



变频调速装置 及其调试、运行与维修

许振茂 编著



兵器工业出版社

变频调速装置 及其调试、运行与维修

许振茂 编著

兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

本书介绍了交流调速的发展动态、GTR和GTO逆变器的换流和控制原理、保护方式、实际使用中的问题及处理方法;着重介绍了包括变频调速装置在内的电力电子装置的故障检测技巧、抗干扰措施、调试、日常维护要点、交流电动机在变频调速运行中的问题与解决方法。

本书可供从事变频调速工作的同志、大专院校师生、工矿企业电气工作者参考。

变频调速装置及其调试、运行与维修

潘宏祥 编著

责任编辑 潘宏祥

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

河北省高碑店市劳动服务公司印刷厂印装

开本:850×1168 1/32 印张:6.375 字数 184千字

1991年3月第一版 1994年2月第二次印刷

印数:3001—6000 定价:6.00元

ISBN7-80038-315-6/TP·19

前 言

众所周知,交流调速传动由于其一系列优点,已成为现代电气传动的发展方向,近十余年来,在一些技术先进国家迅速普及推广。交流传动的主流是变频传动,变频调速装置在我国的应用也越来越多,但关于其调试维修方面的书籍却很少见,这本小册子就是想作一个尝试。

目前,大量推广使用的变频调速装置主要有三种,即晶闸管电流型逆变器、GTR电压型逆变器和GTO电压型逆变器。采用晶闸管的电压型逆变器在先进国家可以说已经停止生产。本书第一章简要介绍交调的发展和目前的动态,第二及第三章就上述三种逆变器说明其换流和控制原理、保护方式、在实际使用中出现的問題及其理论分析和解决方法。第四章讨论包括变频调速在内的一般电力电子装置的故障检查技巧,还特别讨论了抗干扰措施,因为它直接关系到装置运行的可靠性。第五章叙述三种逆变器的调试和日常维护要点。第六章为交流电动机的维修与实验,着重说明交流电动机在变频调速运行中所产生的一些特殊问题及其解决方法。最后在附录中,以一个具体的变频调速装置为例,列举其使用和维修方法。

本书可供从事变频调速工作的同志参考,也可供高等院校、大专及中专电气自动化专业的学生阅读,在提高动手能力方面将会有所帮助。

限于编者水平,加之时间仓促,错误和不妥之处在所难免,热切希望广大读者提出意见,以便再版时修订。

编 者

1990年9月25日于成都科技大学

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
1.1 交流调速技术发展概况.....	(1)
1.2 交流调速方案.....	(3)
1.3 新型半导体开关器件与交流调速.....	(5)
1.3.1 双向晶闸管.....	(5)
1.3.2 光控晶闸管.....	(8)
1.3.3 快速晶闸管.....	(7)
1.3.4 电力晶体管.....	(10)
1.3.5 电力场效应晶体管及静电感应晶体管.....	(10)
1.4 电力半导体开关器件的发展.....	(11)
1.5 变频调速装置的发展动向.....	(12)
第二章 电压型逆变器变频调速	(14)
2.1 电压型逆变器的种类及特性.....	(14)
2.1.1 电压型逆变器的基本电路.....	(14)
2.1.2 电压型逆变器的种类.....	(15)
2.1.3 晶闸管逆变器.....	(16)
2.1.4 电力晶体管逆变器.....	(19)
2.1.5 GTO 逆变器.....	(19)
2.2 PAM控制及PWM控制.....	(20)
2.2.1 电压型逆变器的电压控制.....	(20)
2.2.2 PAM 控制.....	(21)
2.2.3 PWM 控制.....	(23)
2.2.4 改善波形的办法.....	(25)
2.3 电压型逆变器的保护.....	(27)
2.3.1 电压型逆变器用电力半导体器件的特性及其保护.....	(27)
2.3.2 晶闸管逆变器的保护.....	(29)

