

跟工程师
学技术

快速掌握

变频器工程应用及故障处理

KUAI SU ZHANG WO BIAN PIN QI GONG CHENG YING YONG JI GU ZHANG CHU LI

周志敏 纪爱华 编著

来源于实践 服务于工程▶▶▶



化学工业出版社



快速掌握 变频器工程应用及故障处理

KUAI SU ZHANG WO BIAN PIN QI GONG CHENG YING YONG JI GU ZHANG CHU LI

周志敏 纪爱华 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

快速掌握变频器工程应用及故障处理/周志敏, 纪爱华编著. —北京:
化学工业出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-122-17489-5

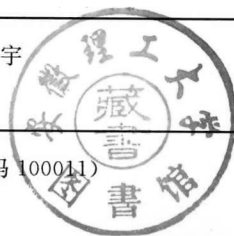
I. ①快… II. ①周…②纪… III. ①变频器-应用②变频器-维修
IV. ①TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 113477 号

责任编辑: 宋 辉

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 宋 夏



出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100041)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 387 千字 2013 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD



变频技术是应交流电机无级调速的需要而诞生的，电力电子器件的发展促使变频技术不断发展。变频技术是采用电力半导体器件，将电压和频率固定不变的交流电变换为电压或频率可变的交流电的一种静止变流技术。在以工频交流电为主的用电场合，变频技术具有广泛的应用前景。

变频器自问世以来引起了国内外电气传动界的普遍关注，因变频器在结构和性能上的不断创新，使其构成的变频调速系统在性能上不断完善，现已成为具有发展前景和影响力的一项高新技术产品。近年来随着工业自动化产业的高速发展，现代变频技术日益广泛地应用于电气传动领域。变频器已是现代电气传动领域的重要组成部分，由变频器构成的交流调速系统性能的优劣直接关系到整个系统的安全性和可靠性。为此，本书根据国内从事变频器工程应用的一线工程技术人员的实际需求，将变频器的理论基础、设计选型、操作及系统调试、故障诊断及处理结合于一体，系统地介绍了变频器的工程应用技术及故障诊断处理方法。全书在写作上力求做到通俗易懂和结合实际，以使从事变频器工程应用的工程技术人员从中获益，本书是从事变频器工程应用技术人员必备的参考工具书。

本书由周志敏、纪爱华编著，周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪和平、纪达安、陈爱华等同志为本书编写提供了帮助，本书在写作过程中无论从资料的收集和技术信息交流上都得到了国内专业学者和同行及国内变频器制造商的大力支持。在此表示衷心的感谢。

由于时间短，水平有限，难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

CONTENTS

目 录



	Page
1 第 1 章	
1 变频器基础知识	
1.1 变频器原理及电路构成	1
1.1.1 变频器的基本原理及分类	1
1.1.2 变频器主电路的结构	3
1.1.3 变频器控制电路	7
1.2 变频器控制方式	10
1.2.1 变频器控制方式的分类	10
1.2.2 U/F 控制模式	13
1.3 变频调速系统	17
1.3.1 变频调速系统的构成	17
1.3.2 变频调速系统控制方案	19
2 第 2 章	
2 变频调速系统工程设计	
2.1 变频器的选择	25
2.1.1 变频器选型	25
2.1.2 变频器功率的选取	33
2.2 变频器选用件的特点和选用	39
2.2.1 变频器的制动选件	39
2.2.2 变频器的电抗器和滤波器选件	46
3 第 3 章	
3 变频调速系统操作及调试要点	
3.1 变频器操作及参数设置	53
3.1.1 变频器操作	53
3.1.2 变频器的参数设置	64
3.2 变频调速系统调试	68
3.2.1 变频调速系统调试条件	68
3.2.2 变频调速系统的系统调试	70
3.2.3 高压变频器现场调试文件	79

