

N

逆变理论与 弧焊逆变器

华南理工大学
惠州大学 黄石生 著

机械工业出版社

逆变理论与弧焊逆变器

华南理工大学
惠州大学

黄石生 著



机械工业出版社

(京)新登字054号

图书在版编目(CIP)数据

逆变理论与弧焊逆变器/黄石生著. -北京:机械工业出版社, 1995.5

ISBN 7-111-04653-6

I. 逆… II. 黄… III. ①逆变换-理论②弧焊-逆变器
IV. ①TM464②TG434

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第00833号

出版人 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:董连仁 版式设计:杨丽华 责任校对:罗莉华
封面设计:郭景云 责任印制:侯新民
北京市怀柔燕文印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1995年5月第1版·1995年5月第1次印刷
787mm×1092mm^{1/16}, 15^{1/4}印张 373千字
0 001—2 600册
定价:14.50元

前 言

本书是以本人多年来从事逆变器、弧焊逆变器的机理研究与应用的成果为主要内容,较全面、系统和深入地论述了逆变理论及其主要器件,弧焊逆变器基本原理、电气性能对焊接电弧的适应性;对晶闸管式、晶体管式、场效应晶体管式和绝缘栅双极型晶体管(IGBT)式弧焊逆变器的原理、结构、特点、性能及应用进行了研讨;介绍了弧焊逆变器的设计原则、CAD、微机及智能控制,并对逆变的关键技术问题作较深入的探讨。

本书可作为高校、研究所及工厂中从事逆变器研究设计与生产的科技人员实用参考资料,也可作为研究生、本科生及成人高等教育的教学参考书。

本人为华南理工大学、惠州大学的教授博士导师。在撰写与出版过程中,得到各方专家、研究生及有关人员的支持和帮助,在此谨致以衷心感谢。

限于本人的水平和经验,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

1994年8月

主要符号说明

I_f 焊接电流	T 变压器
U_f 电弧电压	L 电抗器、电感
U_0 空载电压	VL 光耦合器
f 频率	M 电压、电流检测电路, 电动机
η 效率	G 给定电压电路
P 功率	N 运算放大器
$\cos\varphi$ 功率因数	VT 晶闸管
U_K 控制电压	V 晶体管
U_g 给定电压	VF 场效应晶体管
I_g 给定电流	VD 二极管
U_{FK}, mU_f 反馈电压	VS 稳压二极管
I_{FK}, nI_f 反馈电流	UR 整流器
U_d 直流电源电压	Q 开关
U_A 直流电压	SB 按钮
FS 负载持续率	RP 电位器
i 电流瞬时值	C 电容器
u 电压瞬时值	W 绕组
U_{DRM} 晶闸管断态重复峰值电压	UI 逆变器
U_{RRM} 晶闸管反向重复峰值电压	RS 分流器
U_{RSM} 晶闸管反向不重复峰值电压	U_{BBO} 集电极开路时E-B极最大电压
U_{TM} 晶闸管通态峰值电压	I_c 集电极最大电流
I_H 晶闸管维持电流	P_c 集电极允许的最大功耗
I_L 晶闸管擎住电流	I_B 基极电流
I_{DRM} 晶闸管断态重复峰值电流	I_{CEX} C-E极加上规定电压时的漏电流
I_{TSM} 晶闸管浪涌电流	I_{EBO} C极断开时最大漏电流
I_{GT} 晶闸管门极触发电流	U_{CES} 集-发饱和电压
U_{GT} 晶闸管门极触发电压	U_{BES} 基-发饱和电压
T_{IM} 晶闸管额定结温	f_m 最大工作频率
$U_{CBX(sus)}$ 晶闸管一定的集电极电流时 最大保持电压	t_{ON} 导通时间
U_{CEX} 晶闸管B-E间加规定的反向偏 置时C-E极最大电压	SOA 场效应晶体管安全工作区
U_{CB0} 晶闸管发射极开路时C-B极的 最大电压	U_{SM} 最大反向电压
	U_F 正向压降
	t_{rr} 反向恢复时间

