

基于 Matlab 的 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流 可逆直流调速系统的仿真

陈中, 顾春雷

(盐城工学院 电信学院, 江苏 盐城 224051)

摘要:对双闭环 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流可逆直流调速系统进行了计算机仿真研究, 运用 Matlab 的 Simulink 和 Power System 工具箱、面向系统电气原理结构图的仿真方法, 实现了转速电流双闭环 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流直流可逆调速系统的建模与仿真。重点介绍了调速系统的建模和调节器参数的设置, 给出了直流可逆调速系统的仿真模型和仿真结果, 仿真结果非常接近实际情况, 说明了仿真模型的正确性。

关键词:环流; 双闭环; 参数设置

中图分类号: TM341 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2008)04-0046-04

$\alpha = \beta$ 配合控制有环流可逆直流电动机调速系统中, 两组整流桥在工作时相互配合, 使得当正组晶闸管桥整流或(待)逆变时, 反组桥待逆变或(待)整流; 其目的是保持整流电压和逆变电压相等, 从而抑制平均直流环流。两组整流桥工作的相互配合是仿真建模的关键因素。本文在调速系统数学模型的建立以及正确的设置调节器参数的基础上对此系统进行仿真, 从仿真的结果可以看出模型及参数设置的正确性。

1 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流工作原理

$\alpha = \beta$ 配合控制有环流可逆调速系统^[1]所示, 主电路是采用两组三相桥式晶闸管装置反并联可逆电路。控制电路采用典型的转速、电流双闭环系统, 转速调节器 ASR 和电流调节器 ACR 都设置了双向输出限幅, 以限制最大起制动电流和最小控制角 α_{\min} 与最小逆变角 β_{\min} 。根据可逆系统正反向运行的需要, 给定电压 U_n^* 、转速反馈电压 U_n 、电流反馈电压 U_i 都应该能反应正、负的极性。虽然 $\alpha = \beta$ 配合控制可以消除平均环流, 但仍然有瞬时脉动环流, 因而需要设置限环流电抗器。正组 VF、反组 VR 工作时有(待)整流和(待)逆变有两种状态。当给定信号 U_n^* 为正值时, 转速

调节器 ASR 输出 U_i^* 输出为负值, 使得 VF 处于整流状态, VR 处于待逆变状态, 电动机正向运转; 当要求停车或反转时, 给定信号 U_n^* 为零或负值, ASR 输出 U_i^* 输出为正值, 由于电机电枢电流还不为零, 正组桥 VF 仍然工作, 但却使 VF 处于逆变状态, VR 处于待整流状态, 电机电流和转速变小, 当电枢电流为零时, 反组桥 VR 处于整流, 电机处于制动状态, 使得电机快速停车或反向运转。在整个过程中, 整流电压和逆变电压始终相等, 从而抑制直流平均环流。

2 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流主电路和控制电路建模和模型的参数设置

2.1 主电路的建模和参数设置

$\alpha = \beta$ 在配合控制有环流可逆直流调速中, 主电路是由三相对称交流电压源、反并联晶闸管整流桥、平波电抗器、直流电动机等组成。对于反并联晶闸管整流桥, 可以采用电力电子模块组中选取“Universal Bridge”模块获得。正、反组桥及封装后的子系统如图 1 所示。

三相对称交流电源可从电源组模块中选取。参数设置: 幅值为 220 V, 频率改为 50 Hz, 相位差互为 120° 。

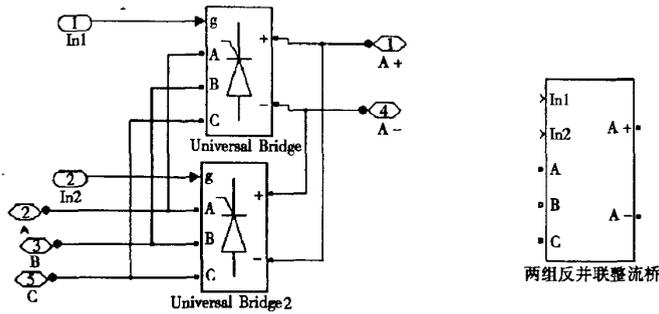


图 1 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流整流电路模型及子系统

Fig. 1 Bridge rectifier and its subsystem of $\alpha = \beta$ matched control with loop current

