



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENTIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 00924**

(22) Data de depozit: **03.12.2012**

(41) Data publicării cererii:
30.06.2014 BOPI nr. **6/2014**

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NATIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
GEOLOGIE ȘI GEOECOLOGIE MARINĂ
GeoEcoMar, STR.DIMITRIE ONCIUL
NR.23-25, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatorii:
• JURCA IOAN, ALEEA ISTRU NR.2 B,
BL.A 14 C, SC.6, ET.3, AP.86, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) TRADUCTOR CAPACITIV DIFERENȚIAL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un traductor capacativ diferențial, pentru măsurarea deplasării unor elemente din sistemul elastic cu care sunt dotate gravimetrele. Traductorul capacativ diferențial, conform inventiei, este alcătuit dintr-o punte (A) de măsură realizată din două condensatoare ce au două plăci (1 și 2) fixe și o armătură (3) mobilă, în legătură cu care este conectat un oscilator (B) realizat dintr-un circuit (C11) integrat, în legătură cu care sunt montate niște rezistoare (R1, R2 și R3), un cristal (Q) de quart, niște condensatoare (C1 și C2) și niște diode (D1, D2 și D3) care generează un semnal sub formă de impulsuri rectangulare, ce este transmis unui amplificator acordat, realizat cu un tranzistor (T1) și un circuit (L1, C5) rezonant, unde semnalul este transformat într-unul de formă sinusoidală, care este defazat cu $\pi/2$ radiani într-un circuit realizat cu un tranzistor (T2), niște rezistoare (R9, R10 și R11) și un condensator (C6), semnalele de la ieșirile circuitelor realizate cu tranzistoarele (T1 și T2) fiind amplificate de niște circuite (C12 și C13) integrate, ale căror ieșiri sunt legate la plăcile (1 și 2) fixe ale punții (A) de măsură, în condițiile în care semnalul de la ieșirea punții (A) de măsură, care conține informația asupra poziției armăturii (3) mobile, în mărimea defazării sale, este amplificat de un circuit (C17) integrat, condiționat apoi de niște circuite (C10 și C11) porți logice, și introdus apoi împreună cu semnalele de referință în quadratură, de la ieșirea circuitelor (C17 și C19) porți logice, la intrarea unui detector sincron, care este în

legătură cu niște filtre trece jos, unde se extrage valoarea medie pe care o amplifică un circuit (C16) integrat, alimentarea punții (A) de măsură cu tensiuni sinusoidale defazate între ele cu $\pi/2$ radiani conducând la prezența permanentă a unei tensiuni sinusoidale pe armătura (3) mobilă, pentru întregul domeniul de deplasare al acesteia.

Revendicări: 1

Figuri: 2

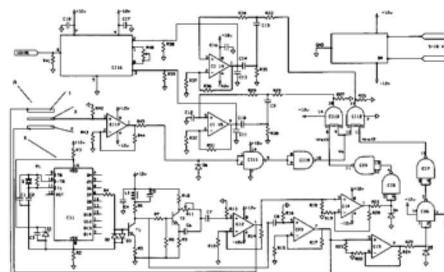


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozitivelor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de inventie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de inventie este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



TRADUCTOR CAPACITIV DIFERENȚIAL

Invenția se referă la un traductor capacativ diferențial, pentru măsurarea deplasării unor elemente din sistemul elastic cu care sunt dotate gravimetrele, cu aplicație în studiul variației câmpului gravitațional terestru.

Sunt cunoscute astfel de tructoare capacitive diferențiale utilizate pentru a măsura deplasări de ordinul nanometrilor ale elementelor aflate în componența sistemelor elastice din gravimetre.

