دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

مهندسی برق– الکترونیک

بررسی ساختار، عملکرد و کاربردهای **ممریستور**

استاد راهنما: جناب آقای دکتر طوفان

حمیدرضا حمیدی

مهرماه ۱۳۸۹

فهرست مطالب:

مقدمه..... ۶

تاریخچه..... ۷

فصل اول: ممریستور – چهارمین عنصر اساسی مدار

۱-۱ تئوری ممریستور..... ۹

۱-۲ سیستم های ممریستیو..... ۱۲

۱-۳ عناصر مداری حافظه دار..... ۱۴

فصل دوم: اسیلاتورهای ممریستور

۲-۱ معرفی ۱۹

۲-۲ اسیلاتور ممریستور بیس استاندارد..... ۲۱

۲-۳ اسیلاتور ممریستور بیس مرتبه چهار ۲۷

۲-۴ اسیلاتور ممریستور بیس مرتبه چهار با یک المان منفی ۳۱

۲-۵ توسعه اسیلاتور ممریستور بیس استاندارد در کاربردهای مخابرات امن ۳۳

فصل سوم: کاربردهای ممریستور به عنوان حافظه غیر فرار مقاومتی

۳-۱ معرفی..... ۳۶

۳-۲ ساختارهای کلی قطعه..... ۳۶

۳-۳ مکانیزم کلی هدایت..... ۳۸

۳-۴ موارد استفاده قطعه ۳۹

۳-۵ ممریستور ساخته شده در آزمایشگاه HP..... ۴۰

۳-۵-۱ نحوه کارکرد قطعه..... ۴۱

۳-۵-۲ مدل فیزیکی قطعه..... ۴۳

فصل چهارم: گیرنده UWB چند حامل ممریستور بیس

۴-۱ معرفی..... ۴۷

۴-۲ مروری بر گیرنده ممریستور..... ۴۸

۴-۳ مدل ممریستور با رانش یونی خطی..... ۴۹

۴-۴ معماری گیرنده..... ۵۱

۴-۵ مدل سیگنال و آنالیز گیرنده..... ۵۳

۴-۶ آنالیز نویز..... ۵۷

۴-۷ نتایج عملکرد..... ۵۹

۴-۸ نتایج شبیه سازی برای کانال AWGN ۶۱

۴-۹ نتایج شبیه سازی برای کانال چند مسیره..... ۶۴

۴-۱۰ نتیجه گیری ها و توصیه ها ۶۵

فصل پنجم: مدولاتور AM باممریستور TiO_2

۵-۱ معرفی ۶۸

۵-۲ مدل ممریستور ۶۸

۵-۳ اصول اساسی ۶۹

۵-۴ مدار مدولاتور AM ۷۰

۵-۵ شبیه سازی ۷۲

۵-۶ نتیجه گیری ۷۳

منابع ۷۵

مقدمه

قانون مور[1] 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 تأکید براین است که در کنار بر قراری قانون مور، به سمت قطعاتی بروند که نه تنها سایز بی نهایت کوچک در حد نانو دارند، بلکه توانا نیز باشند. ممریستور[2] قطعه ای دو پایانه است که در ابعاد مقیاس نانوساخته 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 از سیستم ها ی ممریستیو تعلق دارد که به دلیل داشتن یک سری خواص غیرخطی جالب می توانند در طراحی بعضی سیستم های آشفته مانند اسیلاتور های غیر خطی به کار روند. در این تحقیق ابتدا به معرفی ممریستور و خواص آن پرداخته شده و سپس بعضی از کاربرد های آن در اسیلاتورها، حافظه های مقاومتی و سپس بعضی کاربردهای مخابراتی مانند یک گیرنده ممریستور بیس و یک مدولاتور AM مورد بررسی قرار می گیرد.

---

[1] Moore

[2] Memristor (Memory Resisitor)

تاریخچه

1971: لئون چوآ[1] پروفسوری در دانشگاه برکلی، درمقاله ای در IEEE به نام "Memristor The missing Circuit element" تئوری یک عنصر مداری دو پایانه ای جدید را در 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 هیسترزیس نمودار جریان بر حسب ولتاژ برای این سیستم ها نشان داده شد.

2008: آر. استنلی ویلیامز [2] 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: آر استنلی 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[3] در مقاله ای با عنوان "Circuit elements with memory" سیستم های ممریستیو را توسعه داد و تئوری ممکاپاسیتور[4] و مماینداکتور[5] را معرفی کرد.