目 录

前 言

主要符号说明

绪 论	1
第一章 逆变原理与关键器件	5
第一节 逆变技术概述	5
第二节 关键器件	9
第三节 晶闸管类逆变器基本原理	43
第四节 晶体管类逆变器基本原理	54
第二章 焊接电弧及其对弧焊逆变器的基本要求	66
第一节 焊接电弧的电特性	66
第二节 对弧焊逆变器的基本要求	70
第三章 弧焊逆变器的基本原理	81
第一节 概述	81
第二节 弧焊逆变器的基本原理	83
第三节 弧焊逆变器的控制驱动及辅助电路	89
第四章 晶闸管式弧焊逆变器	102
第一节 概述	102
第二节 逆变主电路工作原理	107
第三节 触发控制电路原理	116
第四节 外特性、动特性及波形控制	121
第五章 晶体管式弧焊逆变器	126
第一节 概述	126
第二节 逆变主电路原理分析	128
第三节 驱动控制电路	142
第四节 典型电路及产品简介	146
第六章 MOSFET式和IGBT式弧焊逆变器	151
第一节 概述	151
第二节 逆变主电路工作原理	155
第三节 MOSFET式和IGBT 式逆变驱动电路	161
第四节 产品介绍	169
第七章 弧焊逆变器的微机控制	175
第一节 弧焊逆变器的8031单片机控制	175
第二节 机器人用弧焊逆变器的智能控制	185
第三节 弧焊逆变器用神经网络技术的焊缝质量控制	194
第八章 弧焊逆变器的设计原则与关键技术	198

第一节	弧焊逆变器的性能和调节参数	198
第二节	弧焊逆变器的设计原则	200
第三节	弧焊逆变器设计与制造的关键技术	208
第九章	弧焊逆变器的CAD设计及仿真	213
第一节	弧焊电源仿真中的元器件模型	213
第二节	弧焊逆变器计算机仿真分析	217
第三节	SPICE通用电路模拟程序的应用	219
附 录	226
附录A	弧焊逆变器产品介绍	226
附录B	功率元器件产品介绍	230
主要参考文献	236

绪 论

电力电子技术及电力半导体器件的发展推动了各种工业技术的发展,同时也促进逆变理论与应用研究的深化,加速变流器、变频器、电力逆变器、稳压与不间断电源及弧焊逆变器的开发,使电力、弧焊电源进入“革命的时代”,并给它们带来了新的希望和更强大的生命力。

一、逆变的基本概念

在生产实践中,例如直流可逆的电力拖动系统,需要利用电力电子电路把直流电转变成交流电,这种对应于整流的逆向过程,人们就定义为逆变。

又如变频调速的电动机,也需要借助这种逆变过程来改变驱动电路的工作频率,以实现速度的调节。

借助逆变过程,既可以使交流电频率降低,也可以使其升高。在实际应用中,需要变压器来变换输出电压值的整流式电力电源、弧焊电源,正好需要通过变频把频率提高到大于或远大于50Hz或60Hz的中高频,从而使主变压器的重量、体积、材料减少或大大减少,效率相应提高。

把直流电转换成交流电的电路,被称为逆变电路。在许多情况下,同一套半导体电路既可作整流,又可作逆变,这种电气装置被称为变流器或变流装置。

变流器工作在逆变状态时,若把变流器的交流侧接到交流电网上,把直流电逆变为同频率的交流电反送到电网去,叫作有源逆变。若变流器的交流侧不与电网相接,而直接接到负载上,即把直流电逆变为某一频率或可调频率的交流电供给负载,则叫作无源逆变。变频器就是利用这一原理工作的,逆变式的矩形波交流弧焊电源也是一个应用实例。有的无源逆变,把变流器的交流侧接入变压器进行变换电压和整流,再接到负载上。脉宽调制变换器型稳压电源,(或称高频开关、稳压电源)、逆变式弧焊整流器(简称弧焊逆变器)就是其实例。从本质上说,它们属一次侧(在变压器的一次绕组侧)的开关电源,这也是在本书中要探讨的核心内容之一。

二、逆变的基本特点

为了从工频电网得到所要求的不同电压,一般都需要用工频变压器来提升或降低电压。在输出功率较大的情况下,工频变压器的重量和体积都很大,在整流式电源中,有如弧焊整流器或电镀电源,作为升降电压的变压器以及用于滤波的电抗器,其重量往往占整个电源重量的 $1/3 \sim 2/3$,甚至更多,使这些电源的重量和体积都很大,输出1A电流约需用1kg左右的材料,耗料多,耗电也较多。而逆变器则代替工频变压器,借助大功率电力电子开关器件及高频变压器,即可实现电压的提升和降低及频率变换,变换电压的频率达到数千以至数万赫兹以上,从而使变压器和电抗器大幅度缩小,每输出1A电流只需 $1/10$ kg的材料,耗电也很少。这特点正是电力电源、稳压电源技术改革所追求的目标,使它进入高频逆变电源的新时代。此类电源也称无工频变压器开关电源。按其电压变换器(实现电压升降等变换)和电压调整部件(用于使输出电压稳定和改变数值大小)两个关键部件的不同配置,这种电源可分为三

种型式:

- (1) 电压调整部件+电压变换器
- (2) 电压变换器+电压调整部件
- (3) 本身兼有稳压功能的“控制变换器”。

第一种型式框图如图0-1所示。

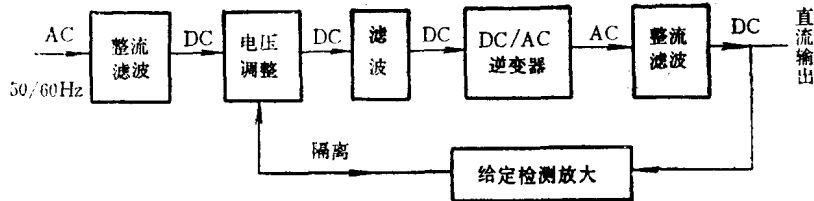


图0-1 电压调整部件+电压变换器

工频交流电经整流滤波后，借助于电压调整部件把直流电压施加给电力电子开关管（晶闸管、晶体管、场效应晶体管或IGBT管等）直流-交流逆变器，其高频变压器二次电压经整流滤波后输出。直流输出电压的大小和稳定，是借助给定检测放大电路，通过控制电路调节电压调整部件的直流电压来实现。

第二种型式框图如图0-2所示。

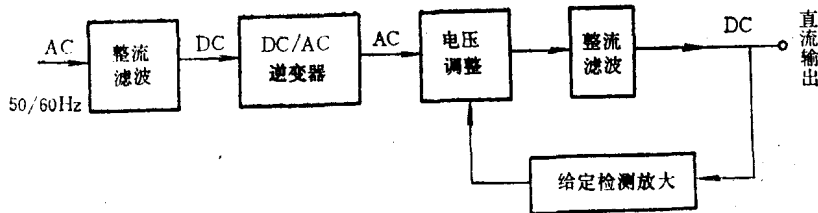


图0-2 电压变换器+电压调整部件

工频交流电经整流滤波后由直流-交流逆变器把直流电压变换成高频交流电压，并降压整流滤波成低压直流电，然后再用电压调整部件(用串联线性调整型或串联开关型)使输出电压稳定和改变大小；也可用直流-交流逆变器把直流电压变换成高频交流电压，然后在高频变压器二次侧用快速晶闸管、可关断晶闸管(GTO)等来改变输出电压大小或使其稳定。

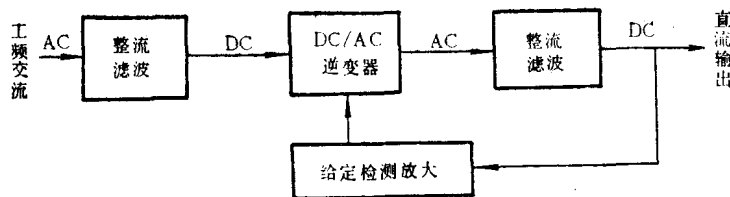


图0-3 控制变换器

第三种型式框图，如图0-3所示。工频交流电经整流滤波后由直流-交流逆变器把直流电压变换成高频交流电压，并升压或降压以及调整，再经整流滤波输出稳定电压或数值大小不同的直流电压。

上述三种型式都有着共同的特点，就是实现“AC→DC→AC→DC”的变换，最终输出的是直流电压，而且实现“DC→AC”变换和变压都是借助高频变压器、电力电子开关管进

行的。在实际应用中还有另一种情形，即把一种频率（通常为50Hz或60Hz的工频）的电能或者是直流电能转变成所需频率和电压的电能，并为负载电动机提供必要的能量通道（实现电动、制动以获得所需性能的调速）。

上面所论述的变换器，不管哪一种型式都离不开“DC-AC”的逆变过程，这是它们共同的工作特点。正是利用这个特点，借助电力开关管的快速开关特性，把50或60Hz的工频交流电提高到数千、数万赫兹以上的中、高频交流电，用高频变压器替换工频变压器，或不用变压器而使整个电源或装置的重量和体积大幅度减小，并带来其他一系列的特点和优点。归纳起来有如下几点：

