

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMISOARA
FACULTATEA DE ELECTRONICA SI
TELECOMUNICATII
DEPARTAMENTUL DE ELECTRONICA
APLICATA

TEZA DE DOCTORAT
REZUMAT

SISTEM UNIVERSAL DE
CONDITIONARE A SEMNALELOR
PROVENITE DE LA MATRICE DE
SENZORI ELECTROCHIMICI SI
BIOLUMINESCENTI

ING. DAVID GEORGE CRISTEA
COORDONATOR PROF. DR. ING. VIRGIL TIPONUT

TIMISOARA 2011

Aceasta teza de doctorat a fost elaborata in Departamentul de Electronica Aplicata in cadrul Facultatii de Electronica si Telecomunicatii din Universitatea Politehnica din Timisoara. Aceasta lucrare este rezultatul celor 3 ani de activitate de cercetare in cadrul programului european de doctorate.

In aceasta teza de doctorat autorul isi prezinta rezultatele obtinute, un nou concept de circuite universale de conditionare a semnalelor pentru matrice de senzori electrochimici si bioluminescenti, pe fundalul unei ample cercetari bibliografice asupra circuitelor existente precum si asupra proceselor electrochimice, bioluminescente si a proceselor implicate de acesti senzori de la fabricare pana la utilizare. Acest sistem de conditionare a semnalelor poate functiona atat cu senzori electrochimici cat si cu senzori bioluminescenti. Prima provocare intalnita a fost directia curentilor acestor senzori. Senzorii bioluminescenti injecteaza curenti in circuit in timp ce senzorii electrochimici extrag curent din circuit. O alta problema ce a trebuit depasita a fost excursia mare a curentilor cu care circuitul trebuie sa lucreze, de la 1 nano amper pana la 100 micro amperi. In literatura exista mai multe modele de principiu pentru circuite de conditionare a semnalelor, de la circuite ce amplifica curentii, la circuite ce transforma curentul in tensiuni ce vor fi amplificate si circuite ce transforma curentul in impulsuri facand ca frecventa sa devina purtatoarea de informatie. Pe acest principiu s-a bazat si cercetarea autorului, imbunatatind sistemul deja existent, facandu-l capabil sa functioneze cu orice fel de senzor amperometric. Autorul a inlocuit cheile circuitului care erau tranzistoare simple cu comutatoare rapide de curent, imbunatatind astfel performantele circuitului. De asemenea, autorul a monitorizat schimbarile ce apar in frecventa purtatoare de informatie la schimbarea temperaturii ambientale. In literatura de specialitate exista circuite de conditionare a semnalelor pentru senzori electrochimici capabile sa lucreze cu semnale cu marimi de ordinul picoamperilor dar nu se specifica nimic referitor la stabilitatea acestora cu temperatura. Autorul a testat aceste circuite si a constatat erori de pana la 100% la o variatie a temperaturii de doar cateva grade Celsius. Aceasta monitorizare a erorilor ce apar o data cu variatia temperaturii nu apare in literatura de specialitate pentru acest tip de circuite prin urmare autorul a fost printre primii care au investigat acest aspect. De asemenea, autorul a introdus in circuit un nou model de amplificator operational cu transconductanta (OTA), pornind de la un model deja existent pe care l-a simplificat, pastrand in acelasi timp caracteristicile circuitelor OTA mai complexe. Autorul a introdus in modelul de circuit un bloc de atenuare a erorilor produse de variatia temperaturii. Circuitele au fost testate pentru temperaturi teoretice variind intre minus 25 si 100 grade Celsius desi in practica, la temperaturi ce depasesc 75 de grade C bacterii E coli mor iar sub zero grade isi incetinesc metabolismul, fapt pentru care circuitul va functiona in practica in intervalul +10 - 70°C.

