



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

(11) PI 0201466-1 B1



(22) Data do Depósito: 28/02/2002

(45) Data de Concessão: 13/04/2021

(54) Título: CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES

(51) Int.Cl.: F02P 5/145.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP.

(72) Inventor(es): LUIS CARLOS PASSARINI.

(57) Resumo: "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENÓIDES". Trata-se de circuito eletrônico para melhorar o tempo de resposta de válvulas solenóides composto por circuitos integrados (1 e 2) capacitores (3,4,5,6 e 7) resistores (8,9,10,11,12,13,14 e 15) semicondutores (16 e 17), potenciômetro (18) e diodo (19). Este circuito será utilizado em EFI's para obtenção de respostas com maior linearidade, estas utilizadas em motores de combustão a gasolina, álcool, gás de petróleo e natural.

"CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES"

[001] Refere-se a presente invenção a circuito eletrônico para melhorar o tempo de resposta de válvulas solenoides injetoras de combustíveis (EFI's) para obtenção de respostas com maior linearidade e menor consumo, estas utilizadas em motores de combustão a gasolina, álcool, gás de petróleo e natural.

[002] Deseja-se que haja uma estreita relação linear entre o combustível liberado por uma válvula solenoide injetora de combustível (EFI), conhecida popularmente por bico injetor, e o sinal excitador comandado pela Unidade Eletrônica de Controle (ECU). Devido às características eletromagnéticas da EFI (principalmente à presença inevitável de correntes parasitas e histerese) e mecânicas (choques, amortecimento, atrito e inércia), o tempo em que uma válvula eletromagnética permanece aberta e consequentemente injetando combustível, é significativamente superior ao pulso excitador recebido. Conforme figura 5, a EFI foi excitada durante 1 ms (milissegundo), mas permaneceu aberta, liberando combustível durante mais de 2 ms. Constata-se que à medida que o tempo de excitação aumenta, essa diferença permanece praticamente constante, de forma que em pulsos muito longos, ela é relativamente pequena comparada àquela nos pulsos bem mais curtos. O problema é que, nos motores de baixa cilindrada (1000 cc) como aqueles dos "carros populares" as EFI's trabalham no limite inferior, mesmo porque a altas rotações a ECU não dispõe de muito tempo para adquirir, processar, calcular e comandar o motor.

[003] No passado, quando a injeção eletrônica começou a ser adotada nos veículos de série, esse fator não era significativo devido ao tipo de estratégia adotada para disparo das EFI's. Naquele momento, o rigor exigido para o sistema de controle do motor era muito menor, de tal forma que esse problema não foi considerado importante e ficou até despercebido, por assim dizer. Com a necessidade de controlar cada vez melhor o motor, por causa das exigências da legislação de proteção ao meio ambiente, cresceu também a necessidade de se conseguir atuadores EFI's com respostas cada vez mais rápidas e melhores.

[004] O objetivo dessa invenção é um novo circuito excitador que será usado na EFI e que faça com que a duração da injeção se aproxime mais da duração do sinal de comando, para obter assim da EFI uma resposta mais linear, e conseqüentemente mais apropriado para o controle.

[005] As válvulas solenoides utilizam o mesmo princípio de funcionamento do solenoide. A excitação é feita através de sinal elétrico, geralmente, tensão. A fim de poderem ser rápidas, as válvulas solenoides precisam consumir muita energia e, normalmente, o sinal emitido pelo controlador ou (ECU) não tem energia suficiente para excitá-las. Por isso, normalmente, coloca-se um amplificador de potência entre a ECU e as válvulas eletromagnéticas. Esse amplificador nada mais é do que um circuito elétrico de potência que recebe o sinal de comando da ECU e fornece uma corrente elétrica necessária para excitar a válvula exatamente durante o mesmo tempo que dura o sinal de comando. Existem, hoje, duas maneiras de excitar uma válvula

eletromagnética: a excitação através de tensão e a excitação através de corrente.

