

# 完美无谐波高压变频器的原理及应用研究

张海龙

(江西江特电气集团有限公司,江西 宜春 336000)

**摘要:** 完美无谐波高压变频器具有调速精度高、功率因数高、完美无谐波且节能效果显著等特点。介绍了完美无谐波高压变频器原理,对其运行特性进行了分析,实际应用中效果良好。

**关键词:** 完美无谐波;高压变频器;功率单元模块化

中图分类号: TN773

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)21-0097-03

## Principle and application of high voltage perfect harmony high voltage frequency converter

ZHANG Hai Long

(Jiangxi Jiangte Electric Group Co., Ltd, Yichun 336000, China)

**Abstract:** The perfect non-overtone high pressure frequency changer has the velocity modulation precision to be high, the power factor is high, does not have the overtone also the energy conservation effect perfectly remarkable and so on the characteristics. This paper has described the structure and principle of perfect harmony high voltage frequency converter. The operating characteristics are introduced, it has also obtained the good effect in practical application.

**Key words:** perfect non-overtone; high-pressured frequency changer; modularization of power unit

我国有大量的功率传动机械,年耗电量约占工业总耗电量的 50%。传统的调速方式效率极低,现代电力电子技术及计算机控制技术的迅速发展促进了电气传动的技术革命。交流调速取代直流调速,大功率电力电子变流技术发展迅速。在交流电机驱动领域,大容量的高压变频调速技术得到了普遍应用,成为当今节约电能、改善生产工艺流程、提高产品质量及改善运行环境的一种主要手段,其技术和性能胜过其他任何一种调速方式。

近年来高压变频调速系统多采用单元级联多电平叠加输出技术。高压变频器主要由移相变压器、功率单元和控制器组成,这种技术比较好地解决了半导体耐高压的问题,减小了脉动力矩,功率因数也较高,电压冲击小,谐波量很小。完美无谐波高压变频器具有下述优点:体积小、可靠性高、高压直接输出,属于高高结构,没有升压变压器;输入功率因数在 0.95 以上,无需功率因数补偿;正弦波输入,无需滤波器,采用单元串联多电平 PWM 专利技术,正弦输出波形(无需输出滤波器)几乎完美,适用普通电动机;应用功率单元自动旁路技术,无间断运行;

采用内部干式变压器和功率单元模块化设计,维护方便;实现全数字控制;系统总效率高达 97%。因此,完美无谐波高压变频器被越来越广泛地应用于工业生产。

### 1 高压变频器分类

输出 3~13.8 kV 电压的变频器在国内称为高压变频器,在国外称为中压变频器。高压主要是与低压变频器相对而言的,国内常用的电压等级为 3 300 V、4 160 V、6 000 V,其分类方式有 3 种:

(1)按输出电压方式分为:高高型,直接输出高压,变频器输出没有升压变压器;高低型,中间使用低压变频器,后面为升压变压器。

(2)按中间环节类型分为:电压源,中间直流环节为电容;电流源,中间直流环节为电感。

(3)按逆变器电路结构形式分为:三电平(中心点钳位)和 GTO/SGCT 电流源型逆变器。

完美无谐波高压变频器是基于功率单元电压串联电路结构形式。一般高压变频器拓扑结构都由三部分组成:整流电路将输入交流变为直流;中间为直流环节,它

用于滤波和能量储存; 逆变电路又把直流逆变为交流, 并对输出的电压或电流和频率进行协调控制。变频器一般有 5 个独立的部件, 即输入滤波器、功率因数补偿、隔离变压器、变频装置和输出滤波器。

## 2 完美无谐波高压变频器设计原理和运行特性

### 2.1 设计原理

完美无谐波系列的高压变频器(单元串联多电平 PWM 电压源型变频器)是一种新型的直接输出高压的变频器, 它采用若干个低压 PWM 变频功率单元串联的方式直接高压输出, 该变频器具有谐波分量少、功率因数高、输出波形质量好等特点, 不存在谐波引起的电动机附加发热和转矩脉动、噪音。其 10 kV 的电网电压经过干式隔离变压器降为 6 kV 后, 再经过副边多重化的隔离变压器降压后给功率单元供电。功率单元为三相输入、单相输出的交直流 PWM 电压源逆变器结构, 相邻功率单元串联起来, 形成 Y 型结构, 实现变压变频的高压输出, 供给高压电动机。以 6 kV 输出电压等级为例, 每相由 5 个额定电压为 690 V 的功率单元串联而成, 输出相电压最高可达 3 450 V, 线电压达 6 kV 左右, 改变每相功率单元的串联个数或功率单元的电压等级, 就可以实现不同电压等级的高压输出。其设计原理如图 1 所示。

