

MEMRISTOR – ÚVOD DO PROBLEMATIKY

NEUMANN Karel, ČR

Resumé

Příspěvek předkládá základní informace o memristoru – součástce, která pravděpodobně změní svět informačních technologií. Článek podává základní informace o tom, co je to memristor, jak funguje a jaké je jeho možné využití.

Klíčová slova: Memristor, hydromechanická analogie memristoru, memristor jako paměť.

MEMRISTOR – INTRODUCTION INTO THE PROBLEMS

Abstract

This contribution deals with the problems of memristor – a new component, which can probably change the world of information technologies. It gives basic information about memristor, its function and possible use.

Key words: Memristor, hydro-mechanical analogy of memristor, memristor as a memory.

1 Úvod

Historie memristoru se datuje dnem 5. září 1971, kdy prof. Leon O. Chua publikuje článek „Memristor – The Missing Circuit Element“(1). Autor zde odvozuje charakteristickou vlastnost této nové součástky, kterou je schopnost „pamatovat si“ celkové množství elektrického náboje, který jí prošel. V praktickém využití to znamená, že odpor memristoru lze lehce měnit „nahoru“ i „dolů“ proudem, který jím protéká po určitou dobu jedním nebo druhým směrem. Jestliže memristor odstavíme od dodávky proudu, bude si pamatovat poslední hodnotu svého odporu. Memristor je tedy v podstatě analogová paměť.



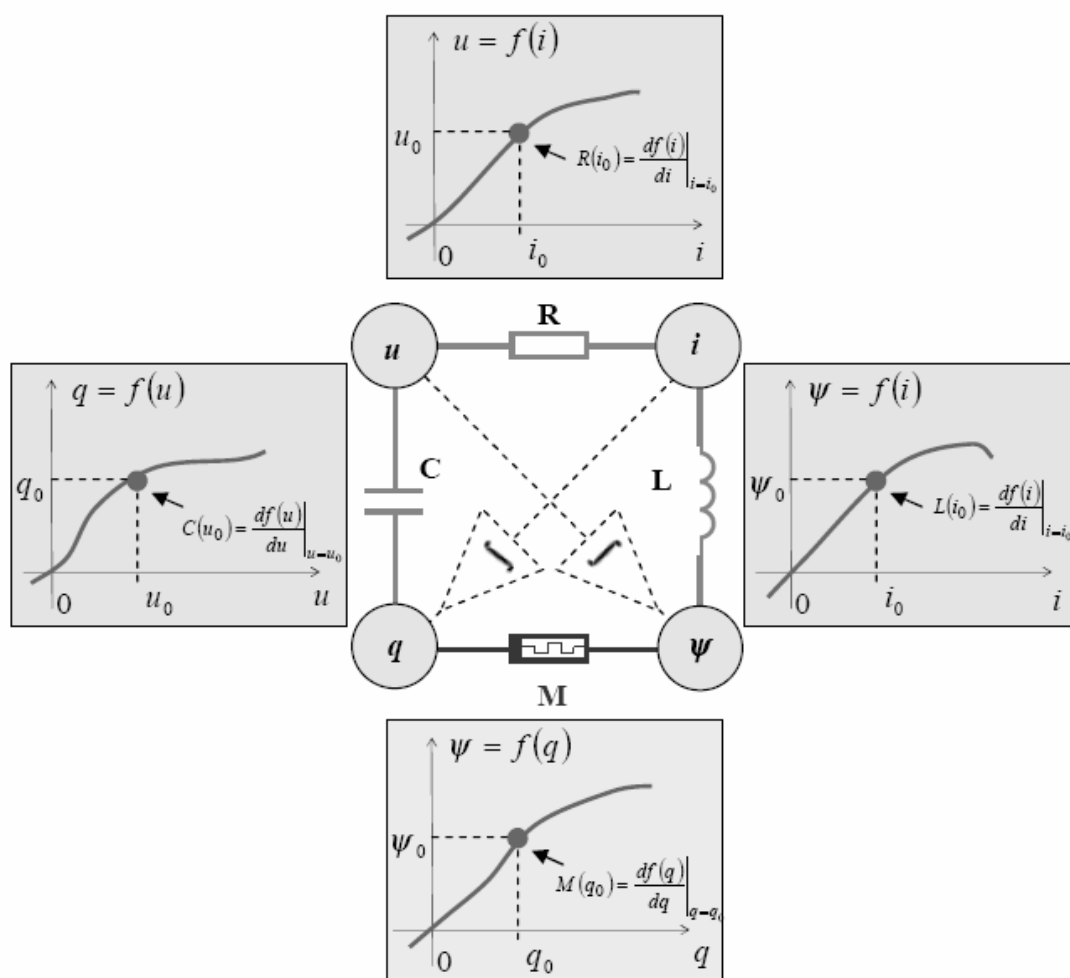
Obr. 1: Schématická značka memristoru.