Un astfel de traductor capacativ diferențial are în componență un oscilator sinusoidal care alimentează o punte de măsurare formată din două condensatoare și două inductoare. Cele două condensatoare au în comun unul dintre electrozi care este în legătură cu obiectul a cărui deplasare ne propunem să o măsurăm. Tensiunea care alimentează puntea de măsurare dacă o raportăm la electrodul de masă, este reprezentată de două componente de amplitudine și frecvență egale, care sunt defazate cu 180 de grade sau π radiani (opozitie de fază). Electrodul comun celor două condensatoare din puntea de măsurare este mobil și este în legătură cu corpul de masă m care constituie masa gravitațională din sistemul elastic al gravimetrului. Prin variația în timp sau în spațiu a accelerării gravitaționale g se produce modificarea greutății G a corpului de masă m din sistemul elastic. Acest corp de masă m este în legătură cu un sistem elastic de resorturi, care printr-o alungire variabilă, transformă această modificare a greutății corpului de masă m într-o deplasare. La gravimetrele clasice, această deplasare datorată modificării accelerării gravitaționale g , se măsoară prin tensionarea resorturilor în sens opus până când se obține o compensare a acesteia. Sistemul de măsurare este mecano-optic la care în urma rotirii unui buton de compensare se asigură readucerea sistemului elastic în starea inițială de echilibru. Prin citirea pe un vernier a gradațiilor rezultate în urma rotirii butonului de compensare se poate măsura variația mărimi accelerării gravitaționale g . La unele tipuri de gravimetre au fost montate circuite electronice care transformă în semnal electric deplasarea corpului de masă m . În acest fel, se poate înregistra cu ajutorul unui sistem de

achiziții de date evoluția variației în timp a accelerării gravitaționale g , datorată de pildă mareelor terestre.

Schema bloc a unui astfel de circuit electronic este arătată în figura 1. Oscilatorul sinusoidal 1 furnizează semnalul de alimentare a punții de măsură 2 constituită din două inducțioare și două condensatoare. Condensatoarele sunt constituite din două plăci fixe la care se aplică tensiunea de alimentare a punții și o placă mobilă situată între cele două plăci fixe, care este în legătură cu corpul de masă m din sistemul elastic al gravimetrului. Cele două tensiuni de alimentare ale punții sunt V_{a1} și V_{a2} , au amplitudinea și frecvența egale, dar sunt defazate cu π radiani (opozitie de fază). Deplasarea corpului de masă m din sistemul elastic al gravimetrului, datorată modificării greutății corpului ca urmare a variației accelerării gravitaționale g , determină o variație diferențială ($+/-\Delta C$) a valorii capacității celor două condensatoare din puntea de măsurare. Semnalul de la ieșirea punții are amplitudinea și fază dependente de poziția plăcii mobile. Această tensiune V_{er} , care este expresia variației diferențiale a capacității condensatoarelor din punte, este preluată de către amplificatorul limitator 3 după care se realizează o demodulare sincronă (detecție sensibilă la fază) în detectorul 5. Rezultatul detecției sincrone este preluat de către filtrul trece jos 6, care extrage componenta de joasă frecvență.

În situația în care placa mobilă a condensatorului diferențial este situată la egală distanță de cele două plăci fixe (poziție centrală) tensiunea de la ieșirea punții este teoretic nulă. Pentru a depăși această situație se injectează la intrarea amplificatorului limitator 3 un semnal de compensare V_{comp} . Acest semnal de amplitudine scăzută de aproximativ 50 mV și o defazare de $\pi/2$ radiani, are rolul de a menține un semnal minim la ieșirea punții, cu o valoare superioară tensiunii de zgomot de la intrarea amplificatorului. În acest mod se asigură funcționarea corectă a demodulatorului sincron pe întregul domeniu de deplasare al plăcii mobile din puntea de măsură. Pentru a se genera această tensiune de compensare se extrage printr-o infășurare suplimentară a transformatorului de cuplare a oscilatorului cu puntea de măsură un semnal care este preluat de circuitul de defazare 4 care realizează o atenuare și o defazare cu $\pi/2$ radiani.

Acest semnal este însumat la intrarea amplificatorului cu semnalul de la ieșirea punții de condensatoare.

