



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2008 00972

(22) Data de depozit: 10.12.2008

(41) Data publicării cererii:
30.05.2013 BOPI nr. 5/2013

(71) Solicitant:
• TOROK ARPAD, STR. TRANSILVANIEI
NR. 29, BL. B54, AP. 54, ORADEA, BH, RO

(72) Inventatori:
• TOROK ARPAD, STR. TRANSILVANIEI
NR. 29, BL. B54, AP. 54, ORADEA, BH, RO

(54) MOTOARE STIRLING

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un motor cu combustie externă, care funcționează după un ciclu Stirling și care are o serie de caracteristici constructive menite să le sporească eficiența, comparativ cu motoarele cunoscute. Motorul conform invenției se obține prin cuplarea cap la cap a două motoare Stirling simple, decalate între ele cu 180° mecanice, iar în locul cilindrilor de deplasare, se montează niște captatori, care au în componență niște pereți și niște capace, care închid între ele un spațiu prin care este vehiculat un fluid, un piston liber sau cu tijă de acționare care împarte spațiul interior în două camere separate, etanșe între ele, și cel puțin două supape, montate în pereți sau în capace, prin care fluidul din interior comunică cu exteriorul, forma spațiului interior putând fi a oricărui corp obținut prin translația, de-a lungul unei axe, a unei suprafețe închise (suprafață laterală a pistonului), alta decât un cerc, perpendiculară pe această axă, iar prin pereții săi, se efectuează un schimb termic cu mediul în care este montat, determinant pentru funcționarea ansamblului instalației.

Revendicări: 13
Figuri: 18

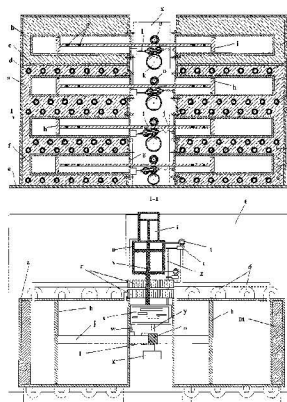


Fig. 8

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



24

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr.	2008/0038
Data depozit	10-12-2008

MOTOARE STIRLING

Invenția descrie câteva tipuri de motoare cu combustie externă, funcționând după un ciclu Stirling, care au o serie de caracteristici constructive menite să le sporească eficiența comparativ cu motoarele de acest tip din stadiul actual al tehnicii. Aceste noi caracteristici constructive au ca prim efect reducerea ecartului de temperatură dintre sursa rece și cea caldă la care motorul poate funcționa eficient, ceea ce îl face apt să valorifice surse de energie cu potențial termic redus, îndeosebi energia solară. Aceste motoare pot funcționa atât ca motoare termice cu combustie externă cât și ca pompe de căldură.

În stadiul actual al tehnicii, motoarele Stirling realizate, sau în fază de brevet, au o serie de caracteristici comune, care le reduc eficiența:

- forma blocului termic prin care se realizează compresia și destinderea izotermă este, de regulă, cilindrică, formă ușor de realizat tehnic, cu cea mai bună comportare la sarcinile mecanice, dar la care, pentru o secțiune dată, perimetrul este minim, ca atare, suprafața prin care se face schimbul termic (și prin care, de obicei, se captează energia exterioară) este, de asemenea, minimă

- atât în cazul acționării mecanice, din cauza legăturilor cinematice rigide, cât și în cazul motoarelor cu pistoane libere, cele 4 faze ale ciclului nu sunt perfect disincte, existând întotdeauna suprapuneri ale fazelor izocore și a celor izoterme, ceea ce duce la o deformare a curbei ce descrie desfășurarea procesului, îndepărtînd-o mai mult sau mai puțin de ciclul Stirling ideal (care are randamentul maxim posibil) și reducînd randamentul instalației

- datorită legăturilor mecanice și pneumatice dintre blocurile componente, suprafața prin care se preia căldură din sursa caldă se află în imediata vecinătate a suprafeței prin care se cedează căldură sursei reci, ceea ce duce la influențe reciproce, fiind necesare o serie de măsuri pentru contracararea lor

- reglarea sarcinii este destul de dificilă și de lentă, motoarele Stirling nefiind recomandate pentru anumite tipuri de aplicații

Invenția de față își propune să modifice aceste caracteristici constructive considerate defavorabile și să realizeze o serie de motoare Stirling cu eficiență sporită, care să poată fi utilizate pentru producerea de energie mecanică și electrică (precum și energie termică prin cogenerare) mai ales din surse neconvenționale de energie. În cererea de brevet PCT/RO/2008/000001 (RO 2008/00038) am prezentat un motor Stirling dublu-gama, care elimină o parte din aceste dezavantaje ale motorului Stirling de tip gama, prin cuplarea cap la cap a doua motoare gama, decalate cu 180 de grade. În această invenție, modificările constructive propuse în cererea menționată, precum și o serie de modificări suplimentare, sunt aplicate asupra tuturor tipurilor de motoare Stirling, pentru a ajunge la același rezultat: realizarea unor motoare cu randament sporit, capabile să valorifice în mod superior surse de energie cu potențial termic redus. Față de motoarele Stirling din stadiul actual al tehnicii, motoarele propuse au următoarele avantaje:

- suprafețele pentru captarea energiei sunt mult mari și sunt prelucrate ca să corespundă acestui scop
- captatorul cald și cel rece (avînd secțiune dreptunghiulară nu mai putem să le spunem cilindrii) sunt complet separați, puțin fiind dispuși în locuri diferite, la distanță mare unul de celălalt

- acționarea pistoanelor se face mecanic (sincronizarea ciclului făcîndu-se cu ajutorul unor came), sau electric (sincronizarea ciclului făcîndu-se prin legături de natură informațională), în așa fel încît să nu apară suprapuneri ale celor 4 faze ale ciclului

- captatorul de putere al motorului de tip gama este de asemenea separat și este acționat simultan de presiunea de destindere și de cea de compresie; prin montarea în paralel a mai multor captatori de putere se obține un număr corespunzător de trepte de putere, ceea ce face posibilă o reglare a sarcinii în limite foarte largi

- prin mărirea corespunzătoare a numărului de perechi de captatori de deplasare care acționează asupra aceluiași captator de putere, între duratele fazelor de destindere-compresie și a celor izocore se stabilește un raport întreg, care poate fi ales în mod optim

- în cazul acționării electrice, se asigură o etanșeitate perfectă a captatorilor

- recuperatoarele Stirling pot fi înlocuite cu schimbătoare de căldură la volum constant

- prin introducerea unor recuperatoare suplimentare, destinderea și/sau compresia pot fi adiabatice

[Signature]

- prin egalizarea presiunilor din captatorii de deplasare la sfârșitul fazei de destindere-comprimare, se elimină punctul mort, pornirea făcându-se autonom, fără mijloace suplimentare și se crează o nouă posibilitate de reglare a sarcinii, prin modificarea presiunii interioare; de asemenea, la modificarea temperaturilor exterioare, captatorul rece poate deveni cald și viceversa

- dacă captatorul de putere este un generator electric liniar reversibil, care devine motor electric prin simpla schimbare a sensului fluxului energetic, motorul Stirling poate deveni pompă de căldură fără nici o modificare suplimentară.

Descrierea motorului, a funcționării sale și a posibilităților de utilizare precum și o serie de aplicații suplimentare ale acestor motoare se vor face cu referire la următoarele figuri:

- fig.1: secțiune longitudinală și transversală prin captator
- fig.2: secțiune prin mecanismul cu came și profilarea unei came
- fig.3: motorul dublu-alfa
- fig.4: motorul dublu-beta
- fig.5: motorul dublu-gama
- fig.6: motor dublu-gama cu 3 perechi de captatori
- fig.7: ciclul motorului dublu-gama
- fig.8: secțiune longitudinală și transversală prin motorul dublu-gama
- fig.9: acționarea în paralel a captatorilor de deplasare
- fig.10: motor Stirling echipat cu schimbător de căldură-pieptene
- fig.11: motor Stirling echipat cu schimbător de căldură etajat
- fig.12: motor Stirling în inel
- fig.13: motor Stirling în rezervor stratificat
- fig.14: motor Stirling static
- fig.15: captator Stirling cu sistem interior de țevi
- fig.16: diagrama motorului cu agent frigorific
- fig.17: diagrama motorului Stirling-adiabatic
- fig.18: motor Stirling-adiabatic
- fig.19: captatorul geotermic

Descriere. Elementul constructiv prin care se realizează transferul termic este captatorul descris în cererea de brevet RO 2008/00038. Acesta este un rezervor al cărui volum interior este un corp geometric de translație (generat prin translația de-a lungul unei unui segment de curbă, nu neaparat o linie dreaptă, a unei suprafețe perpendiculare pe aceasta). Dacă axa de translație este un segment de dreaptă, prin translația unui cerc se generează cilindrul folosit de motorul Stirling clasic, iar prin translația unui dreptunghi cu colțuri rotunjite (pentru realizarea mai ușoară a unor garnituri de etanșare sigure) se generează un paralelipiped cu suprafețele laterale racordate, ca în figura 1. Suprafața de translație poate avea orice formă, în funcție de necesități (de exemplu, în cazul unor presiuni interioare mari, laturile mari ale dreptunghiului sunt concave, pentru o repartizare mai avantajoasă a presiunii, sau dacă din motive de optimizare a schimbului de căldură, captatorul este scufundat într-un schimbător cu presiune interioară mare, aceste laturi sunt convexe, din aceleași rațiuni). La fel, pot exista rațiuni pentru care axa de translație să nu fie un segment de dreaptă (într-un exemplu din această invenție, această axă este o curbă închisă). Captatorii paralelipipedici au marele avantaj că pentru un anumit volum interior au o suprafață de schimb termic mai mare decât în cazul celor cilindrice (avantaj cu atât mai accentuat cu cât raportul dintre lungimea și lățimea dreptunghiului de translație este mai mare), ca urmare viteza cu care este captată energia din mediu este mai mare. În fig.1, pereții laterali 1b sunt realizați dintr-un material cu căldura specifică volumică cât mai mare și cu conductivitatea termică cât mai bună (fontă, oțel, aluminiu, cupru), sunt prevăzuți cu aripioarele 1d pentru mărirea suprafeței de schimb termic, iar grosimea lor este cât mai redusă. De regulă, presiunile din interiorul captatorului sunt destul de mari, ceea ce ar putea duce la deformări ale acestor pereți, deformări ce pot reduce gradul de etanșare al garniturilor pistonului. De aceea, atunci când e posibil, se caută ca în exteriorul captatorului să se realizeze presiuni superioare, iar suprafața exterioară a pereților să fie ușor bombată pentru o bună repartizare a suprapresiunii. În unele aplicații, captatorul este prevăzut cu un perete dublu 1g, confecționat din același material, între cei doi pereți fiind introdus un agent termic lichid sub presiune, de obicei apă. Peretele inferior și cel superior 1a au suprafețele interioare rotunjite și precis prelucrate, astfel încât îmbinarile 1f să nu prezinte bavuri. Capacele 1g se realizează de regulă din aceleași materiale și sunt prevăzute cu supapele 1h. În interiorul

Alto

captatorului se găsește pistonul 1d, prevăzut cu garniturile 1e. El se poate mișca liber sau este cuplat cu un sistem mecanic prin intermediul tije 1h ce culisează printr-un orificiu prevăzut în unul din capace, etanșarea fiind asigurată prin montarea unor garnituri în peretele respectiv. Pentru unele aplicații este necesară montarea în pereții captatorului a unor injectoare sau duze de pulverizare 1k.

La motoarele Stirling clasice de tip beta și gama, gazul cald și cel rece ocupă de obicei capetele opuse ale aceluiași cilindru, fiind separate doar de pistonul de deplasare. Acest lucru creează restrîngerii în ceea ce privește amplasarea cilindrului și introduce unele perturbații în efectuarea schimburilor termice (aceste perturbații pot fi diminuate printr-o mărire costisitoare a volumului pistonului). Soluția propusă de această invenție pentru rezolvarea problemei este realizarea de captatori diferiți pentru cele două tipuri de gaz, avînd fiecare pistonul său și amplasați în medii diferite. Cel mai simplu, aceasta se realizează prin cuplarea în serie a două motoare de același tip, decalate între ele cu 180 grade mecanice. Aceasta transformă, de regulă, pistoanele active în pistoane cu dublu efect, cumulînd puterile celor două motoare și reducînd consumul de materiale necesar realizării motorului.

O altă diferență majoră față de motoarele Stirling din stadiul actual al tehnicii este modul în care sunt antrenate pistoanele. La motoarele Stirling clasice, realizate de regulă fără supape, datorită legăturilor mecanice și pneumatice, există întotdeauna suprapuneri ale fazelor izocore și a celor izoterme, ceea ce duce la o deformare a curbei ce descrie desfășurarea procesului, îndepărtînd-o mai mult sau mai puțin de ciclul Stirling ideal și reducînd randamentul instalației. De asemenea, între vitezele cu care se desfășoară aceste faze există un raport, întotdeauna același, impus de caracteristicile mecanice ale instalației, raport care nu este întotdeauna cel optim. Soluția propusă de invenție pentru rezolvarea problemei este introducerea unui sistem mecanic sau electric care să asigure fiecăruia dintre pistoane viteza cea mai potrivită pentru realizarea în cele mai bune condiții a rolului său funcțional, permițîndu-i oprirea completă atunci cînd e necesar. În anumite situații, diferite porțiuni ale instalației sunt separate unele de celelalte prin intermediul unor ventile sau supape, acționate mecanic sau electric. Există o multitudine de posibilități de rezolvare a acestei probleme, cîteva fiind prezentate în cele ce urmează.

Deplasarea controlată a pistoanelor instalației se poate face prin intermediul unui ax cu came, așa cum se prezintă în figura 2A. Pistoanele 2b ale captatorilor 2a sunt prevăzute la capetele tijelor 2e cu cîte o bară 2c, perpendiculară pe tijă. Capetele acestei tije culisează prin intermediul rulmenților 2d (sau prin simplă alunecare) în canalele profilate 2h, a căror lățime este cu puțin mai mare decît diametrul exterior al rulmenților, executate pe suprafața celor 2 came 2g, fixate rigid de axul 2f. În cazul unor forțe mici tija este înlocuită cu un bolț lateral, fiind suficientă o singură camă. În cazul unor elemente conduse (pistoane de deplasare sau o sarcină mecanică), rotirea cu o turație constantă a axului 2f imprimă acestui element o mișcare alternativă controlată prin modul de profilare a canalului conducător (de exemplu, un canal cu mai multe volute asigură un număr corespunzător de mișcări de dute-vino, iar porțiunile de canal situate pe cercuri concentrice cu axul, asigură staționarea temporară a elementului condus în poziția impusă de raza acestui cerc). În cazul elementului conducător (piston de putere sau biela unui motor de antrenare al pompei de căldură), forța cu care acesta apasă asupra pereților canalului se descompune într-o componentă radială ce se anulează și o componentă tangențială ce imprimă axului o mișcare de rotație în sensul acestei componente: în figura 2C, în poziția 1, forța se exercită pe o porțiune de canal concentrică cu axul, forța este radială și se anulează în întregime; în poziția 2, componenta tangențială se exercită asupra peretelui interior al canalului și impune o rotire în sensul acelor de ceasornic; în poziția 3, componenta tangențială se exercită asupra peretelui exterior al canalului și impune o rotire în același sens. Același piston poate fi alternativ atît element condus cît și element conducător: de exemplu, pistoanele de deplasare generează forțe ce se anihilează reciproc, iar la motoarele de tip alfa și beta, același piston în anumite faze este piston de putere, în alte faze este piston de deplasare.

Forma profilului canalului se obține trasînd pe o diagramă poziția dorită a capătului pistonului în funcție de unghiul de rotație al axului, ca în fig. 2B și transpunînd această mișcare în coordonate polare (fig. 2C).

În fig.3A sunt prezentate cele 4 faze ale ciclului motorului Stirling dublu-alfa, obținut prin înserierea a două motoare Stirling de tip alfa, și componența acestuia: captatorul 3a cu pistonul 3d, amplasat într-un mediu cald, captatorul rece 3b cu pistonul 3e amplasat într-un mediu rece, și din recuperatoarele 3c, în figura 3B este prezentată diagrama mișcării pistonului cald și profilul camei respective, iar în fig. 3C, mișcarea pistonului rece și profilul camei care îl comandă.

Figura 4A prezintă un motor dublu-beta. Datorită specificului acestui tip de motor, captatorul cald 4a și cel rece 4b sunt unul în continuarea celuilalt, pistonul de putere 4g este amplasat între pistoanele de deplasare 4d și 4e, tija lui culisînd în interiorul tijei pistonului cald, iar tija pistonului rece 4m este acționată printr-o camă amplasată la capătul opus (procedeu devenit posibil datorită faptului că nu mai există o legătură cinematică cu pistonul de putere), sau este cuplată rigid prin tijele 4k, (ce culisează prin pistonul 4g) și acționată simultan cu pistonul cald 4d, așa cum se vede în fig.4B.

