



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0802492-8 B1**



\* B R P I 0 8 0 2 4 9 2 B 1 \*

**(22) Data do Depósito: 08/07/2008**

**(45) Data de Concessão: 06/10/2020**

---

**(54) Título:** MÉTODO DE CONTROLE DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA SUPERALIMENTADO POR UM TURBO COMPRESSOR

**(51) Int.Cl.:** F02D 23/02; F02D 41/00.

**(30) Prioridade Unionista:** 09/07/2007 EP 07425426.9.

**(73) Titular(es):** MAGNETI MARELLI POWERTRAIN S.P.A..

**(72) Inventor(es):** MARCO PANCIROLI.

**(57) Resumo:** Método de controle de um motor de combustão interna superalimentado por um turbo compressor. Um método de controle de um motor a combustão interna (1) superalimentado por um turbo compressor (12), dotado de uma turbina (13) e de um compressor (14); o método de controle compreendendo as etapas de: estabelecer ao menos uma curva de limite operacional (29, 30) em um mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão; estabelecer ao menos uma curva de intervenção (31, 32) de uma válvula de alívio (16), a qual ajusta um duto de passagem (15) da turbina (13) em um mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão; estabelecer ao menos uma curva de intervenção (33, 34) de uma válvula Poff (19) a qual ajusta um duto de passagem (18) do compressor (14) em um mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão; utilizar a curva de limite operacional (29, 30) para limitar a pressão alvo a jusante do compressor (14) usado pelo controle do motor; controlar a abertura da válvula de alívio (16) caso a curva de intervenção (31, 32) da válvula de alívio (16) seja excedida; e controlar a abertura da válvula Poff (19) caso a curva de intervenção (33, 34) da válvula Poff (19) seja excedida.

## **Método de controle de um motor de combustão interna superalimentado por um turbo compressor.**

### CAMPO TÉCNICO

A presente invenção se refere a um método de controle de um motor a combustão interna superalimentado por um turbo compressor.

### FUNDAMENTOS

Como é sabido, alguns motores a combustão interna são dotados de um sistema de superalimentação através de um turbo compressor, o qual está apto a aumentar a potência desenvolvida pelo motor por meio da exploração da entalpia dos gases da combustão para comprimir o ar que entra no motor e assim aumentar a eficiência volumétrica da admissão.

Um sistema de superalimentação, através de um turbo compressor, compreende um turbo compressor dotado de uma turbina, a qual é disposta no duto de exaustão, e que pode girar a uma velocidade alta como resultado da pressão dos gases de exaustão expelidos pelo motor, e um compressor, o qual é posto a girar pela turbina e é disposto ao longo do duto de alimentação de ar de modo a comprimir o ar alimentado no motor.

Em um sistema de superalimentação através de um turbo compressor, o campo de operação do turbo compressor deve ser mantido dentro de uma zona útil, dependendo da posição do eixo de manivelas, tanto por razões funcionais (isto é, para evitar uma operação irregular, ou de qualquer forma de baixa eficiência) e por razões estruturais (isto é, para evitar danos no turbo compressor). Especificamente, no lado esquerdo do mapa para o "Fluxo Reduzido da Massa" em função da "Relação de Compressão", existe uma zona "proibida" delimitada pela linha de surto (*surge line*), constituída pelo conjunto de pontos nos quais o equilíbrio aerodinâmico dentro do compressor é interrompido e onde ocorre uma rejeição violeta, ruidosa e periódica do fluxo na boca de entrada, cujos efeitos podem ser destrutivos para as pás; em oposição, e no lado direito do mapa para o "Fluxo Reduzido da Massa" em função da "Relação de Compressão", existe uma segunda zona "proibida" delimitada pela assim chamada "linha de stall" a qual corresponde as condições de choque (e por conseqüência, parada do fluxo) na entrada da turbina e que define o maior fluxo possível que o compressor pode fornecer em dadas condições ambientais da alimentação.

O pedido de patente EP 1741895 A1 descreve um método de controle para um motor a combustão interna superalimentado por um turbo compressor que compreende um compressor, uma turbina adaptada para alimentar em rotação o compressor mediante a pressão dos gases de exaustão do motor, e uma válvula de alívio adaptada de modo a ajustar o fluxo de entrada dos gases de exaustão na turbina, de modo a controlar a velocidade de rotação da própria turbina de acordo

com uma pressão alvo de superalimentação necessária no compressor de saída. O método de controle descrito no pedido de patente EP 1741895 A1 compreende as etapas de medir a pressão do ar admitido na entrada do compressor; determinar o fluxo da massa do compressor; calcular uma pressão limite de superalimentação, a qual está relacionada com a pressão do ar obtida na saída do compressor quando a turbina gira a uma velocidade essencialmente igual a uma velocidade limite predeterminada, por meio de um mapa predeterminado o qual caracteriza a operação do compressor, e de acordo com a velocidade limite de rotação predeterminada, a pressão do ar medida e o fluxo da massa; verificar se a pressão alvo de superalimentação necessária satisfaz uma relação predeterminada com a pressão limite de superalimentação calculada; se a relação é satisfeita, atuar a válvula de alívio de modo a controlar a velocidade de rotação da turbina de acordo com a pressão limite de superalimentação de modo a limitar a velocidade de rotação do turbo compressor em um valor essencialmente igual ao da velocidade limite predeterminada.

