线接在金属外壳上或错误地将保护零线(PE 线)与工作零线(N 线)接在一起又有零线断路,均会造成金属外壳带电,导致触电事故。

(二)手持电动工具的安全使用:

在使用前后,保管人员必须进行日常检查,使用者在使用前应进行检查。日常检查的内容有:外壳、手柄有无破损裂纹,机械防护装置是否完好,工具转动部分是否灵活、轻快无阻,电气保护装置是否良好,保护线连接是否正确可靠,电源开关是否正常灵活,电源插头和电源线是否完好无损。发现问题应立即修复或更换。

1、外观检查包括:

- ① 外壳、手柄有无裂缝和破损,紧固件是否齐全有效;
- ② 软电缆或软电线是否完好无损,保护接零(地)是否正确、牢固,插头是否完好无损;
- ③ 开关动作是否正常、灵活、完好;
- ④ 电气保护装置和机械保护装置是否完好;
- ⑤ 工具转动部分是否灵活无障碍,卡头牢固。

2、电气检查包括:

- ① 通电后反应正常,开关控制有效;
- ② 通电后外壳经试电笔检查应不漏电;
- ③ 信号指示正确,自动控制作用正常;
- ④ 对于旋转工具,通电后观察电刷火花和声音应正常。

3、手持电动工具在使用场所应加装单独的电源开关和保护装置。其电源线必须采用铜芯多股橡套软电缆或聚氯乙烯护套电缆;电缆应避开热源,且不能拖拉在地。

4、电源开关或插销应完好,严禁将导线芯直接插入插座或挂钩在开关上。特别要防止将火线与零线对调。

5、操作手电钻或电锤等旋转工具,不得带线手套,更不可用手握持工具的转动部分或电线,使用过程中要防止电线被转动部分绞缠。

6、手持式电动工具使用完毕,必须在电源侧将电源断开。

7、在高空使用手持式电动工具时,下面应设专人扶梯,且在发生电击时可迅速切断电源。

六、静电的危害

静电是由不同物质的接触、分离或相互摩擦而产生的。静电的危害很多,它的第一种危害来源于带电体的互相作用。静电的第二种危害是因静电火花点燃某些易燃物体而发生爆炸。在印刷厂里,纸页之间的静电会使纸页粘合在一起,难以分开,给印刷带来麻烦;在制药厂里,由于静电吸引尘埃,会使药品达不到标准的纯度;但在手术台上,除电火花会引起麻醉剂的爆炸,伤害医生和病人;在煤矿,则会引起瓦斯爆炸,会导致工人死伤,矿井报废。我国近年来在石化企业曾发生 30 多起较大的静电事故,其中损失达百万元以上的有数起。例如上海某石化公司的三甲苯罐,山东某石化公司的胶渣罐,抚顺某石化公司的航煤罐等都因静电造成了严重火灾爆炸事故。