---

[1] Leon Chua

[2] R.Stanley Williams

[3] Massimiliano Di Ventra

[4] Memcapacitor

[5] Meminductor

فصل اول

ممریستور – چهارمین عنصر اساسی مدار

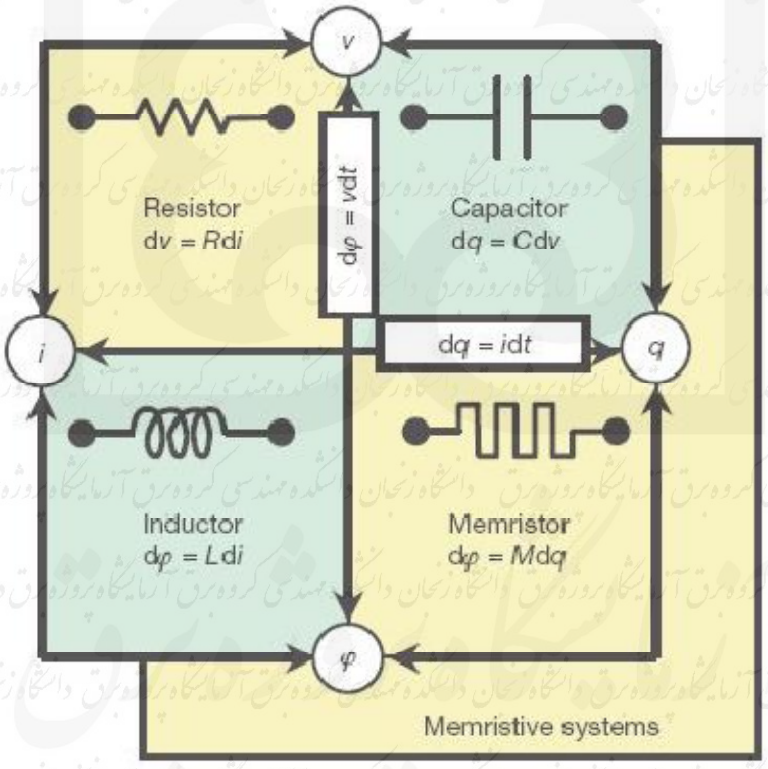
۱-۱ تئوری ممریستور

از دیدگاه نظریه مداری، سه عنصر دو پایه اصلی مدار، بر حسب رابطه بین دو تا از چهار متغیر اصلی مدار یعنی جریان i ولتاژ V بار q و شار پیوندی φ است. از شش ترکیب ممکن از این چهار متغیر، پنج حالت منجر به روابط شناخته شده ای می شوند. دو تا از این روابط اغلب به صورت:

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

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

داده می شود. سه رابطه دیگر به ترتیب توسط تعاریف بدیهی سه عنصر کلاسیک مداری داده می شوند.



شکل ۱-۱ چهار المان اساسی مدار

تنها یک رابطه تعریف نشده باقی می ماند و آن هم رابطه بین q و φ است. عنصری که بر اساس 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:

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

$$\varphi(t) = \int_{-\infty}^{t} V(\tau)d\tau$$

طبق تعریف یک ممریستور به وسیله رابطه $g(\varphi, q) = 0$ مشخص می شود. اگر رابطه فوق تنها به صورت تابعی یک متغیره از بار (شار پیوندی) بیان شود ممریستور را کنترل شونده با بار (شارپیوندی) می گویند. ولتاژ دو سر ممریستور کنترل شونده با بار طبق رابطه زیر به دست می آید:

$$V(t) = M(q(t))\, i(t)$$

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

به طور 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 افزاینده نامیده خواهد شد. در مقابل تابع $W(\varphi)$ ممداکتانس افزاینده نامیده خواهد شد، چون دارای بخشی از رسانایی است. ملاحظه کنید که مقدار ممریستنس (ممداکتانس) افزاینده 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 مقاوت 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 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 تغییر ناپذیر با زمان تبدیل می شود. از اینرو، نقطه معرفی ممریستور خطی در تئوری شبکه خطی وجود ندارد.

ممریستور توصیف شده توسط منحنی $q - \varphi$ کنترل شده بار، یک عنصر غیر فعال است اگر و تنها اگر $M(q) \geq 0$ باشد.

توان تلف شده لحظه ای توسط یک ممریستور، به صورت زیر می باشد:

$$P(t) = v(t)i(t) = M(q(t))\, i(t)$$

از این رو، اگر ممریستنس افزاینده $M(q) \geq 0$ پس $P(t) \geq 0$ و ممریستور به وضوح عنصری غیر فعال است.