2.2 控制电路建模和参数设置;

2.2.1 两组同步触发器的建模

两个同步触发器可以采用电力电子模块组中附加控制子模块中 6 脉冲同步触发器获得,由于 6 脉冲触发器需要三相线电压同步,所以同步电源任务是将三相交流电源的相电压转换成线电

压,可以采用测量模块组中电压测量模块来完成。同时为了使得两组整流桥能够正常工作,在脉冲触发器的 block 端口接入数值 0。同步脉冲触发器的电源同步频率改为 50 Hz。同步 6 脉冲触发器及封装后的子系统如图 2 所示:

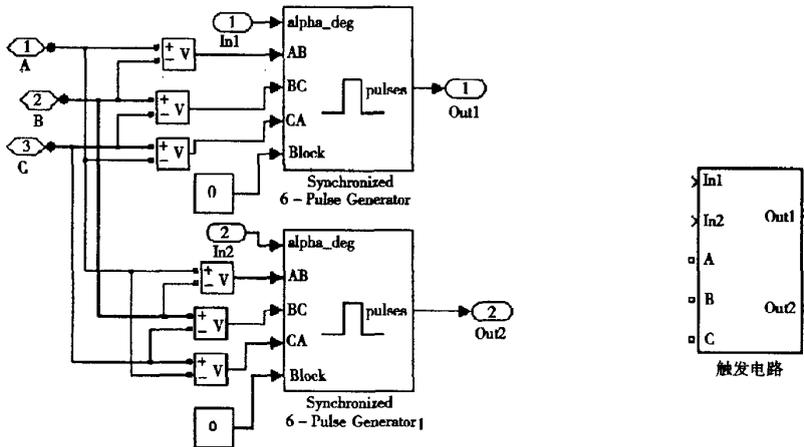


图 2 两组同步 6 脉冲触发器模型及封装后的子系统

Fig. 2 The module and masked subsystem of two synchronized 6 - pulse generators

2.2.2 转换环节的建模

从调速系统的动态结构框图 1 可知,电流调节器 ACR 输出最大限幅时,整流桥输出最大电压值 $U_{d0(max)}$,也即电流调节器输出信号与整流桥输出电压成正比,但在 Matlab 中同步触发器的输入信号为导通角 α ,整流桥 U_{d0} 输出电压与导通角 α 的关系为:

$$U_{d0} = U_{d0(max)} \cos\alpha \quad (1)$$

从上式可以看出:在仿真中电流调节器的 ACR 输出信号不能直接同步触发器的输入端,必须经过适当转换,使得 ACR 的输出信号同整流桥的输出电压对应。即 ACR 输出信号为零时,整流桥的输出电压为零;ACR 输出达到限幅 U_i^* (10 V) 时,整

流桥输出电压为最大值 $U_{d0(max)}$,转换模块如图 3。

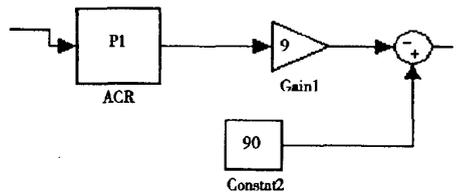


图 3 转换环节建模

Fig. 3 Module of converter circuit

从转换模块可知,当电流调节器 ACR 输出为零电压时,同步 6 脉冲触发器的输入信号 α 为 90° ,整流桥输出电压也为零;当电流调节器 ACR 输出为最大限幅 (10 V) 时,同步 6 脉冲触发器的

输入信号为 0° , 整流桥输出电压为 $U_{d0(max)}$ 。

2.2.3 $\alpha = \beta$ 配合环节的建模

从有环流工作原理可以看出: 当本组整流桥整流时, 其触发器的导通角应小于 90° ; 而它组整流桥处于逆变状态, 其触发器的导通角应大于 90° , 同时还必须保证 $\alpha = \beta$ 。故 $\alpha = \beta$ 配合环节建模如图 4。

