

高等学校规划教材

矿山自动控制系统

主编 孙守信

煤炭工业出版社

高等学校规划教材

矿山自动控制系统

主 编 孙守信

副主编 孟庆春 王清灵

参 编 董冠军

煤炭工业出版社

(京)新登字042号 :

内 容 提 要

本书是工业电气自动化专业的教材。主要介绍交、直流拖动控制系统、矿山提升机及采掘机械的控制。

全书共分三篇十章,第一篇直流调速系统,介绍了直流可逆调速系统,矿井提升机V-M可逆调速系统、直流调速系统的微机控制;第二篇交流调速系统,介绍了交流异步电动机的调压调速、串级调速、变频调速、矢量控制、各种控制方式比较;同步电动机变频调速包括交-交变频、自控变频、矢量控制、励磁控制以及交流调速系统的微机控制;第三篇继电器-接触器控制系统,介绍了继电器接触器控制系统,提升机有触点控制系统、综采工作面机械的控制信号与通讯等。

本书按照工业电气自动化专业本科110学时的要求编写。该书取材结合现场,将国内外先进控制系统写入教材中,既可作为学生教材,又可供矿山工程技术人员和其他专业的工程技术人员参考。

高 等 学 校 规 划 教 材 矿 山 自 动 控 制 系 统

主 编 孙守信

副主编 孟庆春 王清灵

参 编 董冠军

责任编辑:高 专 李朝文

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京怀柔燕文印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm^{1/16} 印张22 1/4 插页1

字数540千字 印数1—3,100

1996年4月第1版 1996年4月第1次印刷

ISBN 7-5020-1296-6/TD67

书号 4064 A0337 定价 17.80元

出版说明

《中国教育改革和发展纲要》指出,教育改革“要按照现代科学技术文化发展的新成果和社会主义现代化建设的实际需要,更新教学内容,调整课程结构,加强基本知识、基础理论和基本技能的培养和训练,重视培养学生分析问题和解决问题的能力”。“高等学校教材要在积极扩大种类的同时,不断提高质量,加强理论与实际的联系,力求思想性和科学性的统一”,要适应教学改革需要。

由阜新矿业学院、山西矿业学院、黑龙江矿业学院、淮南矿业学院等四所院校进行的工业电气自动化专业教学综合改革,按照“知识归类、科学组合、优化设课、精简学时、加强实践”的改革原则,制定新的教学计划。根据培养目标的要求,新计划对于原有课程,采用删、调、合、增的方法改变原有课程体系,将工业电气自动化专业电类课程归并为四大类:基础理论课、方法论课、应用技术基础课和有针对性的专业课。

为了适应深化教学改革的需要,我们首先组织编写、出版以下几种教材:

电工原理

网络与系统分析

电机与传动

控制工程技术

微机原理与接口技术

微机测控技术

矿山自动控制系统

电工技术计算机辅助分析

电气实验技术

电气工程实践教程

煤炭工业部科技教育司

教材编审室

一九九四年十月

前 言

本教材是煤炭高等学校工业电气自动化专业制订的一整套改革教材之一，是“八五”规划教材。内容包括：断续控制系统和连续控制系统；直流调速系统和交流调速系统；模拟控制与数字控制系统等。

本书有以下特点：(1)克服了各课间相互分立、内容重复、互不联系的现象，加强了系统性和连续性，节省了学时，在编写内容上注意由浅入深；(2)理论联系实际，既照顾到科技发展前景，又考虑到生产实际需要；(3)以基本理论为主，引用典型系统，理论与应用融为一体，同时反映了我国现状和当前国际的一些先进技术。

全书文字符号及电气图形符号采用国际新标准，同时也注意尽量采用法定计量单位。

本书编写分工是：淮南矿业学院王清灵副教授编写第一、二章；阜新矿业学院孟庆春副教授编写第三、五、六、七、十章；山西矿业学院孙守信教授编写第四章；山西矿业学院讲师董冠军编写第八、九章。孙守信任主编，孟庆春、王清灵任副主编。

