



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) **PI 1005789-7 A2**

(22) Data de Depósito: 27/12/2010
(43) Data da Publicação: 24/04/2013
(RPI 2207)



(51) *Int.Cl.*:
F02D 15/00
G01M 15/06

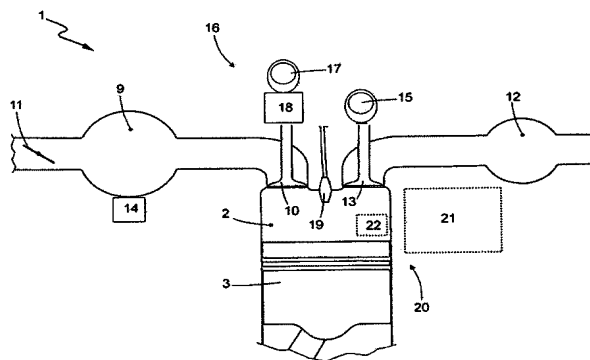
(54) Título: MÉTODO PARA CONTROLAR O MOVIMENTO DE UM COMPONENTE O QUAL SE MOVE EM DIREÇÃO A UMA POSIÇÃO DEFINIDA POR UM BATENTE EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

(30) Prioridade Unionista: 28/12/2009 IT BO2009A 000831

(73) Titular(es): MAGNETI MARELLI S.p.A.

(72) Inventor(es): MARCO PANCIROLI, STEFANO SGATTI

(57) Resumo: Método para controlar o movimento de um componente o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor de combustão interna. E descrito um método para controlar o movimento de um componente, o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor (1) de combustão interna; o método de controle compreendo as etapas de detectar, por meio de ao menos um microfone (22) acústico, a intensidade (S) do sinal do microfone gerado pelo impacto do componente contra o batente; e determinar o instante do impacto e/ou a velocidade de impacto do componente contra o batente através da análise da intensidade (S) do sinal do microfone gerado pelo impacto.



Método para controlar o movimento de um componente o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor de combustão interna.

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção se refere a um método para controlar o movimento de um componente o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor de combustão interna.

ESTADO DA TÉCNICA

Um motor de combustão interna compreende ao menos um cilindro, no qual um pistão executa com movimento alternado, cujo pistão é mecanicamente conectado a um eixo motor. O cilindro é conectado a um coletor de admissão por meio de ao menos uma válvula de admissão e está conectado a um coletor de exaustão por meio de ao menos uma válvula de exaustão. Em um motor de combustão interna tradicional, a posição das válvulas de admissão e das válvulas de exaustão é diretamente controlada por uma ou duas árvores de cames, a qual recebe o movimento do eixo de acionamento.

Um motor de combustão interna inovador foi recentemente sugerido (comercialmente conhecido como *Multi-Air*), o qual compreende um dispositivo de controle de abertura da válvula que controla as válvulas de admissão, gerenciando o ângulo de abertura e sua elevação (abertura), de modo a usar as válvulas de admissão para controlar o torque fornecido. O dispositivo de controle de abertura da válvula usa uma árvore de cames tradicional, a qual recebe o movimento do eixo de acionamento e compreende um atuador hidráulico controlado eletricamente (isto é controlado por meio de uma válvula solenóide), o qual se interpõe entre uma haste da válvula de admissão e a árvore de cames, para cada válvula de admissão. Ao controlar adequadamente cada atuador hidráulico, é possível ajustar o movimento transmitido pela árvore de cames à haste da válvula de admissão e, portanto, é possível ajustar a elevação real da válvula de admissão. Assim, a ação do dispositivo de controle permite variar a elevação real de cada válvula de admissão de forma independente das outras válvulas de admissão, para cada cilindro e ciclo do motor.

Em caso de problemas no circuito hidráulico o qual alimenta os atuadores hidráulicos do dispositivo de controle de abertura da válvula ou em caso de falha de um atuador hidráulico ou uma válvula solenóide do dispositivo de controle de abertura da válvula, a posição de uma ou mais válvulas de admissão não pode ser controlada corretamente (tipicamente a válvula de admissão afetada pelo mau funcionamento permanece sempre fechada). Em outras palavras, a abertura das válvulas de admissão não é mecanicamente garantida pelo came mecânico, devido aos atuadores hidráulicos serem interpostos entre as válvulas de admissão e o came mecânico e, é possível um mau funcionamento dos atuadores hidráulicos na cadeia de

controle/alimentação dos atuadores hidráulicos, o qual impede o funcionamento correto das válvulas de admissão.

Este tipo de avaria nunca tem um efetivo destrutivo sobre o motor de combustão interna, porque em todos os casos, o curso máximo de uma válvula de admissão é sempre limitado pelo perfil da árvore de cames, o qual é estudado para evitar qualquer tipo de interferência mecânica entre as válvulas de admissão e os pistões. Em todos os casos, este tipo de anomalia deve ser diagnosticado e tratado prontamente, pois afeta negativamente tanto o torque gerado pelo motor de combustão interna como a qualidade da combustão nos cilindros.

Para diagnosticar a falha na abertura de uma ou mais válvulas de admissão, tem sido sugerido associar um sensor de posição (possivelmente também do tipo ON/OFF, ou seja, um micro interruptor) para cada válvula de admissão, cujo sensor permite detectar a posição real da válvula de admissão correspondente em tempo real. No entanto, esta solução é muito cara, tanto em relação aos custos de aquisição, instalação e fiação dos sensores de posição e devido ao fato de que os sensores de posição devem ser devidamente isolados para suportar as altas temperaturas que podem ser atingidas na região do cabeçote de um motor de combustão interna.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

É o objetivo da presente invenção, fornecer um método para controlar o movimento de um componente, o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor de combustão interna, cujo método de controle é livre dos inconvenientes da arte e, em particular, é fácil de implementar e de baixo custo.

De acordo com a presente invenção, é fornecido um método para controlar o movimento de um componente, o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor de combustão interna, como descrito nas reivindicações em anexo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A presente invenção será ora descrita com referência aos desenhos inclusos, os quais ilustram uma forma de realização não limitativa da mesma, no quais:

- A figura 1 é uma vista esquemática de um motor de combustão interna fornecido com uma unidade de controle, a qual implementa o método para controlar o movimento de um componente, o qual ciclicamente se move em direção a uma posição definida por um batente, a qual é o objeto da presente invenção;
- A figura 2 é uma vista esquemática de um cilindro do motor de combustão interna na figura 1;
- A figura 3 é uma vista em perspectiva de um detalhe na figura 1;

- A figura 4 é um gráfico, o qual ilustra a variação da intensidade do sinal do microfone de acordo com o ângulo do motor e em condições predeterminadas do som ao redor;
- A figura 5 é um gráfico, o qual ilustra a FTT da intensidade do sinal do microfone;
- A figura 6 mostra um detalhe do gráfico da figura 5, com duas janelas de detecção em destaque;
- A figura 7 é um gráfico, o qual ilustra a FTT da intensidade do sinal do microfone nas duas janelas de detecção;
- A figura 8 é um gráfico, o qual ilustra a intensidade do sinal do microfone, após uma operação de filtragem tipo passa-banda em uma janela de análise;
- A figura 9 é um gráfico, o qual ilustra a potência do sinal do microfone dentro da janela de análise filtrada pela operação passa-banda e identifica um valor limite superior;
- As figuras 10, 11 e 12 são três gráficos, os quais ilustram as etapas para determinar, em seqüência, a mediana e a média dos valores mais altos do valor-limite superior; e
- A figura 13 é um gráfico, o qual ilustra a energia do sinal do microfone de acordo com a velocidade do motor de combustão interna.

