

智能建筑谐波检测与抑制仿真研究

采用基于电流平均值的方法对谐波电流检测进行了仿真研究,同时对混合型有源滤波器的控制方法进行了比较研究,得出复合控制方式具有良好的补偿特性。最后采用 Visual Basic语言进行编程,构建一个可视化楼宇供配电系统谐波抑制计算与分析软件。

沈 巍^{1,2} 魏立明³ 张立辉³/1.悉尼大学 2.哈尔滨工业大学 3.吉林建筑大学

0 引言

近年来,高层建筑向楼宇自动化方向迅速发展,越来越多的智能建筑出现在人们生活中。智能建筑中各种大量使用的用电设备具有明显的非线性、冲击性和不平衡用电的特性,给公用电网注入大量的谐波和无功功率,电能质量存在明显恶化的趋势。与此同时,人们对公用电网的供电质量要求越来越高,对电网中的谐波含量及用电设备的功率因数也提出了更加严格的要求。本文针对智能建筑中的谐波进行深入分析,采用基于功率平均值的方法进行谐波检测,根据所检测到的结果提出混合型谐波抑制方案,并且据此采用 Visual Basic语言设计谐波分析软件,为智能建筑的谐波治理的工程应用奠定理论基础。



沈 巍/本科生

关键词/Keywords

智能建筑 ·
谐波检测 ·
电流平均值 ·
混合型有源滤波器 ·

1 基于电流平均值的谐波电流检测方法仿真分析

1.1 理论分析

电流平均值法是在瞬时无功功率理

吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(吉教科合字[2014]第224号),住房和城乡建设部科技计划项目(2011-Z7),吉林省大学生创新创业训练计划项目。

论谐波检测方法的基础上发展起来的,它是用一个平均值模块来代替低通滤波器(LPF),以此来实现“滤波”。只是它是以同步变换为基础,该模块得到的电流平均值就是与电流基频成分相对应的直流量。其原理图如图1所示。它的原理分析如下:一个对称的三相负载,其三相电流相差 120° 的相位差,因此三相电流的相位分别为: $\varphi_a = 0$, $\varphi_b = -2\pi/3$, $\varphi_c = +2\pi/3$,相序为a-b-c。则第n次谐波分量的相位为

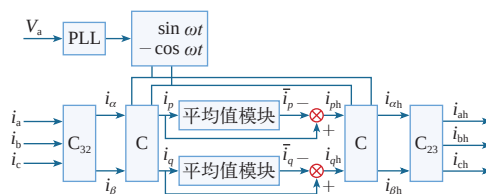


图1 电流平均值方法原理图

$$\begin{cases} \varphi_{an} = 0n \\ \varphi_{bn} = -2n\pi/3 \\ \varphi_{cn} = +2n\pi/3 \end{cases} \quad (1)$$

若 $n = 3i$ ($i = 0, 1, 2, \dots$),代入式(1)有: $\varphi_{an} = \varphi_{bn} = \varphi_{cn}$,即3的倍数次谐波为零序。若 $n = 6i + 5$ ($i = 0, 1, 2, \dots$),代入式(1)有: $\varphi_{an} = 0$, $\varphi_{bn} = +2\pi/3$, $\varphi_{cn} = -2\pi/3$,那么对基波而言为负序,相序为a-c-b。若 $n = 6i + 1$ ($i = 0, 1, 2, \dots$),代入式(1)有 $\varphi_{an} = 0$, $\varphi_{bn} = -2\pi/3$, $\varphi_{cn} = +2\pi/3$,与基波同为正序,相序则为a-b-c。由此可知,负载电流经过三相到两相变换后,其正序谐波的次数将降低一次,而负序谐波的次数将升高一次。则 $6i + 1$ 和 $6i + 5$ 次谐波经过变换后,次数分别为 $6i$ 和 $6i + 6$,它们都是6的倍

数。因此, 如果对电流 i_p 、 i_q 进行1/6基波周期的积分后, 得到的非零平均值分量就是与基波分量对应的直流量, 由此就能得到负载电流的基波分量。原理框图如图2所示。

