



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

(11) PI 0813440-5 B1

(22) Data do Depósito: 14/05/2008

(45) Data de Concessão: 23/10/2018



* B R P I 0 8 1 3 4 4 0 5 *

(54) Título: DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

(51) Int.Cl.: F02P 17/12; F02P 23/04

(30) Prioridade Unionista: 12/06/2007 FR 07/04191

(73) Titular(es): RENAULT S.A.S.

(72) Inventor(es): AGNERAY, ANDRÉ; DELORAINE, FRANCK

(85) Data do Início da Fase Nacional: 10/12/2009

"DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO"

A presente invenção refere-se a um dispositivo de medição em um sistema de ignição por microondas eletronicamente controlado de um motor de combustão interna, apropriado para medir a corrente de ionização dos gases nos cilindros do motor e/ou medir a tensão nos terminais dos eletrodos de uma vela de ignição durante um comando de ignição.

A corrente de ionização dos gases nos cilindros do motor é tipicamente medida após o final de ignição e encontra aplicações particularmente vantajosas, por exemplo para detectar o ângulo correspondendo ao pico de pressão da câmara de combustão, de batida do motor ou outro para a identificação de falhas.

Circuitos para medir a corrente de ionização para um sistema de ignição convencional são conhecidos em que a operação consiste em polarizar a mistura da câmara de combustão após a geração da centelha entre os eletrodos da vela de ignição, a fim de medir a corrente resultante da propagação da centelha.

Tais circuitos são convencionalmente colocados na base do enrolamento secundário de uma bobina de ignição conectada à vela de ignição.

No entanto, estes circuitos requerem ser dedicados às características de ignição convencional e assim não são adaptáveis como tal para sistemas de ignição por geração de plasma, usando velas de ignição do tipo de bobina sobre vela por microondas (BME), como descrito em detalhes nos seguintes pedidos de patente depositados em nome do Requerente, FR 03-10766, FR 03-10767 e FR 03-10768.

O objeto da presente invenção é portanto notavelmente propor um dispositivo para medir a corrente de ionização apropriada para um sistema de ignição por microondas.

Outro objeto consiste, com base no mesmo dispositivo, em tornar possível efetuar, ou não, além da medição da corrente de ionização, uma medição da tensão nos terminais dos eletrodos de uma bobina sobre vela por microondas durante um comando de ignição.

5 Tendo em vista este objetivo, a invenção refere-se, assim, a um dispositivo de medição, caracterizado pelo fato de que compreende:

- um circuito para alimentar uma ignição por microondas, compreendendo um transformador, um enrolamento secundário que é conectado a, pelo menos, um ressonador tendo uma frequência de ressonância de mais do que 1 MHz, e compreendendo dois eletrodos capazes de gerar uma centelha durante um comando de ignição,

- um capacitor de medição, conectado em série entre o enrolamento secundário e o ressonador,

15 - um circuito para medir a corrente de ionização dos gases em combustão em um cilindro de um motor de combustão interna associado com o ressonador, referido circuito estando conectado aos terminais do capacitor de medição, e/ou

- um circuito para medir a tensão nos terminais dos eletrodos do ressonador durante um comando de ignição, referido circuito estando conectado aos terminais do capacitor de medição.

De acordo com uma forma de realização, o capacitor de medição é conectado em série entre o enrolamento secundário do transformador e o ressonador em um fio de retorno para terra do transformador e do ressonador.

25 Vantajosamente, o dispositivo compreende um resistor de amortecimento conectado em paralelo com um enrolamento primário do transformador.

De acordo com outro aspecto, o dispositivo compreende uma fonte de alimentação de corrente contínua conectada à base do enrolamento

secundário do transformador.

Preferivelmente, o circuito para medir a corrente de ionização compreende um circuito diferenciando a diferença de potencial entre os terminais do capacitor de medição.

5 Preferivelmente, o circuito para medir a tensão nos terminais dos eletrodos do ressonador compreende um circuito para retificar a tensão de pico nos terminais do capacitor de medição.