在本书设课与编写中，得到煤炭部教育司、教材编委会、教材编审室以及有关高等学校的大力支持与帮助，在此向他们及有关参考文献作者一并表示感谢。

由于编者水平所限，书中难免有错误与不足之处，编者热望同行与读者批评赐教。

编 者

1994年12月

参 考 文 献

- 〔1〕 陈伯时主编:《电力拖动自动控制系统》,机械工业出版社,1992
- 〔2〕 佟纯厚主编:《近代交流调速》,冶金工业出版社,1985.6
- 〔3〕 许振茂等译:《变频调速器使用手册》,兵器工业出版社,1993.4
- 〔4〕 苏彦民编:《电力拖动系统的微型计算机控制》,西安交通大学出版社,1988.6
- 〔5〕 刘竞成主编:《交流调速系统》,上海交通大学出版社,1984
- 〔6〕 蒋嗣荣等编著:《计算机控制技术》,西安电子工业大学出版社,1991
- 〔7〕 AEG公司:潘三矿矸石井绞车电控资料,1992
- 〔8〕 西门子公司:潘三矿主井绞车电控资料,1991
- 〔9〕 潘新民等编著:《单片微型计算机实用系统设计》,人民邮电出版社,1993
- 〔10〕 冯平:“单片机控制的全数字化新型调速系统”,《电气传动》,1991.2
- 〔11〕 赖昌干主编:《煤矿电工学》,煤炭工业出版社,1992
- 〔12〕 于慕松主编:《综采电气设备》,煤炭工业出版社,1988.11
- 〔13〕 顾永辉主编:《煤矿电工手册》,煤炭工业出版社,1987
- 〔14〕 谢桂林主编:《矿山电力拖动与控制》,中国矿业大学出版社,1986
- 〔15〕 夏荣海主编:《矿井提升机械设备》,中国矿业大学出版社,1987
- 〔16〕 王良军主编:《煤矿固定设备控制》,上册,山东矿业学院出版社,1980
- 〔17〕 姜化善主编:《工厂实用自动控制》,农业机械出版社,1982
- 〔18〕 张明达主编:《电力拖动自动控制系统》,冶金工业出版社,1983
- 〔19〕 Rolf Schönpf:《Digital Regelung Elektrischer Antriebe》,Hüthig Buchverlag, 1992
- 〔20〕 刘宗富主编:《电机学》,冶金工业出版社,1985
- 〔21〕 周伯余主编:《引进提升机》,煤炭工业出版社,1994
- 〔22〕 李昌熙等编:《采煤机》,中国矿业大学出版社,1990.2
- 〔23〕 中国矿业大学机电系编:《采煤工作面电气设备》,煤炭工业出版社,1979.5
- 〔24〕 齐伯文:“微机逻辑无环流可逆调速系统的硬件设计”,《电力电子技术》,1994.2, P21~25
- 〔25〕 贺天枢编:《国家标准电气制图应用指南》,中国标准出版社,1989
- 〔26〕 朱承高编:《电工及电子技术手册》,高等教育出版社,1990

目 录

第一篇 直流调速系统

第一章 直流可逆调速系统的原理	1
第一节 闭环控制的直流调速系统	1
第二节 V-M可逆调速方案及回馈制动	5
第三节 两组晶闸管可逆线路中的环流	8
第四节 有环流可逆调速系统	12
第五节 无环流可逆调速系统	18
第二章 矿井提升机V-M可逆调速系统	32
第一节 概述	32
第二节 矿井提升机磁场换向的V-M可逆调速系统	36
第三节 故障监视及安全回路	61
第四节 系统主电路参数选择及动态设计	73
第五节 矿井提升机V-M系统的若干改进方案	86
第三章 直流调速系统的微型计算机控制	100
第一节 由模拟控制向数字控制的发展概况	100
第二节 数字触发器	101
第三节 高分辨率数字触发器举例	109
第四节 直流拖动系统常用控制算法	112
第五节 常用数字式检测装置和数字执行器	126
第六节 过程通道	137
第七节 微机控制直流可逆调速系统举例	140
第八节 ABB全数字式提升机系统简介	141

第二篇 交流调速系统

第四章 交流异步电动机调速系统	144
第一节 交流电动机调速方式分类及特点	144
第二节 异步电动机的调压调速系统	145
第三节 绕线式电动机串级调速系统	150
第四节 异步电动机变频调速	168
第五节 交流异步电动机矢量控制调速系统	203
第六节 各种控制方式的特性比较	213
第五章 同步电动机的变频调速系统	214
第一节 概述	214
第二节 交-交变频器的的工作原理	214
第三节 他控变频同步电动机的调速系统及矢量控制	217

第四节	自控变频同步电动机调速系统	222
第五节	永磁同步电动机的矢量控制	230
第六章	同步电动机的励磁控制系统	233
第一节	同步电动机的起动控制	233
第二节	同步电动机的励磁电流调节	236
第三节	煤矿通风机或压气机的控制	238
第七章	交流调速系统的微机控制	243
第一节	PWM型变频调速系统的微机控制	243
第二节	专用芯片控制PWM变频器	247
第三节	交流电动机矢量控制系统的微机控制	249