FORMA DE REALIZAÇÃO PREFERIDA DA INVENÇÃO

Na figura 1, o número 1 indica, em seu conjunto, um motor de combustão interna compreendendo quatro cilindros 2 em uma disposição em linha reta. Cada cilindro 2 compreende um respectivo pistão 3 mecanicamente conectado por meio de uma biela de um eixo de acionamento 4 para transmitir a força gerada pela combustão no cilindro 2 ao próprio eixo de acionamento 4.

Um motor elétrico 5 de partida, o qual é alimentado por uma bateria 6 e é adaptado para girar o eixo de acionamento 4 para dar partida no motor 1 de combustão interna, é montado sobre o eixo de acionamento 4. Um voltímetro 7, o qual detecta a tensão V da bateria, está conectado aos terminais da bateria de 6, além disso, o eixo de acionamento 4 é acoplado a um sensor de velocidade 8 (tipicamente uma roda fônica), a qual detecta uma velocidade ω de rotação do eixo de acionamento 4.

Como mostrado na figura 2, o motor 1 de combustão interna compreende um coletor de admissão 9, o qual é conectado a cada cilindro 2 por meio de duas válvulas de admissão 10 (das quais apenas uma é mostrada na figura 2) e recebe o ar fresco (ou seja, o ar do ambiente externo) através de uma válvula borboleta 11 móvel entre uma posição de fechada e uma posição de abertura máxima. Além disso, o motor 1 de combustão interna compreende um coletor de exaustão 12, a qual é conectada a cada cilindro 2 por meio de ao menos uma válvula de exaustão 13, a qual flui em uma tubulação de emissão (não mostrada) para emitir os gases produzidos durante a combustão para a atmosfera. Um sensor 14 de pressão, o qual mede a pressão P de entrada, é disposto no coletor de admissão 9.

A posição de cada válvula de exaustão 13 é diretamente controlada pela árvore de cames 15, a qual recebe o movimento do eixo de acionamento 4; por sua vez, a posição das válvulas de admissão é controlada por um dispositivo de controle 16, o qual controla as válvulas de admissão 10 que gerenciam o ângulo de abertura e a elevação (abertura) de modo a controlar o torque fornecido, por meio das

5 válvulas de admissão 10. O dispositivo de controle 16 de abertura da válvula usa uma árvore de cames 17 tradicional, a qual recebe o movimento do eixo de acionamento 4 e, para cada válvula de admissão 10, compreende um atuador hidráulico 18 eletricamente controlado (ou seja controlado por meios de uma válvula solenóide), o qual é interposto

10 entre uma haste da válvula de admissão 10 e a árvore de cames 17. Ao controlar adequadamente cada atuador hidráulico 18, é possível ajustar o movimento transmitido pela árvore de cames 17 da haste 10 da válvula de admissão e, portanto, é possível ajustar a elevação real da válvula de admissão 10. Assim, a ação do dispositivo de controle 16 permite variar a elevação real de cada válvula de admissão 10, de forma

15 independente das outras válvulas de admissão 10, para cada cilindro e ciclo do motor.

O motor 1 de combustão interna mostrado na figura 2 é do tipo de injeção direta, portanto, é fornecido um injetor 19, o qual injeta o combustível diretamente no cilindro 2, para cada cilindro 2. De acordo com uma forma de realização diferente (não mostrada), o motor 1 de combustão interna é do tipo injeção indireta e,

20 portanto, um injetor 19 correspondente é disposto para cada cilindro 2 a montante do cilindro em um coletor de admissão, o qual liga o coletor de admissão 9 ao cilindro 2.

Por fim, o motor 1 de combustão interna compreende um sistema de controle 20, o qual é adaptado para regular a operação do próprio motor 1 a combustão interna. O sistema de controle 20 compreende ao menos uma unidade de

25 controle eletrônica 21 (normalmente chamada "ECU"), a qual controla o movimento das válvulas de admissão 10.

Como mostrado em maior detalhe na figura 3, o sistema de controle 20 ainda compreende ao menos um sensor 22 acústico para o nível da pressão, ou seja, um microfone 22, o qual é ligado à unidade de controle eletrônica 21 e é

30 adaptado para detectar a intensidade do sinal S do microfone, o qual detecta o movimento dos componentes do motor, por exemplo, as válvulas de exaustão 13.

Como mostrado em maior detalhe na figura 3, o microfone 22 é claramente disposto em distâncias diferentes, diminuindo as distâncias em relação às válvulas de exaustão 13, indicadas por 13A, 13B, 13C e 13D, cada uma das quais

35 estando associada a um respectivo cilindro 2.

O microfone 22 é do tipo omnidirecional, mas alternativamente pode ser direcional e, neste caso seria, obviamente, orientado para as válvulas de exaustão 13, além disso, é usada uma frequência de amostragem

relativamente alta, tendo um valor na ordem de grandeza de 100 kHz, para adquirir a intensidade S do sinal do microfone.

A figura 4 mostra, por meio de exemplo, um gráfico, o qual representa a variação da intensidade S do sinal do microfone, o qual detecta o conteúdo do som do motor 1 de combustão interna e, assim, também a atuação das válvulas de exaustão 13, em função do tempo, o qual é expresso em graus de ângulo do motor. O gráfico da figura 4 mostra um sinal não filtrado, o qual é adquirido pelo microfone 22 em condições predeterminadas do som ao seu redor. Na verdade, um sinal do tipo mostrado no gráfico da figura 4 se refere às condições do motor 1 de combustão interna, considerando as válvulas de admissão 10 fechadas.

Durante o ciclo de operação, a intensidade S do sinal do microfone, gerado pelo movimento das válvulas de exaustão 13 de acordo com o ângulo do motor, é detectada pelo microfone 22 e memorizada em um *buffer* (acumulador). Como mostrado anteriormente, uma amostra de frequência relativamente alta pode ser usada para adquirir a intensidade S do sinal do microfone.

Conforme mostrado no gráfico da figura 4, o sinal é rico em informações, mas complicado para correlacionar o instante e a intensidade do impacto, ou seja, a velocidade do impacto de fechamento das válvulas de exaustão 13. A Transformada Rápida de Fourier (FFT) deve ser operada para obter essa informação, a fim de separar o sinal obtido em uma soma de harmônicos com frequências diferentes, extensões e fases, como mostrado no gráfico da figura 5. As duas janelas de detecção W e V , expressas em graus de ângulo do motor, devem ser determinadas de modo a se determinar quais são as frequências associadas ao impacto gerado pelo fechamento das válvulas de exaustão 13.

Conforme mostrado na Figura 6, a janela de detecção W tem um ângulo inicial do motor α_{w_start} , o qual corresponde a um ângulo de -15° do motor com relação ao ponto morto superior (*upper combustion top dead centre*) TDC do respectivo cilindro 2 e, um ângulo final do motor α_{w_finish} , o qual corresponde a um ângulo de $+75^\circ$ do motor em relação ao ponto morto superior TDC. A janela de detecção W é, portanto, centrada sobre o ponto morto superior TDC.

