

# 高可靠的风能变流器设计

文/维谛技术

风能变流器是在风能发电系统中连接发电机和电网的重要部件，负责将发电机发出的交流电转换为幅值频率和电网一致的交流电进而并网。相对于风机整机其他部件，比如叶片、齿轮箱和发电机等，变流器对于恶劣应用条件的忍耐程度相对低下，主要是因为作为电力电子变换部件，变流器内部有大量的功率半导体器件IGBT，其对过电压、过电流等异常条件的耐受时间以毫秒计算，超过这个时间限度，IGBT就会发生损坏，进而导致风能变流器损坏；另外，IGBT作为一种非常精密的器件，其本身就存在一定的失效率，全球一线IGBT厂商给出的典型失效率为100 fit（1 fit指在1亿h运行时间内出现1例损坏）。正因为IGBT的特性，提升风能变流器的可靠性，必须恰当地选择、应用好IGBT。维谛技术依托公司悠久的电力电子产品开发经验和强大的电力电子技术平台进行了大量的风能变流器IGBT应用设计。

首先，优先选择性能参数优异的IGBT。维谛技术在设计风能变流器时，优先选用全球一流厂商的PrimePack封装的IGBT（Prime-首要的，Pack-封装；从名字可以看出，这个封装是IGBT厂家最推崇的），从厂家的数据手册上看，PrimePack的各项参数也远远优于其他封装。见表1、表2。

表1 其他封装IGBT主要技术参数

| 模块/Module |                                          |       |                         |    |
|-----------|------------------------------------------|-------|-------------------------|----|
| 绝缘测试电压    | RMS, $f=50\text{ Hz}$ , $t=1\text{ min}$ | VISOL | 3, 4                    | kV |
| 模块基板材料    |                                          |       | Cu                      |    |
| 内部绝缘      | 基本绝缘<br>(class 1, IEC 61140)             |       | $\text{Al}_2\text{O}_3$ |    |
| 爬电距离      | 端子、散热器端子、端子                              |       | 14, 5<br>13, 0          | mm |
| 电气间隙      | 端子、散热器端子、端子                              |       | 12, 5<br>10, 0          |    |
| 相对电痕指数    |                                          | CTI   | >200                    |    |

表2 PrimePack封装主要技术参数

| 模块/Module |                                          |       |                         |    |
|-----------|------------------------------------------|-------|-------------------------|----|
| 绝缘测试电压    | RMS, $f=50\text{ Hz}$ , $t=1\text{ min}$ | VISOL | 4, 0                    | kV |
| 模块基板材料    |                                          |       | Cu                      |    |
| 内部绝缘      | 基本绝缘<br>(class 1, IEC 61140)             |       | $\text{Al}_2\text{O}_3$ |    |
| 爬电距离      | 端子-散热片端子-端子                              |       | 33, 5<br>33, 0          | mm |
| 电气间隙      | 端子-散热片端子-端子                              |       | 19, 0<br>19, 0          |    |
| 相对电痕指数    |                                          | CTI   | >400                    |    |