[006] Excitação por tensão:

[007] O circuito de potência mais comum é aquele que utiliza um transistor como uma chave liga-desliga. Nesse circuito, basicamente, excita-se um transistor de potência, com uma corrente acima da corrente de saturação do transistor. Desse modo, se houver corrente excitadora presente na sua base, o transistor-chave, fecha e a corrente circulante, excita a EFI; caso contrário, sem corrente excitadora, o transistor-chave fica aberto e a EFI fechada.

[008] O circuito de potência chaveia entre dois estados, dependendo do estado (ON/OFF) do transistor de corte. Quando o transistor está conduzindo (ON), o diodo está reversamente polarizado. Neste caso, a fonte de tensão DC (corrente contínua) está acoplada ao solenoide e a corrente na bobina cresce desde que a tensão da fonte seja superior à tensão induzida na bobina.

[009] O diodo em paralelo com a EFI é polarizado (ON) sempre que o transistor desliga. Durante esse estado, a fonte é desacoplada do solenoide, causando uma queda na corrente.

[0010] Esse modo de excitação da EFI é conhecido como excitação por surto de tensão, ou ainda, excitação por impacto. É o modo de excitação mais simples e barato que se conhece.

[0011] Foi constatado que a localização do diodo em paralelo com a EFI provoca um atraso na resposta da EFI, dependente da potência do diodo (quanto maior a potência do diodo, maior o atraso verificado). Ao reposicionar o diodo colocando-o em paralelo com o transistor de potência, há uma

melhora da resposta da VEIC sobre aquela obtida com o circuito anterior.

[0012] Embora a melhora tenha sido significativa, ainda não se conseguiu, com ela, diminuir significativamente a diferença entre a duração da excitação e a duração da injeção.

[0013] Excitação por corrente:

[0014] A excitação de uma válvula eletromagnética por corrente é bem mais complexa e também mais cara do que a excitação por impacto.

[0015] O circuito de controle por corrente para uma EFI consiste de uma fonte de tensão constante, um circuito integrado chamado "CI solenoide", um resistor, dois indutores e um diodo zener. A bateria de carro serve como uma fonte de tensão na aplicação automotiva.

[0016] O resistor representa a resistência de todo o circuito acionador incluindo o enrolamento da bobina da EFI. Um indutor representa a indutância não linear da EFI. O outro indutor, considera todas as outras indutâncias do circuito. O CI solenoide, juntamente com o diodo, é usado para chavear o circuito entre os diferentes estados ON/OFF.

[0017] A principal operação de chaveamento é controlada pelo CI solenoide. Sob um sinal excitador (de disparo), o CI funciona como um transistor, fechando e permitindo que a corrente na saída cresça suavemente até um valor de pico

estabelecido. Após isso, a corrente é forçada a cair até manter-se num valor determinado, e permanecer constante até o final do sinal disparador. O CI atua como dreno de corrente durante esse período. Quando o sinal disparador acaba, o CI desliga para tornar o circuito “aberto”.

[0018] Esse outro modo de excitação da EFI é conhecido como excitação por surto de corrente. Este modo é usado em sistemas de injeção eletrônica monoponto.

[0019] Para melhor compreensão da invenção ora proposta, são apresentadas as figuras:

[0020] Figura 1: - Vista plana da arquitetura do circuito.

[0021] Figura 2: - Circuito de potência proposto aplicado a EFI.

[0022] Figura 3: - Representação gráfica da resposta do circuito proposto sob um excitador provindo da ECU.

[0023] Figura 4: - Representação gráfica da plena abertura de uma EFI através do monitoramento da corrente da bobina por meio de osciloscópio.

[0024] Figura 5: Representação gráfica de uma EFI a um estímulo de 1 ms.

[0025] Conforme figura 1, o circuito ora proposto é composto por: circuitos integrados (1) e (2); capacitores (3), (4), (5), (6) e (7); resistores (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14) e (15);

semicondutores (16) e (17); potenciômetro de ajuste fino (18) e diodo (19).

