

简单轻松学技能丛书

其实学习知识可以很简单
其实练习技能可以很轻松



韩雪涛 主编
韩广兴 吴瑛 副主编

简单轻松

学

变频器与变频电路



愉快的学习历程



细致的图解演示 精彩的案例指导



轻松的语言表达 直白的情境对话



真实的场景再现 丰富的图解效果



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

简单轻松学技能丛书

简单轻松学

变频器与变频电路

韩雪涛 主 编

韩广兴 吴 瑛 副主编



机械工业出版社

本书从初学者的学习目的出发,将变频器与变频电路的行业标准和从业要求融入到图书的架构体系中。同时,本书注重知识的循序渐进,注重情景课堂式的口语化和可读性,并在整个编写架构上做了全新的调整,以适应读者的学习习惯和学习特点,将变频器与变频电路的技能划分成如下8个教学模块:第1章“变频”!什么意思;第2章,变频器是什么东西;第3章,认识一些变频电路中的主要部件;第4章,轻松搞定变频器的安装和连接;第5章,轻松搞定变频器的使用和调试;第6章,轻松搞定变频器的检测与代换;第7章,通过案例搞清楚制冷设备中的变频电路;第8章,通过案例搞清楚工业设备中的变频电路。

本书可作为电工电子专业技能培训的辅导教材,以及各职业技术学院电工电子专业的实训教材,也适合从事电工电子行业生产、调试、维修的技术人员和业余爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

简单轻松学变频器与变频电路/韩雪涛主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 2

(简单轻松学技能丛书)

ISBN 978-7-111-45259-1

I. ①简… II. ①韩… III. ①变频器—基本知识 IV. ①TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第310680号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:赵任

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:路恩中 责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·484千字

0001-4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-45259-1

定价:44.90元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



前言

近几年，随着电工电子技术的发展，电工电子市场空前繁荣，各种新型、智能的家用电子产品不断融入到人们的学习、生产和生活中。产品的丰富无疑带动了整个电工电子产品的生产制造、调试维修等行业的发展，具备专业电工电子维修技能的专业技术人员越来越受到市场的青睐和社会的认可，越来越多的人希望从事电工电子维修的相关工作。

在电工电子产品的安装、调试、维修的各个领域中，掌握变频器与变频电路是非常重要的实用操作技能。随着社会现代化和智能化进程的加剧，该项技能被越来越多的学习者所重视，越来越多的人希望掌握变频器与变频电路，并凭借该技能实现就业或为自己的职业生涯提供更多的机会和选择。

因此，纵观整个电子电工图书市场，与变频器和变频电路有关的图书是近些年各个出版机构关注的重点，同时也被越来越多的读者所关注；加之该项技能与社会岗位需求紧密相关，技术的更新、行业竞争的加剧，都对变频器与变频电路的学习提出了更多的要求。变频器与变频电路的图书每年都有很多新的品种推出，对于我们而言，从2005年至今，有关变频器与变频电路方面的选题也就从不曾间断，这充分说明了这项技能的受众群体巨大。同时，这项技能作为一项非常重要的基础技能，会随着整个产业链条的发展而发展，随着市场的更新而更新。

我们作为专业的技能培训鉴定和咨询机构，每天都会接到很多读者的来信和来电。他们在对我们出版的有关变频器与变频电路内容的图书表示认可的同时，也对我们提出了更多的希望和要求，并提出了很多针对实际工作现状的图书改进方案。我们对这些意见进行归纳汇总，并结合当前市场的培训就业特点，精心组织编写了这套《简单轻松学技能丛书》，希望通过机械工业出版社出版这套重点图书的契机，再创精品。

本书根据目前的国家考核标准和岗位需求，将变频器与变频电路的学习进行重组，完全从初学者的角度出发，将学习技能作为核心内容、将岗位需求作为目标导向，将近一段时间收集整理的包含变频器与变频电路的案例和资料进行筛选整理，充分发挥图解的优势，为本书增添更多新的素材和实用内容。

为确保本书的知识内容能够直接指导实际工作和就业，本书在内容的选取上从实际岗位需求的角度出发，将国家职业技能鉴定和数码维修工程师的考核认证标准融入到本书的各个知识点和技能点中，所有的知识技能在满足实际工作需要的同时，也完全符合国家职业技能和数码维修工程师相关专业的考核规范。读者通过学习不仅可以掌握电工电子的专业知识技能，同时还可以申报相应的国家工程师资格或国家职业资格的认证，以争取获得国家统一的专业资格证书，真正实现知识技能与人生职业规划的巧妙融合。

本书在编写内容和编写形式上做了较大的调整和突破，强调技能学习的实用性、便捷性和时效性。在内容的选取方面，本书也下了很大的工夫，结合国家职业资格认证、数码维修工程师考核认证的专业考核规范，对电工电子行业需要的相关技能进行整理，并将其融入到实际的应用案例中，力求让读者能够学到有用的东西，能够学以致用。另外，本书在表现形式方面也更加



多样,将“图解”、“图表”、“图注”等多种表现形式融入到知识技能的讲解中,使之更加生动形象。

此外,本书在语言表达上做了大胆的突破和尝试:从目录开始,章节的标题就采用更加直接、更加口语化的表述方式,让读者一看就能明白所要表达的内容是什么;书中的文字表述也是力求更加口语化,更加简洁明确。在此基础上,与书中众多模块的配合,本书营造出一种情景课堂的学习氛围,充分调动读者的学习兴趣,确保在最短时间内完成知识技能的飞速提升,使读者学习兴趣和学习效果都大大提升。同时在语言文字和图形符号方面,本书尽量与广大读者的行业用语习惯贴近,而非机械地向有关标准看齐,这点请广大读者注意。

本书由韩雪涛任主编,韩广兴、吴瑛任副主编,参与编写的人员还有张丽梅、宋永欣、梁明、宋明芳、孙涛、马楠、韩菲、张湘萍、吴鹏飞、韩雪冬、吴玮、高瑞征、吴惠英、周文静、王新霞、孙承满、周洋、马敬宇等。