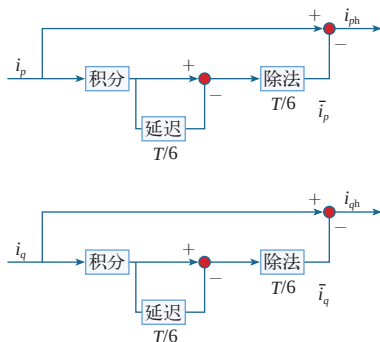


图2 电流平均值法获取直流分量的原理框图

原理框图中包括积分、延迟、减法和除法模块各一个。积分模块的输出减去延迟模块的输出表示电流在区间 $[t - T/6, t]$ 的积分值（ T 为基波周期），除法模块完成积分电流除以积分区间 $T/6$ 。延迟模块的输出是电流积分延迟1/6基波周期的值。对应的公式如式（2），两相电流 i_p 、 i_q 分别减去式（2）得到的平均值，就得到了要检测的谐波和无功电流的分量，即

$$\begin{aligned} \bar{i}_{p, \text{average}} &= \frac{6}{T} \int_{t-T/6}^t i_p dt \\ \bar{i}_{q, \text{average}} &= \frac{6}{T} \int_{t-T/6}^t i_q dt \end{aligned} \quad (2)$$

1.2 电流平均值谐波检测的仿真模型

本系统的仿真是在Matlab7.0软件包的Simulink工具箱下实现的, 为了比较传统的滤波器法与电流平均值方法的不同, 分别对它们进行仿真。首先设计两相/三相变换模块。在模块库中选择正余弦信号、乘法器、加法器和放大器模块来构建该变换矩阵, 然后封装成一个子模块。根据电流平均值的原理框图构建这个模块, 并且将它封装成电流平均值模块。其中信号源step模拟一负载为三相全桥整流器（带大电感负载）时的三相电流波形。scope用来观察谐波电流波形, scope1用来观察A相电流波形。同理可以构建三相两相变换模块

并封装成一个子模块。电流平均值模块可以由连续系统模块库中的积分器、固定时间延迟及其信号增益模块构成, 将其封装成模块Subsystem。电流平均值原理谐波检测的仿真模型图主要由三角波发生器、零阶保持器、两相/三相变换模块、三相/两相变换模块和平均值模块组成。仿真模型如图3所示。

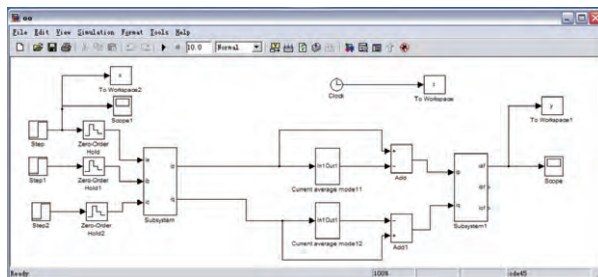


图3 基于平均值原理谐波检测的仿真实现

分别给出了在负载变化时的仿真波形, 当负载电流增大一倍时, 三种检测法的电流波形如图4~图6所示。对这几个仿真结果图进行分析, 电流平均值原理的检测方法过渡时间短, 在电流突变后约 $T/6$ 个周期后就能补偿谐波, 并且用数字方法实现简单可靠; 而使用数字低通滤波器的 $i_p - i_q$ 检

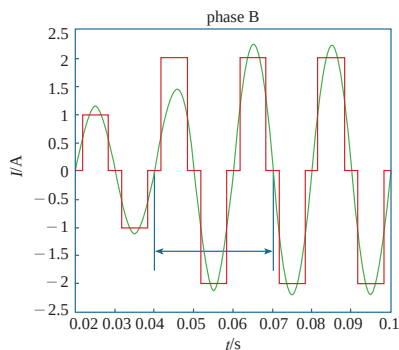


图4 使用传统滤波器法时补偿后电流

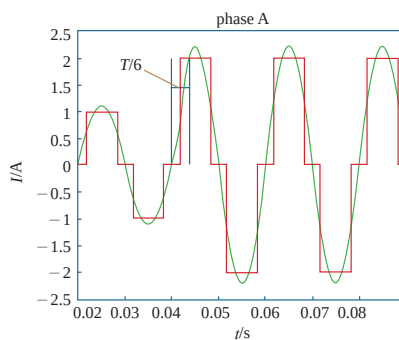


图5 负载变化时用电流平均值法补偿后电流

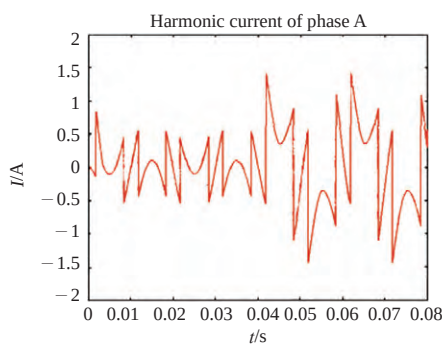


图6 使用电流平均值法检测时谐波电流

测法,虽然在一个半周期后也能够正确地补偿谐波,但是过渡的时间明显变长。图6给出了负载变化时使用电流平均值法检测到的谐波电流。电流平均值谐波检测法可以同时检测谐波和无功,并且具有较快的动态响应速度。对三相平衡负载,过渡时间为 $T/6$ 个基波周期。这种方法计算简单,不会受到电压谐波的影响。