七、消除静电危害的措施

静电危害的防止措施主要有减少静电的产生、设法导走或消散静电和防止静电放电等。其方法有接地法、中和法和防止人体带静电等。

(一)接地

接地是消除静电最简单最基本的方法，它可以迅速地导走静电。(二)静电中和

绝缘体上的静电不能用接地的方法来消除，但可以利用极性相反的电荷来中和，目前“中和静电”的方法是采用感应式消电器。

(三)人体防静电

人在行走、穿、脱衣服或座椅上起立时，都会产生静电，这也是一种危险的火花源，经试验，其能量足以引燃石油类蒸气。因此，在易燃的环境中，最好不要穿化纤类衣物，在放有危险性很大的炸药、氢气、乙炔等物质的场所，应穿用导电纤维制成的防静电工作服和导电橡胶做成的防静电鞋。另外，如何消除人身体静电，下面的方法简单易行：1、洒水：室内空气湿度低于30%时，有利于摩擦产生静电，若将湿度提高到45%，静电就难产生了。可使用加湿器，也可放置一两盆清水，或摆放花草。2、湿梳：将梳子在水中浸一下，就不会产生静电，可随意梳理了。光脚：赤足有利于体表积聚的静电释放。3、喷雾：带一小瓶喷喷的水，随时喷一下。4、摸墙：脱衣服前，用手摸一下墙壁，摸水龙头之前也用手摸一下墙，可将体内的静电“放”出去。尽量不穿化纤类衣物，勤洗澡、勤换衣服。5、钥匙：碰铁门时，先用手抓紧你的钥匙(通常这不会遭电击)，然后，用一个钥匙的尖端去接触铁门，这样，身上的电就会被放掉，而且不会遭电击。6、下车：下车时也常发生电击现象，主要由于下车时身体与座位摩擦产生静电积累。下车时，即在身体与座位摩擦时，提前手扶金属的车门框，可随时把身上的静电排掉，不至于下车时突然手碰铁门时放电。

二、了解常见劳动安全与卫生知识

劳动安全卫生规程和标准，是指关于消除、限制或预防劳动过程中的危险和有害因素，保护职工安全与健康、保障设备、生产正常运行而制定的统一规定。劳动安全卫生标准分三级，即国家标准、行业标准和地方标准。安全教育可以促使劳动者充分认识安全工作的重要意义，提高其执行国家职业安全卫生法规自觉性，也是提高劳动者技术素质的一个组成部分。

安全教育根据有关法规内容主要包括：

- 1.对新工人实行“三级”安全教育。所谓“三级”，即入厂教育、车间教育、班组教育。入厂教育即新工人到厂后由劳动工资或人事部门及教育部门负责组织安排，由安全技术部门进行安全知识教育，并经考试合格后，才准分配到车间(队)；车间教育即由车间(队)主任(队长)或主管安全的负责人负责安全教育，考试合格后，方准分配到班组，班组教育即由班组长或班安全员负责，进行实际操作安全技术教育。
- 2.对特种作业人员的教育。对入厂的新工人除了进行“三级”教育外，对特种作业人员进行特种教育。特种作业人员是指他所从事的工作极易发生伤亡事故，不仅危害本人，而且还会危害他人安全的作业人员，如电工、起重工、焊接、车辆驾驶、爆破等作业人员。对特种作业人员不仅要进行专门的安全教育，还必须取得安全合格证后，方能独立工作。
- 3.新岗位、新技术的教育，采用新的生产方法，添设新的技术设备、制造新产品或调换工人工作时，必须对工人进行新岗位和新的操作方法的安全教育。
- 4.要经常对工人进行本岗位安全操作规程和有关安全卫生法规制度的教育。

5.对各级行政、技术管理干部的教育,对此主要是进行职业安全卫生法规、安全技术知识和工作经验教训的教育。“劳动安全卫生设施”,主要是指安全技术方面的设施,劳动卫生方面的设施和生产性辅助设施(如:女工卫生室、更衣室、饮水设施等)。“国家规定的标准”主要是指劳动部门和各行业主管部门制定的一系列技术标准。用人单位按照国家规定,即:《工厂安全卫生规程》、《建筑安装工程安全技术规程》、《工业企业设计卫生标准》及一些国家标准,如:《工业企业厂内运输安全规程》、《生产过程安全卫生要求总则》等,提供劳动安全卫生条件,这主要包括工作场所和生产设备。工作场所的光线应当充足,噪声、有毒有害气体和粉尘浓度不得超过国家规定的标准,建筑施工、易燃易爆和有毒有害等危险作业场所应当设置相应的防护设施、报警装置、通讯装置、安全标志等。对危险性大的生产设备设施,如锅炉、压力容器、起重机械、电梯、企业内机动车辆、客运架空索道等,必须经过安全评价认可,取得有关部门颁发的安全使用许可证方可投入运行,企业提供的劳动防护用品,必须是经政府有关部门安全认证合格的防护用品。劳动防护用品是指保护劳动者在劳动过程中人身安全与健康的防御性装备。劳动防护用品按照防护部位有以下几大类:(1)头部防护用品。如安全帽、工作帽;(2)眼睛防护用品。如各种防护眼镜等;(3)耳部防护用品。如耳塞、耳罩等;(4)面部防护用品。如防护面罩;(5)呼吸道防护用品。如防毒面具、呼吸器、自救器等;(6)手部防护用品。如手套、指套;(7)足部防护用品。如防砸鞋、隔热鞋、绝缘鞋、导电鞋等;(8)体部防护用品。如工作服、背带裤、雨衣、防寒服等;(9)其他防护用品。如安全带、安全绳(索)等。