De acordo com uma forma de realização, um enrolamento primário do transformador é conectado, em um lado, a um tensão de fonte de
10 alimentação e, no outro lado, ao dreno de pelo menos um transistor de comutação controlado por um sinal de comando, o transistor de comutação aplicando a tensão de fonte de alimentação aos terminais do enrolamento primário em uma frequência definida pelo sinal de comando.

Vantajosamente, o transformador compreende uma relação de
15 transformação variável.

Outros aspectos e vantagens da presente invenção aparecerão mais claramente da leitura da seguinte descrição dada como um exemplo ilustrativo e não limitante e feitos com referência às figuras anexas em que:

- Figura 1 é um diagrama de um ressonador modelando uma
20 bobina sobre vela por microondas com geração de plasma;

- Figura 2 é um diagrama ilustrando um circuito de alimentação de acordo com a técnica anterior tornando possível aplicar uma tensão alternada na faixa das microondas aos terminais da bobina sobre vela;

- Figura 3 é um diagrama ilustrando um variante do circuito de
25 figura 2; e

- Figura 4 é um diagrama ilustrando um circuito de alimentação adaptado, de acordo com a invenção, para medir a corrente de ionização e a tensão nos terminais dos eletrodos da vela durante um comando de ignição.

A bobina sobre vela usada no contexto de ignição controlada por microondas é eletricamente equivalente a um ressonador 1 (ver figura 1), cuja frequência de ressonância F_c é maior do que 1 MHz, e tipicamente por volta de 5 MHz. O ressonador compreende, em série, um resistor R_s , uma bobina de indução L_s e um capacitor marcado C_s . Eletrodos de ignição 11 e 12 da bobina sobre vela são conectados aos terminais do capacitor C_s do ressonador, tornando possível gerar descargas de multifilamentos a fim de iniciar a combustão da mistura nas câmaras de combustão do motor, quando o ressonador é alimentado.

Especificamente, quando o ressonador é alimentado por uma tensão elevada em sua frequência de ressonância F_c ($1 / (2\pi\sqrt{L_s * C_s})$), a amplitude nos terminais do capacitor C_s é amplificada de modo que as descargas de multifilamento desenvolvem entre os eletrodos, distâncias excedentes da ordem de um centímetro, em pressão elevada e para tensões de pico de menos que 25 kV.

Estas são então chamadas centelhas ramificadas, porque elas implicam na geração simultânea de, pelo menos, várias linhas de ionização ou vias em um dado volume, suas ramificações também sendo unidirecionais.

Esta aplicação para ignição por microondas requer, então, o uso de um circuito de alimentação, capaz de gerar pulsos de tensão, tipicamente da ordem de 100 ns, que podem alcançar amplitudes da ordem de 1 kV, em uma frequência muito próxima à frequência de ressonância do ressonador de geração de plasma da bobina sobre vela por microondas.

Figura 2 ilustra esquematicamente tal circuito de alimentação 2, explicado também em detalhes no pedido de patente FR 03-10767. O circuito de alimentação da bobina sobre vela por microondas usa convencionalmente uma montagem chamada “amplificador de pseudo potência Classe E”. Esta montagem torna possível criar pulsos de tensão com as características acima

mencionadas.

Esta montagem consiste de uma fonte de alimentação intermediária de corrente contínua Vinter que pode variar de 0 a 250 V, um transistor de potência MOSFET M e um circuito ressonante paralelo 4 compreendendo
5 uma bobina L_p em paralelo com um capacitor C_p . O transistor M é usado como um comutador para controlar as comutações nos terminais do circuito ressonante paralelo e do ressonador de geração de plasma 1 projetado para ser conectado a uma interface de saída OUT do circuito de alimentação.

O transistor M é controlado em sua grade por um sinal de comando
10 lógico V_I , fornecido por um estágio de comando 3, em uma frequência que deve ser substancialmente fixada na frequência de ressonância do ressonador 1.

A tensão de alimentação de corrente contínua intermediária Vinter pode vantajosamente ser fornecida por uma fonte de alimentação de alta-
15 tensão, tipicamente um conversor CC/CC.

