

Simulation of Polarity Modulation of Single-phase Bridge PWM Inverter Circuit Based on Matlab

Wenyi Xiao Zicheng Li Jieli Zhu Yuxin Pu Shuai Zhang

The Engineering & Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan, 614000, China

Abstract

PWM control technology is also known as the technology of modulation of the width of the pulse. It is a symbol of the increasingly mature development of power electronics technology, and the technology plays an important role in the control of inverter circuit. Single-phase bridge inverter circuit is formed as the main circuit and IGBT as the switching device. Based on the single-phase bridge inverter circuit, the sine wave is the modulation wave and the triangular wave is the carrier, the modulation of the width changes between the sine wave and the sinusoidal wave. For unipolar PWM modulation and bipolar PWM modulation of single-phase bridge inverter circuit, the drive trigger signal circuit of unipolar PWM and the drive trigger signal circuit of bipolar PWM, respectively, through the intersection of the modulation wave and carrier, the two PWM waveforms, and the unipolar PWM and bipolar PWM control waveform based on Matlab / Simulink simulation.

Keywords

PWM; Matlab; unipolar; bipolar

基于 Matlab 的单相桥式 PWM 逆变电路极性调制仿真

肖文义 李自成 朱界利 蒲俞昕 张帅

成都理工大学工程技术学院, 中国 · 四川 乐山 614000

摘 要

PWM控制技术也称为对脉冲的宽度进行调制的技术,它是电力电子技术发展日益成熟的标志,同时该技术在逆变电路控制中占有重要地位。以单相桥式电路为主电路,以IGBT为开关器件,构成单相桥式逆变电路。以单相桥式逆变电路为基础,以正弦波为调制波,三角波为载波,利用面积等效原理,通过正弦波和三角波的调制也可以得到等幅且宽度随正弦规律变化的SPWM波形。而对单相桥式逆变电路进行单极性PWM调制和双极性PWM调制,就分别有单极性PWM的驱动触发信号电路和双极性PWM的驱动触发信号电路,通过调制波和载波的交点时刻控制IGBT开关器件的通断,就可以得到这两种PWM波形,并基于Matlab/Simulink仿真出单极性PWM控制波形和双极性PWM控制波形。

关键词

PWM; Matlab; 单极性; 双极性

1 引言

随着科学技术的发展,逆变电路的设计也日益成熟。逆变电路是由回路中的直流电转变为交流电过程的电路。那么这种转变的实现就离不开某种控制技术的应用^[1]。迄今,大部分的逆变电路主要应用于PWM控制技术,这种技术在逆变电路中尤为常见,它的应用是对逆变电路控制走向成熟的标志,从而在电力电子技术行业中占有重要地位。论文主要简单介绍了PWM的基本控制原理,以及单相桥式PWM逆变电路的工作理论及其基于Simulink环境下的仿真分析^[2]。

2 WM 的基本控制原理

如果将一些不同形状但面积相同的窄脉冲分别加在具有线性惯性的同一环节上,那么输出响应的波形基本上是等效的^[3]。这叫作面积等效原理,这个原理是PWM控制技术的基石。那么,根据这个原理就可以把某种波形由一系列的等幅而不等宽的矩形脉冲等效代替,就可以得到一系列等幅而不等宽的矩形的脉冲序列,这种脉冲序列就叫PWM波形^[4]。若把正弦波等效替代一系列等幅而不等宽的矩形的脉冲序列,并且脉冲序列的宽度按正弦规律变化,这种脉冲序列就叫SPWM波形。

3 单相桥式 PWM 逆变电路原理和控制方法

3.1 单相桥式 PWM 逆变电路的工作原理

如图1所示,在单相桥式PWM逆变主电路中,以

【作者简介】肖文义(2004-),男,中国湖南邵阳人,在读本科生,从事电气工程及其自动化研究。

IGBT 作为开关器件, 负载带有阻感属性。当其工作时, V_1 和 V_2 交替通断, V_3 和 V_4 也是交替通断。当输出电压为正半波时, 让 V_1 导通, V_2 关断, V_3 和 V_4 交替通断。因为负载是阻感负载, 所以负载电流比电压要滞后, 因此负载电流方向有时为正方向, 有时为负方向。当负载电流方向为正方向且 V_1 、 V_4 导通时, 负载电流流过 V_1 和 V_4 , 负载电压 u_o 与直流电压 U_d 相等; 当 V_4 关断时, 负载电流会通过 V_1 和 VD_3 续流, 负载电流流过的整个回路都处于导通状态, 因此, 负载电压 u_o 为 0。当负载电流方向为负方向且 V_1 、 V_4 导通时, 电流从 V_4 流过 V_1 , 负载电压 u_o 仍然和直流电压 U_d 相等; 当 V_4 关断时, 负载电流通过 V_3 和 VD_1 续流, 负载电压 u_o 为 0。因此当输出电压为正半周期时负载电压 u_o 可以得到 U_d 和 0 两种电平。同理, 当输出电压为负半周期时, 让 V_1 关断, V_2 导通, V_3 和 V_4 交替通断, 负载电压得到了 $-U_d$ 和 0 两种电平。

