

光伏发电系统前端DC/DC 变换器的探讨

摘要

随着太阳能的广泛应用和现代电力电子技术的不断发展，人们对光伏发电系统提出了更高的要求。本文针对光伏发电系统DC/DC变换器的效率和高频化问题，以光伏发电系统前端DC/DC变换器为主要探讨对象。在充分考虑光伏发电系统前端DC/DC变换特点的基础上，采纳适合于低压大电流场合下工作的推挽电路作为DC/DC变换器的输入级，以全桥整流作为输出级。本文具体介绍了推挽式变换器的工作原理及其输出换流过程，在给出了变换器的设计参数的基础上，设计并搭建了DC/DC变换器的主电路、驱动电路、限制电路和保护电路。最终通过试验波形验证了所设计的1kW24VDC/360VDC 变换器参数设计的正确性，获得了良好的效果。

关键字： 光伏发电 DC/DC 变换器推挽电路

Study on Front-stage DC-DC Converter for Photovoltaic System

Abstract

With the wider use of solar energy and modern power electronic technology continues to evolve, people put forward higher requirements about photovoltaic system. Based on high efficiency and high frequency of front-stage DC-DC converter of photovoltaic system, the main research object of this article focus on the front-stage DC-DC converter of photovoltaic system. On the basis of having fully considered the characteristic of front-stage DC/DC converter for photovoltaic system, the push-pull circuit was confirmed as the input stage because it is suitable for low voltage and high current situations and the full-bridge rectifier as the output stage. This article describes the working principle of push-pull converter and the processes of output converter, based on the parameters of the converter, designs and builds the main circuit, driver circuit, control circuit and protection circuit of DC/DC converter. The experimental results of the front-stage 24VDC/360VDC converter for 1 kW photovoltaic system show the correctness of the design, and obtained a good result.

Keywords: Photovoltaic; DC/DC converter; Push-pull circuit

书 目

第 1 章 绪论	1
1.1 课题的探讨背景	1
1.1.1 世界能源的发展趋势	1
1.1.2 光伏发电系统的简洁介绍	3
1.2 光伏发电系统中逆变电源的要求	4
1.3 目前光伏发电系统的基本结构	4
1.4 目前常用的几种DC/DC变换器拓扑结构	5
1.5 本文探讨的内容	7
1.6 课题探讨的意义	8
第 2 章 推挽电路的工作原理分析	9
2.1 前言	9
2.2 推挽电路工作原理	9
2.3 整流二极管的换流分析	12
2.4 小 结	14
第 3 章 1KW 24VDC/360 VDC 变换器设计	15
3.1 前言	15
3.2 总体架构	15
3.3 主电路参数设计	15
3.3.1 输入滤波设计	15
3.3.2 高频变压器设计	17
3.3.3 输出滤波电感设计	18
3.3.4 输出滤波电容设计	18
3.3.5 主功率管的选取	18
3.3.6 副边整流二极管的选取	19
3.4 限制及其驱动电路参数设计	19
3.4.1 推挽电路限制芯片SG3525 功能及运用	19
3.4.2 驱动芯片UCC27424 功能及运用	22
3.4.3 限制及驱动电路参数设计	23
3.5 爱护电路设计	23

3.5.1 输入欠压爱护	24
3.5.2 输入过流爱护	24
3.5.3 输出过流爱护	24
3.6 协助电源	24
3.7 小 结	24
第 4 章 试验结果	26
4.1 前言	26
4.2 系统技术指标	26
4.3 系统试验结果	26
4.4 系统各点波形	27
4.5 爱护电路调试	27
4.6 小 结	28
第 5 章 总结与展望	29
5.1 本文的主要工作	29
5.2 下一步工作	29
参考文献	30
附 录	31
致 谢	错误!未定义书签。

第1章 绪论

1.1 课题的探讨背景

1.1.1 世界能源的发展趋势

随着社会生产的日益发展，对能源的需求量在不断增长，全球范围内的能源危机也日益突出。传统的能源，尤其是煤炭、石油、天然气三大化石燃料更是有限，不合理地运用传统能源，它们在21世纪内就会面临枯竭，产生能源危机，还会造成全球的环境问题。大量运用化石能源已经起先造成全球变暖，燃煤会通过煤渣和烟尘放出大量有化学毒性的重金属和放射性物质。随着化石能源的削减，其价格也会提高，这将会严峻制约生产的发展和人民生活水平的提高。

能源的日趋惊慌，促使人们将目光投向可再生能源。专家认为，可再生能源大规模开发的时机已经来到，我国应把可再生能源的发展置于重要位置，为可再生能源的大规模开发做好政策和技术方面的打算。

世界上新能源和可再生能源现状和发展趋势¹如下：

1、水力发电稳步增长。水力发电虽然破坏土地和水生物栖息地，引起土壤侵蚀和河流淤积，但不排CO₂。在很多状况下，水力发电可与石油，煤炭发电竞争。然而由于水力发电受电站地址选择的限制，初期投资大以及环境方面和社会方面等因素的影响，水力资源不行能被全部开发。

2、风力发电装机容量扩大。风力发电装机容量的增长主要在欧洲。近年来，丹麦、印度、中国、新西兰、瑞士、加拿大等国家都在设施风力发电项目。风力发电主要受土地的限制、风机对鸟类的损害、大型的风力发电与重要的人口和工业中心相隔较远等因素的限制。

