

UNIVERSITE D'ALGER

1/76

DEPARTEMENT ELECTRICITE

ex

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE

1976

PROJET DE FIN D'ETUDES

ELECTRONIQUE  
AUTOMOBILE

SUJET :

PROPOSE PAR :

M<sup>r</sup> ZERGUERRAS

المستودع الوطني للعلوم الهندسية  
البيئية  
Ecole Nationale Polytechnique  
BIBLIOTHEQUE

REALISE PAR :

M<sup>elle</sup> DJELLALI N

juin 1976

UNIVERSITE D'ALGER

DEPARTEMENT ELECTRICITE

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ELECTRONIQUE

AUTOMOBILE

PROPOSE PAR: M<sup>r</sup> ZERGUERRAS.

REALISE PAR: M<sup>me</sup> DJELLALI

Je tiens à remercier M<sup>r</sup> ZERGUERRAS  
pour tous les conseils qu'il m'a donnés  
au cours de l'étude de ce projet,  
ainsi que tous les professeurs qui  
ont contribué à ma formation.

PLAN D'ETUDE

INTRODUCTION

A) ALLUMAGE

I) ALLUMAGE CLASSIQUE

II) ALLUMAGE ELECTRONIQUE A TRANSISTORS BASSE TENSION

III) ALLUMAGE ELECTRONIQUE A TRANSISTORS HAUTE TENSION

IV) ALLUMAGE ELECTRONIQUE A DECHARGE CAPACITIVE

B) INJECTION ELECTRONIQUE

CONCLUSION

## INTRODUCTION

L'électronique dans l'automobile, fit son apparition vers 1960. Mais ce n'est qu'en 1967 qu'elle commença vraiment à s'étendre. On constate que l'électronique occupe une importante croissante dans la construction automobile.

On peut classer les dispositifs électroniques automobile en deux groupes: ceux qui sont fixés et qui sont montés à bord du véhicule.

Les premières concernent l'entretien des automobiles, le contrôle de la circulation, les garages et les auto-écoles.

Quant aux installations à bord du véhicule, elles sont réparties en trois groupes suivant leurs fonctions.

- Amélioration des caractéristiques techniques.
- Amélioration de la sécurité.
- Amélioration du confort.

Les deux derniers groupes sont souvent présentés sous formes de gadgets.

Par contre le premier groupe concerne des dispositifs essentiels tels que l'allumage, l'injection qui feront l'objet de notre étude.

L'étude de l'allumage sera assez détaillée; l'injection sera présentée qualitativement et étudiée en partie théoriquement.

## L'ALLUMAGE ELECTRONIQUE

### A) definitions de l'allumage:

L'allumage a pour but d'enflammer le mélange air-carburant comprimé dans les cylindres du moteur au moyen d'une étincelle électrique produite entre les électrodes des bougies.

A l'air libre, sous la pression atmosphérique moyenne une tension de l'ordre de 1000V serait suffisante pour produire cette étincelle.

Le mélange air-carburant comprimé aux environs de 8 atmosphères s'oppose au jaillissement de l'étincelle et une tension supérieure à 10 KV est nécessaire.

Cette tension dépend du taux de compression, de la nature du gaz comprimé et de la distance qui sépare les pointes de la bougie.

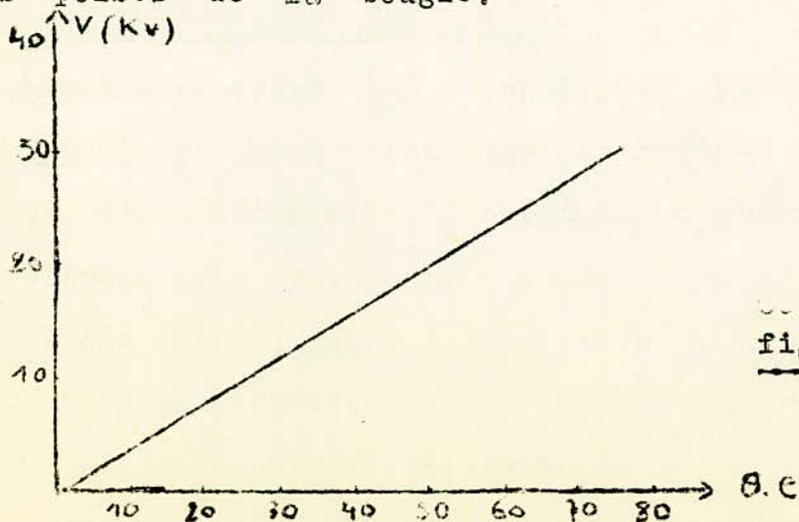
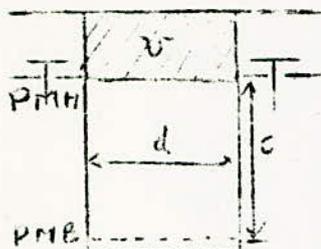


figure I

$c$  = écartement des bougies en I/10 mm

$\theta$  = taux de compression =  $V+v/V$

$$V = \frac{\pi d^2 c}{4}$$



$d$  = diamètre du cylindre

$c$  = course du piston

$v$  = volume situé au dessus du piston dans sa position haute

La figure I donne en fonction du produit taux de compression, écartement des bougies en I/10 mm, la tension nécessaire pour qu'une étincelle se produise, le gaz comprimé étant l'air.

Pour un mélange essence-air, il faut multiplier la valeur de la tension par un nombre compris entre 1,1 et 1,2.

Dans les véhicules, on ne dispose que de courant continu produit par les batteries d'accumulateurs dont la tension est dans la majorité des cas de 6 ou 12 V ; il faut à partir de cette tension de batterie obtenir les quelques dizaines de KV nécessaires à la production des étincelles.

