

谈新型半导体功率器件 在太阳能逆变器中的应用与发展

英飞凌科技(中国)有限公司

周益铮

摘要 太阳能是目前广泛开发使用的一种新型能源。在太阳能系统中,光伏逆变器是极为重要的一个组成部分,而太阳能逆变器的性能又与半导体器件的性能息息相关。文中就光伏逆变器及功率半导体器件的选择做了介绍。

目前,在全球能源结构中,人类主要利用的是石化能源,其中尤以石油、天然气、煤炭的消费居多。石化能源的大量开发和利用会造成大量的二氧化碳和含氧硫化物排放,是造成人类生存环境恶化的主要原因之一。因此,寻找一种清洁、可再生的代替能源势在必行。在这个大背景下,许多新兴的能源系统开始得到发展,比如水利发电、风力发电、太阳能发电、核电等。在众多的新兴能源中,太阳能发电由于其无污染、不受地域限制,规模设计自由度大,可以和建筑物相结合等特点,使其成为一种不可替代的新能源。

目前制约太阳能光伏发电的主要因素是其成本较高,所以

提高光伏转换效率,降低光伏发电成本是推广应用的关键。为此世界各国投入大量的人力、物力进行研究,太阳能电池的转换效率不断得以提高,目前广泛采用的单晶硅或多晶硅的太阳能电池板,转换效率已经能达到15%左右,而一些实验室的研发成果只能达到25%。与此同

时太阳能光伏发电系统的另一重要组成部分——逆变器,也随着半导体功率器件的发展而得到不断的发展。

1 太阳能光伏系统的应用

1.1 太阳能光伏系统的分类

太阳能光伏发电系统按应用分,主要分为以下两类:

(1)独立光伏发电系统。其系统结构如图1所示。一般需配合蓄电池达到对系统连续供电

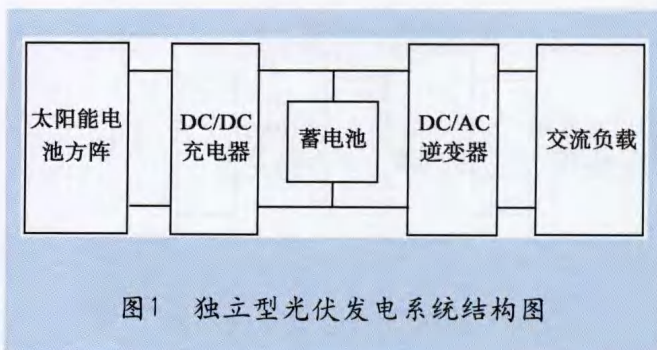


图1 独立型光伏发电系统结构图

的效果,一般多用于电网不能覆盖的农村或一些小型照明系统。

DC/DC充电器将太阳能电池输出的不稳定的直流电压稳定为蓄电池的电压,并且实现最大功率点跟踪。DC/DC充电

器配合蓄电池供给DC/AC逆变器,逆变器负责将稳定的直流电逆变为稳定的交流电供负载使用。

(2)并网发电系统。其系统构成如图2所示。它能直接将太阳能转化的电能供给电网,供给系统或远端用户使用,应用领域一般为大型的太阳能发电站或者屋顶太阳能系统。DC/DC变换器将太阳能电池输出的不稳定直流电调节为一个稳定的电压,然后经过后级的逆变器将能量转换为和电网匹配的能量输给电网。

1.2 太阳能光伏系统拓扑结构

(1)采用电子升压变换器(boost电路)提升输入电压值,如图3所示。然后再由桥式电路将直流逆变为和电网匹配的交流

电。这种系统结构比较简单,成本低,但是整个系统没有隔离。

(2)采用带有整流器的高频变压器,提升输入电压,然后再经桥式电路将直流母线电压逆变为电网交流电压。这种系统使用的半导体器件较多,成本较高。但是由于系统中有一级高频变压器,系统带有隔离功能,安全可靠性能提高,如图4所示。