[0026] As especificações dos componentes são:

[0027] Sendo o circuito integrado (1) LM555; o circuito integrado (2) LM353N.

[0028] O capacitor (5) 10pF, capacitores (3 e 7) 270nF, capacitor (4) 220nF.

[0029] O resistor (10) 680Ω , resistor (11) aberto, resistores (8 e 9) $10K\Omega$, resistor (13) $33K\Omega$, resistor (14) $15K\Omega$ e os resistores (9 e 15) 0Ω .

[0030] O diodo (19) 1N4001, o led (16) amarelo, o transistor (17) TIP 12x (TIP 120, TIP 121 ou TIP 122) e o potenciômetro (18) de ajuste fino de $500 k\Omega$.

[0031] O circuito ora proposto é introduzido entre a ECU e a EFI de forma a modificar a maneira como a EFI é excitada, conforme figura 2.

[0032] De acordo com a figura 1, o circuito proposto tem por característica melhorar a resposta da válvula durante o fechamento aproveitando as características de histerese e diminuindo os efeitos das correntes parasitas na EFI. Com este circuito, a EFI pode operar no modo de excitação por surto de tensão. Ao receber o sinal excitador proveniente da ECU, o circuito providencia inicialmente um sinal pleno $U_{m\acute{a}x}$ ao transistor de

potência T_p (figura 2) que leva T_p ao estado de saturação liberando imediatamente o máximo de corrente para a EFI neste momento. Este estágio serve apenas para abrir a EFI. Após um intervalo de tempo, t_s , que deve ser, ou calculado a partir das características de cada modelo de EFI, ou medido (figura 4), grande apenas o suficiente para garantir a abertura completa da EFI, o sinal excitador fornecido pelo circuito cai para um nível mais baixo U_{sus} , que corresponde à região linear de trabalho do transistor T_p que passa agora a funcionar como um limitador de corrente, este estágio também deve ser calculado ou verificado para cada tipo de EFI. Agora o transistor T_p permite que um corrente grande apenas o suficiente para manter a válvula EFI aberta (figura 3).

[0033] Conforme figura 4, pode-se ver um gráfico da corrente no tempo de uma EFI sob excitação convencional por impacto, no qual podemos observar o exato instante de tempo em que ocorre a abertura plena da EFI. Observe que a partir deste instante que a EFI já está plenamente aberta, a corrente na sua bobina continua a crescer, só desperdiçando energia que será dissipada na forma de calor, reduzindo conseqüentemente a vida útil da EFI. Outra conseqüência diz respeito à histerese magnética: o crescimento desnecessário da corrente promove também um crescimento desnecessário no fluxo magnético, que embora gere mais força magnética devido à produção extra de campo magnético, por causa desta mesma produção de campo magnético,

aumenta-se também um efeito indesejável chamado histerese magnética, fenômeno que causa o atraso da densidade de fluxo $\mathbf{B}$, em relação à intensidade de campo magnético $\mathbf{H}$, de modo que a curva de magnetização dos campos que aumentam e diminuem não seja a mesma. Quanto maior o valor do fluxo magnético imposto a uma EFI, maior será a densidade de fluxo residual, ou retentividade $\mathbf{B}_r$. O efeito da retentividade se dá quando a bobina da EFI é desligada. Embora a corrente elétrica caia rapidamente, fato que pode ser observado com um osciloscópio, o mesmo não se dá com o fluxo, ou seja, o fluxo cai demoradamente. Esse retardamento contribui para uma sustentação da força magnética e conseqüentemente pela demora no fechamento da EFI (figura 5), levando a uma indesejável sustenção da injeção de combustível e aumentando consumo.