3、地热、生物能、海洋能的发电有所增长，潜力巨大。

4、太阳能发电兴起。因为太阳能发电具有以下一些优点：

(1) 太阳能是一种用之不竭的可生能源，初始能源成本极低。

(2) 太阳能是一种既不会对环境产生有害气体，又不释放放射性物质的清洁能源。

(3) 太阳能电池及其组件可串并联组合，电源或电站的功率可依据须要从几毫瓦至几十兆瓦。

(4) 晶体硅太阳能电池可运用20年以上，而且整个系统没有转换装置，系统寿命长，牢靠性高，运用便利。

人类之所以没有大规模利用太阳能资源，是因为开发利用的成本比较高。目前太阳能

发电装置一般都运用非晶硅作光电转换材料，这种材料比较昂贵，另外它的光电转换效率只有20%左右，再者日光能量密度低，要放置太阳热能收集器须要巨大的空间。

1982年，主题为“能源推动世界”的世博会在美国田纳西州的诺克斯维尔实行。中国馆展出了太阳能热水器、太阳灶、太阳能航标灯、太阳能电围栏、沼气利用以及具有中国民族特色的各类工艺品等。充分展示了我国太阳能光伏发电的先进技术。

1997年全球太阳能电池的销售量增长了40%，已经成为全球发展最快的能源。太阳能将在21世纪进入一个快速发展的阶段，预料将在2050年左右达到30%的比例，次于核能居于其次位。21世纪末将取代核能进入第一位。正如世界视察探讨所的一期报告所指出：正在兴起的“太阳经济”将成为将来全球能源的主流。

2000年在德国汉诺威举办的世博会上，展示了当时世界最先进的太阳能建筑、光伏发电装置和当时世界最大的太阳能游艇，点燃了21世纪——“太阳能世纪”的星火。随后的几年里，全球的太阳能技术日新月异，每年产业的发展以30%的速度递增，促进了太阳能工业的产生。

2005年的日本爱知世博会以“自然的睿智”为主题，突出呈现了节能和环保理念。在爱知世博会上呈现和应用了多晶硅、双面受光型单晶硅和非晶硅的太阳能电池。在西门前面高台的斜面上安装了输出功率为200千瓦的多晶硅太阳能电池，在欧洲联合展馆前面的高台上安装了输出功率100千瓦的非晶硅太阳能电池，在试验发电装置四周的墙面上，以及由西门到NEDO馆通道的栏杆下面安装了输出功率30千瓦的双面受光型太阳能电池，此外电力馆还安装了30千瓦热电联产与太阳能电池系统。

2008年的北京奥运会上，奥运村内将全部运用太阳电为运动员照明。白天太阳能电池板把太阳能收集转化为电能并储存起来，一到晚上，这些电能又转化成光能。太阳能是一种没有污染的电力资源运用太阳能照明是北京举办“绿色奥运”的重要组成部分。

2010年的上海世博会不仅是大规模光伏建筑一体化并网电站的展示与示范应用舞台，而且各种结合太阳能技术应用的景观与展示也在规划之中，如太阳能路灯、太阳能庭院灯、太阳能草坪灯、太阳能电子显示屏、太阳能雕塑、太阳能喷泉、太阳能售货亭、太阳能冰吧、太阳能报刊亭、太阳能移动厕所、太阳能公交候车亭、太阳能售货亭和太阳能游船等。世博会上的大规模太阳能技术应用和各种太阳能科技展示使人们能够体验到太阳能技术给人类生活带来的变更，并充分反映出世博会关注应对全球气候变更和人类社会可持续发展等热点问题，体现“城市，让生活更美妙”主题，促进太阳能等新能源技术推广应用。这

表明太阳已经在进入我们的生活，并将成为我们的一部分。我们对太阳能的应用技术也将趋于成熟，在此之际，光伏发电也映入我们眼帘。

1.1.2 光伏发电系统[2]的简洁介绍

光伏发电系统是干脆将太阳光能转换为电能的装置，依据光伏系统与电网的关系，可以分为独立于电网的光伏系统和并网系统。独立于电网的光伏系统，常用在远离电网的偏远地区。而在并网系统中，光伏发电系统代替电网供应有用功率，也把功率馈送回电网。干脆把光伏电池与负载相连，中间不带储能装置，这类光伏系统叫干脆耦合光伏系统，但这类系统在阴雨天和晚上的时候不能供应能量，所以通常中间要加入蓄电池。由于光伏系统受外界因素影响比较大，所以为获得额定功率输出，通常要加上限制器来调整、限制和爱护系统功能。所以，光伏发电系统基本包括光伏电池板、电力电子变换装置、储能装置、限制器四大部分，如图1.1所示。储能装置一般采纳蓄电池，尤其是铅酸蓄电池。电力电子变换装置依据负载的不同分为两类：(1)直流变换器，依据直流负载的要求供电。(2)逆变器，通常为工频逆变器，输出恒频、恒压的沟通电。在并网光伏发电系统中还要有沟通并网装置和电能计量装置。限制器为整个系统的限制核心，负责对系统各运行参数进行检测，并依据预设和推断做出限制指令，使系统能够自动稳定运行，并工作于最佳状态。一般由一个限制器进行集中限制。

