



电气工程应用技术丛书

变频调速系统 工程设计与调试

周志敏 周纪海 纪爱华 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电气工程应用技术丛书

变频调速系统设计与调试

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

变频调速系统工程设计与调试 / 周志敏, 周纪海, 纪爱华编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 6
(电气工程应用技术丛书)
ISBN 978-7-115-19802-0

I. 变… II. ①周…②周…③纪… III. ①变频调速—控制系统—系统设计②变频调速—控制系统—调试 IV. TM921. 51

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第023474号

内 容 提 要

本书结合国内外变频调速技术的应用情况和发展趋势, 系统地介绍了变频调速系统工程设计与调试中经常涉及的理论知识、工程应用技术和实际操作技能, 具体包括变频调速系统的主电路设计、控制与检测电路、安装与布线技术、参数设置与调试、通信网络与现场总线以及工程应用实例等内容。本书内容新颖实用, 文字通俗易懂, 具有较高的实用价值。

本书可供电气传动、自动控制、航天及家电等领域从事变频调速技术研究开发、设计和应用的工程技术人员阅读, 也可供高等学院电力电子、电气传动、工业自动化等专业的师生参考。

电气工程应用技术丛书

变频调速系统工程设计与调试

-
- ◆ 编 著 周志敏 周纪海 纪爱华
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鸿佳印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21
字数: 515 千字 2009 年 6 月第 1 版
印数: 1—4 000 册 2009 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19802-0/TN

定价: 42.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

变频技术是应交流电动机无级调速的需要而诞生的，它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能的一种静止变流技术，在以工频交流电为主的用电场合具有广阔的应用前景。

变频器自问世以来引起了国内外电气传动界的普遍关注，现已成为极具发展潜力和影响力的高新技术产品。以变频器为主构成的现代变频调速系统具有损耗低、效率高、外部电路简单等显著优点，因此，近年来在电气传动领域得到了日益广泛的应用。变频调速系统是电气传动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指标。为此，掌握变频调速技术特性是将变频技术应用到电气传动领域的理论基础，同时也是保证构成的变频调速系统具有较高的性价比、最简单的外围电路和最佳的性能指标的技术基础。变频调速系统的工程设计、参数设置和调试，是从事变频调速系统设计和应用的工程技术人员必须掌握的工程应用技术。

本书结合我国变频器的工程应用情况及一线工程技术人员的实际需求，将变频调速的基本理论知识和变频调速系统的工程设计、参数设置、系统调试、工程实例有机地融为一体，系统地介绍了变频调速系统的工程设计与调试技术。本书在写作上力求做到通俗易懂和结合实际，以使从事变频调速系统工程设计和应用的工程技术人员从中获益。

参加本书编写工作的有周志敏、周纪海、纪爱华、冷春爱、秦庆莲、张文博、纪达奇、刘云飞、王东、张彦、蒋惠萍等。在本书的写作过程中，在资料收集和技术信息交流方面得到了国内专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章	概述	1
1.1	变频器基础知识	2
1.1.1	变频器的基本原理与一般分类	2
1.1.2	变频器的结构	5
1.2	变频器的控制方式	9
1.2.1	变频器控制方式的分类及其合理选用	9
1.2.2	PWM 调制方式	12
1.3	变频器的技术发展趋势	14
第 2 章	变频调速系统主电路设计	19
2.1	变频器的选择	20
2.1.1	变频器的选型	20
2.1.2	变频器容量的选取	27
2.2	变频器选用件的特点和应用	33
2.2.1	变频调速系统的制动选件	33
2.2.2	电抗器和滤波器选件	40
2.3	变频调速系统的电气主接线及配套电气设备的选用	48
2.3.1	变频调速系统的电气主接线	48
2.3.2	变频调速系统配套电气设备的选用	50
2.3.3	变频调速系统电力电缆的技术特性	65
第 3 章	变频调速系统的控制与检测电路	73
3.1	变频器的外部控制电路	74
3.1.1	输入电路接线	74
3.1.2	输出电路接线	76
3.1.3	变频调速系统的隔离技术	78
3.1.4	PLC 与变频器的配合使用	85
3.2	变频调速系统的检测器件	86

