

单相交流电路中瞬时功率的分析与研究

刘福之

(华东交通大学 基础科学学院 江西 南昌 330013)

摘要:研究分析了单相交流电路中的瞬时功率,分析了瞬时功率和传统功率的关系,说明了各种功率的物理意义.对谐波成分的检测和补偿具有一定的指导意义.

关键词:交流电路;瞬时功率;谐波补偿;

中图分类号:TM131.4

文献标识码:A

1 引言

随着电力电子技术的发展,电网中的谐波污染问题也越来越严重,电力系统综合有源滤波器是目前较新的消除电网谐波和进行无功补偿的方法.有源滤波要求准确地检测出电网中的谐波和瞬时无功功率.为此,要明确瞬时功率的物理意义和定义.对瞬时功率的研究已有许多论文^[1-3],本文分析研究了单相交流电路中的瞬时功率,说明传统功率理论中的各种功率和瞬时功率间的关系.

2 单相交流电路中的瞬时功率

设 $u=0$ 时刻 $t=0$, 则电路中的电压和电流可表示为:

$$u = U_m \sin \omega t \quad (1)$$

$$i = I_m \sin(\omega t - \phi)$$

电流可又表示为:

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin(\omega t - \phi) \\ &= I_m \cos \phi \sin \omega t - I_m \sin \phi \cos \omega t \\ &= i_p + i_q \end{aligned} \quad (2)$$

式中

$$i_p = I_m \cos \phi \sin \omega t \quad (3)$$

$$i_q = -I_m \sin \phi \cos \omega t \quad (4)$$

(2)式乘电压得电路中的瞬时功率

$$\begin{aligned} P(t) &= U_m I_m \cos \phi \sin^2 \omega t - \frac{1}{2} U_m I_m \sin \phi \sin 2\omega t \\ &= p(t) + q(t) \end{aligned} \quad (5)$$

式中

$$p(t) = U_m I_m \cos \phi \sin^2 \omega t \quad (6)$$

$$q(t) = -\frac{1}{2} U_m I_m \sin \phi \sin 2\omega t \quad (7)$$

(6)式看出 $p(t)$ 总是正值,表示从电网吸取能量称为有功功率.(7)式中 $q(t)$ 随着时间正负变化,表示从电网吸取能量和返回能量称为无功功率.传统的有功功率定义为(6)式的平均值,无功功率定义为(7)的最大值.即

$$P = \frac{1}{2} U_m I_m \cos \phi$$

$$Q = \frac{1}{2} U_m I_m \sin \phi$$

电力系统中许多动态过程时间很短,随着电力系统供电质量要求的提高,对电力系统的瞬态控制要求在几个周期甚至一个周期内完成,运用平均值的功率定义已经不能适应要求.

电网中电压或电流发生变化,变化量总可以用一个正弦量表示

收稿日期:2002-12-30

作者简介:刘福之(1943-),男,江西丰城人.华东交通大学教授.

$$\begin{aligned} \Delta u &= \Delta U_m \sin(\omega t + \theta_u) \\ \Delta u &= \Delta I_m \sin(\omega t + \theta_i) \end{aligned} \quad (8)$$

变化后电网中的电压和电流是(8)式和(1)式的合成,由合成原理^[5]可得

$$\begin{aligned} u &= U'_m \sin(\omega t + \Psi_u) \\ i &= I'_m \sin(\omega t + \Psi_i + \phi) \end{aligned} \quad (9)$$

式中

U'_m 新电压幅值

I'_m 新电流幅值

Ψ_u 新电压初相

$\Psi_i + \phi$ 新电流初相 Ψ_i 初相变化量

变化后电路中的瞬时功率

$$\begin{aligned} P(t) &= ui = U'_m I'_m \sin(\omega t + \Psi_u) \sin(\omega t + \Psi_i + \phi) \\ &= U'_m I'_m \sin[\Psi_u - (\Psi_i + \phi)] \sin 2(\omega t + \Psi_u) \\ &\quad - \frac{1}{2} U'_m I'_m \cos[\Psi_u - (\Psi_i + \phi)] \sin 2(\omega t + \Psi_u) \\ &= p(t) + q(t) \end{aligned} \quad (10)$$

可以看出(10)式和(5)式形式相同.若 $\Psi_i = \Psi_u = 0$,则(10)式即为(5)式.以上说明(6)式和(7)式就是瞬时有功功率和瞬时无功功率,而(5)式是电路中的瞬时功率.

(6)式又可写为

$$p(t) = \frac{1}{2} U_m I_m \cos \phi - \frac{1}{2} U_m I_m \cos \phi \cos 2\omega t \quad (11)$$

式中

$$\frac{1}{2} U_m I_m \cos \phi \quad \text{直流功率}$$

$$\frac{1}{2} U_m I_m \cos \phi \cos 2\omega t \quad \text{瞬时交流特征功率}$$

(11)式说明瞬时有功功率包含直流功率和瞬时交流特征功率.瞬时交流特征功率的存在说明直流传输功率和交流传输功率的不同.瞬时交流特征功率是有功功率的一部分,是不可补偿的.从(11)式还可看出 $p(t)$ 总是大于零.

