

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : d'Electronique



PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

ETUDE et REALISATION
d'un SYSTEME d'ALLUMAGE ELECTRONIQUE
d'AUTOMOBILE

Proposé Par : Mr

KARAKHANIAN . E.

Etudié par :

GORGI . M . R .

BERKACHE . M .

Dirigé par : Mr

KARAKHANIAN . E .

PROMOTION : Juin 87

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ETUDE ET REALISATION

D'UN SYSTEME D'ALLUMAGE ELECTRONIQUE

D'AUTOMOBILE

D E D I C A C E S

A ma mère et à mon père qui m'ont appris à lire et à écrire, je leur dédie aujourd'hui le plus beau et le plus modeste cadeau qu'on puisse offrir.

A ma très chère soeur et à mon très cher frère qui partagent ma joie.

A toute ma famille, en particulier mon oncle CHAKER et ma tante NEFISSA.

A tous mes amis, ABDELKADER BRAHAM-CHAOUCH
et TAIEB BLAL

GORGI MOHAMED RABIE

Je dédie ce modeste travail à

- mes parents qui m'ont appris à lire et à écrire.
- ma femme
- mes frères et soeurs, en particulier BELKACEM à qui je souhaite bonne réussite dans ses études.
- mes beaux parents, mes beaux frères et mes belles soeurs.
- et à tous mes amis.

BERKACHE MOHAMED

R E M E R C I E M E N T

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur monsieur KARAKHANIAN E. par son aide morale et ses orientations. Nous tenons à remercier également tous les professeurs qui ont contribué à notre formation, et tous les gens qui nous ont aidé de loin ou de près.

S O M M A I R E

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

I.	L'allumage classique.....	4
I.1.	Introduction.....	4
I.2.	L'allumage classique par bobine.....	5
I.3.	le système d'allumage par batterie.....	9
I.4.	Emmagasinage de l'énergie d'allumage.....	11
I.5.	Les réactions mutuelles dans la bobine.....	13
I.6.	Transmission de l'énergie d'allumage.....	15
I.7.	Production de l'énergie d'allumage.....	17
II.	La mécanique et l'avance.....	20
II.1.	L'angle de came.....	20
II.2.	L'avance à l'allumage à commande mécanique.....	21
II.3.	Principe de réglage de l'avance.....	23
II.4.	Les dispositifs centrifuges d'avance.....	24
II.5.	Les dispositifs d'avance à dépression.....	26
III.	Intervention de l'électronique.....	28
III.1.	Les points faibles de l'allumage classique.....	28
III.2.	Le rupteur et le transistor.....	29
III.3.	Suppression du rupteur.....	30
III.4.	Les capteurs.....	30
III.5.	L'allumage à transistors avec générateur d'impulsions... ..	33
III.6.	Adoption de la décharge.....	34
III.7.	La bobine électronique.....	35
IV.	Le système d'allumage électronique.....	38
IV.1.	Introduction.....	38
IV.2.	Analyse du système.....	38
IV.3.	Réalisation.....	56
V.	Etude des signaux.....	60
VI.	Conclusion.....	77
.	Bibliographie.....	79

.../.

P R E F A C E

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Avec la naissance de l'automobile au début du siècle un tournant décisif allait s'inscrire dans l'histoire de ce monde.

En l'espace de quelques années, les quatre roues vont conquérir les routes des cinq continents.

L'industrie des voitures s'apprêtait à connaître au fil des années une prospérité croissante avec la création de grandes firmes de l'automobile.

La concurrence obligera tout ce beau monde à développer et améliorer sans cesse les performances requises en introduisant de nouveaux systèmes électroniques dans l'équipement de la voiture, comme l'allumage, l'injection, l'éclairage, le freinage, ... afin de répondre aux exigences des normes de sécurité et l'économie du carburant, sans oublier le confort du conducteur à savoir la commande automatique de certaines manoeuvres mécaniques : monte glace, ouverture des capots, ...

Notre intervention au cours de ce projet de fin d'étude a permis d'approfondir et de résoudre les problèmes que pose le système classique par la mise au point d'un système d'allumage électronique pour automobile.

C H A P I T R E I

I.L'ALLUMAGE

I.I.INTRODUCTION

Dans tous les moteurs à explosion, à carburation ou à injection d'essence, la combustion du mélange air+carburant est provoquée par un allumage extérieur. Il s'agit d'un arc électrique de brève durée (étincelle), qui se produit entre les électrodes de la bougie d'allumage, et dont l'énergie est élevée sur une source indépendante (batterie). La réserve de celle-ci est constamment entretenue, pendant le fonctionnement, par une génératrice de courant. La tension de batterie est de 6, 12, ou 24V, qui est de loin, très insuffisante pour provoquer l'éclatement des étincelles à la bougie. C'est pourquoi l'une des fonctions importantes de l'équipement d'allumage par batterie est d'élever considérablement cette tension et la diriger à l'instant désiré sur la bougie voulue. Suivant les conditions de fonctionnement du moteur, cette tension requise varie entre 15 et 30KV; on la nomme tension d'allumage ou d'ionisation. Sous son effet l'espace entre les électrodes, appelé éclateur, devient conducteur, de sorte que l'étincelle peut jaillir, à une température de plusieurs milliers de degré celsius, elle suffit à enflammer le mélange gazeux dont la combustion se poursuit alors d'elle-même.

Pour créer la haute tension HT il faut disposer d'un certain nombre d'organes. Ceci se fait de plusieurs façons:

I.I.I.LA BOBINE ELECTROMAGNETIQUE

Elle est constituée d'un enroulement primaire soumis à de brusques variations de flux magnétique qui induit un courant HT dans l'enroulement secondaire.

+Si le flux diminue, il y a décharge de la self recevant le courant de la batterie.

+Si le flux augmente, il y a décharge du condensateur dans le circuit primaire.

I.I.2.L'OSCILLATEUR HF ET CONVERTISSEUR

C'est un appareil à aimants permanents, il comprend les

magnétos et les volants magnétiques.

D'autres dispositifs sont réalisés mais non expérimentés qui constituent l'allumage électrostatique et piézo-électrique.

1.2.L'ALLUMAGE CLASSIQUE PAR BOBINE

Sous la désignation d'allumage classique, on comprend procédé dont les cycles sont exclusivement commandés par des contacts mécaniques et électriques très sévères. Il coupent et rétablissent jusqu'à 20000 fois à la minute des courants de plusieurs Ampères. Dans ce cas la source d'énergie est la bobine, elle l'emmagasine dans son champ magnétique, la fournit à l'instant voulu (le point d'allumage) à la bougie voulue, sous forme d'une impulsion de courant HT. L'emmagasinage résulte d'un phénomène d'induction ; c'est pourquoi l'on peut considérer la bobine d'allumage comme un "réservoir" inductif.

Le schéma synoptique d'un tel système d'allumage, fig. I, comprend :

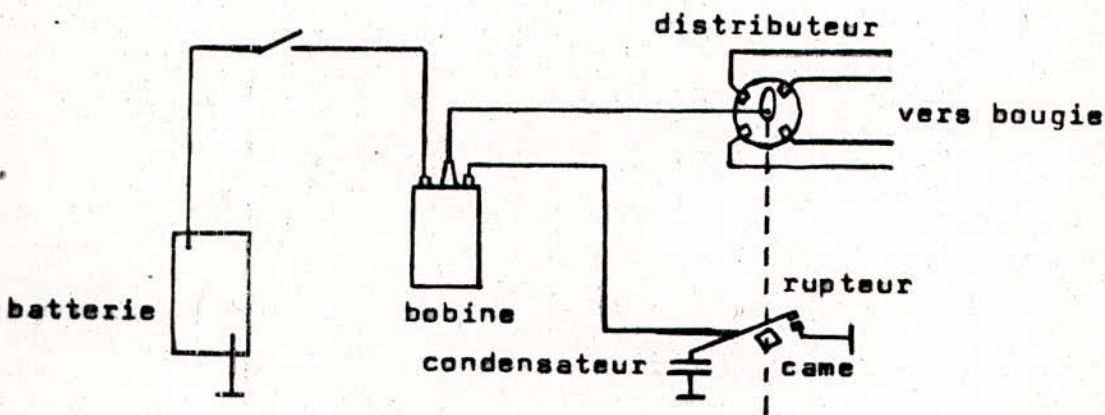


Fig. I. Système d'allumage par bobine

1.2.1. LA BOBINE

C'est un transformateur qui a pour rôle de transformer un courant de 6, 12, 24V de la batterie en un courant HT.

schématiquement, Fig. 2, elle est composée de :

- +Un noyau en fer doux A très perméable au flux magnétique.
- +Un enroulement primaire B de gros fil (environ 1 mm de diamètre) formé de N_1 spires, réalisé autour du secondaire.
- +Un enroulement secondaire C de fil fin (environ 0.1 mm de

diamètre) formé de N_2 spires, réalisé autour du noyau.

On remarque que le secondaire est en série avec la batterie:
Si les 2 courants sont de même sens, ils s'ajoutent; s'ils sont de sens contraire, ils se retranchent. Dans les 2 cas, étant donnée la faible tension de batterie par rapport à celle du secondaire, cela n'a pas d'importance. En effet la tension à considérer n'est pas celle de la batterie, mais celle du courant induit, par la rupture, qui peut atteindre 250 à 300V. Suivant le sens des enroulements, cette tension peut s'ajouter ou se retrancher de celle du secondaire.

D'après les lois de l'induction, si l'on réalise une variation de champ dans le noyau en faisant varier l'intensité du courant primaire, il se crée dans le secondaire un courant induit qui sera d'autant plus important que:

+ Cette variation est plus rapide.

+ $N_2 \gg N_1$.

Une bobine est caractérisée par:

+ Sa résistance de primaire.

+ Le rapport N_2/N_1 .

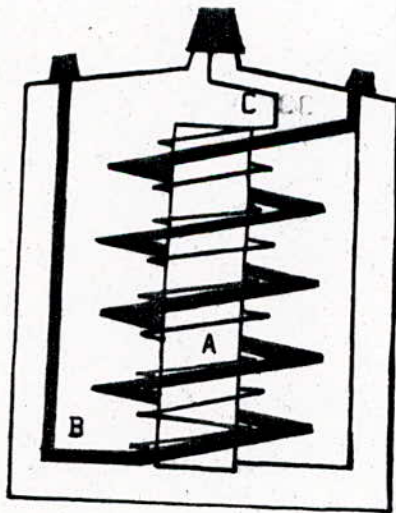


Fig.2. Bobine

1.2.2. L'ALLUMEUR

Il comprend, Fig.3, deux parties principales:

+ Une partie basse tension comprenant un rupteur chargé de couper le courant primaire.

+ Une partie haute tension chargée de répartir la HT dans les

différentes bougies.

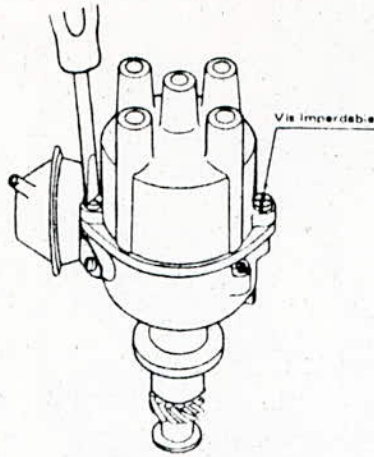


Fig.3. Allumeur

I.2.3. LE RUPTEUR

C'est un organe qui, commandé par la came, va déterminer la coupure du courant primaire pour engendrer la HT au secondaire.

I.2.4. LE DISTRIBUTEUR

C'est un organe qui, alimenté en HT, va la répartir dans les différentes bougies par l'intermédiaire des cables d'allumage. Il est entraîné par le moteur à l'aide d'un pignon qui engrène un autre, leur rapport est de 1/1.

I.2.5. LE CONDENSATEUR

A la coupure du fort courant primaire, la disparition soudaine du champ magnétique engendre momentanément une tension induite dans l'enroulement primaire de la bobine. Elle atteint 250 à 300V et, en l'absence de dispositions adéquates, elle se traduit par une étincelle dite "arc de rupture" au moment où le contact du rupteur se soulève. Cet arc a 3 répercussions fâcheuses sur le comportement de l'allumage:

- + Consommation d'énergie dans les arcs de rupture au détriment de l'énergie d'allumage.
- + Brulure des contacts entraînant leur usure prématurée.
- + Forte résistance aux plots de contact, due à la température élevée et à la mauvaise conduction des surfaces fondues. Conséquence: la chute de la tension et de la puissance d'allumage.

La solution est d'introduire un condensateur monté électriquement en parallèle sur le rupteur. Au moment de la coupure du courant il

absorbe l'impulsion de courant induit, en constituant une dérivation pour le contact en train de s'ouvrir. Il se charge à la tension de crête induite primaire, au bout d'un temps déterminé. Les contacts se sont, durant ce délai, suffisamment éloignés l'un de l'autre pour qu'aucune étincelle ne puisse jaillir. L'enroulement primaire et le condensateur constituent un circuit résonnant.

A partir de l'instant t_0 , Fig. 4, de la coupure du courant, la tension se dissipe en oscillations amorties.

Malgré le retardement techniquement voulu de l'élévation de la tension, celle-ci demeure assez rapide pour que le champ magnétique disparaisse très brusquement, 20 fois plus vite environ qu'en l'absence de condensateur. La disparition dure juste le temps que le condensateur se charge pour la première fois à la tension induite de 300V environ. Avant que le condensateur ne se recharge à nouveau, le champ magnétique s'est annulé et l'impulsion HT dans le circuit secondaire a déjà libéré l'étincelle d'allumage.

Lorsque le nombre d'étincelles/minute est inférieur à 3000, la vitesse de soulèvement du linquet est si faible que, malgré le condensateur, un léger arc de rupture s'allume encore. En effet, la tension primaire induite croît plus rapidement que celle de déclatement dans l'intervalle des contacts qui s'écartent. On a la tension d'induction qui dépasse celle de l'éclatement alors il y a étincelle.

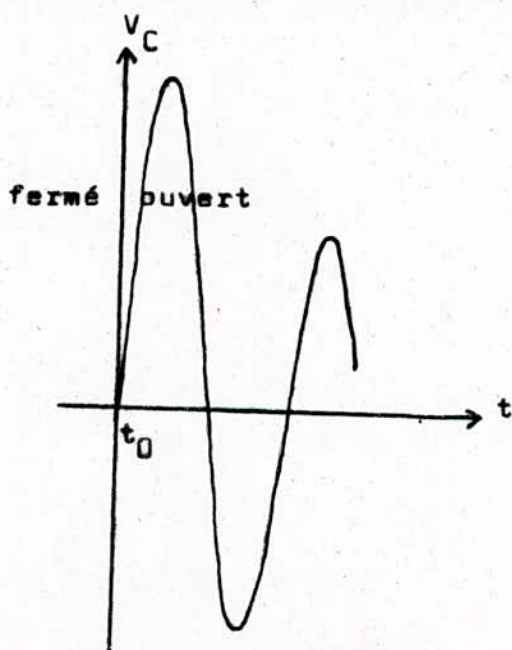


Fig. 4. Tension aux bornes du condensateur

I.2.6. LA BOUGIE D'ALLUMAGE HT

L'étincelle étant provoquée dans le mélange gazeux entre 2 contacts placés dans la chambre de combustion et en série avec un circuit selfique. Une bougie HT se compose des éléments de la Fig.5.

- 9) Conception de la bougie:
- 1 Ecrin de connexion.
 - 2 Filetage de connexion.
 - 3 Barrière contre les courants de fuite.
 - 4 Isolant (Al_2O_3).
 - 5 Ciment à base de verre conducteur.
 - 6 Tige de connexion.
 - 7 Zone de sertissage et de retraction à chaud.
 - 8 Joint extérieur prisonnier (pour siège plat).
 - 9 Pointe du bec d'isolant.
 - 10 Electrode centrale.
 - 11 Electrode de masse.

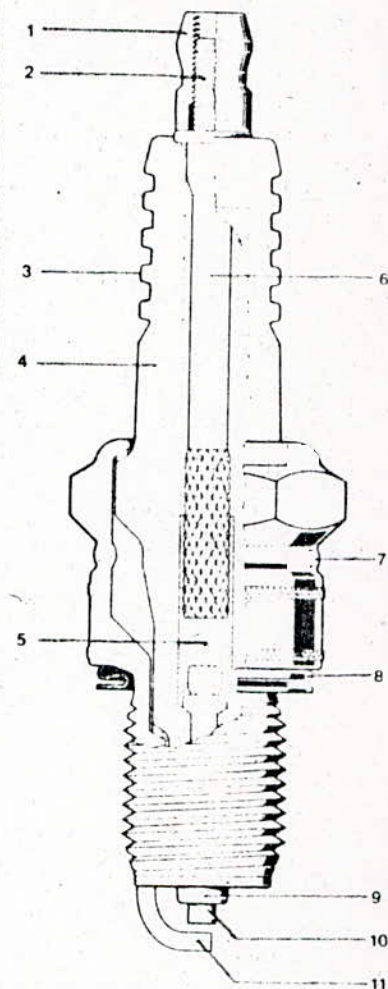


Fig.5. Bougie d'allumage

I.3. LE SYSTEME D'ALLUMAGE PAR BATTERIE

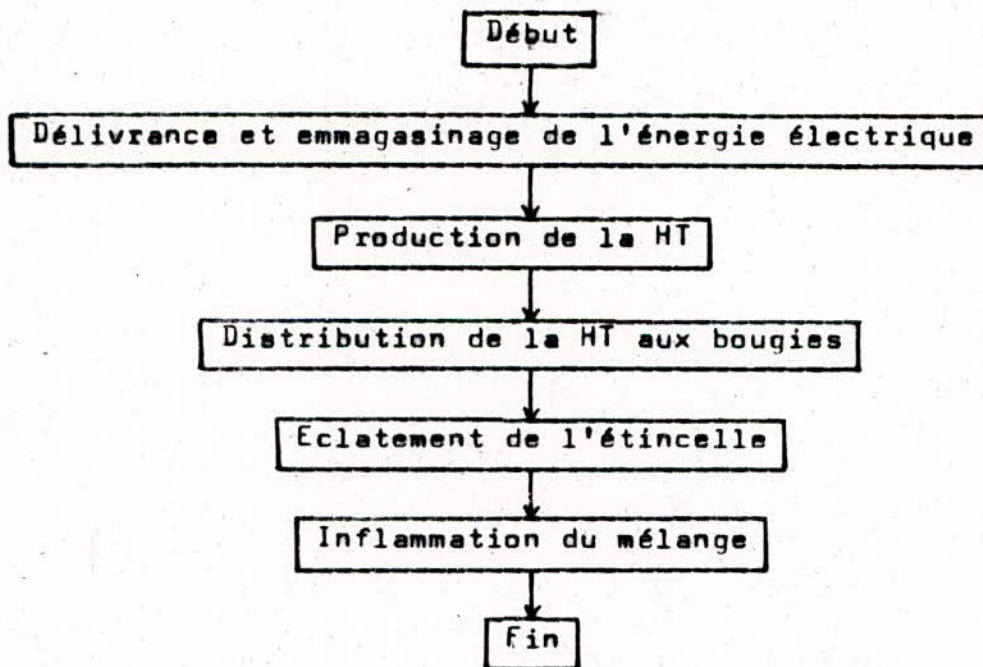
Il consiste à assurer, sans défaillance, l'inflammation du mélange air+carburant dans toutes les conditions possibles de fonctionnement du moteur. Dans ce but les exigences suivantes sont requises:

- +La composition du mélange doit être inflammable.
- +Le mélange doit avoir un bon accès à l'étincelle. La position de l'éclateur, formé par les électrodes de la bougie, dans la chambre de combustion. La durée de l'étincelle et la turbulence sont ici déterminantes.

+L'étincelle doit posséder une énergie minimum déterminée, nommée énergie d'allumage, qui est transformée en chaleur. Si l'étincelle ne possède pas cette énergie requise, elle peut jaillir sans que l'allumage soit pour autant assuré.

Un mélange possédant les propriétés optimales, requiert pour s'enflammer une énergie de l'ordre de 0.1 mj au minimum. La demande d'énergie sera particulièrement plus élevée pour un départ à froid. L'instant d'inflammation est choisi de manière que le moteur ne cliquette pas, quelque soit le régime de fonctionnement. Le point d'allumage dépend d'autre part de l'état du moteur.

Lorsqu'il est question de l'allumage des moteurs à explosion, on évoque d'abord la présence d'une étincelle éclatant à la bougie et provoquant l'inflammation du mélange air+carburant comprimé dans le cylindre. Mais l'inflammation n'est que le dernier acte d'un processus se déroulant selon l'organigramme suivant:



En une minute ce processus se répète autant de fois qu'il y a d'étincelle à produire. Or le nombre d'étincelles par minute n et la vitesse de rotation w d'un moteur à 4 temps sont reliées par:

$$n = 1/2 N w \quad \text{avec } N \text{ le nombre de cylindres.}$$

La batterie du véhicule fournit l'énergie requise pour l'allumage par l'intermédiaire d'un "réservoir" interposé. Ce-ci a pour rôle d'emmagasiner une quantité d'énergie électrique suffisante,

constituant pour chaque allumage individuel un important surplus d'énergie. D'autre part ce surplus doit couvrir tous les besoins en énergie requise dans les conditions d'allumage les plus défavorables, et d'autre part compenser les pertes dans les cables, le réservoir, et dans l'allumeur. A ces fins il n'est pas inhabituel qu'au besoin moyen de 0.1 mj correspond à une énergie emmagasinée de 50 à 70 mj, pouvant même dépasser 100 mj dans les dispositifs de haute performance.

Il existe des systèmes d'allumage par batterie dans lesquels la source d'énergie est constituée soit par le champ magnétique d'une bobine, ou électrique d'un condensateur.

Le montage de principe d'un tel système d'allumage par batterie est très simple: batterie, réservoir d'énergie (bobine ou condensateur), rupteur synchronisé avec le distributeur.

I.4. EMMAGASINAGE DE L'ENERGIE D'ALLUMAGE

Lorsque le contact du rupteur ferme le circuit primaire, un courant s'établit. Toutefois au moment de la fermeture, ce courant ne s'établit pas brusquement, mais s'élève progressivement pour prendre une valeur finale déterminée par la tension de la batterie et la résistance ohmique de l'enroulement. Le délai nécessaire à l'établissement de ce courant, dit de repos, est en moyen de 10 à 15 ms. Dans les systèmes d'allumage classique par bobine, la valeur du courant de repos est limitée à 3 ou 4 Ampers. Le retard à la montée du courant est provoqué par un champ magnétique qui prend naissance dans l'enroulement primaire et qui induit une tension U_i opposée à celle de la batterie U_b . Tant que le champ est en voie de formation, une partie de la tension de la batterie U_w peut donc contribuer à la circulation du courant. Il s'en suit que, lorsque le champ est totalement créé, la contre tension induite disparaît. La tension de la batterie est donc totalement efficace dans le circuit primaire: le courant de repos est établi.

Les schémas de la Fig. 6 montrent, en fermeture du rupteur, la création du champ magnétique dans le primaire de la bobine, et les courbes de la Fig. 7 montrent l'évolution du courant.

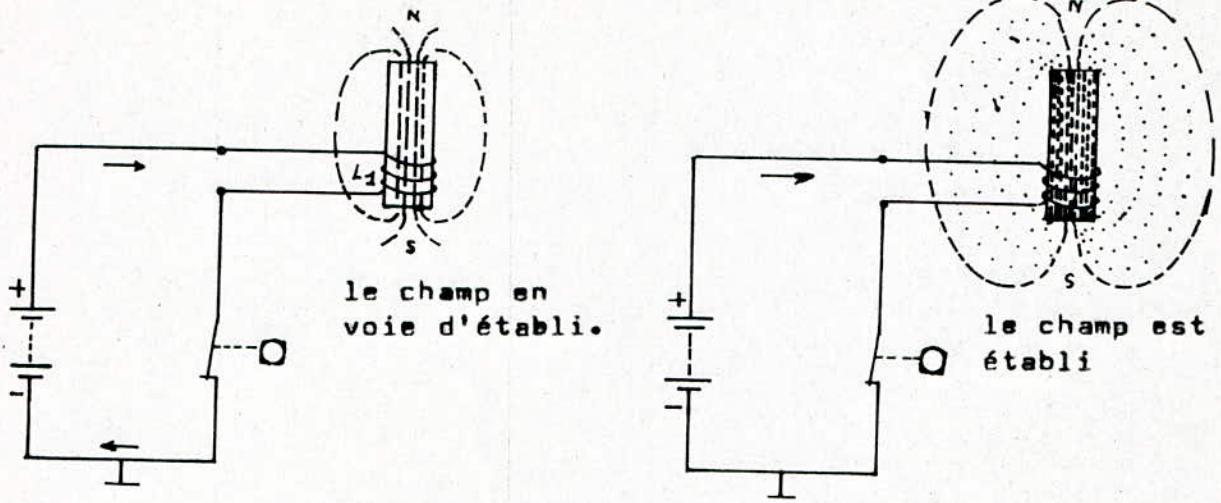


Fig.6.

