

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA
PROJETO MECANICO

IGNIÇÃO ELETRÔNICA PARA MOTORES DE CICLO OTTO

Aluno: RICARDO SHOUZOU OCHI
Orientador: NEDO ESTON DE ESTON

1988

SUMÁRIO

Como se pode notar no nosso cotidiano, a evolução dos motores não está estagnada. Ela vem se desenvolvendo com a pesquisa e utilização de materiais e dispositivos que propiciem maior eficiência em relação ao consumo, ao desempenho e à durabilidade.

Sendo um dos primeiros dispositivos de controle eletrônico implementado nos automóveis o Sistema de Ignição Eletrônica proporcionou a possibilidade de se utilizar em "massa" a eletrônica no controle e monitoração dos parâmetros envolvidos nos automóveis.

Este trabalho tem como objetivo complementar o estudo de sistemas de ignição ministrado na cadeira de motores de combustão interna.

ÍNDICE

	Página
1. O motor de ciclo OTTO e sua ignição	01
2. Teoria Aplicável ao sistema de ignição	04
3. Ignição convencional por bobina	10
3.1 Armazenamento da energia de ignição	11
3.2 Transferência da energia de ignição	13
3.3 Origem da faísca de ignição	16
3.4 Faísca de ignição e tensão de ignição	19
3.5 Funcionamento do condensador de ignição	21
3.6 Energia de ignição e rotação do motor	25
3.7 Ponto de ignição e queima da mistura	28
3.8 Ponto de ignição e tendência a detonação	31
3.9 Curvas do avanço da ignição	33
3.9.1 Curva de avanço de plena carga	34
3.9.2 Curva de avanço de carga parcial	35
3.10 Pontos de ignição e desintoxicação dos gases de escapamento	36
4. Sistemas eletrônicos de ignição	40
4.1 Ignição por bobina transistorizada	40
4.1.1 Comando por impulsos	47
4.1.1.1 Impulsos indutivos	48
4.1.1.2 Gerador Hall	57
4.2 Ignição por condensadores de alta tensão	62
5. Comparação dos sistemas de ignição	68
6. Anexos	
Esquemas de circuitos eletrônicos de ignição	73
(A1 a A15)	
7. Bibliografia	74

1. O MOTOR DE CICLO OTTO E SUA IGNIÇÃO

No motor ciclo Otto, a queima da mistura ar-combustível aspirada e comprimida pelo motor é iniciada por uma faísca comandada com precisão em função do tempo.

A ignição nos motores ciclo Otto é feita eletricamente. A energia elétrica é tirada da bateria. O sistema de ignição gera, comandado pelo motor, picos periódicos de alta tensão. Esta alta tensão provoca uma faísca entre dois eletrodos na câmara de combustão do motor. A energia contida na faísca provoca a queima da mistura ar-combustível comprimida.

Armazenagem de energia e geração da alta tensão

Para a geração periódica da alta tensão, a energia tomada da bateria deve sofrer uma armazenagem intermediária. Como dispositivo intermediário de armazenagem são usadas bobinas (indutâncias) ou para casos especiais de funcionamento do motor, capacitores (capacitâncias).

Desta energia armazenada o motor comanda, via o sistema de ignição, a formação da alta tensão no momento exato.

Esta geração de alta tensão é feita com base no princípio do transformador e ocorre na bobina ou no transformador de ignição. Em cada sistema de ignição com bobina com acumulador indutivo de energia, a armazenagem e a geração da alta tensão é feita em uma bobina, a bobina de ignição. Nos sistemas de ignição com acumulador capacitivo, a armazenagem é feita no capacitor, e a geração da alta tensão separadamente no transformador de ignição. A reserva de alta tensão e energia de ignição é dimensionada de tal modo, que seja suprido um aumento de

tensão de ignição devido ao desgaste, quando o sistema de ignição é mantido dentro das especificações mediante manutenção periódica.

A formação da faísca

Com suficiente alta tensão, salta uma faísca entre os dois eletrodos da vela de ignição.

No instante da ignição, a tensão nos eletrodos da vela aumenta subitamente de zero até ser atingida a tensão disruptiva (tensão de ignição). Assim que se formou a faísca, a tensão na vela baixa para tensão de manutenção. Durante o período de manutenção da faísca (duração da faísca), ocorre a combustão da mistura ar-combustível. Após ruptura da faísca, a tensão baixa em oscilações atenuadas.

Duração da faísca

A faísca deve continuar ainda durante um certo tempo após a primeira descarga entre os eletrodos.

O "tempo de centelhamento" do arco elétrico entre os eletrodos após a primeira descarga é chamado de "duração de faísca". A duração da faísca deve ser tal, que a mistura ar-combustível que se encontra entre os eletrodos, entre seguramente em combustão.

Além dos principais fatores, formato dos eletrodos e abertura dos eletrodos, a necessidade de tensão de ignição depende ainda da composição e da compressão da mistura ar-combustível, das condições de fluxo na câmara de combustão, do material dos eletrodos e da polaridade dos eletrodos.

CURVA DA TENSÃO ENTRE OS ELETRODOS DA VELA DE IGNIÇÃO

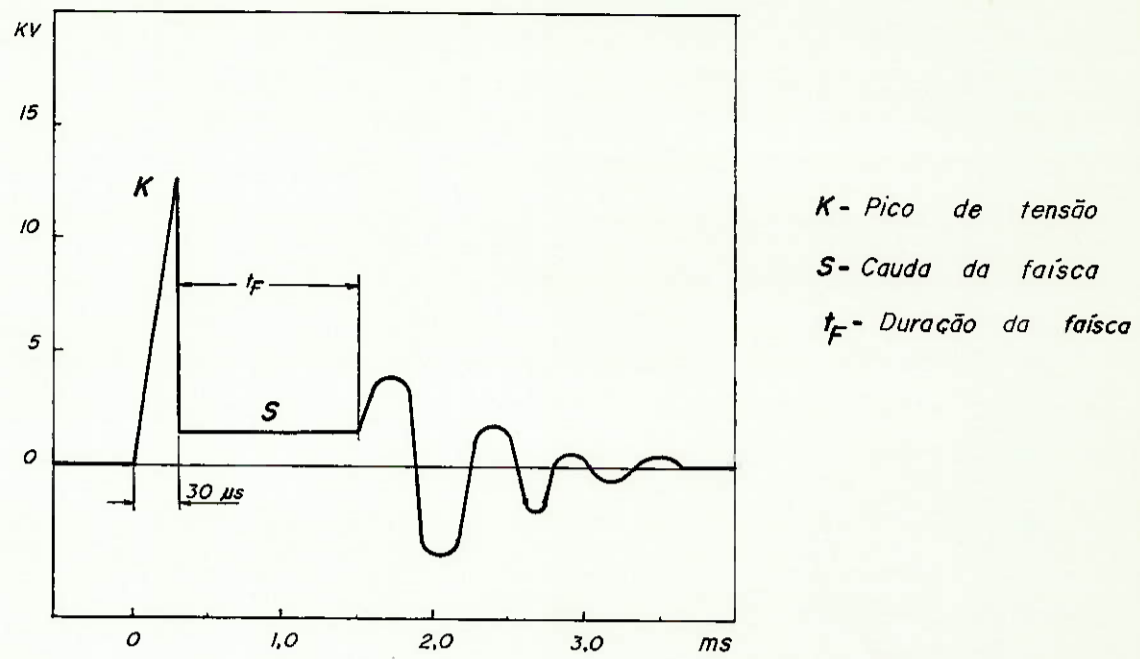


FIG. 1

NECESSIDADE DE TENSÃO DE IGNIÇÃO DA VELA

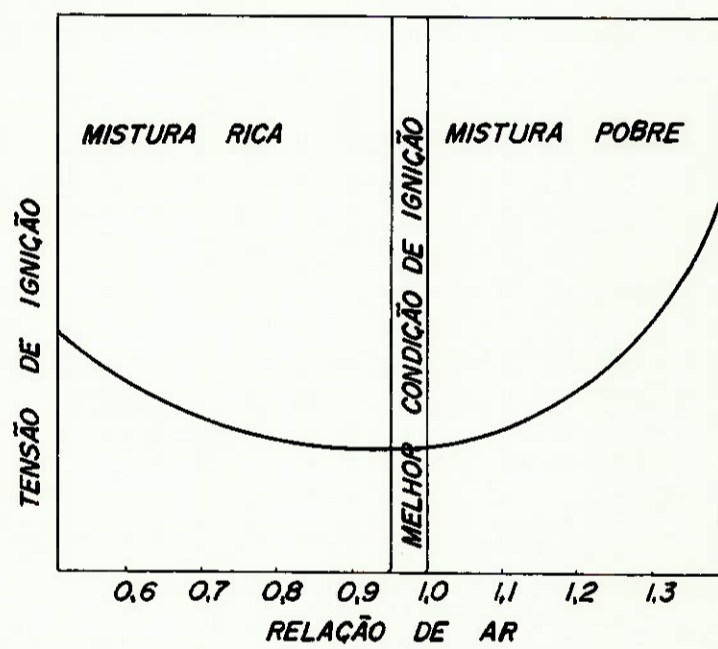


FIG. 2

A necessidade de tensão de ignição

A necessidade de tensão de ignição da vela é a alta tensão necessária para formação da faísca entre os eletrodos.

A tensão de ignição de uma vela é a tensão na qual ocorre a faísca nos eletrodos, quando a alta tensão gerada pelo sistema de ignição chega até a vela de ignição. Esta "oferta de alta tensão" colocada à disposição pelo sistema de ignição pode comportar até 30.000 Volts. Desta oferta de alta tensão, a vela de ignição consome uma parte, ou seja a quantidade necessária para a formação da faísca.

A diferença entre a oferta de alta tensão disponível e a tensão de ignição é denominada de reserva de tensão. Esta reserva de tensão é necessária para cobrir a necessidade cada vez maior de tensão de ignição devido ao contínuo aumento da abertura dos eletrodos durante a vida útil da vela de ignição. A faísca finalmente inicia a combustão da mistura ar-combustível comprimida. Se a vela de ignição tem uma necessidade de tensão de ignição elevada, não resta mais muita energia para a faísca, e esta se apaga após um período de tempo mais curto do que na vela com necessidade de tensão de ignição baixa. Isto depende principalmente da distância dos eletrodos da vela.

2. TEORIA APLICÁVEL AO SISTEMA DE IGNIÇÃO

As equações diferenciais do circuito primário (p) e secundário (s) do sistema de ignição são:

$$\frac{q_p}{C_p} + L_p \cdot \frac{dI_p}{dt} + M_{ps} \cdot \frac{dI_s}{dt} + R_p I_p = V_{bateria} = V_0$$

$$\frac{q_s}{C_s} + L_s \cdot \frac{dI_s}{dt} + M_{sp} \cdot \frac{dI_p}{dt} + R_s I_s = 0$$

onde M é a indução mútua entre os enrolamentos e q , C , L e R são respectivamente a carga, capacitância, indutância e resistência. Miller solucionou as equações assumindo desprezível a resistência e que a corrente primária cai de um valor de estado estacionário I_0 para zero dado por:

$$I_p = I_0 e^{-\alpha t} \quad (\alpha \text{ é uma constante arbitrária})$$

e obteve para a tensão secundária:

$$V_s = - \frac{M I_0 \alpha}{C L \alpha^2 + 1} \left(e^{-\alpha t} - \cos \frac{t}{\sqrt{LC}} + \alpha LC \sin \frac{t}{\sqrt{LC}} \right)$$

Note que V depende:

1. Curto impulso da corrente primária
2. Grande corrente primária
3. Pequena capacidade secundária

Note que o tempo para atingir máximo V_s é aproximado pelo termo com o seno.

Para simplificar, outras integrações podem ser feitas partindo-se de M e uma outra das quatro variáveis (M , C , L , R) para zero. Fazendo isso, os efeitos das integrações entre os enrolamentos primários e secundários são desprezadas, com ênfase nos princípios que afetam a energia, máxima tensão e tempo de elevação de tensão.

Para ilustrar o procedimento das aproximações, considere que quando os pontos fecham no circuito primário alguma capacitância é camuflada pela resistência e indutância, enquanto que se desprezarmos M teremos, se muito, um erro de 10%. Daqui a equação pode ser resolvida com M , C partindo do zero. A solu-

ção mostra o incremento da corrente com o tempo.

$$I = \frac{V_0}{R} \left(1 - e^{-Rt/L} \right) = I_0 \left(1 - e^{-Rt/L} \right)$$

t = tempo que o circuito será acionado (s)

R = resistência (Ohm)

L = indutância (Henry)

Similarmente, no circuito comandado pela resistência e capacitância, a solução da equação mostra que a voltagem V é afetada com o aumento de capacitância com o tempo.

$$V = V_0 \left(1 - e^{-t/Rc} \right) \quad (\text{volt})$$

Na parte transiente destas equações RC e L/R são chamadas de constantes de tempo. Quando t = 3 ciclos, a voltagem atinge 95% do valor de estado estacionário.

No circuito comandado pela indutância e capacitância, uma corrente oscilante pode passar.

$$I = \frac{dq}{dt} = I_{\text{máx}} \sin 2\pi ft \quad (\text{A})$$

Enquanto a voltagem cruza a capacidade varia

$$V = V_{\text{máx}} \cos 2\pi ft$$

A frequência natural da oscilação é dada por

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (\text{ciclos/s})$$

Um exemplo: quando os pontos abrem no circuito primário convencional, energia flui do induzido primário para carregar o capacitor do condensador.

O tempo necessário para carregar o condensador será aproximadamente

$$\text{tempo de pico} = \frac{1}{4f} = \frac{2\pi}{4} \sqrt{LC} = 1,6 \sqrt{LC} \quad (\text{s})$$

Similarmente no circuito secundário antes da ignição ocorrer, energia flui do indutor secundário para carregar o capacitor do circuito secundário. Este tempo de elevação da voltagem é dado aproximadamente por:

$$\text{tempo de pico} \approx 1,6 \sqrt{LC}$$

Energia armazenada na indutância

$$E = \frac{1}{2} LI^2 \quad (\text{Joule})$$

Energia armazenada no capacitor

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (\text{Joule})$$

Circuito primário: o enrolamento primário da bobina convencional tem uma indutância de aproximadamente 5mH, enquanto a corrente primária a baixas velocidades é por volta de 4A. Daí a energia estocada no enrolamento primário é:

$$E_{\text{primário}} = \frac{1}{2} LI = \frac{1}{2} 5 \times 10^{-3} \times 16 = 40 \times 10^{-3} \text{ J}$$

Deste total, possivelmente 85% pode ser transferido para o enrolamento secundário 34mJ. Isto é consideravelmente mais energia que o mínimo necessário para inflamar a mistura, mas um fator de segurança é necessário, dado pelo decréscimo da corrente com o incremento da velocidade.

$$I = \frac{V_0}{R} (1 - e^{-Rt/L}) \quad (\text{A})$$

A baixas velocidades do equipamento, o expoente Rt/L é grande (desde que t seja grande) e a corrente primária aproxima do valor de estado estacionário dado pela lei de Ohm.

obs.: 1) Tempo de elevação é definido como um tempo para a voltagem elevar-se de 10% para 90% do valor máximo, assim podemos introduzir um fator de 0,7 na equação:
tempo de pico = $1,6 \times 0,7 \times \sqrt{L.C} = 1,12 \sqrt{L.C}$.
Note que 2 tempos de elevação podem ser iguais, mas o tempo para armazenar, diga-se 8 KV pode ser diferente.

2) Uma ênfase para a pequena energia

$$34 \text{ mJ} = 0,034 \text{ W.s} = 0,00000944 \text{ W.h}$$

a distribuição numa ignição sobre um período de $0,10 \mu\text{s}$ é

$$340.000 \text{ W} = 340 \text{ KW}$$

3) Em temperaturas extremamente baixas a resistência R do circuito primário perceptivelmente decresce e I_0 pode exceder 5A num motor de baixa velocidade. Com esta alta corrente, os pontos podem ser destruídos em poucas horas de operação.

Com o aumento da velocidade, t diminui e conseqüentemente I e E diminuem. Assim a distribuição de energia para as velas diminui com o incremento da velocidade; se o sistema é designado para operar em altas velocidades, um excesso de energia distribuído em baixas velocidades diminui a vida dos eletrodos da vela.

A diminuição na corrente com o aumento da velocidade pode ser obtida com diminuição da indutância primária (energia armazenada diminui), aumento do tempo t ou aumento da resistência R . O tempo pode ser dobrado mudando-se os sistemas de abertura. A resistência R pode ser aumentada se V também o for. Assim, dobrando-se V e R é equivalente a se dobrar t , e conseqüentemente a mudança do sistema é V para 12 ajudando-se assim nas operações a altas velocidades.

Para obtermos auxílio adicional, a voltagem primária pode ser de novo aumentada mas outros métodos serão avaliados.

O problema básico é reduzir rapidamente a corrente primária para zero, e então obter um rápido corte do campo magnético. No sistema convencional isto deve ser feito por um condensador em paralelo com os ponto de contato. Assim temos que o tempo necessário para o condensador é:

$$\text{tempo de pico } 1,6\sqrt{L.C} = 1,6\sqrt{5 \times 10^{-3} \times 0,2 \times 10^{-6}} = 50 \mu\text{s}$$

Este é um tempo relativamente longo. O problema é complicado para a ação do transformador de indução. Se um potencial de 10.000 V é induzido no enrolamento secundário pelo corte do campo magnético ($\epsilon = n d\phi/dt$), então aproximadamente 100 V é induzido no enrolamento primário (assumindo 100 para 1 a relação dos enrolamentos). Avarias podem ocorrer quando a vela de comando é desconectada e toda voltagem aproveitável é desenvolvida no enrolamento secundário, digamos 25.000 V. Com potências desta ordem podem ocorrer arcos a baixas velocidades, causando uma grande perda de energia.

Circuito secundário: suponha que toda a energia armazenada no campo magnético é transferida no enrolamento secundário, quanto será a voltagem máxima?

A resposta é encontrada na equação:

$$V_{sm\acute{a}x} = I_p \sqrt{L_p / C_s}$$

dado pela energia magnética armazenada no enrolamento primário e a energia elétrica armazenada no capacitor.

Assumindo capacitor de 100 pf, indutor de 5mH e corrente de 4A temos:

$$V_{sm\acute{a}x} = 4 \sqrt{\frac{5 \times 10}{100 \times 10}} = 28 \text{ KV}$$

Uma ótima avaliação de voltagem para um moderno motor é de aproximadamente 25 KV. Um alto valor, significa muita energia armazenada, com possibilidade de danificação dos eletrodos da vela.

3. IGNIÇÃO CONVENCIONAL POR BOBINA

Por ignição convencional entende-se um processo de ignição cujo ritmo é comandado exclusivamente por contatos mecânicos platinados. Aos platinados se fazem exigências de natureza elétrica e mecânica excepcionalmente grandes. Eles ligam, até 18.000 vezes por minuto, correntes de vários amperes de intensidade.

A fonte de energia para a ignição é, nesse caso, a bobina de ignição. Ela armazena a energia no campo magnético e a fornece à respectiva vela no momento exato de ignição, na forma de um impulso de alta tensão, através do cabo de ignição. O armazenamento se baseia num processo de indução.

A bobina consta de dois enrolamentos (um envolvendo o outro) isolados entre si: o enrolamento primário (L1) com poucas espirais e arame grosso de cobre e o enrolamento secundário (L2) com muitas espiras de arame fino de cobre. Esses dois enrolamentos envolvem um núcleo de ferro que reforça o campo magnético, aumentando a energia armazenada.

Uma das extremidades do enrolamento primário (borne 15) acha-se ligado através da chave de ignição com borne positivo da bateria, a outra extremidade (borne 1) está ligada à massa através do platinado. O condensador de ignição está ligado em paralelo com o platinado.

O enrolamento secundário está, com uma das suas extremidades, ligado à massa através do platinado; a outra extremidade (borne 4) está ligada, através do distribuidor e do cabo de ignição, ao elétrodo central da vela de ignição.

3.1 Armazenamento da energia de ignição

Estando ligada a chave de ignição, o enrolamento primário estará conectado com o pólo positivo da bateria. Se o circuito de corrente primário for fechado pelo platinado então fluirá uma corrente, a corrente primária. Essa corrente não aumenta imediatamente, mas com um pouco de atraso, até o valor denominado "corrente de repouso" de-

EQUIPAMENTO DE IGNIÇÃO CONVENCIONAL PARA MOTORES DE 4 CILINDROS

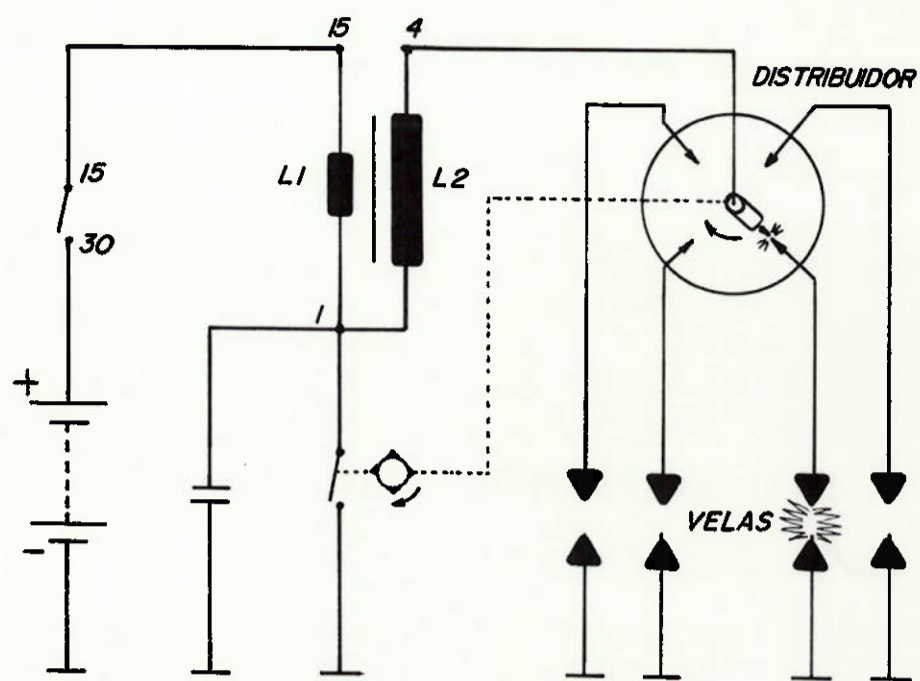


FIG. 3

ENERGIA DE IGNIÇÃO

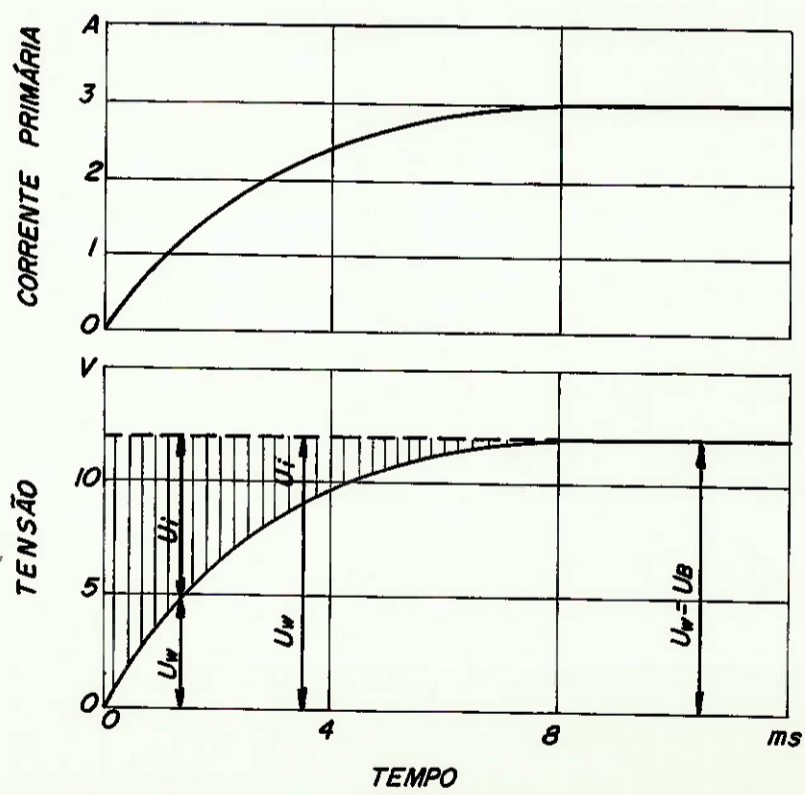


FIG. 4

terminado pela tensão da bateria e pela resistência ôhmica. Esse atraso é em média de 10 a 15 mili-segundos. Em equipamentos de ignição convencionais essa corrente de repouso está limitada em aproximadamente 3 a 4 amperes.

