

文章编号:1005-0523(2000)01-0060-03

含有谐波成分的单相交流电功率的分析与研究

刘福之 任才贵

(华东交通大学基础课部, 江西 南昌 330013)

摘要: 结合旋转矢量法分析了单相交流电路中的瞬时功率, 论述了瞬时有功功率和瞬时无功功率, 在此基础上探讨了谐波电流和瞬时无功功率的补偿^[1]。

关键词: 交流电路; 瞬时功率; 功率补偿

中图分类号: TM 131.4 **文献标识码:** A

0 引言

随着电力电子技术的发展, 用电设备的增加, 谐波污染及谐波对用电设备危害越来越受到人们的重视^[1]对谐波或无功功率进行动态检测和补偿, 可以提高电网的供电质量, 成为人们所关注的课题^[1]但必须研究电路中的瞬时功率^[1]笔者借助旋转矢量法, 研究了单相交流电路中的瞬时功率, 为研究和探讨谐波电流及瞬时无功功率的补偿提供了一个基础^[1]

1 用旋转矢量法研究谐波电流的瞬时功率

设第 k 次谐波电压和第 n 次谐波电流为

$$u_k = U_{mk} \sin(k\omega t + \Phi_k); \tag{1}$$

$$i_n = I_{mn} \sin(n\omega t + \Phi_n) \tag{2}$$

式中: Φ_k 表示第 k 次谐波电压的初相; Φ_n 表示第 n 次谐波电流的初相^[1]

选取 ox 轴为参考矢量, 作出 u_k 和 i_n 的旋转矢量如图 1 所示^[1]电压矢量 U_{mk} 和电流矢量 I_{mn} 分别以角速度 $k\omega$ 和 $n\omega$ 旋转^[1]电流 I_{mn} 可以分解成和 U_{mk} 同位相的分量及和 U_{mk} 相位相差 $\pi/2$ (垂直) 的分量分别为

$$\begin{cases} I_{mp} = I_{mn} \cos(\Phi_n - \Phi_k); \\ I_{mq} = I_{mn} \sin(\Phi_n - \Phi_k) \end{cases} \tag{3}$$

$$\tag{4}$$

写成瞬时值为

$$i_{np} = I_{mn} \cos(\Phi_n - \Phi_k) \sin(n\omega t + \Phi_k) \tag{5}$$

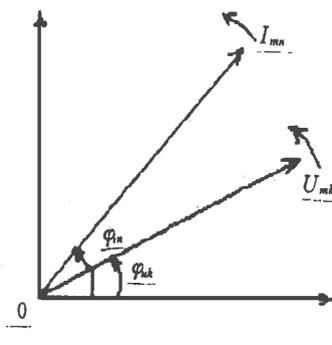


图 1 旋转矢量图

收稿日期:1999-06-18; 修订日期:1999-10-27

作者简介:刘福之(1943-), 男, 江西丰城人, 副教授^[1]

$$I_{nq} = I_{mn} \sin(\Phi_n - \Phi_k) \cos(n\omega t + \Phi_k) \quad (6)$$

式(5)式(6)和得式(2)

$$i_n = i_{np} + i_{nq} = I_{mn} \sin(n\omega t + \Phi_n) \quad (7)$$

第 n 次谐波电流的 2 个分量和第 k 次谐波电压产生的瞬时功率为

$$\begin{cases} p_{nk} = U_{mk} I_{mn} \cos(\Phi_n - \Phi_k) \sin(n\omega t + \Phi_k) \sin(k\omega t + \Phi_k) & (8) \\ q_{nk} = U_{mk} I_{mn} \sin(\Phi_n - \Phi_k) \cos(n\omega t + \Phi_k) \sin(k\omega t + \Phi_k) & (9) \end{cases}$$

$$(8) \text{ 式和 } (9) \text{ 式相加}$$

$$p_{nk}(t) = p_{nk} + q_{nk} = U_{mk} I_{mn} \sin(k\omega t + \Phi_k) \sin(n\omega t + \Phi_n) \quad (10)$$

$p_{nk}(t)$ 即第 k 次谐波电压和第 n 次谐波电流产生的瞬时功率(10)式(8)和式(9)在一个周期内的平均值:

$$\begin{cases} P_{nk} = \overline{p_{nk}} = U_k I_n \cos(\Phi_n - \Phi_k), & n = k; \\ P_{nk} = \overline{p_{nk}} = 0, & n \neq k; \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} Q_{nk} = \overline{q_{nk}} = 0, & n = k \\ Q_{nk} = \overline{q_{nk}} = 0, & n \neq k \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} Q_{nk} = \overline{q_{nk}} = 0, & n = k \\ Q_{nk} = \overline{q_{nk}} = 0, & n \neq k \end{cases} \quad (13)$$

式中: I_n 为第 n 次谐波电流的有效值; U_k 为第 k 次谐波电压的有效值(13)

当 $n = k$ 时, (8) 式表示瞬时有功功率, (9) 式表示瞬时无功功率, 当 $n \neq k$ 时, 均为瞬时无功功率(13)