#### DESCRIPÇÃO DA INVENÇÃO

É um objetivo da invenção fornecer um método de controle para um motor a combustão interna superalimentado por um turbo compressor, tal método de controle sendo fácil e barato de ser implementado e, especificamente, estando apto a garantir que o campo de operação do turbo compressor permaneça dentro da zona útil em qualquer condição operacional do motor a combustão interna.

De acordo com a presente invenção, é fornecido um método de controle para um motor a combustão interna superalimentado por um turbo compressor, tal como o quanto reivindicado nas reivindicações em anexo.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A presente invenção será ora descrita com referência aos desenhos que acompanham, os quais ilustram uma forma de realização não limitativa desta, e nos quais:

- A figura 1 mostra, na forma de um diagrama, um motor a combustão interna superalimentado por um turbo compressor dotado de uma unidade eletrônica de controle a qual implementa um método de controle de acordo com a presente invenção;
- A figura 2 mostra as curvas características de um compressor do turbo compressor da figura 1 em um mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão; e
- A figura 3 mostra o mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão, o qual mostra as curvas de limite de operação e as curvas de intervenção usadas no método de controle implementado pela unidade eletrônica de controle da figura 1.

#### FORMAS PREFERÊNCIAS DE REALIZAÇÃO DA INVENÇÃO

Na figura 1, o número 1 indica, como um todo, um motor a

combustão interna superalimentado por um sistema 2 de superalimentação através de um turbo compressor.

O motor a combustão interna 1 compreende quatro cilindros 3, cada um dos quais estando conectado a um coletor de admissão 4, por meio de ao menos uma correspondente válvula de admissão (não mostrada), e a um coletor de exaustão 5, por meio de ao menos uma correspondente válvula de exaustão (não mostrada). O coletor de admissão 4 recebe o ar fresco (isto é, o ar do ambiente externo) através de um duto de admissão 6, o qual é dotado de um filtro de ar 7, e que é regulado por meio de uma válvula borboleta 8. Um intercooler 9, para refrigerar o ar admitido, é disposto no duto de admissão 6. No coletor de exaustão 5 é conectado um duto de exaustão 10, o qual direciona os gases de exaustão produzidos pela combustão para um sistema de exaustão, o qual emite os gases produzidos pela combustão na atmosfera, e que normalmente compreende ao menos um catalisador 11 e ao menos um silencioso (não mostrado) disposto a jusante do catalisador 11.

O sistema de superalimentação 2 do motor a combustão interna 1 compreende um turbo compressor 12 dotado de uma turbina 13, a qual é disposta ao longo do duto de exaustão 10 de modo a girar a uma alta velocidade em decorrência da pressão dos gases de exaustão expelidos pelos cilindros 3, e um compressor 14, o qual é disposto no duto de admissão 6, e que é mecanicamente ligado na turbina 13 de modo a receber a rotação da própria turbina 13, para aumentar a pressão do ar alimentado no duto de admissão 6.

No duto de exaustão 10 é previsto um duto de desvio 15, ou bypass, o qual é ligado em paralelo com a turbina 13 de modo a fazer com que as extremidades deste fiquem ligadas a montante e a jusante da dita turbina 13; no duto de desvio 15 é disposta uma válvula de alívio 16, a qual é adaptada de modo a ajustar o fluxo dos gases de exaustão que fluem através do duto de desvio 15, e que é comandada por meio de um atuador 17. No duto de exaustão 6 é previsto um duto de desvio 18, o qual é ligado em paralelo com o compressor 14, de modo a que as extremidades deste fiquem ligadas a jusante e a montante do dito compressor 14; no duto de desvio 18 é disposta uma válvula Poff 19, a qual é adaptada de modo a ajustar o fluxo dos gases de exaustão que flui através do duto de desvio 18, e que é comandada pelo atuador 20.

O motor a combustão interna 1 é controlado por uma unidade eletrônica de controle 21, o qual comanda a operação de todos os componentes do motor a combustão interna 1, incluindo o sistema de superalimentação 2. Especificamente, a unidade eletrônica de controle 21 comanda os atuadores 17 e 20 da válvula de alívio 16 e da válvula Poff 19. A unidade eletrônica de controle 21 é ligada aos sensores 22, os quais medem a temperatura  $T_0$  e a pressão  $P_0$  no duto de admissão 6 a

montante do compressor 14, aos sensores 23 que medem a temperatura e a pressão no duto de admissão 6 a montante da válvula borboleta 8, e aos sensores 24 os quais medem a temperatura e a pressão dentro do coletor de admissão 4. Além disto, a unidade eletrônica de controle 21 está ligada a um sensor 25 o qual mede a posição angular (e portanto a velocidade de rotação) do eixo de manivelas do motor a combustão interna 1 e a um sensor 26 o qual mede o tempo de das válvulas de admissão e/ou de exaustão.

Entre outros aspectos, a unidade eletrônica de controle 21 mantém o campo de operação do turbo compressor 12 dentro da zona útil. O método de controle usado pela unidade eletrônica de controle 21 para manter o campo de operação do turbo compressor 12 dentro da zona útil é descrito abaixo.

