

电磁式节电装置节电原理浅析和效果测试

彭 洁

(贵阳铝镁设计院电控室, 贵州 贵阳 550000)

摘要:在此介绍一种新型电磁式节电器,该节电器根据电磁平衡、电磁交变与转换的技术原理制造。作为大型普通用户低压电力系统的静态补偿装置应用,较好地解决了系统型、大功率综合性负载集中控制节电的问题。根据许多使用单位的调查结果可知,电磁式节电器在以单相负载为主要负荷的综合性系统中应用节电率达 10%~20%;在以三相负载为主要负荷的综合性系统中应用节电率达 6%~12%。

关键词:电磁式节电器;电磁平衡;节电率

中图分类号:TD609

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2014)09-0041-03

Simple Analysis on Electricity Saving Principle of Electromagnetic M-type Power Saver and Effect Testing

PENG Jie

(Guiyang Aluminium Magnesium Design & Research Institute, 550000 Guiyang, China)

Abstract: A new electromagnetic type power saver is introduced, using the technical principle of electromagnetic balance, electromagnetic alternation & transduction. As static compensation device application of low-voltage power system for large-scale users. It solves the power saving problem of centralization control on systematic & high power comprehensive load. Based on survey of many users, the power saving rate reaches 10%~20% in integrate system of single-phase load, and the power saving rate reaches 6%~12% in integrate system of three-phase load.

Keywords: electromagnetic type power saver; electromagnetic balance; power saving rate

1 引言

上世纪 90 年代,研发出了根据电磁平衡、电磁交变与转换技术原理,针对用户整个系统进行集中控制与节电的系统型、大功率综合性负荷 MXVR 系列电磁式节电装置。该装置的核心部件是不含易损的半导体元件,能有效改善系统电能质量,提高电能利用率,降低系统损耗,具有极高的安全性、可靠性和工程实用性,无故障工作时限至少超过 25 年。在此,根据有限的技术资料 and 工程实例对 MXVR 系列中 M 型节电装置的主要节电原理进行浅析^[1-5]。

2 原理与设计

M 型装置的核心技术是将一组串联并异相缠绕的电抗器、一组 LC 无源滤波器和一组并联固定式自耦调压器组合在同一个三柱式铁心上,如图 1 所示。

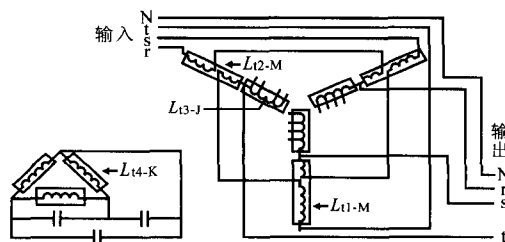


图 1 电路原理图

Fig. 1 The circuit principle diagram

2.1 动态平衡三相电压的节电原理

根据稳态的不平衡三相负荷的平衡化原理:将一个理想的补偿网络与三相负荷并联就可将任何不平衡的三相负荷变换成一个平衡的三相有功负荷,且不会改变电源和负荷间的有功功率交换。

平衡补偿可用有功功率和无功功率表示,如图 2 所示。

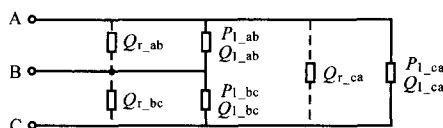


图 2 有功、无功功率表示平衡补偿

Fig. 2 Active and reactive power show balance compensation

定稿日期:2014-06-03

作者简介:彭洁(1965-),女,湖南平江人,高级工程师,研究方向为工业电气供配电及自动化专业设计。

理想补偿为:

$$\begin{cases} Q_{r,ab} = -Q_{l,ab} + (P_{l,ca} - P_{l,bc}) / \sqrt{3} \\ Q_{r,bc} = -Q_{l,bc} + (P_{l,ab} - P_{l,ca}) / \sqrt{3} \\ Q_{r,ca} = -Q_{l,ca} + (P_{l,bc} - P_{l,ab}) / \sqrt{3} \end{cases} \quad (1)$$

式中: P 的 “-”, “+” 表示感性和容性无功功率。

M 型装置内部的三柱式铁心上每相都有一组串联并异相缠绕的电抗线圈和一组并联固定式自耦调压线圈。正是由于依赖特殊的铁心材料而采用了异相缠绕技术, 相当于与负荷等效形成了并联, 达到了电磁补偿效果。其电压平衡补偿效果是: 当电路上的电压及电流通过装置时, 电压即加到各组线圈上。当出现三相电压不平衡时, 电抗线圈组的三相也呈现出不同的磁饱和程度, 亦即电压较高的相将自然吸收较多的感性无功功率。

