

畸变波形作用下电能计量标准的探讨

陈根永
(郑州工业大学计自系)

郝玉东
(郑州牧业工程高等专科学校, 450008)

摘 要 分析了感应式电能表与电子式电能表的计量原理及差别,对“全能量”计量结果和基波能量计量结果的合理性作了比较,分析了两种标准的优缺点,提出了电压电流波形严重畸变情况下电能的三种不同计量方式,最后提出了作者对合理计量电能的想法。

关键词 感应式电能表;谐波;电能计量

中图分类号 TM93

目前电力系统用的最多的电能表仍是感应式电能表。感应式电能表结构简单,成本低,在很多场合都可以满足计量的精度要求。感应式电能表在基波作用下有最佳的工作状态,可以认为计量的就是实际功率;在谐波功率作用下,感应式电能表有下降的频率特性,频率越高,计量的误差就越大。如何考虑计量的误差,如何得到比较准确的计量结果,关键是要解决谐波作用下电能计量的标准问题。

1 电力系统谐波产生的原因

电力系统主要谐波源为电解铝厂、电气化铁路及电弧炉等,这些谐波源产生大量高次谐波注入电力系统,影响电能的质量并对电力系统和电力用户造成危害^[1]。

电气化铁路所产生的谐波对不同型式电力机车其含量不同,以韶山 I 型电力机车为例,其谐波含量见表 1。

表 1 韶山 I 型电力机车谐波含量计算值			
谐波次数 n	3	5	7
谐波含量 $(I_n/I_1)\%$	22	10	6

其特点是三次谐波含量大于 20%,五次谐波含量 10%,实测结果与计算结果基本一致。

电解铝厂采用多台整流变压器并联运行的方式。接线方式不同,接入机组台数的不同,都会影响其谐波含量^[2]。对 $\Delta/Y-Y$ 接线整流变压器

$$i = \sum A_n \sin(n\theta) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d [\sin\theta + \frac{1}{5} \sin 5\theta + \frac{1}{7} \sin 7\theta + \frac{1}{11} \sin 11\theta + \frac{1}{13} \sin 13\theta + \dots]$$

式中: n —— 谐滤次数;
 A_n —— n 次谐波电流幅值;
 I_d —— 整流变输出端直流电流。

对 $Y/Y-Y$ 接线整流变压器其一次电流可表示为

$$i = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d [\sin \theta - \frac{1}{5} \sin 5 \theta - \frac{1}{7} \sin 7 \theta + \frac{1}{11} \sin 11 \theta + \frac{1}{13} \sin 13 \theta + \dots]$$

当两种接线变压器台数相等时,5、7 次谐波相互抵消,输入系统的为 11 及 13 次谐波,若两种接线整流变压器台数不同,则仍有 5、7 次谐波。某电解铝厂一半整流机组采用 Y/Y—Y 接线,另一半机组采用 Δ/Y—Y 接线,其谐波测量结果如下表 2。

以上结果是在一定时间内测到的谐波电流最大含量,并不说明全部的谐波状态,但可以看出电解铝厂谐波的特点:

表 2 电解铝厂谐波电流实测结果(最大值)

谐波次数 n	3	5	7	11	13
$(I_n/I_1)\%$	4.44	2.05	1.285	2.114	1.771

(a)含有 3 次谐波且有较大的值,但 3 次谐波为电解铝厂整流变的非特征谐波,3 次谐波是由系统注入用户的。

(b)电解铝厂实际谐波含量很小,一般都小于谐波标准规定的限值。

由上述可见,电力机车相对来说是主要的谐波源,谐波将会严重影响电能质量,引起保护和自动控制系统的误动,并且造成电能计量表计的误差增大。

2 电能表的数学模型

感应式电能表有下降的频率特性,其近似模型为^[3]:

$$P = P_1 + \sum K_n P_n$$

(1)

式中 P_1 为基波功率, P_n 为谐波功率, K_n 为特性系数,由于感应式电能表有下降的频率特性,故有 $K_n < 1$ 。

时分割原理的电能表误差较小,其近似模型可表示为:

$$P^* = P_1 + \sum P_n$$

(2)

可认为其反应实际电能的精确值。我们把 P^* 称作全能量。

(a)若以全能量作为计量的标准,则感应式电能表的误差为

$$\text{误差}(\%) = \frac{P - P^*}{P^*} \times 100$$

(3)

谐波功率为正时,由式(1)、(2)可得:

$$\text{误差}(\%) = \frac{\sum K_n P_n - \sum P_n}{P^*} \times 100 < 0$$

即当谐波功率与基波功率同向时,谐波由系统注入用户,电能表有负误差,少计了全能量。

当谐波功率为负时:

$$\text{误差}(\%) = \frac{|\sum P_n| - |\sum K_n P_n|}{P^*} \times 100 > 0$$

即当谐波功率与基波功率相反时,电能表有正误差,即多计了全能量。

(b)当以基波电能作为电能计量标准时,感应式电能表的误差为:

$$\text{误差}(\%) = \frac{P - P_1}{P_1} \times 100$$

(4)

