

三相电压型PWM整流器控制策略的研究

薛鹏磊

安徽理工大学 电气与信息工程学院 安徽淮南 232001

摘要: 目前在现代电工技术中最受各界追捧的领域就是电力电子技术,并且在电力系统中的应用更为广泛。电力系统中的电力电子构件在工作时通常以打开或者关闭的状态来进行,但是这种方式会对电网产生一定的影响,其主要原因就是电力电子器件在工作时会产生谐波。因此,在设计变流装置时,应该最大可能的降低电力电子器件产生谐波,进而减少对电网的影响,达到单位功率因数,同时也要达到控制系统的高效率、高性能、高稳定性的要求。在电力系统最为广泛的器件之一为整流器,其主要作用是把各种电力电子器件和电网进行连接,通过将变电技术和自动控制技术以及微电子技术相互融合,来达到对电网无污染的要求。把整流技术和PWM控制技术整合到一起组成目前市面上使用较为广泛的PWM整流器,PWM整流器是对传统整流器的进一步改进,用PWM整流器的斩控整流完全代替了传统整流器的不控整流以及相控整流方式。相对于传统整流器其主要优点为网测电流为正弦波、网测功率系数可以得到控制、电能能够实现双向流动以及动态响应迅速。

关键词: 三相VSB技术;整流与逆变;矢量

Research on Control Strategy of Three-phase Voltage Type PWM Rectifier

XUE Penglei

School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001

Abstract: At present, the most popular field in modern electrical technology is power electronics technology, and it is more widely used in the power system. The power electronic components in the power system are usually operated in open or closed state, but this mode will have a certain influence on the power grid, the main reason is that the power electronic components will produce harmonics when working. Therefore, in the design of the converter, we should reduce the harmonic generation of power electronic devices as much as possible, and then reduce the impact on the power grid, to achieve the unit power factor, but also to achieve the control system of high efficiency, high performance, high stability requirements. Rectifier is one of the most widely used devices in power system. Its main function is to connect all kinds of power electronic devices and power grid. Through the integration of substation technology, automatic control technology and micro-electronic technology, it can achieve the requirements of pollution-free power grid. The rectifier technology and PWM control technology are integrated together to form a more widely used PWM rectifier on the market at present. PWM rectifier is a further improvement on the traditional rectifier. The chopper rectifier of PWM rectifier completely replaces the non-controlled rectifier and phase controlled rectifier of the traditional rectifier. Compared with traditional rectifier, its main advantages are positive wave current, controlled power coefficient, bidirectional flow of electric energy and rapid dynamic response.

Keywords: Three-phase VSB technology; Rectifier and inverter; Vector

一、三相VSR的拓扑结构及原理

本文将在前两章总结的三相PWM整流器的基本原理的基础上,通过使用MATLAB软件建立三相PWM整流器的简单数学模型。建立此种模型主要包括电感模型的建立、系统的开关元器件模型的建立以及交流电动势模型的建立,最后把各种模型组合到一起,建立成本文理想的三相PWM整流器系统模型。首先假设不考虑由于开关元件在变换电路时所消耗的电能,此时交流电流部分和直流电流部分所产生的功率保持平衡。本文所设计的模型可以通过电路的交流侧控制电路的交流电流。同时,由直流电流控制的模型也可以控制交流电流。当仿真达到稳定状态时,PWM整流器所呈现的交流侧的关系如图3所示。下面将以另一种情形进行模拟仿真,具体是:不在考虑交流侧的电阻大小以及整流器控制的电流因素的谐波分量,同时只考虑模型中基波分量,然后在这三种条件都满足的情况下进行分析。本文将使用电网的矢量来作为整个系统数据的参考分量,在此基础上进而能够控制电压分量 V 以及控制电力分量 I ,通过此种方案能够达到PWM整流器四象限工作状态。如果假设电网的直流侧分量的幅值和交流侧的分支相同,那么电感器上的电压将是固定不变的,这时交流电压的分量运动轨迹将是电压降为半径的圆。当电压分量 V 运动到C点时,交流电流向量的角度要比电压向量的角度提前90度,在这种工况下,PWM整流器主要表现成为一个纯电容。当电压向量 V 运动到D点时,此时电流向量和电压向量 V 平行,但是向量方向相反。此时系统的工作状态是PWM整流器将成为一个负载电阻。A、B、C、D为PWM整流器的四个特殊工作状态点。当在PWM整流器控制下的交流电压向量运动到AB段时,PWM整流器的工作形式位于整流状态,此时的电网具有的电能将通过整流器把电能传输到系统的负载上,PWM整流器将从电网中吸收电网的有用功率以及电网中的无用功率,当仿真结果当模型的仿真运行状态显示终点电压 V 处于C点时,整流器的工作形式为只吸收电网的无用功率,不吸收系统的有用功率。当模型的仿真运行状态显示终点电压 V 处于CD段时,整流器的工作形式处于逆变状态。同时,以直流的形式通过是产生的电能是由整流器把有功功率以及无功功率都相继输送到电网中。当仿真的运动轨迹达到D点时,系统的单位功率因数为-1,同时实现了系统的逆变控制。当仿真的运动轨迹达到A点时,则和运动到C点的工作状态一致,都是表现为只从电网中吸收无用功率,不吸收电网中的有用功率。通常大多数研究者都使用转