[0034] A figura 1 mostra o circuito que torna possível controlar a intensidade da corrente presente na EFI. São utilizados dois circuitos integrados (CIs) e um arranjo de resistores, capacitores e diodos. O circuito possui dois estágios. O primeiro estágio é um condicionador de sinal e é executado por um circuito integrado (1) tipo oscilador operando no modo estável. É nele que é determinado o tempo através do resistor (10) e do capacitor (3) que a tensão enviada a ao transistor de potência (17) permanecerá acima ou no nível daquela que leva o transistor de potência à saturação $U_{m\acute{a}x}$. Não importa quanto dure a excitação dada pela

ECU, este estágio sempre libera o mesmo intervalo de tempo de duração para a tensão no nível $U_{m\acute{a}x}$. O segundo estágio é um limitador de sinal e é executado pelo circuito (2), um CI amplificador operacional (AmpOp) 353. É importante ressaltar aqui que este estágio só funciona com este tipo de AmpOp porque só este exibe as características necessárias para o correto funcionamento do circuito.). A saída ou sinal proveniente do pino 3 do circuito integrado NE555 (1) após passar pelos capacitor (4) e resistor (11) entra no pino 2 (entrada inversora) do circuito integrado LM353 (2) juntamente com a realimentação da saída (pino 1) do mesmo manipulada pelos resistor (13) e LED (16). Na realimentação o sinal assume a forma demonstrada através da figura 3. É importante dizer que os valores de dos resistores (11 e 13) do capacitor (4) e o tipo do LED (16) são decisivos no sucesso do circuito ora proposto. O potenciômetro (18) é o ajuste fino para levar o transistor (17) [aqui foi usado um componente com um arranjo "Darlington" (D) encontrado nos transistores da família TIP 12x] a operar na sua região linear. Os resistores (9,14 e 15) são apenas limitados de corrente. Através dos resistores (9 e 15) pode-se também monitorar a corrente na bobina da EFI.

[0035] O circuito ora proposto será utilizado em EFI's para obtenção de respostas com maior linearidade e menor consumo, estas utilizadas em motores de combustão a gasolina, álcool, gás de petróleo e natural.

REIVINDICAÇÕES

1. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" caracterizado por circuitos integrados (1 e 2), capacitores (3, 4, 5, 6 e 7), resistores (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15), semicondutores (16 e 17), potenciômetro (18) e diodo (19).

2. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o circuito integrado (1) LM555.

3. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o circuito integrado (2) LM353N.

4. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem os capacitores (3 e 7) de 270nF.

5. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o capacitor (4) de 220nF.

6. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o capacitor (5) de 10 pF.

7. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o capacitor (6) de 10 m.f.

8. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o resistor (10) de 680 Ω .

9. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o resistor (11) aberto.

10. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o resistor (8 e 12) de 10K Ω .

11. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o resistor (14) de 15K Ω .

12. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por serem os resistores (9 e 15) de 0 Ω 47.

13. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o resistor (13) de 33K Ω .

14. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO

DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o diodo (19) de 1N4001.

15. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o led (16) amarelo.

16. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser transistor (17) TIP12x.

17. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser o potenciômetro (18) de ajuste fino de 500 K Ω .

18. "CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MELHORAR O TEMPO DE RESPOSTA DE VÁLVULAS SOLENOIDES" de acordo com as reivindicações 1 a 17, caracterizado por ser este circuito utilizado em válvulas EFI's.

