

► 电工实用技术系列

变频器

工程应用 · 电磁兼容 · 故障诊断

周志敏
周纪海 编著
纪爱华



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

TN773

11

电工实用技术系列

变 频 器

工程应用 · 电磁兼容 · 故障诊断

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书采用理论与应用相结合的方式,深入浅出地阐述了现代变频技术、变频器的外围电路、变频器的通信方式、变频器的电磁兼容性、变频器的选型、变频器的工程应用及变频器的故障诊断与处理等内容。

本书通俗易懂、注重实用,既可供工矿企业和农村从事变频器应用的电工阅读,也可供相关职业技术学院电气专业的学生及电工培训的教师参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

变频器工程应用·电磁兼容·故障诊断/周志敏,周纪海,纪爱华编著. —北京:电子工业出版社,2005.12

(电工实用技术系列)

ISBN 7-121-01865-9

I. 变… II. ①周…②周…③纪… III. ①变频器—电磁兼容性②变频器—故障诊断 IV. TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第122820号

责任编辑:富 军 特约编辑:刘汉斌

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:850×1168 1/32 印张:14.375 字数:400.2千字

印 次:2005年12月第1次印刷

印 数:5000册 定价:21.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

变频器是电气传动控制系统的重要组成部分。其性能的优劣直接关系到整个系统的安全性和可靠性。因此，变频器一经问世便引起了国内外电气传动界的普遍关注，现已成为具有发展前景和影响力的一项高新技术产品。现代变频器以低损耗、高效率及电路简洁等显著优点而受到人们的青睐，并广泛地应用在电气传动控制系统和家用电器中。近年来，随着工业自动化产业的高速发展，变频器的应用日益广泛。为此，只有充分掌握变频器的技术特性，才能拥有将变频器应用到工程实践中的理论基础，确保采用变频器的电气传动控制系统具有高性能比、最简的外围电路及最佳的性能指标。变频器故障的分析与诊断是维护和维修变频器所必需的实际操作技能，也是变频器安全稳定运行的前提。

本书结合国内外变频技术的发展动向，系统地介绍了变频技术和工程应用及变频器的故障诊断技术，尽量做到有针对性和实用性，力求通俗易懂和结合实际，使得从事变频器应用和维护的电工可从中获益。读者可以此为“桥梁”，系统地了解 and 掌握变频器的应用和维修技术。

在本书的编写过程中，编者在资料的收集和技术信息交流方面得到了国内的专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于时间仓促，水平有限，书中难免有错误之处，敬请读者批评指正。

编 著 者

目 录

第 1 章 现代变频技术	1
1.1 变频器基础知识	1
1.1.1 变频器的一般分类、额定数据及特点	1
1.1.2 变频器的结构	5
1.2 变频器控制方式	18
1.2.1 变频器控制方式的分类	18
1.2.2 PWM 控制技术基础	24
1.2.3 PWM 调制方式	32
1.3 变频器驱动电路	35
1.3.1 驱动电路的形式	35
1.3.2 EXB 系列集成驱动器	38
1.4 SCALE 集成驱动器	53
1.4.1 SCALE 驱动器的性能特点、主要工作模式及引脚功能	53
1.4.2 SCALE 驱动器的应用	58
1.5 IR2110 集成驱动器	61
1.6 变频器技术的发展趋势	72
第 2 章 变频器选型及外围电路配置	79
2.1 变频器的选择	79
2.1.1 变频器容量	79
2.1.2 大功率变频器的合理选择	86
2.2 变频调速系统控制方案的选择	93
2.2.1 变频调速系统的控制方案	93
2.2.2 交流电动机变频调速控制方案的选择	98
2.3 变频调速系统的共用直流母线方案	101
2.3.1 共用直流母线的方案	102