O aumento retardado da corrente ocorre pela formação de um campo magnético no enrolamento primário, o qual induz uma tensão (U_i) que atua em contraposição à tensão de bateria (U_B). Enquanto o campo magnético se encontrar em formação, somente uma parte da tensão da bateria se torna atuante para que flua corrente primária (U_w). Como consequência, a corrente, durante a formação do campo magnético, é mais fraca do que a corrente de repouso. Depois de formado o campo, também a tensão contrária induzida desaparecerá; no circuito da corrente primária pode agora atuar toda a tensão de bateria, isto é, a corrente de repouso estará atingida.

3.2 Transferência da energia de ignição

Depois de encerrado o processo de armazenagem, o platinado abre no momento da ignição, o circuito de corrente, interrompendo assim, a corrente primária. No mesmo momento o campo magnético se desfaz, induzindo tanto no enrolamento primário como no secundário uma tensão. Segundo a lei de indução ambas as tensões são tanto mais elevadas, quanto mais rapidamente se desfizer o campo magnético, o que é conseguido com o condensador ligado em paralelo com o platinado. Além disso, ainda segundo a lei da indução, a tensão induzida no enrolamento secundário será tanto mais elevada quanto maior for a relação de espiras e quanto mais intensa for a corrente primária no momento de

sua interrupção. Já que o enrolamento secundário tem aproximadamente 100 vezes mais espiras do que o enrolamento primário, a tensão secundária é também aproximadamente 100 vezes mais elevada do que a tensão primária.

A tensão secundária é uma alta tensão empregada para a ignição, motivo por que se chama o circuito secundário também de circuito de ignição. A vela de ignição é o consumidor desse circuito.

Qual é a forma da tensão secundária e como é que se forma a faísca? Para compreender bem isso é preciso imaginar o circuito primário e o circuito de ignição como circuitos elétricos vibratórios constituídos de indutividades e capacidades. Pensemos primeiramente no circuito de ignição sem consumidor, isto é, sem vela de ignição; nesse caso a energia armazenada transferida ao circuito de ignição se "perde" na forma de oscilações amortecidas de corrente e tensão com uma frequência entre 1.000 e 3.000 Hz. Depois de alguns poucos mili-segundos as oscilações estarão terminadas; a energia se transformou em calor distribuído por toda a ligação e que é eliminado para fora. O processo de oscilação é denominado "processo sem tensão no lado secundário". Característica desse processo é que a faísca não chega a se formar. Na prática isso acontece quando, por exemplo, o cabo de ignição está interrompido ou quando a tensão secundária não for suficiente para fazer saltar uma faísca na vela, isto é, quando a oferta de tensão for muito reduzida.

CORRENTE E TENSÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO

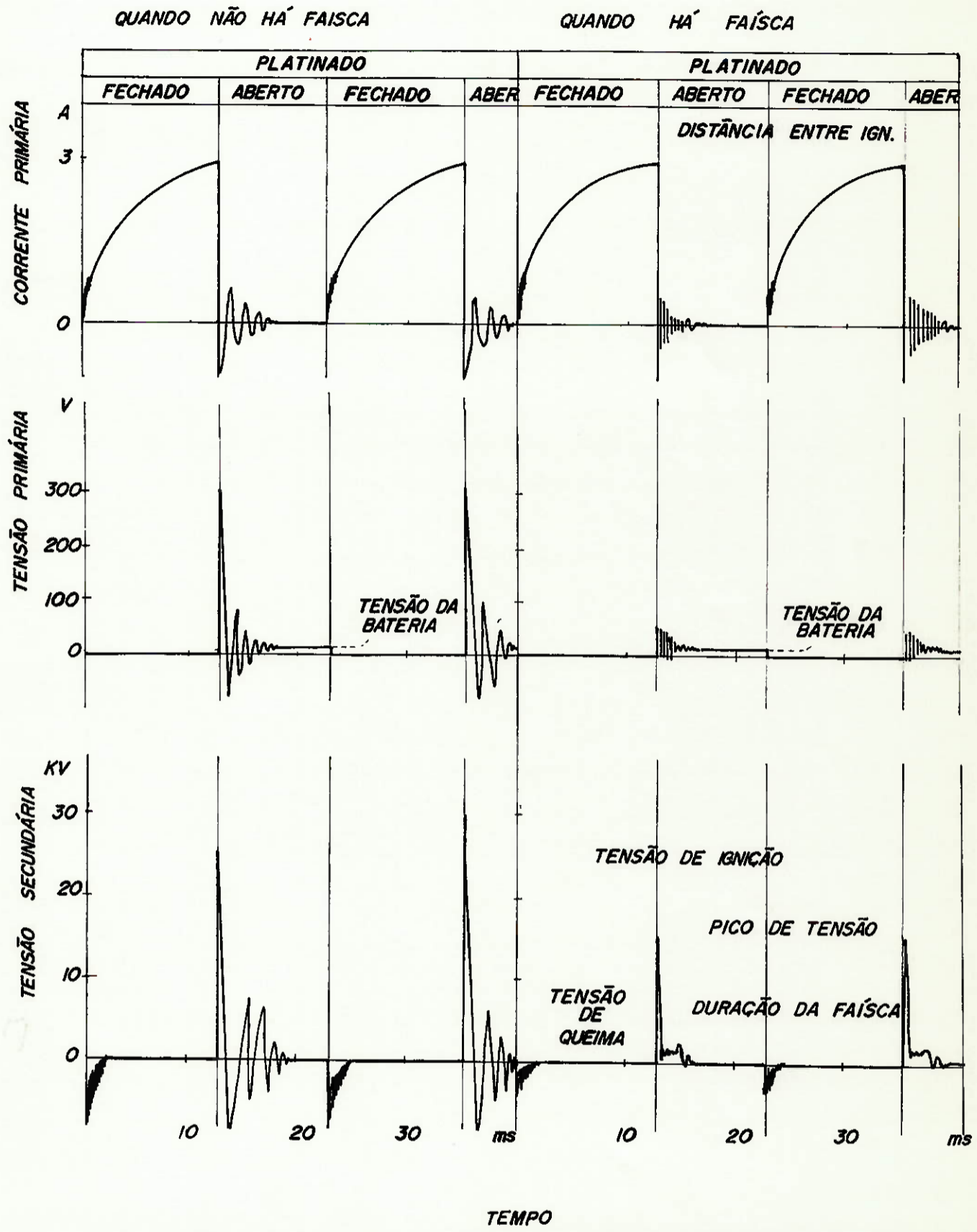


FIG. 5

3.3 Origem da faísca de ignição

Porém qual é o comportamento da tensão secundária quando se forma uma faísca? Antes da ignição não há passagem de corrente pelos elétrodos da vela. Através do cabo de alta tensão isolado (cabo de ignição) o impulso de ignição é conduzido ao eletrodo central (igualmente isolado) da vela de ignição. Primeiramente ele provoca o mesmo aumento da tensão da primeira e mais elevada semi-onda, como no caso de não-formação de faísca. Depois de atingida uma tensão bem determinada, o centelhador se torna subitamente condutor de eletricidade podendo saltar então a faísca. A tensão à qual tem lugar essa ocorrência vem a ser tensão de ignição, no exemplo da ilustração, 15.000 volts.

A partir desse momento o desenvolvimento da tensão em função do tempo nos elétrodos da vela passa a ser completamente outro: a tensão secundária não mais sobe ao seu valor de crista, no exemplo ilustrado de 22.000 volts. Ao contrário, baixa abruptamente, em virtude da carga de corrente da fonte de energia de ignição, para a tensão de queima (consideravelmente mais baixa) logo que saltar a faísca. A tensão de queima é suficiente para manter inalterada a corrente da faísca, dando oportunidade à mistura de se incendiar enquanto perdurar a faísca, desde que isso ainda não tenha acontecido por ocasião do primeiro impulso através da alta tensão de ignição. Pela curva da tensão nos elétrodos em função do tempo reconhecem-se claramente as duas partes que caracterizam a faísca:

FAÍSCA DE IGNIÇÃO

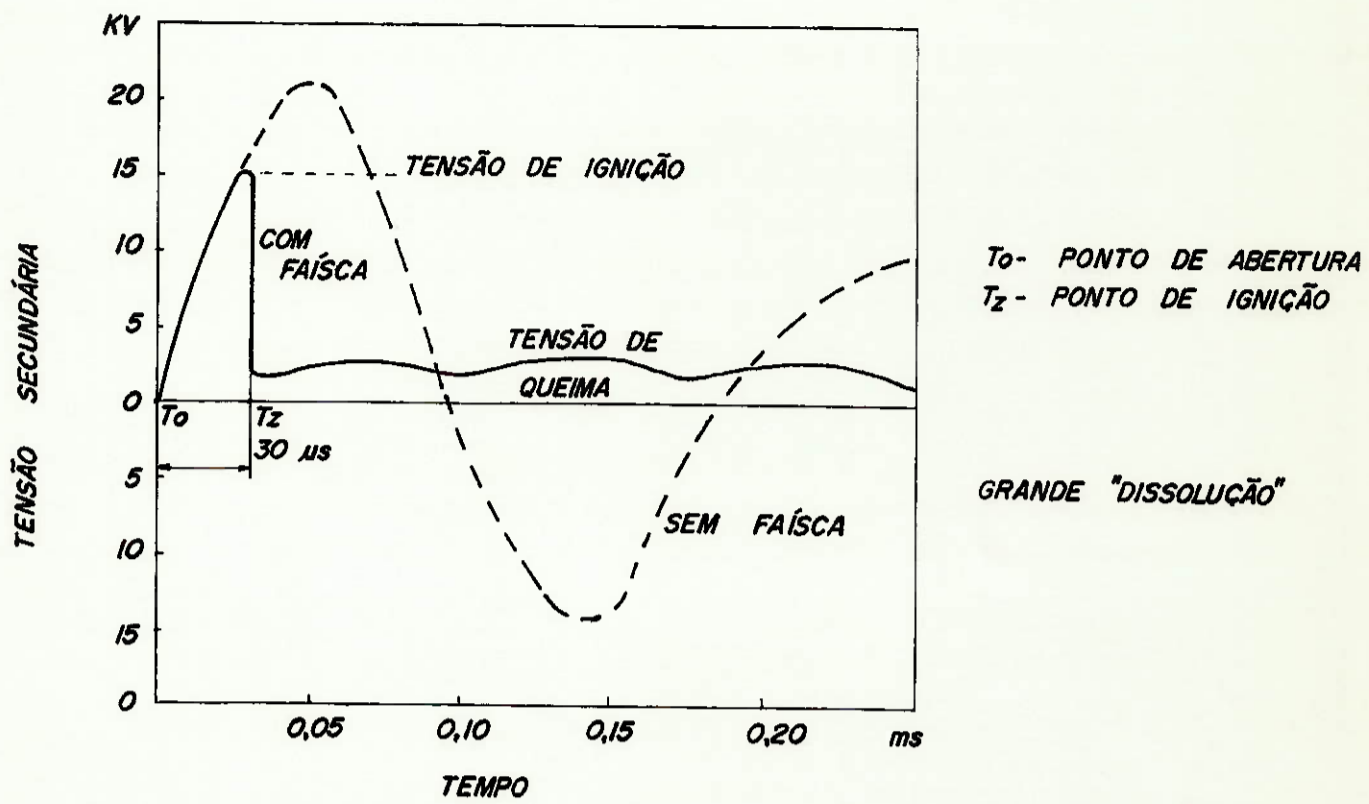


FIG. 6

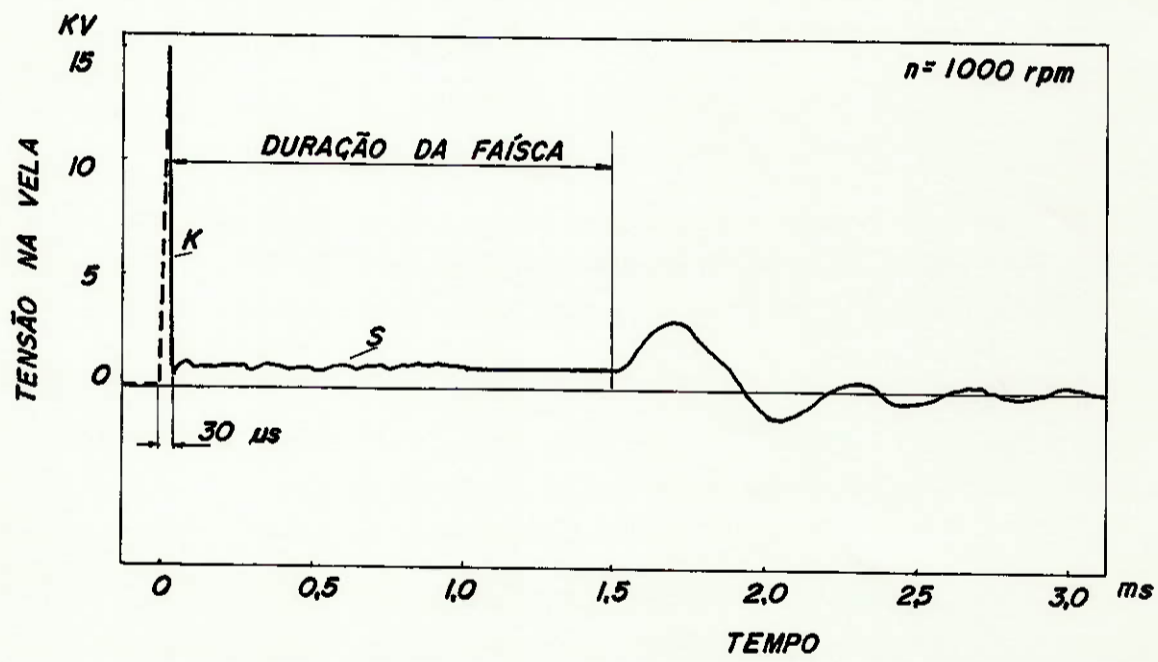


FIG. 7

- cabeça de faísca de grande intensidade de corrente, extremamente breve
- cauda de faísca de maior duração com a tensão de queima ligeiramente ondulada.

Caracteriza a faísca o aumento súbito da tensão secundária bem como a queda praticamente vertical depois de alcançada a tensão de ignição.

A cauda da faísca determina, por assim dizer, a duração da faísca. Logo que a energia fornecida pelo armazenador atingir um valor inferior a um certo limite, a faísca não mais pode ser mantida; deixa de existir. Novamente o centelhador deixa de ser condutor. O resto da energia que ainda fica à disposição vai desaparecendo na forma de oscilações amortecidas de tensão e corrente.

A duração da faísca depende tanto do fornecimento de energia como também do fato de a mistura combustível-ar se achar em turbulência ou parada. No caso de baixa rotação do motor ou pequeno número de faíscas, a mistura estará relativamente parada ou apenas com leve turbulência. A duração da faísca de aproximadamente 1,4 mili-segundos é relativamente longa e a mistura é facilmente incendiada.

Com rotação elevada, ao contrário, a mistura está em grande turbulência. Na maioria das vezes a faísca de ignição se rompe em diversas faíscas que normalmente, porém, não influem na queima da mistura já que a duração da faísca atuante se estende da primeira à última faísca (resultantes) dando à mistura suficiente oportunidade de

se incendiar. A duração de faísca consideravelmente mais curta (aproximadamente 0,6 mili-segundos) se deve principalmente ao menor armazenamento de energia resultante de menor tempo de fechamento dos contatos (ângulo de permanência). Além disso, cada cabeça de faísca necessita para si de uma determinada parcela de energia, o que abrevia ainda mais a duração da faísca.

3.4 Faísca de ignição e tensão de ignição

Observemos mais uma vez a imagem da curva da tensão secundária sem formação da faísca em função do tempo (fig. 5). Verificamos que essa tensão muda constantemente o seu sinal. Isso é válido porém, apenas para a extremidade isolada do enrolamento secundário. Nessa extremidade está ligado o eletrodo central da vela através do distribuidor e do cabo de ignição, enquanto que o eletrodo lateral está diretamente ligado à massa através da rosca da vela. Os enrolamentos primário e secundário estão ligados de uma tal maneira que o eletrodo central, no primeiro e decisivo impulso de alta tensão, é negativo com respeito à massa. Isso tem a vantagem de o centelhador, pela saída de elétrons do eletrodo central se tornar melhor condutor, facilitando o saltar da faísca. O eletrodo central muda sua polaridade somente quando não há formação de faísca no ritmo das oscilações amortecidas, (fig. 7) durante toda a duração da faísca fica mantida na maioria das vezes a polaridade negativa com respeito à massa. Somente quando a faísca, em virtude de falta de energia, se extingue - conforme já foi mencionado - é que o processo de oscilação tem novamente lugar havendo a mudança do pólo negativo ao positivo, etc. O mais fácil saltar da

faísca, no caso de eletrodo central negativo, significa menor demanda da tensão de ignição. Considerando ainda que do eletrodo quente os elétrons são lançados para fora mais rapidamente e em maior número do que do eletrodo frio, então entende-se por que uma vela aquecida necessita de menos tensão de ignição do que uma fria.

A demanda da tensão de ignição depende ainda de muitas outras circunstâncias, tal qual ocorre no funcionamento prático. Uma tensão de ignição de 5.000 volts pode ser considerada como excepcionalmente baixa, uma de 20.000 volts, como muito elevada. Não é possível a indicação mais exata de valores, já que a atuação conjunta dos fatores é muito variada e por que também, da parte do motor, provêm influências (rotação, carga, combustível, etc.). A regra geral para um motor é a seguinte: a tensão de ignição não dever ser muito diferente de vela para vela.

Derivações elétricas no circuito de ignição, por água de condensação, sujidade e deposição de substância oleosa nas peças de isolamento ou por restos de combustão no pé do isolador da vela, sobrecarregam a bobina de ignição e reduzem a disponibilidade de alta tensão, de maneira bem considerável, já que cada resistência em derivação desvia uma parte da corrente destinada à ignição. Também a carga capacitiva no circuito de ignição reduz a tensão de ignição, já que uma parte da energia é desviada pela carga elétrica das capacitâncias (Ca) perdendo-se para a faísca de ignição.