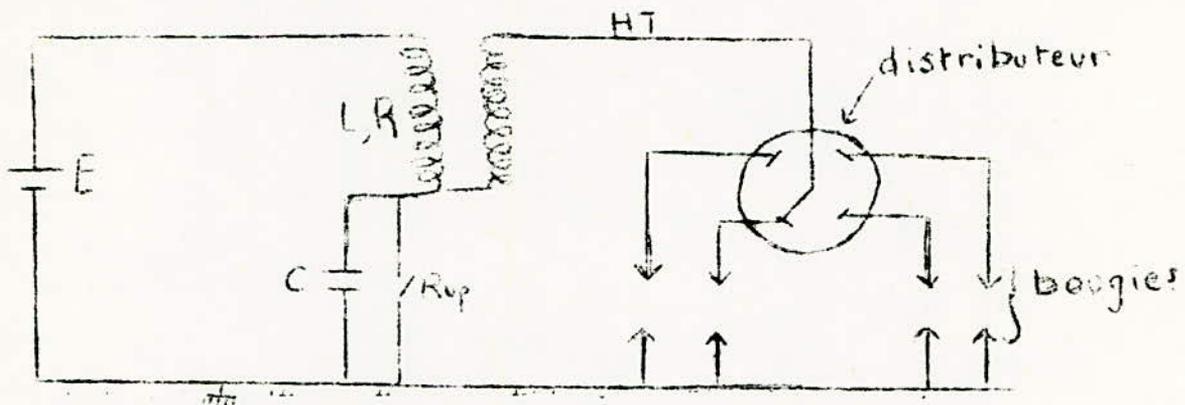
C'est ce réalise le dispositif d'allumage.

Lorsqu'on a affaire à du courant alternatif, il est facile de modifier la tension dont on dispose en utilisant un transformateur.

Sur le véhicule, on peut obtenir un courant variable en découpant le courant continu de la batterie au moyen d'un interrupteur actionné par le moteur appelé rupteur.

Ce courant sera transformé à l'aide d'un transformateur

### B) ETUDE DE L'ALLUMAGE CLASSIQUE:

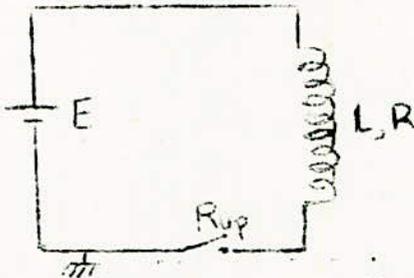


Le système d'allumage classique se compose :

- D'une source de courant continu: batterie d'accumulateurs de 6 ou 12 V .
- D'une bobine (transformateur)
- D'un rupteur associé à un distributeur qui aiguille sur le cylindre convenable la haute tension produite au secondaire de la bobine .
- L'ensemble rupteur-distributeur, actionné par le moteur constitue l'allumeur (le Delco)
- D'un condensateur placé aux bornes du rupteur .

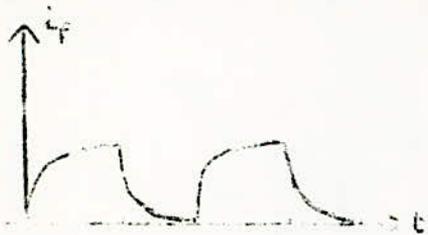
## I) ETUDE DU CIRCUIT PRIMAIRE :

En premier lieu, on peut se contenter du schéma suivant

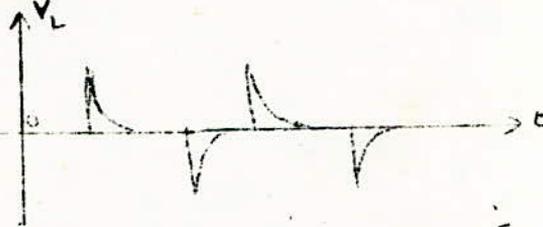


- a) Le rupteur  $R_0$  est ouvert, il n'y a pas de champ magnétique.
- b) Le rupteur  $R_0$  est fermé; un courant circule; il existe un champ magnétique renforcé par le barreau de fer doux. CE champ magnétique est croissant et de fait il engendre pendant qu'il se constitue une tension induite dans la bobine même, tension de self induction. Cette tension est de sens opposé à la tension de la batterie. Lorsque le courant atteint son maximum donc quand le champ est complètement établi, la tension de self induction est nulle.
- c) Le rupteur  $R_0$  est ouvert; le champ décroît et de la même façon que précédemment, il y a une tension de self induction mais de même sens que la tension de batterie; il y a production d'un arc électrique aux contacts de l'interrupteur. CET arc n'est autre qu'un courant électrique qui trouve sa voie à travers

l'entrefer des contacts de l'interrupteur au moment où ils commencent à s'ouvrir.



Forme de courant  
au primaire



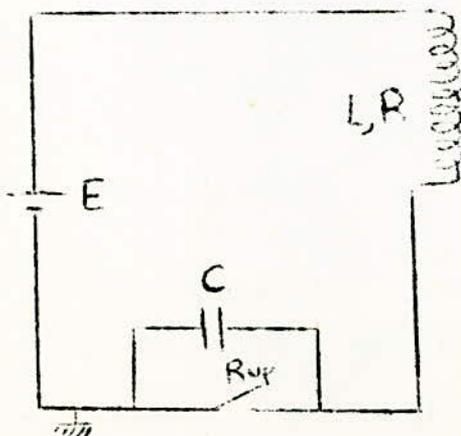
Forme de la tension  
de self induction

Le schéma précédent présente des inconvénients :

— A l'ouverture des contacts du rupteur il se produisait un fort jaillissement d'étincelles qui ne tarderait pas à brûler les contacts.

— En outre la tension secondaire induite ne serait pas suffisante pour produire une étincelle d'allumage car le jaillissement d'étincelles au contacts retarderait trop la disparition du champ.

On y remédie en plaçant un condensateur aux bornes de l'interrupteur



Lorsque les contacts du rupteur s'ouvrent, il se produit une étincelle par suite de la tension d'auto-induction. Cette tension provoque la charge du condensateur. Comme le condensateur est placé directement en parallèle sur les contacts, la tension de self-induction est par conséquent très faible à l'ouverture des contacts de sorte qu'aucun arc ne peut pour ainsi dire se former.

Avec le condensateur on a obtenu deux avantages:

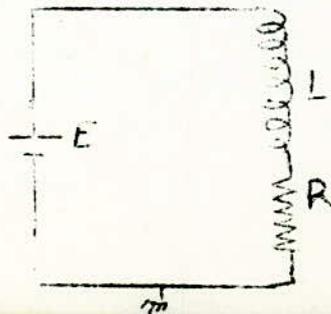
— Réduction de l'arc donc coupure brusque du courant donc une disparition rapide du champ magnétique

— Il en résulte donc qu'une tension élevée est induite dans l'enroulement secondaire.

