



普通高等学校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材
顾问 杨叔子 李培根 李元元

《机电传动与控制》习题精解

鲁艳旻 ◎ 主编

程宪平 ◎ 主审



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



普通高等学校机械制造及其自动化专业“十二五”规划教材
顾问 杨叔子 李培根 李元元

《机电传动与控制》习题精解

主 编 鲁艳旻
副主编 陈 艳 周北明 范 娟
主 审 程宪平



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书为华中科技大学出版社出版、程宪平主编的《机电传动与控制》(第三版)一书的配套辅导用书,全书根据配套教材分为9章,每章包括基本知识点、习题精解、强化练习题三部分。本书突出了各章的重点和难点内容,并对配套教材中习题的解题思路和方法给予了详细讲解。此外,还适当扩展了教材中部分理论联系实际的内容,并提供了适量的强化练习题,最后给出了三套综合试题及参考答案。

本书既可作为本科、专科学生学习“机电传动与控制”课程的同步辅导教材,帮助学生加强对教材内容的理解和掌握,又可供讲授该课程的教师进行教学和开展教学研究时参考。

图书在版编目(CIP)数据

《机电传动与控制》习题精解/鲁艳旻 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2011.8
ISBN 978-7-5609-7273-2

I. 机… II. 鲁… III. 电力传动控制设备-题解 IV. TM921.5-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 149780 号

《机电传动与控制》习题精解

鲁艳旻 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:姚同梅

封面设计:潘 群

责任校对:朱 玢

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:8 插页:2

字 数:146千字

版 次:2011年8月第1版第1次印刷

定 价:14.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

“机电传动与控制”课程是机械类、机械设计制造及其自动化、机械电子工程(机电一体化)等专业的一门主干技术基础课。为了配合教学和帮助学生提高学习效率、深刻理解教材中各章节的知识点、掌握解决问题的思路和方法,编者根据多年来所积累的教学和实践经验、学生学习中反映出的问题,编写了本书。

本书为华中科技大学出版社出版、程宪平主编的《机电传动与控制》(第三版)一书的配套辅导用书。书中不但对各章的重点和难点进行了归纳,还对大量有代表性的习题进行了剖析,并编写了强化练习题。

“机电传动与控制”课程的前修课程主要是电路、模拟电子技术、数字电子技术、微机原理等,后续课程主要是数控技术。学习本课程的基本要求如下:

- (1) 了解机电传动控制系统的组成,掌握机电传动的基本规律;
- (2) 掌握常用电机、控制电机、常用电器、晶闸管及其基本电路的基本工作原理、主要特性,了解其应用与选用;
- (3) 掌握继电器-接触器控制、可编程序控制器的基本工作原理,学会用它们来实现生产过程的自动控制;
- (4) 掌握常用的开环、闭环驱动控制系统的基本工作原理和特点,了解其性能和应用;
- (5) 学会分析机电传动控制系统的基本方法。

在学懂书中基本内容的基础上再做一些习题,可以起到巩固概念、熟练运算、启发思维的作用。做题是巩固和加深所学知识、培养分析问题和解决问题能力的有效途径。解题时要正确理解题意,注意分析,对号入座,不要乱套。本书介绍的解题方法仅供参考,且有的题解也不是唯一的。另外,学生通过对各章强化练习题的试做,可以进一步加深自己对各章所学内容的掌握程度。

本书可供机械类、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业的大学本、专科学生学习时参考,亦可作为讲授“机电传动与控制”课程教师的参考用书。

本书由鲁艳旻主编,具体编写分工为:第1章至第4章及第9章由鲁艳旻编写,第5章和第6章由陈艳老师编写,第7章由周北明老师编写,第8章由范娟老师编写。华中科技大学程宪平教授主审了本书,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010年12月于武汉

目录

第 1 章 直流电机	(1)
基本知识点	(1)
习题精解	(2)
强化练习题	(21)
第 2 章 交流电动机	(23)
基本知识点	(23)
习题精解	(24)
强化练习题	(36)
第 3 章 控制电机	(38)
基本知识点	(38)
习题精解	(39)
强化练习题	(44)
第 4 章 机电传动控制系统的基础	(45)
基本知识点	(45)
习题精解	(45)
强化练习题	(52)
第 5 章 控制电器与继电器-接触器控制系统	(53)
基本知识点	(53)
习题精解	(53)
强化练习题	(63)
第 6 章 可编程序控制器	(64)
基本知识点	(64)
习题精解	(64)
强化练习题	(74)
第 7 章 直流电动机调速系统	(75)
基本知识点	(75)
习题精解	(76)