3.2.1	测速发电机	86
3.2.2	光电编码器	88
3.2.3	接近开关	98
3.2.4	光电开关	107
第 4 章	变频调速系统的安装与布线技术	113
4.1	变频器的安装	114
4.1.1	变频器的工作环境	114
4.1.2	变频器的基本安装要求	117
4.2	变频调速系统的布线设计和抗干扰设计	130
4.2.1	变频调速系统的布线设计	130
4.2.2	变频调速系统布线的抗干扰设计	133
4.2.3	变频器周边控制回路的抗干扰措施	140
第 5 章	变频调速系统的参数设置与调试	147
5.1	变频器的参数设置	148
5.1.1	变频器的参数	148
5.1.2	变频器的频率给定	153
5.1.3	变频器压频比的正确设置	156
5.1.4	变频器的启停与加减速过程	159
5.1.5	变频器多功能端子的应用	166
5.1.6	变频器的转矩提升功能	168
5.1.7	变频器的直流制动功能	169
5.2	变频器参数设置实例	171
5.2.1	CX 系列变频器在不同运行模式下的参数设置	171
5.2.2	ACS800 系列变频器的参数设置	172
5.2.3	西门子变频器的参数设置	174
5.2.4	iF 系列变频器的运行及参数设置	176
5.3	变频调速系统的调试	188
5.3.1	系统调试项目	188
5.3.2	变频器的操作	190
5.3.3	变频器的调试	192
5.4	变频器调试实例	195
5.4.1	风光变频器的调试	195
5.4.2	PowerSmart (或 JZHICON-1A) 系列高压变频器的调试	197
5.4.3	PI97G.V4 普传系列变频器的调试	201
第 6 章	变频调速系统的通信网络与现场总线	208
6.1	变频调速系统的通信网络	209
6.1.1	通信网络模型与通信方式	209
6.1.2	通信接口	211
6.2	变频器与 PLC 通信案例	224
6.2.1	变频器与三菱 PLC 的通信	224
6.2.2	西门子 MMV 变频器的远程控制及通信	226
6.2.3	台达变频器与计算机串口的通信	228
6.2.4	基于 Modbus 总线的变频调速系统	231

6.2.5	华为 TD2000 变频器的通信控制网	237
6.2.6	CX 变频器与 PLC 的通信	239
6.2.7	PC 对多台 TD3000 变频器的实时监控	241
6.2.8	基于 Profibus-DP 现场总线的 PLC 与变频器的通信	244
6.2.9	三菱变频器与西门子 PLC 的通信	246
6.2.10	基于 Profibus-DP 现场总线控制 ACS800 系列变频器	251
6.2.11	基于 Profibus-DP 现场总线的 S7-PLC 与西门子变频器的通信	254
6.2.12	西门子 6SE70 系列变频器与 S7-300/400 PLC 的通信	256
6.2.13	西门子 PLC 与 ABB 变频器之间的现场总线通信	258
6.2.14	由 TD 变频器基于 TDS-PA01 适配器构成的调速系统	260
第 7 章	变频调速系统工程应用实例	263
7.1	ABB 变频器在造纸机传动系统中的应用	264
7.2	四方 E380 系列变频器在伸线机上的应用	271
7.3	ABB 变频技术在桥机上的应用	277
7.4	时代变频器在恒压供水行业中的应用	281
7.5	LG 变频器在空压机供气系统中的应用	288
7.6	艾默生变频器在石油抽油机中的应用	292
7.7	ACC600 变频器在水电站门式起重机中的应用	296
7.8	西门子 SIMOVERTMV 中压变频器在鼓风机上的应用	299
7.9	施耐德 Altivar38 变频器在鼓风机上的应用	303
7.10	FR 变频器在中央空调冷冻泵中的应用	306
7.11	THYFREC-VT210S 变频器在空调通风系统中的应用	309
7.12	ECO 变频器在疏水泵上的应用	311
7.13	MM440 变频器在给水泵上的应用	314
7.14	MASTERDRIVE6SE 变频器在起重机大、小车行走驱动系 统中的应用	319
7.15	ER440 变频器在联动生产线上的应用	325
参考文献		330

