

文章编号: 1005-6548(2003)01-0015-02

硅铁电弧炉的电路分析*

王玲桃¹

(1. 山西大学工程学院, 山西 太原 030013)

An Analysis of the Ferro-silicon Electric Arc Furnace

WANG Ling-tao¹

(1. Engineering College of Shanxi University, Taiyuan 030013, China)

摘要: 应用电路基本原理,对硅铁电弧炉的供电系统进行了简化。通过分析硅铁电弧炉的单相等效电路,说明安装分布电容器对于提高电弧炉的用电效率十分有效。此结果可应用于其它类型的电弧炉。

关键词: 硅铁电弧炉;单相等效电路;分布电容器
中图分类号: TM89 **文献标识码:** A

Abstract: The energy supply system is simplified based on electric circuit basic theory. Based on an analysis of single phase equivalent of a ferro-silicon arc furnace circuit, it is indicated that the discrete capacitor installation is effective to improve the efficiency of using electricity. This way may be used in the other arc furnace.

Key Words: ferro-silicon electric arc furnace; a single phase equivalent circuit; discrete capacitor

引 言

电弧炉是现代冶金工业中的主要冶炼设备,它的工作原理是在电极上加一定的电压,在电极和炉料之间产生电弧,产生巨大的电流,从而释放出巨大的热量,利用热量产生的高温使炉料熔化并进行冶炼,电弧炉可以冶炼特种钢、铁合金等。提高电

弧炉的使用效率、降低电耗、提高功率因数,关键在于建立合理的电路分析模型。硅铁电弧炉与其它类型的电弧炉结构基本一致,由于硅铁是炼钢的主要脱氧剂和合金剂之一,而且我国的硅铁生产发展很快,每年出口硅铁 20 多万 t,因此分析硅铁电弧炉的电路具有实际意义。近年来对电弧炉的电路模型及磁场进行分析和研究已成为国内外的热门课题,但针对硅铁电弧炉进行的研究很少。本文针对硅铁电弧炉电路模型的建立进行分析。

1 硅铁电弧炉供电系统的等效电路

电弧炉的用电一般是取自高压电力网,经高压配电装置和电炉变压器,将电网的高电压和低电流变为适合于不同容量、不同冶炼品种的低电压、大电流。硅铁电弧炉供电系统的等效电路如下页图 1^[1]所示,图中利用戴维南定理将供电系统和其它可能的负载等效为一个电压源与一个阻抗 $Z_s = R_s + j\omega L_s$,再供给变压器的原边电力。为了提高供电电路的功率因数,在电路中联接了与负载并联的分布电容器 X_C ,并联电容器同时也可以提高供电电流。图中的 L_M, R_M 为测量电路的等效电感和电阻; L_e, R_e 为电极的等效电感和电阻; Z_a 为电弧阻抗。

在硅铁电弧炉中炉料主要是硅石、焦粉和废钢

* 收稿日期: 2003-01-04

作者简介: 王玲桃(1967-),女,山西阳泉人,山西大学工程学院讲师,从事电工理论在电力系统中的应用研究。

屑。电流由变压器通过插入装满炉料的炉膛的电极导入,在整个冶炼过程中电极总是插在炉料之中,使不外露电弧,因此二次回路的中性点为炉料。电弧由相电压产生,电流只能通过电弧路径,故三相电流的相量之和恒为零。由于用图 1 分析电弧炉的工作情况过于复杂,须对其再次进行简化。

