

· 经验交流 ·

六辊可逆冷轧机整流变压器谐波电流分析计算

郝 宏 昭

(中国重型机械研究院 自动化研究所, 陕西 西安 710032)

摘要: 为了减少谐波电流对电网造成的危害, 本文通过六辊可逆冷轧机中整流变压器副边电流波形合成分析, 对六辊可逆冷轧机中整流变压器谐波电流进行了推导计算, 根据这些谐波电流值, 在以后的设计或者使用过程中就可以采取一些有效的方式尽可能地减少谐波电流, 使其对电网的影响减到最小。

关键词: 可逆冷轧机; 整流变压器; 接线方式; 谐波电流

中图分类号: TM422 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-7059 (2009) 01-0057-03

Analysis and calculation of harmonic current in rectifier transformer for six-high reversible cold mill

HAO Hong-zhao

(Automation Research Institute, Chinese Heavy Machinery Research Institute, Xi'an 710032, China)

Abstract: In order to reduce harm of harmonic current to electric grid, harmonic current of rectifier transformer in six-high reversible cold mill was calculated. These harmonic current values can be used for reference in future design, or some effective measures can be taken to reduce harmonic current as far as possible, and its influence to electric grid is reduced to the least degree.

Key words: reversible cold rolling mill; rectifier transformer; connecting mode; harmonic current

0 引言

近几年来国内钢铁行业逐渐升温, 越来越多的人投资冷轧设备尤其是六辊可逆冷轧机, 而整流变压器对于冷轧设备电气控制的安全可靠至关重要, 它将直接影响整个电网的稳定性, 所以大家对整流变压器谐波电流的计算也就特别关注。下面就以作者参与设计的六辊可逆液轧机整流变压器的谐波电流计算为例进行分析。

1 接线方式

六辊可逆液轧机共设有七台直流电机: 主机上、下辊分别由两台直流电机驱动; 左、右卷取机分别由两台直流电机驱动; 开卷机由一台直流电机驱动。这七台直流电机分别通过七套直流传动整流装置来驱动, 而这七套直流传动装置则通过四台整流变压器供电, 其供电接线方式如图 1 所示。

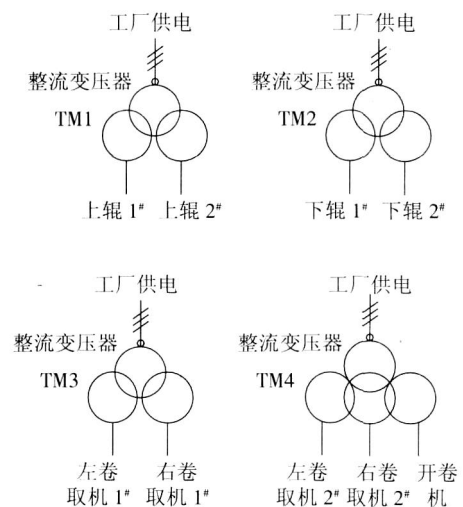


图 1 六辊可逆轧机变压器接线方式

Fig. 1 Six-high reversible cold mill rectifier transformer connect mode

收稿日期: 2008-03-03; 修改稿收到日期: 2008-05-30

作者简介: 郝宏昭 (1976-), 男, 陕西西安人, 工程师, 主要从事冷轧电气自动化方面的研究设计工作。

2 谐波电流的分析计算

2.1 主机整流变压器谐波电流

2.1.1 主机上辊整流变压器谐波电流

对向主机上辊 1[#], 2[#]电机直传动整流装置供电的整流变压器 TM1, 其两副边绕组电流 (安匝) 合成波形为方波, 可将其分解为傅里叶级数, 以 a 相为例, 基波及各次谐波电流的傅氏级数为^[1]:

$$i_{az} = \frac{2\sqrt{3}}{11} I_d \left[\sin t - \frac{1}{5} \sin 5 t - \frac{1}{7} \sin 7 t + \frac{1}{11} \sin 11 t + \frac{1}{13} \sin 13 t - \dots \right] \quad (1)$$

由式 (1) 可得出各次谐波电流有效值为:

$$I_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2\sqrt{3}}{n} I_d = \frac{\sqrt{6}}{n} I_d \quad n = 6k \pm 1, k = 1, 2, 3 \dots \quad (2)$$

则实际值^[2]为: $I_{nr} = K_{in} I_n$ (3)

上述式中, i_{az} 为变压器副边 a 相电流; t 为控制角; I_d 为电机电枢电流; I_n 为谐波电流有效值; n 为谐波次数; K_{in} 为谐波电流实际值的修正系数 (见表 1); I_{nr} 为修正后的谐波电流有效值。