O alta contributie importanta a autorului este proiectarea unui circuit echivalent pentru simulare a celulelor electrochimice. In urma unei cercetari ample autorul a constatat existenta unui numar relativ mare de modele pentru simularea senzorilor electrochimici, de la modele simple ce emuleaza comportarea si functionarea componentelor majore a unui senzor pana la modele complexe ce emuleaza comportamentul celulelor tinand cont de marea majoritate a componentelor parazite ce apar in functionarea senzorului. Autorul a conceput un model simplu dar care emuleaza componentele cu importanta medie si majora in functionarea senzorilor electrochimici. In final, modelul pentru simulare ales trebuie sa tina cont de aplicatia pentru care se doreste a fi testat senzorul.

Capitolul 1 al tezei isi propune expunerea motivatiei ce a dus la aparitia acestei cercetari precum si cateva date despre bacteria E coli. Aceasta bacterie este elementul viu, BIO al ambelor tipuri de biosenzori folositi. De asemenea, in capitolul introductiv sunt prezentate calitatile ce trebuie urmarite la un biosenzor dar si o scurta istorie a biosenzorilor.

Capitolul doi al acestei teze de doctorat vrea sa faca o caracterizare generala a biosenzorilor dar acordand in acelasi timp o atentie deosebita senzorilor electrochimici.

Aceasta atentie deosebita acordata celulelor cu trei electrozi sau senzorilor electrochimici se datoreaza faptului ca intreaga cercetare a fost gandita avand in vedere acest tip de senzori. Circuitul este universal, poate functiona atat cu senzori electrochimici cat si cu senzori bioluminescenti dar dimensionarea si testarea au fost facute, in principal pentru senzorii electrochimici. Pentru acesti senzori au fost prezentate metodele de fabricatie si depunere a elementului biotic, electrozii, materialele folosite etc.

Pentru a putea obtine un circuit functional este nevoie de circuite echivalente care sa emuleze in programele CAD si SPICE coportamentul componentelor biologice, chimice si electrochimice intr-o maniera cat mai apropiata de realitate. In literatura exista numeroase modele ce isi propun sa emuleze functionarea unei celule electrochimice, de la modelele simple, bazate doar pe determinari experimentale pana la modelele complexe ce ascund in spatele lor algoritmi matematici complecsi creati sa emuleze comportamentul celulei tinand cont de toate componentele parazite. Autorul prezinta un scurt studiu bibliografic dupa care este prezentat modelul propus.