第三篇 继电-接触器控制系统

第八章	继电器、接触器及其控制电路	253
第一节	继电器、接触器、主令电器	253
第二节	继电-接触器控制电路图	259
第三节	电动机的基本控制电路和控制原则	266
第四节	有触点控制电路的设计	274
第九章	提升机控制系统	278
第一节	概述	278
第二节	提升电动机及其拖动方式	282
第三节	提升电动机起动电阻的计算	287
第四节	提升机的加速、减速控制	301
第五节	TKD控制系统	314
第十章	综采工作面机械的控制、信号与通讯	334
第一节	综采工作面电气系统概述	334
第二节	MLS ₃ -170S型双滚筒采煤机的电气控制系统	336
第三节	电牵引采煤机控制	342
第四节	综合机械化采煤工作面的信号通讯及控制系统	344
参考文献		355

第一篇 直流调速系统

矿山自动控制系统主要是结合矿山设备讲授电力拖动自动控制系统的组成原理。按对转速的调整要求可将电力拖动自动控制系统分成变速系统和不变速系统；按转速的平滑性可将变速系统分成无触点调速系统(连续控制系统)和有触点调速系统(通常称为断续控制系统或继电器—接触器系统)；按拖动电动机的类型可分为直流调速系统和交流调速系统。本书将矿山电力拖动自动控制系统分成三篇，即直流调速系统、交流调速系统和断续控制系统。

直流电动机具有良好的起、制动性能，容易实现在大范围内平滑调速，且控制电路简单(和交流变频调速系统相比)。所以在矿井提升机、皮带运输机以及在其它行业中的轧钢机、造纸机、高层电梯、金属切削机床和挖掘机等需要高性能的可控电力拖动领域中得到了广泛的应用。另外，直流调速系统在理论上和实践上都比较成熟，控制电路简单。从反馈控制的角度来看，它又是交流拖动控制系统的基础。所以首先应该很好地掌握直流调速系统。

第一章 直流可逆调速系统的原理

第一节 闭环控制的直流调速系统

直流电动机的转速和其它参量的关系为

$$n = \frac{U - IR}{K_e \Phi} \quad (1-1)$$

式中 n ——转速，r/min；

U ——电枢电压，V；

I ——电枢电流，A；

R ——电枢回路总电阻， Ω ；

Φ ——励磁磁通，Wb；

K_e ——电动机结构决定的电动势常数。

由式(1-1)可以看出，有三种方法调节电动机的转速。即：(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 。

对于要求在一定范围内无级平滑调速的系统，以调节电枢供电电压的方式为最好。改变电枢回路电阻只能有级调速，且能耗太大，现在不再采用；减弱磁通虽然能够平滑调速，但调速范围小，特性软，往往只是配合调压方案，在基速(即电动机的额定转速)以上作小范围的升速。因此，直流调速系统以变压调速为主。

一、直流调速系统的可控直流电源

1. 旋转变流机组

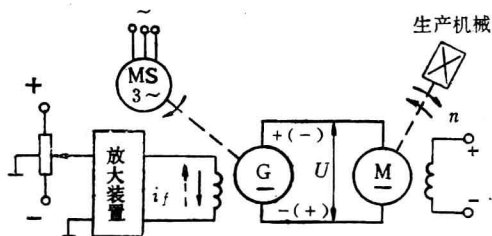


图 1-1 旋转变流机组供电的直流调速系统 (G-M系统)

图 1-1 给出了旋转变流机组和由它供电的直流调速系统结构图。由交流电动机（异步电动机或同步电动机）拖动直流发电机 G 实现变流。调节发电机的励磁电流 i_f 即可改变其输出电压 U ，从而调节电动机的转速 n 。这样的调速系统简称 G-M 系统，国内常称为 F-D 系统。

直流发电机的励磁电流 i_f 由功率放大器提供，通常由电机扩大机实现。改变 i_f 的大小可以改变直流电动机的转速大小和电动机的

运行状态，改变 i_f 的极性可以改变电动机 M 的转向。机组供电的直流调速系统目前在我国的矿井提升机中仍有不少地方应用。

2. 静止可控整流器

图 1-2 给出了由晶闸管可控整流器供电的直流调速系统（简称 V-M 系统）。图中 V 是晶闸管可控整流器，它可以是单相或三相、半波或全波、半控或全控等类型。通过触发装置 GT 的控制电压来移动触发脉冲的相位，即通过改变控制角 α 来改变整流电压 U_d ，从而实现平滑调速。