Dezavantajul acestor traductoare capacitive diferențiale este reprezentat de faptul că semnalul de compensare însumat cu semnalul de ieșire al punții la intrarea amplificatorului este un semnal artificial, care nu reflectă deplasarea reală a obiectului urmărit, ci este un artificiu ce urmărește doar depășirea situației critice din jurul poziției de zero a punții de măsurare, când semnalul de ieșire al punții este teoretic nul. În realitate la intrarea amplificatorului existând tensiunea de zgromot de intrare al acestuia, apare o eroare de măsură pentru poziția centrală a plăcii mobile din puntea de condensatoare. De asemenea pentru cuplarea oscilatorul sinusoidal cu cristal de cuarț (oscilatorul pilot) la puntea de condensatoare se utilizează un transformator cu miez de ferită. Același transformator este folosit atât pentru furnizarea semnalului de referință V_{ref} necesar în procesul de demodulare sincronă cât și pentru semnalul de compensare V_{comp} . Acest transformator este o componentă dificil de manufacturat, relativ scumpă și care are parametrii influențați de temperatură și de interferențele electromagnetice din mediul înconjurător.

Problema care o rezolvă inventia revendicată, constă în eliminarea necesității generării și utilizării semnalului de compensare care constituie o sursă de eroare.

Traductorul capacativ diferențial, conform inventiei, înălătură dezavantajul arătat mai înainte prin aceea că alimentarea punții de măsură cu tensiuni sinusoidale defazate între ele cu $\pi/2$ radiani, conduce la prezența permanentă a unei tensiuni sinusoidale pe armătura mobilă, pentru întregul domeniul de deplasare al acesteia, inclusiv poziția centrală.

Avantajele traductorului capacativ diferențial conform inventiei, sunt:

- se asigură creșterea acurateței de măsurare pe întregul domeniu de deplasare al armăturii mobile a punții de condensatoare prin faptul că la ieșirea punții există un semnal electric nenul pentru întregul domeniu de deplasare al armăturii mobile;
- se elimină necesitatea generării și utilizării tensiunii de compensare;

- se elimină transformatorul prin care oscilatorul pilot alimentează puntea de condensatoare și care de asemenea furnizează și tensiunile de compensare și de referință.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu figura 2, care reprezintă schema electrică de principiu a traductorului capacativ diferențial.

Traductorul capacativ diferențial, conform invenției, cuprinde:

- puntea de măsură A care este formată din două condensatoare. Aceste condensatoare sunt constituite din două plăci fixe 1 și 2 și o placă mobilă 3, care reprezintă electrodul comun;
- un amplificator-limitator realizat cu circuitul integrat CI17, care amplifică și limitează în amplitudine semnalul de la ieșirea punții de măsură;
- circuitul oscilator care este realizat cu un circuit integrat CI1(CD 4060), un cristal de cuarț Q și un număr de componente pasive asociate R1,R2,R3,C1,C2,C3,D1. Acest circuit integrat CI1 realizează împreună cu cristalul de cuarț un oscilator de undă dreptunghiulară. Semnalul produs are o frecvență stabilă în timp, impusă de frecvența de rezonanță a cristalului de cuarț, care urmează a fi divizată ulterior de către un set de numărătoare binare;
- un circuit amplificator acordat realizat cu tranzistorul T1 care are ca sarcină un circuit rezonant paralel format dintr-un inductor L1 și un condensator C3. Acest circuit extrage componenta de frecvență fundamentală din semnalul furnizat de oscilatorul cu cristal de cuarț, producând la ieșire un semnal sinusoidal cu o frecvență egală cu a semnalului de la intrare;
- un circuit defazor care este realizat cu tranzistorul T2,rezistoarele R7,R8,R9,R10,R11 și condensatorul C6, generează la ieșire un semnal defazat cu $\pi/2$ radiani față de semnalul de la intrare;
- un circuit integrat dublu compus din amplificatoarele operaționale CI2,CI3, care amplifică semnalele furnizate de circuitul amplificator acordat realizat cu tranzistorul T1 și circuitul defazor realizat cu tranzistorul T2.Tensiunile de la ieșirea acestor amplificatoare CI1 și CI2 se aplică pe plăcile fixe ale

condensatorului diferențial de măsură, alimentând în acest fel puntea de condensatoare. Aceste două tensiuni au formă sinusoidală, au amplitudini și frecvențe egale, sunt însă defazate între ele cu $\pi/2$ radiani;