Durante a etapa de designação e de sintonização do motor a combustão interna 1, as curvas características do compressor 14 (fornecidas pelo fabricante do turbo compressor 12) são analisadas no mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão. Um exemplo das curvas características de um compressor 14 comercial (dimensionado para um motor a gasolina apresentando um deslocamento total de 1,4 litros) é mostrado na figura 2; as curvas características mostradas na figura 2 são normalizadas em uma temperatura absoluta de referência  $T_{orif}$  e a uma pressão absoluta de referência  $P_{orif}$ . No lado esquerdo do mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão existe uma primeira zona "proibida" delimitada pela linha de surto, construída a partir de um conjunto de pontos nos quais o equilíbrio aerodinâmico dentro do compressor 14 é interrompido e onde ocorre uma rejeição violeta, ruidosa e periódica do fluxo na boca de entrada, cujos efeitos podem ser destrutivos para as pás; em oposição, e no lado direito do mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão, existe uma segunda zona "proibida" delimitada pela assim chamada "linha de stall" a qual corresponde as condições de choque (e por conseqüência, parada do fluxo) na entrada da turbina 13 e que define o maior fluxo possível que o compressor 14 pode fornecer em dadas condições ambientais da alimentação.

Tal como mostrado na figura 3, a curva 27, a qual delimita a velocidade de rotação do turbo compressor 12, e a curva 28, a qual delimita o surto do turbo compressor 12, são determinadas através da análise das curvas características do compressor 14. duas curvas de limite operacional 29 e 30 são estabelecidas de acordo com as curvas 27 e 28, e estas são usadas para limitar a pressão alvo a jusante do compressor 14 usado pelo controle do motor. De modo a determinar a curva de limite operacional 29, é determinado um limiar  $S_1$  (constante ou variável), o qual estabelece a distância entre a curva de limite operacional 29 e a curva 27, a qual limita a velocidade de rotação do turbo compressor 12; de forma similar, e de modo a determinar a curva de

limite operacional 30, é determinado um limiar  $S_2$  (constante ou variável), o qual estabelece a distância entre a curva de limite operacional 30 e a curva 28, a qual limita o surto do turbo compressor 12.

Além do mais, e de acordo com as curvas 27 e 28, são estabelecidas duas curvas de intervenção 31 e 32 da válvula de alívio 16, a qual ajusta o duto de desvio 15 da turbina 13, e duas curvas de intervenção 33 e 34 da válvula Poff 19, a qual ajusta o duto de desvio 18 do compressor 14. De modo a determinar a curva de intervenção 31 da válvula de alívio 16, é determinado um limiar  $S_3$  (constante ou variável), o qual estabelece a distância entre a curva de limite operacional 29 e a curva de intervenção 31 da válvula de alívio 16; de forma similar, e de modo a determinar a curva de intervenção 32 da válvula de alívio 16, é determinado um limiar  $S_4$  (constante ou variável), o qual estabelece a distância entre a curva de intervenção 32 da válvula de alívio 16 e a curva 28, a qual delimita o surto do turbo compressor 12. De modo a determinar a curva de intervenção 33 da válvula Poff 19, é determinado um limiar  $S_5$  (constante ou variável), o qual estabelece a distância entre a curva de limite operacional 29 e a curva de intervenção 33 da válvula Poff 19; de forma similar, e de modo a determinar a curva de intervenção 34 da válvula Poff 19, é determinado um limiar  $S_6$  (constante ou variável), o qual estabelece a distância entre a curva de intervenção 34 da válvula Poff 19 e a curva 28, a qual delimita o surto do turbo compressor 12.

Tal como previamente citado, cada um dos limiares  $S_1 - S_6$  pode tanto assumir um valor constante quanto cada qual pode variar de acordo com uma série de parâmetros associados com a entrada de ar no compressor 14, tais como, por exemplo, a temperatura absoluta  $T_0$  a montante do compressor 14 (isto é, essencialmente a temperatura ambiente), a pressão absoluta  $P_0$  a montante do compressor 14 (isto é, essencialmente a pressão ambiente), o fluxo da massa  $Q_{AH}$ ; além disto, os limiares  $S_1 - S_6$  também podem variar de acordo com um ou mais parâmetros operacionais do motor a combustão interna 1, tais como, por exemplo, a pressão do ar dentro do coletor de admissão 4, a temperatura do óleo lubrificante do motor a combustão interna 1, a temperatura do óleo lubrificante do turbo compressor 12, a temperatura do fluido de refrigeração do motor a combustão interna 1, a taxa do motor.

É importante observar que as duas curvas de intervenção 31 e 32 da válvula de alívio 16 são mais internas que as duas curvas de intervenção 33 e 34 da válvula Poff 19 (isto é, os limiares  $S_3$  e  $S_4$  são maiores que os limiares  $S_5$  e  $S_6$ ), uma vez que, caso as curvas 27 e 28 sejam excedidas, preferencialmente apenas a válvula de alívio 16 é aberta para limitar o turbo compressor 12 e, somente quando a abertura da válvula de alívio 16 não é suficiente, então a válvula Poff 19 também é aberta.

Durante a operação do motor a combustão interna 1, a

unidade eletrônica de controle 21 utiliza as curvas de limite operacional 29 e 30 para limitar a pressão alvo à jusante do compressor 14 empregado no controle do motor. Em outras palavras, o controle do motor implementado pela unidade eletrônica de controle 21 determina, de forma conhecida e de acordo com a posição do eixo de manivela, a  
 5 pressão alvo a jusante do compressor 14, a qual representa o valor ótimo necessário para a pressão a jusante do compressor 14; caso a pressão alvo a jusante do compressor 14 seja compatível com as curvas de limite operacional 29 e 30, então a pressão alvo a jusante do compressor 14 é mantida, e por outro lado, caso a pressão  
 10 alvo a jusante do compressor 14 não seja compatível as curvas de limite operacional 29 e 30, então a pressão alvo a jusante do compressor 14 é limitada até o máximo valor compatível com as curvas de limite operacional 29 e 30.

