

忆容器的Simulink模型及其主要特性分析

何朋飞¹, 王丽丹¹, 段书凯¹, 李传东²

(1. 西南大学电子信息工程学院 重庆 北碚区 400715; 2. 重庆大学计算机学院 重庆 沙坪坝区 400033)

【摘要】针对忆容器在数据读写与存储方面可能会更少丢失数据的优势,介绍了一种忆容器的数学模型,为便于对该忆容器的研究,根据其数学模型,搭建了忆容器的Simulink仿真模型,对该模型进行仿真研究,得到了关于忆容器的典型特性,验证了其有效性,同时,基于忆容器的数学模型,应用matlab研究了输入激励和忆容器的各项参数对忆容器的影响,获得了许多忆容器的新特性和重要的数据,为忆容器应用方面的研究奠定了基础。

关键词 特性分析; 忆阻器; 忆容器; Simulink模型

中图分类号 TM5

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2011.05.002

Simulink Model of Memcapacitor with the Analysis of Its Main Features

HE Peng-fei¹, WANG Li-dan¹, DUAN Shu-kai¹, and LI Chuan-dong²

(1. School of Electronics & Information Engineering, Southwest University Beibei Chongqing 400715;

2. College of Computer Science, Chongqing University Shapingba Chongqing 400044)

Abstract In contrast to the memristor, the memcapacitor has advantage which produces losses during the reading and writing processes. The mathematic model of a memcapacitor is introduced and its Simulink model is built. The typical characteristics of the memcapacitor is simulated. At the same time, influences of input excitation and different parameters on the memcapacitor are considered and analyzed in details, and obtains a lot of the new characteristics of memcapacitor and important data.

Key words feature analysis; memristor; memcapacitor; Simulink model

1971年,文献[1]根据电路完备性理论,提出了忆阻器。2008年5月,HP实验室宣布制造了第一个物理实现的忆阻器^[2]。2008年11月,在伯克利大学举行的忆阻器和忆阻系统国际研讨会上,定义了忆容器和忆感器两种记忆元件。与忆阻器相比,在数据读写和存储方面,忆容器丢失的数据更少。2009年10月,文献[3]对忆容器又做了进一步的研究,给出了忆容器的数学模型。

目前国内外针对忆阻器的研究较多,文献[4-6]研究了忆阻器的特性;文献[7-10]研究了忆阻器交叉阵列及在图像处理、混沌和存储中的应用。但对忆容器的研究较少,现有的关于忆容器的数学模型有基于分段线性函数的忆容器的数学模型^[3]和仿照HP忆阻器的数学模型建立的Spice模型^[11]两类。

本文介绍了忆容器的数学模型,建立了忆容器的Simulink模型,得到了忆容器的典型特性,验证了

其有效性,探讨了参数以及输入激励对忆容器的影响。

1 忆容器的数学及Simulink模型

文献[3]定义了一个 n 阶电压控制忆容系统:

$$q(t) = C(x, V_C, t)V_C(t) \quad (1)$$

$$\dot{x} = f(x, V_C, t) \quad (2)$$

式中, $q(t)$ 为忆容器在 t 时刻的电荷; $V_C(t)$ 表示 t 时刻忆容器两端的电压; C 为忆容; x 是系统的状态变量。 C 的大小取决于系统的状态变量, 定义为:

$$C = x \quad (3)$$

其中:

$$\dot{x} = (\beta V_C + 0.5(\alpha - \beta)[|V_C + V_T| - |V_C - V_T|]) \times \theta(x - C_1)\theta(C_2 - x) \quad (4)$$

式中, C_1 和 C_2 分别代表 C 的最小值和最大值; V_T 、 α 和 β 是常数; θ 函数为单位阶跃函数。忆容器的电路符号如图1所示。

收稿日期: 2011-08-15; 修回日期: 2011-09-15

基金项目: 国家自然科学基金(60972155, 61101233, 60974020); 中国博士后科学基金(CPSF20100470116); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2010C023, XDJK2010B005); 重庆市自然科学基金(CSTC2009BB2305); 重庆市高等教育教学改革研究重点项目(09-2-011)

作者简介: 何朋飞(1986-), 男, 硕士生, 主要从事非线性系统与混沌电路、细胞神经网络、生物电子电路等方面的研究。



图1 忆容器的电路符号

根据式(3)和式(4)可建立忆容器的Simulink模型, 如图2所示。

给忆容器两端加上电压 $V_C = V_0 \sin(2\pi\omega t)$, 其中 $V_0 = 1 \text{ V}$, $\omega = 2 \text{ Hz}$, $\alpha = 50 \mu\text{F}/(\text{V}\cdot\text{s})$, $\beta = 2\alpha$, $V_T = 0.5 \text{ V}$ 。令 $t = 0$ 时, $C = 1 \mu\text{F}$, 得到的Simulink仿真结果如图3c和图3d所示, 与文献[3]的结果一致, 验证了该模型的有效性。