换函数进行建立数学模型。不同的PWM整流器工作状态转换模型的分析提供了PWM整流器的数学模型和一个统一的表达式。PWM整流器交流侧三相线电压为零,称为“零模式”。“零模式”是根据电源开关数量的最小值来选择的。

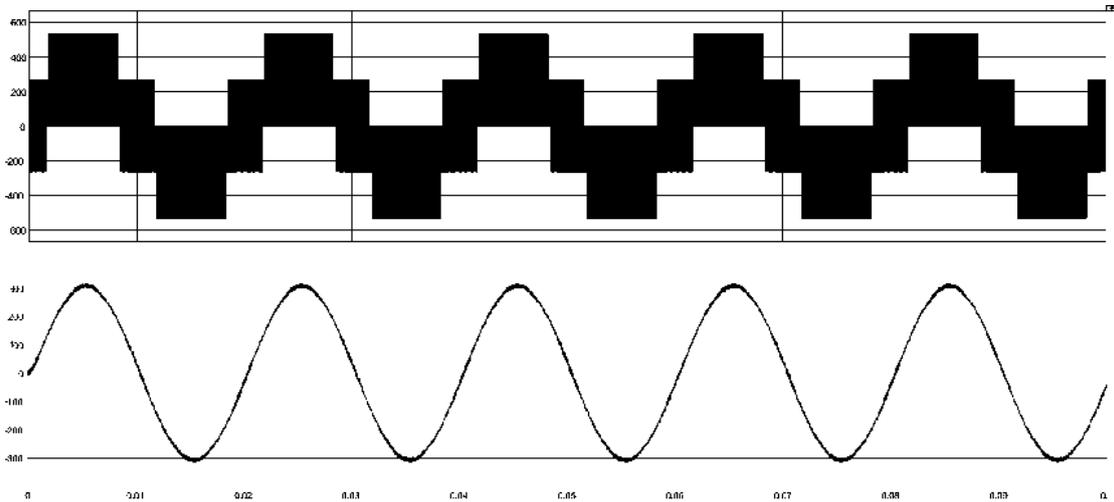
二、控制系统设计及仿真

由于普通的控制器通常使用的是两相的原理,也即是有 d 、 q 代表的两相坐标轴, d 表示的是直流电压, q 表示的是直流电流。但是两相的控制器难以控制电网的波形以及控制器在运用重点稳定性。然而在两相电基础上加上一个交流基波分量,建立三相VSR控制系统。那么达到稳定状态时,仿真模型的 d 、 q 两个变量都表示直流变量。从另一个角度来考虑,首先要确定坐标系 dq 的初始参考坐标轴方向,例如, q 轴代表的是做功的分量参考坐标轴,和电网的电动势在同一个坐标轴上,然而 d 轴表示的是无用功参考坐标轴。由于有用功和无用功都能够表示在坐标轴上表示出来,进而能够单独控制三相VSR网测的有功和无功单个分量。通常情况下,设计者会更倾向于使用双环控制对三相PWM整流控制器进行设计。对于双环控制来说,主要设计两个模块,分别是电流的内环控制以及电压的外环控制。电流内环控制的主要作用是把从电压外环输出的电流命令实现电流控制,同时,电压外环控制的主要作用是用来控制三相VSR的直流侧电压。根据8种开关状态产生的8种标准电压矢量,我们根据平行四边形法则可以合成任意方向电压矢量。由于需要建立具体真实的模型进而验证本文提出的设计方案的合理性以及真实性,同时验证PWM整流器能够真实有效的实现双向控制以及产生的电流为正弦波,本文通过仿真建模平台建立控制系统的简易数学模型,为后面进行仿真建立基础,主要建立的模型包括系统的控制系统以及系统的元器件模型和主电路。(见图1)