另外,本书得到了数码维修工程师鉴定指导中心的大力支持。为了更好地满足广大读者的需求,以达到最佳的学习效果,本书读者除可获得免费的专业技术咨询外,每本图书都附赠价值50积分的数码维修工程师远程培训基金(培训基金以“学习卡”的形式提供),读者可凭借此卡登录数码维修工程师的官方网站(www.chinadse.org)获得超值技术服务。网站提供有最新的行业信息,大量的视频教学资源、图纸手册等学习资料,以及技术论坛等。读者凭借学习卡可随时了解最新的数码维修工程师考核培训信息;知晓电工电子领域的业界动态;实现远程在线视频学习;下载需要的图纸、技术手册等学习资料。此外,读者还可通过网站的技术交流平台进行技术交流与咨询。

读者通过学习与实践后,还可报名参加相关资质的国家职业资格或工程师资格认证,通过考核后可获得相应等级的国家职业资格或数码维修工程师资格证书。如果读者在学习和考核认证方面有什么问题,可通过以下方式与我们联系。

数码维修工程师鉴定指导中心

网 址: <http://www.chinadse.org>

联系电话: 022-83718162/83715667/13114807267

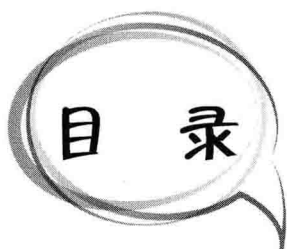
E - mail: chinadse@163.com

地 址: 天津市南开区榕苑路4号天发科技园8-1-401

邮 编: 300384

编 者

2014年春



前言

第1章 “变频”！什么意思？	1
1.1 “变频”是怎么回事	1
1.1.1 为什么会有“变频”	1
1.1.2 “变频电路”中有什么	4
1.1.3 “变频”是怎么实现的	18
1.2 我们身边的“变频”案例	28
1.2.1 在家用电器中找“变频”	28
1.2.2 在工业生产中找“变频”	30
第2章 变频器是什么东西	34
2.1 变频器是干什么的	34
2.1.1 看一看变频器里有什么	34
2.1.2 看一看变频器的种类有哪些	43
2.1.3 看一看变频器能干什么	50
2.2 见识一下不同的变频器	57
2.2.1 富士变频器	58
2.2.2 施耐德变频器	64
第3章 认识一些变频电路中的主要部件	72
3.1 认识变频电路中的晶闸管	72
3.1.1 认识一下单向晶闸管	72
3.1.2 认识一下双向晶闸管	75
3.1.3 认识一下门极关断晶闸管	77
3.1.4 认识一下MOS控制晶闸管	79
3.2 认识变频电路中的场效应晶体管	80
3.2.1 认识一下结型场效应晶体管	80
3.2.2 认识一下绝缘栅场效应晶体管	82
3.3 认识变频电路中的其他功率器件	84
3.3.1 认识一下绝缘栅双极型晶体管	84
3.3.2 认识一下耐高压绝缘栅双极型晶体管	86
3.3.3 认识一下功率模块	86



第4章 轻松搞定变频器的安装和连接	90
4.1 轻松搞定变频器的安装	90
4.1.1 变频器的安装环境	90
4.1.2 变频器控制柜的通风	94
4.1.3 变频器的避雷	97
4.1.4 变频器的安装空间	98
4.1.5 变频器的安装方向	98
4.1.6 两台变频器的安装排列方式	98
4.1.7 变频器的安装固定	100
4.2 轻松搞定变频器的连接	102
4.2.1 变频器的布线	102
4.2.2 动力线的类型和连接长度	104
4.2.3 变频器的接地	104
4.2.4 屏蔽线接地	106
4.2.5 变频器接线前的准备	107
4.2.6 变频器主电路的接线	115
4.2.7 变频器控制电路的接线	122
第5章 轻松搞定变频器的使用和调试	126
5.1 轻松搞定变频器的使用	126
5.1.1 了解如何使用变频器操作显示面板	126
5.1.2 正确使用变频器操作显示面板的练习	138
5.2 轻松搞定变频器的调试	146
5.2.1 操作显示面板直接调试训练	147
5.2.2 输入端子控制调试训练	153
5.2.3 综合调试训练	155
第6章 轻松搞定变频器的检测与代换	159
6.1 轻松搞定变频器的检测	159
6.1.1 了解变频器的常见故障表现及原因	159
6.1.2 知晓变频器操作面板显示的故障代码	165
6.1.3 掌握变频器的检测方法	175
6.1.4 开始变频器的检测训练	176
6.2 轻松搞定变频器的代换	191
6.2.1 变频器元件代换的练习	191
6.2.2 变频器代换的练习	193
第7章 通过案例搞清楚制冷设备中的变频电路	195
7.1 在典型制冷设备中找到变频电路	195
7.1.1 搞清楚变频电路与制冷设备系统的关系	195