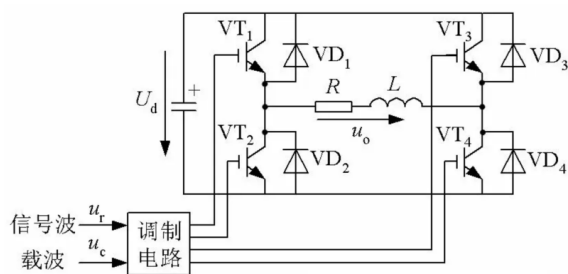


图 1 单相桥式 PWM 逆变电路图

3.2 单相 PWM 桥式逆变电路的控制方法

单相 PWM 桥式逆变电路主要的控制方法有计算法和调制法, 但由于使用计算控制方式, 计算会特别复杂, 所以大部分 PWM 逆变电路采用的是调制法。而在采用调制法的时候, 是将输出的波形作为调制信号, 被接受调制的信号作为载波, 然后通过这两信号的调制得到 PWM 波形。通常等腰三角形波被广泛应用于载波, 因为等腰三角形波左右对称且其水平宽度与高度成线性关系, 这样当一个稳定的调制波与其相交来控制开关器件的通断时, 就可以调制出水平宽度正比于脉冲序列幅值的 PWM 波形。若调制信号为正弦波形, 通过这样的调制就会得到 SPWM 波形。

4 单极性 PWM 的控制仿真分析

4.1 单极性 PWM 的控制原理

令正弦波 u_r 为调制信号, 三角波 u_c 为载波, 通过它俩的正负半波和他俩之间交点时刻来控制电路中的各个 IGBT 的通断。按照图 3.1, 当 $u_r > 0$ 时, 让 V_1 导通, V_2 关断, 当 $u_r > u_c$ 时, 让 V_4 导通, V_3 关断, 此时输出波形 u_o 为 U_d ; 当 $u_r < u_c$ 时, V_4 关断, V_3 导通, 此时负载电流通过 VD_3 续流, 输出波形 $u_o = 0$ 。当 $u_r < 0$ 时, 让 V_1 关断, V_2 导通, 当 $u_r > u_c$ 时, 让 V_4 导通, V_3 关断, 负载电流通过 VD_4 续流, 输出波形 $u_o = 0$; 当 $u_r < u_c$ 时, 让 V_3 导通, V_4 关断, 此时输出波形

$u_o = -U_d$ 。因此就得到了单极性控制的 SPWM 波形。

4.2 单极性 PWM 的控制仿真

单相桥式逆变电路单极性控制仿真电路图如图 2 所示。图 2 中的 Triangle 为三角波, 作为载波, 图中的 Sine Wave 作为正弦波在正半周期的调制波, Sine Wave1 作为正弦波在负半周期下的调制波。图中的 Goto 和 Goto1 作为触发信号的通道, From 和 From1 作为触发信号的接收器, 分别连接在 IGBT 开关器件的门极。图中的 DC Voltage Source 电压值为 100V, 因为在 Scope 中希望输出的波形为 50Hz, 所以要将正弦波的角频率调为 $100 \times \pi$ 。

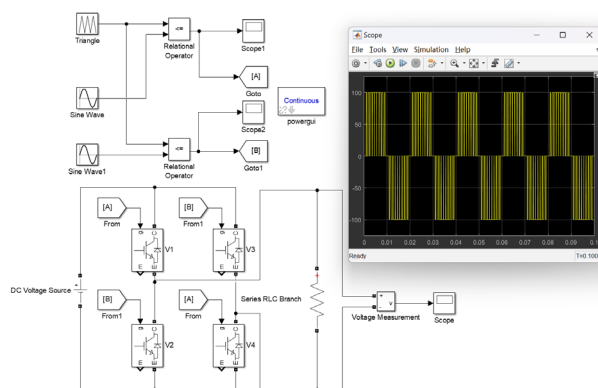


图 2 单相 PWM 桥式逆变电路单极性控制电路及其波形仿真图

将 Triangle 的起始时间值调为 0, 周期调为 0.001s 并让其值 u_c 在半个周期内由 0 到 1 再到 0。

将 Sine Wave 中的相位弧度调为 0, Sine Wave1 中的相位弧度调为 π , 这样 Sine Wave1 中的波形值为 Sine Wave 中的波形值的负值, 通过此设置可以分别得到正弦调制波在正负半周期和 V_3 和 V_4 相互通断的触发信号。

将停止时间设为 0.1s, Scope、Scope1、Scope2 中的采样时间设为 $1/100e3$, 当 Triangle 的载波波形对应的值小于等于 Sine Wave 的值时, 通过调制并通过 Goto 使调制后的波形作为调制波在正半周期时的触发信号, 满足了导通 V_1 和 V_4 的条件, 同理, 通过 Triangle 和 Sine Wave1 中的波形调节, 得到调制波在负半周期时的触发信号图, 同时通过 Goto1 满足了 V_2 和 V_3 的导通条件。