Figura 5A prezintă un motor Stirling dublu-gama obținut prin înscrierea a două motoare gama decalate cu 180 grade mecanice. Motorul se compune din captatorul 5a cu pistonul 5d, amplasat într-un mediu cald, captatorul 5b cu pistonul 5e amplasat într-un mediu rece, recuperatoarele 5f și captatorul de putere 5c, care poate fi amplasat în oricare din cele două medii, sau într-un mediu cu o temperatură intermediară (ținînd cont de faptul că la unul din capetele sale are loc o destindere, urmată de o comprimare, iar la celălalt procesul este invers). În acest sens, cele două capete ale pistonului pot fi legate în circuit în 4 moduri diferite, fiecare din ele avînd avantaje și dezavantaje. Motorul din figură are ambele capete reci și ca atare este amplasat în mediul rece. Sunt prezentate cele 4 faze ale ciclului termodinamic, iar alăturat forma și poziția celor 3 came care dirijează mișcarea pistoanelor. În cazul în care pistonul motor este liber (captatorul de putere fiind un generator liniar de curent), instalația se completează cu supapele 5g, care sunt închise în timpul mișcării supapelor de deplasare și se deschid cînd acestea au ajuns la capătul cursei Comanda acestor supape se poate face de asemenea cu o camă (amplasată pe același ax cu cele 3 came ale pistoanelor), avînd diagrama de mișcare și forma profilului ce rezultă, reprezentate în fig. 5B.

Dintre cele 3 tipuri de motoare, motorul Stirling dublu-gama este cel mai flexibil și oferă cele mai multe posibilități de utilizare. De exemplu, schema prezentată în figura 5 poate fi completată cu încă o pereche de captatoare de deplasare, defazate cu 180 de grade față de prima pereche, care să lucreze în opoziție cu captatoarele din figură, efectuînd faza de destindere-comprimare în timpul în care în prima pereche de captatoare se desfășoară schimbul termic izocor, asigurînd astfel o mișcare fără staționări a pistonului de putere. Schema ce ar rezulta ar duce la montarea unor conducte și a unor supape suplimentare care să permită ca aceeași pereche de captatoare să acționeze alternativ asupra celor două capete ale pistonului motor. De aceea am ales schema prezentată în figura 6A și am suplimentat instalația cu două perechi de captatoare. În această instalație, defazajul dintre perechile de captatoare este de 120 de grade, turația pistoanelor de deplasare este de două ori mai mică decît turația pistonului de putere, iar pistonul motor efectuează în timpul unui ciclu, 3 mișcări alternative. Supapele 6g, 6i și 6k, comandate de 3 came decalate cu 120 grade, separă cele trei perechi de captatoare de captatorul de putere în timpul efectuării mișcării de deplasare și a schimbului termic izocor și sunt deschise atunci cînd în perechea respectivă de captatoare se efectuează faza de destindere-comprimare. Puterea unei astfel de instalații este de 6 ori mai mare decît a unui motor gama cu un singur captator de aceleași dimensiuni și cu aceeași viteză a pistonului de deplasare, iar schimbul termic izocor se poate efectua într-o durată de timp optimă, în așa fel încît să nu ducă la diferențe mari de temperatură între captatoare și mediul în care sunt amplasate. Puterea instalației poate fi mărită oricît de mult, fără a mări această durată de timp, prin sporirea numărului de perechi de captatori de deplasare (pentru simplitatea legăturilor pneumatice este de preferat un număr total impar) ce lucrează cu același captator motor și implicit, a turației acestuia. În fig. 6B este prezentată diagrama mișcării pistonului motor și a profilului camei de acționare, iar în figura 6C, mișcarea pistonului cald și a celui rece al unei perechi de captatori, precum și profilul camelor respective, pentru instalația cu 3 perechi de pistoane. Celelalte două perechi de pistoane de deplasare descriu mișcări similare și sunt conduse de came identice, decalate cu 120, respectiv cu 240 de grade.

Sistemul realizat este extrem de flexibil, permițînd mărirea puterii dezvoltate atît prin mărirea forței exercitate de pistoane cît și prin mărirea turației pistonului de putere și permite o gamă largă de procedee de reglare. În fiecare din perechile de captatoare, procesele termodinamice se desfășoară după un ciclu Stirling foarte apropiat de cel ideal (curba 1-2-3-4) din diagrama P-V (fig.7). La o anumită diferență de temperatură între cele două surse, punctul optim de funcționare este cel în care presiunea la sfîrșitul ciclului de destindere-comprimare este aceeași în întreaga instalație (presiunea în punctele 2 și 3 ale ciclului este aceeași). Acest punct (punctul zero) asigură cursa maximă a pistonului în așa fel încît forța dezvoltată să fie în permanență pozitivă, să nu existe faze ale ciclului în care procesul să se desfășoare inercial. Acest punct de funcționare asigură o pornire mai ușoară și mai rapidă, precum și o mai mare stabilitate la variațiile de sarcină. În plus, asigură o reglare promptă și eficientă a puterii în funcție de sarcina motorului. Procedeele de reglare utilizate urmăresc menținerea sistemului în apropierea acestui

punct de funcționare (sau dacă din anumite considerente se alege alt punct de funcționare, menținerea constantă a raportului dintre presiunea captatorului cald și a celui rece la sfârșitul perioadei de destindere-comprimare). Menținerea unei presiuni identice în cele două captatoare se face prin egalizarea permanentă a celor două presiuni, așa cum a fost descris în cererea de brevet RO 2008/00038. În instalația din figura 6 a fost ales procedeul practicării unei creștături 6n în peretele captatorului de putere, în așa fel încât atunci când pistonul ajunge la capătul cursei, să se stabilească o comunicare între cele două fețe ale pistonului, prin care presiunile să se egalizeze. La variații mici de temperatură ale sursei calde sau ale sarcinii, sistemul se autoreglează și se îndreaptă spre punctul cel mai stabil de funcționare. Atunci când se dorește modificarea accentuată a puterii, un compresor 6p (sau un ventil) mărește (sau micșorează) presiunea din punctul zero prin introducerea (evacuarea) de agent suplimentar din rezervorul 6q, simultan cu modificarea corespunzătoare a temperaturii sursei calde, sau a celei reci (procesul desfășurându-se după curba 5-6-7-8 din diagrama 7B).

Altă posibilitate de reglare o oferă legarea în paralel cu primul captator a unuia sau mai multor captatori cu același volum, sau cu volume în creștere progresivă, ceea ce oferă posibilitatea măririi puterii fără modificarea turației pistoanelor. Introducerea sau scoaterea din funcțiune a unui captator se face prin simpla deschidere a supapelor 6g corespunzătoare. Captatorul din fig. 6 este prevăzut cu 3 captatori de putere cu același volum, ceea ce asigură 3 trepte de putere. Cu 3 captatoare având volumele V, 2V și 4V se pot asigura 7 trepte de putere. Procesul este descris de curba 1-9-11-12 din fig. 7B. Puterea acestui motor poate fi reglată și în trepte mai fine, dacă unul din captatorii de putere are unul din capace mobil. În fig. 7D captatorul 7a are capacul 7b realizat întocmai ca un piston și deplasabil cu ajutorul tijei telescopice 7h, acționată de un sistem hidraulic. Supapa 7c este montată în acest capac și este legată la captatorul de deplasare prin intermediul unui furtun flexibil 7e. Pe tija 7f a pistonului 7d este montat un magnet permanent ce face parte din motorul liniar 7g care valorifică puterea dezvoltată de acest piston.

Puterea instalației poate fi modificată și prin introducerea unui decalaj între mișcarea pistoanelor de deplasare. După terminarea unei faze motoare, pistonul cald rămâne nemișcat, pistonul rece efectuând o comprimare a gazului din captator, apoi cele două pistoane se mișcă simultan cu aceeași viteză pînă ce pistonul rece ajunge la capătul captatorului, producându-se încălzirea gazului rece și parțial răcirea aerului cald. Deplasarea în continuare a pistonului cald se face cu efectuare de lucru mecanic, cu atît mai mare cu cît defazajul dintre cele două pistoane este mai mare. Procesul este identic cu cel din motoarele Stirling de tip alfa și se desfășoară după curba 8-9-6-7 din diagrama 7A. Acest procedeu poate fi folosit și pentru reglarea puterii, atunci când pistoanele sunt acționate de motoare separate (de preferat motoare electrice) și putem alege momentul pornirii și viteza dorită. În cazul acționării cu came, procedeul poate fi folosit pentru o utilizare mai judicioasă a materialelor utilizate, și a sursei de energie, pentru aplicarea lui fiind suficientă modificarea camelor de acționare a pistoanelor de deplasare așa cum este prezentat în fig. 6D. Introducerea unei comprimări de tip alfa produce și o reducere a pulsațiilor motorului: în prima jumătate a unei semicurse a pistonului motor (30 grade mecanice), cînd diferența de presiune dintre fețele sale este mare, în a doua pereche de captatori are loc o comprimare, iar în a treia pereche o deplasare simplă, pe cînd în a doua jumătate a semicursei, cînd diferența de presiune dintre fețele sale este mică, în a doua pereche de captatori are loc o deplasare simplă, iar în a treia pereche o destindere.

Un alt procedeu de reglare este descris în figura 8. Motorul din figură este compus din 3 perechi de captatori de deplasare. Captatorii sunt realizați conform detaliilor din figura 1, unul din capace fiind prevăzut cu o placă 8g prin intermediul căreia este fixată de peretele exterior al celor 2 rezervoare 7a, 7m, după ce corpul captatorului a fost introdus în rezervor. Cele două rezervoare sunt umplute cu un agent termic și sunt parcurse de sistemul de țevi 7d prin care captatoarelor calde din schimbătorul de căldură 7a li se transferă căldură de la sursa caldă, iar captatoarele reci din schimbătorul 7m cedează căldură sursei reci. Deasupra fiecăruia dintre rezervoare, separate prin peretele metalic 7c, se găsește un rezervor suplimentar 7b, respectiv 7n, și un sistem de conducte prin care rezervoarele suprapuse pot comunica. În aceste rezervoare suplimentare se montează o pereche suplimentară de captatori 7i. Cele două sisteme de schimbătoare de căldură se montează față în față pe un postament 7e, astfel încît axele captatorilor reci și ai celor calzi să se suprapună, iar pistoanele lor să poată fi acționată printr-o tijă comună. Cei doi captatori ai unei perechi sunt legați între ei prin intermediul unor recuperatoare 8r, iar prin supapele de separare 8s, pentru un interval de 120 grade mecanice, cu cele 2 țevi colectoare 8t, legate la captatorul motor 8u. Sistemul este completat de un set de rezistențe de încălzire 8q, scufundate în rezervorul cald, care au rolul de a furniza căldură suplimentară la pornire și în intervalele de timp în care motorul

at

consumă mai mult decât primește prin sistemul de țevi. De exemplu, în cazul motoarelor solare, căldura transmisă prin aceste rezistențe permite funcționarea la putere nominală în perioadele neînsorite.

Acționarea cu came descrisă anterior are avantajul că în timpul staționării pistoanelor presiunea exercitată de acestea este anulată, forța dezvoltată fiind perpendiculară pe profilul camei. Dar lățimea spațiului necesar amplasării axului cu came depășește dublul lungimii unui piston. Dacă aceste came ar acționa prin intermediul unei biele, s-ar obține un câștig de spațiu, dar cinematica mișcării ar fi mai complexă. În cererea de brevet RO 2008/00038 sunt descrise câteva procedee simple pentru reducerea spațiului necesar și pentru transformarea mișcării alternative a pistoanelor în mișcare de rotație. Motorul din figura 8 folosește procedeul cu roți aderente: tija comună a două pistoane, executată cu secțiune dreptunghiulară (cu muchiile rotunjite, pentru realizarea ușoară a garniturilor de trecere prin capac), este apăsată din sensuri opuse de două roți: una de ghidare 8o, care se rotește liber, și una motoare. De asemenea, pe părțile laterale ale tijeii metalice se introduc zone în formă de benzi, cu rezistență electrică mărită 8p, care permit "citirea" poziției pistonului. Roata motoare este amplasată pe un cărucior basculant 8l și este antrenată direct, sau prin intermediul unei roți de același diametru, de către roata principală 8k, a cărei rotire este comandată de sistemul mecanic 8x. Mișcarea se transmite tijeii prin intermediul unui material elastic, aderent, cu care este bandajată periferia acestor roți. Sistemul mecanic 8x este un sistem de elemente cinematice puse în mișcare de pistonul 8v al captatorului motor 8u (pentru pornire și pentru suprasarcini se poate atașa și un motor electric). Printr-un sistem cinematic, care poate să conțină și camele descrise anterior (de dimensiuni mult mai mici), sunt puse în mișcare roțile principale 8k ale celor 3 perechi de captatori de deplasare (prin intermediul axelor 8v), sunt acționate prin tijeile 8z cele 3 perechi de supape 8s care separă perechea activă de captatori de restul sistemului, iar prin intermediul axelor 8w sunt comutate cărucioarele basculante 8l, care introduc în lanțul cinematic al captatorului respectiv, roata inversoare de sens.

Captatorul de putere suplimentar 8i se montează în prelungirea captatorului 8u, tijeile celor două pistoane fiind în prelungire, iar supapele, roata principală și căruciorul basculant al captatorilor de deplasare suplimentari sunt acționate de sistemul mecanic 8x, în funcție de variațiile sarcinii motorului. În regim nominal de funcționare, captatoarele suplimentare nu sunt acționate, iar supapele de separare leagă cele două camere ale captatorului de putere suplimentar, acesta transferind agentul dintr-o cameră în cealaltă, deci funcționând în gol. La scăderi ale sarcinii motoare, sau în cazul unor frînări, se deschid supapele și este comutat căruciorul basculant în sensul comprimării agentului din captatorul cald și al destinderii agentului din captatorul rece, captatorul de putere intrând în regim de pompă de căldură și folosind energia inerțială pentru încălzirea suplimentară a rezervorului cald suplimentar. Fiind independentă de sistemul de alimentare, temperatura acestui rezervor poate fi ridicată peste temperatura din rezervorul principal, iar căldura conținută poate fi transmisă acestuia prin peretele metalic despărțitor, sau printr-un sistem de pompare. În cazul unei frînări puternice, și captatorul principal poate trece în regim de pompă de căldură, prin introducerea unui defazaj de 180 de grade la bascularea cărucioarelor de comutare (pistoanele de deplasare staționează un semiciclu, pe perioada cursei active a pistonului motor). În regim de suprasarcină, căruciorul basculant este comutat în sensul destinderii agentului din captatorul cald, iar captatorul suplimentar intră în regim de motor, furnizând energie suplimentară pistonului principal. De asemenea, dacă temperatura agentului din rezervorul suplimentar este mare, agentul termic poate fi pompat între pereții dubli ai captatorilor principali, măbind puterea dezvoltată de motor. Mărirea captatorilor suplimentari se dimensionează în funcție de variațiile posibile de sarcină, ținând cont de posibilitatea de a folosi temporar, oricare din captatorii principali ca pompe de căldură.

Dacă sarcina motorului are fluctuații dese, dar de mică amplitudine, reglarea puterii motorului se face prin modificarea temperaturii agentului dintre pereții dubli ai captatoarelor calde (dacă se adugă sistemului o instalație frigorifică, se poate acționa și asupra captatoarelor reci). În acest caz, temperatura din rezervoare este menținută la o temperatură nominală, iar agentul este supraîncălzit într-un rezervor suplimentar. Un regulator de turație acționează asupra unui amestecător care prin amestecarea agentului supraîncălzit cu agent rece, furnizează unei pompe ce alimentează spațiul dintre pereții dubli ai captatoarelor cu agent termic la cea mai potrivită temperatură.