根据原劳动部劳部发[1994]289号文“特种作业”指对操作者本人及他人和周围设施的安全有重大危害因素的作业。特种作业的范围有十类:1.电工作业;2.锅炉司炉;3.压力容器操作;4.起重机械作业;5.爆破作业;6.金属焊接(气割)作业;7.煤矿井下瓦斯检验;8.机动车辆驾驶;9.机动船舶驾驶、轮机操作;10.建筑登高架设作业。国家标准《特种作业人员安全技术考核管理规则》(GB5306-85)和原劳动部颁发的《特种作业人员安全培训考核管理规定》。劳动部劳安发字[1991]31号,对特种作业的范围和特种作业人员的条件、培训考核、发证等都作了明确规定。“特种作业资格”是指特种作业人员在独立上岗之前,必须进行安全技术培训,并经过安全技术理论考试和实际操作技能考核,考核成绩合格者由安全生产综合管理部门和有关部门发给《特种作业人员操作证》。他是国家职业资格证书的一种。

安全操作规程主要包括:国务院《工人安全卫生规程》、《建筑安装工程安全技术规程》和《企业职工伤亡事故报告和处理规定》,即原所称谓的“三大规程”。

根据《劳动法》第56条规定,劳动者对用人单位管理人员违章指挥、强令冒险作业,有权拒绝执行;对危害生命安全和身体健康的行为,有权提出批评,检举和控告。

根据《江苏省企业职工伤亡事故报告和处理办法》(苏劳护[1993]1号)规定,企业发生伤亡事故,负伤者或事故现场有和包性应当立即直接报告或逐级报告至企业负责人。重伤,死亡和急性中毒事件,报至企业主管部门,当地安全生产管理部门、公安、人民法院、检察院和工会、卫生部门等。轻伤事故调查,由企业组织有关方面调查,拟订改进措施;重伤一至二人的事故,由企业内部人员,还需主管部门,安全生产综合管理部门、工会等有关人员参加调查;死亡一人或重伤三人以上事故,由企业主管部门会同当地安全生产综合管理部门、公安、检察院和工会组织调查;死亡二人事故,由企业主管部门会同省级安全生产综合管理部门、公安、人民检察院和工会组织调查。一次死亡三人(含三人)以上的重大死亡事故由企业主管部门或国务院有关部门会同级安全生产综合管理部门、公安、监察、人民检察院和工会组织调查。事故处理结案,由发生伤亡事

故的企业或主管部门根据事故调查提出处理意见和防范建议,写出《企业职工伤亡事故调查处理报告书》,报安全生产综合管理部门批准结案。

职业病是指劳动者在生产或工作过程中由于某种劳动的性质或者特殊的劳动环境而引起的疾病。通常指在工业生产中由于机械性刺激、化学药品刺激等原因引起的疾病。即由于人体受粉尘、毒物、噪声、高温等影响,造成人的某些器官发生病变,或者引起全身性疾病。

职业病种类颁发的《职业病诊断管理办法》,凡符合以下规定均为职业病:

1.职业中毒 { 1)根据卫生部化合物中毒(不包括四乙基铅);(2)汞及其化合物中毒 ;(3)锰及其化合物中毒 ;(4)镉及其化合物中毒 ;(5)铍病 ;(6)铊及其化合物中毒 ;(7)钒及其化合物中毒 ;(8)磷及其化合物中毒 (不包括磷化氢、磷化锌、磷化铝);(9)砷及其化合物中毒(不包括砷化氢);(10)砷化氢中毒 ;(11)氯气中毒 ;(12)二氧化硫中毒 ;(13)光气中毒 ;(14)氨中毒 ;(15)氮氧化合物中毒 ;(16)一氧化碳中毒 ;(17)二硫化碳中毒 ;(18)硫化氢中毒 ;(19)磷化氢、磷化锌、磷化铝中毒 ;(20)工业性氟病 ;(21)氰及腈类化合物中毒 ;(22)四乙基铅中毒 ;(23)有机锡中毒 ;(24)羰基镍中毒 ;(25)苯中毒 ;(26)甲苯中毒 ;(27)二甲苯中毒 ;(28)正己烷中毒 ;(29)汽油中毒 ;(30)有机氟聚合物单体及其热裂解物中毒 ;(31)二氯乙烷中毒 ;(32)四氯化碳中毒 ;(33)氯乙烯中毒 ;(34)三氯乙烯中毒 ;(35)氯丙烯中毒 ;(36)氯丁二烯中毒 ;(37)苯的氨基及硝基化合物(不包括三硝基甲苯)中毒 ;(38)三硝基甲苯中毒 ;(39)甲醇中毒 ;(40)酚中毒 ;(41)五氯酚中毒 ;(42)甲醛中毒 ;(43)硫酸二甲基酯类农药中毒 ;(44)丙烯酰胺中毒 ;(45)有机磷农药中毒 ;(46)氨基甲酸酯类农药中毒 ;(47)杀虫脒中毒 ;(48)溴甲烷中毒 ;(49)拟除虫菊酯类农药中毒 ;(50)根据《职业性中毒性肝病诊断标准与处理原则》可以诊断的职业性中毒性肝病 ;(51)根据《职业性急性中毒诊断标准及处理原则总则》可以诊断的其他职业性急性中毒。2.尘肺 { 1)矽肺 ;(2)煤工尘肺 ;(3)石墨尘肺 ;(4)炭黑尘肺 ;(5)石棉肺 ;(6)滑石尘肺 ;(7)水泥尘肺 ;(8)云母尘肺 ;(9)陶工尘肺 ;(10)铝尘肺 ;(11)电焊工尘肺 ;(12)铸工尘肺。3.物理因素职业病 { 1)中暑 ;(2)减压病 ;(3)高原病 ;(4)航空病 ;(5)局部振动病 ;(6)放射性疾病 ;a.急性外照射放射病 ;b.慢性外照射放射病 ;c.内照射放射病 ;d.放射性皮肤烧伤。4.职业性传染病 { 1)炭疽 ;(2)森林脑炎 ;(3)布氏杆菌病。5.职业性皮肤病 { 1)接触性皮炎 ;(2)光敏性皮炎 ;(3)电光性皮炎 ;(4)黑变病 ;(5)痤疮 ;(6)溃疡 ;6.职业性眼病 { 1)化学性眼部烧伤 ;(2)电光性皮炎 ;(3)职业性白内障(含放射性白内障)。7.职业性耳、鼻、喉病 { 1)噪声聋 ;(2)铬鼻病。8.职业性肿瘤 { 1)石棉所致肺癌、间皮瘤 ;(2)联苯胺所致膀胱癌 ;(3)苯所致白血病 ;(4)氯甲醚所致肺癌 ;(5)砷所致肺癌、皮肤癌 ;(6)氯乙烯所致肝血管肉瘤 ;(7)焦炉工人肺癌 ;(8)铬酸盐制造业工人肺癌。9.其他职业病 { 1)化学灼伤 ;(2)金属烟热 ;(3)职业性哮喘 ;(4)职业性变态反应性肺泡炎 ;(5)棉尘病 ;(6)煤矿井下工人滑囊炎 ;(7)牙酸蚀病。