Chapter 1

第 1 章 概述

- 变频器基础知识
- 变频器的控制方式
- 变频器的技术发展趋势

1.1 变频器基础知识

1.1.1 变频器的基本原理与一般分类

1. 变频器的基本原理

异步电动机调速的基本原理基于以下公式。

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-1)$$

式中： n_1 为同步转速 (r/min)； f_1 为定子供电电源的频率 (Hz)； p 为磁极对数。

一般异步电动机转速 n 与同步转速 n_1 之间存在一个滑差关系，即

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \quad (1-2)$$

式中： n 为异步电动机转速 (r/min)； s 为异步电动机转差率。

由式 (1-2) 可知，可通过改变 f_1 、 p 、 s 中的任意一个实现调速，对异步电动机来说最好的方法是通过改变频率 f_1 来实现调速控制。由电动机理论，三相异步电动机每相电动势的有效值与下式有关。

$$E_1 = 4.44f_1N_1\Phi_m \quad (1-3)$$

式中： E_1 为定子每相电动势有效值 (V)； f_1 为定子供电电源的频率 (Hz)； N_1 为定子绕组有效匝数； Φ_m 为定子磁通 (Wb)。

针对式 (1-3) 可分两种情况进行分析。

(1) 在频率低于供电电源的额定频率时属于恒转矩调速

设计变频器时为维持电动机输出转矩不变，必须维持每极气隙磁通 Φ_m 不变，从式 (1-3) 可知，也就是要使 E_1/f_1 为常数。如忽略定子漏阻抗压降，可以认为供给电动机的电压 U_1 与频率 f_1 按相同比例变化，即 U_1/f_1 为常数。

但是在频率较低时，定子漏阻抗压降已不能忽略，因此要人为地提高定子电压，以作漏阻抗压降的补偿，维持 E_1/f_1 近似为常数，此时变频器输出特性曲线为图 1-1 中的曲线 2，而不再是曲线 1。

多数变频器在频率低于电动机额定频率时输出的电压 U_1 和频率 f_1 的关系类似于图 1-1 中的曲线 2，并且随着设置不同，可改变补偿曲线的形状，应用时要根据实际电动机运行情况进行调整。

(2) 在频率高于定子供电电源的额定频率时属于恒功率调速

此时变频器的输出频率 f_1 升高，但变频器的电源电压由电网电压决定，不能继续升高。根据式 (1-3)， E_1 不能变， f_1 升高必然使 Φ_m 下降，由于 Φ_m 与电流或转矩成正比，因此也就使转矩下降。转矩虽然下降了，但因转速升高了，所以它们的乘积并未改变（转矩与转速的乘积表征着功率）。因此，这时候电动机在恒功率输出的状态下运行。异步电动机变频调速恒

转矩和恒功率区域状态的特性如图 1-2 所示。 Φ_m 的大小表征电动机转矩的大小, 因此, Φ_m 曲线可以看作是转矩曲线。

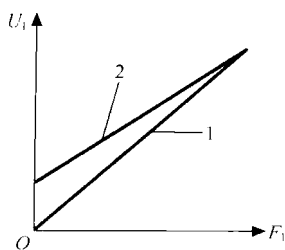


图 1-1 U_1/F_1 关系
1— U_1/F_1 =常数;
2— E_1/F_1 =常数

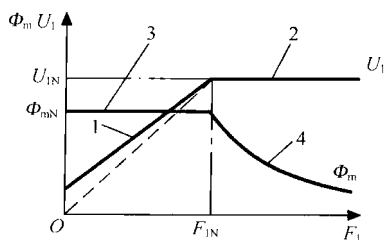


图 1-2 异步电动机调速时的输出特性
1—恒转矩时的电压曲线; 2—恒功率时的电压曲线;
3—恒转矩时的转矩曲线; 4—恒功率时的转矩曲线

由以上分析可知的, 通用变频器对异步电动机调速时, 输出频率和电压是按一定规律改变的, 在额定频率以下, 变频器的输出电压随输出频率升高而升高, 即所谓的变压变频调速 (VVVF)。而在额定频率以上, 电压并不改变, 只改变频率。