2.3.3	电力晶体管逆变器的保护	(31)
2.3.4	GTO逆变器的保护	(34)
2.4	电压型逆变器在V/F控制中的应用	(36)
2.4.1	V/F控制电压型逆变器电路及其特性	(36)
2.4.2	异步电动机运转不稳定现象	(38)
2.4.3	再生制动方式	(40)
2.4.4	瞬时停电补偿,工频电源与逆变器的切换	(41)
2.5	异步电动机的逆变器传动及其效率	(44)
2.5.1	逆变器用半导体元件及效率	(44)
2.5.2	PWM逆变器的开关频率与效率	(46)
2.5.3	异步电动机的高效率运转	(47)
2.6	电压型逆变器应用注意事项	(47)
2.6.1	升压变压器的使用	(47)
2.6.2	电压型逆变器负载电动机的投入	(48)
2.6.3	异步电动机功率因数改善用电容器	(48)
2.6.4	PWM逆变器输入电流的不平衡	(49)
2.6.5	无线电噪音	(49)
2.6.6	电动机的温升	(50)
2.6.7	接地继电器的应用	(50)
2.6.8	异步电动机的磁噪音	(50)
2.6.9	逆变器容量与适用电动机容量	(51)
第三章	电流型逆变器变频调速	(53)
3.1	电流型逆变器概述	(53)
3.2	电流型逆变器电路	(54)
3.2.1	串联二极管电流型逆变器	(54)
3.2.2	采用GTR的公共换流逆变器电路	(58)
3.2.3	辅助晶闸管换流式电流型逆变器	(60)
3.3	电流型逆变器的控制系统	(63)
3.3.1	主回路	(63)
3.3.2	控制回路	(65)
3.3.3	保护回路	(67)

3.3.4	V/F控制的特点及特性	(68)
3.4	V/F控制电流型逆变器在取代直流电动机中的应用	(69)
3.4.1	应用特点	(69)
3.4.2	控制特性的改善	(70)
3.5	电流型逆变器在节能中的应用	(72)
3.5.1	节能运转的应用例	(72)
3.5.2	节能运转需要的控制功能	(73)
3.5.3	应用注意事项	(77)
第四章	一般电力电子装置的故障检查	(81)
4.1	故障检查的准备	(81)
4.2	故障检查的程序	(88)
4.3	故障检查用测试仪	(89)
4.4	电力电子装置的维修	(92)
4.5	抗干扰措施	(92)
4.5.1	概述	(92)
4.5.2	装置内部产生的干扰	(93)
4.5.3	抗干扰措施的确认	(98)
第五章	变频调速控制装置的调试与维修	(101)
5.1	变频调速装置调试前的实验	(101)
5.1.1	一般实验	(101)
5.1.2	通电准备	(104)
5.2	GTR电压型逆变器装置的调试	(105)
5.2.1	回路构成例	(105)
5.2.2	控制电源的检查	(105)
5.2.3	保护回路的整定	(106)
5.2.4	加减速回路的整定	(109)
5.2.5	标准频率的整定	(110)
5.2.6	GTR基极驱动回路的检查	(110)
5.2.7	主回路的检查	(111)
5.2.8	V/F比的整定	(112)

5.3	晶闸管电流型逆变器装置的调试	(114)
5.3.1	回路构成例	(114)
5.3.2	控制电源的检查	(115)
5.3.3	保护回路的整定	(115)
5.3.4	控制回路	(116)
5.3.5	主回路运转调整	(118)
5.4	GTO电压型逆变器装置的调试	(121)
5.4.1	回路构成例	(121)
5.4.2	门极回路	(122)
5.4.3	缓冲回路	(124)
5.4.4	保护回路	(124)
5.5	变频调速控制装置的维修	(125)
5.5.1	日常检查	(125)
5.5.2	定期检查	(125)
5.5.3	主回路元件不良基本判断法及其更换	(127)
5.5.4	大容量电解电容器的劣化	(130)
5.5.5	故障检修	(131)
第六章	交流电动机的维修与实验	(132)
6.1	交流电动机的维修	(132)
6.1.1	电动机的起动	(132)
6.1.2	电动机的运转	(133)
6.1.3	电动机的日常检查	(134)
6.1.4	电动机的定期检查	(134)
6.1.5	特殊电动机的维修	(134)
6.2	轴承	(135)
6.2.1	滚动轴承	(135)
6.2.2	滑动轴承	(139)
6.2.3	滚动轴承与滑动轴承的联结	(140)
6.3	振动	(140)
6.3.1	振动原因的调查	(141)
6.3.2	振动原因及对策	(141)

