

# 全桥 DC/DC(H 桥)变换电路的设计与实现

贾周,王金梅,封俊宝

(宁夏大学物理电气信息工程学院,宁夏 银川 750021)

**摘要:**在对桥式可逆斩波电路作出理论分析的基础上,建立基于 MATLAB/Simulink/Power System 工具箱的桥式可逆斩波电路的仿真模型,给出了电阻电感性负载及电动机负载时的仿真结果,并对其进行分析,同时也验证了所建模型的正确性。

**关键词:**直流斩波;全桥变换;正弦脉宽调制;仿真

**Abstract:** The theory of reversible bridge chopper circuit is introduced. A technique is presented in setting up the models based on MATLAB/Simulink/Power System software and the voltage and current timing waveforms support this technique. The simulation results of the electric circuit with resistance-inductance load or motor load are also presented. At last the models of this full-bridge DC/DC converter circuit are proved correct.

**Key words:** DC chopper; full-bridge conversion; sinusoidal pulse width modulation (SPWM); simulation

**中图分类号:** TN702; TM464; TM743 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)05-0010-03

## 0 引言

桥式可逆斩波电路在电力电子技术、电力拖动和电力系统及其他领域应用最为广泛。对于具有摩擦负载的直流调速系统需要能在四象限内运行的直流变换电路,从而发展出了桥式可逆斩波电路。传统的四象限直流电源是由两组反并联相控式整流电路实现的,因此具有和其他相控式电源一样的固有缺点:网侧功率因数随着调压加深而变得很低;系统惯性大无法满足诸如伺服系统类要求快速响应的场合。以 DC/DC 变换原理为基础的直流电压变换电路由于在交流侧采取不控整流方式,故网侧功率高,且不随输出电压变化;由于采用开关频率较高的斩控方式,故系统惯性小,快速响应性能好。因此调试桥式可逆斩波电路的相关参数并对负载的工作情况进行对比分析与研究对工程实践具有较强的预测和指导作用。

## 1 电压型单相桥式逆变电路原理

电压型单相桥式逆变电路如图 1 所示,采用 IGBT 开关管作为开关器件,负载为电感性,对晶体的控制按如下进行:在正半周期时让晶闸管 VT<sub>1</sub> 保持导通而让晶闸管 VT<sub>4</sub> 交替通断。两管同时导通时,

**基金项目:**宁夏回族自治区自然科学基金项目——基于 PFC 和开关的大功率开关电源研究(NZ0724)

负载两端所加电压为直流电源电压  $u_d$ , 电动机工作于第 1 象限;当 VT<sub>1</sub> 导通 VT<sub>4</sub> 关断时,直到使 VT<sub>4</sub> 再一次导通之前由 VD<sub>3</sub> 续流。若负载电流衰减较快则在 VT<sub>4</sub> 再一次导通之前负载电压为零。这样负载上的输出电压就可以得到零和  $+u_d$  两种电平。同样在负半周让晶体管 VT<sub>2</sub> 保持导通,当 VT<sub>3</sub> 导通时负载被加上负电压  $-u_d$ , 电动机工作于第 3 象限;当 VT<sub>3</sub> 关断时 VD<sub>1</sub> 续流,负载电压为零,负载电压可以得到  $-u_d$  和零两种电平。这样在一个周期内逆变器输出的 PWM 波形就由  $\pm u_d$  和零三种电平组成<sup>[1]</sup>。二极管用于逆变电路的续流。从某种意义上来说,四象限直流变换电路是输入信号频率趋于零的逆变电路。

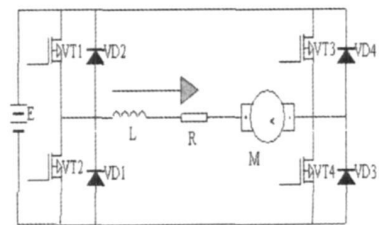


图 1 电压型单相桥式逆变电路原理

负载在不同工作状态下参与导通的管子及输出逆变电压的情况如表 1 所示。

## 2 双极性控制电路仿真

波形调制方法如下:载波  $u_c$  在调制信号  $u_r$  (正弦

表 1 单相桥式逆变电路工作情况

| 负载状态 | 正向电动             | 正向制动            | 反向电动             | 反向制动            |
|------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 超前桥臂 | VT <sub>1</sub>  | VT <sub>1</sub> | VT <sub>2</sub>  | VT <sub>2</sub> |
| 滞后桥臂 | VT <sub>4</sub>  | VD <sub>3</sub> | VT <sub>3</sub>  | VD <sub>4</sub> |
| 输出电压 | +u <sub>di</sub> | 0               | -u <sub>di</sub> | 0               |