实际上多数变频调速场合是用于额定频率以下, 低频时采用的补偿都是为了解决低频转矩下降的问题, 所采用的方式多种多样, 有矢量控制技术、直接转矩控制技术以及拟超导技术 (森兰变频特有专利技术) 等。其作用不外乎动态地改变低频时变频器的输出电压、输出相位或输出频率, 也就是利用计算机技术实时地而不是固定地改变图 1-1 中曲线 1 的形状以达到低速时转矩提升, 并且稳定运行, 又不至于因电流太大而造成故障。

2. 变频器的分类

(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电直接变换成频率、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。对于大容量、低转速的交流调速系统, 常采用晶闸管交—交直接变频器, 供电给低速电动机直接传动时, 可以省去庞大的齿轮减速箱。其缺点是: 最高输出频率不超过电网频率的 $1/3$, 且输入功率因数较小, 谐波电流含量大, 谐波频谱复杂, 因此, 必须配置大容量的滤波和无功补偿设备。

近年来又出现了一种应用全控型开关器件的矩阵式交—交变频变频器, 在三相输入与三相输出之间用 9 组双向开关组成矩阵阵列, 采用 PWM 控制方式, 可直接输出变频电压。这种调速方法的主要优点如下。

- 输出电压和输入电流的低次谐波含量都较小。
- 输入功率因数可调。
- 输出频率不受限制。
- 能量可双向流动, 可获得四象限运行。
- 可省去中间直流环节的电容元件。

交—交变频技术自从 20 世纪 70 年代末提出以来一直受到电力电子学科研究者的高度重视。

② 交—直—交变频器。交—直—交变频器是先把工频交流电通过整流器变成直流电, 再把直流电变换成频率、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。由于该直流环节的内阻较大，故称电流源型变频器（电流型）。电流型变频器能扼制负载电流的频繁、急剧变化，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，直流环节的电压比较平稳，直流环节的内阻较小，相当于电压源，故称电压源型变频器（电压型），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属于此类变频器。

② 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于此种类型。

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于此种类型，通常容量较小。

此外，变频器还可以按输出电压的调节方式、主开关元器件或输入电压的高低分类。

3. 变频器的额定数据

(1) 输入侧的额定数据

① 输入电压 U_{1N} ：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）或 220V（单相）。中、高压变频器的输入电压通常为 0.66kV、3kV 或 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。

② 相数：如单相、三相。

③ 频率 f_{1N} ：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而变，所以， U_N 定义为输出的最大电压。通常，它总是和输入电压 U_{1N} 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

$$S_N = U_N \times I_N \quad (1-4)$$

容量为在连续不变负载中允许配用的最大负载容量。在生产机械中，负载的容量主要是根据发热状况来定的。在变动负载、断续负载及短时负载条件下，只要温升不超过允许值，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，而变频器则允许 150% 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，与电动机的允许过载时间相比，变频器的允许过载时间

是很短的。

4. 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 3 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；如果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	<ul style="list-style-type: none"> ① 对于电流源型变频器来说不需要换流电感器； 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 	<ul style="list-style-type: none"> ① 对于电压源型变频器来说需要换流电感器； ② 晶闸管承受的电压低，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

变频器中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 1-3 示出了

典型电压源型变频器的主电路，该主电路由 3 部分构成，包括将工频电源变换为直流电的整流器、将直流电变换为交流电的逆变器以及吸收整流器和逆变器产生的电压脉动的平波回路。另外，若负载为异步电动机，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

变频器一般使用的整流器是二极管整流器，如图 1-3 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，由于可逆变整流器的功率方向可逆，可以进行再生运行。它与单相或三相交流电源相连接，产生脉动的直流电压。