Especificamente, o fluxo reduzido da massa atual  $Q_{AH}$  do compressor 14 é determinado de modo a limitar a pressão alvo a jusante do compressor 14; de acordo com o fluxo reduzido da massa atual  $Q_{AH}$  do compressor 14 é determinado  
 15 a taxa de compressão RC máxima possível, utilizando as curvas de limite operacional 29 e 30, é determinada a pressão máxima possível a jusante do compressor 14 através da multiplicação do valor absoluto da pressão  $P_o$  a montante do compressor 14 pela taxa de compressão RC máxima possível, e a pressão alvo a jusante do compressor 14 é limitada pela pressão máxima possível a jusante do compressor 14 caso a pressão alvo a  
 20 jusante do compressor 14 seja maior que a pressão máxima possível a jusante do compressor 14.

O fluxo reduzido da massa atual  $Q_{AH}$  do compressor 14 é determinado utilizando a seguinte equação:

$$Q_{AHR} = Q_{AH} \cdot \sqrt{\frac{T_o}{T_{orif}}} \cdot \frac{P_o}{P_{orif}}$$

$Q_{AH}$	fluxo da massa do compressor 14;
$Q_{AHR}$	fluxo da massa reduzido do compressor 14;
30 $T_o$	temperatura absoluta a montante do compressor 14;
$P_o$	pressão absoluta a montante do compressor 14;
$T_{orif}$	temperatura absoluta de referência;
$P_{orif}$	pressão absoluta de referência.

A temperatura absoluta de referência  $T_{orif}$  e a pressão absoluta de referência  $P_{orif}$  são as condições nas quais as curvas características do compressor 14 e portanto as curvas 27-34 foram obtidas e são dados de projeto anteriormente conhecidos. A temperatura absoluta  $T_o$  a montante do compressor 14 e a  
 35 pressão absoluta  $P_o$  a montante do compressor 14 são medidas pelos sensores 22. O

fluxo da massa  $Q_{AH}$  do compressor 14 pode ser medido por meio de um sensor de fluxo específico ou pode ser estimado, de forma conhecida, através da unidade eletrônica de controle 21.

De acordo com uma forma de realização diferente (não mostrada) a medição da temperatura absoluta  $T_o$  a montante do compressor 14 (isto é, essencialmente a temperatura ambiente) pode não ser incluída; neste caso, o fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$  do compressor 14 pode ser "parcialmente" normalizado com base na relação de pressão  $P_o/P_{orif}$  sem levar em conta a relação entre as temperaturas  $T_o$  e  $T_{orif}$ .

Durante a operação do motor a combustão interna 1, a unidade eletrônica de controle 21 utiliza as curvas de intervenção 31 e 32 da válvula de alívio 16 para controlar, se necessário, a abertura da válvula de alívio 16 independentemente do alvo do controle do motor (isto é, independente das solicitações de controle do motor alcançar os alvos do próprio controle do motor). Especificamente, a unidade eletrônica de controle 21 determina (tal como supra descrito) o fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$  do compressor 14, determina a taxa de compressão atual RC do compressor 14 (por meio de uma relação simples entre a pressão a jusante do compressor 14 medida pelos sensores 23 e a pressão a montante do compressor 14 medida pelos sensores 22) e controla a abertura da válvula de alívio 16 independentemente do alvo de controle do motor caso no mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão o ponto definido pelo fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$  e pela relação atual de compressão RC esteja além das curvas de intervenção 31 e 32 da válvula de alívio 16 (isto é, a relação de compressão atual RC é maior que a relação de compressão RC pertencente às curvas de intervenção 31 e 32 correspondentes ao fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$ ).

De forma similar, durante a operação do motor a combustão interna 1, a unidade eletrônica de controle 21 utiliza as curvas de intervenção 33 e 34 da válvula Poff 19 para controlar, se necessário, a abertura da válvula Poff 19 independentemente do alvo do controle do motor (isto é, independente das solicitações de controle do motor alcançar os alvos do próprio controle do motor). Especificamente, a unidade eletrônica de controle 21 determina (tal como supra descrito) o fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$  do compressor 14, determina a taxa de compressão atual RC do compressor 14 (por meio de uma relação simples entre a pressão a jusante do compressor 14 medida pelos sensores 23 e a pressão a montante do compressor 14 medida pelos sensores 22) e controla a abertura da válvula Poff 19 independentemente do alvo de controle do motor caso no mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão o ponto definido pelo fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$  e pela relação atual de compressão RC esteja além das curvas de intervenção 33 e 34 da válvula Poff 19 (isto é,

a relação de compressão atual RC é maior que a relação de compressão RC pertencente às curvas de intervenção 33 e 34 correspondentes ao fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$ ).

