

第 2 章

三、思考题

2-1 直流电动机有哪几种调速方法？各有哪些特点？

答：调压调速，弱磁调速，转子回路串电阻调速，变频调速。特点略。

2-2 简述直流 PWM 变换器电路的基本结构。

答：直流 PWM 变换器基本结构如图，包括 IGBT 和续流二极管。三相交流电经过整流滤波后送往直流 PWM 变换器，通过改变直流 PWM 变换器中 IGBT 的控制脉冲占空比，来调节直流 PWM 变换器输出电压大小，二极管起续流作用。

2-3 直流 PWM 变换器输出电压的特征是什么？

答：脉动直流电压。

2-4 为什么直流 PWM 变换器 - 电动机系统比 V-M 系统能够获得更好的动态性能？

答：直流 PWM 变换器和晶闸管整流装置均可看作是一阶惯性环节。其中直流 PWM 变换器的时间常数 T_s 等于其 IGBT 控制脉冲周期 $(1/f_c)$ ，而晶闸管整流装置的时间常数 T_s 通常取其最大失控时间的一半 $(1/(2mf))$ 。因 f_c 通常为 kHz 级，而 f 通常为工频（50 或 60Hz 为一周内）， m 整流电压的脉波数，通常也不会超过 20，故直流 PWM 变换器时间常数通常比晶闸管整流装置时间常数更小，从而响应更快，动态性能更好。

2-5 在直流脉宽调速系统中，当电动机停止不动时，电枢两端是否还有电压？电路中是否还有电流？为什么？

答：电枢两端还有电压，因为在直流脉宽调速系统中，电动机电枢两端电压仅取决于直流 PWM 变换器的输出。电枢回路中还有电流，因为电枢电压和电枢电阻的存在。

2-6 直流 PWM 变换器主电路中反并联二极管有何作用？如果二极管断路会产生什么后果？

答：为电动机提供续流通路。若二极管断路则会使电动机在电枢电压瞬时值为零时产生过电压。

2-7 直流 PWM 变换器的开关频率是否越高越好？为什么？

答：不是。因为若开关频率非常高，当给直流电动机供电时，有可能导致电枢电流还未上升至负载电流时，就已经开始下降了，从而导致平均电流总小于负载电流，电机无法运转。

2-8 泵升电压是怎样产生的？对系统有何影响？如何抑制？

答：泵升电压是当电动机工作于回馈制动状态时，由于二极管整流器的单向导电性，使得电动机由动能转变成的电能不能通过整流装置反馈回交流电网，而只

能向滤波电容充电，造成电容两端电压升高。泵升电压过大将导致电力电子开关器件被击穿。应合理选择滤波电容的容量，或采用泵升电压限制电路。

2-9 在晶闸管整流器 - 电动机开环调速系统中，为什么转速随负载增加而降低？

答：负载增加意味着负载转矩变大，电机减速，并且在减速过程中，反电动势减小，于是电枢电流增大，从而使电磁转矩增加，达到与负载转矩平衡，电机不再减速，保持稳定。故负载增加，稳态时，电机转速会较增加之前降低。

2-10 静差率和调速范围有何关系？静差率和机械特性硬度是一回事吗？举个例子。

答： $D = (n_N / n) (s / (1-s))$ 。静差率是用来衡量调速系统在负载变化下转速的稳定度的，而机械特性硬度是用来衡量调速系统在负载变化下转速的降落的。

2-11 调速范围与静态速降和最小静差率之间有何关系？为什么必须同时提才有意义？

答： $D = (n_N / n) (s / (1-s))$ 。因为若只考虑减小最小静差率，则在一定静态速降下，允许的调速范围就小得不能满足要求；而若只考虑增大调速范围，则在一定静态速降下，允许的最小转差率又大得不能满足要求。因此必须同时提才有意义。