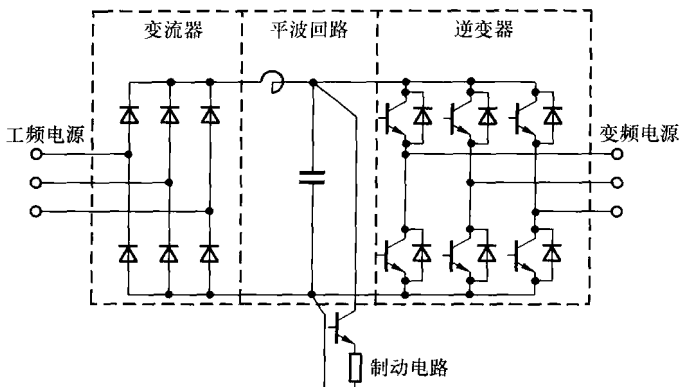


图 1-3 变频器主电路图

(2) 平波回路

在整流器整流后的直流电压中含有频率为电源频率 6 倍的脉动电压，此外逆变器产生的脉动电流也会使直流电压变化。为了抑制电压波动，采用电感和电容吸收脉动电压（电流）。变频器的容量小时，如果电源容量相对于变频器容量来说较大，构成变频器主电路的器件有一定余量，可以省去电感而采用简单的平波回路。平波回路有以下 3 种作用。

- ① 使脉动的直流电变得稳定或平滑，供逆变器使用。
- ② 通过开关电源为各个控制电路供电。
- ③ 可以配置滤波或制动装置以提高变频器的性能。

(3) 逆变器

利用晶闸管装置将直流电转变为交流电，这一功能就叫逆变。整流和逆变关系密切，若同一套晶闸管装置既可以工作在整流状态下，而在一定条件下又可以工作在逆变状态下，则常称这一装置为变流器。与整流器相反，逆变器是将直流电变换为所要求的可变压变频的交流电，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。逆变分为有源逆变和无源逆变（变频），变流器工作在逆变状态下时，若把直流电转变为 50Hz 的交流电送到电网中，则称之为有源逆变；若把直流电转变为某一频率或频率可调的交流电供给负载使用，则称之为无源逆变或变频。

(4) 制动回路

异步电动机的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的电容器中，使直流环节的电压升高。一般来说，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，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。

2. 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。变频器的控制电路如图 1-4 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，其主要功能如下。

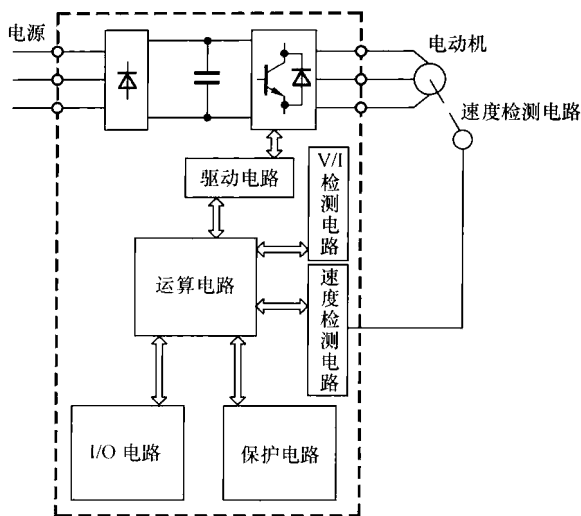


图 1-4 变频器控制电路图

- ① 利用信号来开关逆变器的半导体器件。
- ② 为变频器提高各种控制信号。
- ③ 监视变频器的工作状态，提供保护功能。

控制电路包括：频率、电压的运算电路，主电路的电压、电流（V/I）检测电路，用于变频调速系统电动机的速度检测电路，对运算电路的控制信号进行放大的驱动电路，以及逆变器和负载的保护电路等。

① 运算电路。运算电路的功能是将变频器的电压、电流检测电路的信号及变频器外部负载的非电量信号（速度、转矩等经检测电路转换为电信号）与给定的电流、电压信号进行比较，决定逆变器的输出电压、频率。

② 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，并对检测到的电压、电流信号进行处理和转换，以满足变频器控制电路的需要。

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，产生功率足够大的驱动信号使主电路开关器件导通或关断。控制电路采用电隔离技术实现对驱动电路的控制。

④ I/O 电路。变频器 I/O 电路的功能是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信号（如电流、频率、保护动作驱动信号等）。

⑤ 速度检测电路。速度检测电路以装在异步电动机轴上的速度检测器（TG、PLG 等）为核心，对检测到的电动机转速信号进行处理和转换并送入运算电路，可使电动机按给定转速运转。

保护电路是通过检测主电路的电压、电流等参数来判断变频器的运行状况。当出现过载或过电压等异常时,为了防止变频器的逆变电路器件和负载损坏,应使变频器中的逆变电路停止工作或抑制输出电压、电流值。变频器中的保护电路可分为变频器保护和负载(异步电动机)保护两种,见表 1-2。