□

第1章 直流电机



基本知识点

1. 直流电机的基本结构与工作原理

(1) 直流电机由定子和转子构成；直流电机是机械能和直流电能互相转换的旋转机械装置。

(2) 他励直流电动机的基本方程式，即电压平衡方程式和转矩平衡方程式，其分别反映了在电能转换为机械能的过程中的电磁关系和能量的转换关系。

(3) 直流电机的额定功率、额定电压、额定电流、额定转速和额定励磁电流的概念。

(4) 直流电机的国家标准。

2. 直流发电机

(1) 直流发电机的空载特性及外特性，即励磁电流与输出电压及负载电流与端电压之间的关系。

(2) 并励直流发电机的电压建立过程和三个自励条件；剩磁所起的作用。

3. 直流电动机的机械特性

(1) 电动机机械特性的一般表达式，这是分析启动、调速和制动特性的依据。

(2) 他励电动机的机械特性，机械特性曲线中两个特殊点的确定，以及根据电动机铭牌数据确定电动机的机械特性。

(3) 人为机械特性的意义，对电枢回路串接电阻、改变电枢电压、减弱电动机磁通条件下的人为特性及有关计算；固有机械特性中变量的改变与曲线改变的对应关系。

4. 机电传动系统运动的理论基础

(1) 工程实际中的运动方程式，单轴机电传动系统的运动方程式；电机的输出转矩、负载转矩相互作用的结果与电机的运动状态之间的关系。

(2) 多轴系统的简化,包括多轴旋转系统、直线运动系统中的折算原则和计算方法,要理解等效折算,即折算前后系统总的传递功率和动能不变。

5. 生产机械的机械特性

(1) 恒转矩型、风机型、直线型和恒功率型等类型生产机械的机械特性,这是实际生产中典型的几种机械特性。

(2) 系统稳定运行的充要条件,应学会判断系统的稳定平衡点;机械特性的硬度在判断中所起的作用。

6. 直流他励电动机的启动与调速

(1) 他励电动机的两种启动方法:降低电枢回路电压和逐级切除电阻;在启动过程中对限制启动电流的要求。

(2) 他励电动机的三种电气调速方法,即电枢回路串接电阻、改变电枢电压和减弱磁通,应能进行相关计算及分析;调速过程中对机械特性的硬度、调速范围和调速过渡的平滑度的要求。

7. 直流他励电动机的制动

(1) 电动机的电动状态和制动状态,能耗制动、反接制动和再生发电制动的过程,要正确理解电动机的运动状态与机械特性曲线的象限之间的对应关系。

(2) 能耗制动状态、电枢电压反接制动状态、倒拉反接制动状态、再生发电制动状态的能量关系及机械特性,应能进行相关的计算。



习题精解

1-1 直流电机结构的主要部件有哪些?各有什么作用?

解题分析 本题主要考查对直流电机的工作原理和基本结构的掌握程度,核心为主要部件、作用,由此展开思路进行综述。

解 直流电机是以导体在磁场中运动产生的感应电动势和载流导体在磁场中受力为基础来实现机电能量转换的。为实现机电能量转换,直流电机的结构包括定子与转子两大部分,定子由主磁极、换向极、机座和电刷装置等组成,用于建立主磁场,并作为机械支撑;转子由电枢铁芯、电枢绕组、换向器等组成,用于产生感应电势、电流,实现机电能量转换。

1-2 为什么直流发电机电枢绕组中的电势是交变的,而电刷上的极性却是恒定的?

解题分析 本题主要考查对直流发电机的工作过程的了解程度,核心为交变电势、恒定极性,由此展开思路进行综述。

解 直流电机的工作过程是:原动力拖动转子转动,切割磁力线,转子线圈产生感应电势。转子连续转动,每转一周,两线圈边位置互换一次,电势方向变换一次。由于电刷与磁极是相对静止的,电刷仅与一定极性磁极的线圈边相接触,因此,电刷上输出的电势方向不变。

1-3 在直流电动机中,加在电枢两端的电压是直流电压,这时换向器有什么作用?