(3)系统将DC/DC变换器和DC/AC逆变器合二为一,直接利用桥式电路将光伏逆变器输出的变化的直流电转化为交流电输出,然后再通过后级的工频变压器,使输出电压与电网匹配。这种系统结构简单,并且具有隔离功能。但是工频变压器体积较大,成本也较高。其系统

拓扑如图5所示。

这些系统中桥式逆变电路的形式种类繁多,主要使用的拓扑有:全桥、半桥、三电平(见图6)。全桥拓扑的输出电压可正可负,所以系统的母线电压可以比较低,所采用器件的耐压低,但是所使用器件的数量增加,驱动设计也变得复杂,提高了成本。半桥拓扑使用的开关器件数量只有全桥拓扑的一半,但是器件要求承受全部的正负母线电压,开关器件的耐压能力要求提高,单个器件的损耗比全桥拓扑要大。三电平拓扑在半桥拓扑的基础上增加了开关器件的个数,使系统输出增加了一个零电平,大大减小了输出电压的谐波成分,从而可以减小输出的滤波电感。尤其在高频的应用场合,效

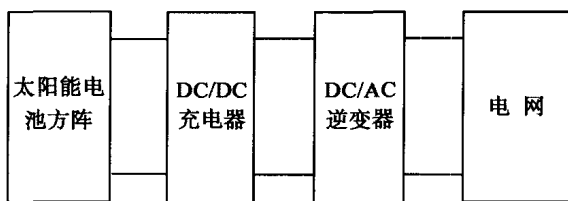


图2 并网型发电系统结构图

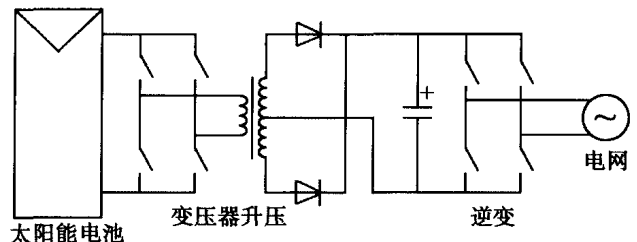


图4 采用带有整流器的高频变压器的系统拓扑

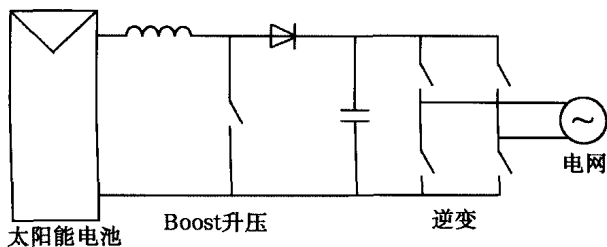


图3 采用电子升压变换器的结构拓扑

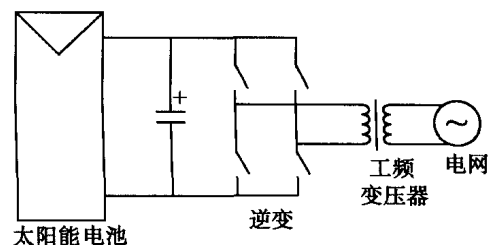


图5 采用工频变压器的系统拓扑

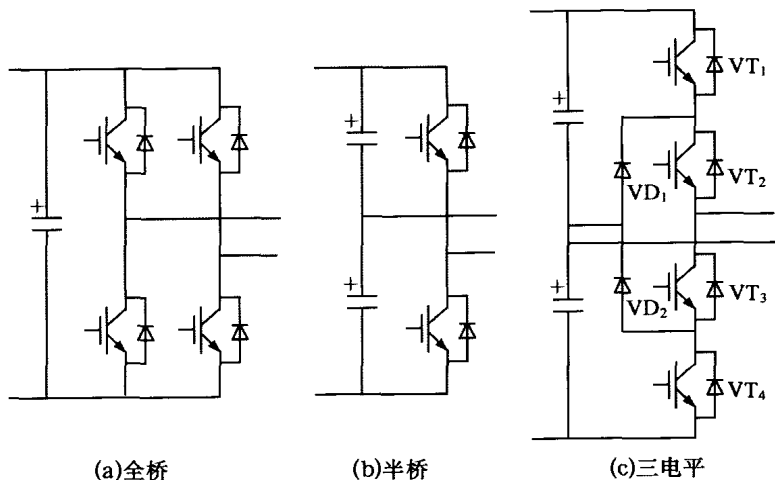


图6 桥式电路拓扑结构

率要高于半桥拓扑结构。电路中的四个开关器件,1、4管由于有二极管钳位(VD_1 、 VD_2),其耐压只需要一半的母线电压,而2、3管,由于没有二极管钳位,在一些开关模式下会承受整个母线电压,所以一般要求器件耐受整个母线电压。