- (1) 体积小，重量轻。
- (2) 效率高，耗电小。
- (3) 适应性强。
- (4) 输出电压愈低，输出电流愈大。
- (5) 工作性能和控制性能好。

但输出纹波大，电路复杂，技术难度大。

三、逆变的简史与发展前景

随着半导体技术和计算机技术的飞速发展，导致了电子设备功耗密度急剧增加、规模容量的迅速扩大、功能的复杂和可靠性的大幅度提高，必然对直流、交流电源提出了一系列崭新的要求，常规电源体大笨重、耗电大等，早已无法满足要求。1955年美国罗耶（Royer）发明的自励振荡推挽晶体管单变压器的直流变换器，是一个高频实现转换的控制电路的开端。接着，1957年美国詹森（J.L.Jensen）发明的自励型推挽双变压器的直流变换器，进一步提高了单位体积、重量输出的功率。1964年美国提出了不用工频变压器的串联开关电源，这对电源的小型化、轻量化开辟了一条根本途径。1969年由于大功率硅晶体管的耐压由外延平面型的100~200V，提高到了500V以上，并使二极管反向恢复时间缩短了，因而有可能做成25kHz的开关电源。这种电源一问世，在国际上引起了强烈的反响。许多国家争先致力于高频电源、高频开关二极管、高频三极管、高频开关铁心材料的配套研究。1974年之后，便确立了以20kHz为标准的工作频率。1976年美国硅通用公司做出了SG 1524单片集成的控制芯片，德国的西门子公司做出了TDA4700、TDA4718、TDA4716及TDA4714等具有齐全功能的控制芯片。这就是脉宽调制器。它们除了使电源小型化之外，还大大提高开关电源的可靠性，一般平均故障间隔时间约 10^5 h，从而达到了常规电源的水平。80年代在德国、美国、日本等国家先后研制成功开关速度更快、耐冲击电流大又没有二次击穿和采用电压控制的绝缘栅型大功率场效应晶体管，把开关频率提高到50~100kHz，甚至更高（小功率可达几百kHz至几MHz。但单管的容量仍然不够，用于大功率开关电源需要采用多只管子并联。为了改变这种状态，在这些国家又研制成功以场效应晶体管为控制端和以晶体管为功率开关的复合开关管——绝缘栅双极晶体管(IGBT)。除单管之外，还有做成模块供应，额定工作电流达到1000A，耐电压1200V。在不用管子并联的情况下，可以做出输出功率为数十至数百千伏安的逆变器，逆变频率一般为10~20kHz。90年代初期，场效应晶体管的容量做得更大，单、双管模块工作电流达60A，耐电压500V；30A，1000V。同时还出现IGBT管的智能模块，在这种模块中考虑了驱动和保护电路及相应的电流电压检测，这就是IPM（智能模块）。

在这期间铁心材料和快速开关二极管也有了长足的发展，除了做出高导磁和大截面铁氧

体磁心外，还试制成功和应用非晶态材料来做磁心。200、300、400A和耐压200、300、400V的快速开关二极管相继出现，用于保护环节的耐高压二极管，耐压值达到1000V以上，电流也有数十安培。随着电力电子开关管、快速二极管、导磁材料等生产能力的提高，逆变器、变换器的制造能力也不断提高，逆变工作频率最高可达到100~200kHz，输出功率达数百千伏安。

逆变技术的发展与晶闸管的发展有很密切的关系。晶闸管是一种大功率的电力半导体器件，它是更早成熟的产品。由于它具备电力半导体器件的优点，其发展也相当快，电流定额愈来愈大，电压定额愈来愈高，电流频带亦有相当的宽度。因而在60年代至80年代以普通晶闸管为主体的电力半导体器件已成为变流技术发展的基础，快速晶闸管的出现，也促进了逆变技术的应用。它的容量大（快速晶闸管可达数千安培）、可靠性好，被用于制造数百及数千千伏安的变频调速器、中频加热装置和电阻焊逆变器等。但其固有逆变工作频率只有数千赫兹，通过谐振才能达数十千赫兹，与上述的晶体管、场效应晶体管、IGBT等电力电子开关管比较，其逆变频率低，控制性能也较差，因而随着这些技术先进的开关管生产能力的提高，它有逐步被取代的趋向。

我国自1962年试制成功晶闸管以来，以普通晶闸管和硅整流管为主体的变流技术、逆变技术有了很大的发展，器件质量有较大的提高，派生型晶闸管，如快速、双向、可关断和逆导器件有较快的发展，产品产量大幅度上升。近10多年来经过精心设计，工艺、测试、可靠性以及装备等方面的研究，器件容量定额大大提高，静、动态特性得到改善。我国已能自己设计和研制出1000A、1200V、30 μ s的快速晶闸管；100A、600V以上的功率开关晶体管；40、60A，1000V以上的快速二极管。此外，50、100A的大功率场效应晶体管、IGBT在90年代初也开始试制生产。在变频调速、稳压电源、不间断电源、电镀电源、电阻焊、弧焊电源、电子束电源、中高频加热及热处理、电化学等方面广泛应用逆变技术和产品，已拥有数十个系列和数百个规格的这类产品。其中包括单机容量为250、300kVA的晶闸管变频器；单机容量为1000kW以上、工作频率为50kHz的中频加热电源装置；200kVA以上的不间断电源装置；25kVA的IGBT式电阻焊逆变器；33kVA的IGBT式弧焊逆变器；15、30kVA的场效应晶体管式的弧焊逆变器等。

90年代国内外电力半导体器件和逆变技术在不断向功率化、快速化、模块化、组合化、智能化、廉价和高可靠性方向发展，以IGBT、场效应晶体管为主体的电力半导体器件及逆变技术，将主导着电力电子装置、电源的蓬勃发展，使其产生革命性的变化，并以高效节能、省材、轻量化、高性能和可靠性而愈来愈显著地体现它的优越性。

