# 谐波测量技术在无功补偿装置中的应用

陈劲操

(南京理工大学,江苏 南京 210094)

**摘要**: 讨论电力系统谐波与无功补偿电容的关系。提出基于数字滤波器的谐波测量方案,并利用 PLD 技术实现。该方案具有良好的实时性且可以方便地扩展测量范围。

**关键词**: 谐波测量;　无功补偿;　数字滤波

**中图分类号**: TM714.3　　**文献标识码**: B　　**文章编号**: 1003-4897(2001)11-0036-03

## 1　引言

随着供电可靠性的增强,人们对供电的质量也提出了更高的要求。由于系统稳定性的要求和负载补偿的需要,在高压输电线路和配电网中广泛地使用着各种无功补偿装置。无论是普通的无功补偿装置或静止式无功补偿装置,不可缺少地使用着并联电容器。并联电容器对高次谐波电流有着放大作用。谐波电流的存在会使电容器运行电流有效值加大,使电容器工作于非正常状态,产生发热。严重的时候产生谐波谐振,引起设备事故。在进行无功补偿时应考虑到谐波电流的因素。本文分析电容器对高次谐波电流放大作用的机理、提出了谐波电流的测量方法。

## 2　并联电容器对高次谐波电流的放大作用

设有一电网的等效电路如图1(a)所示,作出其电网等值电路如图1(b)。其中 $\dot{I}_n$ 为谐波电流源。

图1(b)的复导纳为:

$$Y = \frac{R_S}{R_S^2 + X_{SN}^2} - j\frac{X_{SN}}{R_S^2 + X_{SN}^2} + jX_{CN}$$

由矢量图可见,若电路对第 $n$ 次谐波谐振,此时电网电流 $\dot{I}_{sn}$ 及电容器支路电流 $\dot{I}_{cn}$ 远大于谐波电流源提供的电流 $\dot{I}_n$,即使不产生谐振,对谐波电流也有着放大作用。在设计无功补偿装置的时候,必须考虑谐波电流的影响。为此设计谐波电流的测量电路,并在决定投入并联电容器的数值时,考虑其影响。

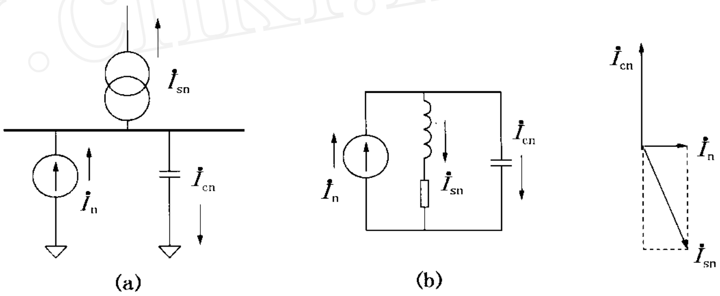


图1　电网的等效电路

## 3　谐波的测量方案

电力系统的谐波,主要来源于非线性负载。高次谐波源分为电压源型和电流源型。对于非线性负载,即使提供理想的正弦波电压,也将产生非正弦波电流,故将其视为谐波电流源。发电机在运行时会产生较小的谐波电势。发电机在负载不对称运行时会产生3、5、7次等高次谐波。

电力系统中谐波电流主要是5、7次比较大,其次是11、13次。一般情况下3次谐波电流是比较小

**Design and implementation of an object - oriented substation automation system**

WAN Xiang-yang, XU Tian-jun

(1. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China; 2. Dongfang Electronics Group, Yantai 264001, China)

**Abstract**: A scattered and distributive substation automation system is presented in this paper. The system can make up many different network structures based on the object - oriented principle, approach and standard Ethernet network. It can meet the requirement of different functions and configurations of 35kV, 10kV and even 500kV substations. Some particular problems in the process of implementation of the systems and proposals are also involved in the paper.