当谐波功率为正时,由式(1)、(2)得:

$$\text{误差}(\%) = \frac{P_1 + \sum K_n P_n - P_1}{P_1} \times 100 = \frac{\sum K_n P_n}{P_1} \times 100 > 0$$

即谐波功率与基波功率方向相同时,谐波功率由系统注入用户,用户电能表计量电能大于基波电能。

当谐波功率为负时,则:

$$\text{误差}(\%) = \frac{P_1 + \sum K_n P_n - P_1}{P_1} \times 100 = -\frac{|\sum K_n P_n|}{P_1} \times 100 < 0$$

即谐波功率与基波功率方向相反时,谐波功率由用户注入系统,用户计量到的电能比实际吸收的基波电能少。

可见在计量标准不同时,对感应式电能表计量误差的评价也不相同。

3 两种计量标准的比较

谐波在电力系统中,基本上属于功率消耗,用户产生的谐波注入系统将对电力设备造成很大危害,并使感应式电能表产生计量误差。如何考虑这一误差并使电能计量尽可能做到公正合理,首先应确定电能计量的标准。

当谐波功率为正时,根据以上分析,以全能量为基准时,感应式电能表少计了电能,电能表读数仅反映了谐波功率的一部分;以基波电能为基准时,感应式电能表则多计了电能,即系统注入用户的功率除有用的基波功率外,还有一部分无用的谐波功率。如果认为谐波功率是纯粹的功率损耗,并不产生有用的功效,显然这种计量结果是不合理的。

当谐波功率为负时,以全能量为标准,感应式电能表多计了电能,而以基波为标准时,感应式电能表则少计了电能,即用户吸收系统基波功率将其中一部分转化为谐波功率注入系统,对系统造成危害,而计费电能表所计的电能比实际吸收的基波电能少,显然这样的计量结果也是不合理的。

通常情况下,当谐波功率较小时,不论采用哪种标准得出的计量误差并不大,当谐波状况满足《电力系统谐波管理暂行规定》时,感应式电能表在谐波作用下产生的计量误差非常小,可不予考虑。当电网或用户谐波畸变很严重时,就必须考虑如何才能得到比较准确合理的测量结果。

4 计量标准的分析

针对电力系统不同用户出现或产生谐波的不同特点以及对电能计量的影响,目前谐波作用下的电能计量有三种思路:

- (1) 电能表应准确反应实际功率,即基波、谐波的综合功率;
- (2) 电能表仅反应基波功率,不计谐波功率;
- (3) 电表应分别计量基波功率和谐波功率。

目前广泛采用的各种电能表中,时分割原理的电子式电能表具有较好的频率特性,具有较高的精度。电子式电能表反应的是全能量。而对感应式电能表如果仅记录基波电能,则

需加装滤波器,使进入电能表的只能是基波电压和基波电流。前者成本较高,后者需在系统中增加辅助设备,也需很大的开支。显然对一些大型电力用户,谐波较严重的用户采用复杂的计量设备才是有意义的,以便分清用户和系统所要承担的责任。

计量方式⁽³⁾分别计量基波电能和谐波电能,在谐波较严重的情况下是很有必要的。既考核用户基波电能,又考核用户是吸收谐波电能还是送出谐波电能。这有助于系统的电能计量管理和谐波管理,为制定相应收费政策提供依据。

5 结论

当波形畸变不严重时,以基波电能为标准或以全能量为标准,电能表的计量误差都很小,对系统来说是允许的。当波形畸变很严重且用电量很大时,计量误差给电力部门或电力用户带来的经济损失是不容忽视的,如前分析,基波标准和全能量标准都是不全面的,在保证经济性的前提下可考虑分别计量基波电能和谐波电能,在综合两种电能的基础上得到供电部门和用电部门均能满意的计量结果。

对大用户大都采用了电子式电能表,由于其功能完善,可在原基础上加以改造,以实现基波电能和谐波电能同时计量。

谐波基波分别计量的收费政策和考核办法还未形成,管理部门应予以重视。

根据谐波电能计量结果的正负,可以明确谐波功率的流向,有助于分清责任,采取措施降低谐波影响。

参考文献

- 1 张直平. 电力系统中谐波的某些主要影响. 电网技术, 1989(1): 8~14
- 2 郭嘉琳等. 某大型铝厂 10kV 电网谐波及其对电能计量影响的研究. 郑州工学院学报. 1994. (3): 8~18
- 3 杨明耻等. 谐波对电能表计量的影响. 电力系统谐波会议论文集, 成都: 1990

Research for Measuring standard of Energy on Distorted Waveform

Chen Genyong

Hao Yudong

(Zhengzhou University of Technology) (Zhengzhou College of Animal Husbandry)

Abstract In this paper, the differences of measurement principle between induction watt-hour meter and electronic watt-hour meter are analyzed, reasonability of measurement result based on fundamental and that based on superposition of harmonics on the fundamental are compared, advantages and disadvantages between the two measuring standards are discussed. When voltage and current waveforms distort seriously, three kinds of measurement methods are suggested, author's views on the reasonable energy measurement method is proposed.

Keywords induction watt-hour meter; harmonic; measurement of energy