

基于离散变结构控制的 DC/DC 变换器

孟光伟, 瞿少成, 蔡汉强, 姚琼荃

(海军工程大学 电气工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要: 运用趋近律形式的离散变结构控制原理, 设计了 Buck 型 DC/DC 变换器. 设计方法简单, 易于实现. 通过仿真和实验证实了离散变结构控制具有系统内部参数变化时的鲁棒性, 并改善了系统的稳态性能.

关键词: DC/DC 变换器; 离散系统; 变结构控制

中图分类号: TM571.6⁺5

文献标识码: A

Design of DC/DC converter based on discrete variable structure control theory

MENG Guang-wei, QU Shao-cheng, CAI Han-qiang, YAO Qiong-hui

(Department of Electrical Engineering, Naval University of Engineering, Hubei Wuhan 430033, China)

Abstract: Based on the discrete-time variable structure control theory with a new reaching law, Buck-DC/DC converter is designed. The results of the computer simulation and experiment show that the discrete-time variable structure system is robust and the controller can improve steady-state performance of the system.

Key words: DC/DC converter; discrete-time systems; variable structure control

1 引言 (Introduction)

变结构控制具有不变性和鲁棒性, 已经引起了控制界的广泛重视. 连续变结构控制已建立起了较为完整的理论体系, 并在工程领域的应用研究方面取得了丰硕的成果. 但是, 由于滑模结构系统一般采用数字计算机实现其算法, 因而系统是离散的, 基于连续滑模变结构理论进行的设计和应用只能算是一种近似方法, 而基于离散变结构控制理论的设计和应用却很少见诸于文献. 文[1]提出了一种新的趋近律形式的离散变结构控制律 (即 PCV 控制策略), 较好地克服了稳态抖动现象. 本文将 PCV 控制策略应用于 DC/DC 变换器, 设计了 Buck 型 DC/DC 变换器的离散变结构控制器. 仿真结果表明, 该控制系统具有很强的鲁棒性; 为进一步证实这一点, 制作了一套实际装置; 实验结果显示, 基于离散变结构控制的 DC/DC 变换器的确具有系统内部参数变化时的鲁棒性.

2 基于离散变结构控制的 Buck 型 DC/DC 变换器的设计 (Design of Buck-DC/DC converter based on discrete variable structure control theory)

控制系统结构如图 1 所示. V_g, V_o, V_f, u 分别表示变换器的输入电压、输出电压、输出电压参

考、离散变结构控制器的输出. Buck 型变换器对输出的传递函数为

$$G(S) = \frac{V_o}{d} = \frac{V_g}{S^2 LC + S \frac{L}{R} + 1}. \quad (1)$$

式(1)中, R, L, C 的含义如系统结构图所示, d 为 PWM 脉冲占空比. PWM 调制器的传递函数为

$$\frac{d}{u} = k_p. \quad (2)$$

式(2)中 k_p 为常数. 取状态变量 $x_1 = V_o, x_2 = \dot{V}_o$ 由式(1), (2), 可得系统的状态方程为

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -\frac{1}{LC} x_1 - \frac{1}{RC} x_2 + \frac{k_p V_g}{LC} u. \end{cases} \quad (3)$$

用矩阵形式表示为

$$\dot{X} = \bar{A}X + \bar{b}u. \quad (4)$$

式(4)中

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k_p V_g}{LC} \end{bmatrix}.$$

在已知电路元件参数的情况下, 可取采样周期 T , 将系统状态方程(4)离散化得

$$X(k+1) = AX(k) + bu(k). \tag{5}$$

引用文[1]的离散变结构趋近律

$$S(k+1) = \begin{cases} (1-qT)S(k) - \epsilon T \operatorname{sgn}(S(k)), & \|X(k)\|_1 > 1, \\ (1-qT)S(k) - \epsilon T \|X(k)\|_1 \operatorname{sgn}(S(k)), & \|X(k)\|_1 \leq 1, \end{cases} \tag{6}$$

取切换函数

$$S(k+1) = C^T[X(k+1) - H]. \tag{7}$$

式(7)中 $H = \begin{bmatrix} V_f \\ 0 \end{bmatrix}$. 将式(5)代入式(7)得

$$S(k+1) = C^T[AX(k) + bu(k) - H]. \tag{8}$$

由式(6),(8)可得离散变结构控制律

$$u(k) = \begin{cases} -(C^Tb)^{-1}[C^TAX(k) - C^TH - (1-qT)S(k) + \epsilon T \operatorname{sgn}(S(k))], & \|X(k)\|_1 > 1, \\ -(C^Tb)^{-1}[C^TAX(k) - C^TH - (1-qT)S(k) + \epsilon T \|X(k)\|_1 \operatorname{sgn}(S(k))], & \|X(k)\|_1 \leq 1. \end{cases} \tag{9}$$