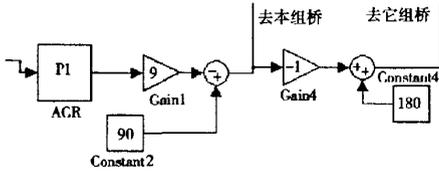


图 4 配合环节的建模

Fig. 4 Module of matched circuit

从 $\alpha = \beta$ 配合环节可知, 当本组整流桥的触发角为 α 时, 去它组桥的触发角为 $180^\circ - \alpha$; 同样, 当它组桥的触发角为 α 时, 本组桥的触发角亦为 $180^\circ - \alpha$ 。从而达到了 $\alpha = \beta$ 配合的目的。

2.2.4 其它环节建模与参数设置

$\alpha = \beta$ 配合控制有环流直流可逆调速系统的主要控制电路包括: 给定环节、一个速度调节器 (ASR)、一个电流调节器 (ACR)、反向器、电流反馈环节、速度反馈环节等。参数设置主要有保证

在起动过程中, 转速调节器 ASR 饱和, 使得电机以接近最大电流起动。当转速超调时, 经过两个调节器的调节, 转速很快达到稳态; 在发出停车或反向运转指令时, 原先导通的整流桥处于逆变状态, 另一组整流桥处于待整流状态。电流向电网回馈电能, 使得转速和电流都下降。当电流下降零以后, 原先导通的整流桥处于待逆变状态, 另一组整流器开始整流, 电流开始反向, 电机反接制动, 转速急剧下降直到零或反向运转^[4]。在电动机参数为: $U_N = 220\text{ V}$, $I_N = 136\text{ A}$, $n_N = 1460\text{ r/min}$, $R = 0.5\ \Omega$, $L_m = 0.015\text{ H}$, 系统运动部分的飞轮惯量 $GD^2 = 22.5\text{ N}\cdot\text{m}^2$, 电流反馈系数 $\beta = 0.05\text{ V/A}$ ($\approx 10\text{ V}/1.5I_N$), 转速反馈系数 $\alpha = 0.007\text{ V}\cdot\text{min/r}$ ($\approx 10\text{ V}/n_N$), 电流滤波时间常数 $T_{oi} = 0.002\text{ s}$, 转速滤波时间常数 $T_{on} = 0.01\text{ s}$ 时, 根据工程设计方法设计调节器参数如下: ASR: $K_n = 11.7$; $\tau_n = 0.087$; 上下限幅值 $[10, -10]$

ACR: $K_i = 1.013$; $\tau_i = 0.03$; 上下限幅值 $[10, -10]$

为了检验仿真效果, 给定信号采用复杂信号, 检验不同信号作用时仿真结果。将主电路和控制电路的仿真模型进行连接, 即可得图 5 是 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流直流可逆调速系统的仿真模型。

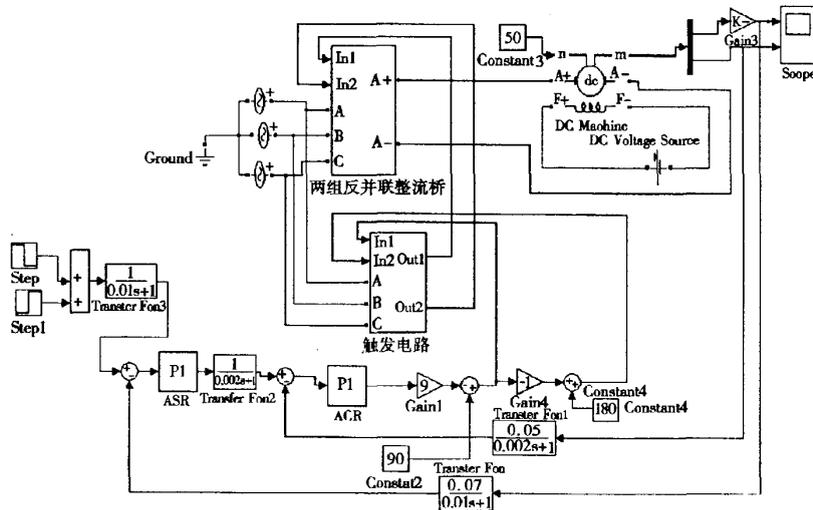


图 5 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流直流可逆调速系统仿真模型

Fig. 5 Simulation model of Simulation of $\alpha = \beta$ matched control DC SR System with loop current