解题分析 本题主要考查对直流电动机工作过程的掌握程度,核心为直流电压、换向器,由此展开思路进行综述。

解 直流电动机接入直流电源后,载流导体线圈在磁场中受到电磁力的作用,发生转动。随着转子转动,线圈边位置互换,线圈边中的电流方向应发生改变,以实现转子的连续运行。这时换向器与静电刷配合作用,电刷仅与一定极性磁极下的线圈边接触,使电流在固定磁极的方向保持恒定,但线圈边互换,线圈中的电流方向改变。因此,换向器的作用是把电枢两端的直流电压通过电刷送到不同的电枢线圈边中,使线圈中的电流转换为交变电流。

1-4 如何判断直流电机是运行于发电机状态,还是电动机状态? 它的能量转换关系有何不同?

解题分析 本题主要考查对直流电机的运行状态的掌握程度,核心为运行状态、能量转换关系,由此展开思路进行综述。

解 判断一台直流电机是运行于发电机状态还是电动机状态,关键在于外加的条件,也就是输入功率的形式。从轴上输入机械功率,向外输出直流电能,则直流电机运行于发电机状态;从电刷上输出电功率,向外输出机械功率,则直流电机运行于电动机状态。

1-5 直流电机的励磁方式有哪几种? 在各种不同的励磁方式的电机中,电机电流 I 与电枢电流 I_a 及励磁电流 I_f 有什么关系?

解题分析 本题主要考查对直流电机励磁电路的掌握程度,核心为励磁方式、电流关系,由此展开思路进行综述。

解 直流电机的励磁方式有两种:一种是励磁电流由另外的直流电源单独供电的他励方式;另一种是励磁电流由直流电机的电枢提供的自励方式,自励方式又可分为并励、串励和复励三种。

对于他励电机,电机电流 I 等于电枢电流 I_a ,励磁电流 I_f 由直流电源确定,与其他无关。

对于并励电机,励磁绕组与电机电枢绕组并联,电枢电流 I_a 等于励磁电流 I_f 与电机电流 I 之和。

对于串励电机,励磁绕组与电枢串联,电枢电流 I_a 等于励磁电流 I_f ,也等于

电机电流 I 。

对于复励电机,励磁绕组接线方式既有串励又有并励,电枢电流 I_a 为并励部分电流 I_n 与电机电流 I 之和,且等于串励部分电流 I_{L2} 。

1-6 什么叫机械特性的硬度? 什么叫硬特性? 什么叫软特性? 特性的软硬对机电传动系统有什么意义?

解题分析 本题主要考查对直流电机机械特性中几个概念的掌握程度,核心为机械特性、意义,由此展开思路进行综述。

解 在机械特性曲线中,纵轴上的截距为 $T=0$ 时的速度,即 $n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}$ 为理想空载转速。电动机运行时,电枢回路等效电阻在运行时消耗能量的大小及运行过程中相对稳定性程度用转速降落反映,即 $\Delta n = \frac{R_a}{C_e C_m \Phi_N^2} T$ 。所谓机械特性的硬度,就是说明这一概念的。在机械特性曲线的工作范围内,某一点的转矩对该点的转速的导数,称为机械特性的硬度用 β 表示,即 $\beta = \frac{dT}{dn}$ 。

机械特性的硬度与机械特性曲线某一点的斜率成倒数关系,故 β 值越大,机械特性倾斜程度越小,其运行过程损耗的能量越少,相对稳定性也越好。一般称 β 值大的机械特性为硬特性,反之称为软特性。

当电动机的机械特性为硬特性时,带负载能力就会很强,对于机电传动系统的运行也会有很强的抗扰能力,且运行较稳定。

1-7 说明运动方程式中 T_M 、 T_L 、 $\frac{GD^2 dn}{375 dt}$ 及 GD^2 的物理概念,并指出 n 、 T_M 、 T_L 三者的正方向约定规则。