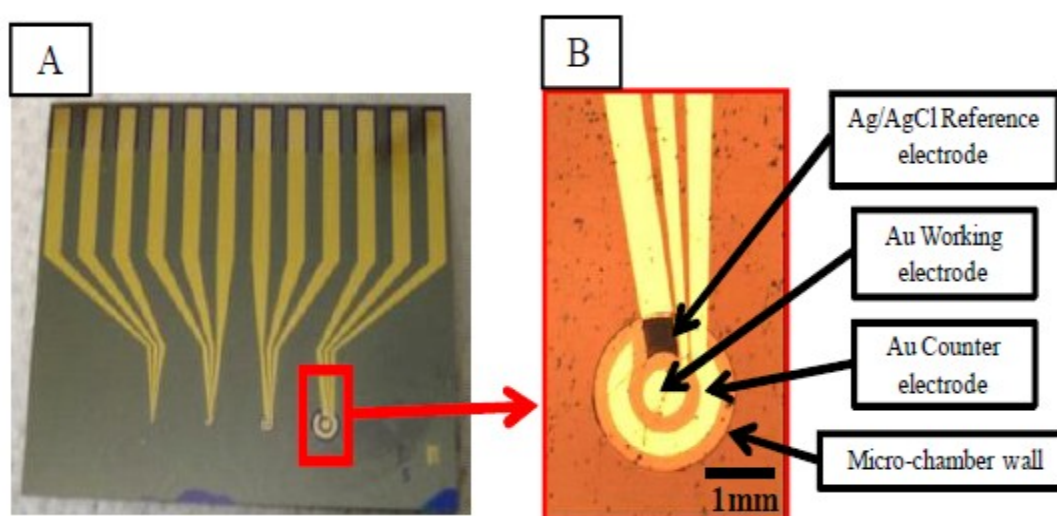


Fig.1 Senzori electrochimici, vedere de ansamblu

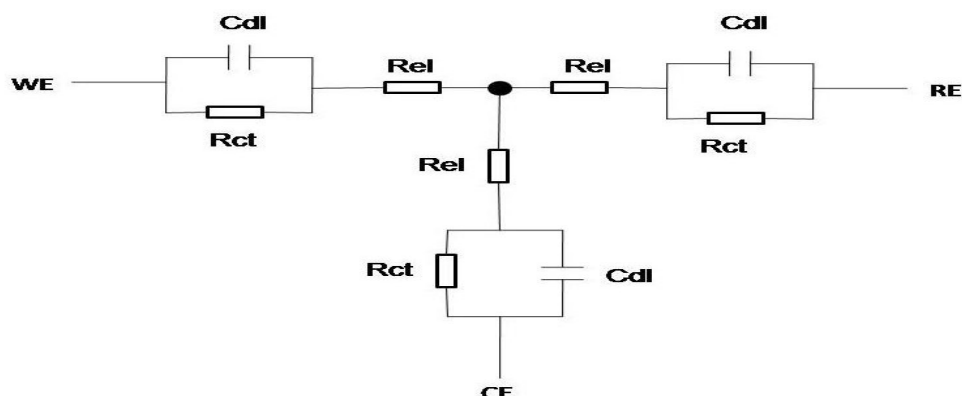


Fig. 2 Model echivalent pentru senzorii electrochimici

Modelul echivalent pentru celulele electrochimice a fost determinat matematic si verificat prin simulare. Dupa cum se poate vedea in Fig. 3 si Fig. 4, rezultatele simularilor aproximeaza in mare masura rezultatele experimentale obtinute in laboratoarele Universitatii Tel Aviv, Israel.