其次，对IGBT在变流器中各种可能的应用条件进行逐项测试，以确保在变流器工作的各种工况下IGBT不会超出数据手册规定的各项指标界定。

在仿真/半实物仿真平台上仿真IGBT在各种工况下的电应力，如图1所示。

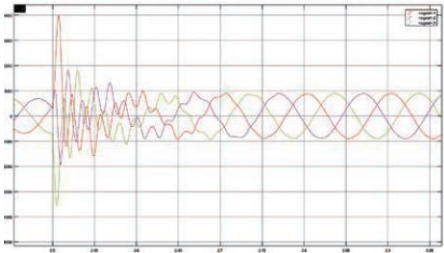


图1 仿真

通过热仿真，确定在最严酷的工况下IGBT的温升在安全工作范围，如图2所示。

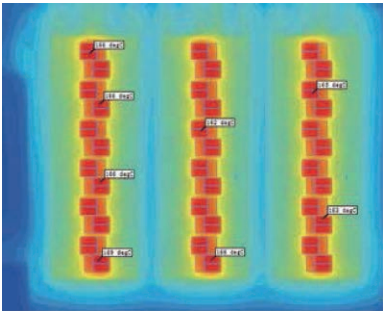


图2 热仿真

在双脉冲平台测试各种工况下 IGBT 实际的电应力，满足 IGBT 应用的SOA 区，如图3所示。

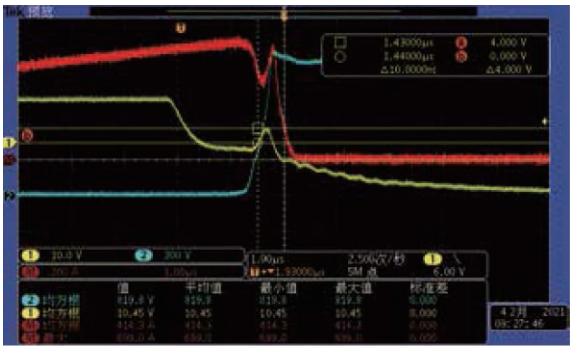


图3 测试工况

在变流器整机测试中确认IGBT 在各种工况下的应力符合 IGBT 的各项规格。

最后，从基本可靠性模型分析，整个产品的故障概率 = 单个器件的故障概率的总和，即  $\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ 。不难看出，单元越多，产品越复杂，其故障的概率越大。因此，简化设计是提高产品可靠性的最重要途径。维谛技术在设计风能变流器时始终贯彻这一原则，在同样功率等级的变流器容量下，尽量选择大电流容量/高工作芯温的 IGBT，优先采用两电平拓扑（一个桥臂只有一个对管IGBT）而非三电平拓扑（N型三电平一个桥臂需要三个对管 IGBT），从而减少 IGBT 的数量；这样做的直接好处就是极大地提升了变流器的可靠性。举例来说，一个6 MW全功率变流器采用不同拓扑和器件的IGBT数量以及对应的MTBF（仅考虑 IGBT的100 fit故障率的情况，一年在网时间8 000h），如图4所示。

| 拓扑      | N 型三电平 450 A IGBT | 两电平 450 A IGBT | 两电平 1 800 A IGBT |
|---------|-------------------|----------------|------------------|
| IGBT 数量 | 216               | 160            | 40               |
| MTBF    | 约 5.8 年           | 约 7.8 年        | 约 31 年           |

图4 故障率分析

IGBT的驱动电路也会随着IGBT数量的增多而增多，如果考虑驱动电路的故障，MTBF会进一步缩短。

依照可靠性的基本逻辑减少IGBT数量的设计，维谛进行了大量的产品实践：某客户要求AC 950 V输出，原本的方案是三电平设计，但可靠性数据非常不理想，客户不予接受三电平方案；维谛采用高耐压IGBT器件，在两电平的拓扑基础上实现了AC 950 V的输出，IGBT的数量由原来72 pcs减少到18 pcs，提升了可靠性，获得了客户的高度评价。某客户原有4 MW全功率变流器，功率部分早

先的设计使用PrimePack 1 000 A IGBT，功率部分需要48 pcs，维谛技术在此基础上进行优化，采用 PrimePack 1 800 A IGBT 进行设计，功率部分的 IGBT数量减少到24 pcs，产品尺寸变得更为紧凑，可靠性表现得到进一步提升。

产品的最终可靠性表现受各种各样因素的影响，而设计则是产品可靠性的基石。维谛技术一直秉持客户至上、质量第一的精神，以严谨科学的设计管理，从流程、方案和过程控制等入手，在源头就严把质量关。维谛技术坚持做客户的高可靠合作伙伴，以客户的长期利益为根本，行稳致远。EA