波)的正半周为正极性的三角波,在负半周为负极性的三角波。在 u<sub>e</sub> 与 u<sub>r</sub> 的交点时刻控制 VT<sub>3</sub> 和 VT<sub>4</sub> 的通断。在 u<sub>r</sub> 的正半周 VT<sub>1</sub> 保持导通, u<sub>r</sub> > u<sub>e</sub> 时 VT<sub>1</sub> 导通,负载电压 u<sub>o</sub> = u<sub>di</sub>, u<sub>r</sub> < u<sub>e</sub> 时使 VT<sub>4</sub> 关断, u<sub>o</sub> = 0。在 u<sub>r</sub> 的负半周 VT<sub>1</sub> 关断 VT<sub>2</sub> 保持导通, u<sub>r</sub> < u<sub>e</sub> 时 VT<sub>3</sub> 导通,负载电压 u<sub>o</sub> = -u<sub>di</sub>, u<sub>r</sub> > u<sub>e</sub> 时使 VT<sub>3</sub> 关断, u<sub>o</sub> = 0。这样就得到 PWM 波形 u<sup>[4]</sup>。

双极性控制电路是指在一个斩波周期中输出电压 u<sub>o</sub> 的极性将有一次改变,即

$$u_o = \begin{cases} U_d & (0 < t < DT) \\ -U_d & (DT < t < T) \end{cases} \quad (1)$$

平均值

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u_o dt = (2D - 1)U_d \quad (2)$$

式中, T 是斩波周期, DT 是功率器件的载流时间, D 是占空比。式 (2) 表明 U<sub>0</sub> 的幅值和极性均取决于 D 值。比如: D = 0.5 则 U<sub>0</sub> = 0。双极性电路电流脉动大,但不会出现电流断续。

双极性 PWM 控制发生电路模型如图 2 所示。相应参数设置:①三角波模块输出电压 [-1, 1];②正弦波模块频率 1 Hz 电压 0.5 V;③关系运算模块关系类型“>”;④信号增益模块增益“-1”。

双极性 PWM 控制电路仿真结果如图 3 所示。

### 3 单极性触发方式电路实现

本系统的主电路采用单极性 PWM 控制方式,其中主电路由 4 个 IGBT 管构成 H 桥, VT<sub>1</sub> ~ VT<sub>4</sub> 分别由 PWM 产生的信号经过驱动电路放大后触发<sup>[4]</sup>。控制方式为:图 1 中超前臂两个管子的驱动脉冲 u<sub>g1</sub> = -u<sub>g2</sub> 使 VT<sub>1</sub> 和 VT<sub>2</sub> 交替导通;右边两个管子因电机转向不同而施加不同的直流控制信号,在输出正电压时 u<sub>g3</sub> 恒正 u<sub>g4</sub> 恒负,使得 VT<sub>3</sub> 导通 VT<sub>4</sub> 截止;在输出负电压时, VT<sub>3</sub> 截止 VT<sub>4</sub> 导通。

单极性电路则指在一个斩波周期中, u<sub>o</sub> 仅有幅值的变化而无极性的变化,即

$$u_o = \begin{cases} U_d & (0 < t < DT) \\ 0 & (DT < t < T) \end{cases} \Big| u_s > 0 \quad (3)$$

$$-u_o = \begin{cases} U_d & (0 < t < DT) \\ 0 & (DT < t < T) \end{cases} \Big| u_s < 0 \quad (4)$$

