

UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI”
CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE FIZICA

**Dezvoltarea unui modul de
multiplicare a sensibilității pentru
îmbunătățirea măsurărilor
efectuate cu microbalanța cu cuarz**

Rezumatul tezei

Coordonator științific

Prof. Univ. Dr. Simon Simion

Student doctorand

Silaghi Andreea

Cuvinte cheie: QCM, Sensitivity Multiplication, Allan Variance, Median Absolute Deviation

2014

Continut

Introducere	3
1. Modulul de multiplicare a sensibilitatii – descrierea schemei si a modului de operare	5
2. Masurarea modificarii de frecventa si determinarea metodei potrivite pentru validarea capacitatii modulului de multiplicare a sensibilitatii	6
2.1 Alegerea metodei de frecventa heterodinara	7
2.2 Inserarea modulului de multiplicare a sensibilitatii in montajul QCM	7
3. Masuratori de validare si intrgrarea experimentală a modulului de multiplicare a sensibilitatii	9
3.1 Concepte folosite pentru implementare	9
3.2. Montajul experimental	10
3.2.1 Elementele montajului experimental	11
3.2.1.1 Rezonatorul de cristal de cuarz (151225-10) si oscilatorul QCM-ului (ICMFG 35366-10)	12
3.2.1.2 Celula de curgere QCM	13
3.2.1.3 Mixer, filtrul trece-jos si ajustarea impedantei	13
3.2.1.4. Standardul atomic de frecventa cu rubidiu FE 5680A	15
3.2.1.5. Dispozitivele de masurare HP-5316B	16
3.2.1.6 Interfata GPIB – USB	17
3.2.1.6.1 Controlerul declansabil USB - GPIB	17
3.3 Deviatia Mediana Absoluta	19
3.3.1 Masuratori in aer	20
3.3.2. Masuratori in apa	23
3.3.3. Masuratori in solutie zahar-apa	26
3.3.4. Concluzii asupra deviatiei mediane absolute	29
3.4. Diagrama masuratorilor deviatiei Allan	29
3.4.1. Concluzii asupra masuratorilor de deviatie Allan	32
3.5. Concluzii asupra masuratorilor de validare	32
3.6 Includerea modulului de multiplicare a sensibilitatii intr-un montaj experimental tipic	33
Concluzii asupra modulului de multiplicare a sensibilitatii	36

Introducere

În dorința noastră de a înțelege mai bine mediul care ne înconjoară, de la începuturile civilizației, am fost nevoiți să creăm instrumente pentru a ne îmbunătăți abilitățile și a compensa lipsa noastră de simțuri. Instrumentele noastre au devenit din ce în ce mai complexe și rafinate, permitându-ne să obținem cunoștințe noi și astfel să creăm noi instrumente care să servească scopurilor noastre. Putin s-a schimbat în eforturile noastre neobosite de a învăța cum să folosim fiecare aspect al mediului în avantajul nostru.

Dispozitivele de detectare sunt o categorie aparte de instrumente. Sezori avansați au abilitatea de a percepe lucruri care nouă ne scapă și prin înțelegere adecvată această informație este transformată în date pe care le putem procesa. Astfel ne permit să obținem informații asupra unor aspecte din mediul nostru de care nu suntem echipați în mod natural să fim conștienți. Acesta a permis progrese mari în special în domeniile tehnologice și medicale. Totuși, dacă ne uităm bine în jur, este evident că în puține aspecte ale vieții noastre lipsesc îmbunătățiri aduse de dispozitive cu senzori. Și dacă un asemenea aspect poate fi constatat, este deosebit de probabil că undeva un grup de cercetători se străduie să schimbe acest lucru.

Oscilatoarele cu cristal de cuarț au devenit unul din cele mai des întâlnite dispozitive în domeniul tehnologic. Acestea prezintă o serie de avantaje, printre care precizie, cost și ușurința de utilizare sunt cele mai apreciate. Orice aplicație ce necesită coordonare precisă în timp, de la aplicații cu microcontrolere până la transferuri bancare sunt conduse folosind una dintre formele oscilatorului cu cristal.

Ca și dispozitive de detectare, se regăsesc cel mai des în laboratoare, unde sunt utilizate ca și senzori de unde acustice. Unul dintre cele mai des utilizate dispozitive este microbalanța cu cuarț (QCM). Acest dispozitiv și-a demonstrat fezabilitatea ca și dispozitiv de detectare cu un număr larg de aplicații în domenii diverse.

Subiectul acestei teze este dezvoltarea, modul de operare și rezultatele unei soluții propuse pentru multiplicarea sensibilității microbalanței cu cuarț. Soluțiile de construcție sunt justificate în contextual opțiunilor existente și inovația abordării este atât demonstrată cât și examinată experimental.

Cand se lucreaza in domeniul masuratorilor de inalta precizie, constructia dispozitivului si aparatura experimentală trebuie alese cu mare grija. Pentru acest dispozitiv cele mai bune aparate si tehnologii existente au fost utilizate pentru a minimaliza orice interferente nedorite. Un numar mare de parametri poate influenta negativ rezultatele obtinute in urma masuratorilor. De aceea, orice interferenta posibila a fost evaluata cu grija si minimalizata pentru a obtine masuratori extrem de precise, care imbunatatesc calitatea datelor obtinute experimental.

Modulul multiplicare a sensibilitatii prezentat in aceasta teza este un dispozitiv brevetat (RO patent nr. 129483/30.05.2014) care mareste modificarea de frecventa a QCM-ului fara a schimba frecventa nominala a resonatorului de cristal de cuarz sau valoarea frecventei livrata aparatelor de masurare. Cu alte cuvinte, permite o citire mai precisa a modificarii de frecventa fara a afecta alti parametri ai sistemului. Montajul experimental care include acest dispozitiv de multiplicare a sensibilitatii a fost investigat sub conditii diverse de incarcare. Pentru a prezice cu acuratete capacitatile modulului de multiplicare a sensibilitatii a fost efectuata o analiza de deviatie Allan, folosind metoda heterodina. Masuratorile au fost efectuate in aer, in apa si in solutie de 50% zahar-apa pentru a-i investiga comportamentul in conditii diferite intalnite in sisteme QCM. Aceste analize confirma ca multiplicarea modificarii de frecventa este limitata de catre conditiile de incarcare ale cristalului de cuarz care afecteaza in mod direct factorul de calitate (Q) si stabilitatea oscilatorului. In ciuda problemelor cunoscute in ceea ce priveste masuratorile in lichide in sisteme QCM, modulul de multiplicare a sensibilitatii se comporta bine, oferind o acuratete de pana la sase ori mai mare in ceea ce priveste masurarea modificarii de frecventa [1].

1. Modulul de multiplicare a sensibilitatii – descrierea schemei si a modului de operare

Schema modulului de multiplicare a sensibilitatii, folosind un rezonator de cristal de cuarz de 10MHz poate fi vazuta in Fig. 1. Unda sinusoidala obtinuta de la oscilatorul QCM este trecuta printr-un amplificator dezvoltat in jurul tranzistorului 2N2369A pentru a creste amplitudinea semnalului. Circuitul de multiplicare contine doua multiplicatoare de ceas cu bucla de faza inchisa ICS511 (Integrated Device Technology, Inc.), un mixer digital bazat pe flip-flop-ul 74HC74 si un amplificator de nada joasa PLP-10.7+ (Mini-Circuits Inc.) precum si cateva componente pasive. Figura 2 arata modulul realizat practic.

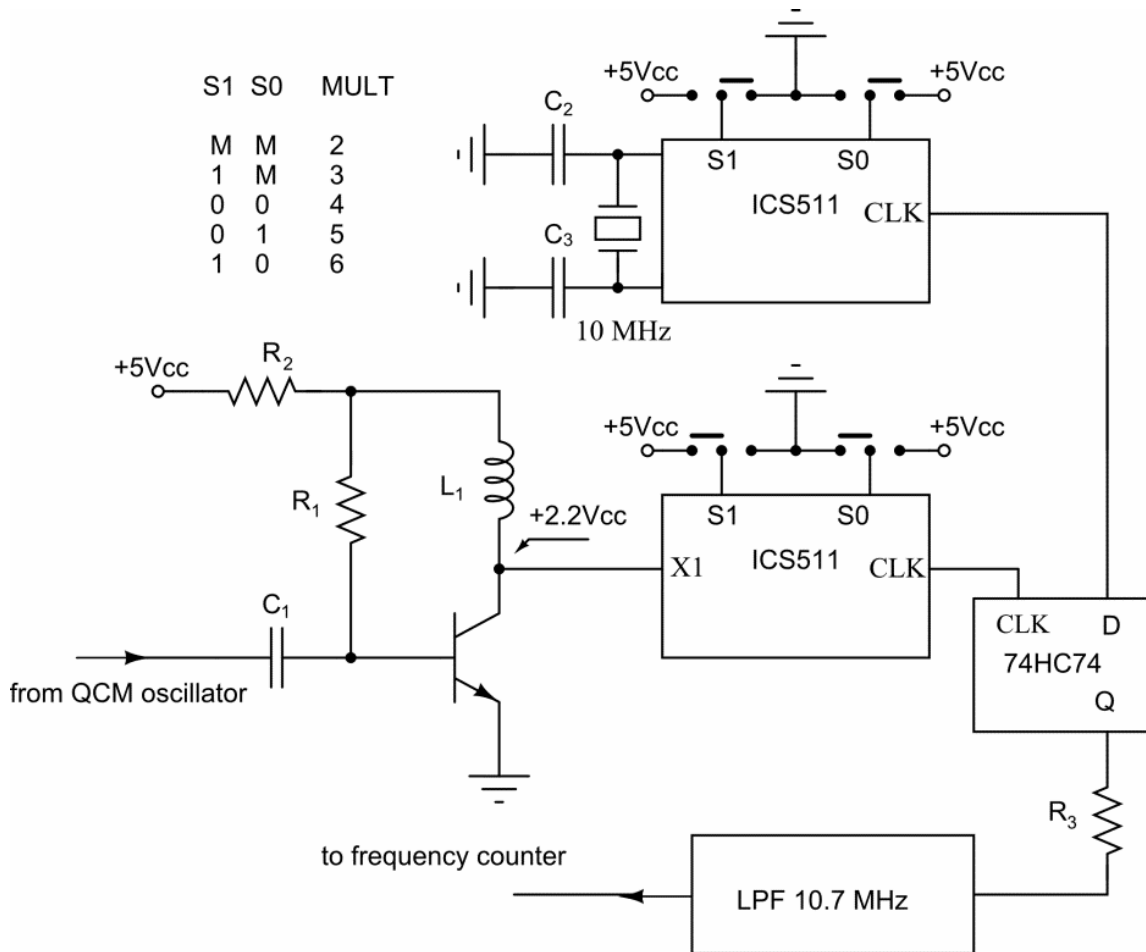


Figura 1 Schema modulului de multiplicare a sensibilitatii

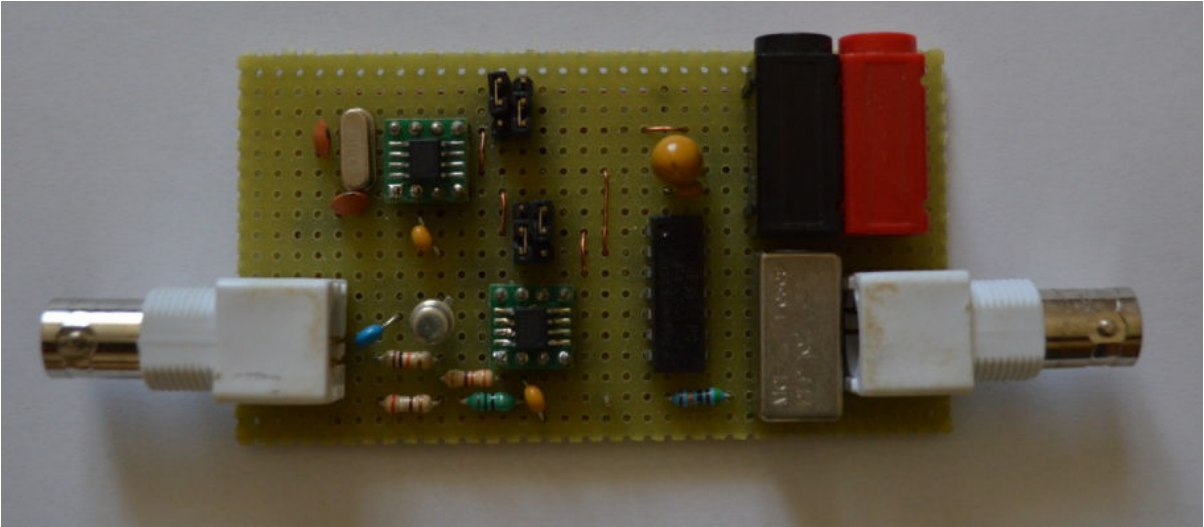


Figura 2: Modulul de multiplicare a sensibilitatii realizat practic

Modulul de multiplicare a sensibilitatii poate fi folosit pentru orice n , intr-un montaj $n-1$ in acord cu intrarile $S1$ si $S0$, dupa cum este prezentat in tabelul din figura 1, fara sa fie nevoie a ajusta alta valori ale circuitului. Testarea dispozitivului in toate combinatiile de multiplicare a rezultat in semnale precise si stabile de fiecare data.