2.3.2	共用直流母线方案的应用	104
2.4	变频器输入/输出滤波器特点及应用	106
2.4.1	输入/输出电抗器	108
2.4.2	电抗器的设计和测定	112
2.5	变频器制动的方式	116
2.5.1	再生制动	116
2.5.2	能耗制动的工作方式	119
2.5.3	共用直流母线方式的回馈制动	123
2.5.4	变频器的直流制动	126
2.5.5	变频器电容反馈制动方式	130
2.5.6	再生能量反馈系统工程实例	133
2.6	变频调速系统的通信	139
2.6.1	华为 TD2000 系列变频器的通信协议	139
2.6.2	森兰 SB60/SB61 系列变频器通信协议	142
2.6.3	MIDIMASTERECO 变频器的远程监控	144
2.6.4	PC 对多台 TD3000 变频器的实时监控	150
2.6.5	西门子 MMV 变频器远程控制及通信系统	155
2.6.6	VFD—B 系列变频器的分布串行通信系统	160
第 3 章	变频调速系统的应用	163
3.1	变频器的正确使用	163
3.1.1	变频器的工作环境	163
3.1.2	电气主接线	165
3.1.3	变频器使用时应该注意的问题	169
3.1.4	变频器的安装基本要求	171
3.2	变频器的参数设定	174
3.2.1	变频器频率设定的几种方法	174
3.2.2	变频器升、降速端子的应用	182
3.2.3	变频器压频比的正确设定	191

3.2.4	变频器转矩提升功能应用	197
3.2.5	变频器其他参数的设置	199
3.2.6	变频器用做软启动器时的参数设定	200
3.3	交流变频调速的切换控制技术	202
3.3.1	多台电动机变频控制技术	202
3.3.2	低压供水系统变频与工频的切换技术	215
3.4	变频调速系统的调试	228
3.4.1	系统调试条件	228
3.4.2	富士变频器的特点及使用注意事项	231
3.5	高压变频调速技术在电厂中的应用	242
3.5.1	高压变频调速系统	242
3.5.2	变频调速技术在电厂给水泵上的应用	246
3.6	变频器在起重设备中的应用	250
3.6.1	变频器在起重机上的应用	250
3.6.2	变频器在抓斗式起重设备中的应用	258
3.6.3	变频器在门式起重机中的应用	260
3.6.4	变频器在塔式起重机中的应用	263
3.7	变频器恒压供水系统	266
3.7.1	系统组成及工作原理	266
3.7.2	变频器在几种供水系统中的应用	268
3.7.3	自动恒压供水系统工程实例	275
3.8	变频器在多台风机启动、调速系统中的应用	278
3.9	变频器在离心脱水机中的应用	282
3.10	由 MICO340 变频器构成的电梯控制系统	288
3.11	FRENIC 变频器在高效方坯连铸机中的应用	291
第 4 章	变频器的电磁兼容性	296
4.1	变频器电磁干扰的产生及传播途径	297
4.1.1	变频器谐波的产生和危害	297

4.1.2	变频系统的电磁干扰源及传播途径	305
4.2	变频系统中的抗电磁干扰措施	308
4.2.1	变频系统中的抗干扰措施	308
4.2.2	变频系统中的共模噪声及抑制	322
4.2.3	减少变频器谐波对其他设备影响的方法	332
4.2.4	变频器周边控制回路的抗干扰措施	335
4.2.5	变频调速系统的软件抗干扰	341
第 5 章	变频器故障分析与处理	346
5.1	变频器的常见故障分析	346
5.1.1	引发变频调速系统故障的外部因素	347
5.1.2	变频器本身的故障自诊断	355
5.2	变频器故障诊断及处理	357
5.2.1	运用变频器的静态测试来判断故障点	357
5.2.2	变频器过电流故障原因及处理方法	360
5.2.3	过载故障原因及处理方法	367
5.2.4	变频器过电压故障原因及处理方法	371
5.2.5	电流显示误差的原因及处理	375
5.2.6	变频器参数设置类故障	378
5.2.7	变频调速系统电动机过热的原因分析及对策	382
5.2.8	变频器调速系统故障诊断及处理	383
5.3	典型变频器常见故障分析及处理	388
5.3.1	LG 变频器的常见故障分析及处理	388
5.3.2	西门子变频器的常见故障分析及处理	391
5.3.3	丹佛斯变频器的常见故障分析及处理	397
5.3.4	SAMI GS 变频器的常见故障分析及处理	402
5.3.5	富士变频器的常见故障分析及处理	407
5.3.6	三垦变频器的常见故障分析及处理	413
5.3.7	安川变频器的常见故障分析及处理	416