7.1.2	搞清楚制冷设备中变频电路的作用是什么	198
7.2	变频电路在制冷设备中是如何工作的	200
7.2.1	看一下制冷设备中变频电路的结构	201
7.2.2	搞清楚制冷设备中变频电路的控制过程	209
7.3	看懂制冷设备中的变频电路需要练习	214
7.3.1	练习搞懂海信 KFR—4539 (5039) LW/BP 型变频空调器中的变频电路	214
7.3.2	练习搞懂海信 KFR—25GW/06BP 型变频空调器中的变频电路	218
7.3.3	练习搞懂海信 KFR—26G/77ZBP 型变频空调器中的变频电路	220
7.3.4	练习搞懂中央空调中的变频电路	224
7.3.5	练习搞懂海尔 BCD—228WB A 型变频电冰箱中的变频电路	229
7.3.6	练习搞懂海尔 BCD—316WS LA/318WS L 型变频电冰箱中的变频电路	230
7.3.7	练习搞懂长虹 KFR—28GW/BC3 型变频空调器中的变频电路	230
7.3.8	练习搞懂海信 KFR—5001LW/BP 型变频空调器中的变频电路	230
第8章	通过案例搞清楚工业设备中的变频电路	235
8.1	在典型电动机变频控制系统中找到变频电路	235
8.1.1	搞清楚变频电路与电动机变频控制系统的关系	235
8.1.2	搞清楚变频电动机控制系统中变频电路的作用是什么	238
8.2	变频电路在电动机变频控制系统中是如何工作的	241
8.2.1	看一下电动机变频控制系统中变频电路的控制方式	241
8.2.2	搞清楚电动机变频控制系统中变频电路的控制过程	242
8.3	看懂电动机变频控制系统中的变频电路需要练习	246
8.3.1	练习搞懂“单水泵恒压供水变频控制电路”	246
8.3.2	练习搞懂“由两台水泵进行恒压供水的变频控制电路”	251
8.3.3	练习搞懂“工业拉线机的变频控制电路”	258
8.3.4	练习搞懂“变压器绕组绕线机的变频控制电路”	264
8.3.5	练习搞懂“多台并联电动机由一台变频器控制的正反转变频控制电路”	267
8.3.6	练习搞懂“多台电动机由多台变频器分别控制的变频控制电路”	271

“变频”！ 什么意思？



现在，开始进入第1章学习。本章我们要搞清楚“变频”的概念。首先，我们从电动机控制线路的基本模型开始，对控制线路和控制方式的发展及控制关系进行比对，探究“变频”的由来；然后，通过对变频电路结构工作原理和控制方式的解析，让大家明白变频的作用和意义；最后，我们还将带领大家从我们的身边找寻“变频”应用案例，看一看在日常生活和生产中有哪些电气产品或电气控制系统应用了变频技术。希望通过这些变频技术的实际应用案例，让大家对变频这个概念有更形象、深刻的了解和体会。

1.1 “变频”是怎么回事



“变频”就是改变电源频率，即将固定的 50Hz 工频电源改为 0 ~ 500Hz 变化频率的电源，其目的就是通过控制供电频率来实现电动机运转速度的调节。

1.1.1 为什么会有“变频”



“变频”是相对于“定频”而言的，“变频”的出现和发展也是建立在“定频”基础上的，可以说它是生产技术发展的产物，是一种能够满足更高需求的“技术”。下面，我们就首先了解一下“变频”出现的实际意义。

众所周知，在传统的电动机控制系统中，电动机采用定频控制方式，即用频率为 50Hz 的交流 220V 或 380V 电源（工频电源）直接去驱动电动机，如图 1-1 所示。

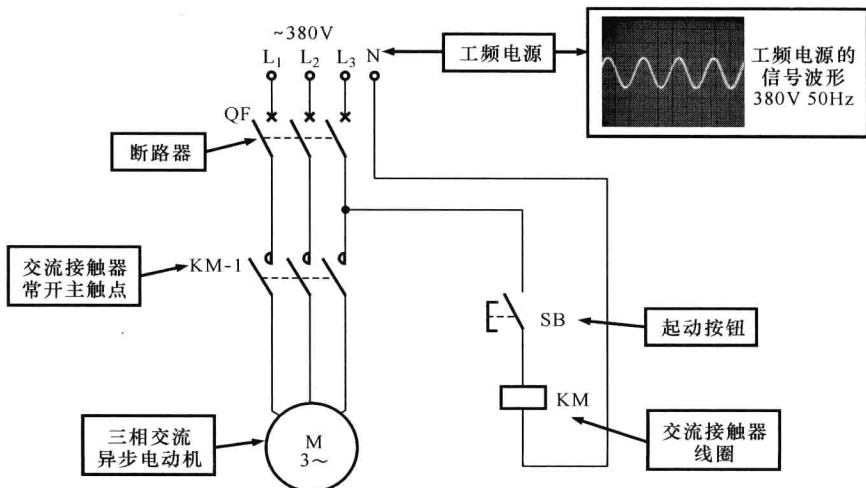


图 1-1 简单的电动机定频控制原理图



这种控制方式中，当合上断路器 QF 时，接通三相电源；按下起动按钮 SB，交流接触器 KM 线圈得电，常开主触点 KM-1 闭合，电动机起动并在频率 50Hz 电源下全速运转，如图 1-2 所示。

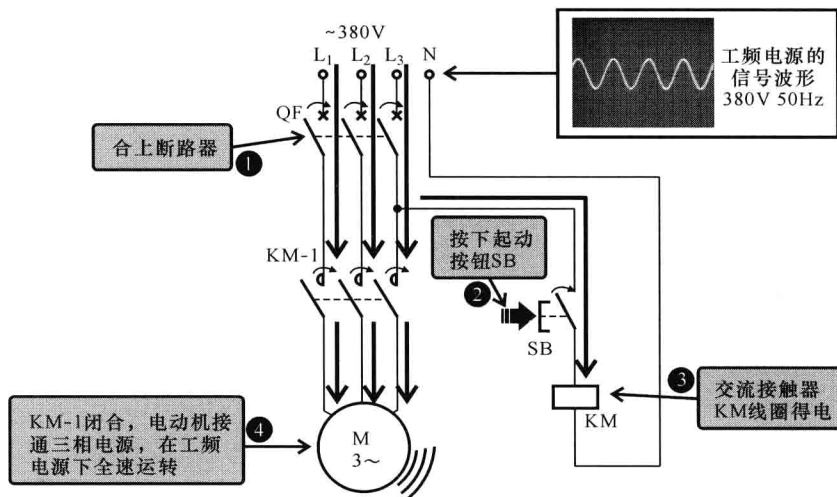


图 1-2 电动机的定频控制过程

当需要电动机停止运转时，松开按钮 SB，接触器线圈失电，其主触点复位断开，电动机绕组失电，电动机停止运转。在这一过程中，电动机的旋转速度不变，只是在供电电路通与断两种状态下，实现起动与停止。