女职工在月经期间,所在单位不得安排从事高空、低温、冷水、野外和国家规定的第三级体力劳动强度的劳动,应暂时调做其他工作,或给予公假一至二天,对其他工种的女职工,月经过多或因痛经不能坚持工作的,经医疗单位证明,给予公假一天,对怀孕的女职工不得安排加班加点,其在劳动时间内进行产前检查,应算作劳动时间,并扣除相应的劳动定额,怀孕七个月以上(含七个月)的女职工,一般不得安排其从事夜班劳动,工劳动时间内应给予工间休息一小时,并扣除相应的劳动定额,上班确有困难者,其工资不得低于百分之八十,女职工的产假不得少于九十天。其中产前休假十五天。难产的,增加产假十五天;多胞胎生育的,每多生育一个婴儿,增加产假十五天。

夜班劳动系指在当日二十二点至次日六点从事劳动或工作。一般都应执行《女职工劳动保护规定》。对于女职工比较集中的企业,不安排从事夜班劳动确有困难的,请当地劳动部门批准,可以暂时放宽执行,但要在短时间内积极创造条件实施本规定要求。

根据劳动部劳安字[1990]1号规定:女职工禁忌从事的劳动范围:1.矿山井下作业;2.矿山井下作业;3.《体力劳动强度分级》标准中第IV级体力劳动强度的作业;4.建筑业脚手架的组装和拆除作业,以及电力、电信行业的高处架线作业;5.连续负重(指每小时负重次数在六次以上)每次负重超过二十公斤,间断负重超过二十五公斤的作业。

禁止未成年工从事的劳动范围主要是:矿山井下、有毒、有害、国家规定的第四级体力劳动强度的劳动,以及其他禁忌从事的劳动包括:森林伐木、归楞及流放作业,凡在坠落高速度基准面5米以上(含5米)有可能坠落高度进行作业,作业场所放射性物质超过《放射防护规定》中规定剂量的作业,其他对未成年工的不良成长有影响的作业。

根据劳动部劳部发[1994]498号规定,用人单位不得安排未成年工从事以下范围的劳动:1.《生产性粉尘作业危害程度分级》国家标准中第一级以上的接尘作业;2.《有毒作业分级》国家标准中第一级以上的高处作业;3.《高处作业分级》国家标准中第二级以上的高温作业;4.《冷水作业分级》国家标准中第二级以上的冷水作业;5.《高温作业分级》国家标准中第三级以上的高温作业;6.《低温作业分级》国家标准中第三级以上的高温作业;7.《体力劳动强度分级》国家标准中第四级体力劳动强度作业;8.矿井下及矿山地面采石作业;9.森林业中的伐木、流放及守林作业;10.工作场所中接触放射性及守林作业;11.有易燃易爆、化学性烧伤和热伤等危险性大的作业;12.地质勘探和资源勘探的野外作业;13.潜水、涵洞、涵道作业和海拔三千米以上的高原作业(不包括世居高原者);14.连续负重每小时在六次以上并每次超过二十公斤,间断负重每次超过二十五公斤的作业;15.使用凿岩机、捣固机、气镐、气铲、铆钉机、电锤的作业;16.工作中需要长时间保持低头、弯腰、上举、下蹲等强迫体位和动作频率每分钟大于五十次的流水作业;17.锅炉司炉。

三、了解质量管理知识

质量管理,就是指一个组织以质量为中心,以全员参与为基础,目的在于通过顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径。在全面质量管理中,质量这个概念和全部管理目标的实现有关。

特点 1.它具有全面性,控制产品质量的各个环节,各个阶段; 2.是全过程的质量管理; 3.是全员参与的质量管理; 4.是全社会参与的质量管理。

缺点 宣传、培训、管理成本较高。



意义

* 提高产品质量 * 改善产品设计 * 加速生产流程 * 鼓舞员工的士气和增强质量意识 *

改进产品售后服务 * 提高市场的接受程度 * 降低经营质量成本 * 减少经营亏损 * 降低现场维修成本 * 减少责任事故

内涵：是以质量管理为中心，以全员参与为基础，目的在于通过让顾客满意和本组织所有者、员工、供方、合作伙伴或社会等相关方受益而使组织达到长期成功的一种管理途径。

范围

全面质量管理的基本原理与其他概念的基本差别在于，它强调为了取得真正的经济效益，管理必须始于识别顾客的质量要求，终于顾客对他手中的产品感到满意。全面质量管理就是为了实现这一目标而指导人、机器、信息的协调活动。