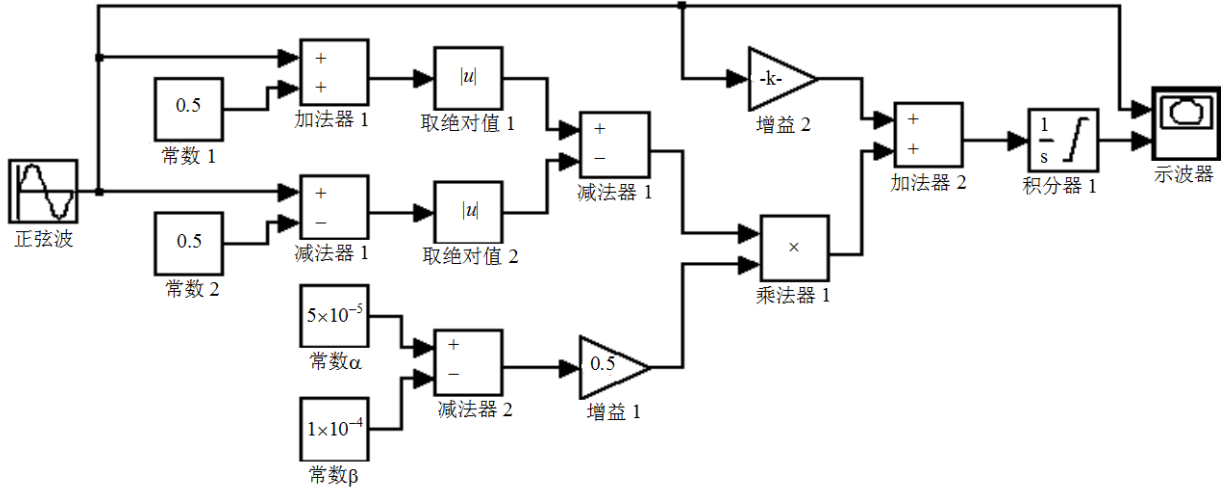


图2 忆容器的Simulink模型

2 输入激励和忆容器的各项参数对忆容器特性的影响

$V_C = V_0 \sin(2\pi\omega t)$ 时, 得到的仿真结果如图3所示, 其中, $V_0 = 1 \text{ V}$, $\alpha = 50 \mu\text{F}/(\text{V}\cdot\text{s})$, $\beta = 2\alpha$, $V_T = 0.5 \text{ V}$ 。令 $t = 0$ 时, $C = 1 \mu\text{F}$ 。