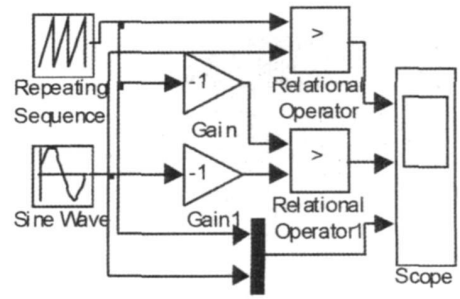


图 2 双极性 PWM 控制发生电路模型

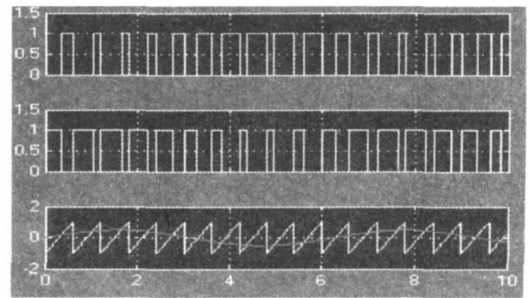


图 3 双极性 PWM 控制电路仿真结果

上两式表明, u<sub>o</sub> 的输出极性与控制电压的极性 u<sub>s</sub> 有关。单极性电路的电流脉动小,在轻载下会出现电流断续。

单极性 PWM 控制触发电路模型如图 4 所示。使用了双极性触发电路(即图 2 所示电路)作为一个子系统来使用,为实现单极性触发选用了关系运算模块来实现与门输出。相应的参数设置:①关系运算模块关系类型“<”;② pulse 模块周期 0.1 s 振幅 1 V,脉冲宽度 50%。仿真结果如图 5 所示。

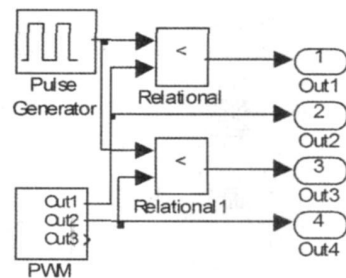


图 4 单极性 PWM 控制触发电路模型

与双极性控制输出的 PWM 波只有 ±u<sub>di</sub> 两种电平不同,单极性控制输出的是 ±u<sub>di</sub> 和 0 三种电平。单相桥式电路既可以采用双极性调制也可以采用单极性调制,由于两种方式对开关器件通断电控制规律不同,从而输出波形有较大的差异。不管是双极性电路还是单极性电路,在触发脉冲形成过程中都要加上

适当的逻辑延时,以防止触发信号产生竞争冒险。呈现在仿真结果中就是一种“毛刺”现象,一般影响实验的准确性,严重时甚至导致实验失败。

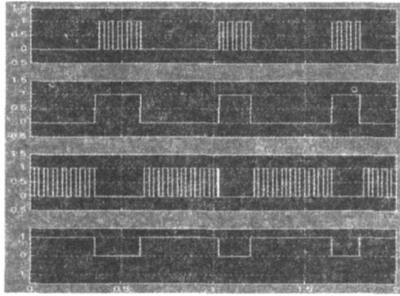


图 5 单极性 PWM 控制触发电路仿真结果

#### 4 H 桥 DC/DC 变换系统的电路仿真模型建立与实现

H 桥 DC/DC 变换系统的电路仿真模型如图 6 所

示<sup>[3]</sup>。

相应的参数设置:①直流电压源参数  $U=100\text{ V}$ ; ② IGBT 参数  $R_{on}=0.001\ \Omega$ ,  $L_{on}=1e^{-6}\text{ H}$ ,  $V_f=1\text{ V}$ ,  $R_s=1e^5\ \Omega$ ,  $C_s=\text{inf}$  ③负载参数  $R_1=1\ 000\ \Omega$ ,  $R_2=10\ \Omega$ ,  $L=0\text{ H}$ ,  $C=\text{inf}$  此时的仿真结果如图 7 所示。

根据以上设计而成的图 6 所示 H 桥 DC/DC 变换系统电路模型和图 7 所示仿真结果可以看出:仿真开始后晶体管 VT2 保持导通,电动机工作于第 3 象限,随后依次工作于 4、1、2 象限。

在设计以上电路模型时,应按照如下顺序:先做好最小的子系统并进行调试仿真,得到满意的仿真结果之后再组成较大的子系统,以此类推,最后完成整个系统的设计。在调试过程中发现问题可以逐步缩小问题所在的范围,确定其最可能存在于那个子系统,从而迅速判断解决,提高处理问题的效率。