电力电子技术及其工业应用的进步和发展，极大地推动着电力电子学的深化和提高。电力电子学包括电力电子器件、电力电子电路和电力电子装置及其控制系统。《逆变理论与弧焊逆变器》正是电力电子学知识的应用和在某一领域的归纳，通过这本书的探讨，希望能对我国发展电力电子工业有所贡献。

第一章 逆变原理与关键器件

本章主要简述逆变技术基本原理、特点、分类和应用，简介关键器件性能和作用，对晶闸管类和晶体管类逆变器的原理作分析。

第一节 逆变技术概述

一、逆变基本原理

在实际生产和生活应用中，最常用的有两大类电源：交流电和直流电。

在实际需求中，有时需要把交流电转换成直流电供负载使用；有时则相反，要求把直流电转变成交流电供负载使用。这种把直流电变回交流电的过程，就是逆变。把直流电逆变成交流电的电路称为逆变电路。为了某种需要，如调节交流电频率、改变交流电波形、减小变电压的功耗等，也可以利用这种逆变过程和电路来实现，必要时还可以通过多个逆变过程来实现。利用逆变技术做成的装置就称为逆变器，也可称为变换器、变流器或变频器。我们可以用框图1-1-1表示这些逆变过程的基本原理。单相或三相工频交流电（50/60Hz）经单相或三相桥式整流器 UR_1 的全波整流把交流电变成直流电（有纹波），通过电感（电抗器）

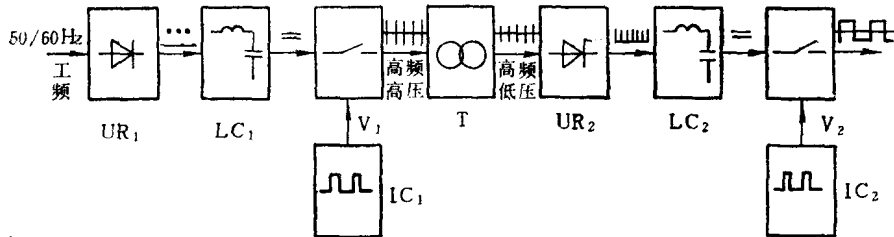


图1-1-1 逆变器基本原理框图

电容器 LC_1 的滤波获得平滑的直流电，再借助电力电子功率开关管（简称开关管） V_1 时断时通的开关作用和高频变压器 T 的升压或降压，从而获交变的高频或中频（几千赫或几百千赫，甚至几兆赫）电，即又把直流电逆变成交流电，经整流器 UR_2 再次变成直流电，并用电感电容器 LC_2 滤波，为负载提供平滑可调的直流电。

在某些场合下需要它提供一种特殊波形的交流电，例如矩形波交流电，就要再次借助开关管 V_2 把直流电逆变成交流电。可以把上述的逆变过程归结为：

$$AC \rightarrow DC \rightarrow AC \rightarrow DC \rightarrow AC$$

显然，并不是所有的场合都需要这么多的逆变过程的。一般可以采用如下几种逆变体制来满足负载的不同需求。

（一） $AC \rightarrow DC \rightarrow AC$

这就是说，把工频（50/60Hz）交流电整流成直流电后逆变成为交流电。但后者的交流

电频率已不是原来的工频,而是中频或高频。它的输出可以通过变压器进行升压或降压,再提供给负载,也可以直接接入负载,例如接入中频加热炉的炉丝或交流驱动的电机等。当然,由直流逆变回来的交流电,也可以是低频的,但它的频率或占空比可以作比较大范围的调节,以满足负载的需求。

(二) AC→DC→AC→DC

把上述逆变成的交流电再次整流成直流。它可用作直流驱动电机、电镀电源、电弧电源或稳压电源等。显然,这种两个整流和一个逆变过程并不是多此一举的,两个交流和两个直流均有不同的内涵。总的说来,就是要同时达到两个目的:一是变压,二是节能。也就是利用逆变原理把50/60Hz工频交流电变成高频交流电再进行变压(借助高频变压器)和整流,比起直接把工频交流电进行变压(借助工频变压器)和整流,要节电得多。为什么?这个道理将在下面阐述。

(三) AC→DC→AC→DC→AC

这个逆变体制主要用于提供矩形波交流电的场合,上述已提及,不再赘述。用在这种场合是比较少的。

在图1-1-1中开关管 V_1 和 V_2 的开关(通与断)频率和占空比,是由其驱动控制电路 IC_1 和 IC_2 的脉冲信号周期和占空比来确定的。

逆变器的主要器件的作用如下:

(1) 输入整流器(UR_1) 用于工频交流电的整流,属普通的整流器,可用整流模块(组件),也可用单个的硅二极管组成桥式整流器。

(2) 输入滤波器(LC_1) 由电感(电抗器)和电解电容器组成,用于滤波,属于普通的滤波器。

(3) 开关管(V_1 、 V_2) 通过它的周期性开与关(通电与断电)作用,把直流电分割成断续或交变的电流,通常是由一组开关管的协调动作来完成的。用作这种电力电子功率开关管的可以是晶闸管、晶体管(GTR)、场效应晶体管(MOSFET)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)或智能型的绝缘栅双极晶体管(IPM),而且一般它们的开关速度都较快,容量也比较大,这不是普通的晶闸管和晶体管所能代替的。

二、逆变器的特点

逆变器是利用电力电子功率开关管的快速通断作用来变换交直流电的,而且频率可以比50/60Hz工频电高几十至几千倍以上,在需要进行电压幅值变换的场合,其优越性更为突出,这也是为什么逆变器经过多个变换,其效率反而高了的内在因素,可以作如下分析:

(一) 频率高,铜铁损大大减小

根据变压器基本公式:

$$U = 4.44fNSB_m$$

式中 U ——工作电压有效值;

f ——工作频率;

S ——铁心截面积;

B_m ——磁感应强度的最大值;

N ——绕组的匝数。

显然,变压器的重量、体积,直接取决于绕组匝数 N 与铁心截面积 S 的乘积 NS ,而 NS 之

积与频率 f 又有相互依存的关系, 由上式可知

$$NS=U/4.44fB_m$$

当取 B_m 为一定值时, 若使频率 f 从工频50Hz提高到20000Hz, 则绕组匝数与铁心截面积的乘积 NS 就降低到原来的1/400; 而主变压器在整流式电源中通常所占的重量达1/3至2/3, 故这对于输出容量大的主变压器就更为有意义了。根据推导, 工频变压器输出容量与其重量之间的关系大体为:

$$m \propto P_{ro}^{3/4}$$

式中, m 为变压器的铜和硅钢片的重量之和, 其单位为kg; P_{ro} 为变压器输出功率, 其单位为kVA。而如上所述, 提高频率就可使整机重量大为减少, 体积显著缩小, 同时, 铜、铁的电能损耗随着材料的显著减少而大幅度降低。如果逆变器的工作频率较高, 采用铁氧体磁心或非晶态材料, 由于它们的高频磁导率较高, 还可使重量、体积和铜铁损耗进一步减小。这充分体现了高频变压器取代工频变压器的优越性。

(二) 开关管(含快速整流二极管)开关损耗小

完成逆变过程的开关管及二极管, 一般都采用通断迅速的管子。工作开关管状态, 即导通时为饱和导通, 虽然电流大, 但只有饱和压降(3V以下); 截止时只有漏电流(毫安级以下), 尽管管压升高, 损耗也极小。另外在开通和关断时间极短(3 μ s以下), 开关损耗很小。因而, 无论逆变过程是否带变压器其损耗都很少。

(三) 提高功率因数

在输入整流电路和输出整流电路中均存在着起储能作用的电容器, 从而可以明显减少无功损耗和提高功率因数。

逆变器还有其他许多优点, 归纳起来有:

(1) 效率高 用作电源的逆变器一般效率为70%~90%, 比其他种类的电力电源可节电20%~40%; 用作变频驱动的逆变器, 节电效果甚至可达40%以上。

(2) 体积小、重量轻 随着逆变工作频率的提高, 效果更显著。此外, 电力半导体器件本身就具有结构紧凑、体积小、重量轻的特点。

(3) 动态响应迅速 这与电力半导体器件本身开关速度有很大关系; 同时由于工作频率一般都比较高, 主回路的时间常数很小。因而, 响应很快, 一般在毫秒或微秒级。

(4) 性能灵活 借助输出隔离变压器, 可得低压大电流或高压小电流。一个开关控制的一路输入, 可得到多路输出以及同号、反号等输出。

(5) 稳定的工作范围大 一般在交流输入单相70~265V时, 负载作大幅度变化, 性能仍很好。变频调速在很大范围内驱动仍稳定。

(6) 噪声小 特别是在逆变频率为20kHz以上时无噪声, 这是人耳所听不到的。

(7) 工作可靠性高 当开关损坏时, 也不会有危及负载的高压出现。

但它也有弱点, 如电路比较复杂, 制造技术难度大, 成本偏高。

三、逆变器的分类

迄今, 逆变器(变换器)的类型已有多种多样, 从不同的角度可以进行不同的分类。

1. 按激励形式不同分类

(1) 自励式逆变器 它包括单管式逆变器和推挽式逆变器。

(2) 他励式逆变器 它包括调频、调宽、调幅和谐振等几种。

2. 按逆变主电路形式分类

- (1) 正励式逆变器。
- (2) 反励式逆变器。
- (3) 半桥式逆变器。
- (4) 全桥式逆变器。
- (5) 串联电感式逆变器。
- (6) 串联二极管式逆变器。