基本观点

为用户服务的观点：在企业内部，凡接收上道工序的产品进行再生产的下道工序，就是上道工序的用户，“为用户服务”和“下道工序就是用户”是全面质量管理的一个基本观点。通过每道工序的质量控制，达到提高最终产品质量的目的；全面管理的观点：所谓全面管理，就是进行全过程的管理、全企业的管理和全员的管理。

质量控制一般分为四个阶段：第一个阶段称为计划阶段，又叫 P 阶段(Plan)这个阶段的主要内容是通过市场调查、用户访问、国家计划指示等，摸清用户对产品质量的要求，确定质量政策、质量目标和质量计划等。第二个阶段为执行阶段，又称 D 阶段(Do)这个阶段是实施 P 阶段所规定的内容，如根据质量标准进行产品设计、试制、试验、其中包括计划执行前的人员培训。第三个阶段为检查阶段，又称 C 阶段(Check)。这个阶段主要是在计划执行过程中或执行之后，检查执行情况，是否符合计划的预期结果。最后一个阶段为处理阶段，又称 A 阶段 (Action)。主要是根据检查结果，采取相应的措施。

四、了解工程经济知识

工程经济是工程与经济的交叉学科，是研究工程技术实践活动经济效益的学科。即以工程项目为主体，以技术—经济系统为核心，研究如何有效利用资源，提高经济效益的学科。工程经济学研究各种工程技术方案的经济效益，研究各种技术在使用过程中如何以最小的投入获得预期产出或者说如何以等量的投入获得最大产出；如何用最低的寿命周期成本实现产品、作业以及服务的必要功能。

工程经济学的研究对象是工程项目技术经济分析的最一般方法，即研究采用何种方法、建立何种方法体系，才能正确估价工程项目的有效性，才能寻求到技术与经济的最佳结合点。工程经济学为具体工程项目分析提供方法基础，而工程经济分析的对象则是具体的工程项目。

工程经济学是工程技术与经济核算相结合的边缘交叉学科，是自然科学、社会科学密切交融的综合科学。一门与生产建设、经济发展有着直接联系的应用性学科。分析方法主要包括：1、理论联系实际的方法。2、定量分析与定性分析相结合。3、系统分析和平衡分析的方法。4、静态评价与动态评价相结合。5、统计预测与不确定分析方法。工程经济学是西方经济学的重要组成部分。它研究问题的出发点，分析的方法和主要指标内容都与西方经济学一脉相承。西方经济学是工程经济学的理论基础，而工程经济学则是西方经济学的具体化和延伸。

工程经济学与技术经济学既有许多共性而又有所不同。工程经济学与技术经济学的主要区别在于：对象不同、研究内容不同。

工程经济学侧重于方法论科学，而投资项目评估学侧重于实质性科学。投资项目评估学具体研究投资项目应具备的条件，工程经济学为投资项目评估学提供分析的方法依据。

投资效果学就是研究投资效益在宏观和微观上不同的表现形式和指标体系。工程经济学与投资效果学采用的经济指标存在重大区别。前者均为一般经济指标，这些指标要么不含有对比关系，如果有对比关系，也只是一种绝对对比关系；而后者则必须在同一个指标中包含投入与产出的内容，反映投入与产出的相对对比关系。

第四部分 行业法规及知识产权相关知识

一、了解电力法、环境保护法

电力法: 为了保障和促进电力事业的发展, 维护电力投资者、经营者和使用者的合法权益, 保障电力安全运行所制定的本法。本法适用于中华人民共和国境内的电力建设、生产、供应和使用活动。