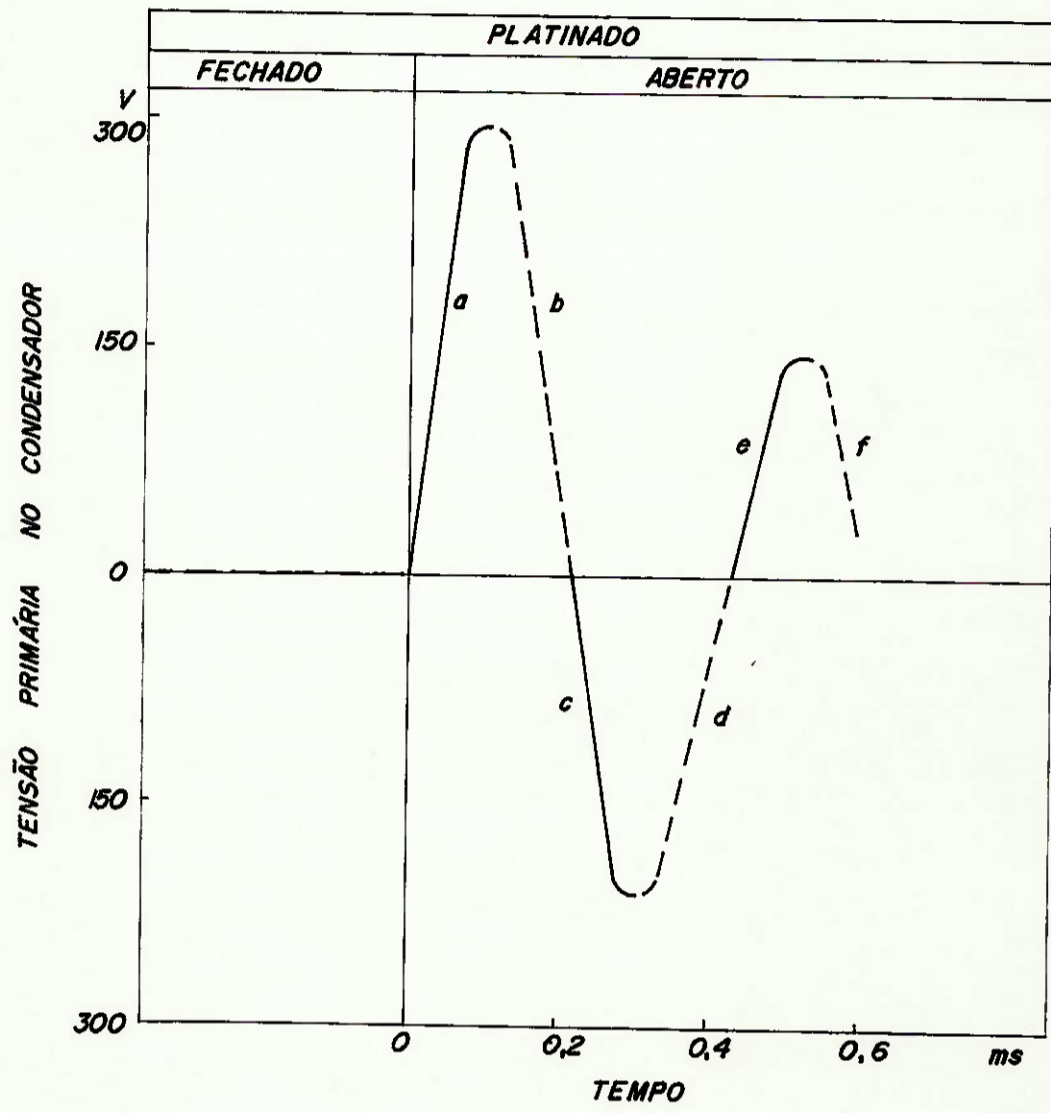
Cabos de ignição principalmente quando são blindados para a supressão de interferência ou as espiras do enrolamento secundário são aquelas capacitâncias que atuam como condensadores, que sobrecarregam o circuito de ignição. Quanto mais comprido, por exemplo, o cabo de ignição, tanto maior será a perda de energia. Ligações em derivação e carga capacitativa conduzem, conforme vimos, a uma carga considerável do circuito de ignição, às custas da energia de ignição e da alta tensão disponível. Pode-se contornar essa situação, apenas através de uma disponibilidade correspondentemente elevada, como por exemplo, pelo emprego de equipamentos de ignição eletrônicos.

3.5 Funcionamento do condensador de ignição

Na interrupção da forte corrente primária, também no enrolamento primário da bobina, é induzida, durante curto espaço de tempo, uma tensão ao se desfazer rapidamente o campo magnético. Essa tensão é de 300 a 400 volts e provocaria, na abertura do martetele, uma forte faísca denominada de "tensão de auto-indução". Em relação ao comportamento do equipamento de ignição, a tensão de auto-indução no platinado tem três propriedades muito indesejáveis:

- Consumo de energia às custas da energia de ignição.
- Queima muito pronunciada do contato, portanto desgaste prematuro dos contatos.

CURVA DA TENSÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO NO CONDENSADOR DE IGNIÇÃO



- a - 1ª CARGA DO CONDENSADOR
- b - 1ª DESCARGA DO CONDENSADOR
- c, e - CARGAS SUBSEQÜENTES
- d, f - DESCARGAS SUBSEQÜENTES

FIG. 8

- Elevada resistência de transição nos pontos de contato em virtude da alta temperatura e má condutibilidade da camada de fusão. Com isso, queda da tensão e redução da potência de ignição.

Portanto, evitar possíveis tensões de auto-indução; isso se faz mediante condensador de ignição.

De uma maneira bem generalizada podemos afirmar ser o condensador um armazenador de carga elétrica, portanto também de energia elétrica à semelhança, pois, da bobina de ignição, somente com a diferença de que no condensador, pelo acúmulo de carga elétrica "parada", se forma um campo elétrico, enquanto que para a formação de um campo magnético é necessária uma carga elétrica em movimento, portanto é preciso que flua uma corrente. Para evitar mal entendidos é preciso esclarecer aqui, que esse condensador de ignição empregado especialmente para a ignição por bobina, não armazena energia de ignição; essa é função da bobina de ignição.

O condensador de ignição está ligado em paralelo com o platinado. No momento em que se dá a interrupção da corrente, ele absorve a tensão de auto-indução, portanto carga elétrica, formando um circuito derivado com o contato que está abrindo. O condensador é carregado com tensão de pico induzida no lado primário; para isso, necessita de um certo tempo. Os pontos de contato acham-se tão abertos que não mais pode saltar uma faísca entre eles já que a tensão nos contatos em abertura é a cada instante mais elevada do que a tensão imediatamente anterior, existente tanto no condensador como no próprio contato. O enrolamento primário e o condensador de ignição formam um

circuito de oscilação. A corrente e a tensão provocam a partir do momento da interrupção da corrente, oscilações amortecidas. Sem condensador de ignição a completa tensão induzida estaria ligada ao interruptor, o que poderia provocar uma forte tensão de auto-indução; eis que recairia toda a carga do condensador e portanto o retardamento do aumento da tensão. Após curto tempo o platinado não mais poderia ser aproveitado (desgaste dos contatos).

A despeito do desejado retardamento do aumento da tensão, este ainda é tão pronunciado que o campo magnético se desfaz rapidamente; aproximadamente vinte vezes mais rápido do que se não houvesse condensador.

O campo estará desfeito exatamente quando o condensador se carregar pela primeira vez com a tensão de auto-indução de aproximadamente 300 V, o que ocorre aproximadamente 0,1 mili-segundo. Ainda antes da recarga do condensador, o campo magnético estará desfeito, e o impulso de alta tensão no circuito secundário terá provocado a formação da faísca.

A velocidade de levantamento do martetele para menos de 3.000 faíscas p/min. é tão pequena que, apesar do condensador, ainda há uma fraca tensão de auto-indução, já que a tensão primária induzida aumenta mais rapidamente do que a tensão da faísca na abertura entre contatos, que agora se torna maior. A tensão de auto-indução "ultrapassa" de certa forma a tensão necessária para a formação da faísca que então ocorre. Tensão de auto-indução significa, porém, perda de energia de ignição e também desgaste dos contatos. Nas oficinas, é onde melhor se sabe que os veículos que trafegam mais na cidade são os que mais fre-

quentemente são levados para troca de platinados. Conforme a maneira de conduzir o veículo os platinados duram de 15.000 a 20.000 Km.

3.6 Energia de ignição e rotação do motor

A energia armazenada no campo magnético da bobina de ignição depende em grande parte da intensidade da corrente à qual o circuito primário é interrompido. No âmbito de baixa rotação do motor ou reduzido número de faíscas, o tempo de fechamento é suficientemente longo para armazenar no campo magnético da bobina o máximo de energia possível, representada pela superfície E1 (fig. 9). Conforme vimos, esse é o caso quando chega a haver corrente de repouso no circuito primário. Com o aumento do número de faíscas o tempo de fechamento se reduz, sendo que a corrente primária será interrompida já durante o seu aumento. Conseqüentemente já menos energia pode ser armazenada, a qual é representada pela superfície menor E2. Eis um exemplo: suponhamos que a corrente de repouso tenha uma intensidade de 4,0 A; a interrupção ocorre porém já a 3,6 A, portanto 10% menos. A perda de energia é, com isso, já de 20%.

Chegamos à conclusão de que a energia armazenada na bobina de ignição diminui constantemente à medida que o número de faíscas aumenta. De maneira semelhante, embora não tão intensamente há uma diminuição da disponibilidade de alta tensão para a ignição; pois ambas as grandezas estão intimamente ligadas. Exemplificando, temos que uma redução na energia de 50% tem como conseqüência uma redução da alta tensão de 30%.

ENERGIA POR ROTAÇÃO

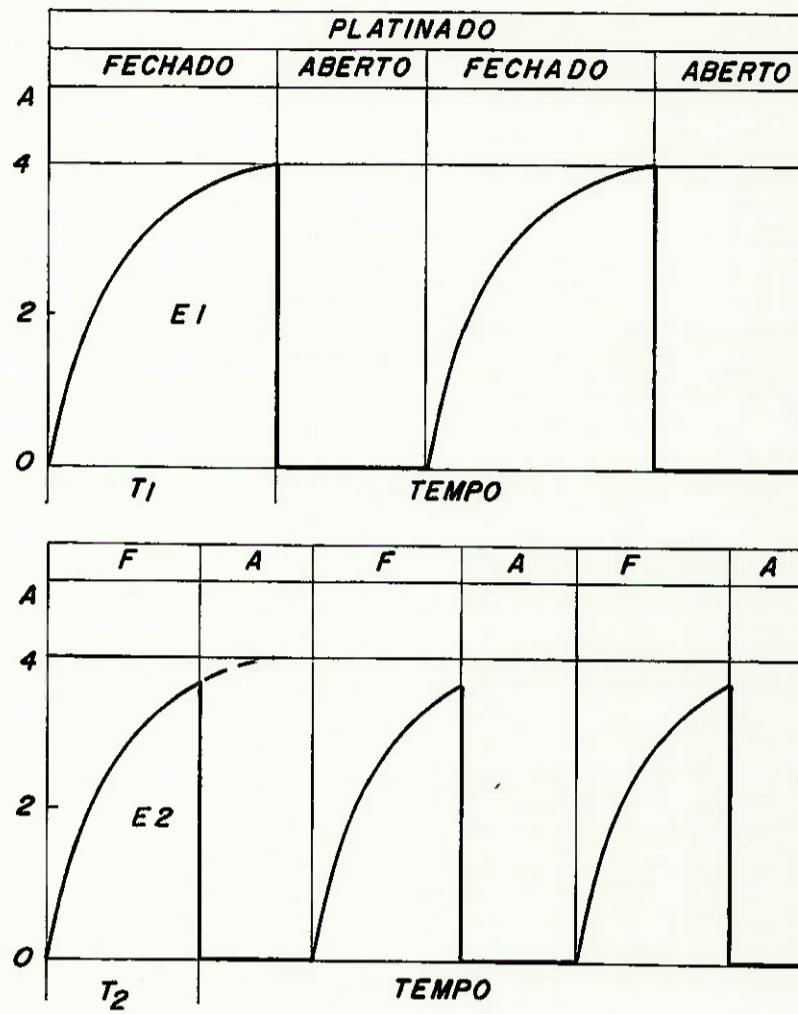


FIG. 9

Visando a uma melhor compreensão, convém indicar a alta tensão em função da rotação do motor ou do número de faíscas, para as diferentes condições de carga que ocorrem na prática, representando-a de uma maneira bem fácil na forma de um diagrama. Escolhe-se comumente uma carga capacitativa de 50 picofarads (pF); ela corresponde ao comprimento médio de um cabo de ignição não blindado na câmara do motor. Mas também ligações ôhmicas em derivação, assim como podem ocorrer, por exemplo, em velas revestidas de chumbo ou em peças de isolamento sob condições extremas de clima, reduzem a alta tensão, resultando curvas ainda mais baixas.

O comportamento da ignição de equipamentos de ignição convencionais com bobinas no âmbito de rotações muito baixas e muito altas é determinado pelas propriedades elétricas e mecânicas do platinado. Em ambos os casos pode a tensão de ignição cair abruptamente para valores baixos, assim como o mostram as áreas hachuradas nas extremidades das curvas. Com uma redução do número de faíscas, isso se faz sentir na forma de tensão de auto-indução no platinado. A ignição é crítica principalmente na partida do motor frio.

Que significado tem o presente diagrama para o funcionamento prático da ignição? Sabemos agora que a curva indica a alta tensão máxima para cada número de rotações ou número de faíscas, portanto aquela tensão que ocorreria no circuito secundário como tensão de pico do primeiro semiciclo, se não houvesse a formação de nenhuma faísca. Para que salte a faísca é necessário que a demanda de tensão de ignição a uma dada rotação seja menor que a

disponibilidade de tensão da respectiva curva; quanto menor ela for, tanto melhor será. Se ao contrário, a demanda de tensão de ignição for igual ou maior do que a alta tensão disponível, haverá falhas de ignição. O perigo de ocorrerem falhas de ignição será tanto maior quanto mais baixa se localizar a curva de tensão, assim por exemplo:

- no âmbito superior do número de faíscas
- nas flutuações dos contatos
- no funcionamento com tensão de auto-indução nos contatos
- no caso de grande carga do circuito de ignição, de natureza ôhmica ou capacitiva.

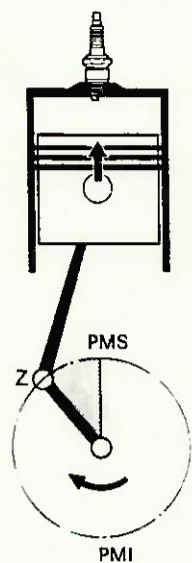
3.7 Ponto de ignição e queima da mistura

Desde o momento em que ocorre a ignição da mistura combustível-ar até a sua total combustão, decorre um determinado tempo, em média aproximadamente 2 mili-segundos. É preciso, pois, que a faísca salte tão cedo que a máxima pressão de combustão venha alcançar o seu valor máximo um pouco além do ponto morto superior do virabrequim. Se a faísca ocorrer muito cedo o pistão que está em movimento para cima será fortemente freado; se ocorrer muito tarde, a queima só terá início quando o pistão voltar a se deslocar para baixo. Em ambos os casos a potência do motor será pequena em relação ao combustível gasto, sendo grande o perigo de superaquecimento de peças na câmara de combustão. O ponto de ignição deve estar ajustado de tal modo que se alcance uma potência grande e um funcionamento econômico.

É costume determinar o ponto de ignição em relação ao ponto morto superior do virabrequim, fazendo a indicação do ângulo em graus. Esse ângulo é denominado ângulo de avanço. Conforme a faísca salte antes ou depois do ponto morto superior, fala-se de ponto de ignição avançado ou atrasado.

Enquanto a composição da mistura não se alterar, o tempo que decorre do início da queima da mistura até a combustão continua sempre o mesmo. Se o ponto de ignição fosse ajustado a um determinado ângulo antes do ponto morto superior e a rotação fosse crescente, a máxima pressão de combustão se deslocaria sempre mais para o fim do curso de combustão, já que o virabrequim, entre a ignição e a combustão, gira sempre com rotação crescente. A máxima pressão de combustão deve acontecer com o pistão sempre na mesma posição, ou seja, alguns graus após o ponto morto superior. Para isso é preciso ajustar o ponto de ignição; é, pois, fácil de se entender que com o aumento da rotação ele terá que ser antecipado.

Mas não é somente a rotação do motor que determina o ponto de ignição mais favorável para a inflamação da mistura, mas também o tipo do motor, a carga do motor e o combustível desempenham importante papel. A forma e o tamanho da câmara de combustão, a posição da faísca de ignição na câmara de combustão, a composição e a densidade e o estado de repouso ou turbulência da mistura também exercem influência sobre o ponto de ignição. Se o motor, por exemplo, funcionar não com carga total, mas com carga parcial, haverá na câmara uma mistura menos carburente; ela queima mais devagar, sendo necessário inflamá-la mais cedo ainda.



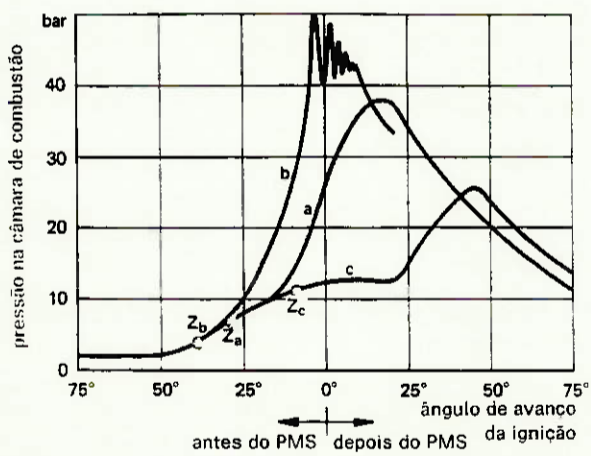
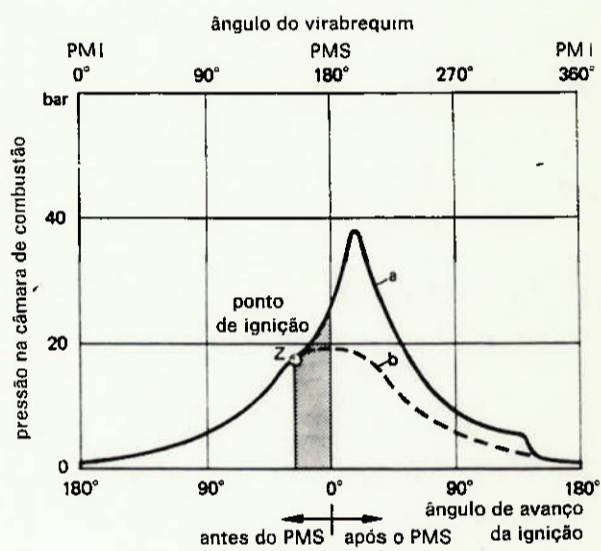
POSIÇÃO DO VIRABREQUIM E PISTÃO DO CILINDRO NO PONTO DE IGNIÇÃO

FIG. 10

a PRESSÃO DE COMPRESSÃO + PRESSÃO DE COMBUSTÃO

b PRESSÃO DE COMPRESSÃO

FIG. 11



IGNIÇÃO

- a Za NO PONTO EXATO
- b Zb MUITO CEDO
- c Zc MUITO TARDE

FIG. 12

O ajuste do ponto de ignição em função da rotação e da carga é feito por sistemas de avanços de funcionamento automático.

Há dois tipos fundamentais:

avanço centrífugo: modifica o ponto de ignição em função da rotação do motor.

avanço a vácuo: modifica o ponto de ignição em função da carga do motor.

Na prática isso é realizado de tal modo que o avanço centrífugo atua em plena carga e o avanço a vácuo apenas provoca a alteração adicional em função da carga parcial. Por isso, esses dois tipos de avanços são usados simultaneamente no equipamento de ignição. Em casos especiais, usa-se apenas um avanço, que atua na carga total e no regime de carga parcial.

3.8 Ponto de ignição e tendência a detonação

A alta compressão das misturas dos motores a gasolina atuais apresenta tendência maior a batidas-de-pino do que antigamente. Isso é válido, principalmente, para as baixas rotações e regime de plena carga. Há, além disso, batidas a alta velocidade, batidas que se verificam a altas rotações.

Batidas no motor ocorrem por ignições espontâneas de restos da mistura ainda não queimados, quando a pressão aumenta muito rapidamente, de sorte que a compressão (que igualmente aumenta com a temperatura) alcança o ponto de

auto-ignição. O ponto de ignição encontra-se nesse caso muito em direção à ignição adiantada; para a sua determinação exata é preciso observar a tendência do motor às batidas.

A frente das chamas de auto-ignição se expande com aproximadamente a velocidade do som sendo, portanto, dez vezes mais rápida do que a combustão "suave" normal, provocada pela ignição prematura. Conforme a intensidade, as batidas se ouvem como um som de campainha ou como fortes batidas de martelo. As batidas a altas velocidades não podem ser ouvidas em virtude dos ruídos do motor, motivo porque não se pode, apenas pela audição, ter uma idéia geral do comportamento do motor referente às batidas; há a possibilidade de efetuar medidas exatas eletronicamente. Ocorrendo durante um tempo prolongado, podem as batidas provocar graves danos no motor (danos de mancal, buracos no pistão).

A tendência a batidas depende, entre outros fatores, do tipo do motor e do combustível. Os combustíveis para motores "OTTO" (motores a gasolina) são misturas de hidrocarbonetos, saturados e não saturados aos quais é adicionado aproximadamente 1% de tetraetileno de chumbo de ação antidetonante. A resistência a batidas dos combustíveis OTTO é caracterizada pelo número de octanas. Quanto maior a octanagem mais resistente a detonações é o combustível.

A cada motor corresponde uma octanagem mínima que deverá ter o combustível para que não ocorram "batidas". Dentre as medidas necessárias para a "limpeza" dos gases de escapamento está prevista uma redução do teor de chumbo no combustível. Isso aliás, provocará uma certa modifica-

ção na construção dos motores e na composição do combustível, o que por sua vez influirá no ponto de ignição.

3.9 Curvas de avanço da ignição

As curvas de avanço servem para que, em sua mecânica, os avanços sejam construídos de tal modo que para cada motor, cada rotação e cada carga seja alcançado o ajuste mais favorável do ponto de ignição. Ajuste mais favorável significa o mesmo que máxima potência possível com o mínimo consumo de combustível, considerando o limite de detonação e a expulsão de gases venenosos. Aqui é necessário estabelecer certos compromissos. A consideração de todos esses fatores esclarece a grande variedade de curvas de avanço para carga total e carga parcial. O construtor do motor determina as curvas para cada motor.

O avanço da ignição principia, em geral, apenas depois de uma rotação do virabrequim de aproximadamente 600 rpm. Abaixo desse limite, em geral, os avanços de ignição mecânicos não atuam. Por isso, nesse âmbito de rotações basta um ajuste constante da ignição de alguns graus antes do ponto morto superior; mesmo no regime de carga total, sob observância do número constante mínimo, ainda se estará, assim, suficientemente distante do limite de detonação do motor.

3.9.1 Curva de avanço de plena carga

O motor estará em regime de plena carga, quando o veículo estiver, por exemplo, subindo um morro. O avanço de plena carga tem lugar através da força centrífuga. Os contrapesos, quando a rotação do motor aumenta, são empurrados para fora, deslocando o ponto de ignição sempre mais em direção "adiantado". A curva do avanço é determinada, de um lado, pelo máximo da potência do motor, representada no diagrama pela parte pontilhada da curva do centro da área reticulada (fig. 11). A limitação dessa área indica, para cada rotação, até quantos graus a ignição pode ser deslocada, em sentido adiantado ou atrasado, para que a potência não caia mais do que 1%. De outro lado, a curva de avanço deve ficar sempre abaixo do limite de batidas desenhado por área hachurada; é preciso observar uma certa distância de segurança, já que a tendência a batida aumenta com o tempo (idade) do motor, deslocando-se, pois, o limite de detonações um pouco para baixo. A curva de plena carga com alta rotação, localiza-se, por isso, no máximo de potência. Com rotação decrescente é preciso que ela desvie para baixo, para não chegar muito perto do limite de detonações. Isso significa, porém, que a ignição em baixas rotações tem que ser deslocada em direção a atrasado, o que se dá às custas da potência.