Portanto, próximo à sua frequência de ressonância, o ressonador
paralelo 4 transforma a tensão de alimentação de corrente contínua Vinter em uma tensão periódica amplificada, correspondendo à tensão de alimentação multiplicada pelo coeficiente de sobretensão do ressonador paralelo e aplicada
20 a uma interface de saída do circuito de alimentação no dreno do transistor de comutação M.

O transistor de comutação M então aplica a tensão de alimentação amplificada à saída de alimentação, na frequência definida pelo sinal de comando V_I , que o usuário procura tornar tão próxima quanto possível da
25 frequência de ressonância da bobina sobre vela, de modo a gerar a tensão elevada nos terminais dos eletrodos da bobina sobre vela que é necessária para desenvolver e manter a descarga de multifilamentos.

O transistor portanto comuta correntes fortes em uma frequência de

aproximadamente 5 MHz e com uma tensão dreno-fonte que pode alcançar 1 kV. A escolha do transistor é portanto crítica e requer um compromisso entre tensão e corrente.

De acordo com a variante ilustrada na figura 3, a bobina em paralelo L_p é então substituída por um transformador T, tendo uma relação de transformação de entre 1 e 5. O enrolamento primário L_M do transformador é conectado, em um lado, para a tensão de alimentação V_{inter} e, no outro lado, ao dreno do transistor de comutação M, controlando a aplicação da tensão de alimentação V_{inter} para os terminais do enrolamento primário na frequência definida pelo sinal de comando V1.

O enrolamento secundário L_N do transformador, do qual um lado é conectado à terra através de um fio de retorno para terra 6, é, por sua parte, projetado para ser conectado à bobina sobre vela. Desta maneira, o ressonador 1 da bobina sobre vela conectado aos terminais do enrolamento secundário por fios de conexão 5 e 6, incluindo o fio de retorno para terra 6, é assim alimentado pelo enrolamento secundário do transformador.

A adaptação da relação de transformação torna então possível reduzir a tensão dreno-fonte do transistor. A redução na tensão no enrolamento primário entretanto induz um aumento na corrente passando através do transistor. É então possível compensar esta tensão colocando, por exemplo, dois transistores em paralelo controlados pelo mesmo estágio de controle 3.

Figura 4 então ilustra uma adaptação do circuito descrito acima, com referência à figura 3, visando as finalidades da invenção.

Para tanto, um capacitor de medição, com uma capacitância marcada $C_{measure}$ na figura 4, é o primeiro de todos fornecidos para serem conectados em série entre o enrolamento secundário do transformador do circuito de alimentação de ignição por microondas 2 e o ressonador de

geração de plasma por microondas 1, no fio de retorno para terra 6 do transformador e do ressonador.

Como será visto em maiores detalhes abaixo, com base neste mesmo capacitor de medição, será possível medir a corrente de ionização durante a combustão dos gases na câmara e/ou medir a tensão nos terminais dos eletrodos da bobina sobre vela durante um comando de ignição.

Igualmente, a alimentação de corrente contínua provendo uma tensão V_{polar} , que está entre 12 e 250 V e que pode portanto ser a tensão de bateria ou a tensão de alimentação de corrente contínua intermediária V_{inter} , é projetada para ser conectada através de um resistor R_{polar} , na base do enrolamento secundário do transformador. O papel desta alimentação é polarizar o eletrodo de alta tensão da bobina sobre vela conectada à saída do circuito de alimentação relativo à cabeça do cilindro do motor.

Finalmente, um resistor de amortecimento R_{stop} pode se necessário ser colocado em paralelo com o enrolamento primário do transformador T. Tal resistor torna possível amortecer a tensão residual nos terminais do enrolamento primário uma vez que o transistor M não é mais controlado, isto é, após uma geração da centelha. A presença deste resistor vantajosamente torna possível tomar medições da corrente de ionização tão logo quanto possível após o final do comando de ignição, como será visto em maiores detalhes abaixo.