A janela V de detecção tem um ângulo inicial do motor α_{v_start} , o qual corresponde, em vez de um ângulo de $+75^\circ$ do motor em relação ponto morto superior TDC (e, portanto, coincidindo com o ângulo do motor α_{w_finish} da janela W de detecção) e um ângulo final do motor α_{v_finish} , o qual corresponde a um ângulo de 165° do motor em relação ponto motor superior TDC. A janela V de detecção é uma janela de detecção neutra, por assim dizer, uma vez que abrange um intervalo, expresso em graus do motor, para além do fechamento das válvulas de exaustão 13.

Uma vez definida a extensão das duas janelas W e V de

detecção, a Transformada Rápida de Fourier (FFT) é operada para separar o sinal relacionado com as duas janelas W e V de detecção. Comparando os sinais relacionados à detecção de janela W e ao sinal relacionado com a janela V de detecção, é possível determinar quais frequências são associadas ao impacto gerado pelo movimento das válvulas de exaustão 13.

Como melhor mostrado no gráfico da figura 7, é identificada uma janela Y de análise, a qual corresponde à janela de frequências, as quais podem ser associadas ao impacto do fechamento das válvulas de exaustão 13 contra um respectivo batente, produzindo uma vibração. Esta análise da janela Y é compreendida, no exemplo mostrado na figura 7, na faixa de 5,5 a 8,5 KHz.

Em seguida, a figura 8 mostra um gráfico, o qual ilustra a FFT para a intensidade S do sinal do microfone detectada na janela Y de análise com uma filtragem passa-banda, a qual pode ser aplicada de modo a analisar apenas a parte do sinal mais rico em informação.

O sinal que é obtido permite associar o impacto gerado pelo fechamento de uma válvula de exaustão 13 no instante de fechamento, expresso em graus de ângulo do motor. O sinal que é obtido contém mais informações, na verdade, a extensão do sinal é maior quanto mais próximo da válvula de exaustão 13 estiver o microfone 22, como será melhor descrito abaixo.

É descrito a seguir o método utilizado pela unidade de controle 21 para detectar o instante e/ou a velocidade do impacto gerado pelo fechamento das válvulas de exaustão 13, pela análise da potência P do sinal filtrado na janela Y de análise.

Depois de se ter determinada a potência P do sinal filtrado, é determinado um valor limite superior UTV para a potência P do sinal filtrado calculado na etapa anterior. O gráfico mostrado na figura 9 mostra o padrão da potência P do sinal filtrado e o valor limite superior UTV, o qual é determinado em função da velocidade.

Neste ponto, os valores de grau de motor são identificados no gráfico da figura 9, para o qual um sinal de potência P superior corresponde ao valor limite superior UTV. É determinada a mediana M, ou seja, o valor da força P, o qual é a média da distribuição ordenada do conjunto de valores assumidos na etapa anterior, ou seja, os valores de potência P maiores que o valor limite superior UTV.

Uma escala de valores é obtida, a qual é delimitada por um valor limite superior L_u e por um valor limite inferior L_L e é centrada na mediana M. Finalmente, é calculado o valor médio α_{medio} de todos os valores de ângulo do motor, os quais estão incluídos na faixa delimitada pelo valor limite superior L_u e pelo valor limite inferior L_L .

O ângulo expresso em graus do motor correspondente ao

fechamento da válvula de exaustão 13 é igual à diferença entre o valor médio α_{medio} calculado anteriormente e uma contribuição imputável do atraso de transmissão Δt , devido à propagação do som.

É descrito abaixo o método utilizado pela unidade de controle 21 para o cálculo do atraso de transmissão Δt , devido à propagação do som.

Durante uma determinada fase de projeto, como mostrado na figura 3, são determinadas as distâncias d1-d4 existentes entre o microfone 22 e de cada válvula de exaustão 13, o movimento de um respectivo cilindro 2, o qual se pretende verificar (ou seja, a distância entre o microfone 22 e membro do motor de combustão interna, o qual impacta em um respectivo batente em uma etapa de fechamento).

O atraso de transmissão Δt é calculado usando as distâncias d1-d4, a velocidade do som v_{sound} e a velocidade de rotação w da árvore de cames 15; o atraso de transmissão Δt , o qual é expresso em graus do motor e indica o atraso com que o microfone 22 ouve a intensidade S do sinal do microfone gerado no motor 1 de combustão interna pelo fenômeno investigado, ou seja, neste caso, pelo fechamento das válvulas de exaustão 13.

Preferencialmente, é calculado o atraso de transmissão Δt expresso em graus do motor, aplicando a seguinte equação, assumindo que o cilindro 2 é levado em consideração:

$$\Delta t = (d2/v_{\text{sound}}) * 6 * w$$

na qual:

Δt [°] atraso de transmissão, expresso em graus do motor;

d2 [m] distância existente entre o microfone 22 e elemento do motor 1 de combustão interna, o movimento do qual se pretende controlar, ou seja, a válvula de exaustão 13 do cilindro 2;

w [rpm] velocidade de rotação do excêntrico 15; e

v_{sound} [m / s] a velocidade de propagação do som no ar.

O sinal relacionado com a válvula de exaustão 13 do cilindro 2A tem uma maior extensão que a extensão dos sinais no outros cilindros 2B-2D, porque cilindro 2A está mais próximo do microfone 22. Da mesma forma, os sinais relacionados com o fechamento das válvulas de exaustão 13 dos cilindros 2B, 2C e 2D diminuem gradualmente as extensões, porque as válvulas de exaustão 13 estão dispostas a distâncias cada vez maiores d2, d3, d4 do microfone 22.

Neste ponto, é assim possível calcular o ângulo expresso em graus do motor correspondente ao fechamento de qualquer válvula de exaustão 13 de acordo com a seguinte equação:

$$\alpha_{v_close} = \alpha_{\text{medio}} - \Delta t$$

na qual:

Δt [°] atraso de transmissão, expresso em graus do motor;

α_{medio} [°] valor médio α_{medio} de todos os valores de ângulo do motor os quais estão incluídos na faixa delimitada pelo valor limite superior L_u e pelo valor limite inferior L_L ;

5 α_{v_close} [°] ângulo de fechamento da válvula de exaustão 13.

De acordo com uma variante, o valor médio α_{medio} dos valores instantâneos de ângulo do motor de fechamento das válvulas de exaustão 13 é calculado usando a derivada da potência do sinal medido pelo microfone 22 ao longo do tempo.

10 De acordo com ainda outra variante, ao filtro passa-banda da intensidade S do sinal do microfone na janela de análise de Y é aplicada uma ênfase, de modo a enfatizar, na informação, a parte mais rica do sinal. A potência do sinal resultante pode então ser calculada e o método descrito acima pode ser usado para identificar o instante de fechamento das válvulas de exaustão 13 de acordo com a
15 potência.

O sinal detectado pelo microfone 22 pode também ser utilizado para determinar a velocidade do impacto gerado pelo fechamento das válvulas de exaustão 13.

20 A energia E do sinal S filtrado com o passa-banda ilustrado na figura 8 deve ser determinada a fim de detectar a velocidade de fechamento das válvulas de exaustão 13, ou seja, a velocidade de impacto da válvula de exaustão 13 em si.