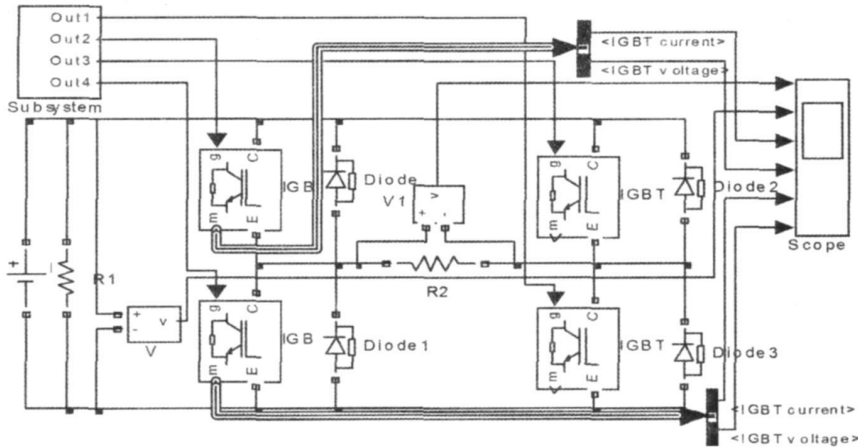


图 6 H 桥 DC/DC 变换系统电路模型

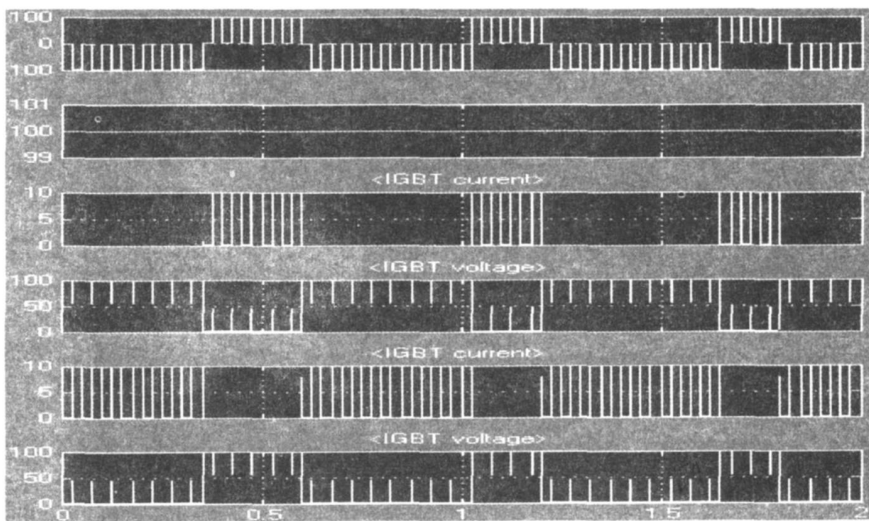


图 7 H 桥 DC/DC 变换系统仿真结果

(下转第 20 页)

表 7 湘潭电网部分 110 kV 线路单一线路融冰的相关数据

| 序号 | 线路名称 | 起止地点        | 导线型号<br>长度 /km | 融冰电压<br>等级 | 融冰短路<br>电流 /A | 融冰有功<br>/MW | 融冰无功<br>/Mvar | 融冰时间<br>T1 | 融冰时间<br>T2 |
|----|------|-------------|----------------|------------|---------------|-------------|---------------|------------|------------|
| 1  | 白易线  | 白 516-易 502 | LGJ-185/9.937  | 3.5        | 459.1         | 1.07        | 2.57          | 70         | 170        |
| 2  | 荷易线  | 荷 524-易 504 | LGJ-185/9.976  | 3.5        | 457.3         | 1.06        | 2.56          | 69         | 168        |
| 3  | 茶五线  | 茶 506-五 502 | LGJ-240/9.026  | 4.0        | 549.1         | 1.71        | 3.40          | 67         | 144        |
| 4  | 荷五线  | 荷 516-五 504 | LGJ-185/7.541  | 3.0        | 518.6         | 1.03        | 2.49          | 44         | 67         |
| 5  | 茶瓦线  | 茶 508-瓦 508 | LGJQ-300/8.286 | 4.0        | 671.1         | 1.21        | 4.49          | 59         | 110        |
| 6  | 荷瓦线  | 荷 514-瓦 504 | LGJ-240/2.964  | 1.5        | 692.6         | 0.56        | 1.71          | 35         | 46         |
| 7  | 野霞线  | 野 512-霞 504 | LGJ-240/2.485  | 1.0        | 550.8         | 0.30        | 0.91          | 67         | 147        |
| 8  | 茶霞线  | 茶 526-霞 502 | LGJ-240/3.920  | 2.0        | 698.3         | 0.75        | 2.30          | 32         | 44         |
| 9  | 茶潭线  | 茶 516-潭 500 | LGJ-240/5.093  | 2.5        | 671.8         | 0.90        | 2.77          | 38         | 52         |
| 10 | 茶野线  | 茶 502-野 508 | LGJ-300/2.270  | 1.5        | 923.6         | 0.62        | 2.32          | 27         | 36         |