Reglarea puterii motoarelor de tip alfa se poate face prin variația defazajului nominal dintre mișcările celor două pistoane. Prin introducerea unor dispozitive separate pentru mișcarea pistoanelor calde și a celor reci, durata și amplitudinea compresiei și a destinderii pot fi modificate crescător, sau descrescător, în funcție de necesitățile de putere ale sistemului, simultan cu mărirea timpului de staționare a celui alt

piston. Dacă dispozitivele de acționare au o turație fixă, defazajul introdus modifică turația motorului Stirling în sens descrescător sau crescător, dar dacă turația acestora este reglabilă, turația motorului Stirling poate fi păstrată constantă. Captatoarele de deplasare ale motoarelor duble de tip beta și gama pot fi considerate motoare de tip alfa cu defazaj nul. Puterea lor poate fi mărită sau micșorată, dacă pe lângă componenta nominală se introduce o componentă alfa pozitivă sau negativă (aceasta din urmă introduce o pompă de căldură care transformă lucrul mecanic de frînare în căldură cedată agentului de lucru). Procedul se bazează tot pe acționarea separată a pistoanelor calde și a celor reci. Prin introducerea unei perioade de staționare a pistonului cald după terminarea unei faze motoare, pistonul rece continuă comprimarea gazului din captatorul rece, cedînd în continuare căldură sursei reci, apoi cele două pistoane se mișcă simultan cu aceeași viteză pînă ce pistonul rece ajunge la capătul captatorului, producîndu-se încălzirea gazului rece și parțial răcirea aerului cald, după care deplasarea în continuare a pistonului cald se face prin destindere, cu efectuare de lucru mecanic, cu absorbție de căldură din sursa caldă, în timp ce gazul existent în captator la începutul destinderii este împins în captatorul rece, se răcește în recuperator și se comprimă în captatorul rece, cedînd căldură sursei reci. Dacă perioada de staționare inițială este impusă pistonului rece, procesele termice se desfășoară ca într-o pompă de căldură de tip alfa, sistemul fiind frînat prin introducerea unui lucru mecanic pentru comprimarea agentului din captatorul cald și pentru transferul unei cantități de căldură de la sursa rece spre sursa caldă.

Acționarea separată a pistoanelor calde și reci presupune posibilitatea acționării separate a tijelor pe toată lungimea lor, ceea ce ar duce la necesitatea unui spațiu de mișcare mare. Soluția aleasă pentru rezolvarea problemei este divizarea în două a captatoarelor de deplasare și repartizarea lor în cîte două rezervoare calde și două rezervoare reci, amplasate față în față, cu suprapunerea axelor de translație, și legarea în paralel a celor două jumătăți ale unui captator, așa cum este prezentat în fig.9. În această configurație, pistoanele 9h ale celor două jumătăți ale unui captator 9f, 9f' pot fi acționate de o tijă comună 9j, prin intermediul roții principale 9k și a căruciorului basculant 9l.

Altă posibilitate de acționare a pistoanelor prin care se cîștigă spațiu și manevrabilitate este acționarea cu motoare liniare. În numeroase brevete, pistoanele sunt libere, iar mișcarea alternativă a pistonului de putere este preluată de o bobină electrică sau de un magnet permanent și este convertită în curent electric, procedeu care se pretează foarte bine și acestui tip de motor. Totodată, forma constructivă deosebită a captatoarelor paralelipipedice favorizează realizarea unor motoare liniare cu performanțe superioare, obținute prin executarea de înfășurări electrice de curent continuu, de curent alternativ monofazat sau polifazat, sau a unor înfășurări speciale (motoare cu cîmp pulsatoriu, motoare cu interferență, motoare cu modulație de cîmp) chiar în pereții laterali ai captatorilor și în pereții pistoanelor, așa cum a fost detailat în cererea de brevet RO 2008/00038. Totodată, în cererea de brevet RO 2008/00682 a fost expus un tip de captator al cărui piston este acționat prin impulsuri electrice, sistem care se pretează foarte bine acționării pistoanelor de deplasare. Acționarea prin motoare liniare permite alegerea liberă a locului de amplasare a rezervoarelor și a celorlalte elemente ale sistemului, renunțarea la comutarea sensului prin cărucioare basculante, renunțarea la tijele de acționare a supapelor. Toate comenzile și reglajele pot fi dirijate de la un procesor electronic menit să optimizeze funcționarea sistemului. Totodată apar posibilități noi de reglare: reglarea vitezelor de deplasare a pistoanelor prin variația curentului de excitație a motoarelor liniare, corelarea mai judicioasă a timpilor de staționare a pistoanelor, utilizarea puterii de frînare a pistoanelor de deplasare și a captatorului de putere pentru încălzirea agentului cu ajutorul unor termorezistențe, etc.

O altă problemă cu care se confruntă realizatorii motoarelor Stirling performante este modul în care se realizează schimb termic izocor. Pentru un schimb termic cît mai bun, timpul afectat acestuia ar trebui să fie cît mai mare, Aceasta duce însă la o scădere a turației motorului. De aceea, întotdeauna se face un compromis cît mai favorabil, sau se apelează la diferite procedee de corecție. În figura 10 este prezentat un sistem compus dintr-un captator cald 10a echipat cu motor liniar, situat într-un mediu cald, un captator rece 10b, de asemenea cu motor liniar, situat într-un mediu rece, un captator motor 10c, echipat cu generator liniar, situat în mediul rece, două recuperatoare de căldură 10d, dimensionate pentru volumul captatorului de putere, și un schimbător de căldură secvențial, la volum constant, în contracurent, așa cum a fost descris în cererea de brevet RO2008/00038, sau cu un recuperator Stirling clasic. Căldura acumulată în recuperatoarele de căldură 10d, este cedată în cursul fazelor de deplasare ale pistoanelor de deplasare, unui circuit de încălzire, nereprezentat în scemă, sau agentului principal, prin ramificații ale traseelor principale, dimensionate corespunzător. Întrucît la viteze mai mari ale agentului în fazele de

deplasare, schimbul termic este incomplet, ceea ce afectează puterea debitată de motor, alimentarea ambelor captatoare se face direct din rezervoarele 10e și 10f, situate unul în mediul rece, celălalt în mediul cald, care sunt răcite, respectiv încălzite, în permanență. Circulația gazelor din întreg sistemul este controlată și comandată de un sistem de supape, vane cu acționare electrică, sau ca în figură, de un sistem de vane cu 3 și cu 4 căi (10g, respectiv 10h). Ciclurile motoare și cele de deplasare sunt clar separate. În faza 1, pistoanele de deplasare stau pe loc, ventilul 10g este spre captatorul motor, gazul cald din captatorul 10a, apasă pe pistonul captatorului motor, și se destinde izoterm în acest captator, cedând căldură primului recuperator. Gazului rece de pe cealaltă față a pistonului motor, ventilul cu 3 căi îi deschide acces spre captatorul rece, și se destinde în acesta, trecând prin recuperatorul al doilea, răcit în faza precedentă. În faza a doua, pistonul motor este separat de circuitul principal (el putând intra în circuitul altor perechi de captatoare de deplasare), și se deschid vanele cu 4 căi care asigură următorul traseu: prin deplasarea pistonului 10a, se admite agent din rezervorul cald, iar aerul de pe cealaltă față a pistonului este dirijat spre schimbătorul de căldură, unde intră în primul compartiment al acestuia și începe să cedeze căldură ultimului compartiment din circuitul în contracurent. Prin deplasarea simultană a pistoanelor din schimbătorul secvențial, agentul din ultimul compartiment, răcit în ciclurile precedente, trece în rezervorul rece, unde își va definitiva procesul de răcire. Simultan, volumul corespunzător de agent pătrunde în captatorul rece, o dată cu deplasarea pistonului acestuia, în timp ce gazul existent în captator este dirijat în primul compartiment al schimbătorului de căldură, de pe circuitul de încălzire. Agentul din ultimul compartiment de pe acest circuit, încălzit în ciclurile precedente, este dirijat de vana cu 4 căi spre rezervorul cald, unde se încălzește pînă la temperatura de lucru. Întreg acest traseu este echilibrat din punct de vedere al presiunilor de lucru, fiind necesară numai învingerea frecărilor. Fazele 3 și 4 se desfășoară asemănător acestora, fiind descrise în figura 10, sensul de circulație al agentului fiind în sens invers.

În schimbătorul de căldură secvențial din fig.10, schimbul termic se realizează direct, prin pereții metalici subțiri ce separă cele două fluxuri de gaz. În figura 11 este prezentat un schimbător mai ușor de realizat, la care schimbul termic se realizează cu ajutorul unui agent intermediar. Componenta motorului este cea din fig.8, dar recuperatoarele se înlocuiesc cu schimbătorul de căldură din fig.11. Elementele componente principale ale acestui schimbător de căldură sunt captatori identici, atît ca formă cît și ca volum, cu captatorii de deplasare ai motorului Stirling. Aceștia sunt dispuși în unul, sau (pentru o acționare mai compactă) două rezervoare 11a cu agent termic (de preferat apă sub presiune). Captatorii schimbătorului se împart în grupe de cîte doi, (la fel ca cei de deplasare din fig.8) dispuși față în față, astfel încît pistoanele lor 11d să poată fi acționate de aceeași tijă, cu ajutorul roții principale 11k și al sistemului de basculare 11l, comandate de mecanismul 11x. Diferența de temperatură dintre sursa rece și cea caldă se împarte într-un număr suficient de trepte, care sunt concretizate prin împărțirea rezervoarelor în numărul respectiv de compartimente. În fiecare compartiment se găsesc cel puțin două captatoare: unul cald 11b, la baza compartimentului, și unul rece 11c, deasupra acestuia. Față de schema din fig.8, instalația se completează cu două rezervoare: unul cald 11s, situat în sursa caldă (sau încălzit de la aceasta prin intermediul aceluiași sistem de țevi care încălzesc și rezervoarele în care sunt montați captatorii de deplasare) și unul rece 11r, situat în sursa rece. În captatorul de deplasare 11p (în figură nu a mai fost reprezentat rezervorul în care este montat, nici ceilalți captatori), în timpul fazelor de schimb izocor pătrunde agent termic direct din rezervorul cald, la temperatura și la presiunea nominale, iar după destinderea din captatorul de putere, acesta este refulat în prima treaptă (primul captator 11b al schimbătorului) din schimbătorul de căldură, unde prin intermediul agentului termic intermediar schimbă căldura cu ultimul captator rece 11c, atît în timpul deplasării, cît și în timpul fazelor de destindere-compresie. Pentru aceasta, sistemul de comandă 11x, prin intermediul tijelor 11f, 11e deschide supapele 11g corespunzătoare. În următoarea fază de schimb izocor, acest agent este refulat spre al doilea captator, apoi trece succesiv prin celelalte trepte, ajungînd în final, în rezervorul rece. Agentul termic din rezervorul rece, pornind de la temperatura și presiunea nominale, parcurge un drum similar, de la rezervor, prin captatorul de deplasare rece și prin schimbătorul de căldură, unde preia succesiv căldura captatorilor calzi, pînă la rezervorul cald. Supapele 11g se deschid alternativ pentru a asigura circulația descrisă: în fig.11 săgețile desenate cu linie continuă descriu această circulație într-o semiperioadă, iar cele desenate cu linie întreruptă în semiperioada următoare.

Dacă schimbul termic se desfășoară suficient de rapid astfel încît să nu apară diferențe mari sau inversări de temperatură, pereții despărțitori dintre compartimente pot lipsi, iar în rezervoarele

schimbătorului se va crea o stratificare de temperaturi. Un schimb termic mai rapid se poate realiza prin separarea captatorilor calzi într-unul din rezervoare, iar a celor reci în celălalt și introducând cu ajutorul unei pompe o circulație forțată: în rezervorul cu captatori calzi de jos în sus, apoi trecerea în partea superioară a rezervorului rece, unde circulă de sus în jos, intrând din nou la baza rezervorului cald. Pe acest traseu se pot introduce, pentru corectarea temperaturii din captatori, țevi cu agent termic rece sau cald, în funcție de necesități. Dacă motorul Stirling are mai multe perechi de captatori (n), în fiecare compartiment (sau strat termic) al schimbătorului se vor amplasa n captatori de schimb, de același volum V , sau un singur captator cu volumul $n \cdot V$, al cărui piston se va deplasa secvențial, sau continuu, astfel încât într-o semiperioadă să deplaseze un volum V de agent.

În figura 12 este prezentat un motor Stirling la care captatorii de deplasare au pereții laterali, unul în prelungirea celuilalt, și nu au capace, separarea compartimentelor fiind făcută chiar de pistoane. Pentru aceasta, pereții laterali sunt astfel montați încât să constituie un tub închis. În figură, acest tub este perfect circular, configurație la care este ușor de asigurat etanșitatea compartimentelor dintre pistoane, dar volumul ocupat de acesta este mare. Se pot realiza și configurații dreptunghice cu colțurile rotunjite, care necesită mai puțin spațiu, dar la trecerea pistoanelor de la o deplasare liniară la una curbilinie, etanșarea este mai dificil de realizat. La motorul din figură, pereții laterali 12b sunt realizați din material feromagnetic și conțin înfășurările 12c, la fel ca și pistoanele 12d, cu înfășurările 12e. În acest fel, se realizează un motor liniar care asigură deplasarea pistoanelor. Pentru păstrarea dimensiunii constante a compartimentelor, pistoanele sunt legate între ele prin barele articulate 12f (la tuburile care nu sunt circulare, aceste bare sunt realizate din fragmente articulate, astfel încât la schimbările de direcție ale pistoanelor, barele să poată lua forma axului tubului). Tubul cu pistoane este scufundat într-un rezervor cu agent termic intermediar 12a, ai cărui pereți sunt paraleli cu pereții tubului, realizând de asemenea un tub închis. Agentul intermediar este vehiculat în sens invers mișcării pistoanelor, preluând căldura captatorilor calzi, pe care o cedează captatorilor reci. În două regiuni diametral opuse ale rezervorului, în zone de mărimea unui captator, prin intermediul unui sistem de țevi 12h, agentul intermediar efectuează schimbul de căldură cu sursa caldă, în una din zone și cu sursa rece în cealaltă zonă. În pereții dintre rezervor și tubul cu agentul de lucru din aceste două zone sunt montate ventile comandate electric, prin care se face legătura dintre captatorii respectivi (aflați unul la temperatura sursei calde, celălalt la temperatura sursei reci) și pistonul 12g, realizând faza de destindere-comprimare, alternativ, într-o semiperioadă pe o față a pistonului, în cealaltă semiperioadă pe cealaltă față.

Motorul Stirling din figura 13 este asemănător: captatorii 13c sunt incinte închise, având pereții metalici prevăzuți cu aripioare pentru mărirea suprafeței de schimb termic, iar în interior, o serie de filamente și grile (asemănător recuperatoarelor Stirling) pentru a transmite rapid căldură gazului din interior. În schimb nu mai sunt necesare pistoanele și mecanismele necesare deplasării acestora. Captatorii sunt instalați într-un rezervor cu stratificare 13a, în care partea inferioară este răcită de către un sistem de țevi 13d ce fac schimb de căldură cu sursa rece, partea superioară este încălzită de către un sistem de țevi ce fac schimb de căldură cu sursa caldă, iar în nivelele intermediare se face schimb de căldură între captatoarele din jumătatea stângă cu captatoarele din jumătatea dreaptă, tot printr-un sistem de țevi. Acești captatori sunt deplasați de către un mecanism de antrenare, într-un circuit închis, așa cum indică săgeata din figura 13, captatorii trecând succesiv din zona inferioară, cea mai rece, spre zona superioară, cea mai caldă, făcând schimb de căldură între ele prin intermediul agentului intermediar 13b. O dată ajunși în zonele cu temperaturi extreme, fiecare pereche de captatori își deschide supapele spre captatorul de putere și produce deplasarea pistonului acestuia, apoi își continuă deplasarea spre zona opusă a rezervorului.

Motorul Stirling din figura 14 este un motor static, nefiind necesare nici pistoane de deplasare, nici mecanisme pentru deplasarea captatorilor, toate procesele termice producându-se prin dirijarea rațională a agentului termic intermediar spre captatori. În figura 15 este reprezentată o secțiune prin captatorii acestui motor. Un astfel de captator este o incintă închisă, cu pereți dublii 15c, străbătută de un sistem de țevi 15d, ce comunică și cu spațiul 15b dintre pereții dublii, și alimentată printr-o conductă 15a. Atât pereții interiori, cât și sistemul de țevi sunt prevăzute cu aripioarele 15e pentru mărirea suprafeței de schimb. Între aripioare se pot monta și filamente subțiri, întocmai ca la recuperatoarele Stirling pentru a accelera și mai mult schimbul termic. În acest spațiu se găsește agentul de lucru 15f. De asemenea, captatorul este prevăzut cu ventilele 15g prin care comunică cu exteriorul.

Diferența de temperatură dintre sursa caldă și cea rece este împărțită într-un număr rațional de trepte, pentru fiecare treaptă fiind prevăzuți doi captatori 14a. Conductele 14d de intrare și de ieșire ale tuturor captatorilor se înscriu într-un circuit închis. Între fiecare doi captatori succesivi se prevăd câte 2 ventile cu 3 căi 14f, iar între acestea o ramificație de tip cruce. Pe cele două brațe laterale ale ramificației se prevede câte un ventil 14g (cu acționare mecanică, electrică, hidraulică sau pneumatică) dintre care unul face legătura cu conducta de agent cald 14j, celălalt cu conducta de agent rece 14h. Ventilele cu 3 căi 14f sunt legate cu conductele de by-pasare 14n, în așa fel încât circuitul principal de agent intermediar să se poată închide atunci când unul din captatori este inclus în circuitul de agent cald sau în cel de agent rece. Agentul din acest circuit este pus în mișcare de pompa 14e. Instalația este completată de sistemele de țevi cu agent intermediar 14j în care, cu ajutorul pompei 14k, este transportată căldură de la sursa caldă și 14h în care, cu ajutorul pompei 14i, este transportată căldura excedentară spre sursa rece. Pe fiecare din aceste conducte, în dreptul fiecărui captator, este prevăzut un ventil 14m care o închide atunci când agentul respectiv este deviat prin captator.