6.3.3 振动的容许值	(141)
6.4 噪音	(144)
6.4.1 电磁噪音	(144)
6.4.2 机械噪音	(145)
6.4.3 通风噪音	(145)
6.5 轴电压	(147)
6.5.1 轴电流的损伤	(148)
6.5.2 轴电压的大小	(148)
6.5.3 轴电压的对策	(148)
6.6 绝缘	(149)
6.6.1 绝缘劣化的原因	(149)
6.6.2 绝缘诊断要点	(149)
6.7 交流电动机的实验	(151)
6.7.1 测量仪表	(151)
6.7.2 实验方法	(154)

附录 BBP-F系列通用变频器的使用操作及其维修...(163)

1. BBP-F系列变频器工作原理	(163)
2. 变频器的使用接线	(163)
3. 变频器的使用操作	(167)
4. 维护、检查	(176)
5. 故障的查找及解决方法	(178)
6. 标准规范	(190)
7. 保护功能	(192)
8. 输入、输出端子说明	(194)

第一章 绪 论

1.1 交流调速技术发展概况

大家知道,交流电动机,特别是异步机由于结构简单牢固、价格便宜、维修方便等优点广泛被采用。但其调速性能差,所以长期以来,在可调速传动中几乎全部采用直流机。但是直流机有换向问题,常常使电机的设计和运行遇到障碍。因此,自30年代开始不少国家提出了交流调速传动的原始线路,陆续出现了无换向器电机的试验装置,用水银整流器的串级调速和采用闸流管的三相逆变器异步机传动。这些装置虽然在理论上进行了研究,但由于种种原因都未能推广。

1957年,晶闸管(可控硅)元件出现了,它给交流调速开辟了广阔前景,使其达到了实用化。1968年,苏联有人把散见在期刊上的各种异步机调速方案,汇集成册,共得方案达数百种之多。进入七十年代后,随着生产、国防和科学技术的发展,直流机在单机容量、电压等级和转速等方面,由于存在换向障碍已无法胜任,此外对于缩小电机体积,减少维修的呼声也日趋高涨,这些在客观上都促使加紧对交流调速的研究,特别是由于电力电子学的发展,使交流调速技术突飞猛进,许多国家都有系列产品,积累了不少运行经验。所谓电力电子学(Power electronics)就是使用电力半导体元件进行电力变换和控制的技术;关于它的说明,最初是1973年在美国电气学会主办的电力电子学大会上下下的定义:“电力电子学是研究电力、电子和控制的边缘领域的技术学科”,即它是这三大技术学科的边缘学科,它的最大应用领域是可调速传动技术(见图1.1)。

电力电子学使本来不适于调速的交流电动机,具有和直流机

一样的优良调速性能，并且开始取代直流系统。

如果我们把直流调速传动同交流调速传动作一比较，显然后者具有以下优点：

(1) 电动机的最高转速和容量增大。直流机单机容量可达十几兆瓦，电压1千多伏，转速1千多转/分；而交流机单机容量为其数倍，电压可达10千伏，转

速数万转/分。据统计，直流机功率 $\times$ 转速的限度为 2×10^6 〔千瓦 $\cdot$ 转/分〕，而现在需要的等级达 150×10^6 〔千瓦 $\cdot$ 转/分〕，这只有采用交流调速才能够达到。

(2) 电动机安装环境条件得到缓和。

(3) 维修省力化。

交流传动目前可以得到同直流传动同样的静态和动态特性，由于交流机GD²小，交流传动可以达到更高的快速性。

进入八十年代后，由于新型电力半导体器件的不断出现，微机的普及，使得交调装置的体积越来越小，可靠性大大提高，而价格却逐年下降。

因此，在一些先进国家里，交调装置已相当普及了。以日本为例，1976年其直流传动占75%，交流传动占25%；1986年则刚好相反，直流传动占25%，交流传动占75%。1985年度，日本普通使用的逆变器生产台数，除100千伏安以下和家电用的以外，约达20万台之多。预计九十年代直流传动将被淘汰。

采用交流调速，有些生产机械（如风机、泵类机械）可以收到节能、改善工作环境的效果，有些生产机械可以获得很大的经济效益，轧钢机的交流化就是一例。例如，某钢厂初轧机，改造前为2800千瓦直流机（电动发电机组供电），改造后采用西德

