# 运动控制期末复习点

## 第一章

**1.运动控制系统的任务是通过控制电动机电压、电流、频率等输入量，来改变工作机械的转矩、速度、位移等机械量。**

**2.运动控制系统由电动机、功率放大器与变换装置、控制器及相应的传感器等构成。**

**3.转矩控制是运动控制的根本问题**

**4.磁链控制与转矩控制同样重要**

**5.调节电动机转速的方法**

**①调节电枢供电电压U**

**②减弱励磁磁通Φ**

**③改变电枢回路电阻R**

## 第二章

**1. 脉动的电流波形使V- M系统主电路可能出现电流连续和断续两种情况**。

**2.电流脉动及其波形断续问题**

**①原因：**

1. **脉动：在整流变压器二次侧额定相电压*u2*的瞬时值大于反电动势*E*时，晶闸管才可能被触发导通，导通后如果*u2*降低到*E*以下，靠电感作用可以维持电流*id*继续流通，由于电压波形的脉动，造成了电流波形的脉动。**
2. **连续：在*I*d上升阶段，电感储能，在*I*d下降阶段，电感中的能量将释放出来维持电流连续。**

**3）断续：当负载电流较小时，电感中的储能较少，等到*I*d下降到零时，造成电流波形断续**

**②抑制措施**

**1）增加整流电路相数，或采用多重化技术；**

**2）设置电感量足够大的平波电抗器。**

**3.** **V-M系统机械特性**

**①在电流连续区，显示出较硬的机械特性；**

**②在电流断续区，机械特性很软，理想空载转速翘得很高**

**③电流断续区与电流连续区的分界线是的曲线**

**4.只要电流连续，晶闸管可控整流器就可以看成是一个线性的可控电压源**

**5.滞后作用和最大失控时间**

**①滞后作用是由晶闸管整流装置的失控时间引起的。**

**②最大失控时间是两个相邻自然换相点之间的时间，它与交流电源频率和晶闸管整流器的类型有关。**

**6. 脉宽调制(PWM)变换器的作用是：用脉冲宽度调制的方法，把恒定的直流电源电压调制成频率一定、宽度可变的脉冲电压序列，从而可以改变平均输出电压的大小，以调节电动机转速**

**7. PWM变换器电路有多种形式，总体上可分为不可逆与可逆两大类**

**8.** **可逆PWM变换器主电路有多种型式，最常用的是桥式(亦称H型)电路**

**9. 双极式控制的桥式可逆PWM变换器有下列优缺点**

**1）双极式控制的桥式可逆PWM变换器有下列优点：**

**（1）电流一定连续；**

**（2）可使电动机在四象限运行；**

**（3）电动机停止时有微振电流，能消除静磨擦死区；**

**（4）低速平稳性好，系统的调速范围大；**

**（5）低速时，每个开关器件的驱动脉冲仍较宽，有利于保证器件的可靠导通。**

**2）双极式控制方式的不足之处是：**

**在工作过程中，4个开关器件可能都处于开关状态，开关损耗大，而且在切换时可能发生上、下桥臂直通的事故，为了防止直通，在上、下桥臂的驱动脉冲之间，应设置逻辑延时**

**10.** **稳态，是指电动机的平均电磁转矩与负载转矩相平衡的状态，机械特性是平均转速与平均转矩(电流)的关系。**

**11.对滤波电容充电的结果造成直流侧电压升高，称作“泵升电压”**

**抑制措施：**

1. **要适当地选择电容的电容量，或采取其它措施，以保护电力电子开关器件不被泵升电压击穿。**
2. **由开关器件VT控制的能量释放回路**
3. **可以在ニ板管整流器输出端并接逆变器，把多余的电能逆变后回馈电网。**

