

谐波对感应式电能表影响的研究

刘晋平 王 越
(河南电力职工大学, 郑州, 450052)

摘 要 主要研究感应式电能表在正弦畸变波形下的性能。通过实测对工业典型谐波点某铝厂的谐波情况进行分析, 并从理论和实测结果两方面论述了该厂谐波对常用感应式电能表计量电能的影响。

关键词 感应式电能表; 畸变波形; 谐波

中图分类号 TM933.4

上世纪问世的感应式电能表, 由于结构简单、调节方便、成本低、使用寿命长和负载特性好等特点, 一直是工业部门和家庭不可缺少的电工仪表。然而, 由于感应式电能表在设计、制造时只保证在工频附近很窄的频带内, 且在纯净的正弦波形下具有最佳的工作性能。因此, 当电网电压和电流的正弦波产生畸变时, 就会影响电能表的准确度^[1, 2]。

近年来对这一课题所发表的文章主要分两个方面: (1) 通过实验, 评价感应式电能表在各种正弦畸变波形下的计数误差; (2) 理论上分析正弦畸变波形下感应式电能表的响应, 并与实验结果相比较。

感应式电能表在畸变波形下产生的计数误差不仅与电表的特性而且还与实际的谐波情况有关, 考虑到影响电能表准确度的实际因素很多, 对不同的厂家、甚至同一生产厂家的同一类型产品, 其实验数据也常有较大的出入。为了从本质上考察畸变波形下电能表误差的原因及其防治对策, 本文将研讨以下几方面的问题。

1 建立常用感应式电能表的数学模型

用于仿真在非正弦电压和电流作用下电表的性能。

1.1 电能表的频率特性^[1]

本模型主要考虑的因素有:

(1) 电压线圈的电阻 R_v 和电感 L_v ;

(2) 电压、电流磁路的饱和特性, 使有效磁通 Φ_j' 和主磁通 Φ_j 之间的关系为

$$\Phi_j' = a_{j1} \Phi_j + a_{j3} \Phi_j^3 + a_{j5} \Phi_j^5 \quad (j = v, i)$$

其中 a_{j1} 、 a_{j3} 、 a_{j5} 为磁路的饱和系数;

收稿日期: 1997-04-21

第一作者 女 1965年生 硕士学位 讲师

- (3)转盘的涡流电阻 R_d 和电感 L_d ;
 - (4)滞后线圈对电压有效磁通的调整作用。
- 则感应式电能表的频率误差公式为:

$$\text{误差}(\%) = \frac{S - S_0}{S_0} \times 100$$

其中,

$$S = \frac{\sum_{k=1,3,5} k \omega C_k \Phi''_{vk} \Phi''_{ik} \sin(\beta_{vk} - \beta_{ik})}{K_1' + \sum_{k=1,3,5} (1/2) C_k (K_2 \Phi''_{vk} + K_3 \Phi''_{ik})}$$

$$C_k = \frac{\sqrt{1 + (\omega L_d / R_d)^2}}{1 + (k \omega L_d / R_d)^2}$$

Φ''_{vk} 、 Φ''_{ik} —— 电压、电流的工作磁通(滞后线圈对有效磁通 Φ_j' 调整后的磁通);

$\beta_{vk} - \beta_{ik}$ —— 电压、电流工作磁通之间的夹角;

K_1' —— 永久磁铁制动力矩系数;

K_2 、 K_3 —— 电压、电流抑制力矩系数。

$$S_0 = \frac{\sum_{k=1,3,5} A_k G_{vk}(V) G_{ik}(I) \sin[k(\alpha_{v0} - \theta) + \delta_{k0}]}{K_1' + \sum_{k=1,3,5} \{B_k [G_{vk}(V)]^2 + D_k [G_{ik}(I)]^2\}}$$

$G_{vk}(V)$ 、 $G_{ik}(I)$ —— 额定角频率下电流、电压的有效磁通;

$\alpha_{v0} = \arctg(\omega_0 L_v / R_v)$;

θ —— 功率因数角;

δ_{k0} —— 电压有效磁通 Φ_j' 和工作磁通 Φ''_{vk} 之间的夹角;