2.1 输入信号频率对忆容器特性的影响

图3显示了输入不同频率的正弦信号得到的仿真结果, 该结果反映了不同信号频率对忆容器特性

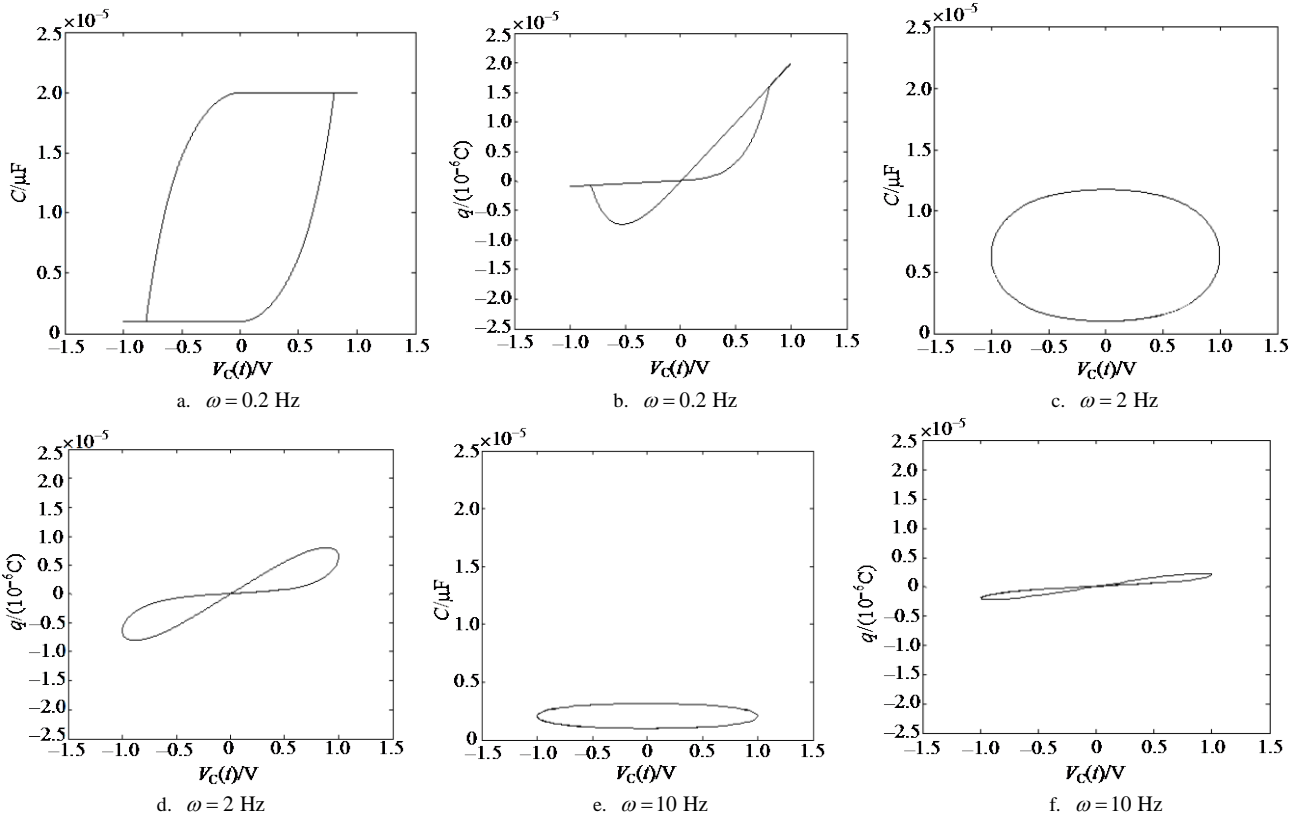


图3 信号频率对忆容器特性的影响

的影响,其中,图3a、图3c和图3e中纵轴代表电容 C ,横轴代表电压 $V_C(t)$,图3b、图3d和图3f中纵轴代表电荷 q ,横轴代表电压 $V_C(t)$ 。从图3中可以看出,当输入信号频率变小时,忆容和电压曲线由一个圆环变成了一个有边界的磁滞曲线,这是由于随频率的变小,忆容器的容值会达到它的最大值和最小值。

2.2 输入信号幅度对忆容器特性的影响

分别输入幅度 $V_0 = 0.5, 1, 10$ V的正弦信号 $V_C = V_0 \sin(2\pi\omega t)$,其中,频率 $\omega = 2$ Hz, $\alpha = 50 \mu\text{F}/(\text{V}\cdot\text{s})$, $\beta = 2\alpha$, $V_T = 0.5$ V。令 $t = 0$ 时, $C = 1 \mu\text{F}$,随着输入信号幅度的增加,忆容和电压曲线由一个圆环变成了一个有边界的磁滞曲线。幅度增加的效果和频率减小的效果相似。

2.3 α 和 β 对忆容器特性的影响

当输入 $V_0 = 1$ V, $\omega = 2$ Hz的正弦信号 $V_C = V_0 \sin(2\pi\omega t)$ 时,改变 α 和 β 的值,分别取 $\alpha = 5 \mu\text{F}/(\text{V}\cdot\text{s})$ 和 $\beta = 2\alpha$, $\alpha = 50 \mu\text{F}/(\text{V}\cdot\text{s})$ 和 $\beta = 2\alpha$, $\alpha = 500 \mu\text{F}/(\text{V}\cdot\text{s})$ 和 $\beta = 2\alpha$,其中, $V_T = 0.5$ V。随着 α 和 β 的值的增加,忆容和电压曲线也由一个圆环变成了一个有边界的磁滞曲线。由

此可以看出,输入信号频率减小,输入信号幅度增大及 α 和 β 值的增加,都会引起相似的忆容器特性的变化。

2.4 输入不同波形对忆容器特性的影响

分别输入幅度为1 V,频率为2 Hz的正弦波、方波和三角波, $\alpha = 50 \mu\text{F}/(\text{V}\cdot\text{s})$, $\beta = 2\alpha$, $V_T = 0.5$ V。令 $t = 0$ 时, $C = 1 \mu\text{F}$,得到的结果如图4所示。图4显示了不同输入和输出的关系曲线。在不同输入条件下,得到的电压和忆容,电压和电荷之前的关系曲线不同,在3种输入下都得到了一个 ∞ 字曲线,但其光滑度不一样,这与输入的信号有关。其中,图4a、图4c和图4e中纵轴代表电容 C ,横轴代表电压 $V_C(t)$,图4b、图4d和图4f中纵轴代表电荷 q ,横轴代表电压 $V_C(t)$ 。