- un al doilea circuit integrat dublu compus din amplificatoarele operaționale CI4 și CI5, care sunt amplificatoare-limitatoare transformă tensiunile de formă sinusoidală de la intrare în impulsuri rectangulare bipolare de o amplitudine constantă;
- circuite de eliminare a impulsurilor de polaritate negativă realizate cu rezistoarele R21,R25 și diodele D4,D5;
- circuite formatoare de impulsuri realizate cu circuitele integrate CI6,CI7,CI8,CI9,CI10 și CI11, care sunt circuite logice NAND de tip trigger Schmitt (CD4093). Au rolul de a reduce durata fronturilor semnalelor primite de la amplificatoarele operaționale CI4,CI5 și CI17;
- un circuit demodulator sensibil la fază realizat cu circuitele integrate CI12 și CI13 care sunt circuite logice SAU EXCLUSIV (CD 4070). Aici se efectuează detecția sensibilă la fază a semnalului amplificat de la ieșirea punții de condensatoare prin utilizarea a două semnale de referință în quadratură sinfazice cu semnalele care alimentează puntea. Se obțin două semnale diferențiale care conțin informația utilă (poziția plăcii mobile a punții) în raportul de umplere ale impulsurilor;
- două filtre trece jos active, construite cu un circuit integrat dublu care cuprinde două amplificatoare operaționale CI14, CI15 și componente pasive formate din rezistoare și condensatoare, care extrag componenta de joasă frecvență din semnalele furnizate de demodulatoarele sensibile la fază descrise anterior;
- un amplificator diferențial realizat cu circuitul integrat CI16 (amplificator de instrumentație), care amplifică semnalele lent variabile de la ieșirea filtrelor trece jos. Amplificarea este stabilită cu rezistorul R40;
- un bloc de alimentare BA care este un convertor curent continuu-curent continuu. Acest convertor având la intrare o tensiune în domeniul 9 -18V furnizează la ieșire tensiuni de +12V și -12V stabilizate utilizate pentru

alimentarea cu energie electrică a tuturor circuitelor din componența traductorului.

Tensiunea de alimentare a punții de măsură A este asigurată de către un oscilator de undă sinusoidală cu cristal de cuart. Oscillatorul este realizat cu circuitul integrat CI1 (CD 4060).

Alimentarea circuitului integrat este făcută prin intermediul rezistoarelor R2, R3 și a diodei Zener D1. Circuitul oscillator conținut în CI1 împreună cu cristalul de cuart Q, condensatoarele C1,C2 și rezistorul R1 produce un semnal rectangular cu o frecvență impusă de cuart. Urmează un set de divizoare care reduce frecvența semnalului rectangular. Prin modul de conectare al circuitului integrat CI1 la sursa de alimentare la ieșirea din acest circuit avem un semnal rectangular limitat ca amplitudine de către grupul de diode D2,D3, care are un nivel de curent continuu ce polarizează amplificatorul acordat realizat cu tranzistorul T1. Acest mod de alimentare a circuitului CI1 face posibilă conexiunea galvanică directă prin rezistorul R4 cu electrodul de comandă al tranzistorului T1.

În amplificatorul acordat realizat cu tranzistorul T1 având ca sarcină circuitul rezonant paralel format din inductorul L1 și condensatorul C5 se extrage semnalul cu frecvență fundamentală din semnalul rectangular de la intrare. Semnalul de la ieșire are formă sinusoidală cu o frecvență egală cu a semnalului de intrare. Tranzistorul T2 împreună cu rezistoarele R9,R10 și cu circuitul defazor format din rezistorul variabil R11 și condensatorul C6 realizează defazarea cu $\pi/2$ radiani a semnalului. Reglarea defazării se poate realiza prin modificare valorii rezistorului variabil R11. Semnalele de la ieșirea tranzistorului T1 și cel de la ieșirea circuitului defazor sunt amplificate în continuare de către amplificatoarele operaționale CI2 și CI3. Aici se asigură nivelul de tensiune necesar pentru alimentarea punții de măsură. Semnalele sinusoidale egale ca amplitudine și frecvență, însă defazate cu $\pi/2$ radiani, de la ieșirea circuitelor CI2 și CI3 sunt aplicate pe plăcile fixe 1 și 2 ale punții de măsură A.