O circuito de alimentação de figura 3 é especificamente adaptado para tomar as medições da corrente de ionização. A corrente de ionização corresponde à propagação da extremidade de chama dentro da câmara de combustão. É portanto um sinal tornando possível monitorar o desenvolvimento e o tipo de combustão que ocorre. Esta corrente de ionização é mensurável após o final da centelha por pelo menos 1 ms e tem uma amplitude da ordem de 20 μA . Também, a corrente de ionização é medida

após o final de ignição.

Mais precisamente, a 6250 rpm por exemplo, o motor faz uma rotação em 10^{-2} s, ou $26 \mu\text{s}/^\circ$. Uma vez que uma combustão dura aproximadamente 40° de virabrequim, uma tolerância de $100 \mu\text{s}$ (ou
5 aproximadamente 4° de virabrequim em velocidade de motor máxima) é tolerada após ignição a fim de atenuar o brilho do circuito de medição causado pela ignição.

Como especificado acima, o amortecimento é melhorado pela adição de um resistor paralelo ao enrolamento primário do transformador em
10 cuja saída a bobina sobre vela é conectada.

De acordo com a invenção, a corrente de ionização é medida nos terminais do capacitor de medição C_{measure} . Para fazer isso, um circuito de medição DIFF do tipo diferenciado é conectado aos terminais do capacitor de medição C_{measure} .

15 A corrente de ionização é portanto medida nos terminais do capacitor de medição C_{measure} durante a combustão. A carga equivalente durante a combustão pode ser modelada por um resistor R_{ion} de aproximadamente 500 quilo ohms, conectado em paralelo com o capacitor C_s do ressonador de geração de plasma 1.

20 De acordo com a forma de realização exemplar da figura 4, o circuito diferenciado DIFF usado para medir a corrente de ionização compreende um amplificador operacional 10 alimentado por uma tensão V_{low} , cuja entrada inversora é conectada a um terminal do capacitor de medição C_{measure} através de um capacitor marcado C , com um valor igual,
25 por exemplo, a 100 nF , cuja entrada não inversora é conectada ao outro terminal do capacitor de medição através de um e mesmo capacitor C , e cuja saída V_s é dirigida em circuito de volta para a entrada não inversora através de um resistor, marcado R , por exemplo igual a 100 ohms .

A entrada não inversora é também polarizada por meio da tensão de alimentação do amplificador. Esta tensão V_{low} é antes de tudo filtrada por um circuito RC, compreendendo um resistor com um valor igual, por exemplo, a $\frac{4}{5}R$, em série com um capacitor C1. A tensão deste modo filtrada V_A é então aplicada à entrada não inversora através de uma ponte resistiva dividindo a tensão, consistindo de dois resistores, cada com um valor igual a $2R$, por exemplo.

A tensão de saída V_s do circuito diferenciado é, portanto, a derivada da diferença de potencial nos terminais do capacitor $C_{measure}$, isto é:

$$V_s = R \frac{C}{C_{measure}} i_{ion} + \frac{V_a}{2} \approx R \frac{C}{C_{measure}} i_{ion} + \frac{4}{10} V_{low}$$

i_{ion} sendo a corrente de ionização. Diretamente deduzido do exposto, então, é a corrente passando através do capacitor $C_{measure}$, que é a corrente de ionização:

$$i_{ion} \approx \frac{C_{measure}}{RC} V_s + C_{ste}$$

onde

$$C_{ste} = \frac{4C_{measure}}{10RC}$$

Além de ser apropriado para medir a corrente de ionização durante a combustão de acordo com os princípios explicados acima, graças ao capacitor de medição colocado em série entre o transformador T e o ressonador 1, o circuito de alimentação de figura 3 também pode ser adaptado para tomar uma medição da tensão V_{out} nos terminais dos eletrodos da bobina sobre vela durante um comando de ignição (isto é, enquanto um sinal de comando é aplicado ao transistor M). Tal medição de tensão pode ser usada para um controle ótimo do desenvolvimento da centelha.