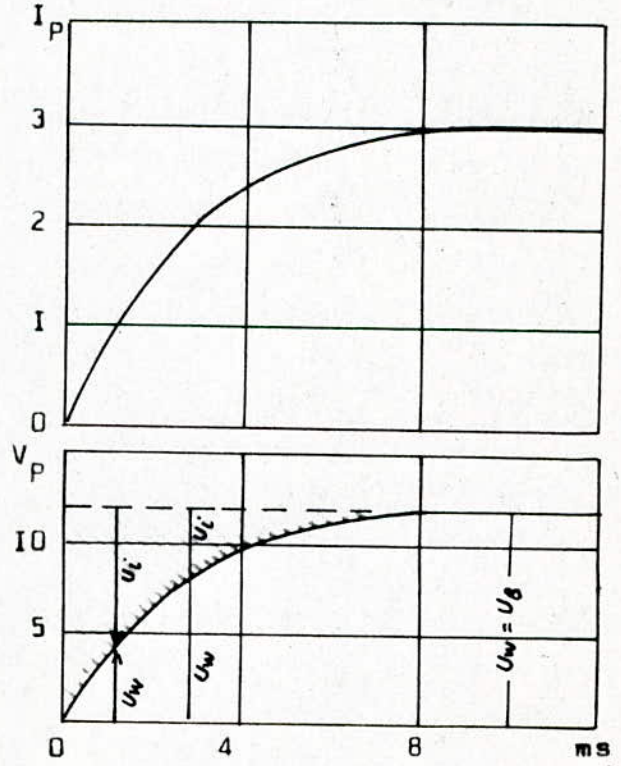
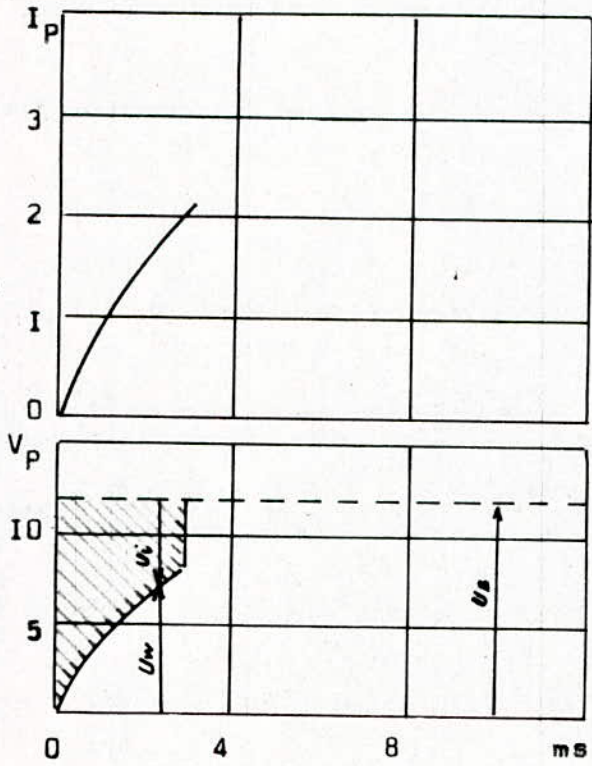


Fig.7.

I.5.LES REACTIONS MUTUELLES DANS LA BOBINE

I.5.I.L'INDUCTION

Toute variation de flux magnétique à travers un enroulement crée une force électromotrice e d'induction qui est d'autant plus grande que cette variation est plus rapide et plus importante.

Si ϕ désigne le flux et t le temps, la f.e.m s'exprime par:

$$e = - d\phi/dt$$

Le signe (-) est introduit pour marquer que la f.e.m s'oppose à la variation du flux par le courant qu'elle peut induire. S'il y a plusieurs spires branchées convenablement, les f.e.m s'ajoutent pour obtenir E . Pour m spires on a:

$$E = m e$$

autrement dit

$$E = - m d\phi/dt$$

En appliquant une tension U aux extrémités de l'enroulement, on peut écrire les équations suivantes:

$$U = R I + d\phi/dt$$

R résistance de l'enroulement

I le courant qui en circule

D'autre part

$$\phi = L I, \quad d\phi/dt = L dI/dt$$

L inductance de l'enroulement

D'où

$$U = R I + L dI/dt$$

Un calcul différentiel permet de tirer I

$$I = U/R (1 - e^{-R/L t})$$

$\tau = R/L$ constante de temps

Les dispositifs d'allumage rencontrent comme principal problème le temps, puisqu'il s'agit d'emmagasiner le plus vite possible une énergie inductive pour qu'elle puisse intervenir au moment qu'il faut dans les cycles d'allumage.

I.5.2.LE COEFFICIENT D'INDUCTION MUTUELLE

Lorsque plusieurs enroulements, parcourus par des courants variables, sont en présence, les flux qu'ils produisent traversent, d'autres enroulements, induisent dans ces derniers des f.e.m d'induction, et dans eux-même des f.e.m de self-induction. Tandis que

la self-induction fait intervenir tout le flux émis par le circuit en cause, l'induction sur les autres ou induction mutuelle, ne fait intervenir que la fraction du flux qui la traverse.

Le circuit C_1 , Fig. 6, de coefficient de self-induction L_1 , parcouru par I_1 , produit un flux proportionnel à I_1 ; mais la fraction de flux qui traverse un autre circuit C_2 de coefficient de self-induction L_2 , n'est proportionnel ni à L_1 ni à L_2 mais à un coefficient d'induction mutuelle M , de C_1 sur C_2 . On démontre que le coefficient d'induction mutuelle de C_2 sur C_1 est aussi M .

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}$$

où K est un nombre inférieur à 1 et dépendant de la position de C_1 par rapport à C_2 :



Fig. 6.

Les f.e.m de self induction de C_1 et C_2 :

$$E_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} \quad , \quad E_2 = L_2 \frac{dI_2}{dt}$$

et les f.e.m d'induction mutuelle

$$E_1' = M \frac{dI_2}{dt} \quad , \quad E_2' = M \frac{dI_1}{dt}$$

Dans le cas où tout le flux de C_1 traverse C_2 , et réciproquement (les 2 enroulements sont superposés) M est maximum

$$K = 1 \quad , \quad M = \sqrt{L_1 L_2}$$

1.5.3. LES EQUATIONS THEORIQUES

Ces équations sont destinées à poser, plutôt qu'à résoudre, le problème compliqué de l'expression des intensités primaire I_1 et secondaire I_2 en fonction du temps t dans la bobine. Dans le tableau suivant on a mis en évidence les relations qui régissent les équations différentielles des courants I_1 et I_2 .

	Loi d'Ohm	Self ind.	Mut. ind.	Ten. cond.	Ten.
Enroulement primaire	$R_1 I_1$	$+ L_1 \frac{dI_1}{dt}$	$+ M \frac{dI_2}{dt}$	$+ \frac{1}{C_1} \int I_1 dt$	$= U$
Enroulement secondaire	$R_2 I_2$	$+ L_2 \frac{dI_2}{dt}$	$+ M \frac{dI_1}{dt}$	$+ \frac{1}{C_2} \int I_2 dt$	$= 0$

Remarque

En réalité les termes L et M , qui sont considérés comme constants, ne le sont pas, ils varient en fonction de I , puisque l'induction électromagnétique dans le fer n'est pas proportionnelle à l'intensité.

On ne fait pas intervenir la résistance variable des contacts du rupteur.

On ne tient pas compte des phénomènes d'irrégularité d'ionisation et d'arc de l'étincelle aux bougies.

On néglige la dispersion du flux, l'hystérésis, les courants de Foucault.

1.6. TRANSMISSION DE L'ENERGIE D'ALLUMGE

Lorsque le processus d'emmagasinement est terminé, le rupteur coupe le circuit, au point d'allumage, et interrompt ainsi le courant primaire. Au même instant le champ magnétique disparaît et induit une tension à la fois dans le primaire et le secondaire. D'après la loi de Faraday, les 2 tensions sont d'autant élevées que la disparition du champ est plus rapide, grâce au condensateur branché en parallèle avec le rupteur, et le rapport des nombres de spires est plus grand, et le courant primaire est plus intense au moment de la rupture. Comme N_2 est d'environ 100 fois plus grand que N_1 , la tension du secondaire est, par conséquent, 100 fois plus grande que celle du primaire. La tension du secondaire est utilisée pour l'allumage: c'est la raison pour laquelle, il est également appelé circuit d'allumage. Dans ce circuit c'est la bougie qui constitue le consommateur.

Voyons maintenant la forme que revêt la tension du secondaire, et comment elle donne naissance à l'étincelle ? Pour comprendre le phénomène, il faut présenter les circuits primaire et secondaire comme des circuits résonnants, composés d'inductances et capacités. A vide (sans bougie), l'énergie emmagasinée, transmise au circuit d'allumage, se dissipe sous forme d'oscillations amorties de courant et tension, dont la fréquence est comprise entre 1 et 3 kHz. Au bout de quelques ms, les oscillations s'annulent; l'énergie s'est transformée en chaleur répartie sur l'ensemble du circuit, et une

partie est rayonnée à l'extérieur.

En pratique, ce cas se rencontre lorsque, par exemple, le câble d'allumage est coupé, ou la HT au secondaire est insuffisante pour produire l'éclatement d'étincelle à la bougie.

L'allure des courbes des tensions primaire et secondaire sont sur la Fig.7.

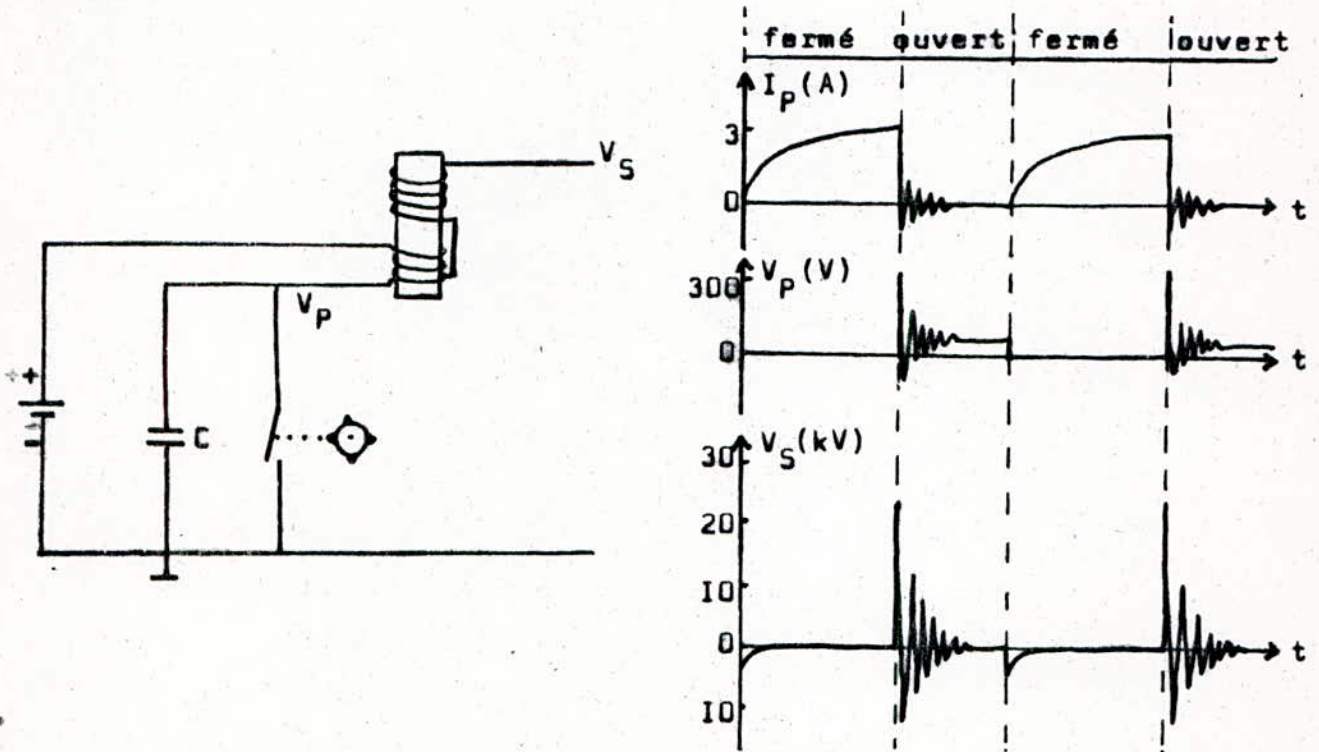


Fig.7. Sans la bougie

Et la Fig.8 donne l'allure des tensions lorsque l'étincelle est provoquée.

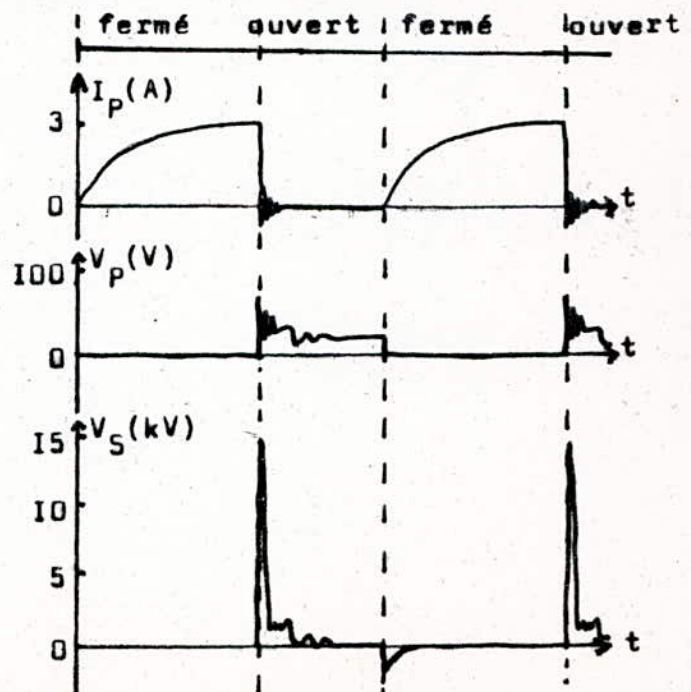


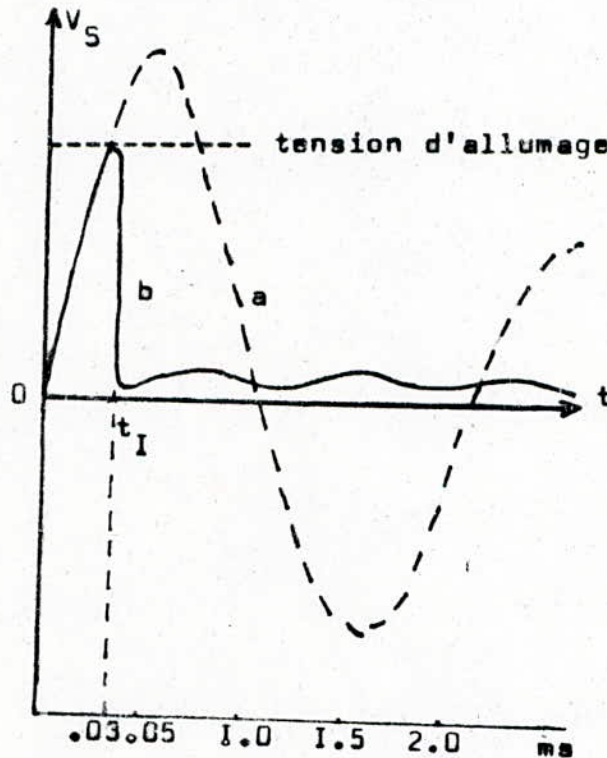
Fig.8. Avec bougie

I.7. PRODUCTION DE L'ÉTINCELLE

Avant que l'allumage entre en jeu, l'éclateur de la bougie est totalement isolant, l'impulsion d'allumage est véhiculée par le câble HT, relié à l'électrode centrale. Cette impulsion provoque d'abord une élévation de la tension aussi grande que celle observée pour la première alternance d'amplitude maximum dans le cas de la tension à vide. Lorsqu'elle atteint une certaine valeur bien déterminée, l'éclateur devient subitement conducteur, et l'étincelle peut alors jaillir.

A partir de l'instant t_1 d'allumage, l'allure de la courbe de la tension aux électrodes est totalement différente de celle de la tension à vide. En raison de la charge imposée: bougie, l'amplitude est diminuée, et chute considérablement à partir de t_1 , fig.9.

Fig.9.
a. sans bougie
b. avec "



La tension d'arc suffit à entretenir l'étincelle et permet au mélange de s'enflammer pendant toute la durée de l'étincelle, au cas où cette inflammation ne s'est pas encore manifestée lors de la décharge initiale provoquée par la HT, la courbe de la tension du secondaire est comparable à celle de la Fig.9.

La courbe, fig.10, de la tension du secondaire permet de reconnaître très clairement les 2 phases principales caractérisant l'étincelle

1. Tête d'étincelle intense et très brève.

2. Queue d'étincelle de durée prolongée sous forme de décharge inductive, avec tension d'arc légèrement ondulée.

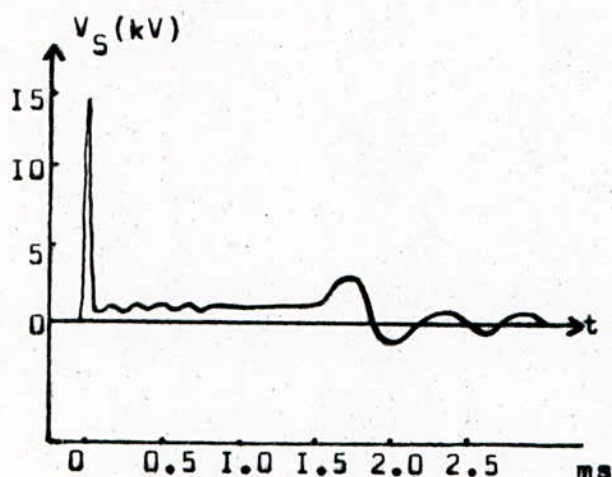


Fig. 10

La durée de l'étincelle est fonction à la fois de l'énergie délivrée et de l'état de repos ou de turbulence du mélange air+carburant.

Au bas régime du moteur, auquel correspond un nombre d'étincelle peu élevé, le mélange est relativement au repos ou très peu brassé. La durée de l'étincelle (1,4 ms environ) est suffisante pour que le mélange s'enflamme facilement. Sa queue correspond à la durée effective.

Lorsque l'énergie descend au-dessous d'une valeur minimum déterminée, l'étincelle disparaît et l'éclateur redevient isolant, le reste d'énergie disponible se dissipe sous forme d'oscillations amorties.

CHAPITRE II

II. LA MECANIQUE ET L'ALLUMAGE

II.1. L'ANGLE DE CAME

II.1.1. LE CYCLE D'ALLUMAGE

L'énergie; demandée par l'allumage pour une étincelle; est de l'ordre de quelques millijoules. L'emprunt fait au moteur est donc pratiquement négligeable, il peut être fait de 2 façons:

+Directe si l'énergie de l'étincelle est produite spécialement au moyen d'un générateur spécialisé et au moment voulu. Cela est réalisé par les magnétos, les volants magnétiques, les dispositifs piézo-électriques, ou électro-statiques.

+Indirecte quand l'énergie électrique à emprunter à une batterie, où l'on a emmagasinée par une dynamo ou un alternateur.

Dans les 2 cas, 3 problèmes sont à examiner:

1. La fréquence des opérations de production d'étincelles.
2. La durée de chaque cycle et de sa décomposition.
3. Le décalage des opérations en fonction de certains facteurs.

II.1.2. LES DUREES RELATIVES DES OPERATIONS D'ALLUMAGE

Il s'agit du temps qu'il faut pour "remplir" la bobine de self dans le cas où l'allumage est fait par décharge selfique, ou le condensateur quand il doit y avoir décharge capacitive. Ouverture et fermeture des circuits peuvent être faites par un rupteur commandé par une came.

On voit sur la Fig. I que l'angle de rotation pendant l'ouverture est désigné par A, tandis que la fermeture l'est par B (angle de came).

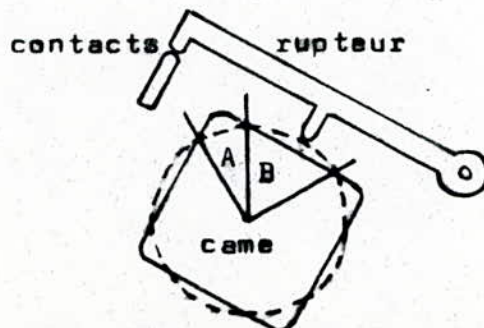


Fig. I. Angle de came

Il y a autant de bossages dans la circonférence que l'on veut obtenir d'étincelles en un tour du rotor.

Ce qui importe, c'est que le rapport de l'angle A au total A + B, qui est le cycle du rupteur, soit respecté, et que la durée du parcours de B soit suffisamment long, qui est évidemment inversement proportionnel à la vitesse de rotation du moteur. Si le temps devient trop court, le remplissage ne se fait pas et il y a des ratés; s'il est trop long, la bobine risque de chauffer inutilement ou dangereusement.

L'angle B peut être apprécié en degrés, mais il est mieux de l'apprécier en valeur relative par le rapport $B / A + B$ en % (dwell). L'angle de pause peut être aménagé de plusieurs façons:

+ Emploi de dispositifs centrifuges.

+ " " 2 linquets savamment décalés et montés en parallèle, dont l'un fait l'ouverture et l'autre la fermeture. (Ne pas confondre avec la commande de l'allumage d'une bougie par 2 rupteurs pour des raisons de sécurité).

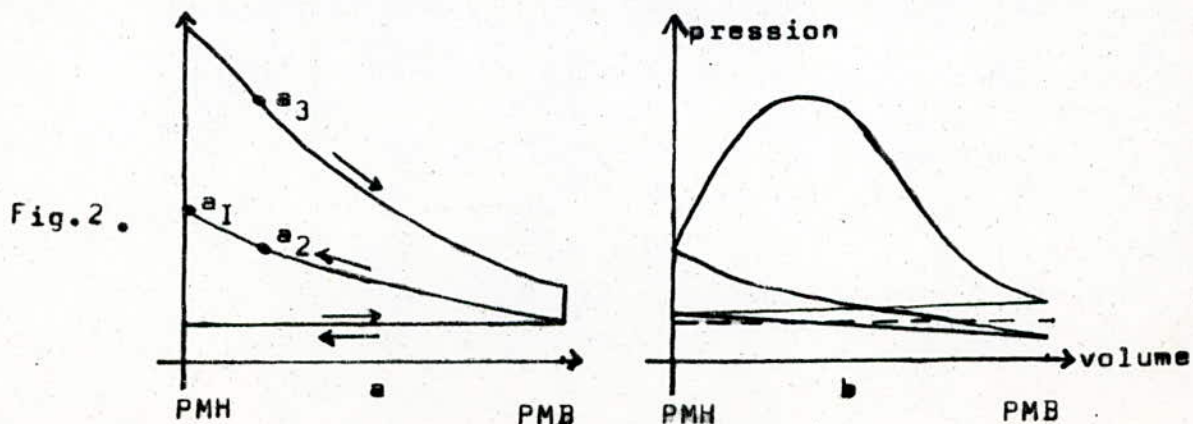
+ Emploi des rupteurs étagés et de bobines multiples.

+ " de certains dispositifs électroniques.

II.2. L'AVANCE A L'ALLUMAGE A COMMANDE MECANIQUE

II.2.1. DEFINITION DE L'AVANCE

Le mouvement du piston dans le cylindre est accompagné de variations de pression à l'intérieur du cylindre, pression qui est modifiée par la combustion rapide du mélange sous l'effet de l'allumage. C'est la variation de la pression résultante qui crée un effort moteur. Elle se traduit pour un moteur à 4 temps par un diagramme très caractéristique et classique donné par la Fig. 2.