۲-۱ سیستم های ممریستیو

ممریستورها که به عنوان چهارمین عنصر پایه مدار معرفی شده اند، رفتاری شبیه به مقاومت خطی با حافظه دارند. ولی مشخصات غیر خطی بسیار جالبی از خود نشان می دهند. این مشخصات غیر خطی غیرمرسوم باعث می شود ممریستور مورد ویژه ای از دسته وسیعی از سیستم های دینامیکی به نام سیستم های ممریستیو باشد که با رابطه زیر تعریف می شوند.

$$\dot{x} = \mathrm{f}(\mathrm{x}, \mathrm{u}, \mathrm{t})$$
$$y = g(x, u, t)u \qquad (۱-۱)$$

که در آن u, v به ترتیب به ورودی و خروجی سیستم اشاره داشته و x حالت سیستم را مشخص می کند. تابع f یک تابع برداری n بعدی پیوسته و g یک تابع اسکالر پیوسته می باشد. خروجی معادله فوق به این صورت است که y برابر با حاصل ضرب بین ورودی u و تابع اسکالر g می باشد.

یک سیستم ممریستیو کنترل شده جریان مرتبه n توسط رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\dot{x} = \mathrm{f}(\mathrm{x}, i, \mathrm{t})$$
$$v = g(x, i, t)i$$

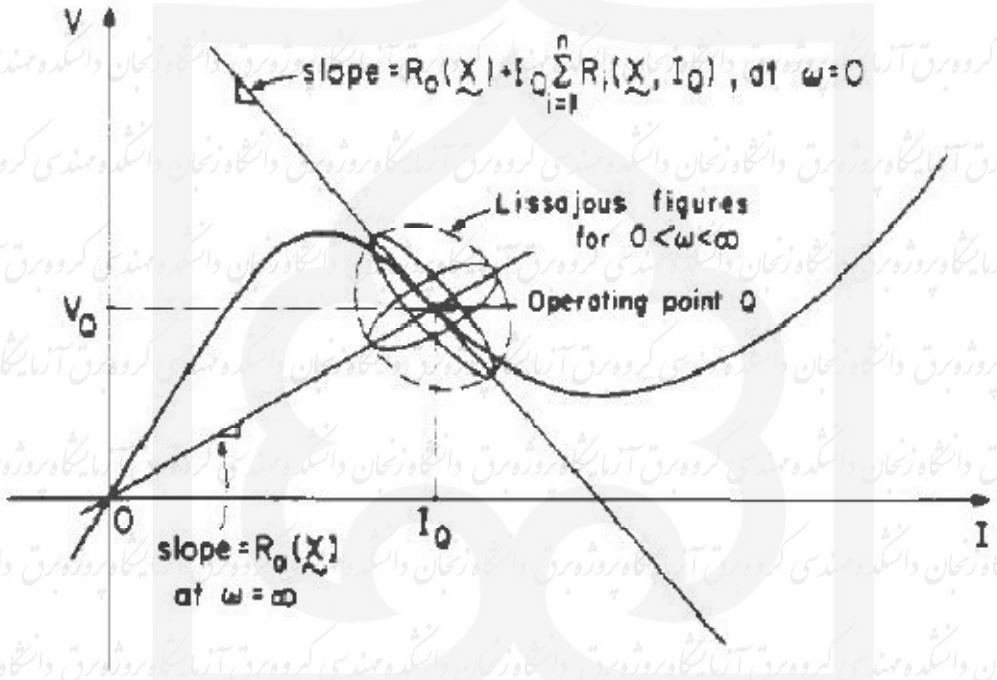
و یک سیستم ممریستیو کنترل شده ولتاژ مرتبه n با رابطه زیر مشخص می شود:

$$\dot{x} = \mathrm{f}(\mathrm{x}, v, \mathrm{t})$$
$$i = g(x, v, t)v$$

به طوریکه در آن v و i به ترتیب نشان دهنده ولتاژ و جریان دو سر آن می باشند توابع f ، R یا G شبیه به f و g روابط (۱-۱) تعریف می شوند. ساختار ویژه که باعث تمایز سیستم ممریستیو از سیستم دینامیکی مطلق می شود این است که هرگاه ورودی u صفر باشد خروجی y نیز صفر است، با صرف نظر کردن

از حالت x که اثر حافظه را در خود دارد، این مشخصه عبور از صفر خود را به طور واضح به شکل منحنی لیساجوس که همیشه از مبدا می گذرد نشان می دهد.

مشاهده می کنیم با وجود اینکه اثر حافظه به شکل معمول شیفت های فازی در سیستم های مرسوم را معرفی می کند، خروجی یک سیستم ممریستیو هر گاه ورودی صفر باشد، صفر است و بنابراین شکل لیساجوس ورودی–خروجی همیشه از مبدا می گذرد. بنابراین می توانیم بگوییم یک سیستم ممریستیو یک سیستم دینامیکی با شیفت فاز صفر می باشد. درشکل ۱-۲ شکل های لیساجوس سیگنال کوچک را مشاهده می کنیم.