4 第4章

Page

变频器与 PLC 通信解决方案

方案 1 三菱变频器与三菱 PLC 间通信	87
方案 2 6SE70 变频器与西门子 PLC 间通信	89
方案 3 ABB 变频器与 Omron PLC 间通信	91
方案 4 三菱变频器与西门子 PLC 间通信	93
方案 5 Master 系列变频器与西门子 PLC 间通信	97
方案 6 ACS510 变频器与西门子 PLC 间通信	100
方案 7 ACS600 变频器与西门子 PLC 间通信	107
方案 8 ACS800 变频器与西门子 PLC 间通信	108
方案 9 ABB 变频器与三菱 PLC 间通信	113
方案 10 TD 变频器与西门子 PLC 间通信	117

5 第5章

Page

变频器故障检查分析及处理

5.1 变频器故障分类与维修流程	121
5.1.1 变频器故障分类	121
5.1.2 变频器维修流程	124
5.2 变频器故障诊断技术与检查方法	127
5.2.1 变频器故障诊断技术与维修原则	127
5.2.2 变频器故障检查方法	133
5.3 变频器的故障率与故障诊断	141
5.3.1 变频器的故障率与引发故障的外部因素	141
5.3.2 变频器故障诊断	146
5.4 变频器故障分析	148
5.4.1 变频器主回路故障分析	148
5.4.2 变频器辅助控制电路故障分析	153
5.5 变频器典型故障原因及处理方法	156
5.5.1 变频器过电流故障原因及处理方法	156
5.5.2 变频器过载、过热故障原因及处理方法	159
5.5.3 变频器过压、欠压故障原因及处理方法	163

6 第6章

Page

变频器故障检修实例

6.1 ABB 变频器故障检修实例	168
6.2 西门子变频器故障检修实例	172
6.3 LG 变频器故障检修实例	192
6.4 富士变频器故障检修实例	194
6.5 三肯变频器故障检修实例	203
6.6 安川变频器故障检修实例	206
6.7 艾默生 TD 系列变频器故障检修实例	208

6.8 SAMIGS 变频器故障检修实例 210

6.9 英威腾变频器故障检修实例 212

6.10 阿尔法变频器故障检修实例 214

6.11 丹佛斯变频器故障检修实例 217

6.12 康沃变频器故障检修实例 221

6.13 其他品牌变频器故障检修实例 224

参考文献 241

第1章



快速掌握变频器工程应用及故障处理

变频器基础知识

1.1 变频器原理及电路构成

1.1.1 变频器的基本原理及分类

(1) 变频器的基本原理

交-直-交变频器的工作原理是把工频交流电通过整流器变成平滑直流,然后利用半导体器件(GTO、GTR或IGBT)组成的三相逆变器,将直流电变成可变电压和可变频率的交流电,由于采用微处理器编程的正弦脉宽调制(SPWM)方法,使输出波形近似正弦波,用于驱动异步电动机,实现无级调速。变频器可以根据电动机负载的变化实现自动、平滑的增速或减速,基本保持异步电动机固有特性转差率小的特点,具有效率高、范围宽、精度高且能无级变速的优点。

(2) 通用变频器的主要功能

① 基本功能

- a. 基本频率。通常指输入工频交流的频率。
- b. 自动加、减速控制。按照机械惯量 GD^2 、负载特性自动确定加/减速时间。这一功能通常用于大惯性负载。
- c. 加/减速时间。加/减速时间的选择决定调速系统的快速性,如果选择较短的加/减速时间,会提高生产效率。但是,若加速时间选择得太短,会引起过电流;若减速时间选择得太短,则会使频率下降得太快,电动机容易进入制动状态(电动机转速大于定子频率对应的同步转速,转差率变负),可能会引起过电压。

d. 加/减速方式。可选择线性加、减速方式和S形加/减速方式。

② 特殊功能

- a. 低频定子电压补偿功能。通常称为电动机的转矩提升功能。
- b. 跳频功能。在采用变频器为交流电动机供电时,系统可能发生振荡。发生振荡的原因是:电气频率与机械频率发生共振或是由纯电气引起。通常发生振荡是在某些频率范围内,为了避免发生振荡,可采用跳频功能。
- c. 瞬时停电再启动功能。由于电动机有很大的惯性,在停电的数秒钟时间内,电动机的转速可能还在期望值的范围内。这样,变频器可以在恢复供电后继续给电动机按正常运行