解题分析 本题主要考查对直流电机的机械运动中几个概念的掌握程度,核心为运动方程式、正方向约定规则,由此展开思路进行综述。

解 单轴系统的运动方程式为

$$T_M - T_L = \frac{GD^2 dn}{375 dt}$$

式中: T_M 为电动机的输出转矩; T_L 为生产机械的静阻转矩; $GD^2 = 4gJ_M$ 为转动部分的飞轮惯量 ($N \cdot m^2$), 其中 J_M 为电动机转轴上所有转动体的转动惯量 ($N \cdot m^2$), g 为重力加速度; $n = \frac{60\omega_M}{2\pi}$ 为电动机转速 (r/min), 其中 ω_M 为电动机转轴角速度 (rad/s); $375 \approx 4g \left(\frac{60}{2\pi} \right)$ 为加速度量纲的常数 ($m/s^2 \cdot min$)。

T_M 、 T_L 是两个互不关联的主动量,其相互作用的结果决定系统的运动状

态。 n 、 T_M 、 T_L 三者的正方向约定是:假设顺时针方向为 n 的正方向, T_M 的方向与 n 的方向相同时为正, T_L 的方向与 n 的方向相反时为正。

1-8 试用运动方程式说明系统处于静止、恒速旋转、加速、减速各种工作状态的条件是什么。

解题分析 本题主要考查对直流电机的机械运动中几个概念的掌握程度,核心为运动方程式、工作状态,由此展开思路进行综述。

解 单轴系统的运动方程式为

$$T_M - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}$$

若 T_M 、 T_L 均为正:当 $T_M > T_L$ 时, $\frac{dn}{dt} > 0$, 系统将沿着 n 的方向加速运行;当 $T_M < T_L$ 时, $\frac{dn}{dt} < 0$, 系统将沿着 n 的方向减速运行;当 $T_M = T_L$ 时, 系统处于静止或恒速旋转状态。

1-9 什么叫平衡运转状态? 什么叫稳定平衡运转状态? 机电传动系统稳定运行的充分必要条件是什么?

解题分析 本题主要考查对机电传动系统中几个概念的掌握程度,核心为稳定运行及其充分必要条件,由此展开思路进行综述。

解 对机电一体的系统来说,系统能匀速运行则称系统处于平衡运转状态。

匀速运行的系统,在受到外部干扰的作用后偏离平衡位置,但在新的条件下能达到新的平衡,或在干扰消除后能恢复到原来的速度重新匀速运行,则称系统处于稳定平衡运转状态。

在电动机的机械特性与负载的机械特性切线所代表的交点处,电动机的机械特性切线所代表的硬度比负载的机械特性切线所代表的硬度小,则对应的平衡点是稳定的。因此,机电传动系统稳定运行的充分必要条件为:在 $T = T_L$ 处, $\frac{dT}{dn} < \frac{dT_L}{dn}$ 。对于恒转矩负载的情况,因为 $\frac{dT_L}{dn} = 0$, 所以对应的稳定平衡充分必要条件为:在 $T = T_L$ 处, $\frac{dT}{dn} \leq 0$ 。

1-10 在图 1-1(教材图 1-44)中,曲线 1 和曲线 2 分别为电动机和负载的机械特性,试判断图中哪些是系统的稳定平衡点,哪些不是。为什么?