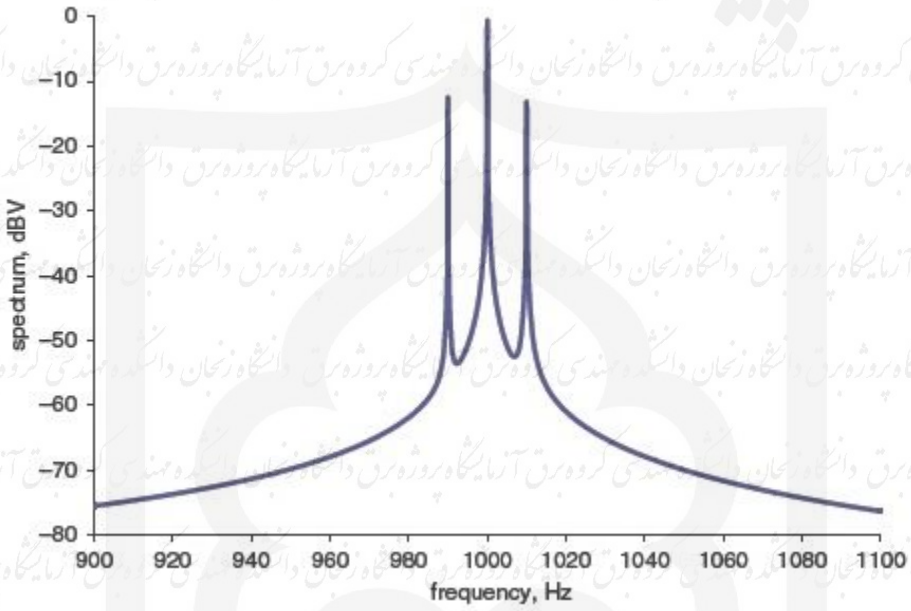
شکل ۱-۲

در بین مشخصات سیستم های ممریستیو پاسخ فرکانسی شکل لیساجوس به ورودی سینوسی نیز جالب است. وقتی فرکانس به سمت بی نهایت افزایش می یابد، شکل لیساجوس جمع شده و به خط صافی که از مبدا

دانشجویان محترم:

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

ولتاژ خروجی مدار شبیه سازی شده تحت این شرایط در شکل ۵-۳ نشان داده شده است و شکل ولتاژ خروجی در شکل ۵-۴ نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی مدار مطابقتی عالی با رفتار پیش بینی شده دارد. بر اساس (8)، کاریر و پیک های باند کناری باید به ترتیب دامنه 0V و 12dBV- داشته باشند. بنابراین نتایج شبیه سازی هیچ جز غیر عادی در آفست های هارمونیک فرکانس مدوله شده از کاریر نشان نمی دهند. این نتیجه بر اساس رانش ناحیه تخلیه خطی ممریستور TiO_2 ، مورد انتظار بود.



شکل ۵-۴ : قالب ولتاژ خروجی شبیه سازی شده

۵-۶ نتیجه گیری

یک مدار مدولاتور AM با استفاده از یک فیدبک ممریستور TiO_2 ، معرفی ، آنالیز و شبیه سازی شد. نتایج این کار نشان می دهد که غیر خطی بودن ممریستور می تواند برای ساخت مدولاتور AM مطلوب، بدون

هارمونیک های باند کناری مربوط به اعوجاج سیگنال مدوله شده ، مفید باشد. این عملکرد یک ویژگی معماری مدار انتخاب شده و شرایط رانش ناحیه تخلیه خطی می باشد.

منابع:

1. L.O. Chua. "Memristor - the missing circuit element". IEEE Trans. Circuit Theory 18,507-519(1971).
2. L.O. Chua, Kang S. "Memristive devices and systems". Proc IEEE 64:209–223(1976).
3. L.O. Chua."Memristor Osillators".International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 18, No. 11 (2008) 3183-3206.
4. Williams, R.Stanley."How we found the missing memristor".IEEE Spectrum. December 2008.
5. Strukov, D.B., Snider, G.S., Stewart, D.R., and Williams, R.S.: 'The missing memristor found', Nature, 2008, 453, pp. 80–83.
6. Witrisal, K.: 'Memristor-based stored-reference receiver – the UWB solution', Electron. Lett., 2009, 45, (14), pp. 713–714.
7. T.A. Wey and S. Benderli. "Amplitude modulator circuit featuring TiO2 memristor with linear dopant drift". 28 July 2009. Doi: 10.1049/el.2009.2174.
8. Massimiliano Di Ventra, Yuriy V. Pershin, and Leon O. Chua, Fellow, IEEE "Circuit elements with memory: memristors, memcapacitors and meminductors" 23 Jan 2009.
9. B. Muthuswamy and P. P. Kokate, "Memristor-Based Chaotic Circuits". IETE. Technical Review-26:6, pp. 415-426, Nov. 2009.
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Memristor
11. http://ieeexplore.ieee.org