



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00395

(22) Data de depozit: 24.05.2013

(41) Data publicării cererii:  
28.03.2014 BOPI nr. 3/2014

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA "TRANSILVANIA" DIN  
BRAȘOV, BD.EROILOR NR.29, BRAȘOV,  
BV, RO

(72) Inventatori:  
• ION CĂTĂLIN PETREA, STR. TÂMPII  
NR. 16, BL. C1A, SC. A, AP. 19, BRAȘOV,  
BV, RO;  
• MARINESCU CORNELIU,  
STR. MIHAI EMINESCU NR.48, AP. 1,  
BRAȘOV, BV, RO

(54) METODĂ, ALGORITM ȘI STRUCTURĂ DE CONTROL  
PENTRU PORNIREA CU CONVERTOR ELECTRONIC DE  
PUTERE A GENERATOARELOR ASINCRONE AUTONOME

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de pornire, un algoritm de control al pornirii și un circuit de control al generatoarelor asincrone autonome. Metoda de pornire, conform invenției, se aplică unui convertor de tensiune din structura circuitului de control al unui generator asincron, și constă în adaptarea pornirii de tip V/Hz, specifică controlului scalar al motoarelor asincrone, la regimul de generator al mașinii asincrone. Metoda de pornire, conform invenției, presupune funcționarea unei mașini asincrone inițial în regim de motor, fiind alimentată cu un convertor de tensiune cu ajutorul unei surse externe de tensiune continuă, urmată de cuplarea unui motor de antrenare și, pe măsură ce mașina este accelerată, trecerea acesteia din regimul de motor în cel de generator. Algoritm de control, conform invenției, constă în determinarea frecvenței de referință, cu ajutorul unui regulator de tip proporțional-integrator, această frecvență fiind apoi transformată în trei semnale de referință aplicate unui generator PWM care generează șase impulsuri de comandă, pentru niște tranzistoare care intră în alcătuirea convertorului de tensiune. Circuitul de control, conform invenției, este constituit, pe partea convertorului de tensiune, dintr-un

regulator de tip proporțional-integral (12), un bloc (14) de memorie, un bloc (15) de calcul al pulsației, un bloc (16) de conversie a pulsației în trei semnale sinusoidale, simetrice și echilibrate, un bloc (17) limitator și un generator PWM (18), iar pe partea circuitului de balast, dintr-un bloc (19) demultiplicator, două regulatoare (20, 21) de tip proporțional-integral și un generator PWM (22).

Revendicări: 3  
Figuri: 8

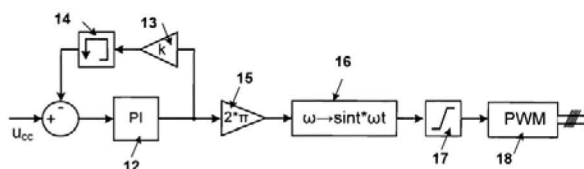


Fig. 3



Nr. Intr. B.P.I. (S. O.S.M.): 141/30.04.13

36

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MARCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2013 cu 395
Data depozit ..... 24.05.2013

Nr.intr.BPI: 141/30.04.13

## **METODĂ, ALGORITM ȘI STRUCTURĂ DE CONTROL PENTRU PORNIREA CU CONVERTOR ELECTRONIC DE PUTERE A GENERATOARELOR ASINCRONE AUTONOME**

### **DESCRIEREA INVENȚIEI**

Invenția se referă la o metodă, un algoritm și o structură de control pentru pornirea cu convertor electronic de putere a generatoarele asincrone autonome cu surse regenerabile de energie. Metoda de pornire, algoritmul aferent acesteia și structura de control implicată permit o pornire fără șocuri pentru generatorul asincron autonom. Principalul domeniu de aplicabilitate vizat este cel al microhidrocentralelor cu generator asincron funcționând în regim autonom.