A energia E do sinal S do microfone filtrada com o passa-banda é calculado por meio da integração numérica do microfone sinal S filtrado em si.
25 Em particular, o sinal S filtrado do microfone levado em consideração é compreendido na janela Y de análise (compreendido entre 5,5 e 8,5 KHz), a qual corresponde à janela de frequências associáveis ao impacto das válvulas de exaustão 13, a qual fecha e depois impacta contra um respectivo batente produzindo uma vibração. Além disso, o sinal S filtrado do microfone, o qual é levado em consideração, está relacionado a um intervalo
30 de tempo, o qual tem uma duração predefinida e está centrado no ângulo de fechamento α_{v_close} anteriormente calculado da válvula de exaustão 13.

Do ponto de vista operacional, a energia E do sinal S do microfone está correlacionada com a velocidade de impacto da válvula de exaustão 13 em uma respectiva sede: por exemplo, no caso de motor com árvore de came, a
35 velocidade é proporcional à RPM do motor 1 de combustão interna, como mostrado na figura 13. De fato, é sabido que as rampas de abertura e fechamento das válvulas estão a uma velocidade constante em função do ângulo da árvore de cames e, portanto, proporcionais à velocidade de rotação do motor 1 de combustão interna. Em particular, a

lei experimental da energia E do sinal S do microfone filtrada pela velocidade de impacto da válvula de exaustão 13 em uma respectiva sede é essencialmente quadrática (ou preferencialmente cúbica).

Em uma fase preliminar do projeto é determinada a função preferencial biunívoca, a qual correlaciona a energia E do sinal S do microfone filtrado em função da velocidade de impacto da válvula de exaustão 13, por exemplo, por meio de diversas aquisições, o qual pode ser instalado na unidade de controle eletrônica 21.

A fim de detectar a velocidade de impacto ou fechamento da válvula de exaustão 13, é estabelecido um número de ciclos N , o qual, para repetir as etapas de detecção da energia E do sinal do microfone S filtrado, para obter os N valores de velocidade de impacto ou fechamento da previamente identificada função biunívoca. Os N valores da velocidade são obtidos depois de ter repetido N ciclos de detecção, cujos N valores são memorizados em um *buffer* de memória. A velocidade de impacto ou fechamento é calculada como o valor médio dos N valores: por exemplo, como média aritmética ou usando o método previamente descrito para detectar o instante do impacto ou o tempo da válvula de exaustão 13.

De acordo com uma variante, o N número de ciclos, no qual, para repetir a operação de detecção de energia E do sinal S do microfone filtrado é estabelecido de acordo com uma variante, para detectar a velocidade do impacto de fechamento da válvula de exaustão 13. Depois de ter repetido os N ciclos de detecção, são obtidos N valores de energia E , os quais são memorizados em um *buffer* de memória. A energia E média é calculada como o valor médio dos N valores de energia E detectados acima (por exemplo, a média aritmética ou usando o método da mediana descrito anteriormente). A função de correlação, previamente identificada para correlacionar a energia E média e a velocidade de impacto ou fechamento da válvula de exaustão 13 é utilizada para obter a velocidade de impacto.

De acordo com ainda mais uma variante, o método de controle descrito para este fim, é capaz de calcular a pressão sonora e os níveis de potência (ou seja, as ondas de pressão acústica) detectada pelo microfone 2 e gerada pelo impacto. Durante a fase de projeto e configuração, ao menos, um valor limite V_{SPr} com o qual comparar o nível de pressão sonora calculado e ao menos um valor limite V_{SP} com o qual comparar com o nível de potência sonora calculados, são determinados.

Por exemplo, os valores limite V_{SPr} e V_{SP} podem ser estabelecidos de acordo com o ruído percebido pelo transmissor (*driver*), de modo a diagnosticar o ruído excessivo do motor 1 de combustão interna quando a pressão calculada e os valores sonoros são maiores que os valores limite V_{SPr} e V_{SP} predeterminados. Obviamente, uma pluralidade de valores limite V_{SPr} e V_{SP} poderão ser fornecidos, os quais indicam, por exemplo, ou a ausência de ruído produzido pelo motor 1

de combustão interna ou a presença de um modesto e aceitável ruído ou a presença de um excessivo e não suportável ruído.

O método descrito para este fim, com referência para estimar o instante de fechamento e a velocidade das válvulas de exaustão 13 também podem ser usados para estimar o instante e o fechamento de qualquer outro componente do motor 1 de combustão interna, o qual se move ciclicamente de uma posição (de abertura ou de fechamento) inicial para uma posição (de abertura ou de fechamento) final definida por um batente.

É evidente que a extensão das bandas de frequências as quais identificam a janela Y de análise e das janelas de detecção W, V, etc., devem ser determinadas de acordo com os componentes do instante de fechamento e da velocidade, dos quais se pretende investigar.

Depois de ter determinado o ângulo α_{v_close} de fechamento da válvula de exaustão 13, do valor da velocidade de fechamento das válvulas de exaustão 13 e da pressão sonora e níveis de potência, uma ou mais destas grandezas podem ser usadas como realimentação (*feedback*) do controle em circuito fechado. Em particular, os valores médios alvo dessas grandezas, os quais representam o impacto da válvula de exaustão 13, ou seja, o ângulo α_{v_close} de fechamento, a velocidade de fechamento e a pressão sonora e os níveis de potência podem ser determinados em uma fase de projeto e configuração preliminar do sistema de controle.

Tais valores médios alvo são comparados com os valores detectados de modo a obter um erro E, o qual é usado para determinar a contribuição em circuito fechado, atentando a anular o erro E em si.

A descrição acima é vantajosamente aplicada também para o controle de movimentação de outros componentes, além das válvulas de exaustão 13, os quais se movem em direção a uma posição definida por um batente, sem por isso perder na generalidade: por exemplo, a válvula de admissão 10, para o controle das válvulas solenóide, como em um motor de combustão interna do tipo conhecido comercialmente como "*Multi-Air*", para o injetor de combustível.

O método de controle pode ser implementado, por exemplo, para controlar as válvulas de admissão 10, para controlar a posição em um sistema de acionamento de válvulas com tempo variável VVT (*Variable Valve Timing*), de tipo conhecido, para controlar as válvulas do motor sem cames, etc.

O método de controle descrito para este fim, para determinar o instante de fechamento e a velocidade de um componente, o qual ciclicamente se move em direção a uma posição definida por um batente tem muitas vantagens, porque é fácil de implementar também em uma unidade de controle eletrônica existente, sem requerer uma alta carga computacional adicional. Além disso, é

necessário apenas inserir um microfone 22 omnidirecional no interior do motor 1 de combustão interna e conectá-lo à unidade de controle eletrônica 21.

5 Finalmente, o método permite estimar, com elevada precisão e confiança, o impacto imediato e/ou velocidade de impacto do componente contra o batente, analisando o sinal do microfone gerado pelo impacto em si.

Reivindicações

1. Método para controlar o movimento de um componente, o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor (1) de combustão interna, o método de controle sendo **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas de:

- detectar, por meio de ao menos um microfone (22) acústico, a intensidade (S) do sinal do microfone gerado pelo impacto do componente contra o batente; e
- determinar o instante do impacto e/ou a velocidade de impacto do componente contra o batente, através da análise da intensidade (S) do sinal do microfone gerada pelo impacto.