供电，而不需要将电动机停止后再重新启动。

(3) 变频器的分类

① 按变换的环节分类

a. 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（转换前后的相数相同），又称直接式变频器。

b. 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成直流，然后再把直流变换成频率电压可调的交流，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 按直流电源性质分类

a. 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，故称电流源型变频器。电流型变频器的特点是能扼制负载电流频繁而急剧的变化，常应用于负载电流变化较大的场合。

b. 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，直流环节内阻较小，相当于电压源，故称电压型变频器，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

a. 脉宽调制（PWM）变频器。脉宽调制变频器输出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变频器。

b. 脉幅调制（PAM）变频器。脉幅调制变频器输出电压的大小是通过调节直流电压幅值来实现的。

④ 根据输入电源的相数分类

a. 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。

b. 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。

(4) 变频器的额定数据

① 输入侧的额定数据

• 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作出规定，如 $\pm 10\%$ 、 $-15\% \sim +10\%$ 等。

• 输入侧电源的相数，如单相、三相。

• 输入侧电源的频率 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 $\pm 5\%$ 。

② 输出侧的额定数据

• 额定电压 U_N 。因为变频器的输出电压要随频率而变，所以， U_N 定义为输出的最高电压。通常，它总是和输入电压 U_{IN} 相等的。

• 额定电流 I_N 。变频器允许长时间输出的最大电流。

• 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：

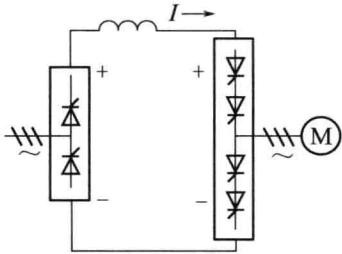
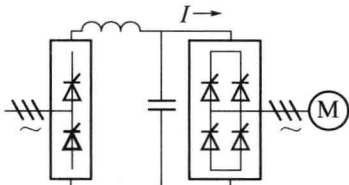
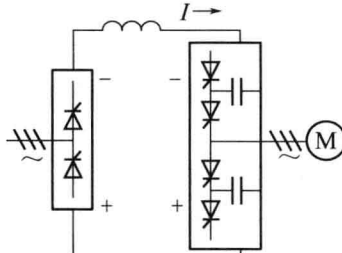
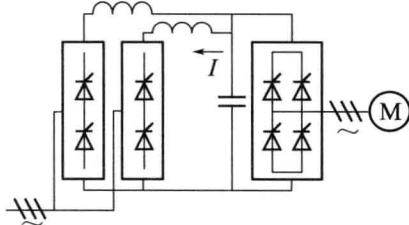
$$S_N = U_N \times I_N \quad (1-1)$$

• 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。与电动机的允许过载能力相比，变频器的过载能力是很低的。

(5) 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；如采用大电抗器来缓冲无功功率，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,并需经常反向的场合	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
其他	1. 对于电流源型变频器不需要换流电感器 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器 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 变频器主电路的结构

(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，典型的电压型变

变频器的主电路如图 1-1 所示。其主电路由三部分构成，将工频交流变换为直流的整流器，吸收整流器、逆变器产生的电压脉动的平波电路，以及将直流变换为交流的逆变器。若系统的负载为异步电动机，在变频调速系统需要制动时，还需要附加制动回路。

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，它与单相或三相交流电源相连接，把工频交流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，由于可逆变整流器功率方向可逆，可以实现再生运行。