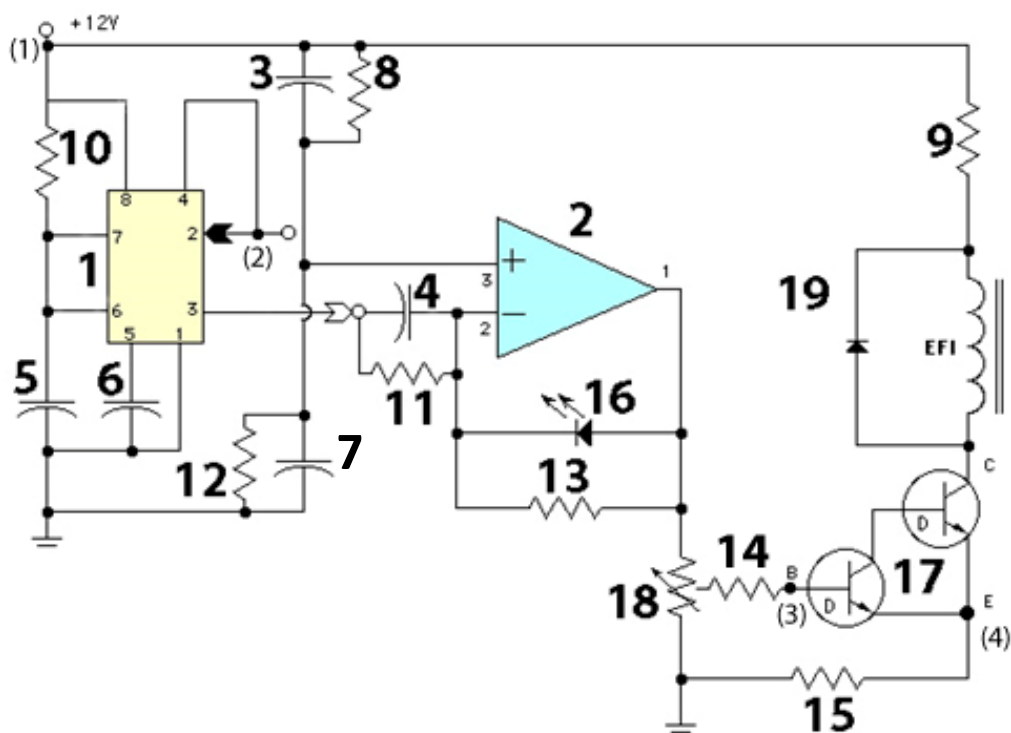


FIGURA 1

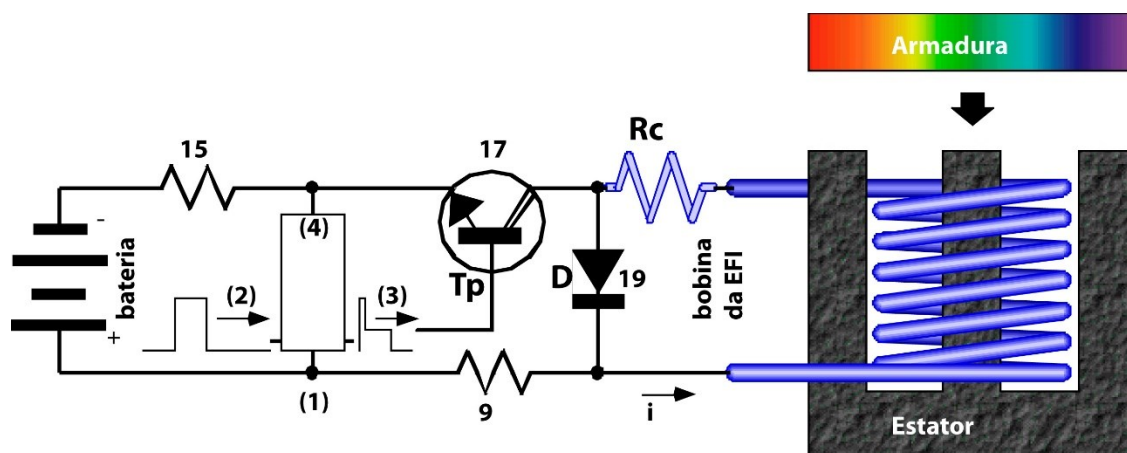