**12.稳态调速性能指标**

**1）调速范围**

**2）静差率：特性越硬，静差率越小，转速的稳定度就越高**

## 第三章

**1.静特性: 表示闭环系统稳态时的电动机转速与负载电流（转矩）之间的稳态关系，形式上与开环机械特性相似，但本质不同。**

**2.开环系统机械特性与比例控制闭环系统静特性的对比分析**

**1）闭环系统静特性可以比开环系统机械特性硬得多**

**2）闭环系统的静差率要比开环系统小得多**

**3）如果所要求的静差率一定，则闭环系统可以大大提高调速范围**

**4)总结：比例控制的直流调速系统可以获得比开环系统硬得多的稳态特性, 从而保证在一定静差率的要求下,能够获得更宽的调速范围**

**3.** **比例控制的闭环直流调速系统是一 种基本的反馈控制系统，它具有以下三个基本特征(反馈控制规律)**

**1）只有比例放大器的反馈控制系统，其被调量仍是有静差的。**

**2）反馈控制系统的作用是：抵抗扰动，服从给定 。**

**3）系统的精度依赖于给定和反馈检测的精度。**

**4. 在比例控制的反馈控制系统中，比例系数Kp越大，稳态误差越小，稳态性能就越好**

**5.** **比例控制的闭环直流调速系统的稳态误差要小与稳定性要好是矛盾的。对于自动控制系统来说jmu8 ，稳定性是它能否正常工作的首要条件，是必须保证的。**

**6.** **积分控制可以使系统在无静差的情况下保持恒速运行，实现无静差调速。**

**7.比例调节器的输出只取决于输入偏差量的现状，而积分调节器的输出则包含了输入偏差量的全部历史。**

**8.** **比例积分控制综合了比例控制和积分控制两种规律的优点，又克服了各自的缺点，扬长避短，互相补充。比例部分能迅速响应控制作用，积分部分则最终消除稳态偏差。**

**9.** **为了解决转速反馈闭环调速系统起动和堵转时电流过大的问题，系统中必须有自动限制电枢电流的环节。可以引人电流负反馈，即电流截止负反馈。**

## 第四章

**1.双闭环调速系统的静特性**

1. **调节器饱和时，输出达到限幅值，输入量的变化不影响输出；相当于该环开环。**
2. **调节器不饱和时，PI调节器工作在线性调节状态，其作用是使输入偏差电压在稳态时为零。**
3. **对于静特性来说，只有转速调节器饱和与不饱和两种情况，设计合理的电流调节器不进入饱和状态**

**2.起动过程分为电流上升、恒流升速和转速调节三个阶段，转速调节器在此三个阶段中经历了不饱和、饱和以及退饱和三种情况。**

**3.起动过程分析**

**1）第I阶段（电流上升阶段（*0*~*t*1））：电流从*0*到达最大允许值*I*dm**

**2)第Ⅱ阶段（恒流升速阶段（*t*1~*t*2））：*I*d基本保持在*I*dm，电动机加速到给定值*n*\*。**

**3)第Ⅲ阶段（转速调节阶段（*t*2以后））：起始时刻是*n*上升到了给定值*n*\*。**

**4.双闭环直流调速系统的起动过程有以下三个特点**

**（1）饱和非线性控制**

**（2）转速超调**

**（3）准时间最优控制**

**制动过程分析: 与起动过程类似，可以把制动过程分为正向电流衰减、反向电流建立、恒流制动和转速调节四个阶段，转速调节器在此四个阶段中经历了不饱和、饱和以及退饱和三种情况。**

**5.动态抗扰性能分析**

**1）抗负载扰动：靠转速调节器ASR来产生抗负载扰动的作用。**

**2）抗电网电压扰动：靠ACR起作用**

**6.转速调节器的作用**

**1）转速调节器是调速系统的主导调节器，它使转速很快地跟随给定电压变化, 如果采用PI调节器，则可实现无静差。**

**2）对负载变化起抗扰作用。**

**3）其输出限幅值决定电动机允许的最大电流**

**7.电流调节器的作用**

1. **在转速外环的调节过程中，使电流紧紧跟随其给定电压（即外环调节器的输出量）变化。**
2. **对电网电压的波动起及时抗扰的作用。**
3. **在转速动态过程中，保证获得电机允许的最大电流。**