L'énergie développée en un cycle par le moteur est proportionnelle à la différence qui existe entre les surfaces du diagramme réel (b) L'avance à l'allumage définit l'instant où commence l'allumage, considéré comme celui où s'ouvre le rupteur. Elle est naturellement mesurée par la distance qui sépare la position du piston au moment où le rupteur s'ouvre et celle où le piston passe le point mort haut PMH. Puisque la combustion n'est pas instantanée, comme cela est supposé sur la Fig. 1A, on adopte a_2 comme point d'allumage de telle façon que la combustion, commencée avant le PMH continue après, afin qu'elle soit effectuée en partie avant le PMH; cela permet à la détente de se produire plus efficacement, dès que le piston commence à s'éloigner du PMH. La combustion est complétée quand la bielle et le manivelle font un angle voisin de 90° .

II.2.2. JUSTIFICATION DE L'AVANCE A L'ALLUMAGE

a. L'AVANCE ET LA PUISSANCE

Il est facile de constater sur le diagramme de la Fig. 3, que l'avance joue un rôle important dans la détermination de la puissance.

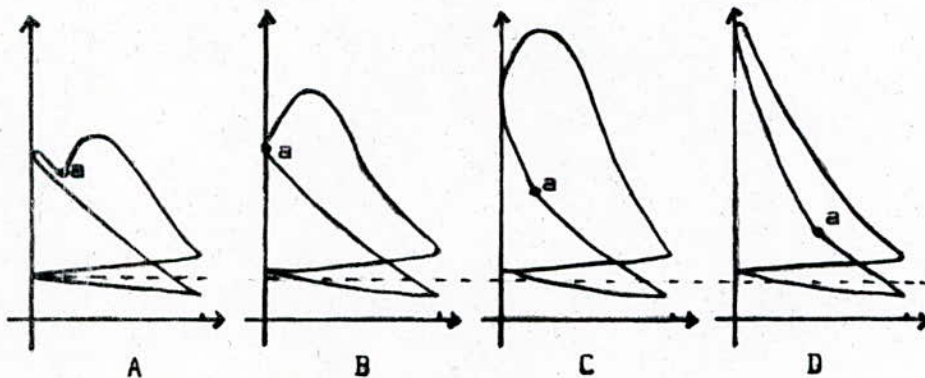


Fig. 3.

A: Retard à l'allumage.

B: L'allumage est déclenché au PMH (mieux que A puisque la différence entre les surfaces est plus grande).

C: Avance à l'allumage est correct (mieux que B puisque la différence est beaucoup plus grande).

D: Avance trop grande à l'allumage.

Donc il est très important de choisir le point d'avance.

b.L'AVANCE ET L'ECONOMIE

La liaison de l'avance et de la puissance implique directement une liaison entre l'avance et le rendement, c'est à dire l'économie.

c.L'AVANCE ET LE CLIQUETIS

Lorsque l'avance est trop forte, il peut arriver que la combustion soit très avancée, alors que le piston n'est pas encore arrivé au PMH, le moteur fait entendre un bruit métallique qu'on appelle "cliquetis", qui serait du au choc du piston sur son axe. Sur la Fig.4, il est intéressant de comparer à la courbe A représentant l'angle d'avance pour lequel la puissance atteint son maximum, la courbe B qui donne l'angle d'avance auquel apparait le cliquetis.

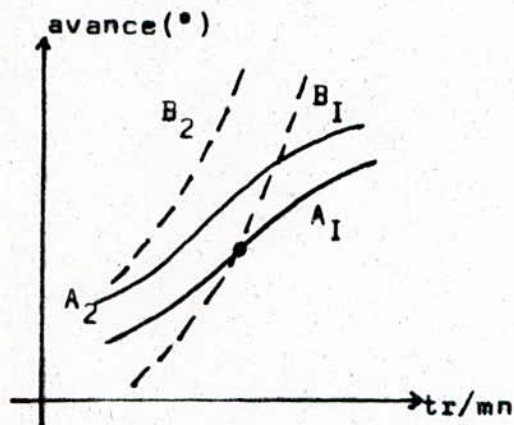


Fig.4.

d.L'AVANCE ET LA POLLUTION

Parmi les procédés connus pour la lutte contre la pollution il y a le réglage de l'avance. Au ralenti le mélange est trop riche et la combustion est imparfaite. D'où l'idée d'introduire de l'air, ce qui améliore la combustion et diminue la pollution, mais augmente la vitesse; on rétablit la vitesse cherchée en donnant du retard. Les dispositifs de retard ont fait leur apparition en 1970.

II.3. PRICIPE DE REGLAGE DE L'AVANCE

Etant donné les justifications précédentes de l'avance à l'allumage, il faut se réserver la possibilité d'un réglage qui

permet de résoudre le problème.

Un premier procédé est le réglage manuel: le déclenchement de l'allumage se produisant au moment où une came attaque le rupteur du circuit primaire, on fait varier le moment de cette attaque, en décalant dans le sens de rotation de la came. Ce procédé est pratiquement impossible à réaliser par le conducteur. D'où la recherche de l'automatisme. Pour le réaliser il faut déterminer 2 éléments pratiques:

+La vitesse de rotation:

Plus le moteur tourne vite, plus il faut de l'avance pour que la combustion ne soit pas trop prononcée. Mais la vitesse de combustion est d'autant plus grande, que le dosage est meilleur et que la température est plus élevée.

+La charge que supporte le moteur:

La correction d'avance est positive si la charge diminue, mais ça peut être négative pour éviter la pollution au ralenti.

La détection de ces éléments peut être mécanique. On sait détecter une variation de vitesse par l'apparition d'une force centrifuge sur des masselottes. De même on sait traduire sous forme mécanique une variation de pression en la faisant agir sur des capsules manométriques.

En électronique, du moment où des calculateurs sont introduits, la détection de ces éléments se fait par l'apparition d'un signal à fréquence variable lié à une rotation, une pression,...

II.4. LES DISPOSITIFS CENTRIFUGES D'AVANCE

II.4.1. LE PRINCIPE

Il est schématisé par la Fig.5.

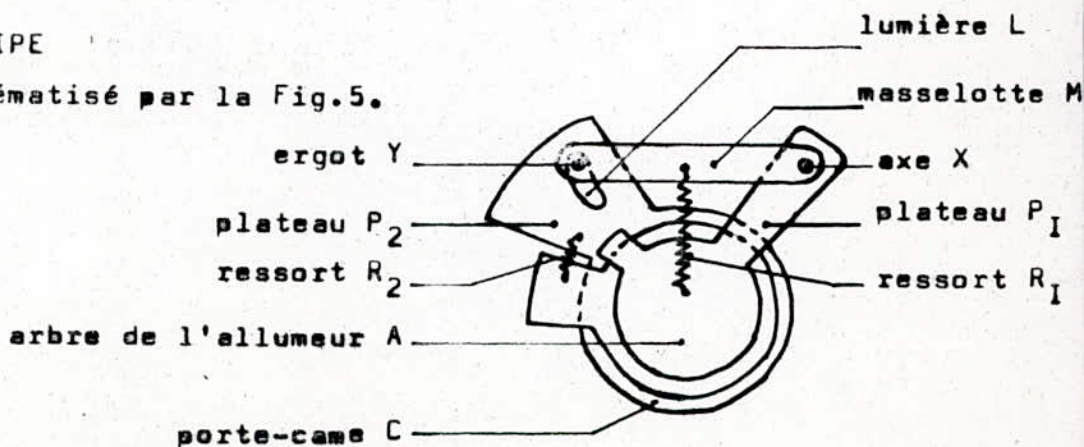


Fig.5, Principe de l'avance centrifuge

L'écartement de M par rotation autour de l'axe X, sous l'effet de la force centrifuge, est freiné par le ressort R_I fixé à l'arbre de l'allumeur A et M. La liaison entre l'axe de l'allumeur et celui de la came est assurée par le déplacement d'un ergot Y, solidaire à M, dans la lumière L réservée dans le plateau P_2 , fixé au porte-came C.

L'augmentation de la vitesse de rotation de A provoque l'écartement de M équilibrée par R_I , et le coulisement de Y dans L amène la rotation de C par rapport à A d'un angle égale à la variation de l'avance cherchée.

II.4.2. EXEMPLES

Les modèles suivant sont réalisés par DUCCELLIER, voir Fig.6.

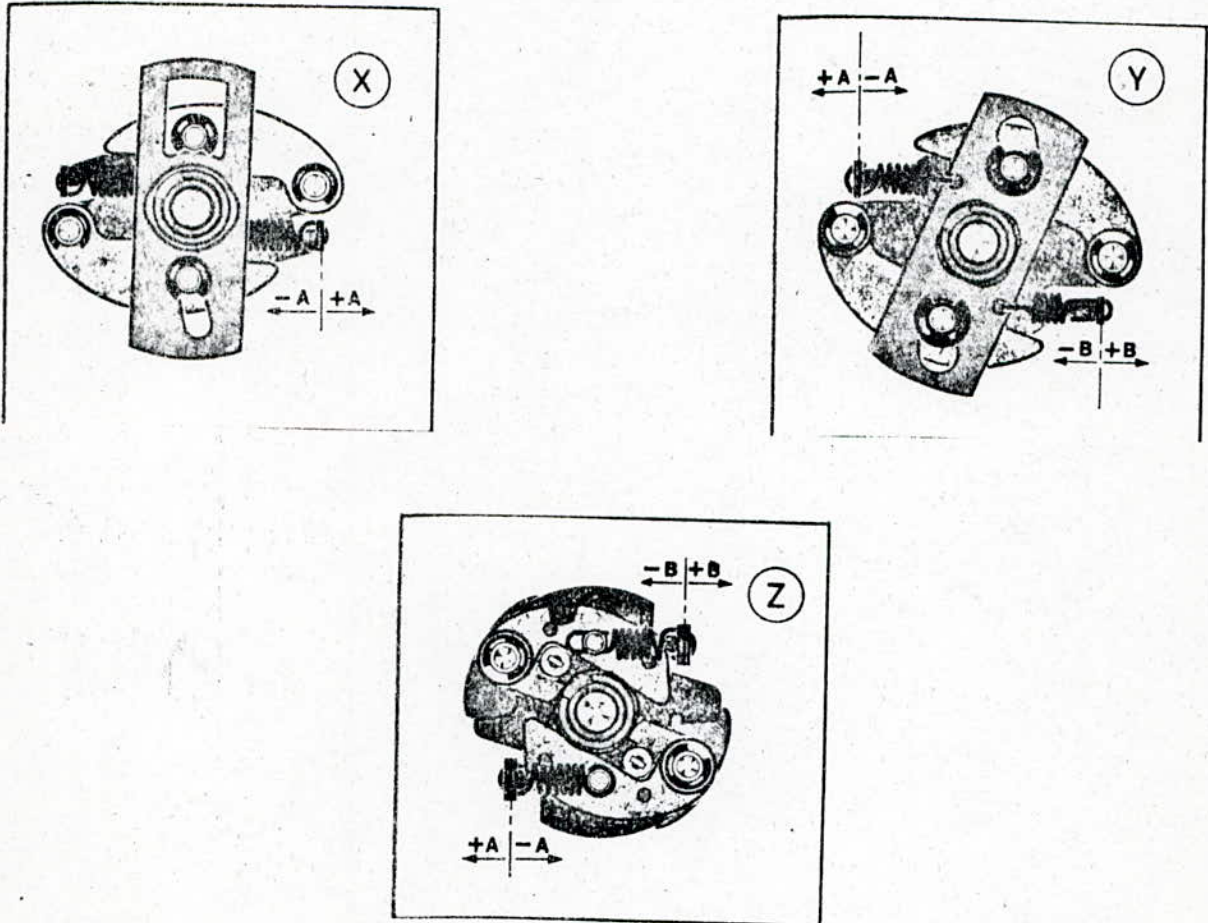


Fig.6.

II.5.LES DISPOSITIFS A DEPRESSIONION

II.5.1.LE PRINCIPE

Le détecteur de la dépression est une capsule manométrique , Fig.7,dont la membrane est attirée par la dépression qui existe en amont du papillon,c'est à dire entre ce dernier et le carburateur.Les mouvements de la membrane sont transmis par une bielle reliée au plateau mobile qui porte le rupteur.

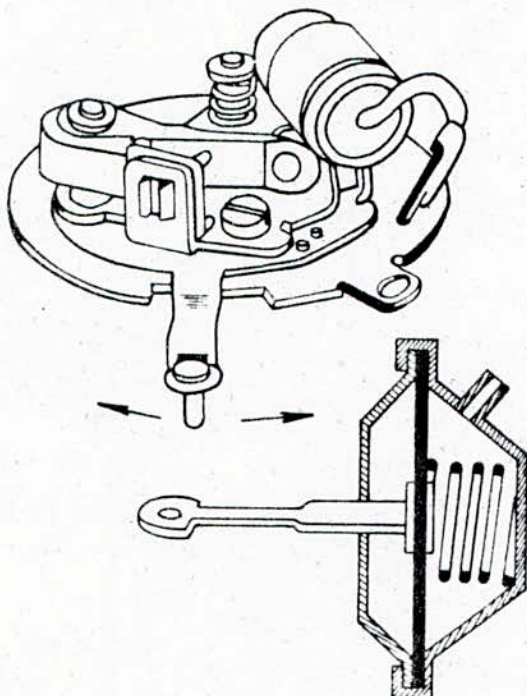


Fig.7.Dispositif d'avance à dépression

L'association mécanique du dispositif centrifuge et de la correction à dépression est réalisée de manière que les angles s'ajoutent.

II.5.2.LE PRINCIPE DU RETARD A DEPRESSIONION

Le détecteur doit mesurer la dépression qui apparait en aval du papillon,c'est à dire entre ce dernier et le moteur,quand le papillon se ferme,au moment où l'on cherche le ralenti, on fait intervenir une 2^e capsule agissant en sens inverse de la capsule à avance.

C H A P I T R E I I I

III. INTERVENTION DE L'ELECTRONIQUE

III. I. LES POINTS FAIBLES DE L'ALLUMAGE CLASSIQUE

Le problème major de l'allumage classique des automobiles est le rupteur. En effet, il doit couper un courant de l'ordre de 4 ampers à une cadence très élevée et très précise. Le condensateur encaisse l'extra-courant de rupture et le fait rebondir plusieurs fois avant de s'annuler. Cette protection ne peut, cependant, être parfaite. Un arc s'allume forcément au moment de la rupture qui élève la température du métal et amène la fusion d'une partie de matière du contact positif vers la partie du contact négatif, ce qui fait aggraver les choses à la prochaine rupture et la mission du rupteur devient de moins en moins franche et régulière.

Les précautions prises ont introduit 2 points faibles :

1. Le condensateur qui a posé beaucoup de problèmes dans le passé

2. La self élevée pour le primaire. En effet pour diminuer l'intensité prise sans changer l'induction, on a doté l'enroulement de nombreuses spires qui font introduire 2 inconvénients :

a. L'augmentation de la self rend l'étincelle moins efficace.

b. Le ralentissement de l'établissement du courant primaire.

Ce dernier effet rend l'allumage imparfait aux vitesses élevées. La Fig. I le montre.

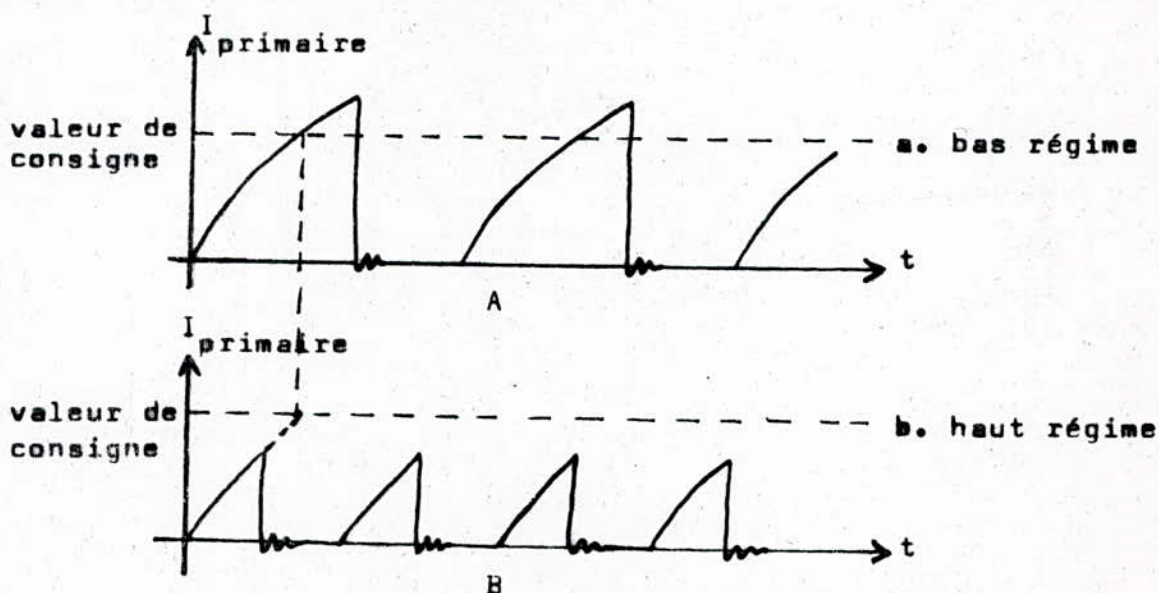


Fig. I. Intensité du primaire par différentes vitesses de rotation

Ainsi aux vitesses lentes (Fig.1.a) le courant a tout son temps pour s'établir et dépasser même la valeur de consigne nécessaire pour l'allumage: on a un bon fonctionnement.

Aux vitesses élevées (Fig.1.b) le courant n'atteint pas la valeur de consigne avant la rupture prochaine: on a un mauvais fonctionnement. C'est alors qu'intervient l'électronique.

III.2. LE RUPTEUR ET LE TRANSISTOR

La solution à adopter pour soulager le rupteur consiste à introduire un transistor, Fig.2.

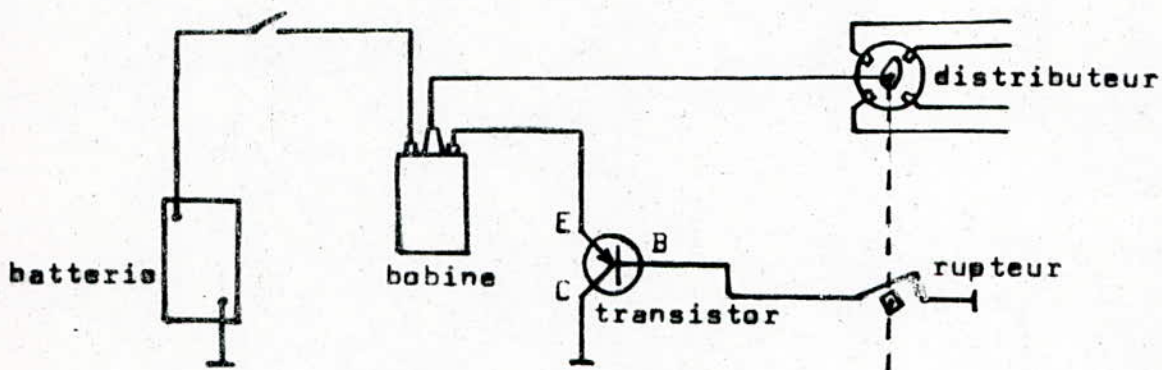


Fig.2. Allumage transistorisé avec rupteur

De cette façon le rupteur coupera un courant I_B très faible qui commandera le courant beaucoup plus fort du primaire. Les courbes de la Fig.3 donnent les proportions.

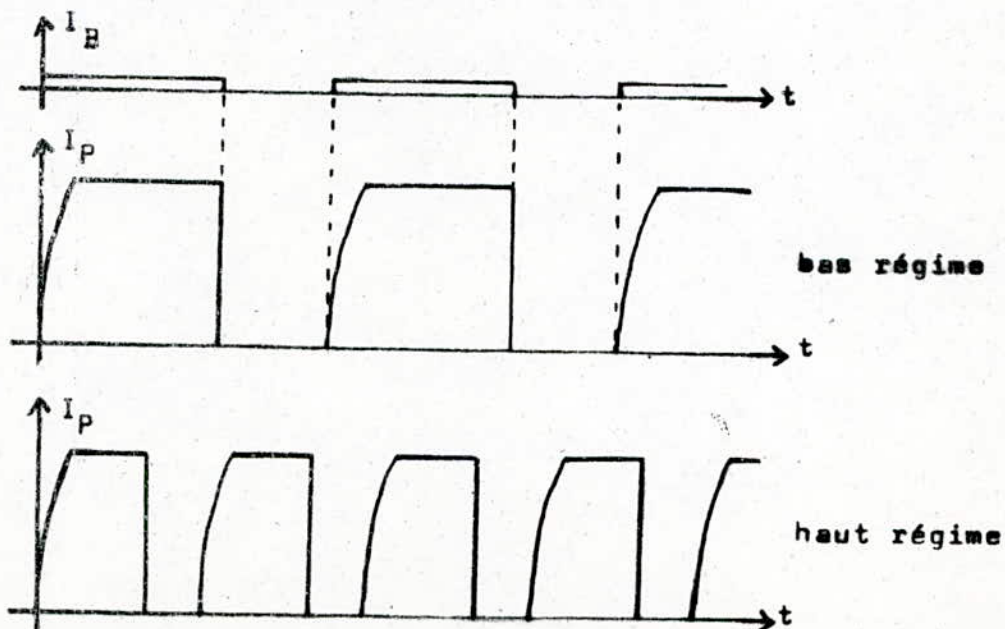


Fig.3. Variation de I_p pour différents régimes

On n'est donc pas gêné pour admettre dans le primaire un courant plus fort tout en réduisant la self-induction par la réduction du nombre de spires.

III.3. SUPPRESSION DU RUPTEUR

Le rupteur peut être supprimé, ce qui supprime radicalement les inconvénients de son emploi. Le transistor ou le thyristor peut être actionné par une impulsion provenant d'un capteur.

III.4. LES CAPTEURS

Ce sont les organes des sens des dispositifs électroniques, auxquels ils fournissent les données sans lesquelles ces dispositifs seraient sans résultat. Ces capteurs donnent des informations sous forme d'impulsions, signaux, ou mesure sur les éléments physiques ou chimiques du moteur ou de la voiture, tels que la vitesse, la position, la pression, l'état gazeux ou liquide, la température, degré d'usure, temps, ...

Entre le capteur et le calculateur sont introduits des blocs électroniques appelés interfaces, préprocesseurs, convertisseurs, coupleurs, ou codeurs.

III.4.1. DISPOSITIFS MECANIQUES

Ce sont évidemment les plus simples, les signaux qu'ils émettent par leur ouverture et fermeture entraîne l'apparition ou la disparition de courant entrant dans des mécanismes électroniques. Les rupteurs, contacteurs, interrupteurs, et distributeurs classiques entrent dans cette catégorie.

III.4.2. DISPOSITIFS ELECTROMAGNETIQUES

Ils utilisent les lois de l'électromagnétisme avec ou sans aimants permanents. Ils sont employés soit pour traduire les mouvements de rotation ou de position. Dans ces 2 cas il faut suivre le nombre de tours d'un point donné qui, suivant le cas en une matière magnétique ou conductrice, passe périodiquement devant le capteur qui est lié au moteur.

Le signal peut être électromagnétique, si le passage du pion magnétique induit, dans un enroulement entourant un aimant permanent, une force électromotrice alternative. Le fait que le signal recueilli varie avec la vitesse (en fréquence et amplitude) peut causer des difficultés aux vitesses lentes par l'insuffisance des impulsions. D'autre part, utiliser la partie haute pour la conformation des signaux provoquerait des variations des points définis (seuils de déclenchement). Pour palier ces inconvénients, DUCELLIER a réalisé le capteur de position à oscillateur et courant de FOUCAULT, Fig.4.