系统仿真是设计的基础与原理性验证,对课题顺利开展具有指导性意义。为验证方案的可行性,建立了仿真模型。(见图2)

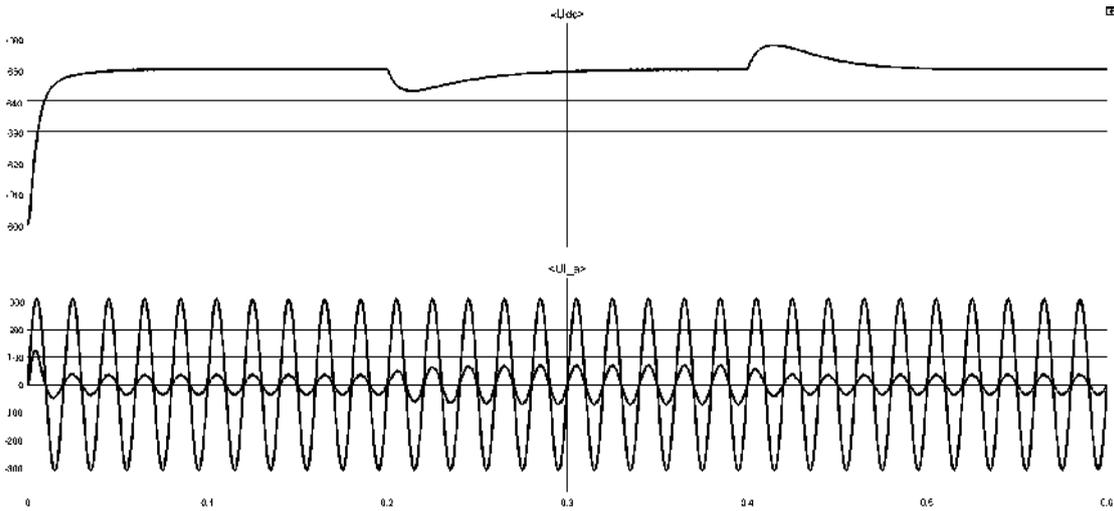
通过下图可以看出,在0~0.2s内,直流电压源为600V,直流侧给定电压为650V。当直流侧电阻为10 Ω 时,直流负载上需要承受50V的正向电压,则电网通过三相PWM整流器向直流侧输送功率(整流),电网电流有效值约为4.54A,并且可以得出电网电压和电网电流具有相同的频率相同的相,其单位功率因数为1。

0.2s~0.4s内,当直流侧电阻为5 Ω 时,系统提供给直流侧的功率减小,则直流侧电压发生跌落,通过增大



a相电压波形 (滤波前、滤波后)

Figure 1 Sector action time calculation



直流侧负载发生扰动时的仿真波形

Figure 2 Sector action time calculation

电网电流的大小来维持系统稳定, 电网电流有效值约为 9.09A, 经过一段时间, 直流侧电压趋于稳定。

0.4s~0.6s内, 当直流侧电阻为 10Ω 时, 系统提供给直流侧的功率增大, 则直流侧电压发生上升, 通过减小电网电流的大小来维持系统稳定, 电网电流有效值约为 4.54A, 经过一段时间, 直流侧电压趋于稳定。