2 混合型有源电力滤波器的抑制方法仿真分析

2.1 控制方式优选

有源滤波器在混合型有源电力滤波器中的作用是调节无源滤波器的滤波效果,并且补偿谐波,所以无论采用何种控制方式,都会对系统的滤波效果有影响。本文针对混合型有源滤波器中的电网侧谐波电流控制方式、负载侧谐波电流控制方式和复合控制方式三个方法进行分析,对其优缺点进行对比,其抑制方式效果对比如下表所示。

表 抑制方式效果对比

序号	抑制方式	优点	缺点
1	电网侧谐波电流控制	可抑制电网畸变的谐波电流、负载产生的谐波的电流、串并联谐振	滤波效果受 K 的取值限制
	负载侧谐波电流控制	不能抑制谐振,只能靠无源滤波器的频偏来实现,滤波器容量非常小	
3	复合控制	可抑制电网畸变的谐波电流、负载产生的谐波的电流、串并联谐振、滤波效果不受 K 的取值限制,容量大	

2.2 复合控制方式滤波分析

复合控制结合方式将前馈和反馈两种控制方法结合在一起,会得到一个理想的控制效果。复合控制结合方式是在检测电网侧谐波电流和检测负载侧谐波电流控制方式的基础上,提出的新的控制方式,因为它不仅结合了两种控制方式的优点,而且又克服了各自的不足。复合控制的等效电路如图7所示。图中, U_s 为电源电压, I_{sh} 为谐波分量, U_{Th} 为谐波电压, U_c 为输出电压, K_s 和 K_{1h} 为控制系数。

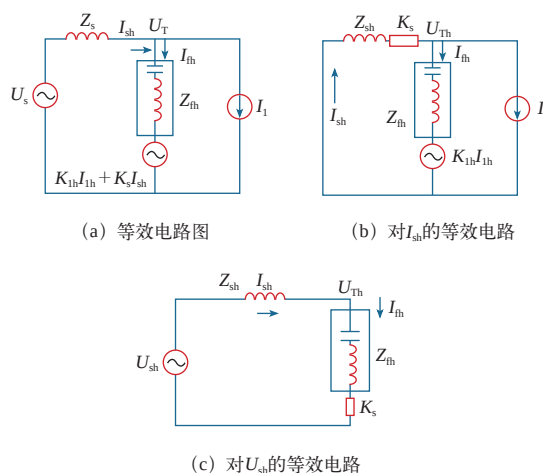


图7 复合控制的等效电路图

由图7a可以得到, $U_c = K_s I_{sh} + K_{1h} I_{1h}$

当 U_s 为正弦时,由图7b可以得到下式

$$U_{Th} = U_{sh} - Z_{sh} I_{sh} = -\frac{(Z_{fh} - K_{1h})Z_{sh}}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} I_{1h} \quad (3)$$

$$I_{sh} = \frac{Z_{sh} - K_{1h}}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} I_{1h} \quad (4)$$

$$U_c = K_s I_{sh} + K_{1h} I_{1h} = \frac{K_s Z_{fh} + K_{1h} (Z_{sh} + Z_{fh})}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} I_{1h} \quad (5)$$

得出

$$I_{sh} = \frac{Z_{sh} - K_{1h}}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} I_{1h} + \frac{1}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} U_{sh}$$

$$U_{Th} = \frac{(Z_{fh} - K_{1h})Z_{sh}}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} I_{1h} + \frac{K_s + Z_{fh}}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} U_{sh} \quad (6)$$

$$U_c = \frac{K_s Z_{fh} + K_{1h} (Z_{sh} + Z_{fh})}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} I_{1h} + \frac{K_s}{Z_{sh} + Z_{fh} + K_s} U_{sh}$$