Puntea de măsură A are pe lângă cele două plăci fixe 1 și 2 și o placă (armătură) mobilă 3. Corpul de masă m care face parte din sistemul

elastic al gravimetrului este pus în legătură cu armătura mobilă 3 a punții de măsură A. Cele două plăci fixe 1 și 2 ale punții de măsură se găsesc de o parte și de alta a armăturii mobile 3 la o distanță de 1mm. La o variație a accelerării gravitaționale g are loc o deplasare a corpului de masă datorită modificării greutății sale. Această deplasare este preluată de armătura mobilă 3 și astfel este modificată capacitatea electrică dintre armătura mobilă 3 și păcile fixe 1 și 2.

Plăcile fixe sunt alimentate cu două tensiuni sinusoidale de amplitudini și frecvențe egale dar defazate cu $\pi/2$ radiani. Aceste două tensiuni aflate în cuadratură, atunci când placa mobilă 3 se află la egală distanță de cele două plăci fixe 1 și 2 (poziție centrală), produc pe aceasta o undă sinusoidală, care reprezintă o însumare a celor două tensiuni de alimentare. Tensiunea rezultată are o formă sinusoidală și este de aceeași frecvență cu tensiunile de alimentare dar cu o amplitudine mai mare și defazată cu $\pi/4$ radiani. La o deplasare a plăcii mobile 3 spre una dintre plăcile fixe 1 sau 2 se modifică amplitudinea și fază tensiunii culese. Tensiunea culeasă de placa mobilă 3 este amplificată și limitată ca amplitudine de către un amplificator - limitator realizat cu circuitul integrat CI17, care este un amplificator operational cu impedanță mare de intrare. Limitarea în amplitudine a semnalului se face pentru a elimina influența perturbatoare a variației amplitudinii funcție de poziția plăcii mobile asupra rezultatelor măsurătorii. Informația utilă privind poziția plăcii mobile din puncte de măsură este conținută în faza semnalului rectangular furnizat la ieșirea amplificatorului. Semnalul rectangular este preluat în continuare de către circuitele logice NAND, CI 10 și CI 11, care sunt trigger Schmitt, în vederea reducerii duratei fronturilor de tranziție.

Pentru crearea tensiunilor de referință în cuadratură de fază care sunt folosite în demodularea sincronă a semnalului de la ieșire punții de măsură A, se preiau semnalele de alimentare ale punții de la ieșirile circuitelor CI2 și CI3 de către circuitele integrate CI4 și CI5 care sunt amplificatoare limitatoare. Se transformă semnalele sinusoidale de la intrare, în impulsuri rectangulare de aceeași frecvență. Grupurile de rezistoare R21, R25 și diode D4, D5 permit trecerea spre detectorul sincron doar a impulsurilor de polaritate pozitivă.

Circuitele CI16,CI17,CI18 și CI19 sunt porți logice NAND triggere Schmitt care reduc durata fronturilor de tranziție ale impulsurilor. Această condiționare a impulsurilor se face cu scopul de a micșora erorile de măsurare datorate tensiunilor reziduale rezultate în procesul de comutație.

Semnalul V_s de la ieșirea circuitului CI10 este de forma unor impulsuri rectangulare și reprezintă semnalul prelucrat de la ieșirea punții de măsurare A, care conține în faza impulsurilor informația utilă privind poziția armăturii mobile 3. Acest semnal se introduce în demodulatorul sincron realizat cu portile SAU EXCLUSIV CI12 și CI13 împreună cu semnalele de referință în quadratură V_{ref1} și V_{ref2} furnizate de către circuitele CI7 și CI9. În urma procesului de detectie sincronă se obțin la ieșirea porților SAU EXCLUSIV CI12 și CI13 două semnale sub formă de impulsuri rectangulare. Frecvența acestor impulsuri de la ieșire este dublă în raport cu frecvența impulsurilor de la intrare. Durata acestor impulsuri este funcție de defazajul dintre semnalul V_s de la ieșirea punții și cele două semnale de referință V_{ref1} și V_{ref2} . Deoarece defazajul semnalului V_s este dependent de poziția armăturii mobile din puncte de măsură, putem spune că durata impulsurilor este funcție de poziția armăturii mobile 3. Perioada impulsurilor T fiind constantă rezultă că raportul de umplere T_i/T a impulsurilor de la ieșirea detectorului sincron este funcție de poziția plăcii mobile 3. Pentru poziția centrală a plăcii mobile 3 factorul de umplere T_i/T este identic pentru cele două semnale sub formă de impulsuri rectangulare de la ieșirea circuitelor CI12 și CI13. Atunci când placa mobilă se deplasează spre una sau spre cealaltă dintre plăcile fixe 1 sau 2, se modifică raportul de umplere T_i/T pentru semnale de la ieșirea detectorului sincron. Astfel, dacă presupunem o deplasare a armăturii mobile 3 spre una dintre plăcile fixe, semnalele de la ieșire vor avea un raport de umplere T_i/T diferit unul față de celălalt. Filtrele trece jos realizate cu circuitele integrate CI14, CI15 extrag valoarea medie din semnalele primite de la detectorul sincron. Pentru poziția centrală a armăturii mobile 3, situație când cele două semnale de la ieșirea detectorului sincron au același raport de umplere, la ieșirea filtrelor vom avea două tensiuni continue de valoare egală. Aceste tensiuni egale care sunt aplicate unui amplificator diferențial

