

## 简易滤波器的设计

袁继军, 李艳洁, 宋宝军, 李树鑫

(唐山供电设计院, 河北 唐山 063000)

**摘要:** 针对目前一些大工厂高压用户, 特别是使用直流电机的轧钢企业, 通过可控硅整流设备整流后, 由于整流脉冲周期性关断和导通的特性, 对于6脉冲整流回路, 产生 $6n+1$  ( $n = -1, 1, 2, \dots$ )次高次谐波。这些高次谐波电流流向电网, 会严重的影响电网的质量。如果合理的设计选择交流滤波装置, 就可以很好地滤掉高次谐波电压, 以减少对电网的影响, 提高功率因数, 降低谐波损耗。同时可以大大的为企业减少资金。采用这种方法设计的滤波器装置已在几家企业变电站应用, 投资少、运行收效良好。

**关键词:** 高次谐波; 交流滤波装置

**中图分类号:** TM531 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-4897(2003)S0-0063-02

### 1 引言

随着工业企业的迅猛发展, 特别是钢铁、电气化铁路等企业, 用的都是直流设备, 三相对称的交流系统经过可控硅整流设备整流后, 就产生高次谐波, 增加谐波损耗, 降低功率因数, 对电网有很大的危害。它不仅影响电网的质量而且还对电网的可靠性有很大的影响, 严重时造成继电保护误动, 烧毁微机保护线路板、数字电度表及其它微机装置。在一个用户变电站安装并联电容器提高功率因数, 同时安装交流滤波装置可以消除高次谐波。本文主要就消除高次谐波, 合理的选择交流滤波设备进行理论计算和讨论。

### 2 全偏移滤波器的设计

#### 2.1 等值频率偏移

$$\delta_M = \delta_f + \delta_c + \delta_n + \delta_m,$$

其中: 电网频率变化产生的偏移  $\delta_f = \Delta f/f$ ,  $\Delta f$  为电网频率偏移  $f = 50\text{Hz}$ ; 环境温度变化引起电容器电容量变化产生的偏移  $\delta_c = \frac{1}{2} \alpha \Delta t$ ,  $\alpha$  为电容器温度系数,  $\Delta t = t_{\max} - t_{\text{ave}} = t_{\max} - (t_{\max} + t_{\min})/2$ ; 调谐整定电抗器电抗值变化产生的偏移  $\delta_n = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L}{L} \right)$ ,  $\Delta L/L$  为每档分接头的电抗量标么值; 测量误差  $\delta_m = 0.002 \sim 0.005$ 。

#### 2.2 计算 $C$ 、 $L$ 及 $R_{Lm}$ 、 $R_{Cn}$ 值

① 品质因数:  $q = \frac{1}{2\delta_M} \text{ctg} \frac{\varphi}{2}$ , 其中  $\varphi$  为电力系

统谐波阻抗角, 一般  $\varphi = 85^\circ$ 。

$$\textcircled{2} \text{ 电容器承受的基波电压: } U_c = \frac{n^2}{n^2 - 1} U_1 \quad (1)$$

$U_1$  为基波电压有效值,  $n$  为谐波次数。

$$\textcircled{3} \text{ 电容器的基波容抗: } X_c = \frac{1.1 U_{CN} - U_c}{\lambda \left( \frac{I_n K_m}{n} \right)} \quad (2)$$

$U_{CN}$  为电容器的额定电压,  $\lambda$  为峰值谐波过电压系数,  $I_n$  为  $n$  次谐波电流,  $K_m$  为  $n$  次谐波放大系数,  $n$  为谐波次数。

$$\textcircled{4} \text{ 电容器的电容值: } C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (3)$$

$$\textcircled{5} \text{ 每相电容器无功输出: } Q = \frac{n^2}{n^2 - 1} \times \frac{U_1}{X_c} \quad (4)$$

$$\textcircled{6} \text{ 电压谐振点为 } \frac{-\delta_M}{2}, \text{ 电抗器的基波电抗为:}$$

$$X_L = \frac{X_c}{n^2 \left( 1 - \frac{\delta_M}{2} \right)^2} \quad (5)$$

$$\textcircled{7} \text{ 电抗器的电抗为: } L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (6)$$