5.3.8 三菱变频器的常见故障分析及处理	421
5.4 变频调速器的维护保养	424
5.4.1 变频器的维护保养	424
5.4.2 变频器的日常维护保养及其注意事项	428
5.5 变频器的测量与实验	431
5.5.1 变频器的测量	431
5.6.2 变频器的维修测试	435
5.5.3 变频器试验	437
参考文献	443

第 1 章 现代变频技术

1.1 变频器基础知识

变频技术是应交流电动机无级调速的需要而诞生的。自 20 世纪 60 年代始,电力电子器件从 SCR (晶闸管)、GTO (门极可关断晶闸管)、BJT (双极型功率晶体管)、MOSFET (金属氧化物场效应管)、SIT (静电感应晶体管)、SITH (静电感应晶闸管)、MGT (MOS 控制晶体管)、MCT (MOS 控制晶闸管)发展到今天的 IGBT (绝缘栅双极型晶体管)、HVIGBT (耐高压绝缘栅双极型晶闸管),器件发展的同时促使电力变换技术也不断发展。20 世纪 70 年代,脉宽调制变压变频(PWM—VVVF)调速的研究引起了人们的高度重视。20 世纪 80 年代,科研人员对作为变频技术核心的 PWM 模式优化问题做了进一步的研究,并得出诸多优化模式,其中以鞍形波 PWM 模式效果最佳,且美、日、德、英等发达国家的 VVVF 变频器已投入市场并得以广泛应用。

1.1.1 变频器的一般分类、额定数据及特点

1. 按变换的环节分类

(1) 交-交变频器

交-交变频器是将工频交流直接变换成频率电压可调的交流电(转换前后的相数相同),又称直接式变频器。

(2) 交-直-交变频器

交-直-交变频器是先把工频交流通过整流器变换成直流电,然后

再把直流变换成频率电压可调的交流电，又称间接式变频器。交-直-交变频器是目前广泛应用的通用型变频器。

2. 按直流电源的性质分类

(1) 电流型变频器

电流型变频器的特点是中间直流环节采用大电感器作为储能环节来缓冲无功功率，即扼制电流的变化，使电压波形接近正弦波。由于该直流环节内阻较大，故将其称为电流源型变频器（电流型）。电流型变频器的特点是能扼制负载电流频繁且急剧地变化，常应用于负载电流变化较大的场合。

(2) 电压型变频器

电压型变频器的特点是中间直流环节的储能元件采用大电容器作为储能环节来缓冲无功功率，直流环节电压比较平稳，内阻较小，相当于电压源，故称其为电压型变频器，常应用于负载电压变化较大的场合。

3. 根据电压的调制方式分类

(1) 脉宽调制（SPWM）变频器

脉宽调制（SPWM）变频器电压的大小是通过调节脉冲占空比来实现的，中、小容量的通用变频器几乎全都采用此类调制方式。

(2) 脉幅调制（PAM）变频器

脉幅调制（PAM）变频器电压的大小是通过调节直流电压的幅值来实现的。

4. 根据输入电源的相数分类

(1) 三进三出变频器

三进三出变频器的输入侧和输出侧都是三相交流电。绝大多数变频器都属此类。

(2) 单进三出变频器

单进三出变频器的输入侧为单相交流电，输出侧是三相交流电。

家用电器里的变频器均属此类，通常容量较小。

5. 变频器的额定数据

(1) 输入侧的额定数据

① 输入电压 U_{IN} 即电源侧的电压。在我国，低压变频器的输入电压通常为 380V（三相）和 220V（单相）。中、高压变频器的输入电压通常为 0.66kV、3kV、6kV（三相）。此外，变频器还对输入电压的允许波动范围做出规定，如 $\pm 10\%$ 、 $-15\% \sim +10\%$ 等。