2. Masurarea modificarii de frecventa si determinarea metodei potrivite pentru validarea capacitatiilor modulului de multiplicare a sensibilitatii

.Pentru a stabili validitatea dispozitivului prezentat au trebuit intocmite teste riguroase pentru a-I stabili capacitatile ca si multiplicator de frecventa. Cea mai buna metoda cunoscuta la ora actuala pentru stabilirea stabilitatii frecventei este metoda de calcul a deviatiei Allan. Dar inainte de a putea aplica orice calcul statistic, procesul de achizitie a datelor trebuie luat in considerare si evaluat pentru a stabili metoda potrivita pentru a obtine rezultate precise pentru cazul de fata.

2.1 Alegerea metodei de frecventa heterodinara

Cand se lucreaza cu sisteme QCM, parametrul de maxima importanta este masurarea modificarii de frecventa. Aceasta trebuie obtinuta pe perioade lungi de timp fara atenuare a semnalului.

Pentru a determina calitatea modulului de multiplicare a sensibilitatii si pentru a determina stabilitatea montajului QCM obtinut, metoda de frecventa heterodinara a fost considerata a implini toate necesitatiile. Aceasta ofera o buna acuratete si stabilitate a frecventei. Este de asemenea un montaj convenabil ca si prît ceea ce il face mai usor de implementat.

2.2 Inserarea modulului de multiplicare a sensibilitatii in montajul QCM

Montajul clasic QCM este cel prezentat in Fig.3 (a) Acesta presupune un oscillator a carui modificari de frecventa sunt monitorizate cu ajutorul unui frecventmetru. Acest montaj este cel mai adesea folosit in aplicatii de masurare de masa din cauza simplicitatii si a eficientei sale.

Modulul de multiplicare a sensibilitatii, a carui principiu de operare este prezentat in Fig. 3 (b), ofera cateva avantaje in plus prin multiplicarea frecventei si trecerea semnalului printr-un mixer conectat la un oscillator de referinta deosebit de stabil si apoi printr-un filtru trece jos. Semnalul astfel obtinut are o rezolutie imbunatatita printr-un factor n .

Dispozitivul a fost gandit ca o unitate de post-procesare, inserata intre oscilatorul aflat sub observatie si frecventmetru (Fig. 3 (c)). Astfel este o aditie practica la montajul classic a sistemelor QCM, integrat cu usurinta pentru a creste modificarea de frecvante fara a modifica frecventa fundamentala de rezonanta a oscilatorului de cristal de cuarz sau valoarea frecventei nominale transmisa aparatului de masura.

Dupa ecuatia clasica a lui Sauerbrey [2] care prezinta relatia intre modificarea de frecventa si depozitia de masa:

$$\Delta f = \Delta f_m = -\frac{2f_0^2}{\sqrt{\rho_q \mu_q}} \frac{\Delta m}{A}$$

efectul modului de multiplicare a sensibilitatii pentru cresterea frecventei fundamentale a rezonatorului din cristal de cuarz in comparative cu abordarea clasica este dat de:

$$f_{0,n} = f_0 \sqrt{n}$$

unde n este factorul de multiplicare.

Unul dintre beneficiile majore a sistemului propus este pastrarea factorului de calitate (Q) a cristalelor de cuarz folosite la investigatii QCM clasice. Aceasta asigura in continuare o mai buna stabilitate a oscilatorului de cuarz prin faptul ca ofera o rezolutie mai ridicata la achizitia de date fara a fi necesara cresterea frecventei oscilatorului care ar oferi o serie de dezavantaje deoarece scaderea grosimii senzorului de cuarz ii afecteaza sensibilitatea si rezulta in date mai putin precise.

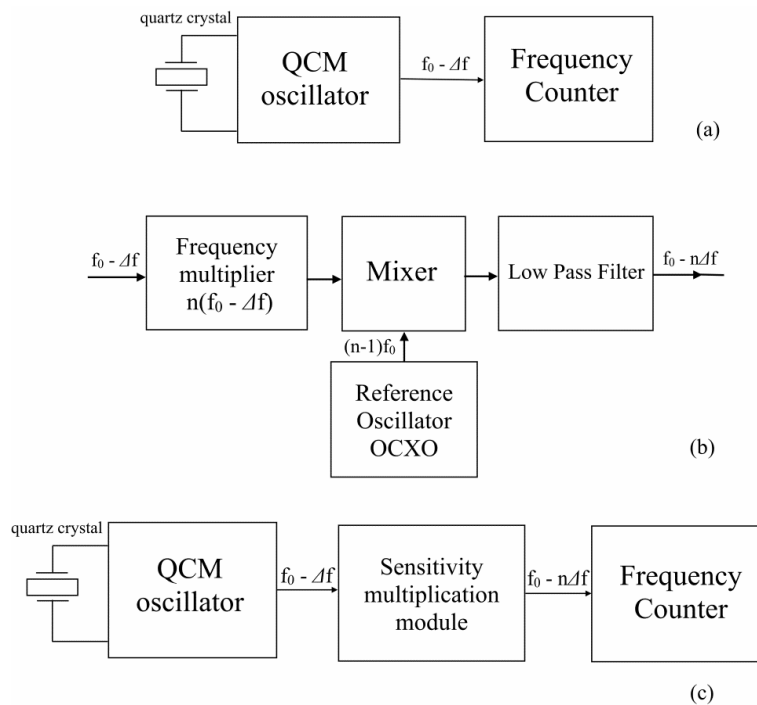


Fig. 3 (a) montaj QCM clasic; (b) principiul de operare a modului de multiplicare a sensibilitatii (c) inserarea modului de multiplicare a sensibilitatii ca si unitate de post-procesare

3. Masuratori de validare si intrgrarea experimentală a modulului de multiplicare a sensibilitatii

Dup ace s-a ales metoda potrivita de masurare pentru determinarea stabilitatii frecventei, intai, montajul experimental a fost construit iar fiecare element utilizat a fost ales cu grija. Analiza de deviatie Allan s-a aratat a fi o alegere evidenta deoarece este considerate a fi metoda standard pentru estimarea stabilitatii de frecventa. Dup ace montajul a fost construit si inainte de a se face calcule de deviatie Allan, o analiza de deviatie mediana a fost de asemenea aplicata pentru a obtine informatii asupra dispersiei statistice pentru a stabili exactitatea datelor obtinute.

3.1 Concepte folosite pentru implementare

Un studio de deviatie Allan a fost aplicat pentru a determina cea mai mica deviatie de frecventa care poate fi detectata in cazul modulului de multiplicare a sensibilitatii prezentat. In acest scop s-a folosit o variatie Allan cu m elemente. Variatia cu m elemente, dupa cum sugereaza si numele sau, este o masura a stabilitatii de frecventa care foloseste un sir finit de m elemente. Formula de deviatie Allan folosita pentru calcule este exprimata:

$$\sigma_y(m, \tau) = \sqrt{\frac{1}{2f_0(m-1)} \sum_k^{m-1} (\bar{f}_{k+1}(\tau) - \bar{f}_k(\tau))^2}$$

unde m este numarul de elemente folosite pentru a estima timpul mediu, τ este timpul de observare, f_0 este frecventa de referinta si $\bar{f}(\tau)$ reprezinta grupul de date proba achizitionate care permit caracterizarea stabilitatii oscilatorului in domeniul temporal [3].

Limita de detectie a oscilatorului (anume: cea mai mica deviatie de frecventa care poate fi detectata in prezenta fluctuatiilor de frecventa) este egala cu:

$$\Delta f(\sigma) = \sigma_y(\tau) f_0$$

Folosind relatia dintre limita de detectie si coeficientul de sensibilitate a unui resonator de cuarz cunoscuta ca si $k = -\frac{2.26 \cdot 10^{-6} f_0^{3/2}}{\sqrt{4\pi}} \frac{Hz}{\sqrt{\frac{g}{cm^3 poise}}}$ limita de rezolutie a

QCM-ului poate fi exprimata ca si $\Delta f(\sigma) / k$

3.2 Montajul experimental

Dupa cum am mentionat anterior, caracterizarea in domeniul temporal s-a realizat prim masurarea directa a frecventei de rezonanta a QCM-ului folosind metoda frecventei heterodinate. Figura 4 arata o diagrama bloc a montajului experimental utilizat. Semnalul generat de oscilatorul QCM conectat la un cristal de cuarz de 10MHz este transmis modulului de multiplicare a sensibilitatii. De aici semnalul este transmis la un aparat de masura (HP-5316B) in starea in care se afla. Acelasi semnal este de asemenea transmis intr-un mixer (ZFM-2) Mixer impreuna cu semnalul unui standard atomic de frecventa cu rubidium (FE 5680A). Semnalul de la iesirea IF a mixerului este transmis printr-un filtru trece-jos iar apoi transmis unui alt aparat de masura (HP-5316B). Ambele aparate de masura sunt identice si ambele folosesc semnalul standardului atomic de frecventa cu rubidium ca si referinta. Acestea sunt in continuare conectate la un calculator printr-o interfata GPIB-USB.

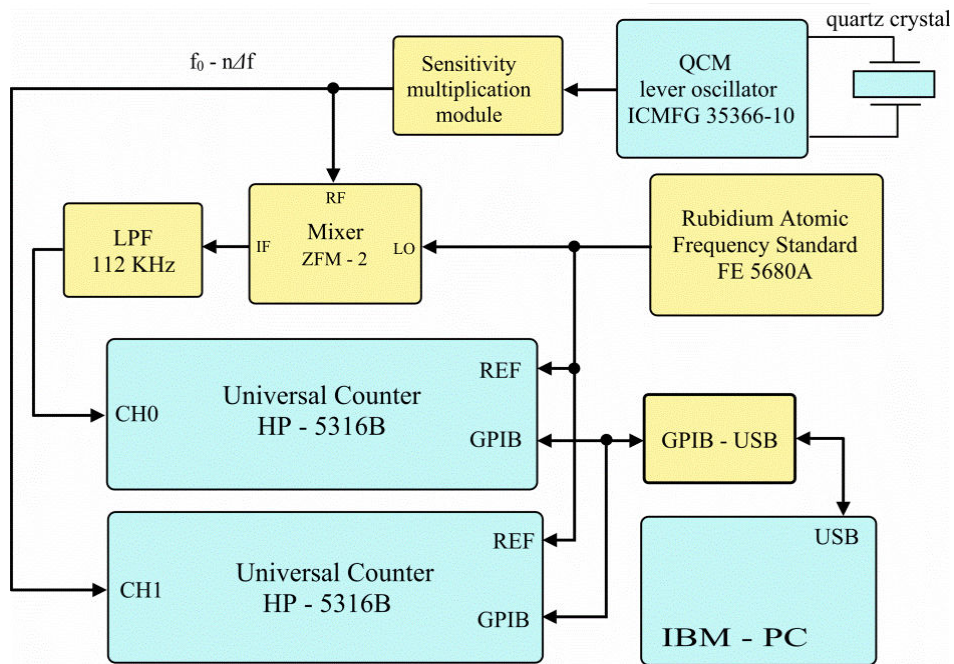


Figure 4: Diagrama metodei de deviatie Allan heterodina folosita

3.2.1 Elementele montajului experimental

Echipamentele cheie a acestui montaj sunt standardul atomic de frecventa cu rubidium de inalta calitate si aparatele de masurare folosite pentru a asigura o precizie inalta a rezultatelor obtinute. Rezolutia de masurare este crescuta de factorul de heterodinare (raportul intre frecventa data de oscillator fata de IF) iar precizia inalta cunoscuta a acestei metode este asigurata de stabilitatea oscilaorului de referinta.

Figura 5 prezinta montajul experimental de deviatie Allan bazat pe metoda de frecventa heterodinata si toate componentele sale. Rezolutia montajului prezentat este $100\mu\text{Hz}$ pentru 1s gate time. Acest rezultat este asigurat de tehinca de masura reciproca implementata cu cele doua parate de masura HP-5316B si de stabilitatea referintei de frecventa cu rubidium.