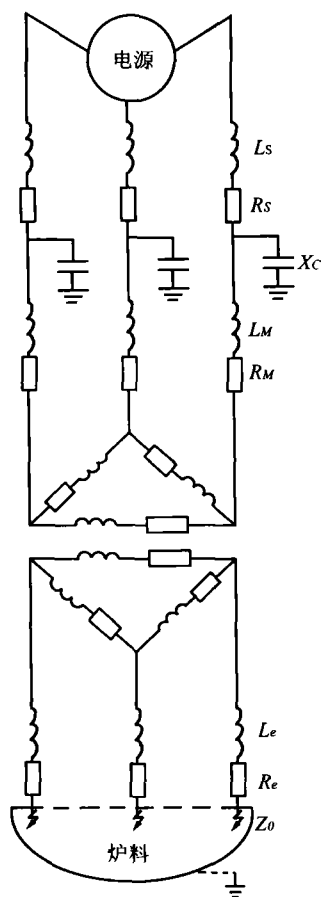


图 1 硅铁电弧炉供电系统的等效电路

2 硅铁电弧炉的单相等效电路

在分析实际工程问题时,尽量以计算简单而且有效为主要目的,故假设三相电路完全对称,则仅考虑一相电路即可。硅铁电弧炉的单相等效电路如图 2 所示。为了便于分析和计算,在图 2 中直接将测量阻抗、变压器的原边、付边的阻抗及电极阻抗合成为一个阻抗 Z_f 。C 为分布电容器的等效电容, L_c 为分布电容器的等效电感。

3 计算实例

下面以能够填充 30 t 炉料的硅铁电弧炉为例进行分析,仅分析电弧为短弧时的工作状况。短弧

时硅铁电弧炉的参数如表 1 所示^[2]。

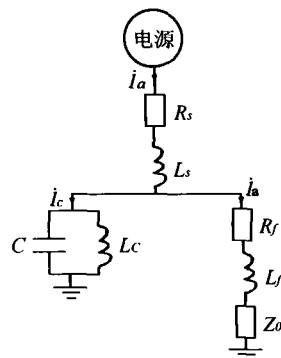


图 2 硅铁电弧炉的单相等效电路

应用相量法计算。设 $E = 394 \angle 0^\circ \text{ V}$ 。

电源电流:

$$I = \frac{E}{Z_s + \frac{Z_c(Z_f + Z_a)}{Z_c + Z_f + Z_a}} = 72.387 \angle -11.56^\circ \text{ kA}$$

电弧电流:

$$I_a = \frac{Z_c}{Z_c + (Z_f + Z_a)} I = 78.17 \angle -18.12^\circ \text{ kA}$$

电弧电压: $V_a = Z_a I_a = 282.43 \angle -13.23^\circ \text{ V}$

三相电源功率: $P_s = 3EI \cos 11.56^\circ = 83.82 \text{ MW}$

三相电弧功率: $P_a = 3V_a I_a \cos \varphi_a = 65.99 \text{ MW}$

电弧功率与电源功率之比: $\eta = \frac{P_a}{P_s} = 78.7\%$

由计算结果可知,安装分布电容器除了可以提高功率因数外,还可使电弧电流增大很多。因此,要想提高用电效率,电弧炉的供电系统中必须安装分布电容器。

表 1 硅铁电弧炉短弧时的主要参数

参 数	表示字母	量 值	国际单位
电源相电压的有效值	E	395	V
电源频率	f	50	Hz
电源等效电阻	R_s	0.0512	mΩ
电源等效电抗	X_s	0.377	mΩ
变压器原边、付边及其它阻抗合成电阻	R_f	0.3366	mΩ
变压器原边、付边及其它阻抗合成电抗	X_f	2.67	mΩ
分布电容器的等效容抗	X_c	36.19	mΩ
分布电容器的等效感抗	X_{Lc}	1305.17	mΩ
电弧的等效电阻	R_a	3.6	mΩ
电弧的等效电抗	X_a	0.308	mΩ

由于三相电流不对称,则 I_a 、 I_b 、 I_c 及 φ_a 、 φ_b 、 φ_c 的数值取决于负载,因而无法求出一个固定的 P' 值,即无法得出一个通用的修正系数。但因为 I_a 与 I_b 之间有相位差,且实际上正常运行的三相四线制供电系统三相负载电流 I_a 、 I_b 、 I_c 不会悬殊很大,而 $I_K = \frac{1}{2}(I_a + I_b)$,即 I_a 、 I_b 与 $2I_K$ 为一三角形,由图4可看出,该三角形的两个边 I_a 、 I_b 大于第三边 $2I_K$ 的一半,即 I_K 的数值(模数)有: $I_K < I_a$ 、 $I_K < I_b$ 。