#### 2.3 滤波电容器的校验

① 等值发热校验: 如果  $I_{CN} < I_{CNPER}$ , 则满足要求。其中:

$$I_{CNPER} = \frac{\sqrt{(U_{CN}^2 + U_c^2) n}}{X_c} \quad (7)$$

② 校验过电压系数: 如果  $X'_c > X_c$ , 则满足要求。其中:

$$X'_c = \frac{1.1 U_{CN} - U_c}{\lambda \left( \frac{I_n K_m}{n} \right)} \quad (8)$$

$K_m$  为谐波放大系数,按极限值考虑  $K_m = 1$ 。

### 3 设计实例

唐山地区一座 110 kV 用户变电站,使用直流电机的轧钢企业,通过可控硅整流设备整流后,主要是 5 次谐波。其参数如下:

5 次谐波电流为  $I_5 = 54$  A, 10 kV 母线短路容量为  $S_d^3 = 200$  MVA,  $U_c = 10.5$  kV

按电网低频减载保护动作值为 49.5 Hz 计算。

$$\begin{aligned}\delta_M &= \delta_f + \delta_c + \delta_n + \delta_m \\ &= 0.01 + 0.0075 + 0.0025 + 0.0025 \\ &= 0.0225\end{aligned}$$

$$q = \frac{1}{2\delta_M} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} = 52.39$$

按式(1)求出  $U_c = 6315$  (V)

按式(2)求出  $X_c = 110.08$  ( $\Omega$ )

选择 7.2 kV, 100 kvar 的单台电容器,  $X'_c = \frac{7.2^2}{0.2}$

$= 518.4$  ( $\Omega$ )。电容器并联的台数  $p = \frac{518.4}{110.08} = 4.71$

(台), 取  $p = 5$  (台)。则  $X_c = \frac{7.2^2}{5 \times 0.1} = 103.68$  ( $\Omega$ ), 5

次谐波阻抗为:  $X_5 = \frac{103.68}{5} = 20.74$  ( $\Omega$ )。

按式(3)求出  $C = \frac{1}{314 \times 103.68} = 28.28 \times 10^{-6}$  (F)

按式(4)求出  $Q = \frac{25}{24} \times \frac{\left(\frac{10.5 \times 10^3}{\sqrt{3}}\right)^2}{103.68} = 369.25$  (kvar)

按式(5)求出  $X_L = \frac{103.68}{25 \left(1 - \frac{0.0225}{2}\right)^2} = 4.24$  ( $\Omega$ )

按式(6)求出  $L = \frac{4.24}{314} = 13.5$  (mH)

电抗器的谐波电阻为: 取  $q_{Ln} = 60$ ,  $R_{Ln} = \frac{X_5}{q_{Ln}}$   
 $= \frac{20.74}{60} = 0.346$  ( $\Omega$ )。电容器的谐波电阻为:  $R_{cn} = X_5 \times \operatorname{tg} \theta = 20.74 \times 0.0008 = 0.017$  ( $\Omega$ ),  $R_{fn} = 0.346 + 0.017 = 0.3626$  ( $\Omega$ )。实际的品质因数为:  $q =$

$\frac{20.74}{0.3626} = 57.2$ , 接近要求值。

按式(7)求出  $I_{CNPER} = \frac{\sqrt{(7200^2 + 6315^2)} \times 5}{103.68} = 74.59$  (A), 而  $I_{CN} = I_5 = 54$  (A), 满足要求。

按式(8)求出  $X'_c = \frac{1.1 \times 7200 - 6315}{1.4 \times \left(\frac{54 \times 1}{5}\right)} = 106.15$

( $\Omega$ ), 而  $X_c = 103.68$  ( $\Omega$ ), 满足要求。

### 4 现场实测

用仪器对该变电站进行实测结果: 接入滤波器前的波型不是正弦波, 接入滤波器后的波型接近正弦波。而且, 该站 110kV 进线的功率因数由原来的 0.4 左右提高到 0.95 以上。原来每年由于功率因数低被罚款十几万元, 现在得到了解决。提高了企业的经济效益。