综上所述可以看到，电源直接为电动机供电，在起动运转开始时，电动机要克服其转子的惯性，从而使得电动机绕组中会产生很大的起动电流（约是运行电流的 6~7 倍）。若频繁起动，势必会造成无谓的耗电，使效率降低，还会因起停时的冲击过大，对电网、电动机、负载设备以及整个拖动系统造成很大的冲击，从而增加维修成本。

另外，由于该方式中电源频率是恒定的，因此电动机的转速是不变的。若要满足变速的需求，就需要增加附加的减速或升速机构（变速齿轮箱等），这样不仅增加了设备成本，还增加了能源的消耗。在很多传统的设备中以及普通家用空调器、电冰箱等大都采用了定频控制方式，不利于节能环保。

为了克服上述定频控制中的缺点，提高效率，电气技术人员研发出了通过改变电动机供电频率的方式来达到控制电动机转速的目的，这就是变频技术的“初衷”。图 1-3 为电动机的变频控制简单原理示意图。

变频技术逐渐发展并得到了广泛应用，即采用变频的驱动方式驱动电动机可以实现宽范围的转速控制，还可以大大提高效率，具有环保节能的特点。

在上述电路中改变电源频率的电路即为变频电路。由图 1-3 可以看到，采用变频控制的电动机驱动电路中，恒压恒频的工频电源经变频电路后变成电压、频率都可调的驱动电源，使得电动机绕组中的电流呈线性上升，起动电流小且对电气设备的冲击也降到最低。

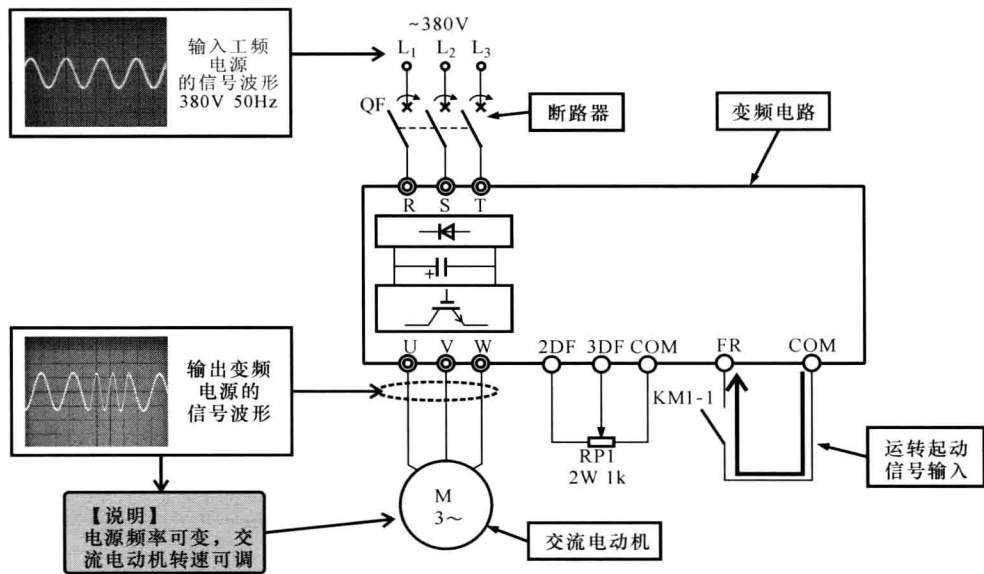


图 1-3 电动机的变频控制简单原理示意图

提问

工频电源这个词以前没有听说过，什么是工频电源呢？



工频电源是指工业上用的交流电源，单位为赫兹（Hz）。不同国家、地区的电力工业标准频率各不相同：中国电力工业的标准频率定为 50Hz，有些国家或地区（如美国等）则定为 60Hz。

回答

【资料】

定频与变频两种控制方式中，关键的区别在于控制电路输出交流电压的频率是否可变。图 1-4 为定频控制与变频控制中输出电压的波形图。

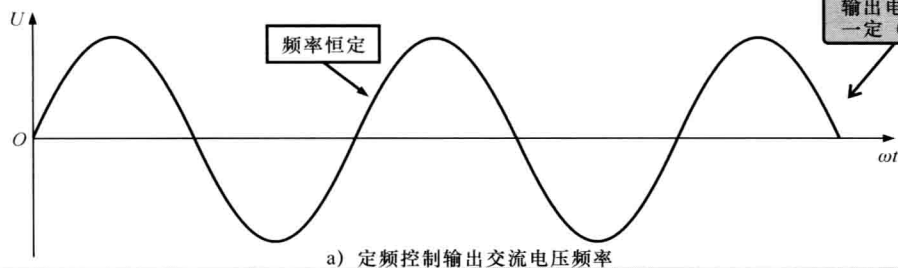
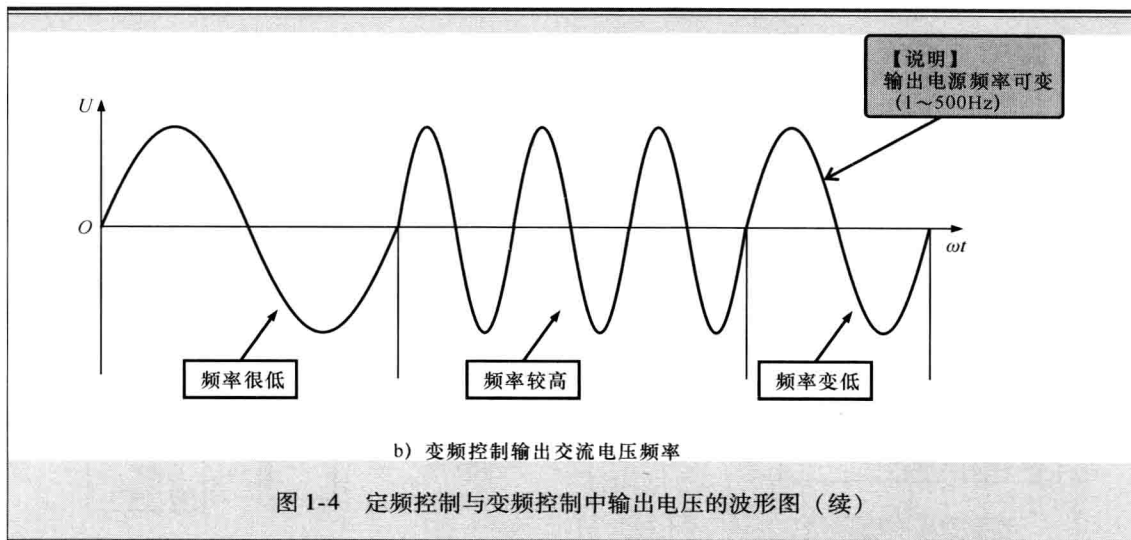