FIGURA 2

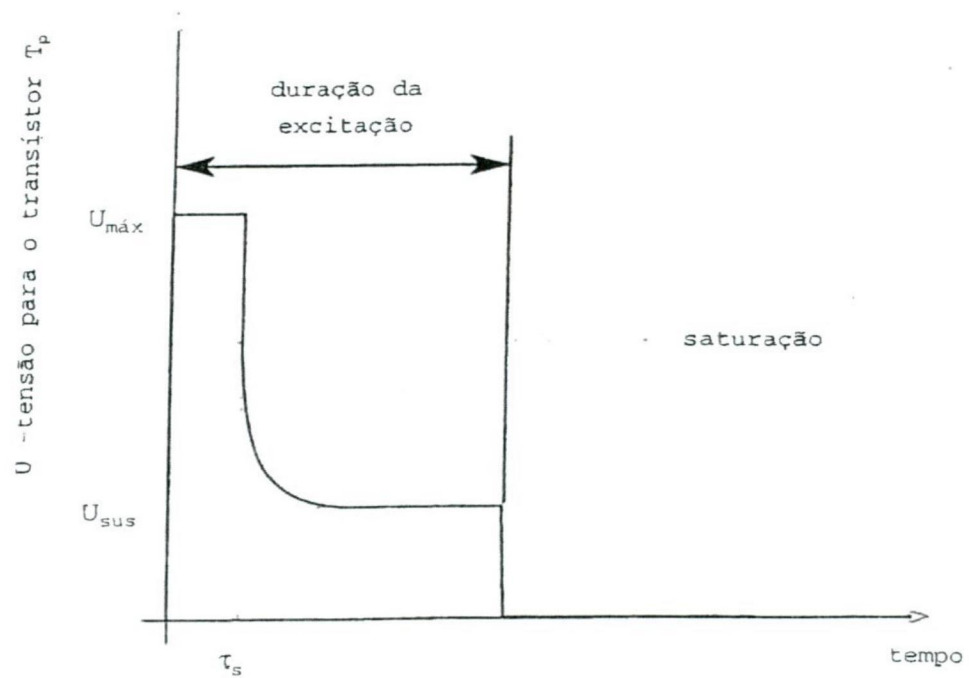


FIGURA 3