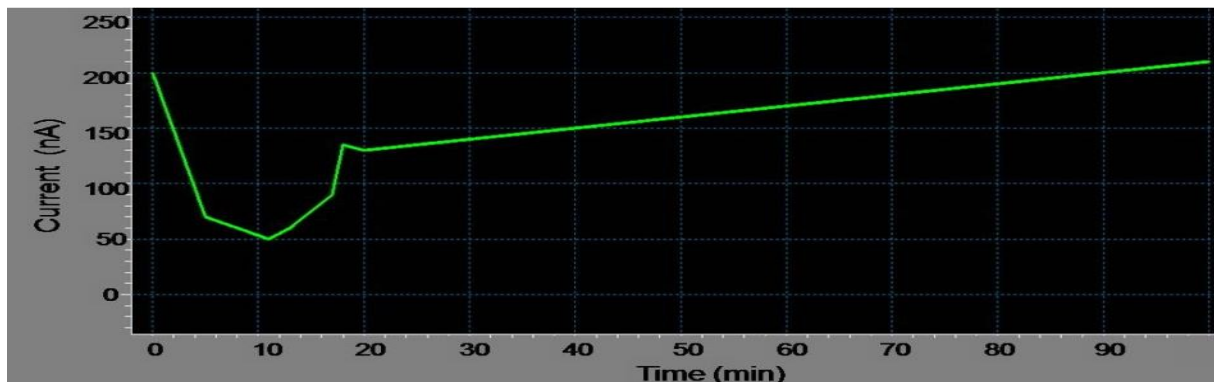


Fig. 3 Rezultatele simulării pentru o celulă electrochimică echivalentă

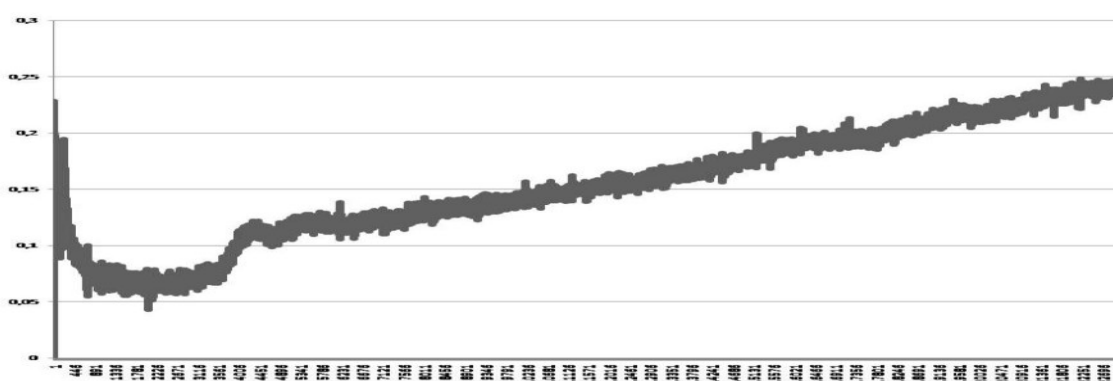


Fig. 4. Rezultate experimentale pentru o celulă electrochimică.

Capitolul 4 este o prezentare bibliografică asupra potențiostatelor. În acest capitol sunt explicate principiile de bază ce stau la baza funcționării potențiostatelor. În primul subcapitol sunt prezentate sistemele de condiționare a semnalelor în general, principiile ce stau la baza funcționării acestor circuite. În al 2-lea subcapitol, autorul prezintă cerințele și calitățile ce trebuie îndeplinite de sistemele de condiționare a semnalelor pentru senzorii electrochimici. În ultimul paragraf al acestui capitol autorul prezintă primul potențiostat documentat în literatură într-un articol din anul 1953 precum și modele actuale de potențiostate ce ilustrează principiul abordat de autor în modelul său.

Capitolul V, extrem de actual și interesant prin tematica abordată, prezintă un model de circuit universal de condiționare a semnalelor provenite de la senzori amperometrici Fig. 5. Acesta este un model de circuit original. Posibilitatea de a lucra cu o arie largă de curenți la intrare, de la 1 nano Amper la o sută de micro Amperi precum și posibilitatea de a condiționa semnale provenite de la orice fel de senzori amperometrici, indiferent de direcția de curgere a curentului fac ca acest circuit să prezinte un real interes pentru aplicațiile de profil. Circuitul se bazează pe conversia curenților în impulsuri, făcând astfel ca frecvența să devină purtătoarea de informație utilă. În acest mod, etajele de amplificare au fost eliminate.