3.9.2 Curva de avanço de carga parcial

O motor funciona sob carga parcial quando o veículo com velocidade média se desloca em estrada plana. Essa carga parcial relativamente baixa chama-se, por isso, também de "carga de estrada". A carga parcial é ajustada pela abertura e fechamento da borboleta no carburador. No caso de carga total a borboleta está completamente aberta e no caso de marcha lenta, quase fechada.

Em regime de carga parcial a ignição é avançada em direção "adiantado", em virtude da mais difícil inflamabilidade da mistura, e isso adicionalmente ao avanço centrífugo em função da rotação, no regime de plena carga. O avanço de carga parcial tem lugar através do vácuo que se ajuda no tubo coletor entre o carburador e o motor e que é alterado principalmente, pela posição da borboleta e um pouco pela rotação. Esse vácuo é indicado como pressão de diferença em milibar (ou torr). Se a borboleta estiver fechada, haverá no tubo de admissão praticamente a pressão atmosférica, o vácuo será igual a zero. Aumentando a abertura da borboleta e a rotação o vácuo aumentará, em regime de carga parcial, inicialmente até um valor máximo de aproximadamente 660 milibares (500 torr), caindo, então, para 130 milibares (100 torr), quando a borboleta estiver completamente aberta no âmbito de rotação máxima. Em regime de carga total a borboleta se abre toda imediatamente e o vácuo sobe diretamente para o valor final de 130 milibares.

Para o avanço da ignição em regime de carga parcial é utilizado um dispositivo, cujo diafragma se movimenta, quando há oscilações de vácuo na tubuladura coletora. Uma mola de pressão acha-se com uma tensão preliminar tal, que o avanço a vácuo somente começa a atuar a partir da pressão máxima de carga total (no nosso exemplo, a partir de 130 milibares).

Quanto mais a carga do motor for retirada e quanto mais a borboleta for fechada mais aumenta o vácuo a uma determinada rotação e conseqüentemente tanto mais a ignição é deslocada em direção a adiantado. Aliás, o avanço a vácuo é limitado a um determinado vácuo máximo (no exemplo 400 milibares), de sorte que acima de 400 milibares atua só o avanço centrífugo, ainda aumentado pelo avanço adicional constante para 400 milibares (avanço paralelo da curva para cima, no valor correspondente ao ângulo de avanço adicional). Também a curva de avanço de carga parcial tem que ser tal que não se aproxima demais em nenhum ponto do limite de detonação para o regime de carga parcial.

3.10 Ponto de ignição e eliminação de gases de escapamento

A crescente motorização do nosso mundo trouxe como consequência uma poluição do ar por gases tóxicos (CO) dos escapamentos, a qual alcança os limites do perigo principalmente nas grandes cidades, sendo que, sob condições desfavoráveis de clima, esses limites até já chegam a ser

ultrapassados. Nos Estados Unidos foram realizados na última década minuciosas pesquisas, tendo sido elaborado um teste de motor, o denominado "teste de Califórnia". Todos os veículos novos, para serem licenciados, têm que passar por esse teste, segundo o qual o monóxido de carbono, os hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio não podem ultrapassar certas quantidades máximas. Também nos países europeus as determinações legais para impedir a poluição do ar se tornam sempre mais rígidas, obrigando a indústria automobilística a tomar certas medidas para reduzir o teor de gases tóxicos nos escapamentos dos motores de combustão. Em primeira linha, o combate visa ao monóxido de carbono (CO) tanto à sua toxicidade como à sua quantidade.

A composição dos gases de escapamento é, em primeira análise, influenciada pela forma da câmara de combustão, pelos tempos de comando da válvula, pela rotação do motor, bem como pelo tipo e qualidade da dosagem do combustível. Motores de injeção de gasolina eliminam bem menos CO do que aqueles com carburador.

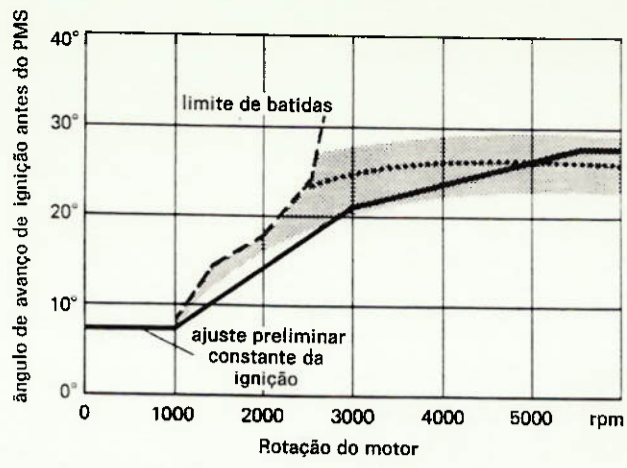
O teor de substâncias tóxicas pode ser reduzido, por exemplo, através de uma determinação adequada do ponto de ignição. Deve ser considerado o fato de que a borboleta, na marcha lenta e na redução da marcha, fica quase que fechada, evitando suficiente alimentação da câmara de combustão com gás fresco. A mistura contém muitos restos de gás, acha-se super-enriquecida, resultando uma combustão incompleta, bem como falhas de ignição. A porcentagem de partículas tóxicas nos gases de escapamento é, nesse caso muito elevado, cai porém imediatamente, tão logo se abrir um pouco mais a borboleta. Uma abertura maior ele-

varia, porém a rotação na marcha lenta, o que não é desejado.

Isso, contudo se pode evitar se simultaneamente, o ponto de ignição puder ser deslocado em direção a atrasado. Muitas vezes trata-se de uma típica ignição atrasada, isto é, de uma ignição no ponto morto superior ou após o ponto morto superior. A desejada ignição atrasada é obtida através de um dispositivo a vácuo, que possui um segundo sistema de avanço além do avanço adiantado.

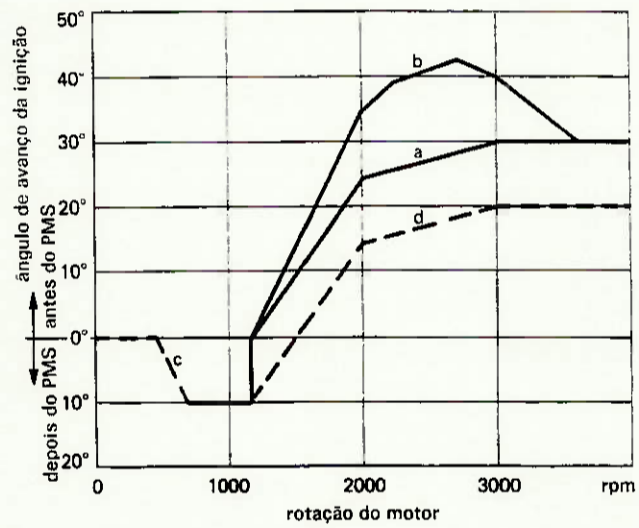
Pela deslocação da ignição na direção "atrasado"; desenvolve-se na câmara de combustão mais calor por curso de trabalho, o que significa melhor combustão e, portanto, menos expulsão de partículas venenosas. Evidentemente a economia nos custos de funcionamento do motor não é mais considerada como quando não se toma essa medida.

O avanço atrasado produz uma curva adicional de avanço para marcha lenta e marcha reduzida, conforme ilustrado. Medidas ainda mais severas referentes à composição dos gases de escapamento que certamente serão exigidas no futuro, condicionam um desvio ainda mais pronunciado nas curvas da ignição adiantada. O avanço atrasado já tem que ocorrer em regime de carga parcial. Os gases de escapamento podem ser despoluídos adicionalmente se o avanço adiantado a vácuo desligar no âmbito de baixas rotações, por exemplo, em função de rotação, velocidades e marcha engatada.



Exemplo de uma curva de plena carga.

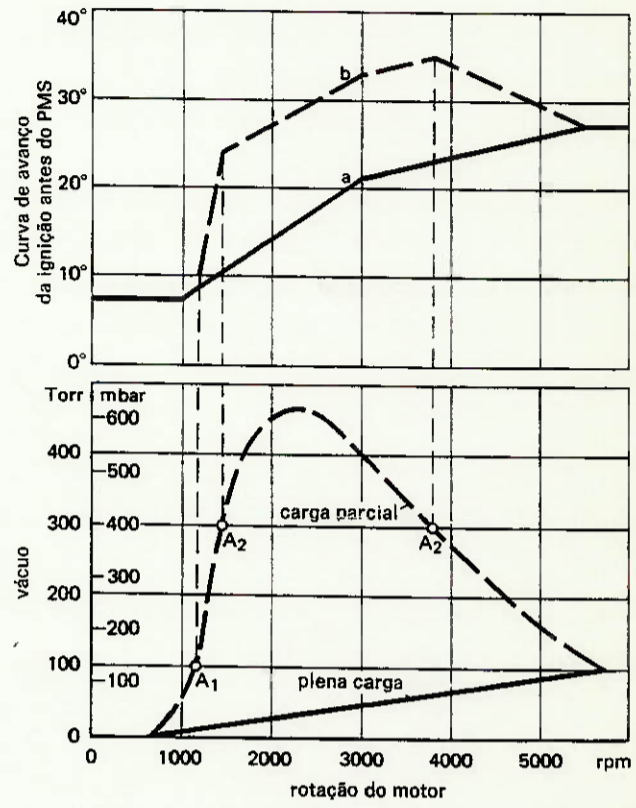
FIG. 13



Curvas de avanço para

- a) plena carga } avanço em direção "adiantado"
- b) carga parcial }
- c) marcha lenta } avanço em direção "atrasado"
- d) redução da marcha }

FIG. 15



Deslocação total do avanço centrífugo e avanço a vácuo

- a) curva de avanço de plena carga
- b) curva de avanço de carga parcial
- A₁ Vácuo-limite inferior (100 torr)
- A₂ Vácuo-limite superior (300 torr)

FIG. 14

4. SISTEMAS ELETRÔNICOS DE IGNIÇÃO

A energia e a tensão em equipamentos de ignição convencionais por bobina são limitadas pela capacidade elétrica e mecânica de ligação do platinado. Em alguns casos, em virtude das características do motor, são feitas exigências ainda maiores, que o platinado simplesmente não pode atender. A aplicação de elementos semicondutores eletrônicos em equipamentos de ignição, substitui contatos mecânicos com importantes vantagens: a tensão e a energia de ignição são mais elevadas e quase que constantes, mesmo às mais elevadas rotações do motor. Os interruptores eletrônicos funcionam sem retardamento, sem manutenção e tem grande durabilidade.

4.1 Ignição por bobina transistorizada

Em muitos casos a demanda de tensão de ignição da vela de ignição não pode ser suficientemente coberta pela ignição convencional por bobina; esse é o caso por exemplo em motores de alta rotação e muitos cilindros. Há falhas de ignição. O problema é, também em tempo de fechamento muito curto, armazenar ainda suficiente energia de ignição. A bobina de ignição de alta potência foi o primeiro passo nesse sentido. Elevou-se, aqui, a corrente primária de aproximadamente 3,5 para 4,5 A chegando muito perto do limite da corrente de comando do platinado (5 A). Para exigências especiais também isso não era o bastante e já há anos teve que ser enfrentada a situação de a técnica dos sistemas de ignição não mais poder acompanhar o desenvolvimento dos motores.

Do outro lado, porém, o desenvolvimento no setor dos elementos semicondutores abriu novas perspectivas também para a ignição por bateria. Assim, pode o transistor ser usado, por exemplo, também como interruptor; com ele podem ser ligadas correntes consideravelmente mais intensas do que com o platinado. Com a ignição por bobina transistorizada são alcançadas correntes primárias de até quase 9 A; em relação à bobina de alta potência, isso equivale justamente ao dobro. Considerando-se ainda que a indutividade da bobina transistorizada atinge apenas a metade do valor obtido com uma bobina "standard", é fácil de calcular que, para conseguir tempos de fechamento ainda mais curtos, pode-se armazenar aproximadamente o dobro de energia, e isso quase que independentemente da rotação do motor.

O transistor não tem nenhum contato móvel e por conseguinte, mesmo à rotação de partida, não há arco voltaico, pois no lugar da ligação da corrente primária existe o comando eletrônico. Aqui se verifica um movimento característico dos elétrons no interior do transistor. Por isso, o transistor é chamado também de interruptor eletrônico. Consta de três zonas de semicondutores com uma conexão cada: emissor (E), base (B), coletor (C). Através do emissor e do coletor, está ligado ao circuito primário; é comandado através de emissor e base.

Característica essencial da ignição por bobina transistorizada é que a corrente primária da bobina não é ligada pelo platinado mas por um transistor (T). O comando para a ligação eletrônica é dado por uma corrente de comando, consideravelmente mais fraca do que a corrente primária a ser ligada. A corrente de comando é em muitos casos liga-

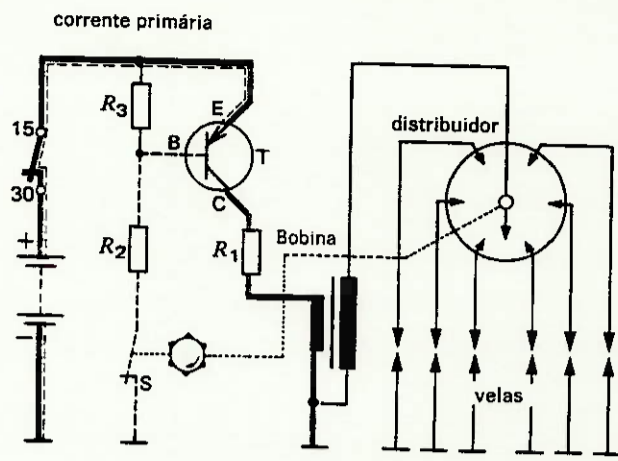


FIG. 16 Esquema básico da "ignição transistorizada de comando por contato".
 ————— corrente primária
 - - - - - corrente de comando

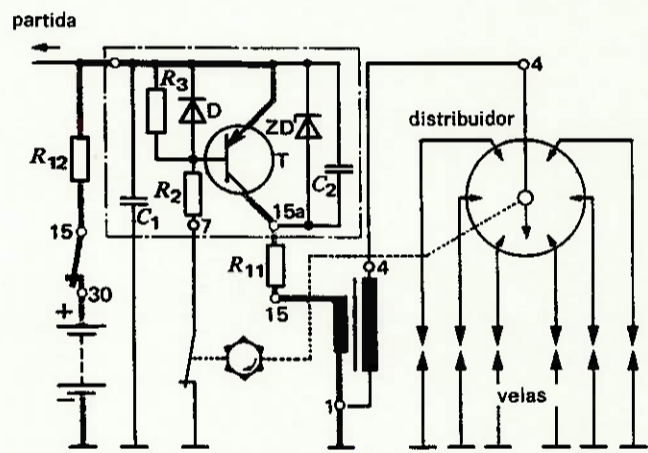


FIG. 17 Esquema completo da "ignição transistorizada de comando por contato".

da e desligada por um interruptor mecânico (S). Por isso é que alguns denominam esse tipo de "ignição transistorizada de comando por contato".

Logo que a chave de comando liga o circuito de corrente flui pelo emissor, coletor e enrolamento primário uma corrente de até 8 A (muitas vezes também mais) e através da chave de comando só, aproximadamente 1 A. Essa corrente de comando poderia ser consideravelmente menor; isso teria porém a desvantagem de faltar então o efeito de auto limpeza nos contatos. Não se pode, pois, deixar de considerar esse aspecto, já que entre os contatos passará somente a baixa tensão de bateria e não mais a tensão de auto-indução primária. Através de camadas de sujidades e óleo, resultaria considerável queda de tensão em prejuízo da ignição.

No ponto de ignição, a chave de comando interrompe a corrente de comando; abruptamente também a forte corrente primária pára de fluir através de emissor-coletor. O transistor bloqueia agora a corrente, já que o circuito emissor-coletor se transformou num isolador. Somente quando a corrente de comando tornar a fluir, o trecho emissor-coletor se torna abruptamente condutor e o circuito de corrente primária estará de novo ligado.

O emprego do transistor torna necessária adaptação do esquema da ignição. O transistor é muito sensível contra sobrecarga elétrica devendo, por isso, estar protegido contra sobretensões no âmbito de bloqueio e contra sobrecorrente no âmbito de passagem. As bobinas de ignição desses equipamentos têm sempre um resistor em série (R1). O resistor R2 serve para limitar a corrente de base do

emissor e o resistor R3 dá à base, no momento de desligamento, uma tensão preliminar positiva em relação ao coletor, para que o transistor ligue mais rapidamente.

No esquema completo ainda ressaltam algumas particularidades. O resistor em série R1 divide-se no resistor da bobina primária R11 (0,6 ohms) e o resistor R12 (0,4 ohms) que pode ser desligado na partida do motor. O diodo (D) protege a passagem emissor-base do transistor contra sobrecarga e portanto contra danificação. Diodos Z (ZD) e o condensador C1 protegem a passagem emissor-coletor. Finalmente o condensador CD protege toda a eletrônica de ignição contra tensões indesejadas da alimentação da corrente.

Como chave de comando emprega-se o platinado (comum) do equipamento normal de ignição por bobina. Já que ele liga apenas contra a tensão da bateria, não há mais tensão de auto-indução, podendo-se eliminar o condensador. O desgaste mecânico na peça de deslizamento continua a existir. Naturalmente o platinado, como chave de comando, também está sujeito, pela sua mecânica, ao rebatimento dos contatos no âmbito de altas rotações, sendo, portanto, limitado em suas funções. Aliás, os impactos têm aqui efeito menos intenso até aproximadamente 21.000 ligações por minuto.

O transistor, como chave eletrônica de corrente primário é de atuação imediata e totalmente isento de desgaste. É sensível, contudo, à sobrecarga elétrica e térmica. A proteção é feita conforme já se mencionou, devendo-se providenciar suficiente arrefecimento. Fica situado num aparelho de comando provido de aletas de arrefecimento. É preciso observar que seja montado numa base de grande superfície, bem arrefecida e não sobre um suporte ou dispositivo similar.

Ignição por bobina transistorizada de comando sem contatos.

Em virtude do efeito do impacto dos contatos, o número de faíscas por minuto está limitado na ignição por bobina simples, em 18.000 e na ignição transistorizada de comando por contato, em 21.000. Para motores de corrida e de alta potência são exigidos números de faíscas consideravelmente mais elevados. Quando só havia a ignição por bobina convencional, usavam-se dois circuitos de ignição totalmente independentes entre si.

Ultimamente, emprega-se um comando dos impulsos de ignição isento de contatos, tendo-se voltado a empregar um único circuito. Esse tipo de equipamento denomina-se "totalmente eletrônico". É isento de manutenção e permite observância mais exata do ponto de ignição até as mais elevadas rotações.

Nos equipamentos de ignição de comando sem contato a chave de comando mecânica é substituída por um emissor de impulsos que tem a função de gerar impulsos de corrente e

dirigi-los ao transformador de impulsos. Outra etapa de ligação fortalece os impulsos e os dirige ao circuito de comando do transistor de comando, o qual solta a tensão de ignição no ritmo dos impulsos de comando.

Os impulsos de comando podem ser gerados de diferentes maneiras: por emissor de indução, emissor fotoelétrico ou emissor de frequência.

O emissor de indução é que tem dado os melhores resultados. Uma roda em forma de estrela de aço não magnetizado produz durante a sua rotação uma alteração do fluxo magnético nos ímãs permanentes. Em um dos enrolamentos que envolvem o ímã tem lugar uma tensão, que vai ter ao emissor de impulsos. A roda de 4 dentes no equipamento de ignição de um motor de quatro cilindros, por exemplo, produz, por rotação, quatro impulsos de comando.

De maneira geral, o emissor de impulsos encontra-se no distribuidor. A roda geradora de impulsos (rotor) está localizada no eixo de comando. A bobina de excitação transfere os impulsos de comando ao aparelho de comando: eles retornam ao distribuidor na forma de impulsos de ignição que são conduzidos pelo eletrodo em rotação do distribuidor para as velas de ignição. Há exceção, por exemplo, em equipamentos de ignição totalmente eletrônicos de motores de corrida, nos quais o impulso de comando é tomado diretamente no volante. O volante possui peças de guia que se movem pelos pólos magnéticos do gerador de impulsos, gerando o impulso de comando.

4.1.1 Comando por impulsos

De ano para ano aumentam as exigências feitas ao motor a gasolina e conseqüentemente também ao seu equipamento de ignição: custos de manutenção ainda mais reduzidos, maior segurança de funcionamento em toda e qualquer situação e cumprimento da legislação referente aos gases de escape.

O comando da ignição sem contato mecânico apresenta vantagens, que tornam o sistema atrativo e de aplicação quase que universal.

- Não há desgaste, não necessitando portanto de manutenção.
- O ponto de ignição é mais fácil de ser ajustado, qualquer que seja a condição de funcionamento do motor. Ele permanece constante durante quase toda a vida útil do distribuidor de ignição.
- Maior segurança de ignição em regime de rotação elevada e absorção ideal de potência em rotação reduzida, através do comando do ângulo de permanência e em virtude da ausência de vibração dos contatos.

Característica principal desse sistema de ignição é o emissor de impulsos, que desempenha as funções do martetele do platinado. O emissor de impulsos de ignição produz impulsos de comando, sem o auxílio de contatos mecânicos. Esses impulsos de comando são conduzidos ao aparelho de comando ele-

trônico. Há emissores de impulsos de ignição de vários tipos:

- Emissor de impulsos indutivos
- Emissor de impulsos "Hall"

Conforme o emissor utilizado temos dois diferentes sistemas de ignição:

- Ignição transistorizada por bobina, com emissor de impulsos indutivos.
- Ignição transistorizada por bobina, com emissor de impulsos "Hall".

4.1.1.1 Impulsos indutivos

A ignição transistorizada sem contatos móveis teve o seu início com o desenvolvimento do emissor de impulsos indutivos de ignição.

Em comparação com a ignição transistorizada, comandada por platinado, a unidade de comando por impulso indutivo assume funções adicionais, principalmente a conversão do sinal do emissor, assim como o comando do ângulo de fechamento em função da rotação.