和旋转机组相比，晶闸管可控整流装置不仅经济性和可靠性有很大提高，而且在技术性能上也显示出较大的优越性。但有以下缺点：

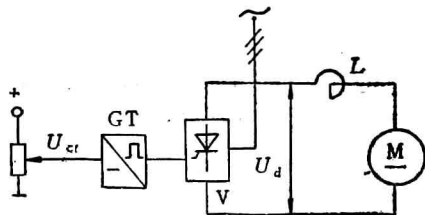


图 1-2 晶闸管可控整流器供电的直流调速系统 (V-M系统)

(1) 晶闸管具有单向导电性,不允许电

流反向,因此给系统的可逆运行带来困难。为实现四象限运行,变流设备要增加一倍,且控制电路复杂。

(2) 晶闸管的过载能力差,元件对过电压、过电流以及过高的 du/dt 和 di/dt 都十分敏感。其中任一指标超过允许值都可能在很短时间内损坏元件。因此必须有可靠的保护装置和符合条件的散热器,而且在选择元件时还应留有足够的余量。

(3) 可控整流装置的功率因数很低,并产生较大的谐波电流,引起电网电压波形畸变,殃及附近的用电设备。如果采用可控整流装置调速的设备在电网中所占的容量比重较大,就会造成所谓的“电力公害”。在这种情况下,必须增设无功补偿和谐波滤波装置。

3. 直流斩波器或脉宽调制变换器

在矿山电机车、城市电车和地铁电机车等电力牵引设备上,常采用直流串励电动机,由恒压直流电源供电。过去多用切换电阻来控制电机车的起、制动和调速,电能电阻中损耗很大。采用晶闸管的直流斩波器可以实现直流调压功能,直流斩波器的基本原理如图 1-3 所示。当 VT 被触发导通时,电源电压 U 加到电动机上;当 VT 关断时,直流电源与电

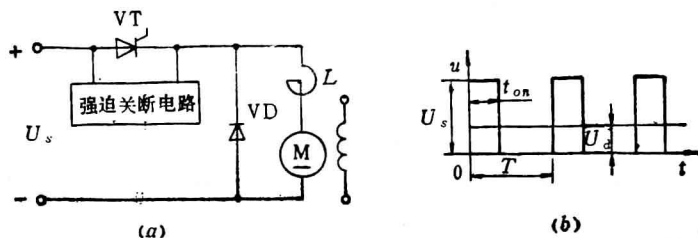


图 1-3 斩波器—电动机系统的原理图和电压波形

a—原理图, b—电压波形

动机断开, 电动机经二极管 VD 续流, 两端电压接近于零。如此反复, 其输出电压波形如图 1-3b 所示。好像是电源电压 U_s 在一段时间 $(T - t_{on})$ 内被斩断后形成的。这样, 电动机得到的平均电压为

$$U_d = \frac{t_{on}}{T} U_s = \rho U_s \quad (1-2)$$

式中 T ——晶闸管的开关周期;

t_{on} ——VT 开通的时间;

ρ ——占空比, $\rho = t_{on}/T = t_{on}f$;

f ——开关频率。

晶闸管一旦导通, 就不能再用门极触发信号使它关断, 若要关断, 必须在阳、阴极间施加反向电压, 这就需要一种附加的强迫关断电路。受晶闸管关断时间的限制, 由普通晶闸管构成的斩波器的开关频率只能是 $100 \sim 200\text{Hz}$ 。

直流斩波器的平均输出电压 U_d 可以通过改变主晶闸管的导通和关断时间来调节。常用的控制方式有: (1) 脉冲宽度调制, 简称 PWM; (2) 脉冲频率调制, 简称 PFM; (3) 两点式控制。

由普通晶闸管构成的斩波器频率不高, 因而输出电流脉动较大, 调速范围有限。此外, 附加的强迫关断电路也增加了装置的体积和复杂性。而采用“全控式”电力电子器件, 如门极可关断晶闸管 GTO、电力晶体管 GTR、电力场效应管 P-MOSFET 等, 可简化控制电路, 提高斩波器工作频率。采用全控器件实现开关控制时, 多用脉宽调制的控制方式, 形成近年来应用日益广泛的 PWM 装置—电动机系统, 简称 PWM 调速系统或脉宽调速系统。

二、闭环调速系统

图 1-2 所示的 V-M 系统为开环调速系统。开环调速系统的转速方程式为

$$n = \frac{K_s U_{ct} - I_d R}{C_e} = n_0 - \Delta n \quad (1-3)$$

式中

U_{ct} ——可控整流器的控制电压, V;

$K_s = \Delta U_d / \Delta U_{ct}$ ——可控整流装置的放大系数;

$C_e = K_s \Phi_n$ ——电动机在额定磁通下的电动势转速比;

$n_0 = U_{d0}/C_e = U_{ct} \cdot K_s / C_e$ ——理想空载转速, r/min;

