

# 基于IGCT器件的两电平高压变频器 研究与应用

Research on the two-level high-voltage frequency converter based on  
IGCT devices and application

钱诗宝, 杨志

QIAN Shi-bao, YANG Zhi

(国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003)  
(Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

**摘要:**介绍了基于IGCT器件的两电平高压变频器的技术特点和工作原理,分析了两电平高压变频器的试验波形及其在电厂中的运行情况和节能效果,探讨了电压源两电平高压变频器的应用前景。

**关键词:**IGCT器件;两电平;变频器

**中图分类号:**TN 773      **文献标识码:**B      **文章编号:**1674-1951(2008)01-0033-03

**Abstract:**The technical characteristics and working principles of two-level high-voltage frequency converter based on IGCT devices were introduced. The experimental waveform of such converter, together with the operation conditions and energy-saving effects were analyzed. Based on this, the application prospect of two-level high-voltage frequency converter for power source was presented.

**Key words:**IGCT devices; two-level; frequency converter

## 0 引言

在国际能源紧缺、全球气候变暖的严峻形势下,减少能源消耗、减少温室气体大量排放成为当务之急。实践证明,对一定工况下的工业电动机进行变频调速是一种行之有效的节能方式。根据统计,我国仅待调速节能的风机就有4000多万台,年耗电约1500亿kW·h,节能潜力达450亿kW·h/年,节能潜力巨大<sup>[1]</sup>。

节能效果显著的高压变频器早期之所以推广速度缓慢,一方面是因为一次性投入较大且一些产品可靠性不高,另一方面是因为应用变频器以后会带来一些新的问题,如电网谐波污染、电机谐波损耗发热及电机绝缘老化等。随着国家对节能减排的重视和变频器技术的发展,高性价比高压变频器的应用越来越多。

普通变频器往往具有较高的 $di/dt$ 和 $du/dt$ 电应力,电路输出含有较高的谐波,而通过采用合理的电路拓扑结构可有效地降低其 $di/dt$ 和 $du/dt$ ,通过采用合理的控制算法可降低其谐波输出,从而在大大提高变频器本身可靠性的同时降低对电网的谐波污染。而基于IGCT器件的两电平高压变频器产品,输出谐波含量小于2%,效率高达98%。

## 1 变频器技术介绍

普通级联高压变频器主回路拓扑和功率单元内部电路分别如图1、图2所示,基于IGCT器件的两电平变频器主电路拓扑如图3所示。

由图3可知,两电平高压(6kV)变频器串联后的单个功率管要承受的额定电压为 $6000 \times \sqrt{2} \div 3 \approx 2800$ (V),最大运行电压达到 $2800 \times 1.15 \times 1.08 \approx 3500$ (V)(考虑过电压15%和变压器阻抗8%),这对单管吸收回路及其控制提出了很高的要求。由图1、图2可知,级联产品每个功率管需要承受的额定电压