**4）当电动机过载甚至堵转时，限制电枢电流的最大值，起快速的自动保护作用。一旦故障消失，系统立即自动恢复正常。**

**动态抗扰性能指标**

* **动态降落δCmax**
* **恢复时间tv**

**8.控制对象的工程近似处理方法**

**（1）高频段小惯性环节的近似处理**

**（2）高阶系统的降阶近似处理**

**（3）低频段大惯性环节的近似处理**

## 第五章

**1.旋转编码器可分为绝对式和增量式两种**

**2.数字测速方法的性能指标**

**1）分辨率：分辨率越小，说明测速装置对转速变化的检测越敏感，从而测速的精度也越高**

**2）测速误差率：测速误差率反映了测速方法的准确性，测速误差率越小，准确度越高。**

**3.旋转编码器的测速方法有3种**

**1)M法：M法测速的分辨率与实际转速的大小无关，误差率的最大值1/m（m为脉冲个数）转速越低，*m*越小，误差率越大**

**2)T法：又被称为周期法测速，误差率的最大值1/（m-1），适用于低速段**

**3)M/T法**

**4.** **数字PI调节器有位置式和增量式两种算法。**

## 第六章

**基础知识：**

**按转差功率将异步电动机的调速系统分成三类**

* **转差功率消耗型调速系统**
* **转差功率馈送型调速系统**
* **转差功率不变型调速系统**

1. **异步电动机的稳态数学模型包括异步电动机稳态等效电路和机械特性**

**稳态等效电路描述了在一定的转差率下电动机的稳态电气特性，而机械特性则表征了转矩与转差率(或转速)的稳态关系。**

**2.最大转矩对应的转差率为临界转差率，最大转矩称为临界转矩**

**3.** **异步电动机的机械特性方程能够改变的参数为三类：电动机参数，电源电压，电源频率（角频率）主要讨论后两种即改变电压调速和改变频率调速**

**4.调压调速：频率额定，只改变定子电压的调速方法**

**1)基本特征：电动机同步转速保持额定值不变，属于弱磁调速**

**2降压调速：定子电压只能降低，不能升高**

**5.转差功率消耗型的由来：带恒转矩负载的降压调速就是靠增大转差功率、减小输出功率来换取转速的降低，所增加的转差功率全部消耗在转子电阻上。**

**异步电动机闭环调压调速系统不同于直流动电机闭环调压调速系统之处为：静特性左右两边都有极限，它们是额定电压Us下的机械特性和最小输出电压U.m。下的机械特性。当负载变化时，如果电压调节到极限值，闭环系统便失去控制能力，系统的工作点只能沿着极限开环特性变化。**

**变压变频调速**

**6.基频以下调速(恒压频比控制方式)**

**1）保持每极磁通量为额定值不变**

**2）采用电动势频率比为恒值的控制方式**

**3）低频时反电动势小，定子电阻和漏感压降不能忽略，人为地把定子电压抬高一些，以补偿定子阻抗压降，称为低频补偿**

**4）基频以下的变频调速属于恒转矩调速，又因与转速无关，故称作转差功率不变型**

**7. 基频以上调速**

**1）只能保持额定电压不变**

**2）异步电动机工作在弱磁状态**

**3）基频以上的变频调速属于弱磁恒功率调速，属于“恒功率调速”。**

**8.先将恒压恒频的交流电整成直流，再将直流电逆变成电压与频率均为可调的交流，称作间接变频；将恒压恒频的交流电直接变换为电压与频率均为可调的交流电，无需中间直流环节，称作直接变频。**

**9.脉冲宽度调制技术（PWM）**

**1)基本思想：控制逆变器中电力电子器件的开通或关断，输出电压为幅值相等、宽度按一定规律变化的脉冲序列，用这样的高频脉冲序列代替期望的输出电压。**

1. **正弦脉冲宽度调制控制技术（SPWM)：以频率与期望的输出电压波相同的正弦波作为调制波，以频率比期望波高得多的等腰三角波作为载波，获得高度相等、宽度按正弦规律变化的脉冲序列**
2. **电流跟踪PWM控制技术：采用电流闭环控制使实际电流接近正弦波形。**