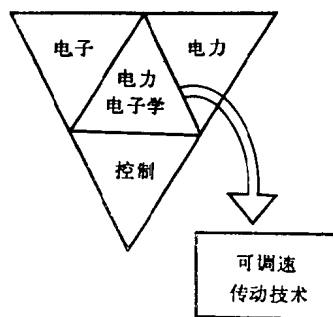


图1.1 电力电子学的产生

3250千瓦同步机变频调速系统，取得的效益如下：

增产14.76%；节能达15%（单是同步机的效率就比直流机高4%左右）；故障少、维修费用低，以1983年为例，老系统处理故障停产时间达525小时，新系统仅用了20小时，维修量小，每年至少可节约维修费6万元。

交流调速已成为电气传动研究的重点，早在1977年，据一次国际会议的统计，论文中有77%为交流传动；1987年在武汉举行的国内学术会中，交流传动已占论文的66%，可见在国内交调也成为研究的中心。

1.2 交流调速方案

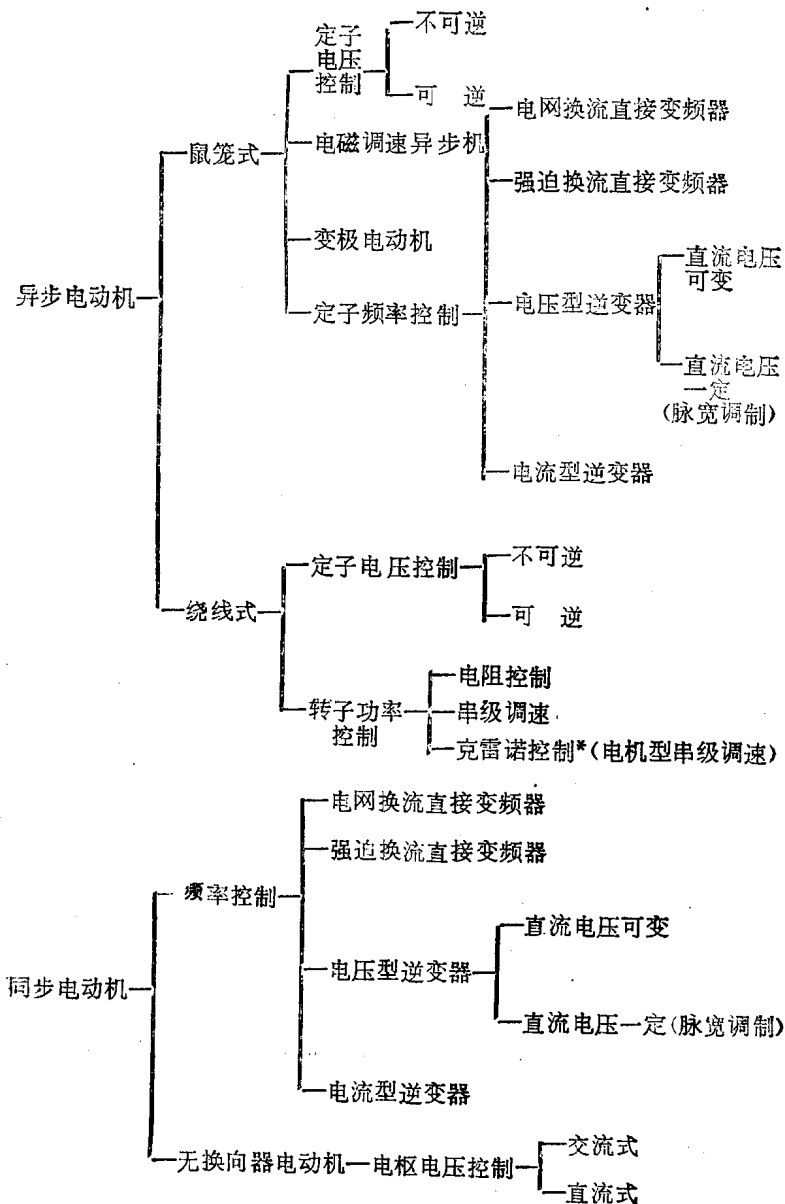
众所周知，交流电动机的转速可用下式表示：

表1 交流调速各种方案

类别	具体调节方案		适用电动机型式
调 频 率	独立控制变频调节(变频调速)		同步机，异步机 (一般为鼠笼机)
	自同步控制变频调节(无换向器电动机)		同 步 机
调 转 差 率	异步机双馈	串级调速	线绕式异步机
	转差调节	交流整流子电动机调速	交流整流子电动机
	能耗转差	电磁转差离合器调速	电磁调速异步电动机 (即滑差电机)
		转子电阻调节	线绕式异步机
	调 节	定子电压调节(调压调速)	异步机(一般为线绕式， 小容量可用鼠笼式)
调极对数	变 极 调 节		变极电动机

