



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک

عنوان:

مطالعه و بررسی ممریستورها به عنوان حافظه

پایدار و کاربرد آن

استاد راهنما:

دکتر سپیده جباری

پژوهشگر:

زهرا حسینی

تابستان ۹۵

مشکروقدردانی

از استاد ارجمند، سرکار خانم سیده جاری که زحمت این رساله را بر عهده گرفتند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین بر خود فرض میدانم که از دیگر اساتید که افتدرو محترم گروه الکترونیک و اسکند مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه زنجان، صمیمانه قدردانی

نمایم. همواره خود را مدیون زحمات ارزنده آنان می دانم و سربلندی و توفیق روز افزون آنان را از خداوند منان مسئلت می نمایم.

از خانواده عزیزم، بسیار سپاسگزارم که حمایت های همه جانبه و بی دریغ شان، همواره، همراه و یاورم بوده است. سلامتی و سربلندی شان را از خداوند

ممتعال خواستارم.

از همه، همکلاسی ها و دوستان عزیزم نیز به خاطر کلیه زحماتشان صمیمانه تشکر می کنم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

ضمیمه

مقدمه

قانون مور^۱ که مربوط به افزایش چگالی ترانزیستورها در هر دو سال می باشد، در سال های آتی به پایان خود

خواهد رسید. لذا در طراحی الکترونیک تاکید بر این است که در کنار برقراری قانون مور، به سمت قطعاتی

بروند که نه تنها سایز بی نهایت کوچک در حد نانو دارند، بلکه توانا نیز باشند. ممریستور^۲ قطعه ای دو پایانه

است که در ابعاد مقیاس نانو ساخته می شود و مقاومت آن بستگی به دامنه، پلاریته و مدت زمان ولتاژ به کار

رفته شده در آن دارد. وقتی ولتاژ قطع شود ممریستور آخرین مقاومت ایجاد شده در خود را تا زمانی که ولتاژی

با مقدار و پلاریته متفاوتی به آن اعمال شود حتی تا یک سال بعد به یاد می آورد.

از آنجایی که ممریستور وضعیت قبلی خود را حتی پس از قطع توان حفظ می کند، می تواند به طور نامحدود

اطلاعات را ذخیره کرده و فقط زمانی که می خواهیم اطلاعات را از آن بخوانیم انرژی مصرف کند، این قطعه می

تواند جایگزین بسیاری از ترانزیستورها در بعضی از مدارات شده و جای کمتری اشغال کند. قابلیت نگه داشتن

مقادیر مقاومت در ممریستور نشان می دهد که این قطعه می تواند در نوعی از حافظه های غیر فرار مقاومتی به

کار رود، که وقتی توان قطع شود اطلاعات درون خود را حفظ نماید.

کاربرد جالب دیگر ممریستور برای محاسبات آنالوگ در مدارات طراحی شده در سیناپس های مصنوعی است.

علاوه بر آن ممریستور به دسته ای سیستم های ممریستیو تعلق دارد که به دلیل داشتن یک سری خواص غیر

خطی جالب می توانند در طراحی بعضی سیستم های آشفته مانند اسیلاتورهای غیر خطی به کار روند. در این

تحقیق ابتدا به معرفی ممریستور و خواص آن پرداخته شده و سپس بعضی از کاربردهای آن در اسیلاتورها،

حافظه های مقاومتی و ... مورد بررسی قرار می گیرد.

1- Moore

2- Memristor (Memory Resistor)

تاریخچه

1971: لئون چوآ پروفیسوری در دانشگاه برکلی، در مقاله ای در IEEE به نام **“Memristor The missing Circuit element”** تئوری یک عنصر مداری دو پایانه ای جدید را معرفی کرد که توسط رابطه ای بین

شار الکتریکی و بار توصیف می شد. این المان به عنوان چهارمین عنصر پایه مدار بعد از مقاومت، خازن و

سلف معرفی شد.

1976: چوآ در مقاله ای به نام **“Memristive Devices and Systems”** در IEEE مفهوم ممریستور را برای دسته وسیعی از سیستم های دینامیکی غیر خطی به نام سیستم های ممریستیو توسط روابطی بیان کرد.

در این مقاله هم چنین خصوصیت هیستریزیس نمودار جریان بر حسب ولتاژ برای این سیستم ها نشان داده

شد.

2008: آر. استنلی ویلیامز^۱ و همکارانش در آزمایشگاه HP، قطعه ممریستور را ساختند و در مقاله ای به نام **“Mechanism for metal / oxide / metal nano devices”** رفتار و مکانیزم سوئیچینگ ممریستیو

در ممریستور خود را نشان دادند.

2008: آراستنلی ویلیامز، در مقاله **“The missing memristor found”** یک مدل مداری پایه بر اساس

معادلات ریاضی که آقای چوآ ارائه داده بود معرفی کردند و اولین فرمول ممریستانس را به عنوان خاصیت

فیزیکی مواد نوشتند.