② 相数有单相、三相。

③ 频率 f_{IN} 即电源频率（常称工频），我国为 50Hz。频率的允许波动范围通常规定为 $\pm 5\%$ 。

(2) 输出侧的额定数据

① 额定电压 U_N 。因为变频器的输出电压要随频率的变化而变化，所以 U_N 定义为输出的最大电压。通常，它总是与输入电压 U_{IN} 相等。

② 额定电流 I_N 。变频器允许长时间输出的最大电流。

③ 额定容量 S_N 。由额定线电压 U_N 和额定线电流 I_N 的乘积决定，即

$$S_N = U_N \times I_N \quad (1-1)$$

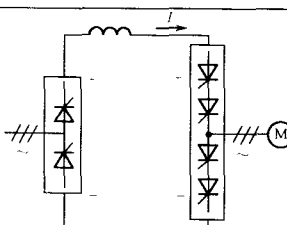
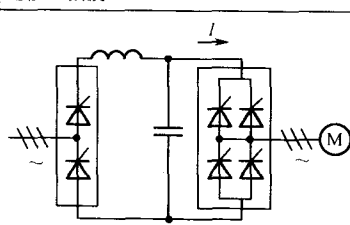
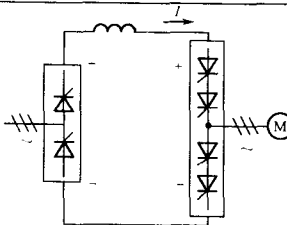
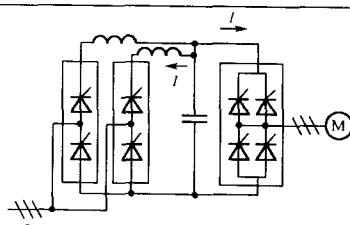
变频器额定容量为在连续不变的负载中，允许配用的最大负载容量。必须注意，在生产机械中，负载的容量主要是根据发热状况来定的。在变动的负载、断续的负载及短时负载中，其温升不超过允许值，在由变频器构成的控制系统中，因电动机是允许短时间（几分钟或几十分钟）过载的，而变频器只允许 150% 负载时运行过载 1min。所以，在选用变频器时，应充分考虑负载的工况。

④ 过载能力指变频器的输出电流允许超过额定值的倍数和时间。大多数变频器的过载能力规定为 150%/1min。可见，变频器的允许过载时间与电动机的允许过载时间相比，变频器的过载能力是很低的。

6. 电压源型变频器和电流源型变频器的特点

电压源型和电流源型变频器都属于交-直-交变频器。其主电路由整流器、平波电路和逆变器三部分组成。由于负载一般都是感性的，它和电源之间必有无功功率传送，因此在中间的直流环节中，需要有缓冲无功功率的元件。如果采用大电容器来缓冲无功功率，则构成电压源型变频器；如采用大电感器来缓冲无功功率，则构成电流源型变频器。电压源型变频器和电流源型变频器的特点见表 1-1。

表 1-1 电压源型变频器和电流源型变频器的特点

项 目	电流源型变频器	电压源型变频器
电流滤波方式	电感滤波	电容滤波
电压波形	近似正弦波（电动机负载）	矩形波（或阶梯形波）
电流波形	矩形波	近似正弦波
电动运行		
再生发电运行		
电源阻抗	大	小
适用范围	适用于单机拖动，频繁加、减速情况下运行，以及需经常反向の場合	适用于向多台电动机供电，不可逆拖动，稳速工作，快速性要求不高的场合