Mais la disparition rapide du champ a causé simultanément l'accroissement de la tension de self-induction qui peut atteindre 500 V

## II) ETUDE DES FORMES DE COURANT ET TENSION AU PRIMAIRE

a) Rupteur fermé :

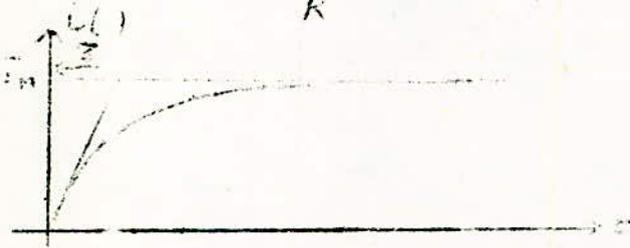


1) Etude du courant au primaire:

$$E = L \frac{di}{dt} + Ri ; \mathcal{L}(E) = \mathcal{L}(i) [Lp + R]$$

$$\frac{E}{p} = (Lp + R) I(p) ; I(p) = \frac{E}{p} \cdot \frac{1}{Lp + R} = \frac{E/R}{p} \cdot \frac{1/R}{p + R/L}$$

$$i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$



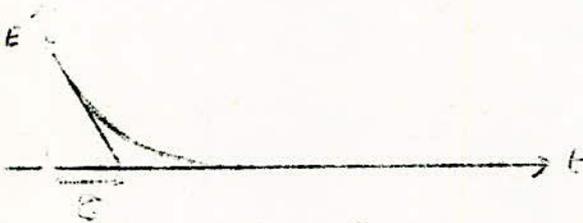
$$I_m = \frac{E}{R}$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

2) Etude de la tension induite au primaire:

$$V_L(p) = Lp i(p) = Lp \cdot \frac{E/R}{p(p + R/L)} = \frac{E}{p + R/L}$$

$$V_L(t) = E e^{-\frac{R}{L}t}$$



Quand le rupteur établit le contact entre ses pôles, les vis platinées, un courant s'y établit avec une constante de temps  $\tau = L/R$ . Sa valeur maximale est égale à  $I_m = E/R$ .

La bobine emmagasine pendant ce temps une énergie

$$W = \frac{1}{2} L I_m^2 .$$

On admet qu'une bobine doit emmagasiner une énergie de 30 mJ pour produire un allumage correct compte tenu des pertes dans les enroulements lorsque cette énergie restituée au circuit sera utilisée à produire l'étincelle aux bougies.

Au départ le démarreur absorbe un courant énorme et la tension de la batterie peut tomber à 10 V.

Une bobine classique a résistance qui varie de 2 à 3,5 ohms donc  $I_M = 10/3 = 3,3$  ampères

Pour emmagasiner une énergie de 30 millijoules, il faut que l'inductance de la bobine soit au moins égale à  $L = \frac{2W}{I_M^2} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{3,3^2} = 5,5 \text{ m.H}$

Le calage de l'allumeur est tel que pour un moteur à 4 cylindres le rupteur est fermé pendant un temps voisin des  $2/3$  de la période d'allumage.

L'allumeur doit donner 2 étincelles par tour dans un moteur à 4 temps et la période d'allumage correspond à un demi tour.

Si la vitesse du moteur est de  $N$  tours/mn, le moteur fait un tour pendant  $60/N$ , la période sera donc égale à  $30/N$

Le courant aura un temps égal à  $t = \frac{L}{R} = \frac{5,5}{3} = 1,8$  pour s'établir.

Il faut que la constante de temps  $L/R$  soit très inférieure à  $20/N$ . La condition pour que le courant atteigne au moins les 95% de la valeur maximale est la suivante

$$3\tau = 3 \frac{L}{R} < \frac{20}{N}$$

Application numérique

$$L = 10 \text{ mH} ; R = 3,3 \Omega , \tau = \frac{10^{-2}}{3,3} \approx 3 \text{ ms}$$

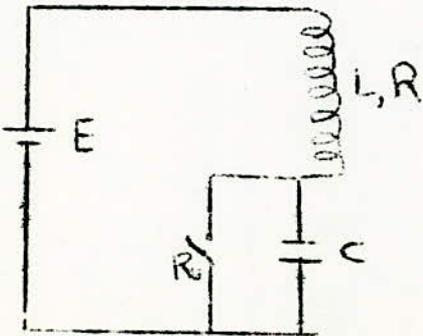
Si la vitesse du moteur est de 3000tr/mn

$$\frac{20}{N} = \frac{20}{3000} = 6,6 \text{ ms}$$

Le courant dispose de 2 constantes de temps pour s'établir et il n'atteindra que 90% au plus de sa valeur maximale. L'énergie emmagasinée  $W = \frac{1}{2} L (0,9)^2 I_M^2$   
 A 6000tr/mn, le courant n'atteindra que les 7/10 de sa valeur maximale et l'énergie sera réduite de moitié

$$W = \frac{1}{2} L (0,7)^2 I_M^2 \approx \frac{1}{4} L I_M^2$$

b) Rupteur ouvert



I) etude du courant primaire  $i(t)$

$$E = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt$$

On différencie l'expression précédente

$$0 = \frac{1}{C} + L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} \quad \text{avec } i(0) = 0 \text{ dans } C$$

En prenant les transformées avec

$$\mathcal{L}(i) = p \mathcal{L}(i) - i(0)$$

$$\mathcal{L}(i'') = p^2 \mathcal{L}(i) - i'(0)$$

A l'instant  $0^+$ , on a :

$$\frac{I}{C} + L [p^2 \mathcal{L}(i) - i'(0^+)] + R [p \mathcal{L}(i) - i(0^+)] = 0$$

$$\frac{I}{C} + Lp^2 [p \mathcal{L}(i) - i(0^+)] - L i'(0^+) - Rp \mathcal{L}(i) - Ri(0^+) = 0$$

$$\frac{I}{C} + Lp^2 I - Lp i(0^+) - L i'(0^+) + Rp I - Ri(0^+) = 0$$

$i(0^+) = \frac{E}{R}$  (continuité du courant dans l'inductance)

$$i(0^+) = 0$$

$$\frac{I}{C} + Lp^2 I - Lp \frac{E}{R} + Rp I - E = 0$$

$$I \left( Lp^2 + Rp + \frac{1}{C} \right) = E + \frac{E}{R} Lp$$

$$I = \frac{E}{R} \frac{Lp + R}{Lp^2 + Rp + \frac{1}{C}} = \frac{E}{R} \frac{p + \frac{R}{L}}{p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC}}$$

