

基于电容电压的并联UPS自主控制策略

闫亮

华润电力(仙桃)有限公司 湖北 仙桃 433000

摘要: 通过探讨基于电容电压的并联UPS自主控制策略,该策略通过精确监测电容电压实现无需通信线的自主均流控制,有效提升并联UPS系统的稳定性、效率和功率因数。实验结果表明,该策略在不同负载条件下均能保持良好的控制效果,显著降低输出电压波动,提高系统对负载变化和电网波动的响应速度。该策略还增强系统的可靠性,为数据中心等关键负载提供更加可靠的电力保障。

关键词: 电容电压; 并联UPS; 自主控制

1 电容电压的自主控制策略原理

1.1 电容电压的测量方法

电容电压的测量是电容电压自主控制策略的基础。在实际应用中,测量电容电压通常使用万用表等仪器。两线法是最常用的电阻测量方法,但也可以用于电容的初步检测。在这种方法中,将万用表的V+端子连接到电容的一端,V-端子连接到另一端,然后设置万用表进行测量。对于电容,万用表会提供一个小的源电流,通过测量电容两端的电压来计算电容值,这种方法对于电容的精确测量并不十分准确,特别是当电容值较小或要求高精度时。四线法是一种更为精确的低电阻测量方法,适用于测量低阻值电阻,但也可以用于电容的精确测量。在这种方法中,万用表的V+、V-端子通过引线向电阻器(或电容)提供电流,同时电压测量引线与电阻器(或电容)的两端直接连接,以消除引线电阻的影响。这种方法可以消除测试引线的影响,提供更为准确的测量结果。对于需要精确测量电容值的场合,通常会使用专门的电容表。被测电容必须从电路板上焊接下来,然后将电容表的两表笔连接到电容的两个引脚上。电容表会显示被测电容的实际容量,通过与标称电容值进行比较,可以判断电容是否损坏或性能下降。

1.2 电容电压的反馈控制原理

电容电压的反馈控制原理是基于闭环控制系统的设计。在电力系统中,为了实现电容电压的稳定控制,需要采用反馈控制策略。电压反馈控制模式采用脉冲宽度调制法,将经电压误差放大器放大的慢变化的直流采样信号与恒定频率的三角波信号进行比较,得到一定宽度的脉冲控制信号。该模式对输出电压进行闭环控制,以增加对输入电压变化的动态响应速度。电压反馈控制模式具有结构简单、易于实现的优点,但在某些情况下可能存在超调和稳定性问题。电流反馈控制模式是在电压

反馈控制的基础上增加了电流内环的控制^[1]。电流内环负责输出电感的动态变化,电压外环则只需控制输出电容。这种双环控制系统具有比电压控制模式更大的带宽和更快的动态响应速度。电流反馈控制模式能够更有效地抑制电流波动和电压波动,提高系统的稳定性和抗干扰能力。平均电流控制模式是一种更为复杂的电流控制策略,该模式将误差电压信号与输出电感电流信号进行比较,得到平均电流跟踪误差信号,再通过PWM控制器产生控制信号。平均电流控制模式具有更好的电流波形控制能力和更高的效率,特别适用于需要精确控制电流的应用场合。

1.3 控制策略的设计与实现

电容电压的自主控制策略设计与实现需要考虑多个因素,包括系统稳定性、抗干扰能力、控制精度和实时性等。传统的PI控制策略通过调节直流电压的误差信号来维持电容电压的稳定。PI控制器根据电容电压的偏差信号产生控制信号,通过调整电流源或电压源的输出值来保持电容电压的稳定,传统的PI控制策略在实际应用中可能存在超调、参数整定困难和抗干扰能力差等问题。模糊控制策略是一种不依赖于系统精确数学模型的控制方法,它利用模糊逻辑和模糊推理来处理不确定性和非线性问题。模糊控制策略可以根据电容电压的偏差和偏差变化率等模糊信息来调整控制信号,具有动态响应快、抗干扰能力强等优点。模糊控制策略能够克服传统PI控制策略的诸多缺陷,提高系统的稳定性和控制精度。在电力系统中,为了提高系统的自主控制能力和鲁棒性,可以采用分布式控制算法。分布式控制算法通过构建多个分布式节点和子系统来实现信息交换和协调控制。常见的分布式控制算法包括集成化分布式控制算法和分布式模型参考自适应控制算法等。这些算法可以根据系统的实际情况自适应地调整控制器参数,提高系统的适应性