图 1-4 定频控制与变频控制中输出电压的波形图



1.1.2 “变频电路”中有什么



现在我们知道，“变频”主要是由变频电路来完成的。那么在了解“变频”过程之前，我们有必要先来了解一下变频电路的结构，看一看变频电路中都有什么。

变频驱动电路的结构如图 1-5 所示。可见，它主要是由整流电路（交流变直流的电路）、中间电路（控制直流电压的电路）、逆变电路（直流变交流的电路）以及变频控制电路等构成的。变频控制电路通常由微处理器和 PWM 变频驱动电路组成，它所产生的 PWM 脉冲再去控制逆变电路。

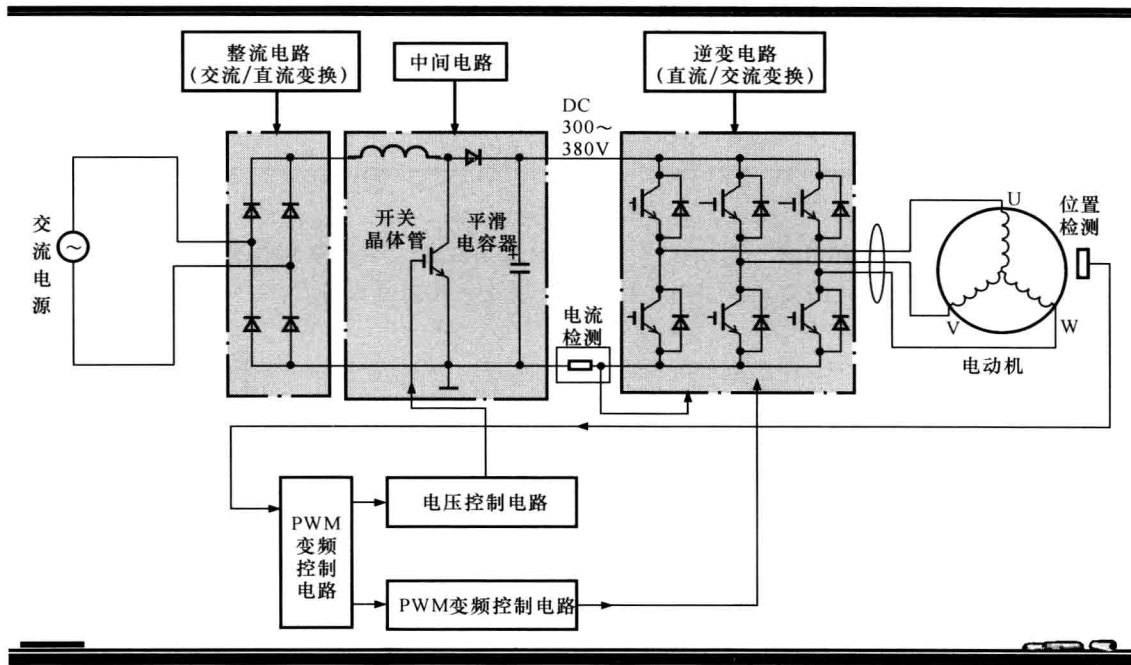


图 1-5 变频驱动电路的结构



1. 变频电路中的整流电路

整流电路的作用就是将交流转变成直流。变频电路中的整流电路主要有不可控整流电路和可控整流电路两种。



【资料】

图1-6所示为整流电路的工作原理。交流是电流交替变化的电流，如水流推动水车一样，交变的水流会使水车正向、反向交替运转，如图1-6a所示。在水流的通道中设一闸门，正向水流时闸门打开，水流推动水车运转。当水流反向流动时闸门自动关闭，如图1-6b所示。水不能反向流动，水车也不会反转。这样的系统中水只能正向流动，这就是整流的功能。

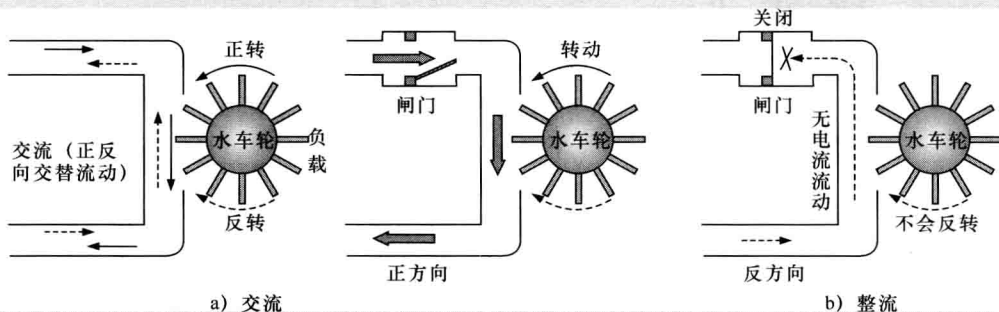


图1-6 整流电路的工作原理

(1) 不可控整流电路

不可控整流电路是以具有单向导电特性的二极管或桥式整流堆作为整流器件，将交流电压变成单向脉动电压的电路。常见的不可控整流电路有半波整流电路、全波整流电路和桥式整流电路等。