On pose :  $2B = \frac{R}{L}$  ,  $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$

$$\omega^2 = \omega_0^2 - B^2$$

$$I(p) = \frac{E}{R} \frac{p + 2B}{[(p+B)^2 + \omega^2]} = \frac{E}{R} \frac{(p+2B)}{(p+\beta-j\omega)(p+\beta+j\omega)} \frac{2j\omega}{2j\omega}$$

$$i(t) = \frac{E}{R} \frac{1}{2j\omega} \left[ (B - \beta + j\omega) e^{(s - j\omega)t} + (B + j\omega - 2\beta) e^{-s - j\omega t} \right]$$

$$i(t) = \frac{E e^{-\beta t}}{2j\omega R} \left[ j\omega (e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) + B (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) \right]$$

$$i(t) = \frac{E e^{-\beta t}}{2j\omega R} \left[ 2j\omega \cos \omega t + B \sin \omega t \right]$$

$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\beta t} \left[ \cos \omega t + \frac{B}{\omega} \sin \omega t \right]$$

$$\frac{B}{\omega} = \tan \theta \Rightarrow i(t) = \frac{E}{R} e^{-\beta t} \left[ \cos \omega t + \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \sin \omega t \right]$$

$$i(t) = \frac{E e^{-\beta t}}{R \cos \theta} \cos(\omega t - \theta)$$

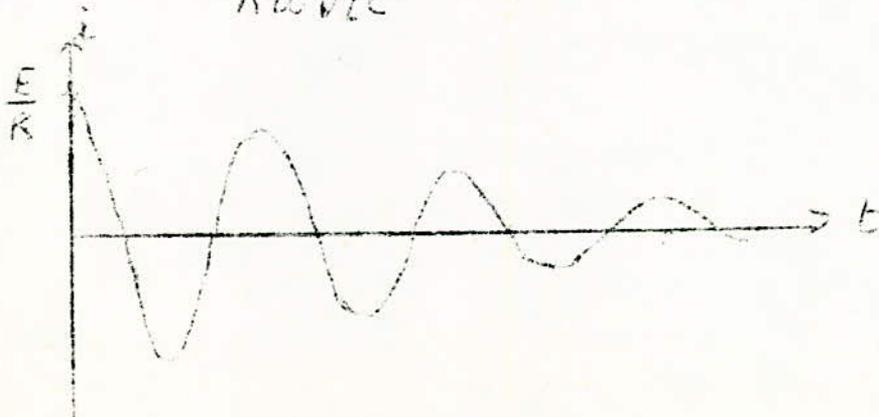
$$\tan \theta = \frac{B}{\omega} = \frac{R}{2L\omega} \quad ; \quad \tan \theta = \frac{B}{\omega} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta}}{\cos \theta}$$

$$\cos \theta = x$$

$$Bx - \omega \sqrt{1 - x^2} = 0$$

$$x^2 (B^2 + \omega^2) = \omega^2 \quad ; \quad x = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = \omega \sqrt{LC}$$

$$i(t) = \frac{E e^{-\beta t}}{R \omega \sqrt{LC}} \cos(\omega t - \theta)$$



$$V_c(p) = \frac{I}{Cp} = \frac{E}{RC} \frac{p + R/L}{p(p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC})} = \frac{E}{RC} \left[ \frac{A}{p} + \frac{-(p+E)}{p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC}} \right]$$

$$Ap^2 + \frac{AR}{L}p + \frac{A}{LC} - p^2 - pB = \frac{p}{RC} - \frac{1}{LC}$$

$$A - 1 = 0 \Rightarrow A = 1$$

$$\frac{R}{L} - B = \frac{1}{RC} \Rightarrow B = \frac{R}{L} - \frac{1}{RC}$$

$$V_c(p) = E \left[ \frac{1}{p} - \frac{p + \frac{R}{L} - \frac{1}{RC}}{p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC}} \right] = \frac{E}{p} \frac{p^2 + \frac{R}{L}p - \frac{1}{RC}}{p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC}}$$

$$\Rightarrow V_c(s) = E - \frac{E}{2j\omega} \left[ \left( \frac{R}{L} - \frac{1}{RC} - s + j\omega \right) e^{-(s-j\omega)t} + \left( s + j\omega - \frac{R}{L} + \frac{1}{RC} \right) e^{-s t} \right]$$

$$V_c(t) = E - E e^{-\frac{R}{L}t} \left[ \cos \omega t + \left( \frac{R}{L} - \frac{1}{RC} \right) \frac{1}{\omega} \sin \omega t \right]$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{B - \frac{1}{RC}}{\omega} = \frac{\frac{R}{L} - \frac{1}{RC} - \frac{1}{RC}}{\omega} = \frac{R}{2L\omega} - \frac{1}{RC\omega}$$

$$V_c(t) = E - \frac{E e^{-\frac{R}{L}t}}{\cos \varphi} \cos(\omega t - \varphi)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{R}{2L\omega} - \frac{1}{RC\omega} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}, \quad \cos \varphi = X$$

$$X \left( \frac{R}{2L\omega} - \frac{1}{RC\omega} \right) = \sqrt{1 - X^2}$$

$$X = \omega \sqrt{\frac{4R^2L^2C^2}{4L^2C^2 + 4L^2}} \quad ; \quad R^2C^2 \ll 4L^2$$

$$X = \cos \varphi = \omega RC$$

$$V_c(t) = E \left[ 1 - \frac{e^{-\beta t}}{\omega RC} \cos(\omega t - \varphi) \right]$$

$V_c(t)$  est extréumum si  $\frac{dV_c}{dt} = 0$  ou  $v(t) = 0$

$$\text{donc } \cos(\omega t - \theta) = 0 \Rightarrow t = \frac{\frac{\pi}{2} + k\pi + \theta}{\omega}$$

En reportant dans  $V_c(t)$ , on trouve :

$$V_{c \max} = E \left[ 1 - \frac{e^{-\beta t}}{\omega RC} \cos\left(\frac{\pi}{2} + k\pi + \theta - \varphi\right) \right]$$

$$V_c(t) = E \left[ 1 \pm \frac{e^{-\beta t}}{\omega RC} \sin(\varphi - \theta) \right]$$

$$\sin(\varphi - \theta) = -\omega \sqrt{LC}$$

Les extréumums se trouvent sur la courbe suivante:

$$V_{c \max} = E \left[ 1 \pm \frac{e^{-\beta t}}{\omega RC} \omega \sqrt{LC} \right] = E \left[ 1 \pm \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} e^{-\beta t} \right]$$