2 太阳能逆变中的半导体器件

当太阳能电池板系统拓扑确定后,系统整体的转化效率在很大程度上取决于系统中所采用的半导体功率器件,而半导体生产厂商也在不断地改进自己的技术,来满足市场上低损耗和高开关频率的要求。目前太阳能系统中使用的半导体器件主要有IGBT、MOSFET和二极

管。IGBT和MOSFET都是全控型半导体器件,就其结构而言,两者的基本结构十分相似,IGBT

仅是在MOSFET结构的基础上,在器件的发射极上增加了一个P型高掺杂区。

由于这个P层,使得IGBT的特性和MOSFET的特性有很大的差异。MOSFET是单极性器件,器件内部仅有电子进行导电,其传输特性曲线接近一条直线。而IGBT是双极性器件,内部同时有空穴和电子进行导电,其传输特性和二极管相似,如图7所示,所以在电流较小的场合,MOSFET的通态损耗比较小,而在大电流情况下,IGBT的损耗小。再考虑开关损耗,在关断过程中,IGBT由于P区内部贮存的空穴需要中和,导致IGBT关断情况下有一个拖尾电流,

增加了关断损耗,所以IGBT应用的开关频率不能过高。综上所述,IGBT主要使用在高压、大电流、频率较低场合,而MOSFET应用在低压、小电流、开关频率较高的场合。此外,同一电流等级的IGBT成本要比MOSFET低,特别是在高压、大电流情况。

传统的MOSFET一直存在着耐压增加、导通电阻上升过快的问题。英飞凌第一个将超级结的技术导入MOSFET中,从而解决了这个问题,开发出了低导通电阻高耐压的CoolMOS器件。超级结的基本原理是在传统MOSFET中集成出一个P柱结构,并且对MOSFET中的n层进行高掺杂。当CoolMOS关断时,P柱中的空穴与高掺杂的n层进行中和,从而减小了n层中的掺杂,提高了器件的耐压特性。当MOSFET开通时,P柱形成,而由于n层是高掺杂层,从而大大减小了CoolMOS的开通电阻,如图8所示。