2. Método de controle, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- determinar, em uma fase de projeto preliminar, uma distância (d) existente entre o microfone (22) e o componente, cujo instante de impacto e/ou velocidade de impacto contra o batente deve ser determinado;
- calcular um atraso de transmissão (Δt), expresso em ângulo de motor de acordo com uma velocidade de rotação (w) de um eixo de acionamento (15) do motor (1) de combustão interna e com a distância (d) existente entre o microfone (22) e o componente; e
- determinar o instante do impacto e/ou a velocidade de impacto do componente contra o batente, também de acordo com o atraso de transmissão (Δt).

3. Método de controle, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o atraso de transmissão (Δt), expresso no ângulo do motor é calculado aplicando a seguinte equação:

$$\Delta t = [(d / v_{\text{sound}}) w *]$$

Δt atraso de transmissão, expresso em ângulo do motor;

d distância existente entre o microfone (22) e o componente;

w velocidade de rotação do eixo de acionamento (15);

V_{sound} velocidade de propagação do som no ar.

4. Método de controle, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que o ângulo correspondente ao instante do impacto do componente contra o respectivo batente é calculado aplicando a seguinte equação:

$$\alpha_{v_close} = \alpha_{\text{medio}} - \Delta t$$

Δt atraso de transmissão, expresso em ângulo do motor;

α_{medio} valor médio do ângulo correspondente ao momento do impacto calculado pela análise do sinal do microfone gerada pelo impacto;

α_{v_close} ângulo corresponde ao impacto do componente contra o respectivo batente.

5. Método de controle, de acordo com uma qualquer dentre

as reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- determinar em uma janela (Y) de análise da intensidade (S) do sinal do microfone;
- detectar, por meio do microfone (22) e, memorizar a intensidade (S) do sinal do microfone de acordo com um ângulo de motor e com o tempo dentro da janela (Y) de análise; e
- determinar o instante do impacto e/ou a intensidade do impacto, analisando a intensidade (S) do sinal do microfone dentro da janela (Y) de análise.

6. Método de controle, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que o método compreende, em uma fase de projeto e configuração preliminar, as etapas adicionais de:

- determinar as duas janelas (W, V) de detecção, expresso em ângulo do motor e tendo cada um respectivo ângulo inicial do motor (α_{w_start} , α_{v_start}) e um respectivo ângulo final do motor (α_{w_finish} , α_{v_final});
- comparar a intensidade (S) do sinal do microfone nas duas janelas (W, V) de detecção; e
- determinar a extensão da janela (Y) de análise com base na comparação entre a intensidade (S) do sinal do microfone nas duas janelas (W, V) de detecção.

7. Método de controle, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o método compreende, em uma fase de projeto e configuração preliminar, a etapa adicional de realizar uma Transformada Rápida de Fourier da intensidade (S) do sinal do microfone nas duas janelas (W, V) de detecção, a fim de determinar a extensão da janela (Y) de análise.

8. Método de controle, de acordo com as reivindicações 5, 6 ou 7, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- filtrar a intensidade (S) do sinal do microfone dentro da janela (Y) de análise por meio de um filtro passa-banda; e
- calcular o instante do impacto e/ou a velocidade do impacto, usando a intensidade filtrada (S) do sinal do microfone dentro da janela (Y) de análise.

9. Método de controle, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de compreender a etapa adicional de ênfase do sinal filtrado na banda do filtro passa-banda, por meio de um dispositivo de ênfase.

10. Método de controle, de acordo com as reivindicações 8 ou 9, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- detectar e memorizar a potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise; e
- determinar o instante do impacto com base na potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise.

11. Método de controle de acordo com as reivindicações 8

ou 9, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- detectar e memorizar a potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise; e
- determinar o instante do impacto com base na derivada no tempo da potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise.

5 12. Método de Controle de acordo com as reivindicações 10 ou 11, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- determinar um valor limite superior (UTV), da potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise;
- identificar os instantes nos quais a potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise é maior que o valor limite superior (UTV); e
- determinar o valor médio do instante do impacto do componente dentro da janela (Y) de análise com base nos valores de potência (P) associados com os instantes nos quais a potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise sejam superiores ao valor limite superior (UTV).

15 13. Método de Controle, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- determinar a mediana (M), dos valores de potência (P) associados com os instantes nos quais a potência (P) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise sejam maiores que o valor limite superior (UTV);
- identificar um intervalo de valores centrados na mediana (M); e
- calcular o valor médio do instante do impacto dentro da janela (Y) de análise como média dos valores de potência (P) contidos no intervalo de valores centrados na mediana (M).

25 14. Método de controle, de acordo com uma qualquer dentre as reivindicações de 1 a 13, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- detectar e memorizar a energia (E) do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise em um intervalo de tempo em torno do momento do impacto; e
- determinar a velocidade de impacto do componente, utilizando a energia (E) do sinal dentro da janela (Y) de análise.

30 15. Método de controle, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- estabelecer, em uma fase de projeto e configuração, um número (N) de ciclos e uma lei de correlação da energia (E) do sinal filtrado do microfone (S) com a velocidade de impacto do componente;
- detectar e memorizar em um buffer de memória um número (N) de valores da velocidade de impacto do componente, obtido a partir da correlação com a energia (E) do sinal filtrado do microfone (S) dentro da janela (Y) de análise, igual ao número

(N) de ciclos; e

- determinar a velocidade de impacto do componente usando a média dos valores da velocidade de impacto obtido a partir do sinal filtrado dentro da janela (Y) de análise.

16. Método de controle, de acordo com a reivindicação 15,

caracterizado pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- determinar a mediana (M) dos valores da velocidade de impacto do componente;
- identificar um intervalo de valores centrados na mediana (M); e
- calcular o valor médio da velocidade de impacto dentro da janela (Y) de análise como média dos valores da velocidade de impacto contidos dentro do intervalo de valores centrados na mediana (M).

17. Método de controle, de acordo com uma qualquer dentre as reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de que o componente é uma válvula (10, 13) do motor (1) de combustão interna e o impacto ocorre na correspondência do fechamento da dita válvula (10, 13).

18. Método de controle, de acordo com uma qualquer dentre as reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- detectar e memorizar a potência do som e/ou dos níveis de pressão sonora do sinal do microfone gerado pelo impacto do componente contra o batente;
- estabelecer, em uma fase de projeto, ao menos, um valor limite (V_{SP}) para o nível de potência sonora do sinal do microfone e ao menos um valor limite (V_{SPr}) para o nível de pressão sonora do sinal do microfone;
- comparar a potência do som e/ou dos níveis de pressão sonora do sinal do microfone gerado pelo impacto do componente contra o batente com os respectivos valores limite (V_{SP} , V_{SPr}); e
- diagnosticar o excesso de ruído do motor (1) de combustão interna, no caso em que os valores calculados da potência do som e/ou da pressão sonora do sinal do microfone gerado pelo impacto do componente contra o batente sejam superiores aos respectivos valores de limite (V_{SP} , V_{SPr}).

19. Método de controle, de acordo com uma qualquer dentre as reivindicações anteriores, **caracterizado** pelo fato de compreender a etapa adicional de utilizar os valores calculados por uma quantidade representativa de impactos do componente contra o batente como realimentação em um controle em circuito fechado.