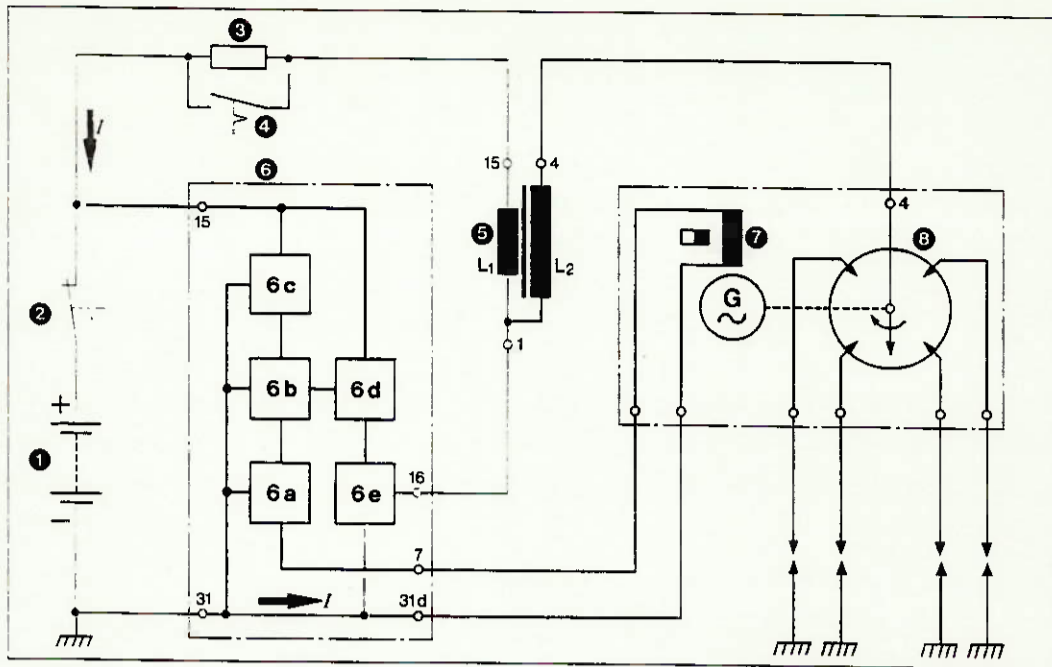


FIG. 18

Ignição transistorizada por bobina, com emissor de impulsos indutivos (TSZ-i). Em vermelho: circuito da corrente primária.

- 1 Bateria
- 2 Chave de ignição
- 3 Pré-resistor
- 4 Interruptor para melhoria da tensão na partida
- 5 Bobina de ignição
- L₁ Enrolamento primário
- L₂ Enrolamento secundário
- 6 Unidade de comando
- 6a Formador de impulsos
- 6b Comando do ângulo de permanência
- 6c Estabilização
- 6d Impulsor
- 6e Etapa final "Darlington"
- 7 Emissor indutivo
- 8 Distribuidor de ignição

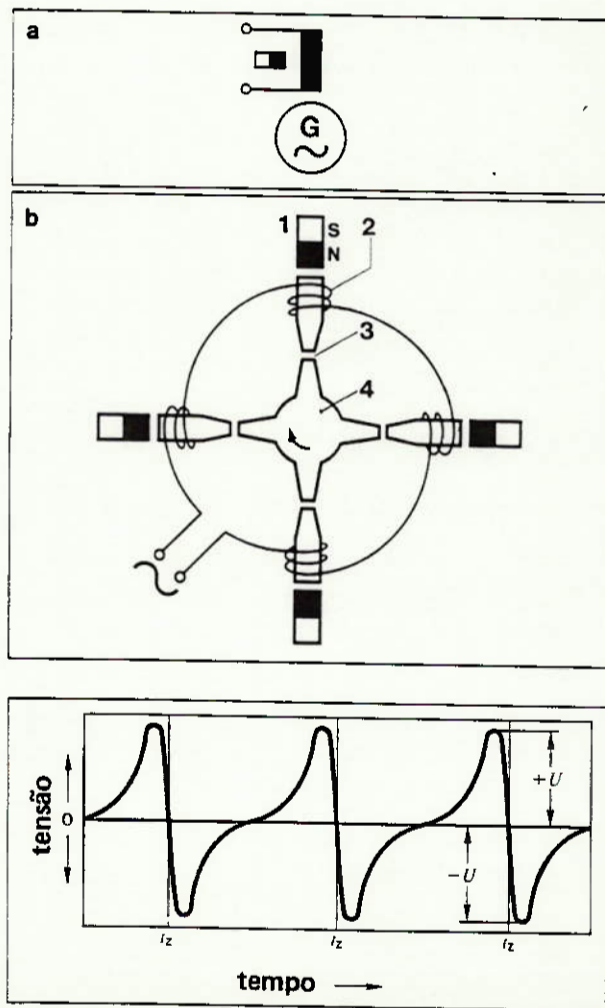


FIG. 19

Emissor de impulsos de ignição segundo o princípio da indução. Símbolo (a) e Esquema (b)

- 1 Imã permanente
- 2 Enrolamento de indução com núcleo
- 3 Entreferro variável
- 4 Rotor emissor de impulsos

FIG. 20

Tensão alternada, produzida pelo emissor de impulsos de ignição, em função do tempo.

t_z Ponto de ignição

Modo de atuar

A figura 19 (b) mostra o esquema de funcionamento do emissor. O ímã permanente, o enrolamento de indução e o núcleo constituem um conjunto, o "estator". O estator é fixo, o rotor emissor de impulsos, instalado sobre o eixo do distribuidor de ignição, gira. Tanto o núcleo como o rotor são fabricados de aço magnético doce. Eles têm prolongamentos em forma de pontas (pontas do estator, pontas do rotor).

O princípio de funcionamento, é o seguinte: com o rotor em movimento, o intervalo existente entre as pontas do rotor e as pontas do estator sofre modificações periódicas, que alteram o fluxo magnético.

A modificação do fluxo induz no enrolamento de indução uma tensão alternada, conforme gráfico da figura 20. A tensão (+-U) depende da rotação, sendo de aproximadamente 0,5 volts em rotações baixas e de aproximadamente 100 volts em rotações altas.

Conforme mostra a figura, a tensão alternada do emissor indutivo difere muito da tensão senoidal de uma rede de alimentação de corrente alternada. A tensão do emissor forma-se da seguinte maneira:

No momento em que as pontas do rotor e as do estator se aproximam uma das outras, o fluxo magnético e a tensão nas extremidades do enrolamento de indução aumentarão a partir de zero (inicialmente de maneira lenta, e depois mais rapidamente). O valor máximo ocorre imediatamente antes de o intervalo se fechar até o mínimo possível. A tensão atinge então o seu valor positivo máximo com relação à massa (+U). Quando as pontas se distanciarem novamente uma da outra e o intervalo, portanto, se alargar, a tensão do emissor inverterá repentinamente o seu sentido, visto o fluxo magnético se tornar mais fraco. Nesse preciso momento (t_z) ocorre a ignição.

Em virtude do seu modo de atuar, o emissor de indução possui características de gerador, pois ele produz uma tensão alternada monofásica, para fins de comando da ignição por impulsos. A frequência (f) dessa tensão alternada corresponde à quantidade de faíscas por minuto, sendo

$$f = \frac{z \cdot n}{2} \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

significando:

z = número de cilindros

n = rotação do motor (min^{-1})

Características de construção

O emissor de indução acha-se instalado dentro da carcaça do distribuidor de ignição, onde normalmente estaria o platinado. Suas dimensões externas foram estabelecidas considerando os distribuidores de ignição para motores de 4, 6 e 8 cilindros. Externamente apenas o condutor de dois fios do emissor, revela tratar-se de um distribuidor com emissor de indução. O núcleo magnético tem a forma de um disco e é também denominado "disco polar". Na parte externa do disco polar estão as pontas do estator, dobradas em ângulo reto para cima. As pontas do rotor acham-se dobradas em ângulo reto para baixo.

O rotor está preso ao eixo oco, que envolve o eixo do distribuidor. A quantidade de pontas do rotor e do disco polar coincidem, via de regra, com o número de cilindros do motor. Entre as pontas fixas (estator) e móveis (rotor) a distância é de aproximadamente 0,5 mm quando se encontrarem umas perante as outras. Para evitar um deslocamento do rotor sobre o eixo oco, existe um pino prismático de fixação. Para evitar deslocação axial, o rotor e o disco polar acham-se fixados mediante anéis de trava e arruelas de compensação. O enrolamento de cobre e o

suporte do enrolamento apoiam-se em três pontos sobre a placa de suporte, que por sua vez se acha firmemente aparafusada à carcaça do distribuidor.

O emissor de indução é simétrico quanto aos seus movimentos rotativos. Em relação a sistemas não simétricos, ele apresenta duas grandes vantagens:

- O emissor de indução é consideravelmente insensível contra choques e vibrações.
- O deslocamento do ponto de ignição importa apenas em aproximadamente 0,3 , portanto muito menor do que o de sistemas de ignição comandados por platinado.

O deslocamento do ponto de ignição ocorre em virtude de tolerâncias de fabricação, assim como em consequência de desgaste mecânico ou do movimento do eixo do distribuidor. Os sistemas de ignição comandados por platinado apresentam um deslocamento do ponto de ignição de aproximadamente 1 .

Controle da ignição

O modo de atuar do emissor de impulsos indutivos de ignição permite um controle da ignição somente com o motor em funcionamento. Isso, entretanto, não representa uma desvantagem, pois os fabricantes de motores estão adotando sempre mais a indicação do ângulo de controle para a regulagem da ignição a determinadas rotações do motor, exigindo dessa maneira o ajuste da ignição e/ou o controle da ignição com o motor em pleno funcionamento. O motivo reside na legislação mais rigorosa sobre o gás de escape, que torna necessário o controle nos âmbitos de rotação mais críticos.

Unidade de comando

Modo de atuar:

A unidade de comando apresenta 5 importantes etapas de funcionamento: formador de impulsos, comando do ângulo de permanência, estabilizador, amplificador da corrente de comando e a etapa final (figura 21).

O formador de impulsos é um dispositivo que transforma a tensão alternada de comando do emissor de indução em impulsos retangulares e de mesmo sentido.

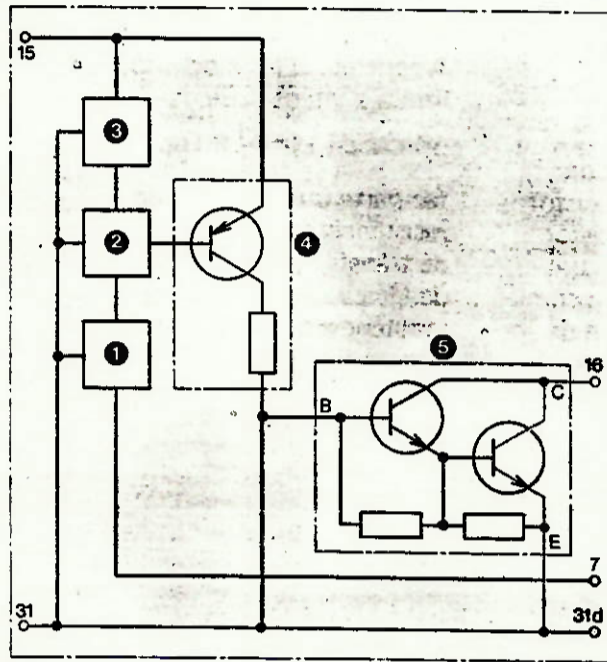
O comando do ângulo de permanência modifica a duração dos impulsos em função da rotação do motor.

Ao estabilizador cabe manter tão constante quanto possível a tensão de alimentação.

O amplificador da corrente de comando, como o próprio nome indica, amplifica os impulsos retangulares já modificados, pelo comando do ângulo de permanência, para comandar a etapa final.

A etapa final se incumbem de ligar e desligar a corrente que flui pelo primário da bobina de ignição. Cada interrupção dos impulsos retangulares provoca uma interrupção da corrente primária e, como consequência, faíscas nas velas.

UNIDADE DE COMANDO POR IMPULSO INDUTIVO



- 1 FORMADOR DE IMPULSOS
- 2 COMANDO DO ÂNGULO DE PERMANÊNCIA
- 3 ESTABILIZADOR
- 4 AMPLIFICADOR DA CORRENTE DE COMANDO
- 5 ETAPA FINAL

FIG. 21

Descrição do sistema

A figura 21 mostra uma unidade de comando por impulso indutivo. Os diversos componentes acham-se montados sobre uma placa especial (circuito impresso). O sistema elétrico da unidade de comando é bastante insensível contra vibrações e choques mecânicos. Uma cobertura de material sintético, protege os diversos componentes. Na parte lateral acha-se a tomada com os contatos especiais para o cabo condutor.

4.1.1.2 Gerador "Hall"

Modo de atuar

O funcionamento desse tipo de gerador baseia-se no efeito "Hall": uma corrente elétrica (I_A) percorre uma camada semicondutora (camada "Hall" H). Se essa camada for exposta a um campo magnético "B" de sentido perpendicular, origina-se entre as superfícies de contato "A1" e "A2" uma tensão do âmbito dos milivolts denominada de "tensão Hall" (UH). Se a intensidade da corrente for constante, a "tensão Hall" (UH) dependerá exclusivamente da intensidade do campo magnético. Quanto mais intenso for o campo, tanto maior será a tensão "UH". Se a intensidade do campo magnético sofrer modificações

periódicas no ritmo necessário para a ignição, a "tensão Hall" também sofrerá variações no mesmo ritmo, provocando, através do sistema eletrônico, faíscas de ignição.

O gerador "Hall" (fig.23) consiste de um componente fixo (impulsor, posição 2) e um rotativo (pos. 1). O impulsor consta de um ímã permanente com peças condutoras e de um circuito integrado (CI-Hall). O CI-Hall é um interruptor eletrônico que comporta o modelador de impulsos, o amplificador, o estabilizador de tensão e o compensador de temperatura, além da placa semicondutora "Hall". Quando um dos segmentos de blindagem penetrar no entreferro (pos. 4) do impulsor o campo magnético é desviado, impedindo que ele passe ao CI-Hall. A camada "Hall" está agora, praticamente isenta de campo e portanto, UH = 0. Quando o segmento de blindagem deixar o entreferro, a "tensão Hall" (UH) torna-se atuante. Nesse momento ocorre a ignição.

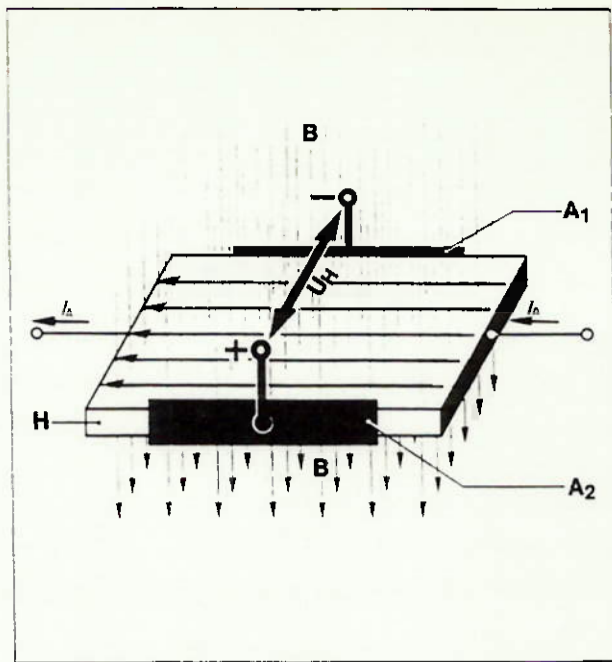


FIG. 22
 Formação da "tensão Hall" (U_H)

H Camada "Hall"
 I_A Corrente de alimentação
 A1 Superfície de conexão (negativa)
 A2 Superfície de conexão (positiva)
 B Campo magnético

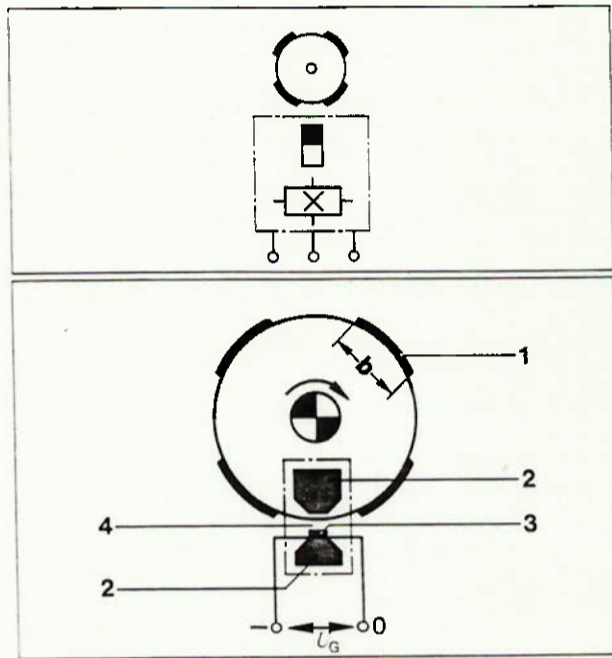


FIG. 23
 Símbolos de conexão e esquema de funcionamento do gerador "Hall"

1 Segmento de blindagem
 2 Peças condutoras de ferro doce magnético
 3 Circuito integrado "Hall"
 4 Entreferro
 U_G Tensão do gerador

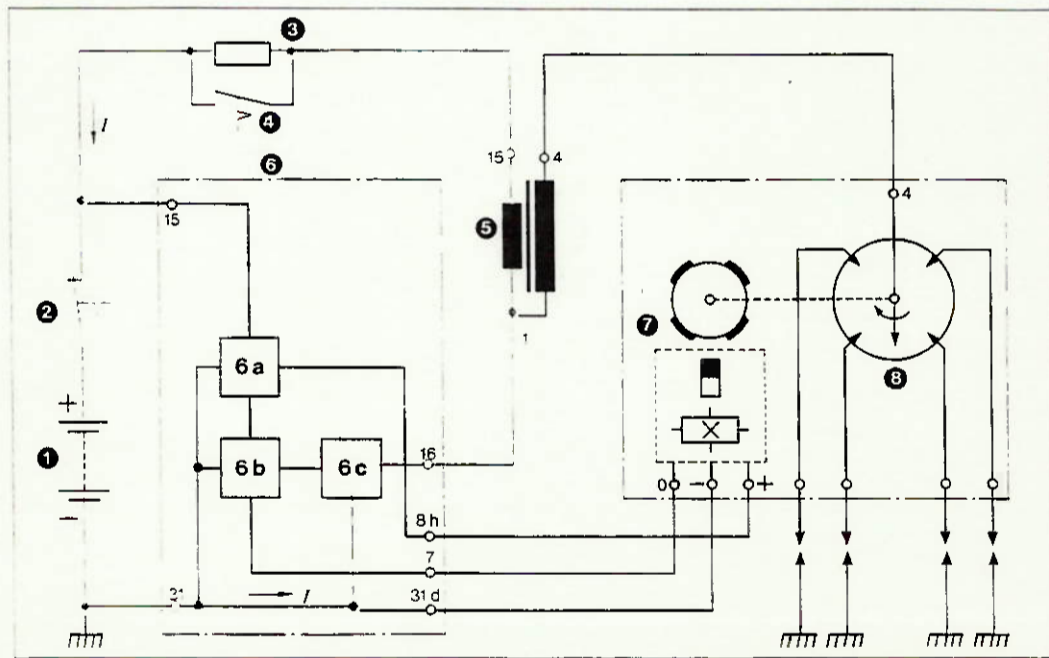


FIG. 24
 Ignição transistorizada por bobina, com gerador "Hall"
 Esquema geral com designações dos bornes. (em vermelho: circuito da corrente primária).

1 Bateria
 2 Inter. ignição
 3 Pré-resistores
 4 Inter. (melhor tensão partida)
 5 Bobina ignição
 6 Aparelho de comando
 6a Prot. contra sobretensão
 6b Excitação
 6c Etapa final "Darlington"
 7 Gerador "Hall"
 8 Distri. ignição

Características de construção

O impulsor "Hall" acha-se instalado diretamente sobre a mesa do distribuidor.

O CI-Hall está assentado sobre um suporte cerâmico, e, com uma das peças condutoras, acha-se fundido em plástico para fins de proteção contra a umidade, sujeiras e danos mecânicos. As peças condutoras e o rotor são de material magnético (ferro doce). Os segmentos de blindagem e o rotor do distribuidor são uma só peça. O número de segmentos é igual ao número de cilindros do motor. A largura "b" dos segmentos determina o ângulo de permanência do sistema de ignição. O ângulo de permanência será portanto constante durante a vida útil do emissor de impulsos "Hall", não havendo necessidade de se efetuar qualquer tipo de ajuste do ângulo de permanência.

Uma modificação do sistema de ignição convencional para o sistema de ignição transistorizada "Hall" é possível, desde que se observem a rigor as respectivas instruções.

Aparelho de comando

O aparelho de comando possui três diferentes etapas de comando (fig. 24):

- etapa final "Darlington", na função de interruptor de potência
- etapa de pré-amplificação (excitação)
- etapa de proteção contra sobretensão

Do gerador de impulsos "Hall" parte um cabo (de três condutores) ao aparelho de comando. Esse cabo serve para alimentar de corrente elétrica o circuito integrado "Hall", assim como para transmitir ao aparelho de comando os sinais de comando.

Funcionamento

Uma vez ligado o circuito integrado "Hall", (exposto ao campo magnético) tanto a etapa de excitação como a etapa final "Darlington" encontrar-se-ão bloqueadas. Estará portanto desligada a corrente primária da bobina de ignição.

Com o circuito integrado "Hall" ligado, a tensão do gerador (UG) entre os bornes '7' e '31d' importa em menos de 0,5 volt.

Quando o circuito integrado "Hall", por ocasião da passagem de um segmento de blindagem, desligar o sinal de comando, a etapa final "Darlington" ligará a corrente primária (acumulação de energia). Com a saída do circuito integrado desligada, a tensão do gerador (UG) será de alguns volts. A ignição ocorrerá, tão logo o circuito integrado "Hall" - após a passagem do segmento de blindagem - ligue novamente, pois então será interrompida a corrente primária da bobina de ignição.

4.2 Ignição por condensadores de alta tensão

Esse equipamento de ignição pode ser empregado onde se fizerem exigências especiais ao regime de funcionamento e, portanto, à capacidade de ignição: em motores de alta potência e motores de corrida. Um equipamento de ignição por condensador é mais caro do que equipamentos de bobina convencionais ou transistorizados; todavia, a sua aquisição pode representar economia de custos em relação a despesa suplementar para a construção de um equipamento convencional para rotações muito elevadas do motor.