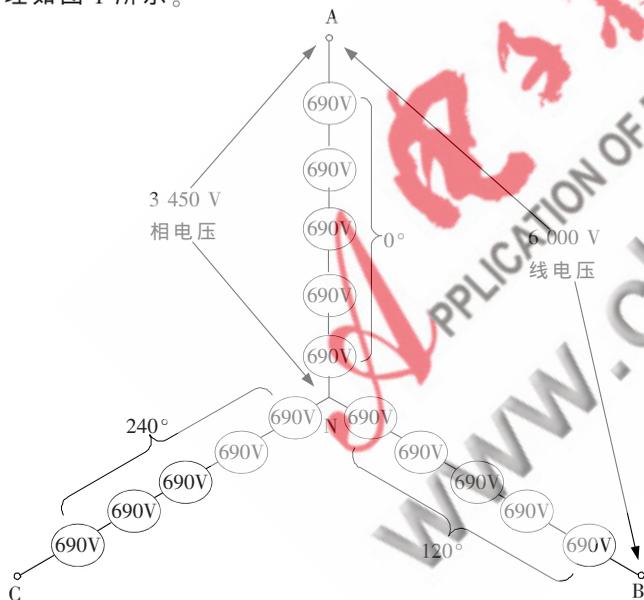


图 1 完美无谐波变频器设计原理

### 2.2 功率单元模块化

为了便于生产和维修, 完美无谐波高压变频器采用了功率单元模块化方式。功率单元模块的电路如图 2 所示。它是由熔断器、三相桥式整流器、直流滤波电容及 IGBT 单相全桥逆变器组成的电压型功率单元。单元中的直流滤波电容要足够大, 以使变频器可以承受 30% 的电源电压下降和 5 个周波的电源电压失电。功率单元为三相输入单相输出的交-直-交 PWM 电压源型变频器,

移相变压器的副边输出三相交流电经功率单元的三相二极管整流后, 经滤波电容形成平直的直流电, 再经过四个 IGBT 构成的 H 型单相逆变桥, 实现 PWM 控制。逆变器输出采用多电平移相式 PWM 技术, 同一相的功率单元, 输出相同幅值和相位的基波电压, 但串联各单元的载波之间互相错开一定电角度, 实现多电平 PWM, 叠加以后输出电压的等效开关频率和电平数大大增加, 输出电压非常接近正弦波。每个功率单元脉冲控制都是采用 SPWM 控制, 逆变器的控制脉冲波形, 由参考正弦波和三角波产生。

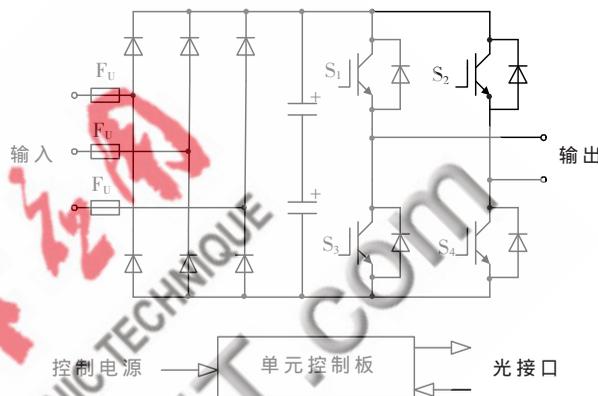


图 2 功率单元示意图

整流桥采用三相不可控全桥, 逆变器为基本的交-直-交单相逆变电路, 通过 IGBT 逆变桥进行正弦 PWM 控制, 即脉冲宽度调制。通过控制电力电子器件的通断时间及通断次序将直流电压转换为一系列宽度不等的矩形电压脉冲。

每个功率单元分别由输入变压器的一组副边供电, 功率单元之间及变压器二次绕组之间相互绝缘。二次绕组采用延边三角形接法, 实现多重化, 以达到降低输入谐波电流的目的。对 10 kV 电压等级变压器来说, 给 27 个功率单元供电的 27 个二次绕组, 每 3 个一组, 分为 9 个不同的相位组, 互差 6.7° 电角度, 形成 54 脉冲的整流电路结构, 可有效地抵消 53 次以下的谐波, 输入电流波形接近正弦波, 总的谐波电流失真可达到 1% 左右。由于输入电流谐波失真很低, 变频器输入的综合功率因数可达到 0.99 以上。