2 单相交流电路中的瞬时功率

设电路中的电压和电流分别为

$$u = \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(k\omega t + \Phi_k); i = \sum_{n=1}^{\infty} i_{mn} \sin(n\omega t + \Phi_n) \quad (13)$$

瞬时功率

$$p(t) = ui = i_1 u_1 + i_1 u_2 + \dots + i_2 u_1 + i_2 u_2 + \dots = \sum_{n=k}^{\infty} u_k i_n + \sum_{n \neq k}^{\infty} u_k i_n = p_{n=k}(t) + p_{n \neq k}(t) \quad (15)$$

式中: $p_{n=k}(t)$ 表示同次谐波电压和谐波电流产生的瞬时功率, 由前边分析, $p_{n=k}(t)$ 可以写成有功分量和无功分量

$$p_{n=k}(t) = \sum_{n=k}^{\infty} u_k i_n = \sum_{n=k}^{\infty} (i_{np} + i_{nq}) u_k = \sum_{n=k}^{\infty} p_{nk} + \sum_{n=k}^{\infty} q_{nk}$$

式中: $\sum_{n=k}^{\infty} p_{nk}$ 和 $\sum_{n=k}^{\infty} q_{nk}$ 由(8)式和(9)式给出, 而 $p_{n \neq k}(t)$ 在一个周期内的平均值, 由(11)式和(13)式可得

$$\overline{p_{n \neq k}(t)} = \overline{\sum_{n=k}^{\infty} p_{nk}} + \overline{\sum_{n=k}^{\infty} q_{nk}} = \sum_{n=k}^{\infty} U_k I_n \cos(\Phi_n - \Phi_k)$$

(15) 式中的 $p_{n \neq k}(t)$ 项表示不同次谐波电压和谐波电流产生的瞬时功率, 可写成

$$p_{n \neq k}(t) = \sum_{n \neq k}^{\infty} u_k i_n = \sum_{n \neq k}^{\infty} (i_{np} + i_{nq}) u_k = \sum_{n \neq k}^{\infty} p_{nk} + \sum_{n \neq k}^{\infty} q_{nk}$$

一个周期内的平均值, 由(12)式和(13)式可得 $\overline{p_{n \neq k}(t)} = 0$

由以上分析, (15) 式可得 $p(t) = \sum_{n=k}^{\infty} p_{nk} + \sum_{n=k}^{\infty} q_{nk} + p_{n \neq k}(t)$

电路中的瞬时功率由 3 部分组成, 同频率的谐波电压、电流构成的瞬时有功功率; 同频率的谐波电压和电流构成的瞬时无功功率; 不同频率的谐波电压和电流构成的瞬时无功功率^[3]

3 谐波电流和瞬时无功功率的补偿问题

由于同次谐波电压和电流才能构成有功功率, 把基波电流按基波电压分解为瞬时有功分量和无功分量, 电路中的电流

$$i = i_{lp} + i_{lq} + \sum_{n \neq 1}^{\infty} i_n$$

检测并补偿电流 $i_q = i_{lq} + \sum_{n \neq 1}^{\infty} i_n$, 由(5) 式可得电路中电流

$$i = i_{lp} = I_{m1} \cos(\Phi_l - \Phi_u) \sin(\omega t + \Phi_l)$$

电路中电流为无畸变的基波电流, 电路中的瞬时功率

$$p(t) = i_{lp} u_1 + \sum_{n=2}^{\infty} i_{lp} u_n$$

由(12) 式可知 $\sum_{n=2}^{\infty} i_{lp} u_n = 0$, 可见瞬时功率中除有功分量外还含有部分无功分量, 文献[2]给出了这种补偿的具体方法^[3]

[参 考 文 献]

- [1] 西安交通大学电工基础教研室编¹⁹. 电工基础[M]¹⁹. 西安: 西安交通大学, 1964, 119.
- [2] 刘润华, 杜 丽¹⁹. 一种谐波及无功电流的快速检测方法[J]¹⁹. 电工技术杂志, 1998, 2, 12~15 19.
- [3] 张代润¹⁹. 非正弦电路中的非有功功率[J]¹⁹. 西南交通大学学报, 1996, 31(3) : 332~337 19.
- [4] 刘进军, 王兆安. 基于旋转空间矢量分析瞬时无功功率理论及其应用[J]¹⁹. 电工技术学报, 1999, 14(1) : 49 19.
- [5] 程守洙, 江之永¹⁹. 普通物理学[M]¹⁹. 上海: 人民教育出版社, 1979, 5~7 19.

Analysis and Research on Electric Power Containing Harmonic Single-Phase AC circuit

LIU Fu-zhi, REN Cai-gui

(Basic Courses Department, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This article, in terms of rotary vector, analyses an instantaneous power of Single-Phase AC circuit, expounds instantaneous active power and instantaneous reactive power, and then discusses remedial measure of harmonic currents and instantaneous reactive power.

Key words: AC circuit; instantaneous power; remedial power