Prin închiderea-deschiderea comandată a ventilelor cu 2 și cu 3 căi, se asigură o creștere progresivă a temperaturilor (și presiunilor) din captatoare, de la temperatura sursei calde până la temperatura sursei reci, apoi o descreștere treptată. La un moment dat există în sistem un captator aflat la temperatura maximă, și într-o poziție diametral opusă, un captator la temperatura minimă. În acest moment, sunt acționate ventilele cu 3 căi 14f și circuitul principal este comutat prin conducta de by-pas 14n a captatoarelor respective (săgeata 14t continuă pentru agentul cald și săgeata 14v, cu linie întreruptă, pentru agentul rece). Ventilele 14m din dreptul acestor captatoare se închid, deschizându-se ventilele 14g de la intrarea și de la ieșirea din captator, care fac legătura cu conducta de agent intermediar cald (săgeata 14s), respectiv cu cea de agent intermediar rece (săgeata 14s). Tot odată se deschid ventilele de gaz 14c ale celor două captatoare și ventilele 14q (care realizează comutarea fluxului de gaz între fețele pistonului), pistonul captatorului de putere 14o primește pe cele două fețe ale sale diferența de presiune dintre cele două captatoare, fiind pus în mișcare. Gazul cald din captator se destinde, absorbind căldură de la agentul cald, trece printr-un recuperator de căldură 14p căruia îi cedează căldură, și intră în piston. Gazul aflat inițial în piston, răcit în semiperioada anterioară, intră prin ventilul respectiv direct în captatorul rece, unde comprimă gazul aflat aici, cedând căldură agentului intermediar rece. Simultan, se stabilește un circuit de gaz rece (nereprezentat în figură) care preia căldura din celălalt recuperator, pregătindu-l pentru faza următoare. Căldura recuperată în acest fel este reintrodusă în proces. În timpul acestui proces, agentul din circuitul principal, preia căldura captatorului anterior celui în care se face destinderea, (în care destinderea a avut loc în semiperioada precedentă, aflat deci la temperatura maximă) și o transferă captatorului următor, pregătindu-l pentru destindere. Agentul aflat în acest captator este transferat și el cu un pas, având loc o încălzire progresivă a captatorilor din amonte și o răcire treptată a captatorilor din aval. Procesul continuă cu câte un pas în fiecare semiperioadă. Reglarea instalației se face foarte simplu, prin modificarea debitului și a temperaturii agentului intermediar, simultan cu frecvența comenzilor către ventile.

Un motor Stirling poate să fie proiectat în așa fel, încât, prin alegerea corespunzătoare a agentului și a presiunii interioare, la temperatura de lucru, procesele din motor să se desfășoare în apropierea curbei de vapori a agentului ales. În figura 16 este descrisă diagrama PV a unui ciclu în care destinderea izotermă din motor începe în punctul 2 de pe această curbă și continuă până în punctul 3, corespunzător volumului V1 la care la temperatura sursei reci T0, agentul atinge starea de saturatie corespunzătoare acestei temperaturi. Ca urmare, agentul după destinderea în pistonul motor, este trecut printr-un recuperator sau schimbător de căldură direct în condensatorul unei instalații frigorifice, unde condensează izoterm, până la titlul care corespunde volumului V2, la care la temperatura T1 agentul este complet saturat. La ieșirea din condensator, gazul este trecut prin recuperator, unde se încălzește până la o temperatură apropiată de T1, și printr-un schimbător de căldură, pentru un aport suplimentar de căldură, ajungând din nou în starea de saturație corespunzătoare temperaturii T1, de unde procesul se reia. După cum se vede din diagramă, procesul se desfășoară după curba 2-3-4-5-2, cu un lucru mecanic produs, superior unui proces 2-3-4-1-2, care corespunde vaporilor supraîncălziți. Dacă în pistonul motor, o dată cu vaporii saturați se introduce și o cantitate oarecare de lichid, și destinderea agentului se face cu un aport corespunzător de căldură, iar captatorul are volumul dimensionat pentru a prelua întreg volumul de vapori rezultați prin evaporare, destinderea este însoțită de evaporarea acestei cantități de lichid, care se face la presiune constantă, astfel încât lucrul mecanic produs crește și mai mult, procesul desfășurându-se după curba 2-3-4-6-1-2.

O altă modalitate prin care un motor Stirling poate primi și transmite energie foarte rapid este descrisă în figura 18, în care se remarcă un motor dublu-gama prevăzut cu câteva elemente suplimentare: captatoarele calde 18a și/sau captatoarele reci 18b, având același volum cu captatoarele de deplasare, și ventilele cu 3 căi 18c, 18d. Procedeu este aplicat atunci când se dispune de o sursă mai caldă (T4) decât temperatura T1 a sursei calde nominale și/sau o sursă mai rece (T3) decât temperatura T2 a sursei calde nominale (fig.17), cu care se poate interveni într-un timp scurt. Dacă la un moment dat al funcționării nominale (curba 1-2-3-4) se deschide ventilul 18c, traseul gazului este deviat pe circuitul descris de săgeata 18e: gazul din captatorul rece, după ce trece prin recuperator, intră în captatorul cald 18a, iar gazul aflat aici, supraîncălzit, intră în captatorul cald, în timp ce gazul din captatorul cald, după ce trece prin recuperator intră în captatorul rece, unde se comprimă izoterm (dacă există o sursă mai rece de cât T1 și e necesar, cu ajutorul ventilului 18f, gazul este deviat prin captatorul 18b). Deoarece captatorul cald se găsește într-un mediu cu temperatura T2, inferioară gazului din captator, destinderea nu mai este izotermă, ci adiabatică (chiar subadiabatică, întrucât gazul cedează o parte din căldură), iar gazul se răcește pînă la temperatura T3. Recuperatorul va primi o cantitate suplimentară de căldură pe care o va ceda în faza următoare, iar procesul se va desfășura după curba 5-6-7-9, iar dacă există sursă suprarăcită, după curba 5-6-7-8, în care și comprimarea este adiabatică.

Aplicații. Datorită suprafețelor mari de captare și randamentului superior față de motoarele Stirling clasice, motorul descris poate fi utilizat cu mai multă eficiență pentru valorificarea energiilor neconvenționale. Acest tip de motor poate fi instalat oriunde pot fi puse în evidență o sursă caldă și una rece, între care există, sau pot fi create diferențe de temperatură cât mai mari, pentru perioade de timp cât mai mari, și există posibilitatea de a utiliza sau de a evacua energia produsă fără costuri exagerate. Sursa caldă poate fi un foraj geotermal, un proces tehnologic cu evacuări mari de căldură (acest motor este instalația ideală pentru răcirea diferitelor instalații, recuperarea căldurii din gazele de ardere și din aburul tehnologic), și cel mai la îndemână în foarte multe zone: soarele. Sursa rece poate fi oferită de apa râurilor, lacurilor, mărilor, pînzelor freatice, și cel mai la îndemână: solul. Oricare din acestea poate fi alternată în sezoanele reci cu aerul atmosferic. Mai mult, în sezoanele reci, solul poate fi sursa caldă. Pentru a conferi acestei surse bivalente o capacitate mai mare de transfer termic, am imaginat un captator de energie geotermică, plecînd de la captatorul descris în cererea de brevet RO 2008/00038. Captatorul geotermic descris în figura 19 se compune dintr-un strat de material cu mare capacitate de acumulare a căldurii, instalat în pămînt, la o adîncime mai mare de 1m (adîncimea recomandată: 3-4 m), în care se montează țevile de captare. Stratul acumulator este compus dintr-o placă de beton cu inserții metalice (diferite deșeuri). Înainte de turnarea betonului, în terenul decopertat se înfig țărșuși metalici confecționați din țevi, cât mai lungi (minimum 2,5 m), cu un diametru de 25-50 mm, distanțați între ei la 30-100 cm. În terenuri tari, terenuri nisipoase, sau foarte corozive, se execută foraje cu lungimi și diametre ceva mai mari decât cele menționate, apoi se introduc țevi din mase plastice cu diametrul exterior egal cu diametrul forajului, iar țevile metalice se introduc în acestea. O capacitate de captare superioară se obține dacă în pereții acestor țevi se execută mici perforații, iar în interiorul țevilor se introduce apă, sau un amestec de materiale cu calități higroscopice, inclusiv bentonită, astfel încît terenul de sub stratul acumulator să aibe în permanență un anumit grad de umiditate. Țevile metalice se introduc în sol astfel încît după terminarea operației să rămînă deasupra terenului capete de cîțiva centimetri, situate aproximativ în același plan. Pe aceste capete ale țevilor, eventual după fixarea unor suportți, se pozează țevile de captare, astfel încît suprafața de contact să fie cât mai mare, apoi se toarnă betonul. Costul instalației poate fi mult redus dacă în locul unor țevi metalice sau din mase plastice se pozează furtune gonflabile. Acestea pot fi executate, de exemplu, din folii de polietilenă cu grosimi de 1-2 mm, pot fi livrate rulate într-un spațiu foarte mic, se montează foarte ușor (după pozare li se închid capetele, se umplu cu aer, iar după întărirea betonului se taie capetele), nefiind necesare scule speciale pentru tăiere și îmbinare, nu necesită fitinguri (doar cîte o piesă de trecere la marginea plăcii de beton) și nu au rezistență termică mare, iar eventuale mici neetanșeități nu sunt dăunătoare. Prin această metodă, întreg volumul de sol de sub placa acumulatoră pînă la adîncimea de pătrundere a țevilor va avea aproximativ aceeași temperatură, crește foarte mult volumul acumulatorului și suprafața prin care căldura solului este captată de acumulator.

În cererea de brevet RO 2008/00682 au fost descrise numeroase aplicații posibile ale motorului Stirling dublu-gama. În toate aceste aplicații, motorul îmbunătățit din prezenta invenție este compatibil. În plus, prin utilizarea captatorului geotermic, cantitatea de căldură captată poate fi mult mărită, la fel și intervalele de timp în care există diferențe de temperatură favorabile. Mai mult, prin utilizarea unei surse de căldură

auxiliare, sau a unei surse de energie electrică (pentru pornirea motorului în regim de pompă de căldură și ridicarea temperaturii agentului din rezervorul cald), datorită posibilității de a regla puterea motorului în limite foarte largi, motorul descris poate funcționa la orice diferență de temperaturi între cele două surse. Dacă se dispune de o sursă auxiliară de căldură, energia furnizată de aceasta este folosită pentru a furniza căldura necesară rezervorului cald pentru pornire, apoi pentru menținerea regimului de funcționare. Motorul funcționează ca și cum sursa caldă ar avea temperatura corespunzătoare regimului respectiv, iar energia primită suplimentar este transformată integral în energie mecanică. Motorul începe să furnizeze putere pozitivă chiar din momentul în care energia necesară pentru învingerea frecărilor și a altor pierderi interioare este egală cu energia furnizată de sursa auxiliară. Pe măsură ce sursa caldă devine mai puternică (de exemplu, crește insolația), aportul sursei auxiliare este redus treptat, pînă cînd sursa caldă poate asigura temperatura necesară. Dacă nu se dispune de o astfel de sursă, se utilizează energia electrică de la rețea pentru alimentarea unei rezistențe electrice, sau, de preferat, pentru pornirea motorului în regim de pompă de căldură. În acest caz, după pornirea motorului, o parte din captatorii de deplasare lucrează ca motor, ceilalți ca pompă. Pe măsură ce crește temperatura sursei calde, un număr mai mare de captatori trece în regim de motor. Sistemul începe să furnizeze putere pozitivă de îndată ce numărul captatorilor lucrînd în regim de motor îl depășește pe cel al captatorilor ce lucrează în regim de pompă de căldură. Funcționarea sistemului poate deveni independentă, dacă în sistem este integrat un acumulator de căldură dimensionat corespunzător.

În cererea de brevet RO 2008/00682 este descrisă o **casă energy++** pe ale cărei fațade și acoperiș sunt montate bariere solare. Avînd o structură de rezistență corespunzătoare, fiind separate de exterior prin pereți din materiale transparente și fiind separate de restul clădirii printr-o anvelopă termică consistentă, acestea constituie locul ideal pentru a servi ca loc de amplasare al unor captatoare de energie solară. În aceste bariere pot fi montați captatorii de deplasare, puțin de pe suprafața lor elemente de panouri fotovoltaice (pînă cînd vor putea folosi panourile fotovoltaice transparente), caz în care agentul termic trebuie asigurat împotriva înghețului, pot fi montate elementele de captare ale unor panouri solare (fără cutia de protecție și izolația termică, deci mult mai ieftine) care să furnizeze apă caldă pentru rezervorul cald al motorului Stirling, sau pot fi montate sisteme independente de țevi de captare pentru acest rezervor (împreună cu țevile unor pompe de căldură termomecanice, conform cererii de brevet RO 2008/00682, pentru captarea căldurii din zone intermediare) acestea prezentînd avantajul că înainte de scăderea temperaturii exterioare sub temperatura de îngheț, pot fi golite într-un rezervor, care apoi este utilizat pentru înmagazinare de frig. În combinație cu un captator geotermic și cu două acumuloare: unul de frig și unul de căldură, motoarele Stirling pot asigura locuinței un sistem de climatizare extrem de performant, apă caldă menajeră în cantități nelimitate, energie electrică la parametrii rețelei și pot produce suplimentar o cantitate apreciabilă de energie electrică, în perioadele de vîrf de sarcină pe rețeaua de alimentare, deci la prețuri avantajoase. De menționat că atît căldura necesară încălzirii, căldura necesară apei menajere, cît și frigul necesar climatizării se produc prin cogenerare, simultan cu producerea energiei electrice. În plus, în sezonul cald, în camere speciale bine izolate se pot menține temperaturi apropiate de temperatura solului la adîncimea de 3-4 metri, iar în cazul unor camere frigorifice, sau a unor frigider și congelatoare construite special pentru astfel de locuințe, (condensatorul este înlocuit cu două racorduri care se leagă la circuitul de agent ce leagă locuința cu captatorul geotermic), se asigură frig la prețuri mult mai avantajoase. În acest caz o instalație completă cu țevi de captare, se compune din mai multe motoare Stirling duble, ai căror captatori de deplasare se montează în unul sau mai multe rezervoare stratificate, ale căror straturi fac schimb permanent de căldură cu unul sau mai multe sisteme de țevi montate în captatoare geotermice amplasate în sol, țevi montate în aerul exterior, în zone cu grade diferite de insolație, sisteme de țevi montate pe toate cele 4 fațade, sisteme de captare montate pe acoperișul clădirii, eventual prevăzute cu sisteme de orientare și cu concentratoare de radiații, pentru obținerea de temperaturi cît mai mari, precum și sisteme de țevi montate în pereții radianți cu inserții metalice ai clădirii, în boilerle de apă caldă menajeră, în camerele frigorifice și în acumuloarele de frig și de cald. Toate aceste sisteme sunt interconectate prin noduri de ventile cu 2 și mai multe căi, astfel încît să asigure agentului termic un traseu optim. Comanda acestor ventile, precum și optimizarea funcționării motoarelor Stirling în funcție de variațiile de temperatură din aer și din sol, precum și în funcție de necesități este asigurată de un automat programabil sau un calculator de proces. În cazul montării captatorilor chiar în barierele solare, cele mai potrivite sunt motoarele statice, la care funcționarea sistemului este asigurată de programarea adecvată a ventilelor și a pompelor de recirculare. Funcțiile ce trebuie asigurate de programator sunt:

Store

- vehicularea aerului din interiorul anvelopei pentru asigurarea nivelului mediu de temperatură al întregii clădiri

- alimentarea cu agent termic din rezervorul stratificat a pereților radianți. Modificarea temperaturii stratului de agent termic se face prin legarea captatorului din stratul respectiv în același circuit Stirling cu un captator de deplasare din acumulator (pentru creșterea temperaturii, sau cu acumulatorul geotermic pentru reducerea ei

- alimentarea cu agent termic din rezervorul stratificat a serpentinei boilerului

- alimentarea cu agent rece a camerelor frigorifice

În plus, în sezonul rece, asigură ridicarea permanentă a temperaturii din acumulatorul de cald, cu ajutorul unui motor Stirling funcționând ca pompă de căldură între stratul superior al rezervorului stratificat și acest acumulator, alternativ cu producerea de curent electric, în așa fel încât în momentul atingerii temperaturii exterioare maxime acumulatorul să poată primi maximum de energie. Tot în acest interval de timp este pornit un motor Stirling principal, cu funcționare între acumulatorul de cald și acumulatorul de frig. Din momentul în care agentul din acumulatorul de frig ajunge la temperatura solului, sursa rece a motorului principal devine solul, dar funcționarea lui este încetinită, iar pompa de căldură este oprită, în schimb sunt pornite motoare care funcționează între straturile superioare ale rezervorului stratificat și acumulatorul de frig, pe de o parte, și sol pe de altă parte, în timp ce rezervorul stratificat este alimentat în continuare cu căldură de la captatorii exteriori, captatorii de pe fațada caldă și captatorii de pe acoperiș. Ambele motoare funcționează neîntrerupt, pînă cînd temperatura din rezervorul stratificat și cea din acumulatorul de frig ajung în apropierea temperaturii exterioare, moment din care funcționează intermitent, pe măsură ce scade temperatura exterioară. Dacă această temperatură scade sub temperatura solului, pot fi pornite motoare care au ca sursă caldă solul și sursă rece aerul exterior. Rezervorul stratificat poate funcționa pînă în apropierea temperaturii de îngheț. La atingerea temperaturii exterioare minime, pe de o parte pornește motorul principal pînă la epuizarea căldurii din acumulatorul de cald (păstrînd rezerva necesară încălzirii locuinței și furnizării de apă caldă menajeră), pe de altă parte, este încărcat cu frig acest acumulator, sub temperatura de îngheț (chiar dacă temperatura exterioară nu scade sub această limită, prin modificarea presiunii din acumulator). În sezonul cald, elementul cel mai solicitat este captatorul geotermic, care asigură atît climatizarea clădirii, cu producere simultană de energie electrică, cît și funcționarea optimă a motoarelor legate la rezervorul stratificat. De aceea, este important ca rezervorul de frig să fie încărcat la maximum, prin înghețare forțată, la temperatura minimă din timpul nopții, și chiar sub aceasta, prin funcționarea unei instalații frigorifice Stirling, atunci cînd temperatura exterioară este minimă și consumul de putere este cel mai redus.

