

图1中,L、N为入户220V电源,L₁、R₁为可变的家庭感性负载。感性负载在工作过程中需要消耗无功能量,不同大小的感性负载,消耗的无功能量大小不同。无功补偿是在入户电表计量处通过二极管D₁~D₄先将220V交流电源整流滤波变为直流电源,然后通过MOSFET管Q₁~Q₄将直流电源逆变为频率和电压幅值均可变的交流电源,并施加在电容C₂两端。通过调节加在电容C₂两端的电压就可改变电容产生无功的大小,从而达到改变系统中无功功率的效果。

1.3 无功补偿控制策略

为了达到系统无功功率平衡,无功产生装置需要自动跟踪L₁、R₁大小的变化。假设系统电压为U₁∠0,系统频率为f₁,负载等效电阻为R₁、等效电感为L₁;加在补偿电容C₂两端的电压为U₂∠α,两端电压频率为f₂,负载所需无功功率为Q₁,则有:

$$S_1 = \frac{U_1^2}{R_1 + j\omega L_1} = \frac{U_1^2}{R_1 + \omega^2 L_1^2} (R_1 - j\omega L_1) \quad (1)$$

式中:S₁为系统视在功率;ω=2πf₁。

负载所需无功功率Q₁为:

$$Q_1 = \frac{U_1^2 X \omega L_1}{R_1 + \omega^2 L_1^2} \quad (2)$$

为了保持系统无功功率平衡,电容C₂也要产生无功功率,大小为Q₁。因此可得:

$$Q_1 = U_2^2 \angle 2\alpha X \omega_2 C_2 \quad (3)$$

$$\frac{U_1^2 X \omega L_1}{R_1 + \omega^2 L_1^2} = U_2^2 \angle 2\alpha X \omega_2 C_2 \quad (4)$$

式中:ω₂=2πf₂。

因此,在保持电容C₂两端电压频率一定时,当系统感性负载增大即系统无功功率增大时,只需要增大电容C₂两端的电压即可。由于系统所需无功功率大小与电容C₂两端的电压平方成正比,因此可以通过调节固定电容C₂两端的电压大小来补偿系统变化的无功功率。

1.4 控制策略的实现

为了减小系统电压波动或者感性负载在工作过程中的波动引起无功功率波动对控制系统的影响^[6],采用PI控制方式实现逆变电压的快速控制。控制结构框图如图2所示。图2中,Q_{1ref}为无功参考值。无功补偿的目的是使系统侧的无功功率尽量稳定在参考值,或在参考值附近许可范围内波动。

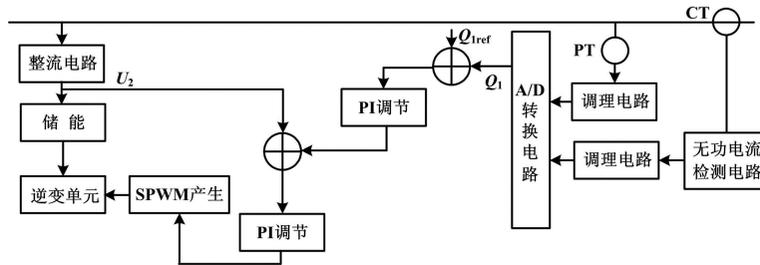


图2 PI控制结构框图

Fig. 2 Structural block diagram of PI control

2 电能计量系统控制策略

在设计过程中,为了减小装置体积和降低成本,应在满足功能的前提条件下尽量少使用元器件。因此,电能计量和上传及低压无功补偿共用一个CPU。

同时,电能计量系统采集家庭进线口的电压电流,通过软件计算电能大小。计量电路结构框图如图3所示。

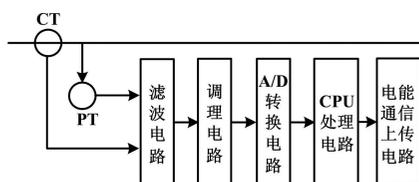


图3 计量电路结构框图

Fig. 3 Structural block diagram of metering circuit

电能计量电路较为简单,电能计量的重点在于软件的控制策略。当采集得到系统电压、电流之后,根据系统精度要求确定每周波采集次数^[7-10]。本文装置要求精度在0.2级以上,每周波需要采集400个点,则可得每周波电压电流采集数据为:u₁,u₂,...,u_n;i₁,i₂,...,i_n。由此可得到以下数据。