2009: ماسیمیلیانو دی ونتا^۲ در مقاله ای با عنوان **“Circuit elements with memory”** سیستم

ممریستیو را توسعه داد و تئوری ممکاپاسیتور^۳ و مماینداکتور^۴ را معرفی کرد.

1- Stanley Williams

2- Masimiliano Di Ventra

3- Memcapasitor

4 - Meminductor

فصل اول: ممریستور - چهارمین عنصر اساسی مدار	۱
۱-۱- تئوری ممریستور	۲
۱-۲- سیستم های ممریستو	۴
۱-۳- عناصر مداری حافظه دار ممریستور، ممکاپاسیتور و ممانداکتور	۶
فصل دوم: مدل فیزیکی ممریستور	۹
۱-۲- مدل سازی ممریستور در طراحی مدارات	۱۱
۱-۱-۲- رانش خطی در ممریستور	۱۲
۲-۱-۲- رانش غیر خطی در ممریستور	۱۴
۲-۱-۲- الف- رانش غیر خطی در ممریستور و شرایط مرزی	۱۴
۲-۱-۲- ب- رانش غیر خطی ممریستور و سرعت حرکت مرز	۱۶
۲-۲- بررسی رفتار ممریستور در شرایط مختلف	۱۷
۱-۲-۲- بررسی تغییرات ولتاژ ورودی بر رفتار ممریستور	۱۸
۲-۳- بررسی تغییرات فرکانس ولتاژ ورودی بر رفتار ممریستور	۲۰
۲-۴- بررسی تغییرات مقاومت RON بر رفتار ممریستور	۲۱
۲-۵- بررسی تغییرات مقاومت ROFF بر رفتار ممریستور	۲۲
نتیجه گیری	۲۳
فصل سوم: عملکرد ممریستور به عنوان حافظه مقاومتی غیر فرار	۲۴
۱-۳- ساختار حافظه ممریستور بر اساس سلول ترانزیستوری (1T1M)	۲۶
۲-۳- ساختار حافظه ممریستور بر اساس کراس بار (1M)	۲۹
۳-۳- اجرای توابع منطقی توسط ممریستورهای نگهدارنده	۳۱
۳-۴- روش پایه عملیات منطقی توسط نگهدارنده ها	۳۵
۳-۵- پیاده سازی گیت NAND توسط نگهدارنده ها:	۳۶
نتیجه گیری:	۳۹
فصل چهارم:	۴۱

فصل اول:

ممریستور - چهارمین عنصر اساسی مدار

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان

تنها یک رابطه تعریف نشده باقی می ماند و آن هم رابطه بین q و φ است. عنصری که براساس این رابطه عمل می کند ممریستور نامیده می شود. زیرا تا حدی شبیه به یک مقاومت غیر خطی با حافظه عمل می کند. نماد ممریستور در شکل نشان داده شده است.

به طوریکه در آن:

$$q(t) = \int_{-\infty}^t i(t) dt$$

$$\varphi(t) = \int_{-\infty}^t v(t) dt$$

طبق تعریف یک ممریستور به وسیله رابطه $g(\varphi, q)$ مشخص می شود. اگر رابطه فوق تنها به صورت تابعی یک متغیره از بار (شار پیوندی) بیان شود، ممریستور را کنترل شونده با بار (شار پیوندی) می گویند. ولتاژ دو سر ممریستور کنترل شونده با بار طبق رابطه زیر به دست می آید:

$$v(t) = M(q(t)) i(t)$$

$$M(q) = d\varphi(q)/dq$$

مشابه جریان ممریستور کنترل شونده با شار از رابطه زیر به دست می آید:

$$i(t) = W(\varphi(t)) v(t)$$

$$W(\varphi) = dq(\varphi)/d\varphi$$

تا زمانی که $M(q)$ دارای بخشی از مقاومت است، ممریستنس افزایش یافته خواهد شد. در مقابل تابع $W(\varphi)$ همداکتانس افزایش یافته خواهد شد، چون دارای بخشی از رسانایی است. ملاحظه کنید که مقدار ممریستنس (همداکتانس) افزایش یافته در هر زمان t_0 بستگی به انتگرال زمانی جریان ممریستور (ولتاژ) از $t = -\infty$ تا $t = 0$ دارد. از اینرو، ممریستور در یک لحظه از زمان، مثل یک مقاومت معمولی رفتار می کند که مقاومت (رسانایی) آن به جریان (ولتاژ) ممریستور در زمان گذشته وابسته است.