Referitor la pornirea generatorului asincron autonom, se deosebesc două metode principale, legate de sistemul de control al acestuia, care poate fi numai cu elemente pasive de circuit sau cu convertoare electronice de putere. Metoda clasică presupune antrenarea generatorului asincron de către mașina primară peste turația sa de sincronism, având o baterie de condensatoare conectată la borne. Interacțiunea dintre magnetismul rezidual din rotorul mașinii electrice și curentul capacitiv din bateria de condensatoare duce la apariția unei tensiuni sinusoidale la bornele generatorului, a cărei valoare este limitată în primă instanță de saturația circuitului magnetic al mașinii electrice iar ulterior și de conectarea de consumatori. Acest proces poartă denumirea de autoexcitație.

Majoritatea structurilor de control moderne utilizează cel puțin un convertor electronic de putere pentru stabilizarea tensiunii și frecvenței generatorului asincron în cazul funcționării autonome. Ca și structură, convertorul este constituit dintr-o punte invertoare trifazată cu un control adecvat. Și în acest caz, pornirea se poate face clasic cu ajutorul bateriei de condensatoare, iar conectarea convertorului de tensiune, denumit fie regulator de impedanță (Jayanta K. Chatterjee, B. Venkatesa Perumal, Naveen Reddy Gopu, "Analysis of Operation of a Self-Excited Induction Generator With Generalized Impedance Controller". 2007), fie STATCOM – static var compensator (Bingh Singh, S. S. Murthy, S. Gupta, „Analysis and design



of STATCOM-based voltage regulator for self-excited induction generators”, 2004), fie inverter PWM- pulse width modulation (Enes Goncalves Mara, Jose Antenor Pomilio, „Induction-Generator-based System Providing Regulated Voltage with Constant Frequency”, 2000) să se facă numai după realizarea autoexcitației. Acest proces este de fapt unul de sincronizare ce impune ca tensiunea și frecvența generatorului, respectiv convertorului să fie egale, iar tensiunile acestora să fie în fază. Cealaltă variantă presupune realizarea pornirii cu convertorul conectat de la începutul procesului la bornele generatorului. Excitarea generatorului se poate face și fără bateria de condensatoare, indispensabilă în pornirea fără convertor de putere; astfel, cu ajutorul unei surse plasate pe partea de curent continuu a convertorului de tensiune se asigură curenții reactivi necesari inițierii procesului de pornire (Dawit Seyoum, „The dynamic analysis and control of a self-excited induction generator driven by a wind turbine”, 2003). O configurație similară este adoptată în (Hamid Shokrollah Timorabadi, „Voltage Source Inverter for Voltage and Frequency Control of a Stand-Alone Self-Excited Induction Generator”, 2006), cu precizarea că se impune și existența unui bloc de sincronizare pentru cazul în care, la momentul activării sursei de tensiune continuă generatorul ar avea o tensiune alternativă la ieșire.

Scopul propunerii de invenție este de a asigura o pornire lină a generatorului asincron autonom utilizând combinația dintre un convertor de tensiune și un circuit de balast, precum și o baterie de condensatoare trifazată adecvată. Factorul de noutate este constituit de metoda de control a convertorului de tensiune pentru pornirea generatorului, metodă care este strâns legată de controlul acestuia în regim staționar. Astfel, convertorul este controlat să lucreze la frecvență constantă, menținând astfel și frecvența generatorului constantă, indiferent de cum variază puterea și factorul de putere al sarcinilor alimentate de acesta. Singura situație în care nu funcționează la frecvența constantă este procesul de pornire, când își va adapta frecvența odată cu creșterea tensiunii la bornele generatorului, rezultând o pornire lină și fără șocuri. Mai precis se introduce metoda clasică a controlului scalar intitulată fie  $U/f=ct$ , fie  $V/Hz$ , specifică pornirii motoarelor asincrone alimentate prin convertor de frecvență, adaptată pentru pornirea generatorului asincron autonom.