表 1 脉动波数为 12 时谐波电流实际值修正系数 K_{in} ^[2]

Table 1 Amending coefficient K_{in} of harmonic current actual value on pulsant wave amounting 12

| n | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | 23 | 25 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_{in} | 0.30 | 0.30 | 0.75 | 0.70 | 0.20 | 0.15 | 0.25 | 0.20 |

由式 (2) 和 (3) 可得出各次谐波电流的实际有效值如下 (由于 TM1 带两台直流电机且两台电机电流相同, 因此上面的电机电枢电流在计算中应为 $2I_d$):

5 次谐波电流: $I_{5r} = 0.3 \times \frac{\sqrt{6}}{5} \times 2I_d$

7 次谐波电流: $I_{7r} = 0.3 \times \frac{\sqrt{6}}{7} \times 2I_d$

11 次谐波电流: $I_{11r} = 0.75 \times \frac{\sqrt{6}}{11} \times 2I_d$

13 次谐波电流: $I_{13r} = 0.70 \times \frac{\sqrt{6}}{13} \times 2I_d$

17 次谐波电流: $I_{17r} = 0.2 \times \frac{\sqrt{6}}{17} \times 2I_d$

19 次谐波电流: $I_{19r} = 0.15 \times \frac{\sqrt{6}}{19} \times 2I_d$

2.1.2 主机下辊整流变压器谐波电流

由于 TM2 的接线方式及工作方式与主机上辊

相同, 故主机下辊整流变压器的基波和各次谐波电流计算同上辊整流变压器。

2.2 卷取机整流变压器谐波电流

2.2.1 左右卷取机整流变压器 TM3 的谐波电流

左右卷取机的电机在正常工作时分别处在电动和发电状态, 以整流与控制角 $\alpha = 30^\circ$ 为例, 设处于电动状态下电机电枢电流为 I_{d1} (认为电流连续), 则与其相应的变压器副边绕组 (a 相) 电流 I_{a1} 波形如图 2 所示。又设处于发电 (开卷) 状态下的电机电枢电流为 I_{d2} , 则与其相应的变压器副边绕组 (a 相) 电流 I_{a2} 的波形如图 3 所示。

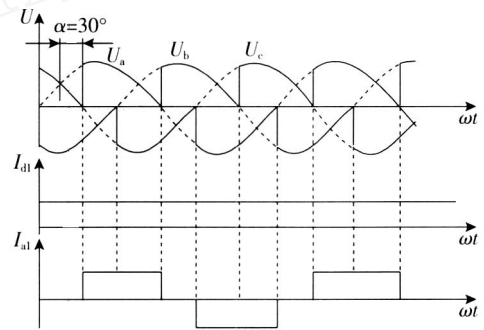


图 2 变压器副边一个绕组 $\alpha = 30^\circ$ 时的电流 (a 相)
Fig. 2 Transformer assistant one winding $\alpha = 30^\circ$ current (a phase)

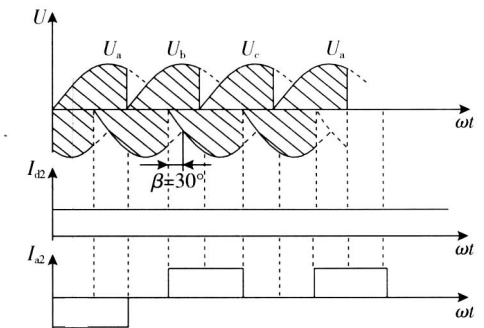


图 3 变压器副边另一个绕组 $\beta = 30^\circ$ 时的电流 (a 相)
Fig. 3 Transformer assistant the other one winding $\beta = 30^\circ$ current (a phase)

由图 2, 3 采用叠加原理可知, 变压器两副边绕组的合成电流 (安匝) 如图 4 所示为阶梯波形。

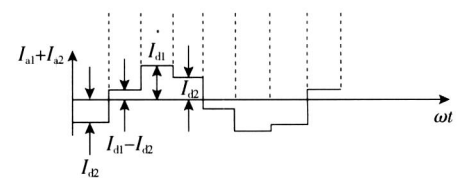


图 4 变压器副边 a 相两绕组安匝合成
Fig. 4 Transformer assistant a phase two winding ampere-turn compound

