

文章编号: 1671- 251X(2010) 12- 0036- 05

模糊 PID 控制策略在动态电压恢复器中的应用研究

郝晓弘, 孙红雨, 郝守庆

(兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对动态电压恢复器采用前馈控制方法和 PID 控制方法处理电压跌落问题的不足, 提出了一种模糊 PID 控制策略。该控制策略实现原理: 当电网电压检测系统检测到供电端电压发生跌落时, 使动态电压恢复器投入到电网中运行; 由标准信号产生模块产生与电网电压同步的标准正弦信号, 用该信号与实际电网电压进行比较; 然后通过模糊 PID 控制器调节得到需要实际补偿的电压给定信号, 并利用控制环节生成逆变器所需要的 PWM 信号, 通过驱动电路去控制逆变器功率开关的通断; 逆变器输出电压经滤波后通过串联变压器注入电网, 产生补偿电压用于抵消电网电压的波动。仿真结果验证了该控制策略的有效性。

关键词: 电网; 电压跌落; 动态电压恢复器; 模糊 PID 控制; DVR

中图分类号: TD608 **文献标识码:** A

收稿日期: 2010- 09- 06

基金项目: 甘肃省科技攻关资助项目(GS0442A522001224)

作者简介: 郝晓弘(1965-), 男, 甘肃兰州人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电能质量分析与控制、先进控制理论。E-mail: sunhongyu123@126.com

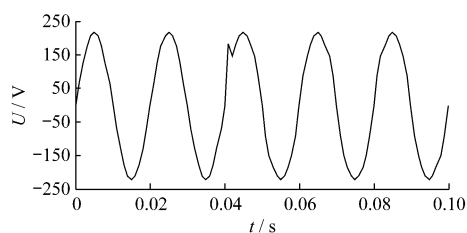


图 4 基于无模型自适应控制策略的单相 DVR 系统的负载电压仿真波形

无模型自适应控制能够更好地保持负载电压的稳定, 整体补偿效果比较理想。

4 结语

理论分析与仿真结果表明, 当电网电压发生跌落并有谐波时, 基于无模型自适应控制策略的 DVR 系统可以快速及时地跟踪电网电压的变化, 把电压调节到额定值, 具有很好的动态跟踪性能, 而且不需要建模, 实现方便。所以, 无模型自适应控制技术可作为 DVR 控制的一种新型控制方法。

参考文献:

[1] 肖湘宁, 徐永海, 刘连光. 考虑相位跳变的电压凹陷

动态补偿控制器研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(1): 64-69.

[2] 林海雪. 现代电能质量的基本问题[J]. 电网技术, 2001, 25(10): 5-12.

[3] 雷宪章, RETZMANN D, WEINHOLD M. 利用电能质量调节器改善配电网络的电能质量[J]. 电网技术, 2000, 24(8): 8-12.

[4] NIELSEN J G, NEWMAN M, NIELSEN H, et al. Control and Testing of a Dynamic Voltage Restorer at Medium Voltage Level[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 2004, 19(3): 806-813.

[5] FRANCISCO J, MANUEL V, JOSE C. Voltage Sag Correction by Dynamic Voltage Restorer Based on Fuzzy Logic Control[C]// Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2003, Montreal: 421-422.

[6] 杨潮, 韩英铎, 马维新. 单相串联电压质量补偿器控制器的研究[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(15): 45-48.

[7] 侯忠生. 非线性系统参数辨识、自适应控制及无模型学习自适应控制[D]. 沈阳: 东北大学, 1994.

[8] 侯忠生. 非参数模型及其自适应控制理论[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

Research of Application of Fuzzy PID Control Strategy in DVR

HAO Xiao-hong, SUN Hong-yu, HAO Shou-qing

(College of Electrical and Information Engineering of Lanzhou University of Technology,
Lanzhou 730050, China)

Abstract: In view of deficiency that DVR uses feed forward control method and PID control method to process voltage sag problem, the paper proposed a fuzzy PID control strategy. Implementing principle of the control strategy is as follows: when detection system of power grid voltage detects voltage of power supply appears sag, DVR is put into power grid; a standard sine signal is generated by standard signal model which is synchronous with power grid voltage, and the signal is compared with actual power grid voltage; then a compensated voltage set signal is obtained after fuzzy PID controller regulates the signal, and a PWM signal needed by inverter is produced by control link, which controls on/off of power switch of inverter through driving circuit; the filtered output voltage of inverter is injected into power grid through series transformer to counteract fluctuation of power grid voltage. The simulation result proved effectiveness of the control strategy.