Verificarea funcționalității metodei propuse ca invenție s-a făcut utilizând o instalație experimentală de laborator ce a inclus un generator asincron cu o putere de 3kW și un convertor de tensiune (de fapt un convertor de frecvență cu comandă specială) de 5.5kW.

Se prezintă în continuare exemplul de realizare și utilizare a invenției precum și unele ilustrative în legătură cu figurile 1...7 care reprezintă:

- Fig. 1, schema micro-rețelei incluzând generatorul asincron, bateria de condensatoare trifazată și sistemul convertor de tensiune – circuit de balast;
- Fig. 2, structura detaliată a sistemului convertor de tensiune – circuit de balast;
- Fig. 3, procedura de comandă a convertorului de tensiune;
- Fig. 4, ilustrativă la frecvența și tensiunea în circuitul de curent continuu al convertorului de tensiune la pornire;
- Fig. 5, ilustrativă la tensiunea de fază a generatorului la pornire;
- Fig. 6, ilustrativă la oscilograma tensiunii de fază a generatorului;
- Fig. 7, ilustrativă la curentul pe o fază a generatorului la pornire.

Fig. 1 prezintă schema bloc a unei micro-rețele autonome alimentată de un generator asincron trifazat **1** antrenat de o turbină hidraulică. Generatorul este excitat de o baterie de condensatoare de asemenea trifazată și alimentează sarcini variabile, sarcini care la momentul pornirii generatorului nu sunt conectate în circuit. Sistemul de control **2** atașat metodei de pornire propusă ca invenție controlează ansamblul convertor de tensiune (CT) - circuit de balast (CB) **3**. Mărimile măsurate sunt tensiunea continuă  $u_{cc}$  și cea de linie  $u_{ab}$ ; pe baza acestora sunt furnizate 7 semnale de comandă, 6 pentru CT și 1 pentru CB.

Structura hardware a sistemului de control atașat metodei de pornire propusă ca invenție este prezentată în Fig. 2. Are la bază un convertor de tensiune **4** care este în fapt un convertor de frecvență cu comandă modificată al cărui rol este să asigure pornirea generatorului, inițial în regim de motor, având ca sursă de alimentare o sursă de curent continuu externă **5**, protejată la tensiune inversă de dioda **6**. Odată procesul de pornire realizat, sursa este scoasă din circuit, iar ca și sursă pentru funcționarea ulterioară a CT va fi condensatorul de curent continuu **7**. Schema este completată de circuitul de balast care are în componență un tranzistor **8** de tip IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), protejat de o diodă **9** și care disipă energia pe un rezistor **10**. Circuitul de balast intră în funcțiune când s-au depășit valorile prestabilite fie pentru tensiunea  $u_{cc}$  fie pentru  $u_{ab}$  și va consuma puterea activă în exces din circuit. Conectarea convertorului de tensiune la micro-rețea se face prin intermediul unui filtru **11** de tip L.

Modalitatea de comandă a convertorului de tensiune, ce face obiectul propunerii de invenție, este redată în Fig. 3. Algoritmul de pornire are în structura sa un regulator de tip proporțional-integral (PI) **12**, care are ca intrare diferența dintre tensiunea măsurată pe partea de curent continuu a convertorului  $u_{cc}$  și valoarea aceleiași tensiuni măsurată la momentul anterior  $u_{cc}'$ , conform timpului de eșantionare prestabilit. Valoarea lui  $u_{cc}'$  este estimată printr-o buclă închisă pornind de la valoarea de ieșire a regulatorului, multiplicată cu un coeficient dat de blocul **13** și trecută printr-un bloc de memorie **14** care realizează întârzierea mărimii de intrare. Ieșirea regulatorului de tip PI este în fapt frecvența tensiunii de ieșire a convertorului de tensiune; ea este amplificată apoi cu valoarea de  $2\pi$  de către blocul **15**, rezultând astfel pulsația  $\omega$ . În continuare, blocul **16** face conversia pulsației în trei semnale sinusoidale simetrice și echilibrate, care prin intermediul unui bloc limitator **17** sunt aplicate la intrarea generatorului PWM **18**, responsabil de stabilirea celor 6 impulsuri de comandă pentru tranzistoarele convertorului de tensiune.