$\Delta n = I_d R / C_e$ ——转速降落, r/min。

在额定负载下转速降落 Δn_n 为

$$\Delta n_n = \frac{I_{dn} R}{C_e} \quad (1-4)$$

由于电枢回路的总电阻 R (包括电枢绕组电阻和整流器内阻)较大, Δn_n 较大, 因此开环调速系统的调速精度较差。为提高直流调速系统的调速精度, 常采用闭环调速系统。

有静差单闭环调速系统的结构如图1-4所示。触发电路GT的控制电压 U_{ct} 为放大器 A_1 的输出电压。 A_1 的放大倍数 K_1 为

$$K_1 = R_1 / R_0 \quad (1-5)$$

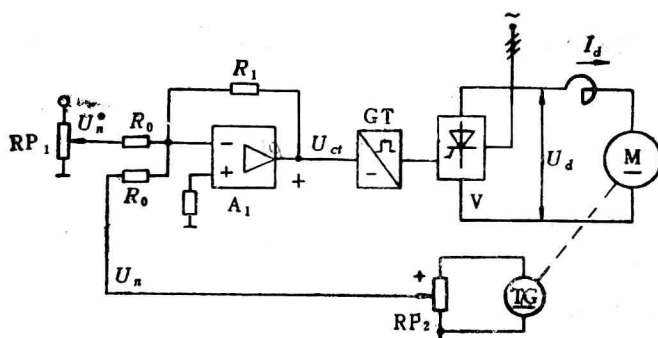


图 1-4 有静差单闭环调速系统

转速反馈信号 $U_n = \alpha n$, α 为速度反馈系数。

经分析, 本闭环系统的转速降落 Δn_{cl} 为

$$\Delta n_{cl} = \frac{\Delta n_n}{1 + K} \quad (1-6)$$

式中 $K = K_1 K_s C_e \alpha$ ——称为闭环系统的开环放大系数。

显然, 只要增加 K_1 就可以减小闭环系统的转速降落。但是, 若为了提高调速精度而增加闭环系统的开环放大倍数 K , 会使系统的稳定性变差。为了提高系统的调速精度又提高系统的稳定性, 通常在图1-4中的放大器 A_1 采用比例积分调节器。这样的调速系统就是无静差调速系统。

图1-4所示的单闭环调速系统是不能直接起动的, 因为直接起动时会出现过电流。为了实现直接起动, 可在单闭环的基础上加电流截止负反馈或采用电流、速度双闭环调节。双闭环调节系统的结构如图1-5a所示。双闭环系统的静特性(速度调节器ASR为PI调节器)如图1-5b所示。其截流特性是一条垂直于横轴的直线, 是非常理想的过流保护曲线。同时也可以实现恒流起动控制, 以实现在电流约束条件下(允许的起动电流)的时间最短的控制性能。

双闭环系统的速度调节器和电流调节器的设计通常采用工程设计法, 请参考有关教材。

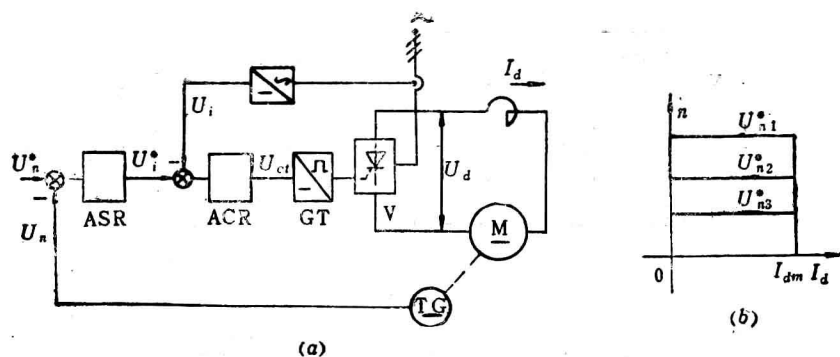


图 1-5 双闭环调速系统
a—系统结构图, b—系统静特性

第二节 V-M可逆调速方案及回馈制动

在可逆调速系统中,对电动机的最基本的要求是改变其旋转方向。而要改变电动机的旋转方向,就必须改变电动机电磁转矩的方向。由直流电动机的转矩公式 $T_e = K_m \Phi I_d$ 可知,改变转矩 T_e 的极性有两种方法。一是改变电枢电流的方向,二是改变电动机励磁磁通的方向,即改变励磁电流的方向。与此对应, V-M 系统的可逆调速方案就有两种方案,即电枢换向的可逆线路和磁场换向的可逆线路。