和稳定性。

2 并联 UPS 系统基本结构

2.1 UPS系统的组成和功能

UPS (Uninterruptible Power System), 即不间断电源, 是将蓄电池 (多为铅酸免维护蓄电池) 与主机相连接, 通过主机逆变器等模块电路将直流电转换成市电的系统设备。主要用于给单台计算机、计算机网络系统或其他电力电子设备如电磁阀、压力变送器提供稳定、不间断的电力供应。一个完整的UPS电源主要由以下几个部分组成; (1) 整流器 (REC): 其主要工作是将交流AC转化为直流DC的装置。整流器在UPS电源系统中具有两个主要功能: 一是将交流电变成直流电, 经滤波后供给负载, 或者供给逆变器; 二是给蓄电池提供充电电压, 起到充电器的作用。(2) 蓄电池: UPS用来作为储存电能的重要装置, 主要由若干个电池串联而成, 其容量大小决定了其维持放电、供电的时间。当市电正常时, 蓄电池将电能转换成化学能储存在电池内部; 而当市电故障时, 则将化学能转换成电能提供给逆变器或负载。(3) 逆变器 (INV): 其作用是将直流电DC转化为交流电AC, 由逆变桥、控制逻辑和滤波电路组成。逆变器确保了在市电中断时, UPS能够继续向负载提供稳定的交流电源。(4) 静态开关: 由两个可控硅反向并联组成的一种交流开关, 其闭合和断开由逻辑控制器控制。常见的交流开关型号可以分为转换型和并机型两种。转换型开关主要用于两路电源供电的系统, 实现一路到另一路的自动切换; 并机型开关则主要用于并联逆变器与市电或多台逆变器。UPS电源系统还包括主路、旁路、电池等电源输入电路, 以及逆变和旁路输出切换电路等部分。

UPS系统的主要功能包括: 稳压功能, 通常由整流器完成, 整流器件采用可控硅或高频开关整流器, 具有根据外电变化控制输出幅度的功能, 确保外电变化时输出幅度基本不变。净化功能, 由储能电池完成, 利用电容器对脉冲的平滑特性消除脉冲干扰, 起到净化作用。频率稳定, 由变换器完成, 频率稳定度取决于变换器的振荡频率的稳定程度^[2]。

2.2 并联UPS系统的工作原理

并联UPS系统指的是两台或多台UPS能够实现交流输出的并联运行, 从而提供更大的容量和更高的可靠性。要实现并联运行, 必须满足输出电压、频率、相位保持一致的条件。当这些条件满足时, 如果参与并机的所有UPS又有相同的输出阻抗, 则它们就可以均分负载。并联UPS系统的工作原理包括: 第一、负载均分: 在并联系统中, 通过电流检测器件对输出电流进行实时检测,

确保各台UPS的输出电流一致, 从而实现负载均分。如果输出电流产生差别, 就意味着负载没有均分, 此时UPS控制电路会依据电流偏差的大小和相位做反向的调整, 使各台UPS的输出保持一致。第二、并机控制: 参与并联的UPS之间有信号线, 这些信号线将各个UPS的运行状态相互告知, 并联中的UPS不仅知道自己的状态, 同时也知道对方的状态。根据自己的状态和对方的状态, 就可以控制自己可以做哪些动作、不可以做哪些动作。例如, 当某台UPS的整流输入没电了, 电池可能要放电, 如果电池放电结束, 在单机情况下, UPS会转旁路。但在并联系统中, 如果得知对方的逆变器正在运行, 它就不会向旁路转换, 而只是停止自身逆变器的工作, 等待市电的恢复。第三、接线要求: 为保证并联的UPS能可靠运行并很好地均分负载, 对并联UPS的输入、输出连线有一定要求。

2.3 并联UPS系统中的自主控制策略的应用

并联UPS系统中的自主控制策略对于提高系统的稳定性和可靠性至关重要。采用电压外环提供基准电压信号与采样的瞬时输出电压比较后, 经过调节器校正后作为电流内环的给定。电流内环一般采用滞环控制, 使得输出电流能够跟踪给定在一定的范围内变化。这种控制方式可以在保证系统稳定性的同时实现各模块间电流的均分。即功率偏差并联控制, 需要检测各单元的瞬时功率, 用来求出功率平均值作为基准控制信号。这种控制方式要求各单元模块之间有通讯线相连, 同时由于计算量较大, 所需的控制芯片性能要求较高。但它能够实现有功和无功的自动均分, 提高系统的控制精度。通过调节开关变换器的外特性倾斜度, 以达到并联的UPS接近均流的目的。这种控制方式不需要各并联单元之间有互连通讯线, 而是通过人为引入UPS的电压和频率下垂特性来实现均流控制。