2-12 转速单闭环调速系统有哪些特点？改变给定电压能否改变电动机的转速？

为什么？如果给定电压不变，调节转速反馈系数是否能够改变转速？为什么？

如果测速发电机的励磁发生了变化，系统有无克服这种干扰的能力？（已验证）

答：转速单闭环调速系统增加了转速反馈环节（由转速检测装置和电压放大器构成），可获得比开环调速系统硬得多的稳态特性，从而保证在一定静差率下，能够提高调速范围。改变给定电压能改变电动机转速。因为改变给定电压则改变实际转速反馈电压与给定电压的偏差，从而改变电力电子变换器的输出电压，即改变电动机的电枢电压，改变了转速。调节转速反馈系数而不改变给定电压能改变转速。因为改变转速反馈系数则改变实际转速反馈电压，而给定电压不变，则电压偏差改变，从而电力电子变换器输出电压改变，即电动机电枢电压改变，转速改变。若测速发电机励磁发生变化，则反馈电压发生变化，当给定电压一定时，则电压偏差发生变化，从而转速改变。故系统无克服测速发电机励磁发生变化干扰的能力。

2-13 为什么用积分控制的调速系统是无静差的？在转速单闭环调速系统中，当积分调节器的输入偏差电压 $U=0$ 时，调节器的输出电压是多少？它决定于哪些因素？

答：因为积分调节器能在电压偏差为零时仍有稳定的控制电压输出，从而克服了

比例调节器 必须要存在电压偏差才有控制电压输出这一比例控制的调速系统存在静差的根本原因。 当积分调节器的输入偏差电压为零时，调节器输出电压应为一个恒定的积分终值。它取决于 输入偏差量在积分时间内的积累，以及积分调节器的限幅值。

2-14 在无静差转速单闭环调速系统中，转速的稳态精度是否还受给定电源和测速发电机精度的影响？为什么？

答：仍然受影响。 因为无静差转速单闭环调速系统只是实现了稳态误差为零， 因此若给点电 源发生偏移，或者测速发电机精度受到影响而使反馈电压发生改变，系统仍会认为是给定或转 速发生改变，从而改变转速，以达到电压偏差为零。

2-15 在转速负反馈单闭环有静差调速系统中，当下列参数发生变化时系统是否有调节作用？为 什么？（已验证）（1）放大器的放大系数 K_p 。（2）供电电网电压 U_d 。（3）电枢电阻 R_a 。（4）电动机励磁电流 I_f 。（5）转速反馈系数 。

答：（1）有。假设 K_p 减小，则控制电压减小，则电力电子变换器输出减小，则电动机转速下 降；而电动机转速下降，则反馈电压减小，则偏差电压增大，则控制电压增大，则转速上升。（2）有。不解释。（3）有。不解释。（4）有。不解释。（5）没有。不解释。

2-16 在转速负反馈单闭环有静差调速系统中， 突减负载后又进入稳定运行状态，此时晶闸管整 流装置的输出电压 U_d 较之负载变化前是增加、减少还是不变？
在无静差调速系统中， 突加负载后进入稳态时转速 n 和整流装置的输出电压 U_d 是增加、减 少还是不变？（已验证）

答：（1） U_d 减小。因负载减小，转速上升，反馈电压增加，给定电压一定，偏差电压减小， 控制电压减小，故输出电压减小。（2） n 不变， U_d 增加。转速负反馈调速系统转速仅取决于给定电压，故不变；略。

一、可以作为填空题或简答题的

2-1 简述直流电动机的调速方法。

答：直流调速系统常以（调压调速）为主，必要时辅以（弱磁调速） ，以（扩大调速范围） ， 实现（额定转速以上调速） 。

2-2 直流调压调速主要方案有（ G-M 调速系统， V-M 调速系统，直流 PWM调速系统） 。

2-3 V-M 调速系统的电流脉动和断续是如何形成的？如何抑制电流脉动？

答：整流器输出电压大于反电动势时，电感储能，电流上升，整流器输出电压小于反电动势 时，电感放能，电流下降。整流器输出电压为脉动电压，时而大于反电动势时而小于， 从而导 致了电流脉动。 当电感较小或电动机轻载时， 电流上升阶段电感储能不够大，从而导致当电流下降时， 电感已放能完毕、电流