### 2.3 运行特性

(1) 在输入容量不大于变频器额定容量的情况下也能满足工作要求。能使其他在线设备免受谐波干扰, 同时防止与其他调速装置发生串扰。无需滤波器, 变频器就可输出正弦电流和电压波形, 对电机没有特殊的要求, 可以使用普通异步电动机, 电机不必降额使用, 具有软启动功能, 没有电机启动冲击引起的电网电压下跌, 可保证电机安全、长期运行。

(2) 变频装置输出波形不会引起电机的谐振, 转矩脉动小于 0.1%, 可避免风机喘振现象, 变频器有共振点频

率跳跃功能。变频装置对输出电缆长度无任何要求,电机不会受到共模电压和  $dv/dt$  的影响。可在输出不带电机的情况下进行空载调试,也可在没有 10 kV 高压情况下用低压电进行空载调试。采用无速度传感器矢量控制,起动转矩可达 150%。变频器对电网电压波动有极强的适应能力,在 10% 范围内变频器能满载工作,在 45% 的电压下降情况下变频器能继续运行而不跳闸。控制系统采用全数字微机控制,有自诊断功能,具有很高的通信速率和抗干扰能力,安全性好。

(3)完美无谐波系列变频器谐波分量小,功率因数很高,无需进行功率补偿。一般来说用变频器传动电机同用工频传动相比,由于变频器输出波形中含有高次谐波的影响,电动机的功率因数、效率将劣化。另一方面,变频器传动时要得到与工频电源传动相同的转矩特性,变频器的输出电压的基波有效值要等于工频电源的有效值。完美无谐波变频器的变压器次级绕组在绕制时相互之间有一定的相位差,产生相移消除谐波电流,能够获取几近完美的正弦输入电流,使得其功率因数在整个调速范围内,无须使用外部功率因数补偿电容即可超过 95%。

(4)能输出几近完美的正弦波电压。用变频器进行电动机调速运转,由于运转频率的变化,基波分量、高次谐波分量也在很广范围内变化,电动机各部的谐波增加,会使口噪声振动增大,引起电动机转矩脉动,其对策主要是抑制产生的电磁力和防止电磁力产生的谐振。采用变频器本身提供正弦波输出而无须使用外部输出滤波器。这意味着变频器只产生极少的失真电压波形,其产生的电机噪音很小。对电动机的选型没有特殊要求,使得电机的使用寿命大大提高。

### 3 实际应用效果

武钢炼铁厂出铁口除尘风机以前采用液力耦合器调速,它属低效调速方式,调速范围有限,低速转差损耗大,最高可达额定功率的 15%,因效率与速度成正比,低速时效率极低,精度低、线性度差、响应慢,启动电流大,装置大,必须加装在设备与电机之间,不适合改造;无法软启动,偶合器故障时,无法切换运行,维护复杂、费用大,不能满足提高装置整体自动化水平的需要。武钢炼铁厂现在采用 HARSVERT-A 系列的完美无谐波高压变频器调速,使启动更加平稳,而在降速时,速度调节器的输入为负,由于积分作用,速度调节器继续处于饱和状态,电动机的转差频率始终是最大负值,能够合理控制制动过程中的减速转矩,避免高转差下增加电机的损耗,引起电机发热。18 个功率单元的使用使得对电网高次谐波污染极大减少,彻底避免了共模电压对电机的危害。自投产以来,完美无谐波高压变频器能很好地满足生产工艺的要求,设备运行稳定,故障率低,电耗低,使用中达到了良好的节能和环保效果。

#### 参考文献

- [1] 姚大卫.完美无谐波变频器在火电厂风机上的应用[J].电工技术杂志,2002(3):22-24.
- [2] 竺伟,陈伯时.高压变频调速技术[J].电工技术杂志,1999(3):26-28.
- [3] 竺伟,蔡敏思,邵戎,等.完美无谐波高压变频器在火电厂辅机的应用[J].机电信息,2004(7):20-23.

(收稿日期:2010-06-03)

#### 作者简介:

张海龙,男,1969 年生,大学本科,电气工程师,主要研究方向:电力电子技术。