

逆变电源模块并联技术的研究

刘丽¹, 刘喆²

(1.黑龙江省教育学院,黑龙江 哈尔滨 150080;2.哈尔滨商业大学,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 逆变器并联是提高电源系统可靠性,扩充系统容量的有效方式.本文介绍了逆变电源并联的原理和特点、当前常用的几种逆变电源并联方案.在此基础上对主从控制中的单体模块进行了具体分析,最后介绍了逆变电源并联控制技术的特点及发展方向.

关键词: 逆变器;并联;单体

中图分类号: TM464

文献标识码: A

在信息技术高度发展的今天,如何给各种电子设备提供高质量、高可靠性的电源已成为电工领域的一个重要课题.逆变器作为整个供电系统的核心部分,它的控制技术在很大程度上决定了供电系统输出电压的质量.同时如何使一个供电系统更加稳定、可靠地提供电源是重要的研究内容.逆变器并联作为一种电源冗余手段,能够使电源系统的可靠性显著增加,因此已成为电力电子技术中的一个研究热点.

1 逆变器并联的原理

要实现逆变器的并联运行,其关键的问题在于各台逆变器要共同分担负载电流,即要实现逆变器的均流运行.下面以两台逆变器的并联运行为例,简单分析逆变器并联的原理.图1将逆变器简化为电压源加LC滤波器的形式.

R_1 和 R_2 分别表示两台逆变电源输出引线的电阻,可以忽略,于是可以得到下列电路方程:

$$\begin{cases} U_1 - j\omega L_1 i_{L1} = U_0 \\ U_2 - j\omega L_2 i_{L2} = U_0 \\ i_{L1} + i_{L2} = i_{R1} + i_{R2} + i_{C1} + i_{C2} \\ i_{R1} + i_{R2} = U_0/R \\ i_{C1} = U_0 j\omega C_1 \\ i_{C2} = U_0 j\omega C_2 \end{cases}$$

当 $C_1 = C_2 = C, L_1 = L_2 = L$ 时,可简化为:

$$\begin{cases} U_1 - j\omega L i_{L1} = U_0 \\ U_2 - j\omega L i_{L2} = U_0 \\ i_{L1} + i_{L2} = (1/R + 2j\omega C) U_0 \\ i_{C1} = i_{C2} = U_0 j\omega C \\ i_{R1} + i_{R2} = U_0/R \end{cases}$$

由此可以得到:

$$\begin{cases} i_{L1} - i_{L2} = (U_1 - U_2)/j\omega L \\ i_{L1} + i_{L2} = (1/R + 2j\omega C) U_0 \\ U_0 = (U_1 + U_2)/2 + j\omega L(1/R + 2j\omega C) \end{cases}$$

解此方程可得:

$$\begin{cases} i_{L1} = (U_1 - U_2)/2j\omega L + U_0/2(1/R + 2j\omega C) \\ i_{L2} = -(U_1 - U_2)/2j\omega L + U_0/2(1/R + 2j\omega C) \end{cases}$$

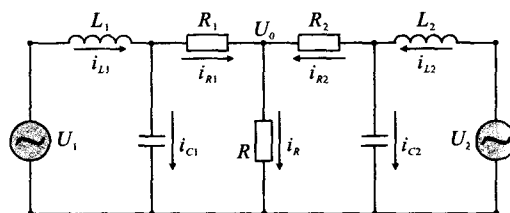


图1 逆变器并联电路图

可以看出,每台逆变器电流 i_{L1}, i_{L2} 由两部分电流组成,一部分为负载电流分量,另一部分为环流分量;负载电流分量总是平衡的,但是环流分量的存在使得各个逆变器输出的总电流不相等,仅由 U_1, U_2 决定,电压的幅值与相位差异都会引起两台逆变器电流差异.可以通过两种方法来减小逆变器的环流,一是增大输出滤波器的电感量 L 来抑制;二是调节电压矢量 $U_1 = U_2$.方法一增加了滤波器的体积重量,同时降低了输出的动态性能.方法二不需改动电路结构、参数,只要选取合适的控制策略,但此种方案对控制有较高要求.

2 逆变器并联方案

2.1 主从式控制型

主从式控制型中最常见的一种就是电压源/受控电流源型.通过硬件开关选择或软件设置一个模块为主模块,电压源作为主控模块,用来建立并联系统的恒定输出电压,从模块的作用是跟踪主模块的给定参考电流,分担系统中相应的负载电流.当主模块出现问题时,自动退出系统,将某一从模块升级为主模块.这种控制方法避免了控制器出现故障时整个系统的崩溃,提高了系统的可靠性.

