

Memrisztorok elektromágneses terének szimuálciója

***Reizinger Patrik* *(W5PDBR)***

**Konzulens:** Dr. Gyimóthy Szabolcs

2018.05.23.

# Tartalomjegyzék

[Tartalomjegyzék 2](#_Toc514845137)

[Elméleti áttekintés 3](#_Toc514845138)

[A modell felépítése 6](#_Toc514845139)

[Peremfeltételek 7](#_Toc514845140)

[Összefoglalás, kitekintés 8](#_Toc514845141)

[Köszönetnyilvánítás 9](#_Toc514845142)

[Irodalomjegyzék 9](#_Toc514845143)

# Elméleti áttekintés

Az utóbbi évtized kutatási eredményeinek következtében a memrisztorok vizsgálata igencsak aktív területté vált. A negyedik alapvető elektromos építőkőnként is számon tartott memrisztor kérdésköre egészen 1971-ra datálódik, Chua cikkében kizárólag elméleti megfontolásokra hagyatkozva vélelmezi a memrisztor, mint fizikai komponens létét [1]. Nevének jelentősége abban mutatkozik meg, hogy van belső állapota, vagyis memóriaként alkalmazható, továbbá minden állapot jellemezhető egy dedikált ellenállásértékkel.

A feltételezést, hasonlóan, mint ahogy Mengyelejev és a periódusos rendszer esetében, 2008-ban követette a realizáció, amikor is a HP mérnökeinek sikerült a Chua által meghatározott jellemzőkkel bíró komponens megvalósítása [2]. Fontos kiemelni, hogy nanostruktúrákról beszélünk – ebből kifolyólag is fokozott az érdeklődés a tématerület iránt, egyesek már-már a hagyományos, tranzisztoralapú technológia bukását látják a memrisztorokban, a jelenlegi technológia azonban még nem teszi lehetővé a tömeggyártást, azonban már léteznek kisebb, memrisztorokat és hagyományos áramköri elemeket ötvöző megoldások.

A memrisztor „feltalálásának” jelentősége elsősorban abban rejlik, hogy segítségével az elektromosmágneses alapmennyiségek között definiált összefüggését zárt, konzisztens rendszerré teszik. Ennek áttekintéséhez érdemes a *töltés, áram, feszültség és mágneses fluxus* mennyiségeit, ill. ezek kapcsolatát mátrixos elrendezésben áttekinteni.[[1]](#footnote-1)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ***q*** | ***i*** | ***u*** | ***φ*** |
| **q** |  |  |  |  |
| **i** |  |  |  |  |
| **u** |  |  |  |  |
| **φ** |  |  |  |  |

*1.ábra: Az alapmennyiségek kapcsolatának áttekintése (szürkeárnyalatos – áram, feszültség; sárga – kapacitás; piros – ellenállás; zöld – induktivitás; kék – memrisztivitás)*

Az 1. ábrában összefoglalt kapcsolatrendszerben a memrisztor az eddigiek során hiányzó kapcsolatot, a fluxus és a töltésmennyiség közti összefüggést teremti meg az *M* memrisztivitás segítségével., ami a következő módon fejezhető ki:

Mielőtt rátérnénk a memrisztor egyszerűsített matematikai modelljére, érdemes röviden szót ejteni a karakterisztikáról. Jelen esetben erősen nemlineáris I-V jelleggörbével van dolgunk, ami azonban alakját tekintve különbözik a hiszterézis mintapéldájaként emlegetett vasmagtól, ugyanis a memrisztor esetében a hiszterézises hurok önmagát metszi, mégpedig úgy, hogy 0 A áramhoz   
0 V feszültség tartozik, azaz nem alkalmas az eszköz energiatárolásra.

I

V

*2.ábra: A memrisztor nemlineáris I-V jelleggörbéje*

Megvalósítás tekintetében számtalan forma és anyag található meg, én jelen feladat során a két elektróda közötti félvezetőrétegből kialakított „szendvicsstruktúrára” szorítkozom, anyag tekintetében pedig Ag2S-re – elsősorban a szakirodalom jelenlegi eredményeiből kifolyólag, illetőleg azért, mert egyetemünk Természettudományi Karának Nanoelektronika Kutatócsoportja az említett anyaggal folytat kutatást.