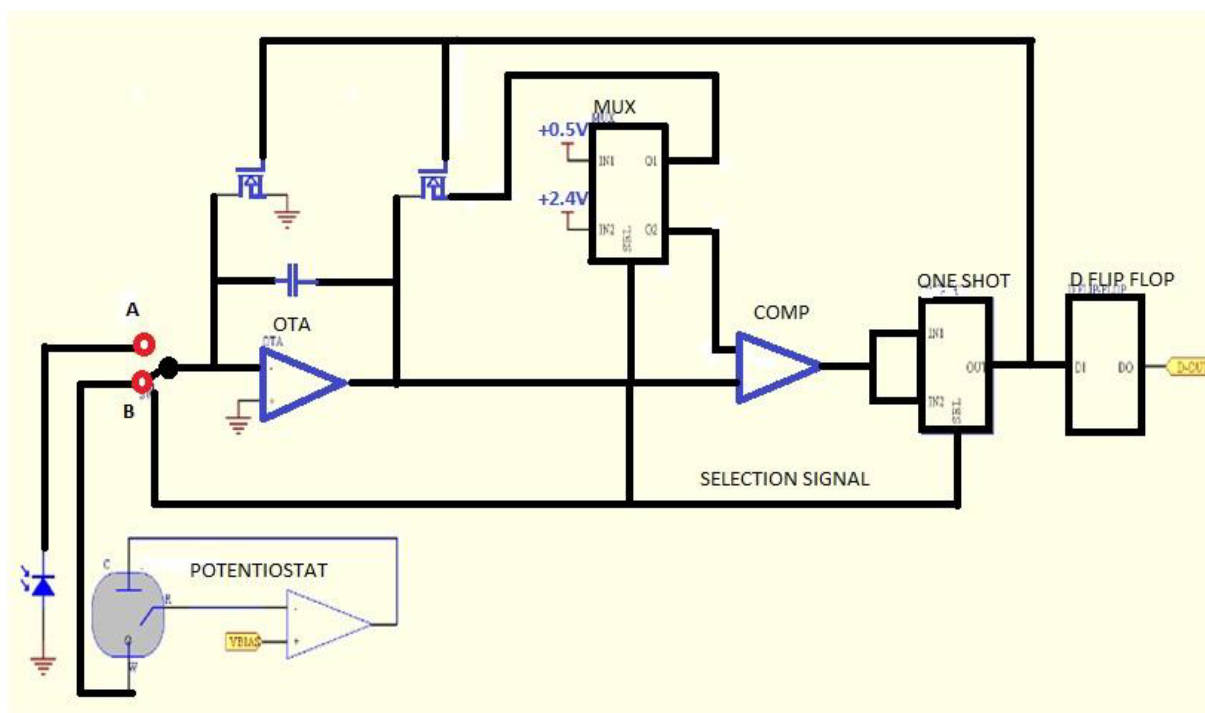


Fig. 5. Arhitectura simplificata propusa pentru circuitul de conditionare a semnalelor

Capitolul 5 continua cu detalierea blocurilor principale ce il compun. Un interes deosebit este aratat pentru amplificatorul operational cu transconductanta pentru care este prezentata pe larg teoria si algoritmi matematici care au condus la dimensionarea lui. Pentru aceasta, autorul a pornit de la un model existent in literatura pe care l-a simplificat, reducandu-i numarul de componente, pastrand in acelasi timp nealterate calitatile acestuia. De asemenea, tot in acest capitol autorul face o scurta prezentare a comutatoarelor rapide in curent ce au fost introduse pentru a inlocui cheile simple ce sunt folosite in general in astfel de circuite. Simularile au fost facute tinand cont de variatiile cu tehnologia de fabricatie, Slow, Typical si Fast, pe un interval de variatie al temperaturii intre minus 25°C si plus 100°C. Aceste temperaturi sunt la nivel teoretic deoarece la 75°C bacteriile E coli mor iar sub 0°C isi incetinesc metabolismul. Pentru acest interval de variatie al curentilor de intrare s-a obtinut o caracteristica de transfer liniara cu o variatie la iesire intre 4.17 Hz si 3.03 MHz.

Urmatorul capitol, capitolul VI, include atat prezentarea generala a matricelor de senzori cu 3 electrozi existente la ora actuala cat si a posibilitatilor si modelelor ce pot fi implementate, avand in vedere numarul de potentiostate per matrice, numarul de electrozi pentru fiecare celula si modalitatea de control a parametrilor ce urmeaza a fi masurati. Urmatorul subcapitol este dedicat modelului propus pentru implementarea unei matrice de senzori electrochimici si bioluminescenti. Fiecare celula din aceasta matrice poate functiona atat ca senzor electrochimic cat si ca senzor bioluminescent, astfel capacitatea matricei 8X8 fiind extinsa la 128 de senzori. Tipul de senzor ce se doreste a fi citit este selectat de catre utilizator. O data selectia tipului de senzor facuta, circuitul de multiplexare si control va selecta celula din matrice ce va fi citita.