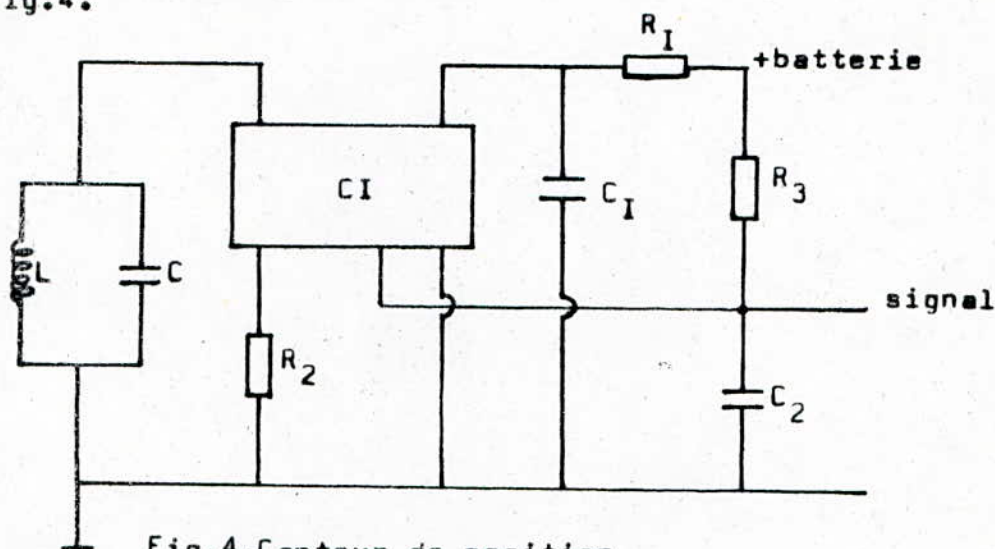


Fig.4. Capteur de position

III.4.3. DISPOSITIFS A EFFET HALL

On sait, Fig.5, que si une plaque mince d'un semiconducteur est parcourue par un courant de commande de M à N, un champ magnétique B perpendiculaire à la plaque fait apparaître une d d p

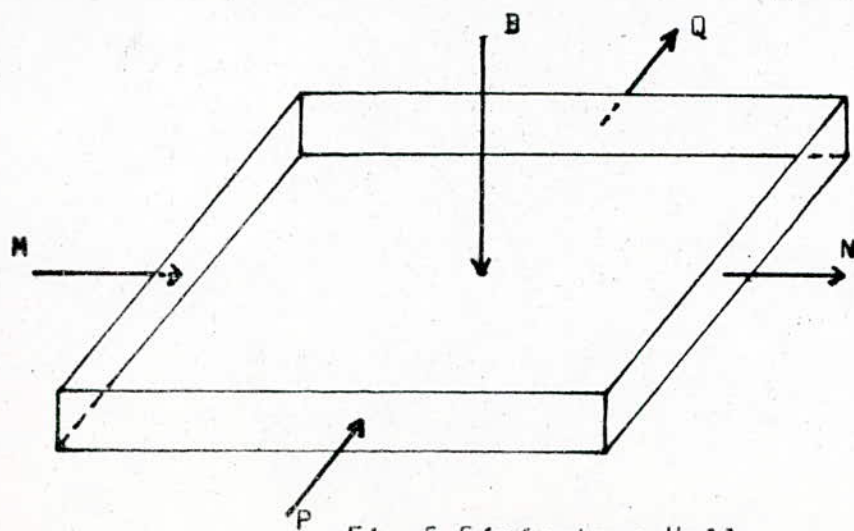


Fig.5. Générateur Hall

La variation du flux magnétique à travers la plaque est produite dans un dispositif à fourche par la rotation d'une étoile solidaire au vilbrequin.

III.4.4. CAPTEUR PAR TRANSFORMATEUR DIFFÉRENTIEL

Ce capteur DUCELLIER, de la Fig.6, permet de convertir la dépression d'un moteur en une valeur électrique afin de pouvoir corriger automatiquement une courbe d'avance. Son principe est d'utiliser le déplacement du noyau solidaire de la variation de pression pour obtenir un signal,

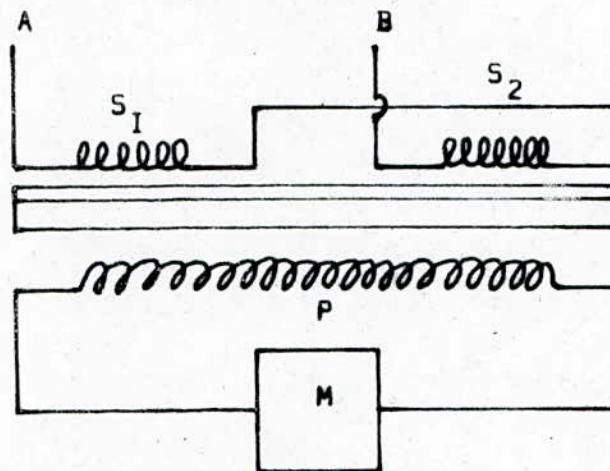


Fig.6. Transformateur différentiel

Le multivibrateur M donne des signaux rectangulaires. Le signal produit alimente le primaire P. Une capsule à dépression agit sur le déplacement du noyau N à l'intérieur des bobinages, entraînant une modification du couplage donc une variation en sens inverse des tensions de S₁ et S₂. La tension de sortie entre A et B est redressée et filtrée, sert pour la correction d'avance.

III.4.5. DISPOSITIFS PIEZO-ELECTRIQUES

Lorsqu'un quartz est soumis à des pressions, il apparaît une d d p appliquée au cliquetis.

III.4.6. DISPOSITIFS OPTO-ELECTRIQUES

Un capteur opto-électrique est un capteur de proximité qui utilise sous l'effet photo-électrique:

Une pièce mobile intercepte un rayon lumineux émanant d'un semi-

-conducteur photo luminescent, et frappant un récepteur photo-électrique. Le procédé demande et réalise une propriété idéale.

III.5. L'ALLUMAGE TRANSISTORISE AVEC GENERATEUR D'IMPULSIONS

Le schéma de principe peut être celui de la Fig.7.

On distingue :

- T_1 transistor de commande.
- T_2 " d'amplification.
- T_3 " remplaçant le rupteur.

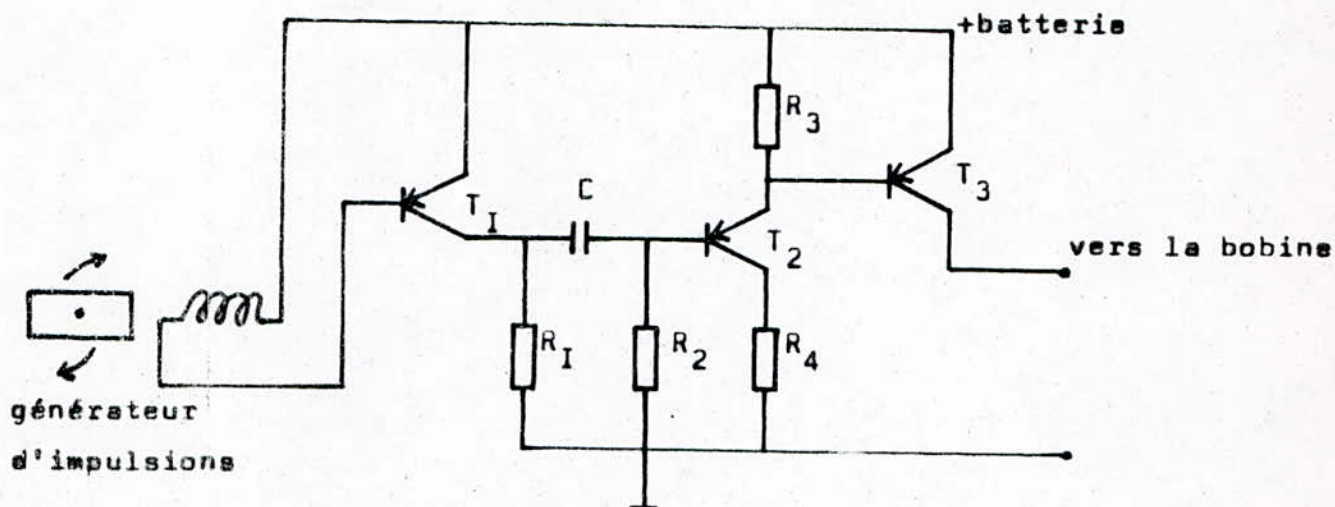


Fig.7. Allumage transistorisé avec générateur d'impulsions

L'impulsion provenant du générateur fait conduire T_1 qui bloque

T_2 par l'intermédiaire de C, à son tour T_2 bloque T_3 .

Si l'on craint que l'impulsion, qui varie avec la vitesse de rotation, soit insuffisante aux faibles vitesses, on peut donner au générateur d'impulsion une tension indépendante. Le rotor déclenche l'impulsion en couplant périodiquement un primaire, qui reçoit un courant alternatif d'un oscillateur, et un secondaire qui conduit l'impulsion. Le schéma est celui de la Fig.8. On distingue :

- T_1 transistor de commande.
- T_2, T_3 " d'amplification.
- T_4 " commandé (remplaçant le rupteur).

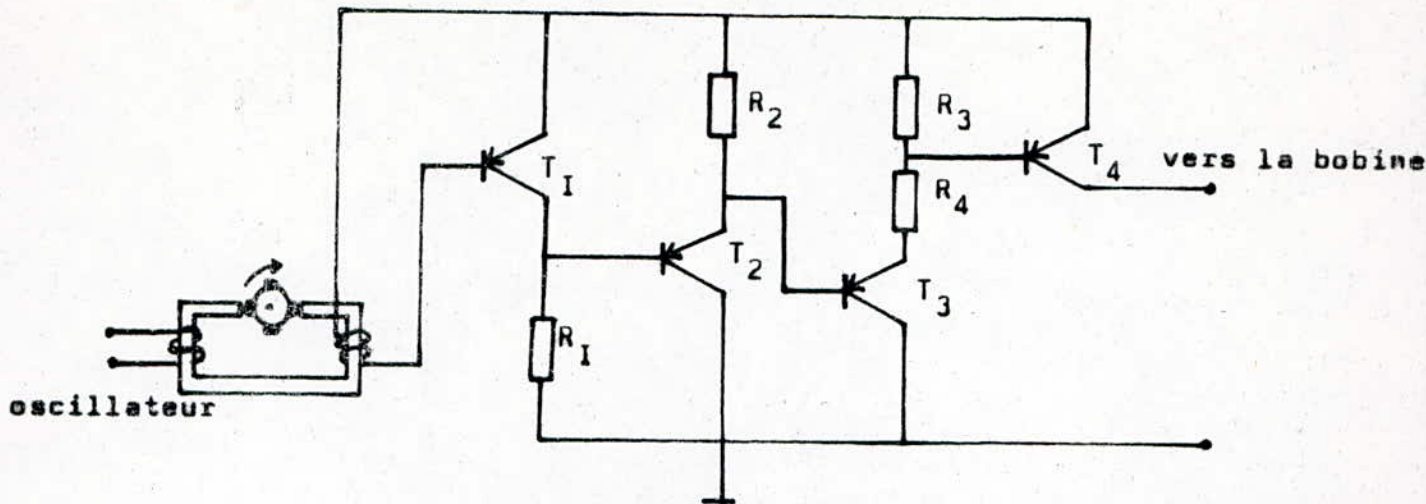


Fig.8. Impulsions indépendantes de la vitesse

III.6. ADOPTION DE LA DECHARGE

La variation du flux qui provoque la HT dans l'allumage classique est une diminution, mais rien ne s'oppose à ce que ce soit une augmentation. Cependant, l'énergie d'une décharge dépend non seulement d'une faible résistance, mais encore d'une tension assez élevée. Celle-ci est permise par l'emploi du convertisseur en partant de la basse tension de la batterie, et dont on peut emmagasiner l'électricité dans un condensateur auquel on demandera la décharge. Un allumage de l'espèce est représenté sur la Fig.9.

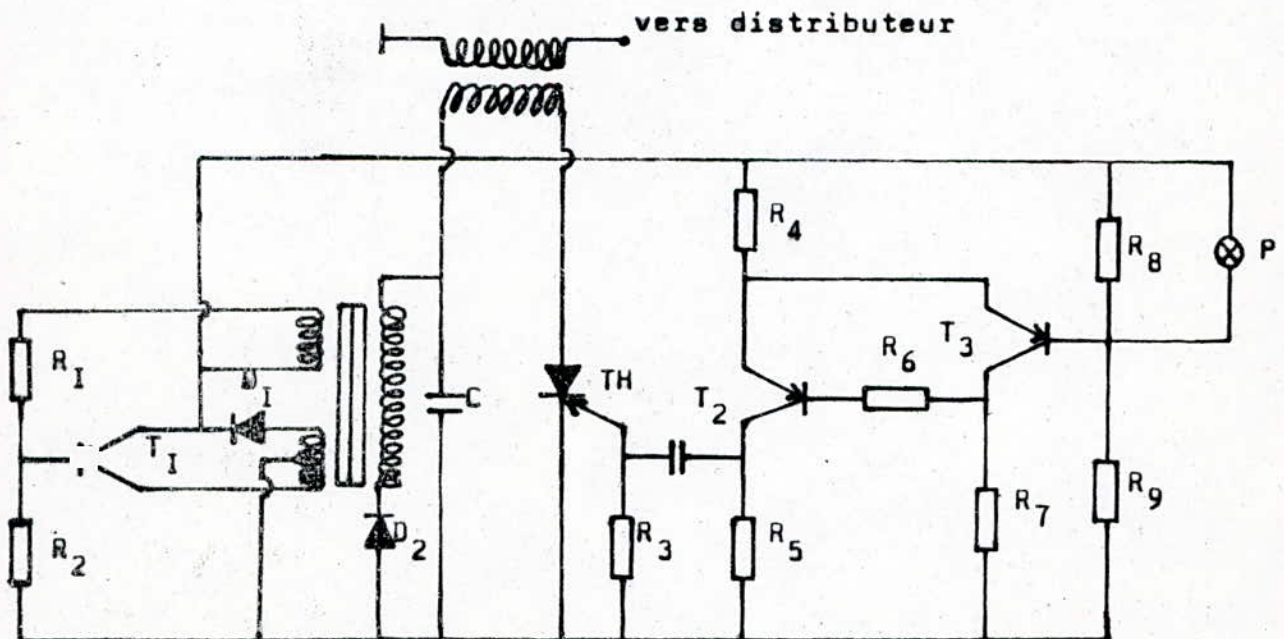


Fig.9. Allumage par décharge capacitive

Il comprend:

- +Un oscillateur à transistor (T_1), partie d'un convertisseur produisant une tension de l'ordre de 300V.
- +Un condensateur (C) avec diode (D_2) de charge.
- +Un thyristor (TH) commandé par un dispositif à impulsion, par ex. une photo-diode (P), complété par plusieurs transistors ampli. (T_2 , T_3).

III.7. LA BOBINE ELECTRONIQUE

Au démarrage, le moteur est à froid ou à son bas régime, on devrait avoir une tension suffisante consécutive au remplissage du primaire, or ce n'est pas le cas car le fonctionnement du démarreur entraîne une chute de tension de la batterie, en conséquent la tension appliquée au primaire devient insuffisante pour créer la HT au secondaire. Pour palier cet inconvénient DUCELLIER a mis au point sa bobine électronique. En mettant en série avec le primaire une résistance ballast R_B commandée par un bloc électronique E pour sa mise en circuit ou non, Fig. 10.

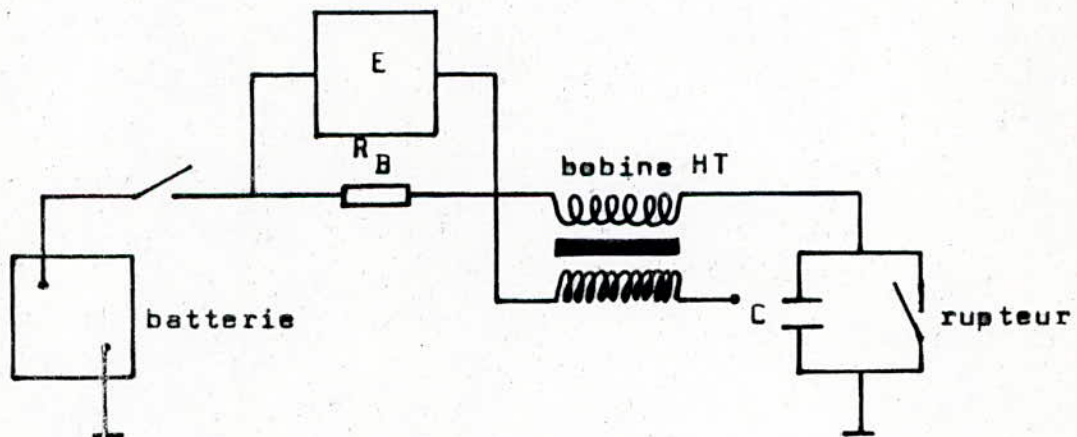
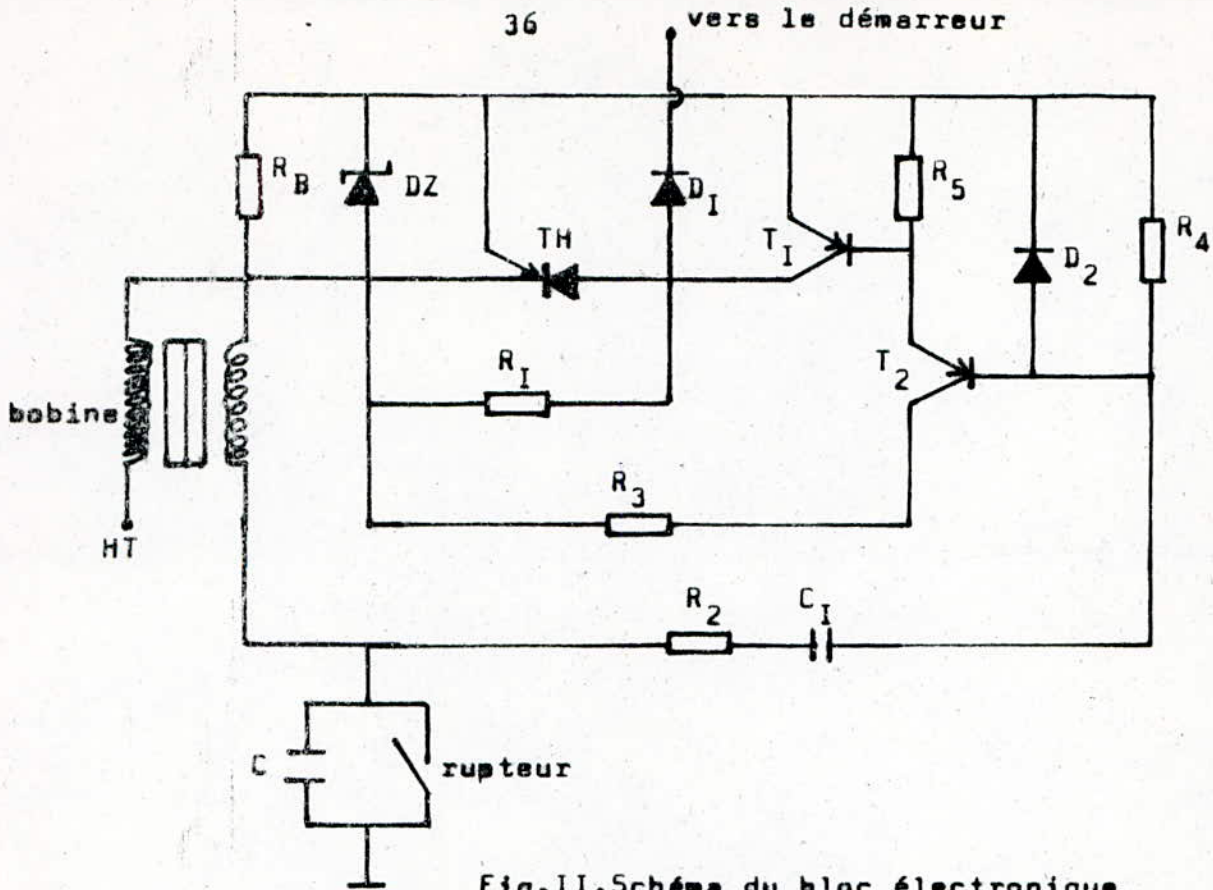
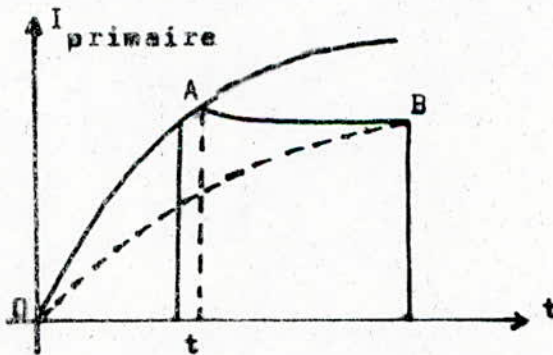


Fig. 10. Schéma de branchement

Pour le démarrage, le bloc électronique E, Fig. 11., est relié au solénoïde du démarreur, lors de la mise sous tension de ce dernier R_B est mise hors circuit, et la tension de la batterie est appliquée directement au primaire de la bobine. Au bout d'un certain temps R_B est mise en circuit.



Les courbes de la Fig.I2 montrent l'évolution du courant primaire pour différents régimes.



+De 0 à A R_B est mise hors circuit $I = U / R$

+De A à B R_B est mise en circuit $I = U / (R + R_B)$

U et R étant la tension et la résistance du primaire.

t étant le temps de mise hors circuit de R_B qui est déterminé par la constante de temps $R_2 C_I$ du monostable.

C H A P I T R E I V

IV. LE SYSTEME D'ALLUMAGE ELECTRONIQUE

IV.1. INTRODUCTION

La crise de l'énergie présente un avantage certain: beaucoup d'efforts ont été accomplis pour améliorer de vieux système (économie d'énergie). On pense que c'est exactement ce qu'on a fait avec le système d'allumage électronique étudié et mis au point dans cette thèse.

Oui, on trouve dans le commerce de nombreux systèmes à transistor ou à thyristor, mais certains semblent être affectés de divers inconvénients. Les systèmes les plus performants utilisent des circuits intégrés très spéciaux fabriqués pour ces fins, surtout pour résoudre le problème d'avance "électronique". On donne dans ce travail la description du système, en gardant le principe de réglage mécanique de l'avance, qui combine les avantages les plus marquants, à savoir:

- + L'énergie de l'étincelle doit être indépendante aussi bien de la vitesse de rotation du moteur que de l'angle de came électronique
- + A l'arrêt du moteur, aucun courant ne doit traverser la bobine.

Le schéma fonctionnel d'un tel système est représenté par la Fig. 1.

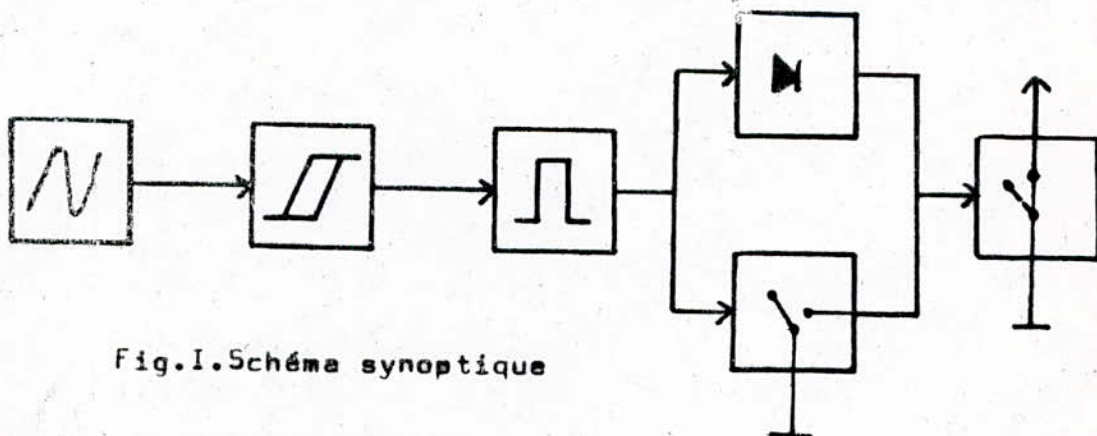


Fig. 1. Schéma synoptique

IV.2. ANALYSE DU SYSTEME

IV.2.1. LE CAPTEUR

Le dispositif est représenté d'une part sur la vue éclatée de la Fig. 2, et d'autre part en coupe sur la Fig. 3.