20. Método de controle, de acordo com a reivindicação 19,

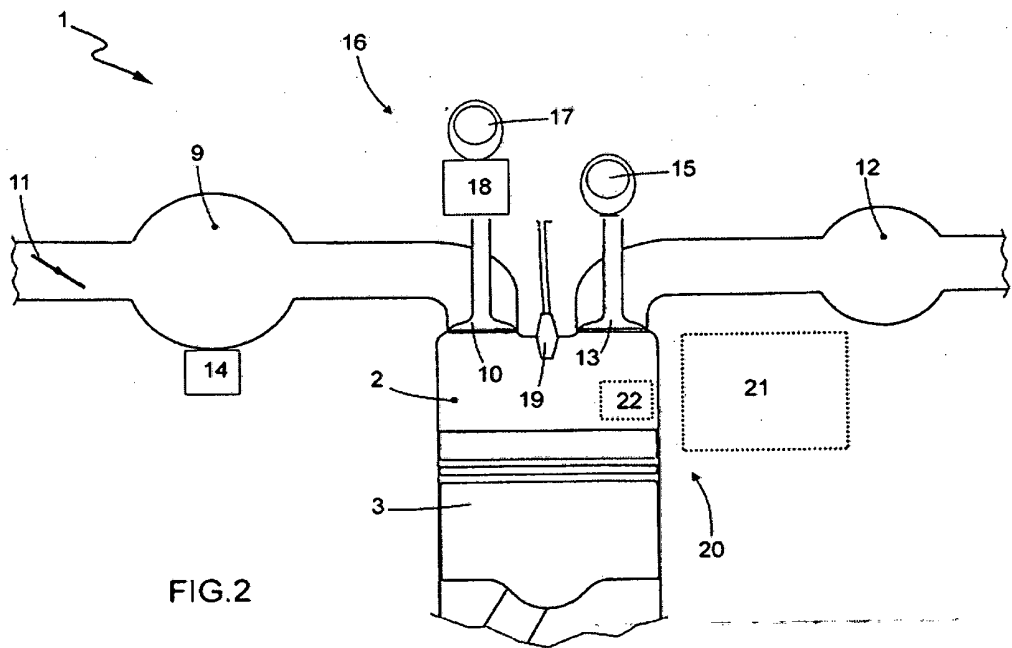
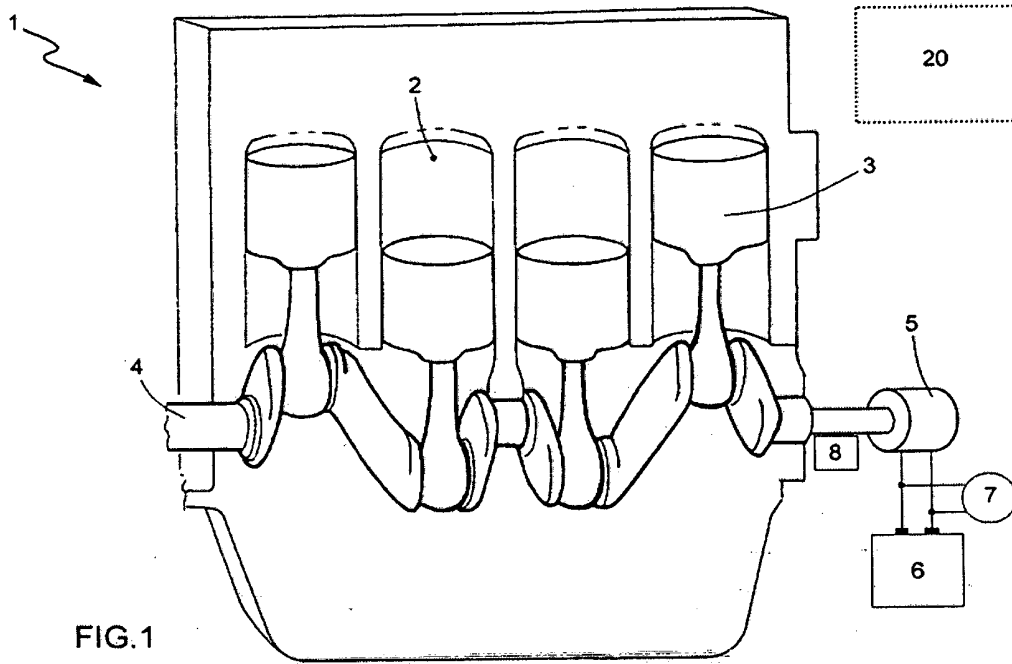
caracterizado pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- determinar, em uma fase de projeto e configuração preliminar, um valor médio objetivo de uma quantidade representativa do impacto do componente contra o batente;

- determinar um erro (E) a partir da comparação entre o valor médio objetivo e o valor calculado da quantidade representativa de impacto do componente contra o batente;
e
- determinar a contribuição em circuito fechado, de acordo com o erro (E).

5

21. Método de controle, de acordo com as reivindicações 19 ou 20, **caracterizado** pelo fato de que a quantidade representativa é o instante e/ou a velocidade e/ou a potência de som e/ou a pressão do som do impacto do componente contra o batente.