*3.ábra: Ag2S-memrisztor struktúrájának vázlata [3]*

A 3.ábra alapján könnyen leírható a memrisztor (egyszerűsített) működési elve, ami a matematikai modell alapját alkotja.

Az elektródákra kapcsolt (nyitóirányú) feszültség következtében kialakuló elektromos tér hatására, illetőleg az egyszerűsítés miatt elhanyagolt egyéb, kvantummechanikai okokból kifolyólag anyagtranszport indul meg a kristályon belül, ami az anyagszerkezet megváltozását okozza.

Ennek következtében, hasonlóan, mint a tranzisztor működése, a dielektrikumon belül kialakul egy „kiürített réteg”, az anyagjellemzők megváltoznak. A modellek ezt a jelenséget írják le a memrisztor két (be-, ill. kikapcsolt) állapotával, melyek mindegyikéhez egy ellenállásértéket rendelnek.

A két ellenállás (Roff és Ron) segítségével megadható a feszültség és áram közötti összefüggés[2]:

Ahol µv az ionok átlagos mozgékonyságát, D pedig a kristályréteg vastagságát jelenti és w az állapotváltozó ( [0;D] értelmezési tartománnyal).

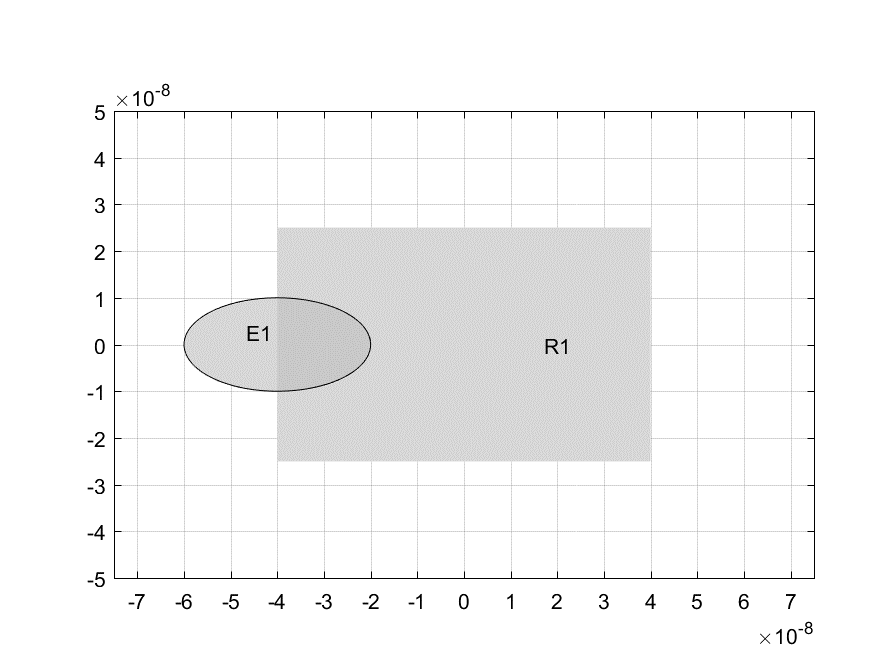
Fenti egyenletek alapján kifejezhető mind w(t), mind pedig az M memrisztancia, ez utóbbi q függvényeként.

# A modell felépítése

Annak ellenére, hogy az előzőekben ismertetett egyenletek nem alkalmasak a Maxwell-egyenletek felírásához, közvetve mégis hozzájárulnak ahhoz, hogy a modellezés során, a korlátozásokat figyelembe véve, valósághűbb modellt kaphassunk.

Az áram és feszültség közötti összefüggést leíró, állapotváltozós egyenlet segítségével ugyanis modellezhetjük az anyagjellemzőket. Mivel a transzportfolyamatok, illetőleg egyéb kvantummechanikai, termikus hatások modellezése jelentős mértékben túlmutat jelen feladat keretein – illetve egyes esetekben még a kutatók számára sem tisztázott teljesen -, így a memrisztormodell síkproblémaként történő felépítése a következőképpen valósult meg.