Le premier maximum est obtenu à

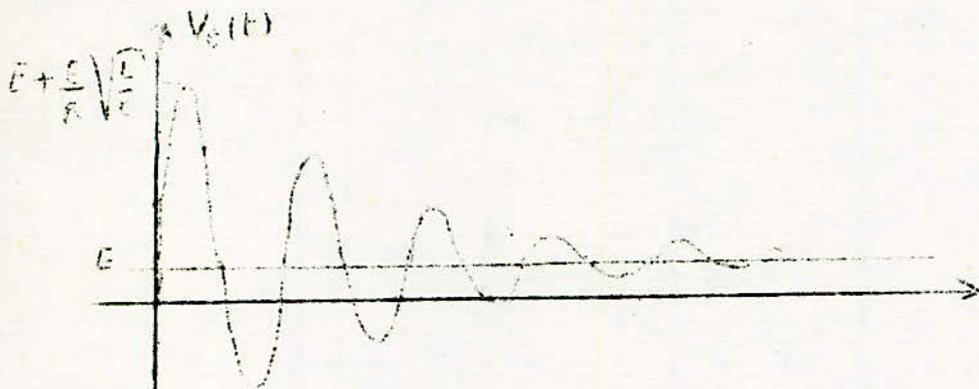
$$V_{c \max} = E \left[ 1 + \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} e^{-\frac{\pi - \theta}{\omega} \cdot \frac{R}{L}} \right], \cos \theta = \omega \sqrt{LC} < 1$$

Application numérique :

$$L = 7 \cdot 10^{-3}, \quad R = 3 \Omega, \quad C = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} = \sqrt{\frac{1}{11 \cdot 10^{-10}} - \frac{9}{4 \cdot 49 \cdot 10^{-6}}} = 2,4 \cdot 10^4 \text{ rad/s}$$

$$V_{c \max} = 12 \left[ 1 + \frac{1}{3} \sqrt{\frac{11 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-7}}} e^{-\frac{11 \cdot 10^{-3}}{2,4 \cdot 10^4 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}} \right] = 670 \text{ volt} + 12 \text{ V} = 682$$



### 3) Etude de la tension induite aux bornes du primaire

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} = L e^{-\beta t} \left[ \frac{E}{R \omega \sqrt{LC}} \cos(\omega t - \theta) - \frac{\omega L E}{R \omega \sqrt{LC}} \sin(\omega t - \theta) \right]$$

$$V_L(t) = e^{-\beta t} \left[ -\frac{E}{\omega \sqrt{LC}} \cos(\omega t - \theta) - \frac{L E}{R \sqrt{LC}} \sin(\omega t - \theta) \right]$$

$$V_L(t) = e^{-\beta t} \left[ \frac{E}{\omega \sqrt{LC}} (\cos \omega t \cos \theta - \sin \omega t \sin \theta) - \frac{L E}{R \sqrt{LC}} (\sin \omega t \cos \theta + \cos \omega t \sin \theta) \right]$$

En remplaçant  $\cos \theta$  et  $\sin \theta$  par leurs valeurs, on obtient:

$$V_L(t) = e^{-\beta t} \cos \omega t \left[ -\frac{E}{R} \right] + e^{-\beta t} \sin \omega t \left[ -\frac{E R}{2L \omega} - \frac{L E \omega}{R} \right]$$

$$\frac{E R}{2L \omega} \ll \frac{L L \omega}{R}, \quad \frac{E}{L} \cos \omega t \text{ négligeable devant}$$

$$\frac{L E \omega \sin \omega t}{R}$$

$$V_L(t) = -\frac{L E \omega}{R} \sin \omega t$$

La tension induite atteint son maximum au sommet de la première alternance des oscillations, au bout de  $t = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{L}{C}}$

et l'étincelle jaillit entre les pointes de la bougie.

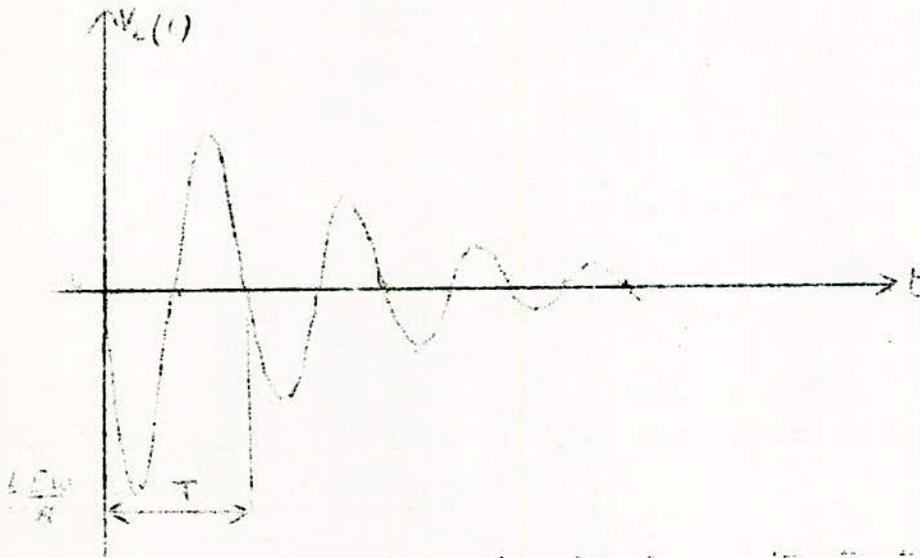
Application numérique:

$$V_{L \text{ max}} = \frac{L E \omega}{R} ; \omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$V_{\text{max}} = \frac{E}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 670 \text{ V}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \approx 65 \text{ MHz}$$