可以得出它的滤波特性是 $I_{sh} = 0$, $U_{Th} = U_{sh}$,

$$U_c = Z_{th} I_{1h} + U_{sh}。$$

3 软件设计分析

本节主要设计了楼宇供配电系统谐波分析的软件，它由开始登录界面和主操作界面两部分组成。其中，主操作界面又分成数据输入界面、

谐波分析界面、解决方案界面和帮助界面四个部分。对开始登录界面进行权限设置，需要输入用户名和密码才能够登录，谐波分析界面分成波形显示和饼图显示两种，解决方案界面中包括无源滤波器、有源电力滤波器、混合型有源电力滤波器和无功补偿四种方法。设计画面如图8所示。

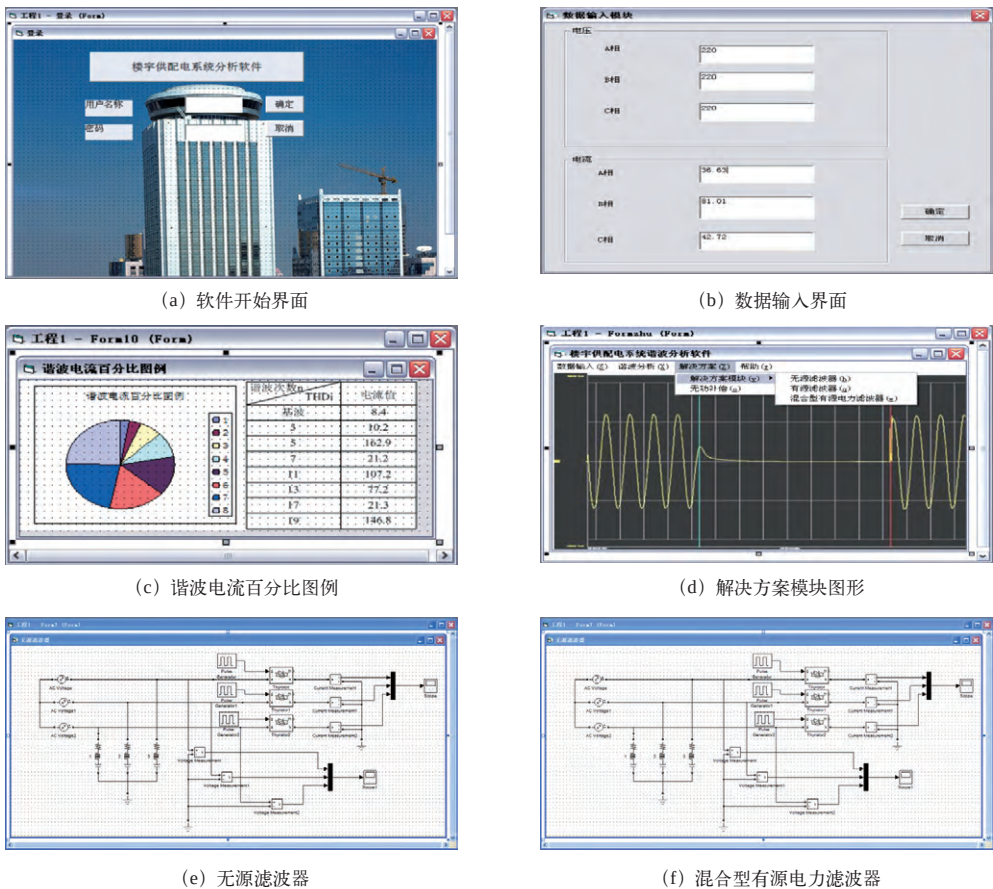


图8 设计画面

4 结束语

本文对智能楼宇的谐波进行了深入地分析，提出了基于电流平均值的谐波电流检测方法，并对其进行了仿真研究。同时对混合型有源滤波器的控制方法进行了比较研究，得出复合控制方式具有良好的补偿特性。文中最后采用Visual Basic语言进行编程，构建一个可视化楼宇供配电系统谐波抑制计算与分析软件。

参考文献

[1] 侯文宝，李德路，王春明．智能建筑谐波问题研

究与治理 [J]．智能建筑与城市信息，2012 (11) : 12-15.

[2] 汪云峰．智能建筑谐波的特点分析和综合治理 [J]．智能建筑电气技术，2011 (6) : 32-35.

[3] 方志聪．基于FFT变换的电网谐波分析及其仿真研究 [J]．电气应用，2014 (4) : 68-71.

[4] 李俊．一种新的电力系统谐波检测方法研究 [J]．电气应用，2013 (4) : 48-50.

[5] 马旻，王洪涛．随机子空间的智能建筑谐波检测方法 [J]．现代建筑电气，2012 (5) : 23-27.

(收稿日期：2015-07-20) EA