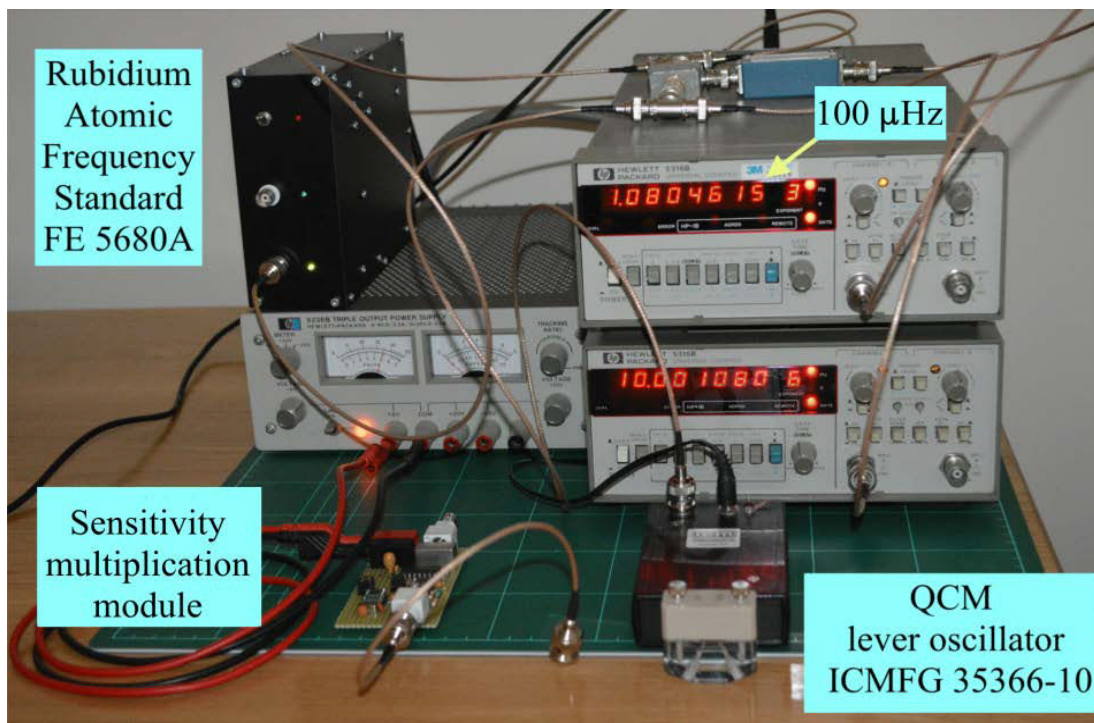


Figure 5: Montaj experimental de deviatie Allan bazat pe metoda de frecventa heterodinata

3.2.1.1 Rezonatorul de cristal de cuarz (151225-10) si oscilatorul QCM-ului (ICMFG 35366-10)

Pentru scopurile acestui montaj un rezonator de cristal de cuarz cu frecventa fundamentala de 10MHz (151225-10) produs de International Crystal Manufacturing Co., Inc. a fost selectat. Proprietatiile sale sunt o finisare chimica a suprafetei, electrode de aur (1000 Å Au) cu diametrul total de 0.538” si diametrul electrodelor de 0.201” [4].

Folosit in combinatie cu cristalul de cuarz a fost un oscilator (ICMFG 35366-10), de asemenea produs de International Crystal Manufacturing Co., Inc. Acesta este un circuit oscilator simplu care este folosit adesea si este gandit in special pentru a fi folosit la aplicatii in lichide [5].

3.2.1.2 Celula de curgere QCM

Pentru a efectua masuratori in lichid o celula de curgere QCM special construita este necesara. Dispozitivul ales pentru acest montaj a fost dezvoltat de ALS Co., Ltd. [6] ca o celula stabila si fiabila, potrivita pentru experimente atat in configuratie statica, cat si in mod dynamic de scurgere. Figura 6 arata celula de curgere folosita (model nr. 011121)



Figure 6: The used flow cell kit (model no. 011121)

Rezonatorul de cristal de cuarz a fost fixat intre inelele de silicon rotunde a celulei de scurgere (011121, ALS Co., Ltd.) in configuratia sa statica. Masuratorile au fost efectuate in apa demineralizata si in dolutie 50% zahar-apa. In ambele cazuri 500 μ l de lichid a fost adaugat celulei statice.

3.2.1.3 Mixer, filtrul trece-jos si ajustarea impedantei

Mixerul pasiv ZFM-2 (Mini-Circuits Inc.) +7dBm asigura acuratetea frecventei intermediare joase. Figura 7 arata schema electronica a acestui dispozitiv [7]. Este, precum ii sugereaza si numele construit din elemente pasive si bazat pe o punte de diode si doua transformatoare. Acest montaj se numeste un modulator inelar (cunoscut si ca mixer dublu balansat cu inel de diode). Este un dispozitiv robust, folosit extensive in receptoare radio, telefoane mobile si sisteme de retea wireless. Pentru a extrage frecventa dorita in continuare un filtru trece-jos este necesar dupa iesire.

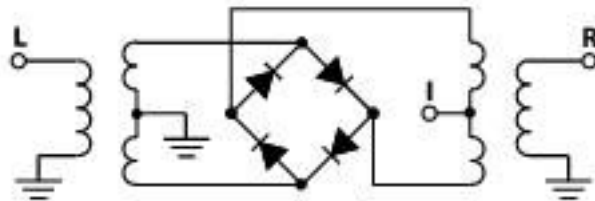


Figure 7: electrical schematic of the ZFM-2 passive mixer

Dispozitivul folosit in acest montaj este unul de inalta calitate cu pierderi reduse de conversie, izolare S-D buna (o cerinta stricta pentru metoda de frecventa heterodinata din moment ce rezultate gresite pot rezulta daca semnalele se interfereaza) si o latime de banda de la 1 la 1000 MHz [7].

La iesirea mixerului, un filtru trece-jos a fost inserat cu frecventa de taiere la 119 kHz si panta de cadere de -3 dB and roll-off slope la 44,41 dB/decada. Acest dispozitiv este un filtru trece-jos cu cinci poli. El permite trecerea semnalelor su o frecventa mai joasa decat frecventa sa de taiere si atenuaza semnalele cu frecvente care sunt mai ridicate decat frecventa de taiere. Implementarea unui asemenea dispozitiv permite obtinerea unei forme mai unitare a semnalului prin filtrarea fluctuatiilor de termen scurt.

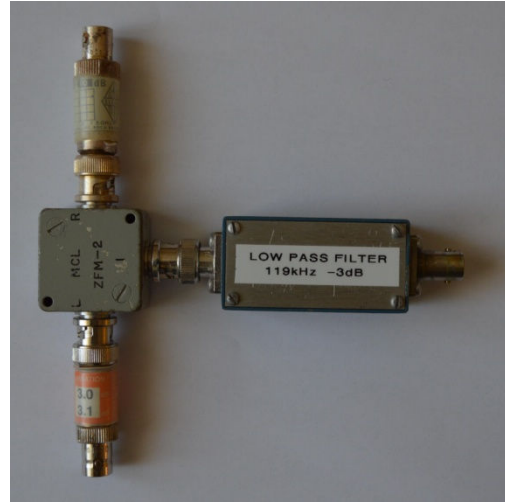


Figure 8: Filtru trece-jos in cutia sa conectat la mixerul pasiv ZFM-2

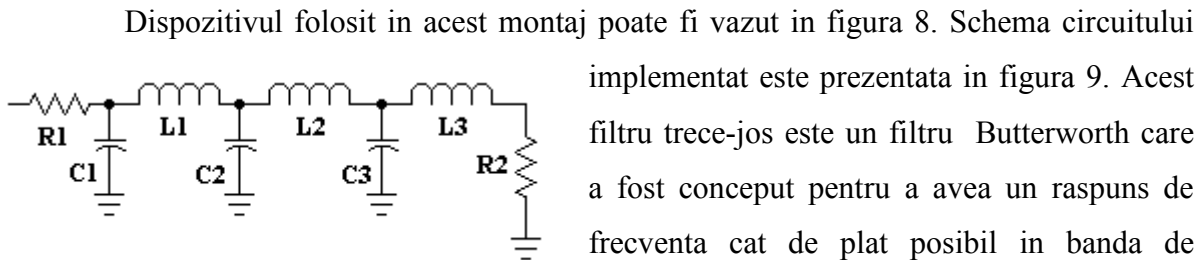


Figure 9: Schema filtrului trece-jos Butterworth folosind topologia Cauer

Dispozitivul folosit in acest montaj poate fi vazut in figura 8. Schema circuitului implementat este prezentata in figura 9. Acest filtru trece-jos este un filtru Butterworth care a fost conceput pentru a avea un raspuns de frecventa cat de plat posibil in banda de trecere. Cateva topologii au fost dezvoltate. Cea aleasa in acest caz a fost asa-numita topologie Cauer care foloseste doar componente passive.

Un alt aspect important cand se doreste conceperea unui experiment de inalta performanta este potrivirea de impedanta. Aceasta presupune a lua in considerare opozitia unui sistem catre curgerea de energie de la o sursa. Modelul ales in acest caz este o retea pur rezistiva cunoscuta sub numele de attenuator π . Potrivirea impedantei (50 Ω) in acest montaj experimental este asigurat de un attenuator π de -3 dB inserat intre iesirea standardului de frecventa cu rubidium si intrarea mixerului LO (oscillator local) si de un

attenuator de -10 dB inserat intre iesirea modulului de multiplicare a sensibilitatii (sau a oscilatorului QCM) si intrarea RF a mixerului.

3.2.1.4. Standardul atomic de frecventa cu rubidiu FE 5680A

O referinta stabile este componenta cheie pentru a asigura o precizie excelenta a metodei frecventei heterodinate. De aceea, pentru acest montaj, s-a folosit un standard atomic de frecventa cu rubidiu FE5680A produs de Frequency Electronics Inc.

Standardul atomic de frecventa cu rubidiu (FE-5680A, Frequency Electronics Inc.) folosit in acest montaj are o deviatie Allan de $1.4 \times 10^{-11} \sigma_y(\tau)$ ($\tau = 1$ s) si o stabilitate pe termen lung de 2×10^{-11} drift/zi cu o stabilitate excellenta de temperatura [8].

Figura 10 prezinta o diagrama bloc functionala simplificata a dispozitivului FE-5680A. Standardul atomic de frecventa cu rubidiu folosit se foloseste de proprietatea de rezonanta atomica dintr-un Pachet Rubidium Physics pentru a controla frecventa de iesire a unui oscilator de cristal controlat prin voltaj (VCXO) de 50.255+ MHz printr-o bucla de fixare de frecventa (FLL). Blocurile sale functionale constau dintr-un generator RF, un amplificator de fixare si Pachetul Rubidium Physics.

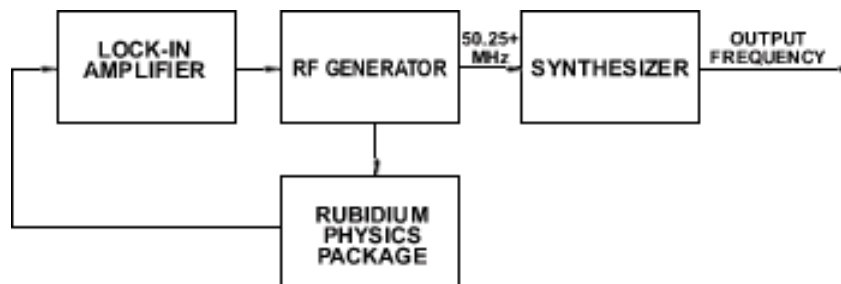


Figure 10 diagrama bloc functionala simplificata a standardului atomic de frecventa FE-5680A.

Diferite standarde de frecventa cu rubidiu sunt disponibile cu frecvente de iesire diferite in functie de nevoile utilizatorului. Pentru montajul experimental preentat aici un dispozitiv a fost ales care produce o iesire stabila de 10MHz. Dispozitivul utilizat in montajul experimental este prezentat in figura 11. Este asezat intr-o carcasa de metal

alaturi de o sursa de curent de inalta calitate si o interfata pentru operarea in montajul dorit.



Figura 11: Standardul atomic de frecventa cu rubidiu FE 5680A folosit in montajul experimental

3.2.1.5. Dispozitivele de masurare HP-5316B

Aceste dispozitive se prezinta ca o legatura importanta intre montajul experimental, experimentator si dispozitivul de inregistrare a datelor. Frecventa este determinata prin compararea semnalului cu oscilatorul de baza temporala a dispozitivului de masurare. Standardul atomic de frecventa cu rubidiu folosit in acest scop a fost discutat inainte. Dispozitivele de masurare folosite in aceste experimente au fost doua dispozitive HB-5316B. Acestea sunt in general cunoscute pentru inalta calitate si precizie si apartin unei familii de dispozitive HP folosite adesea in montaje experimentale de inalta precizie. Ambele au fost riguros calibrate pentru a elimina orice surse de eroare cunoscute care ar putea fi induse prin proceduri experimentale neadecvate.

3.2.1.6 Interfata GPIB – USB

Ambele dispozitive de masurare au o interfata GPIB (General Purpose Interface Bus). Aceasta a fost dezvoltata de firma HP si a devenit un standard pentru echipamente de testare automate. Este un port electric paralel de 8 biti care prezinta saizece linii de semnal – opt folosite pentru transfer de date bi directional, trei pentru procedura de handshake si cinci pentru administrarea portului – plus opt linii de masa. Cunoscut ca si IEEE-488, acesta nu a fost dezvoltat in mod expres pentru a servi ca si interfata pentru calculatoare personale – a existat o tendinta a fost asupra instrumentatiei. Totusi, GPIB poate fi conectat la portul USB a unui calculator personal daca se foloseste un convertor fizic si se implementeaza un program potrivit de comunicare.

3.2.1.6.1 Controlerul declansabil USB - GPIB

Pentru acest montaj experimental un controler declansabil USB-GPIB special a fost utilizat, care executa o secventa de comenzi GPIB de fiecare data cand primeste o declansare din program. Figura 12 prezinta dispozitivul creat. Conectorul implementeaza o interfata GPIB IEEE 488.1 prin software cu ajutorul liniilor externe I/O a unui microcontroller PIC18F2550 si are incorporata o interfata USB 2.0 ceea ce ajuta la reducerea atat a costului cat si a complexitatii constructiei in timp ce permite integrarea unei serii de functii critice intr-un singur dispozitiv.