Para fazer isso, um circuito retificador RED é conectado aos terminais do capacitor de medição $C_{measure}$, tornando possível extrair a tensão de pico nos terminais do capacitor de medição durante um comando de

ignição. O circuito retificador é produzido colocando um diodo D em série com uma carga resistiva com um valor R1, escolhido, por exemplo, para ser igual a 100 ohms, em cujos terminais, durante um comando de ignição, uma tensão V's é obtida, a qual é vantajosamente proporcional à tensão elevada Vout nos terminais dos eletrodos da bobina sobre vela.

Especificamente, uma vez que as capacitâncias de interferência do transformador são negligenciáveis, o isolamento galvânico torna possível ter uma corrente idêntica através do capacitor de medição Cmeasure e do capacitor Cs do ressonador I modelando a bobina sobre vela. Isto fornece, portanto, um divisor capacitivo de acordo com a relação (considerando a diferença induzida pela queda de tensão nos terminais do diodo D como sendo negligenciável):

$$\frac{V's}{Vout} = \frac{Cs}{Cmeasure}$$

Por exemplo, onde Cs = 20 pF, Cmeasure = 40 nF e Vout estando entre 0 e 24 kV, o seguinte resultado é obtido:

$$0 \leq V's \approx \frac{Vout}{2000} < 12V$$

Com o propósito de otimizar o circuito retificador, é possível colocar, à montante do diodo D e em série com o último, um capacitor de desconexão, marcado C3 na figura 4, com um valor por exemplo igual a 100 nF, e um resistor R3 para terra, com o fim de eliminar o componente de corrente contínua do sinal na entrada do circuito retificador. Um capacitor marcado C2, com um valor por exemplo igual a 1 nF, em paralelo com a carga resistiva na saída do circuito retificador torna possível armazenar um valor de pico da tensão.

Portanto, medir a tensão nos terminais do capacitor de medição Cmes durante um comando de ignição vantajosamente torna possível obter uma medição que é a imagem da tensão nos terminais dos eletrodos da bobina

sobre vela.

Tal medição vantajosamente torna possível:

- conhecer a tensão de início da bobina sobre vela,
- realizar uma pesquisa para a frequência de ressonância do ressonador l buscando pela amplificação máxima,
- identificar uma ligação em ponte (isto é, uma descarga súbita do capacitor Cs do ressonador conduzindo a uma centelha simples em vez de uma centelha ramificada) por colapso instantâneo da amplitude de medição, e também
- diagnosticar uma desconexão entre o circuito de alimentação e a bobina sobre vela.

A solução descrita no contexto do presente pedido torna possível, portanto, com base no mesmo capacitor de medição montado em série na saída do circuito de alimentação de ignição por microondas, realizar tanto a medição da corrente de ionização como a medição da tensão nos terminais dos eletrodos da bobina sobre vela durante um comando de ignição ou, então, uma ou outra destas medições, dependendo de se ela é escolhida para integrar dois circuitos descritos acima visando tomar essas medições nos terminais do capacitor Cmeasure, ou somente em um ou outro destes circuitos.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de medição compreendendo:

- um circuito (2) para alimentar uma ignição por microondas, compreendendo um transformador (T), cujo enrolamento secundário (L_N) é conectado a, pelo menos, um ressonador (1) tendo uma frequência de ressonância de mais do que 1 MHz, e compreendendo dois eletrodos (11, 12) capazes de gerar uma centelha durante um comando de ignição,

- um circuito (DIFF) para medir a corrente de ionização (I_{ion}) dos gases em combustão em um cilindro de um motor de combustão interna associado com o ressonador, referido circuito estando conectado aos terminais do capacitor de medição, e/ou

- um circuito (RED) para medir a tensão nos terminais do capacitor de medição, apropriado para alimentar uma tensão ($V's$) proporcional à tensão (V_{out}) nos terminais dos eletrodos do ressonador durante um comando de ignição,

caracterizado por compreender um capacitor de medição ($C_{measure}$), conectado em série entre o enrolamento secundário e o ressonador.