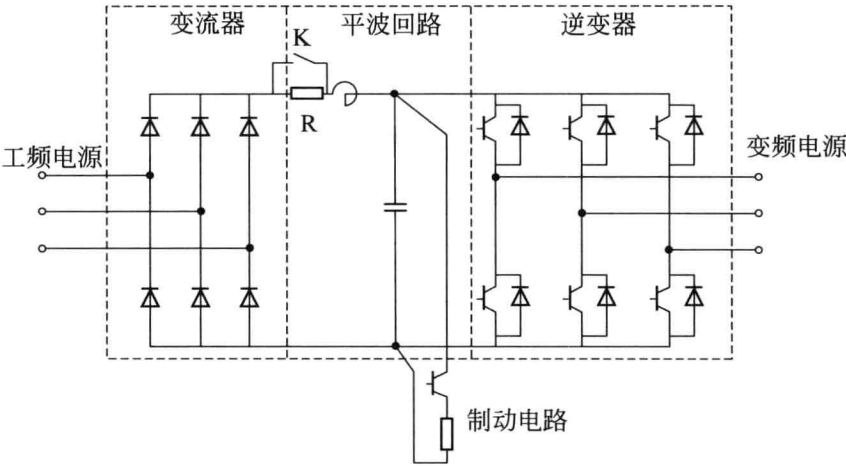


图 1-1 变频器主电路示意图

② 平波回路。整流后的直流电压中含有电源 6 倍频率脉动电压，而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），一般通用变频器采用简单电容滤波平波电路。

③ 逆变器。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，逆变控制电路以所确定的时间控制 6 个开关器件导通、关断就可以在输出端得到 3 相变压变频交流输出。

④ 制动电路。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储存的能量大，为抑制直流电路电压上升，需采用制动电路消耗直流电路中的再生能量，制动电路也可采用可逆整流器把再生能量向工频电网反馈。

⑤ 限流电路。限流电路由图 1-1 中限流电阻 R 及开关 K 构成，由于上电瞬间滤波电容端电压为零，上电瞬间电容充电电流较大，过大的电流可能损坏整流电路，为保护整流电路，在变频器上电瞬间，将限流电阻串联到直流回路中，当电容充电到一定时间后通过开关 K 将电阻短路。

(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，使得单相半桥逆变电路结构简单，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，功率开关器件数目少，成本低廉，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：由于电动机的两相电流 I_1 及 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。

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \quad (1-2)$$

对于用两只电容串联构架的中点电源，回馈电流 I 会使前级变频器输出电压波动加大，而使电源的输出电容增大；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。而采用 Cuk 和 Sepic 电路并联方式获取双极性直流电源的方式，受到功率开关容量的限制，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。同半桥逆变电路相比，功率开关器件数量比为 2:1，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。但是，全桥逆变电路不再需要对称正负输出电源，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，同时全桥电路的直流电压利用率也比半桥电路要高。

鉴于开关器件的数目较多，在实际应用中将图 1-2(a) 中的中间两只桥臂合二为一，成为两套绕组的公共桥臂，就得到了图 1-2(b) 所示的两相三桥臂全桥逆变电路。其中的公共桥臂分别同左、右桥臂组合，构成两相全桥逆变。

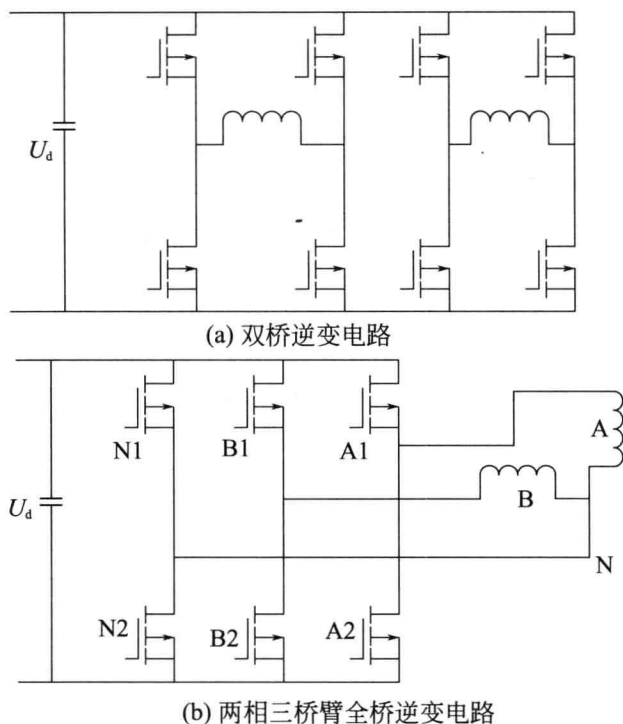


图 1-2 全桥逆变电路

两相三桥臂全桥逆变电路继承了全桥逆变电路的优点，同时也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，两相三桥臂电路同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、两相之间灵活转换。而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。