系统仿真参数设置:仿真中所选择的算法为ode23tb, Start 设为 0, Stop 设为 6.0 s。

3 仿真结果

仿真结果如图 6 所示:从仿真结果可以看出,图(a)是当给定正信号 $U_n^* = 10\text{ V}$ 时,在电流调节器 ACR 作用下电机电枢电流接近最大值,使得电机以最优时间准则开始上升,在 0.7 s 左右时转速超调,电流开始下降,转速很快达到稳态;当 1.5 s 时给定反向信号 $U_n^* = -10\text{ V}$ 时,电流和转速

都下降,在电流下降到零以后,电机处于反接制动状态,转速急剧下降,当转速为零后,电机处于反向电动状态。图(b)是给定信号为 $U_n^* = 7\text{ V}$ 时的电机转速和电流曲线,可以看出与图 a 很相似,但稳态转速降低,表明随着给定信号 U_n^* 的变化,稳态转速也跟着变化。图(c)是给定信号 U_n^* 由 -7 V 变成 $+7\text{ V}$,再变成 -7 V 时的转速曲线和电流曲线,表明电机的转速方向由给定电压 U_n^* 的极性确定。

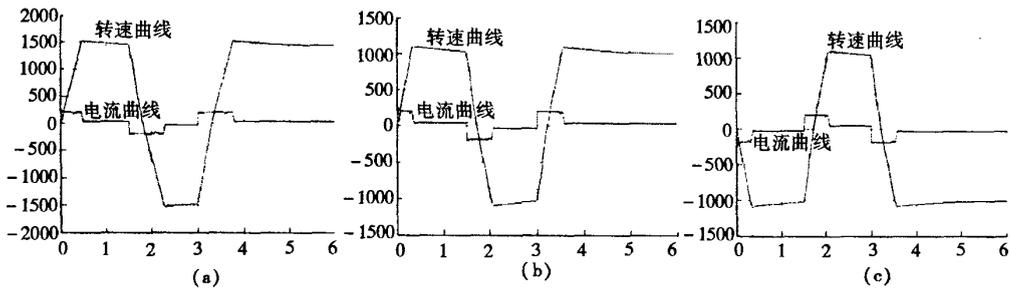


图 6 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流直流可逆调速系统的仿真结果

Fig. 6 Results of simulation of Simulation of $\alpha = \beta$ matched control DC SR System with loop current

4 结语

本文主要是 $\alpha = \beta$ 配合控制有环流直流可逆调速系统模型搭建,转速调节器、电流调节器参数

的设置、转换电路以及 $\alpha = \beta$ 配合电路模型的建立。为了使在电机快速启动、稳定及在电机在制动和反向运转时保证两组整流桥密切配合控制,消除直流平均环流,采用本文设置参数可以满足要求。

参考文献:

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统——运动控制系统(第3版)[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 周渊深. 交直流调速系统与Matlab仿真[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [3] 王志礼. MATLAB应用技术——在电气工程与自动化专业中的应用[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [4] 马志源. 电力拖动控制系统[M]. 北京:科学出版社,2004.

Simulation of $\alpha = \beta$ Matched Control DC SR System with Loop Current Based on Matlab

CHEN Zhong, GU Chun-lei

(School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: The simulation of double close loop of matched control with current DC SR System is studied in this paper. The methods using electrical principle and toolbox of simulink and powerSystem in the Matlab have completed the modeling and simulation of system. The paper has introduced emphatically the model of simulation and parameters of controller. The results of simulation are also obtained and the results of simulation are close to actual situation showing the correction of the model.

Keywords: loop current; double close-loop; setting parameters

(责任编辑:沈建新;校对:范大和)