

谐波功率测量仪原理*

曹玉泉¹, 王 琼¹, 王 刚², 孙 波³

(1 大庆石油学院, 黑龙江 大庆 163318; 2 大庆石化公司炼油厂, 黑龙江 大庆 163711;

3 大庆萨中油气处理厂, 黑龙江 大庆 163453)

[摘 要] 晶闸管工作时产生的高次谐波电流将引起电路中电流波形发生畸变, 并产生畸变功率, 目前尚无专门仪表测试畸变功率。文章以功率四边形方法为基础, 给出了谐波功率测量仪的设计原理。

[关键词] 晶闸管; 非正弦电路; 畸变功率; 功率四边形

[中图分类号] TM 921. 51

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)05-0110-03

晶闸管等非线性电力电子器件工作时, 将向电网注入高次谐波, 这会使电网电压和电流的正弦性受到破坏。高次谐波电流将产生畸变功率, 畸变功率会降低电网的功率因数, 增加电网的有功功率和无功功率的负担。畸变功率的大小, 反映了电网中含有高次谐波的程度。因此, 有必要对畸变功率进行测量。本研究提出的功率四边形方法, 给出了谐波功率测量的原理。

1 畸变功率的产生

众所周知, 采用相位控制的晶闸管变流器, 其电流输入侧一般都具有足够大的平波电抗器, 因此其输入电流 i 近似为正、负交替的理想方波^[1]。由于电网的非零阻抗较小, 因此非正弦电流引起的电压波形畸变较小, 可以认为电压 u 仍为正弦交流电压^[2], 即:

$$u = \sqrt{2} U \sin \omega t$$

式中, u 为电压瞬时值(V); U 为电压有效值(V); ω 为角频率(rad/s)。

当控制角为 α 时, 单相可控整流器的输入电压和电流的波形如图 1 所示。电流 i 满足狄里赫利条件^[3], 因此可把电流 i 分解成傅氏级数的形式^[4], 即

$$\begin{aligned} i &= \frac{4I_d}{\pi} \left[\sin(\omega t - \alpha) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right] \\ &= \frac{4I_d}{\pi} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{4I_d}{\pi} \frac{1}{n} \sin n\omega t \\ &\quad (n = 3, 5, 7, \dots) \end{aligned} \quad (1)$$

式中, I_d 为电流 i 的平均值。 I_n 为角频率 $n\omega$ 电流的有效值, $I_n = \frac{2\sqrt{2} I_d}{n\pi}$; 基波电流 $i_1 = \frac{4I_d}{\pi} \sin(\omega t - \alpha)$, i_1 的波形见图 1。

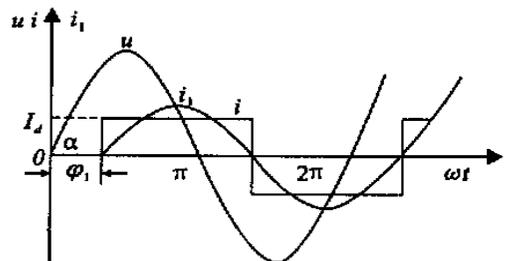


图 1 电压电流的波形图

Fig 1 Waveform of voltage and electric current
方波电流 i 的有效值为:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots} = \sqrt{I_1^2 + I_n^2} \quad (2)$$

式中, I_1 为基波电流 i_1 的有效值, 余类推。基波电流 i_1 与电压 u 之间的相位差角为位移因数角 φ , 当忽略换相重叠角时, 位移因数角 φ 等于晶闸管的控制角 α ^[1], 即 $\varphi = \alpha$

由三角函数的正交性可知, 图 1 所示的方波电流 i 中, 只有基波电流 i_1 能与外加电压 u 形成有功功率 P 和无功功率 Q ^[5], 其值分别为:

$$P = U I_1 \cos \varphi, Q = U I_1 \sin \varphi \quad (3)$$

基波视在功率 S_1 为:

$$S_1 = U I_1 \quad (4)$$

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

* [收稿日期] 2003-03-28

[基金项目] 中国石油天然气集团公司教材研究课题(1999.09.20)