La fel de avantajoasă este folosirea motoarelor Stirling în serele de flori și legume, unde există deja creat efectul de seră necesar încălzirii rezervorului cald, iar prin montarea unui captator geotermic se asigură atît căldură suplimentară, cît și posibilitatea unei irigații subterane.

În cazul șoselelor, autostrăzilor, pistelor de aterizare, prin utilizarea fundației de beton a acestora, motoarele pot produce energie electrică simultan cu climatizarea suprafeței pistei de rulare. Pentru aceasta se introduc două sisteme de conducte (realizate în masa de beton prin procedeul descris anterior): unul de suprafață, în apropierea pistei, altul la adîncime. În perioadele calde, sistemul de suprafață alimentează rezervorul cald al unui motor Stirling, iar sistemul de adîncime rezervorul rece. Prin funcționarea motorului se produce energie electrică simultan cu răcirea pistei. Simultan (sau în perioadele în care nu e necesară încălzirea, un alt motor funcționează avînd ca sursă caldă soarele, iar ca sursă rece captatorul geotermic. În sezonul rece, ambele motoare au ca sursă rece sistemul de țevi de suprafață, încălzind pista, iar dacă nu e necesar, sursa rece este aerul atmosferic. Chiar și în perioadele de temperaturi foarte coborîte, suprafața pistei poate fi încălzită prin folosirea unei surse suplimentare pentru încălzirea rezervorului cald. O parte importantă din energia suplimentară este recuperată prin curentul electric produs.

Revendicări

1. Element ce intră în componența unor motoare cu ardere externă, instalații frigorifice, pompe de căldură, instalații de pulverizare, denumit în continuare **captator**, compus din pereții captatorului și capace, care închid între ele un spațiu prin care este vehiculat un fluid; piston (liber sau cu tijă de acționare) care împarte spațiul interior în două camere separate, etanșe între ele și cel puțin două supape, montate în pereți sau în capace, prin care fluidul din interior comunică cu exteriorul, caracterizat prin aceea că: forma spațiului interior poate fi a oricărui corp obținut prin translația de-a lungul unei axe a unei suprafețe închise (o suprafață laterală a pistonului), alta decât un cerc (în particular, un dreptunghi cu colțuri rotunjite), perpendiculare pe această axă, iar prin pereții săi se efectuează un schimb termic cu mediul în care este montat, determinant pentru funcționarea ansamblului instalației
2. Captator realizat conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că pereții săi sunt dublii, între pereți fiind introdus un fluid pentru accelerarea schimbului termic cu exteriorul
3. Motor Stirling, denumit în continuare **motor dublu Stirling**, caracterizat prin aceea că se obține prin cuplarea cap la cap a două motoare Stirling simple, decalate între ele cu 180 de grade mecanice, iar în locul cilindrilor de deplasare se montează captatori conform revendicării 1
4. Motor Stirling caracterizat prin aceea că se compune din 3 motoare Stirling realizate conform revendicării 1, care lucrează cu un singur captator de putere
5. Motor Stirling conform revendicării 3, caracterizat prin aceea că acționarea tijelor pistoanelor de putere și de deplasare se face prin intermediul unor came profilate montate pe același ax
6. Motor Stirling conform revendicării 3, caracterizat prin aceea că acționarea tijelor pistoanelor de putere și de deplasare se face prin intermediul unor roți aderente care sunt comutate de niște cărucioare de basculare pentru a schimba sensul de deplasare al acestora
7. Motor Stirling conform revendicării 3, caracterizat prin aceea că în locul recuperatoarelor de căldură se montează schimbătoare de căldură la volum constant, secvențiale
8. Motor Stirling conform revendicării 3, caracterizat prin aceea că, captatoarele de deplasare se montează în unul sau mai multe rezervoare stratificate
9. Motor Stirling conform revendicării 8, caracterizat prin aceea că, captatoarele de deplasare sunt mobile într-un rezervor cu agent termic
10. Motor Stirling conform revendicării 3, caracterizat prin aceea că, în interiorul captatorilor de deplasare, în locul pistoanelor se montează sisteme de țevi prin care se face atât schimbul de căldură cu exteriorul, cât și schimbul termic dintre captatoare, prin închiderea-deschiderea programată a unor ventile
11. Captator de energie geotermică pentru alimentarea rezervoarelor motoarelor Stirling conform revendicării 3, și a altor instalații, caracterizat prin aceea că țevile pentru captarea energiei se montează într-un strat acumulator de căldură, pe capetele unor țevi înfipite în solul aflat sub acest strat, care au rolul de a efectua un schimb termic cu solul de adâncime
12. Captator de energie geotermică conform revendicării 11, caracterizat prin aceea că țevile pentru captarea energiei se realizează prin întărirea betonului proaspăt în jurul unor furtune cu pereți subțiri, umplute temporar cu aer
13. Instalație pentru încălzirea locuințelor, a serelor, a suprafeței șoselelor și pistelor de aterizare, prin cogenerare, compusă din captatori de energie solară, conform revendicării 11, motoare Stirling conform revendicării 3 și captatori geotermici conform revendicării 11



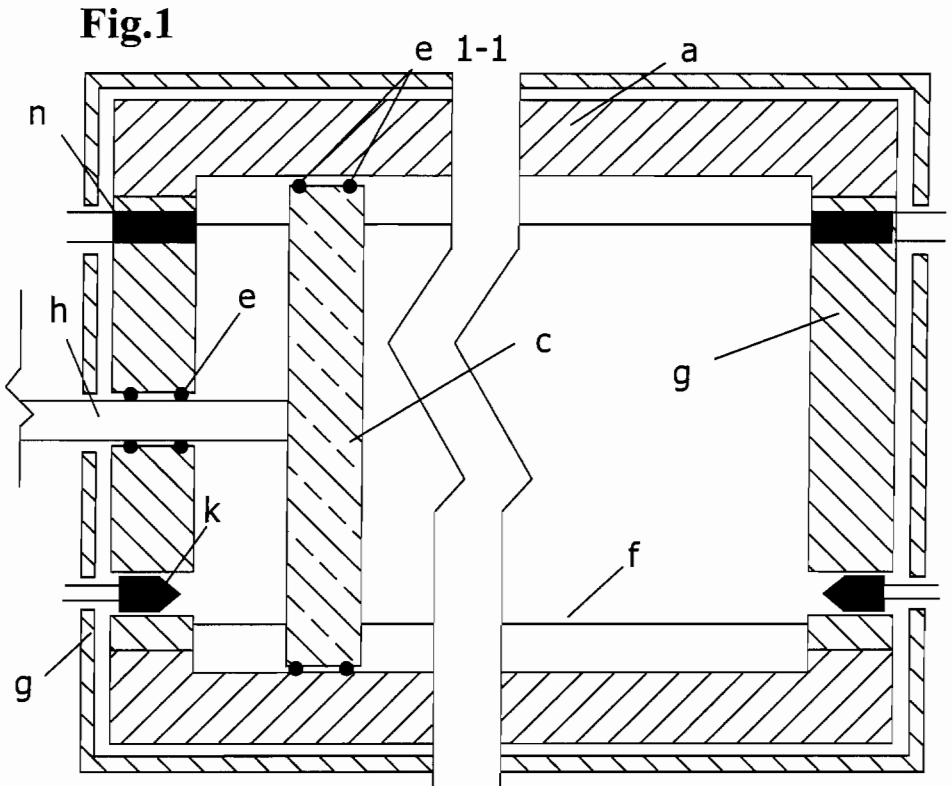
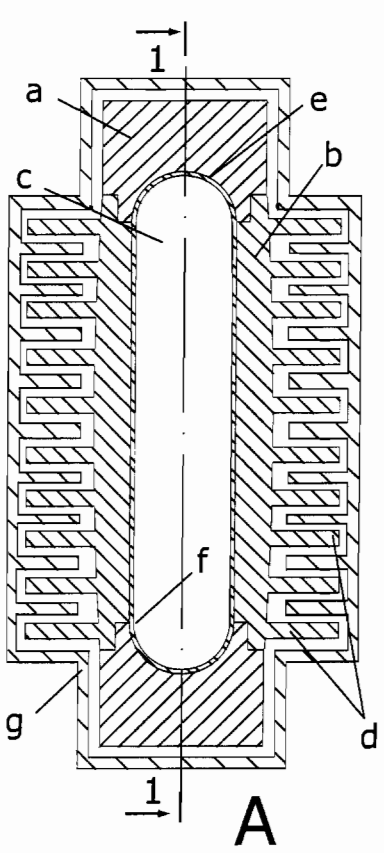
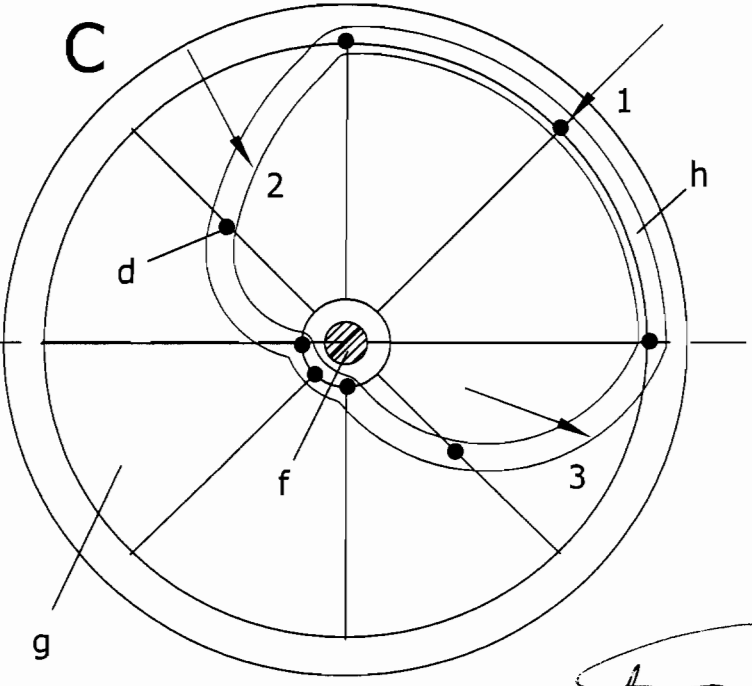
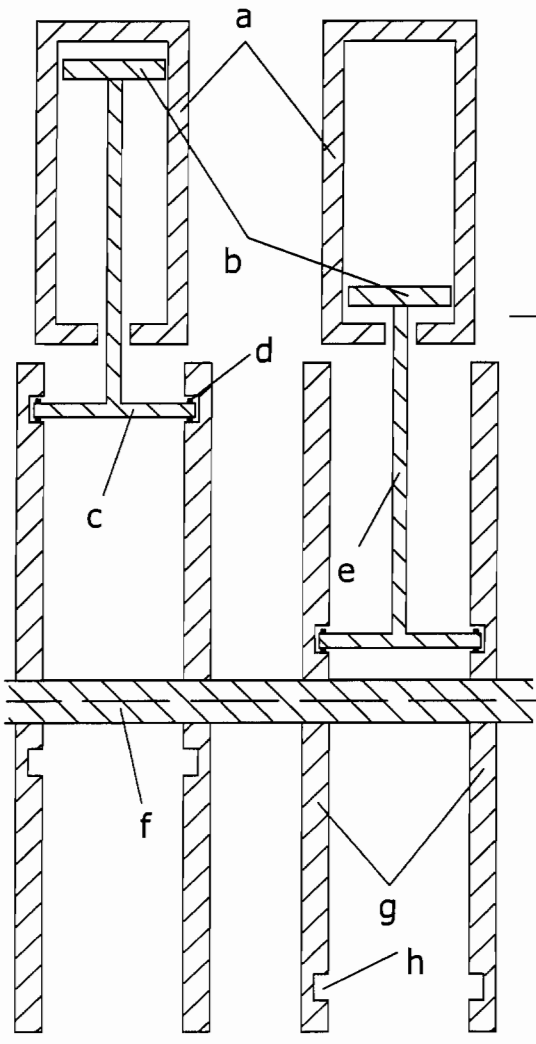
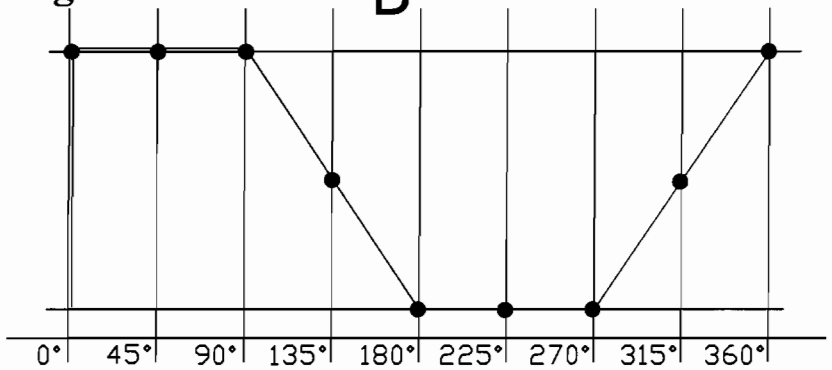
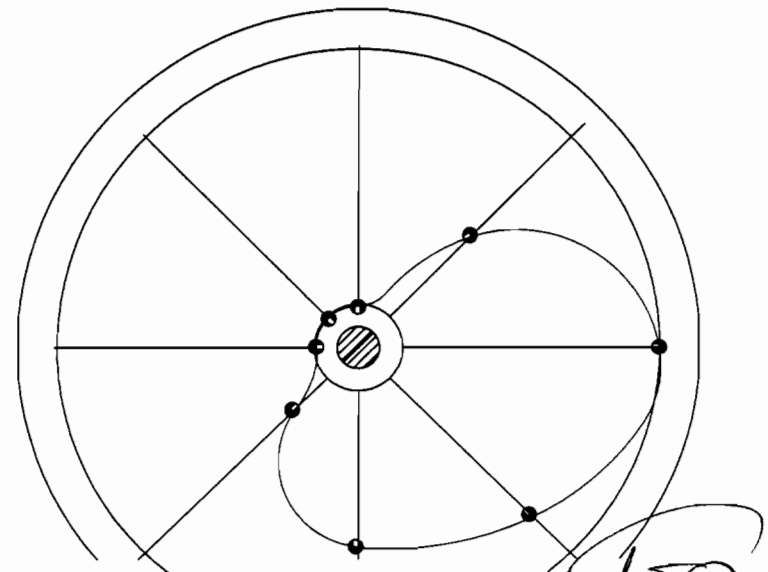
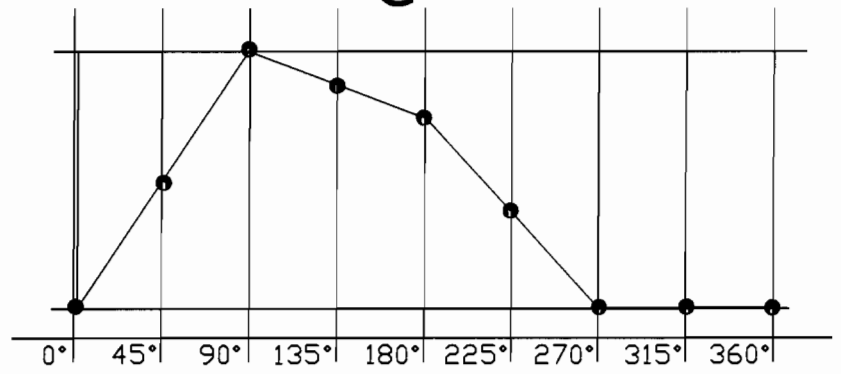
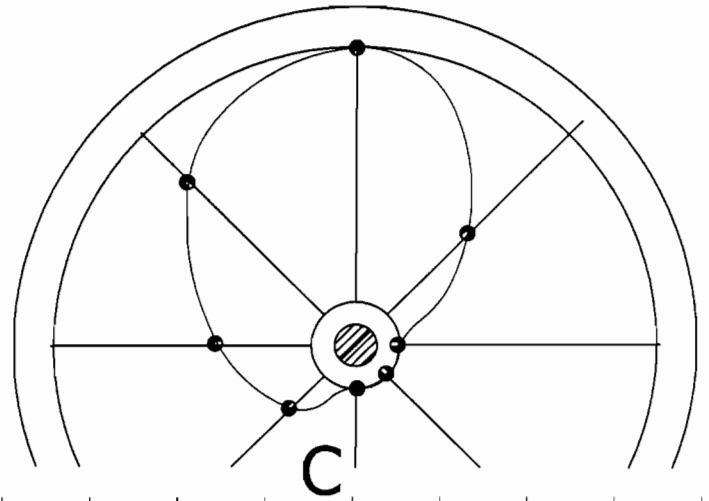
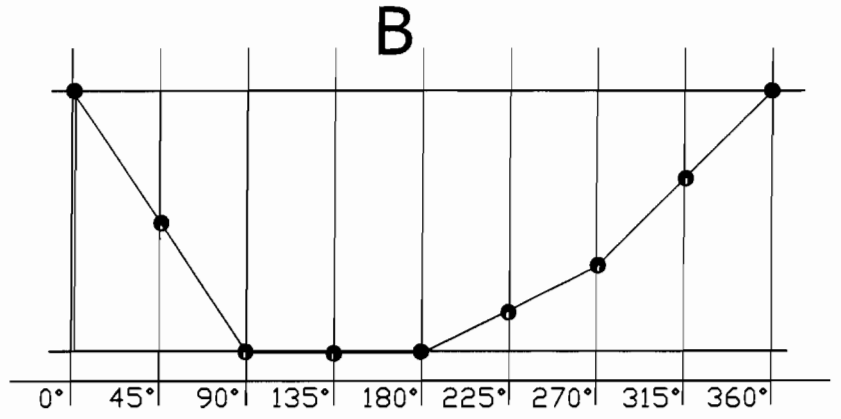
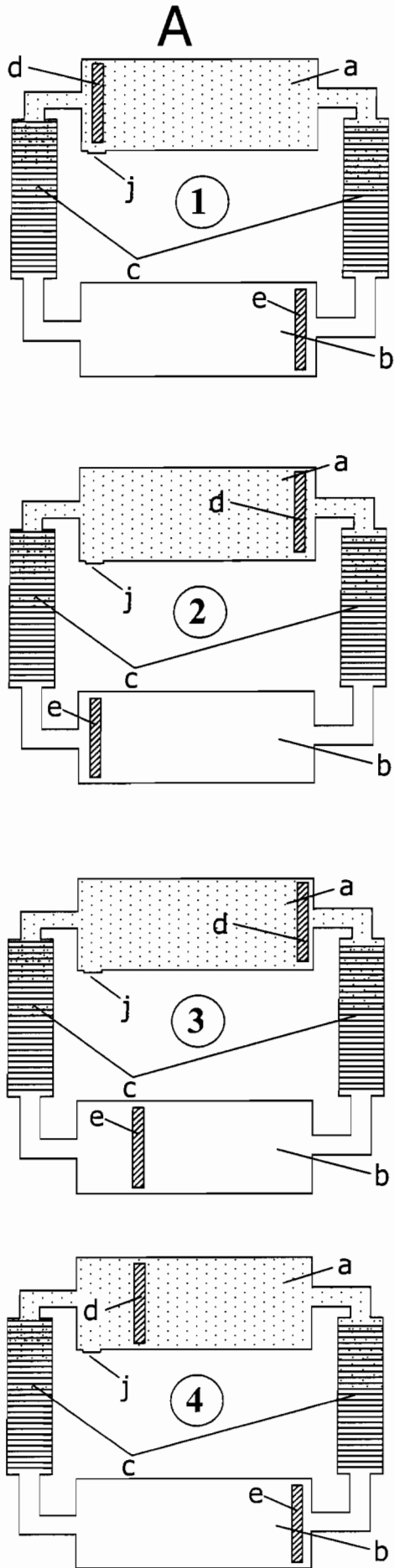