Característica essencial da ignição por condensador de alta tensão é o fato de a energia da bobina ser armazenada no campo elétrico de um condensador. Capacidade e tensão armazenada do condensador determina o valor da energia armazenada. Em realidade precisa-se, também para esse princípio de ignição, um transmissor indutivo, o transformador de ignição; todavia sua função não é armazenar

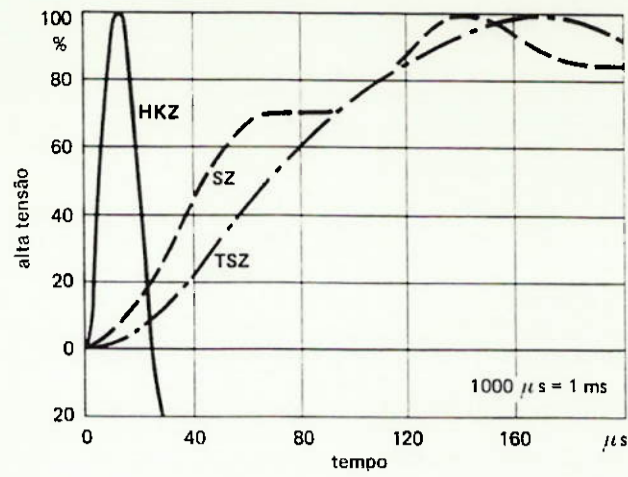


FIG. 25 A tensão secundária em função do tempo, em relação a tensão de pico (=100%) do primeiro semicíclo.

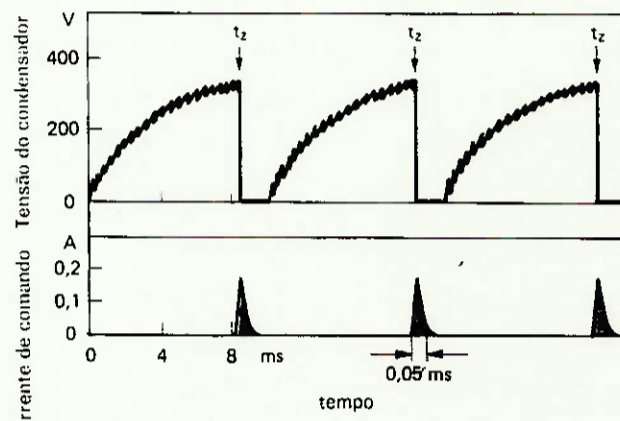


FIG. 26 Carga do condensador por muitos impulsos. Descarga por impulso de comando.
tz = ponto de ignição

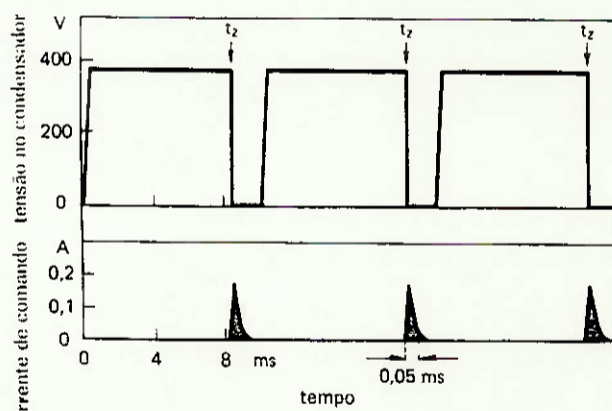


FIG. 27 Carga do condensador por um impulso. Descarga por impulso de comando.
tz = ponto de ignição

energia no campo magnético, mas apenas transferir energia ao circuito secundário e com isso transformar a tensão do condensador na alta tensão necessária para que saltem faíscas.

A ignição de alta tensão por condensador supera todos os sistemas de bobina porque alta tensão se eleva aproximadamente 10 vezes mais depressa. Para o processo de ignição isso é de grande vantagem: a carga elétrica, que se acumula nos eletrodos da vela ou nas passagens isoladas quando há aumento da tensão, nem tem tempo para fugir pelas ligações em paralelo. Isso é válido principalmente para depósitos condutores no pé do isolador da vela. Como consequência temos que a energia de ignição praticamente não é influenciada por ligações em derivação. Por isso, a faísca de ignição é essencialmente potente mas com a curta duração de 300 micro-segundos no máximo, o que, conforme o motor também pode ser a desvantagem. O processo de ignição se desenvolve da seguinte maneira: o condensador é carregado com tensão de aproximadamente 400 volts e descarregado, no momento da ignição pelo fechamento de uma chave eletrônica, através do enrolamento primário do transformador de ignição. Já que condensador e enrolamento formam um circuito elétrico oscilante, ocorrem oscilações amortecidas de tensão e corrente com frequência aproximadamente 10 vezes mais elevada, em relação a ignições por bobina transistorizada. Conseqüentemente a alta tensão induzida no enrolamento secundário se eleva aproximadamente 10 vezes mais depressa, para o seu valor de tensão de ignição, do que na ignição por bobina e por bobina transistorizada.

Através de cabo de ignição e distribuidor a alta tensão chega à vela de ignição.

A unidade geradora da ignição de alta tensão é uma ligação eletrônica. Tem a função de transformar a tensão da bateria em tensão contínua bem mais elevada e assim carregar o condensador. A carga ocorre através de impulsos. Há distinção entre carga de muitos impulsos e de um só impulso. O tempo de carga deve ser tão breve que mesmo com o número máximo de faíscas por minuto, a energia de carga não caia de modo considerável. Enquanto o condensador de carga é descarregado, a unidade geradora de carga é ligada em curto-circuito.

Como chave eletrônica de potência emprega-se um elemento semiconductor, o tiristor. Ele liga correntes de até 100 A e bloqueia a corrente de descarga durante a carga do condensador até o ponto de ignição; deve portanto, suportar tensão de várias centenas de volts. A ignição de alta tensão por condensador tornou-se também conhecida pelo nome de ignição por tiristor.

No ponto de ignição o tiristor recebe através do condutor de comando um impulso de corrente, o impulso de comando que o torna condutor sem nenhum retardamento, provocando, assim, a descarga do condensador. Também na ignição de alta tensão por condensador o comando tem lugar ou através de uma chave mecânica ou sem contatos.

Já que pequenos impulsos de comando bastam para tornar o tiristor condutor ele atua também de maneira sensível quando ocorrem impulsos parasitas, por exemplo, quando os contatos de comando se entrechocam (rebatem), podendo

provocar falhas de ignição. Isso é evitado por dispositivo especial de bloqueio existente em todo equipamento de ignição por condensadores. O comando de impulsos sem contato é em parte a conseqüente continuação no sentido de equipamento de ignição que atenda a todas as necessidades atuais. Podem-se obter sem problemas 40.000 faíscas por minuto em regime de funcionamento contínuo.

Ao lado da ignição de alta tensão por condensador com bateria há também a ignição de alta tensão por condensador com fonte de tensão indutiva. A diferença está justamente na unidade geradora de carga. A tensão de carga do condensador tem lugar pela interrupção das linhas de força de um campo magnético, sendo retirado de um gerador indutivo localizado no volante. Esse tipo de ignição é empregado para motores pequenos (serras, cortador de grama, barco a motor, etc.).

Completando, deve-se mencionar ainda a existência da ignição por condensador de baixa tensão. Aqui o condensador de carga é carregado por um retificador, diretamente para 3.000 volts sendo conduzido, sem transformador, através do distribuidor a uma vela de ignição de baixa tensão. Esse tipo de ignição é empregado apenas para motores de avião.

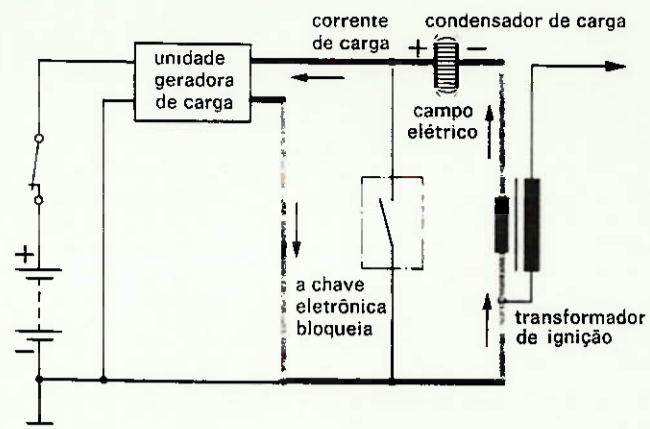


FIG. 28 Armazenamento de energia através da carga de condensador.
 corrente de carga = corrente primária

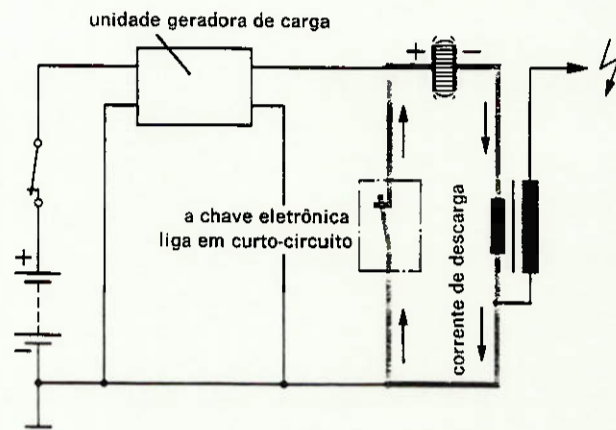
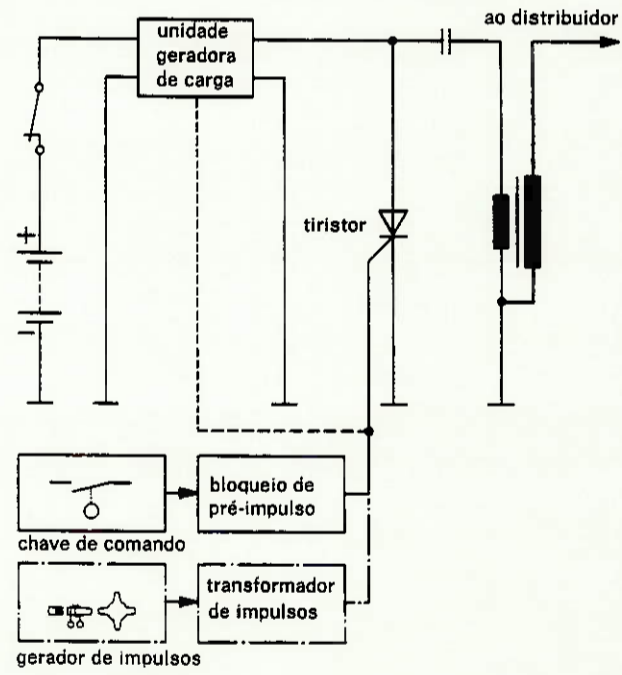


FIG. 29 Transferência da energia de ignição ao circuito de ignição através de descarga do condensador.

FIG. 30 Esquema de ligação de ignição por tiristor
 comando por contatos
 comando sem contatos (totalmente eletrônico)



5. COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE IGNIÇÃO

A potência e a qualidade de um equipamento de ignição são caracterizadas por:

- 1) Dependência da alta tensão, da energia de ignição, do número de faíscas por minuto e da rotação do motor;
- 2) Absorção de potência do sistema de alimentação de corrente;
- 3) Duração de queima da faísca;
- 4) Retorno da alta tensão através de ligações em derivação;
- 5) Duração das peças, principalmente dos interruptores;
- 6) Custos de manutenção.

Equipamentos eletrônicos de ignição precisam naturalmente mais potência de ignição (maior consumo) que deverá vir, no regime normal de funcionamento, do gerador. Existem alternadores de suficiente potência, de modo que um equipamento de ignição eletrônico não significa nenhuma sobrecarga.

O custo de manutenção de equipamentos de ignição por bateria depende, em muito, do sistema de ignição. Com equipamentos convencionais conseguem-se, conforme o tipo de bobina e o modo de dirigir o veículo, cobrir 10.000 a 20.000 Km sem nenhuma falha. Com equipamentos transistorizados ou tiristorizados de comando por contatos pode-se cobrir pelo menos o triplo dessa distância. Equipamentos de ignição por bateria totalmente eletrônicos são completamente isentos de manutenção.

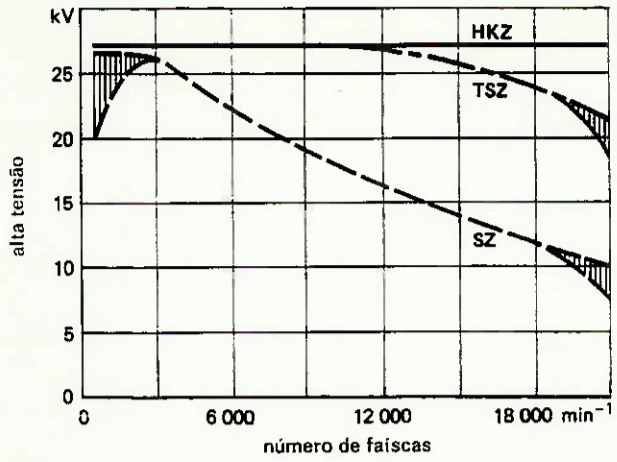


FIG.31 Disponibilidade de alta tensão para sistemas de ignição por bobina, sistemas transistorizados e de alta tensão por condensador em função do número de faíscas por minuto.

FIG.32 Conexões em derivação reduzem a alta tensão tanto mais intensamente quanto menor for a sua resistência.

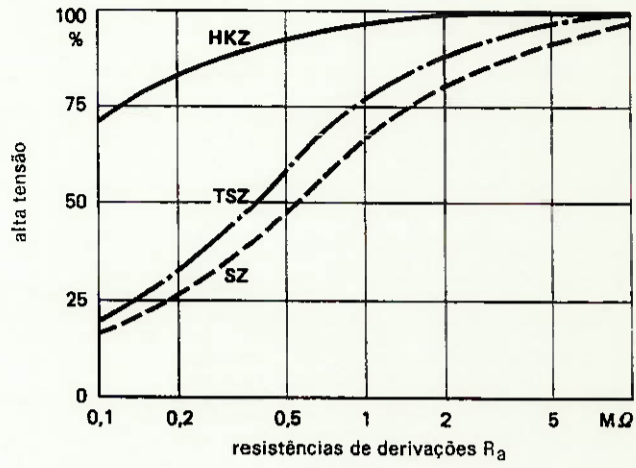


FIG.33 Ligação em derivação através de ligas de chumbo que se depositam no pé do isolador da vela de ignição.

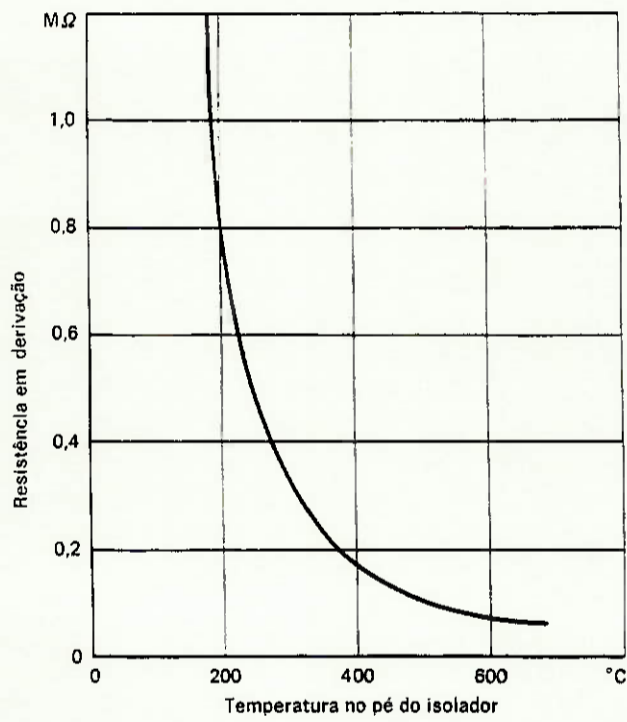
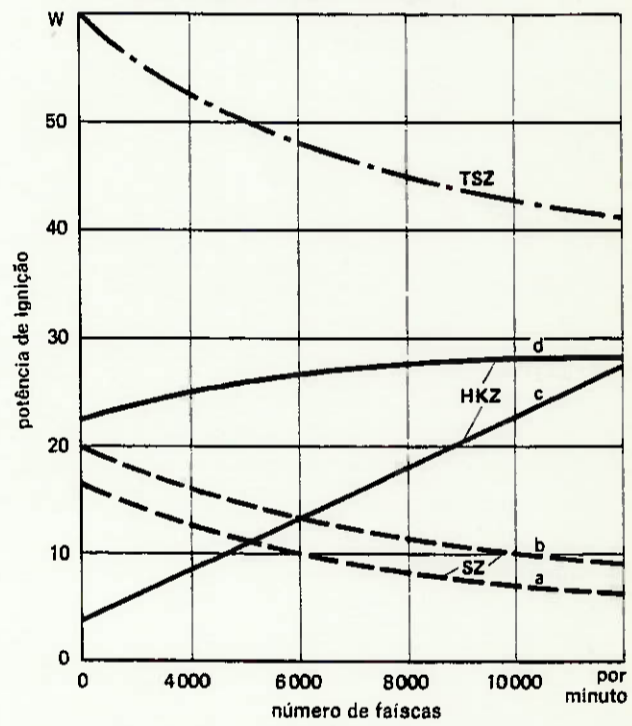


FIG.34 Potência para ignição por bobina, ignição transistorizada por bobina e ignição por condensador e alta tensão em função do número de faíscas.

- a — com bobina de ignição "standard" } SZ
- b — com bobina de ignição de alta potência } SZ
- c — com carga de um só impulso } HKZ
- d — com carga de muitos impulsos } HKZ



Equipamentos de ignição por bobina

Com este equipamento consegue-se comportamento satisfatório para condições normais, isto é, 2.000 a 18.000 faíscas por minuto e uma disponibilidade de tensão oscilando entre 10.000 e 20.000 volts. Dentro de certos limites, queda aceitável dessa tensão com número crescente de faíscas. Também a potência cai de aproximadamente 20 para 10 watts. A execução técnica do platinado (muito sobrecarregado pela corrente da bobina) se constitui em compromisso entre o comportamento de ligação a um número baixo de faíscas (tensão de auto indução) e o rebatimento dos contatos a um número alto de faíscas. É inevitável que a tensão caia consideravelmente com número elevado e também baixo de faíscas. Esse fato é representado pelos âmbitos de divergência no final das curvas características do equipamento por bobina (fig. 32).

A duração da faísca, quando de número reduzido de faíscas por minuto, é de 1,5 mili-segundo, quando a tensão de ignição não for consideravelmente superior a 10.000 volts.

Ligações em derivação motivadas por água de condensação, sujidades e resíduos da combustão etc. reduzem consideravelmente a disponibilidade de tensão.

Ignição transistorizada por bobina

Este equipamento proporciona maior disponibilidade de tensão em todo o âmbito de rotação do motor e faz com que as falhas de ignição sejam menos frequentes, mesmo sob condições extremas de marcha, do que na ignição por bobina. Por condições extremas de marcha entende-se trânsito urbano, inverno, estradas congestionadas com paradas seguidas de altas velocidades.

Também no âmbito de rotações muito baixas se verifica bom comportamento da ignição; há menos dificuldades na partida. Muito embora haja ainda no equipamento de comando por contatos, a partir de 18.000 faíscas por minuto, impactos dos contatos, o seu efeito não é tão grande como no caso da ignição por bobina. O limite do número de faíscas é pouco mais elevado, ou seja, 21.000 por minuto. A ignição totalmente eletrônica atende a exigências ainda maiores; ligação sem contatos não apresenta nenhum desgaste ou retardamento; alcançam-se até 40.000 faíscas por minuto. Com referência a ligações em derivação, a ignição transistorizada por bobina tem comportamento idêntico ao da ignição por bobina.