[作者简介] 曹玉泉(1945-), 男, 黑龙江泰来人, 教授, 主要从事电机拖动和电力电子技术研究。

晶闸管变流器输入侧的视在功率 S 为:

$$S = UI = U \sqrt{I_1^2 + I_n^2}, n = 3, 5, 7$$

由于 $I > I_1$, 显然 $S > S_1$ 。且可知

$$S^2 = (UI)^2 = U^2 \cdot (I_1^2 + I_n^2) =$$

$$(UI_1)^2 (\cos^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_1) + (U \cdot I_n)^2 =$$

$$(UI_1 \cos \varphi_1)^2 + (UI_1 \sin \varphi_1)^2 + (U \cdot I_n)^2 =$$

$$P^2 + Q^2 + N^2 \tag{6}$$

式中, N 即为高次谐波电流产生的畸变功率^[6], $N = U \cdot I_n$, 单位为安伏(A·V)。式(6)同样适用于其他形式含有高次谐波电流的电路。

2 功率四边形

考虑 P 与 Q 相垂直的位置关系, 以式(6)为基础, 用几何作图法, 可得由 S, P, Q 和 N 构成的功率四边形(图 2)。由图 2 可知: N 在与 S_1 相垂直的位置上; S, S_1 和 N 构成直角三角形。 $S > S_1$ 。非正弦交流电路中, 由于谐波会产生畸变功率 N , 因此 S, P, Q 间已不再符合直角三角形的关系。

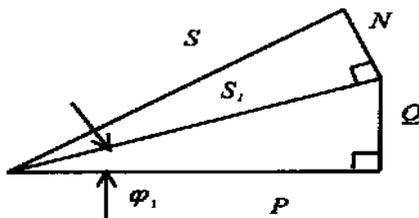


图 2 功率四边形

Fig. 2 Power quadrangle

3 计算实例

以大庆油田采油二厂一台晶闸管变流器在 1996-11-26 实测的有关技术数据为例进行计算, 并用以验证文中的结论。测试仪器选用德国产 HEM E1000P, 可以测量电压, 电流, 功率 P, Q, S 以

及频率 f 等物理量。有关数据 $U_x = 254.5 \text{ V}, I_x = 26.8 \text{ A}, P = 8.59 \text{ kW}, S = 11.84 \text{ kV} \cdot \text{A}, Q = 8.14 \text{ kvar}, f = 37.5 \text{ Hz}$ 。

3.1 求基波视在功率 S_1

由式(5)知, $S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} = 11.8342 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 。

显然, $S > S_1$ 。

3.2 求畸变功率 N

由式(6)知, $N = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 0.3713 \text{ kA} \cdot \text{V}$ 。

4 谐波功率测量仪的原理

利用功率四边形理论, 在已知 S, P, Q 的情况下, 以式(6)为依据, 可计算出畸变功率 N 为:

$$N = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \tag{7}$$

以式(7)为基础, 可得畸变功率 N 的测量原理框图(图 3)。图 3 提供了制造谐波功率测量仪的原理(电路原理图略去)。

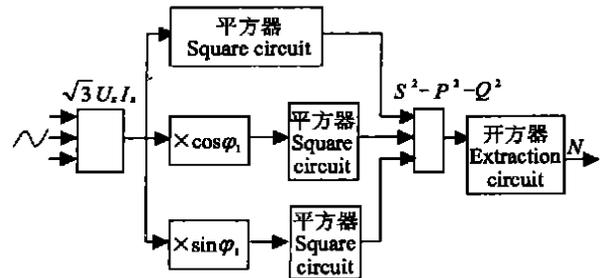


图 3 谐波功率测量仪原理框图

Fig. 3 Principle of harmonic power meter

5 结论

(1) 非正弦交流电路中, 由于谐波电流的存在, 将产生畸变功率 N 。 S, P, Q 之间已不满足直角三角形的关系, S, P, Q 和 N 构成功率四边形。

(2) 依据 $N = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$ 可以实现畸变功率 N 的测量和计算。

(3) 根据图 3 提供的测量原理可研制出一种新型的测量仪表——谐波功率测量仪。

[参考文献]

[1] 莫正康 半导体变流技术[M] 北京: 机械工业出版社, 1997.