已衰减至零，而下一个相却尚未触发，于是形成电流断续。

2-4 看 P14 图简述 V-M 调速系统的最大失控时间。

答： t_1 时刻某一对晶闸管被触发导通，触发延迟角为 α_1 ，在 $t_2 > t_1$ 时刻，控制电压发生变化，但此时晶闸管已导通，故控制电压的变化对它已不起作用，只有等到下一个自然换向点 t_3 时刻到来时，控制电压才能将正在承受正电压的另一对晶闸管在触发延迟角 α_2 后导通。 $t_3 - t_2$ 即为失控时间，最大失控时间即为考虑 $t_2 = t_1$ 时的失控时间。

2-5 简述 V-M 调速系统存在的问题。

答：整流器晶闸管的单向导电性导致的电动机的不可逆行性。整流器晶闸管对过电压过电流的敏感性导致的电动机的运行不可靠性。整流器晶闸管基于对其门极的移相触发控制的可控性导致的低功率因数性。

2-6 简述不可逆 PWM 变换器（无制动电流通路与有制动电流通路）各个工作状态下的导通器件和电流通路。 17-18

2-7 调速时一般以电动机的（额定转速）作为最高转速。

2-8 （调速范围）和（静差率）合称调速系统的（稳态性能指标）。2-8 一个调速系统的调速范围，是指（在最低转速时还能满足所需静差率的转速可调范围）。

2-9 简述转速反馈控制的直流调速系统的静特性本质。

答：在闭环系统中，每增加（或减少）一点负载，就相应地提高（或降低）一点电枢电压，使电动机在新的机械特性下工作。因此闭环系统的静特性本质上就是无数开环机械特性上各取一个相应的工作点连接而成的。

2-10 简述比例反馈控制的规律。

答：比例控制的反馈控制系统是（被调量有静差）的控制系统；反馈控制系统的作用是（抵抗前向通道的扰动，服从给定）；反馈系统的精度依赖于（给定和反馈检测的精度）。

2-11 简述积分控制规律

答：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。

2-12 比例调节器和积分调节器有何不同？

答：比例调节器的输出只取决于（输入偏差的现状），而积分调节器的输出则包含了（输入偏差量的全部历史）

2-13 简述比例积分控制规律。

答：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）。

2-14 微机控制的调速系统有什么特点？

答：（信号离散化，信息数字化）。

2-15 旋转编码器分为哪几种？各有什么特点？

答：绝对式编码器：常用语检测转角信号，若需要转速信号，应对转角微分。增量式编码器：可直接检测转速信号。

2-16 数字测速方法有哪些精度指标？

答：（分辨率，测速误差率）。

2-17 采用旋转编码器的数字测速方法有（M, T, M/T）。高低全

2-18 为什么积分需限幅？

答：若没有积分限幅，积分项可能很大，将产生较大的退饱和超调。

2-19 简述带电流截止负反馈环节转速反馈调速系统机械特性的特点。

答：电流负反馈的作用相当于在主电路中串入一个大电阻 $K_p K_s R$ ，导致当 $I_d = I_{dcr}$ 时，机械特性急剧下垂；比较电压 U_{com} 与给定电压 U_n^* 作用一致，相当于把理想空载转速提高 $n_0' = (K_p K_s (U_n^* + U_{com})) / (C_e (1 + K))$ 。

二、公式和特性

1. 整流电压平均值： $U_{d0} = (m / \pi) U_m \sin(m / \pi) \cos(\alpha)$ （ U_m / m 单相全波 / 三相半波 / 三相全波 $2U_2 / 2U_2 / 6U_2 / 2/3/6$ ）

2. V-M 调速系统机械特性方程： $n = (U_{d0} - I_d R) / C_e$

3. 晶闸管整流器最大失控时间： $T_{smax} = 1 / m f$

4. 调速范围定义式： $D = n_{max} / n_{min}$

5. 静差率定义式： $s = n / n$

6. 闭环静特性与开环静特性： $n_{cl} = (U_{d0cl} - I_d R) / C_e = (K_p K_s U_n^* - I_d R) / (C_e (1 + K))$