表 1-2 保护功能

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 冷却风机异常保护	异步电动机保护	过载保护 超频(超速)保护
		其他保护	失速过电流保护 失速再生过电压保护

变频器的保护功能如下。

① 瞬时过电流保护。在变频器逆变器的负载侧发生短路时,若流过逆变器开关器件的电流达到异常值(超过容许值),则瞬时过电流保护动作,使逆变器停止运行。当整流器的输出电流达到异常值时,也同样使逆变器停止运行。

② 过载保护。在逆变器的输出电流超过额定值且电流持续时间达到规定值以上时,为了防止逆变器的开关器件损坏,过载保护动作,使逆变器停止运行。过载保护需要具有反时限特性,可采用热继电器或者电子热保护(由电子电路构成)。

③ 再生过电压保护。在电动机快速减速时,再生功率将使变频器直流电路的电压升高,有时会超过容许值。这时可以采取使逆变器停止运行或停止快速减速的方法,防止变频器过电压。

④ 瞬时停电保护。对于数毫秒以内的瞬时停电,变频器的控制电路是可以正常工作的。但瞬时停电时间达 10ms 以上时,通常不仅控制电路会误动作,主电路也不能供电,所以变频器应设置瞬时停电保护,在发生瞬时停电后使变频器的逆变器停止运行。

⑤ 接地过电流保护。当逆变器负载接地时,为了保护逆变器,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。

⑥ 冷却风机异常保护。对于有冷却风机的变频器,当风机异常时变频器内的温度将升高,因此应采用风机热继电器或器件散热片温度传感器,检测出异常后使逆变器停止运行。

⑦ 失速过电流保护。变频调速系统在急速加速时,如果异步电动机跟踪迟缓,则过电流保护电路会动作,电动机就不能继续运转(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。对于恒速运转中的过电流,有时也进行同样的控制。

⑧ 失速再生过电压保护。变频调速系统在减速时产生的再生能量会使主电路的直流电压上升,为了防止再生过电压,在直流电压上升之前要进行控制,抑制频率下降,防止调速系统失速。

负载的保护功能如下。

① 过载保护。负载的过载检出单元与逆变器的过载保护电路共用，但考虑到变频调速系统中的电动机在低速运转时过热，在异步电动机内埋入温度传感器，或者利用装在逆变器内的电子热保护装置来检出电动机的过热状态。当电动机过载保护动作频繁时，可以考虑减轻电动机负载、增大电动机及变频器的容量等。

② 超额（超速）保护。变频器的输出频率或者变频调速系统的电动机的转速超过规定值时，超额（超速）保护动作，使变频器停止运行。

1.2 变频器的控制方式

1.2.1 变频器控制方式的分类及其合理选用

1. 变频器控制方式的分类

在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。低压通用变频器的输出电压为 380~650V，输出功率为 0.75~400kW，工作频率为 0~400Hz，它的主电路都采用交—直—交电路，其控制方式如下。

(1) $U/F=C$ 的正弦脉宽调制 (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。 U/F 控制变频器的结构非常简单，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。

$U/F=C$ 的正弦脉宽调制控制方式的特点是：控制电路结构简单，成本较低，机械特性的硬度也较好，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，受定子电阻压降的影响比较显著，故造成最大输出转矩减小。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，以 $U/F=C$ 控制的系统性能不好，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使性能下降，系统的稳定性变差等。

(2) 矢量控制（磁场定向法）

20 世纪 70 年代西门子公司工程师 F. Blaschke 首先提出异步电动机矢量控制理论来解决交流电动机转矩控制问题。矢量控制（又称 VC 控制）变频调速的做法是：将异步电动机在三相坐标系中的定子交流电流 I_a 、 I_b 、 I_c 通过三相—二相变换，等效成两相静止坐标系中的交流电流 I_{a1} 、 I_{b1} ，再通过转子磁场定向旋转变换，等效成同步旋转坐标系中的直流电流 I_{m1} 、 I_{t1} （ I_{m1} 相当于直流电动机的励磁电流， I_{t1} 相当于直流电动机中与转矩成正比的电枢电流），然后模仿直流电动机的控制方法，求得直流电动机的控制量，经过相应的坐标反变换，实现对异步电动机的控制。

