

文章编号:1671-6833(2003)03-0098-03

谐波影响下的并联电容器回路电能损耗分析

孔 斌¹, 韦 雅², 刘宪林¹

(1. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市供电公司, 河南 郑州 450053)

摘 要:通过对变电站并联补偿电容器回路电能损耗进行分析, 分别对电容器回路在考虑谐波影响和不考虑谐波影响下进行了损耗的理论计算, 并给出计算的方法步骤. 计算结果表明: 变电站无功补偿电容器回路在计及谐波影响情况下, 电能损耗有较大增加, 也造成很大的经济损失, 要采取措施抑制电容器回路对谐波的放大, 降低电容器回路的电能损耗.

关键词: 并联电容器; 损耗; 谐波; 理论计算

中图分类号: TM 714.3 **文献标识码:** A

0 引言

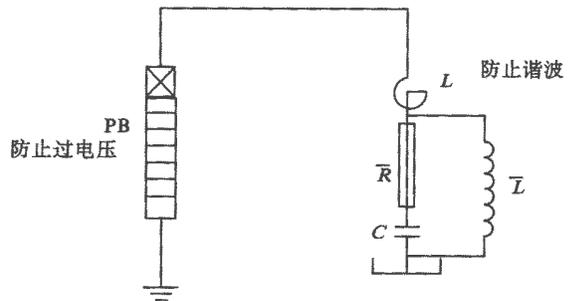
在变电站 10kV 母线上装设并联补偿电容器装置是提高功率因数、降低线损的一个普遍措施. 从理论上讲, 补偿电容器装置作为无功电源, 其有功功率损耗很小. 郑州市供电公司自 1988 年开始对各分局和工区实行线损分区考核, 为实现变电站的母线电量平衡, 对包括补偿电容器分路在内的各 10kV 分路加装感应式有功电度表, 结果发现许多变电站 10kV 母线电量出现严重的不平衡, 全公司母线电量平衡率的合格率低时仅有 40% 左右. 经对部分变电站电容器分路的电压、电流和功率因数进行实测, 根据测试数据推算电容器的月耗电量, 发现实测推算数据远远大于理论计算结果, 对个别变电站的电容器分路进行谐波测量, 发现电流、电压波形有比较明显的畸变. 补偿电容器装置有功损耗实测与理论计算数值差别很大这一事实, 说明有必要对谐波影响下的并联补偿电容器回路电能损耗进行理论分析, 并比较在不考虑谐波和考虑谐波情况下电能损耗的差别.

1 并联补偿电容器回路的有功损耗构成

变电站 10kV 母线并联补偿电容器的典型接线如图 1 所示.

1.1 电容器的有功损耗^[1,2]

假设电容器的模型是电阻 R 和电容 C 的并联, 图 2 为其等值电路.



L —串联电抗器; C —电容器;
 R —熔断器或熔丝; L —放电线圈; PB —避雷器

图 1 并联补偿电容器的典型接线图

Fig. 1 Type graph of paralleling condenser

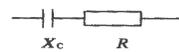


图 2 电容器等值电路图

Fig. 2 Equivalent circuit graph of condenser

图中: X_C 为每相电容器容抗, $X_C = U_{CN}^2 / Q_{CN}$; R 为电容器的等值串联电阻, $R = \text{tg } \delta X_C$; Q_{CN} 为电容器的额定容量 $\text{tg } \delta$ 为介质损失正切值, 其取值见表 1.

表 1 并联电容器介质损耗角正切值

Tab. 1 $\text{tg } \delta$ of paralleling condenser

额定电压	纸介质	全膜介质	膜纸介质
1kV 及以下	0.004 0	0.001 5	0.002 0
1kV 以上	0.003 0	0.000 5	0.001 2

收稿日期:2003-05-01; 修订日期:2003-07-01

作者简介:孔 斌(1969—),男,安徽省寿县人,郑州大学讲师,主要从事电力系统及其自动化方面的研究.

则电容器有功损耗应为

$$P_C = I^2 R, \quad (1)$$

式中: I 为电容器回路的总电流.

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}, \quad (2)$$

式中: I_1, I_3, I_5, I_7 为各次谐波电流.

1.2 电抗器的有功损耗^[1,2]

电抗器的等值电路如图3所示.



图3 电抗器等值电路图

Fig. 3 Equivalent circuit graph of reactor

图中: X_L 为电抗器电抗, 其值由电抗器参数表中给出; r 为电抗器的等值损耗总阻抗.

则其有功损耗应为

$$P_L = I^2 r. \quad (3)$$

1.3 其它组件损耗

连接导线的损耗值较小, 可忽略; 避雷器本身带有串联间隙, 可以不计损耗.

2 算例

2.1 接线图

某变电站一次接线情况如图4所示.