一、电枢换向的可逆调速方案

电枢换向的可逆调速的形式是多种多样的,不同的生产机械可根据各自的要求去选择。对于经常处于单方向运行偶而才需要反转的生产机械(例如地铁列车的倒车),可以用通常的 V-M 系统,这种线路仅用一组晶闸管整流装置给电动机电枢供电,再用接触器切换加在电动机上整流电压的极性,如图 1-6 所示。在图中,变流装置 V 的输出电压 U_d 极性不变,总是上“+”下“-”,当正向接触器 KMF 吸合时,电动机端电压为 A(+)、B(-),电动机正转;如果反向接触器 KMR 吸合,电动机端电压变成 A(-)、B(+),则电动机反转。

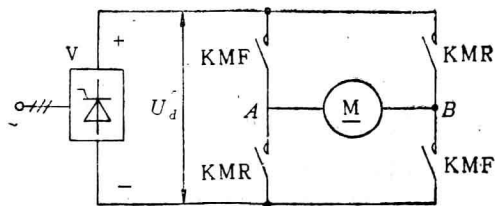


图 1-6 用接触器切换的可逆线路

在要求频繁正反转且要求电动机满足四象限运转时,常采用两组晶闸管反并联的可逆线路,如图 1-7 所示。

下面分析该系统是如何运行在四个象限的。

1) 正向电动状态

当正组晶闸管装置 VF 工作在整流状态时,电动机工作在正向电动状态,电动机运行在第一象限。V-M 系统的机械特性如图 1-8 所示。改变 VF 的输出电压 U_{df} 的大小,可改变电动机的转速。此时 U_{df} 大于电动机的反电势 E , VF 将交流电变换成直流电供给电动

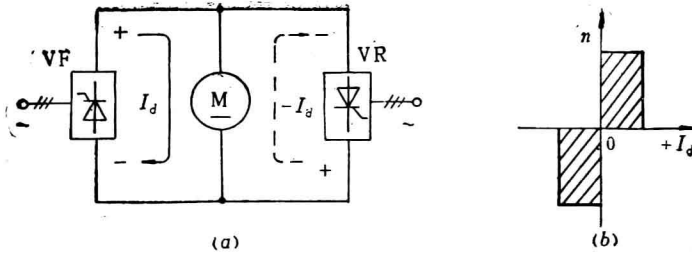


图 1-7 两组晶闸管装置反并联可逆线路

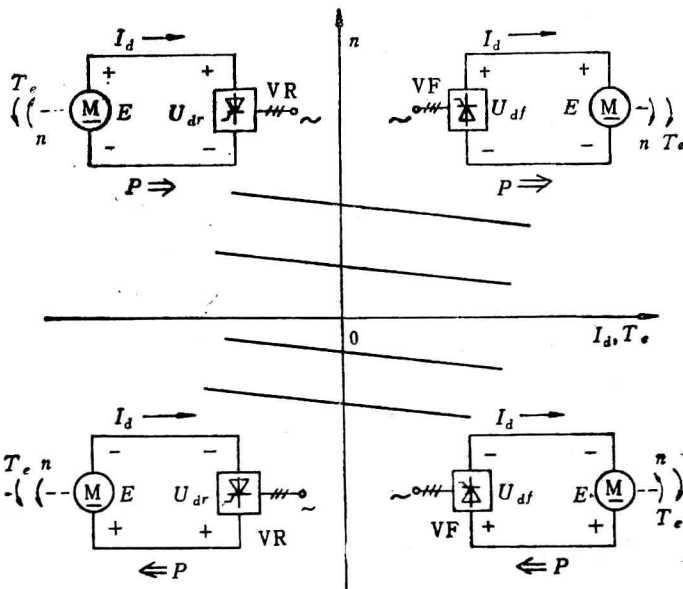


图 1-8 电枢换向的V-M可逆调速系统的四象限运行分析

机。电动机将电能变成机械能，功率流转方向如图1-8所示。

2) 正向回馈制动状态

当生产机械靠惯性继续正向运转而希望电动机制动减速时，或当电动机带位势性负载而正向运转时，都希望直流电动机工作在正向回馈制动状态。此时，因电动机的转速方向仍为正向，且励磁电流方向不变，电动机的反电势 E 的极性不变，同正向电动状态。要使电动机的转矩极性反向，只有使电枢电流反向。为此，应使VR工作在逆变状态，其逆变电压 U_{dr} 应小于电动机的反电势 E 。此时电动机工作在回馈制动状态，它向VR提供直流电源，VR工作在逆变状态，它将直流电逆变成交流电回馈交流电网。功率的流转方向如图1-8所示。