3. 按谐振电路形式分类

- (1) 串联谐振逆变器。
- (2) 并联谐振逆变器。
- (3) 串并联谐振逆变器。

4. 按谐振式的开关什么时候接通分类

- (1) 零电流开关式逆变器。
- (2) 零电压开关式逆变器。

5. 按控制信号的隔离方法分类

- (1) 直接式逆变器。
- (2) 光耦合式逆变器。
- (3) 变压器式逆变器。
- (4) 磁放大器式逆变器。

6. 按逆变主电路的开关管分类

- (1) 晶闸管 (SCR) \ominus 式逆变器。
- (2) 晶体管 (GTR) 式逆变器。
- (3) 场效应晶体管 (MOSFET) 式逆变器。
- (4) 绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 式逆变器。

按逆变主电路开关管类型来分类的四种逆变器, 尽管从本质来说它们的基本原理是相同的, 但是, 它们在实施逆变过程的具体电路环节上不尽相同。既有类似的环节, 也有不同的环节, 这与主开关管的开关特性及其对电路的要求不同有关系。晶闸管的开关特性与晶体管、场效应晶体管和IGBT有较大差别。而后三种开关管, 从广义来说, 它们均属晶体管类。场效应晶体管和IGBT是由晶体管派生和发展起来的, 虽然后两种与晶体管比较, 有电压控制和电流控制之差别, 但它们的基本开关特性是相同的, 因而它们的逆变主电路的具体环节基本上相同(在控制电路上略有不同)。据此, 我们为了便于论述工作原理和避免不必要的重复, 可以归纳为晶闸管与晶体管两个大类, 再细分小类。

晶闸管类逆变器可分为: 三相半波、三相全桥式、串联电感式、串联二极管式、并联谐振式、串联谐振式、脉宽调制式、自励式、他励式等逆变器。

晶体管类逆变器可分为: 单端反励式、单端正励式、推挽式、半桥式、全桥式等逆变器。按激励方式也可分为自励式、他励式逆变器。

晶闸管类和晶体管类逆变主电路形式有些也是类似的。

\ominus 普通晶闸管曾称硅可控整流器 (SCR), 为使用方便仍沿用SCR代表普通晶闸管。

第二节 关键器件

由上述逆变器工作基本原理可知，逆变主电路工作在高电压和不断“通与断”交变的复杂状态下，而且往往其变换频率都比较高。它的工作正常与否不仅与逆变主电路形式是否适合有密切关系，而且与其所采用的关键器件类型和性能也有极其重要关系。为了便于论述和认识各类逆变器的工作原理、特点，有必要首先对关键器件的结构特点、工作特性和主要参数作简介。

总的来说，对工作在逆变电路的关键器件的要求，比它工作在普通整流、放大电路时要高，一般有如下基本要求（主要对半导体器件）：

- (1) 耐电压值高，通常要在数百伏以上。
- (2) 开关速度快，减少开关损耗。
- (3) 动态特性 di/dt 和 du/dt 的耐量要高。
- (4) 耐冲击电流大，可靠工作范围大。
- (5) 热稳定性能好。

逆变器所用的器件主要有：电力半导体器件、磁性器件和容性器件三大类。而电力半导体器件主要包括三类：晶闸管（Thyristor）、功率晶体管（Power Transistor）和整流二极管（Rectifier Diode）。每一类又有许多分支，如晶闸管有普通、快速、逆导、双向、可关断之分；功率晶体管又有双极型开关晶体管、场效应晶体管、绝缘栅双极晶体管（IGBT和IPM）之分；整流二极管也有普通与快速之分。

磁性器件主要指电感、电抗器和变压器。它们所用的磁心有硅钢片、铁氧体、非晶态合金和坡莫合金等，主要根据频率来选定。

容性器件主要指电解电容、高频电容等。

一、电力半导体器件

电力半导体器件制造技术和容量、性能、参数的提高及新型器件的出现，推动着逆变器的迅速发展。目前电力半导体器件的容量已做得比较大，能承受大电流和高电压，结构形式多种多样，特别是近年来把它做成能直接控制和具有高效率的开关模块，因此可以毫不夸张地说，电力半导体器件是开关器件。表1-2-1列举了普通晶闸管（SCR）、可关断晶闸管（GTO）、双极晶体管（GTR）、MOS场效应晶体管（MOSFET）和绝缘栅双极晶体管（IGBT）等开关器件的主要参数，借以说明90年代初，国际上开关器件的生产能力和技术水平。