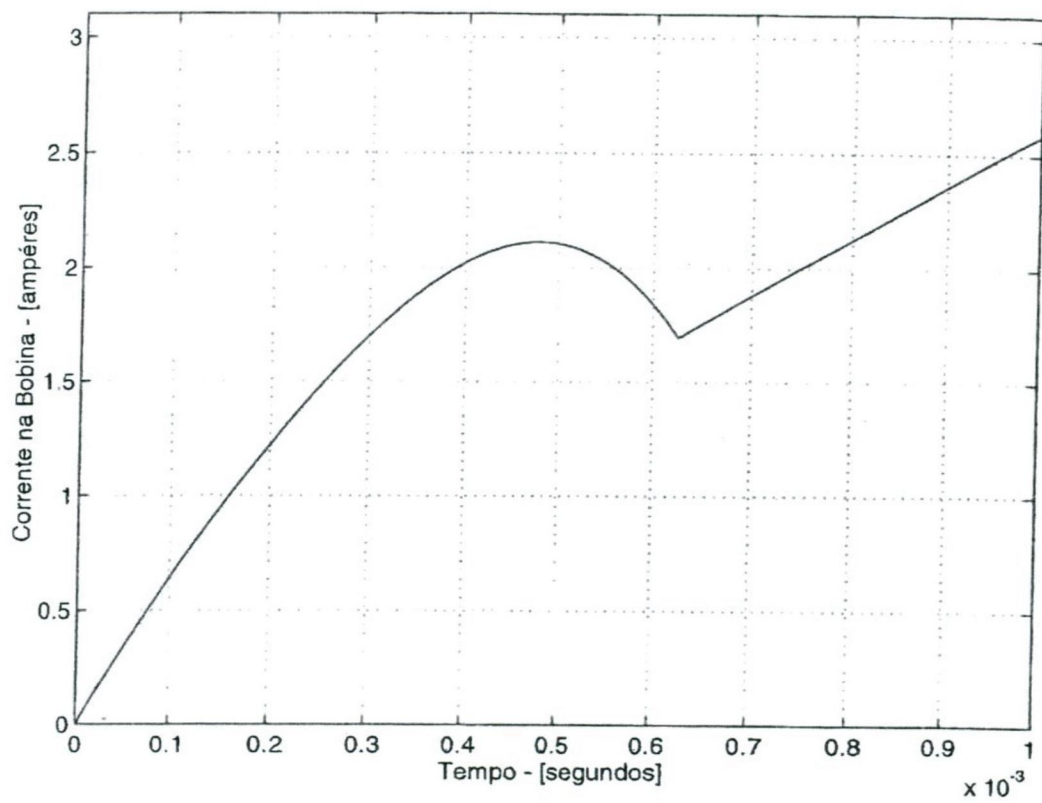


FIGURA 4

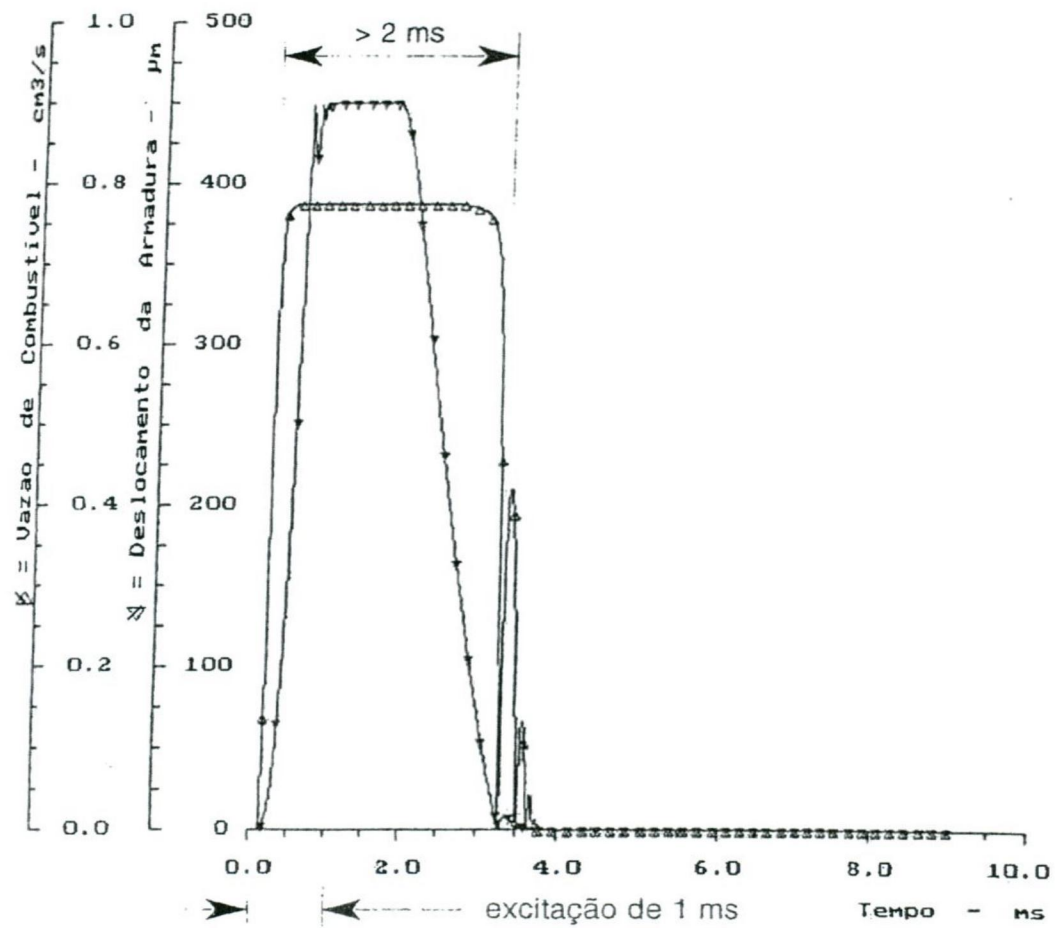


FIGURA 5