HKZ - Ignição por condensador de alta tensão

Com referência à disponibilidade de tensão, à energia de ignição e ao número de faíscas, a ignição por condensador se comporta de maneira semelhante à ignição transistorizada por bobina, conforme seja o tiristor comandado com ou sem auxílio de contatos. Ela se distingue dos sistemas de ignição com bobina pelas duas características abaixo:

- 1) A faísca é de intensidade extraordinária, é rica em energia de curta duração;
- 2) O aumento rápido da tensão torna o equipamento de ignição insensível a ligações em derivação. No funcionamento normal do motor essas derivações têm uma resistência entre 0,2 e 1,0 megaohm, enquanto a resistência de isoladores mais modernos é um múltiplo desse valor. Uma derivação pode ter lugar em uma vela, em virtude da deposição de resíduos com elevado teor de chumbo no pé do isolador. Essas camadas, assim como os semicondutores têm a qualidade de, com o aumento da temperatura, diminuir sua resistência.

o. ANEXOS

Esquemas de circuitos eletrônicos de ignição

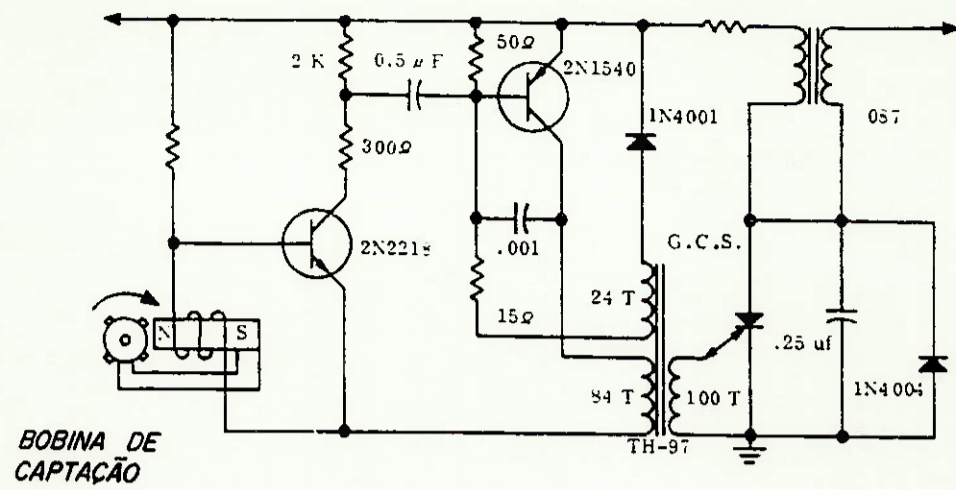


FIG. 1

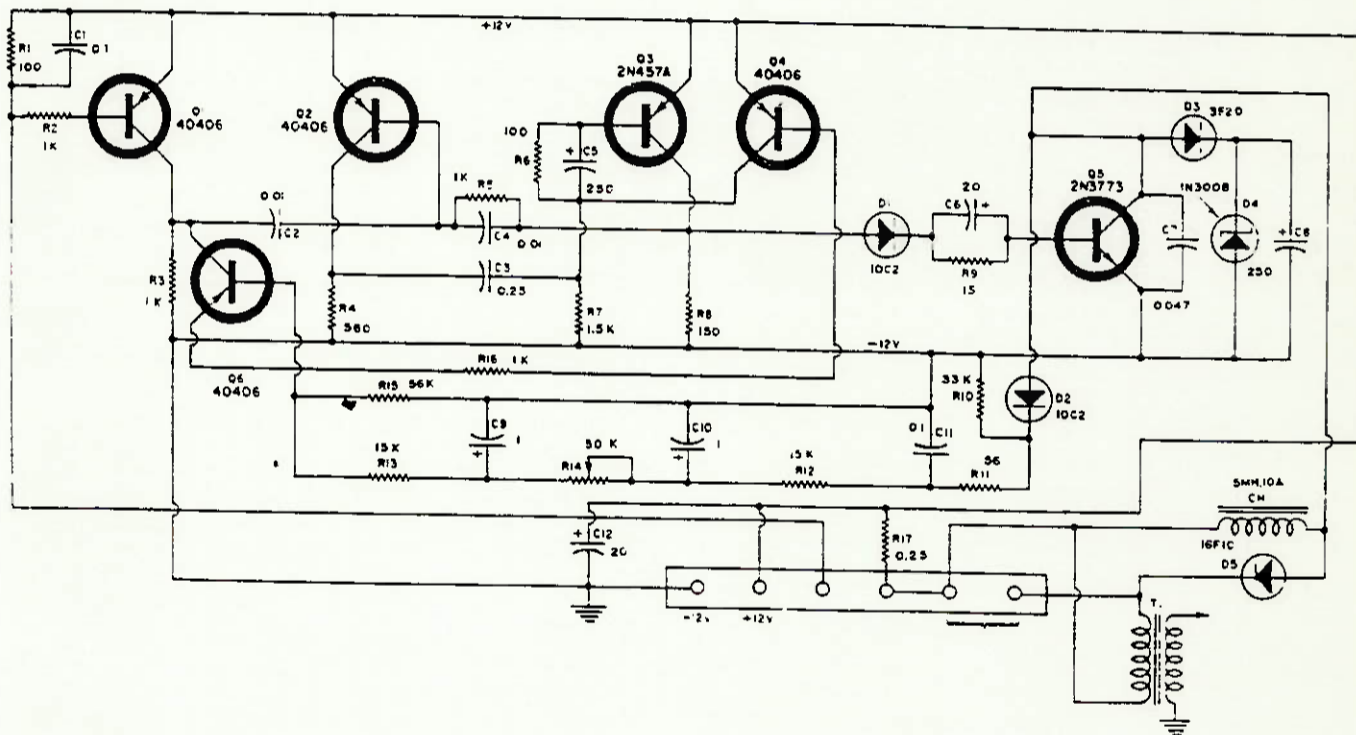


FIG. 2

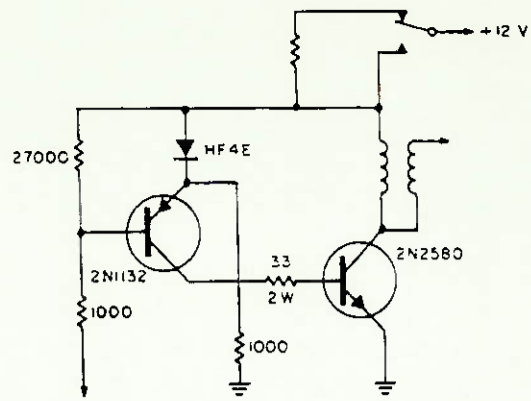


FIG. 6

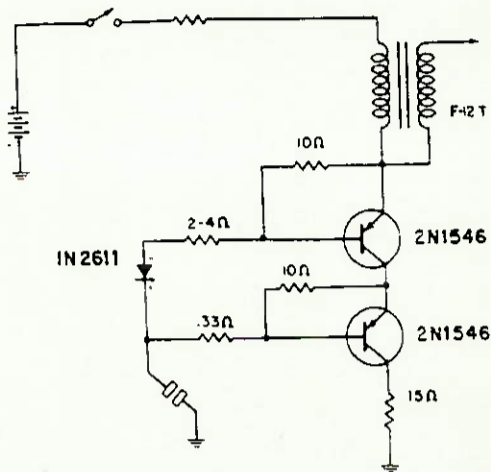


FIG. 7

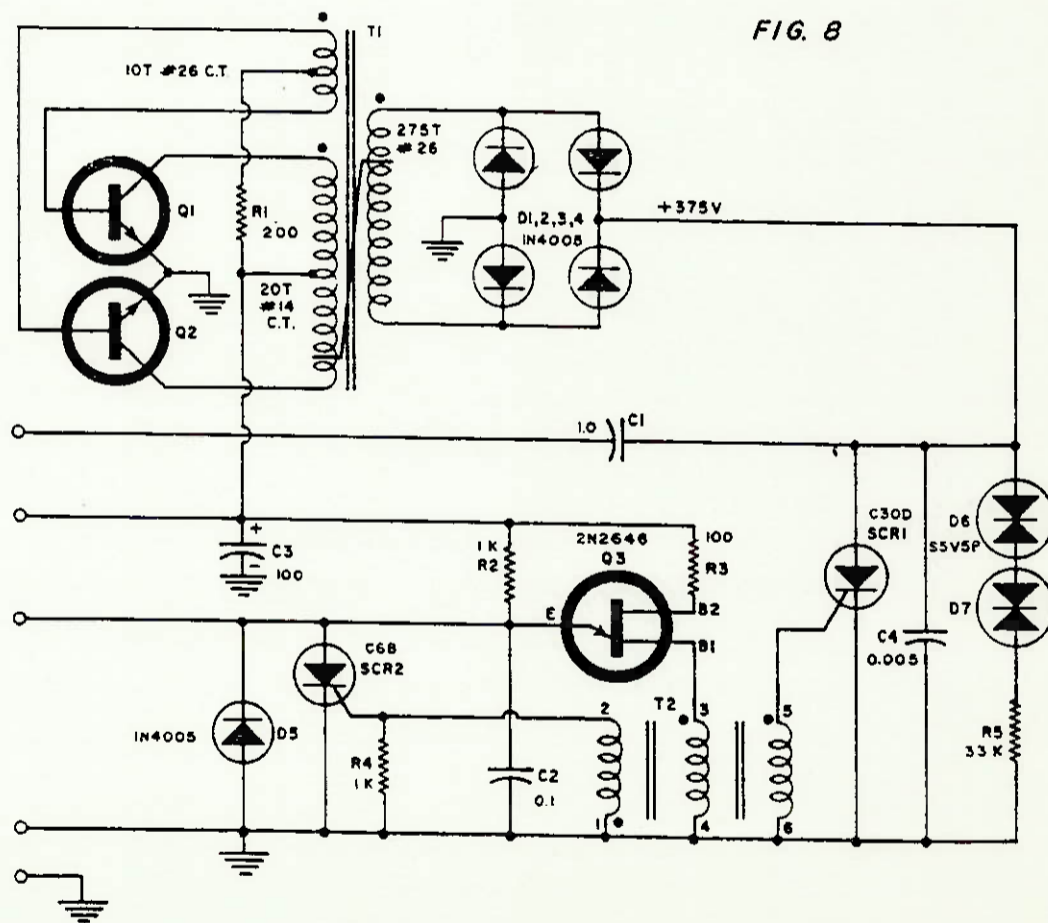


FIG. 8

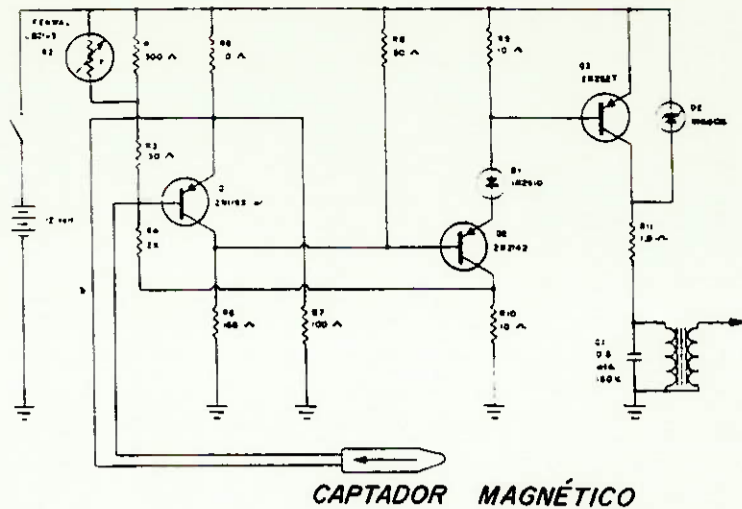


FIG. 9

CAPTADOR MAGNÉTICO

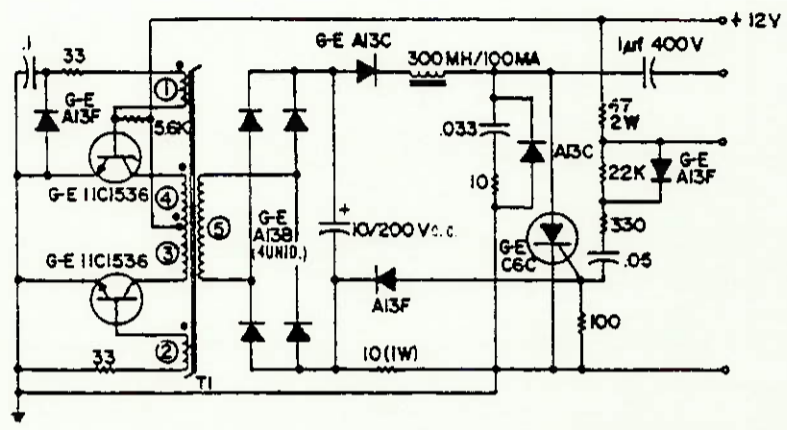


FIG. 10

CIRCUITO DESCONECTOR

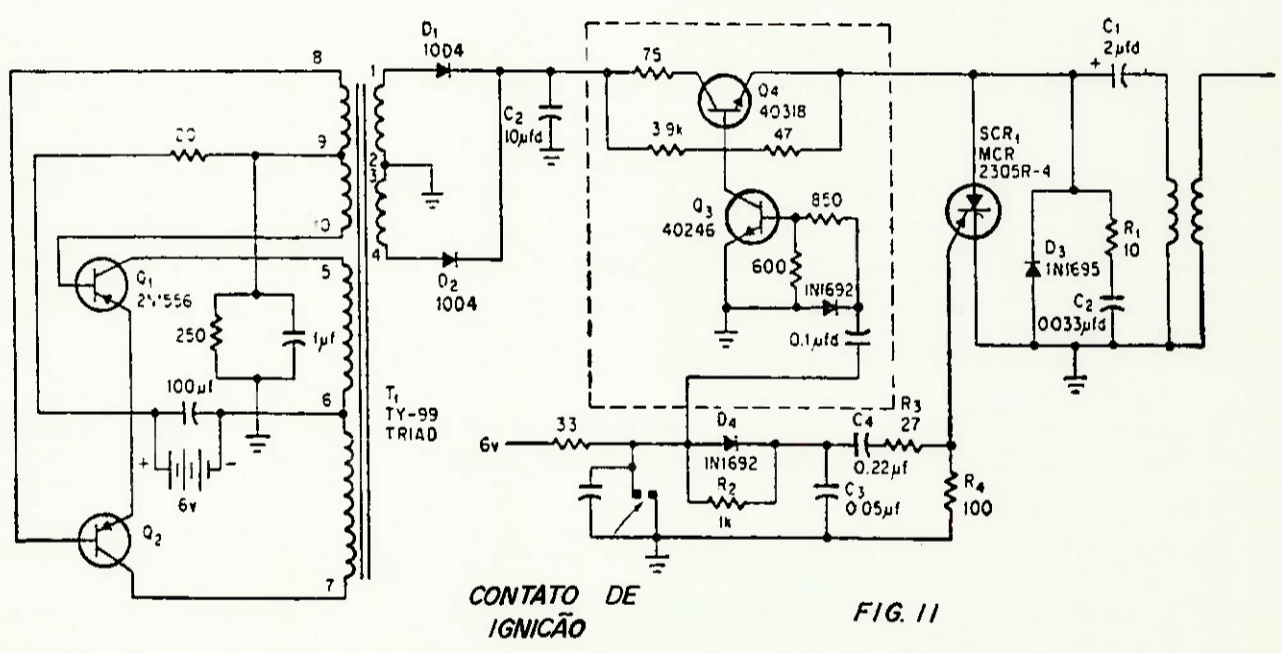


FIG. 11

CONTATO DE IGNICÃO

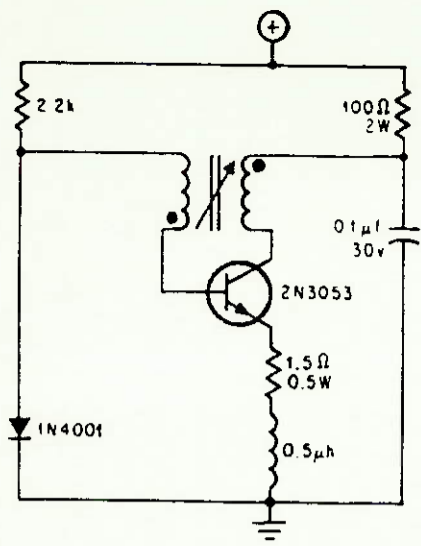


FIG. 12

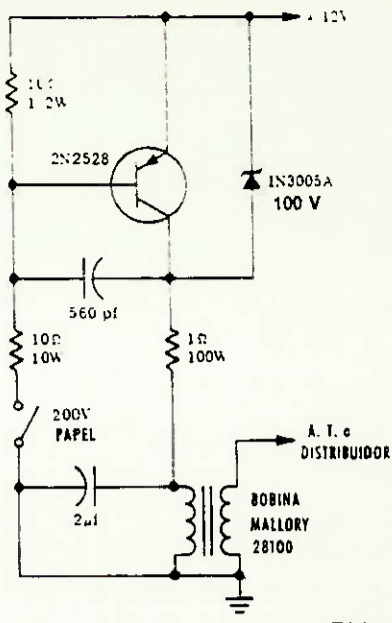


FIG. 13

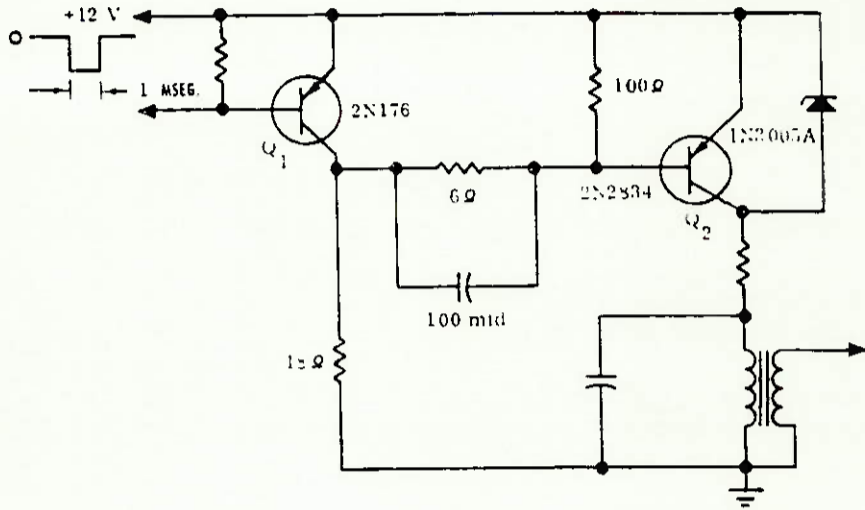


FIG. 14

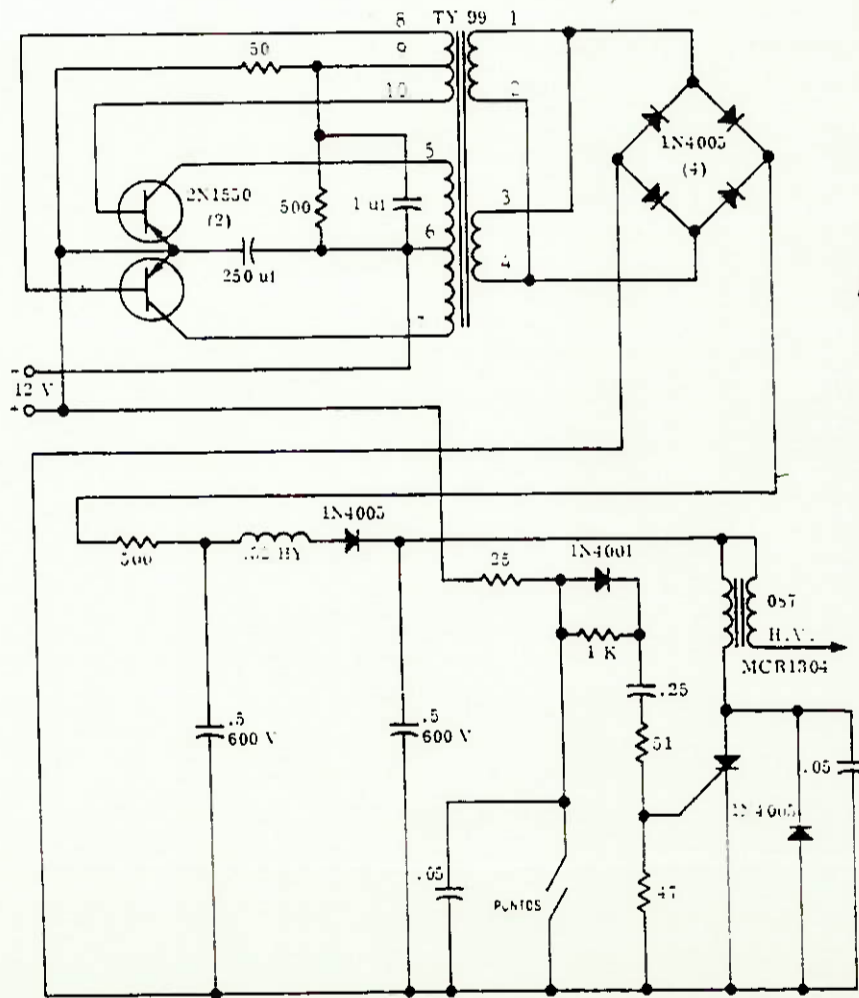


FIG. 15

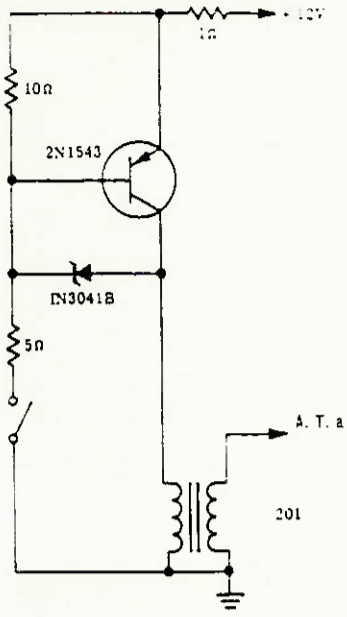


FIG. 16

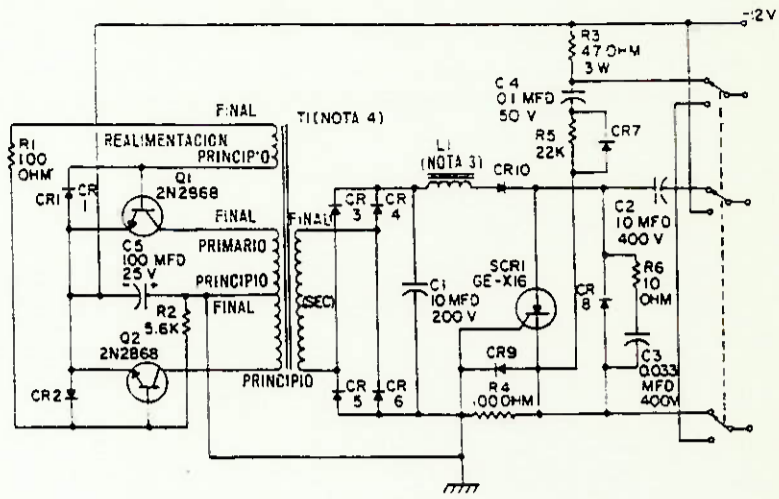


FIG. 17

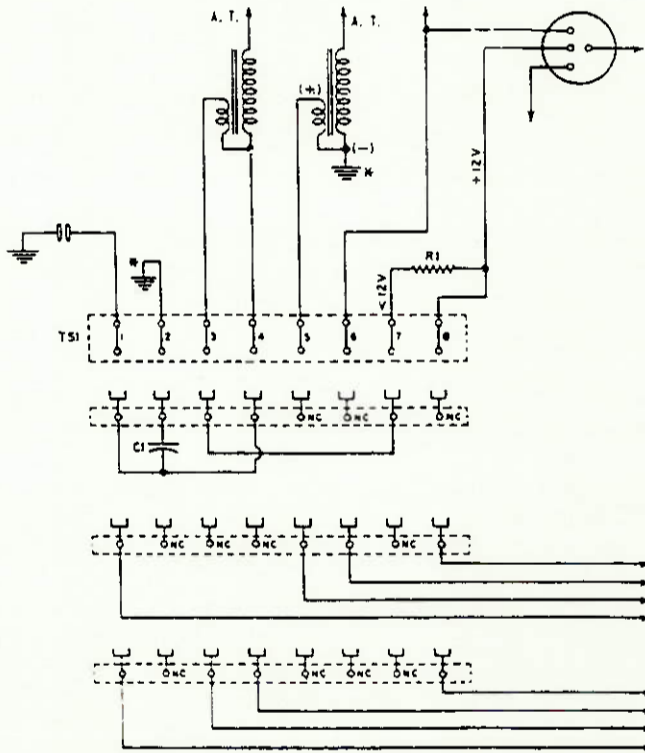


FIG. 18

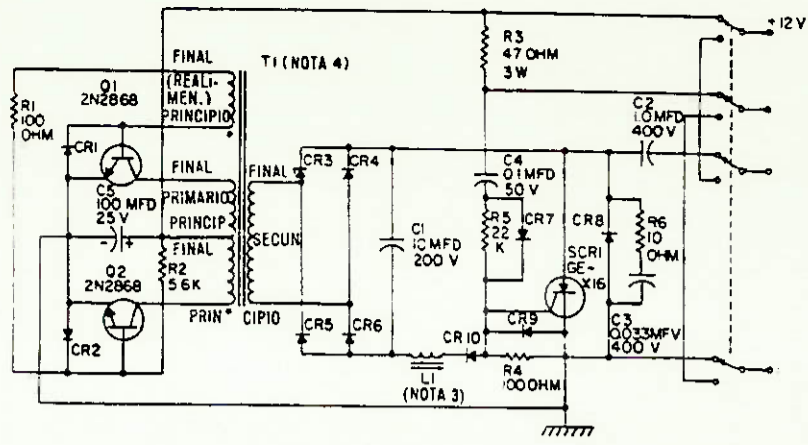


FIG. 19

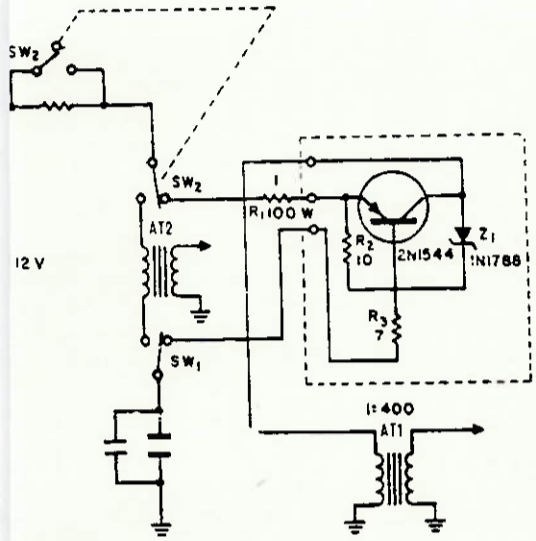


FIG. 20

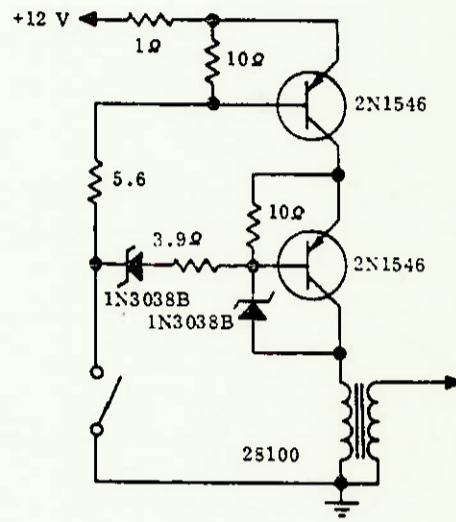


FIG. 21

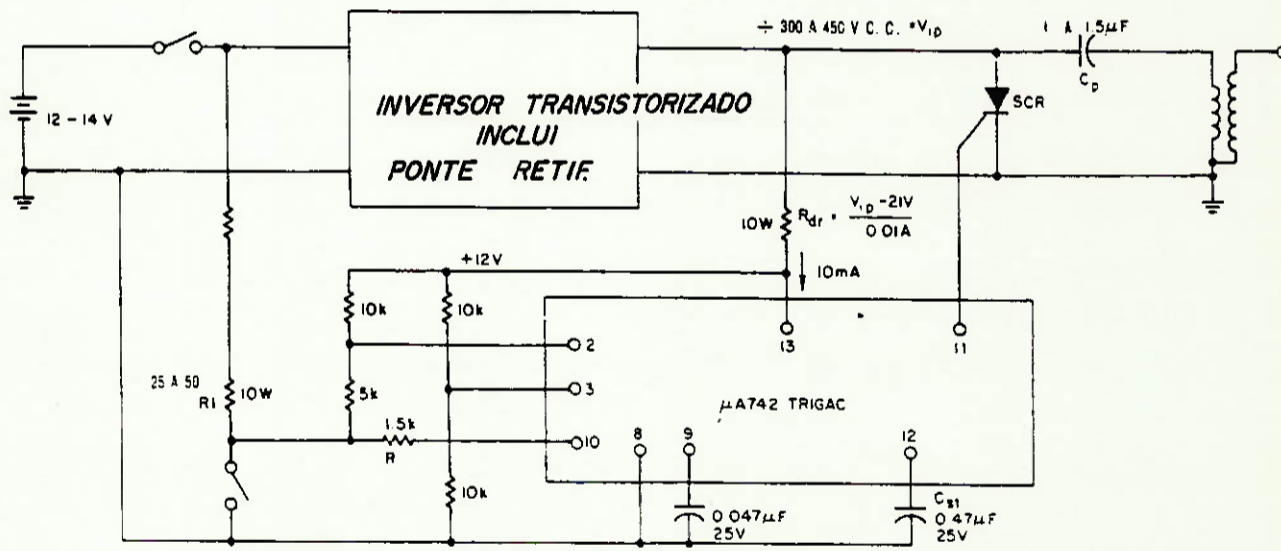


FIG. 22

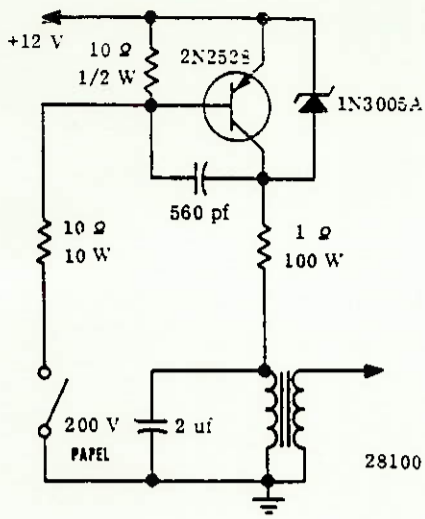


FIG. 23

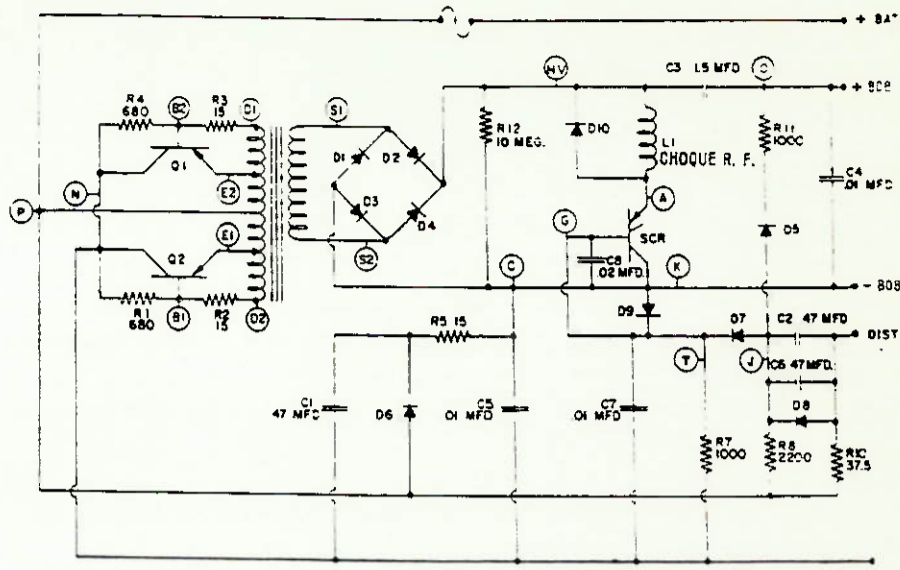


FIG. 24

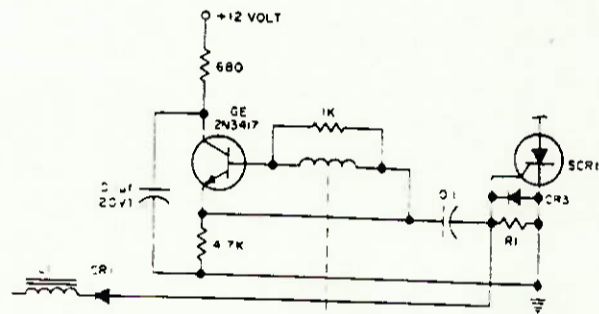
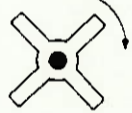


FIG. 25



ROTOR ACIONADO PELO DISTRIBUIDOR

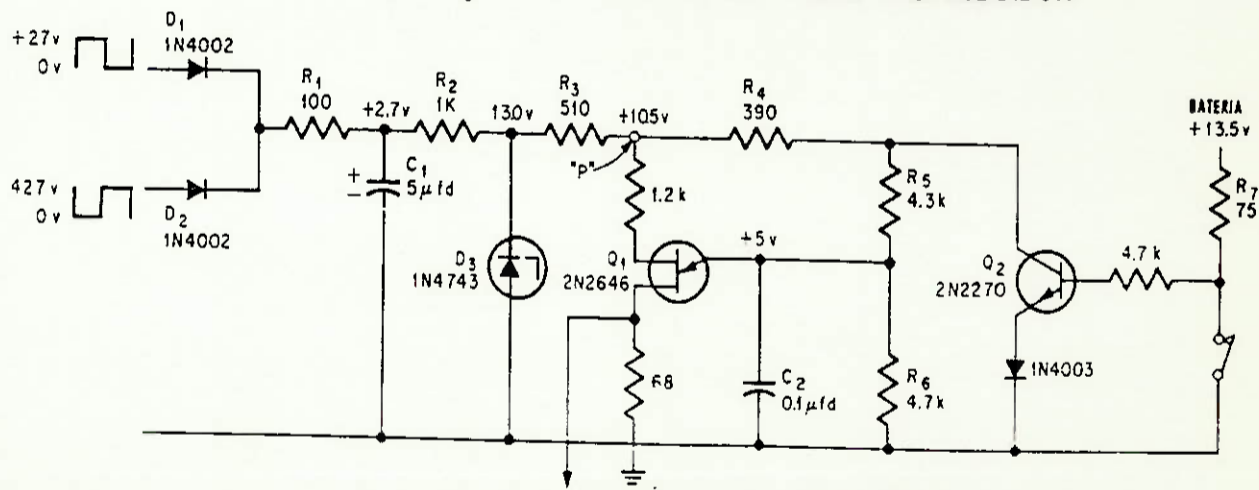


FIG. 26

Fig.1 - IGNIÇÃO POR MULTIVIBRADOR MONOESTÁVEL - Utiliza comutador de controle de porta de silício que atua de forma análoga a um SCR, interrompendo a condução com um pequeno impulso de tensão inversa aplicada a porta. O disparo pode ser efetuado através de um captador magnético, como representado na figura ou mediante um captador acionado pelo distribuidor. "Circuits Manual", Motorola, Phoenix, Ariz., 1965, pág. 11-18.

Fig.2 - IGNIÇÃO INDUTIVA ELETRÔNICA - Apresenta excelente performance a altas velocidades. Aplicada em motores que funcionam com alta taxa de compressão para aumento de potência, consegue suprimir a autoignição (batida de pino). Compõe-se de bobina especial com transformador de impulsos de alta tensão que produz uma faísca de energia suficientemente alta para uma combustão completa. H.I. Keroes, "High - 'Q' Inductive Electronic Ignition System, Electronics World", Julio 1969, pág. 32-34 e 61-62.

Fig.3 - IGNIÇÃO POR DESCONEXÃO DE CONDENSADOR - Utiliza um diodo de silício como controle de porta, análogo a um SCR, cuja interrupção de passagem é feita aplicando-se um pequeno impulso de tensão inversa. Capaz de interromper uma corrente de 7 A de uma bobina com tensão de 500 V, apresenta condensador que se carrega a tensões de 25-30 V, dependendo da energia armazenada na bobina quando o transistor conduz. "Circuits Manual", Motorola, Phoenix, Ariz., 1965, pág. 11-17.

Fig.4 - IGNIÇÃO SEM CONTATOS - O captador magnético disparado pelo distribuidor, substitui os contatos do distribuidor. O termistor Fenwal no circuito de polarização do 2N1193 proporciona o funcionamento correto de circuito a baixas temperaturas e baixas velocidades. "Circuits Manual", Motorola, Phoenix, Ariz., 1965, pág. 11-14.

Fig.5 - IGNIÇÃO POR SCR E CONDENSADOR - Entrega uma tensão de ignição relativamente constante em toda a faixa de velocidades. Elimina o desgaste dos contatos do distribuidor devido ao arco, já que estes funcionam com um disparo do SCR, de baixa corrente. Também pode ser disparado por impulsos de saída de um captador magnético solidário ao distribuidor no lugar dos contatos. D.R. Grafham, "Using Low Current SCRs", General Electric, Syracuse, N.Y., nº 200.19, 1967, pág 32.

Fig.6 - IGNIÇÃO ELETRÔNICA COM BOBINA NORMAL - Utiliza as conexões existentes na bobina de ignição normal, melhora o consumo a altas velocidades, não é afetado pelas altas temperaturas e aumenta a vida dos contatos. A.M. Hildebrant, "Transistor Auto Ignition Uses Standard Coil - Electronic Design", 11 Maio 1964, pág.83

Fig.7 - IGNIÇÃO COM DOIS TRANSISTORES - O uso de dois transistores de baixa tensão em lugar de uma unidade de alta tensão, proporciona economia considerável. Um possível inconveniente é a falta de proteção por diodo zener. O circuito é da Slep Electronics Co. Ts.14 - B. Ward, "Transistor Ignition Systems Handbook", H.W. Sams & Co., Indianápolis, In., 1966, pág.93.

Fig.8 - IGNIÇÃO COM DOIS SCR - Melhora o rendimento do motor, o consumo e evita a ignição múltipla. A fonte de alimentação utiliza inversor para elevar a tensão da bateria de 12 a 375V para carregar o condensador de armazenamento de energia. A separação dos contatos do distribuidor põe o SCR em estado de condução, descarregando o condensador através da bobina de ignição. C.C. Morris Y.R.D. Morton, "Unique Capacitor - Discharge Ignition System - Electronics World", Junho 1969, pág. 45-48 e 56.

Fig.9 - IGNIÇÃO SEM RUPTOR - O sistema Motorola, utilizando captador magnético em lugar das pontas de contato do distribuidor, requer uma estrela com número de pontas igual ao número de cilindros, montada no rotor do distribuidor. O captador magnético está montado na placa do ruptor com abertura suficiente na caixa do distribuidor para permitir o movimento dos mecanismos de avanço centrífugo e de vácuo. A bobina de captação tem um pequeno ímã permanente no extremo. B. Ward, "Transistor Ignition Systems Handbook", H.W. Sams & Co., Indianapolis, Ind., 1966, pág. 63.

Fig.10 - IGNIÇÃO COM SCR E CONDENSADOR - Excitado por um inversor com transistor de silício, consome menos de dois amperes da bateria em toda a faixa de velocidade. Pelos contatos do distribuidor passa pouca corrente, não produzindo arco e desgastes. Utiliza os contatos, condensador, resistência autoreguladora e bobina normal. O circuito de exclusão na porta do SCR evita os falsos impulsos. F.W.Gutzwiller e E.K. Howell, Economy Power Semiconductor Applications, "General Electric", Syracuse, N.Y., nº 671.1, 1965, pág.25.