B_k 、 D_k —— 电压、电流抑制力矩系数。

用该模型所作的感应式电能表的频率曲线如图 1 所示。

这些曲线表明,随着频率的增加,电能表的误差也增加,其主要原因是铝盘的等效阻抗角随频率的升高而增大所致。

1.2 感应式电能表在多重谐波下的误差

根据对工业典型谐波点某铝厂的谐波测试知道,该厂主要包括 3、5、7、11、13 次谐波。因此,该模型主要考虑这些次数的谐波;同时由于电能表的磁路具有饱和特性,所以该模型还考虑了 3、5、7、11、13 次谐波与基波之间的相互作用。其误差公式为:

$$\text{误差}(\%) = \frac{S'' - S_0''}{S_0''} \times 100$$

其中: S'' —— 基波迭加 3、5、7、11、13 次谐波时电表转盘的转速;

S_0'' —— 3、5、7、11、13 次谐波若在额定频率下和基波共同作用时转盘的转速。

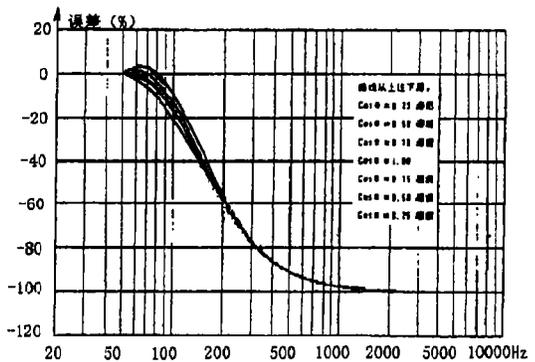


图 1 感应式电能表频率特性误差曲线

$$S'' = \frac{\sum_k k \omega C_k \Phi''_{vk} \Phi''_{ik} \sin(\beta_{vk} - \beta_{ik})}{K_1' + \sum_k (1/2) C_k (K_2 \Phi''_{vk} + K_3 \Phi''_{ik})} \quad (k = 1, 3, 5, \dots, 27, 29)$$

$$S_0'' = \frac{\sum_t \sum_{k=1,3,5} A_k G_{vk}(V) G_{ik}(I) \sin[k(\alpha_{v0} - \theta_{(t)}) + \delta_{k0}]}{K_1' + \sum_{k=1,3,5} \{B_k [G_{vk}(V)]^2 + D_k [G_{ik}(I)]^2\}} \quad (t = 1, 3, 5, 7, 11, 13)$$

$\theta_{(t)}$ ——基波和 3, 5, 7, 11, 13 次谐波功率因数角。

某铝厂的谐波测试点为如图 2 中的变压器低压侧(A 点)和单台整流机组前(B 点)。用所建模型求出的感应式电能表在谐波下的误差以及实际测量的电表误差如表 1、2 所示, 测量和计算的误差二者相差甚微, 可见所建的电表模型基本是正确的。

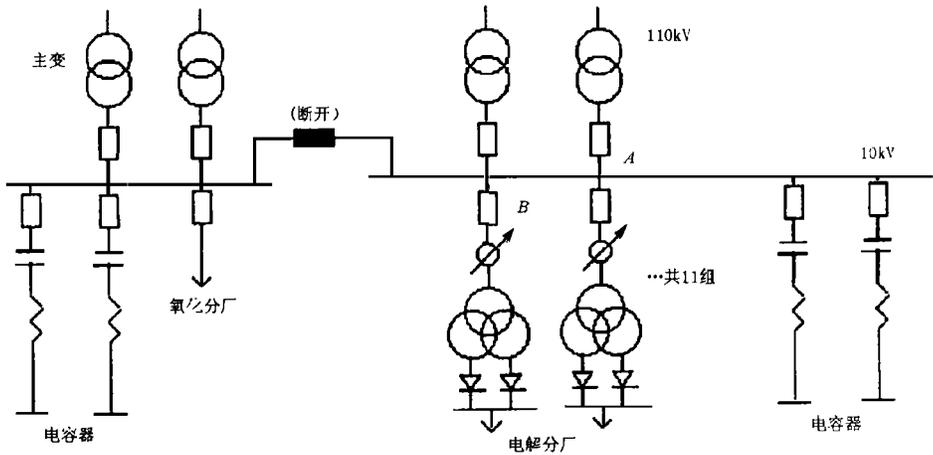


图 2 测试点位置示意图

表 1 变压器低压侧(A 点) 电能表在谐波下的误差

次数	模型计算 误差(%)	实际计算 误差(%)
1	-0.062	-0.07
2	-0.072	-0.07
3	-0.052	-0.05
4	-0.088	-0.09
5	-0.125	-0.12
6	-0.093	-0.10
平均值	-0.082	-0.083