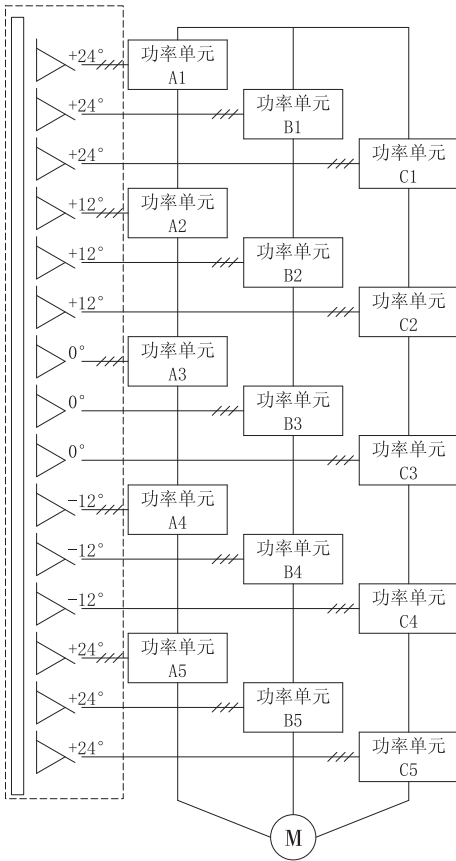


图 1 级联变频器主电路拓扑

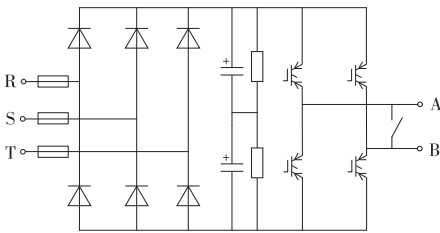


图 2 级联变频器功率单元拓扑

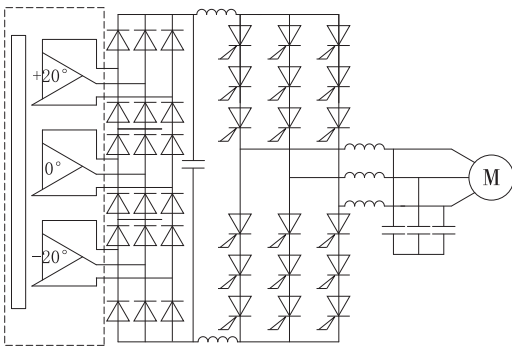


图 3 两电平变频器主电路拓扑

为  $6000 \div \sqrt{3} \times \sqrt{2} \div 5 \times 1.15 \times 1.08 \approx 1200$  (V)。因此,两电平拓扑高压变频器的实现难度要比级联式变频器高得多。该两电平高压(6kV)变频器具有如下特点:

(1) 级联式变频器需要 150 只功率管,而两电平

变频器只需要 36 只功率管,因此,两电平变频器的故障几率可以大大降低,可靠性得到极大提高;

(2) 级联式变频器的变压器出线达 45 根,而两电平变频器出线仅 9 根,使故障概率明显减小;

(3) 级联式变频器不允许将电机放到离变频器过远的地方,以防止机端反激等原因造成变频器异常保护甚至变频器和电机损坏,而两电平变频器具有 LC 滤波环节,输出电缆中不存在大的  $du/dt$ ,不存在机端反激现象,因而不存在这样的限制;

(4) 在能量流方面,两电平变频器只需将整流电路稍加改造即可实现 4 象限运行,这是当前的级联式变频器技术所不能做到的;

(5) 两电平变频器中采用高压金属膜电容器而不采用电解电容器,使整机寿命可达 10 年以上,这也是级联式变频器很难实现的。

## 2 基于 IGCT 器件的两电平技术介绍

图 3 是两电平高压变频器的主电路拓扑,逆变部分使用了高耐压、大电流的功率开关器件 IGCT,其内部集成有反并联续流二极管;为了减小对电网的冲击,整流电路采用 18 脉冲二极管整流结构。其核心技术为特定消谐技术、LC 滤波技术及多 IGCT 串联均压技术等。

在设计中,将特定消谐技术和 LC 滤波技术进行了完美结合,取得了较为理想的效果。试验测得两电平高压变频器输出电压和电流波形如图 4 所示,其中几乎没有谐波和大的  $du/dt$  存在,这对电机绝缘没有任何损伤;同时,将滤波电容中点接地可以消除共模电压(即消除电机轴向电压),使电机使用寿命不受影响。

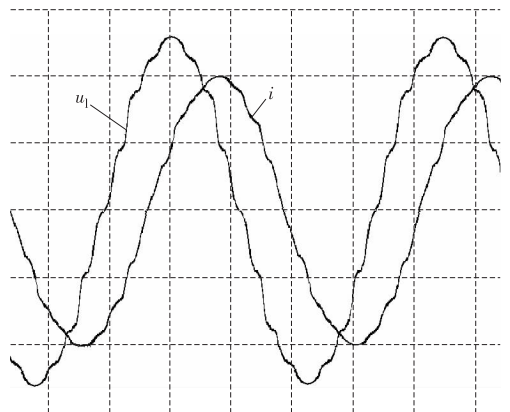


图 4 输出电压和电流波形

基于 IGCT 器件的两电平高压变频器的设计难点在于多个串联功率管的动态均压。经过严格

计算、精确仿真和反复试验改进,得到了额定电流条件下功率管关断均压实测波形,如图 5 所示。图 5 中第 2 峰值电压分别为 3 525 V, 3 360 V 和 3 240 V, 此处 3 只功率管的电压与电压平均值的偏差均小于 5%, 达到了很好的均压效果。