$n_{op} = (U_{d0op} - I_d R) / C_e = (K_p K_s U_n^* - I_d R) / C_e$

7. 调速范围，静差率和额定速降之间的关系式（开环和闭环）： $D = (n_N / n_{cl}) (s / (1 - s))$ （ $n_{cl} = n_{op} / (1 + K)$ ）

8. 转速反馈控制直流调速系统的 K 定义式及表达式： $K = K_p K_s / C_e$

9. 临界开环放大倍数 $K_{cr} = (T_m (T_l + T_s) + T_s^2) / (T_l T_s) < K$ （ $T_l = L / R$ | $T_m = ((GD^2) R) / (375 C_e C_m)$ ）

10. 各种数字测速方法其分辨率和测速误差率表达式： $n_M = (60 M_1) / (Z T_c)$ |

$Q_M = 60 / (Z T_c)$ | $M = 1 / M_1$ | $n_T = (60 f_0) / (Z M_2)$ | $Q_T = (Z n^2) / (60 f_0 - Z n)$ |

$T = 1 / (M_2 - 1)$ | $n_{MT} = (60 f_0 M_1) / (Z M_2) = n_T M_1$ | $Q_{MT} = 60 / (Z T_c) = Q_M$ | $MT = \{ \text{低速} \rightarrow T \mid \text{高速} \rightarrow M \}$

11. 连续式 PI 算式： $u(t) = K_p e(t) + (1 / T_i) \int_0^t e(t) dt$

12. 位置式 PI 算式： $u(k) = K_p e(k) + (T_s m / T_i) \sum_{i=0}^k e(i)$

13. 增量式 PI 算式： $u(k) = u(k-1) + K_p (e(k) - e(k-1)) + (T_s m / T_i) e(k)$

- 1.V-M 调速 - 系统原理图：
- 2.（无制动和有制动）直流 PWM 变换器 - 电动机 - 电路原理图：
3. 转速负反馈直流调速系统 - 系统原理图：
4. 转速负反馈直流调速系统 - 静态结构图：
5. 转速负反馈直流调速系统 - 动态结构图：
6. 带电流截止负反馈的闭环直流调速系统 - 静态结构图：1. 有制动电流通路的可逆 PWM 变换器 - 直流电动机系统各工作状态下的电压和电流波形：2. 带电流截止负反馈比例控制闭环直流调速系统 - 静特性：

第 3 章

三、思考题

3-1 在恒流起动过程中，电枢电流能否达到最大值 I_{dm} ？为什么？

答：不能。因为恒流升速过程中，电流闭环调节的扰动是电动机的反电动势，是一个线性渐增的斜坡扰动量，而电流闭环采用的 PI 调节器对斜坡扰动无法消除静差，故 I_d 略低于 I_{dm} 。

3-2 由于机械原因，造成转轴堵死，分析双闭环直流调速系统的工作状态。（未验证）

答：电动机堵转则转速恒为零，在一定的给定下，偏差电压相当大，从而使 ASR 迅速达到饱和，又电动机转速由于转轴堵死无法提升，故 ACR 无法退饱和，因此系统处于 ASR 饱和状态。

3-3 双闭环直流调速系统中，给定电压 U_n^* 不变，增加转速负反馈系数，系统稳定后转速反馈电压 U_n 和实际转速 n 是增加、减小还是不变？（已验证）

答：转速反馈系数增加，则转速反馈电压 U_n 增加，给定电压 U_n^* ，则转速偏差电压减小，则 ASR 给定电压 U_i^* 减小，则控制电压 U_c 减小，则转速 n 减小；转速 n 减小，则转速反馈电压 U_n 减小，直到转速偏差电压为零；故稳态时转速反馈电压 U_n 不变，且实际转速 n 减小。