由于等效并联电抗线圈组中各组励磁线圈所产生的磁通是与其他各相励磁线圈所产生的磁通交汇在同一个三柱式铁心上, 使得铁心柱上三相的磁势总是趋向相对平衡状态的机制。由于是从自耦调压线圈和电抗线圈组连接之间输出电压, 电抗线圈本身的磁饱和和稳压特性可获得快速补偿效果, 因而, 此刻输出的电压可得到相对动态平衡。测试数据表明电压平衡补偿效果可以达到 70% 左右。

2.2 改善系统功率因数的节电原理

M 型装置改善功率因数的原理是利用装置本身的移相 (串联特殊电抗器的 2 组线圈分别缠绕在不同铁心柱上) 后电感抗与负荷系统的电感抗形成互感, 相当于起到两个线圈反接时等效电感小于两个线圈自感之和的作用, 可降低负载的感性特征。用基尔霍夫第二定律可推导出在安装该装置后负荷系统电感抗有效值会有所减少, 相应使无功功率大幅减小, 从而使有功功率和视在功率有所下降。同时, 由于装置铁心的励磁、解磁速度极快, 可起到动态功率因数补偿作用。

根据装置原理图做出如图 3 所示单相等效电路。该电路由 a, b 间的串联线圈和 b, c 间的并联线圈组成, 其自身阻抗用 L_1, L_2 表示, 总感抗用 $M = kL_1L_2$ 表示。

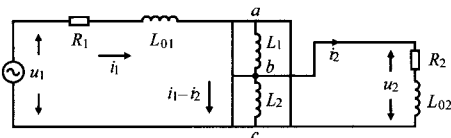


图 3 单相等效电路图

Fig. 3 Equivalent circuit diagram of single phase

由 KVL 定律可得:

$$\begin{cases} u_1 = (R_1 + j\omega L_{01} + j\omega L_1) i_1 + j\omega M (i_1 - i_2) + j\omega (i_1 - i_2) L_2 + j\omega M i_2 = [R_1 + j\omega (L_{01} + L_1 + L_2 + 2M)] i_1 - j\omega (L_2 + M) i_2 = Z_{u1} i_1 - jX_{m1} i_2 \\ (R_2 + j\omega L_{02}) i_2 - j\omega L_2 (i_1 - i_2) - j\omega M i_1 = [R_2 + j\omega (L_{02} + L_2)] i_2 - j\omega (L_2 + M) i_1 = Z_{u2} i_2 - jX_{m2} i_1 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

由式 (2) 可得: $i_1 = Z_{u1} U_1 / (Z_{u1} Z_{u2}) + X_{m2}^2 i_2 = jX_{m1} U_1 / (Z_{u1} Z_{u2}) + X_{m2}^2 i_2$, 则: $u_1 = (Z_{u1} X_{m2}^2 / Z_{u2}) i_1$ 。从初级看有效阻抗增加了 X_{m2}^2 / Z_{u2} 。假设: $L_{02} = 0$, 则: $X_{m2}^2 / Z_{u2} = \omega^2 (L_2 + M)^2 / R_2^2 + j\omega L_2 = [\omega^2 (L_2 + M)^2 / R_2^2 + \omega^2 L_2^2] R_2 - j\omega [\omega^2 (L_2 + M)^2 / R_2^2 + \omega^2 L_2^2] L_2 = R_2' - j\omega L_2'$ 。

增加的有效阻抗 X_{m2}^2 / Z_{u2} 、其电阻有效值增加了 $R_1 + R_2'$; 电抗有效值减少为 $L_{u1} - L_2'$ 。并且, 可看到以这样的技术改善系统功率因数不会改变负荷感性的性质, 只是降低负荷的感性。

2.3 抑制浪涌电压和浪涌电流的节电原理

理想电抗器其电抗特性是: 因电感线圈是一个储能元件, 它将从电源吸取的电能不能转变成磁场储能。将其串联接入回路后, 在该回路的电压、电流发生变化时, 由于感应原理而产生反电势来阻碍电压、电流的变化。电抗器仅与交变电源进行能量吞吐交换, 自身不消耗有功。其一般用途是: 抵抗电压波动、闪变、滤波、限流、移相、调节负载的功率等, 即已经具备有抑制浪涌电压和电流的功能。但实际的磁饱和和电抗器因为 L 不是常数, 具有非线性特征, 在实际运行中自身将产生大量的谐波和损耗, 不仅会使电抗器因谐波和自耗过热难以运行, 而且还污染了供电电能质量, 因此在工程上很少应用。

MXVR 电磁式节电器抑制浪涌的原理与电抗器的抑制原理基本类似, 且成功地解决了产生谐波和自耗过热问题。装置在制造上利用特殊的结构, 通过异相极性相互连接的特殊缠绕方式、适当的缠绕线圈匝数比例, 以及选择磁导率很高的、采用特殊材料制造的高度磁饱和和铁心, 使得装置的电抗线圈组几乎不产生谐波, 自身损耗极低, 实现了由串联电抗线圈用来限制冲击电流、并联电抗线圈用来限制谐波和无功补偿。在实际工程应用案例中温升很低和几乎无自耗, 典型自耗仅为其额定容量的 4% 左右。