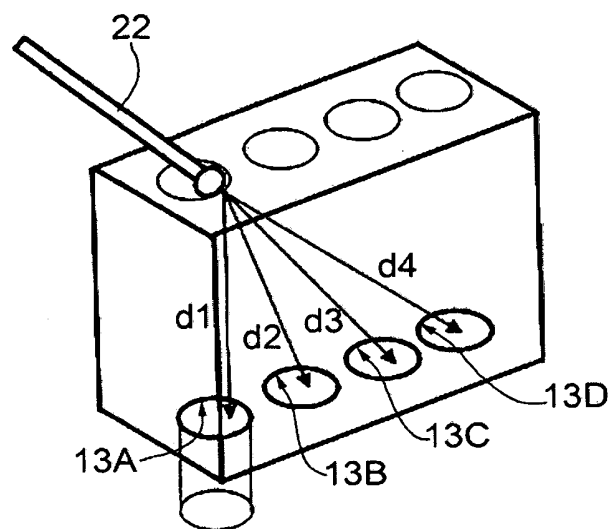


FIG. 3

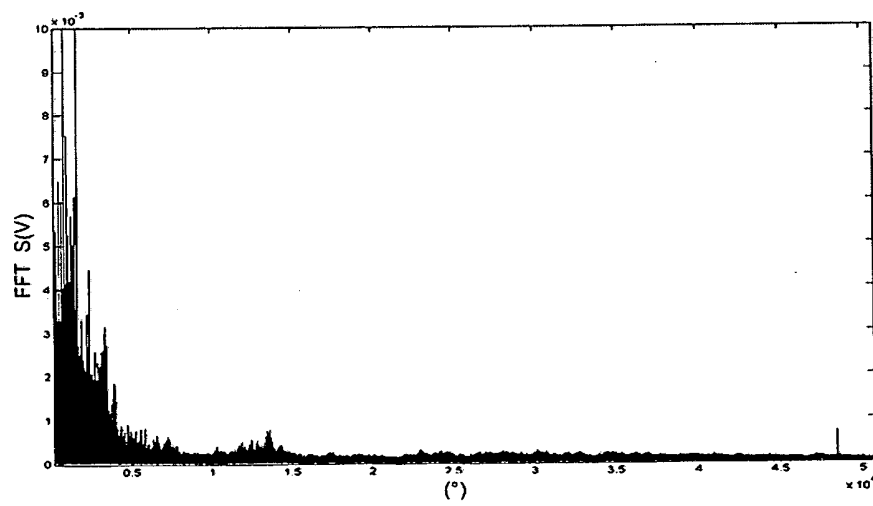


FIG. 5

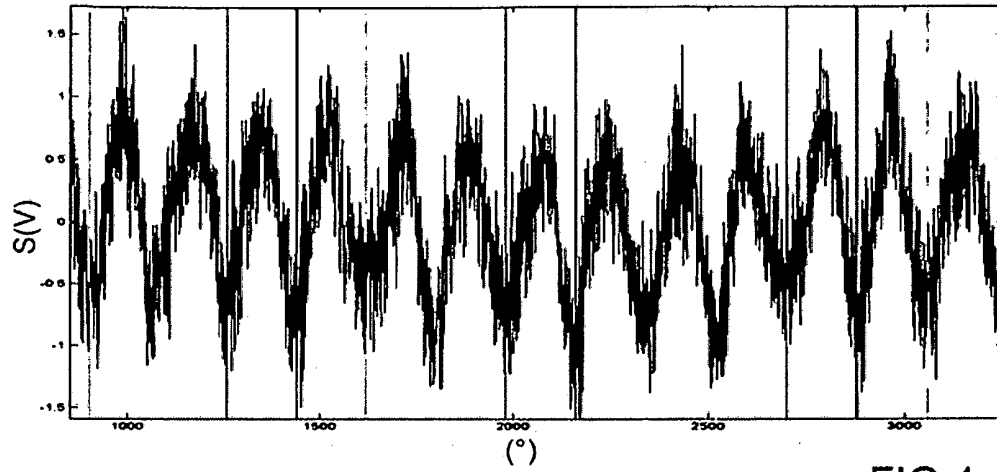


FIG.4

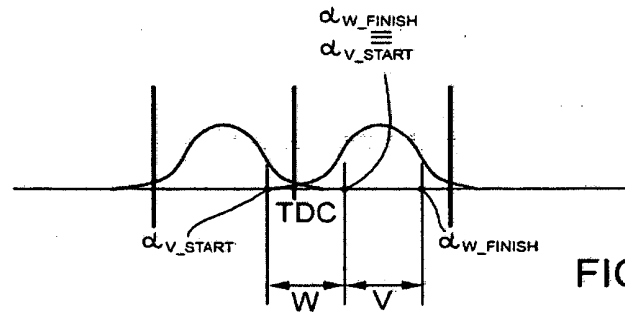


FIG.6

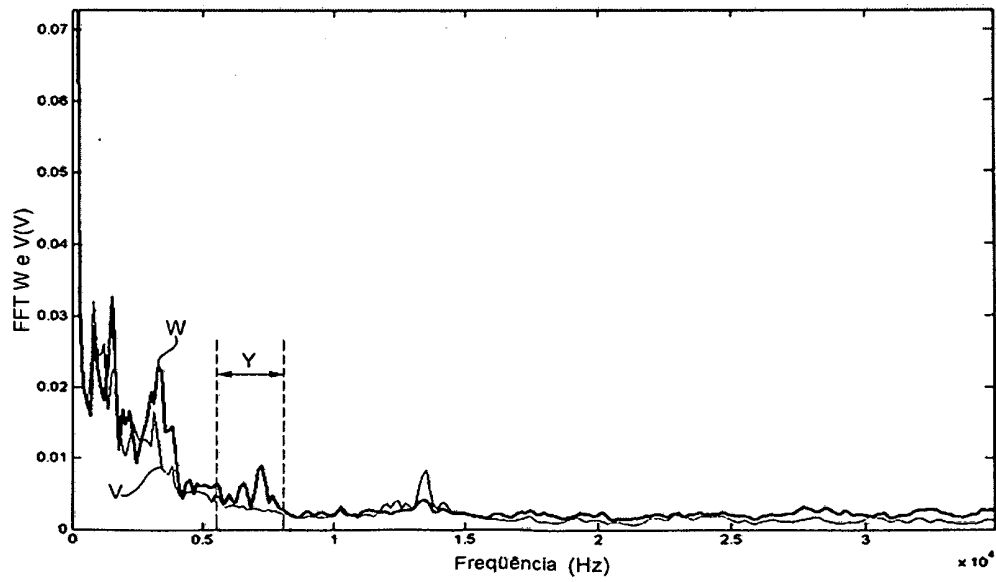
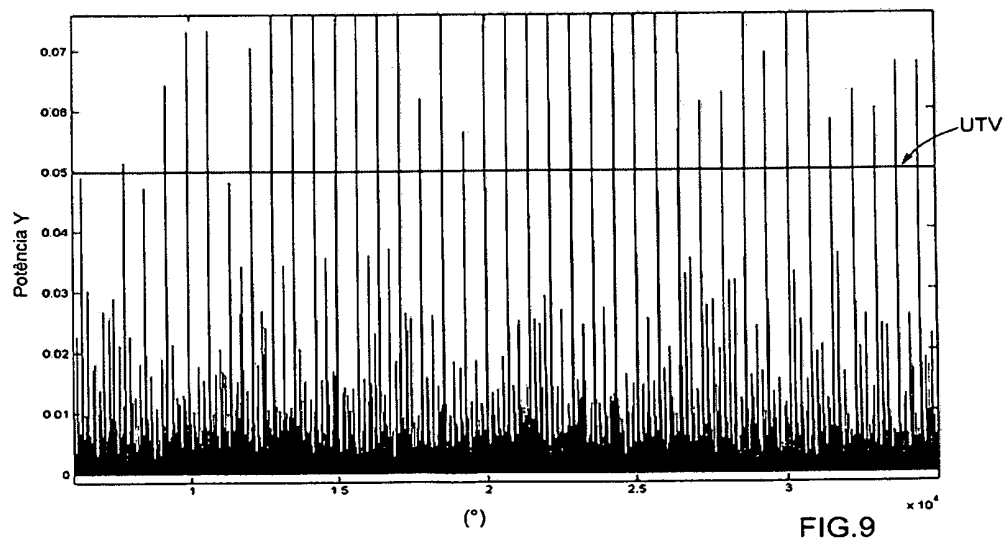
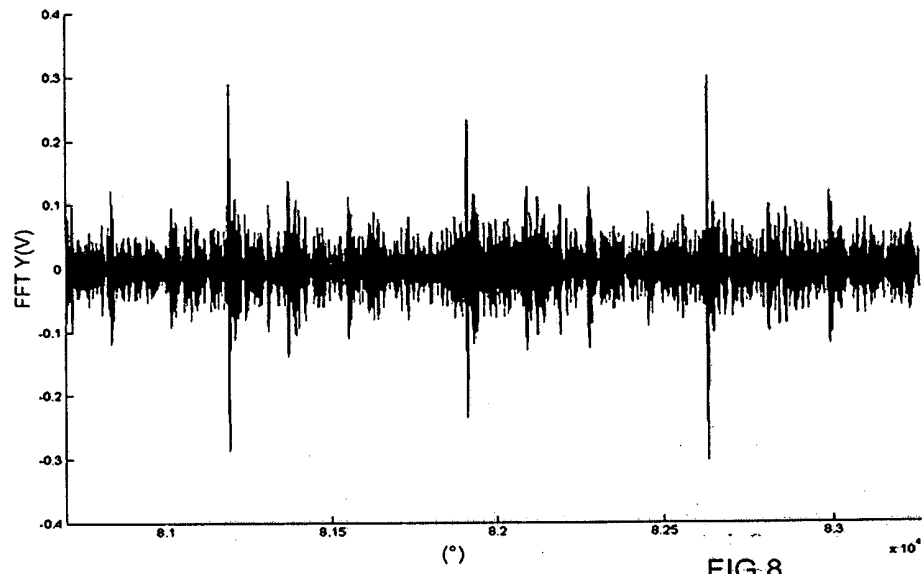