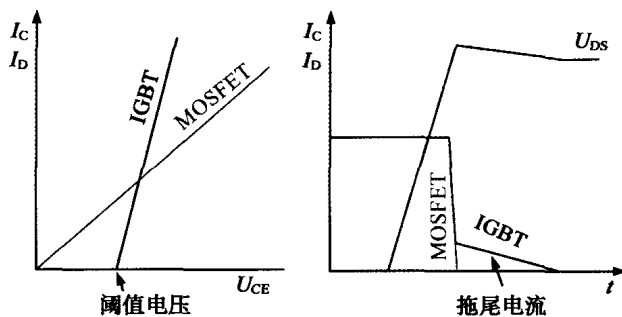


图7 MOSFET和IGBT特性对比

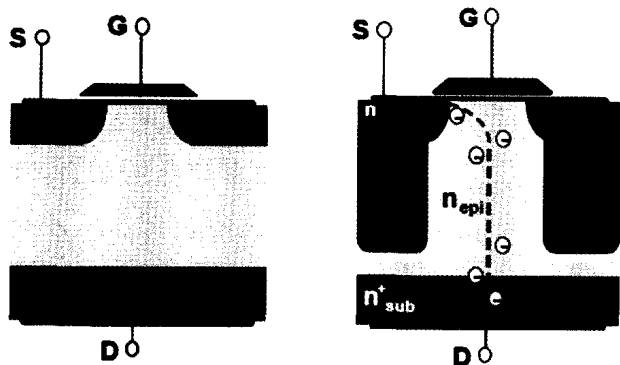


图8 CoolMOS原理及结构

目前英飞凌的CoolMOS已经发展了4代,如表1所示。第一代S5芯片最初实现了超级结的结构,导通电阻大大小于传统的MOSFET,但是开关速度基本保持不变。随后开发的C3芯片,减小了开通阈值电压和内部门极电阻,从而在S5芯片的基础上开关速度得以提高。而CFD芯片主要针对MOS的体二极管进行优化,其体二极管的反向恢复电荷只有C3芯片的1/10,非常适合应用在需要二极管硬续流的场合。最新一代CP芯片采用了新的光刻技术并改善了掺杂技术,使得芯片的开通电阻和开关速度都得以改善,大大减小了芯片的损耗。但是由于其开关速

度较快,要求设计PCB时须注意引线寄生电感,否则可能会出现振荡现象。在太阳能逆变器中,采用CoolMOS器件会比传统的MOSFET具有更高的效率。而开关频率在几十千赫的情况下,单就减小损耗、提高效率方面而言,无疑CP芯片是最好的选择。

在IGBT方面,英飞凌也在芯片技术上做出了创新及优化。在传统的NPT(非穿透型)技术上引进了“沟槽栅+场终止技术”,如图9所示。沟槽栅技术指门极结构,在这种垂直沟道的结构下,一方面消除了器件的J-FET电阻,另一方面沟槽形状的门极结构能增加靠近集电极侧的空穴浓度,从而大大减小了IGBT的饱和压降。场终止技术指的是在发射极的P层上集成了一层较高浓度掺杂的n层,由于这层n层,使得器件在承受相同耐压的情况下,芯片能做得更

薄,从而减小了饱和压降和开关损耗。IGBT单管共有两个电压等级:600V, 1200V。

英飞凌600V的IGBT中一共有Fast IGBT、Highspeed IGBT和TrenchStop IGBT三款。Highspeed IGBT采用的是NPT技术,开关速度最快,但是饱和压降最大,适合应用在开关频率较高的场合($\geq 40\text{kHz}$),Fast IGBT同属于NPT技术,但是优化了饱和压降,饱和压降较小,但是开关损耗较Highspeed IGBT有所增加,一般使用在20~40kHz的开关频率。TrenchStop IGBT是新的沟槽栅+场终止技术的芯片,饱和压降大大降低,但是开关损耗略微比Fast IGBT大一点,一般应用在小于40kHz的开关频率。在输出为220V的太阳能逆变系统中,600V的IGBT被广泛应用在全桥和三电平拓扑中,而器件的优劣则取决于所采用的开关频率。

1200V的IGBT中也有Fast IGBT、TrenchStop IGBT、TrenchStop2 IGBT三款。如

表1 英飞凌CoolMOS系列

	电压等级	特性	开通阈值电压	跨导	内部门极电阻
CoolMOS™S5	600V	低导通电阻,开关速度与传统MOSFET相近	4.5V	低	高
CoolMOS™C3	500/600/650/800V	高开关速度	3V	高	低
CoolMOS™CFD	600V	高速体二极管,反向恢复电荷小	4V	高	低
CoolMOS™CP	500/600V	极低导通损耗及开关损耗	3V	高	低