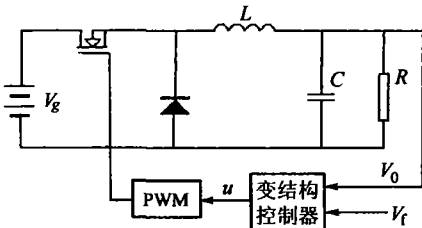


图 1 控制系统结构图
Fig. 1 Structure of control system

3 仿真结果 (Simulation results)

按照控制原理图 1 和控制律式(9)设计 DC/DC 变换器, 其参数为: $V_g = 36V, L = 28\mu H, C = 2000\mu F, V_f = 15V$, 为跟实验结果作相应对比, 当 $R = 2.6\Omega$ 时取 V_0 初值为 $3.5V$, 当 $R = 4.1\Omega$ 时取 V_0 初值为 $4.5V$, 当 $R = 6\Omega$ 时取 V_0 初值为 $6V$; 控制律式(9)中取 $q = 1, \epsilon = 2$; 另按极点配置原理^[2]取切换向量 $C^T = [5 \ 1]$. 由于控制量 $u(k)$ 应用了文[1]中的控制策略, 因此系统具较好的动态过程, 且克服了稳态抖振现象. 控制量的改善和稳态抖振的消除, 使得系统具有较好的动态响应, 并保持了变结构控制的鲁棒性特点. 控制器输出 $u(k)$ 的仿真结果如图 2 所示, 其中 a, b, c 分别为 R 等于 $2.6\Omega, 4.1\Omega, 6\Omega$ 时的输出.

输出电压 V_0 仿真结果如图 3 所示. 其中 a, b, c

分别为 R 等于 $2.6\Omega, 4.1\Omega, 6\Omega$ 时的输出电压.

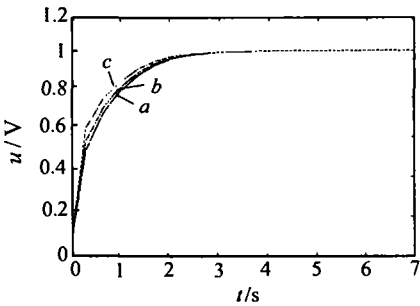


图 2 控制器输出
Fig. 2 Output of controller

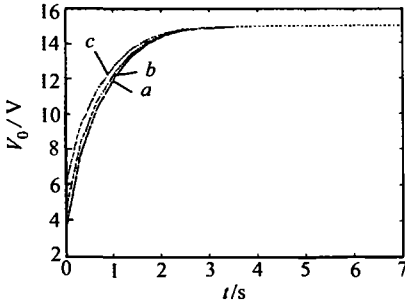


图 3 输出电压 V_0
Fig. 3 Output voltage V_0

4 实验结果 (Experiment results)

实验结果表明采样周期 T 较小时, 控制效果更好. 为便于实验记录, 设定系统的采样周期 $T = 0.35s$. 控制律(9)中常系数的值均取为当 $R = 4.1\Omega$ 时的值, 来观察实际参数 R 变化时的输出电压部波形. 实验装置采用 89C52 芯片, 控制律通过编程实现. 在不同负载下输出电压波形的实验结果如图 4~6 所示.

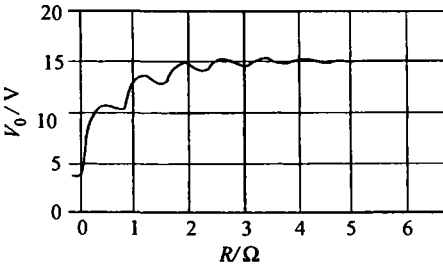


图 4 R 为 2.6Ω 时的输出电压
Fig. 4 Output voltage with $R=2.6\Omega$

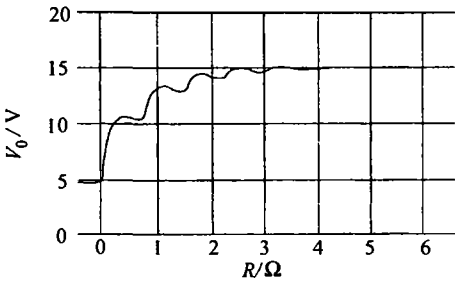


图 5 R 为 4.1Ω 时的输出电压
Fig. 5 Output voltage with $R=4.1\Omega$

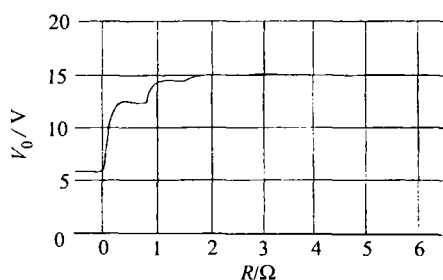


图6 R 为 6Ω 时的输出电压
Fig. 6 Output voltage with $R = 6\Omega$

5 结语(Conclusion)