当输入信号为如图5a所示波形时,得到的仿真结果如图5b和图5c所示。图5a中纵轴代表电压 $V_C(t)$,横轴代表时间 t ,图5b中纵轴代表电容 C ,横轴代表电压 $V_C(t)$,图5c中纵轴代表电荷 q ,横轴代表电压 $V_C(t)$ 。电荷与电压的关系曲线是由3个交叉的 ∞ 字组成的一个曲线。

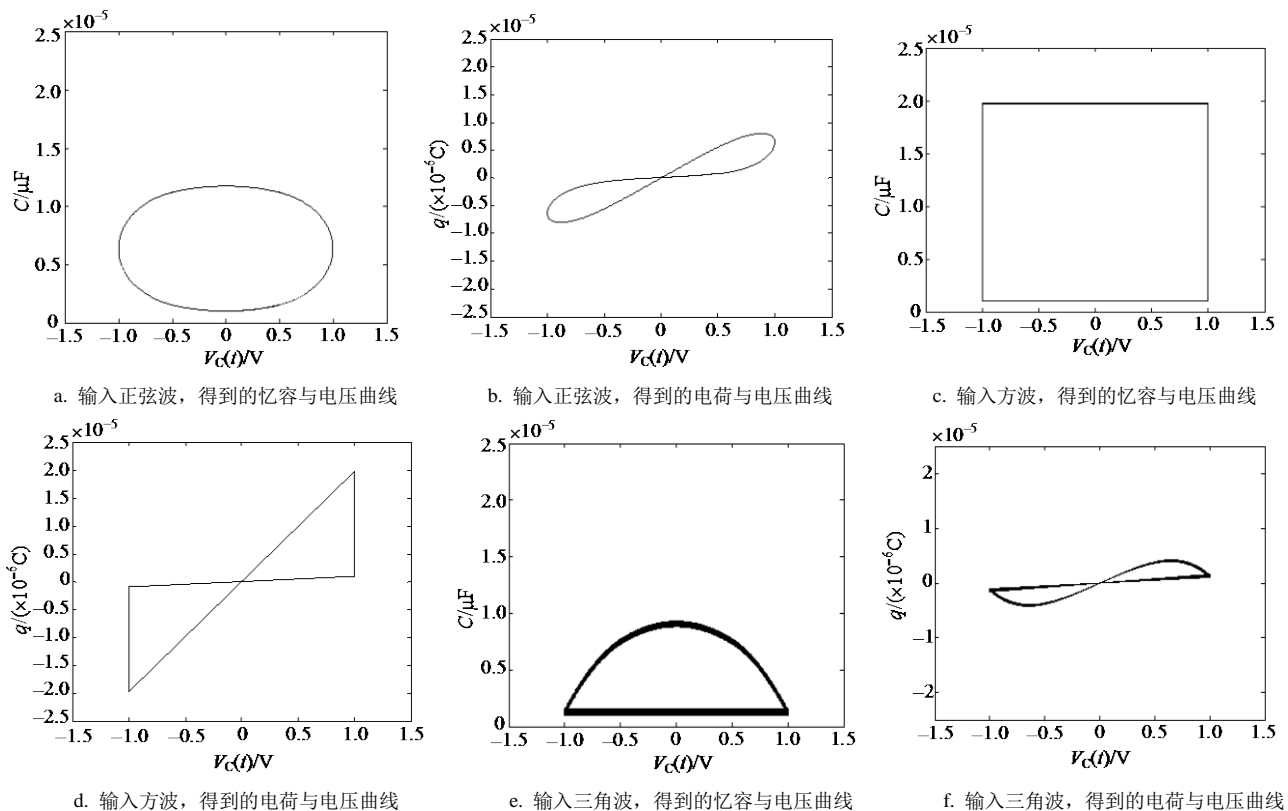


图4 波形对忆容器特性的影响

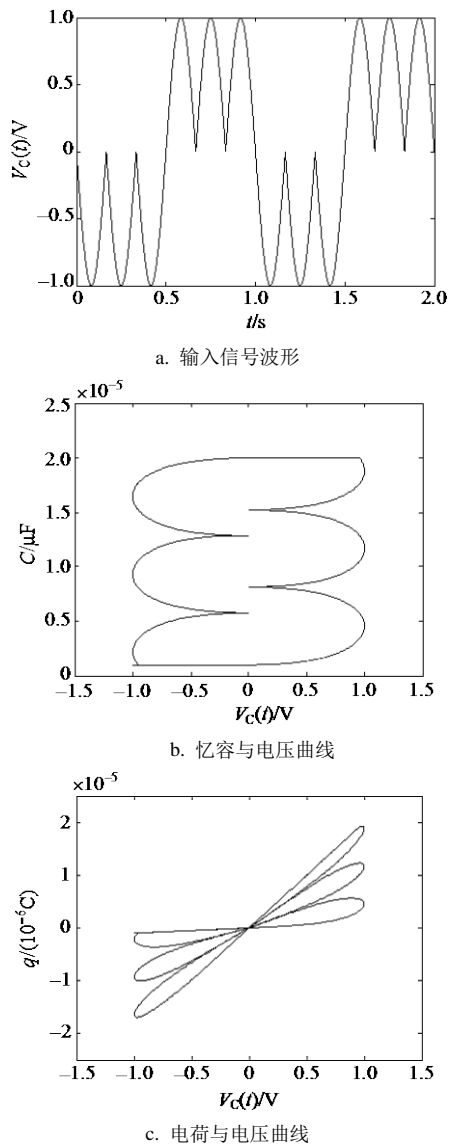


图5 波形对忆容器特性的影响

3 结 论

本文介绍了忆容器的数学模型, 为了便于研究, 根据其数学模型, 建立了忆容器的Simulink仿真模型, 对其仿真, 得到了忆容器的典型特性, 验证了该模型的有效性。研究了不同输入和忆容器参数对忆容器特性的影响, 得到了许多忆容器的特性和一些重要的数据。这些研究成果为以后忆容器的研究奠定了一定的基础, 特别是在其应用方面的研究, 有望用于无线传感器网络, 可以简化网络结构, 并提高网络集成度。

本文研究工作得到西南大学博士科研资助项目(SWUB2008074)及西南大学教育教学改革研究项目(2009JY053, 2010JY070)的资助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] CHUA L. Memristor-the missing circuit element[J]. IEEE Trans Circuit Theory, 1971, 18(5): 507-519.
- [2] DMITRI B S, GREGORY S S, DUNCAN R S, et al. The missing memristor found[J]. Nature, 2008, 453(7191): 80-83.
- [3] MASSIMILIANO D V, YURIV V P, LEON O C. Circuit elements with memory: memristors, memcapacitors, and meminductors[J]. Proceedings of the IEEE, 2009, 97(10): 1717-1724.
- [4] DRAKAKIS E M, YALIRAKI S N, BARAHONA M. Memristors and bernoulli dynamics[C]//Cellular Nanoscale Networks and Their Applications(CNNA), 2010 12th International Workshop on. [S.l.]: [s.n.], 2010: 1-6.