表2

按电机型式分类的交流调速方案



$$n = \frac{60f_1}{P}(1-S)$$

式中：n——电动机转速（转/分），

f_1 ——定子供电频率（赫）

P——极对数；

S——转差率（对于同步机 $S=0$ ）

由此可见，交流调速方案可分为三大类，即调频率、调转差率和调极对数，如表1所示。我们也可以按电动机的型式来分类，见表2。在调转差率方案中，交流整流子电动机由于维修麻烦，现在已很少采用，其他除串级调速外都有低速时能量损耗大，效率低的缺点，只适合于低速时运行时间短的场合。因此，就高速性能和大容量方面而言，目前交流调速主要方案有变频传动、无换向器电动机及串级调速。

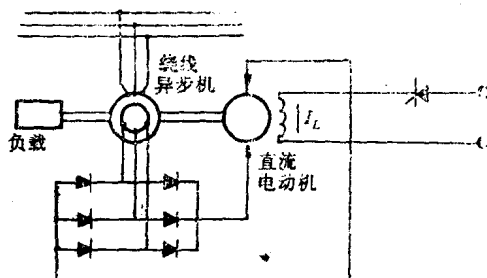


图1.2 克雷默传动方式

* 所谓克雷默控制，就是将转差能量通过直流电动机反馈给主机机械轴的传动方式，其原理接线图如图1.2所示。改变直流电动机的励磁电流即可调速。

1.3 新型半导体开关器件与交流调速

如前所述。交流调速技术的发展多依赖于其开关元件的发

展。1958年美国通用电气公司 (G.E) 首次生产的晶闸管, 反向电压只有400伏平均导通电流为16安, 那时的变流装置容量自然很小; 而现在普遍采用电网换流的大功率变换用晶闸管, 其额定电压达4000伏以上, 额定电流为3000安以上, 容量为数千千瓦安, 这样的元件已在商店出售, 因而变流装置的容量也变得相当大了。最近电力晶体管、可关断晶闸管、光控晶闸管的普及给交流调速技术带来很大发展。下面就一些新型开关元件加以概略介绍。

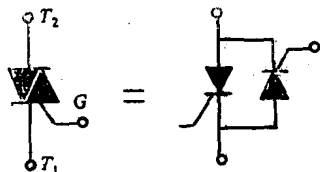
1.3.1 双向晶闸管 (TRIAC)

这是一种具有双向特性的半导体开关元件, 相当于两个晶闸管反并联。所以给控制极加正或负信号都能使其导通, 适合于控制交流, 其符号和等值电路如图1.3所示。这种元件1964年由美国通用电气公司研制, 被命名为双向3端晶闸管元件, 后来简称为TRIAC—3端 (TRI) 交流 (AC) 控制元件的缩写。我国重庆钢铁设计院利用这种晶闸管已成功地试制了一种1/3工频交变变频装置。已有1200伏、300安的元件, 工作频率为0.1kHz。

1.3.2 光控晶闸管

这种晶闸管, 是一种利用光电二极管产生的光电流使晶闸管通、断的感光开关元件, 其等值电路如图1.4所示。光控晶闸管的光电流 I_{ph} 同光输出电流 (阳极电流) I_A 的关系可用下式表示。

$$I_A = \frac{I_{ph}}{1 - a_1 - a_2}$$



符号 等值电路

图1.3 双向晶闸管的符号和等值电路

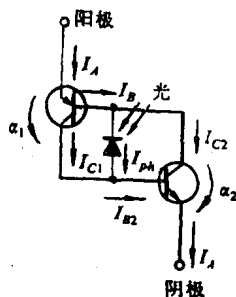


图1.4 光控晶闸管的等值电路

式中, α_1 和 α_2 为电流放大系数, 是 I_A 的函数, 随着 I_{pb} 增加, I_A 变大, α_1 和 α_2 也增加, 当 α_1 同 α_2 的和接近于1时则 $I_A \rightarrow \infty$, 光控晶闸管就被触发导通了, 一旦导通, 只要阳极电流在维持电流以上光信号去掉也一直是导通的, 这和电触发情况相同。