realizat cu circuitul integrat CI16, vor produce o tensiune nulă la ieșirea acestuia. În situația când armătura mobilă 3 se va deplasa într-o altă poziție cele două tensiuni de la ieșirea detectorului sincron au factorul de umplere diferit, în consecință la ieșirea filtrelor vor fi două tensiuni de valori diferite. În acest moment la ieșirea amplificatorului diferențial se va găsi o tensiune nenulă, cu o amplitudine care este proporțională cu mărimea deplasării armăturii mobile și de o polaritate dependentă de sensul deplasării acesteia. Pentru reglarea sensibilității traductorului se poate modifica valoarea rezistorului variabil R40.

Datorita faptului că semnalele utilizate în circuitele electronice ale traductorului capacativ sunt diferențiale, se obține o dependență scăzută a performanțelor în raport cu variația temperaturii mediului și a uzurii în timp a componentelor. De asemenea, se realizează o rejecție mare a semnalelor de mod comun care sunt asociate poluării electomagneticale ale mediului, cum ar fi cele cu frecvența de 50Hz ale rețelei de alimentare sau a undelor din domeniul frecvențelor radio.

REVENDICARE

Traductorul capacativ diferențial, realizând măsurarea deplasării unor elemente din sistemul elastic cu care sunt dotate gravimetrele, ce are în componență sa o punte de măsură (**A**), realizată din două condensatoare care au două plăci (**1 și 2**) fixe, și o armătură (**3**), mobilă, în legătură cu care este conectat un oscilator (**B**) realizat dintr-un circuit (**CI1**), integrat, în legătură cu care sunt montate rezistoarele (**R1,R2,R3**), cristalul de cuart (**Q**), condensatoarele (**C1 și C2**), și diodele (**D1,D2,D3**), care generează un semnal sub formă de impulsuri rectangulare, care fiind transmis unui amplificator acordat realizat cu un tranzistor (**T1**), și un circuit (**L1,C5**), rezonant, unde semnalul este transformat într-unul de formă sinusoidală, care este defazat cu $\pi/2$ radiani în circuitul realizat cu tranzistorul (**T2**), rezistoarele (**R9,R10,R11**) și condensatorul (**C6**), semnalele de la ieșirile circuitelor realizate cu tranzistoarele (**T1 și T2**), sunt amplificate de circuitele (**CI12 și CI13**), integrate, ale căror ieșiri sunt legate la plăcile (**1 și 2**), fixe, ale punții de măsură (**A**), în condițiile în care semnalul de la ieșirea punții de măsură (**A**) care conține informația asupra poziției armăturii (**3**), mobile, în mărimea defazării sale, este amplificat de circuitul (**CI17**), integrat, condiționat apoi de circuitele porți (**CI10,CI11**) logice, este introdus împreună cu semnalele de referință în quadratură de la ieșirea circuitelor porți (**CI17,CI19**), logice, la intrarea detectorului sincron realizat de circuitele (**CI12, CI13**), integrate, care este în legătură cu filtrele trece jos realizate cu circuitele (**CI14,CI15**), integrate, unde se extrage valoarea medie pe care o amplifică circuitul (**CI16**), integrat, **caracterizat prin aceea că** alimentarea punții de măsură (**A**), cu tensiuni sinusoidale defazate între ele cu $\pi/2$ radiani, conduce la prezența permanentă a unei tensiuni sinusoidale pe armătura (**3**), mobilă, pentru întregul domeniul de deplasare al acesteia, inclusiv poziția centrală.