(3) 变频器的功率开关器件

门极可关断 (GTO) 晶闸管是目前能承受电压最高和流过电流最大的全控型 (亦称自关断) 开关器件, 它能由门极控制导通和关断, 具有电流密度大、管压降低、导通损耗小、 du/dt 耐量高等突出优点, 目前 GTO 额定电压和额定电流已达 6kV/6kA 的生产水平, 最适合大功率应用。但是 GTO 有不足之处, 那就是门极为电流控制, 驱动电路复杂, 驱动功率大 (关断增益 $\beta=3\sim5$); 关断过程中内部成百甚至上千个 GTO 元胞不均匀性引起阴极电流收缩 (挤流) 效应, 在应用中必须采取相应的措施限制 du/dt 。为此需要缓冲电路 (亦称吸收电路), 采用缓冲电路既增大变频器的体积、重量、成本, 又增加损耗。另外, GTO “拖尾” 电流使关断损耗大, 因而开关频率低。

在 GTO 的基础上, 近年开发出一种门极换流晶闸管 (GCT), 它采用了一些新技术, 如: 穿透型阳极, 使电荷存储时间和拖尾电流减小, 制约了二次击穿, 可无缓冲器运行; GCT 的 N 缓冲层可使硅片厚度以及通态损耗和开关损耗减少; GCT 的特殊环状门极, 使 GCT 开通时间缩短且串、并联容易。因此, GCT 除有 GTO 高电压、大电流、低导通压降的优点, 又改善了其开通和关断性能, 使工作频率有所提高。

为了尽快将开关器件关断 (例如 $1\mu s$ 内), 要求在门极 PN 不致击穿的电压下 ($-20V$) 能获得快于 $4000A/\mu s$ 的电流变化率, 以使阳极电流全部经门极极快泄流 (即关断增益为 1), 必须采用低电感触发电路。为此, 将这种门极电路配以 MOSFET 器件与 GCT 功率组件集成在一起, 构成集成门极换流晶闸管 (IGCT)。IGCT 还可将续流二极管做在同一芯片上集成逆导型, 可使装置中器件数量减少。

绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 是一种复合型全控器件, 具有 MOSFET (输入阻抗高、开关速度快) 和 GTR (耐压高、电流密度大) 二者的优点。栅极为电压控制, 驱动功率小; 开关损耗小, 工作频率高; 没有二次击穿, 不需缓冲电路; 是目前中等功率电力电子装置中的主流器件。除低压 IGBT (1700V/1200A) 外, 已开发出高压 IGBT, 可达 3.3kV/1.2kA 或 4.5kV/0.9kA 的水平。IGBT 的不足之处是: 高压 IGBT 内阻大, 因而导通损耗大; 低压 IGBT 应用于高压电路需多个串联。表 1-2 为 GTO、IGCT、IGBT 的一些技术参数的比较。由表 1-2 可以得出, 在 1kHz 以下, IGCT 有一定优点; 在较高工作频率下, 高压 IGBT 更具优势。

表 1-2 GTO、IGCT、IGBT 参数比较

器 件	GTO	IGCT	IGBT
通态压降/V	3.2	1.9	3.4
门极驱动功率/W	80	15	1.5
存储时间/ μs	20	1~3.4	0.9
尾部电流时间/ μs	150	0.7	0.15
工作频率/kHz	0.5	1	20

除上述几种器件外, 现在还在开发一些新器件, 例如新型大功率 “注入增强栅极晶体管” (IEGT), 它兼有 IGBT 和 GTO 二者优点, 即开关特性相当于 IGBT, 工作频率高, 栅极驱动功率小 (比 GTO 小两个数量级); 而由于电子发射区注入增强, 使器件的饱和压降进一步减小; 功率相同时, 缓冲电路的容量为 GTO 的 1/10, 安全工作区宽。现已有 4.5kV/1kA 的器件, 可应用于高频电路。