3-4 双闭环直流调速系统调试时，遇到下列情况会出现什么现象？（未通过验证，求姐）（1）电流反馈极性接反。（2）转速极性接反。

答：（1）由于电流环的正反馈作用，电枢电流将持续上升，转速上升飞快，电动机飞车。（2）由于转速环的正反馈作用，ACR 无法退饱和，电动机转速持续恒流上升。

3-5 某双闭环调速系统，ASR 均采用 PI 调节器，ACR 调试中怎样才能做到 $U_{im}^*=6V$ 时， $I_{dm}=20A$ ；如欲使 $U_n^*=10V$ 时， $n=1000rpm$ ，应调什么参数？答：

（1）调节电流反馈系数 $=0.3$ ；（2）调节转速反馈系数 $=0.01$ 。

3-6 在转速、电流双闭环直流调速系统中，若要改变电动机的转速，应调节什么

参数？改变转速 调节器的放大倍数 K_n 行不行？（ = =||| ）改变电力电子变换器的放大倍数 K_s 行不行？改变转 速反馈系数 行不行？若要改变电动机的堵转电流，应调节系统中的什么参数？

答：通常可以调节给定电压。 改变 K_n 和 K_s 都不行，因为转速电流双闭环直流调速系统对前 向通道内的阶跃扰动均有能力克服。也可以改变 ，但目的通常是为了获得更理想的机械特性。 若要改变堵转电流，应调节电流反馈系数 。

3-7 转速电流双闭环直流调速系统稳态运行时， 两个调节器的输入偏差电压和输出电压各是多 少？为什么？

答：输入偏差电压皆是零。因为系统无静差。 则 ASR 输出电压 $U_i^* = U_i = I_d = I_{dL}$ ；ACR 输出电压 $U_c = U_{d0}/K_s =$ 见 P62。

3-8 在双闭环系统中，若速度调节器改为比例调节器，或电流调节器改为比例调节器，对系统的 稳态性能影响如何？

答：速度调节器对阶跃扰动的静差由 0 变为 $1/(1+K_n)$ ，或电流调节器对阶跃扰动的静差由 0 变为 $1/(1+K_c)$ ，而对斜坡扰动的静差变得更大。

3-9 从下述五个方面来比较转速电流双闭环直流调速系统和带电流截止负反馈环节的转速单闭 环直流调速系统：（1）调速系统的静态特性。（2）动态限流性能。（3）起动的快速性。（4）抗负载扰动的性能。（5）抗电源电压波动的性能。

答：3-10 根据 ASR 和 ACR 的作用，回答（均为 PIR）（已验证）：（1）双闭环系统在稳定运行中，如果电流反馈信号线断开，系统仍能正常工作吗？（2）双闭环系统在额定负载下稳定运行时，若电动机突然失磁，最终电动机会飞车吗？

答：（1）稳态时转速不变，电流减小。（2）不会飞车，而是停转。

一、可以作为填空题或简答题的

3-1 为了实现（电流的实时控制和快速跟随），希望电流调节器（不要）进入饱和状态，因此，对于静特性来说，只有（转速调节器的饱和与不饱和两种情况）。

3-2 当两个调节器都不饱和且稳态时，它们的输入偏差电压分别为（ 0 ）。

3-3 当 ASR 输出（达到限幅值 U_{im}^* ），转速外环呈（开环状态），转速变化对转速环（不会）产生影响，双闭环系统变成一个（电流无静差的单电流闭环调节系统）。稳态时， $I_d (=) I_{dm}$ 。

3-4 电流限幅值 I_{dm} 取决于（电动机的容许过载能力和系统要求的最大加速度）。

3-5 简述采用两个 PI 调节器分别形成内外闭环的效果。 答：双闭环直流调速

系统的静特性在负载电流小于 I_{dm} 时表现为转速无静差，此时转速负反馈起主要调节作用。当负载电流达到 I_{dm} 时，对应于转速调节器为饱和输出 U_{im}^* ，此时电流调节器起主要调节作用，系统表现为电流无静差，起到过电流的自动保护作用。