Il comporte:

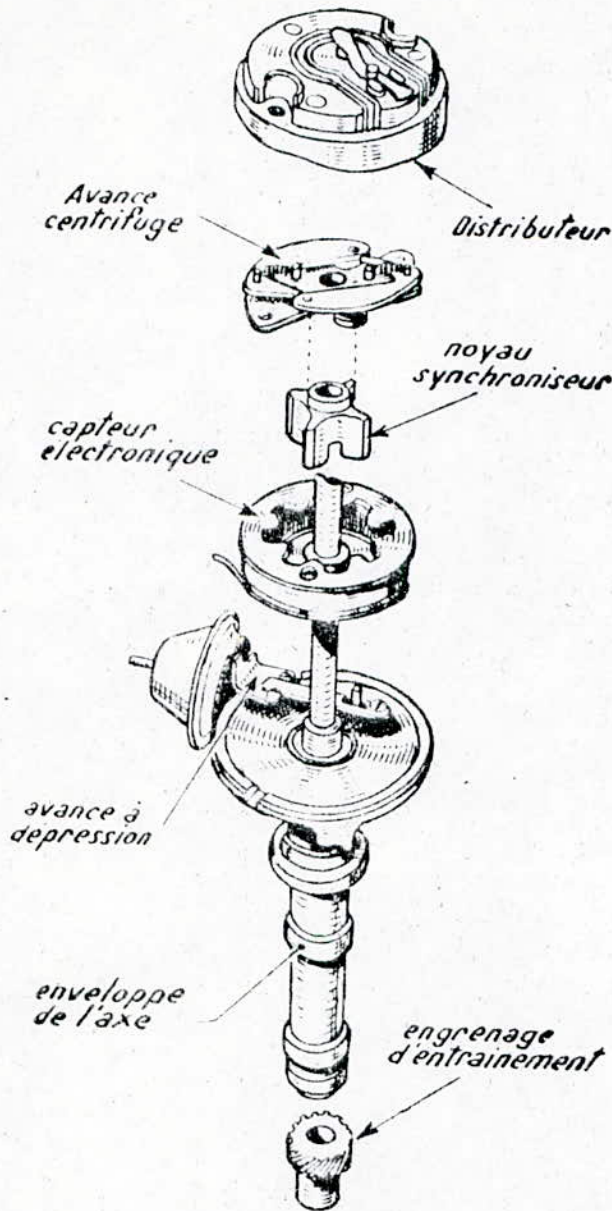


Fig.2.

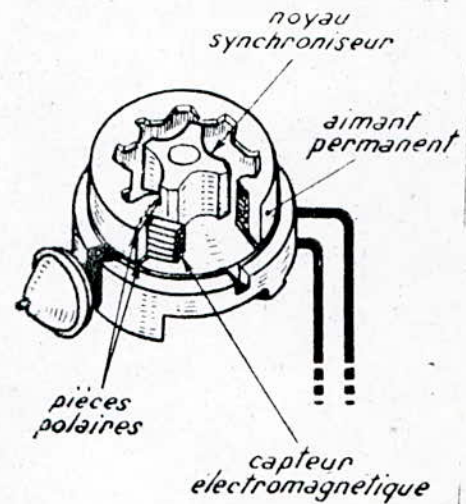


Fig.3.

+Une partie fixe, en forme de tore présentant des dents vers l'intérieur, qui est composée d'un plateau comportant les pièces suivantes:

_ Un aimant permanent entourant un enroulement. Ils forment deux anneaux, admettant comme axe celui du distributeur.

_ Deux pièces polaires circulaires, tenant "en sandwich" les deux anneaux, et comportant des dents dirigées vers l'intérieur et espacées régulièrement. Les dents du haut sont alignées sur celles du bas, et sont en nombre égal à celui des cylindres du moteur.

+ Une partie mobile, en fer, tournante, ayant l'aspect d'une came à bossages, entraînée par l'axe du distributeur. Le nombre saillies est égal à la moitié du nombre de cylindres.

IV.2.2. LE CONFORMATEUR D'IMPULSIONS

Il est assuré par le trigger de Schmitt qui est une forme particulière de bistable, il fournit des impulsions rectangulaires à sa sortie lorsqu'un signal de forme quelconque V_e est injecté à son entrée.

V_e passe par un niveau V_1 au temps t_1 et par un niveau V_2 au temps t_2 .

Le principe de fonctionnement du trigger de Schmitt, Fig.4, est le suivant:

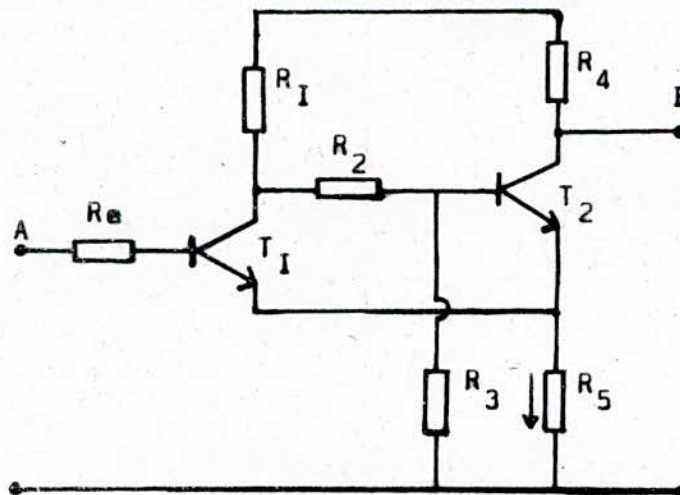


Fig.4. Conformateur d'impulsions

En l'absence de tout signal d'entrée V_e , le circuit est à l'état

T_1 bloqué ; en effet la base de T_1 est en l'air

T_2 conducteur

$$V_{B_1} = 0 \text{ et}$$

$$\begin{aligned} V_{B_1} E_1 &= V_{B_1} - V_{E_1} \\ &= - V_{E_1} \end{aligned}$$

On a à faire à des transistors de type NPN, le courant circulant dans R_5 a le sens indiqué sur la figure, donc le potentiel V_{E_1} positif va assurer une tension $V_{B_1} E_1$ négative entre la jonction base-émetteur de T_1 , qui le bloque d'avantage.

$$I_{C_1} = 0$$

Le courant délivré par l'alimentation, circulant dans R_1 , se transmet entièrement à travers R_2 .

Si on néglige le courant I_{B_2} de base de T_2 devant celui circulant dans R_3 , le potentiel V_{C_1} du collecteur de T_1 est déterminé par le pont diviseur R_1, R_2, R_3 .

$$V_{C_1} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_{cc} \quad V_{cc} \text{ tension d'alimentation}$$

Cette tension positive couplée à la base de T_2 par R_2

$$V_{B_2} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{C_1}$$

polarise sa jonction base-émetteur dans le sens direct, ce qui le fait conduire.

La tension de sortie, prise sur le collecteur de T_2 , V_{C_2} est à l'état bas

$$V_{C_2} = V_{C_2} E_{2sat.} + R_5 I_{E_2}$$

est de l'ordre du Volt puisque $V_{C_2} E_{2sat.}$ est de quelques dizaines de millivolts et R_5 est une faible résistance, donc la chute de tension à ses bornes est faible.

$$V_{E_2} = R_5 I_{E_2}$$

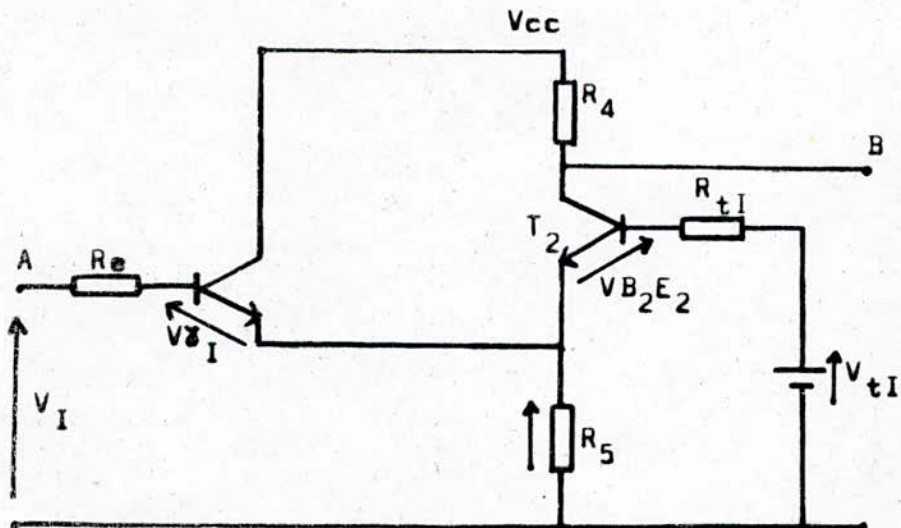
maintient une polarisation inverse de la jonction base - émetteur de T_1 .

Lorsqu'on applique sur la base de T_1 un signal d'entrée V_e d'amplitude supérieure à la tension de polarisation de la jonction base-émetteur de T_1 , ce transistor conduit; il en résulte une diminution du potentiel de son collecteur V_{C_1} , transmise comme une impulsion négative sur la base de T_2 , abaisse la tension d'émetteur ce qui fait croître le courant de T_1 . Le processus est cumulatif, et en un temps très bref, un nouveau régime persiste T_1 conducteur T_2 bloqué jusqu'à ce que V_e atteigne en décroissant l'amplitude suffisante pour bloquer T_1 , à ce moment là l'action de basculement se produit et le circuit reprend son état initial T_1 bloqué T_2 conducteur.

Le trigger de Schmitt est caractérisé par 2 tensions appelées tensions de seuils de basculement:

I. Seuil de déclenchement

C'est la tension d'entrée V_I qui bloque T_1 . On suppose que dans l'état T_1 bloqué fonctionnant en régime actif afin de T_2 conducteur réduire le temps de désaturation. Dans cet état on a le schéma équivalent suivant:



Avec

$$V_{tI} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_{cc}$$

V_{tI} tension de Thévenin

$$R_{t1} = \frac{(R_1 + R_2) R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

R_{t1} résistance de Thévenin

On a les équations aux mailles

$$-V_I + V_{\gamma I} + R_5 I_{E2} = 0$$

$$-V_{t1} + R_{t1} I_{B2} + V_{B2} E_2 + R_5 I_{E2} = 0$$

Avec

$$I_{E2} = (B + 1) I_{B2}$$

On tire le seuil de déclenchement

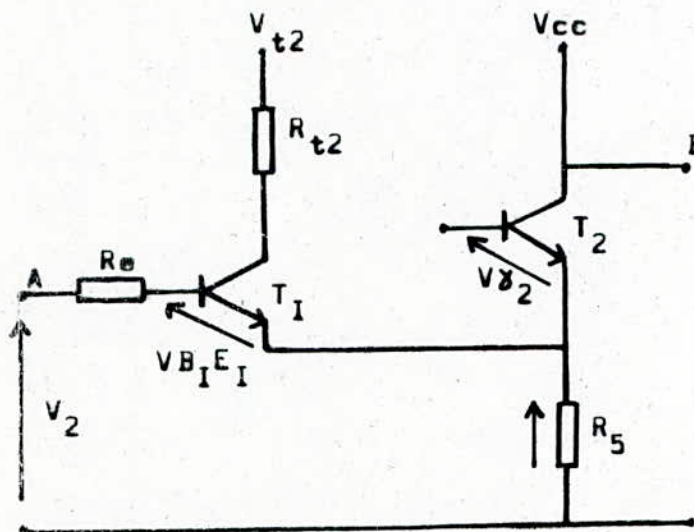
$$V_I = V_{\gamma I} + \frac{(B + 1) R_5}{R_{t1} + (B + 1) R_5} (V_{t1} - V_{B2} E_2)$$

2. Seuil de retournement

Il est défini comme étant la tension d'entrée V_2 capable de débloquent T_2 . De même qu'en I, on suppose que dans l'état

T_1 conducteur fonctionnant au régime actif. Dans cet état on a T_2 bloqué

le schéma équivalent suivant:



Avec

$$V_{t2} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_{cc}$$

$$R_{t2} = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Le diviseur de potentiel R_1, R_2 transmet une fraction de la tension V_{C1} à la base de T_2

$$V_{B2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{C1}$$

On pose

$$a = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

On a les équations aux mailles

$$- a V_{C1} + V_{\gamma_2} + R_5 I_{E1} = 0$$

$$- V_{C1} + R t_2 I_{B1} = 0$$

$$- V_2 + V_{B1} E_1 + R_5 I_{E1} = 0$$

Avec

$$I_{E1} = (B + 1) I_{B1}$$

D'où on tire l'expression du seuil de retournement

$$V_2 = V_{B1} E_1 + \frac{(B + 1) R_5}{a B R t_2 + (B + 1) R_5} (a V_{t_2} - V_{\gamma_2})$$

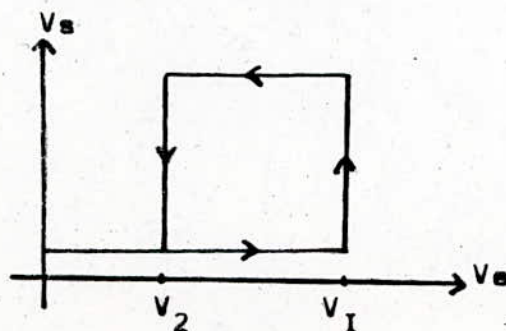
Pour $B \gg 1$

$$V_2 = V_{B1} E_1 + \frac{R_5}{a B R t_2 + R_5} (a V_{t_2} - V_{\gamma_2})$$

Les 2 seuils de basculement du trigger de Schmitt caractérisent le cycle d'hystérésis, de largeur ΔV , qui est le tracé de la

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

tension de sortie en fonction de celle d'entrée.



IV.2.3.L'ANGLE DE CAME "ELECTRONIQUE"

Il est déterminé par la période d'un monostable. Ce dernier est un circuit possédant un état stable et un autre instable, il délivre des impulsions rectangulaires, dont la durée dépend des valeurs de ses composants, quand une impulsion de commande est appliquée à son entrée.

En l'absence d'un signal extérieur, le circuit reste indéfiniment dans son état stable. Dès la réception d'une impulsion de commande convenable, il bascule à l'état instable, puis revient spontanément à l'état stable après un laps de temps bien déterminé.

Les applications du monostable se ramènent à 2 objectifs:

1. Obtenir une impulsion de durée déterminée, à l'aide d'un signal de déclenchement, qui servira à commander l'ouverture ou la fermeture des circuits durant cette période.
2. Obtenir une impulsion avec un retard connu par rapport à l'impulsion de déclenchement.

En profitant de la première application, on réalise un angle de came "électronique" constant quelque soit le régime du moteur.

Le principe de fonctionnement du monostable, Fig.5, est le suivant:

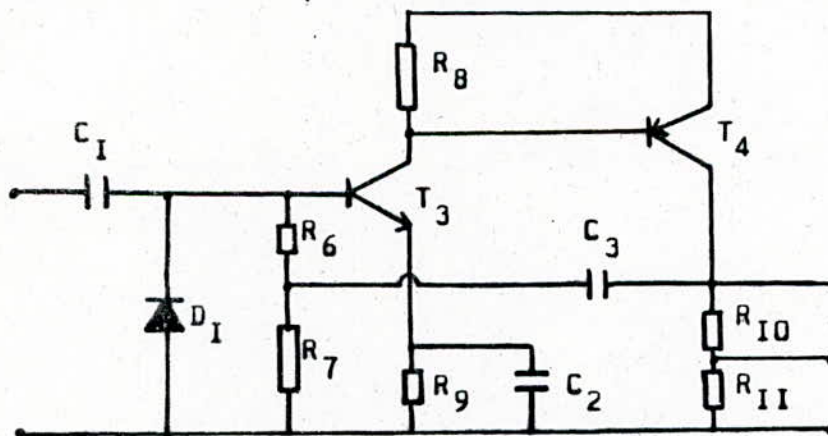


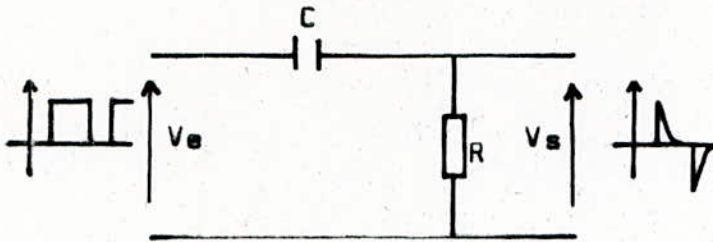
Fig.5. Monostable

En l'absence d'impulsion de commande, l'état stable est caractérisé par T_3 bloqué; (monostable non-réarmable; cette technique est

T_4 bloqué

utilisée pour éviter toute consommation des transistors, donc du circuit, lorsqu'aucune impulsion n'est appliquée à son entrée, les transistors consomment à la conduction, et ceci pendant un laps de

temps, ce qui réduit la consommation du circuit. L'impulsion issue du trigger est dérivée par la cellule C_1, R_6, R_7 , ainsi on a

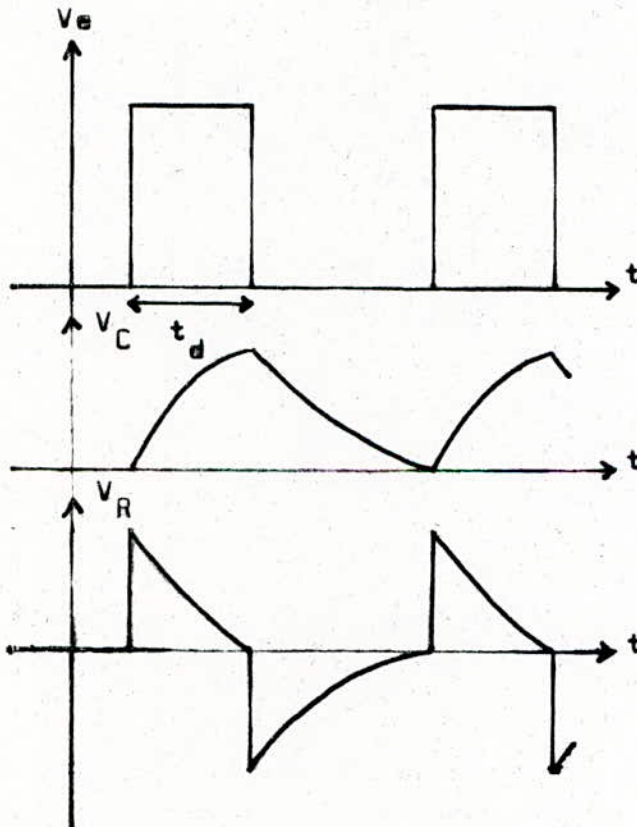


La dérivation est d'autant meilleure que la constante de temps

$$\tau = R C$$

$$\ll t_d$$

t_d temps dynamique de l'impulsion



Le monostable est conçu de façon à réagir à l'impulsions positive (T_I transistor de type NPN), c'est pourquoi les impulsions négatives sont canalisées directement vers la masse via la diode D_I ; elle joue le rôle d'un redresseur monoalternance.

En effet, lorsque le système est à l'arrêt, T_3 est bloqué, puisque C_1 ne transmet pas de tension constante de la sortie vers l'entrée du monostable, donc

$$VB_3 = 0$$

Quelque soit la valeur du courant dans R_9 , le potentiel d'émetteur VE_3 est positif (transistor NPN); on a

$$\begin{aligned} VB_3E_3 &= VB_3 - VE_3 \\ &= -VE_3 \end{aligned}$$

La jonction base-émetteur de T_3 ne peut être polarisée qu'en sens inverse, ce qui bloque d'avantage ce transistor. En conséquence pas de courant circulant dans R_9

$$IE_3 = 0$$

Le blocage de T_3 implique que

$$VC_3 = V_{cc}$$

Ce potentiel est appliqué aussi à la base de T_4

$$VB_4 = V_{cc}$$

L'émetteur de T_4 (transistor PNP) est relié à l'alimentation

$$VE_4 = V_{cc}$$

Pour le faire conduire, il faut le polariser en sens direct autrement dit: avoir le potentiel de base VB_4 plus négatif que celui de l'émetteur VE_4 , or on a

$$\begin{aligned} VB_4E_4 &= VB_4 - VE_4 \\ &= V_{cc} - V_{cc} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Ce qui bloque de plus T_4

$$IC_4 = 0$$

En appliquant une impulsion positive sur la base de T_3 , ce dernier devient conducteur et voit sa tension de collecteur diminuer par la circulation d'un courant

$$IC_3 \neq 0$$

provoquant ainsi une chute de tension aux bornes de R_8

$$VR_8 = R_8 IC_3$$

La diminution du potentiel de collecteur de T_3 est transmise directement vers la base de T_4 , et sa tension d'émetteur demeure constante

$$VE_4 = V_{cc}$$

On a

$$\begin{aligned} VB_4 E_4 &= VB_4 - VE_4 \\ &= VB_4 - V_{cc} \end{aligned}$$

qui devient suffisamment négative pour faire conduire T_4 , en le polarisant dans le sens direct, sa tension de collecteur augmente de 0 à

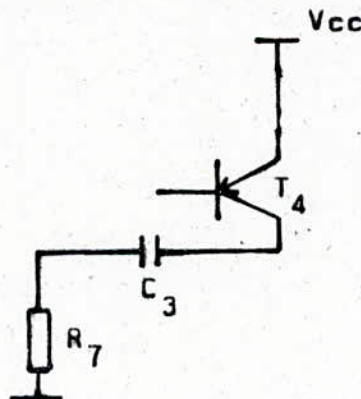
$$VC_4 = R_{IO} IC_4 + R_{II} \lambda IC_4$$

λ , fraction de courant circulant dans R_{II}

Cette augmentation est renvoyée à la base de T_3 à travers $C_3 - R_6$

Le circuit reste dans cet état T_3 conducteur, jusqu'à ce que le

condensateur C_3 soit chargé par $V_{cc} - E_3 C_3 - R_7 -$ masse



L'équation aux mailles donne

$$- V_{cc} + VC_3(t) + R_7 I(t) = 0$$

$$VC_3(t) = I/C_3 \int I(t) \quad ; \quad I(t) = C_3 dVC_3/dt$$

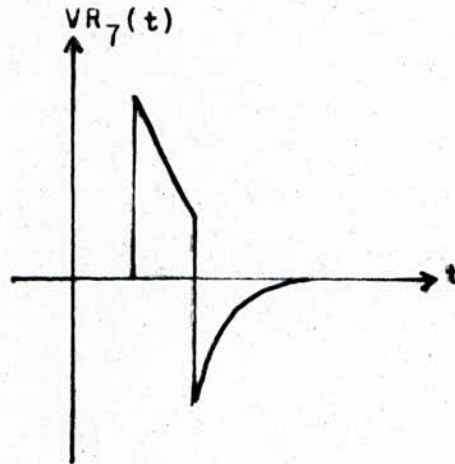
$$-V_{cc} + V_{c_3}(t) + R_7 C_3 \frac{dV_{c_3}}{dt} = 0$$

équation différentielle
du 1^o ordre

sa solution est

$$V_{c_3}(t) = V_{cc} \left(1 - e^{-t/R_7 C_3} \right)$$

$$\begin{aligned} V_{R_7}(t) &= V_{cc} - V_{c_3}(t) \\ &= V_{cc} e^{-t/R_7 C_3} \end{aligned}$$



Le potentiel aux bornes de R_7 est transmis à la base de T_3 via R_6 . Cette tension positive le maintient en état de conduction jusqu'à ce que celle-ci atteint, en décroissant, une valeur audessous de laquelle T_3 se bloque.

Pour un transistor quelconque la tension de seuil de conduction est de l'ordre de 0.6V, en valeur absolue, mais le blocage de T_3 se produit avant cette valeur puisque R_9 provoque, à la conduction, une chute à ses bornes, et la tension appliquée à la base de T_3 est partagée entre la jonction base-émetteur et R_9 . Celle-ci est introduite, d'une part, pour provoquer le blocage de T_3 plutôt, donc réduire sa durée de conduction, qui est la période du monostable. D'autre part, une résistance mise à l'émetteur d'un transistor, branché en émetteur commun, assure la stabilité de l'étage en régime statique.

Le condensateur C_2 est, mis en parallèle avec R_9 , pour augmenter le gain en tension du circuit, en régime dynamique, et compensation de la diminution du gain par la présence de R_9 .

Sur la courbe de $V_{R_7}(t)$ on peut dire que cette tension devient nulle au bout d'un temps t assurant le blocage de T_3

$$t = 5 \tau$$

$$\tau = R_7 C_3 \text{ constante temps monostable}$$

qui peut être la plus grande période possible du monostable, vu le rôle de R_9 cité précédemment, le blocage de T_3 se produit aux environs de

$$T = 2Z$$

T période du monostable

IV.2.4. LE MAITRE OSCILLATEUR

Les transistors constituant le circuit de charge de la bobine T_6 et T_7 , se bloquent d'autant plus rapidement que l'on élimine le plus vite possible les porteurs de charge injectés à leur base. Cela se produit d'une façon plus efficace lorsque le courant de base est court-circuité à la masse plutôt que simplement interrompu. Tous les porteurs de charge qui sont encore en mouvement, pendant le blocage, à cause de la capacité base-collecteur, ne parviennent pas jusqu'à l'émetteur, et cela entraîne une coupure très rapide. La mise à la masse du courant de base est exécuté par T_5 , voir Fig.6.