M 型装置内的电抗线圈是在高度磁饱和状态下运行的, 呈现的动态电抗基本上是绕组漏抗, 因此时间常数很小, 响应很快。在瞬态电压、电流的冲击发生后 0.3~0.5 周 (6~10 ms) 即起作用, 能有效地抑制馈电母线上的浪涌电压和电流。

3 实验

对于改善系统功率因数的节电原理的案例中,电磁式系统型 M 型装置还具备其他节电手段,例如抑制谐波节电、装置存在有独立的 Δ 接线第三绕组但在其上并联了无极性电容器。装置采用的无极性电容器和电感线圈在运行时受周围温度、自身发热、绝缘老化的影响极小,其阻抗值等参数可视为常数,不会发生失谐,为低频谐波电流提供通路,使该部分谐波畸变分量不致在负荷设备中产生叠加及恶性循环,可节省由此而带来的电力损耗。

MXVR 系列节电器在以单相负载为主要负荷的综合性系统中应用,其节电率为 10%~20%;在以三相负载为主要负荷的综合性系统中应用,其节电率为 6%~12%。

表 1 为某大学三教区第二路低压总闸配电屏回路安装 MXVR 节电器前后数据比较。测量表计为用户已装有的计量电能表,各取安装前后 8 月 30 日 23 时到 9 月 6 日 22 时的电能表走数进行节电率比较,节电率 20.88%,测试机容量 160 kVA。

表 1 测试 1 数据比较

Table 1 Data comparison of testing 1

投入时走数			退出时走数		
前走数	后走数	实际走数	前走数	后走数	实际走数
12 970	13 042	72	13 062	13 153	91
电能数	4 320 kW·h		电能数	5 460 kW·h	

表 2 为某学院安装 MXVR 节电器前后数据比较。测量表计为 3169 型(日产)电力测试记录仪;日期为 2012 年 4 月 22 日,各取安装前后 15 min 的电能表走数进行节电率比较,节电率 15.69%。测试机容量为 20 kVA。

表 2 测试 1 数据比较

Table 2 Data comparison of testing 2

未投入节电器时		投入节电器时	
时间	电能消耗	时间	电能消耗
22:42~22:57	3.644 kW·h	22:15~22:30	3.072 kW·h

表 3 为某商业广场安装 MXVR 节电器前后

数据比较。测量表计为用户已装有的计量电能表,投入时间为 5 月 9 日 16 时到 5 月 17 日 16 时,退出时间为 5 月 18 日 16 时到 5 月 26 日 16 时;各取安装前后 8 日的电能表走数进行节电率比较,节电率 13.1%。测试机容量为 1 250 kVA。

表 3 测试 3 数据比较

Table 3 Data comparison of testing 3

退出时			投入时		
前走数	后走数	实际走数	前走数	后走数	实际走数
969 024	968 728	296	969 306	969 049	257
电能数	148 000 kW·h		电能数	128 500 kW·h	

4 结 论

MXVR 系列节电器在应用上主要是针对单相负荷和三相负荷并存的大功率综合性负荷系统,采用三相串联安装法,工程造价比较低。自进入我国市场以来,近 20 年的市场记录为无质量事故。其中 M 型(手控型)经过了省级权威检测部门按照中国 CCEC 制定的标准进行了性能检测和节电率检测,检验结果证明其性能高于 GB/T725.1;GB4208;GB17625.1;CCEC/T16.1 规定的相关标准;SA 型(自动低电压旁路保护型)经过了省市级权威检测部门的动态检测和静态检测,检验结果证明性能指标和节电率都达到了质监部门规定的标准。电磁式 MXVR 系列系统型节电装置的设计思想独辟蹊径,以零故障、无干扰为基本原则;以集中控制大功率综合性负荷系统为对象;以多个参数目标控制为手段,在工程应用上则是简单的三相串联安装法,因而得到了广阔的市场。

参考文献

- [1] 孙树勤,林海雪.干扰性负荷的供电[M].中国电力出版社,1999.
- [2] 王兆安,杨 君,刘进军.谐波抑制和无功功率补偿[M].机械工业出版社,2002.
- [3] 杨志礼,杨代全.日本新型节电设备应用探讨[J].四川建筑电气通讯,1999,68:35-46.
- [4] 高建伟.日本 EPOCH 节电原理浅析[J].节能,1999,5:23-37.
- [5] 湖南省电力实验研究院[P].检测报告,DN0305002.

2014年第 12 期“特种电源”专辑征文

本刊拟将 2014 年第 12 期辟为“特种电源”专辑。欲投稿的作者请在 2014 年 09 月 30 日前将论文发至本刊编辑部(Email: dldzjstg@163.com),并注明“特种电源”字样。详情见本刊网站: www.dldzjs.com。