① 单相半波整流电路。图1-7所示为单相半波整流电路。

图1-7b所示电路是具有纯电阻负载的半波整流电路。图中 T_r 为电源变压器，VD 为整流二极管， R_L 为所需直流电源的负载。

在变压器次级电压（即二次电压） U_2 为正（极性如图1-7c所示）的半个周期（称正半周）内，二极管正向偏置导通。电流经过二极管流向负载，在 R_L 上得到一个极性为上正下负的电压（如图1-7b所示）。而在 U_2 为负半周时，二极管反向偏置，电流基本上等于零。所以在负载电阻 R_L 两端得到的电压极性也是单方向的，如图1-7c所示。



【资料】

单相半波整流电路的计算方法：

由于二极管的单向导电作用，使变压器次级（即二次侧）交流电压变换成负载两端的单向脉动电压，从而实现了整流。由于这种电路只在交流电压的半个周期内才有电流流过负载，故称半波整流。

在半波整流电路中，负载上得到的脉动电压是含有直流成分的。这个直流电压 U_0 等于半波电压在一个周期内的平均值，它等于变压器二次电压有效值 U_2 的45%，即

$$U_0 = 0.45 U_2$$

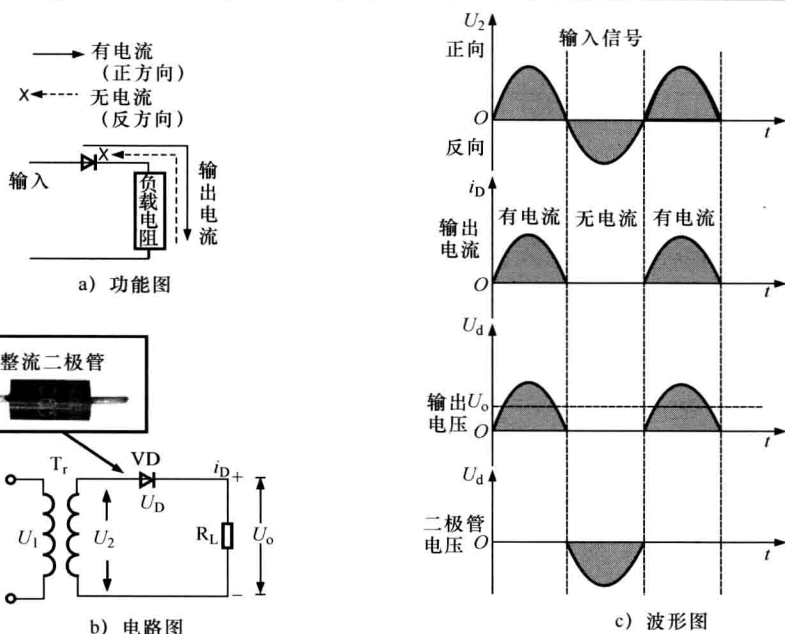


图 1-7 单相半波整流电路

② 单相全波整流电路。图 1-8 所示为单相全波整流电路。

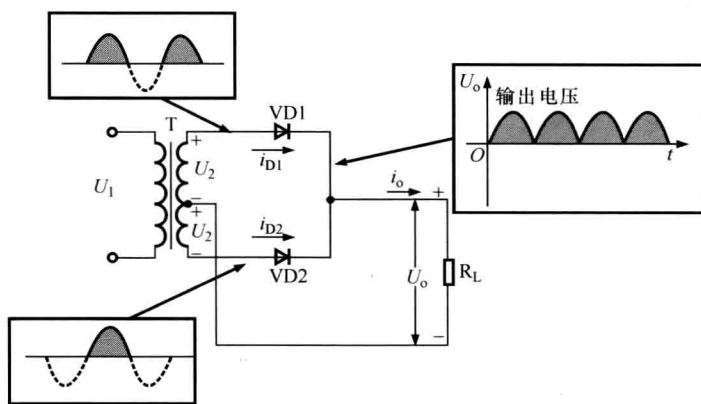


图 1-8 单相全波整流电路

全波整流电路是在半波整流电路的基础上加以改进而得到的。它是利用具有中心抽头的变压器与两个二极管配合，使 VD1 和 VD2 在正半周和负半周内轮流导通，而且两者流过 R_L 的电流保持同一方向，从而使正、负半周在负载上均有输出电压。



【资料】

图1-8所示的电路是具有纯电阻负载的全波整流原理电路。图中变压器T的二次电压大小相等，方向如图中所示。当 U_2 的极性为上正下负（即正半周）时，VD1导通，VD2截止， i_{D1} 流过 R_L ，在负载上得到的输出电压极性为上正下负；为负半周时， U_2 的极性与图示相反。此时VD1截止，VD2导通。由图可以看出， i_{D2} 流过 R_L 时产生的电压极性与正半周时相同，因此在负载 R_L 上便得到一个单方向的脉冲电压。图1-9显示出了全波整流电路各主要电流、电压波形，可见，负载上得到的电流、电压的脉动频率为电源频率的两倍，其直流成分也是半波整流时直流成分的两倍，即

$$U_o = 0.9 U_2$$

但是，在全波整流电路中，加在二极管上的反向峰值电压却增加了一倍。这是因为：在正半周时VD1导通，VD2截止，此时变压器二次侧两个绕组的电压全部加到二极管VD2的两端，因此二极管承受的反峰电压值为