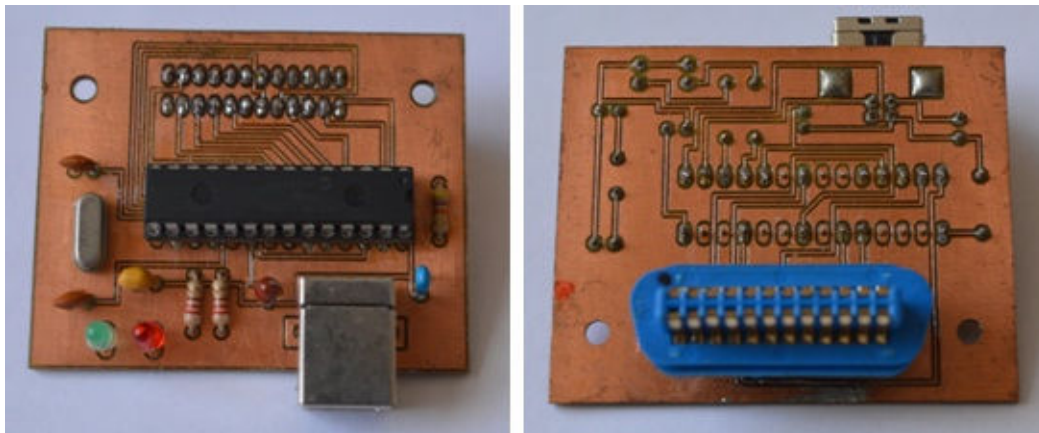


Figura 12: Interfata USB- GPIB folosita in montajul experimental. Vedere de sus (stanga) si vedere de jos (dreapta) cu conectorul GPIB

Una dintre grijile primare in crearea acestui dispozitiv a fost integrarea a cat de multe functii posibile intr-un singur dispozitiv care sa fie fiabil ca si cost. Pentru a obtine aceasta, un microcontroller PIC18F2550 a fost ales ca si inima sistemului din cauza nivelului sau inalt de integrare. Include memorie flash primara pentru stocarea de software, o interfata integrata USB 2.0 si porturi I/O (intrare/iesire). Acest microcontroler s-a prezentat a fi solutia ideala pentru a implementa functiile GPIB in software. Porturile I/O a microcontrolerului PIC18F2550 ii permit sa fie usor interfatat cu liniile de transmisie de semnal GPIB. Doua Led-uri sunt folosite pentru a arata starea interna a controlerului declansabil USB-GPIB. Figura 13 prezinta schema dispozitivului si componentele sale.

Prin omiterea expre de a se folosi un controler GPIB dedicat, dispozitivul nu doar reduce costurile dar si ofera o anumita protectie de investitie deoarece orice imbunatatiri a protocolului GPIB pot fi aplicate asupra sistemului sub forma unui update de software pentru a asigura o compatibilitate continua. De asemenea, implementarea software a versiunii de declansare a controlerului in acest dispozitiv imbunatateste viteza de transfer a datelor si a comenzilor..

Din moment ce semnalele interfetei GPIB necesita drivere de linie externe fata de microcontrollerul PIC18F2550 pentru a asigura compatibilitate cu standardul IEEE 488 doua transceivere comune Texas Instruments (SN75160 and SN75161) pot fi integrate in schema pentru a obtine cele mai bune rezultate. In versiunea de fata fara tansceivere (Figura 13) se recomanda utilizarea de cabluri GPIB scurte si maxim legarea a patru dispozitive pe port. Din moment ce aceste cerinte nu au fost prezentate de montajul experimental de fata, constructia folosita se potriveste cel mai bine necesitatilor care trebuiau indeplinite.

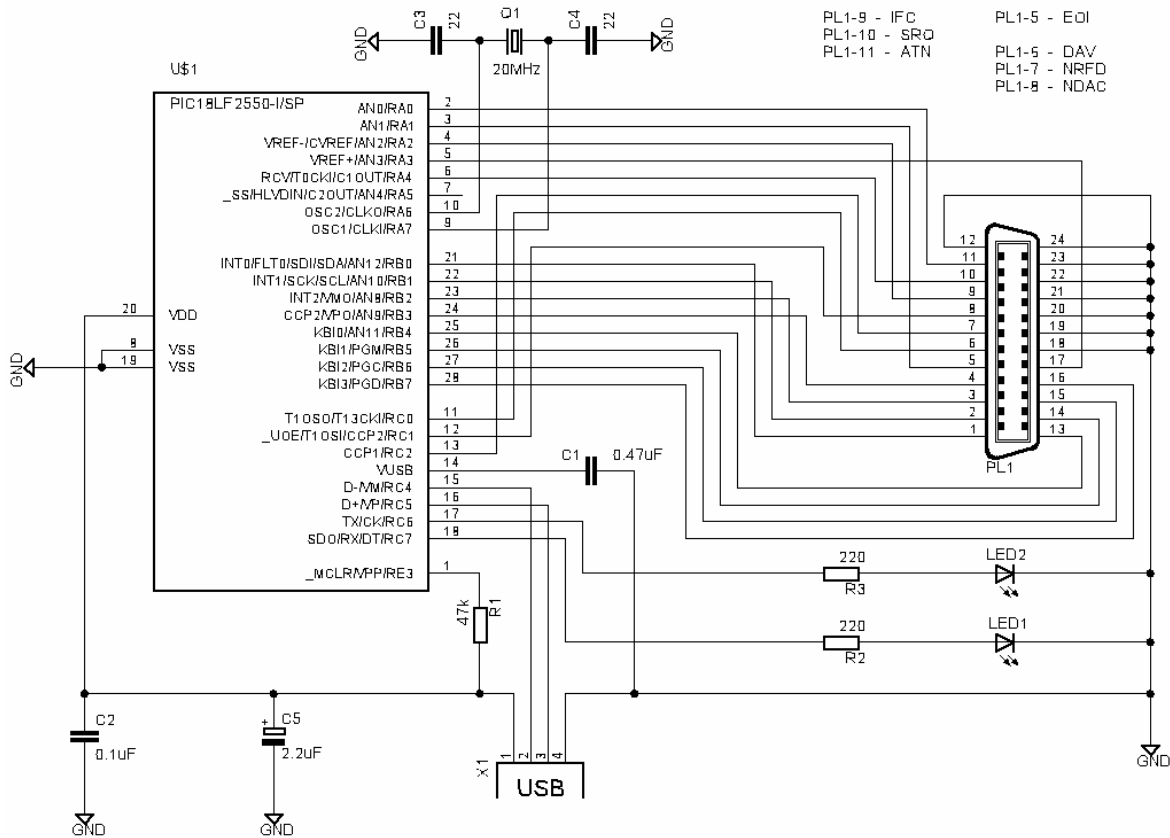


Figure 13: schema controllerul-ui USB-GPIB

3.3 Deviatia Mediana Absoluta (MAD)

Înainte de calculul de deviație Allan, datele înregistrate au fost transpuse grafic cu valorile aberante folosind criteriile $3 \times \text{MAD}$ și $5 \times \text{MAD}$ (Median Absolute Deviation) pentru validarea statistică de dispersie. Aceste grafice arată cum se comportă sistemul în medii diferite, tipice pentru sisteme QCM. Mediile studiate au fost aer, apă și soluție 50% de apă-zahăr pentru a testa funcționalitatea dispozitivului într-un mediu mai vâcos, tipic aplicațiilor biologice. De fiecare dată, 500 μl de apă demineralizată sau soluție apă-zahăr a fost adăugat celei statice.

Valorile aberante sunt puncte observate care sunt distanțate de majoritatea măsurătorilor. În cazul datelor de volum mare, asemenea valori sunt de așteptat și de aceea când se stabilește calitatea unui dispozitiv cum este cazul de față, trebuie selecționată o

metoda computatională care nu produce rezultate eronate. Deviație mediană absolută este un asemenea instrument de calcul. Pentru aceste măsurători s-au luat toate măsurile de precauție posibile pentru a asigura rezultate exacte. Măsurătorile au fost efectuate în condiții de temperatură și umiditate constante fără surse de vibrație de orice fel în apropierea montajului experimental.

3.3.1 Măsurători în aer

Toate măsurătorile au fost efectuate în aceleași condiții de temperatură și umiditate pentru a asigura exactitatea rezultatelor. Temperatura a fost de 19.8 °C iar umiditatea a fost 64%. Durata măsurătorilor a fost de 1 minut în fiecare caz.

Figura 14 reprezintă deviația Allan (sus) și MAD-ul corespunzător (jos) măsurate cu un factor de multiplicare de 1. Deviația este între pragurile determinate și se întinde între 0.2 și -0.2. Datorită faptului că cristalul de cuarț utilizat în sisteme QCM funcționează cel mai bine în aer, nu se discern valori aberante și MAD-ul are valori de limită mici.

Figura 15 reprezintă deviația Allan (sus) și MAD-ul corespunzător (jos) măsurate cu un factor de multiplicare de 6 (multiplicarea maximă care poate fi obținută cu modulul de multiplicare a sensibilității). Din moment ce în acest caz datele sunt expandate cu un factor de 6, este de așteptat ca MAD-ul să ocupe un interval puțin mai mare. În acest caz : 4 până la -4.5. Și în acest caz deviația este între pragurile determinate și nu sunt prezente valori aberante. În timp ce volumul de date este crescut, incorporând date mai sensibile și susceptibile variațiilor, dispersia statistică dovedește stabilitatea dispozitivului și exactitatea datelor obținute.

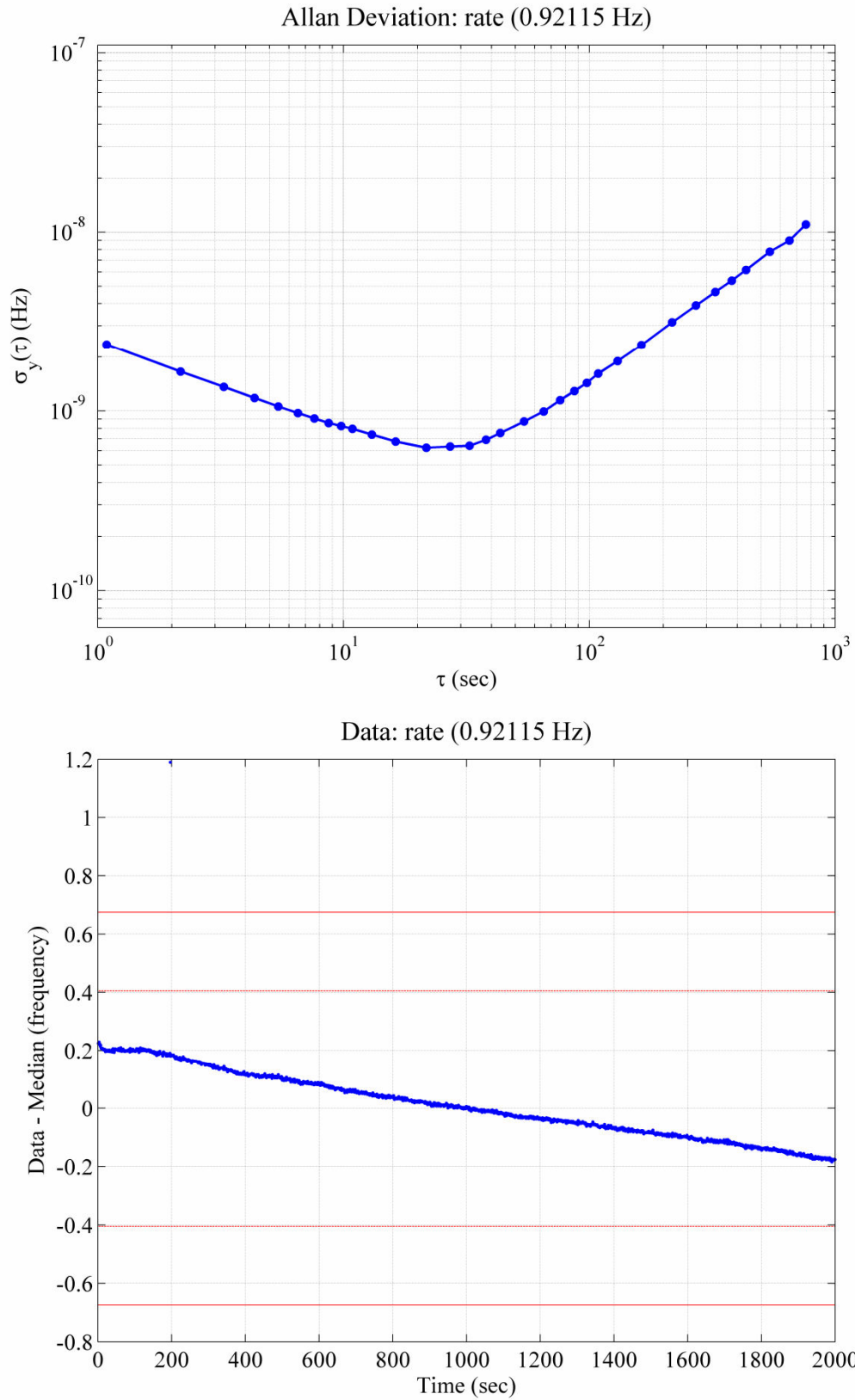


Figura 14: Deviatia Allan si MAD, masurate in aer cu un factor de multiplicare de x1