Funcționarea părții de control a convertorului de tensiune este strâns legată de cea a circuitului de balast, al cărui rol este de a menține constantă valoarea tensiunii la bornele generatorului, prin disiparea puterii active în exces din micro-rețea. Structura de comandă a circuitului de balast este redată în Fig. 4. Se impune măsurarea tensiunii de linie a micro-rețelei  $u_{ab}$  care este ulterior convertită în valori raportate cu ajutorul blocului demultiplicator **19**. Diferența dintre valoarea rezultată și cea de referință a tensiunii de linie, de asemenea în unități raportate, servește drept intrare regulatorului de tip proporțional-integrator **20** care va genera valoarea de referință a tensiunii de pe partea de curent continuu a convertorului. Diferența dintre această valoare și valoarea tensiunii de curent continuu măsurată servește drept intrare celui de-al doilea regulator de tip PI **21**, al cărui semnal de ieșire va fi aplicat generatorului PWM **21**. Acesta din urmă va furniza factorul de umplere al tranzistorului **9**; valoarea factorului de umplere va determina câtă putere activă va fi în final disipată pe rezistorul **10** din structura circuitului de balast.

Pentru demonstrarea funcționalității metodei de pornire aplicată generatorului asincron autonom sunt redată în continuare câteva rezultate obținute experimental în condiții de laborator.

Fig. 5 prezintă variația frecvenței și a tensiunii din circuitul de curent continuu al convertorului la pornire. Inițial, mașina asincronă este antrenată în regim de motor prin intermediul CT, alimentat de sursa de curent continuu. Reglând o tensiune continuă de circa 130V, corespunzătoare unei frecvențe de 11 Hz, mașina asincronă pornește inițial în regim de

motor. La momentul de timp  $t=2.5s$  este conectat motorul de antrenare, fapt ce duce la creșterea treptată a frecvenței și implicit, după ce mașina trece în regim de generator, a tensiunii continue. Frecvența atinge valoarea nominală de 50Hz după circa 30 de secunde.

Fig. 6 prezintă variația tensiunii de fază a generatorului la pornire. De precizat ar fi faptul că pe tot intervalul de timp pe care se face măsuratoarea generatorul funcționează în gol, puterea activă produsă de acesta circulând prin convertorul de tensiune și fiind consumată de circuitul de balast.

Fig. 7 prezintă oscilograma tensiunii de fază a generatorului imediat după definitivarea procesului de pornire. Se observă forma sinusoidală a acesteia, fapt ce dovedește eficiența filtrului de tip L în combinație cu bateria de condensatoare trifazată.

Fig. 8 prezintă variația curentului printr-o fază a generatorului la pornire. Se observă un mic vârf de curent la momentul  $t=2.5s$ , vârf dat de conectarea motorului de antrenare.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- Oferă o pornire lină pentru generatorul asincron autonom, permițând o creștere treptată a curenților prin acesta;
- Presupune achiziționarea a doar două mărimi, și anume o tensiune de linie și tensiunea de pe partea de curent continuu a convertorului de tensiune; necesită astfel o putere de calcul redusă, algoritmul de control nefiind complicat;
- Convertorul de tensiune fiind conectat de la începutul procesului de pornire, se elimină necesitatea unui bloc de sincronizare;
- Bateria de condensatoare fiind conectată de la începutul procesului de pornire, convertorul de tensiune este degrevat de asigurarea întregii puteri reactive necesară generatorului.

