

Buck变换器的数字模糊PID控制

作者: 华南理工... 文章来源: 电子查询网 点击数2461 更新时间: 2005-8-14 17:44:14 文章录入: 飞雪无痕 责任

摘要: 由Buck电路的状态空间平均法, 可得到其电压控制下的动态小信号模型, 并应用PID制。为提高控制精度和抗干扰能力, 用模糊控制器对PID参数进行实时整定, 给出了仿真与实论。

关键词: Buck变换器; 状态空间平均法; 模糊控制; PID控制

1 引言

在DC/DC变换器中, 电压反馈控制因具有设计分析较简单、低阻抗功率输出、负载调整率被广泛应用于DC/DC变换器中。其缺点是何输入电压或输出负载的变化必须首先转化为输出然后再经反馈环采样控制调节, 这意味着动态反应速度慢。输入电压变化带来的问题, 一般可技术解决。而要获得系统的快速性, 主要有以下方案可供选择:

- 1) 引入电流负反馈;
- 2) 在主电路中增加阻尼极点或补偿极点;
- 3) 提高开关频率以减小低通滤波器电感或电容值;
- 4) 采用PID调节。

其中唯有4) 采用PID调节是较为可行的方法[1]。但单纯的PID调节对于处理DC/DC变换器题不够理想。模糊控制正好可以弥补这方面的不足。

近年来, 随着芯片技术的不断发展, 特别是DSP芯片价格的下降和速度的提高, DC/DC变换向着数字化、智能化控制方向发展。这是开关稳压电源高精度控制发展的必然趋势, 也是21世源研究的一个重要课题。

考虑到以上各种因素, 本文以Buck电路为例, 介绍电压反馈控制模式下, DC/DC变换器系统控制的原理、方法与实现。

2 Buck电路动态小信号分析

考虑实际电感和电容存在电阻值, 设分别为RL、RC(如图1所示)。根据状态空间平均法, 路的状态平均方程为:

$$\dot{X} = AX + BU_m \quad (1)$$

$$U_{out} = CX \quad (2)$$

式中: $X = \begin{bmatrix} I_L \\ U_C \end{bmatrix}$;

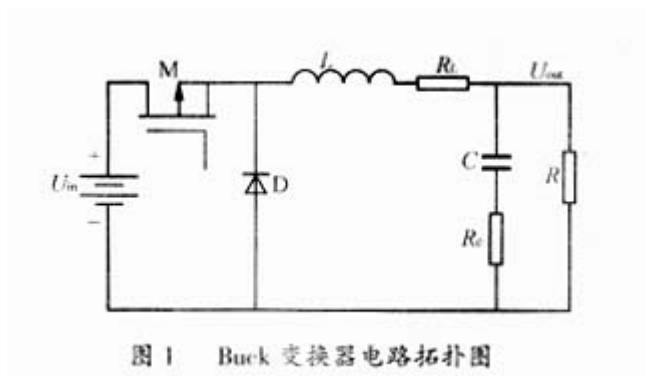


图1 Buck 变换器电路拓扑图

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_c R + R_L R + R_c R_L}{L(R + R_c)} & -\frac{R}{L(R + R_c)} \\ \frac{R}{C(R + R_c)} & -\frac{1}{C(R + R_c)} \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{d}{L} \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} \frac{R_c R}{R + R_c} & \frac{R}{R + R_c} \end{bmatrix};$$

U_{in} 为输入直流电压;

U_{out} 为输出电压。

引入小信号变量: $x = X + \hat{x}$, $u_{in} = U_{in} + \hat{u}_{in}$, 及 $d = D + \hat{d}$ 代入式(1)得:

$$\hat{\dot{x}} = A \hat{x} + B \hat{u}_{in} + E \hat{d} \quad (3)$$

式中: $E = \begin{bmatrix} \frac{U_{in}}{L} \\ 0 \end{bmatrix};$

D为占空比。

式(3)即为Buck电路动态小信号状态平均方程,将式(3)转换到s域并解之,可得到电压反馈信号模型的传递函数:

$$\hat{U}_{out}(s) = \frac{R}{R + R_L} (R_c R s + 1) [D \hat{u}_{in}(s) + U_{in} \hat{d}(s)] / \left[LC \frac{R + R_c}{R + R_L} s^2 + \frac{R_c R + R_L R + R_c R_L}{(R + R_L)(R + R_c)} s + 1 \right] \quad (4)$$