**Keywords**: substation automation; object - oriented approach; Ethernet; optical fiber communication

的,系统投入补偿电容后,3 次谐波电流就有可能被放大。

在设计无功补偿装置时,主要考虑 3、5、7 次谐波分量。

测量谐波通常采用的方法是设计数据采集电路。采集系统电流值,通过傅氏变换分析,从而获得各谐波分量。根据电力系统谐波分量的特点,本文以 3、5、7 次谐波测量为主,提出了基于数字滤波器的测量方案。

设计三组数字式带通滤波器,分别取出 3、5、7 次谐波分量,通过“RMS - DC”转换,获得分别对应于 3、5、7 次谐波分量的直流电压值。该值可以直接用电压表指示,也可由无功补偿装置读回。

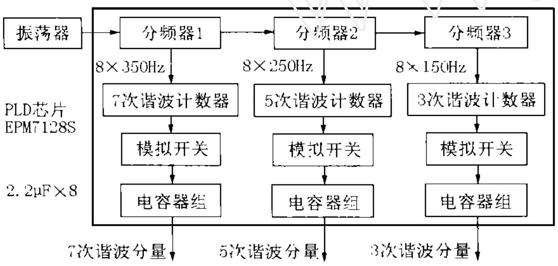


**图 2 数字带通滤波器总体设计**

## 4 数字带通滤波器的设计与实现

滤波器的设计采用开关式带通滤波器。其基本工作原理是通过一个开关逐个地接通 $N$ 个低通滤波器。每个电容被周期性地选入。选入的时间是 $1/Nf_c$,其中 $N$ 是开关的个数,$f_C$ 是开关的频率。如果输入频率为开关频率或开关频率的谐波相等,则每个周期接入的电容正好是输入波的同一位置,于是电容被充电到输入电压值,输出为一个类似于输入的阶梯波。如果输入频率高于或低于 $f_C$,则电容选入是处于输入波的不定位置,这时电容上的平均电压非常低。

设计电路逻辑框图见图 2。

利用 ALTERA 公司的可编程逻辑器件(PLD) EPM7128S,片内设计分频器、3 次谐波计数器、5 次谐波计数器、7 次谐波计数器。安排三组输出引脚(每组引脚有 8 条信号线),分别控制相应的 3、5、7 次谐波带通滤波器。若要获得光滑的输出波型,可在各路的输出端加接低通滤波器。带通滤波器原理图如图 3。

该方案有以下特点:

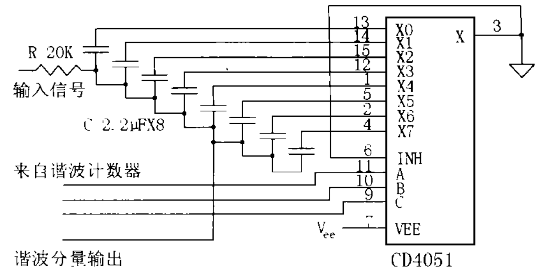


**图 3 数字带通滤波器**

1) 改变开关频率可以方便地改变带通滤波器的中心频率,且范围很宽。

2) 温度稳定性好。

3) 频带宽度正比于 $1/NRC$,可以通过改变 $N$、$R$、$C$ 的值方便地改变带宽。

4) 利用 PLD 技术,具有高集成度。

滤波器中心频率为 250Hz 时,$R = 20\mathrm{k}\Omega$,$C = 2.2\mu\mathrm{F}$,测得 3dB 带宽约为 3Hz。满足测量要求。

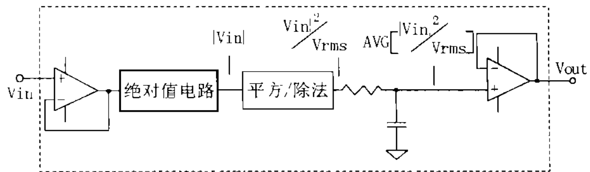


**图 4 AD736、AD737 转换原理图**

## 5 RMS - DC 变换电路设计

通过数字带通滤波器,分别选出了 3、5、7 次谐波。选用 ANALOG DEVICES 公司的 RMS - DC 转换器 AD736 或 AD737,将相应的谐波信号转换为直流电压值。

*RMS* 值的定义为:$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [V(t)^2]\mathrm{d}t}$,

即 $V_{RMS}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T [V(t)^2]\mathrm{d}t$

积分式可以近似表示为:$\mathrm{Avg}[V(t)]^2 = \frac{1}{T}\int_0^T [V(t)^2]\mathrm{d}t$,即 $V_{RMS}^2 = \mathrm{Avg}[V(t)]^2$