Fig.2



also

Fig.3



Handwritten signature

Fig.4

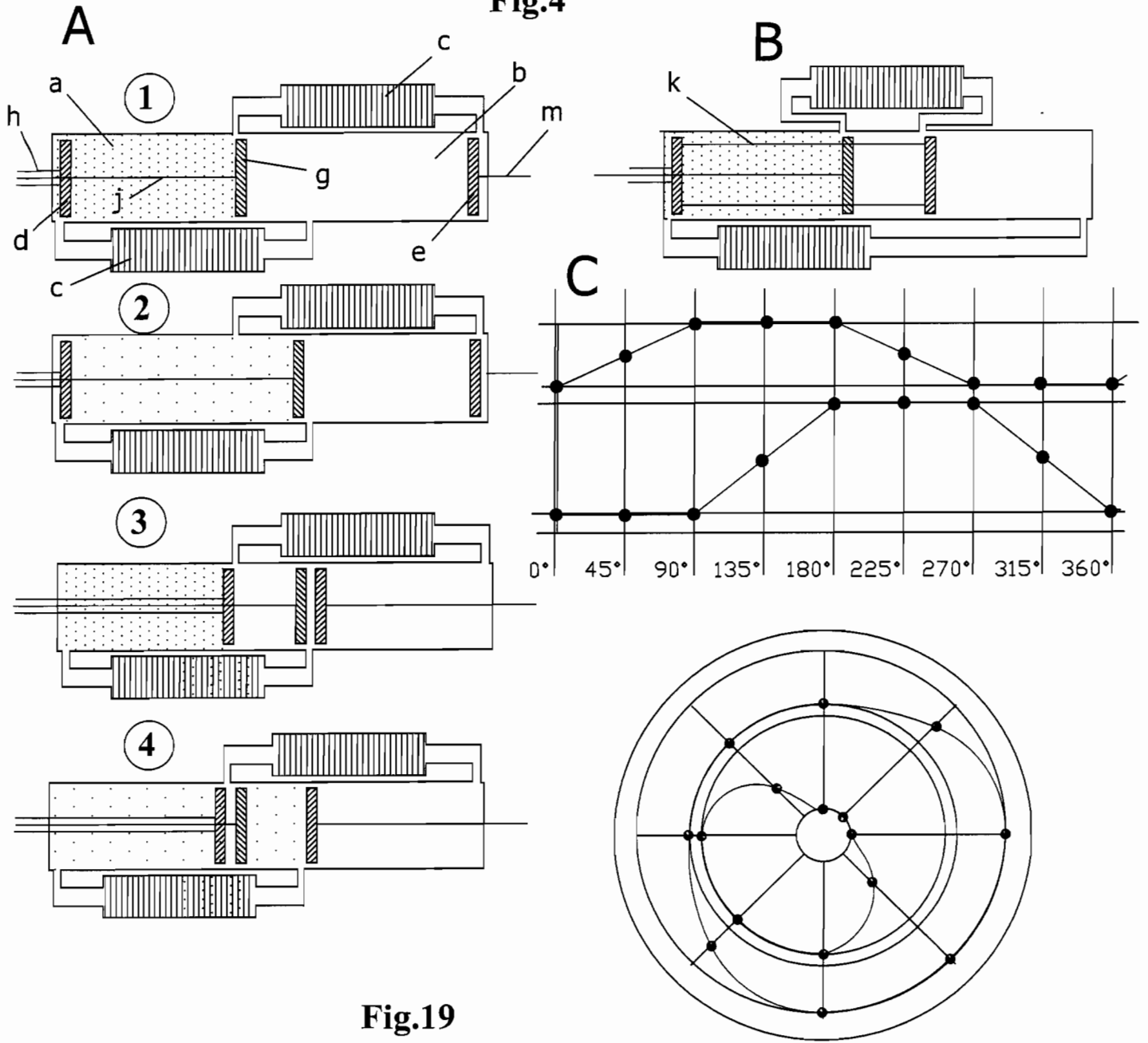
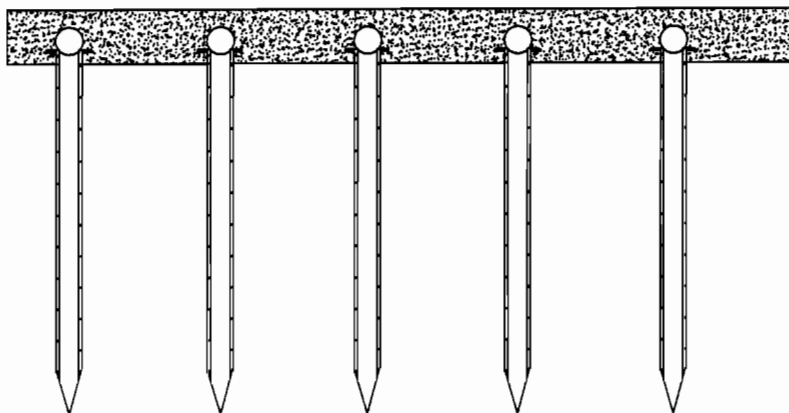


Fig.19



Handwritten signature

Fig.5

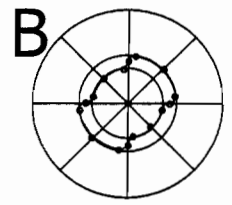
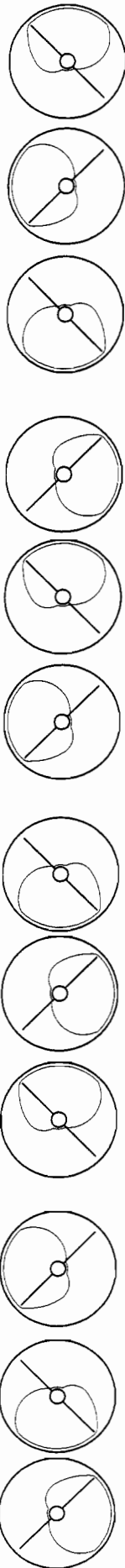
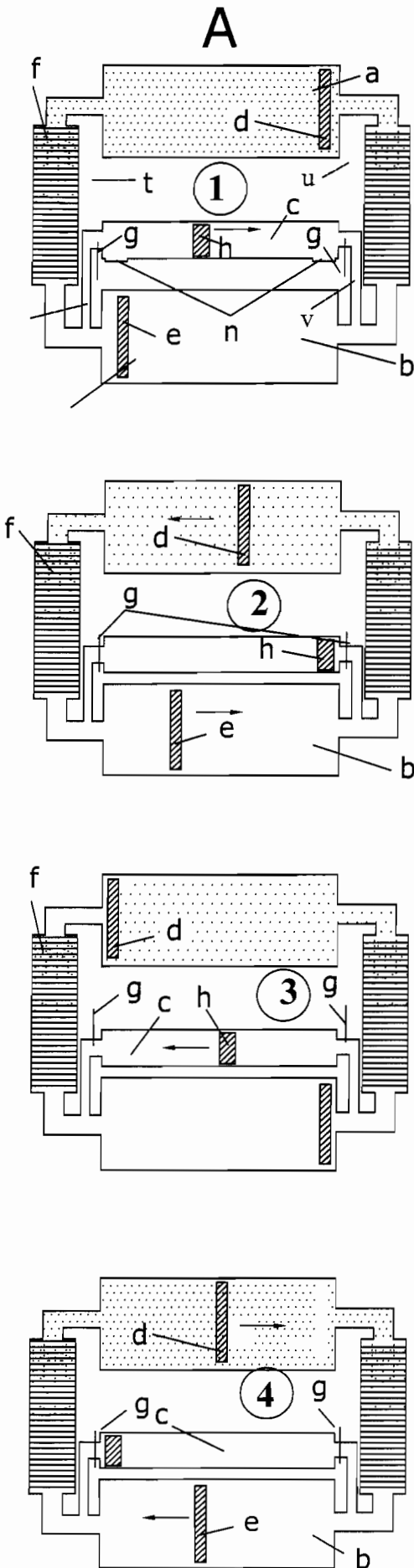
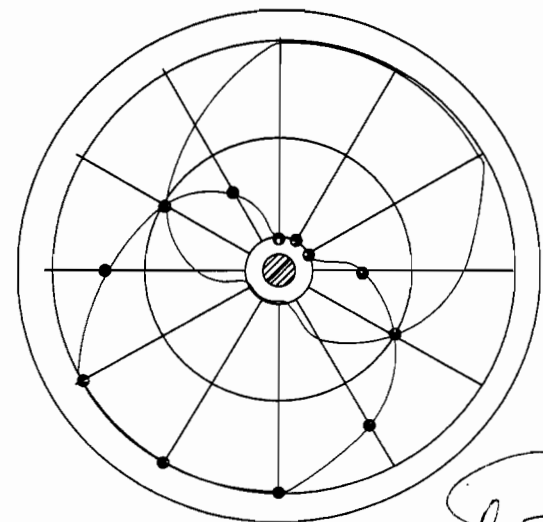
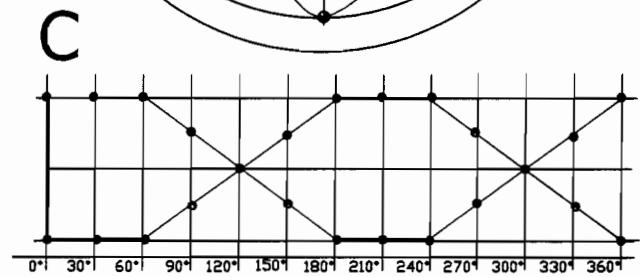
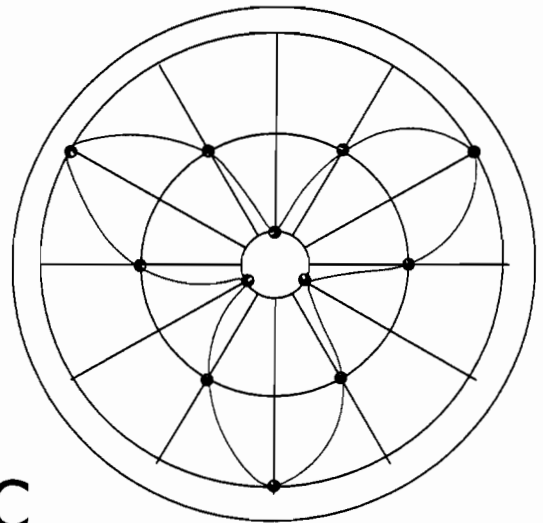
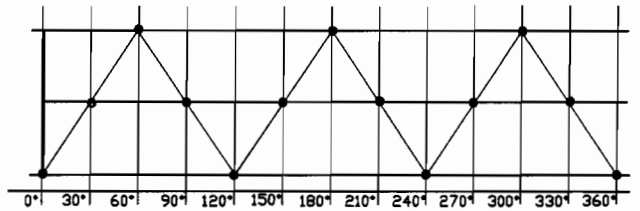
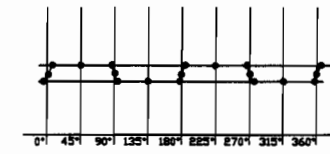