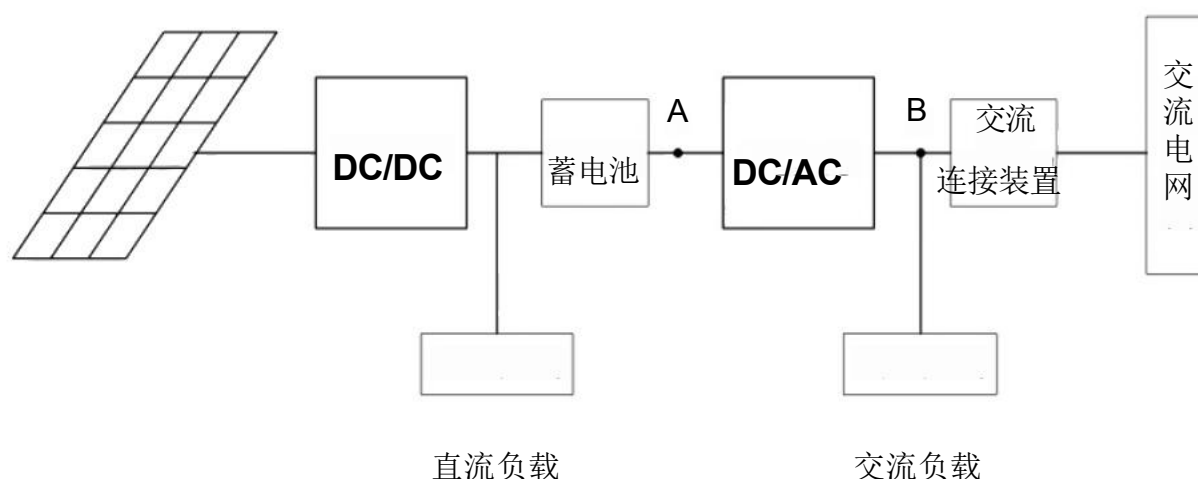


图1.1 光伏电源系统的一般结构组成

目前我国户用光伏发电系统主要是直流系统，如图1.1中A点左侧部分所示，光伏电池发出的电能给蓄电池充电，蓄电池干脆供电给各类负载。这类系统结构简洁，成本低廉。由于负载直流电压的不同(如12V,24V 等),很难实现系统的标准化和兼容性，特殊是生活用电，其负载主要为沟通。因此，沟通光伏逆变电源正在渐渐取代直流光伏电源。图1.1中B点左侧部分为独立型光伏逆变电源系统，可以供应直流电和沟通电，适于远离电网的

偏远地区或者比较分散、居住地不稳定的用户。图1.1中整个系统为并网式光伏发电系统， 并网式系统是通过联系装置与已有电力系统连接，然后由户用光伏系统，通过连接装置，

将电力输往电力系统，此状态称为逆潮流状态(从电力系统将电力输往用户的状态称为顺潮流)。并网式系统由于受到电力系统的电力支援，可以把电网作为储能装置，通常可以省去蓄电池，成为经济的系统。当前，并网式光伏发电系统，尤其是户用并网式光伏发电系统，因为可以与建筑合为一体，便利并节约用地和成本，成为世界上光伏发电探讨和开发的热门。

1.2 光伏发电系统中逆变电源的要求

逆变电源是沟通光伏系统[3]中重要的部件之一光伏电源系统对逆变电源的要求较高主要有以下几点：

- 1、要求具有较高的效率。由于目前太阳电池的价格偏高，为了最大限度地利用太阳电池，提高系统效率，必需设法提高逆变器的效率。
- 2、要求较高的牢靠性。目前光伏户用电源系统主要用于边远地区，难以维护，这就要求逆变电源具有合理的电路结构，严格的元器件筛选，并要求逆变电源具备各种爱护功能，如蓄电池充放电爱护、系统短路爱护、过热、过载爱护等。
- 3、直流输入电压有较宽的适应范围。由于太阳电池的端电压随负载和日照强度而变更，蓄电池虽然对太阳能电池的电压具有钳位作用，但由于蓄电池电压随蓄电池剩余容量和内阻的变更而波动，特殊是当蓄电池老化时其端电压的变更范围很大，如24V 蓄电池其端电压可在19V~30V 之间变更，这就要求逆变电源必需在较大的直流输入范围内保证正常，工作并保证沟通输出电压的稳定。

1.3 目前光伏发电系统的基本结构

目前光伏发电系统的电源变换器[4]一般有以下两大类：

- 1、单级结构：DC/AC，即利用逆变器干脆将光伏电池输出直流电变换为沟通电输出。其输入输出隔离采纳的是工频变压器，实现的是后级隔离。

存在问题：(1)隔离需工频变压器，系统笨重，效率低。

(2)输入电压变更范围大，逆变器设计困难。

- 2、两级结构：DC/DC+DC/AC，即利用前级DC/DC 变换器先将光伏电池输出直流电进行变换，然后再由后级DC/AC 变换器将变换后得到的直流电逆变成沟通电输出。此结构由于运用了技术成熟的DC/DC变换器，可实行高频化。实现了前级隔离。

其结构的优点是：(1)采纳了高频变压器，实现了小型化，具有较高的效率；(2)由于采纳了技术相对成熟的DC/DC变换器结构，输入电压有较宽的适应范围。

因此，对于一个设计要求为输入直流19.2V~28.8V, 输出沟通220V, 频率50Hz, 额定

出功率1KW 的光伏发电系统，可以采纳DC/DC+DC/AC 的两级结构来实现，如图1.2所示。前级DC/DC 变换器将光伏电池输出的宽范围低压直流电变换成稳定的360V 高压直流电输出，同时实现输入输出的电气隔离；后级DC/AC变换器再将360V 高压直流电逆变成所需220V沟通电。本文所要探讨的便是前级DC/DC 变换器的设计。

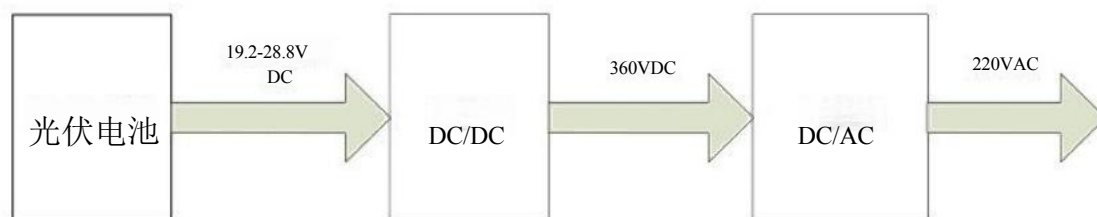


图1.2光伏发电系统

1.4目前常用的几种DC/DC 变换器拓扑结构

1、单端反激电路

如图1.3单端反激电路，多用于小功率场合，常用于设计多路输出激励电源。反激式变换器中的变压器起着电感和变压器的双重作用。具有电感电流连续、临界连续和断续3种工作模式。而这里所指的连续不是单线圈电感电流的连续，而是用次级线圈晶体管截止时间的电流状态来说明，事实上是指磁通的连续。反激变换器不能空载运行且调整困难，一般在负载较大的场合[5]。