### 5 结论

对于使用直流电机的轧钢企业, 通过可控硅整流设备整流后产生的高次谐波, 其主要为 5 次谐波, 按上述设计滤波器装置可以很好的滤掉高次谐波, 提高功率因数, 降低无功损耗。而设计滤波器的关键是选择合理的  $R_{Ln}$  值。对于不同的变电站谐波电流的大小不同。根据具体情况合理的选择电气设备的参数。

#### 参考文献:

- [1] 陈延鏢. 钢铁企业电力设计手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- [2] 卓乐友. 电力工程电气设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [3] 吴竟昌. 供电系统谐波[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

#### 作者简介:

袁继军(1969-), 男, 本科, 从事变电工程工作;  
 李艳洁(1968-), 女, 本科, 从事电力通讯工作;  
 宋宝军(1967-), 女, 本科, 工程师, 从事电力工程技术工作;  
 李树鑫(1965-), 男, 本科, 从事变电工程设计工作。

#### Design of simple filter

YUAN Ji-jun, LI Yan-jie, SONG Bao-jun, LI Shu-xin

(TangSan Electric Power Supply Design Institute, Tangshan 063000, China)

(下转第 68 页)

靠不误动,实测继电器动作时间为 33 ms,理论计算此时继电器两端电压值为 91.44 V,小于继电器的动作电压(实测动作电压为 154 V),计算分析结果与模拟接地试验结果吻合。此外应尽量有效减少电缆长度来减少对地电容值以便降低出口继电器两端电压值。上例中当电缆对地电容  $C_d$  降为 15  $\mu\text{F}$  时,  $U_{CKJ} = 100 \text{ V}$  (直流母线电压值为 220 V),可有效保证出口继电器不误动作。

## 5 总结

(1) 从上述三例分析我们看到,继电保护的异常和误动的现象有时是相同的,但产生的原因可能不同,继电保护专业人员应从现象入手,根据现场的实际测试和理论分析计算进行比较,最终找到实际问题的反措和解决方案。

(2) 要重视变电站直流电源的改造和更新,尽量采用新的直流电源绝缘监察和蓄电池装置。

(3) 继电保护专业人员应注意保护出口回路动作电压测试的合理性和整组传动试验项目的完整性,防止由于测试方法的不正确和由于寄生回路的存在,当发生直流回路接地时引起保护误动。

存在,当发生直流回路接地时引起保护误动。

(4) 反措要点规定继电保护出口继电器动作电压应符合  $50\% U_n < U_{\text{dw}} < 70\% U_n$ 。在现场工作时测得出口继电器动作电压数据是以 220 V 作为直流母线的额定电压标准的,现场运行值班人员应监视控制保护用直流母线的实际工作电压使其尽量符合额定电压标准,以此作为减少直流接地防止保护误动的一项措施。

## 参考文献:

- [1] 邱关源. 电路(上,下册)[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [2] 电力部. 电力系统继电保护和安全自动装置反事故措施要点[S],1994.
- [3] 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京:中国电力出版社,2000.

## 作者简介:

王坚敏(1968-),男,本科,工程师,从事电力系统继电保护和调度自动化管理工作。

### Analysis of incorrect-operation of protection caused by one-point earth-fault on direct current circuit

WANG Jian-min

(Ningbo Electric Power Bureau, Ningbo 315010, China)

**Abstract:** This paper gives the calculation and analysis on the three examples of the incorrect-operation caused by one-point earth-fault on direct current circuit, and puts forward some steps on countermeasure and some questions which should be solved and paid attention to.

**Key words:** earth-fault on direct-current circuit; protection; incorrect-operation

(上接第 64 页)

**Abstract:** At present a number of high-voltage industrial consumers, especially steel rolling mills, use D.C. motor with silicon controlled rectifier(SCR) equipment. As a result, high-order harmonic is formed due to the specific property of rectification pulse with periodic turn-off and turn-on. For a six-pulse circuit, there is  $6n \pm 1 (n = 1, 2, \dots)$  high-order harmonic. The high-order harmonic current flowing into power network will greatly influence the quality of electric power. With AC filter installation being reasonably selected, high-order harmonic voltage may be very well eliminated to reduce its influence on power network, and to increase power factor and decrease harmonic loss.

**Key words:** high-order harmonic; AC filter installation

祝广大读者仲秋节快乐! 合家幸福!