表1-2-1 电力半导体开关管主要特性参数

特 性	类 型				
	普通晶闸管	可关断晶闸管	双 极 晶体管	MOS场效应晶体管	绝缘栅双极晶体管
自 关 断 能 力	无	有	有	有	有
正 常 状 态 开/关	关	关	关	关	关
击 穿 电 压 (V,max)	2500 1200	5000	1200	1000	1200
额 定 电 流 (A,max)	1000 1500	4500	1000	36	1000
电 流 密 度 (A/cm ²)	100	100	40	10	60
工 作 频 率 (kHz)	1~10	1~20	2~50	100~10000	10~30

注：表中数字引自于德、日、美于1991~1993年产品简介。

由表1-2-1可见，目前电力半导体开关管的制造能力已经相当强，可以在没有并联开关管情况下制做几十至几百千伏安以上的逆变器。

(一) 晶闸管

晶闸管就是硅晶体闸流管，它包括普通晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管和逆导晶闸管等电力半导体器件。“晶闸管”可以用来表示晶闸管族的任何一种器件，快速晶闸管也不例外。

1. 晶闸管的基本结构 晶闸管的外形有三种：螺栓式、平板式和模块式，如图1-2-1所

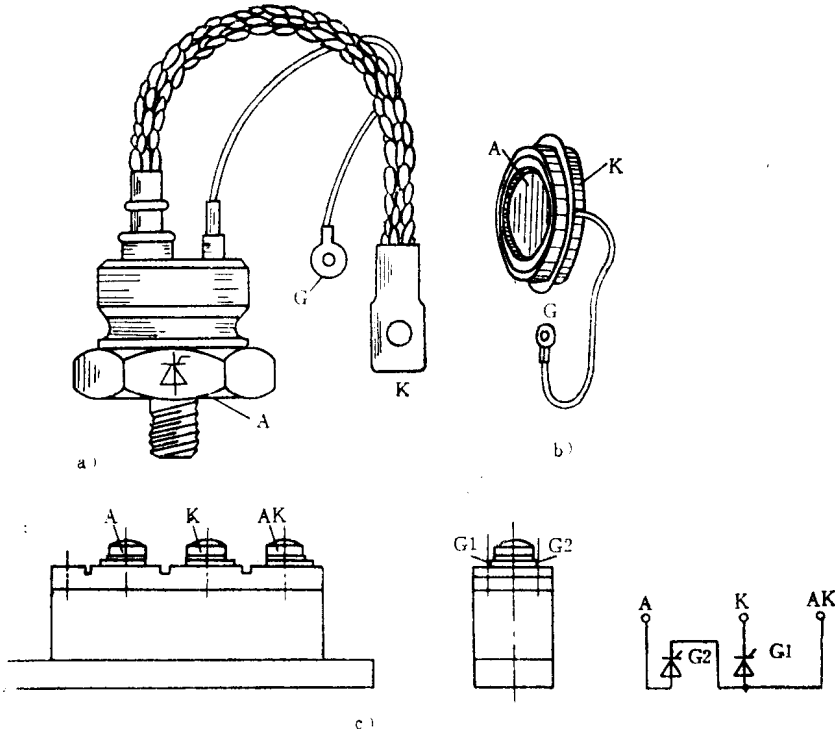


图1-2-1 晶闸管外形图及符号

a) 螺栓式 b) 平板式 c) 模块式

示。其中前两种一般属单管结构，即一个结构外形只有一个晶闸管；而后一种为模块式结构，往往由二个、三个、甚至六个晶闸管组成，或者由晶闸管和快速二极管组成。图1-2-1所示为二个晶闸管或一个晶闸管和一个二极管组成的模块。模块式愈来愈多被采用，因为它的结构紧凑，易安装、占地小。

晶闸管是大功率半导体器件，它在工作过程中会有损耗而产生大量的热，因此，一般都必须安装在散热器上帮助散热。

晶闸管的内部有一个由硅半导体材料做成的管芯。它是四层(P、N、P、N)三端(A、K、G)器件，如图1-2-2所示，它决定晶闸管的性能。它的三个极为阳极A、阴极K、门极G。

2. 晶闸管的基本工作原理 晶闸管是四层三端器件，它有 J_1 、 J_2 、 J_3 三个PN结、如图1-2-3a所示。我们可以把它中间的 N_1

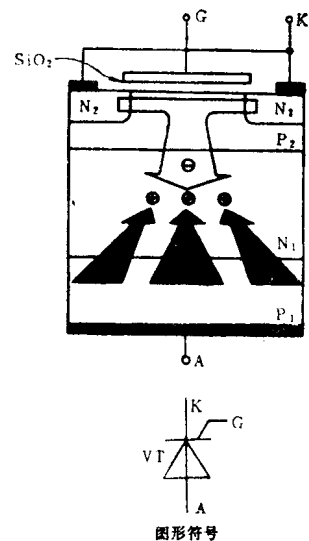


图1-2-2 晶闸管的结构