$$U_{RM} = 2\sqrt{2}U_2$$

这就是说，全波整流电路对二极管的要求提高了。

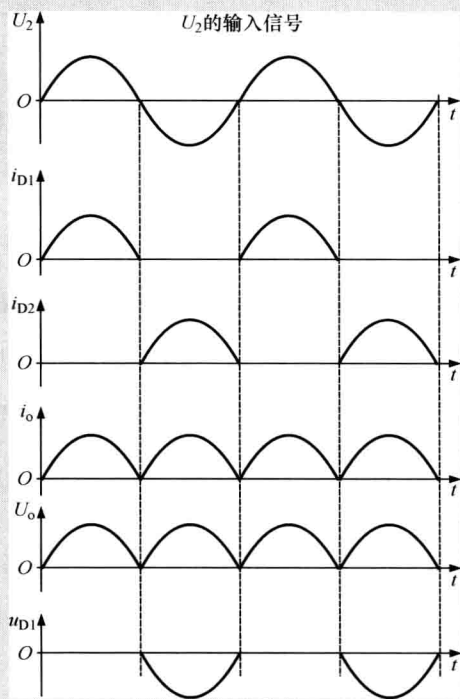


图1-9 全波整流电路波形

③ 单相桥式整流电路。图1-10所示为单相桥式整流电路工作原理。

桥式整流电路的整流原理如图1-10所示。当图1-10a中送来水的方向为上入（高压方）下出的情况时，图示的两个闸门打开，另两个闸门关闭，水流使水车正向旋转；而当送来水的方向变成下入（高压方）上出时，如图1-10b所示，原来打开的闸门关闭了，原来关闭的闸门打开了，推动水车转动的水的流向不变。这就是一个桥式闸门控制的水系，送入的水流是变化的，但送出的水流方向是恒定不变的。利用上述原理构成的桥式整流电路原理图如图1-10c所示，输入、输出波形如图1-10d所示。

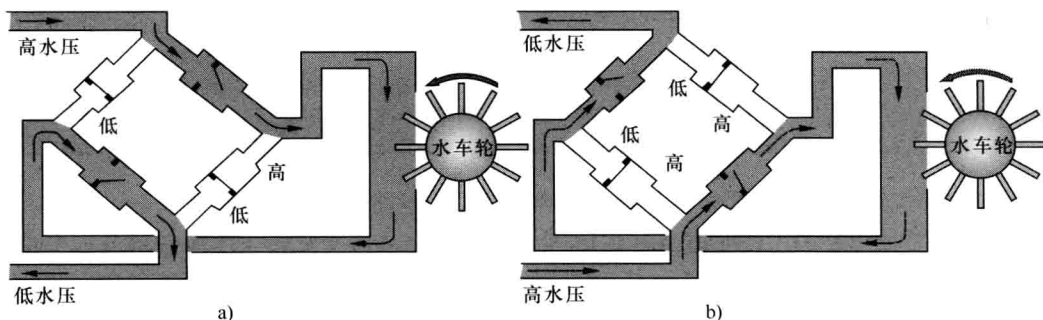


图1-10 单相桥式整流电路工作原理

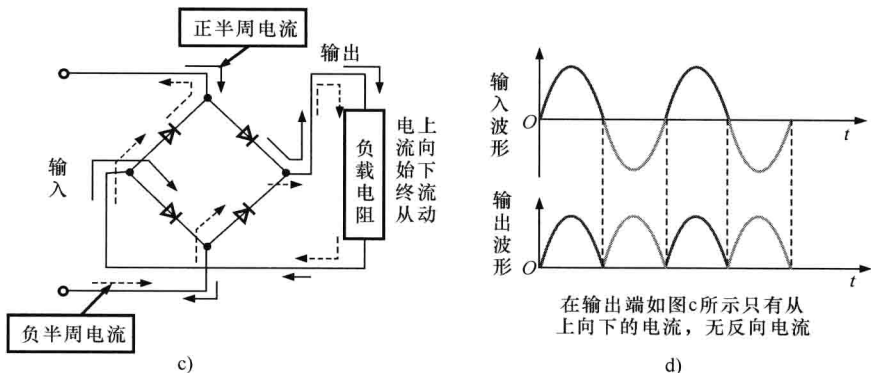


图 1-10 单相桥式整流电路工作原理 (续)



【资料】

图 1-11a 所示为典型桥式整流电路。整流过程中，四个二极管两两轮流导通，正负半周内都有电流流过 R_L 。例如，当 u_2 为正半周时（如图 1-11a 中所示极性），二极管 VD1 和 VD3 因加正向电压而导通，VD2 和 VD4 因加反向电压而截止，电流 i_1 （如图 1-11a 中实线所示）从变压器正端出发流经二极管 VD1、负载电阻 R_L 和二极管 VD3，最后流入变压器负端，并在负载 R_L 上产生电压降；反之，当 u_2 为负半周时，二极管 VD2、VD4 因加正向电压导通，而二极管 VD1 和 VD3 因加反向电压而截止，电流 i_2 （如图 1-11a 中虚线所示）流经 VD2、 R_L 和 VD4，并同样在 R_L 上产生电压降。由于 i_1 和 i_2 流过 R_L 的电流方向是一致的，所以 R_L 上的电压 u_o 为两者的和。桥式整流电路的几种主要波形与图 1-9 所示波形基本一样，因而其输出直流电压同样为 $U_o = 0.9 U_2$ 。而二极管反向峰值电压是全波整流电路的一半，即 $U_{RM} = 2\sqrt{2}U_2$ 。