É importante destacar que as curvas 28, 30, 32 e 34 são independentes da velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12, enquanto que as curvas 27, 29, 31 e 33 são dependentes da velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12 (isto é, estas variam de acordo a velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12). Em outras palavras, e para um turbo compressor 12, uma velocidade limite  $N_{IC}$  predeterminada para o turbo compressor 12 é determinada de modo que a partir da qual o turbo compressor 12 entra em uma condição crítica; através do uso da velocidade limite  $N_{IC}$  predeterminada para o turbo compressor 12, é calculada a velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12 de acordo com a temperatura absoluta  $T_o$  a montante do compressor 14, através do uso da seguinte equação:

$$N_{ICR} = N_{IC} \cdot \sqrt{\frac{T_{orif}}{T_o}}$$

- $N_{IC}$  velocidade limite do turbo compressor 12;
- $N_{ICR}$  velocidade limite reduzida do turbo compressor 12;
- $T_o$  temperatura absoluta a montante do compressor 14;
- $T_{orif}$  temperatura absoluta de referência.

Conforme a temperatura absoluta  $T_o$  a montante do compressor 14 varia e a velocidade limite  $N_{IC}$  predeterminada para o turbo compressor 12 fica igual, a velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12 varia; portanto, a unidade eletrônica de controle 21 determina ciclicamente a velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12 de acordo com a temperatura absoluta  $T_o$  a montante do compressor 14 e de acordo com a velocidade limite  $N_{IC}$  predeterminada para o turbo compressor 12 (a qual permanece sempre constante) e assim a velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12 está apta a determinar as curvas 27, 29, 31 e 33 a serem usadas. Alternativamente, sendo constante a velocidade limite  $N_{IC}$  predeterminada para o turbo compressor 12, e de modo a simplificar o gerenciamento das curvas 27, 29, 31 e 33, as próprias curvas 27, 29, 31 e 33 poderiam ser armazenadas na unidade eletrônica de controle 21 parametrizadas de acordo com a temperatura absoluta  $T_o$  a montante do compressor 14; neste caso, a unidade eletrônica de controle 21 não precisa calcular a velocidade limite reduzida  $N_{ICR}$  do turbo compressor 12 nem as curvas 27, 29, 31 e 33 a serem empregadas na seqüência, mas simplesmente precisa atualizar as curvas 27, 29, 31 e 33 de acordo com a temperatura absoluta  $T_o$  a montante do compressor 14.

De acordo com uma forma de realização diferente e simplificada (e assim menos precisa), o fluxo da massa  $Q_{AH}$  atual do compressor 14 (não

reduzido) ou o fluxo da massa  $Q_{AHR}$  alvo (reduzido ou não reduzido) poderia ser usado no lugar do fluxo da massa reduzido  $Q_{AHR}$ .

O método de controle supra descrito apresenta diversas vantagens, uma vez que este é simples e barato de ser implementado, este não utiliza uma grande capacidade de cálculo para a unidade eletrônica de controle 21 e este não necessita da instalação de componentes eletrônicos adicionais (especificamente de sensores ou de atuadores) em relação àqueles já presentes em um motor à combustão interna moderno. Além do mais, o método de controle supra descrito é particularmente efetivo em relação a garantir que o campo de operação do turbo compressor 12 permaneça dentro da zona útil com qualquer condição operacional do motor a combustão interna 1. Uma tal eficiência é garantida pela abertura, em caso de necessidade, da válvula de alívio 16 e, caso a abertura da válvula de alívio 16 não seja suficiente, através da abertura da válvula Poff 19; de fato, e considerando a possibilidade de abertura das duas válvulas 16 e 19, o campo de operação do turbo compressor 12 é certamente mantido dentro da zona útil em qualquer condição operacional do motor a combustão interna 1.

## Reivindicações

1. Método de controle de um motor a combustão interna (1) superalimentado por um turbo compressor (12) dotado de uma turbina (13) e de um compressor (14); o método de controle compreendendo as etapas de:

estabelecer ao menos uma curva de limite operacional (29, 30) em um mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão;

utilizar a curva de limite operacional (29, 30) para limitar a pressão alvo a jusante do compressor (14) usado pelo controle do motor;

estabelecer ao menos uma curva de intervenção (31, 32) de uma válvula de alívio (16), a qual ajusta um duto de passagem (15) da turbina (13) em um mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão;

controlar a abertura da válvula de alívio (16) caso a curva de intervenção (31, 32) da válvula de alívio (16) seja excedida;

o método de controle sendo **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas adicionais de:

- estabelecer ao menos uma curva de intervenção (33, 34) de uma válvula Poff (19) a qual ajusta um duto de passagem (18) do compressor (14) em um mapa para o Fluxo Reduzido da Massa/Relação de Compressão;
- controlar a abertura da válvula Poff (19) caso a curva de intervenção (33, 34) da válvula Poff (19) seja excedida;
- determinar uma primeira curva de limite operacional (29), uma primeira curva de intervenção (31) da válvula de alívio (16), e uma primeira curva de intervenção da válvula Poff (19) de acordo com uma curva (27) a qual limita a velocidade de rotação do turbo compressor (12); e
- determinar uma segunda curva de limite operacional (30), uma segunda curva de intervenção (32) da válvula de alívio (16), e uma segunda curva de intervenção (34) da válvula Poff (19) de acordo com uma curva (28) a qual limita o surto do turbo compressor (12);

e sendo que a etapa determinar as segundas curvas (30, 32, 33) contempla ainda a etapa de:

- determinar a curva (28) a qual limita o surto do turbo compressor (12); e,
- determinar, para cada curva (30, 32, 34) um correspondente limiar (S2, S4 e S6) os quais estabelecem a distância entre a segunda curva (30, 32, 34) e a curva (28), a qual limita o surto do turbo compressor (12).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa determinar as primeiras curvas (29, 31, 33) contempla ainda a etapa de:

- determinar a curva (27) a qual limita a velocidade de rotação do turbo compressor (12); e,
- determinar, para cada curva (29, 31, 33) um correspondente limiar (S1, S3 e S5) os quais estabelecem a distância entre a primeira curva (29, 31, 33) e a curva (27), a qual limita a velocidade de rotação do turbo compressor (12).