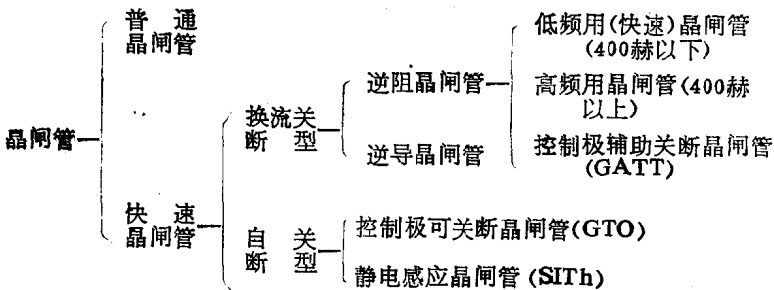
由于光信号不受电磁环境干扰, 信号传递可靠, 绝缘不成问题等特点, 光控晶闸管会进一步发展, 特别适用于象直流输电中若干晶闸管串联应用的场合。已有6000伏、2500安的元件, 工作频率为0.1kHz。

1.3.3 快速晶闸管

晶闸管元件按机能和动作分类如表3所示。普通晶闸管和快速晶闸管并无明确的区别, 通常关断时间在50~100微秒以上, 用于工频(50、60赫)电力控制和整流的称为普通晶闸管; 关断时间在50微秒左右以下, 用于电力逆变换(逆变器)和直流控制(斩波器)的, 则称为快速晶闸管。

快速晶闸管可分为两种: 换流关断型(由外部回路在晶闸管的阳极和阴极间加反压使其关断)和自关断型(给控制极加反压切断主电流)。换流关断型又有逆阻晶闸管(反向能耐压)和逆导晶闸管(反向不能耐压, 特性同二极管正向特性一样)两种。

表3 晶闸管的分类



(1) 低频用(快速)晶闸管

即主要用于400赫以下的晶闸管（逆阻断型），其基本构造和阳极特性等同普通晶闸管相同，但关断时最大电压上升率（ dv/dt 特性）和导通时最大电流上升率（ di/dt ）较大。

（2） 高频用晶闸管

这种晶闸管通常可在400赫以上使用，其结构能保证在高频下工作时开关损耗小，允许的电流大。已有1200伏、1500安的元件，工作频率为2kHz。

（3） 控制极辅助关断晶闸管（GATT）

这种元件耐压高，关断时间又特别短。如图1.5所示，要使它关断，一方面要用外部回路在其阳、阴极间加反压，另一方面对控制极也加反压，这样就使关断时间大幅度缩短。

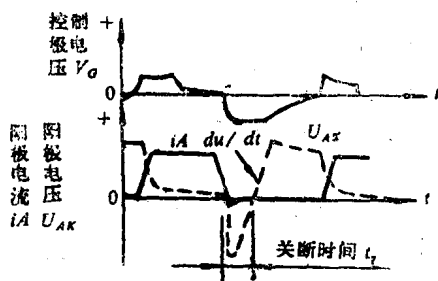


图1.5 控制极辅助关断晶闸管的电压、电流波形

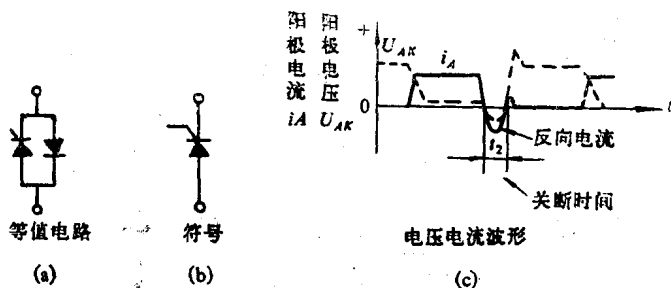


图1.6 逆导晶闸管的等值电路和波形