表 2 单台整流机组前(B 点) 电能表在谐波下的误差

次数	模型计算 误差(%)	实际计算 误差(%)
1	0.24	0.26
2	0.20	0.23
3	0.22	0.25
4	0.30	0.28
5	0.23	0.24
6	0.19	0.21
平均值	0.25	0.24

2 工业典型谐波点某铝厂的谐波对感应式电能表的影响

2.1 某铝厂的谐波测试情况

(1)测试仪器:谐波分析仪、电子式电能表、脉冲计数器、感应式电能表。

(2)测量方法:每十分钟进行一次测量。所测量的数据有:现场电能表读数、电子式电能表10分钟内记录的电能、10分钟内感应式电能表记录的电能与电子式电能表记录电能之间的误差、谐波分析仪中测出的基波、各次谐波的电压和电流的大小、方向以及功率等。

(3)测试结果:

(a)变压器低压侧(A点)的谐波测试情况,如表3所示。

(b)单台整流机组前(B点)的谐波测试情况,如表4所示。

表3 变压器低压侧的谐波含量

谐波次数	$D_V(ab)\%$	$D_V(cb)\%$	$D_I(a)\%$	$D_I(c)\%$
3	0.616	1.231	0.913	1.436
5	1.127	1.211	1.181	1.541
7	0.681	0.674	0.954	0.928
11	1.671	1.518	1.735	1.486
13	1.023	1.282	0.749	0.931

表4 单台整流机组前的谐波含量

谐波次数	$D_V(ab)\%$	$D_V(cb)\%$	$D_I(a)\%$	$D_I(c)\%$
3	1.003	1.152	0.210	1.454
5	0.856	1.091	15.578	16.682
7	0.683	0.685	7.094	6.899
11	1.872	1.825	2.130	2.249
13	1.286	1.421	1.298	1.337

表5 变压器低压侧的谐波频率

谐波次数	3	5	7	11	13	总谐波
谐波功率(W)	0.032	0.025	0.005	-0.023	-0.011	0.028

2.2 某铝厂的谐波对电能计量的影响

由表5知,在感应式电能表所装地点即变压器低压侧(A点)的3、5、7次谐波功率为正,而11、13次谐波功率为负,总的谐波功率为正。见表1所示,感应式电能表在谐波下的相对误差约为-0.083%,即电表少记了能量,但这个值不大。#4号主变某天消耗的电量为567000kwh,则电表每天少记的电量为470.61kwh,这也不是一个很小的数值。因

此,该厂还应该尽量减小谐波,从而减小电表的误差。

3 结 论

3.1 某铝厂采用的整流方式为不完整的等值十二脉动,所产生的谐波主要为 3、5、7、11、13 次谐波。

3.2 在供电局计费电能表所装的位置即某台主变低压侧(A 点),各次谐波功率有正有负,在我们进行测试的这段时间内,3、5、7 次谐波功率为正,而 11、13 次谐波功率为负,但总的谐波功率为正(若谐波功率和基波功率方向相同时为正,而向相反时为负);实际测量和用数学模型计算的电能表在谐波下产生的误差为负,相对误差约为 -0.083% ,即电表少记了能量,但是相对误差不大。#4 号主变某天消耗的电量约为 567000kwh,则电表每天少记的电量约为 470.6kwh,从绝对值来看也不是一个很小的数值。因此该厂还应该采取措施尽量减小谐波,从而减小电表的误差。

参 考 文 献

- 1 Y·Baghzouz, Owen T·Tan, Harmonic Analysis of Induction Watthour Meter performance, IEEE Transaction on power Apparatus and System, vol.1, PAS-104, No. 2, February 1985, 399~406
- 2 吴竞昌,孙树勤等·电力系统谐波·水利电力出版社

Study on the Effect of Harmonics upon the Accuracy of Induction Watthour

Liu Jinping Wang Yue

(Henan Electric Power Staff and Work's University)

Abstract This paper discusses the effects of distorted waveforms upon the accuracy of induction watthour meters. A source of industry harmonic (a aluminium factory) was tested and analysed, and the effect of the harmonics upon the accuracy of induction watthour meter are studied theoretically and experimentally.

Keywords induction watthour; distorted waveforms; harmonic