环境保护法: 为保护和改善生活环境与生态环境, 防治污染和其他公害, 保障人体健康, 促进社会主义现代化建设的发展所制定的本法。

二、了解知识产权的基本概念

知识产权: 是指人们对于自己的智力活动创造的成果和经营管理活动中的标记、信誉依法享有的权利。知识产权是一种无形财产权, 它与房屋、汽车等有形财产一样, 都受到国家法律的保护, 都具有价值和使用价值。有些重大专利、驰名商标或作品的价值也远远高于房屋、汽车等有形财产。

三、了解知识产权的分类

根据规定, 可以将知识产权分为两大类。第一类是以保护人在文化、产业各方面的智力创作活动为内容的, 包括著作权和发明权; 第二类是以保护产业活动中的识别标志为内容的, 包括商标权、商号权等。前一类又可分为以保护和促进精神文化为主的著作权与以保护和促进物质文化为主的专利权。

四、了解知识产权法

知识产权法: 知识产权法是指因调整知识产权的归属、行使、管理和保护等活动中产生的社会关系的法律规范的总称。知识产权法的综合性和技术性特征十分明显, 在知识产权法中, 既有私法规范, 也有公法规范; 既有实体法规范, 也有程序法规范。但从法律部门的归属上讲, 知识产权法仍属于民法, 是民法的特别法。民法的基本原则、制度和法律规范大多适用于知识产权, 并且知识产权法中的公法规范和程序法规范都是为确认和保护知识产权这一私权服务的, 不占主导地位。

五、了解专利权的定义与分类

专利权, 简称“专利”, 是发明创造人或其权利受让人对特定的发明创造在一定期限内依法享有的独占实施权, 是知识产权的一种。我国于 1984 年公布专利法, 1985 年公布该法的实施细则, 对有关事项作了具体规定。专利权的性质主要体现在三个方面: 排他性、时间性和地域性。专利权的客体, 也称为专利法保护的对象, 是指依法应授予专利权的发明创造。根据我国专利法第 2 条的规定, 专利法的客体包括发明、实用新型和外观设计三种。根据专利法及其有关法律的规定, 侵权行为人应当承担的法律责任包括民事责任、行政责任与刑事责任。

六、了解商标的定义

商标是商品的生产者、经营者在其生产、制造、加工、拣选或者经销的商品上或者服务的提供者在其提供的服务上采用的, 用于区别商品或服务来源的, 由文字、图形、字母、数字、三维标志、颜色组合, 或上述要素的组合, 具有显著特征的标志, 是现代经济的产物。

七、了解著作权与版权的定义

著作权: 是指作者和其他著作权人对文学、艺术和科学工程作品所享有的各项专有权利。它是自然人, 法人或者其他组织对文学、艺术或科学作品依法享有的财产权利和人身权利的总称。著作财产权是无体财产权, 是基于人类智慧所产生之权利, 故属智慧财产权, 是知识产权的一种。著作权自作品创作完成之日起产生, 在中国实行自愿登记原则;

版权: 版权(英文名称: copyright)即著作权, 是指文学、艺术、科学作品的作者对其作品享有的权利(包括

财产权、人身权)。版权是知识产权的一种类型 ,它是由自然科学、社会科学以及文学、音乐、戏剧、绘画、雕塑、摄影和电影摄影等方面的作品组成。

八、了解专利权和商标的申报程序

专利权审批程序包括：受理→初审→公布→实审→授权五个阶段，实用新型和外观设计申请不进行早期公布和实质审查，只有三个阶段；

商标注册程序：商标注册申请→注册准备→准备资料→开始申请→按商品与服务分类提出申请→申请日的确定→领取商标注册证；

九、了解专利权和商标保护的时效

专利权保护的有效期应不少于自提交申请之日起的第二十年年终；

注册商标的有效期为十年 ,自核准之日起计算。有效期期满之前六个月可以进行续展并缴纳续展费用 ,每次续展有效期仍为十年。续展次数不限。

—————2012 年 02 月 12 日