根据图 4 可以得出如下表达式:

$$f(x) = \begin{cases} -(I_{d1} - I_{d2}) - x - (2/3) & x < -(1/3) \\ -I_{d1} - (2/3) & -(1/3) < x < (1/3) \\ -I_{d2} - 1/3 & x < 0 \\ I_{d1} - I_{d2} & 0 < x < 1/3 \\ I_{d1} & 1/3 < x < 2/3 \\ I_{d2} & 2/3 < x < 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $f(x)$ 为变压器两副边绕组的合成电流函数;
 x 为触角度。

将式 (4) 分解为傅里叶级数, 以 a 相为例有:

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx = 0 \quad (5)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx dx = \frac{1}{n} (I_{d1} - 2I_{d2}) \left[\sin \frac{n}{3} + \sin \frac{2n}{3} \right] \quad (6)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx dx = \frac{1}{n} I_{d1} \left[1 - \cos n - \cos \frac{2n}{3} + \cos \frac{n}{3} \right] \quad (7)$$

式中, a_0, a_n, b_n 为傅里叶系数。由式 (5) ~ (7) 综合可得出基波和各次谐波电流的傅里叶展开表达式为:

$$i_{az} = \left[\frac{\sqrt{3}}{5} (I_{d1} - 2I_{d2}) (\cos t - \frac{1}{5} \cos 5t + \frac{1}{7} \cos 7t - \frac{1}{11} \cos 11t + \frac{1}{13} \cos 13t - \dots) \right] + \left[-\frac{3}{5} I_{d1} (\sin t + \frac{1}{5} \sin 5t + \frac{1}{7} \sin 7t + \frac{1}{11} \sin 11t + \frac{1}{13} \sin 13t + \dots) \right] \quad (8)$$

由式 (8) 可得各次谐波电流有效值为:

$$I_n = \frac{\sqrt{6}}{2n} (I_{d1} - 2I_{d2}) + \frac{3\sqrt{2}}{2n} I_{d1} \quad (9)$$

$n = 6k \pm 1, k = 1, 2, 3, \dots$

则实际值 I_{nr} 与式 (3) 同。

由式 (9) 和 (3) 可得出各次谐波电流的实际有效值如下:

$$5 \text{ 次谐波电流: } I_{5r} = 0.3 \times \left[-\frac{\sqrt{6}}{2 \times 5} \times (I_{d1} - 2I_{d2}) + \frac{3\sqrt{2}}{2 \times 5} \times I_{d1} \right]$$

$$7 \text{ 次谐波电流: } I_{7r} = 0.3 \times \left[\frac{\sqrt{6}}{2 \times 7} \times (I_{d1} - 2I_{d2}) + \frac{3\sqrt{2}}{2 \times 7} \times I_{d1} \right]$$

$$11 \text{ 次谐波电流: } I_{11r} = 0.75 \times \left[-\frac{\sqrt{6}}{2 \times 11} \times (I_{d1} - 2I_{d2}) + \frac{3\sqrt{2}}{2 \times 11} \times I_{d1} \right]$$

$$13 \text{ 次谐波电流: } I_{13r} = 0.70 \times \left[\frac{\sqrt{6}}{2 \times 13} \times (I_{d1} - 2I_{d2}) + \frac{3\sqrt{2}}{2 \times 13} \times I_{d1} \right]$$

$$17 \text{ 次谐波电流: } I_{17r} = 0.2 \times \left[-\frac{\sqrt{6}}{2 \times 17} \times (I_{d1} - 2I_{d2}) + \frac{3\sqrt{2}}{2 \times 17} \times I_{d1} \right]$$

$$19 \text{ 次谐波电流: } I_{19r} = 0.15 \times \left[\frac{\sqrt{6}}{2 \times 19} \times (I_{d1} - 2I_{d2}) + \frac{3\sqrt{2}}{2 \times 19} \times I_{d1} \right]$$

2.2.2 左右卷取机及开卷机整流变压器 TM4 谐波电流

由于整流变压器 TM4 的接法及工作方式和 TM3 相同, 故其谐波电流值同 TM3。

3 谐波危害

谐波电流在电网回路会引起阻抗压降, 因而会使电网电压也含有谐波成分, 从而造成电网电压畸变, 由此将会直接影响到与此并联的所有用电设备。根据上述对谐波电流的定量分析和计算, 就可以根据国家电力部门有关规定, 对超过国家标准的谐波进行有针对性地抑制或采取措施尽量减小谐波, 使其控制在规定范围以内。

参考文献:

[1] 黄俊, 王兆安. 电力电子变流技术 [M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 1999.
[2] 机械电子工业部天津电气传动设计研究所. 电气传动自动化技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

[编辑: 沈黎颖]

祝广大科技工作者新春快乐!