续表

项 目	电流源型变频器	电压源型变频器
其他	(1) 对于电流源型变频器不需要换流电感 (2) 可使用关断时间较长的普通晶闸管 (3) 过电流保护容易 (4) 不需要滤波电容	(1) 对于电压源型变频器需要换流电感 (2) 晶闸管承受电压低, 要求晶闸管关断时间短 (3) 过电流保护困难 (4) 需要滤波电容

1.1.2 变频器的结构

1. 主电路

变频器给负载提供调压调频电源的电力变换部分称为变频器的主电路。图 1-1 示出了典型的电压型变频器的主电路。其主电路由三部分构成, 即将工频电源变换为直流功率的整流器, 吸收整流器、逆变器产生的电压脉动的平波回路, 以及将直流功率变换为交流功率的逆变器。另外, 若负载为异步电动机, 则在变频调速系统需要制动时, 还需要附加制动回路。

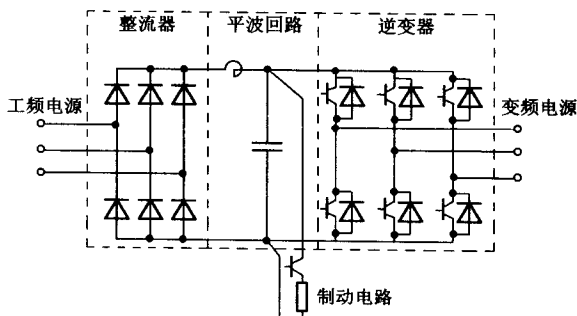


图 1-1 典型的电压型变频器的主电路

(1) 整流器

变频器一般使用的是二极管整流器,如图 1-1 所示。它把工频电源变换为直流电源。也可用两组晶体管整流器构成可逆变整流器,因可逆变整流器的功率方向可逆,故可以进行再生运行。

(2) 平波回路

在整流器整流后的直流电压中含有电源 6 倍频率的脉动电压。此外,逆变器产生的脉动电流也使直流电压变动。为了抑制电压波动,采用电感和电容吸收脉动电压(电流)。变频器容量小时,如果电源和主电路的构成器件有余量,则可以省去电感而采用简单的平波回路。

(3) 逆变器

同整流器相反,逆变器是将直流变换为所要求的可变压变频的交流,控制电路以所确定的时间控制 6 个开关器件导通、关断就可以得到 3 相变压变频交流输出。

(4) 制动回路

异步电动机负载在再生制动区域使用时(转差率为负),再生能量储存在平波回路电容器中,使直流环节电压升高。一般说来,由机械系统(含电动机)惯量积累的能量比电容能储存的能量大,故为抑制直流电路电压上升,需采用制动回路消耗直流电路中的再生能量。制动回路也可采用可逆整流器把再生能量向工频电网反馈。

(5) 异步电动机的四象限运行

根据负载种类,所需要的异步电动机旋转方向和转矩方向是不同的,所以变频器必须根据负载构成适当的主电路。在 I、III 象限,异步电动机的转矩方向与旋转方向一致,为电动状态,即 I 象限是正转的电动运转,III 象限是反转的电动运转;在 II、IV 象限,异步电动机的转矩方向与旋转方向相反,为再生状态,即 II 象限为正转的再生运转,IV 象限为反转的再生运转。

异步电动机电动状态运转时,需由电源向异步电动机供给能量,可使用不可逆整流器。对于异步电动机减速时需要制动力的负载,能量就必须从异步电动机提供给逆变器,为此,只有附加制动回路异步电动机

才能在Ⅱ、Ⅳ象限运行。另外，对于需要急加、减速并且加、减速频繁的场合（如电梯），或者在以制动为主要目的的工程应用中，可以采用可逆整流器，实现Ⅱ～Ⅳ的象限运转。此时，Ⅱ、Ⅳ象限异步电动机的再生能量向工频电网反馈，是一种异步电动机节能运行方式。