通过该模拟仿真验证: 当负载发生扰动时, 三相 PWM 整流器能够正常运行, 具有一定的抗干扰性。

仿真过程说明 1

Voltage values for different switch combinations

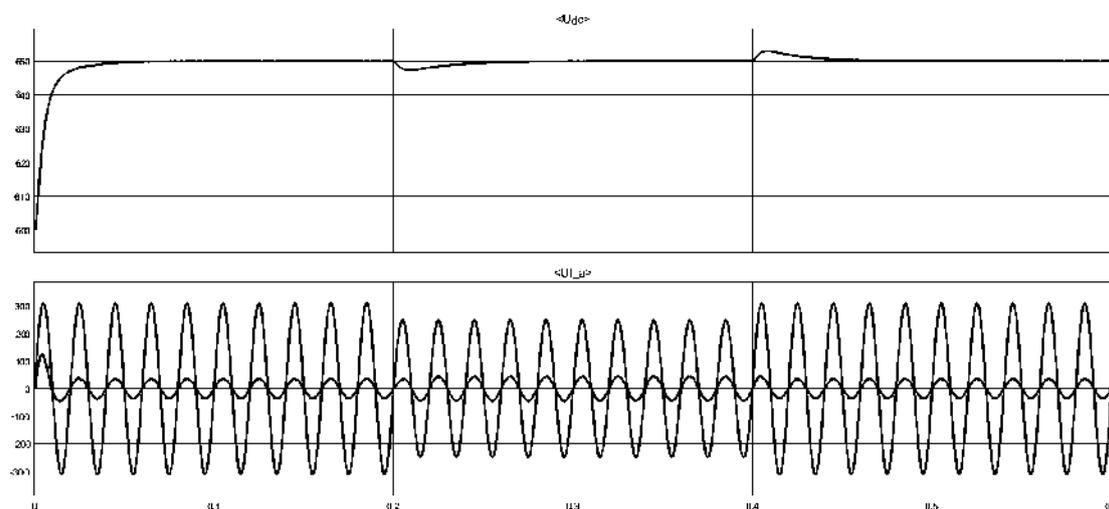
工况	时间/s
电网电压峰值电压为 311V	0
电网电压峰值电压为 250V	0.2
电网电压峰值电压为 311V	0.4

仿真结果波形图 (见图 3)。

通过图3可以看出, 在0~0.2s内, 直流电压源为 600V, 直流侧负载为 10Ω , 直流侧给定电压为 650V。当电网电压峰值电压为 311V 时, 直流负载上需要承受 50V 的正向电压, 则电网通过三相 PWM 整流器向直流侧输送功率 (整流), 电网电流有效值约为 4.54A, 并且可以得出电网电压和电网电流具有相同的频率相同的相, 其单位功率因数为 1。

0.2s~0.4s内, 当电网电压峰值电压为 250V 时, 系统提供给直流侧的功率减小, 则直流侧电压发生跌落, 通过增大电网电流的大小来维持系统稳定, 电网电流有效值约为 5.65A, 经过一段时间, 直流侧电压趋于稳定。

0.4s~0.6s内, 当电网电压峰值电压为 311V 时, 系统提供给直流侧的功率增大, 则直流侧电压发生上升,



电网电压发生扰动时的仿真波形

Figure 3 Sector action time calculation

通过减小电网电流的大小来维持系统稳定，电网电流有效值约为4.54A，经过一段时间，直流侧电压趋于稳定。

通过该模拟仿真验证：当电网电压发生扰动时，三相PWM整流器能够正常运行，具有一定的抗干扰性。

三、总结

本论文主要通过了解PWM整流器的特点以及原理，并在前面两章进行具体的阐述。在PWM整流器的基本原理的基础上，对三相VSR的空间矢量PWM控制进行的具体研究，并对SVPWM的分布和合成进行研究，最后，设计了PWM整流器的控制系统，其中具体包括电流内环以及电压外环的设计。在控制系统设计完整后，本文的模型是在MATLAB软件中进行建立的。在此平台上能够清晰看到三相电压型PWM整流器系统所有的工况过程，并且本文通过观察模型仿真的结果进行的具体分析，最后证明了本文提出的PWM整流控制器是可行的。

参考文献：

- [1]张成糕，王宇，张艺，郝雯娟，夏宇航.三相电压型PWM整流器的虚拟转矩冲量平衡控制策略[J/OL].电源学报：1-16[2022-03-08].
- [2]郑启圣.基于模型预测控制的三相电压型PWM整流器研究[D].中国矿业大学，2021.
- [3]Chen Y, Jin X M. Modeling and control of three-phase voltage source PWM rectifier[C]//2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference. IEEE, 2006, 3:
- [4]Saidi Y, Mezouar A, Miloud Y, et al. A robust control strategy for three phase voltage t source PWM rectifier connected to a PMSG wind energy conversion system[C]//2018 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM). IEEE, 2018: 1-6
- [5]张晓莹.三相电压型PWM整流器的双闭环控制策略[D].东北石油大学，2021.