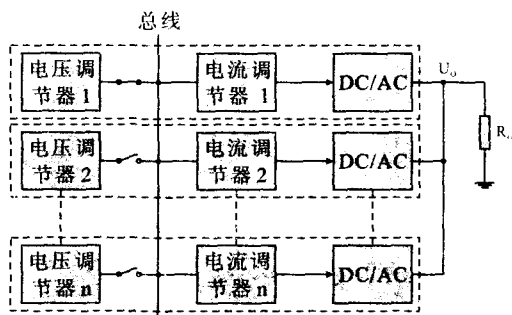


图2 主从控制系统框图

2.2 基于有功、无功功率调节法

图3所示为另一种并联模型, X 为线路阻抗, U_0 为并联电网电压.

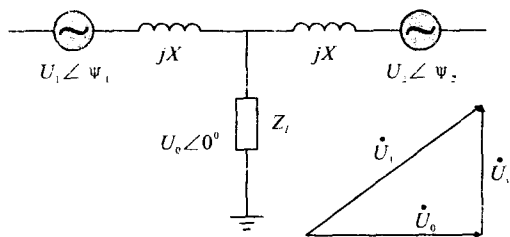


图3 并联控制框图

逆变器1供给负载的复功率为:

$$S_1 = P_1 + jQ_1$$

输出电流为:

$$I_1^* = [U_1(\cos\phi_1 + j\sin\phi_1) - U_0]/jX$$

由此可得逆变器1输出的有功功率和无功功率分别为:

$$\begin{cases} P_1 = U_1 U_0 \sin\phi_1 / X \\ Q_1 = U_0 (U_1 \cos\phi_1 - U_0) / X \end{cases}$$

同理,逆变器2也可得类似公式.由此可以看出逆变电源的输出有功功率主要取决于功率角,而输出无功功率则主要取决于输出电压差,即二模块有功功率的均衡取决于输出电压相位 ϕ_1, ϕ_2 的一致性,无功功率的均衡主要取决于输出电压 U_1, U_2

的一致性.因此,可以通过调节各逆变器基准电压信号的幅值和相位来实现各逆变器输出的无功功率和有功功率的均衡.

2.3 外特性下垂法

外特性下垂法就是调节开关变换器的外特性倾斜度(即调节输出阻抗),以达到并联的逆变电源均流控制的目的.直流电源通过下垂均流控制,可以自动实现并联输出均流;逆变电源也可以通过电压频率下垂均流控制来达到并联输出的有功和无功功率的自动均分控制,实现电源输出的均流.下垂其特性曲线如图4所示.

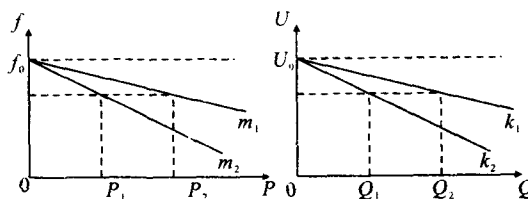


图4 下垂特性曲线图

基于下垂特性,可以得到:

$$\begin{cases} \omega = \omega_0 - mP \\ U = U_0 - kQ \end{cases}$$

式中 ω_0 —空载时的频率;

U_0 —空载时的电压幅值;

m —频率 ω 的下垂系数;

k —电压幅值 U 的下垂系数;

当并联所用的逆变电源额定容量规模不同时,为了确保每个逆变电源单体能够根据其额定容量分担负载,下垂系数选择由下式给出,其中 s 为视在功率.

$$\begin{cases} m_1 s_1 = m_2 s_2 = \dots = m_n s_n \\ k_1 s_1 = k_2 s_2 = \dots = k_n s_n \end{cases}$$

由于存在电压和频率的下垂外特性,所以在并联后,负载运行时系统的频率及电压都会降低到某一个点,在这个点上所有的单体都会在一个较空载运行点偏低的电压和频率工作,从而使各模块电源对输出功率作相应的调整以达到消除环流的目的.采用这种均流控制的各并联逆变电源之间可以没有互连线,而且可以实现各种不同容量的逆变器的并联.