3 含有谐波成分的交流电路

电网中的电压和电流一般含有谐波成分,设电压和电流分别为

$$u = \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(k\omega t + \psi_k) \quad (12)$$

$$i = \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (13)$$

电路中的瞬时功率

$$p(t) = ui = u_1 i_1 + u_1 i_2 + \dots + u_2 i_1 + u_2 i_2 + \dots$$

$$= \sum_{k=n}^{\infty} u_k i_n + \sum_{k \neq n}^{\infty} u_k i_n \quad (14)$$

注意到(11)式、上式中的第一项为

$$\sum_{k=n}^{\infty} u_k i_n = \sum_{k=n}^{\infty} [p_i + p_{\dot{u}}(t) + q_{\dot{u}}(t)] \quad (15)$$

式中

p_i 直流功率

$p_{\dot{u}}(t)$ 瞬时交流特征功率

$q_{\dot{u}}(t)$ 瞬时交流无功功率

把(13)式中的电流对第 k 次谐波电压分解成为有功和无功分量,

$$i_n = I_{mn} \cos(\phi_n - \psi_k) \sin(n\omega t + \psi_k) + I_{mn} \sin(\phi_n - \psi_k) \cos(n\omega t + \psi_k) \quad (16)$$

则(14)式中第二项为

$$\begin{aligned} \sum_{k \neq n}^{\infty} [I_{mn} U_{mk} \cos(\phi_n - \psi_k) \sin(k\omega t + \psi_k) \sin(n\omega t + \psi_k) + U_{mk} I_{mn} \sin(\phi_n - \psi_k) \cos(n\omega t + \psi_k) \sin(k\omega t + \psi_k)] \\ = \sum_{k \neq n}^{\infty} [p_{\dot{u}}(t) + q_{\dot{u}}(t)] \end{aligned} \quad (17)$$

式中

$p_{\dot{u}}(t)$ 准瞬时交流特征功率

$q_{\dot{u}}(t)$ 准瞬时交流无功功率

准瞬时功率是不同频率的谐波电压与谐波电流之间产生的功率.

在非线形电路中,如果补偿各谐波电流中的无功电流(对同次谐波电压),即补偿(15)式中的瞬时交流无功功率 $q_{\dot{u}}(t)$,则电路中仍存在各谐波有功电流与其它频率的谐波电压产生的准瞬时交流特征功率,即(17)式中的第一项 $\sum_{k \neq n}^{\infty} p_{\dot{u}}(t)$,在非线形电路中准瞬时交流特征功率是无法补偿的.

至此,(14)式可写成

$$p(t) = \sum_{k=n}^{\infty} [p_i + p_{\dot{u}}(t) + q_{\dot{u}}(t)] + \sum_{k \neq n}^{\infty} [p_{\dot{u}}(t) + q_{\dot{u}}(t)] \quad (18)$$

若补偿基波的无功电流和各高次谐波电流、电路中的瞬时功率(17)式为

$$p(t) = \sum_{k=n}^{\infty} [p_i + p_{\dot{u}}(t)] + \sum_{k \neq n}^{\infty} p_{\dot{u}}(t) \quad (19)$$

式中的第一项是基波的瞬时有功功率,第二项是基波有功电流和各高次谐波电压形成的准瞬时交流特征功率.所以,在补偿谐波电流的同时要同时补偿谐波电压,才能使电路得到完全补偿.

参考文献:

- [1] 刘进军,王兆安.基于旋转空间矢量分析瞬时无功功率及其应用[J].电工技术学报,1999.14(1):49.

- [2] 李 民,王兆安,卓 放. 基于瞬时无功功率理论的高次谐波和无功功率检测[J]. 电子技术,1992(2):14-17.
- [3] 刘进军,王兆安. 瞬时无功功率与传统功率理论的统一数学描述及物理意义[J]. 电工技术学报,1998.13(6):6~12.
- [4] 西安交通大学电工基础教研室编. 电工基础[M]. 西安:西安交通大学,1964,1.
- [5] 程守洙,江之永. 普通物理学[M]. 上海:人民教育出版社,1979,11. 第三册,25~27.

Analysis on Instantaneous Power of Single-phase AC Circuit

LIU Fu-zhi

(School of Natural Science , East China Jiaotong University , Nanchang 330013 China)

Abstract: The paper tries to show the instantaneous power of single-phase AC circuits, after the analysis of the relations between the instantaneous powers and conventional powers, the same time, it tells out the physical significance of all kinds of powers to help direct the testing and compensating the harmonious ingredients.

Key word: AC Circuit; instantaneous power; harmonious compensation

(上接第 98 页)

中图分类号知识

中图分类号 2

T 工业技术

类目简表

TB—一般工业技术

TD—矿业工程

TE—石油、天然气工业

TF—冶金工业

TG—金属学与金属工艺

TH—机械、仪表工业

TJ—武器工业

TK—能源与动力工程

TL—原子能技术

TM—电工技术

TN—无线电电子学、电信技术

TP—自动化技术、计算机技术

TQ—化学工业

TS—轻工业、手工业

TU—建筑科学

TV—水利工程

中图分类号 3

F 经济

类目简表

0—经济学

1—世界各国经济概况、
经济史、经济地理

2—经济计划与管理

3—农业经济

4—工业经济

49—信息产业经济(总论)

5—交通运输经济

59—旅游经济

6—邮电经济

7—贸易经济

8—财政、金融

中图分类号 4

O 数理科学和化学

类目简表

1 数学

2 力学

3 物理学

4 化学

5 晶体学