矢量控制的实质是将交流电动机等效为直流电动机，分别对速度和磁场两个分量进行独立控制。通过控制转子磁链及转子磁通定向，然后分解定子电流而获得转矩和磁场两个分量，经坐标变换实现正交或解耦控制。矢量控制方法的提出具有划时代的意义。

然而在实际应用中，由于转子磁链难以准确观测，系统特性受电动机参数的影响较大，且在等效直流电动机控制过程中所用的矢量旋转变换较复杂，实际的控制效果难以达到理想分析的结果。

矢量控制方式有基于转差频率控制的矢量控制方式、无速度传感器的矢量控制方式和有速度传感器的矢量控制方式等。基于转差频率的矢量控制方式与转差频率控制方式的主要区别是：基于转差频率的矢量控制还要经过坐标变换对电动机定子电流的相位进行控制，使之满足一定的条件，以消除转矩电流过渡过程中的波动。因此，基于转差频率的矢量控制方式比转差频率控制方式在输出特性方面能得到很大的改善。但是，这种控制方式属于闭环控制方式，需要在电动机上安装速度传感器，因此，应用范围受到限制。

无速度传感器的矢量控制是通过坐标变换处理，分别对励磁电流和转矩电流进行控制，然后通过控制电动机定子绕组上的电压、电流辨识转速，以达到控制励磁电流和转矩电流的目的。这种控制方式调速范围宽，启动转矩大，工作可靠，操作方便，但计算比较复杂，一般需要专门的处理器来进行计算，因此，实时性不是太理想，控制精度受到计算精度的影响。

采用矢量控制方式的通用变频器不仅可在调速范围上与直流电动机相匹配，而且可以控制异步电动机产生的转矩。由于矢量控制方式所依据的是准确的被控异步电动机的参数，有的通用变频器在使用时需要准确地输入异步电动机的参数，有的通用变频器需要使用速度传感器和编码器。目前新型矢量控制通用变频器中已经具备异步电动机参数自动检测、自动辨识、自适应功能，带有这种功能的通用变频器在驱动异步电动机进行正常运转之前可以自动地对异步电动机的参数进行辨识，并根据辨识结果调整控制算法中的有关参数，从而对普通的异步电动机进行有效的矢量控制。

(3) 直接转矩控制 (DTC 控制)

德国的 Depenbrock 教授于 1985 年提出直接转矩控制方式，其思路是把电动机和逆变器看成一个整体，采用空间电压矢量分析方法在定子坐标系中进行磁通、转矩计算，通过跟踪 PWM 逆变器的开关状态直接控制转矩。因此，无须对定子电流进行解耦，免去了矢量变换的复杂计算，控制结构简单。该技术在很大程度上解决了矢量控制的不足，并以新颖的控制思想、简洁明了的系统结构、优良的动/静态性能得到了迅速发展。目前，该技术已成功地应用在电力机车牵引的大功率交流传动上。

直接转矩控制技术是利用空间矢量、定子磁场定向的分析方法，直接在定子坐标系中分析异步电动机的数学模型，计算与控制异步电动机的磁链和转矩，采用离散的两点式调节器 (Band-Band 控制)，把转矩检测值与转矩给定值作比较，将转矩波动限制在一定的容差范围内 (容差的大小由频率调节器来控制) 并产生脉宽调制信号，直接对逆变器的开关状态进行控制，以获得高动态性能的转矩输出。它的控制效果不取决于异步电动机的数学模型是否能够简化，而是取决于转矩的实际状况，它不需要对交流电动机与直流电动机进行比较、等效、转化，即不需要模仿直流电动机的控制。由于它省掉了矢量变换方式的坐标变换与计算和为解耦而简化异步电动机的数学模型，没有通常的脉宽调制信号发生器，所以它的控制结构简单，控制信号处理的物理概念明确，系统的转矩响应迅速且无超调，是一种具有高静、动态性能的交流调速控制方式。即使在开环的状态下，也能输出 100% 的额定转矩，对于多拖动