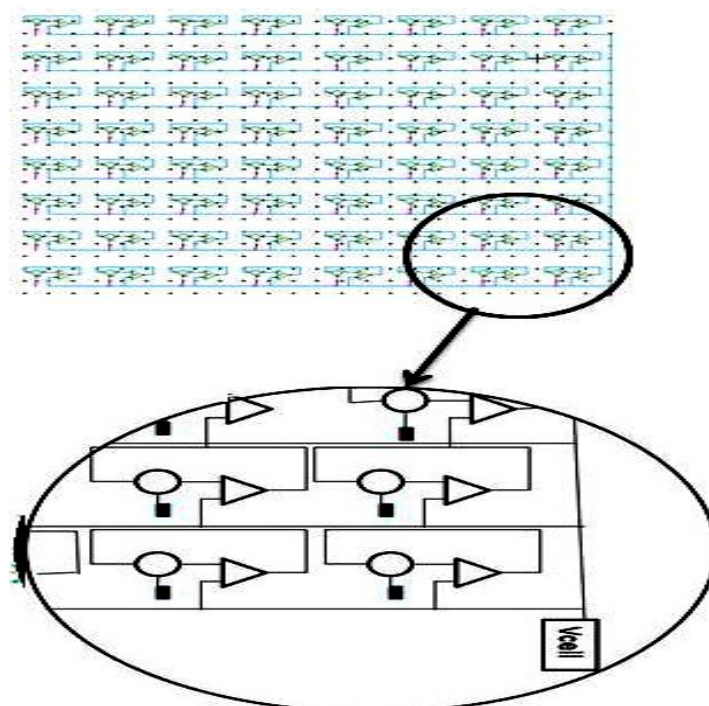


Fig. 6. Matricea de senzori propusa.

Citirea senzorilor se va face serial. Ultimul subcapitol este dedicat blocului de multiplexare si control. Acest bloc a fost modelat din circuite bine cunoscute pentru a putea prezice comportamentul acestora in majoritatea conditiilor ce ar putea fi intalnite. Circuitul de control este alcatuit dintr-un registru de deplasare in timp ce multiplexarea este facuta cu ajutorul a 9 multiplexoare 8/1.

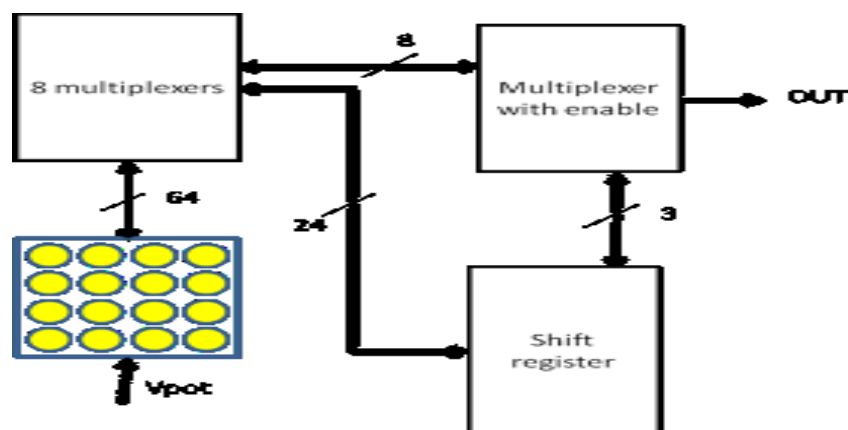


Fig. 7. Schema bloc a circuitului de multiplexare pentru matricea de senzori.

Capitolul al VII-lea este destinat compensarii erorilor datorate variatiilor temperaturii. Autorul a fost primul in literatura cunoscuta care si-a pus problema studierii stabilitatii circuitului original propus. Daca la curenti mari aceste derivate cu temperatura nu sunt atat de grave, la curentii mici aceasta instabilitate devine problematica. Autorul propune introducerea unui bloc de compensare a erorilor datorate variatiilor temperaturii prin introducerea unor tranzistoare in cuplaj-dioda. Metoda de compensare a erorilor merita detaliata. Se cunoaste ca

la modificarea temperaturii, tensiunea pe diode se modifica. Aceasta modificare se va traduce prin modificarea capacitatii de integrare a circuitului OTA.