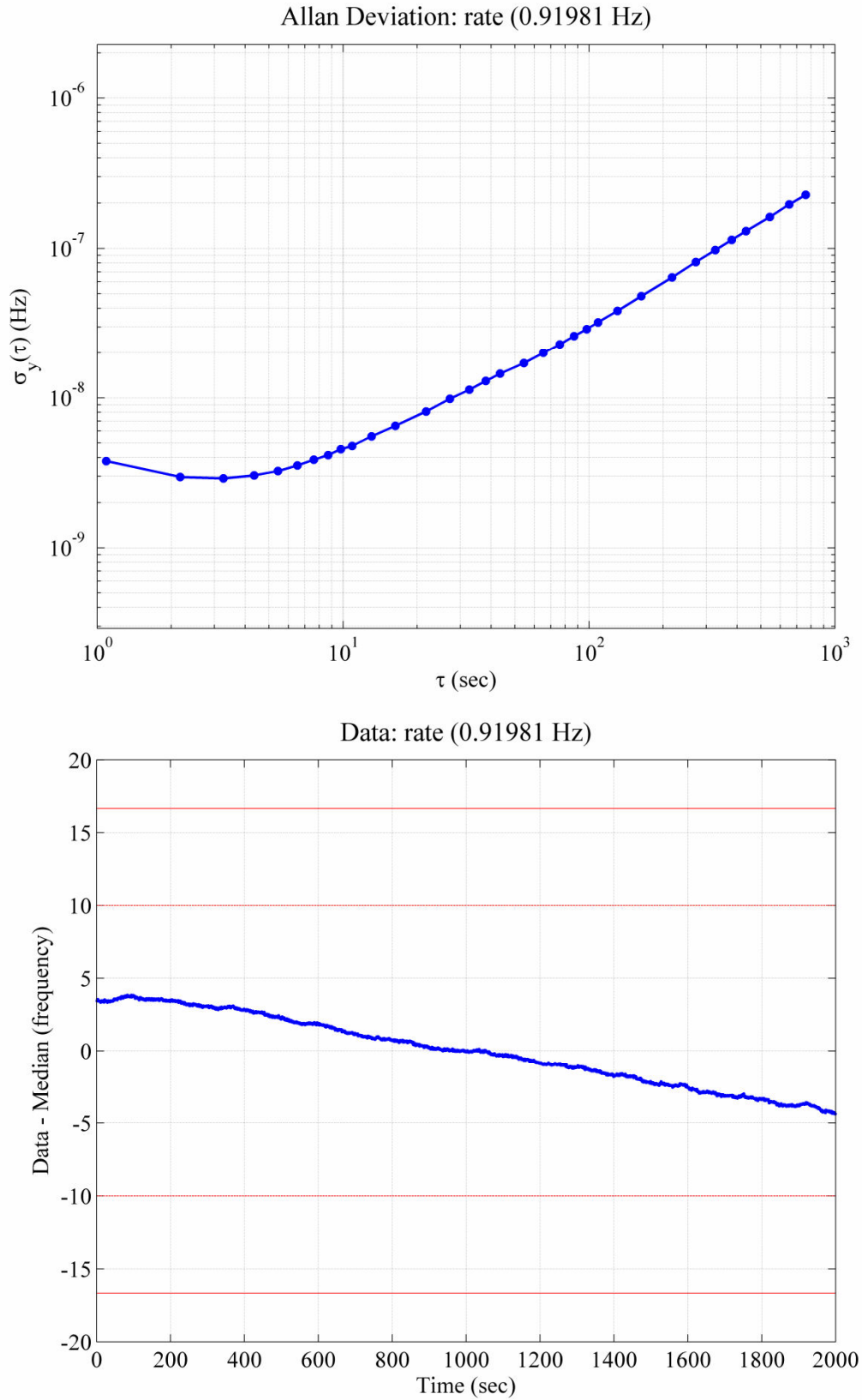


Figura 15: Deviatia Allan si MAD, masurate in aer cu un factor de multiplicare de x6

3.3.2. Masuratori in apa

Din 1980, cand Kanazawa a demonstrat posibilitatea de a extinde masuratorile QCM in mediu lichid, cu conditia ca una dintre fetele senzorului de cuarz sa ramana expusa aerului, un numar mare de asemenea masuratori sunt efectuate in asemenea conditii. Masuratorile in mediu lichid sunt insa dispuse unui factor de amortizare mai mare decat masuratorile efectuate in aer.

Figura 16 prezinta deviatia Allan (sus) si MAD-ul corespunzator (jos) masurate in apa pura cu un factor de multiplicare de 1. Din nou, deviatia este in interiorul pragurilor determinate iar deviatia se ininde intre 5 si -4. In timp ce se pot discerne valori aberante, acestea sunt prezente in cantitati reduse. Data fiind natura experimentului acestea sunt de asteptat dar ar fi cauza de griji numai daca ar fi prezente intr-un numar destul de mare cat sa influenteze calculul MAD si sa devieze curba obtinuta.

Deviatia Allan (sus) si MAD-ul corespunzator (jos) obinute in urma unui factor de multiplicare de 6 The Allan Deviation (above) and the corresponding MAD (below) taken with a multiplication factor of 6 (multiplicarea maxima care poate fi obtinuta cu modulul de multiplicare a sensibilitatii) sunt prezentate in Figura 17. MAD-ul se afla in intervalul 23 si -21. Acest lucru se datoreaza amortizarii cauzate de vasczitatea lichidului. Totusi MAD-ul este intre pragurile determinate iar cele cateva valori aberante prezente sunt neglijabile. Din nou, in conditiile date, cu un volum de date crescut si incorporand date mai sensibile si susceptibile de variatii, dispersia statistica dovedeste stabilitatea dispozitivului si fiabilitatea datelor obtinute.

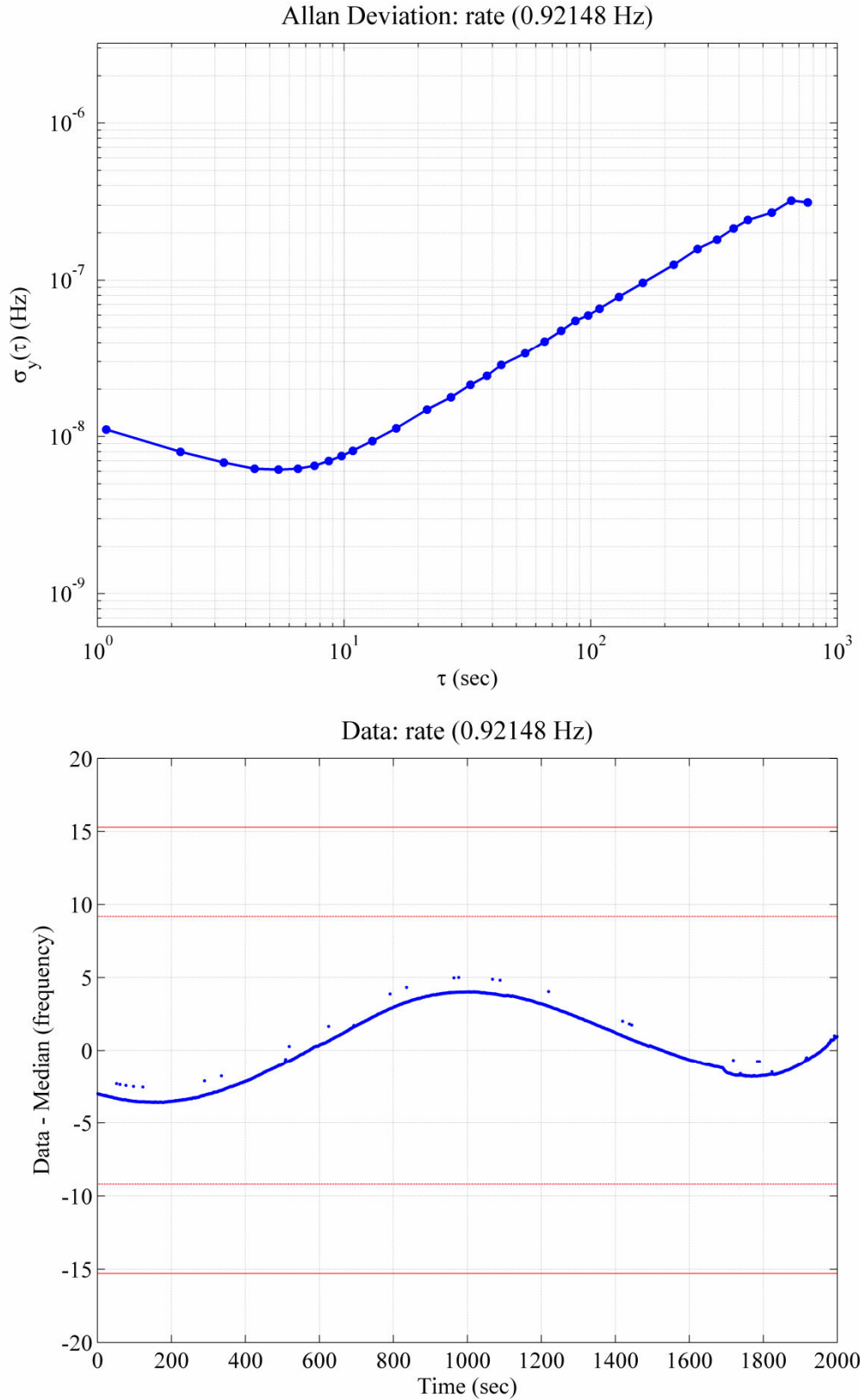


Figura 16: Deviatia Allan si MAD, masurate in apa pura cu un factor de multiplicare de x1

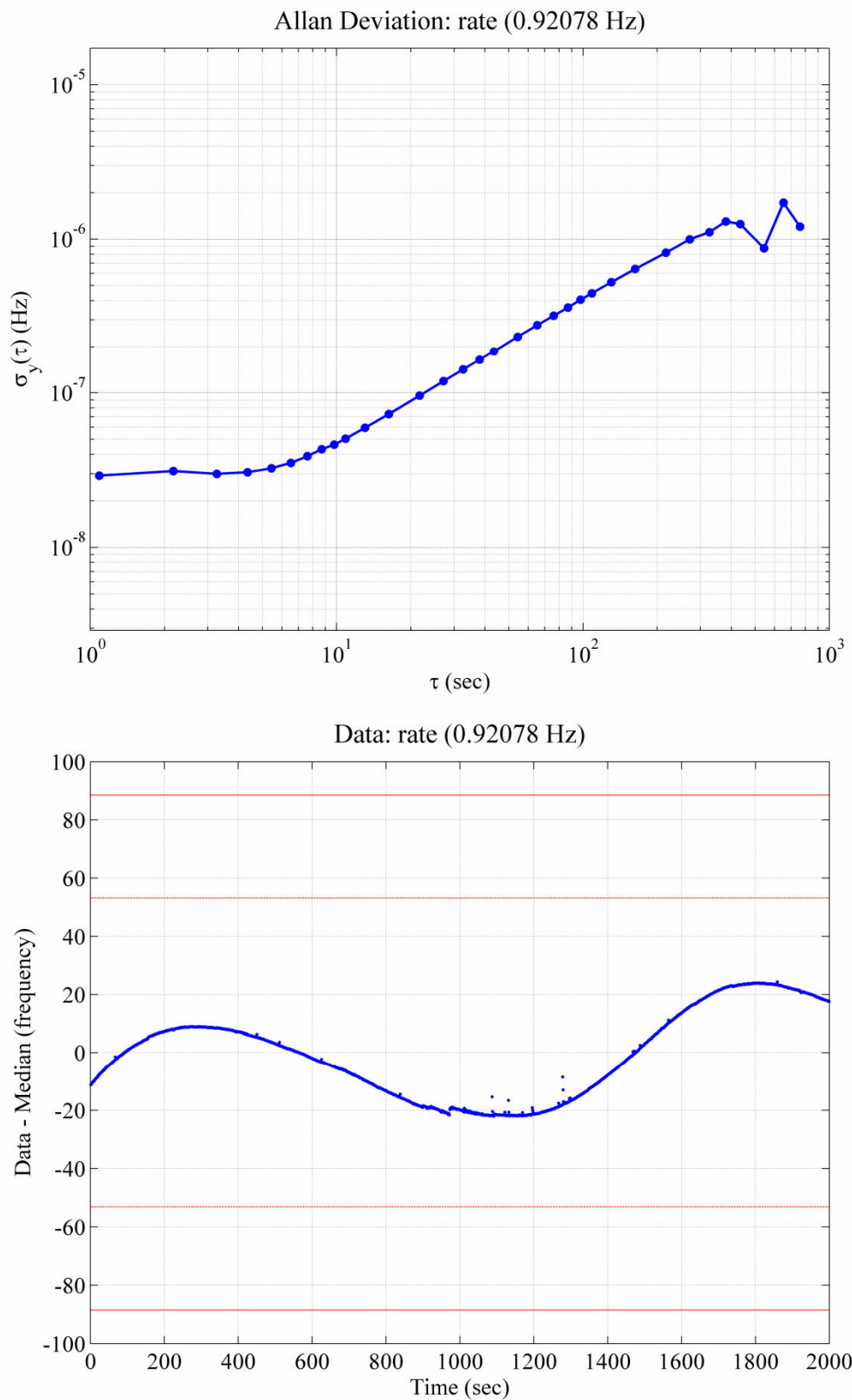


Figura 17: Deviatia Allan si MAD, masurate in apa pura cu un factor de multiplicare de x6

3.3.3. Masuratori in solutie zahar-apa

Masuratorile efectuate cu ajutorul QCM in medii biologice exercita presiuni mari asupra senzorului de cristal de cuarz din cauze vascozitatii ridicate a mediului lichid necesar pentru efectuarea experimentelor. Pentru a simula aceste conditii o solutie de 50% zahar-apa a fost preparata, bazata pe zaher pur si apa demineralizata (0.22uS/cm).