3 基于电容电压的并联 UPS 自主控制策略的特点

3.1 稳定性提升

基于电容电压的并联UPS自主控制策略, 通过精确监测和控制电容电压, 显著提升系统的稳定性能。该策略利用电容电压作为关键反馈信号, 通过闭环控制系统实时调整UPS的输出电压和电流, 确保电容电压维持在预设范围内。这种控制方式有效抑制电压波动和瞬态干扰, 使得并联UPS系统在面对负载变化或电网波动时能够迅速响应, 保持输出电压的稳定, 通过电容电压的精确控制, 还可以减少并联UPS系统内部的环流, 进一步提高了系统的整体稳定性。

3.2 效率和功率因数的优化

基于电容电压的并联UPS自主控制策略在提升系统稳

定性的同时，也实现了效率和功率因数的优化^[3]。该策略通过精确控制电容电压，使得UPS的逆变器工作在最佳效率点，从而降低能耗，提高系统的整体效率，通过优化电容电压的波形和相位，该策略还可以减少无功功率的损耗，提高功率因数。这不仅有助于降低电网的损耗，还可以减少UPS系统的谐波污染，对电网和负载设备都具有良好的保护作用。

3.3 系统可靠性的增强

基于电容电压的并联UPS自主控制策略还显著增强了系统的可靠性。该策略通过实时监测电容电压，可以及时发现并处理潜在的故障情况。通过精确控制电容电压，该策略还可以减少并联UPS系统内部的环流和不平衡现象，降低了系统因过热或过载而损坏的风险。因此基于电容电压的并联UPS自主控制策略在提高系统可靠性方面具有重要意义，能够确保系统在各种复杂环境下稳定运行，为用户提供不间断的电力供应。

4 应用案例分析

4.1 并联UPS系统中基于电容电压的自主控制策略实施效果评估

在某数据中心的应用案例中，实施了基于电容电压的并联UPS自主控制策略。该策略通过精确监测每台UPS模块滤波电容的电压，并将其作为输出电流的函数进行调节，实现无需逆变器之间信息交换的自主均流控制。在实施该策略后，对系统的性能进行全面评估。实验结果表明，在不同负载条件下，包括阶跃负载和非线性负载工况，系统均表现出良好的控制效果。特别是在负载突变时，系统能够迅速调整输出电压和电流，保持输出电压的稳定，有效抑制电压波动和瞬态干扰，通过对比实施前后的数据，发现系统的效率和功率因数均得到显著提升，同时系统的稳定性和可靠性也得到明显增强。

4.2 实际案例分析及数据对比

以某电信公司的数据中心为例，该数据中心原本采用传统的并联UPS控制策略，但在面对负载变化和电网波动时，系统稳定性较差，且效率和功率因数不高。为了提升系统性能，引入了基于电容电压的并联UPS自主控制策略。在实施该策略后，对系统的性能进行了详细的数据对比和分析^[4]。数据对比结果显示，实施基于电容电压的自主控制策略后，系统的输出电压波动范围明显减小，从原来的 $\pm 5\%$ 降低到 $\pm 1\%$ 以内，显著提升系统的稳定性，系统的效率和功率因数也得到了显著提升，效率从原来的85%提高到了90%以上，功率因数也从0.85提升到了0.95以上。通过对比实施前后的故障率数据，发现系统的可靠性也得到明显增强，故障率降低了近30%。

结束语

基于电容电压的并联UPS自主控制策略是一种高效、稳定且可靠的电力保障方案。通过精确控制电容电压，该策略实现并联UPS系统的自主均流，显著提升了系统性能。未来，随着技术的不断发展，该策略有望在更多领域得到广泛应用，为各类负载提供更加稳定、高效的电力供应。

参考文献

- [1]洪健,辛永祥.并联电容器装置操作过电压分析及保护方法研究[J].中国机械,2023,(25):80-83.
- [2]姚成.高压并联电容器装置继电保护的探讨[J].科技创新与应用,2023,13(01):185-188.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2023.01.045.
- [3]郭贝贝,齐山成,赵斌.基于电容电压的并联UPS自主控制策略[J].电测与仪表,2021,58(6):186-194.DOI:10.19753/j.issn1001-1390.2021.06.027.
- [4]解东,杨欢红,丁宇涛,等.基于逆变器直流侧电流控制的微网无幅差控制[J].电力科学与技术学报.2020,(4). DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.04.014.