通过单相桥式电路的控制原理以及各个触发信号的调制作用, 得到如图 2 的单极性 PWM 控制波形仿真图。

5 双极性 PWM 的控制仿真分析

5.1 双极性 PWM 的控制原理

双极性 PWM 的控制方式与单极性 PWM 的控制方式相比, 双极性 PWM 的控制方式会更加简单。同样, 按照图 3, 以 u_r 和 u_c 的交点时刻来控制 IGBT 开关器件的通断。当 u_r 处于正半周期且 u_r 大于 u_c 时, 让 V_1 和 V_4 导通, V_2 和 V_3 关断。如果负载电流的方向为正方向时, 那么电流会通过 V_1 和 V_4 , 使 V_1 和 V_4 处于导通状态, 负载电压 $u_o = U_d$; 如

果负载电流的方向为负方向时,那么电流会通过 VD1 续流和 VD4 续流,使 VD1 续流和 VD4 续流处于导通状态,此时负载电压 u_o 仍等于 U_d 。当 u_r 小于 u_c 时,让 V_2 和 V_3 处于导通状态, V_1 和 V_4 关断。如果负载电流的方向为正方向,电流会通过 VD2 和 VD3,使 VD2 和 VD3 导通,那么 $u_o = -U_d$; 如果负载电流的方向为负方向,那么电流会通过 V_2 和 V_3 ,使 V_2 和 V_3 处于导通状态,因此 $u_o = -U_d$ 。综上所述,如果采用双极性 PWM 控制方式,那么 PWM 波只有 U_d 和 $-U_d$ 两种电平,没有零电平。

通过这样的控制方法,可以得到双极性 PWM 控制方式的波形图。

5.2 双极性 PWM 的控制仿真

单相 PWM 桥式逆变电路双极性控制仿真电路图如图 3 所示。在此电路中,直流电压源的幅值为 100V,希望输出波形的频率为 50Hz,因此图中的 Sine Wave 的角频率仍调为 100π 并作为调制波,调制波的值为 u_r 图中 Triangle 作为三角载波,值为 u_c 。

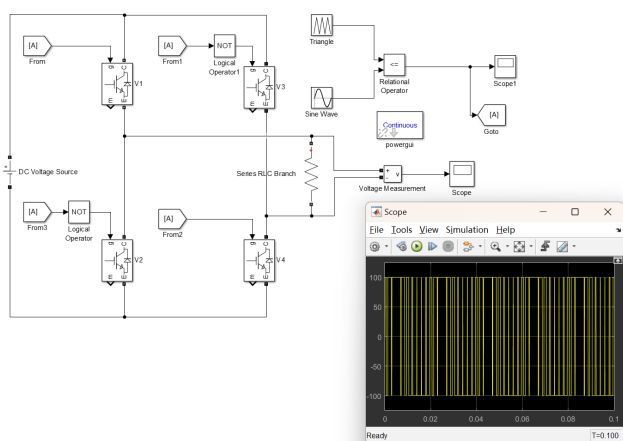


图 3 单相 PWM 桥式逆变电路双极性控制电路及其波形仿真图

将三角波的由起始时间值调为 0,周期调为 0.002s,并让其值 u_c 在半个周期内由 -1 到 1 再到 -1。

调制信号和载波信号通过 Relational Operator 因主电路中的 IGBT 开关器件触发而得到。

由图 3 可知,触发信号通过 Goto 分别到 From、From1、From2、From3。如果满足 $u_r \leq u_c$,则 From 和 From2 内的信号就会到达 V_1 和 V_4 ,使 V_1 和 V_4 触发,让 V_1 和 V_4 导通,此时负载电流无论是正还是负,负载电压 $u_o = -U_d$ 。而 From1 和 From3 都连接着 NOT,这表示如果 $u_r \leq u_c$,From1 和 From3 里的信号才会到 V_2 和 V_3 ,从而触发 V_2 和 V_3 ,让 V_2 和 V_3 导通,从而使负载电压 $u_o = -U_d$ 。通过一系列的控制,就可以得到双极性 PWM 控制波形仿真图。

6 结语

① PWM 控制技术在逆变电路的应用尤为广泛,它是推动电力电子技术发展的基本动力。

② 各个波形可以利用面积等效原理来得到输出等效的 PWM 波形。正弦波利用面积等效原理来得到的 PWM 波形为 SPWM 波形。

③ 论文主要采用 SPWM 控制技术中的调制法来仿真控制单相桥式逆变电路的输出波形。单极性调制和双极性调制的控制对开关器件的控制、输出波形以及输出电平都有所不同。

参考文献

- [1] 王兆安,刘进军.电力电子技术第五版[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [2] 林飞,胡广艳,杜欣.电力电子技术的Matlab仿真[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [3] 宝金.基于SPWM逆变器的仿真[J].信息系统工程,2015(1):141.
- [4] 陈国呈.PWM逆变技术与应用[M].北京:清华大学出版社,2006.