In Figura 18 deviatia Allan (sus) si MAD-ul corespunzator (jos) sunt aratate cu un factor de mutiplicare de 1. Deviatia se afla in intervalul 30 si -30. Din nou, MAD-ul se afla intre pragurile determinate si nu sunt prezente valro aberante.

Masuratorile efectuate in solutie apa-zahar cu un factor de multiplicare de 6 sunt aratate in figura 19. Measurements performed in sugar-water solution with a multiplication factor of 6 are shown in Figure 19. Deviatia Allan (sus) si MAD-ul corespunzator (jos) prezinta stabilitate buna. In timp ce din nou, cresterea volumului de date si incorporarea de date susceptibile la variatii, MAD-ul ocupa un interval mai larg (180 pana la -100), pragurile determinate nu sunt depasite iar variatia statistica se prezinta relativ constant. Dispozitivul continua sa opereze in mod stabil si fiabil chiar si in circumstantele unui mediu lichid dens.

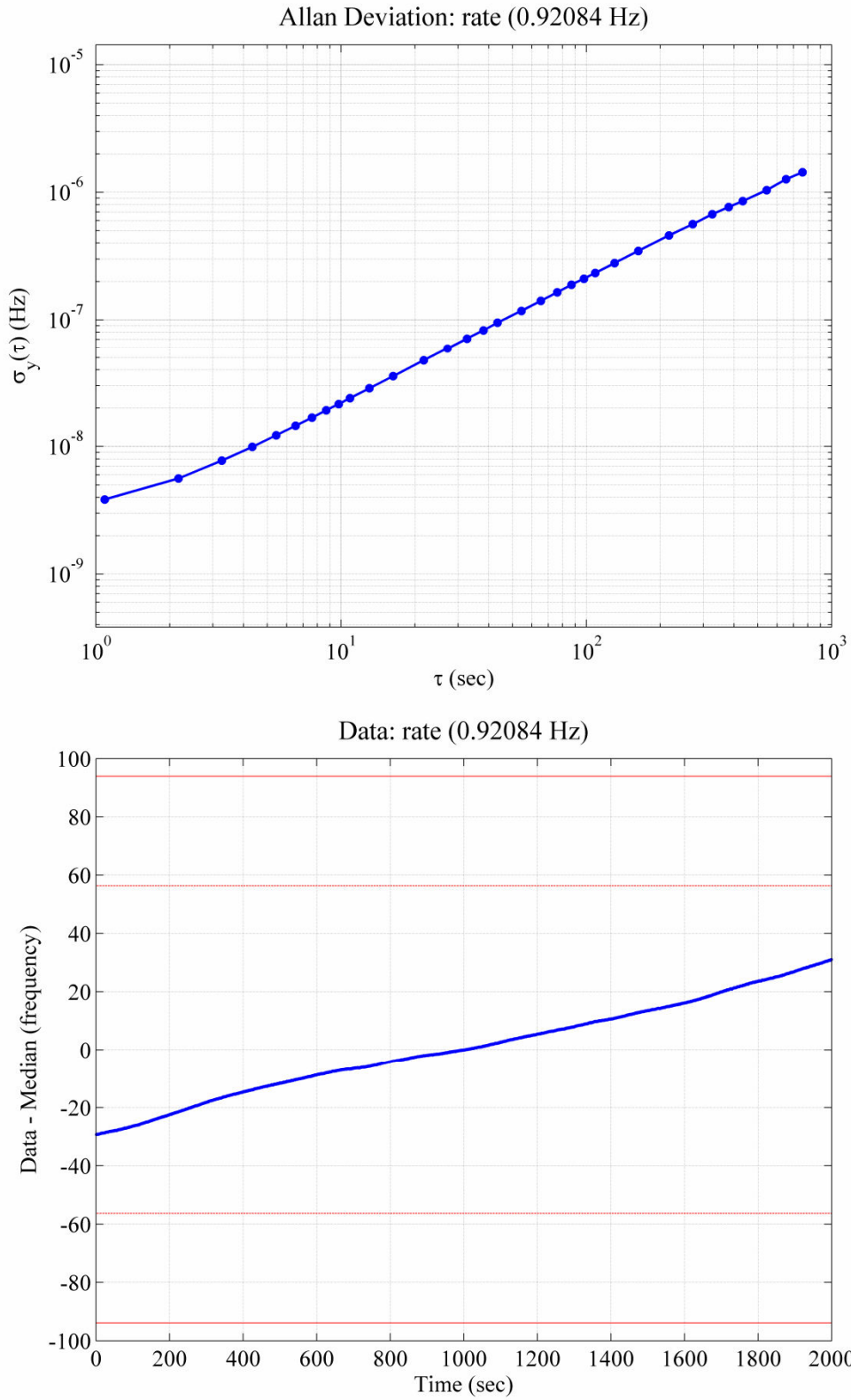


Figura 18: Deviatia Allan si MAD, masurate in solutie apa-zahar cu un factor de multiplicare de x1

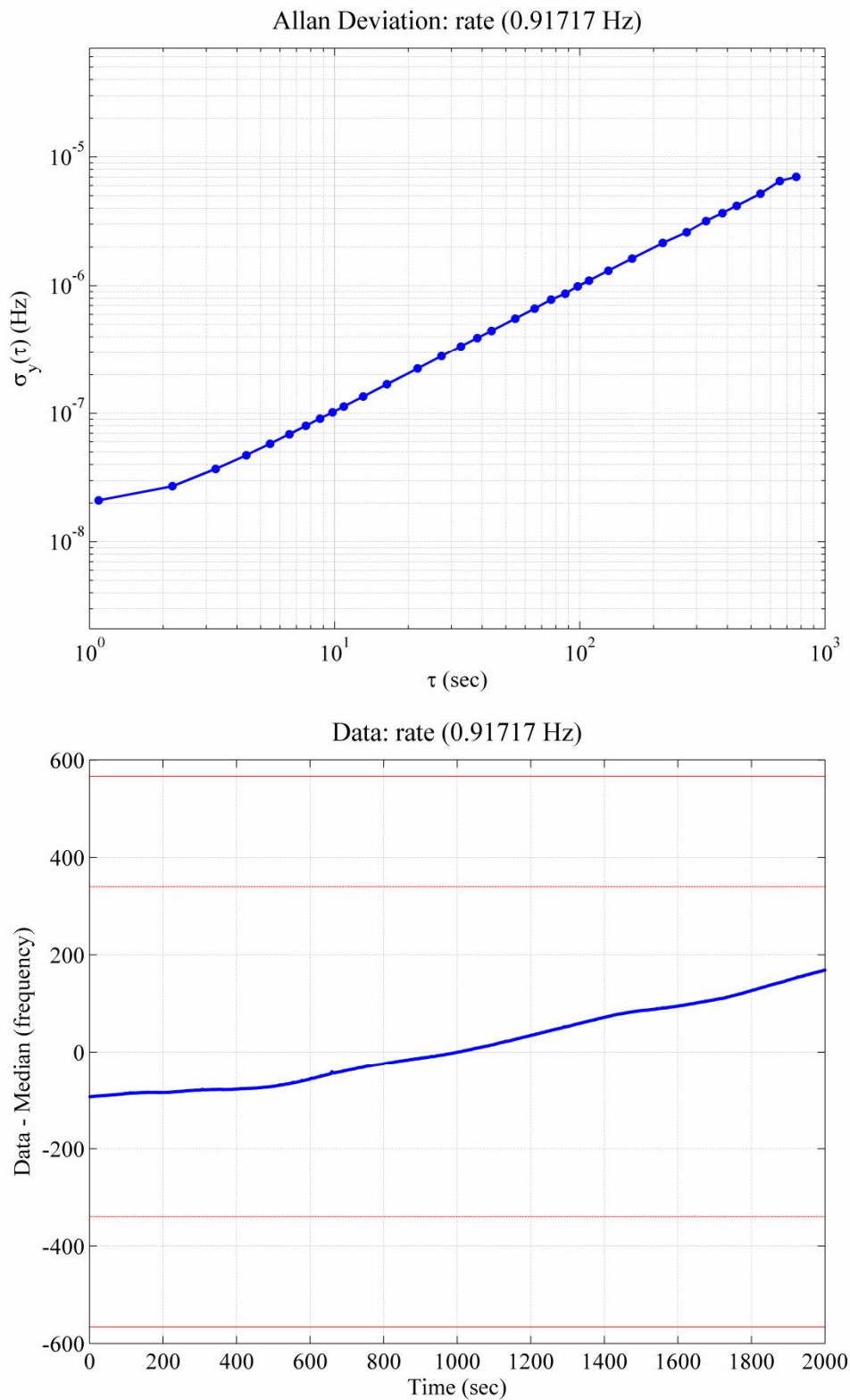


Figura 19: Deviatia Allan si MAD, masurate in solutie apa-zahar cu un factor de multiplicare de x6

3.3.4. Concluzii asupra deviatiei mediane absolute

Toate mediile experimentale intalnite de obicei in masuratori QCM au fost studiate pentru a determina validarea dispersiei statistice. Aer, apa si o solutie de 50% apa-zahar au fost folosite ca si medii experimentale. Deviatia mediana absoluta a fost aleasa ca si metoda de calcul datorita faptului ca prezinta caracteristicile necesare de determinare a stabilitatii masuratorilor efectuate cu dispozitivul studiat.

Valori aberante pot fi observate in cantitati neglijabile iar in nici un caz acestea nu au fost prezente peste pragurile de X3 si X5 determinate. In timp ce rezultatele cele mai stabile au fost obtinute conform asteptarilor in aer, dispozitivul isi pastreaza stabilitatea chiar si in conditii lichide atat in apa cat si intr-un mediu cu vascozitate mai ridicata. In conditii lichide fenomenul de amorsare se comporta dupa asteptari atenuand rezonanta cristalului de cuarz. In special in acest caz modulul de multiplicare a sensibilitatii se arata a fi util pentru a obtine date de precizie mai inalta, dat fiind faptul ca mediul lichid este cel mai des intalnit in studiile efectuate la ora actuala cu dispozitivul QCM.

De fiecare data, deviatia Allan se prezinta ca avand valori staile. Aceasta demonstreaza stabilitatea montajului si a modului sau de operare. MAD-ul ocupa un interval mai mare cu cat vascozitatea mediului creste dar ramane stabil in distributia sa.

Aceste masuratori demonstreaza ca dispersia statistica ramane stabila atat in aer cat si in mediu lichid. Astfel, datele achizitionate isi pastreaza precizia chiar si la multiplicarea maxima care poate fi obtinuta cu ajutorul modulului de multiplicare a sensibilitatii (6X). Achizitia de date este stabila si fiabila. Per total montajul se dovedeste a fi compus corect. Modulul de multiplicare a sensibilitatii se dovedeste a fi un dispozitiv fiabil, care isi serveste scopul dorit fara erori in timp ce ofera o achizitie de date imbunatatita.

3.4. Diagrama masuratorilor deviatiei Allan

Scopul principal al analizei de deviatie Allan a fost acela de a evalua efectul modulului de multiplicare a sensibilitatii atasat unui montaj QCM clasic si de a determina ce factor de multiplicare ar fi cel mai potrivit pentru mediile studiate. Scopul

dispozitivului, bineinteles, este acela de a nu crea erori in montaj si de a multiplica semnalul fara distorsiuni pentru a obtine un factor de multiplicare cat mai inalt.

Ca si in cazul analizei MAD, masuratorile au fost efectuate pentru a valida capacitatile dispozitivului in trei medii diferite intalnite de obicei in experimente QCM. Masuratorile au fost efectuate in aer, in apa si intr-o solutie de 50% apa-zahar (preparate din zahar pur si solutie de 50% zahar-apa ($0.22\mu\text{S}/\text{cm}$)). De fiecare data, $500\mu\text{l}$ de apa demineralizata sau solutie apa-zahar a fost adaugata celulei statice.

Figura 20 prezinta doua grafice – un set de masuratori efectuat in toate mediile studiate fara modulul de multiplicare a sensibilitatii (sus) si un set de masuratori efectuate dupa inserarea modulului in configurati (jos). Multiplicarea obtinuta cu modulul inserat in configuratie a fost de X6. Un drift de tip random walk este prezent in partea dreapta a graficelor in fiecare caz. Acesta este de asteptat datorita conditiilor in care rezonatoarele de cristal de cuarz opereaza in sisteme QCM. Din moment ce cristalul este expus la mediu, factorul sau de calitate scade si zgomot de tip random walk este astfel prezent in fiecare montaj QCM. Ceea ce este insa important este ca nu exista o diferenta semnificativa in acest sens intre masuratorile efectuate cu si cele efectuate fara modulul de multiplicare inserat in montaj. Aceasta indica pastrarea stabilitatii configuratiei.