3 模糊PID控制实现

由式(4)可知,电压反馈控制为二阶系统,而二阶系统是一个有条件的稳定系统,只有行精心设计和计算,满足一定条件,才能使闭环系统稳定工作。考虑到输入电压变化量 $\hat{u}_{in}(s)$ 和量 $\hat{d}(s)$ 均对输出 $\hat{U}_{out}(s)$ 有影响,变换器系统的开环控制框图如图2所示。

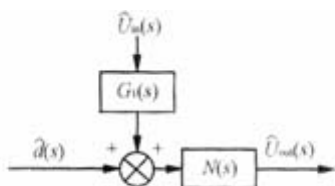
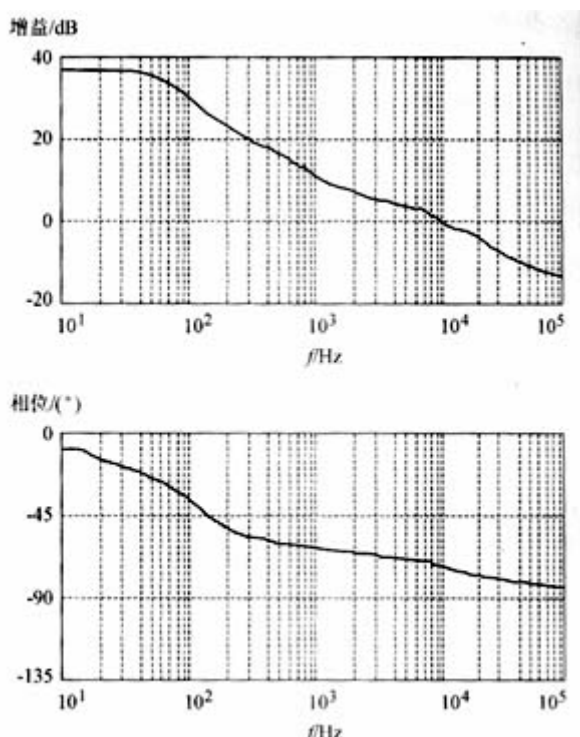


图2 Buck 变换器开环控制方框图

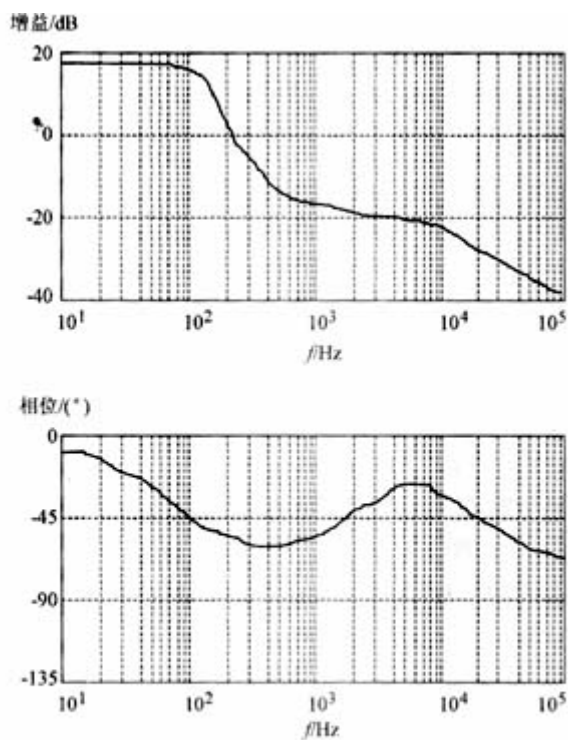
图中 $N(s)$ 为变换器输出对 $d(s)$ 而言的系统开环传递函数， $G_1(s)$ 可由(4)得出：

$$G_1(s) = \frac{D}{U_{in}}$$

在电压负反馈控制中，如果引入输入电压前馈校正控制环，就能消除输入电压波动对系统很好地改善系统的控制性能。为进一步提高控制性能与精度，控制电路采用具有微分和积分的PID控制。PID控制器中微分控制能预测事物的变化趋势，可以补偿由低通滤波器引起的时间滞后，能消除系统静态误差。从而采用PID控制，能增加系统的快速性和有效抑制超调，使系统动态特性得以改善。由系统的BODE图(图3)可以看出，系统开环的频率特性较差，采用PID控制后，系统的相角裕度，同时也降低了系统在低频时的增益。应用模糊控制对PID参数 K_p 、 K_i 、 K_d 实时调整能改善PID的控制性能、自调整能力，从而可提高整个系统的控制精度和抗干扰能力。