Fig.6 B



alors

Fig.6

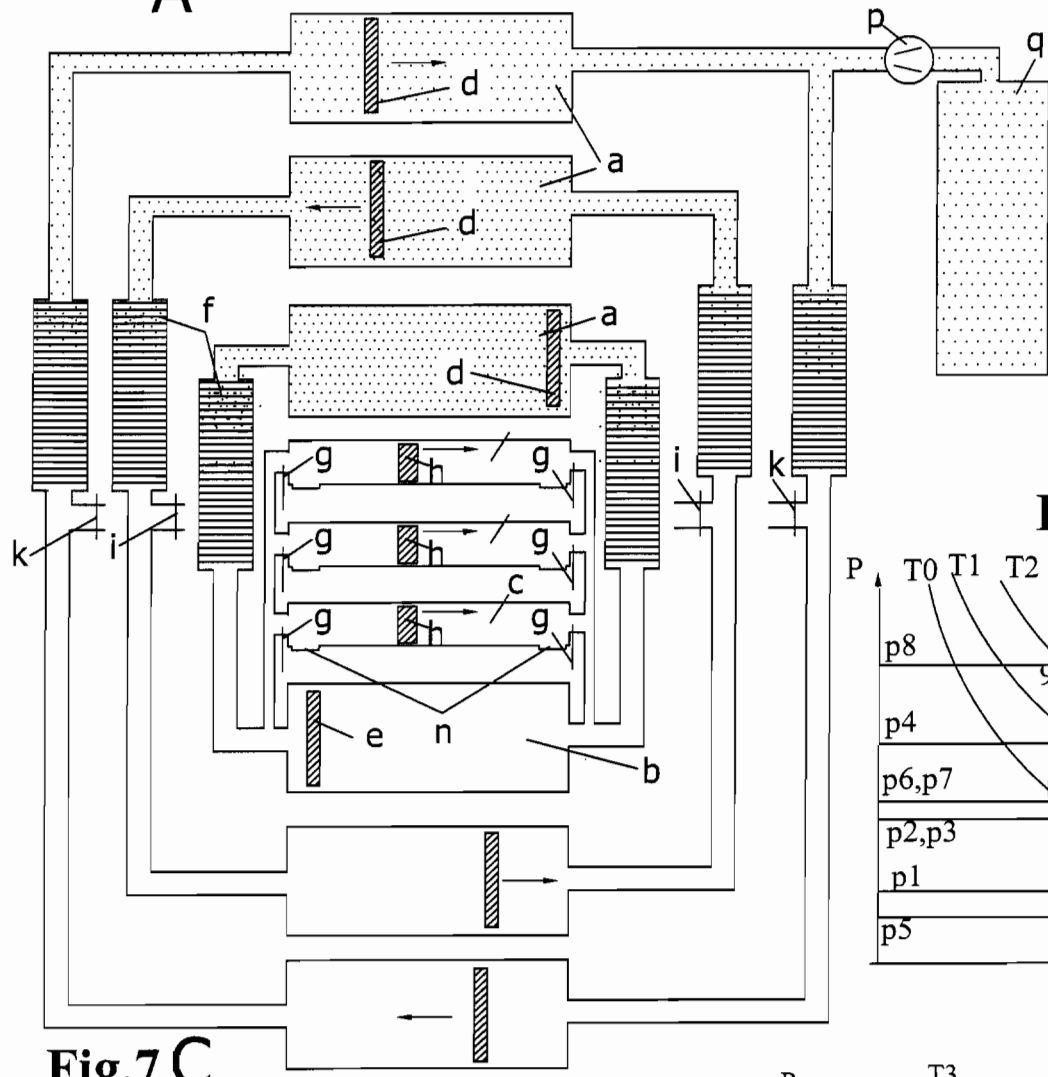


Fig.7

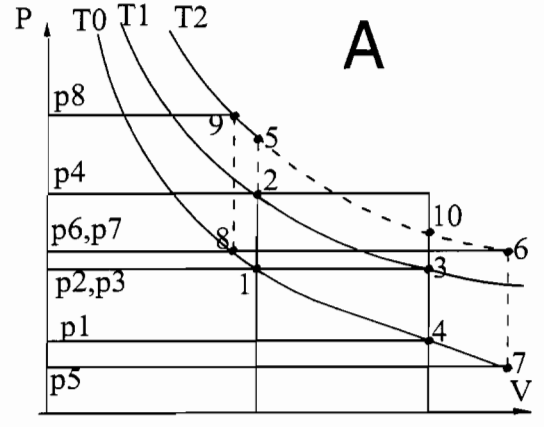
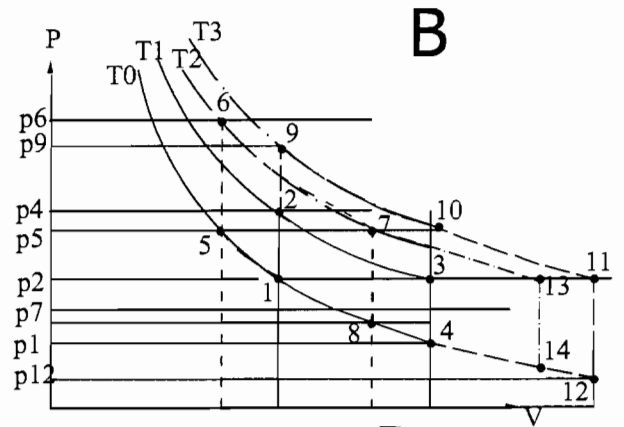
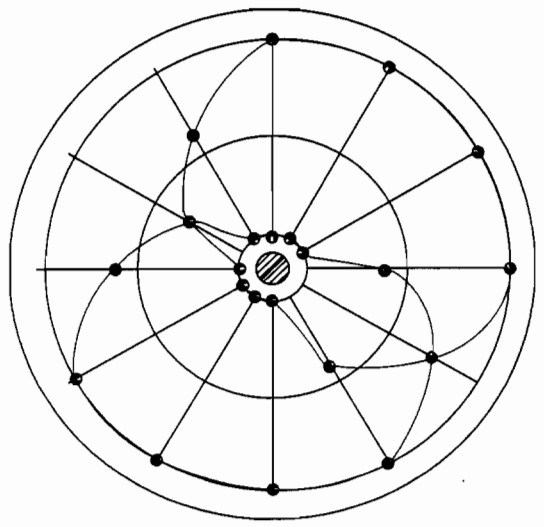
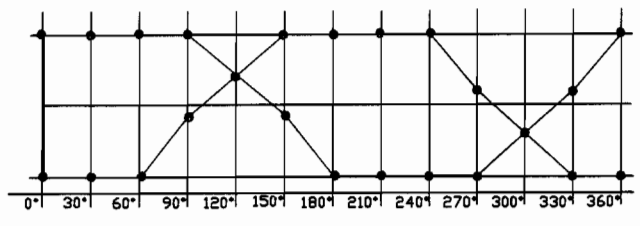
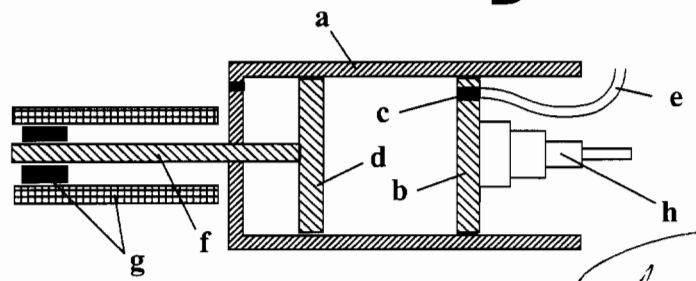