对于反向电动、反向回馈制动状态的分析方法同上所述，不再叙述。把电枢换向的V-M可逆调速系统四象限运行时晶闸管装置和电动机的工作状态归纳起来，可列成表1-1。

表 1-1 可逆V-M系统的四象限运行状态

V-M系统的工作状态	正向电动	正向制动	反向电动	反向制动
电枢端电压极性	+	+	-	-
电枢电流极性	+	-	-	+
电动机旋转方向	+	+	-	-
电动机运行状态	电动	回馈、发电	电动	回馈、发电
晶闸管工作组别、状态	VF、整流	VR、逆变	VR、整流	VF、逆变
机械特性所在象限	一	二	三	四

注：表中各量的极性均以正向电动运行时为“+”。

二、磁场换向的可调速方案

要使直流电动机反转，除了改变电枢电压极性之外，改变励磁磁通的方向也能得到同样的效果，因此又有励磁反接的可调速方案，如图1-9所示。在图中，电动机电枢只要用一组晶闸管装置V供电，而励磁绕组则由另外的晶闸管装置VF和VR供电。

由于励磁功率只占电动机额定功率的1%~5%，显然励磁变流器的容量很小。而电枢变流器V仅需一组，所以对于大容量的拖动系统，磁场换向的V-M可调速方案具有初投资小的优点。但是，由于励磁绕组的电感较大，励磁电流反向的过程要比电枢电流反向慢得多，大容量的电动机，其励磁时间常数可达几秒的数量级，如果励磁电流自然地衰减或增大，

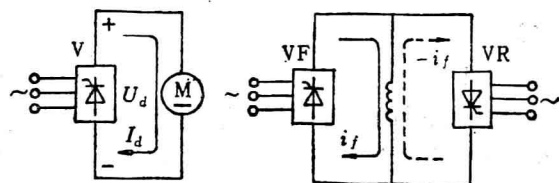


图 1-9 磁场换向的V-M可调速方案

那么励磁电流反向就可能需要10s以上的时间。为了尽可能快地反向、常采用“强迫励磁”的方法，即在励磁电流反向过程中加3~5倍的强励电压，迫使励磁电流迅速改变，当达到所需数值时立即将励磁电压降到正常值。通常可将励磁反向过程缩短到0.5s以内。尽管如此，电动机的力矩反向过程仍较慢。对于要求快速起制动的场合，如可逆轧机和龙门刨床等可逆拖动系统，不采用磁场换向的V-M可调速方案。这种方案只适用于对快速性要求不高，正、反转不太频繁的大容量可逆系统，例如矿井提升机（亦称卷扬机）、电力机车等。

下面分析该系统是如何运行在四象限的。

1) 正向电动状态

磁场正组晶闸管装置VF工作在整流状态，电动机建立正向励磁电流，若电枢晶闸管装置V工作整流状态时，电动机运行在第一象限。V-M系统的机械特性如图1-10所示。通常励磁电流 i_f 不变，改变V的输出电压 U_d 的大小，可改变电动机的转速。此时， U_d 大于电动机的反电势 E ，V工作在整流状态，它将交流电变成直流电供给电动机。电动机将电能变成机械能，功率流转方向如图1-10所示。

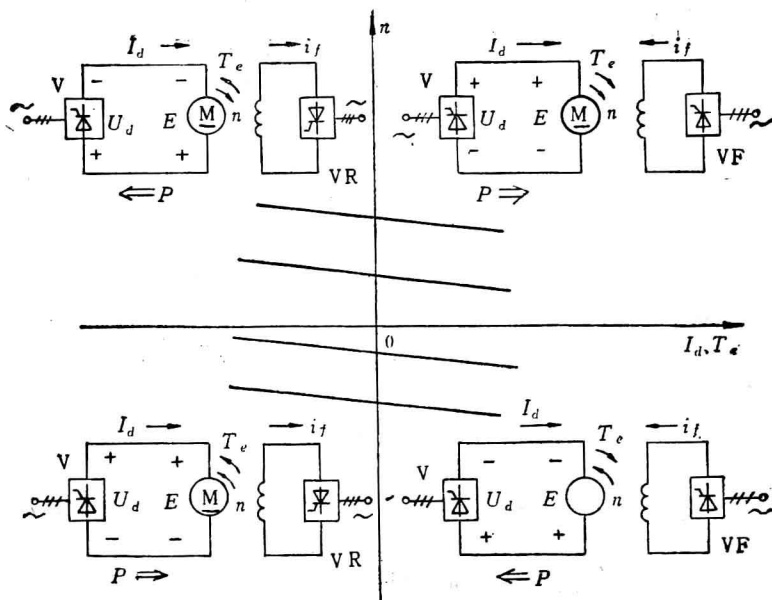


图 1-10 磁场反向的V-M可逆调速系统四象限运行分析

2) 正向回馈制动状态

电动机的转速方向仍为正向，VR 工作在整流状态，建立反向励磁电流，反电势 E 与正向电动状态时的极性相反。让 V 工作在逆变状态，逆变电压 U_d 小于反电势 E ，则电枢电流极性不变。因磁场方向反向，所以电动机的力矩反向，电动机工作在正向发电制动状态。电动机向电枢整流器 V 提供能量，V 工作在逆变状态，它将直流电逆变成交流电回馈交流电网。