Key words: power grid, voltage sag, dynamic voltage restorer, fuzzy PID control, DVR

0 引言

电压跌落是衡量电能质量的一个重要指标, 人们对电压跌落的关注程度要远高于电能质量的其它问题^[1]。动态电压恢复器 (Dynamic Voltage Restorer, DVR) 是改善电压型电能质量问题最经济、有效的手段。世界上的第一台 DVR 由美国西屋公司研制成功, 并于 1996 年 8 月在美国 DUKE 电力公司投入运行。近年来, 国内专家和研究机构也开展了 DVR 的研究工作, 但仅停留在对软件仿真和样机模拟上。

控制策略是 DVR 进行控制的重要内容。前馈控制方法^[2]控制简单、具有较快的动态特性, 能保证控制系统的稳定性, 但是系统存在稳定裕度不够和弱阻尼特性, 会出现补偿电压的长时间等幅振荡现象, 对负载产生不利的影响。此外, 前馈控制方法无法补偿系统电流在滤波器上产生的压降。PID 控制方法是目前应用最广泛、最成熟的一种控制技术^[3]。PID 控制方法是将偏差量进行比例、积分、微分的线性组合, 从而构成控制量对被控对象进行控制, 具有参数易于整定、控制简单、鲁棒性好、可靠性高等优点。但是, PID 控制方法须按一定的控制性能要求,

整定出一组固定 K_p 、 K_i 、 K_d 参数, 不能兼顾静态与动态、跟踪设定值与抑制扰动之间的矛盾, 使系统的控制效果不能达到最佳。针对上述问题, 本文将模糊控制和 PID 控制相结合, 设计了一种模糊 PID 控制器^[4], 将该控制器用于 DVR 的控制环节, 通过模糊规则推理实时整定 PID 控制参数, 得到理想的控制精度, 实现 DVR 系统快速、准确补偿凹陷电压的目的。

1 DVR 的主电路分析

DVR 的主电路主要包括储能装置、电压型逆变器、滤波器和串联变压器 4 个部分, 如图 1 所示 (其中 DC 为直流储能单元)。储能装置的作用是在电网电压出现偏差时, 提供能量给 DVR; 逆变器通过对储能装置提供的直流电压的逆变产生补偿电压; 滤波器的作用是消除由逆变器产生的高次谐波; 串联变压器是 DVR 与电网的耦合部分, 一般采用串联的形式将逆变器产生的补偿电压补偿到电网中。

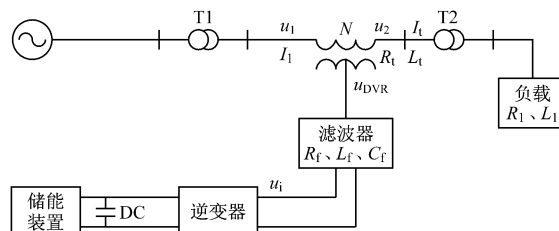


图 1 DVR 的主电路

分析图 1, 可得整个系统 (将 DVR 通过耦合变压器连接到电网的系统) 的方程组为

收稿日期: 2010-09-06

基金项目: 甘肃省科技攻关资助项目 (GS0442A522001224)

作者简介: 郝晓弘 (1965-), 男, 甘肃兰州人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电能质量分析与控制、先进控制理论。E-mail: sunhongyu123@126.com

$$u_2 = u_1 - u_{DVR}$$

$$u_i = u_c + I_f R_f + L_f \frac{dI_f}{dt}$$

$$I_f = I_c + nI_1$$

$$u_{DVR} = n \left[u_c - n \left(I_1 R_t + L_t \frac{dI_1}{dt} \right) \right]$$

$$u_1 = I_1 R_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt}$$

解方程组得

$$u_2 = u_1 - u_{DVR} = \frac{K_1 u_1 + K_2 u_i}{K}$$

式中: u_1 为 DVR 前端系统(DVR 前面部分)电压; I_1 为电流; u_2 为后端负荷电压; u_{DVR} 为 DVR 的输出电压; u_c 为逆变器输出电压耦合到电网的电压; R_t 和 L_t 为负荷的等效阻抗; N 为变压器变比, $N = 1/n$; I_f 为漏抗电流; R_f 为变压器的等效电阻; L_f 为漏抗; I_f 为滤波电流; R_f 和 L_f 为 LC 滤波器的阻抗; C_f 为滤波电容; u_i 为逆变器的输出电压; K_1 、 K_2 、 K 为控制系数。