解题分析 本题主要考查对机电传动系统中稳定运行充要条件的掌握程度,核心为机械特性、稳定平衡点。

解题思路 作出曲线交点处各切线,比较电动机和负载的机械特性的

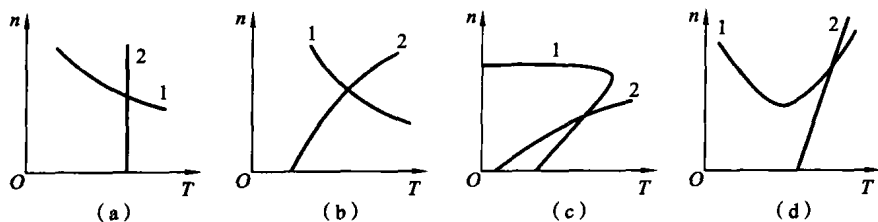


图 1-1

硬度。

解 作出各交点处机械特性的切线,如图 1-2 所示。

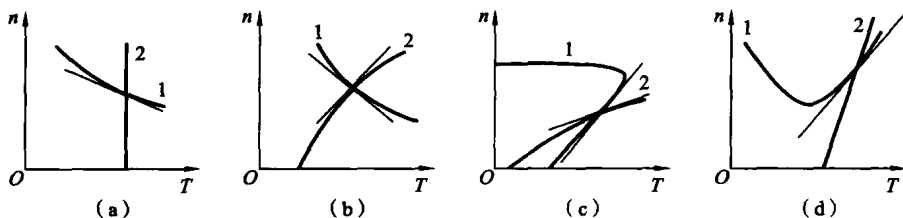


图 1-2

判断交点处的 $\frac{dT}{dn} - \frac{dT_L}{dn}$ 的情况。

图 1-2(a) 中: 恒转矩负载, $\frac{dT}{dn} < 0$, 所以交点为稳定平衡点。

图 1-2(b) 中: $\frac{dT}{dn} < 0, \frac{dT_L}{dn} > 0$, 所以交点为稳定平衡点。

图 1-2(c) 中: $\frac{dT}{dn} > 0, \frac{dT_L}{dn} > 0$, 但 $\beta < \beta_L$, 所以 $\frac{dT}{dn} - \frac{dT_L}{dn} < 0$, 交点为稳定平衡点。

图 1-2(d) 中: $\frac{dT}{dn} > 0, \frac{dT_L}{dn} > 0$, 且 $\beta_L < \beta$, 所以 $\frac{dT}{dn} - \frac{dT_L}{dn} > 0$, 交点为不稳定平衡点。

1-11 直流电动机一般为什么不允许直接启动? 如直接启动会发生什么问题? 应采用什么方法启动比较好?

解题分析 本题主要考查对直流电动机的启动过程和启动现象的掌握程度, 核心为直接启动、启动方法, 由此展开思路进行综述。

解 直流电动机直接启动时, 因为反电势 $E_a = 0$, 根据电枢回路电压平衡方程式可知, $I_a = U_N / R_a$, 而 R_a 非常小, 在电枢回路中将产生过大的启动电流, 可达到额定电流的 10~20 倍, 将导致电动机换向困难, 产生过大的加速度, 对传

动装置及电动机本身造成伤害,瞬间启动电流也会引起电网电压的波动,对电网其他设备造成不良影响。故直流电动机一般不允许直接启动。

直流电动机启动时,必须保证电枢回路中有足够大但又不过大的电流,安全启动。为限制启动电流,满足生产要求,根据 $I_s = U_N / R_s$,直流电动机可采用如下方法启动:① 降低电枢回路电压启动;② 串联电阻启动。

1-12 改变磁通的人为特性为什么在固有特性的上方? 改变电枢电压的人为特性为什么在固有特性的下方?

解题分析 本题主要考查对直流电动机的人为机械特性的掌握程度,核心为固有特性、人为特性,由此展开思路进行综述。

解 在设计时,为节省铁磁材料,直流电机运行在额定状态下时,其磁路系统已接近饱和,故改变磁通只能减弱磁通。由机械特性方程式 $n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_s}{C_e C_m \Phi_N^2} T$ 可知,减弱磁通,理想空载转速 n_0 增高, Δn 变大,机械特性变软。所以,改变磁通的人为特性在固有特性的上方。

由于受电枢材料绝缘性能的限制,直流电动机电枢端的最高电压不能超过电机的额定电压,只能在额定电压以下进行调节来改变人为特性。由机械特性方程式 $n = \frac{U}{C_e \Phi_N} - \frac{R_s}{C_e C_m \Phi_N^2} T$ 可知,降低电枢电压,理想空载转速 n_0 与电枢电压 U 成正比, Δn 保持不变,人为特性往下平行移动。

1-13 再生发电制动和能耗制动各有什么特点?