从经济上考虑, 110 kV 线路大部分是从 220 kV 变电站出线。随着电网的发展, 110 kV 线路均从 220 kV 变电站出线是发展的趋势, 220 kV 变电站的一个融冰配电变压器就可满足多条 110 kV 线路单一线路融冰的需要, 可减少或取消在 110 kV 变电站建设融冰间隔, 在 110 kV 变电站只需要考虑融冰短路点的建设问题, 使得融冰建设的整体成本将更低。

线路, 而且随着电网的发展, 线路的长度将越来越短。目前针对 110 kV 线路融冰的融冰电压等级已不适用单一线路融冰需要。因此, 提出了在 220 kV 变电站装设 10 kV 的特殊变比配电变压器的设想, 以满足 110 kV 线路单一线路融冰的需要。并经理论计算, 证明装设该变压器能够可以实现对绝大多数 110 kV 线路单一线路融冰。

#### 4 融冰适用的电压等级及相关计算

#### 参考文献

根据上面的计算和分析, 根据湘潭电网 110 kV 输电线路的实际情况, 确定了每一条线路的适用电压等级, 并计算了单一线路融冰的相关理论数据。经计算证明在 220 kV 变电站中装设融冰配电变压器能够满足湘潭电网绝大多数 110 kV 输电线路单一线路融冰的需要。部分相关数据见表 7。

- [1] 邓健, 肖顺良, 姚璞, 等. 220kV 线路融冰方案的改进 [J]. 电网技术, 2008, 32(4): 29-30.
- [2] 姚璞, 易炜溟, 邓健, 等. 35kV 线路融冰方案的改进 [J]. 电网技术, 2008, 32(7): 100-102.
- [3] 湖南省电力公司. 湖南电网主网线路融冰方案 (2007-2008年度) [Z].

#### 作者简介:

邓 健 (1978-), 男, 汉族, 湖南湘乡人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事电网调度工作。

(收稿日期: 2009-06-01)

#### 5 结 论

110 kV 线路大多是长度不超过 10 km 的短

- [2] 刘福鑫. 高压直流电源中 DC/DC 变换器的研究 [D]. 南京航空航天大学硕士学位论文, 2004.
- [3] 李传琦. 电力电子技术计算机仿真实验 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [4] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

#### 作者简介:

贾 周 (1981-), 男, 江苏徐州人, 在读研究生, 学士学位, 研究方向为电力电子与电力传动。

王金梅 (1968-), 女, 宁夏大学物电学院教授, 博士学位, 研究领域为电力电子与电力传动。

封俊宝 (1982-), 男, 河南南阳人, 在读研究生, 学士学位, 研究方向为电力电子与电力传动。

(收稿日期: 2009-07-09)

(上接第 12 页)

#### 5 结 论

对 H 桥 DC/DC 变换系统电路进行了理论分析, 建立了基于 MATLAB/Simulink/Power System 工具箱的 H 桥 DC/DC 变换系统电路的仿真模型, 其仿真结果与理论分析十分吻合, 达到了电动机负载在四象限运行的目的, 验证了所建模型的正确性, 完成本课题——基于 PFC 和软开关的大功率开关电源研究所指定的科研任务。

#### 参考文献

- [1] 易卫东, 张建峡, 谢静. 一种新型全桥 DC/DC 软开关电源的仿真研究 [J]. 现代机械, 2009, (2): 23-26.