1.1.3 变频器控制电路

变频器的控制电路是给变频器主电路提供控制信号的回路，变频器控制电路如图 1-3 所示，它将信号传送给整流器、中间电路和逆变器，同时它也接收来自这些部分的信号。其主要组成部分是：输出驱动电路、操作控制电路。主要功能是：

- a. 利用信号来开关逆变器的半导体器件；
- b. 提供操作变频器的各种控制信号；
- c. 监视变频器的工作状态，提供保护功能。

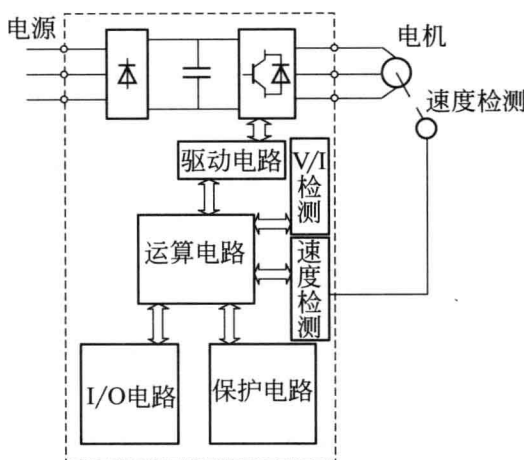


图 1-3 变频器控制电路图

(1) 控制电路

控制电路包括：输出电压、电流检测电路；信号处理电路；驱动电路；I/O 输入输出电路；用于实现变频调速系统闭环控制的电动机速度检测电路以及逆变器和负载的保护电路。

① 输出电压、电流检测电路。

变频器的电压、电流检测电路采用电隔离检测技术来检测主回路的电压、电流，检测电路对检测到的电压、电流信号进行处理和转换，以满足变频器信号处理电路的需要。

② 信号处理电路。

信号处理电路以变频器的输出电压、电流检测电路的信号及变频器外部负载的非电量（速度、转矩等经检测电路转换为电信号）信号为电路的输入信号，并与信号处理电路给定的电流、电压信号进行比较运算，其差值作为驱动电路的输入信号，控制逆变器的输出电压、频率。

③ 驱动电路。

变频器驱动电路的功能是在控制电路的控制下，产生足够功率的驱动信号驱动逆变主电路开关器件导通或关断，驱动电路采用电隔离技术实现对驱动电路的控制。

④ I/O 输入输出电路。

变频器的 I/O 输入输出电路的功能是为了使变频器更好地实现人机交互，变频器具有多种输入信号（如运行、多段速度运行等），还有各种内部参数的输出（如电流、频率、保

护动作驱动等) 信号及故障报警输出信号等。

⑤ 速度检测电路。

速度检测电路是以装在异步电动机轴上的速度检测器 (TG、PLG 等) 为核心, 将检测到的电动机速度信号进行处理和转换, 然后输入至信号处理电路, 变频调速系统可根据信号处理电路设定的参数运行。

(2) 保护电路

变频器保护电路的功能是通过检测主电路的输出电压、电流等参数来判断变频器的运行状况, 当发生电流、电压和温度等参数异常时, 为了防止变频调速系统中电气器件及机械部分损坏, 而使变频器的逆变电路停止工作或限制逆变电路输出电压、电流值。变频器的保护电路可分为变频器自身保护和对负载 (异步电动机) 的保护两种, 表 1-3 为保护功能一览。

表 1-3 保护功能一览

保 护 对 象	保 护 功 能	保 护 对 象	保 护 功 能
变频器保护	瞬时过电流保护 过载保护 再生过电压保护 瞬时停电保护 接地过电流保护 冷却风机保护	异步电动机保护	过载保护 超频(超速)保护
		其他保护	防止失速过电流 防止失速再生过电压