## REVEDICĂRI

1. Metodă de pornire cu convertor electronic de putere pentru generatoare asincrone autonome, **caracterizată prin aceea că**, în vederea realizării unei porniri lipsită de șocuri și eliminării necesității unui bloc de sincronizare, adaptează metoda clasică de tip V/Hz specifică motoarelor asincrone la necesitățile generatorului asincron.
2. Algoritm de control al pornirii cu convertor electronic, **conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că** alimentarea mașinii asincrone se face inițial în regim de motor, de către convertorul de tensiune cu ajutorul sursei externe de tensiune continuă **5**; după ce este cuplat ulterior motorul de antrenare și mașina este accelerată ea trece din regimul de motor în cel de generator. Algoritmul de control constă în următoarele: are ca semnal de intrare valoarea tensiunii continue de pe condensatorul **7**, diferența dintre aceasta și valoarea anterioară, calculată conform timpului de eșantionare reprezintă intrarea unui regulator de tip proporțional-integral **12**, a cărei ieșire reprezintă frecvența de referință, ce servește drept intrare blocului de calcul al pulsației **15**, pulsație care este ulterior transformată în trei semnale sinusoidale simetrice și echilibrate, care prin intermediul unui bloc limitator **17** sunt aplicate la intrarea generatorului PWM (Pulse Width Modulation) **18**, care în final generează cele 6 impulsuri de comandă pentru tranzistoarele convertorului de tensiune **4**.
3. Structura circuitului de control, **conform revendicărilor 1 și 2, caracterizată prin aceea că**, pe partea convertorului de tensiune conține următoarele: un regulator de tip proporțional-integral (PI) **12**, un bloc de memorie **14**, un bloc de calcul al pulsației **15**, un bloc de conversia a pulsației în trei semnale sinusoidale simetrice și echilibrate **16**, un bloc limitator **17**, un generator PWM **18**. Pe partea circuitului de balast, structura de control constă în: un bloc demultiplicator **19**, două regulatoare de tip proporțional-integral **20 și 21** și un generator PWM **22**.

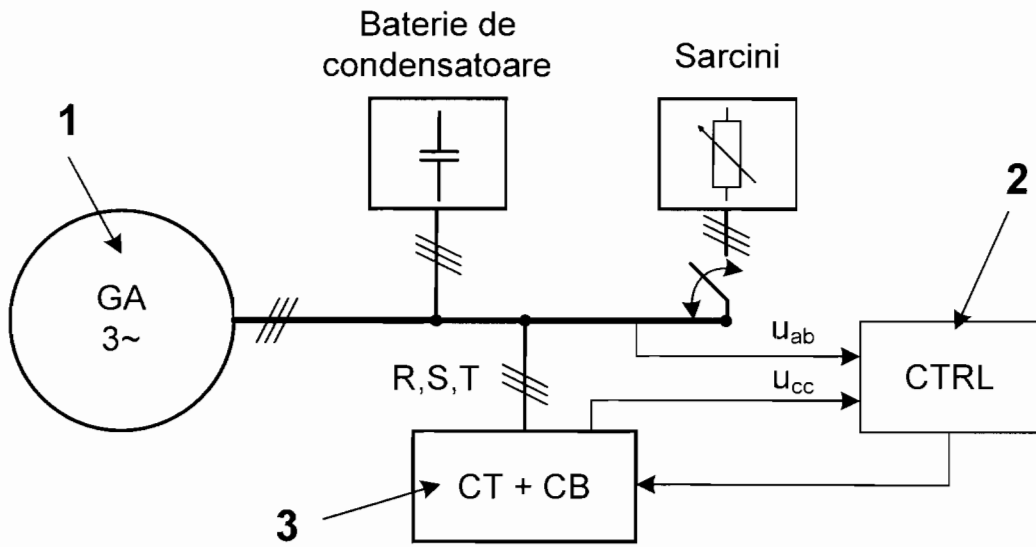


Fig. 1.