Z. Biolek a D. Biolek uvádějí v (2): „Memristor je rezistor, jehož odpor lze zvyšovat a snižovat pomocí proudu, který jím necháme protékat po určitou dobu jedním nebo druhým směrem. Přerušíme-li průtok proudu, memristor si nastavenou velikost proudu zapamatuje.“

2 Teoretický objev memristoru

Existují čtyři základní elektrické veličiny: elektrický proud i , elektrické napětí u , elektrický náboj q , magnetický tok ψ (viz obr. 2). Mezi těmito veličinami existuje šest matematických vztahů, z nichž dva jsou integrace podle času (náboj je časový integrál proudu a magnetický tok je časový integrál elektrického napětí) a tři další zajišťují prvky rezistor ($u = R \cdot i$), kapacitor ($q = C \cdot u$) a induktor ($\psi = L \cdot i$). Prvek, který by realizoval vazbu mezi magnetickým tokem ψ a elektrickým nábojem q , předpověděl profesor Chua v roce 1971. Chybějící element profesor Chua označil jako memristor s memodporem M (memristance), realizující vztah mezi magnetickým tokem a elektrickým nábojem $\psi = f(q)$.

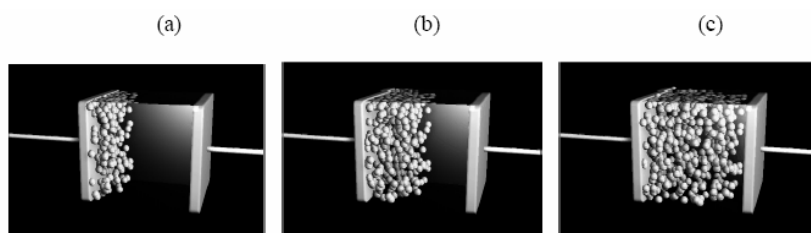
Již počátkem 70. let minulého století si mnozí badatelé začali uvědomovat, že mnohé jevy, se kterými se v rámci svých specializací běžně setkávají, vykazují znaky memristoru. Pátrání po fyzikálním principu, který by umožnil realizaci memristoru jako pasivní elektrické součástky, však bylo neúspěšné. Od předpovědění existence hypotetického memristoru do jeho nalezení uplynulo 37 let. Teprve v květnu 2008 bylo potvrzeno, že memristivní jevy se hojně vyskytují ve světě nanometrických rozměrů (2).



Obr. 2: Memristor jako čtvrtý chybějící prvek. (2)

3 Objev v laboratořích Hewlett Packard

Memristor byl objeven při výzkumu nanostruktur v roce 2008 v laboratořích Hewlett Packard (v kalifornském Palo Alto) v týmu vedeném inženýrem Stanleyem Williamsem. Již delší dobu byla na některých nanostrukturách pozorována anomální hystereze ve voltampérové charakteristice (proměnný odpor, jehož hodnota závisí na minulosti nanostruktury), nikdo však nedokázal takové chování spolehlivě vysvětlit. Williamsův tým navrhl memristor tvořený tenkou vrstvou kysličníku titaničitého TiO_2 tloušťky přibližně 30 nm, uzavřenou mezi dvě platínové elektrody. Samotný TiO_2 je dobrým izolantem, u jedné z elektrod je však ochuzen o atomy kyslíku, čímž vzniká vrstvička dopantů – kladně nabitých děr, která se chová jako polovodič s poměrně dobrou vodivostí. Celkový odpor mezi platínovými elektrodami je dán součtem odporů polovodičové a izolační vrstvy. Vlivem protékajícího proudu se hranice mezi vodivou a nevodivou vrstvou pohybuje ve směru proudu, šířka vodivé vrstvy se mění a také celý memristor mění svůj odpor (viz obr. 3). Ve stavu (a) je odpor maximální, ve stavu (b) je minimální. Rozhraním mezi vodivou a nevodivou vrstvou lze pohybovat na jednu či druhou stranu proudem, protékajícím jedním nebo druhým směrem. Odpojíme-li memristor od vnějšího napětí, proud přestane protékat, rozhraní se zastaví a už svoji polohu nezmění, takže součástka si pamatuje svůj odpor.