3. Método, de acordo com as reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que as segundas curvas (28, 30, 32, 34) são independentes da velocidade limite reduzida ( $N_{tcR}$ ) do turbo compressor (12).

4. Método, de acordo com as reivindicações 1, 2 ou 3, **caracterizado** pelo fato de que as primeiras curvas (27, 29, 31, 33) são dependentes da velocidade limite reduzida ( $N_{tcR}$ ) do turbo compressor (12).

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de ainda compreender as etapas de:

- estabelecer uma velocidade limite predeterminada ( $N_{tc}$ ) do turbo compressor (12);
- calcular a velocidade limite reduzida ( $N_{tcR}$ ) atual do turbo compressor (12) utilizando a velocidade limite predeterminada ( $N_{tc}$ ) do turbo compressor (12) e a temperatura absoluta ( $T_o$ ) a montante do compressor (14); e
- determinar as primeiras curvas (27, 29, 31, 33) para serem usadas de acordo com a velocidade limite reduzida ( $N_{tcR}$ ) atual do turbo compressor (12).

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que a velocidade limite reduzida ( $N_{tcR}$ ) atual do turbo compressor (12) é calculada utilizando a seguinte equação:

$$N_{tcR} = N_{tc} \cdot \sqrt{\frac{T_{orif}}{T_o}}$$

Ntc velocidade limite do turbo compressor 12;  
NtcR velocidade limite reduzida do turbo compressor 12;  
To temperatura absoluta a montante do compressor 14;  
Torif temperatura absoluta de referência.

7. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de ainda compreender as etapas de:

- parametrizar as primeiras curvas (27, 29, 31, 33) de acordo com a temperatura absoluta (To) a montante do compressor (14); e
- atualizar as primeiras curvas (27, 29, 31, 33) de acordo com a temperatura absoluta (To) a montante do compressor (14).

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de usar a curva de limite operacional (29, 30) para limitar a pressão alvo a jusante do compressor (14) usado pelo controle do motor contempla ainda as etapas de:

- determinar o fluxo da massa reduzido (QAHR) atual do compressor (14);
- determinar a taxa de compressão limite (RC) atual do compressor (14) de acordo com o fluxo da massa reduzido (QAHR) atual utilizando a curva de limite operacional (29, 30);
- determinar a pressão atual a montante do compressor (14); e
- determinar a pressão máxima possível a jusante do compressor (14) através da multiplicação da pressão absoluta (Po) a montante do compressor (14) pela relação de compressão (RC) máxima possível; e
- limitar a pressão alvo a jusante do compressor (14) até a pressão máxima a jusante do compressor (14) caso a pressão alvo a jusante do compressor (14) seja maior que a pressão máxima possível a jusante do compressor (14).

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 8, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de controlar a abertura da válvula de alívio (16) caso a curva de intervenção (31, 32) da válvula de alívio (16) seja excedida contempla ainda as etapas de:

- determinar o fluxo da massa reduzido (QAHR) atual do compressor (14);

- determinar a relação de compressão (RC) atual do compressor (14); e
- controlar a abertura da válvula de alívio (16) caso a relação de compressão (RC) atual seja maior que a relação de compressão (RC) pertencente a curva (31, 32) da válvula de alívio (16) no fluxo da massa reduzido (QAHR) atual.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 9, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de controlar a abertura da válvula Poff (19) caso a curva de intervenção (33, 34) da válvula Poff (19) seja excedida contempla ainda as etapas de:

- determinar o fluxo da massa reduzido (QAHR) atual do compressor (14);
- determinar a relação de compressão (RC) atual do compressor (14); e
- controlar a abertura da válvula Poff (19) caso a relação de compressão (RC) atual seja maior que a relação de compressão (RC) pertencente a curva de intervenção (33, 34) da válvula Poff (19) no fluxo da massa reduzido (QAHR) atual.

11. Método, de acordo com as reivindicações 8, 9 ou 10, **caracterizado** pelo fato de que o fluxo da massa reduzido (QAHR) atual do compressor (14) é determinado através do uso da seguinte equação:

$$Q_{AHR} = Q_{AH} \cdot \sqrt{\frac{T_o}{T_{orif}}} \cdot \frac{P_o}{P_{orif}}$$

QAH fluxo da massa do compressor 14;

QAHR fluxo da massa reduzido do compressor 14;

To temperatura absoluta a montante do compressor 14;

Po pressão absoluta a montante do compressor 14;

Torif temperatura absoluta de referência;

Porif pressão absoluta de referência.