2 模糊 PID 控制策略

2.1 模糊 PID 控制器的设计

模糊 PID 控制器可动态改变 PID 控制器参数, 其表达式为

$$\begin{cases} K_p(k) = K_p(k-1) + \gamma_p(k) \Delta K_p \\ K_i(k) = K_i(k-1) + \gamma_i(k) \Delta K_i \\ K_d(k) = K_d(k-1) + \gamma_d(k) \Delta K_d \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\gamma_p(k)$ 、 $\gamma_i(k)$ 、 $\gamma_d(k)$ 为校正速度量, 随校正次数的增加, 它们的值减小。

从式(1)可看出, 下一步的控制器参数由当前的控制器参数与模糊推理得出的控制器参数增量的加权和构成。这样, 可以按式(2)计算控制量:

$$u(k) = K_p(k) e(k) + K_i(k) \sum_{i=0}^k e(i) + K_d(k) \times [e(k) - e(k-1)] \quad (2)$$

式中: $e(k)$ 为反馈后的偏差量。

由于计算 $\sum_{i=0}^k e(i)$ 较困难, 所以引入状态变量

$$x(k) = \sum_{i=0}^k e(i), \text{ 可以推导出状态方程为}$$

$$x(k+1) = x(k) + e(k)$$

这时, 式(2)可以改写为

$$u(k) = K_p(k) e(k) + K_i(k) x(k) + K_d(k) \times [e(k) - e(k-1)]$$

模糊 PID 控制器的结构如图 2 所示。

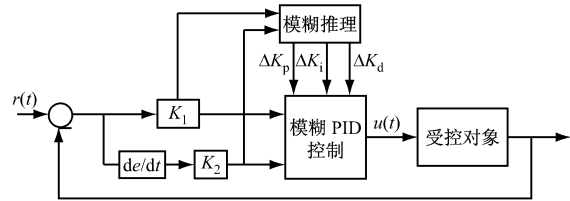


图 2 模糊 PID 控制器的结构

2.2 基于模糊 PID 控制的 DVR

2.2.1 基于模糊 PID 控制的 DVR 工作原理

基于模糊 PID 控制的单相 DVR 工作原理如图 3 所示。当电网电压检测系统检测到供电端电压发生跌落时, 使 DVR 投入到电网中运行。根据检测到的电网电压, 由标准信号产生模块产生与电网电压同步的标准正弦信号, 用该信号与实际电网电压进行比较; 然后通过模糊 PID 控制器调节得到需要实际补偿的电压给定信号, 并利用控制环节生成逆变器所需要的 PWM 信号, 通过驱动电路去控制逆变器功率开关的通断, 逆变器输出电压经滤波后通过串联变压器注入电网, 产生补偿电压用于抵消电网侧电压的波动, 从而确保负载侧电压的稳定性, 提高整个电网的电压质量^[5-7]。

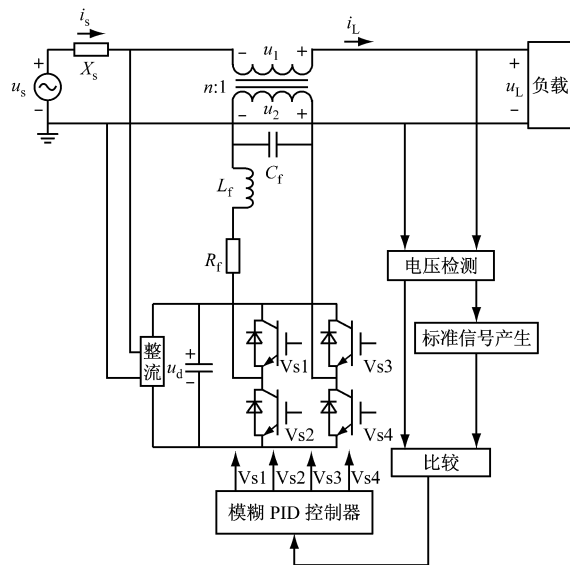


图 3 模糊 PID 控制的单相 DVR 工作原理

2.2.2 基于模糊 PID 的 DVR 控制器的设计

确定基于模糊 PID 的 DVR 控制器的结构也就是确定模糊控制器(用模糊控制器对 3 个 K 值进行动态的修正, 以达到期望的结果)的输入变量和输出变量(即控制量)。采用偏差 E 和偏差变化率 EC 作为模糊控制器的输入, 模糊控制器的输出为 K_p 、 K_i 、 K_d 。 E 、 EC 和 K_p 、 K_i 、 K_d 的模糊子集为 {NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、Z(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大)}; E 、 EC 、 K_d 的论域为 $\{-3, -2,$