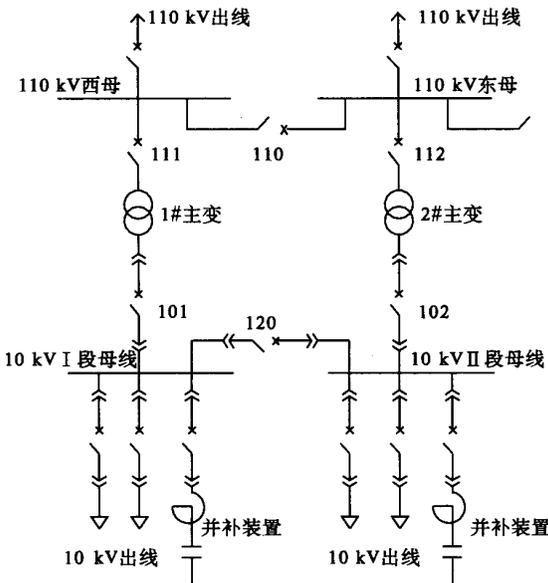


图4 变电站一次接线图

Fig. 4 Wiring diagram of transformer station

2.2 设备参数

串联电抗器的并补装置参数如下. 电容器型号: BFF 11/√3-4800-3W. 额定电压: 11/√3 kV; 额

定容量: 4800 kV·A; 相数: 3 相.

电抗器型号: CKGKL-10-96/381.1-6, 额定电压: 10 kV; 额定电流: 252 A; 额定容量: 96 kV·A, 电抗百分值: 6%; 电抗值: 1.51 Ω, 损耗: 2.88 kW.

表2 谐波测试结果 (101 点)

项目	I_3	I_5	I_7	I_T
测试结果	97.4	36.5	12.2	146.1

说明: I_3 为三次谐波电流; I_5 为五次谐波电流; I_7 为七次谐波电流; I_T 为谐波总电流.

2.3 串联电抗器并补装置损耗计算^[3,4]

2.3.1 并补装置等值电路

串联电抗器并联补偿装置每相等值电路如图5所示.

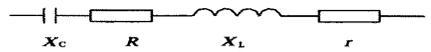


图5 串联电抗器并补装置每相等值电路图

Fig. 5 Phase equivalent circuit graph of paralleling condenser

每相电容器容抗为

$$X_C = \frac{U_{CN}^2}{Q_{CN}} = 25.2 \Omega \quad (4)$$

每相电容器等值串联电阻

$$R = \tan \delta X_C = 0.003 \times 25.2 \Omega = 0.0756 \Omega \quad (5)$$

电抗器参数中已给出电抗器电抗 $X_L = 1.51 \Omega$, 则电抗器等值损耗总电阻为

$$r = \frac{P_L}{3I_{le}^2} = 0.015 \Omega \quad (6)$$

则每相等值电路的等值阻抗

$$Z = (R+r) - j(X_C - X_L) = 23.69 \angle -89.78^\circ \Omega \quad (7)$$

2.3.2 基波条件下损耗计算

串联电抗器并补装置线电流

$$I = \frac{U_N}{\sqrt{3}Z} = 243.71 \text{ A} \quad (8)$$

三相损耗功率

$$P = 3I^2(R+r) = 16.14 \text{ kW} \quad (9)$$

月电能损耗

$$W = 16.14 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 30 = 11620.8 \text{ kWh} \quad (10)$$

2.3.3 谐波条件下损耗计算

串联电抗器并联装置线电流如下:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2} = 265.26 \text{ A} \quad (11)$$

三相损耗功率

$$P = 3I^2(R + r) = 19.12 \text{ kW} \quad (12)$$

月电能损耗

$$W = 19.12 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 30 = 13766.4 \text{ kWh} \quad (13)$$

3 结束语

对串联电抗器并补装置回路损耗进行理论分析计算是一项基础工作. 本文分别对电容器并补装置在考虑谐波影响和不考虑谐波下进行了损耗的理论计算. 式(10)和式(13)表明, 无功补偿电容器组与电力系统的电感构成了局部电感电容回路, 它们的一些组合有时会对某次谐波电流起到放大作用, 在谐波条件下, 并补装置的功率损耗和电能损耗有较大增加, 也给电力系统造成很大的经济损失, 同时谐波会影响测量仪表的精度, 造成电能计量的误差. 要采取措施抑制电容器回路对

谐波的放大^[5,9], 降低电容器回路的损耗.

参考文献:

- [1] 西北电力设计院. 电力工程电气手册(电气一次部分)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.
- [2] 邱关源. 电路[M]. 第四版. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [3] 樊建宪. 计量并联电容器补偿装置有功损耗方法的探讨[J]. 电测与仪表, 1998, 35(395): 14~18.
- [4] 郭嘉琳, 戚良娣, 陈根永. 某大型铝厂 10 kV 电网谐波及其对电能计量影响的研究[J]. 郑州工学院学报, 1994, 15(3): 8~18.
- [5] 覃寿顺, 黄国屏. 抑制杨柳变电站电容器谐波放大的措施[J]. 广西电力技术, 1999, 33(3): 33~35.
- [9] 王红安, 薛永刚, 谢琦. 电能计量管理信息系统的设计与开发[J]. 郑州: 大学学报(工学版), 2003, 24(1): 105~108.

Electric Energy Dissipation Analysis of Parallel Condenser Based on Harmonic Wave

KONG Bin¹, WEI Ya², LIU Xian-lin¹

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Zhengzhou Power Company, Zhengzhou 450053, China)

Abstract: The paper analyses the electric energy dissipation of condenser, separate calculates the energy dissipation based on fundamental wave and harmonic wave, and gives the method and steps of calculation. The result indicates the electric energy dissipation of condenser greatly increases owing to harmonic wave, and make economic losses. We must take action to restrain harmonic wave which is magnified, and reduce the dissipation.

Key words: parallel condenser; dissipation; harmonic wave; theoretical calculation