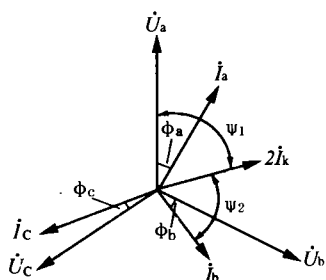


图4 测量电能时的相量图

所以电能表测出的功率 P' 小于实际功率(正确接线测出的功率 P),即修正系数应大于1。若要求出具体的修正系数值,只要测出负载电流及功率因数角即可按上述公式求出。

若三相电路完全对称时,有:

$$I_a = I_b = I_c = I$$

$$\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c = \varphi$$

$$\text{且 } I_A + I_B + I_C = 0$$

$$I_K = \frac{1}{2}(I_a + I_b) = -\frac{1}{2}I_c$$

$$\text{即 } I_K = \frac{1}{2}I_c$$

由相量图得知:

$$\Psi_1 = 60^\circ + \varphi$$

$$\Psi_2 = 60^\circ - \varphi$$

错误接线测出的功率为:

$$\begin{aligned} P' &= U_a I_K \cos \varphi_1 + U_b I_K \cos \varphi_2 + U_c I_c \cos \varphi \\ &= UI \left[\frac{1}{2} \cos(60^\circ + \varphi) + \frac{1}{2} \cos(60^\circ - \varphi) + \cos \varphi \right] \\ &= UI \left[\frac{1}{2} (\cos \varphi \cos 60^\circ - \sin \varphi \sin 60^\circ + \right. \\ &\quad \left. \cos \varphi \cos 60^\circ + \sin \varphi \sin 60^\circ) + \cos \varphi \right] \\ &= UI \left[\frac{1}{2} (0.5 \cos \varphi + 0.5 \cos \varphi) + \cos \varphi \right] \\ &= 1.5 UI \cos \varphi \end{aligned}$$

实际功率即正确接线电能表测出的功率为:

$$P = 3 UI \cos \varphi$$

故修正系数应为:

$$K = \frac{P}{P'} = \frac{3}{1.5} = 2$$

因此,错误接线虽也能测出所消耗的电能值,但比实际值小了一倍,此时应将错误接线电能表的读数乘以修正系数才是实际消耗的电能数。

3 结束语

低压供电系统根据不同的负载,可分为三相三线制或三相四线制两类。在实际工作中由于各种原因 TA 与电能表之间的连接可能发生多种错误接线,本文虽然仅对两类供电系统各举一个实例进行分析,求出修正系数,但所采用的分析方法对其它各种错误接线均适用,在实际工作中遇到电能表经 TA 接入时,若接线错误,均可参照本文进行分析,求出修正系数,得出正确计量值。

参考文献:

- [1] 李文娟. 电能计量学[M]. 北京:水利电力出版社, 1998.
- [2] 李崇贺. 电工测试基础[M]. 北京:中国电力出版社, 2000.

[责任编辑:王 琨]

(上接第16页)

4 结束语

由于本文中建立的硅铁电弧炉的电路模型非常简单,所以在概念上更易为工程人员所接受,而且该模型也把电工理论与生产实践结合于一体。实例分析还验证了在硅铁电弧炉供电系统中安装分布电容器的必要性。此分析结果也可用于分析其它类型的

电弧炉。

参考文献:

- [1] E. H. McIntyre, Tekon Services Ltd. Electrical Input into EAFs[J]. I & SM, 1991. 54~56, AUGUST 44~46.
- [2] Juan Celada S. Electrical analysis of the steel melting arc furnace[J]. Iron and Steel Engineer. 1993. 35~39.

[责任编辑:王 琨]