① 变频器保护功能

a. 瞬时过电流保护。在变频器的整流器、逆变器或负载侧发生短路时, 流过整流器、逆变器开关器件的电流达到异常值 (超过容许值) 时, 瞬时过电流保护动作停止变频器运行。

b. 过载保护。在变频器逆变器的输出电流超过设定值, 且电流持续时间达到设定的时限值以上时, 为了防止逆变器的开关器件损坏, 过载保护动作停止逆变器运行。过载保护具有反时限特性, 通常采用热继电器或者电子热保护 (由电子电路构成)。

c. 再生过电压保护。变频调速系统在电动机快速减速时, 由于系统再生功率的回馈, 使变频器直流电路的电压升高, 有时会超过容许值而使变频器内电子器件损坏。为抑制再生过电压采取停止逆变器运行或限制快速减速的方法, 实现系统的过电压保护。

d. 瞬时停电保护。对于数毫秒以内的瞬时停电, 变频器控制电路是可以正常工作的。但瞬时停电时间达到数十毫秒以上时, 控制电路将不能正常工作, 主电路将失电, 为避免瞬时停电造成的变频调速系统误动作而导致电气或机械故障或事故, 变频调速系统应设置瞬时停电保护, 在发生瞬时停电后使变频器逆变器停止运行。

e. 接地过电流保护。变频调速系统的负载发生接地时, 为了保护变频器逆变器需要设置接地过电流保护功能。但为了确保人身安全, 还需要装设漏电断路器。

f. 温度异常保护。有冷却风机的变频器, 风机异常时会导致变频器内温度上升, 而使变频器逆变器因温度超限而损坏, 因此, 变频器冷却风机的电动机应采用热继电器保护, 变频器逆变器开关器件散热片应设有温度传感器, 检出温度异常后停止变频器逆变器运行。

② 负载的保护

a. 过载保护。负载过载检出单元与变频器逆变器过载保护共用, 但考虑到变频调速系统电动机在低速运转时过热, 在异步电动机绕组内埋入温度传感器, 或者利用装在逆变器内

的电子热保护来检出电动机的过热。当电动机过载保护动作频繁时,可以考虑减轻电动机负载、增加电动机及变频器容量等措施。

b. 超额(超速)保护。变频器的输出频率或者变频调速系统的异步电动机的速度超过规定值时,超额(超速)保护动作,停止变频器运行。

③ 其他保护

a. 防止失速过电流。变频调速系统在急加速时,如果异步电动机跟踪迟缓,则过电流保护电路动作,电动机就不能继续进行正常运行(失速)。所以,在负载电流减小之前要进行控制,抑制频率上升或使频率下降速度加快。对于恒速运转中的过电流,有时也进行同样的控制。

b. 防止失速再生过电压。变频调速系统在减速时产生的再生能量使变频器主电路直流电压上升,为了防止再生过电压电路保护动作,在直流电压上升之前要进行控制,抑制频率下降速度,防止调速系统失速。

(3) 半桥、全桥逆变器控制

单相电动机采用半桥逆变电路时,由于主电路结构类似,诸如 SPWM 和 SVPWM 等调速技术可以方便地移植到单相电动机调速中来。在讨论和分析单相控制电路时,假设单相电动机的两相绕组对称,即两相绕组相同,空间上相互垂直。同时假定正负电源对称,幅值恒定,中性点 N 不因电流 I 的注入而浮动。

① 半桥 SPWM 控制

单相电动机采用 SPWM 控制技术时,由于要保证两相绕组中的电流相位差为 90° ,所以,两路调制信号的相位相应地也要设定为相差 90° 。SPWM 控制的优点是谐波含量低,滤波器设计简单,容易实现调压、调频功能。但是,SPWM 的缺点也很明显,即直流电压利用率低,适合模拟电路,不便于数字化方案的实现。

② 半桥 SVPWM 控制

依据电动机原理可知,电压空间矢量同气隙磁场之间存在如下关系:

$$U = d\varphi / dt \tag{1-3}$$

通过控制电压空间矢量来控制电动机气隙磁场的旋转,所以 SVPWM 控制又称为磁链轨迹控制。两相半桥逆变电路中开关器件 S_1 和 S_2 , S_3 和 S_4 的开关逻辑互补,则 4 只开关器件只能产生 4 个电压矢量,如图 1-4 所示。