3-6 简述 ASR 的退饱和条件。

答：当 ASR 处于饱和状态时，若实际转速大于给定转速，则反馈电压大于给定电压，使偏差电压小于零，则 ASR 反向积分，从而退饱和，返回线性调节状态。

3-7 简述转速电流负反馈控制电流调速系统起动过程。 63

3-8 简述双闭环直流调速系统起动过程的特点。（饱和非线性控制；转速超调；准时间最优控制）

3-9 双闭环直流调速系统的抗扰性能主要包括（抗负载扰动；抗电网电压扰动）。

3-10 简述双闭环直流调速系统中转速调节器的作用。

答：作为主导调节器，在转速动态过程中，使转速快速跟随给定电压变化，稳态时减小转速误差，采用 PIR 可实现无静差。对负载变化其抗扰作用。其输出限幅值决定电动机允许最大电流。

3-11 简述双闭环直流调速系统中电流调节器的作用。

答：作为内环调节器，在转速调节过程中，使电流紧紧跟随给定电流变化。对电网电压波动起及时抗扰作用。在转速动态过程中，保证获得电动机最大允许电流，从而加快动态过程。当电动机过载或堵转时，限制电枢电流最大值，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。

二、公式和特性

1. P62 稳态时： $U_n^* = U_n = U_n^0$ $U_i^* = U_i = U_i^0$ $I_d = I_{dL}$
 $U_c = U_{d0}/K_s = (C_e U_n^* / K_s) + I_d R$

2. 转速反馈系数： $\alpha = U_n^* m / n_m$

3. 电流反馈系数： $\beta = U_i^* m / I_{dm}$ 1. 转速电流反馈控制直流调速系统 - 系统原理图：

2. 转速电流反馈控制直流调速系统 - 稳态结构图： 3. 转速电流反馈控制直流调速

系统 - 动态结构图： 1. 时间最优的理想过渡过程： 2. 双闭环直流调速系统静特

性

第 4 章

一、可以作为填空题或简答题的

4-1 直流 PWM 可逆调速系统中当电动机停止时，电枢电压瞬时值（ ）零，是（正负脉宽相等的交变脉冲电压），故（电流也是交变的），称为（高频微振电流），其平均值为（ ），不能产生（平均转矩）。

4-2 高频微振电流对电机有何影响？

答：消除电机正反向时的静摩擦死区，起动力润滑作用。同时也增大了电机的损耗。

二、公式和特性

1. 双极式控制可逆 PWM 变换器输出电压平均值： $U_d = (2t_{on}/T - 1)U_s$ 1. 调速系统四象限运行 - 示意图：
2. 桥式可逆 PWM 变换器电路 - 原理图：
3. 桥式可逆 PWM 调速系统主电路 - 原理图：

第 5 章

三、思考题

5-1 对于恒转矩负载，为什么调压调速的调速范围不大？电机机械特性越软调速范围越大吗？

答：带恒转矩负载工作时，普通笼型异步电动机降压调速时的稳定工作范围为 $0 < s < s_m$ ， s_m 本来就不大，因此调速范围也不大。降压调速时，机械特性变软，但 s_m 不变，故调速范围不变。

5-2 异步电动机变频调速时，为何要电压协调控制？在整个调速范围内，保持电压恒定是否可行？为何在基频以下时，采用恒压频比控制，而在基频以上保持电压恒定？

答：因为定子电压频率变化时，将导致气隙磁通变化，影响电动机工作。在整个调速范围内，若保持电压恒定，则在基频以上时，气隙磁通将减少，电动机将出力不足；而在基频以下时，气隙磁通将增加，由于磁路饱和，励磁电流将过大，电动机将遭到破坏。因此保持电压恒定不可行。在基频以下时，若保持电压不变，则气隙磁通增加，由于磁路饱和，将使励磁电流过大，破坏电动机，故应保持气隙磁通不变，即保持压频比不变，即采用恒压频比控制；而在基频以上时，受绕组绝缘耐压和磁路饱和的限制，电压不能随之升高，故保持电压恒定。

5-3 异步电动机变频调速时，基频以下和基频以上分别属于恒功率还是恒转矩调速方式？为什么？所谓恒功率或恒转矩调速方式，是否指输出功率或转矩恒定？若不是，那么恒功率和恒转矩调速究竟是指什么？