3 单体的设计

上述各种控制方法中,基于有功、无功功率调节法的效果和负载有很大关系.对于线性负载具有

很好的效果,而对于非线性负载,由于波形畸变导致存在失真功率,均流的效果会差很多.外特性下垂法在带载运行时,由于频率、电压低于额定值,会影响系统的工作特性和负载的运行性能.

主从控制方法可以方便地扩充系统容量.单体主电路结构见图 5.

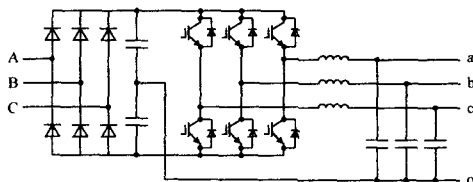


图 5 单体的主电路结构图

考虑到负载的不平衡性以及变化性,设计了三相四线式逆变器,输出电压滤波后得到相电压为 115V,400Hz 的三相交流输出.

单体系统采用了输出电压和电感电流瞬时值反馈的电流 SPWM 控制方案.外环为瞬时电压环控制,输出电压与参考正弦基准比较,误差信号经过 PI 控制器调节后作为电流内环基准;内环为电流环,电感电流瞬时值与电流基准比较产生的误差信号与三角波载波比较后产生 SPWM 控制信号.由于采样电感电流作为内环,因此这种控制方法有输出

限流的功能,即使在输出短路的情况下,输出电流也不会大于限定值.控制系统结构见图 6.

并联时,从模块的电压环都将被屏蔽,主模块电压环的输出信号作为所有模块电流环的给定.这样就保证了所有模块的输出电压均跟随主模块而变化,从而实现了各个模块的均流.

4 结 论

目前逆变电源系统的并联控制技术的特点及发展表现在以下的几个方面:

(1)可并联单元的数目增多,以多种途径实现可靠并联运行.目前,世界几大知名品牌的逆变电源公司如梅兰日兰、EXIDE、西门子、三菱、东芝、APC 等的产品可以实现并联运行,但并联的逆变器台数不超过 10 台,因此并联单元的增多是逆变器并联今后发展的一个趋势.

(2)在小功率逆变电源中用较低的成本实现较好的并联策略.并联逆变电源多为三相中、大功率逆变电源,控制电路成本比例小;而小功率的逆变并联系统中往往采用统一的电源模块和控制电路以简化并联的控制要求,以适应不同的用户要求.

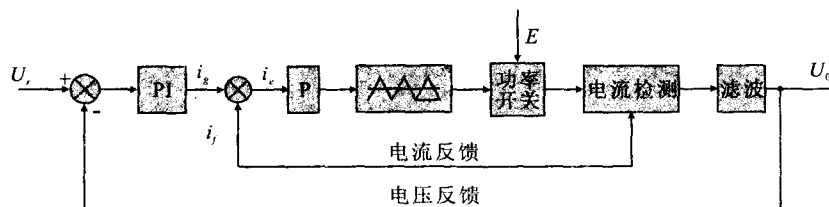


图 6 SPWM 控制系统框图

(3)采用全数字化控制技术.为了提高系统的控制性能和完成并联控制的复杂算法,逆变电源的控制一般采用全数字控制方案,如应用单片机或 DSP 来完成系统的检测、运算和控制.

参考文献:

[1] 邢岩,严仰光.一种新的并联运行逆变器系统的研究[J].电

力电子技术.1999,12(6):11-13.

[2] 陈良亮,肖岚,胡文彬,严仰光.双闭环控制电压源逆变器并联系统环流特性研究[J].电工技术学报.2004,19(5):21-25.

[3] 刘小四,熊蕊.逆变器并联运行时环流的产生及抑制研究[J].电力电子技术.1999,6(3):16-18.

[4] 陈宏,胡育文.逆变电源并联技术[J].电工技术学报.2002,17(5):55-59.

Research on the Parallel Strategy of Inverter

LIU Li¹, LIU Zhe²

(1. Heilongjiang Province Educational College, Harbin 150080, China; 2. Harbin University of Commerce, Harbin 150001, China)

Abstract: The parallel operation of inverter is not only a useful method to increase the capacity of power system, but also a good way to improve its reliability. The principle of inverter's parallel operation and several methods to realize it are introduced. The single module in the control system is analyzed in detail. The development of inverter's parallel is shown at last.

Key words: inverter; parallel; single module