A vizsgált Ω tartományt a 3. ábrával analóg módon vettem fel, az anyagtranszport folyamán létrejövő dendritszerű képződményt egy félellipszissel modelleztem.



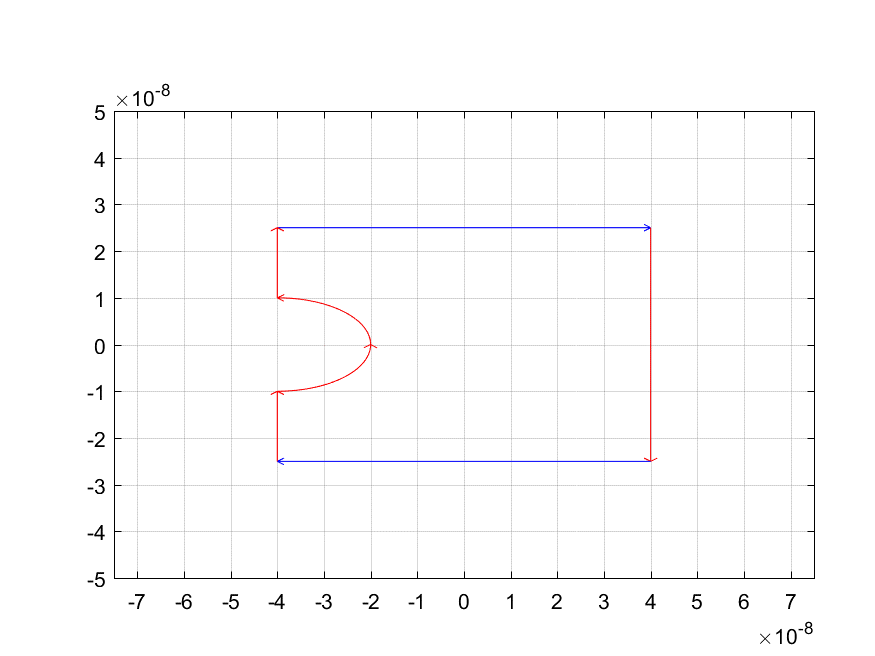
*4.ábra: a PDE Toolboxba bevitt egyszerűsített geometriai modell.*

A négyszögtartomány oldalainak hossza 80, illetőleg 50 nm, míg az ellipszis félnagytengelyei 20 és 10 nm-es nagyságúak.

# Peremfeltételek

A peremfeltételek meghatározása során a geometria két oldalára Dirichlet-peremfeltételeket vettem fel, az elektródákat a 3. ábrának megfelelően helyeztem el, a baloldali elektródára 0 V-ot, míg a jobb oldalira 0.3 V-ot írtam elő.

A négyszögtartomány másik két oldalára pedig homogén Neumann-peremfeltételt vettem fel, ami konzisztens a [4]-ben kapott eredményekkel, illetőleg az [5]-ben végzett szimuláció megfontolásaival.



*5. ábra: a felvett peremfeltételek*

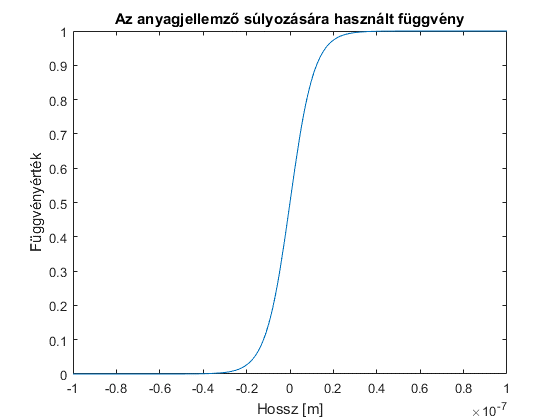
# A PDE meghatározása

A feladat során [5]-tel teljesen analóg megközelítést alkalmaztam a differenciálegyenlet specifikálásában, vagyis a mezőt Poisson-egyenlettel írtam le.

A PDE Toolbox által alkalmazott, következő formula paramétereit a következők szerint határoztam meg.

Utóbbi egyenletben q az elemi töltést, n a töltéshordozó-koncentrációt, míg A az elrendezés területét jelöli, vagyis a 0-val egyenlő a séma szerint, a többi megfeleltetés pedig a fentiek szerint adódik.