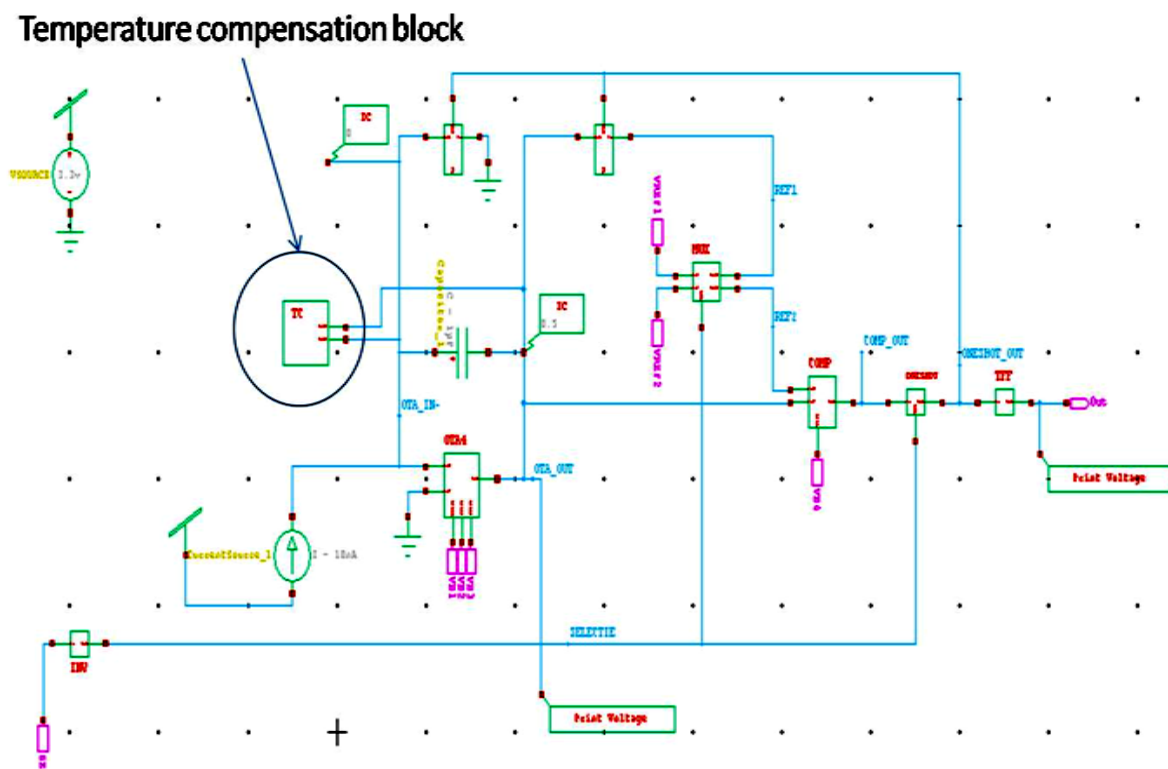


Fig.8 Circuitul de conditionare a semnalelor cu blocul de compensare a erorilor datorate variatiilor temperaturii inclus.

Modificand sau compensand timpzii de incarcare/descarcare a capacitorului se produce compensarea erorilor datorate variatiei temperaturii. Autorul a demonstrat prin comparatie fiabilitatea circuitului de compensare a erorilor propus.

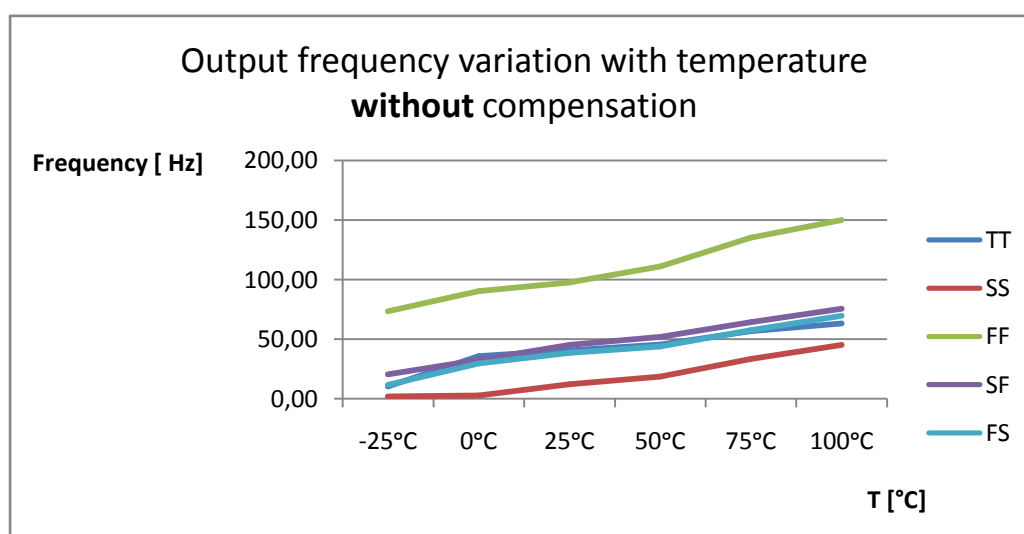


Fig.9. Variatia tensiunii de iesire in functie de variatia temperaturii, fara circuitul de compensare