解题分析 本题主要考查对直流电动机的制动方式和制动过程的掌握程度,核心为再生发电制动、能耗制动,由此展开思路进行综述。

解 电动机在负载的拖动下使电动机的实际转速 n 大于其理想转速 n_0 , $E_s > U$, 电枢电流 I_s 反向,电磁转矩 T 反向,变成制动转矩,电动机变成发电机,把机械能转变为电能,向电源馈送,故称再生发电制动,或回馈制动。再生发电制动常发生在电动机带动位能转矩型负载的情况,如电车上坡、重物下放时,它可以限制重物的下降速度,也可发生在降压调速或增磁调速时变速的瞬间。

电动机电枢回路从电源脱开而串联电阻 R_s , 电枢电流 $I_s = \frac{0 - E_s}{R_s - R_c}$, 方向发生变化,电磁转矩 T 随之反向,变成制动转矩,电动机变成发电机,把机械能转换成电能,消耗在电枢回路的电阻中,故称能耗制动。发生能耗制动时,电动机若带动恒转矩负载,迅速消耗掉惯性动能停车;电动机若带动位能负载,制动到 $n=0$ 时,重物将拖着电动机反转,使电动机沿下降的方向加速,直至达到匀速下

降的新稳定状态为止。能耗制动常用于需要迅速而准确停车的情况,以及卷扬机恒速下放重物的情况。

1-14 电压反接制动过程与倒拉反接制动过程有何异同点?

解题分析 本题主要考查对直流电动机的制动方式和制动过程的掌握程度,核心为电压反接制动、倒拉反接制动,由此展开思路进行综述。

解 电压反接制动改变电枢电压 U 的方向,电枢电流反向,电磁转矩 T 反向,变成制动转矩,电动机把机械能转换成电能,将电能消耗在电枢回路的电阻中。反接制动期间,电枢电势 E_a 和电源电压 U 串联相加,电枢电流 $I_a = \frac{-(U+E_a)}{R_a}$,其值很大,回路中必须串接足够大的限流电阻 R_r 。电压反接制动一般应用于要求迅速减速、停车和反向的场合和经常发生正反转的机械上。

倒拉反接制动改变电枢电势 E_a 的方向,在电枢电势回路串入适当的附加电阻 R_r ,位能型负载由提升变为下降,电动机反向旋转 ($n < 0$),电动势 E_a 变成负值,电源电压 U 与 E_a 同向,电枢电流 $I_a = \frac{U+E_a}{R_a+R_r}$,其值增大但不改变方向,电动机电磁转矩 T 没有反向, T 是阻碍重物下降的,故电动机起制动作用,以限制重物的下放速度。倒拉反接制动用于重物下放时的限速。

1-15 有一台直流发电机,其额定功率 $P_N = 82 \text{ kW}$,额定电压 $U_N = 230 \text{ V}$,额定转速 $n_N = 970 \text{ r/min}$ 。求该发电机的额定电流。

解题分析 本题主要考查对直流发电机的额定参数概念的掌握程度,核心为直流发电机、额定电流。

解题思路 对于直流发电机来说,额定功率为出线端的电功率。

解 对于直流发电机,有

$$P_N = U_N I_N$$

所以该发电机的额定电流为

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{82 \times 10^3}{230} \text{ A} \approx 356.5 \text{ A}$$

1-16 有一台直流电动机,其额定功率 $P_N = 40 \text{ kW}$,额定电压 $U_N = 220 \text{ V}$,额定转速 $n_N = 1500 \text{ r/min}$,额定效率 $\eta_N = 87.5\%$ 。求该电动机的额定电流。

解题分析 本题主要考查对直流电机的额定参数概念的掌握程度,核心为直流电动机、额定电流。

解题思路 对于直流电动机来说,额定功率为轴上输出的机械功率。

解 对于直流电动机,有

$$P_N = U_N I_N \eta_N$$

所以该电动机的额定电流为

$$I_N = \frac{P_N}{U_N \eta_N} = \frac{40 \times 10^3}{220 \times 0.875} \text{ A} \approx 207.8 \text{ A}$$

1-17 有一台 Z_2-61 型并励直流电动机, 其电气性能数据为 $P_N = 17 \text{ kW}$, $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 88.9 \text{ A}$, $n_N = 3\,000 \text{ r/min}$, 电枢回路总电阻 $R_a = 0.087 \, \Omega$, 励磁回路电阻 $R_f = 181.5 \, \Omega$ 。试求:

- (1) 额定负载时, 电枢电势为多少?
- (2) 固有特性方程式;
- (3) 轴上负载转矩为 $0.9 T_N$ 时, 电动机在固有机特性上的转速。

解题分析 本题主要考查对直流电动机的电压平衡和转矩平衡方程式的掌握程度, 核心为并励直流电动机、额定负载、固有特性。

解题思路 直流电动机工作在额定负载, 用已知额定参数代入, 求解电压平衡方程式, 即可得电枢电势; 固有特性需要确定两个特殊点; 负载变化时, 固有特性不变。

解 (1) 对于任何励磁方式的直流电动机, 电枢回路中的电压平衡方程式都成立, 故有

$$U = E_a + I_a R_a$$

对于并励电动机, 则有

$$I_a = I + I_f, \quad U = I_f R_f$$

在额定负载下, 电枢电势

$$\begin{aligned} E_a &= U_N - I_{aN} R_a = U_N - (I_N + I_{fN}) R_a = U_N - \left(I_N + \frac{U_N}{R_f} \right) R_a \\ &= 220 \text{ V} - \left(88.9 \text{ A} + \frac{220 \text{ V}}{181.5 \, \Omega} \right) \times 0.087 \, \Omega \approx 212.2 \text{ V} \end{aligned}$$

(2) 由额定情况下的电枢电压平衡方程可得

$$\begin{aligned} C_e \Phi_N &= \frac{U_N - I_{aN} R_a}{n_N} = \frac{212.2}{3\,000} \text{ r/min} \approx 0.0707 \text{ V/(r} \cdot \text{min)} \\ n_0 &= \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.0707} \text{ r/min} \approx 3\,112 \text{ r/min} \end{aligned}$$

根据转矩平衡方程式可得

$$T_N = 9.55 \frac{P_N}{n_N} = \frac{9.55 \times 17 \times 10^3}{3\,000} \text{ N} \cdot \text{m} \approx 54 \text{ N} \cdot \text{m}$$

在直角坐标系上标出理想空载点 $(0, n_0)$ 和额定工作点 (T_N, n_N) , 连成直线, 即得电动机的固有机特性。

由图 1-3 可得, 固有机特性方程式为

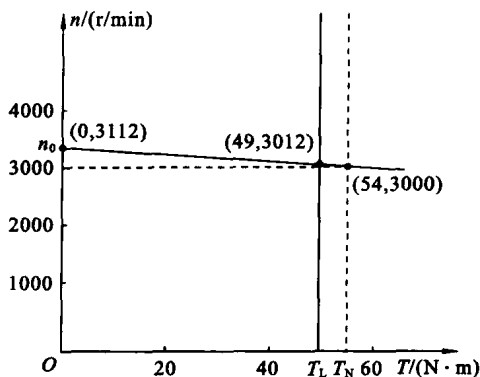


图 1-3

$$n = 3\,112 - \frac{111}{54}T$$

(3) 轴上负载转矩为 $0.9T_N$ 时,电动机在固有机特性上的转速为

$$n = 3\,112 - \frac{111}{54} \times 0.9T_N = (3\,112 - 111 \times 0.9) \text{ r/min} \approx 3\,012 \text{ r/min}$$

1-18 有一台 Z_2-42 型并励直流电动机, $P_N = 7.5 \text{ kW}$, $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 40.6 \text{ A}$, $n_N = 3\,000 \text{ r/min}$, 电枢回路电阻 $R_a = 0.213 \, \Omega$, $I_{fN} = 0.683 \text{ A}$ 。试求电动机在额定状态时的以下各量:

- (1) 电磁功率和电磁转矩;
- (2) 轴上输出转矩和空载转矩;
- (3) 输入功率和效率。

解题分析 本题主要考查对直流电机的功率平衡方程式的掌握程度,核心为并励直流电动机、额定状态。

解题思路 直流电动机工作在额定状态,用已知额定参数代入,求解功率平衡方程式,即可求得电动机的电磁功率和电磁转矩。电磁功率在传输过程中有损耗,输入的电功率在传输过程中也有损耗。

解 (1) 由电动机功率平衡方程式

$$UI_N = E_a I_a + I_a^2 R_a$$

可得,电磁功率为

$$P_M = E_a I_a = UI_a - I_a^2 R_a$$

对于并励直流电动机,有

$$I_a = I + I_f, \quad I_f R_f = U$$

故电动机在额定状态下的电磁功率为

$$P_{MN} = U_N (I_N + I_{fN}) - (I_N + I_{fN})^2 R_a$$