FIG.7



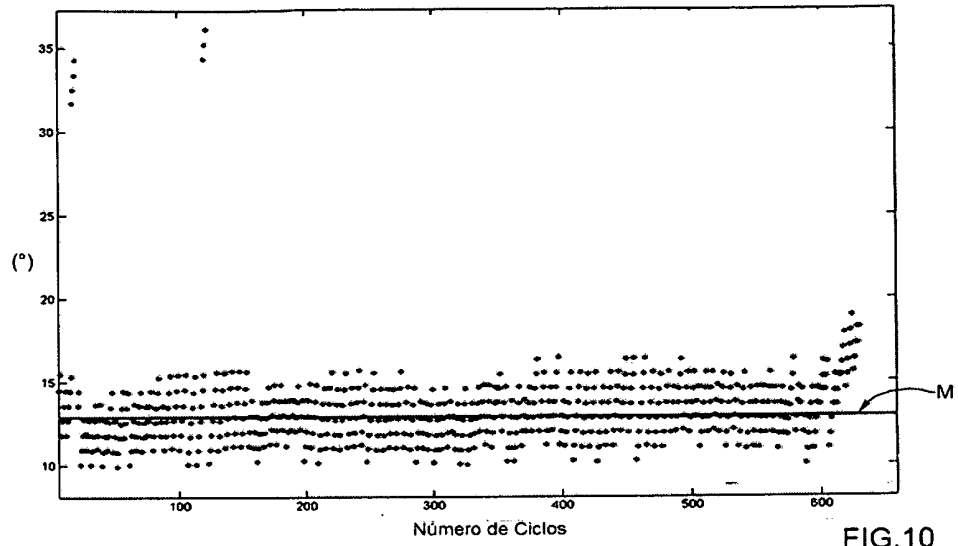


FIG.10

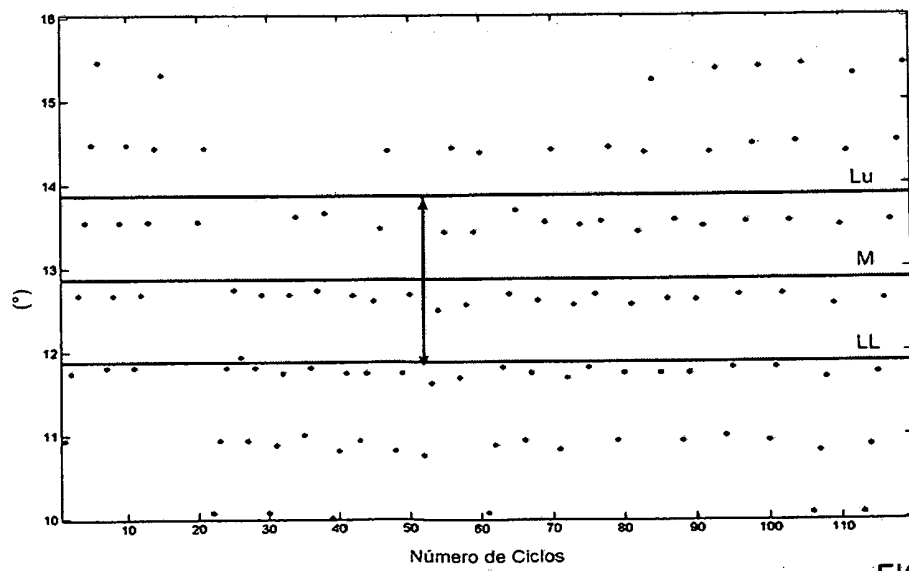


FIG.11

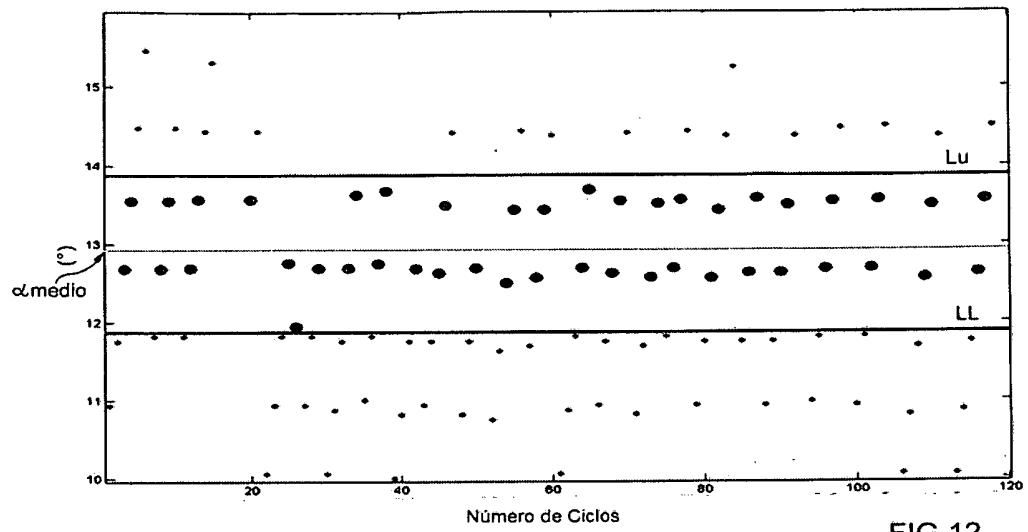


FIG.12

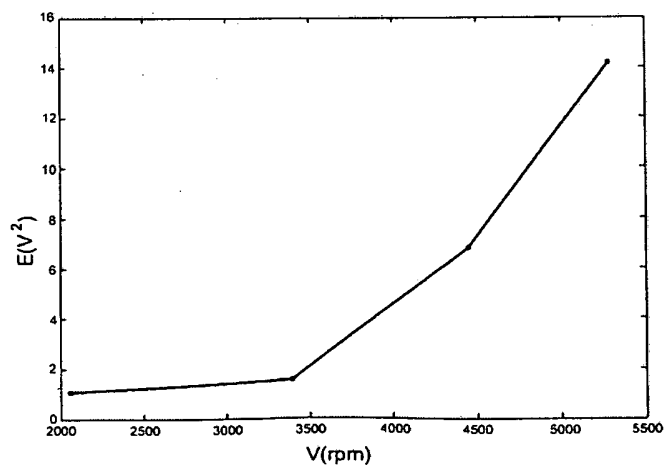


FIG.13

Resumo

Método para controlar o movimento de um componente o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor de combustão interna.

5 É descrito um método para controlar o movimento de um componente, o qual se move em direção a uma posição definida por um batente em um motor (1) de combustão interna; o método de controle compreendo as etapas de detectar, por meio de ao menos um microfone (22) acústico, a intensidade (S) do sinal do microfone gerado pelo impacto do componente contra o batente; e determinar o instante
10 do impacto e/ou a velocidade de impacto do componente contra o batente através da análise da intensidade (S) do sinal do microfone gerado pelo impacto.