Fig.7 C

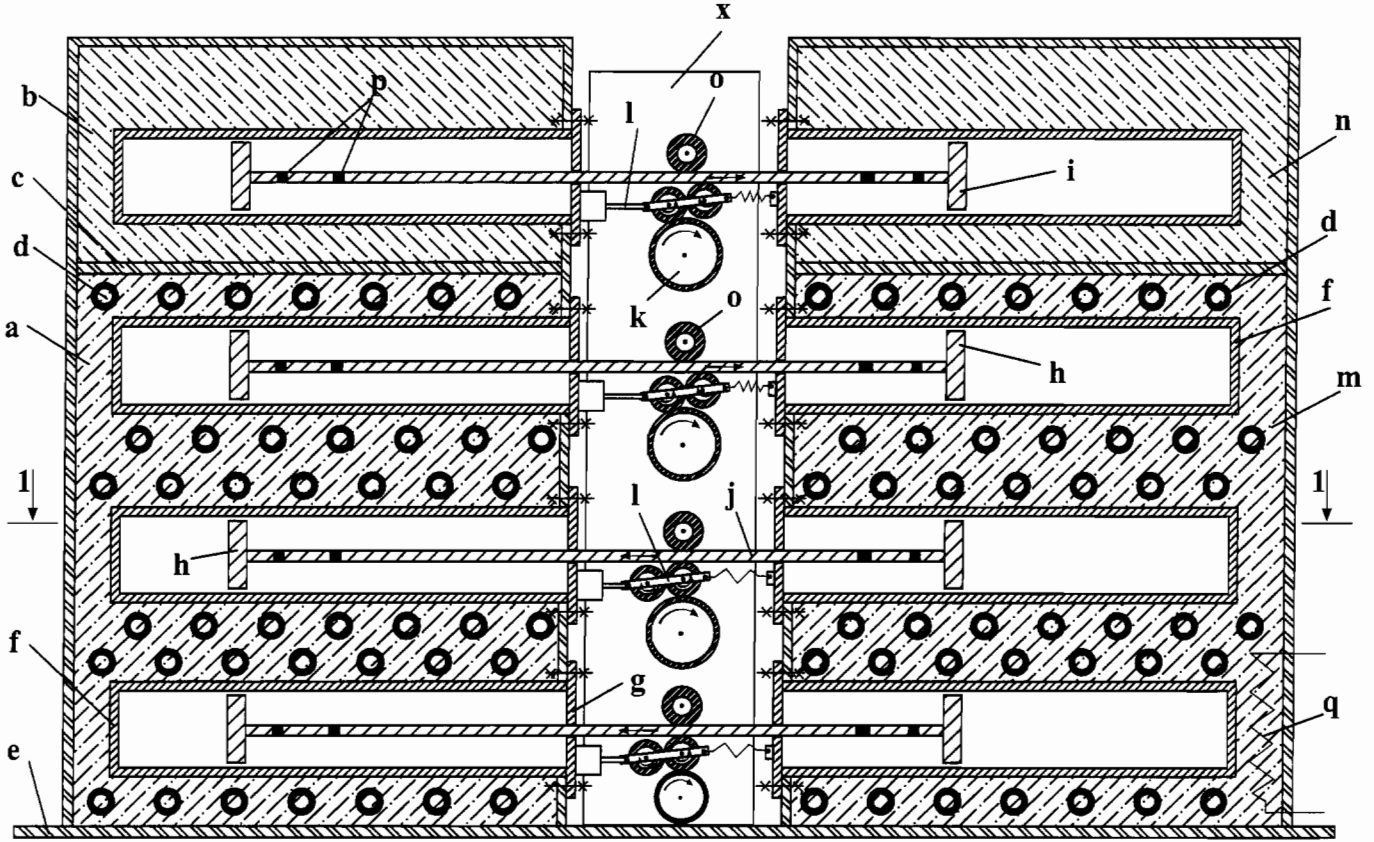


D

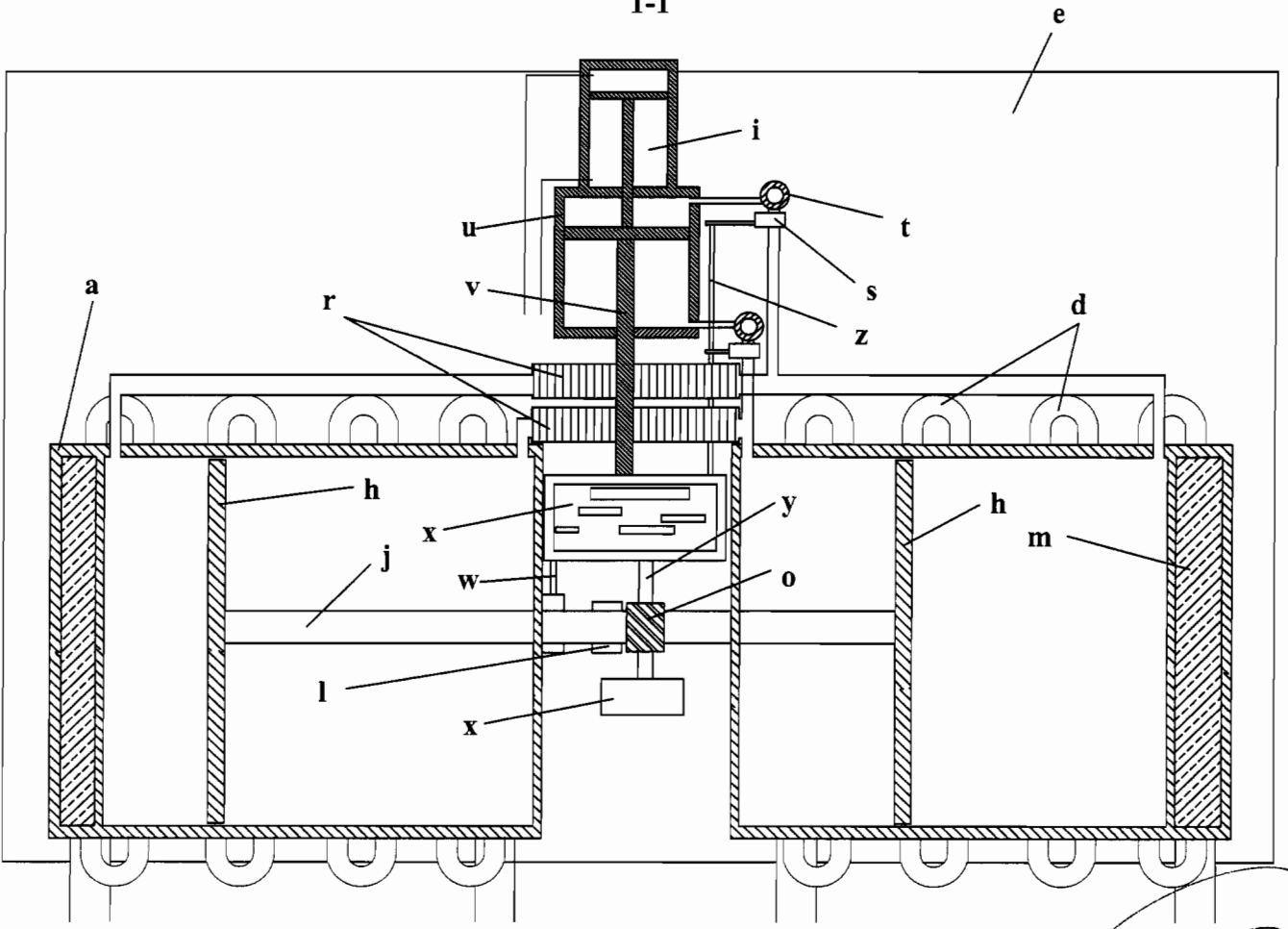


Alor

Fig.8



1-1



Alford

Fig.9

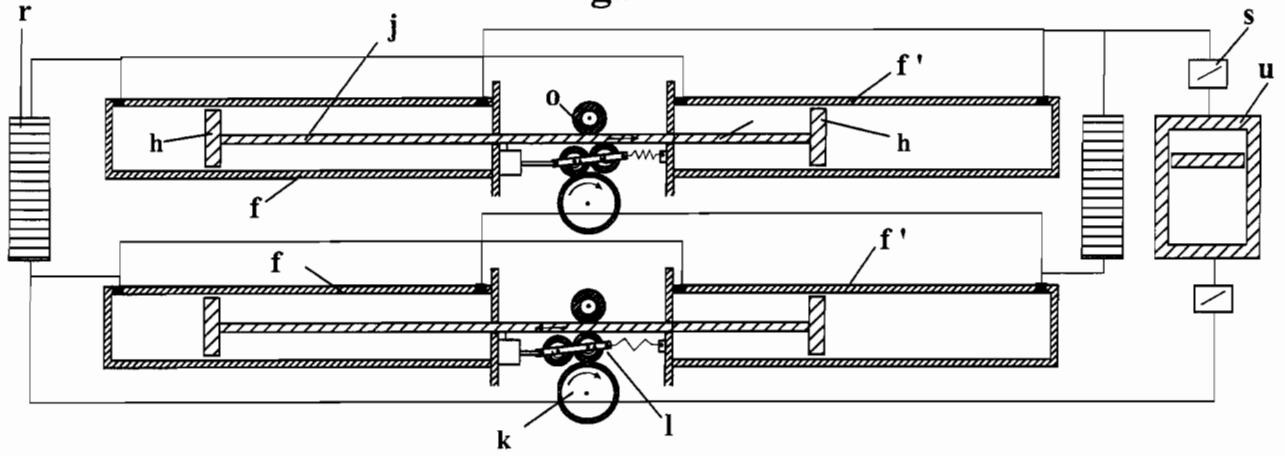
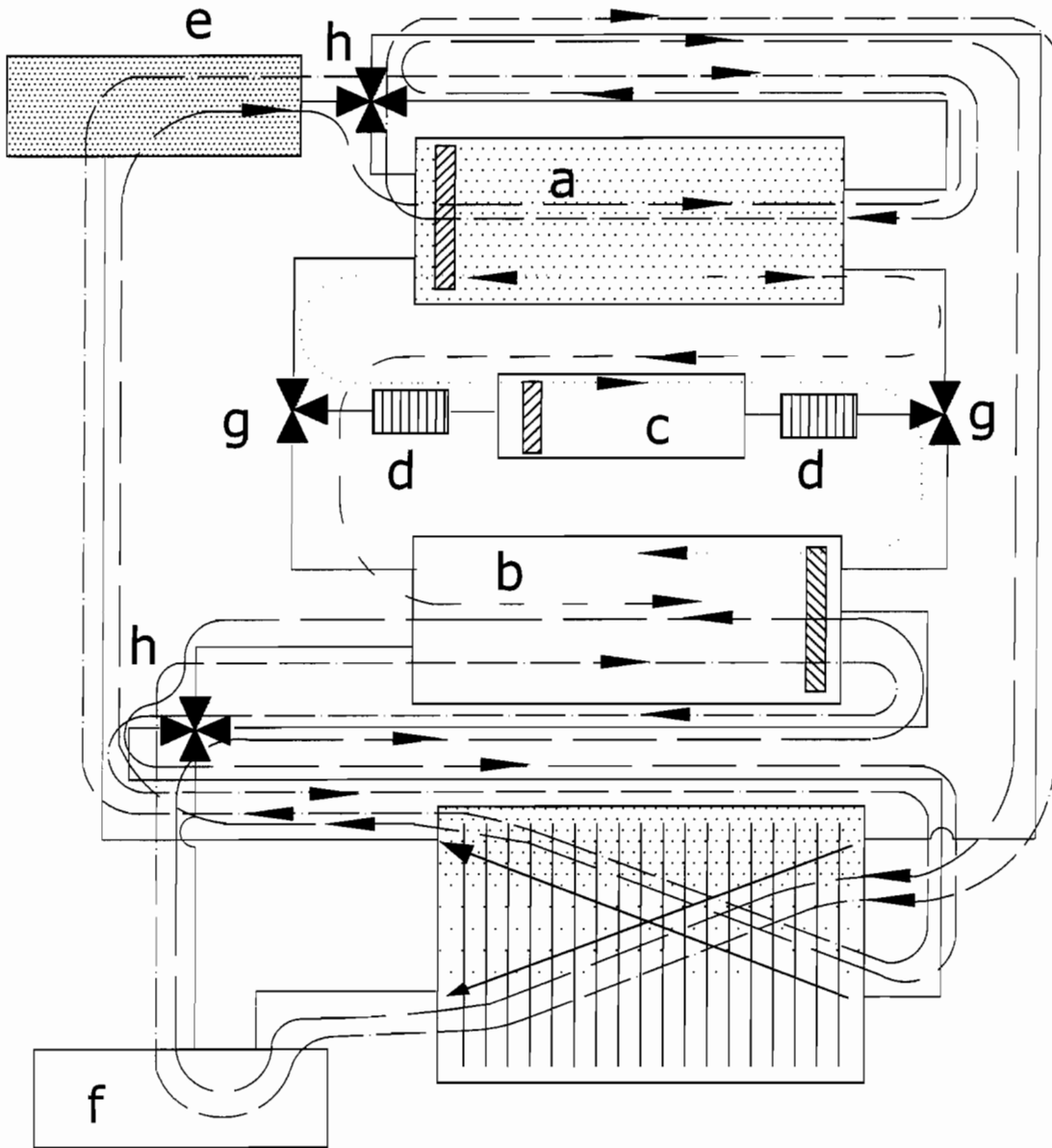


Fig.10



atom

Fig.11

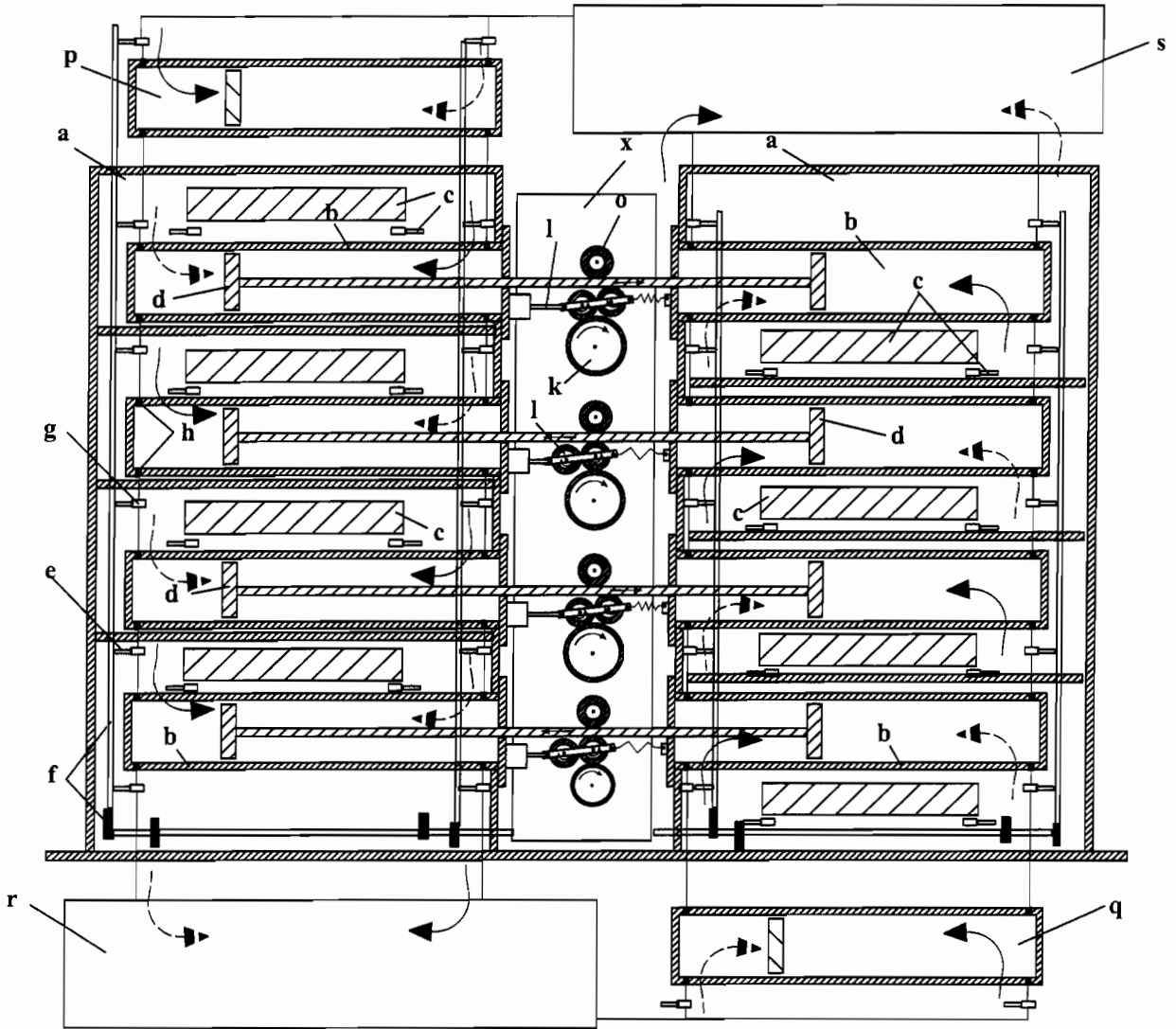


Fig.12

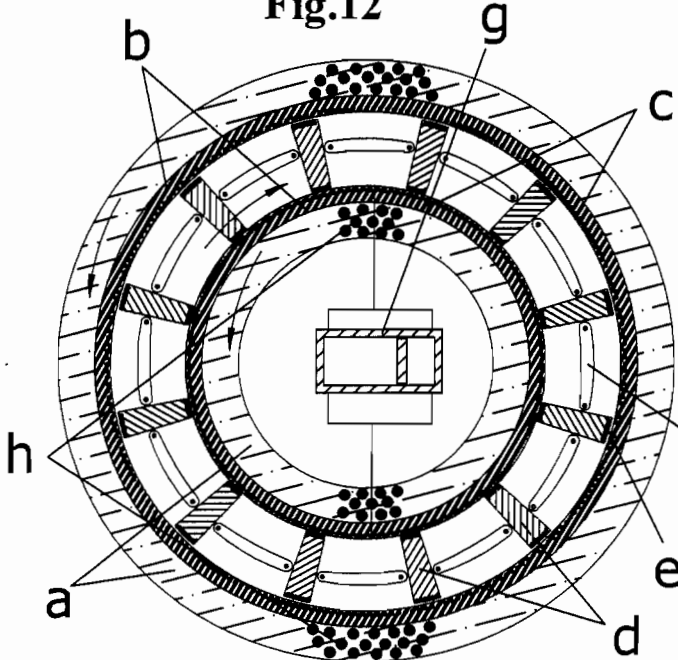
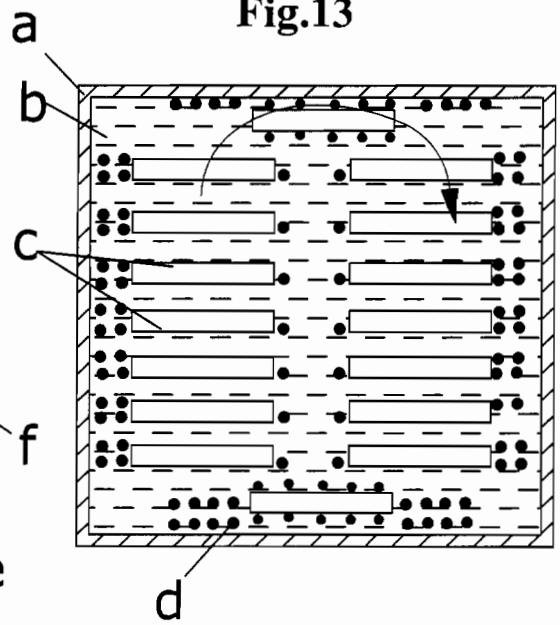


Fig.13



Handwritten signature

Fig.14

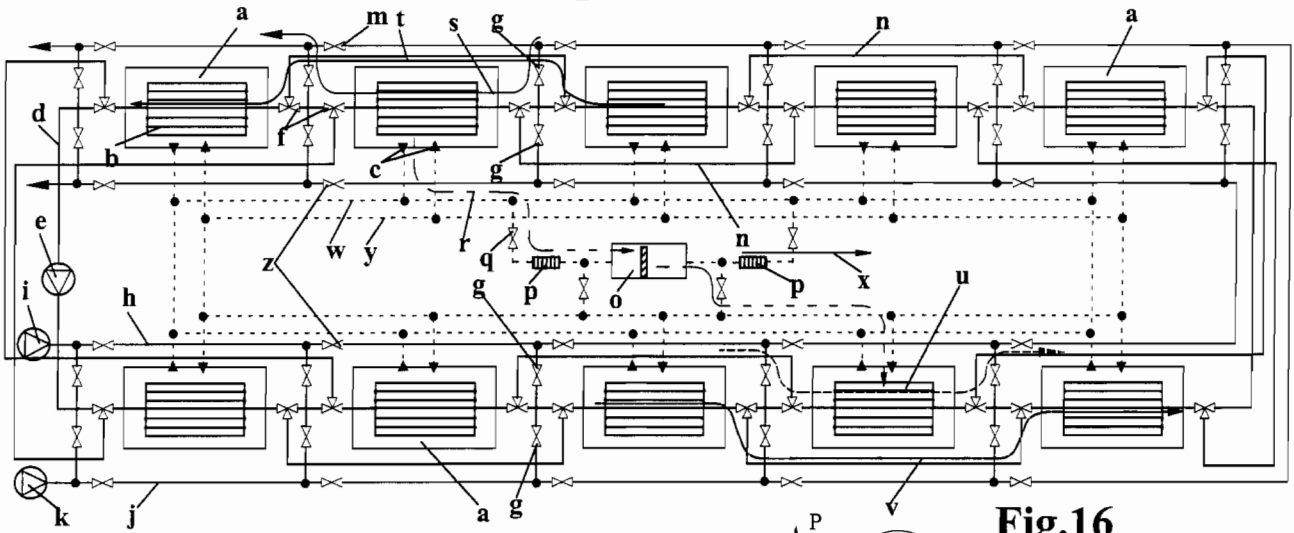


Fig.15

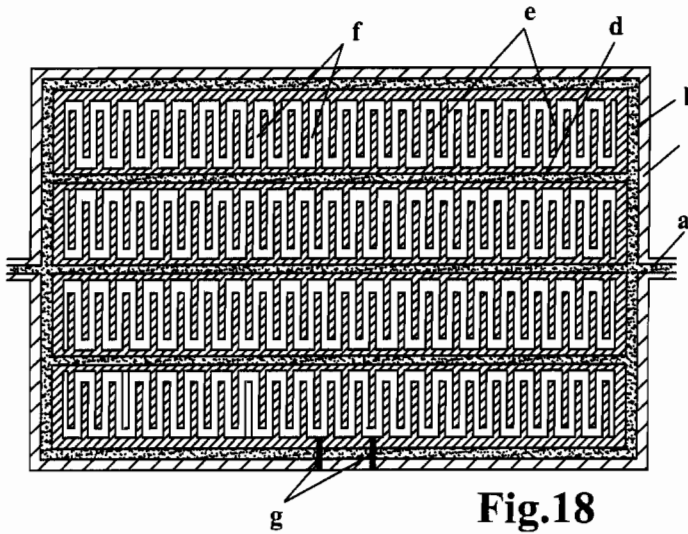


Fig.18

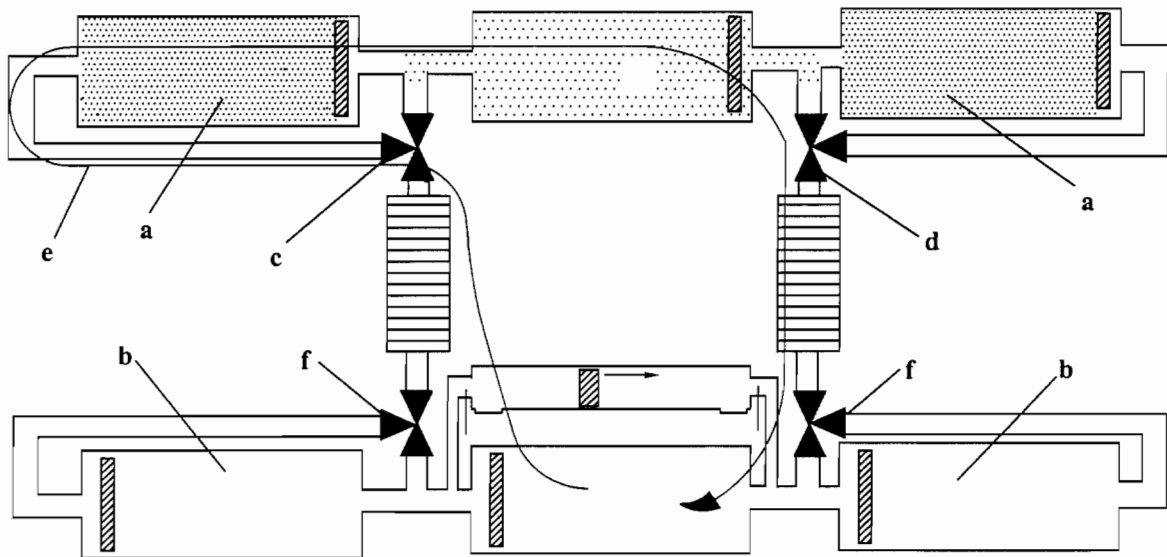


Fig.16

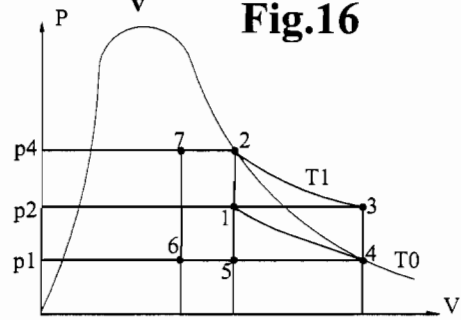
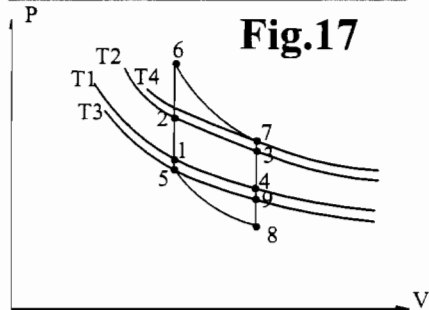


Fig.17



store