$-1, 0, 1, 2, 3$ }; K_p 的论域为 $\{-0.45, -0.3, -0.15, 0, 0.15, 0.3, 0.45\}$; K_i 的论域为 $\{-0.06, -0.04, -0.02, 0, 0.02, 0.04, 0.06\}$ 。隶属度函数在模糊子集 NB 处选择 Z 型函数 zmf, 在模糊子集 PB 处选择 S 型函数 smf, 其余均采用三角形对称的全交迭函数。基于 IF E AND EC THEN $(K_p)(K_i)(K_d)$ 规则的模糊蕴含关系, 根据实际的操作经验, 得到 49 条模糊控制规则, 建立模糊控制规则表。本文选用 Matlab 模糊逻辑工具箱设计模糊控制器 (Matlab 工具箱中有模糊控制器的模块), 并进行模糊控制仿真。

在 Matlab 中运行 FUZZY 命令, 打开模糊逻辑编辑窗口 FIS Editor, 建立双输入三输出的模糊系统, 模糊推理选用 Mamdani 推理方法, 去模糊化则选用重心法 (centroid); 接着进入隶属度函数编辑器

Membership Function Editor 窗口, 选用三角形函数 trimf、Z 型函数 zmf 和 S 型函数 smf 建立相应的 E 、 EC 、 K_p 、 K_i 、 K_d 和隶属度函数; 然后在 Rules Editor 窗口中输入上述 49 条控制规则。建立好模糊推理系统后, 取名为“test”输出到工作区, 可供仿真时调用。

2.2.3 仿真分析

为了验证理论分析, 在 Matlab/Simulink 软件平台对单相 DVR 系统进行了仿真研究。系统参数: 电网电压为 220 V, 基波频率为 50 Hz, 逆变器 IGBT 开关频率为 20 kHz, PWM 信号发生器为单极性调制, 载波频率为 12 kHz; 串联变压器变比为 220/50, 滤波电感为 0.3 mH, 滤波电容为 18 μ F。模糊 PID 控制系统仿真模型如图 4 所示, 加权系数初始值取区间 $[-0.5, 0.5]$ 上的随机数。

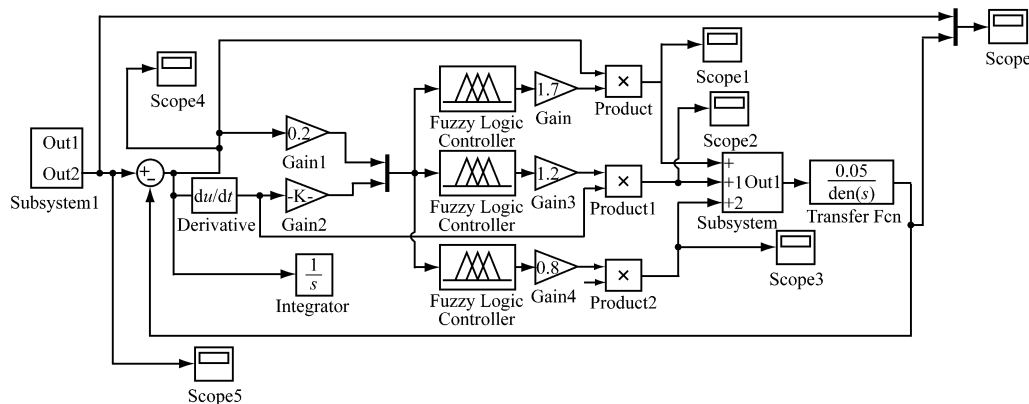


图 4 模糊 PID 控制系统仿真模型

仿真过程中, 电网电压在 0.05 s 发生电压跌落, 在 0.11 s 恢复正常。图 5 为电网电压跌落波形, 图 6、图 7 分别为采用传统 PID 控制的电压补偿量波形和采用模糊 PID 控制的电压补偿量波形。从图 6、图 7 可看出, 基于模糊 PID 控制的 DVR 系统能有效抑制暂态电压过冲和稳态下的谐波电压。