2、单端正激电路

如图1.4的单端正激电路形式上与反激类似。和单端反激电路的不同点是：该拓扑是干脆传送能量，可以应用的功率场合较反激电路大。但是，当主功率管关断时必需给变压器供应能量释放回路，这也带来了各种磁复位的问题单端正激电路变压器的磁利用率低开关管电压应力高等缺点也限制了它在大功率场合中的应用。

3、双管正激电路

4、半桥电路

如图1.5双管正激电路，一般用于输出电压较高的中大功率场合[6]。相对于单管正激变换器而言，它克服了开关管电压应力高、需采纳特殊的复位电路等缺点，有其优越性。但它自身也有缺陷：为保证牢靠的磁复位，其工作占空比只能小于0.5；为获得更高的输出电压，须提高变压器的变比，从而使变压器副边续流二极管的电压应力增大，考虑反向复原特性后，又成为制约副边整流电路设计的主要因素，不适合高输出电压的场合。

4、半桥电路

如图1.6半桥电路，输出直流电压的纹波正比于钳位电容的电压波动。相对于单端正激电路而言，开关管电压应力减小为输入电压，变压器磁芯利用率提高了一倍。但是，半桥电路的缺点是钳位电容电压不对称可能引起变压器偏磁。

5、全桥电路

如图1.7全桥电路适用于大功率场合。桥式变换器中开关管承受的电压与半桥一样，为输入电压。流过开关管的电流，在相同的输出功率时，全桥为半桥的一半。桥式电路适用于高输入电压场合。

6、推挽电路

如图1.8推挽电路中对变压器的绕制要求较高，必需具有良好的对称性，否则将会产生直流磁化重量——偏磁而导致铁心饱和。为防止偏磁，限制方式需采纳峰值电流限制。推挽电路的缺点：(1)变压器的偏磁给器件的参数一样性和驱动电路脉冲宽度的一样性提出了较高的要求，同时限制方式也要求采纳电流型限制方案；(2)开关管关断时漏感能量在开关管上会引起高的电压尖峰，给主变压器的绕制提出了较高的要求。但是推挽电路拓扑具有很多的优点：(1)结构简洁，只须要两个主功率管；(2)驱动电路不要隔离，电路简洁；(3)变压器磁芯可以自动磁复位。相同的磁芯尺寸，推挽变换器可以比正激变换器输出更大的功率。(4)推挽式功率变换电路，在输入回路中仅有一个开关的通态压降，而半桥和全桥电路有2个，因此在同样的条件下，产生的通态损耗较小。其中的变压器可同时实现直流隔离和电压变换的功能，磁性元件数目较少，成本较低。适用于低电压大电流输入的中小功率场合。因此本设计采纳推挽电路。