2. 单相逆变主电路

（1）半桥逆变电路

由于只需要输出两相电压，故使得单相半桥逆变电路结构简单，仅仅需要4只功率变换器件组成两个桥臂即可。半桥逆变电路具有结构简单、功率开关器件数目最少、成本低廉及稳定性高等优点。

但是，对于单相电动机，采用半桥逆变电路面临这样一个问题，即由于电动机的两相电流 I_1 和 I_2 在相位上相差 90° ，因而流向中性点N的两相电流之和 I 是两相电流的矢量和。

$$I=I_1+I_2 \quad (1-2)$$

对于用两只电容串联构造中点的电源，回馈电流 I 会使得前级变频器输出电压的波动加大，而使电源的输出电容容量增大；同时，由于负载不对称带来的直流偏量还会使得中点电位向正（或负）方向持续漂移，给供电带来极大影响。所以，如何获得高质量的双极性直流电源是采用半桥逆变电路的关键所在。采用Cuk和Sepic电路并联方式来获取双极性直流电源的方式，受到功率开关容量的限制，且功率和输出电压的大小都有待提高，整个电路的实用性还有待验证。

（2）全桥逆变电路

普通全桥逆变电路每相由4只功率开关器件组成，两相绕组共需8只功率开关器件，如图1-2（a）所示。与半桥逆变电路相比，两者的功率开关器件数量比为2:1；全桥逆变电路在结构上变得复杂，在稳定性和经济适用方面都不如半桥逆变电路；全桥逆变电路不再需要对称的正、负输出电源，而只需要单路稳压电源即可，两相绕组的电流也不再对电源形成大的干扰；全桥电路的直流电压利用率也比半桥逆变电路要高。

鉴于开关器件的数目较多,在实际应用中可将如图 1-2 (a) 中所
示的中间两只桥臂合二为一,构成两相绕组的公共桥臂,就得到了如
图 1-2 (b) 所示的两相三桥臂全桥逆变电路。其中,公共桥臂分别同
左、右桥臂组合,构成两相全桥逆变。

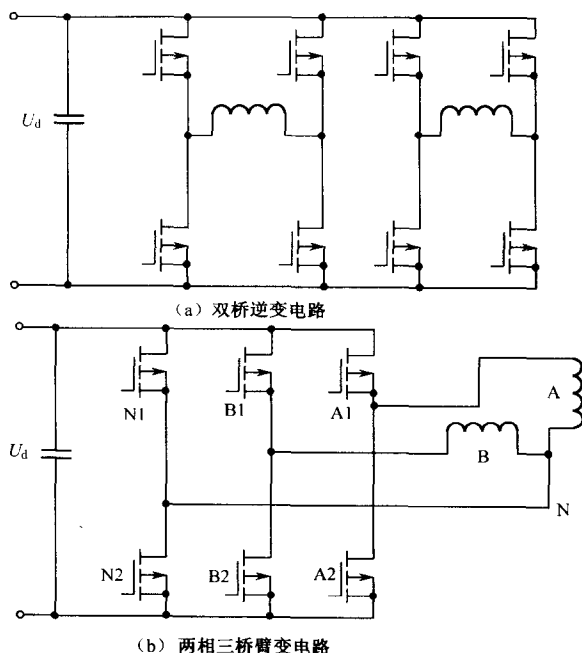


图 1-2 全桥逆变电路

两相三桥臂全桥逆变电路继承了全桥逆变电路的优点,同时有效地
减少了开关器件的数目。在直流电压 U_d 相同的情况下,其输出电压值
可达到全桥电路的 70% 以上。在逆变桥结构上,两相三桥臂电路与三相
半桥逆变电路完全一致,因此容易从已有的六单元功率模块移植过来使
用,其输出也可在三相与两相之间灵活转换。目前,三相逆变电路用的
六单元功率模块的发展已经颇为成熟,尤其是在小功率应用场合。