

基于 MATLAB 的单相全控整流电路功率因数测定

崔士杰,汪建华

(武汉工程大学等离子体化学与新材料重点实验室,湖北 武汉 430074)

摘要:介绍了单相全控整流电路移相控制方法的实现,并详细地讲解了功率因数的测量原理,同时给出了利用 MATLAB 的 Simulink 工具实现单相全控整流电路的功率因数测定的具体方法和仿真模型,最后给出了在不同移相控制角下所得到的功率因数测量结果。

关键词:单相整流;功率因数;MATLAB;测量方法

中图分类号:TM932

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.01.026

0 引言

众所周知,单相全控整流电路(也称作相控整流电路)中由于存在非线性元件(如可控硅、IGBT等),使得流过非线性元件的电流波形不是正弦波。若把这种电流波形进行傅立叶分解,即可得到幅值和相位各不相同的基波和一系列谐波^[1]。由于基波电流和电源电压的相位之间存在相位差,所以相控整流电路在不同的移相角下就对应不同的功率因数。由于众多教科书中都没有介绍相控整流电路功率因数的计算公式,而且在实际工业生产过程中所使用的功率因数测量仪的价格不菲。如果能通过计算机仿真的方法测得某一电路的功率因数(即便它与实际的功率因数略有差异),也会给设计、分析和改进电路的工作带来好处。所以要设法借助某种“软工具”来进行测定。利用 MATLAB 的 Simulink 工具箱就可以方便地解决这个问题。

1 功率因数的测量原理

1.1 功率因数的定义

为了表征交流电源的利用率,在电工学中引入了功率因数(λ)这个术语,定义为有功功率(P)与视在功率(S)的比值,即 $\lambda = P/S$ 。设 $u(t)$ 为瞬时输入电压, $i(t)$ 为瞬时输入电流, T 为输入电压的周期, U 、 I 分别为输入电压和电流的有效值,则有

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt \quad (1)$$

$$S = UI \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt}{UI} \quad (3)$$

1.2 输入电压为正弦波而输入电流为非正弦波时的功率因数定义

由整流电路的工作原理可知,整流输入电压波形为标准正弦波,仅存在基波分量;而输入电流为周期性的非正弦波,除包含基波分量外,还包含许多高次谐波分量^[2]。此时的 $P = UI_1 \cos \varphi$ 带入式(3)有

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{UI_1 \cos \varphi}{UI} = \frac{I_1}{I} \cos \varphi = \gamma \cos \varphi \quad (4)$$

式(4)中: I_1 为基波电流有效值, I 为总电流有效值, γ 称为谐波因数, $\cos \varphi$ 叫做相位因数, φ 为电压基波与电流基波的相位差。因此,这种情况下的功率因数就等于谐波因数与相位因数的乘积,即 $\lambda = \gamma \cos \varphi$ 。

设瞬时电流为 $i(t)$, 将其展开成傅立叶级数得到

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(n\omega t)$$

$$\text{式中: } a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(t) \sin(n\omega t) d(\omega t)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(t) \cos(n\omega t) d(\omega t)$$

其中, n 为谐波次数。对于第 n 次电流谐波,其电流的有效值 I_n 与输入总电流的有效值 I 分别为:

$$I_n = \frac{1}{2} \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}$$

定义总的谐波畸变率 σ 为

$$\sigma = \sqrt{\frac{I^2 - I_1^2}{I^2}} \times 100\%$$

故上述式(4)变成

$$\lambda = \frac{I_1}{I} \cos \varphi = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + \sigma^2}} \quad (5)$$

由此可见,单相全控整流电路的功率因数不仅与基波电压、电流之间相位差的余弦有关,还与输入电流波形的畸变程度有关系^[3]。利用 MATLAB 中的电力系统仿真工具箱的傅立叶分析、谐波畸变测量、三角函数等模块,就可以仿真得出电路的功率因数。

2 仿真模型的搭建及仿真结果

单相全控整流电路的功率因数测定的电路仿真模型如图 1 所示。

整个模型由单相全控整流电路、触发脉冲子系统、 λ 测量子系统等组成,其中的 trigger module 为触发脉冲子系统;harmonic analysis 为 λ 测量子系统;VT1、VT2、VT3、VT4 组成整流电路;“@”为触发角给定输入模块,“Fun”模块负责将开通角转换为对应的弧度;负载取纯电阻负载。