این مشاهده انتخاب نام مقاومت حافظه دار یا ممریستور را تصدیق می کند. جالب توجه است که وقتی آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان

یک بار ولتاژ $V(t)$ یا جریان $i(t)$ ممریستور تعیین می شود، ممریستور شبیه به یک مقاومت متغیر با زمان خطی عمل می کند. در خیلی از موارد ویژه جایی که منحنی $\varphi-q$ ممریستور یک خط مستقیم است، ما دریافت می کنیم $M(q) = R$ یا $W(\varphi) = G$ و ممریستور به یک مقاومت خطی تغییرناپذیر با زمان تبدیل می شود. از اینرو، مقطع معرفی ممریستور خطی در تئوری شبکه خطی وجود ندارد.

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان

۳-۱- عناصر مداری حافظه دار ممریستور، ممکاپاسیتور و مماینداکتور

سیستم های ممریستور را می توان به گروه های سلفی و خازنی توسعه داد. که در این سیستم ها ویژگی های سیستم به وضعیت و گذشته سیستم وابسته است. همه ی این عناصر در دو متغیر ساختاری خود که آنها را توصیف می کند، حلقه های هیستریک اندکی از خود نشان می دهند. جریان- ولتاژ برای

ممریستور، شارژ-ولتاژ برای ممکاپاسیتور و جریان- شار برای مماینداکتور. استدلال می کنیم که این عناصر در مقیاس نانو مشترک هستند. چرا که به نظر می رسد. ویژگی های دینامیک الکترون ها و یون ها، حداقل در یک مقیاس زمانی معین، به گذشته ی سیستم وابسته هستند. این عناصر و ترکیب آنها در مدار، تابعیت جدیدی در الکترونیک باز می کند. امروزه در حال یافتن کاربردهایی در ابزار های نورومرفیک هستند تا

آموختن، رفتار انطباقی و غیر ارادی را شبیه سازی کنند.

عناصر مداری که اطلاعات را بدون نیاز به منبع ولتاژ ذخیره می کنند، از طریق ایجاد ذخیره سازی و محاسبات با توان مورد نیاز کمتر تغییراتی در الکترونیک نمایان خواهند کرد. به علاوه اگر این اطلاعات یک ناحیه ی پیوسته از مقادیر را پوشش دهند، محاسبات آنالوگ ممکن است جای محاسبات دیجیتال

فعالی را بگیرد. چنین تدبیری همچنین شبیه اساس کار مغز انسان می باشد و شاید شبیه مکانیزم های زیاد دیگری در ارگانیسم های زنده باشد. بنابراین چنین عناصر مداری می توانند به ما کمک کنند تا رفتارهای سازگار پذیری و غیر ارادی و حتی آموختن را بفهمیم.



شکل ۴-۱

یکی از این عناصر مداری ممریستور است که توسط چوآ در سال ۱۹۷۱ به وسیله ی آنالیز رابطه ریاضی بین زوجهای متغیرهای مداری اساسی معرفی شد. ممریستور به وسیله ی رابطه ی بین بار الکتریکی شار

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

1. J. M. Tour and T. He, "The fourth element," Nature 453,42-43(2008)
2. Dan ling-Qi, jang Liaw-Der, " Polymer electronic memories: Materials, devices and mechanism" 2008, scienceDirect, 917,978.
3. Chua, L.O, " Memristor – the missing circuit element".1971,IEEE Trans, 507,519.
4. Chua L, Kang S, " Memristive devices and system ".1976 ,Proc IEEE,209-223.
5. Strukov D, Snider G, Stewart D, Williams R, "The missing memristor found", 2008 Nature,80-83.
6. Benderli S, Wey T.A, "On SPICE macromodelling of Tio2 memristors", 2009, Electronics Letters, 377-379.
7. Bialek Z, Bialek D, Bialek V, "SPICE model of memristor With nonlinear dopant drift", 2009, Radioengineering Journal, 210-214.
8. Joglekar Yogesh, Wolf Stephen, "The elusive memristor : properties of basic electrical circuits", 2009, IOP Publishing, 661-674.
9. Mustafa Jakob, Rudiger Andreas: Waser Rainer: " Comparison of three different architectures for active resistive memories", 2007, Elsevier 354-352.
10. Snider G , "Computing With hysteretic resistor crossbars".2005, Appl Phys :1165-1172.
11. Luyken R J, Hofmann F , " Concepts for hybrid CMOS-molecular non-volatile memories", 2003, IOP publishing, 273-276.
12. WILLIAMS, R- S. "Finding the Missing Memristor" IEEE CPMT Chapter, Santa Clara Vally .February 2009.
13. Borghetti Julien . Li, Zhiyong . Straznick Joseph and Williams, R . Stanley. " A hybrid nanomemristor/transistor logic circuit capable of self-programming." PNAS, , vol106, no 6 , 1699-1703 February 10, 2009.
14. WANG, F.Y- "Memristor for introductory physics". arXiv:0808-0286 v1[physics.class-ph].2008.
15. WILLIAMS: R.S. ,"How we found the missing memristor", IEEE Spectrum, 12/01/2008