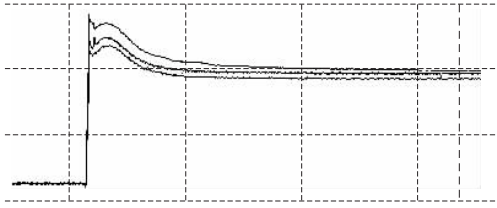


图 5 IGCT 动态均压情况

动态均压电路如图 6 所示, 该电路在带来良好均压效果的同时会造成 IGCT 开通瞬间  $di/dt$  过大, 这是 IGCT 器件所不允许的。从抑制  $di/dt$  的角度考虑, 需要增加电阻阻值, 但大电阻必然会降低动态均压的效果。因此, 图 5 所示的均压不是最佳效果, 而是考虑  $di/dt$  后的综合结果。

在关键工艺方面, 由于采用横向功率管压装技术, 功率回路功率密度大为提高, 即使含滤波回路, 两电平高压变频器的体积和质量也明显小于其他产品。

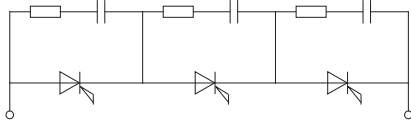


图 6 动态均压电路

### 3 运行效果

扬州发电有限责任公司 330 MW 机组凝结水泵

(1 120 kW) 在进行变频改造以前, 机组满负荷运行时电机的工作电流为 126 A, 负荷降低时电流降低很少。进行变频改造后, 机组满负荷时变频器输入电流为 92 A, 机组 210 MW 负荷时变频器输入电流为 41 A, 综合节电在 35% 以上。该泵改造前年耗电约  $8 \times 10^6$  kW·h, 改造后年耗电约  $5 \times 10^6$  kW·h, 按上网电价 0.39 元/(kW·h) 计算, 每年至少可节省电费 110 万元, 经济效益相当可观。在节能的同时, 电厂电机控制自动化水平也得到了很大提高。

### 4 结论

从上面的分析可以看出, 两电平高压变频器具有非常出色的性能, 在降低输出谐波含量、提高变频器效率、延长电机的使用寿命及提高系统的工作稳定性等方面均有很大的优势。在电力系统、煤矿、城市供水等对设备可靠性、安全性要求很高的应用场合, 采用输出谐波含量低、对负载损伤小的两电平高压变频器是一种很好的选择。

### 参考文献:

- [1] 杨志勇, 赵争鸣. 三电平变频器在节能领域的应用[C]// 2004 年世界工程师大会电力和能源分会场技术论坛论文集. 北京: 中国电机工程学会, 2004: 167 - 169.

(编辑: 白银雷)

### 作者简介:

钱诗宝(1976 - ), 男, 江苏泰州人, 国电南京自动化股份有限公司工程师, 工学硕士, 从事高压变频器研发与应用方面的工作。

## 我国风电产业的发展现状

我国幅员辽阔, 海岸线长, 风能资源较丰富。据全国 900 多个气象站陆地上离地 10 m 高度资料估算, 全国平均风功率密度为  $100 \text{ W/m}^2$ , 风能资源总储量约 32.26 亿 kW, 可开发利用的陆地上风能储量有 2.53 亿 kW, 近海可开发利用的风能储量有 7.5 亿 kW, 共约 10 亿 kW。如果陆上风电年上网电量按等效满负荷 2000 h 计, 每年可提供 5 000 亿 kW·h 电量, 海上风电年上网电量按等效满负荷 2 500 h 计, 每年可提供  $1.8 \times 10^{12}$  kW·h 电量, 合计  $2.3 \times 10^{12}$  kW·h 电量。

经过 20 年的发展, 到 2005 年年底, 国内已有 15 个省、区、市建设了 61 个风电场, 总装机容量达到 1 260 MW。而随着我国可再生能源法的颁布实施, 加上中长期可再生能源发展规划的出台, 为风电产业发展描绘了诱人前景。目前, 我国国内风电总装机容量达到 2 600 MW。仅 2006 年我国风能新增装机容量就达 1 330 MW, 相当于过去 20 年的总和。2007 年吊装数量更是超过 3 000 MW, 累计装机容量将超过 5 500 MW。风电产业正面临前所未有的发展机遇。