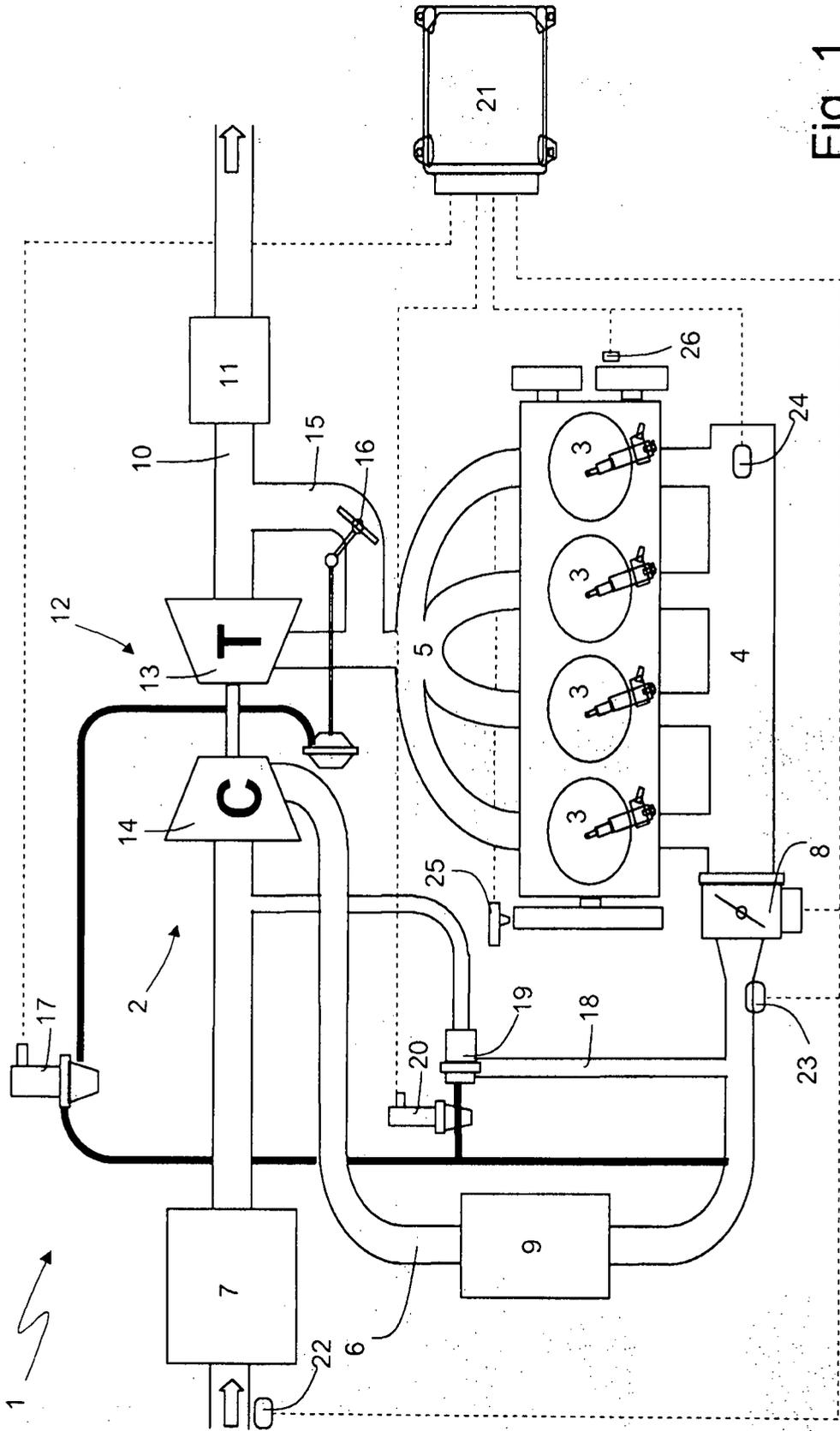


Fig. 1

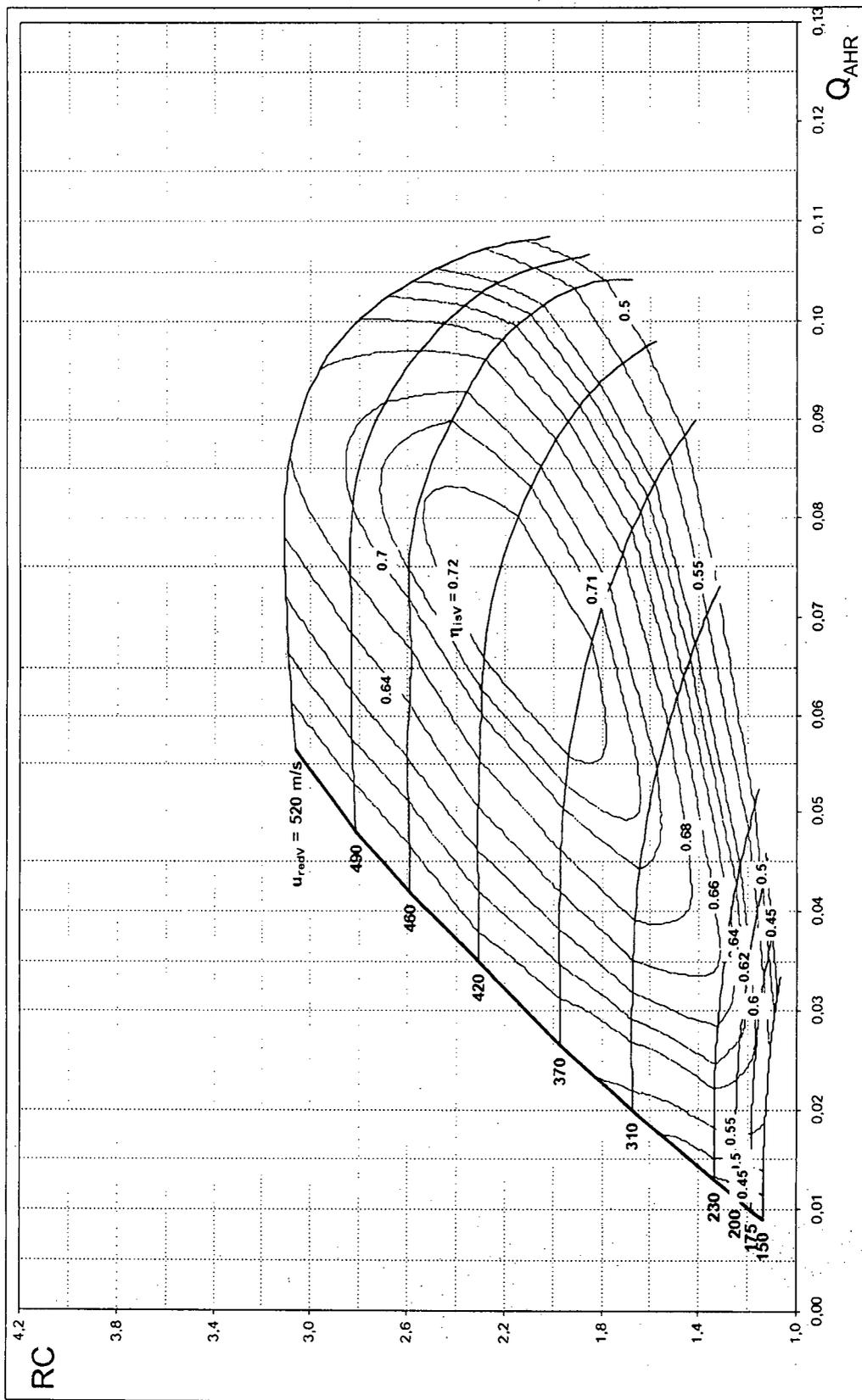


