

# 分布电能治理型电力载波抄表系统控制研究

Study on Controlling for Power Carrier Meter Reading System  
Based on Distributed Power Governance

罗书克 张元敏

(许昌学院电气信息工程学院,河南 许昌 461000)

**摘要:** 根据现代家庭负荷的特点及集中式无功补偿系统的不足,利用分布式电能治理的特点,提出了一种电压控制型无功补偿方法。该方法以分布负荷电能治理为目标,并与分布负荷的电能计量结合为一体,采用PI控制产生连续可调的SPWM正弦脉冲序列,从而控制无功补偿电容端电压,保证系统中无功电源的稳定。试制样机验证了该控制方法的可行性和可靠性,表明电能治理型电力载波抄表系统将成为广大负荷用户的首选。

**关键词:** 分布负荷 电能治理 电能计量 PI控制 功率因数

**中图分类号:** TM933 **文献标志码:** A

**Abstract:** In accordance with the features of modern home electricity load, and the deficiency of centralized reactive power compensation system, by using particularity of distributed electric energy governance, the voltage control type reactive power compensation method is proposed. With distributed load energy governance as the goal, and integrating the electric energy metering of distributed load, the continuously adjustable SPWM sinusoidal pulse sequence is generated by PI control, thus the reactive power compensation capacitor voltage can be controlled to guarantee the stability of the reactive power in the system. The tested prototype verifies the feasibility and reliability of this control method. This indicates that such meter reading system will become the majority of the load user's first choice.

**Keywords:** Distributed load Electrical energy governance Power metering PI control Power factor

## 0 引言

随着人们生活水平的提高,家用洗衣机、空调器、电冰箱、电风扇等感性负荷越来越多,造成家用无功功率的消耗越来越大。这样在用电高峰期就会造成用户端电压过低,从而导致用电效率低下,使用电设备不能正常使用。长期市场调研表明,把无功补偿与电能计量系统结合起来,构建一体化的分布式电能治理及计量系统具有一定的意义<sup>[1]</sup>。

本文在参考文献[2]的基础上,经过一定时间的理论与实践总结,重点研究了低压无功补偿的控制策略和低压电能计量系统的控制策略。

## 1 低压无功补偿控制策略

### 1.1 无功补偿的意义

无功补偿把具有容性功率负荷的装置与感性功率负荷并联接在同一电路,能量在两种负荷之间相互交换<sup>[3]</sup>。这样感性负荷所需要的无功功率可由容性负荷

输出的无功功率补偿,从而可以增加电网中有功功率的比例常数,减少发、供电设备的设计容量,减少投资,降低线损<sup>[4-5]</sup>。

### 1.2 无功补偿原理

家用型无功补偿不同于工业用无功补偿。工业用无功补偿可以不考虑补偿装置的体积大小,成本要求也不是很高;而家用无功补偿装置要求成本低、体积小。因此,本文提出了一种新型无功补偿控制策略,以适应无功补偿与智能抄表一体化的要求。无功补偿主电路拓扑结构如图1所示。

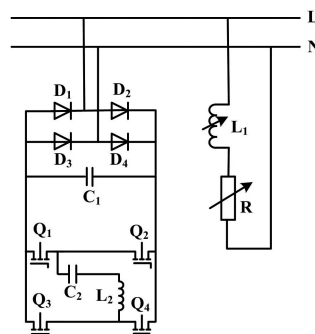


图1 无功补偿主电路拓扑结构

Fig. 1 Main circuit topological structure of reactive power compensation

修改稿收到日期:2013-11-19。

第一作者罗书克(1976-),男,2008年毕业于河南理工大学控制理论与控制工程专业,获硕士学位,讲师、工程师;主要从事电力电子与电力传动方面的教学研究。

图1中,L、N为入户220V电源,L<sub>1</sub>、R<sub>1</sub>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D<sub>1</sub>~D<sub>4</sub>先将220V交流电源整流滤波变为直流电源,然后通过MOSFET管Q<sub>1</sub>~Q<sub>4</sub>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C<sub>2</sub>两端。通过调节加在电容C<sub>2</sub>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L<sub>1</sub>、R<sub>1</sub>大小的变化。假设系统电压为U<sub>1</sub>∠0,系统频率为f<sub>1</sub>,负载等效电阻为R<sub>1</sub>、等效电感为L<sub>1</sub>;加在补偿电容C<sub>2</sub>两端的电压为U<sub>2</sub>∠α,两端电压频率为f<sub>2</sub>,负载所需无功功率为Q<sub>1</sub>,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:S<sub>1</sub>为系统视在功率;ω=2πf<sub>1</sub>。

负载所需无功功率Q<sub>1</sub>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C<sub>2</sub>也要产生无功功率,大小为Q<sub>1</sub>。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:ω<sub>2</sub>=2πf<sub>2</sub>。

因此,在保持电容C<sub>2</sub>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C<sub>2</sub>两端的电压即可。由于系统所需无功功率大小与电容C<sub>2</sub>两端的电压平方成正比,因此可以通过调节固定电容C<sub>2</sub>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<sup>[6]</sup>,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<sub>1ref</sub>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。

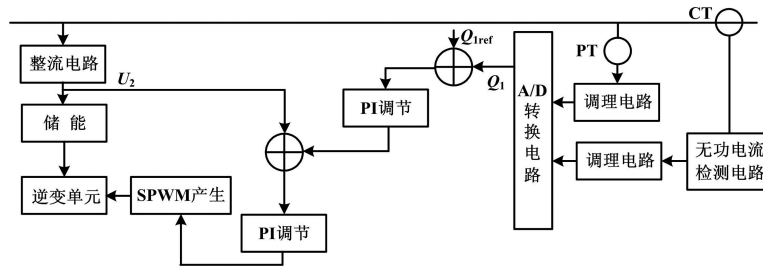


图2 PI控制结构框图

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。

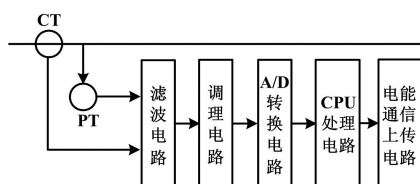


图3 计量电路结构框图

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<sup>[7-10]</sup>。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:u<sub>1</sub>,u<sub>2</sub>,...,u<sub>n</sub>;i<sub>1</sub>,i<sub>2</sub>,...,i<sub>n</sub>。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

(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].系统集成制造系统,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

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.

表,2012,33(8):51-54.

- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.