答：在基频以下调速，采用恒压频比控制，则磁通保持恒定，又额定电流不变，故允许输出转矩恒定，因此属于恒转矩调速方式。在基频以下调速，采用恒电压控制，则在基频以上随转速的升高，磁通将减少，又额定电流不变，故允许输出转矩减小，因此允许输出功率基本保持不变，属于恒功率调速方式。恒功率或恒转矩调速方式并不是指输出功率或输出转矩恒定，而是额定电流下允许输出的功率或允许输出的转矩恒定。

5-4 基频以下调速可以是恒压频比控制，恒定子磁通 m_s 恒气隙磁通 m 和恒转子磁通 m_r 的控制方式，从机械特性和系统实现两个方面分析与比较四种控制方法的优缺点。

答：恒压频比控制最容易实现，其机械特性基本上是平行下移，硬度也较好，能满足一般调速要求，低速时需适当提高定子电压，以近似补偿定子阻抗压降。恒定子磁通 m_s 恒气隙磁通 m 和恒转子磁通 m_r 的控制方式均需要定子电压补偿，控制要复杂一些。恒定子磁通 m_s 和恒气隙磁通 m 的控制方式虽然改善了低速性能，但机械特性还是非线性的，仍受到临界转矩的限制。恒转子磁通 m_r 控制方式可以获得和直流他励电动机一样的线性机械特性，性能最佳。

5-5 常用的交流 PWM 有三种控制方式，分别为 SPWM、CFPWM 和 SVPWM 论述它们的基本特征及各自的优缺点。

答：略。

5-6 分析 CFPWM 控制中，环宽 h 对电流波动与开关频率的影响。

答：略。

5-7 三相异步电动机 Y 联结，能否将中性点与直流侧参考点短接？为什么？

答：不宜。因为当电动机发生故障或不正常运行时其中性点可能会有不平衡电流流过。

5-8 当三相异步电动机由正弦对称电压供电，并达到稳态时，可以定义电压相量 U 、电流相量 I 等，用于分析三相异步电动机的稳定工作状态，5.4.5 节定义的空间矢量 u_s 、 i_s 与相量有何区别？在正弦稳态时，两者有何联系？

答：空间矢量位置固定（如空间矢量 u_{AO} 固定在 A 相绕组轴线上），但大小随时间变化；而相量大小是不变的（如有效值相量其大小即为稳态时的有效值），但位置随相角变化。稳态时，空间矢量相当于一种相角固定的瞬时值相量。

5-9 采用 SVPWM 控制，用有效工作电压矢量合成期望的输出电压，由于期望输出电压矢量是连续可调的，因此，定子磁链矢量轨迹可以是圆，这种说法是否正确？为什么？

答：不正确。尽管期望输出电压矢量是连续的，然而其作用时间是断续的，因此定子磁链矢量只能是断续的。

5-10 总结转速闭环转差频率控制系统的控制规律，若 $U_s = f(\omega_1, I_s)$ 设置不当，会产生什么影响？一般说来，正反馈系统是不稳定的，而转速闭环转差频率控制系统具有正反馈的内环，系统却能稳定，为什么？

答：

一、可以作为填空题或简答题的

5-1 简述矢量控制的基本思想。

答：将逆变器和交流电动机视为一体，以在电机内产生圆形旋转磁场为目标来控制变频器工作。

5-2 异步电动机变压变频调速系统中，基频以下调速采用（恒压频比）控制，称为（恒转矩）调速；基频以上采用（保持电压不变）控制，称为（近似的恒功率调速）。为什么？略

5-3 六拍式逆变器控制的异步电动机正六边形定子磁链的大小与（直流侧电压 U_d ）成正比，而与（电源角频率）成反比。在基频以下调速时，应（保持正六边形定子磁链的最大值恒定）。若直流侧电压 U_d 恒定，则 ω 越小时， t 越大，势必导致（ $|s(k)|$ ）增大。因此，要保持正六边形定子磁链不变，必须使 U_d/ω 为常数，这意味着在变频的同时必须调节直流电压 U_d ，造成了控制的复杂性。有效的方法是（插入零矢量）。