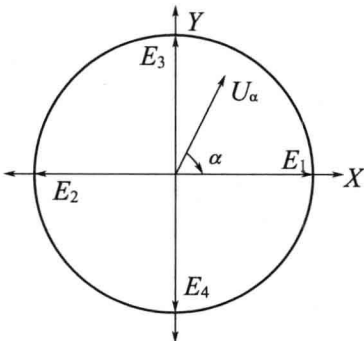


图 1-4 电压矢量图

从矢量图来看,在两相半桥逆变电路中,不会产生零电压矢量。为了合成一个幅值为

U_α , 相角为 α 的电压矢量, 在矢量分解时, 其 X 轴的分量要有 E_1 和 E_2 共同完成, 而 Y 轴分量要由 E_3 和 E_4 共同完成。

在一个开关周期 T 内, E_1 作用的时间为 t_1 , 则 E_2 作用的时间为 $T-t_1$ 。 E_3 作用的时间为 t_2 , 而 E_4 作用的时间为 $T-t_2$ 。根据矢量分解可以得到式(1-4)和式(1-5) (矢量 E_1 , E_2 , E_3 , E_4 的大小均为 $U_d/2$):

$$t_1 = \frac{U_\alpha \cos \alpha + U_d/2}{U_d} T \quad (1-4)$$

$$t_2 = \frac{U_\alpha \sin \alpha + U_d/2}{U_d} T \quad (1-5)$$

半桥逆变电路在采用 SVPWM 控制时, 输出相电压的最大值为 $U_d/2$ 。

③ 两相三桥臂全桥逆变 SPWM 控制

三桥臂全桥逆变器采用 SPWM 控制时, 在图 1-2(b) 中由 N1 及 N2 构成的公共桥臂要同时接入电动机的两相绕组中, 所以在调制时, 公共桥臂的调制波就不同于 A 及 B 桥臂的调制波。整个逆变电路具体调制方法为: 在载波相同的情况下, A、B 相调制波为正弦波, 相位上 A 相超前 B 相 90° (电动机正转, 反之, B 相超前 A 相 90° , 则电动机反转); 公共桥臂则采用恒定占空比的方法调制, 上下桥臂占空比均为 50%。为此在 A 及 B 绕组上得到幅值相等, 相位相差 90° 的正弦电压。电压幅值与调制度 m 成正比。当 $m=1$ 时, 输出电压峰值达到最大, 为 $U_d/2$ 。依据电动机的 U/F 曲线和输出电压与 m 的关系, 即可实现两相电动机的变压变频调速控制。

1.2 变频器控制方式

1.2.1 变频器控制方式的分类

(1) 非智能控制方式

在交流变频器中使用的非智能控制方式有 U/F 协调控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制等。低压通用变频输出电压在 380~650V, 输出功率在 0.75~400kW, 工作频率在 0~400Hz, 它的主电路都采用交-直-交电路。其采用的控制方式如下。

① $U/F=C$ 正弦脉宽调制 (SPWM) 控制方式

U/F 控制是为了得到理想的转矩-速度特性, 基于在改变电源频率进行调速的同时, 又要保证电动机的磁通不变的思想而提出的, 通用型变频器基本上都采用这种控制方式。采用 U/F 控制方式的变频器结构非常简单, 但是这种变频器采用开环控制方式, 不能达到较高的控制性能, 而且, 在低频时, 必须进行转矩补偿, 以改变低频转矩特性。

$U/F=C$ 正弦脉宽调制 (SPWM) 控制方式的特点是: 控制电路结构简单、成本较低, 机械特性硬度也较好, 能够满足一般传动系统的平滑调速要求。这种控制方式在低频时, 由于输出电压较低, 受电动机定子电阻压降的影响比较显著, 故造成输出最大转矩减小。另外, 其机械特性没有直流电动机硬, 动态转矩能力和静态调速性能都不理想, 采用 $U/F=C$ 控制方式的系统性能不高、控制曲线会随负载的变化而变化, 转矩响应慢、电动机转矩利用率不高, 低速时因定子电阻和逆变器死区效应的存在而性能下降, 使系统的稳定性变差等。