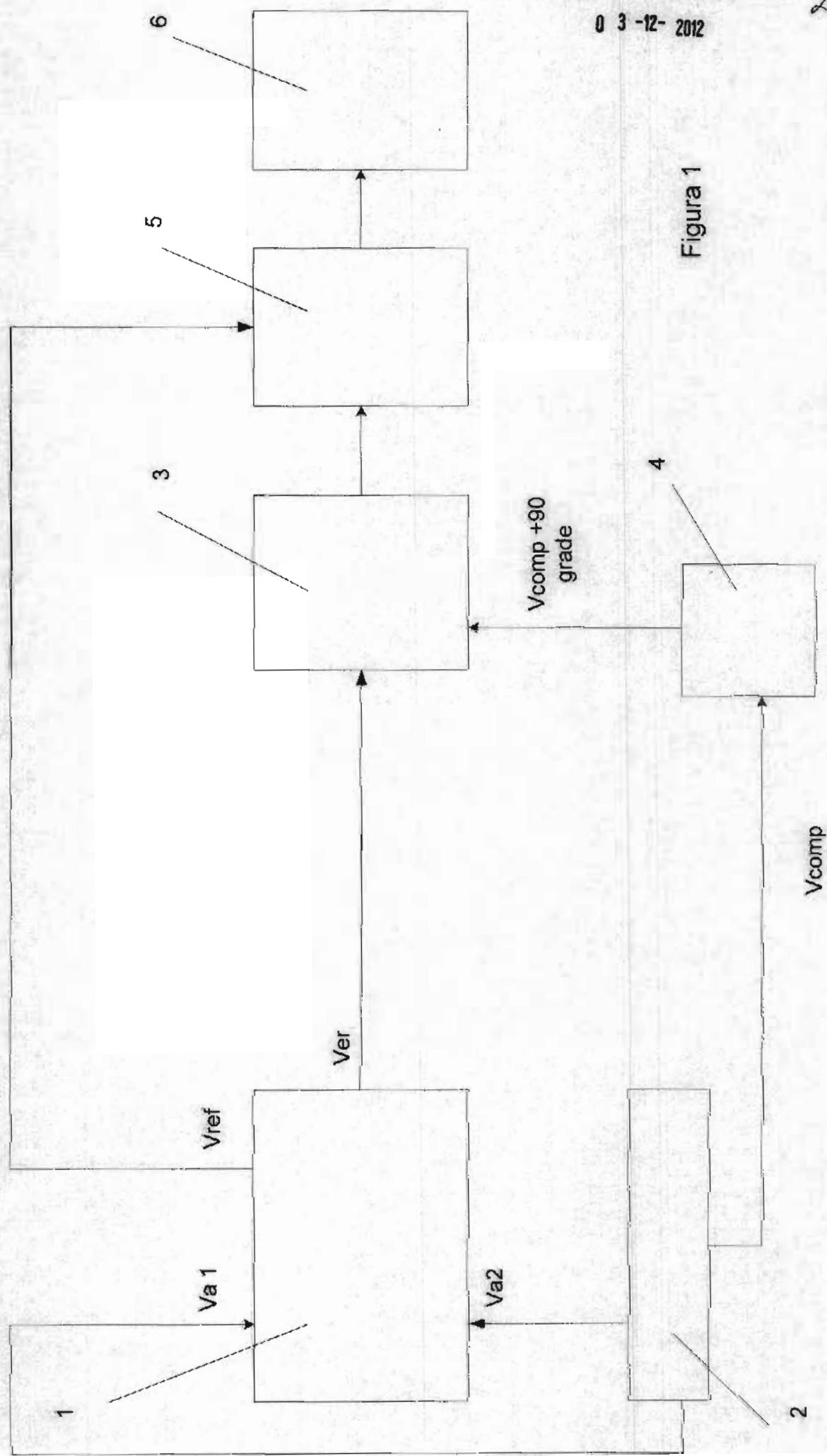


Figura 1