- [5] WANG Wei-dong, YU Qin, Xu Chun-xiang, et al. Study of filter characteristics based on PWL memristor[C]//International Conference on Communications, Circuits and Systems. Milpitas, CA: IEEE Press, 2009: 969-973.
- [6] KAVEHEI O, KIM Y S, AZHAR I, et al.. The fourth element: insights into the memristor[C]//International Conference on Communications, Circuits and Systems. Milpitas, CA: IEEE Press, 2009: 921-927.
- [7] 胡小方, 段书凯, 王丽丹, 等. 忆阻器交叉阵列及在图像处理中的应用[J]. 中国科学, F辑: 信息科学, 2011, 41(4): 500-512.
HU Xiao-fang, DUAN Shu-kai, WANG Li-dan, et al. Memristive crossbar array with applications in image processing[J]. Science in China Series F-Information Sciences (in Chinese), 2011, 41(4): 500-512.
- [8] BHARATHWAJ M, PRACHETA P K. Memristor based chaotic circuits[J]. IETE Technical Review, 2009, 26(6): 417-429.
- [9] ITOH M, CHUA L O. Memristor oscillators[J]. International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering, 2008, 18(11): 3183-3206.
- [10] WITRISAL K. Memristor-based stored-reference receiver-the UWB solution[J]. Electronics Letters, 2009, 45(14): 713-714.
- [11] BIOLEK D, BIOLEK Z, BIOLKOVA V. Spice modelling of memcapacitor[J]. Electronics Letters, 2010, 46(7): 520-522.

编辑 蒋 晓