(a) 开环系统的频率特性



(b) PID控制系统的频率特性

图3 系统开环及使用PID控制的频率特性BODE图

3.1 控制电路设计

系统的闭环控制框图如图4所示。取输出电压的误差和微分量，送入模糊控制器和PID控制器根据输入控制量偏差实时给出PID的参数，再由PID控制器给出控制信号，从而实现对变换制。取输入电压的误差送入系统前馈校正电路中，输出补偿量加入到模糊PID控制输出量，和器的占空比控制量d。

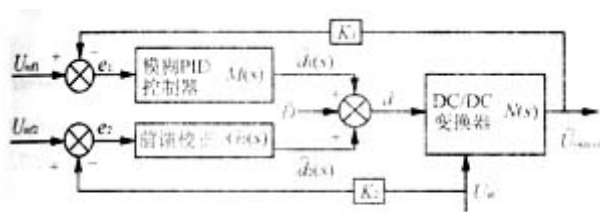


图4 Buck变换器模糊PID闭环控制框图

图中： U_{ref2} 、 U_{ref1} 分别为输入和输出参考电压； \hat{D} 采用上一周期的输出占空比值，而不同样可确保系统的平滑性和稳定性； $M(s)$ 为模糊PID控制器的传递函数； $G_2(s)$ 为前馈补偿函数。

3.2 PID参数的整定

对于线性系统，PID参数的整定方法有多种，如：

- 1) Ziegler Nichols频率响应法^[2]；
- 2) Cohen coon响应曲线法^[3]；
- 3) 基于积分平方准则ISE整定法^[4]；

- 4) 极点配置法;
- 5) 根轨迹法;
- 6) 工程整定法等等。

实际上, DC/DC变换器为一非线性系统, 而PID控制只适用于线性系统或有限范围波动的非一组事先整定好的PID参数, 难以达到很好的控制效果, 故其适用范围有限。为提高PID控制系和适用范围, 必须根据偏差实时地改变 K_p 、 K_i 、 K_d 这三个参数, 即实时调节PID控制器的增益。图5所示。

首先可由DC/DC变换器静态模型, 依据上述线性PID参数整定法, 得到较优的 \bar{K}_p 、 \bar{K}_i 和 \bar{K}_d 值。模糊控制器依据偏差对应每一量化等级, 都可得到相对应范围内较优的 \bar{K}_p 、 \bar{K}_i 和 \bar{K}_d 瞬时

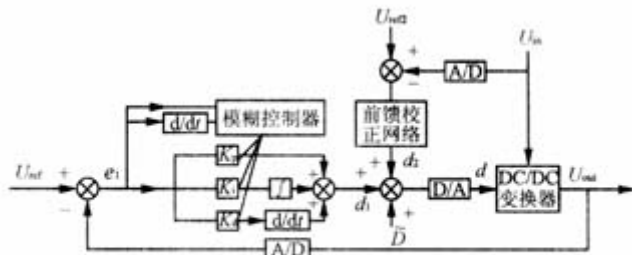


图5 Buck 变换器模糊 PID 控制框图

$$\begin{cases} K_p' = \bar{K}_p + G_p(e, \Delta e); \\ K_i' = \bar{K}_i + G_i(e, \Delta e); \\ K_d' = \bar{K}_d + G_d(e, \Delta e) \end{cases}$$

一般来说 K_p' 在偏差 e 绝对值较小时取较小值, 反之取较大值, 这样有利于加快响应速度很好的稳定性; K_i' 在偏差 e 绝对值较小时取较大值, 反之取较小值, 这样既有利于保证稳态会引起积分饱和而使超调增大、调节时间延长; 微分系数 K_d' 在偏差 e 的绝对值较小时取大小值, 这样有利于加快对小偏差的反应速度, 提高控制器对干扰的灵敏度, 在出现干扰时可及