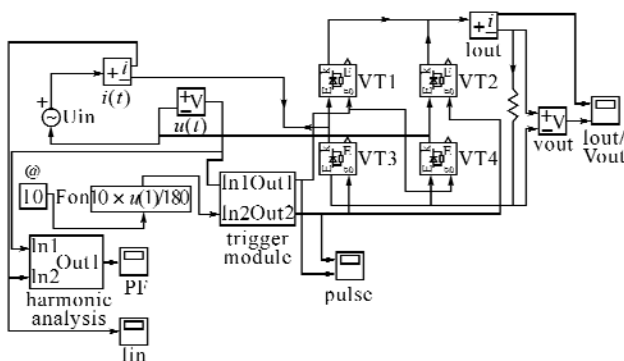


图 1 功率因数测定的电路仿真模型

Fig. 1 Emulational module for the use of measurement of power factor

2.1 Trigger module 模块的组成

Trigger module 模块的仿真子模型的搭建如图 2 所示。

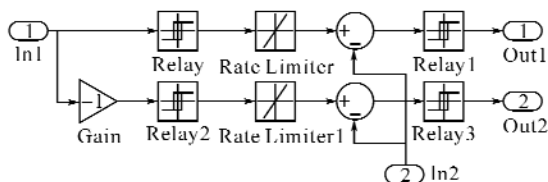


图 2 Trigger module 模块的仿真模型

Fig. 2 Emulational module of trigger module

触发电路由同步、锯齿波形成、移相控制等环

节组成。“Relay”是滞环控制模块,具有施密特触发器特性^[4],用来模拟带滞环特性的继电器特性;“Rate Limiter”是斜坡函数,用于限制输入信号的上升和下降的变化率。In1 端子输入的是触发脉冲的同步信号;同步电压经 Relay 环节产生与同步电压正半周等宽的方波^[5],该方波经 Rate Limter 环节产生锯齿波,锯齿波再与由输入端子 In2 送来的移相控制电压叠加调节锯齿波的过零点^[6],再经 Relay 环节产生前沿可调、后沿固定的晶闸管触发脉冲。综上所述,利用这个模块就可以实现移相触发控制。

2.2 λ 分析模块的组成

依据式(5),可得 λ 分析模块仿真模型如图 3 所示。

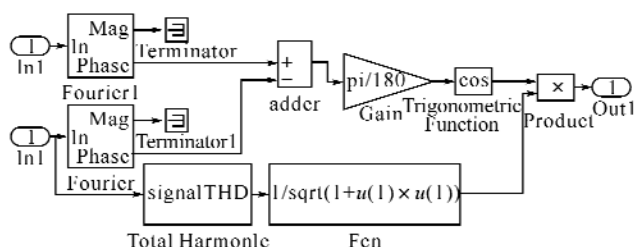


图 3 λ 分析仿真模型

Fig. 3 Emulational module as to analysis of power factor

该模型中包含两个重要模块:离散傅立叶分析模块(Fourier)和畸变因素分析模块(Total Harmonic)。其中,两个 Fourier 模块用来给出整流器输入电压和输入基波电流的相位;Total Harmonic 模块可以测量出输入电流的总谐波畸变率。此模型还包含加法器模块(adder)、放大器模块(Gain)、三角函数模块(Trigonometric Function)、数学表达式模块(Fun)、取乘积模块(Product)和信号终止端(Terminator)等。

参数设置^[7]:把两个 Fourier 模块的“Fundamental Frequency”设为 50,“Harmonic n”设为 1(取基波),Total Harmonic 模块的“Fundamental Frcquency”设为 50,其他参数保持默认即可。

2.3 仿真结果与结论

图 4 分别给出了移相触发角为 30° 、 60° 、 90° 、 120° 时的整流器交流输入端功率因数的仿真结果,图中纵坐标是功率因数的瞬时值,横坐标是时间。从图中可以看出,随着移相触发角的增加,整流可控硅在一个周期内导电的时间就会越来越小,从而导致整流器的输入电流波形畸变率越来越大,因此功率因数也是随之减小的,这与电力电子学的理论是完全吻合的。

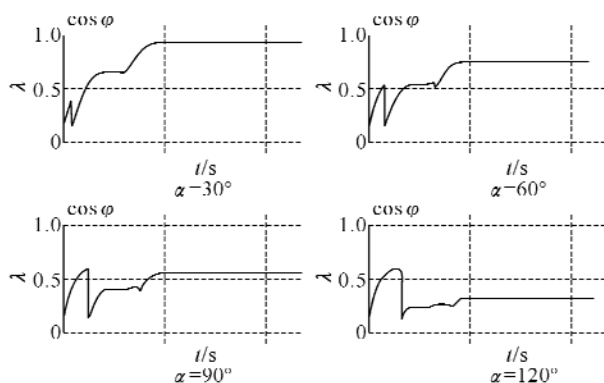


图 4 不同移相触发角(α)对应的功率因数

Fig. 4 Power factors according to different phase-shifting angles(α)

3 结 语

事实上,以上介绍了一种软件仿真测量电路功率因数的方法,并给出了 MATLAB 仿真模型,即文章中介绍的 λ 分析模块,因此,该方法具有很强的通用性,还可以对三相全控桥式整流器、单

相/三相交流调压器等电路进行 λ 测定,但前提是必须保证他们的输入电压波形是标准的正弦波,不然就不能用此方法进行 λ 测定。

参考文献:

- [1] 王吉校,钱希森,王永民.基于 MATLAB 仿真的功率因数测定方法研究[J].技术研究,2006,(12):34-37.
- [2] 杨帆,姜燕.基于 LLC 的大功率智能充电器研究[J].武汉工程大学学报,2009,31(5):80-83.
- [3] 王兆安,黄俊.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 李维波. MATLAB 在电气工程中的应用[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [5] 洪乃刚.电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [6] 杨帆,刘畅.基于 D-S 证据理论的多传感器目标识别应用[J].武汉工程大学学报,2009,31(1):73-75.
- [7] 熊俊俏,郝毫毫,刘增华.精密位移测控系统的设计[J].武汉工程大学学报,2009,31(9):59-61.

Measurement based on MATLAB of power factor of fully controlled single-phase commutation

CUI Shi-jie, WANG Jian-hua

(Key Laboratory of Plasma Chemistry & Advanced Materials of Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This article primarily expatiates how to realize fully controlled single-phase commutation, and expound the principle of power factor measurement. At the same time, we show you the module and the method of how to utilize MATLAB/Simulink to realize the measurement of λ . At the end of thesis, we propose the result of measurement of PF according to different phase-shifting angle.

Key words: single-phase commutation; power factor; MATLAB; measuring methods

本文编辑:陈小平