反向电动状态及制动状态的分析结果如图1-10。把磁场换向的可逆 V-M 系统四象限运行时晶闸管装置和电动机的工作状态归纳起来，可列成表1-2。

表 1-2 磁场反向的可逆V-M系统的四象限运行状态

系统的工作状态	正向电动	正向制动	反向电动	反向制动
电枢端电压极性	+	-	-	+
电动机旋转方向	+	+	-	-
电动机运行状态	电动	回馈、发电	电动	回馈、发电
晶闸管工作组成和状态	VF整流、V整流	VR整流、V逆变	VR整流V整流	VF整流V逆变
机械特性所在象限	一	二	三	四

第三节 两组晶闸管可逆线路中的环流

在由两组晶闸管组成的可逆线路中，有两种接线方式，即反并联接和交叉联接，如图1-11所示。这两种接线方式解决了电动机频繁正反转运行和回馈制动中电能的回馈通道，

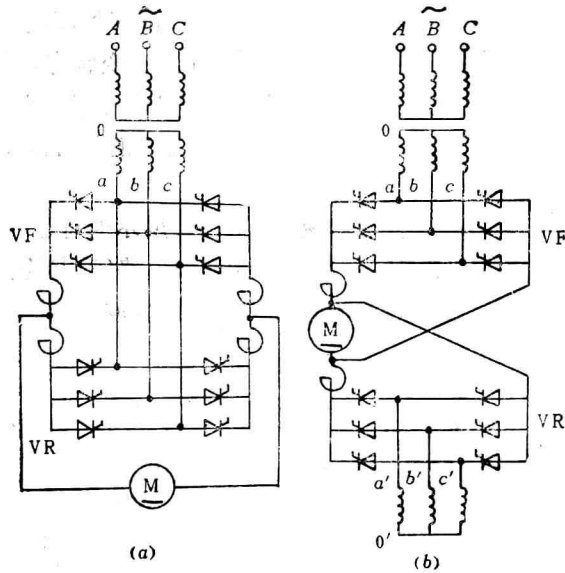


图 1-11 三相桥式可逆线路

a—反并联线路；b—交叉连接线路

但接踵而来的是影响系统安全工作并决定系统性质的一个重要问题——环流问题。所谓环流，是指不流过电动机或其它负载，而直接在两组晶闸管之间流通的短路电流 I_c ，如图 1-12 所示。在图 1-12 中， I_d 为负载电流， R_{rec} 为整流装置内阻。环流的存在会显著地加重晶闸管和变压器的负担，消耗无用的功率。环流太大时甚至会导致晶闸管损坏，因此必须予以抑制。但环流也并非一无是处，只要控制得好，保证晶闸管安全工作，可以利用环流作为流过晶闸管的基本负载电流，即使在电动机空载或轻载时也可使晶闸管装置工作在电流连续区，避免了电流断续引起的非线性现象对系统静、动态特性的影响。而且在可逆系统中存在少量环流，可以保证电流的无间断反向，加快反向时的过渡过程。在实际系统中要充分利用环流有利方面而避免它的不利方面，为此，有必要对环流作一些基本的分析。

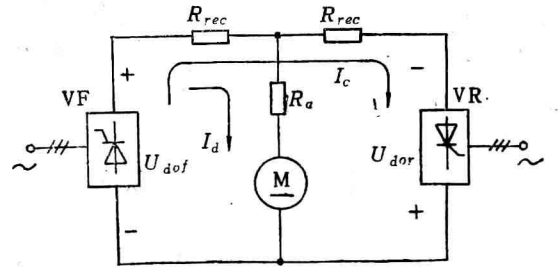


图 1-12 反并联可逆线路中的环流

环流可以分为两大类：

静态环流——当可逆线路在一定的控制角下稳定工作时，所出现的环流叫做静态环流。

静态环流又可分为：直流平均环流和瞬时脉动环流。

动态环流——稳态时并不存在，只在系统处于过渡过程中出现的环流，叫做动态环流。

一、直流平均环流与配合控制