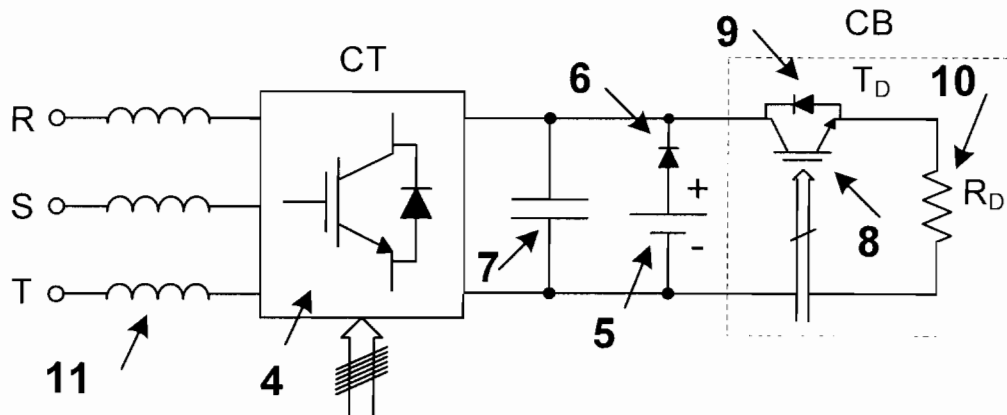


Fig. 2.

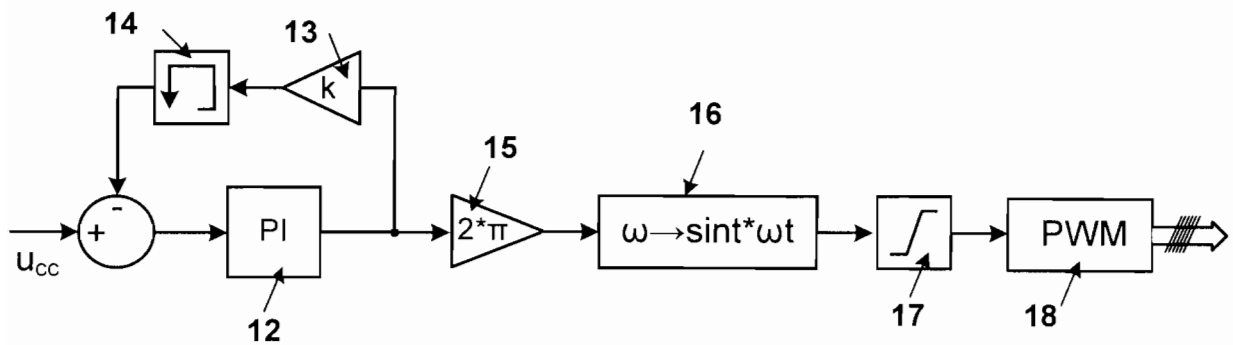


Fig. 3.



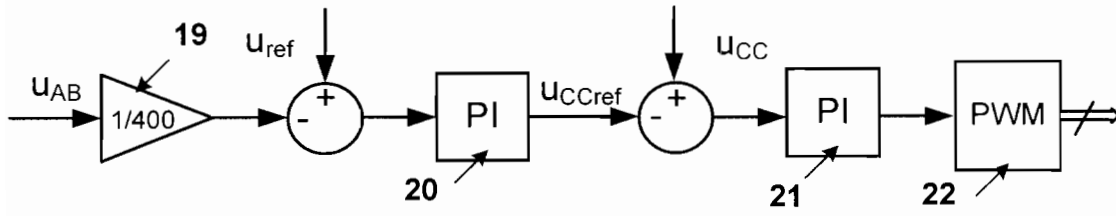


Fig. 4.