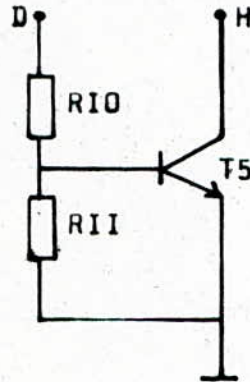


Fig.6. Maître oscillateur

Le fonctionnement de cet étage est commandé par les impulsions que délivre le monostable à sa sortie. Ainsi à l'arrêt, T_4 est bloqué, et son courant de collecteur

$$I_{C4} = 0$$

donc

$$\begin{aligned} V_{C4} &= R_{I0} I_{C4} + \lambda R_{II} I_{C4} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Le diviseur potentiométrique donne

$$V_{B_5} = 0$$

Comme l'émetteur de T_5 est relié à la masse

$$V_{E_5} = 0$$

on a

$$\begin{aligned} V_{B_5 E_5} &= V_{B_5} - V_{E_5} \\ &= 0 \end{aligned}$$

La jonction base-émetteur de T_5 n'est pas polarisée, ce qui bloque ce transistor.

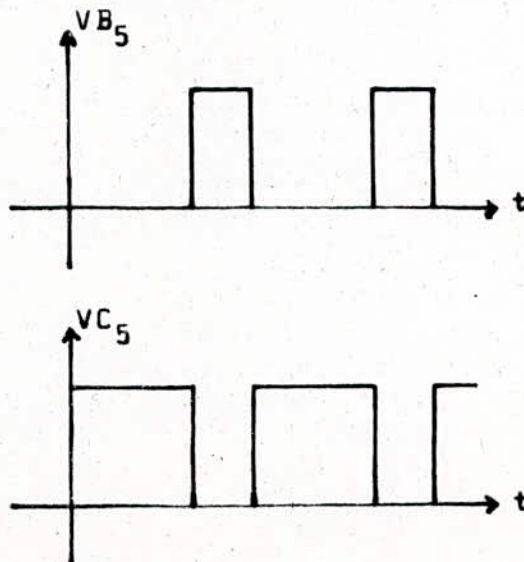
Lorsque le système est en marche, la sortie du monostable est à son niveau haut

$$\begin{aligned} V_{C_4} &= R_{I0} I_{C_4} + R_{II} I_{C_4} \\ &> 0 \end{aligned}$$

Une partie de ce potentiel est transmise à la base de T_5 , et si on néglige son courant de base devant celui circulant dans R_{II} , on a

$$V_{B_5} = \frac{R_{I0}}{R_{I0} + R_{II}} V_{C_4}$$

Pour faire conduire T_5 , il faut que V_{B_5} soit suffisamment positive (transistor de type NPN). La sortie du maître oscillateur, qui attaque l'étage de puissance T_8 ou T_9 , est prise sur son collecteur ce qui donne l'allure des courbes suivantes



IV.2.5. LE CIRCUIT DE CHARGE

Les impulsions de sortie du monostable sont redressées par les diodes D_2 et D_3 , qui n'envoient (via T_6 et T_7) un courant de base que lorsque le moteur est en marche, Fig.7.

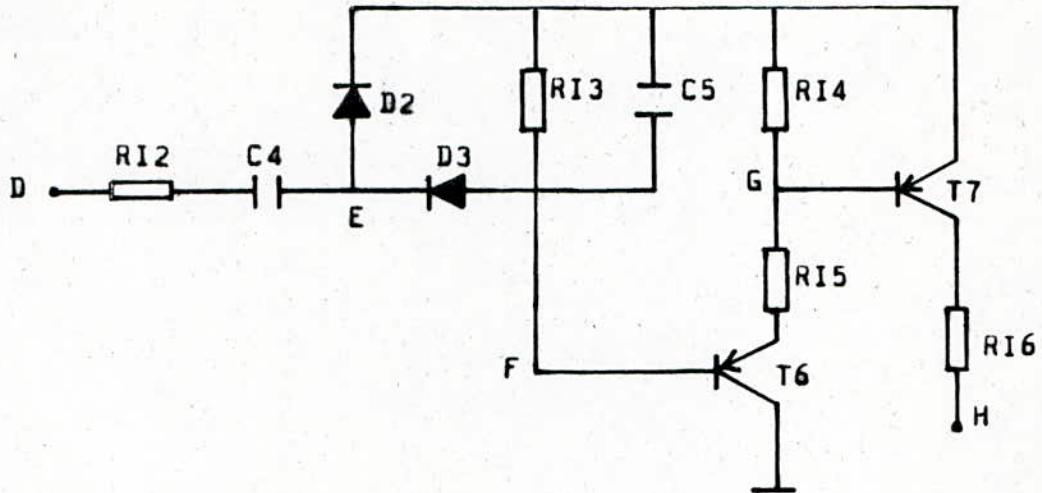


Fig.7. Etage de charge

La diode D_2 est polarisée, par l'alimentation, dans le sens inverse donc elle est bloquée, son potentiel d'anode

$$V_{A2} = 0$$

et son potentiel de la cathode

$$V_{K2} = V_{cc}$$

La diode D_3 est aussi bloquée malgré, en absence ou présence d'un courant circulant dans R_{13} , que le potentiel de son anode est supérieur au potentiel de sa cathode, parce que le condensateur C_4 bloque toute tension constante de passer d'un côté à l'autre.

La résistance R_{13} , de forte valeur, transmet pratiquement toute la tension d'alimentation à la base du transistor darlington T_6 (de type PNP)

$$V_{B6} = V_{cc}$$

et quelque soit le potentiel V_{E6} de son émetteur, la jonction base-émetteur est polarisée dans le sens inverse, ce qui bloque ce transistor.

Si un courant de base IB_7 , (de type PNP), existe, il ne peut circuler que de droite à gauche, et comme T_6 est bloqué

$$IE_6 = 0,$$

introduit une chute de tension négative aux bornes de R_{I4} , et d'après les conventions admises un courant circule toujours de la borne positive vers la borne négative du générateur, sur le circuit extérieur, ce qui se contredit avec l'hypothèse supposée précédemment sur l'existence de IB_7 , donc on a forcément

$$IB_7 = 0$$

et toute la tension d'alimentation V_{cc} est transmise à la base de T_7

$$VB_7 = V_{cc}$$

la jonction base-émetteur de T_7 n'est pas polarisée

$$\begin{aligned} VB_7E_7 &= VB_7 - VE_7 \\ &= 0 \end{aligned}$$

bloque T_7 .

$$IC_7 = 0$$

pas de courant circulant dans R_{I6} .

En appliquant une impulsion, d'amplitude de l'ordre de V_{cc} et de durée T , elle se transmet, à travers la cellule R_{I2} , C_4 jusqu'à la cathode de D_3 , et la polarise; un courant peut circuler dans R_{I3} provoquant ainsi une chute de tension à ses bornes, VB_6 diminue et polarise la jonction base-émetteur de T_6 dans le sens direct, en conséquence ce transistor commence à conduire. A cet instant le condensateur C_5 se charge à travers la résistance R de la jonction base-collecteur de T_6 , qui est trop élevée, avec une constante de temps

$$t = R C_5$$

est comparable avec les durées dynamique et de pause du monostable, en conséquence, dès que le système se met en marche les transistors de cet étage conduisent indéfiniment jusqu'à ce que le moteur soit arrêté.

L'émetteur de T_6 voit son potentiel diminuer par la circulation d'un courant I_{E_6} dans R_{15} . Cette diminution est transmise à la base de T_7 qui le polarise dans le sens direct et le met à l'état de conduction.

IV.2.6. L'ETAGE DE PUISSANCE

Le courant de la bobine doit être interrompu rapidement pour obtenir des tensions d'allumage élevées, et pour cette raison il faut que T_8 et T_9 soient des transistors de commutation très rapides. Du point de vue de la sécurité et de la fiabilité T_8 et T_9 sont protégés contre des tensions trop fortes au moyen des diodes Zener (par exemple en cas d'amorçage entre les enroulements primaire et secondaire).

Il peut arriver que la tension primaire de la bobine devienne négative, et les transistors de commutation T_8 et T_9 ne répondent pas favorablement à cela, il faut donc les protéger au moyen des diodes D_4 et D_5 . Pourquoi utiliser 2 transistors de commutation? Le BU208A est relativement bon marché, et il tient les spécifications techniques. Malheureusement il supporte tout juste le courant considérable de la bobine. Comme l'allumage constitue une partie vitale de la voiture, il vaut mieux ne pas prendre de risque, c'est pourquoi on a prévu 2 transistors de commutation en parallèle. Le schéma de principe est sur la Fig.8.

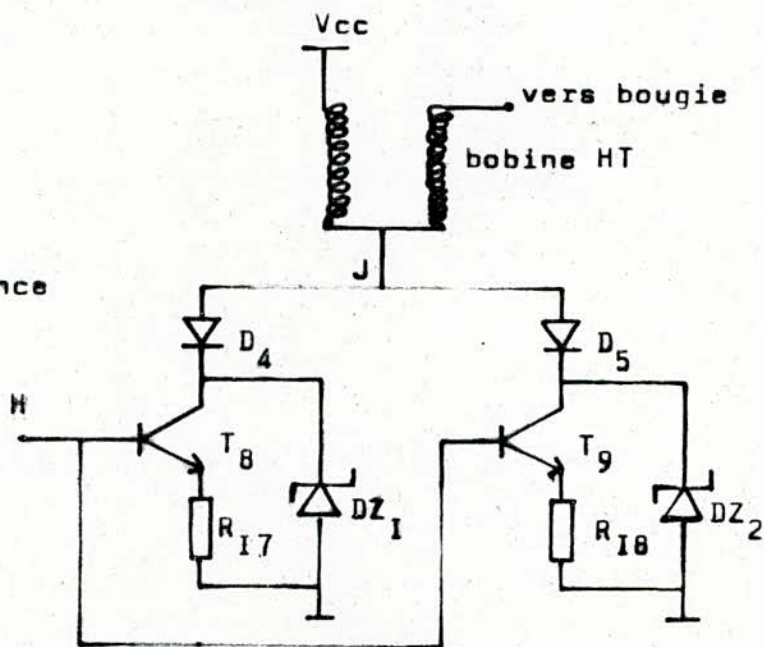


Fig.8.

étage de puissance

Lorsque le système est à l'arrêt, comme on l'a mentionné auparavant, les transistors T_6 et T_7 de l'étage de charge de la bobine sont bloqués: pas de courant circulant dans R_{16} , et le blocage du transistor T_5 du maître oscillateur, bloque les transistors T_8 , T_9 de l'étage de puissance.

En faisant tourner le moteur, T_6 et T_7 conduisent: un courant circule dans R_{16} , ce qui fait conduire T_8 , vue la polarisation directe de sa jonction base-émetteur.

La conduction de T_8 est interrompue par T_5 , ainsi T_8 sera bloqué, et le courant primaire de la bobine disparaît en créant une haute tension HT à la sortie de son secondaire. Pendant toute la période du monostable (blocage de T_8), l'énergie emmagasinée dans la bobine a été convertie en chaleur.

Le raisonnement décrit sur le fonctionnement du transistor T_8 est valable pour le fonctionnement de T_9 .

IV.2.7. LE CIRCUIT D'ALIMENTATION

Il est assuré par une batterie de 12 Volts et une cellule R_{19} et C_6 . Une batterie d'accumulateur électrique est un appareil qui, recevant une énergie électrique la transforme et l'emmagasine sous forme d'énergie chimique (charge), et la restitue en énergie électrique alimentant différents circuits (décharge).

La charge de la batterie s'effectue avec une dynamo ou un alternateur, ce dernier tend à remplacer de plus en plus la dynamo, pour des raisons de performance et d'économie.

Un alternateur bobiné est constitué d'un

- . stator (partie fixe)
- . rotor (partie tournante)

Lorsque le moteur tourne, le flux qui traverse la bobine du rotor est périodiquement variable et induit des f.e.m alternatives. Un dispositif redresseur de courant, à base de diodes, permet d'avoir un courant de charge stabilisé. La cellule R_{19} , C_6 canalise les fluctuations, autour de la valeur moyenne, vers la masse à travers le condensateur C_6 . Ainsi on alimente le bloc électronique avec un V_{cc} presque constant, Fig.9.

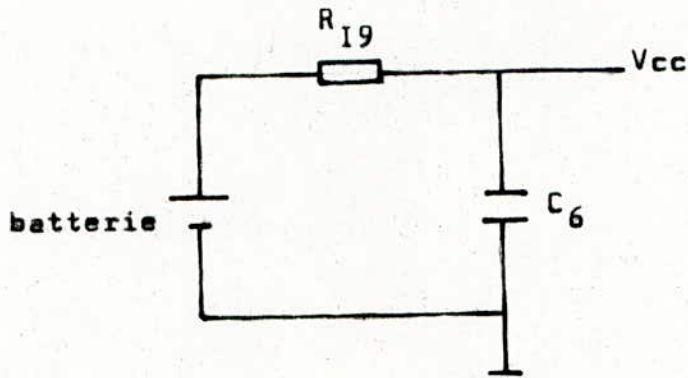
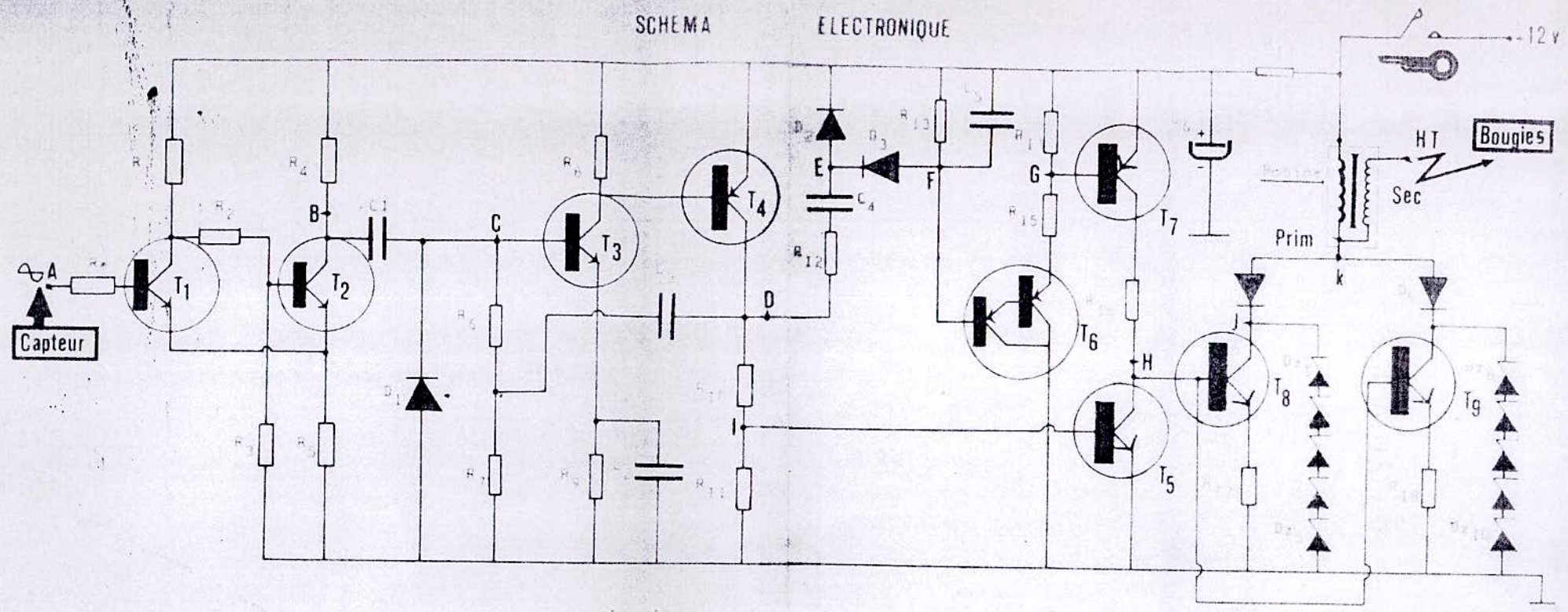


Fig.9.Circuit d'alimentation

IV.3.REALISATION

Sur la Fig.10, on a représenté le schéma de principe du système d'allumage électronique pour automobile. La réalisation est faite sur un circuit imprimé, Fig.11, de dimensions 15 x 9.8 cm. Le schéma d'implantation est représenté sur la même figure ; les points de connexions sont réalisés à l'aide d'un connecteur (15). Les transistors de puissance BU 208 A sont montés sur des radiateurs. La résistance "de puissance" R_{16} (15Ω) est composée de 3 résistances ($47 \Omega / 9 W$) chacune mises en parallèle sur radiateur réalisées, sur un circuit imprimé de dimensions 5.9 x 5.2 cm, séparément de la carte principale pour éviter tout échauffement des autres composants.

SCHEMA ELECTRONIQUE



- R1 : 10 k
- R2 : 100 k
- R3 : 100 Ω
- R4 : 100 Ω
- R5 : 100 Ω
- R6 : 100 Ω
- R7 : 100 Ω
- R8 : 100 Ω
- R9 : 100 Ω
- R10 : 100 Ω
- R11 : 100 Ω
- R12 : 100 Ω
- R13 : 100 Ω
- R14 : 100 Ω
- R15 : 100 Ω
- R16 : 100 Ω

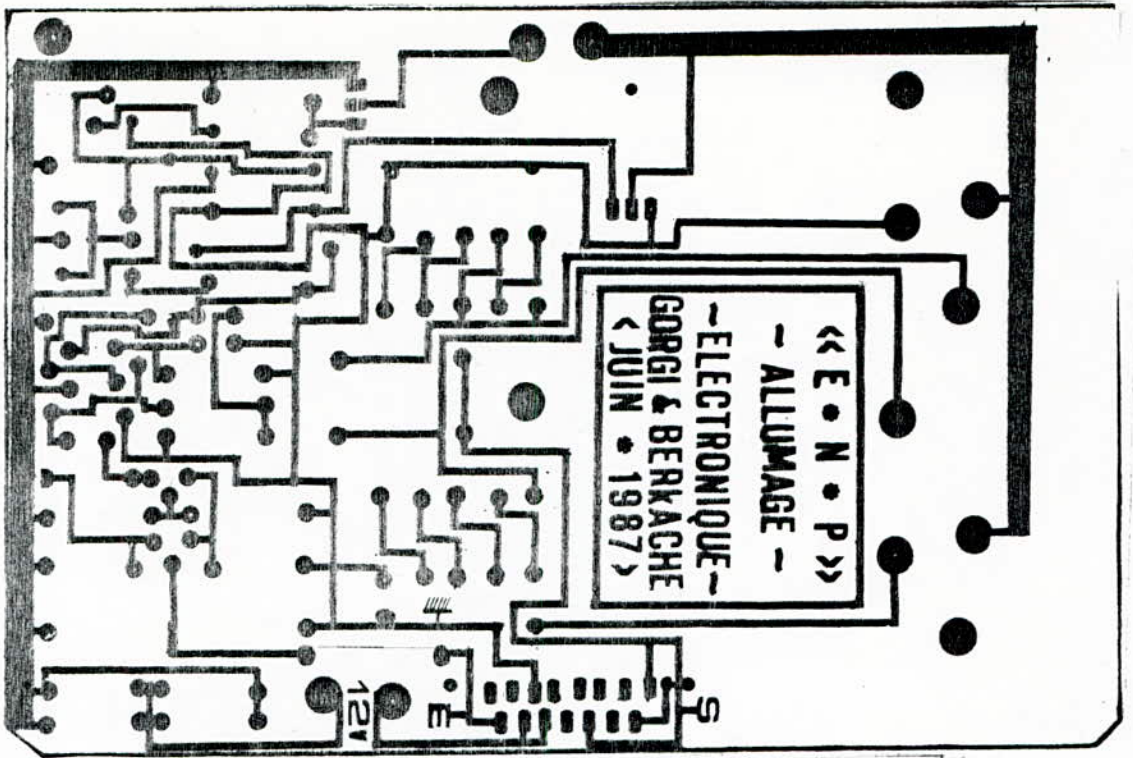
- R17 : 15 Ω / 2W
- R18 : 1.5 Ω / 4W
- R19 : 1.5 Ω / 2W
- R20 : 1.5 Ω / 2W

- Condensateurs :
- C1 : 33 nF
 - C2 : 50 nF
 - C3 : 47 nF
 - C4 : 220 nF
 - C5 : 470 nF
 - C6 : 100 nF

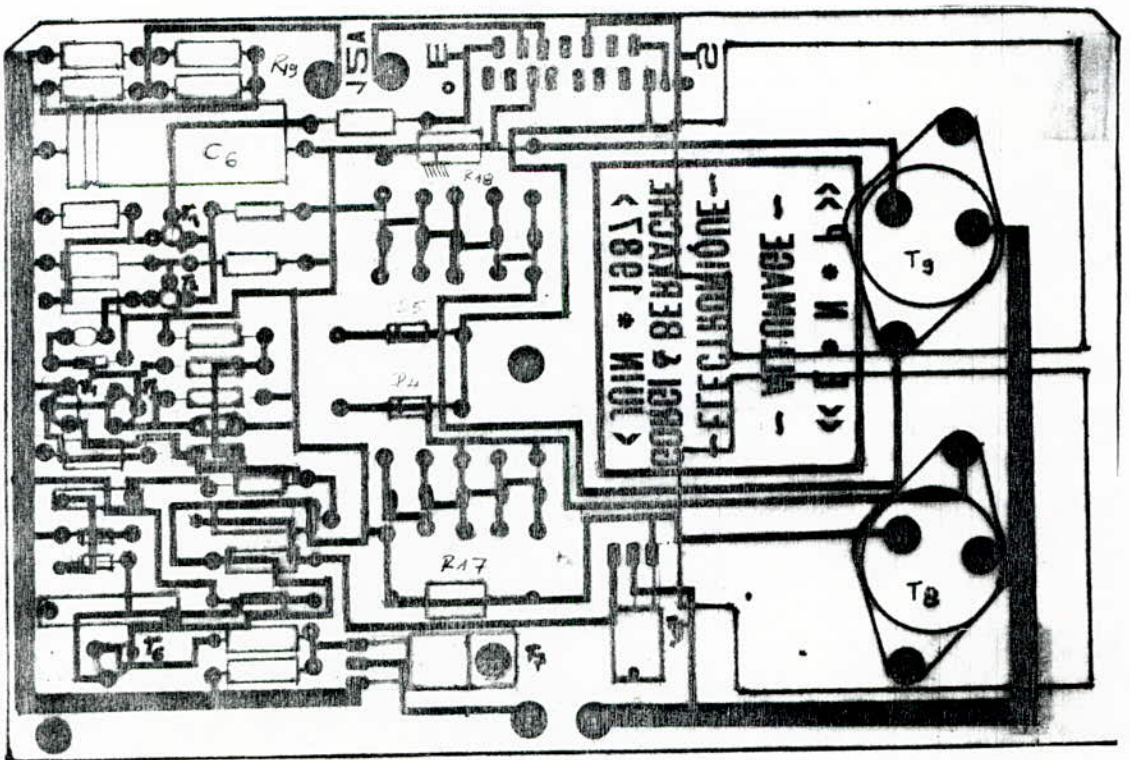
- Diodes :
- D1 : 1N4148
 - D2 : 1N4007
 - D3 : 1N4007
 - D4 : 1N4007
 - D5 : 1N4007

- Transistors :
- T1, T2 : BC 107
 - T3 : BC 547 B
 - T4 : BC 557 B
 - T5 : BD 131
 - T6 : BC 107
 - T7 : BD 242 A
 - T8, T9 : BC 107

T7: BD 242 A



Circuit imprime



Schema d'implantation

CHAPITRE V

V. ETUDE DES SIGNAUX

PROCEDURE DE TRAVAIL

Comme on l'a déjà mentionné sur le schéma synoptique, notre circuit est constitué de plusieurs étages. L'étude sera présentée de la manière suivante:

D'une part, on suivra l'évolution du signal de l'entrée jusqu'à la sortie du circuit; d'autre part, pour chaque étage on commentera l'aspect du signal obtenu en comparaison directe avec le signal de sortie de l'étage précédent. On terminera cette partie en effectuant des mesures et des prélèvements du signal de sortie du primaire de la bobine pour différentes fréquences sur des échelles de précision diverses.

I. LE CAPTEUR ET L'INFORMATION DE LA VITESSE

Pour les essais de notre circuit, on a préféré une méthode plus précise et plus pratique à la fois, qui consiste à remplacer le capteur par un générateur de basse fréquence; en le manipulant, on supposera alors que le moteur tourne à différents régimes selon qu'on augmente ou diminue la fréquence du GBF.