Cel mai important aspect a acestor grafice este imbunatatirea rezolutiei si efectul acesteia asupra stabilitatii sistemului. Deviatia Allan minima intalnita de obicei in montaje QCM se afla in marja 10^{-6} pana la $10^{-8} \sigma_y(\tau)$ ($\tau = 1$ s). Aceasta limitare este impusa partial de limitarile montajului electronic. Dupa aplicarea factorului de multiplicare (n) a modulului de multiplicare a sensibilitatii, este important ca deviatia Allan sa fie mentinuta sub $10^{-7} \sigma_y(\tau)$ ($\tau = 1$ s). Acest lucru poate fi observat in al doilea grafic din figura 20. Aceste conditii raman indeplinite chiar si cu un factor de multiplicare de x6 in toate mediile analizate (aer, apa, solutie apa-zahar)

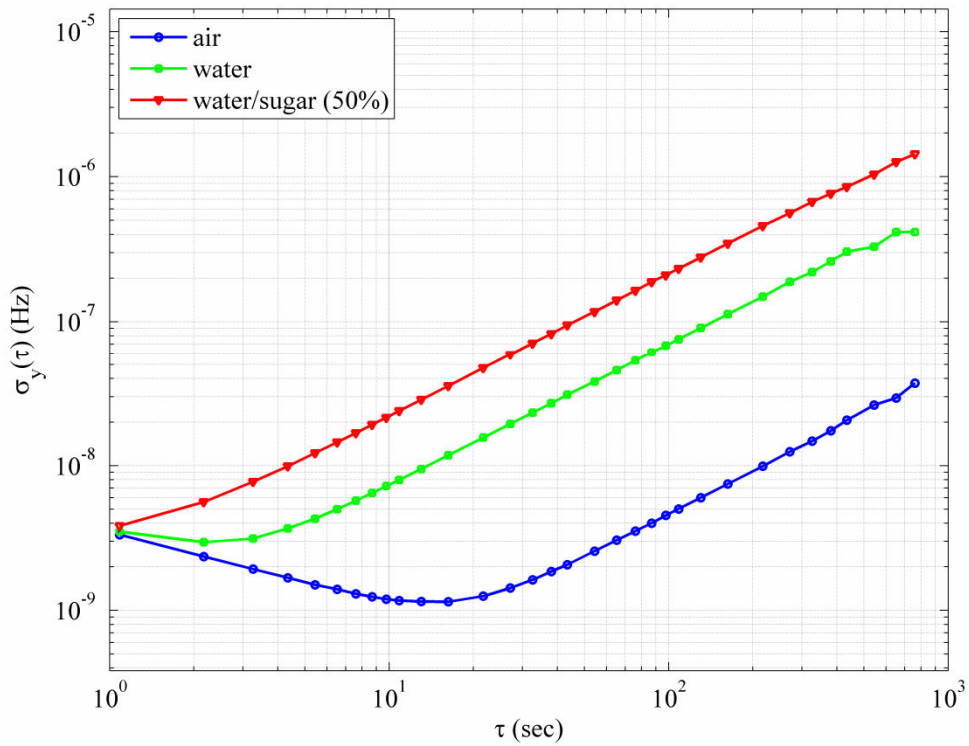
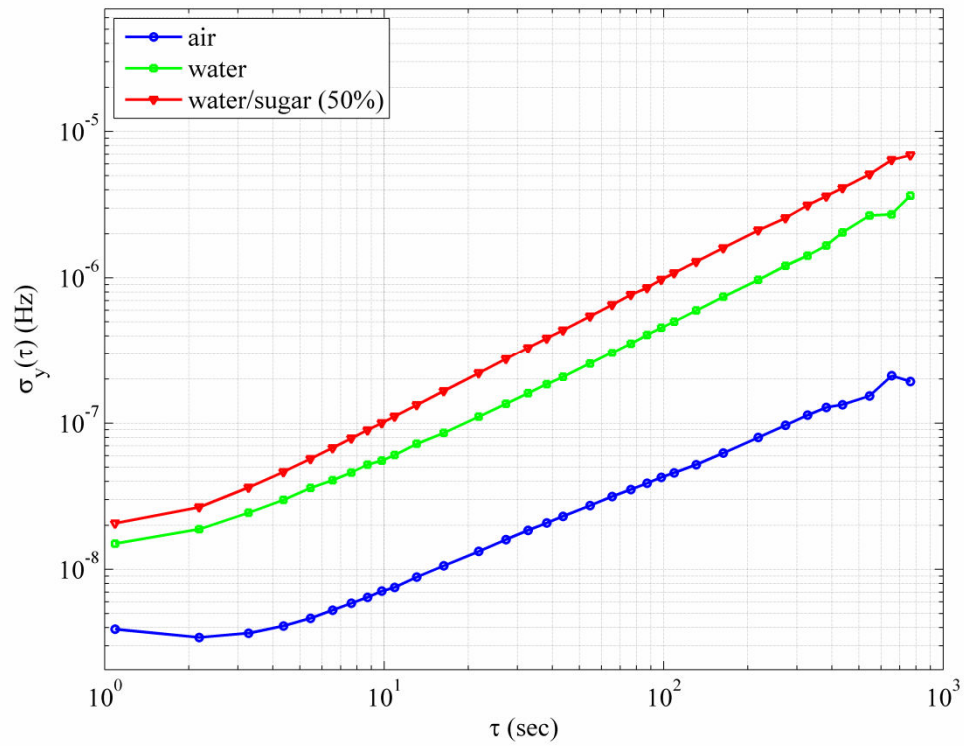


Figura 20: Deviatia Allan (a) montaj clasic, (b) dupa includerea modului de multiplicare a sensibilitatii

3.4.1. Concluzii asupra masuratorilor de deviatie Allan

Comportamentul modulului de multiplicare a sensibilitatii, integrat intr-un montaj experimental clasic QCM, in timp ce diferenta de frecventa este ridicata de pana la sase ori, s-a dovedit stabil si precis. Nu sunt prezenti factori suplimentari de zgomot in sistem si in timp ce datele sunt achizitionate cu precizie ridicata acestea raman nedistorsionate.

Chiar si cu o crestere a sensibilitatii, deviatia Allan minima necesara pentru a valida dispozitivul este nu doar indeplinita dar se prezinta in cadrul unor parametri departati de orice limite care ar putea pune la indoiala performanta dispozitivului in aplicatii cu conditii dificile.

3.5. Concluzii asupra masuratorilor de validare

Modulul de mutliplicare a sensibilitatii a fost dezvoltat pentru a fi utilizat in aplicatii QCM de viteza inalta [9-12] bazate pe convertoare de frecventa-voltaj, cu o rezolutie tipica de 1Hz, limitate de zgomotul de conversie sau bazate pe masurarea directa a frecventei cu 1s gate time, care sunt in general dezvoltate in jurul unor circuite integrate specifice pentru aplicatii (ASIC)[13], field programmable gate arrays (FPGA) [14] si/sau microcontrolere [15,16] pentru aplicatii portabile.

Un montaj experimental a fost realizat dupa modelul unui montaj ACM clasic pentru a teste capacitatea dispozitivului, a evalua efectul acestuia asupra montajului, a-I determina precizia si a demonstra fiabilitatea datelor. Experimentele au fost realizate in aer, apa si o solutie de 50% apa-zahar pentru a stabili proprietatile dispozitivului in conditii de operare obisnuite pentru QCM. Sensibilitatea a fost inmultita pana la un factor de x6.

Analiza deviatiei mediane absolute (MAD) a fost realizata pentru validarea dispersiei statistice si a demonstrat ca precizia datelor livrate de dispozitiv este fiabila si stabila.

Analiza de deviatie Allan a aratat ca in timp ce dispozitivul isi indeplineste misiunea de a multiplica diferenta de frecventa a montajului, nu insereaza erori sa zgomot. Acesta nu are un efect negativ asupra stabilitatii sistemului, pastrand valori bune de

deviatie in orice mediu. Aceasta valideaza in primul rand conceptul dispozitivului si constructia sa dar arata si ca alegerea componentelor folosite in acest montaj a fost corecta.

Dispozitivul se comporta precis, stabil si rapid. Astfel indeplineste toate necesitatiile pentru scopul sau conceput de utilizare. Acum, tot ce mai ramane de facut este de a demonstra ca dispozitivul poate intr-adevar sa fie inserat intr-un montaj QCM, astfel nefiind doar un concept bun dar demonstrandu-si utilitatea dincolo de orice dubiu.

3.6 Includerea modului de multiplicare a sensibilitatii intr-un montaj experimental tipic

Pentru o evaluare experimentală a modului de multiplicare a sensibilității, dispozitivul a fost integrat într-un montaj experimental QCM cu două canale după cum se poate vedea în figura 21. Se observă similaritatea cu montajul folosit pentru măsurătorile de validare. Astfel se încearcă să se demonstreze că într-un mediu experimental, dispozitivul ar trebui să se comporte la fel de bine ca și în cazul analizei de validare prezentate înainte.

Montajul experimental constă din două aparate de măsură HP-5316B, amândouă conectate la un calculator pentru înregistrarea datelor printr-un adaptor USB-GPIB, un standard de frecvență atomică cu rubidiu FE-5680A, care este folosit ca și referință pentru ambele aparate de măsură, o celulă lichidă QCM (011121, ALS Co., Ltd.) echipată cu un oscilator QCM (ICMFG 35366-10, International Crystal Manufacturing Co., Inc.) și un oscilator din cristal de cuarț cu frecvență fundamentală de 10MHz (151225-10, International Crystal Manufacturing Co., Inc.) și, bine înțeles, însuși modulul de multiplicare a sensibilității.

Un program a fost scris din nou în Matlab, pentru a putea colecta datele de la aparatele de măsură și a realiza un grafic tipic QCM bazat pe informația achiziționată.

Scopul principal al cercetării prezentate aici se axează pe dezvoltarea și construcția modului de multiplicare a sensibilității. S-a insistat pe dispozitiv și pe capacitățile sale. În secțiunea care urmează un experiment a fost gândit pentru a-i demonstra din nou funcționalitatea, accentul fiind pus pe dispozitiv. Pentru a nu lăsa loc de speculații, cele mai dificile condiții de mediu care se regăsesc în mod normal în montaje QCM au fost

alese pentru experiment. De aceea experimentul a fost realizat in mediu lichid. Oscilatorul de cristal de cuarz a fost inserat intre inelele de sililcon ale celulei lichide statice. 4 μl din solutia de 50% apa-zahar (bazata pe zahar pur si apa demineralizata (0.22 $\mu\text{S}/\text{cm}$)) au fost adaugati.

Rezultatele experimentului realizat sunt prezentate in figura 22. Acesta este un grafic clasic QCM care arata modificarea frecventei in timp. Cele doua linii vizibile pe grafic arata modificarea frecventei fata de timp la iesirea oscilatorului QCM (linia rosie) fara multiplicare de sensibilitate si modificarea frecventei la iesirea modulului de multiplicare a sensibilitatii (linia albastra) cu o rezolutie crescuta de 6x dupa ce s-au adaugat 4 μl de picaturi de zahar-apa. Dupa cum se vede din imagine, doua picaturi au fost adaugate (una la $t=100\text{s}$ si una la $t=500\text{s}$). Modificarea frecventei de rezonanta a fost monitorizata si inregistrata in mod continuu in timpul stabilizarii frecventei.

Experimentul a fost realizat la o temperatura a camerei de 21°C si o umiditate relativa de 61%. Orice fluctuatie a temperaturii camerei sau a umiditatii influenteaza comportamentul frecventei. De aceea in cazul oricarui experiment QCM, acelea trebuie luate in considerare cand se fac evaluari.

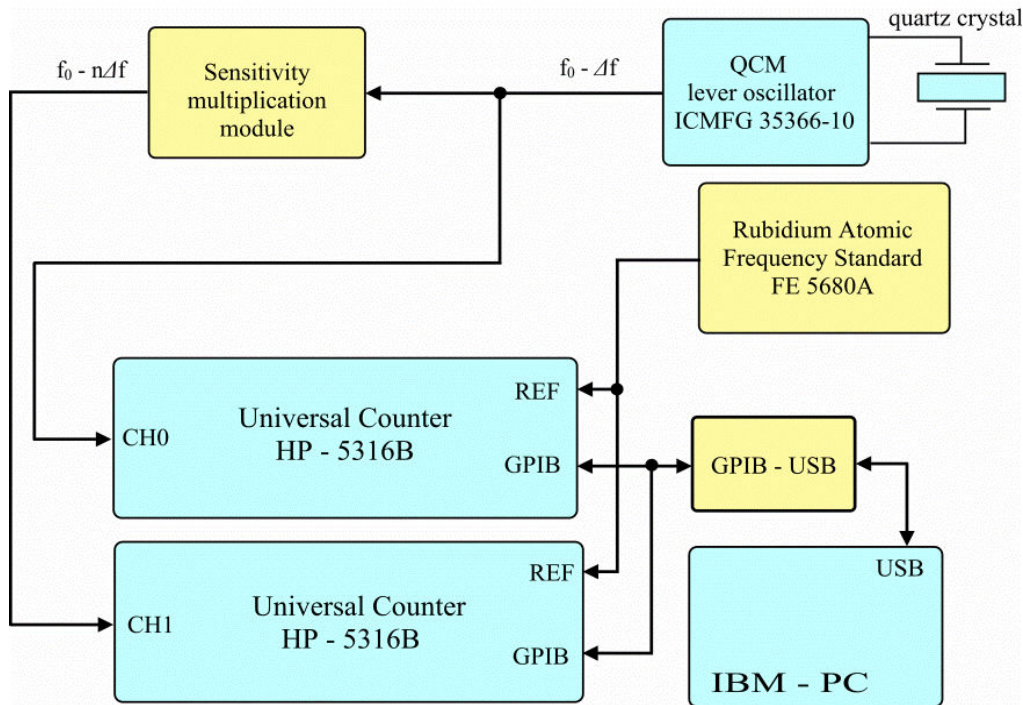


Figura 21: Diagrama montajului experimental

Figura 22 prezinta astfel efectul picaturilor de apa-zahar in contact cu electroda de aur, urma de un proces de difuzie care are loc in cellula statica. Ceea ce este de interes este faptul ca in timp ce masuratorile efectuate cu modulul de multiplicare a sensibilitatii operand cu un factor de multiplicare de 6x arata o rezolutie imbunatatita, permitand o monitorizare mai buna a experimentului, acestea sunt de fapt o marire a semnalului original fara alte diferente si un raport pastrat riguros intre cele doua semnale poate fi observat.