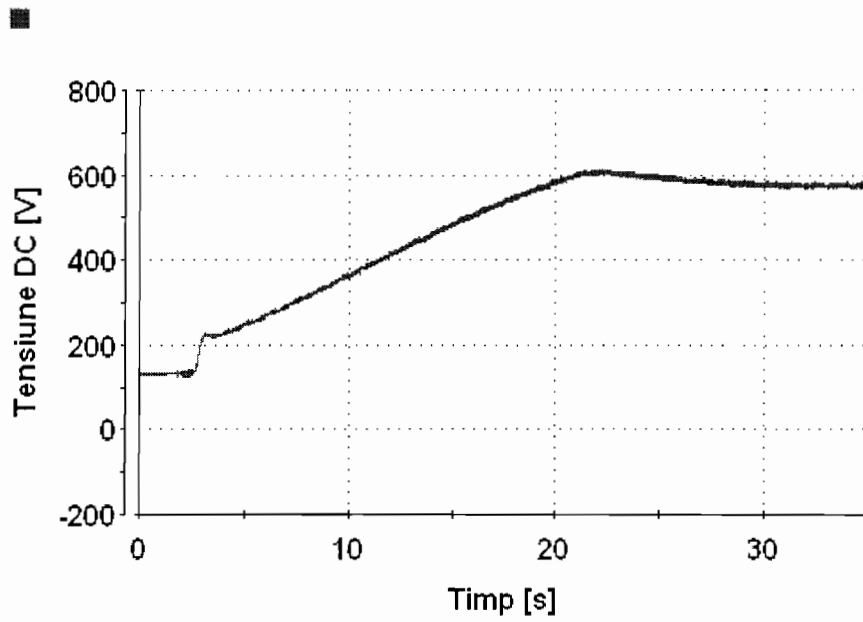
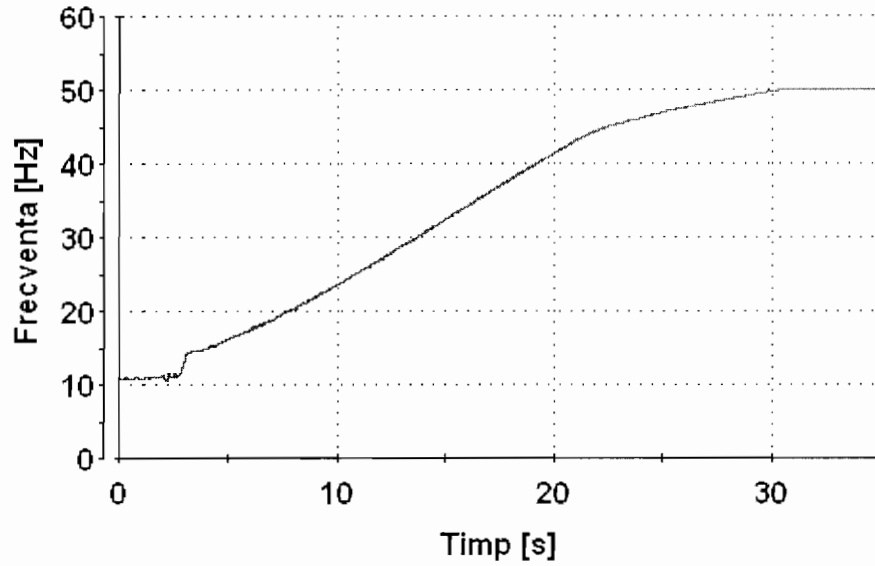