Pour un moteur à 4 cylindres, la fréquence de 30 Hertz correspond à un fonctionnement de bas régime, et à une fréquence d'environ de 300 Hertz le fonctionnement du moteur est à son haut régime, et on dira alors que le moteur tourne à sa vitesse maximale.

La relation suivante donne la fréquence F en fonction, à la fois, de la vitesse de rotation N et du nombre de cylindres Z :

$$F = \frac{1}{2} \frac{N Z}{60} \quad \begin{array}{l} F \text{ en Hertz} \\ N \text{ en tr/mn} \end{array}$$

Le facteur $1/2$ indique que le moteur est à 4 cylindres, et 60 pour avoir F en Hertz.

En fait F représente le nombre d'étincelles par seconde. A l'aide de la relation précédente on a établi le tableau suivant donnant la fréquence F pour des vitesses de rotation différentes

vitesse (tr/mn)	fréquence (Hz)
500.....	16,6
750.....	25,0
1000.....	33,3
1500.....	50,0
2000.....	66,6
3000.....	100,0
4000.....	133,3
4500.....	150,0
5000.....	166,6
6000.....	200,0
7000.....	233,3
7500.....	250,0
8000.....	266,6
9000.....	300,0
10000.....	333,3

On dit que le capteur transmet l'information de la vitesse à notre circuit, du moins jusqu'au trigger de Schmitt.

2. LE TRIGGER DE SCHMITT

La tension alternative de commande provenant du capteur doit être transformée en impulsions de courant rectangulaires afin que son efficacité dans le bloc électronique soit assurée. Cette transformation est réalisée par un déclencheur électronique à tension de seuil, connu sous le terme de bascule de Schmitt ou trigger. Vue la fonction qu'il remplit dans le bloc électronique on l'appelle tout simplement conformateur d'impulsions.

Il est principalement constitué de 2 transistors BC107 (NPN), pour notre circuit; selon le choix des résistances, le trigger est conçu pour réagir aux seuils de déclenchement

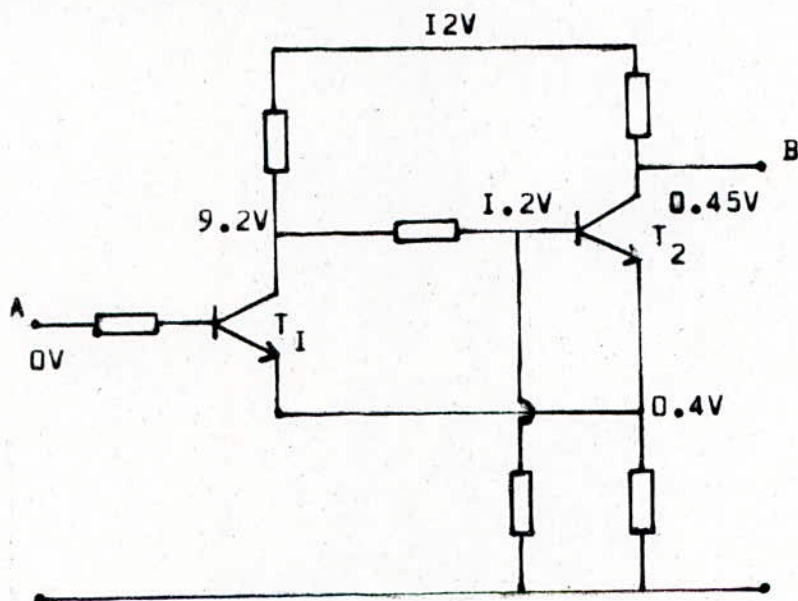
$$V_1 = 1.7 \text{ V}$$

et de retournement

$$V_2 = 1.1 \text{ V}$$

Toutefois les signaux d'entrée d'amplitude inférieure à 1.7 V ne déclenchent pas le circuit en question, pour palier ce défaut, et surtout au ralenti, un éventuel amplificateur peut être placé, à l'entrée du trigger pour avoir une amplitude suffisante.

En régime statique, on a prélevé les potentiels aux différents points, pour justifier l'état de blocage de T_1 et de conduction de T_2 , repérés sur le schéma suivant:



La détermination des seuils V_1 et V_2 se fait graphiquement, en régime dynamique, en superposant les signaux des points A et B, on a les courbes de la Fig.1.

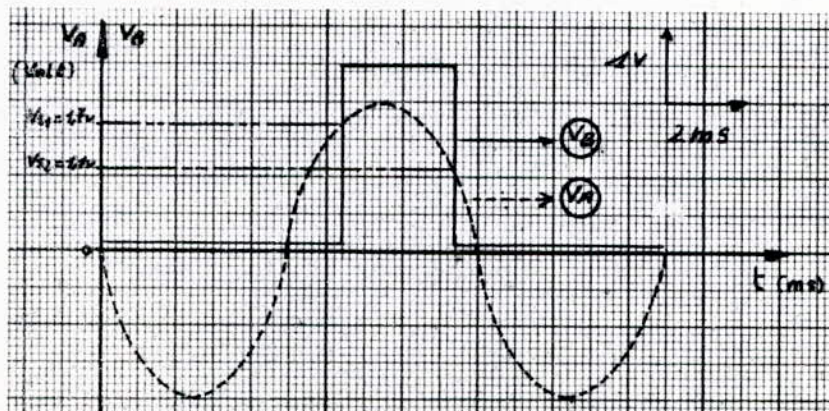


Fig.1.

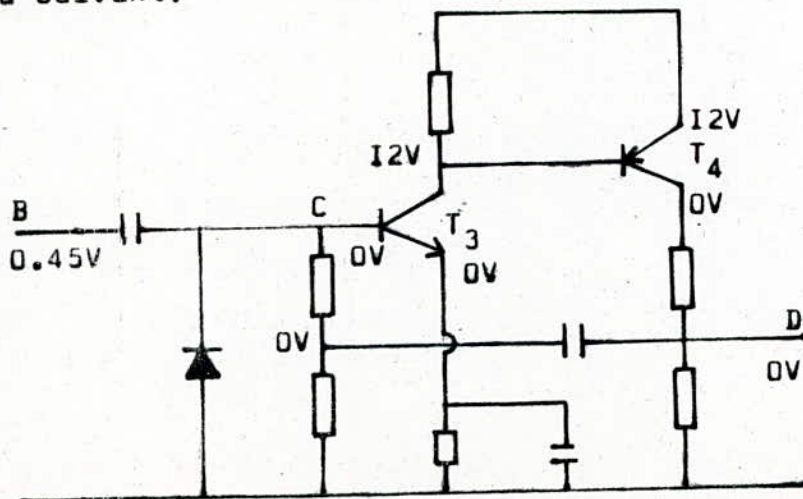
3. LE MONOSTABLE

Pour atteindre une tension d'allumage constante, il est nécessaire de disposer d'un courant primaire minimum déterminé. Cependant, par des système d'allumage classique, ce courant ne sera pas atteint pour des vitesses de rotation élevées, ainsi des ratés d'allumage peuvent se manifester. Pour résoudre ce problème, on a adopté un circuit électronique permettant d'aboutir aux performances souhaitées de l'équipement d'allumage et de minimiser les pertes en puissance dans la bobine, et ce quelque soit le régime de fonctionnement du moteur. Un monostable à transistors commandera le point d'enclenchement du courant primaire, tout en maintenant constante la durée "d'ouverture", "la fermeture" restera favorable à l'établissement du courant de charge dans une plage de fréquence allant jusqu'à 300 Hertz, qui correspond à une vitesse de rotation admissible la plus élevée, au-dessus de cette fréquence on commence à avoir des ratés d'allumage.

On a placé, entre le trigger et le monostable, un circuit d'attaque qui dérive le signal V_B en des tops positifs (les tops négatifs sont éliminés par un redresseur monoalternance D_I), et pour les valeurs choisies des composants du circuit, la période est de

$$T = 1.3 \text{ ms}$$

On a relevé les potentiels des différents points du circuit, en régime statique, pour montrer qu'effectivement on a les transistors BC547B (NPN) et BC557B (PNP) en état de blocage, figurant sur le schéma suivant:



En superposant les signaux des points B , C d'une part , et des signaux des points C , D d'autre part, on a obtenu les courbes de la Fig.2.

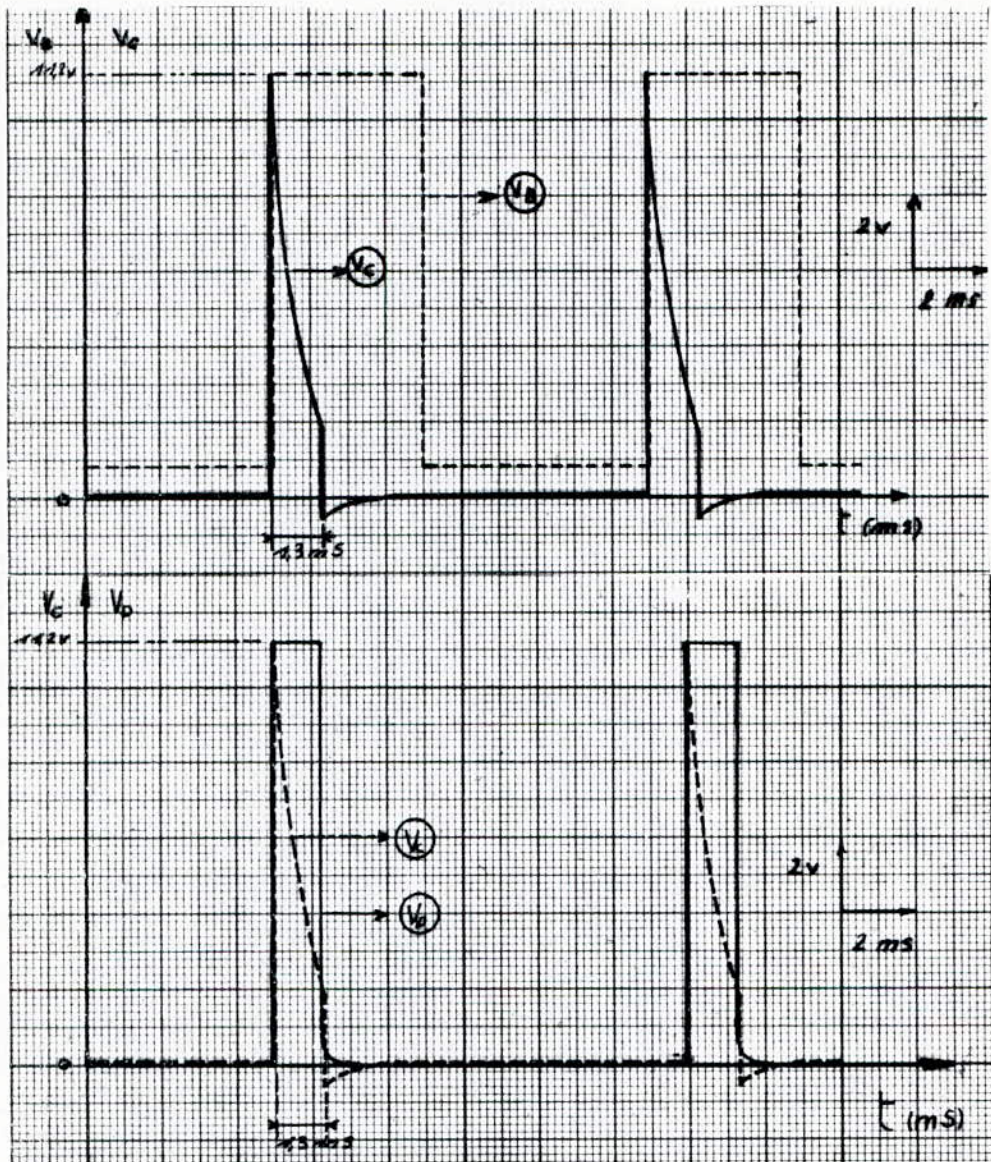
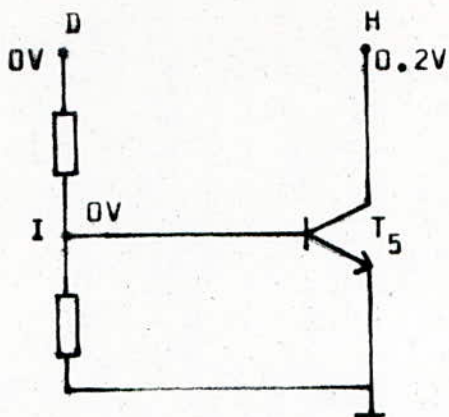


Fig.2.

4. LE MAITRE OSCILLATEUR

Les impulsions reçues à la sortie du monostable, passent par un diviseur de tension, pour aboutir à la base du transistor BDI31 (NPN), à son collecteur, on reçoit un signal qui attaquera l'étage de puissance. On l'appelle "maitre oscillateur", vu qu'il est commandé par les impulsions du monostable, son rôle se limite à provoquer des interruptions du courant primaire de la bobine, entre 2 périodes du monostable. Si le moteur est à l'arrêt T_5 est bloqué: les potentiels statiques du circuit le montrent ainsi



La superposition des signaux des points I , H donne les courbes de la Fig.3.

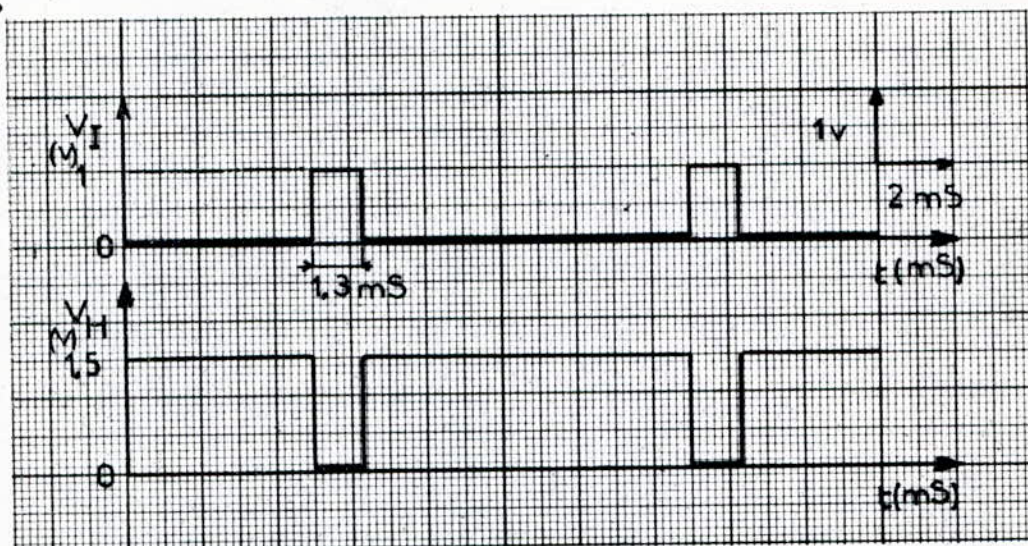
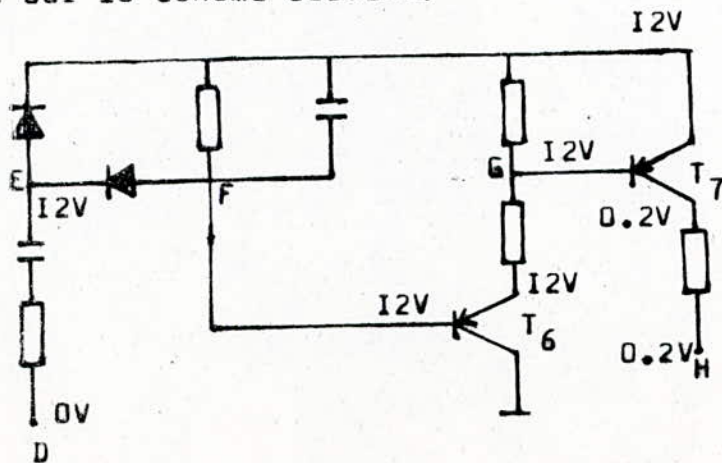


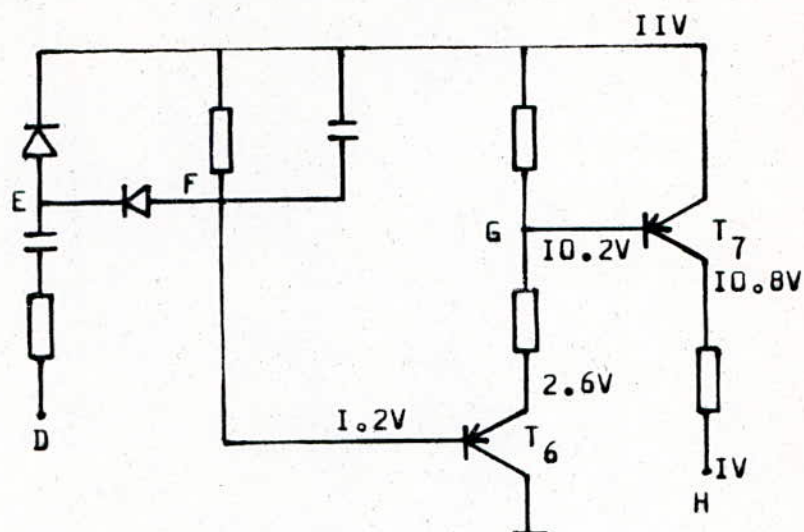
Fig.3

5. LE CIRCUIT DE CHARGE DE LA BOBINE

Lorsque le système est à l'arrêt, les transistors T_6 et T_7 , du circuit de charge de la bobine, sont bloqués, aucun courant ne traverse le primaire. Les potentiels relevés sur différents points le montrent sur le schéma suivant:



Quand le moteur se met en marche, les impulsions reçues du monostable font conduire les transistors T_6, T_7 ; voir le schéma suivant sur lequel apparaissent les potentiels en régime dynamique:



Le potentiel de collecteur de T_7 polarise en sens direct les jonctions base-émetteur de T_8, T_9 qui commencent à conduire. Un courant circule dans le primaire de la bobine et la fait charger une énergie suffisante pour l'allumage.

6. L'ETAGE DE PUISSANCE

Cet étage est constitué de 2 transistors (montés en parallèle). Généralement les pannes affectant le circuit d'allumage se manifeste au niveau des transistors de puissance, on les a protégé contre les surtensions à l'aide de diodes Zener, et contre les tensions inverses à l'aide des diodes de redressement:

- Une bougie male placée dans le cylindre ou un cable HT est coupé mettre le secondaire à vide, son signal présentera alors des fluctuations négatives qui auront des effets néfastes sur la durée de vie du transistor.

Les courbes de la Fig.3, relevées lorsque on a enlevé la bougie montrent les inconvénients cités précédemment.

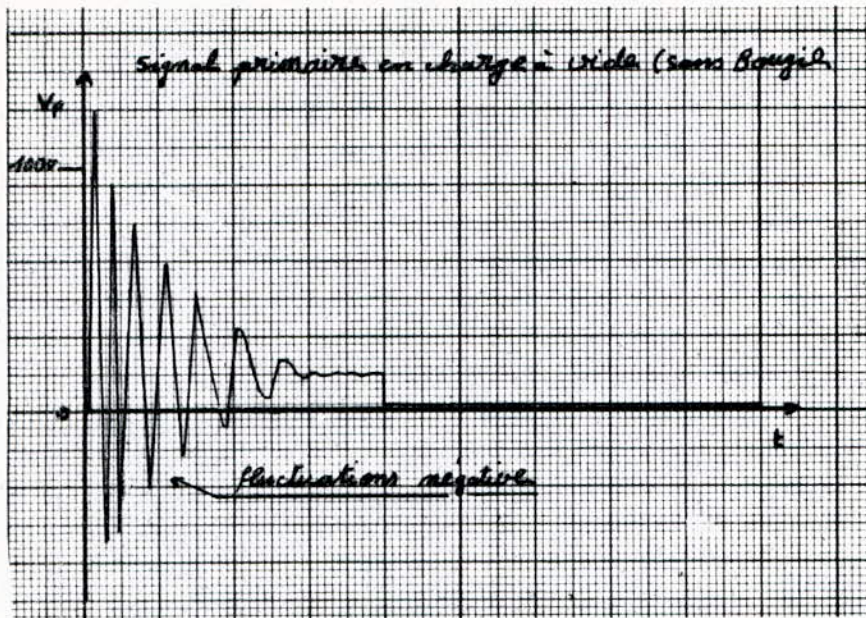


Fig.3.

- L'état des bougies peut influencer sur l'amplitude du signal primaire, selon que celles-ci présentent des anomalies au niveau de l'éclateur pour l'une ou l'autre, la visualisation d'un cycle pour un moteur à 4 cylindres et à 4 temps présente des irrégularités, au niveau de la tension des aiguilles, voir Fig.4.

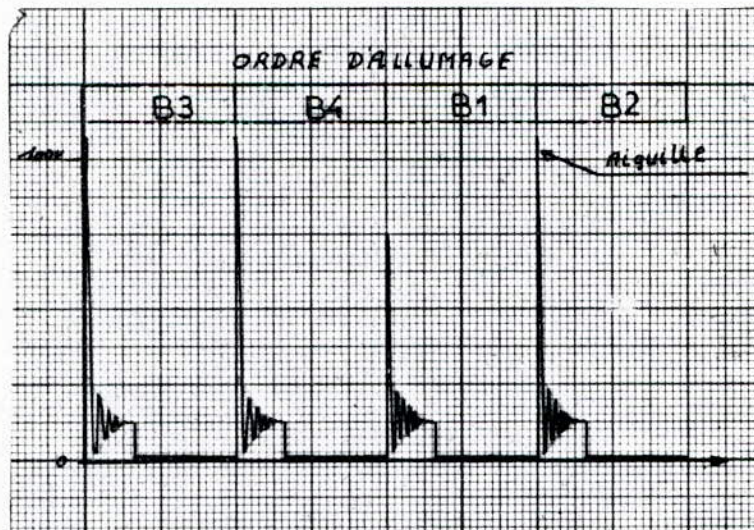


Fig.4.

Le contrôle d'allumage permet de "diagnostiquer" la bougie en mauvais état. On remarque sur le graphe précédent que la bougie B₁ est défectueuse.

7. OBSERVATION DU SIGNAL PRIMAIRE A L'OSCILLOSCOPE

Dans ce paragraphe on étudiera l'évolution du signal primaire pour des fréquences différentes, autrement dit pour différents régimes de fonctionnement du moteur; de plus la visualisation du signal sur plusieurs échelles de précision, permet de détecter les moindres détails de son évolution pendant la durée d'étincelle.

a. VARIATION DE LA FREQUENCE

Pour des fréquences de 50, 100, 200, 300 Hertz, on obtient le signal de la Fig.5.

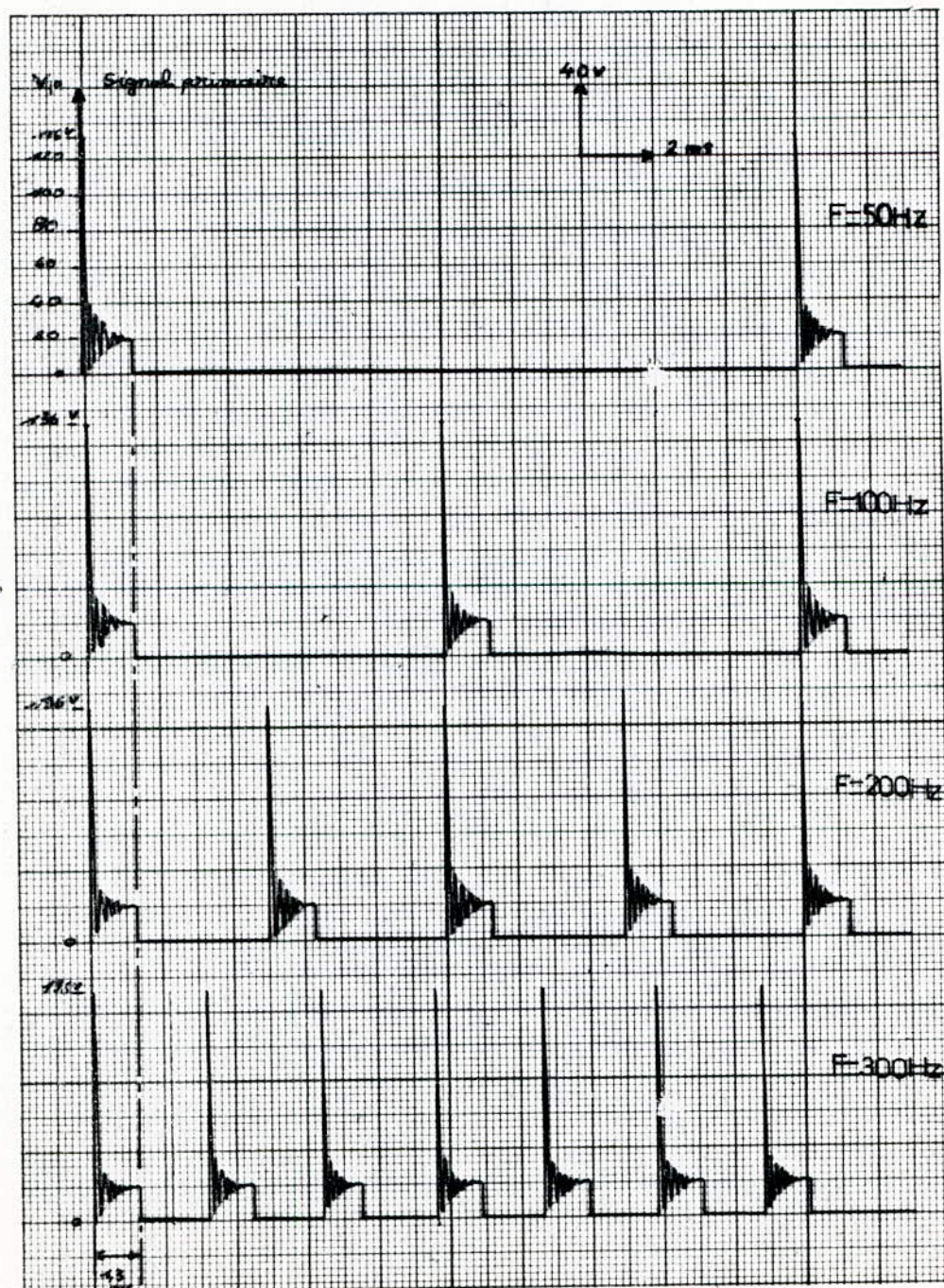


Fig.5.