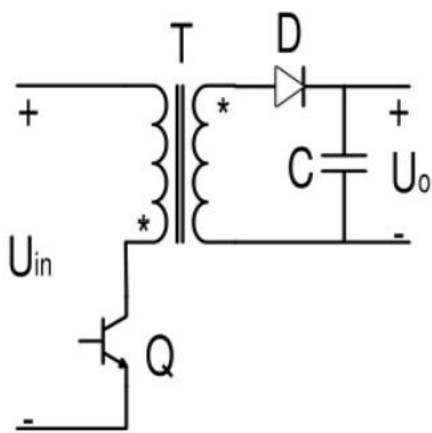


图1.3单端反激电路

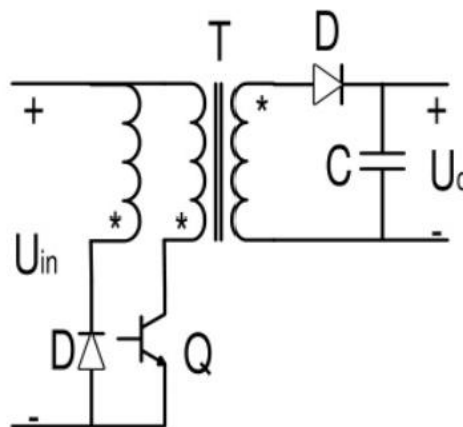


图1.4的单端正激电路

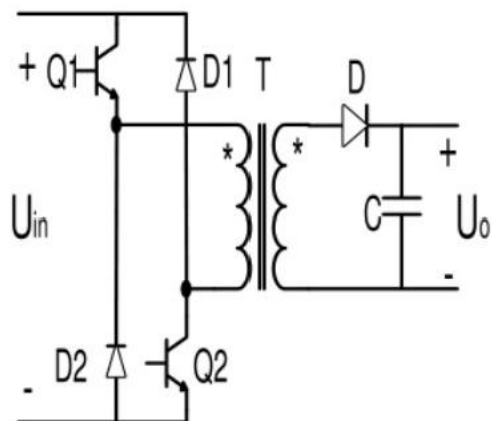


图1.5双管正激电路

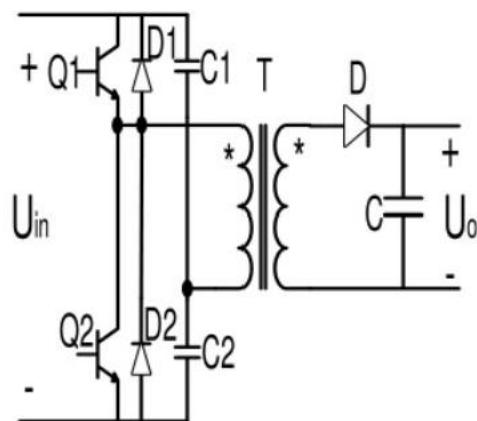


图1.6半桥电路

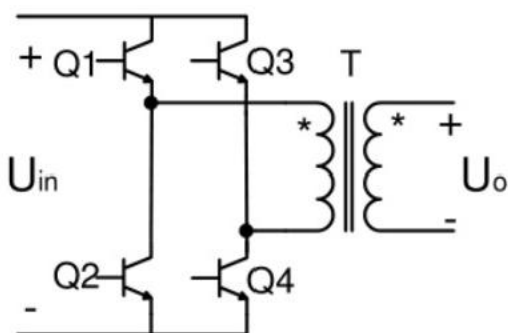


图1.7全桥电路

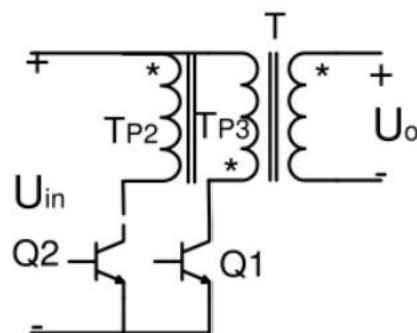


图1.8推挽电路

1.5 本文探讨的内容

依据光伏发电系统前端DC/DC变换器的具体要求：输入电压范围19.2~28.8VDC，输出电压360VDC，输出功率1000W，最高转换效率在85%以上。从上文所述的6种常用拓扑我们可以看到，推挽电路比较适合于低压输入中小功率的应用场合[8]。本文对推挽式DC/DC变换器结构进行探讨。

主要内容如下：

第一章简述了光伏发电发展与现状，介绍了光伏发电系统的基本结构，阐述了DC/DC变换器常用的几种拓扑结构，提出了本文的探讨内容和意义。

其次章分析了推挽变换器的工作原理及介绍了全桥整流的换流状况。

第三章选用其次章的主电路拓扑结构设计出1KW24VDC/360VDC 变换器，给出了主电路参数和限制电路参数的设计方法，以及对电路进行了相应爱护的设计。

第四章对1KW24VDC/360VDC 变换器进行试验并对试验结果进行了探讨。验证了设计参数的正确性。

第五章为结束语对全文工作进行了总结，并提出需进一步探讨的内容。

1.6 课题探讨的意义

本文的探讨意义主要体现在以下几个方面：

1、采纳了推挽正激的主拓扑结构。在低压输入大电流的场合和其它电路拓扑相比较而言，该拓扑可以大大减小输入滤波器的体积，提高变换器的功率密度，减小了主功率管的电压应力。

2、本文采纳了结构设计，系统的维护性好，同时大大降低了备件成本。

3、该变换器不仅可以应用在光伏发电系统中，也可以应用在其它输入电压较低的大功率场合中。

4、完成了某工程项目要求的1KW24VDC/360VDC变换器研制任务。

5、为光伏发电系统的完善，做了一些探究性工作。

第2章推挽电路的工作原理分析

2.1前言

如第一章所述推挽电路拓扑结构简洁、驱动电路不须要隔离、变压器磁芯可以自动磁复位、以及适用于低电压大电流输入的中小功率场合等优点。而本文要设计DC/DC变换器正符合推挽拓扑的特性。因此本设计采纳了推挽拓扑。

本章具体地介绍了推挽电路的工作原理，分析了该电路的关键工作过程，针对全桥整流的换流状况做了简要的探讨，最终对推挽电路进行了归纳与总结。

2.2推挽电路工作原理

推挽变换器基本电路如图2.1所示。电路中的两个开关管VT1、VT2接在带有中心抽头的变压器初级线圈两端，此电路可以看成完全对称的两个单端正激变换器组合而成。

D3,D4,D5,D6为副边整流二极管。L、C 为输出滤波电感和滤波电容^[9]。

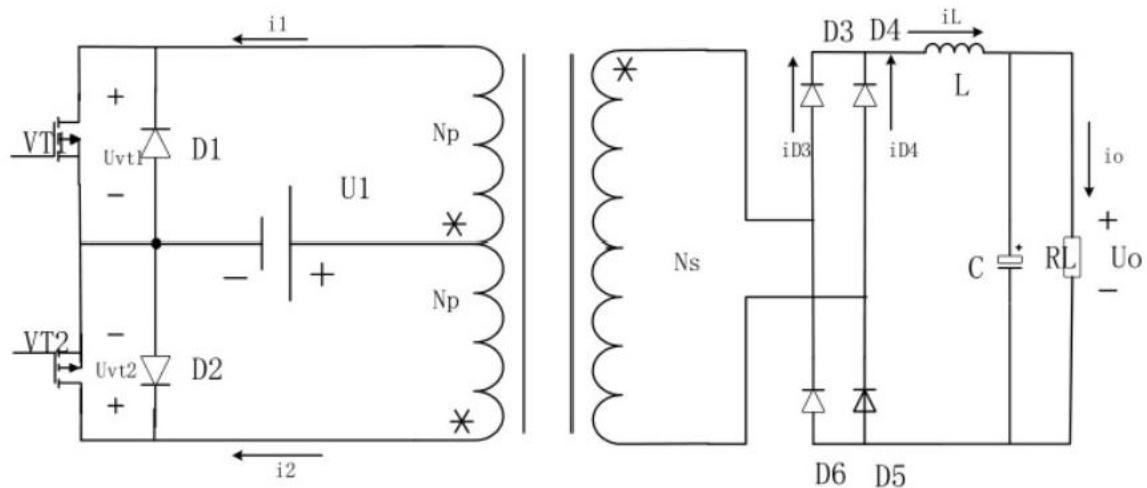
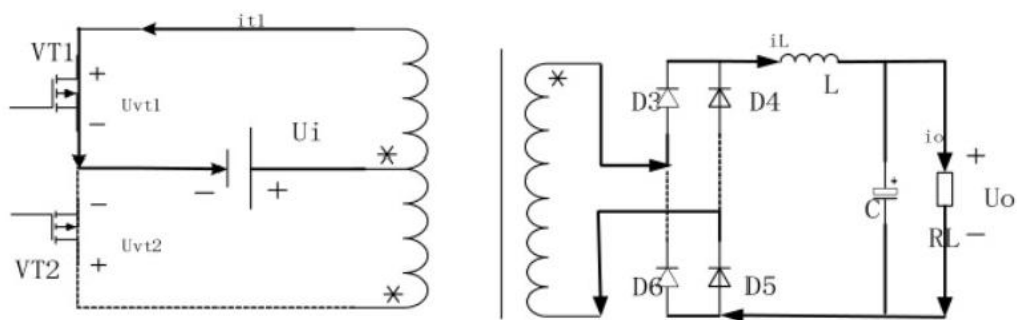