Masuratorile au fost repetate de cateva ori pentru a confirma stabilitatea modulului de multiplicare a sensibilitatii. Fiecare grafic obtinut (nu este vizibil aici) se prezinta identic cu cel din figura 22. De fiecare data graficul masurarii multiplicat isi pastreaza raportul fata de semnalul original in timp ce prezinta o versiune mai vizibila a acestuia.

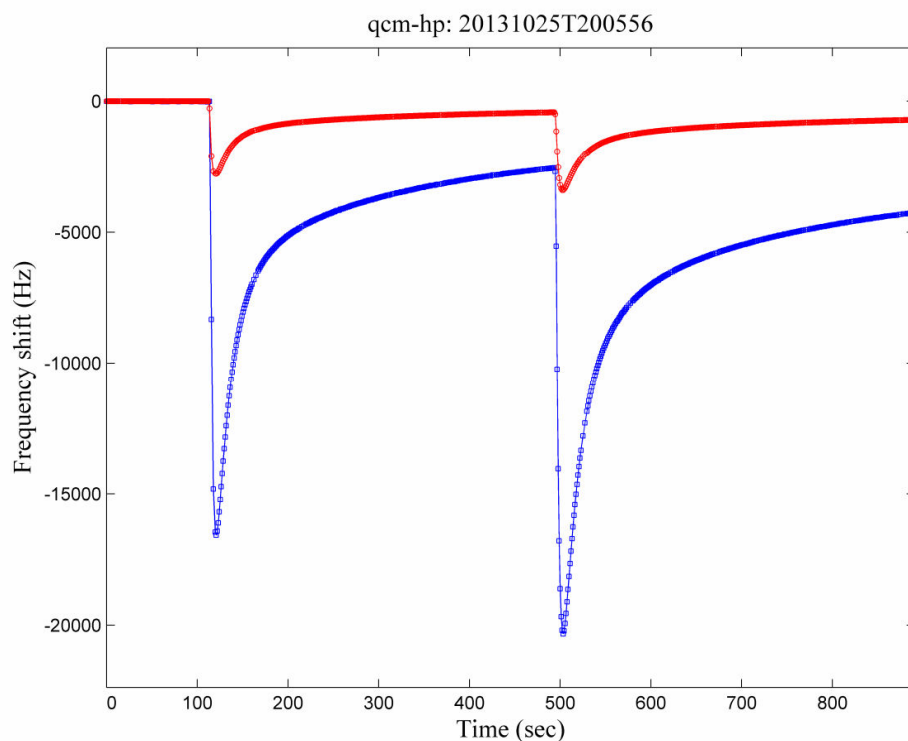


Figura 22: Modificarea de frecventa dependenta de timp la iesirea oscilatorului QCM (linia rosie) si cu un factor de multiplicare de 6x produs de modulul de multiplicare a sensibilitatii (linia albastra) obtinuta prin adaugarea a doua picaturi de 4ul din solutia de 50% apa-zahar

Acest experiment practic cu QCM pe doua canale demonstreaza functionalitatea modulului de multiplicare a sensibilitatii si capacitatiile sale intr-un montaj practic. Arata cum modulul poate fi inserat pur si simplu intr-un montaj QCM clasic. Cel mai important, functionalitatea sa a fost confirmata de catre modificarea de frecventa de la iesirea modulului in raport cu cea a oscilatorului QCM. Astfel compromisul adesea intalnit intre rezolutie si sensibilitate, care reprezinta o grija serioasa pentru orice experimentator QCM, poate fi eliminat in mod elegant prin implementarea acestui modul pentru a imbunatatii rezolutia datelor obtinute in timp ce se pastreaza sensibilitatea senzorului de cristal de cuarz.

Modificarea continua a frecventei poate fi masurata cu usurinta cu instrumente de masura disponibile si demonstreaza potentialul experimental al modulului de multiplicare a sensibilitatii, in special pentru aplicatii QCM de viteza inalta bazate pe convertoare de frecventa-voltaj sau in aplicatii portabile.

Concluzii asupra modulului de multiplicare a sensibilitatii

Constructia, modul de operare si rezultatele modulului de multiplicare a sensibilitatii propus pentru microbalanta cu cuarz au fost discutate. Solutiile de design alese au fost justificate in contextul optiunilor existente si inovatia abordarii a fost demonstrata cat si evaluata experimental.

Scopul acestui dispozitiv a fost acela de a imbunatatii tehnologia de masurare a QCM-ului cu scopul de a obtine date de calitate superioara. Acest dispozitiv s-a dovedit a fi unul de inalta performanta, capabil sa imbunatateasca metoda clasica QCM pentru diferite aplicatii.

Un compromis serios care trebuie luat in considerare de catre experimentatorii QCM este compromisul dintre sensibilitate si rezolutie. Pentru aplicatii la care cristalele de cristal folosite de obicei nu sunt destul de sensibile pentru experimentul dorit, rstr necesara folosirea unor senzori cu frecvente mai inalte. Aceasta inseamna insa ca prin cresterea sensibilitatii fizice a cristalului, factorul sau de calitate scade si devine susceptibil la nivele mai inalte de zgomot, facand ca si rezolutia datelor obtinute sa scada semnificativ. Acest dispozitiv elimina problema prin permiterea folosirii unor oscilatori mai stabili in timp ce

informatia obtinuta este de pana la sase ori mai exacta fara a se pierde din rezolutie. Dupa cum au aratat rezultatele prezentate, inserarea modulului propus intre oscilatorul QCM si frecventmetru ca si unitate de post-procesare se prezinta a fi o solutie simpla si eleganta pentru a elimina compromisul dintre sensibilitate si rezolutie, permitand experimentatorului sa le aiba pe amandoua deoarece rezolutia senzorului se pastreaza dar precizia datelor achizitionate creste.

Masuratori de validare au fost efectuate pentru a stabili calitatea dispozitivului, urmate de un montaj experimental pentru a demonstra functionalitatea sa practica. Masuratorile de validare au fost efectuate in aer, in apa si in solutie de 50% apa-zahar bazata pe zahar pur si apa demineralizata (0.22uS/cm). Montajul experimental a utilizat o celula lichida umpluta cu apa, unde s-au adaugat picaturi de 4ul de solutie apa-zahar si s-au inregistrat. Astfel modulul si-a demonstrat capacitatile in toate mediile comune pentru experimente QCM.

Analiza de deviatie medie absoluta a fost efectuata ca o metoda de validare a dispersiei statistice, demonstrand exactitatea masuratorilor. Analiza de deviatie Allan a sistemului QCM cu modulul de multiplicare a sensibilitatii atasat a fost efectuata pentru fiecare mediu de operare a cristalului de cuarz pentru a determina rezolutia reala a QCM-ului si a estima un montaj optim de multiplicare pentru multiplicatoarele ICS511 PLL. Masuratorile experimentale efectuate, confirma prezicerile teoretice si valideaza utilitatea practica a dispozitivului chiar si in conditiile mai dificile prezente in medii lichide.

Constructia si alegerea pieselor au fost considerate cu grija pentru a obtine un dispozitiv care, dupa cum arata masuratorile, transmite un semnal de inalta calitate fara a insera zgomot sau a produce erori in randul datelor colectate. Designul sau necomplcat face ca acest dispozitiv sa fie ieftin de produs in ciuda inaltei sale performante. Un aspect de asemenea important este forma sa modulara, care ii permite sa fie inserat cu usurinta in montaje QCM clasice si astfel permitand o anume adaptabilitate a metodei deja existente, astfel fiind usor de implementat si compatibil cu o gama large de montaje, inclusiv pentru aplicatii portabile.

In concluzie, modulul de multiplicare a sensibilitatii propus nu este numai rapid si precis dar de asemenea usor de implementat intr-o varietate mare de montaje in timp ce mentine un raport pret/calitate foarte bun. Se prezinta ca un instrument de inalta calitate,

dupa cum au demonstrat masuratorile de validare si propune rezolvarea unei probleme vechi a sistemelor QCM (compromisul dintre sensibilitate si rezolutie) intr-un mod nou si eficient.

Rezultatele cercetarilor asupra senzorilor cu cristal de cuarz obtinute in ultimii trei ani au produs si doua brevete:

I.Burda A.Tunyagi, A.Silaghi, S.Simon, O.Popescu; Multiplicarea sensibilitatii unui senzor rezonant; RO patent nr. 129482/30.05.2014

and

I.Burda, A.Tunyagi, A.Silaghi, S.Simon, O.Popescu; Modul de masurare a impedantei unui imunosenzor rezonant; RO patent nr. 129483/30.05.2014

Referinte Selectate

- [1] Sensitivity multiplication module for Quartz Crystal Microbalance Applications, Ioan Burda, Andreea Silaghi, Arthur Tunyagi, Simion Simon, and Octavian Popescu Rev Sci Instrum. 2014 Feb; vol 85
- [2] G. Sauerbrey, Verwendung von Schwingquarzen zur Wagung dünner Schichten und Microwagung, Z. Phys. 155 (1959) 206–222.
- [3] Characterisation of clocks and oscillators D.B.Sullivan, D.W.Allan, D.A.Howe, F.L.Walls; Nist technical note 1337
- [4] http://www.icmfg.com/qcm_crystals.html
- [5] <http://www.icmfg.com/qcmleveroscillators.html>
- [6] <http://www.als-japan.com/1109.html>
- [7] Coaxial Frequency Mixer ZFM-2 Datasheet REV. B M113397 ZFM-2 DJ/TD/CP 080220 Mini-Circuits
- [8] Rubidium Atomic Frequency Standards Product Catalog, FEI Communications Inc. http://www.frequelec.com/pdf/rfs_12pg.pdf
- [9] A. Arnau, T. Sogorb, and Y. Jimenez, Rev. Sci. Instrum. 73, 2724, (2002).
- [10] V. Ferrari, D. Marioli, and A. Taroni, IEEE Trans. Instrum. Meas. 50, 1119, (2001).
- [11] Ioan Burda, Arthur Tunyagi, Rev. Sci, Instrum. 83, 025107 (2012).
- [12] C. Gabrielli, H. Perrot, D. Rose, H. Rubin, M.C. Phan, and B. Piro, Rev. Sci. Instrum. 78, 074103 (2007).
- [13] J. M. Beely, C. Mills, P.A. Hammond, A. Glide, J.M. Cooper, L. Wang, D. R. S. Cumming,
- [14] M. J. Moure, P. Rodiz, M. D. Valdes, L. Rodriguez-Pardo and J. Farina, Latin American Applied Research, 37, 25-30, (2007).
- [15] Fikret Ari and Hasan Nazir, Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series B V.57 (1-2), 1- 8, (2011).
- [16] S. Kurosawa, H. Aizawa, M. Tozuka, M. Nakamura, J. W. Park, Meas. Sci. Technol. 14, 1882-1887, (2003).

Mulumiri

De-a lungul anilor am avut mereu marele noroc de a intalni profesori deosebiti. Pornind de acasa si la fiecare pas de-a lungul drumului, mereu a fost cineva care sa ma indrume. Lectiile si mentorii mei au venit sub diferite forme si le sunt recunoscatoare deoarece acestia au format gandurile mele in ceea ce sunt si ceea ce reprezint. Acestor oameni as dori sa le multumesc pe aceasta cale cu speranta de a fi in stare sa iau ceea ce mi s-a dat si sa valorific.

Va multumesc pentru indrumare, va multumesc pentru impartasirea cunostiintelor si mai ales va multumesc pentru rabdare.

Aceasta teza nu ar fi fost finalizata fara indrumarea rabdatoare, suportul si incurajarile Conf. Univ. Dr. Ioan Burda caruia pe aceasta cale as dori sa-i exprim profunda reconostinta.

As dori sa multumesc Prof.Univ.Dr Simion Simon pentru ca mi-a oferit sansa de a lucra in laoratorul ICI-BNS si Prov.Univ.Dr Viorica Simon pentru ca m-a ghidat in acea directie.

As dori de asemenea sa multumesc Lect.Dr.Arthur Tunyagi pentru sfaturile si explicatiile date si Dr. Oana Ponta pentru toate sfaturile si suportul acordat.

Si cel mai important parintilor mei: pentru toata dragostea voastra, suportul, intelegerea, si in general pentru ca ma suportati si atunci cand nu e tocmai usor, va mutlumesc.