2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o capacitor de medição ($C_{measure}$) é conectado em série entre o enrolamento secundário do transformador e o ressonador em um fio de retorno para terra (6) do transformador e do ressonador.

3. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que compreende um resistor de amortecimento (R_{stop}) conectado em paralelo com um enrolamento primário do transformador.

4. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de compreender uma fonte de

alimentação de corrente contínua (V_{polar}) conectada à base do enrolamento secundário do transformador.

5 5. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o circuito (DIFF) para medir a corrente de ionização compreende um circuito diferenciando a diferença de potencial entre os terminais do capacitor de medição.

10 6. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o circuito (RED) para medir a tensão (V_{out}) nos terminais do capacitor de medição compreende um circuito para retificar a tensão de pico nos terminais do capacitor de medição.

15 7. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que um enrolamento primário do transformador é conectado em um lado a uma tensão de fonte de alimentação (V_{inter}) e no outro lado ao dreno de, pelo menos, um transistor de comutação (M) controlado por um sinal de comando (V_1), o transistor de comutação aplicando a tensão de fonte de alimentação aos terminais do enrolamento primário em uma frequência definida pelo sinal de comando.

20 8. Dispositivo de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o transformador (T) compreende uma relação de transformação de entre 1 e 5.

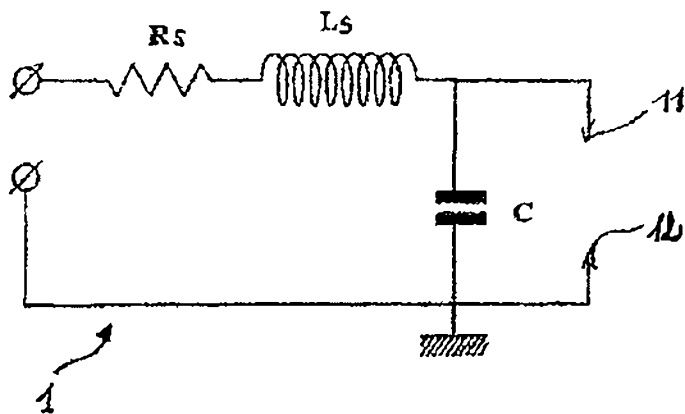


FIG. 1

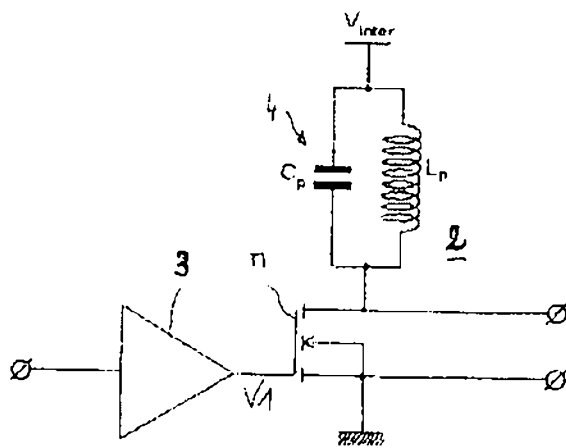


FIG. 2

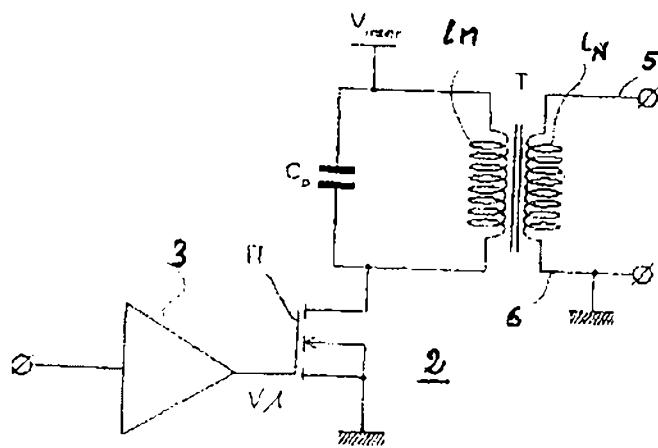


FIG. 3

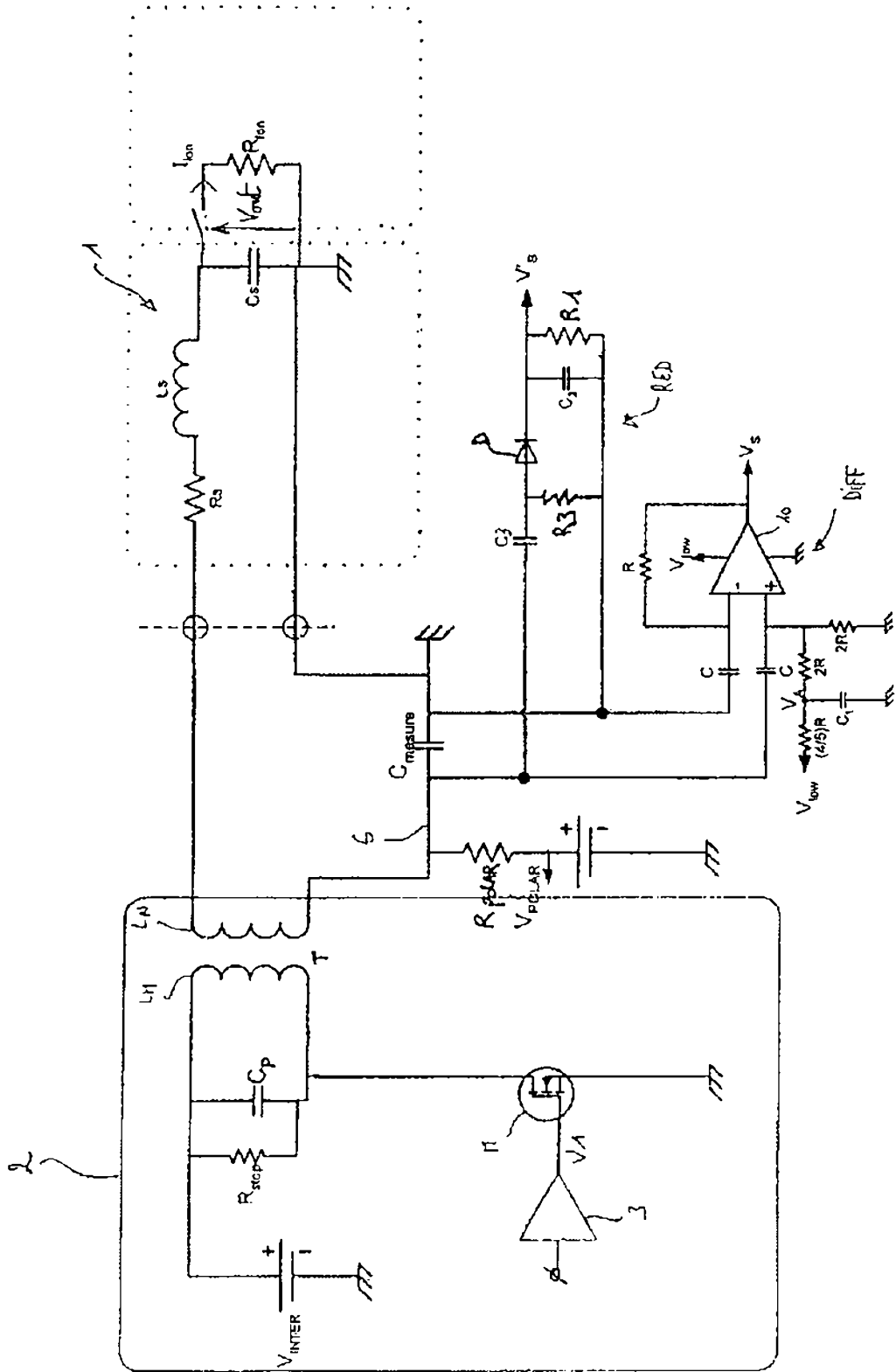


Fig. 4