图2.1 推挽变换器基本电路

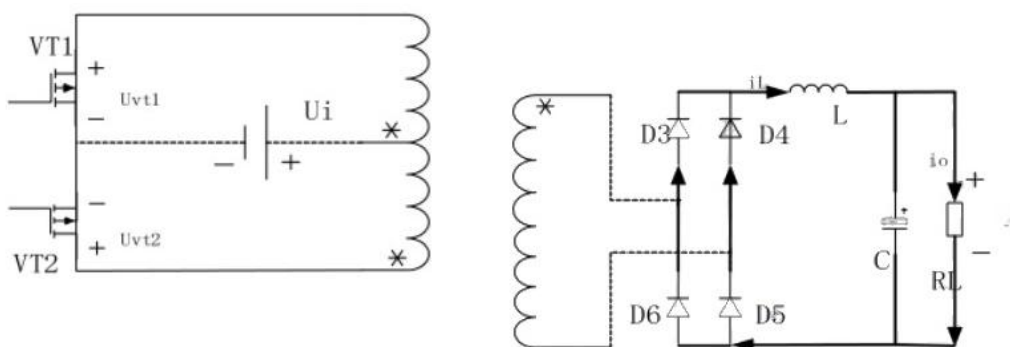
在分析之前，作如下假定：

- 1、全部开关管、二极管均为志向器件；
- 2、电感电容为志向元件；
- 3、滤波电容足够大，稳态工作时，电压基本不变，可视为电压源；
- 4、滤波电感足够大，在一个开关周期中，其电流基本保持不变，这样L、C、R_L 就可以看成一个电流源。

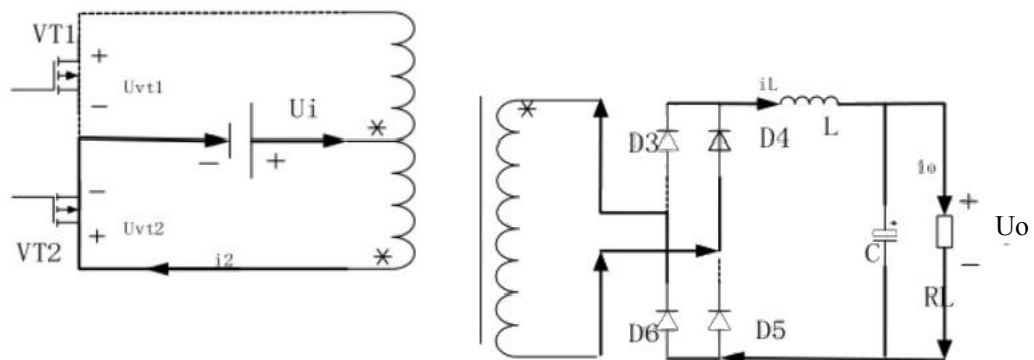
5、全部电量参考方向以图2.1所标注的方向为正方向，计算公式中忽视了变压器励磁电流的作用(励磁电流很小)。



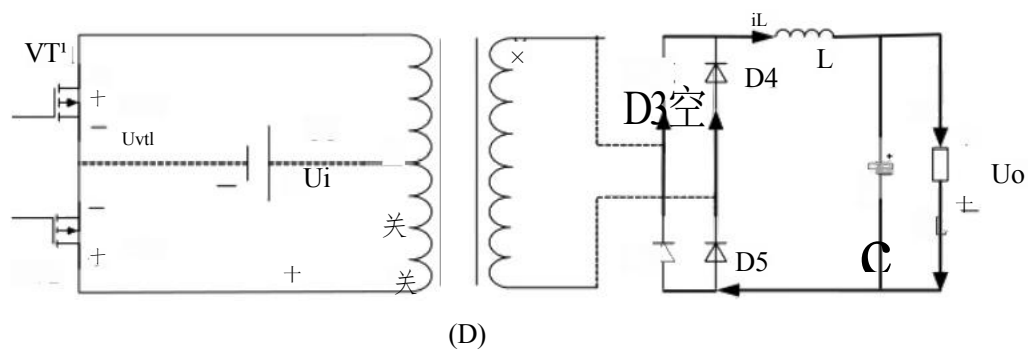
(A)



(B)



(C)