[2] 何益宏, 卓放 利用瞬时无功功率理论检测谐波电流方法的改进[J]. 电工技术学报, 2003, (1): 87- 90

[3] 秦曾煌 电工学(电工技术)[M] 北京: 高等教育出版社, 1999

[4] 王兆安, 黄俊 电力电子技术[M] 北京: 机械工业出版社, 2000

[5] 李明亮, 王俊才, 董明杰 功率因数校正的数学模型[J]. 电源世界, 2002, (7): 36- 39

[6] π [] : , 1992

Principle of the hamonic power meter

CAO Yu-quan¹, WANG Qiong¹, WANG Gang², SUN Bo³

(1 Daqing Petroleum Institute, Daqing, Heilongjiang 163318, China;

2 Oil Refinery of Daqing Petroleum Company, Daqing, Heilongjiang 163711, China;

3 Daqing Natural Gas Company, Daqing, Heilongjiang 163453, China)

Abstract: The high frequency hamonic electric current which is produced by the thyristor will lead to electric current wave form distortion. There is not any meters to measure the distortion power. This paper gives the principle of a kind of distortion power meter on the basis of the analysis of the power quadrangle.

Key words: thyristor; nonsinusoidal current; distortion power; power quadrangle

“优质、多抗、丰产秦白系列大白菜品种的选育及推广” 获国家科学技术进步二等奖

由西北农林科技大学园艺学院柯桂兰研究员主持完成的“优质、多抗、丰产秦白系列大白菜品种的选育及推广”项目,于2004年1月获得了国家科学技术进步二等奖。该研究始于1983年,历时20年之久,前后由5个国家和省(部)级项目资助。

该研究针对大白菜生产上存在的病毒病、霜霉病、软腐病和黑斑病等病害日益严重,产量低、品质劣、品种退化,杂交率低,杂种优势难以充分发挥和制种成本高等问题,从资源创新及病(毒)原菌的鉴定和种群组成分析入手,创造性地建立了病毒病(TuMV)、霜霉病、黑斑病苗期人工接种抗病性鉴定技术,并及时应用于亲本及杂交组合抗病性的早期鉴定与筛选,加强了对大白菜商品品质和风味品质的选择力度,育成了稳定的优良自交系及不亲和系25份,雄性不育系8份,双抗材料37份,三抗材料19份,病毒病抗源4份,耐热材料2份,抗抽薹材料5份;育成具有优质、多抗、丰产,不同熟性配套,类型齐全的一代杂种秦白一、二、三、四、五、六号系列大白菜品种。

秦白一号:高桩叠抱型,中晚熟种,生育期90~95 d。单球重4.0~4.5 kg,净菜率78.4%,青帮,产量120 t/hm²。突出特点是优质,高抗病毒病,抗霜霉病。

秦白二号:矮桩叠抱型,中早熟,生育期65~70 d。突出特点为结球紧实,品质优良,适应性广,抗病毒病,霜霉病,耐黑斑病,软叶率高。

秦白三号:舒心直筒型,晚熟,生育期90~95 d。突出表现为高抗病毒病,抗霜霉病,黑斑病和软腐病,耐贮藏,适口性好,丰产、稳产。

秦白四号:高桩叠抱型,中晚熟,生育期90 d左右。突出特点为高抗病毒病,兼抗黑斑病和霜霉病,丰产、稳产。

秦白五号:矮桩大叠抱型,一叶盖顶,球顶平,中熟,生育期80 d左右。突出表现为结球紧实,球色淡,商品性佳,品质优,适应性广。

秦白六号:矮桩叠抱型,早熟,生育期60~65 d。突出表现为株型小,成球快,球叶白嫩,净菜率高,抗病性强,适应性广。

秦白一、二、三、四、五、六号系列大白菜品种以其优良的农艺性状和高抗多种病害的性能,得以在全国20多个省(区)大面积推广,截止2002年,已累计推广100多万hm²,新增经济效益合人民币37亿多元。

(窦春蕊 供稿)