5-4 简述转差频率控制的基本思想。

答：保持（气隙磁通 Φ_m 不变）的前提下，通过控制（转差频率 s ）来控制（转矩）。

5-5 转差频率控制变压变频调速系统通过（最大转差频率）间接限制（了最大的允许电流）。

5-6 与直流调速系统相似，转差频率控制变压变频调速系统起动过程分为（转矩上升）（恒转矩、升速）与（转速调节）三个阶段：在恒转矩升速阶段，（ASR）不参与调节，相当于（转速开环），在正反馈内环作用下，保持（加速度恒定）；转速超调后，ASR（退出饱和），进入（转速调节阶段），最后达到稳态。

5-7 简述转速闭环转差频率控制的变压变频调速系统起动过程。

答：转矩上升阶段：恒转矩升速阶段：转速调节：

二、公式和特性

1. 公式略

1. 异步电动机等效电路图：

2. 交-直-交电压源型 PWM 变频器主电路：（各个元件作用需知）

3. 转速开环变压变频调速系统 - 系统原理图：

4. 转速闭环转差频率控制变压变频调速系统 - 系统原理图：

1. 异步电动机调压调速机械特性： 2. 异步电动机转子串阻调速机械特性： 3.

异步电动机变压变频调速机械特性： 4. 异步电动机变压变频调速控制特性

第 6 章

一、可以作为填空题或简答题的

6-1 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。

6-2 异步电动机的动态数学模型由（磁链方程、电压方程、转矩方程、运动方程）组成。

6-3 异步电动机每个绕组的磁链是（自感磁链）和（互感磁链）之和。

6-4 绕组间的互感分为哪几类？

答：定子三相彼此之间和转子三相彼此之间的互感，因其位置固定，故为常值。定子任一相与转子任一相之间的互感，因其相对位置变化，故为（角位移）的函数。

6-5 为什么说异步电动机的三相原始数学模型不是物理对象最简洁的描述？

答：由异步电动机三相数学模型的约束条件（ $i_{N1} = i_{N2} = i_{N3} = 0$ ）可知，对于无中性线 Y/Y 联结绕组的电动机，三相变量中只有两相是独立的。

6-6 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）

6-7 三相绕组可以用（互相独立的两相正交对称绕组）等效代替，等效的原则是（ $\frac{2}{3}$ ）。

6-8 坐标变换有（ $3/2$ 变换及其反变换）和（ $2r/2s$ 变换及其反变换）。

6-9 异步电动机通过坐标变换简化其数学模型时，若以静止正交坐标为变换方向，定转子绕组的变换方式有何不同？

答：异步电动机定子绕组是静止的，因此只要进行（ $3/2$ 变换）即可，而转子绕组是旋转的，因此必须通过（ $3/2$ 变换）及（ $2r/2s$ 变换），才能变换到（静止两相正交坐标系）。

6-10（ $3/2$ 变换）将（按 $2/3$ 分布的三相绕组）等效为（互相垂直的两相绕组），消除了（定子三相绕组间）以及（转子三相绕组间）的相互耦合，减小了状态变量的维数，简化了定转子的自感矩阵。

6-11（ $2r/2s$ 变换）将（相对运动的定转子绕组）等效为（相对静止的等效绕组），消除了（定转子绕组间夹角对磁链和转矩的影响）。

6-12（ $2r/2s$ 变换）将非线性耦合矛盾从磁链方程转移到电压方程，没有改变对象的（非线性耦合程度）。

6-13（ $2s/2r$ 变换）是用（旋转绕组）代替（原来静止的定子绕组），并使等效的转子绕组与等效的定子绕组（重合），且保持（严格同步），等效后定转子绕组间（不存在）相对运动。

6-14（静止正交坐标系动态数学模型）——>（旋转正交坐标系动态数学模型）转速为（ ω ）。

6-15 旋转正交坐标系的优点在于（增加了一个输入量 ω ，提高了系统控制的自

由度) 。

二、公式和特性

1. 异步电动机三相动态数学模型： 磁链方程 +电压方程 +转矩方程 +运动方程 +约束条件：