负载消耗视在功率为:

$$S = \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}{n}} \times \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_n^2}{n}} \quad (5)$$

$$P = \frac{u_1 i_1 + u_2 i_2 + \dots + u_n i_n}{n} \quad (6)$$

无功功率和有功电能的大小为:

$$W = P X t \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (8)$$

3 试验结果

根据以上理论分析,将1台试制样机加在1组近似家庭负荷的前端进行测试,同时接入1台常规电能计量仪表,并核对试制样机的精度。

负荷为1 kW 空调1台、1.9 kW 空调1台、0.6 kW 洗衣机1台、计算机2台、照明节能日光灯4台共计0.18 kW。测得的电能计量结果如表1所示。

表1 电能计量结果对比表

Tab.1 Comparison of the electric energy metering results

序号	常规电表/(kW·h)	自制电能计量表/(kW·h)
1	1.1	1.13
2	2.3	2.28
3	3.6	3.62
4	5.2	5.21
5	6.7	6.69

由表1可知,自制电能计量装置精度完全可以满足要求。在同一组负荷上测试无功补偿功能,结果如表2所示。

表2 无功补偿投入前后功率因数对比表

Tab.2 Comparison of the power factors before and after reactive power compensation

序号	功率因数	
	投入前	投入后
1	0.68	0.95
2	0.70	0.94
3	0.68	0.96
4	0.71	0.96
5	0.67	0.94

由表2可知,无功补偿装置对于提升功率因数效果非常明显。因此,该无功补偿装置对于减少系统无功消耗、提升用户端电压意义重大。

4 结束语

本文根据现代家庭负荷的特点,以无功补偿和电能计量一体化研究为目标,提出了一种电压控制型无功补偿控制策略和电能计量检测方法。通过实际运行表明,该控制方法无功补偿效果明显,电能计量准确,并且装置体积小,成本低,适合家庭用户应用。

参考文献

- [1] 杨惠. 无功补偿技术对低压电网功率因数的影响[J]. 继电器, 2007, 35(3): 34-37.
- [2] 罗书克, 张元敏. 低压无功补偿型电力载波智能抄表系统研究[J]. 自动化仪表, 2011, 32(10): 36-38.
- [3] 唐杰, 罗安, 范瑞祥, 等. 无功补偿和混合滤波综合补偿系统及其应用[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(1): 88-92.
- [4] 侯文清, 张波, 丘东元, 等. 基于DSP的电能质量检测与无功补偿综合测控装置[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(1): 120-126.
- [5] 姚舜, 罗安, 范瑞祥, 等. 低压配电网智能无功补偿系统软硬件设计[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(12): 90-92.
- [6] 贾贵玺, 戚艳, 傅田晟, 等. 分布式电源动态无功补偿控制策略[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(1): 27-31.
- [7] 耿锐, 李春燕, 郑可, 等. 谐波电能计量芯片测试分析[J]. 电测与仪表, 2013, 50(5): 36-40.
- [8] 罗亚桥, 胡种. 谐波对电能计量的影响分析[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(9): 130-132.
- [9] 黄玉春. 电力谐波对电能计量影响的分析与探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 123-125.
- [10] 付志红, 熊学海, 侯兴哲, 等. 基于dSPACE平台的电能计量实时仿真系统[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(8): 1763-1769.
- [11] 罗书克, 张元敏. 基于电力载波技术的无功补偿装置[J]. 自动化仪表, 2012, 33(8): 51-54.
- [12] 刘瑾, 杨海马, 陈抱雪, 等. 神经网络在电力负荷预测中的应用[J]. 自动化仪表, 2012, 33(9): 21-24.
- [13] 刘坤, 钱永德, 张福军. 蚁群灰色神经网络模型在稻瘟病预测中的应用[J]. 自动化仪表, 2013, 34(2): 30-33.
- [14] 张怡, 熊杰, 冯春. 基于复杂网络的供应链网络鲁棒性分析[J]. 计算机仿真, 2012, 29(11): 370-373.
- [15] 周漩, 张凤鸣, 周卫平, 等. 利用节点效率评估复杂网络功能鲁棒性[J]. 物理学报, 2012, 61(16): 2011-2017.
- [16] 姚红光, 朱丽萍. 基于仿真分析的中国航空网络鲁棒性研究[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 36(1): 42-46.

(上接第10页)

果不同。因此,在产品开发网络中要根据不同的故障形式选择修复策略。

参考文献

- [1] 王健, 刘衍珩, 刘雪莲. 复杂软件的级联故障建模[J]. 计算机学报, 2011, 34(6): 19-27.
- [2] 罗好, 郭钢, 徐建萍. 基于多维关联规则的产品族配置研究[J]. 中国机械工程, 2011, 22(19): 2330-2336.
- [3] 陈静, 孙林夫. 业务关联的多产业链协作网络模型[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(5): 1089-1095.
- [4] 卢萍, 金朝永. 基于PID神经网络的研究和改进[J]. 自动化仪