$$V_L(t) \approx - \frac{L E \omega}{R} e^{-\beta t} \sin \omega t$$

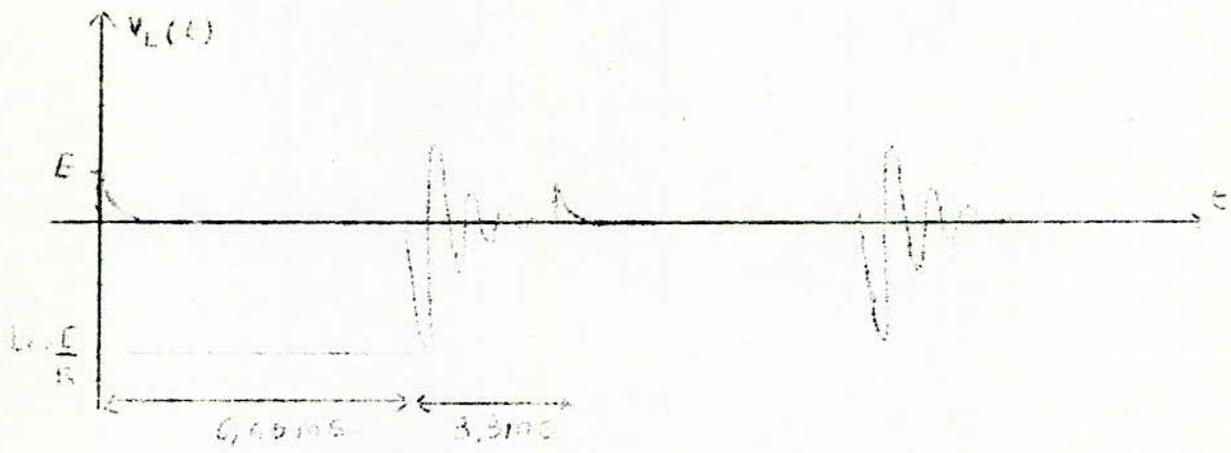
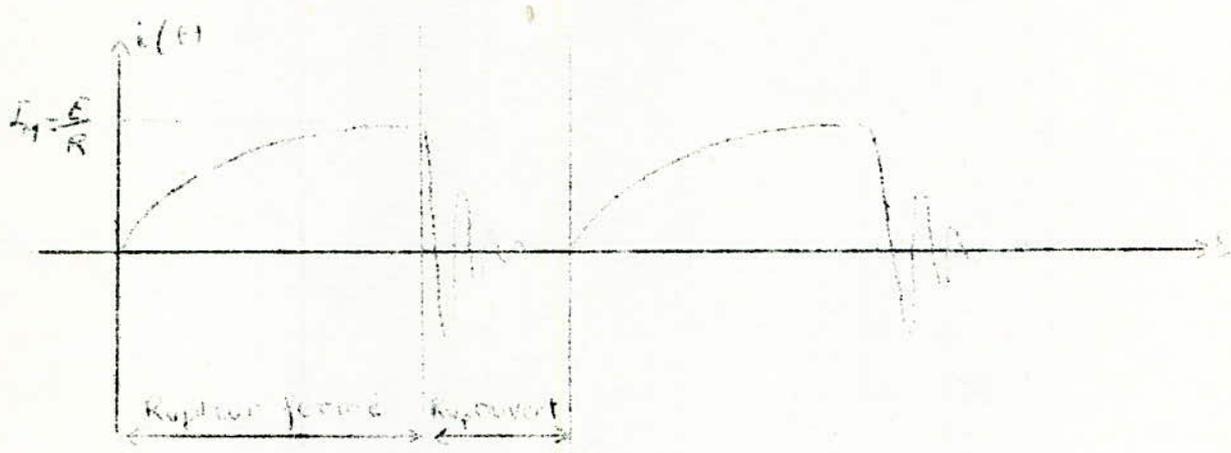


Quand le rupteur s'ouvre, le courant n'aura atteint qu'une fraction de la valeur maximale  $I_M = E/R$  ;  $I = a I_M$  avec  $a < 1$ .

Aux vitesses élevées,  $a$  diminue, donc  $I$  diminue aussi et par conséquent, l'amplitude maximale de la tension induite sera plus faible ( $V_L = a L \omega E/R$ ).

La tension induite au secondaire dépend non seulement du rapport de transformation qui varie de 40 à 100 mais aussi de la vitesse du moteur.

$$\text{De même } V_{\text{MAX}} = E \left[ 1 + \frac{a}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} e^{-\frac{\pi \cdot S}{\omega}} \cdot \frac{R}{2L} \right]$$



FORMES DE COURANT ET TENSION AU PRIMAIRE DE LA BOBINE POUR UNE VITESSE DU MOTEUR  $N=3000$  tr/mn

Le système classique a l'avantage d'être simple mais il présente un certain nombre d'inconvénients

- L'énergie emmagasinée diminue aux vitesses de rotation élevées et avec les batteries à tension faible
- Le rupteur effectue une coupure sur un circuit inductif; il coupe un courant de plusieurs ampères (E/R) les vis platinees sont donc progressivement détruites; l'écartement entre les vis qui est de l'ordre de 0,4mm n'est plus respecté et le bon fonctionnement du moteur exige que les vis soient changées tous les 10.000 à 15.000km.
- D'autre part la durée de coupure du circuit dépend de l'ensemble bobine-condensateur et l'énergie emmagasinée dépend de l'inductance  $L$  et du temps dont dispose le courant pour s'établir donc la précision de la durée de l'étincelle est insuffisante pour répondre aux mesures anti pollution.

On donc pensé à intercaler un transistor commandé par le rupteur, celui-ci ne coupe plus qu'un courant de quelques mA; le contact demeure presque intact

### D) ALLUMAGE TRANSISTORE :

Quand un transistor est bloqué, il se comporte comme un interrupteur ouvert; toute la tension de la batterie est appliquée entre son collecteur et son émetteur.

Quand un transistor est saturé, il se comporte comme un interrupteur fermé; la tension entre son émetteur et son collecteur est de l'ordre de 1 V.

Le rôle du rupteur sera uniquement de faire passer le transistor du régime de saturation au régime de blocage.

Le circuit le plus simple qu'on puisse concevoir est celui de la figure 3.

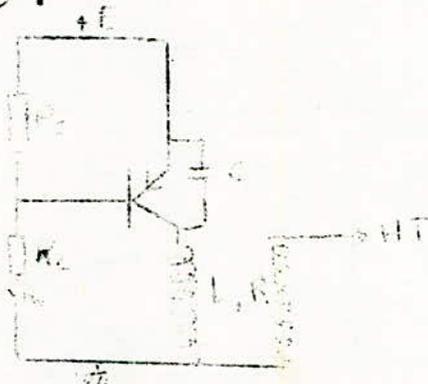


figure 3

#### a) Rupteur fermé:

Le transistor est polarisé par le pont de base  $R_1, R_2$  :

la base est à un potentiel négatif par rapport à l'émetteur

Le transistor est conducteur. Il sera saturé si  $I_b > I_{CS} / \beta_{min}$

$I_b$  = courant de base

$I_{CS}$  = courant de saturation de collecteur ;

$\beta_{min}$  = gain minimal en courant ;

#### b) Rupteur ouvert:

La base n'est plus alimentée; Le transistor est bloqué.