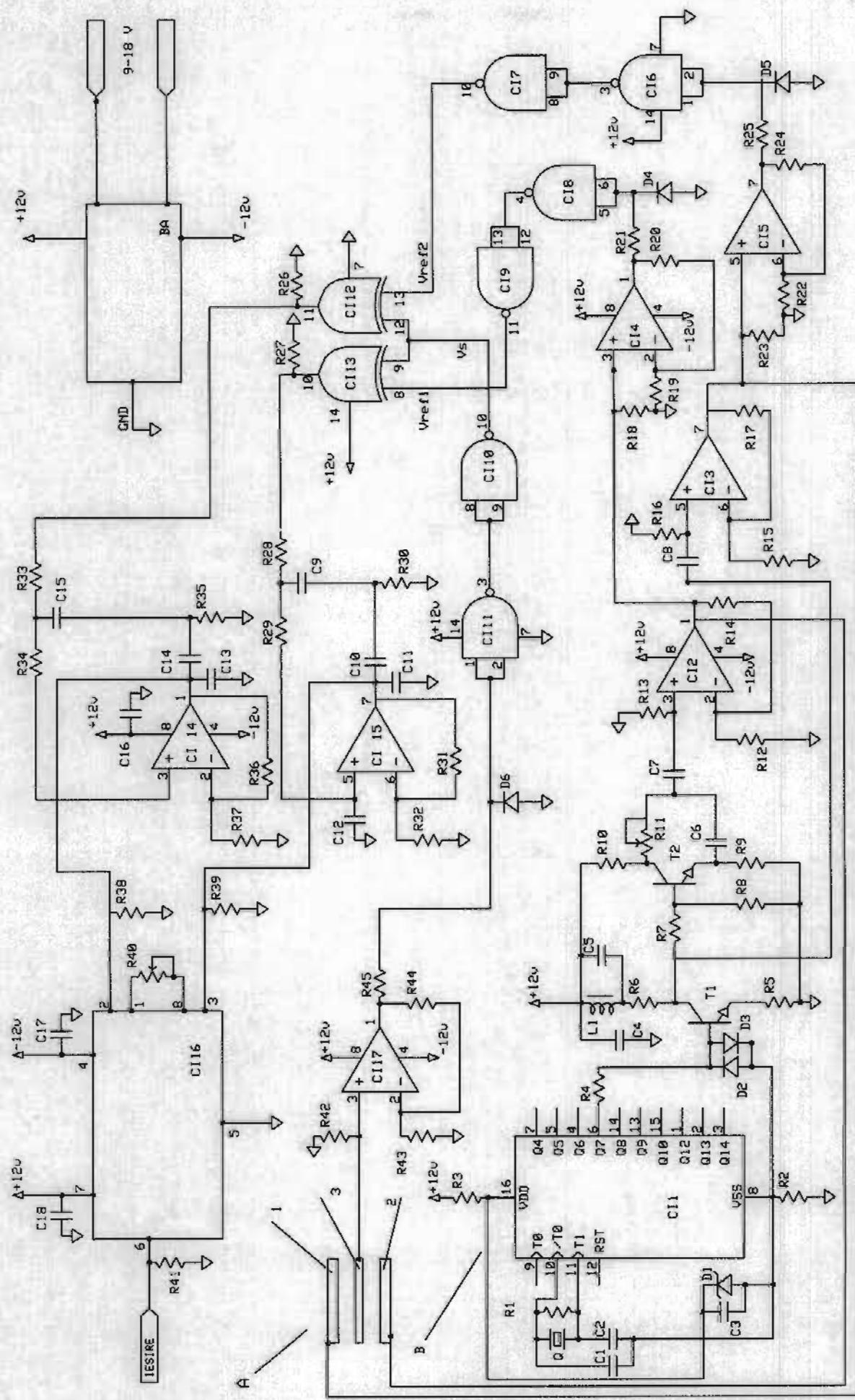


Figura 2