本文将一种新的离散变结构控制策略(即 PCV 控制)应用于 DC/DC 变换器,设计了离散变结构控制器,具有算法简单,易于用单片机实现控制的特点,通过改变 q, ϵ 的数值,可实现对系统动态过程的调整.仿真和实验结果表明,基于离散变结构控制的 DC/DC 变换器,在系统内部参数变化时具有很好的鲁棒性,同时,克服了文[3]提出的指数趋近律下的稳态抖动现象.本文讨论了系统内部参数变化时变结构控制的鲁棒性,而在系统具有外部扰动情况下变结构控制的鲁棒性有待更进一步的研究.

参考文献(References):

- [1] YAO Qionghui, SONG Lizhong, WEN Hong. Proportional-constant-

variable rate control for discrete-time variable structure systems [J].

Control and Decision, 2000, 15(3): 329 - 332 (in Chinese).

- [2] GAO Weibing. Theory and Design Approach of Variable Structure Control [M]. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese).

- [3] GAO Weibing, WANG Yufu, HOMAIFA A. Discrete-time variable structure control systems [J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 1995, 42(2): 117 - 122.

- [4] ZHAO Liangbing. Technical Power Electronic Technology Base [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995 (in Chinese).

作者简介:

孟光伟 (1971—),男,1990年毕业于海军工程大学电气工程系,2001年获海军工程大学硕士学位,现任教于海军工程大学电气工程系.研究方向是电力系统的监测与控制,电力推进. Email: www.mengguangwei@yahoo.com.cn;

瞿少成 (1972—),男,2001年获海军工程大学硕士学位,现在华中理工大学攻读博士学位.研究方向:变结构控制和神经网络控制;

蔡汉强 (1964—),男,1986年毕业于国防科技大学,1989年获海军工程大学硕士学位,现任教于海军工程大学.从事计算机控制,电力推进等方面的研究;

姚琼荃 (1946—),女,1967年毕业于华中理工大学,1981年获南京航空航天大学飞行器自动控制硕士学位,1989年到俄罗斯圣彼得堡理工大学研究自动控制系统,现为海军工程大学电气工程系教授.感兴趣的研究方向是数学控制系统,变结构控制等.

下 期 要 目

- 一种基于连接机制和时空经验的认知地图学习与导航方法 刘娟,蔡自兴,涂春鸣
脉冲 Hopfield 神经网络的鲁棒 H-稳定性及其脉冲控制器设计 刘斌,刘新芝,廖晓昕
一类不确定非线性系统的鲁棒输出反馈跟踪 张侃健,冯纯伯,费树岷
工业机器人时间最优轨迹规划及轨迹控制的理论与实验研究 谭冠政,王越超
多面体不确定线性系统具有约束满足保证的预测控制 盛云龙,苏宏业,褚健
不确定离散时滞系统的动态输出反馈鲁棒保性能控制 关新平,陈彩莲,龙承念,刘奕昌,段广仁
带有开关机制的通用学习网络的参数和时间延迟的学习 韩敏,席剑辉,平泽宏太郎
具有状态和测量时滞不确定系统的鲁棒 H_∞ 状态估计 杨富文,洪仰三
Hopfield 神经网络系统的全局稳定性分析 张继业,戴焕云,邬平波
遗传算法和神经网络融合的滑模控制系统及其在印刷机中的应用 张昌凡,王耀南
基于有限容量库所的离散事件系统的 Petri 网控制器综合——第1部分 吴维敏,苏宏业,褚健
动态联盟的一种模糊最优投资策略 张捍东,许宝栋,杨维翰,汪定伟
基于极点配置的平整机张力解耦控制 贺建军,喻寿益,钟掘
基于模糊竞争学习的非线性系统自适应模糊建模方法 王宏伟,贺汉根,黄柯棣
混沌同步的一些新结果 廖晓昕,陈关荣