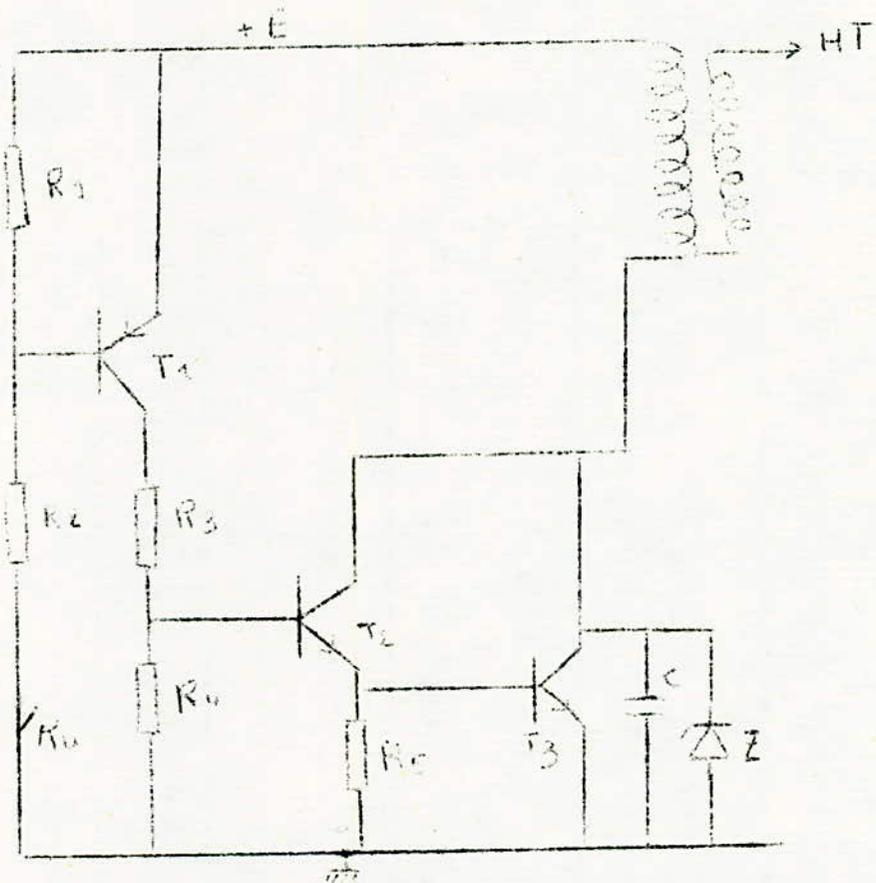


figure4:SYSTEME UTILISANT DES TRANSISTORS BASSE TENSION

$T_1: 2N2906 ; T_2: 2N5051 ; T_3: 2N5631 .$

$R_1=1000ohms ; R_2=820 OHMS ; R_3=82ohms ; R_4: 470ohms ; R_5= 2000ohms .$

$C=0,1micro\ farad . Z=IN3344 .$

La figure 4 nous donne le schéma d'un allumage électronique qui a été parmi les premiers utilisés.

a) Rupteur fermé :

$T_1$  reçoit par  $R_2$  un courant de base suffisant pour le saturer et il permet à la base de  $T_2$  d'être alimentée à travers  $T_1$  et  $R_3$  par un courant de base suffisant pour le saturer. Le courant d'émetteur de  $T_2$  alimente la base de  $T_3$ .  $T_3$  est saturé.  $V_{CE3}$  est faible, le condensateur est court-circuité.

b) Rupteur ouvert :

La base de  $T_1$  cesse d'être alimentée et  $T_1$  est bloqué, ce qui a pour effet de couper le circuit de base de  $T_2$  et de le bloquer.  $T_2$  étant bloqué, le courant de base de  $T_3$  est nul et  $T_3$  est bloqué. Le montage n'est pas intéressant car les transistors utilisés supportent 25 V au maximum entre collecteur et émetteur. Or la surtension appliquée par le primaire aux bornes du transistor interrupteur peut dépasser cette valeur ( $V_{Cmax}$ ): le transistor claque. On le protège en plaçant à ses bornes une diode Zener. Une autre solution consiste à placer

3 transistors en série (figure 5)

Les 3 transistors en série peuvent supporter ensemble une tension de  $100 \text{ V} \cdot 3 = 300 \text{ V}$

Toujours pour protéger le dispositif contre une surtension on place aux bornes du transistor interrupteur 2 diodes