Az állapotváltozós leírás által modellezett átmeneteknek megfelelően írtam elő a modell számára a dielektromos állandót, az Ag2S-re jellemző εr-t (melynek értéke 6) egy szigmoid függvénnyel súlyoztam, hogy modellezni tudjam gerjesztés hatására módosuló vezetési jellemzőket. Ugyanis a transzportfolyamatok következtében lényegében a memrisztor egy része vezetővé válik, az Ag2S dielektrikum jelleg közelítőleg megszűnik, így ε-t a kezdeti értéktől viszonylag nagy dinamikával 0-ra csökkentem.



*6. ábra: Szigmoidfüggvény a dielektromos állandó súlyozására*

Az utóbbi évek tendenciáit tekintve egyértelműen a különböző virtuálisvalóság-megoldások esetében figyelhető meg egyrészt a köztudatba való beépülés, másrészt pedig a felhasználók egy-egy tudatos, ámbár speciális szegmense által jelentett növekvő kereslet. Ez utóbbi esetében elsősorban a professzionális játékosokat, illetve a megoldásokat jelenleg még csak tesztelő, a technológia határait kiismerni igyekvő ipari szegmenst értem.

* az emberi idegrendszerrel az adott szcenárió valódiságát – a problémát pusztán az okozza, hogy a generált kép által láttatott térinformációk, ill. a képmegjelenítő fizikai közelsége eltérnek, ami rosszullétet válthat ki). Valamint ebbe a kategóriába tartozik a felhasználó élmény témaköre is, mely esetében jelenleg még gyakran kényszerül a felhasználó kompromisszummra, például a HTC VIVE[[2]](#footnote-2) esetében, habár maga a rendszer, a felhasználói felület kényelmes, könnyen kezelhető (saját tapasztalat alapján), a vezetékkel csatlakoztatott fejegység (HMD, Head Mounted Display) igencsak kényelmetlen szituációkat tud okozni használat közben.

# Összefoglalás, kitekintés

A projekt során kitűzött cél, vagyis a funkcionálisan működő, kompaktabb, nagyobb számítási kapacitással rendelkező bázisállomás, illetőleg ceruzamodul kialakítása a specifikációnak megfelelően megtörtént.

A megvalósítás során a gyártási fázisok során a jelen projekt specifikációjának megfelelő módosítások kerültek bevezetésre, melyek lehetővé teszik esetlegesen több darab eszköz gyorsított ütemű elkészítését is.

Az implementált egységek kritikus pontjainak tesztelésére is sikeresen sor került, vagyis alapvetően adottak a feltételek ahhoz, hogy a szoftveres funkcionalitás megvalósítása következzen.

# Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom konzulenseimnek, Dr. Kiss Bálintnak és Dr. Vajda Ferencnek a projekt megvalósítása során biztosított támogatásukért.

Ezúton szeretnék köszönetet nyilvánítani *Péter Gábornak* a rendelkezésemre bocsátott kontúrmaróért, ill. a 3D nyomtatás és tervezés mesterfogásainak megosztásáért, *Rácz Györgynek* a PIC mikrokontrollerek alkalmazásában nyújtott részletes segítségért, továbbá külön köszönöm a nyáktervezéssel kapcsolatos észrevételeit.

Továbbá köszönöm *Szabó Benjáminnak*, hogy segítséget nyújtott az LGA tokozású integrált áramkörök kézi beforrasztásában.

*Készült az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-1-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával.*

**

# Irodalomjegyzék

1. Rácz Gy. – Pilászy Gy.– Horváth T. 2015 Tracking moving objects underwater in shallow lakes. *In*: Kiss B. –Szirmay-Kalos L. (szerk.): *Proceedings of the Workshop on the Advances of Information Technology: WAIT.* Budapest BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék, 101–105.
2. Reizinger P. 2017 *3D rajzeszköz-platform fejlesztése virtuálismunkakörnyezetekhez.* Budapest: BME-VIK TDK dolgozat

1. <https://www.americanscientist.org/article/the-memristor> (2018.05.23.) [↑](#footnote-ref-1)
2. [↑](#footnote-ref-2)