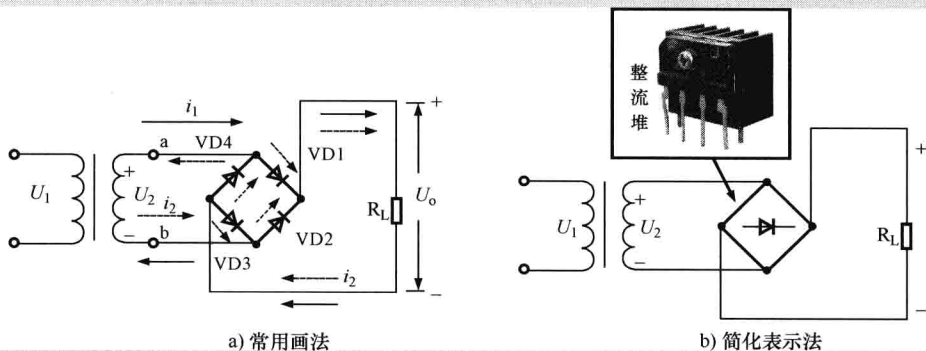


图 1-11 典型桥式整流电路

④ 三相桥式整流电路。图 1-12 所示为三相桥式整流电路。

三相桥式整流电路的工作原理如图 1-13 所示。可以将三相交流输入电源分解成三个单相整流电路的整流过程，分别如图 1-13a、b、c 所示。每一相整流与输出与单相桥式整流电路的工作状态相同，三相整流的效果为三相整流合成的效果。

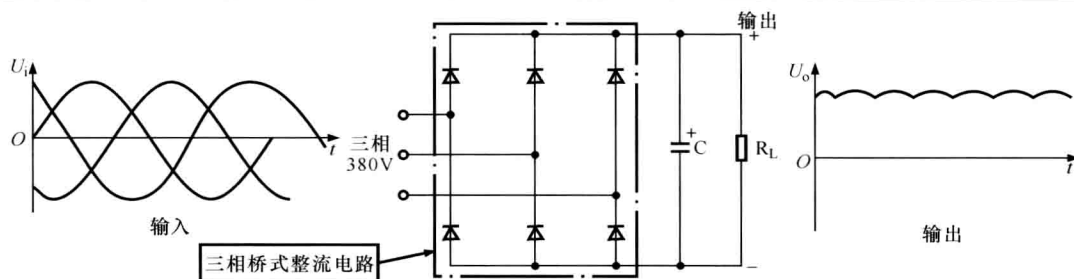


图 1-12 三相桥式整流电路

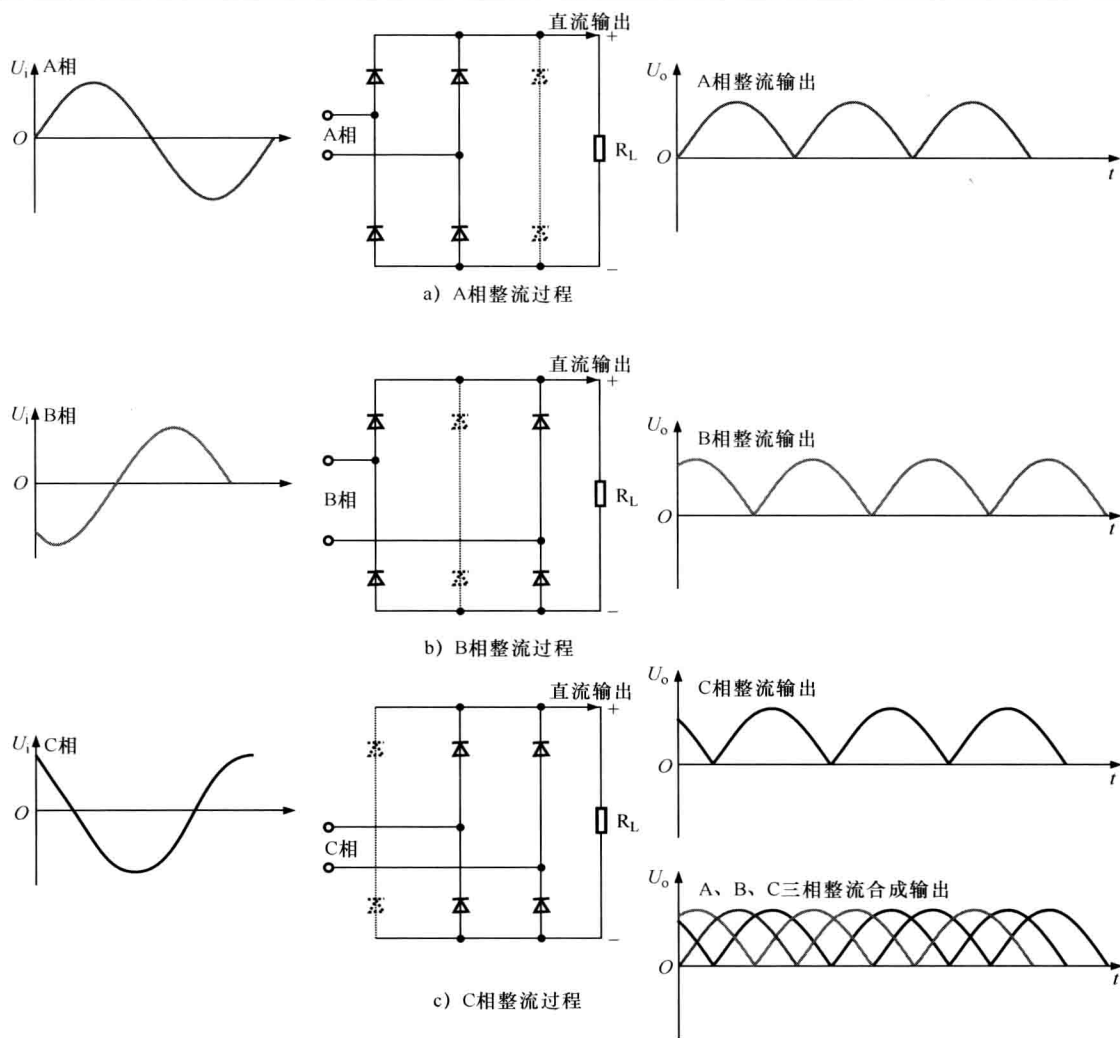


图 1-13 三相桥式整流电路的工作原理