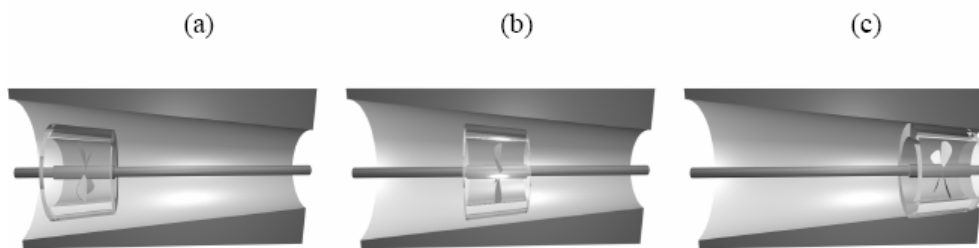
Obr. 3: Pohyb dopantů uvnitř memristoru HP. (2)

4 Memristor – hydromechanická analogie

Pro pochopení principu složitých fyzikálních jevů je vhodné využívat analogií s jinou fyzikální soustavou. Pomocí analogie je pak jev demonstrován na jednodušším modelu. Takovýchto „zjednodušení“ bývá použito při didaktické transformaci (3), kdy se snažíme využít vzdělávací hodnotu obsahu s optimálním vzdělávacím efektem pro žáka.

Princip fungování memristoru je patrný z hydromechanické analogie (viz obr. 4), jak ji uvádějí Z. Biolek a D. Biolek v (2). Trubička, kterou protéká tekutina, odpovídá memristoru, kterým protéká elektrický proud. Proud tekutiny točí vrtulkou, která pohybuje zátkou podle směru proudu na jednu nebo druhou stranu. Pohybem zátky se mění aktivní průřez a tím také odpor, který trubička klade protékající tekutině. Přestane-li tekutina proudit, pohyb se zastaví a trubička si pamatuje svůj stav (tím také odpor) tak dlouho, dokud tekutina nezačne proudit a pohybovat zátkou.

V poloze (a) proud prochází nejen přes vrtulku, ale i kolem zátky a odpor soustavy má minimální velikost. Největší odpor má trubička v opačné poloze (c), kdy je zátkou uzavřena a proud prochází pouze otvorem pro vrtulku. Pohybuje-li se zátko vlivem pohybu tekutiny střídavě na obě strany tak, že se stále udržuje uvnitř trubičky (b), chová se celá soustava jako ideální memristor, tj. jako rezistor spojitě měnící hodnotu odporu podle množství protékajícího proudu.

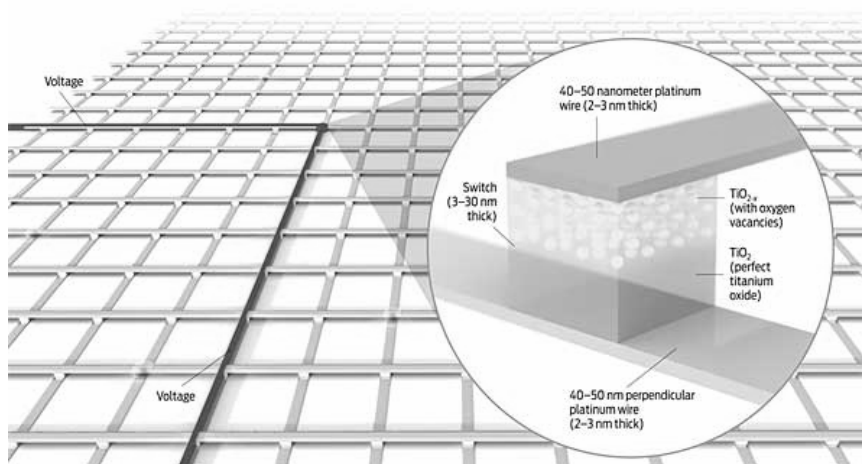


Obr. 4: Hydromechanický memristor. Vrtulka je vedena tyčí s vyřezaným závitem. (2)

5 Využití memristorů - memristor jako paměť

Jak uvádí R. S. Williams v (4), je budoucnost memristorů spojována s tzv. příčkovou strukturou, ve které jsou jednotlivé paměťové elementy zapojeny do matice (viz obr. 5).