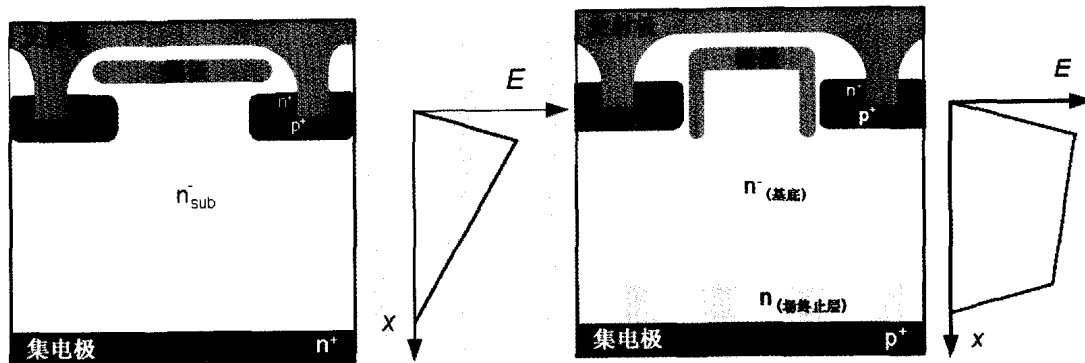


图9 沟槽栅+场终止技术结构

图10所示，Fast IGBT采用的是NPT技术，相对于传统的PT技术大大降低了关断损耗。TrenchStop IGBT采用了新型的“沟槽栅+场终止技术”后，饱和压降相对于Fast IGBT大大降低，但是开关损耗会比较大，所以适合应用在频率较低场合。目前最新的TrenchStop2 IGBT，在原有的“沟槽栅+场终止技术”上，进一步优化了场终止层，从而使该款芯片同时具有低饱和压降和低开关损耗的特性，并且开关保持了很好的软特性。其芯片最高结温也提高了25℃，从而大大提高了电流密度，已成为市场的主流应用器件。在输出为半桥拓扑的太阳能逆变器中，器件的耐压要求较高，而目前市场上很少有耐压达到1200V的MOSFET，所以1200V的IGBT就成为半桥逆变中的主流器件，而TrenchStop2 IGBT无疑是最佳的选择。

在二极管方面，英飞凌Emcon Fast二极管提供全系列的解决方案。该类二极管是一款高速二极管，在保证通态损耗较低、反向恢复损耗小的情况下，也保证了二极管的软特性。此外英飞凌也有碳化硅二极管，由于其肖特基结构以及碳化硅材料，使得该类二极管能在承受比较高的电压下，还能保证几乎为零的反向恢复损耗，非常适合高频应用，但是这类二极管的成本相对较高。所以采用哪种二极管就成为成本与性能相博弈的问题。目前市场上还是采用快恢复二极管的场合居多，但是将来随着碳化硅二极管技术的不断成熟，该技术一

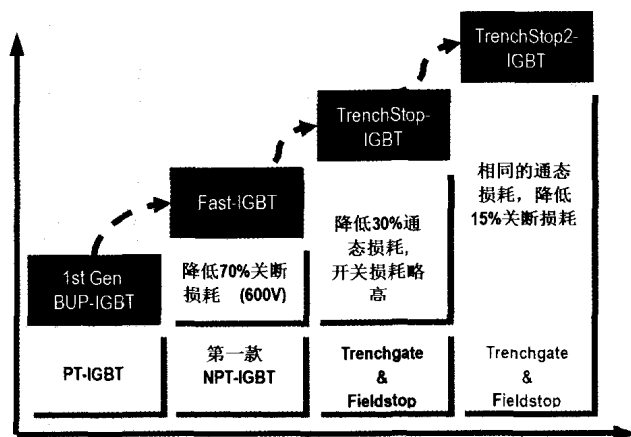


图10 英飞凌IGBT的发展及特性

定会被广泛采用。

3 结束语

太阳能光伏发电是一种重要的新能源，目前正在迅速地发展。而太阳能逆变器作为其系统构成中的重要部分也随着半导体器件技术的革新而发展。只有合适的拓扑结构配合正确的器件选型才能实现太阳能逆变器的高效及可靠。■