**4）电压空间矢量PWM控制技术又称“电压空间矢量PWM（SVPWM，Space Vector PWM）控制”：把逆变器和交流电动机视为一体，以圆形旋转磁场为目标来控制逆变器的工作，这种控制方法称作“磁链跟踪控制”。**

**10. 电压空间矢量PWM (SVPWM) 的基本思想：按空间矢量的平行四边形合成法则，用相邻的两个有效工作矢量合成期望的输出矢量**

**11. SVPWM实现的原则：**

**1）通常以开关损耗较小和谐波分量较小为原则，安排基本矢量和零矢量的作用顺序**

**2）一般在减少开关次数的同时，尽量使PWM输出波型对称，以减少谐波分量。**

**12. 转差频率控制的基本思想：在保持气隙磁通不变的前提下，可以通过控制转差角频率来控制转矩。**

## 第七章

**1.异步电动机的动态数学模型是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统**

**2.坐标变换的思路：将交流电动机的物理模型等效地变换成类似直流电动机的模型，分析和控制就可以大大简化**

**3.不同坐标系中电动机模型等效的原则是：在不同坐标下绕组所产生的合成磁动势相等**

**4.3/2变换（三相-两相变换）：等效为互相垂直的两相绕组**

**1）基本思路：当三相绕组和两相绕组产生的旋转磁动势大小和转速都相等时，即认为两相绕组与三相绕组等效**

**2）变换原则：变换前后磁动势相等**

**3）作用：消除了定子三相绕组、转子三相绕组间的相互耦合，消除定、转子绕组间夹角对磁链和转矩的影响**

**5. 2S/2R变换（两相-两相旋转变换）**

**1）基本思路：如果旋转坐标中的旋转磁动势的大小和转速与固定的交流绕组产生的旋转磁动势相等，那么直流绕组和交流绕组等效**

**2）变换原则：变换前后磁动势相等**

**6.** **旋转正交坐标系的优点：增加了一个输入量ω1，提高了系统控制的自由度，磁场定向控制就是通过选择ω1而实现的**

**7.按转子磁链定向矢量控制的基本思想：**

1. **通过坐标变换，在按转子磁链定向同步旋转正交坐标系中，得到等效的直流电动机模型。**
2. **仿照直流电动机的控制方法控制电磁转矩与磁链，然后将转子磁链定向坐标系中的控制量反变换得到三相坐标系的对应量，以实施控制。**
3. **这样的坐标变换也可称作矢量变换，相应的控制系统称为矢量控制(VC)系统或按转子磁链定向控制( FOC)系统。**

**8.** **在计算模型中，由于主要实测信号的不同，又分为电流模型和电压模型两种，前者适合低速范围，后者适合中、高速范围。**

**9.矢量控制系统的特点**

**1）按转子磁链定向，实现了定子电流励磁分量和转矩分量的解耦，需要电流闭环控制。**

**2）子磁链系统的控制对象是稳定的惯性环节，可以闭环控制，也可以开环控制。**

**3）采用连续的PI控制，转矩与磁链变化平稳，电流闭环控制可有效地限制起、制动电流**

**10.矢量控制系统存在的问题**

**（1） 转子磁链计算精度受易于变化的转子电阻的影响，转子磁链的角度精度影响定向的准确性。**

**（2） 需要进行矢量变换，系统结构复杂，运算量大。**

**11．直接转矩控制系统基本思想：根据定子磁链幅值偏差的符号和电磁转矩偏差的符号，再依据当前定子磁链矢量所在的位置，直接选取合适的电压空间矢量，减小定子磁链幅值的偏差和电磁转矩的偏差，实现电磁转矩与定子磁链的控制。**

**12. d轴分量决定了定子磁链幅值的增减，q轴分量决定定子磁链矢量的旋转角速度，从而决定了转差频率和电磁转矩**

**13.直接转矩控制系统原理结**

* **AFR为定子磁链调节器,采用带有滞环的双位式控制器。**
* **ATR为转矩调节器，采用带有滞环的三位式控制器。**
* **ASR为速度调节器，采用PI调节器**