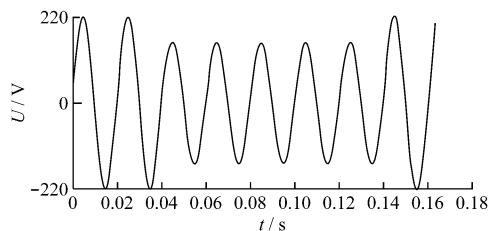


图 5 电网电压跌落波形

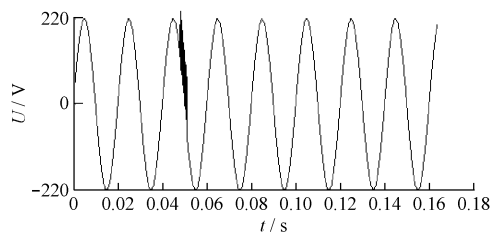


图 6 采用传统 PID 控制的电压补偿量波形

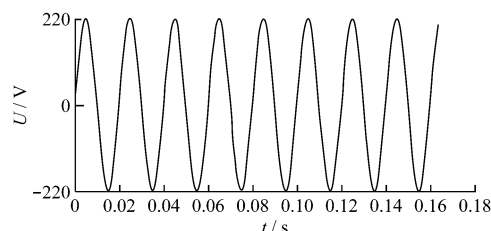


图 7 采用模糊 PID 控制的电压补偿量波形

3 结语

针对谐波和非线性负载引起的电网电压跌落问题, 将模糊 PID 控制策略应用于 DVR 系统中。采用该控制策略的 DVR 系统不仅能补偿电压凹陷, 还能有效补偿原边电压谐波、非线性负载、DVR 自

身所造成的电压波形畸变, 提高了 DVR 控制系统的稳定裕度、动态响应速度。仿真结果表明, DVR 系统输出电压得到明显改善, 验证了该控制策略的有效性。

文章编号: 1671- 251X(2010)12- 0040- 03

煤矿供电系统雷击情况的仿真研究

赵德山

(郑州煤炭工业(集团)有限责任公司, 河南 郑州 450042)

摘要: 选取矿区常用的 110 kV 级的输电线路作为仿真研究对象, 采用 ATP-EMTP 电磁暂态分析软件建立了雷击输电线路的数学模型, 通过改变杆塔接地电阻值的大小以及安装与不安装线路避雷器对雷击过程的影响进行了仿真分析。仿真结果表明, 雷击杆塔顶时, 输电线路杆塔接地电阻值越大, 输电线路的耐雷水平会降低; 输电线路安装避雷器可有效降低输电线路过电压。

关键词: 煤矿电网; 输电线路; 雷击; 接地电阻; 避雷器; 电磁暂态分析; ATP-EMTP

中图分类号: TD608 **文献标识码:** A

Simulation Research of Lightning of Mine Power Supply System

ZHAO De shan

(Zhengzhou Coal Industry (Group) Co., Ltd., Zhengzhou 450042, China)

Abstract: The paper selected 110 kV transmission line of mine area for simulation research object and used ATP-EMTP electromagnetic transient analysis software to establish mathematical model of transmission line struck by lightning. It made simulation analysis for influence of lightning process by changing grounded resistance value of tower and installing or not installing lightning arrester. The simulation result showed that when lightning strikes top of tower, the grounded resistance value of tower is bigger, the lightning withstand level of transmission line is lower; installing lightning arrester in transmission line can reduce overvoltage effectively.

Key words: coal mine grid, transmission line, lightning, grounded resistance, lightning arrester, electromagnetic transient analysis, ATP-EMTP

0 引言

煤矿电网是将电能输送和分配到矿区各用电负

荷的系统, 主要由输电网、配电网组成。在实际生产中, 除因煤矿电网结构薄弱、停电检修、拉闸限电等因素导致配电网供电可靠性下降外, 雷击也是造成电网供电可靠性下降的一个重要因素^[1-2]。因此, 有必要用科学的方法对煤矿电网防雷技术进行研究, 提出煤矿防雷措施, 用于降低雷击跳闸率, 减少雷击

收稿日期: 2010- 08- 13

作者简介: 赵德山(1963-), 男, 高级工程师, 1988 年毕业于焦作矿业学院, 现主要从事煤矿机电管理工作。

参考文献:

- [1] 郝晓弘, 杜先君, 陈伟. 动态电压恢复器(DVR)研究现状与发展综述[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(5): 1259-1264.
- [2] CHEN S, JOOS G. Series and Shunt Active Power Conditioners for Compensating Distribution System Faults [C]//Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2000, Montreal: 1182-1186.
- [3] 黄瀚, 杨潮, 韩英铎, 等. 配电网动态电压调节器控制

策略的研究[J]. 电网技术, 2002, 26(1): 1-4.

- [4] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [6] KUSKO A, THOMPSON M T. 电力系统的电能质量[M]. 张一工, 谭伟璞, 刘晋, 译. 北京: 科学出版社, 2009.
- [7] SHORT T A. 电可靠性与电能质量[M]. 徐政, 译. 北京: 机械工业出版社, 2008.