Příčková struktura je tvořena příčkami vzájemně se křížících vodičů, jak je vidět na obr. 5., v místě každého křížení jsou vodorovné a svislé vodiče od sebe vzájemně odděleny memristorem. Jak již bylo uvedeno, memristor je energeticky nezávislá paměť, takže v klidovém stavu nespotřebovává paměťová matice žádný elektrický proud.



Obr. 5: Memristorová matice zapojená do příčkové struktury. (4)

Adresování paměťové buňky pro čtení nebo zápis se provede velmi snadno aktivací příslušné dvojice vodičů daného řádku a sloupce. Zápisem do analogové memristorové buňky rozumíme změnu odporu memristoru na jakoukoliv hodnotu v rozmezí od minimální po maximální hodnotu daného memristoru. Odpor memristoru lze spojitě měnit množstvím dodaného náboje, což lze v praxi uskutečnit působením zdroje napětí nebo proudu po určitý čas. Čtením analogové memristorové buňky rozumíme zjištění aktuální hodnoty odporu memristoru.

Memristorová paměť může zaznamenávat tedy více stavů než 0 a 1, jak je tomu v současných pamětech. Záznam je trvalý (aktuální hodnotu odporu memristoru je možné kdykoli přečíst) a memristorová paměť nepotřebuje být trvale připojena na napětí. Počet zápisových cyklů je neomezený, zjištění zaznamenané hodnoty je velmi rychlé.

6 Závěrem

Příspěvek se snažil uvést čtenáře do problematiky memristoru, jakožto nově objevené součástky, i když memristor jako součástka bude zřejmě ještě dlouho na trhu nedostupný. Memristor také můžeme chápat jako integrující pojem v oblasti teoretické elektrotechniky, kde nám tvoří čtvrtý prvek k prvkům R, L, C. Memristor se tak stává součástí vertikální integrace (5) elektrotechnických předmětů. Je teď na učitelích, zda se rozhodnou učivo o něm zařadit do výuky, například formou vhodných pojmových map (6).

7 Literatura

- (1) CHUA, L. O. *Memristor – The Missing Circuit Element. IEEE Transactions on Circuit Theory*, vol. CT-18, No. 5, September 1971, p. 507 – 519.
- (2) BIOLEK, Z., BIOLEK, D. *Úvod do studia memristoru*. In *Perspektivy elektroniky 2009*. Rožnov pod Radhoštěm : SŠIEŘ, 2009, s. 115 – 130. ISBN 978-80-254-4052-0.
- (3) KROPÁČ, J., KROPÁČOVÁ, J. *Didaktická transformace pro technické předměty*. 1. vyd. Olomouc : VUP, 2006. ISBN 80-244-1431-7.
- (4) WILLIAMS, R. S. *How we found the missing memristor. IEEE Spectrum*. [online]. [cit. 2009-04-22]. Dostupné na WWW <<http://www.spectrum.ieee.org/print/7024/>>.
- (5) KROPÁČ, J., KUBÍČEK, Z., CHRÁSKA, M., HAVELKA, M. *Didaktika technických předmětů : vybrané kapitoly*. 1. vyd. Olomouc : VUP, 2004. ISBN 80-244-0848-1.
- (6) NEUMANN, K. Uplatnění vertikální a horizontální integrace při přípravě podkladových materiálů pro ŠVP formou „pojmové mapy“ ve zvolené vzdělávací oblasti. In *Trendy ve vzdělávání 2008 : Informační technologie a technické vzdělávání*. 1. vyd. Olomouc : Votobia, 2008. ISBN 978-80-7220-311-6.

Lektoroval: Mgr. Jan Lavrinčík, DiS. (Univerzita Palackého v Olomouci)

Kontaktní adresa:

Mgr. Karel Neumann
Univerzita Palackého
Pedagogická fakulta
771 40 Olomouc
Česká republika
E-mail: karel.neumann@post.cz
Tel. +420 602 187 345