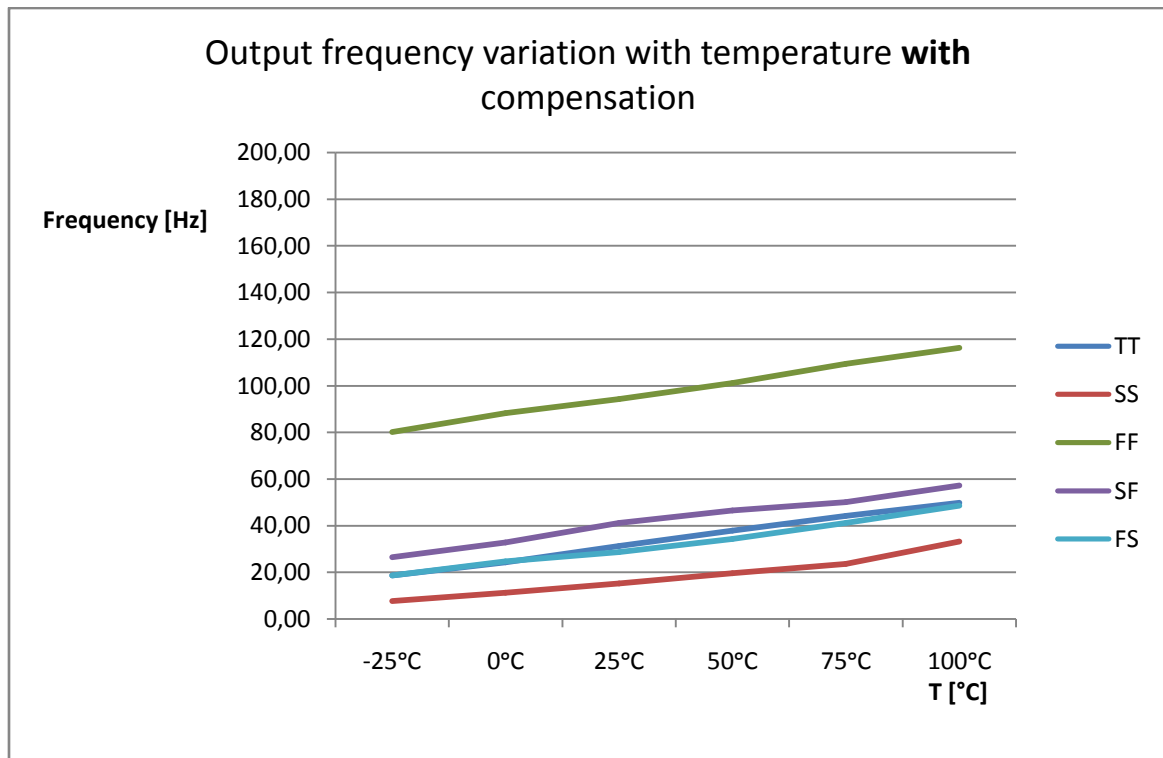


Fig. 10. Variatia tensiunii de iesire in functie de variatia temperaturii, cu circuitul de compensare inclus.

Teza se incheie cu un ultim capitol, in care sunt evidentiata principalele contributii teoretice si experimentale aduse de doctorand pe parcursul elaborarii lucrarii si sunt propuse directii de continuare viitoare a cercetarii. In acelasi capitol este prezentata o lista cu publicatiile proprii ale autorului (sunt mentionate 11 articole stiintifice). De asemenea autorul a beneficiat pe perioada cercetarii de o bursa europeana POSDRU. Teza a fost redactata in limba engleza si a fost elaborata in stransa legatura cu universitatea din Tel Aviv, Israel.