**14.直接转矩控制系统的特点：**

**（1）转矩和磁链的控制采用多位式控制器，并在PWM逆变器中直接用这两个控制信号产生输出电压，省去了旋转变换和电流控制，简化了控制器的结构。**

**（2）选择定子磁链作为被控量，计算磁链的模型可以不受转子参数变化的影响，提高了控制系统的鲁棒性。**

**（3）由于采用了直接转矩控制，在加减速或负载变化的动态过程中，可以获得快速的转矩响应，但必须注意限制过大的冲击电流，以免损坏功率开关器件，因此实际的转矩响应也是有限的。**

**15.直接转矩控制系统存在的问题：**

**（1）由于采用多位式控制，实际转矩必然在上下限内脉动；**

**（2）由于磁链计算采用了带积分环节的电压模型，积分初值、累积误差和定子电阻的变化都会影响磁链计算的准确度。**

**16.直接转矩控制系统与矢量控制系统的比较**

**矢量控制系统：**

1）通过电流闭环控制，实现定子电流的两个分量的解耦，进一步实现电磁转矩与转子磁链的解耦，有利于分别设计转速与磁链调节器；实行连续控制，可获得较宽的调速范围。

2）按转子磁链定向受电动机转子参数变化的影响，降低了系统的鲁棒性。

直接转矩控制系统：

1）采用双位式控制，根据定子磁链幅值偏差、电磁转矩偏差的符号以及期望电磁转矩的极性，再依据当前定子磁链矢量所在的位置，直接产生PWM驱动信号，避开了旋转坐标变换，简化了控制结构。

2）不可避免地产生转矩脉动，影响低速性能，调速范围受到限制。

## 第九章

**1.同步电动机与异步电动机的异同**

**1）**异步电动机的稳态转速总是低于同步转速的，同步电动机的稳态转速等于同步转速，同步电动机机械特性很硬。

2）异步电动机的转子磁动势靠感应产生，而同步电动机除定子磁动势外，在转子侧还有独立的直流励磁，或者靠永久磁钢励磁。

3) 同步电动机和异步电动机的定子都有同样的三相交流绕组，而转子绕组则不同，同步电动机转子具有明确的极对数和极性，此外还可能有自身短路的阻尼绕组。

4) 异步电动机的气隙是均匀的，而同步电动机则有隐极与凸极之分，隐极电动机气隙均匀，凸极电动机的气隙则不均匀。

5）由于同步电动机转子有独立励磁，在极低的电源频率下也能运行，因此，在同样条件下，同步电动机的调速范围比异步电动机更宽。

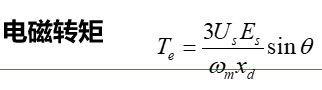
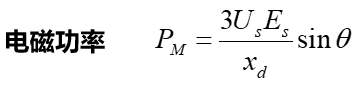
6) 异步电动机要靠加大转差才能提高转矩，而同步电动机只需加大转矩角就能增大转矩，同步电动机比异步电动机对转矩扰动具有更强的承受能力，动态响应快

**2.同步电动机的分类**

1）同步电动机按励磁方式分为可控励磁同步电动机（有独立的直流励磁）和永磁同步电动机（调速和伺服系统）

2）永磁同步电动机按气隙磁场分布分为正弦波永磁同步电动机和梯形波永磁同步电动机（无刷直流电动机）

**3.同步电动机的稳定运行**



**1）0<θ<π/2 时能稳定运行**

**2）π/2<θ<π 时不能稳定运行，产生失步现象**

**3）失步现象：**由于电磁转矩的减小，导致θ角继续增加，电磁转矩的持续减小，最终，同步电动机转速偏离同步转速。

**4.同步电动机的启动**

1) 当同步电动机在工频电源下起动时，定子磁动势以同步转速旋转，电动机转速具有较大的滞后，不能快速跟上同步转速;

2) 在一个周期内，电磁转矩的平均值等于零，故同步电动机不能起动。

**5. 同步电动机的调速**

1）同步电动机的调速只能是改变电源频率的变频调速

2）同步电动机变频调速的电压频率特性与异步电动机变频调速相同

3) 基频以下采用带定子压降补偿的恒压频比控制方式，基频以上采用电压恒定的控制方式

**6. 同步电动机的调速方法，**

1）他控变频调速系统

2）自控变频调速系统（从根本上杜绝失步现象）

**7. 他控变频调速系统的优缺点**

优点：控制系统结构简单，可以同时实现多台同步电动机调速。

缺点：没有从根本上消除失步问题

**8.梯形波永磁自控变频同步电动机**

以梯形波永磁同步电动机为核心的自控变频同步电动机，由于输入方波电流，气隙磁场呈梯形波分布，性能更接近于直流电动机。但没有电刷，故称无刷直流电动机

**9. 无刷直流电动机--梯形波的气隙磁场，感应电动势也是梯形波的**