Fig. 5

*[Handwritten signature]*

M 5s -8.3000s Stop 1/ 1 93%

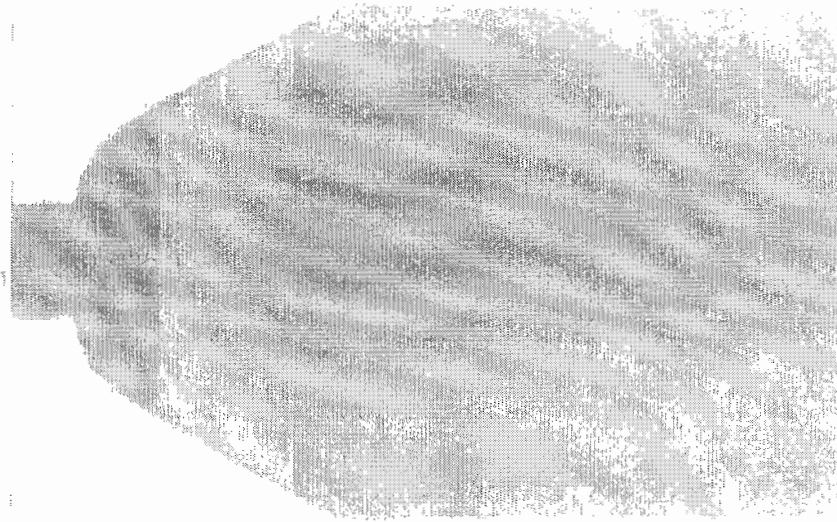


Fig. 6.

M 5ms -29.176s Stop 1/ 1 93%

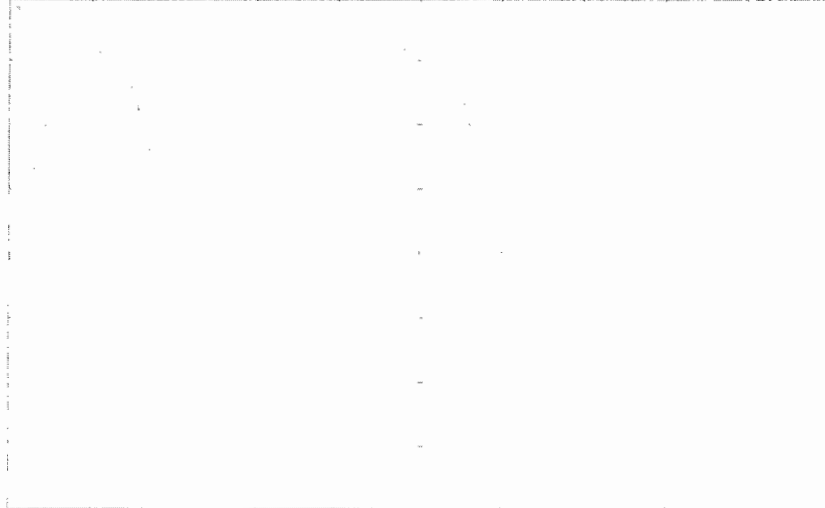


Fig. 7.

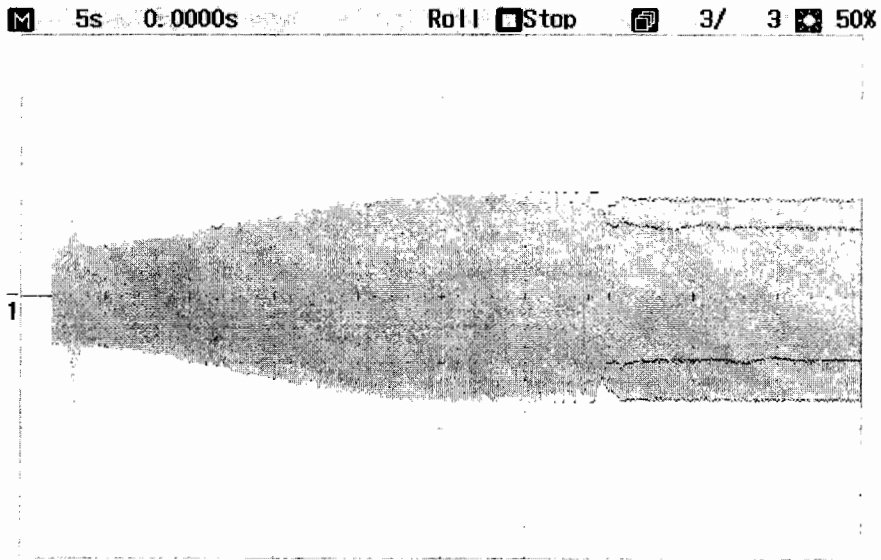


Fig. 8.