- A) 模式一，VT1导通、VT2截止 B) 模式四，VT1、VT2都截止
 C) 模式三，VT1截止、VT2导通 D) 模式四，VT1、VT2都截止

图2.2 推挽电路工作状态

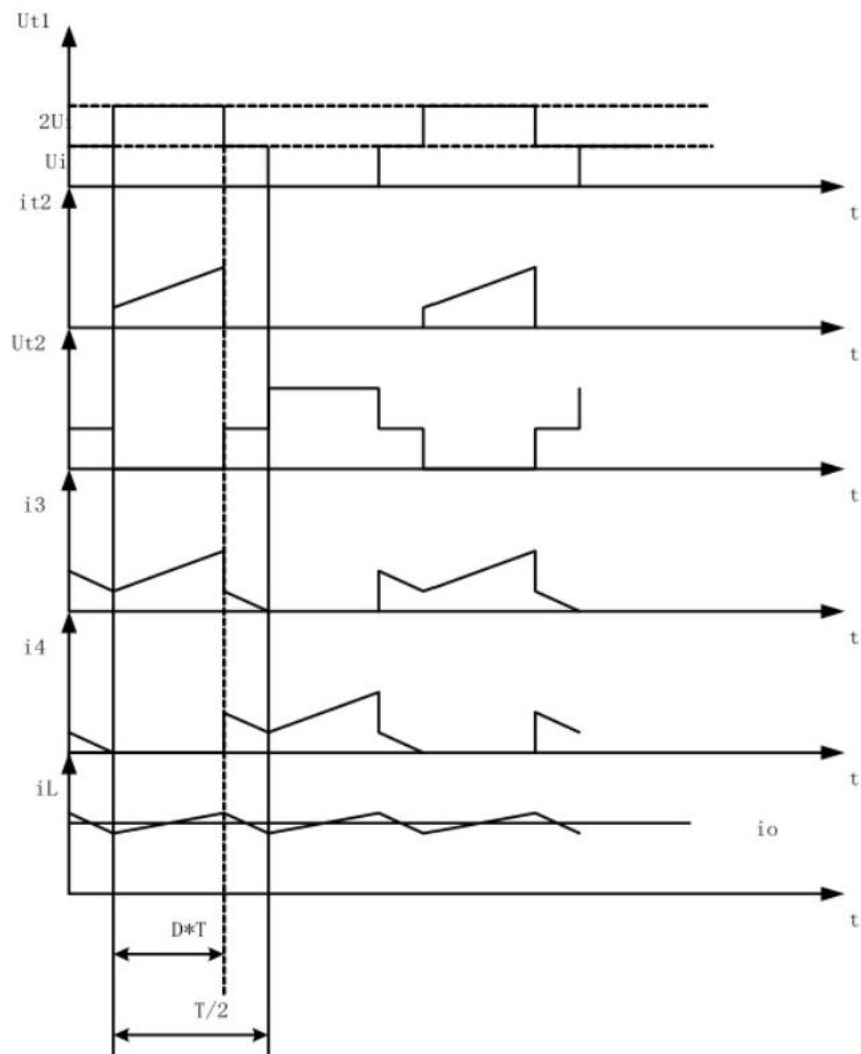


图2.3 推挽变换器主要波形

推挽式变换器基本电路如图2.1所示。它由开关晶体管VT1、VT2、变压器等元件组成。

从图2.2和图2.3所示电路及波形可以得出，推挽电路共有四种工作状态：(1)是VT1导通时输入电压加在变压器原边上端绕组，VT2承受两倍的输入电压，变压器副边绕组电压为 nU_i ，整流二极管D3、D5导通，此期间电源向负载供应能量；(2)VT1关断、VT2仍未导通，由于电路中存在储能元器件，整流管D3、D5中电流渐渐减小，D4、D6中电流渐渐增大，直到两管中电流相等(忽视变压器激磁电流)，此时变压器可以看作被短路，两开关管承受电源电压 U_i ，输出功率由输出电容供应；(3)VT2导通、VT1关断时，输入电压加在变压器原边下端绕组上，VT1承受两倍的输入电压，变压器副边绕组电压为 nU_i 。整流二极管D4、D6导通，此期间电源向负载供应能量；(4)VT2关断、VT1仍未导通，整流管D4、D6电流渐渐减小，D3、D5中电流渐渐增大，直到两管中电流相等(忽视变压器激磁电流)，此时变压器又可以看作被短路，两开关管承受电源电压。这就是推挽电路的工作状态[10]。

2.3 整流二极管的换流分析

本节主要着重探讨推挽变换器副边整流二极管的换流状况。一般而言，输出整流电路有两种，一种是四个整流二极管构成的全桥整流方式，另一种是两个整流二极管构成的双半波整流方式也称全波整流方式。前者一般用于输出电压比较高、输出电流比较小的场合；而后者常用于输出电压比较低、输出电流比较大的场合，为的是减小整流桥的通态损耗，提高变换器的效率[1]。因此，本文针对设计要求采纳全桥整流方式。下面来探讨全桥整流方式。