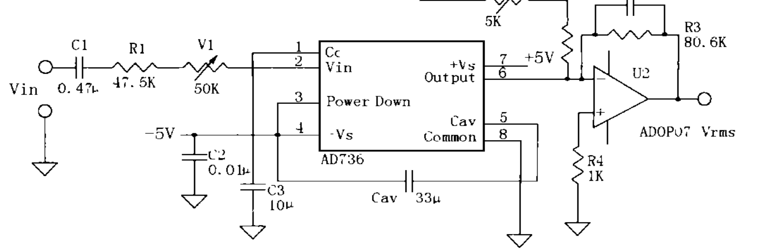


**图 5 RMS-DC 转换电路**

AD736、AD737 正是利用了上述原理,实现了 RMS - DC 变换。内部原理框图如图 4。

利用 AD736,设计 RMS - DC 转换电路如图 5。

图中 $C_{AV}$ 为均值电容,取值为 33μF。$C_3$ 为滤波电容,由 $f = \frac{1}{2\pi RC_3}$ 决定,$R$ 为片内 8kΩ 电阻。$C_3$ 取值为 10μF,则形成了一个截止频率为 2Hz 的低通滤波器。在 AD736 输出脚加接一级放大器,起到零点调节和电平转换作用。

## 6　结束语

本文讨论了电力系统谐波与无功补偿电容的关系。提出符合电力系统运行状况的谐波测量方法。经实验,该方法能较精确地测量 3、5、7 次谐波,具有良好的实时性。通过增加带通滤波器的组数(计数器、模拟开关和电容器),可以方便地扩展测量范围。

参考文献:


[1] 刘付平,等. 电力系统高次谐波. 重庆:重庆大学出版社,1987.

[2] Analog Device Inc . RMS - TO - DC Converters. Application Note AN - 268 , 2000.

[3] 吕广平,等. 集成电路应用 500 例. 北京:人民邮电出版社,1983.

[4] Altera Corporation. Data Book. 1996.


收稿日期: 2001-05-07

作者简介: 陈劲操(1956 - ),男,硕士,高级工程师,从事电力系统远程监控的教学与研究。

## Application of harmonic measurement in Var compensation device

CHEN Jin-cao

(Nanjing University of Science & Technology , Nanjing 210094 ,China)

**Abstract :** The relationship between the power system harmonic and the value of var compensation capacitor is discussed. Design harmonic measurement plan based on digital filter is proposed. Realize it by programmable logic device. The design plan has real time properties and can enlarge measurement range easily.

**Keywords :** harmonic measurement ; var compensation ; digital filter

---

(上接第 26 页)


[4] 邹岚,邹森. 电力系统预想事故快速分析的一种新算法. 电网技术,1997,21(5).

[5] Ejebe G C, Paliza R F. An Adaptive Localization Method for Real - Time Security Analysis. IEEE Trans on Power System, 1992,7(5):777-783.

[6] 张波,张伯明. 局部潮流在电力系统静态安全分析中的应用. 电力系统自动化,1993,17(7)

[7] 王海宁,刘广一. 能量管理系统(EMS)第 10 讲网络安全分析软件(1) ……预想事故分析与安全约束调度. 电力系统自动化,1997,22(10).

[8] 蔡建壮,白同朔. 电力系统在线安全分析偶然事故排序方法的改进. 电力系统自动化,2000,24(19).


收稿日期: 2001-04-23

作者简介: 毛建容(1975 - ),女,硕士研究生,研究方向为电力系统安全分析; 杨洪耕(1949 - ),男,博士,副教授,主要研究方向为电力系统电能质量分析。

## A fast algorithm of double contingency evaluation

MAO Jian-rong, YANG Hong-geng

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract :** A fast algorithm is described by studying specific double contingency events in on-line power system security analysis the second contingency takes place because of the first contingency but not considers the condition that two independent contingencies happen at the same time because of haphazard. Using the adaptive location method and the absolute boundary method to calculate post-contingency power flow and proposing the integrative practical issues including voltage, reactive and active power in this paper. Comparing with the conventional contingency evaluation methods, the method is fast and reasonable.

**Keywords :** power system computation ; on-line security analysis ; double-contingency