4 仿真及实验结果

本控制系统实验采用TMS320F240型DSP, 输入交流电压为110~250V, 输出为直流10V, 频120μH, C=960μF, 带电阻性负载。应用PSPICE对本系统进行了仿真, 仿真结果如下图6所示。5所示, 在 $t=0.035s$ 时, 系统受到输入电压的阶跃干扰。由仿真和试验结果可知, 模糊PID控制控制效果和较快的动态性能。

5 结语



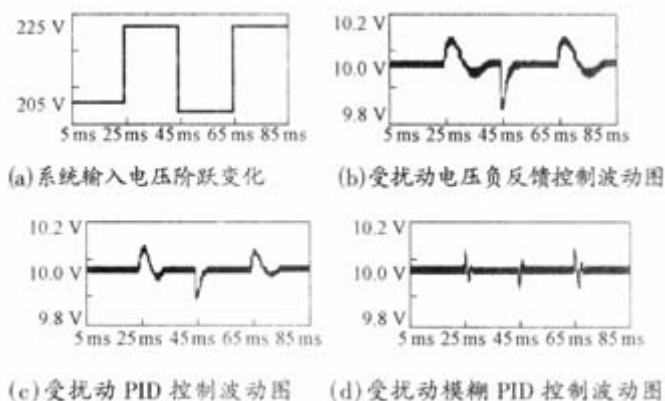


图6 仿真结果

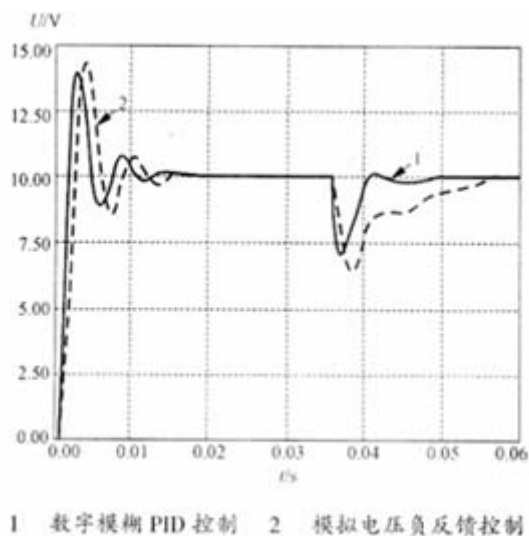


图7 系统启动和受输入电压干扰响应曲线

本文通过状态平均法, 获得了Buck电路电压反馈控制下的动态小信号模型和传递函数, 采用数字模糊PID控制。通过使用对非线性、时滞系统具有较好控制效果的模糊控制, 对PID参数进行了优化, 提高了PID控制系统的精度、响应速度和适用范围。仿真与实验结果表明, 采用本控制方法, 具有较高的电压调整精度和较快的动态响应速度, 适用范围大, 抗干扰能力强等特点, 特别是抗输入电压扰动。由于采用数字控制, 控制系统可调整性好, 抗外界干扰能力也得到加强。另外, 如果本控制方法与模糊控制相结合, 利用遗传算法进行对模糊规则的设计和模糊控制, 则可弥补模糊控制器缺乏系统设计方法实现智能控制的不足[5]。

参考文献

[1]毛鸿, 吴兆麟. 高精度开关稳压电源的系统分析与设计[J]. 电力电子技术, 1999, 33(2)

[2]Ziegler J G, Nichols N B. Optimum Setting for Automatic Controllers. Trans. AIEE, 1946, 65: 759.

[3] Cohen G N, Coon G A. Theoretical Considerations of Retarded Control. Trans. AIEE, 1956, 75: 287.

[4] Lopez A M et al. Controller Tuning Relationships Based On Integral Performance. Instrumentation Technology.

[5] Hyun Joon Cho. Fuzzy PID hybrid control: Automatic rule generation using algorithms. In Fuzzy Sets and Systems 1997, 92: 305~ 316.

[6] B. Arbetter and D. Maksimovic. Feed forward pulse width modulators for power converters. in proc, IEEE power electronics, Spec, conf(PESC) Record, 1995, 601~

 打印本