Fig.11 - IGNIÇÃO ELETRÔNICA DE BAIXO CONSUMO - A adição de transistores no sistema de ignição por descarga do condensador melhora a performance a altas velocidades e reduz a drenagem de corrente em 1 A.

K.W.Scheel, Two Added Transistors Reduce Ignition - System Current Drain, "Electronics", 29 Maio 1967, pág.87.

Fig.12 - IGNIÇÃO POR IMPULSO SEM RUPTOR - Sem necessidade de regular o motor e ajustar a separação das pontas do ruptor, utiliza um circuito oscilador em que se obtém elevada corrente média mediante realimentação com transformador. Aloja-se na caixa do distribuidor no lugar das pontas do ruptor. A rotação faz com que o transformador de disparo atue o circuito produzindo uma onda quadrada. O circuito pode ser utilizado como interruptor de proximidade. R.L. Ronci, Good Timing, "Electronics", 18 Set. 1967, pág.50.

Fig.13 - O ZENER PROTEGE O TRANSISTOR DE IGNIÇÃO - O zener está conectado entre o emissor e o coletor do transistor no sistema de ignição eletrônica. Controla a tensão de serviço para a proteção contra sobretensões sem que altere a finalidade do circuito. "Zener Diode Handbook", Motorola, Phoenix, Ariz., 1967, pág. 7-9.

Fig.14 - REDUÇÃO DO TEMPO DE COMUTAÇÃO PARA IGNIÇÃO - O circuito reduz as perdas de comutação do sistema de ignição eletrônica e aumenta a saída da bobina de ignição mediante aplicação de polarização inversa ao transistor aumentando assim a velocidade de comutação do transistor. Reduz a erosão dos eletrodos das velas. "Circuits Manual", Motorola, Phoenix, Ariz., 1965, pág. 11-13.

Fig.15 - INVERSOR PARA IGNIÇÃO - O inversor com dois transistores excita a ponte retificadora para a conversão cc/cc e obter 200 a 400 V para funcionamento mais eficiente do sistema de ignição com SCR e condensador. "Circuits Manual", Motorola, Phoenix, Ariz., 1965, pág. 11-13.

Fig.16 - O ZENER DE 75 V PROTEGE O TRANSISTOR DE IGNIÇÃO - O zener está conectado entre a base e o coletor do transistor no sistema de ignição eletrônica, elevando a tensão de serviço para proteção contra sobretensões sem alterar o funcionamento do circuito. "Zener Diode Handbook", Motorola, Phoenix, Ariz., 1967, pág. 7-9.

Fig.17 - IGNIÇÃO COM POSITIVO NA MASSA - Esta modificação do sistema de ignição com SCR e condensador é para carros em que o positivo da bateria está conectado a massa. "Hobby Manual", General Electric, Owensboro, Ky., 1965, pág. 63.

Fig.18 - ADAPTADOR DE IGNIÇÃO ELETRÔNICA - Permite o ensaio de todos os tipos de sistemas de ignição com transistores e condensador de automóveis e a reconversão do sistema convencional sem modificar as conexões. Todos os condutores necessários para a instalação terminam em uma régua de terminais. C.C. Morris, Universal Wiring for Automotive Ignition Systems, "Electronics World", Agosto 1967, pág. 48.

Fig.19 - IGNIÇÃO COM SCR E CONDENSADOR - O circuito inclui inversor e ponte retificadora para carregar o condensador a 175 V CC e circuito de disparo de SCR para descarregar o condensador através do primário da bobina de ignição. O inversor converte a tensão da bateria do carro com negativo a massa e alta tensão de Ca a uma frequência de 8.000 Hz aproximadamente e entregar uma tensão de saída de 23.000 Hz desde a bobina de ignição de 12,6 V até a entrada de CC de 6,5 V, para um bom arranque em tempo frio. "Hobby Manual", General Electric, Owensboro, Ky., 1965, pág. 60.

Fig.20 - IGNIÇÃO COM TRANSISTOR DE COMUTAÇÃO RÁPIDA - A ignição com um só transistor melhora o funcionamento e aumenta a vida dos contatos do ruptor. Pode-se utilizar a ignição convencional acionando ambos comutadores e tornando a conectar o cabo de alta tensão a bobina de ignição convencional. J. Nawracaj, Transistor Ignition System Improves Engine Performance, "400 Ideas for Design Selected from Electronic Design", Hayden Book Co., N.Y., 1964, pág. 232.

Fig.21 - IGNIÇÃO COM DOIS TRANSISTORES - Os transistores de média tensão em série satisfazem os requisitos de comutação a 120 V para a bobina de ignição que tem baixa relação de espiras (menor que 325:1) e corrente de coletor de 12 A. "Circuits Manual", Motorola, Phoenix, Ariz., 1965, pág. 11-13.

Fig.22 - IGNIÇÃO COM CI-SCR - O CI dá uma corrente de pico de 2 A para ativar quase todos os sistemas de ignição eletrônica com condensador. W.L. Brown, Improved IC Fires SCRs Used in Auto Ignition, "Electronic Design", 5 julho, pág. 68 e 70.

Fig.23 - IGNIÇÃO COM UM TRANSISTOR - Utiliza um transistor de alta tensão para comutar a linha de 120 V a bobina de ignição que tem baixa relação de espiras (menor que 325:1) e funciona com corrente de coletor de 1 a 12 A. "Circuits Manual", Motorola, Phoenix, Ariz., 1965, pág. 11-13.

Fig.24 - IGNIÇÃO COM SCR - Tem um conversor cc/cc para elevar a tensão de bateria do carro para aproximadamente 400 V. Quando o primeiro cilindro chega no tempo de compressão e atinge a condição, salta uma faísca da vela, as pontas se abrem e a corrente passa comutando o SCR para o estado de condução descarregando o capacitor através da bobina de ignição. Mark Ten - A New Ignition System for All Motor Vehicles, Delta Products, Grand Junction, Colo, 1969.

Fig.25 - DISPARO DA IGNIÇÃO SEM CONTATOS - Um ímã permanente com quatro polos montado no rotor do distribuidor, gera os impulsos de disparo na bobina de captação para excitar o SCR do sistema de ignição do carro. Os contatos do distribuidor são desnecessários. O circuito representado amplifica e diferencia os impulsos antes de se aplicar a porta do SCR. D.R. Grafham, "Using Low Current SCR's", General Electric, Syracuse, N.Y., nº 200.19, 1967, pág. 33.

Fig.26 - IGNIÇÃO À PROVA DE CALOR COM TRANSISTOR UNIUNION - Desenvolvido para carros esportivos. O disparo do UJT na ignição por descarga do condensador mantém o impulso na faixa de temperaturas de -34 a 71 °C, com variação simultâneas da fonte de tensão maiores a 30%. F. Honey, Unijunction Trigger Boosts Ignition Reliability, "Electronics", 18 Set. 1967, pág. 107-108.

7. BIBLIOGRAFIA

OBERT, Edward F. - Internal Combustion Engines and Air Pollution third edition New York, Harper & Row, Publishers, 1973, pág.497-563.

MARKUS, John - Manual de Circuitos Eletrônicos 1974, pg.359-366

CROUSE, William H. - Automotive Mechanics 1970.

APOSTILAS TÉCNICAS: Ignição por Bateria, Sistemas eletrônicos de ignição por bateria e Velas de Ignição, de Robert Bosch do Brasil Ltda.