Fig. 2

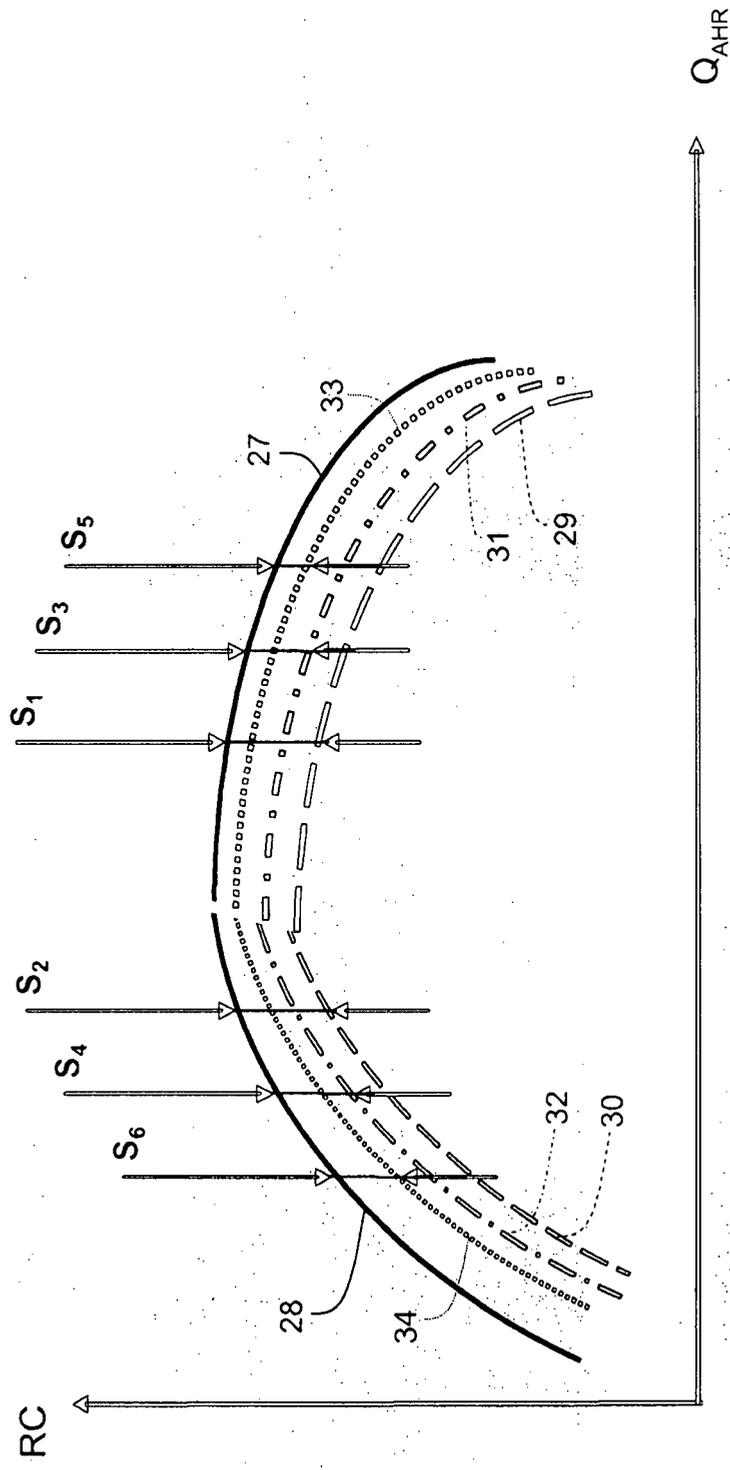


Fig. 3