On constate que:

- la variation de la fréquence n'influe pas sur l'amplitude, ça
- reste constante

$$V_p = 136 \text{ V}$$

- la durée d'étincelle reste aussi constante

$$T = 1.3 \text{ ms}$$

Le signal primaire présente 3 zones, voir Fig.6.

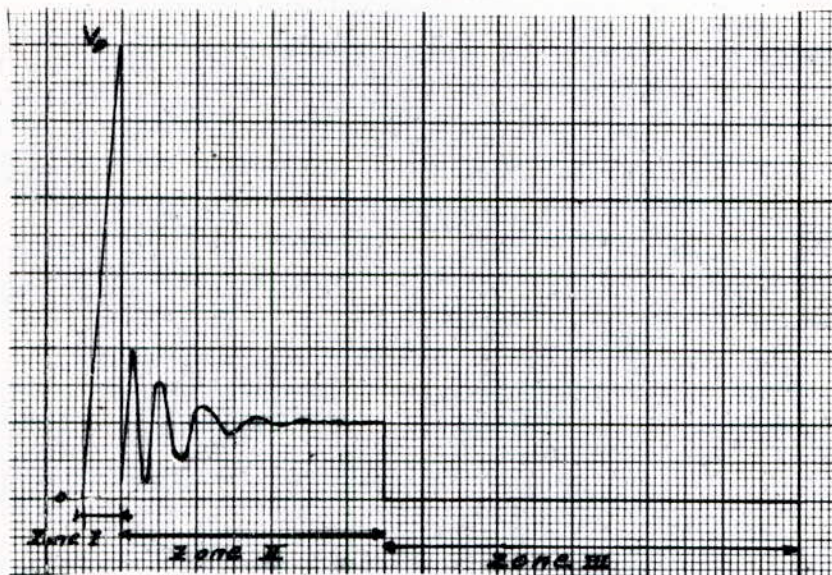


Fig.6.

- 1° zone : temps de montée
- 2° " : durée d'étincelle
- 3° " : temps de charge

La 3° zone favorise l'établissement du courant primaire.

On signale que la 1° et 2° zone correspondent, pour l'allumage classique, à la durée d'ouverture du rupteur; et la 3° correspond à sa durée de fermeture.

b. LA DUREE D'ETINCELLE

Elle est représenté par la 1° et 2° zone. Si on fixe la fréquence à 100 Hertz, les oscillogrammes du signal primaire, avec et sans bougie, sont sur la Fig.7.

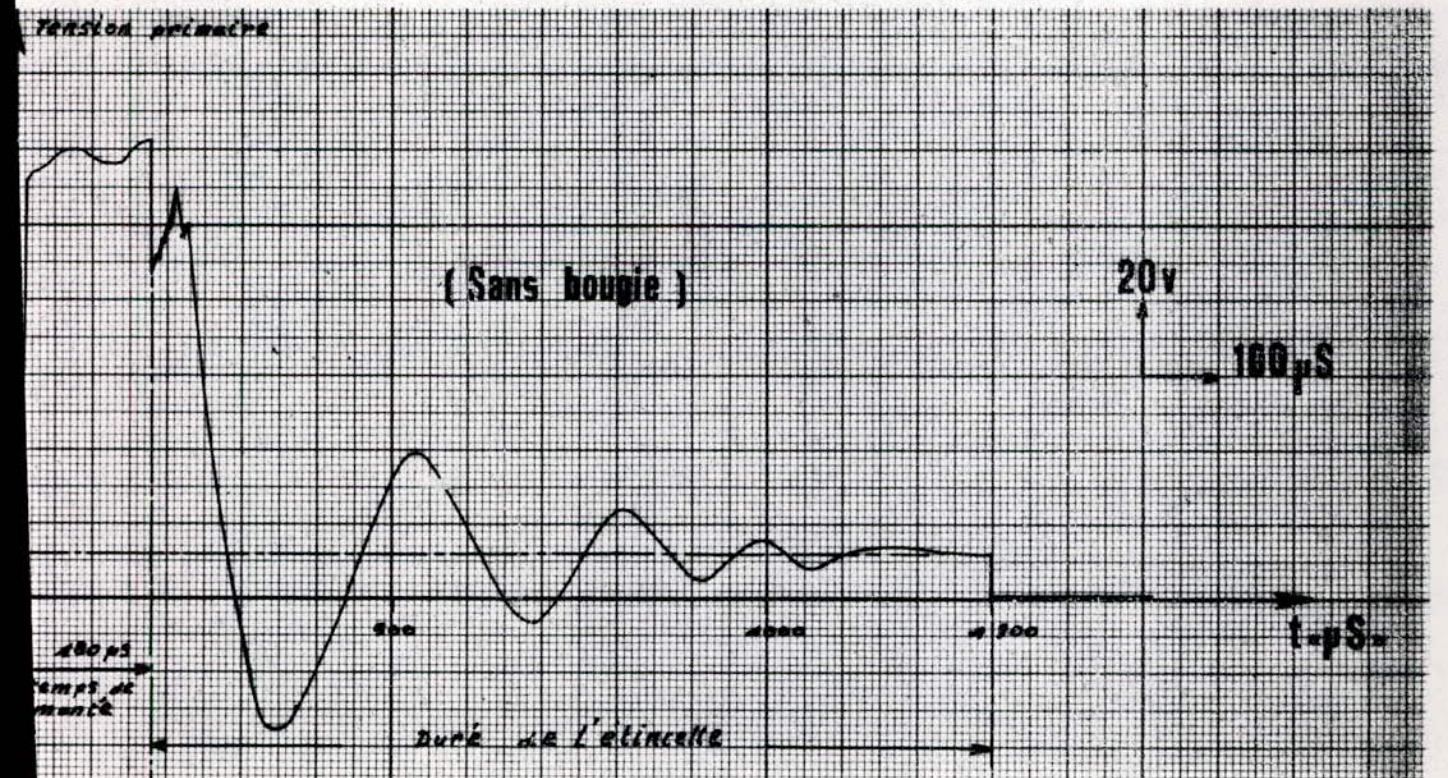
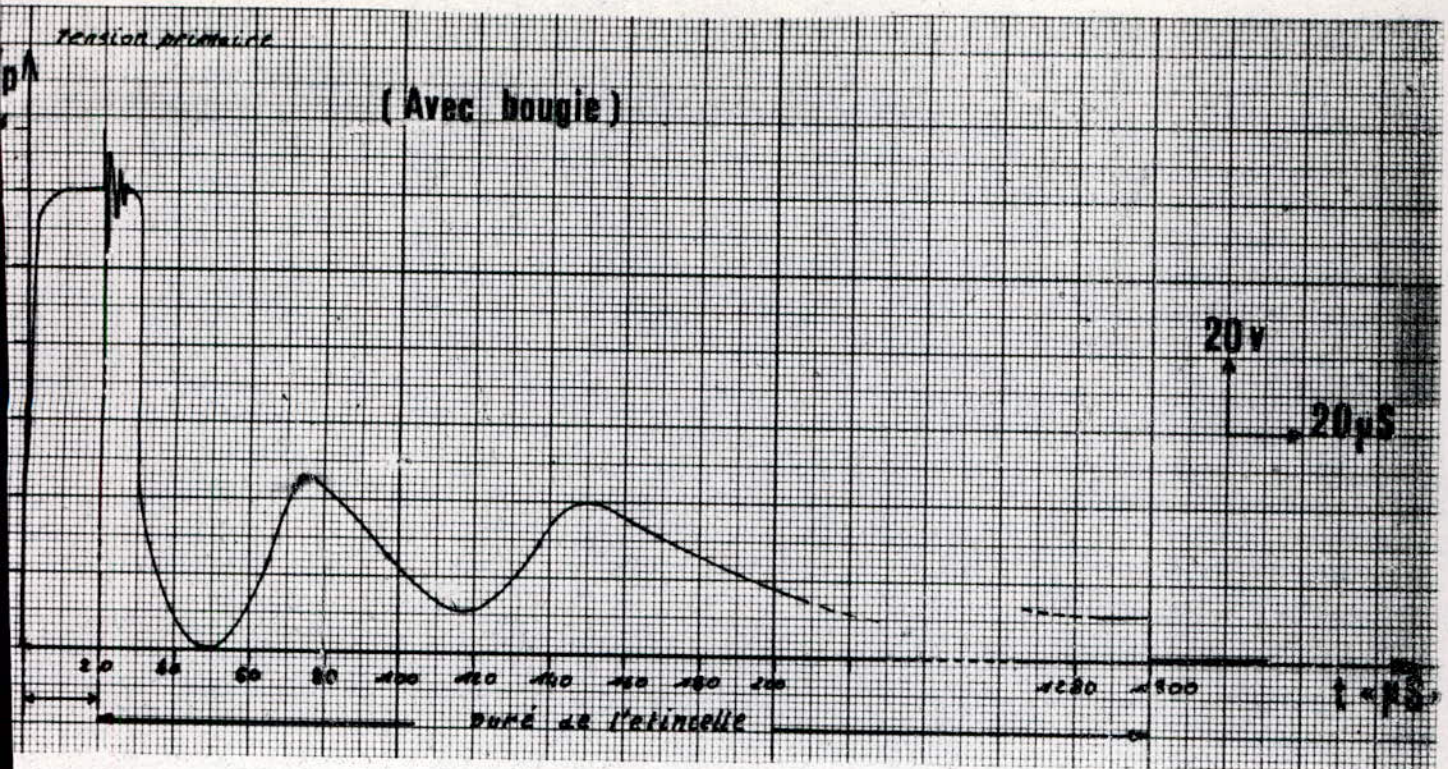


Fig.7.

- En présence de la bougie, le temps de montée est de 20 microsecondes pour atteindre 120 Volts, après il y a la tête de l'aiguille qui apparait et atteint 136 Volts, puis des ondulations microscopiques apparaissent et s'amortissent vers 120 V pendant 10 microsecondes, après, la tension primaire chute et s'amortit, autour de la tension d'arc qui n'est autre que la tension de batterie, pour le reste des 1.3 millisecondes. On a pratiquement la 1^e zone qui dure 30 microsecondes, lorsque la bougie fonctionne.
- Sans la bougie, l'oscillogramme est caractérisé par un temps de montée plus long (180 microsecondes), et après, l'apparition des ondulations, autour de la tension de batterie, qui sont plus grandes qu'au premier cas, et deviennent même négatives.

8. CONSUMATION DU CIRCUIT

Pour des raisons économiques, il est intéressant de connaître la consommation, en puissance, du circuit mis au point.

La puissance P (en Watt) dissipée par un composant est relié, pour une résistance, à la tension V (en Volt) à ses bornes et au courant I (en Amper) qui la traverse par

$$P = V I$$

ou à la tension V (en Volt) à ses bornes et à sa valeur R (en Ohm) par

$$P = V^2 / R \quad , \quad I = V / R$$

Cette dernière relation est la plus utilisée parce que il est plus facile de mesurer, à l'aide d'un oscilloscope, une tension qu'un courant.

Et pour un transistor, à la tension V_{CE} (en Volt) de sa jonction collecteur-émetteur et au courant I (en Amper) qui la traverse par

$$P = V_{CE} I$$

La puissance dissipée se transforme en chaleur, et risque de chauffer énormément les composants du circuit et par suite la détérioration du système. Pour éviter ce problème, les composants les plus "consommateurs" sont montés sur des radiateurs en métal, tels que les transistors de puissance T_8, T_9 et la résistance R_{I9} , de plus cette dernière sera montée à l'extérieur du boîtier et reliée au circuit par des fils conducteurs.

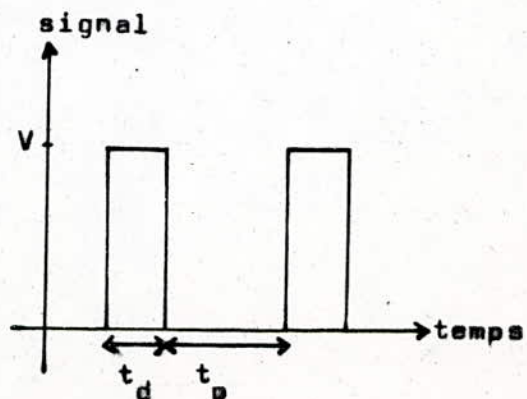
Comment calculer P pour chaque composant?

On visualise le signal à ses bornes:

. S'il est constant, on a directement

$$P = V^2 / R \quad \text{ou} \quad P = V_{CE} I$$

. S'il est impulsionnel, on a



$$P = V^2 / R \times t_d / (t_d + t_p) \quad \text{ou} \quad P = V_{CE} I \times t_d / (t_d + t_p)$$

Toutes les résistances utilisés sont, sauf indication, de 1/4 Watt ; leur consommation est très très faible, elle est de quelques mW.

Les résistances "de puissance":

R_{10}, R_{15} 220 Ω / 1 W consomment 5 mW, 142 mW respectivement

R_{16} 15.6 Ω / 25 W " 909 mW.

R_{17}, R_{18} 0.15 Ω / 4 W " 2.400 W chacune.

R_{19} 1.1 Ω / 27 W " 5.425 W.

Sur les tableaux suivants, on présente les résultats pratiques en comparaison directe avec les caractéristiques des différents transistors utilisés.

• T_1 (BC 107)

	$P_{tot.}$ (mW)	V_{CEO} (V)	$I_{Ccont.}$ (mA)	$V_{CEsat.}$ (V)
caractéristiques	300	45	2	0.6
résultats	6	8	2	0.4

• T_2 (BC 107)

	$P_{tot.}$ (mW)	V_{CEO} (V)	$I_{Ccont.}$ (mA)	$V_{CEsat.}$ (V)
caractéristiques	300	45	2	0.6
résultats	12	10.4	2	0.4

• T_3 (BC 547 B)

	$P_{tot.}$ (mW)	V_{CEO} (V)	$I_{Ccont.}$ (mA)	$V_{CEsat.}$ (V)
caractéristiques	-	-	-	-
résultats	230	10.6	25	0.6

• T₄ (BC 557 B)

	P _{tot.} (mW)	V _{CEO} (V)	I _{C cont.} (mA)	V _{CE sat.} (V)
caractéristiques	-	-	-	-
résultats	453	10.8	42	0.4

• T₅ (BD 131)

	P _{tot.} (mW)	V _{CEO} (V)	I _{C cont.} (mA)	V _{CE sat.} (V)
caractéristiques	-	-	-	-
résultats	706	1.2	589	0.2

• T₆ (BC 516)

	P _{tot.} (mW)	V _{CEO} (V)	I _{C cont.} (mA)	V _{CE sat.} (V)
caractéristiques	625	30	100	1
résultats	55	12	25	0.8

• T₇ (BD 242 A)

	P _{tot.} (W)	V _{CEO} (V)	I _{C cont.} (A)	V _{CE sat.} (V)
caractéristiques	40	60	3	1.2
résultats	0.353	12	0.589	0.6

• T₈, T₉ (BU 208 A)

	P _{tot.} (W)	V _{CEO} (V)	I _{C cont.} (A)	V _{CE sat.} (V)
caractéristiques	12.5	1500	4.5	1.5
résultats	11.44	136	4	0.6

On remarque bien que les résultats expérimentaux n'excèdent pas la puissance nominale des résistances et les caractéristiques des transistors utilisés.

En somme, le système d'allumage proposé consomme une puissance de 34 Watts environ.

C H A P I T R E V I

VI. COCLUSION

Avec le système d'allumage électronique, on a supprimé totalement le rupteur (vis platinée) en le remplaçant par un capteur magnétique, ce qui supprime radicalement les inconvénients de son emploi, à savoir:

- Son usure par le jaillissement d'une faible étincelle entre ses contacts, au moment de la coupure.
- L'angle de came variable avec la vitesse de rotation.

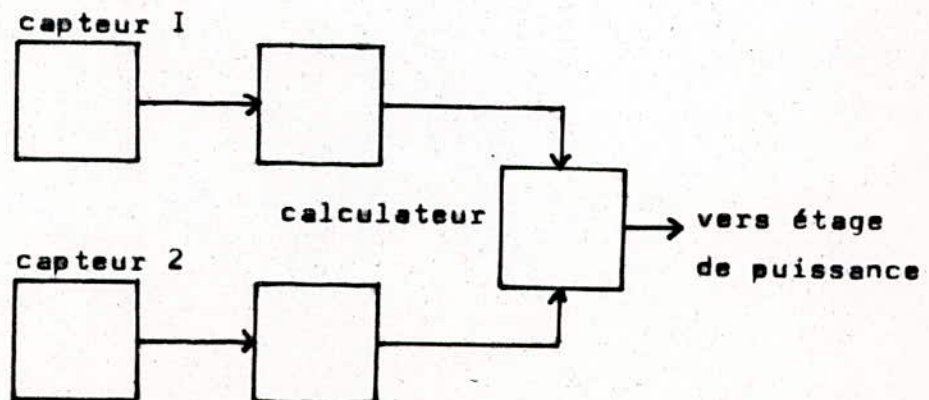
Le système d'allumage électronique mis au point présente les avantages suivants:

- Durée d'étincelle constante.
- Courant du primaire de la bobine appréciable.
- Tension aux bornes du primaire constante.

Dans ce système on a gardé le principe d'avance centrifuge réservé pour le système d'allumage classique. L'avance centrifuge et à pression ne cessent pas de démontrer leur fiabilité, puisqu'elles ne demandent pas des exigences électriques et mécaniques très sévères, comme celles que subisse le rupteur.

D'autre part, l'avance électronique peut être élaborée par la mise au point d'un capteur à dépression et un calculateur.

Le capteur transforme une pression en un signal électrique. Un calculateur de genre analogique fait la comparaison entre le signal de sortie d'un module traitant l'information de la dépression avec le signal de sortie d'un autre module traitant l'information de la vitesse de rotation, pour déterminer l'angle d'avance correspondant voir schéma synoptique de la figure suivante:

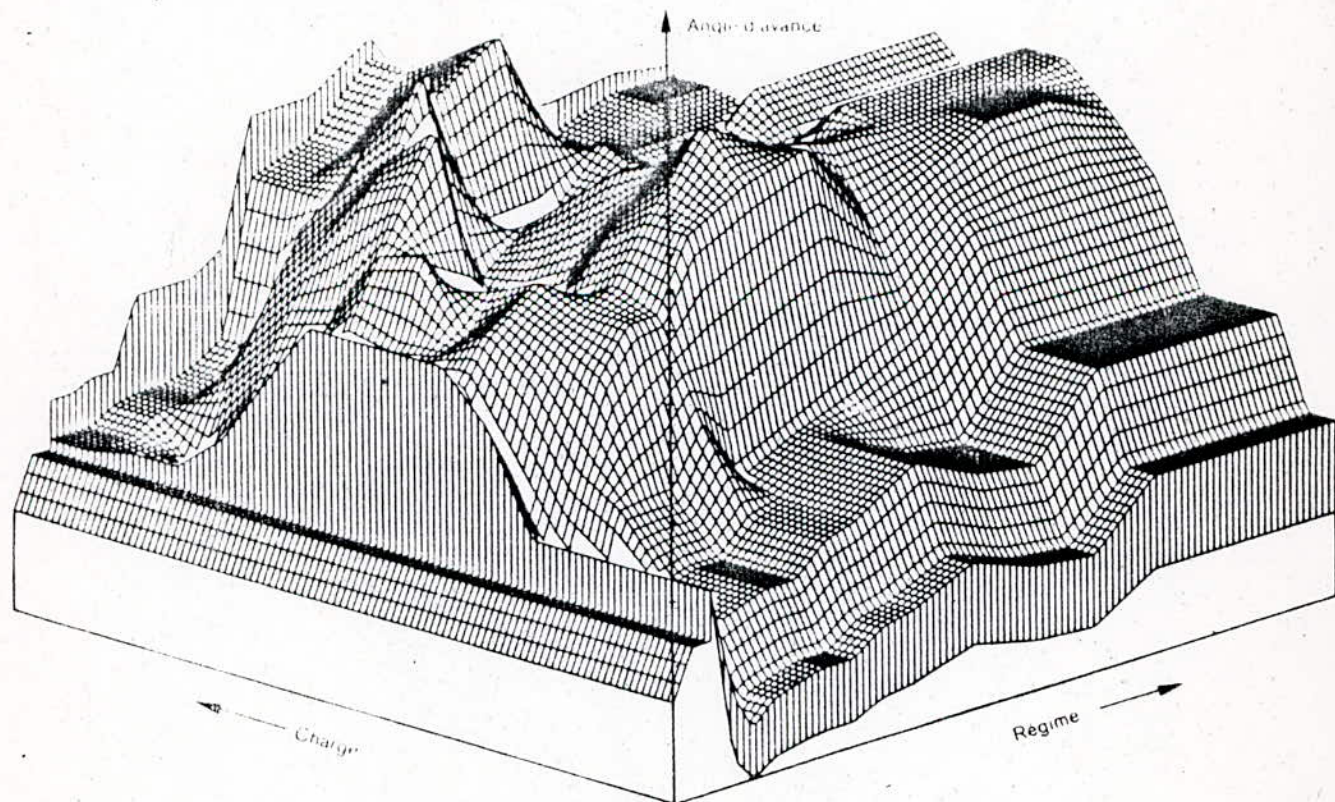


Les signaux analogiques (régime et charge) des 2 capteurs peuvent être convertis en signaux numériques à l'aide d'un convertisseur analogique / numérique par un convertisseur A/N, qui seront traités dans un microprocesseur pour déterminer l'angle d'avance correspondant selon une cartographie bien déterminée pour un type de moteur bien déterminé.

Une cartographie est le dessin de la courbe en fonction, d'une part de la charge (dépression), et d'autre part du régime (vitesse). Pour un couple (charge, régime) correspond un angle d'avance.

Les informations de la cartographie sont préprogrammées dans la mémoire du microprocesseur.

D'autres facteurs comme la température, référence angulaire, capteur de ralenti, tension de la batterie, ... font l'objet d'un calcul intermédiaire en comparaison avec les résultats de l'angle d'avance à l'allumage obtenus par la cartographie, pour aboutir à une correction de l'angle d'avance.



Cartographie

BIBLIOGRAPHIE

- . Connaissance de l'allumage des automobiles
Du rupteur à l'électronique...par G.GORY
Collection Auto-Volt...3^e édition
- . Connaissance de l'électronique automobile...par G.GORY
et H.L. DEPARCEVAUX
Collection Auto-Volt...4^e édition
- . Electricité automobile
Le magnétisme et l'électromagnétisme...par G.GORY
Collection Auto-Volt
- . L'électricité automobile...par M.MENARDON
CHOTARD et associés éditeurs
- . Circuit électroniques pour votre automobile...par F.HURE
Editions techniques et scientifiques françaises
- . Pratique électronique-Auto montages...par G.BISHOP
- . Schéma électronique...par J.MORNAND
- . Electronique des impulsions...par VABRE