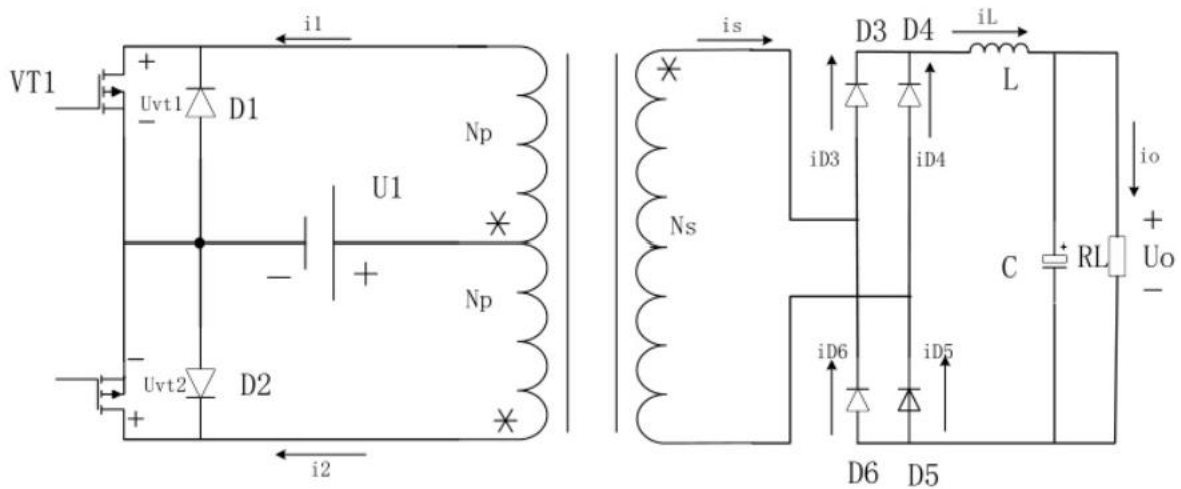


图2.4 推挽变换器输出全桥整流电路

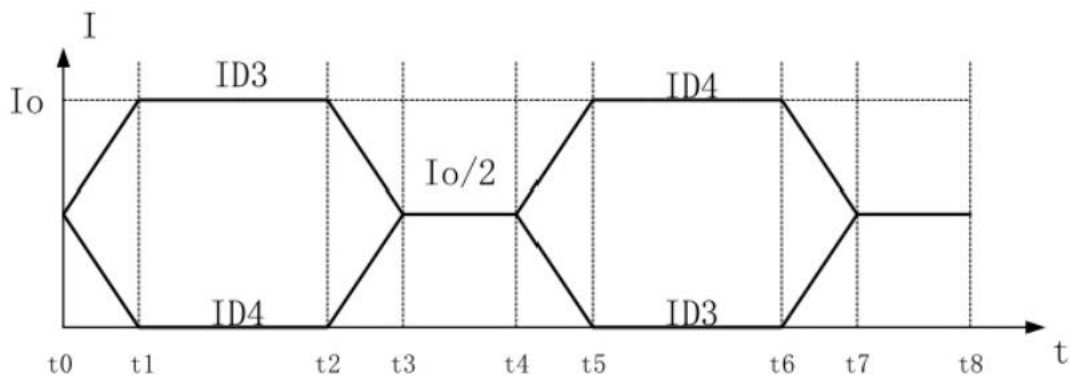


图2.5 全桥整流电路主要波形

图2.4和图2.5是全桥整流方式下的电路结构及其主要波形。在 t_0 时刻前，由于全部整流管同时导通，将变压器的副边电压钳在零位，此时变压器原边电压也为零。由前面分析可知，

在 t_0 时刻起先，变压器原边电流增加，其副边电流也增加， $i_{D3} = i_{D4} = i_{D5} = i_{D6} = \frac{1}{2}i_0$

但小于输出滤波电感电流，即 $i_L < i_o$ ，不足以供应负载电流。此时D4和D6依旧导通，为负载供应不足部分的电流。各个电流的关系式为：

$$ip_3+ip_4=i \text{。}$$

$$(2.1)$$

$$i_{p4}+i_5=i_o \quad (2.2)$$

一般D3-D6是同一型号的器件，而D1和D4,D2 和D3的工作状况是一样的。

$$i_{p3}=i_o \quad (2.3)$$

$$i_{p4}=i_p \quad (2.4)$$

依据式(2.1)~(2.4)以及变压器的原副边电流关系式，可以得出整流管的电流表达式：

原副边电流关系式如下：

$$\begin{aligned} V_p &= V/n \\ i_p &= n i \end{aligned} \quad (2.5)$$

其中 V_p, i_p 为变压器原边的电压、电流； V, i 为变压器副边的电压、电流； n 为副边与原边匝数之比。

$$\begin{aligned} i_{D3} &= i_{D5} = \frac{1}{2}(i_o + i_s) & i_{D3} &= i_{D5} = i_o - \frac{nV_i}{L} \Delta t \\ i_{D4} &= i_{D6} = \frac{1}{2}(i_o - i_s) & i_{D4} &= i_{D6} = \frac{nV_i}{L} \Delta t \end{aligned}$$

由于副边变压器短路，所以 nV_i 加在变压器副边漏感上，存在关系：

$$i_s = \frac{nV_i}{L} \Delta t$$

将式(2.9)代入(2.7), (2.8)可得

$$\begin{aligned} i_{D3} &= i_{D5} = \frac{1}{2}(i_o + \frac{nV_i}{L} \Delta t) \\ i_{D4} &= i_{D6} = \frac{1}{2}(i_o - \frac{nV_i}{L} \Delta t) \end{aligned}$$

依据上面两式，可以知道整流管的换流状况：

1、 $[t_0, t_1]$ 时段，D3 和D5中流过的电流大于D4和D6中流过的电流，即

$$i_{p3}=i_{p5}>i_{p4}=i_{p6}$$

2、 $[t_1, t_2]$ 时段，D3 和D5流过全部负载电流，D4 和D6的电流为零，即：

$$i_{p3}=i_{p5}=i_o$$

$$i_{p4}=i_{p6}=0$$

3、 $[t_2, t_3]$ 时段

(2.14)

增加，即：D3 和D5中流过的电流开始减小，D4 和D6中流过的电流开始

(2.7) (2.8)

(2.9)

(2.10) (2.11)

(2.12)

(2.13)

(2.15)

(2.16)

4、 $[t_3, t_4]$ 时段，四个整流管中流过的电流相等，均为负载电流的一半，即：

$$i_{p3}=i_{os}=i_{o4}=i_{p6}=I/2$$

(2.17)

2.4 小结

本章具体地介绍了推挽电路的工作原理；分析了该电路的关键工作过程；针对全桥整流对副边的换流状况做了简要的探讨；相识和了解了全桥式整流推挽电路的工作过程。对下一章的电路设计，起着承上启下的作用。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/465020233201011321>