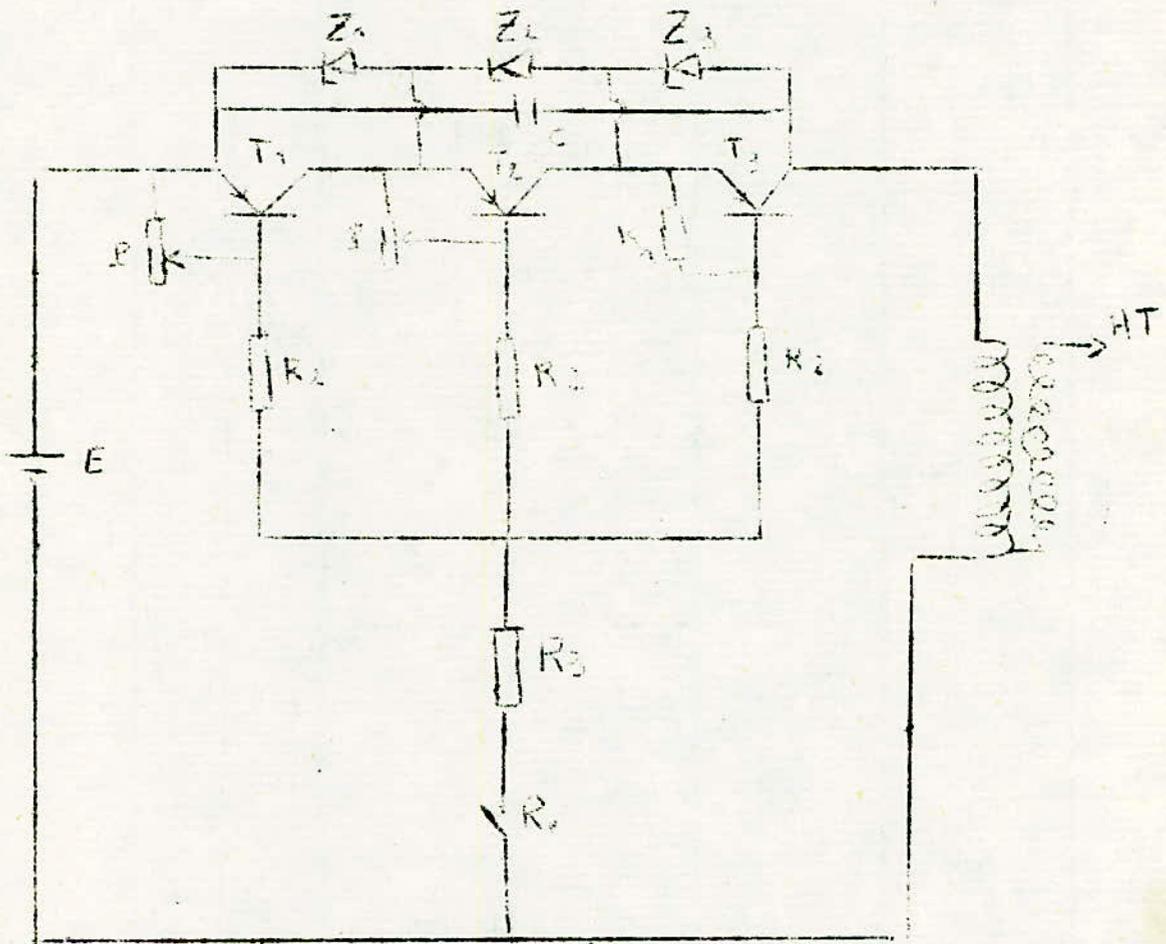


figure 5 : Système utilisant 3 transistors basse tension en serie

$T_1, T_2, T_3$  : 2N 1358 A

$R_1 = 2 \cdot 10^3$  ohms ;  $R_2 = 4,7 \cdot 10^3$  ohms ;  $R_3 = 13,5$  ohms ;  $R_4 = 5$  ohms .

$C = 0,2$  microfarad .

$Z_1, Z_2, Z_3$  : 1N3007 B

de 128 V chacune et une de 23,5 V.

Il est nécessaire de répartir la tension également entre les 3 transistors à l'aide des résistances variables P. Celle de T<sub>3</sub> est fixe.

Quand le contact est établi au rupteur, les bases des transistors sont alimentées à travers la résistance commune R<sub>3</sub> et à travers les résistances individuelles R<sub>2</sub>. Une bobine classique a une résistance de 2,5 à 3,3 ohms. Si r=3 ohms, le courant maximal de collecteur sera de  $I_M = I_2/3 = 4 \text{ A}$ .

On choisit donc des transistors qui peuvent supporter un courant de 4 A.

Pour que les transistors entrent en saturation, il faut que  $I_b > I_{CS} / \beta_{min}$ .  $\beta_{min} = 25$ .  $I_b > \frac{4}{25} = 160 \text{ mA}$

Les transistors sont saturés, la tension entre collecteur et émetteur est de l'ordre de 0,3 V et la tension entre émetteur et base est de l'ordre de 0,65 V.

Le premier transistor a sa base à :

$$12 \text{ V} - 0,65 \text{ V} = 11,35 \text{ V}$$

Le deuxième transistor a sa base à :

$$12 \text{ V} - 0,3 \text{ V} - 0,65 \text{ V} = 11 \text{ V}$$

Le troisième transistor a sa base à :

$$12 \text{ V} - (0,3 \text{ V} + 0,3 \text{ V} + 0,65 \text{ V}) = 10,7 \text{ V}$$

Si on considère que la chute de tension aux bornes de R<sub>3</sub> est égale à 9,8V, ON AURA :

$$R_2 I_{b1} = 10,5 - 9,3 = 1,2 \text{ V}$$

On choisit  $I_{b1} = 340 \text{ mA}$

$$R_2 = \frac{1,2}{0,34} = 3,5 \Omega$$

$$* R_1 I_{b2} = 11 - 9,3 = 1,7 \text{ V}$$

$$I_{b2} = \frac{1,7}{340} = 5 \text{ mA}$$

$$* P_1 I_{b3} = 10,2 - 9,3 = 0,9 \text{ V}$$

$$I_{b3} = \frac{0,9}{340} = 2,6 \text{ mA}$$

$$* R_3 (I_{b1} + I_{b2} + I_{b3}) = 9,3 \text{ V}, \quad R_3 = \frac{9,3}{0,34 + 0,005 + 0,0026} = 43,5 \Omega$$

Pour  $R_2 = 5 \text{ ohms}$  et  $R_3 = 13,4 \text{ ohms}$ , les courants de base  $I_{b1}$ ,  $I_{b2}$ ,  $I_{b3}$  dépassent largement les 160 mA nécessaires pour amener les transistors au seuil de la saturation.

Dans le calcul des courants de bases, on a négligé le courant circulant dans  $R_1$  et dans les résistances P.

A la saturation  $V_{be} = 0,65 \text{ V}$ , on choisit  $R_1$  et P assez grandes de façon que l'hypothèse soit justifiée.

$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega, \quad I_{b3} = \frac{0,05}{2 \cdot 10^3} = 0,25 \text{ mA}$$

Les valeurs des deux autres résistances variables sont du même ordre de grandeur que  $R_1$ , donc  $i_{b1}$ ,  $I_{b2}$  sont voisins de  $i_{b3}$ . Les courants  $i_{b1}$ ,  $i_{b2}$ ,  $i_{b3}$  sont négligeables devant  $I_{b1}$ ,  $I_{b2}$ ,  $I_{b3}$ .

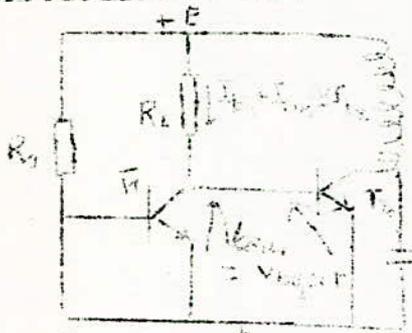
Ce système à 3 transistors est critique; il existe des systèmes plus simples utilisant des composants actuels.

En effet, il existe actuellement des transistors capables de supporter le passage d'un courant supérieur à 4 A

pendant qu'ils sont conducteurs et de supporter d'autre part une tension de 400 à 550V quand ils sont bloqués .

D) ALLUMAGE TRANSISTORE A HAUTE TENSION : (figure 6)

a) Rupteur fermé :



$I_{co}$  = courant de fuite  
 $V_{CEO}$  = tension collecteur-émetteur lorsque  $T_1$  est bloqué

La base de  $T_1$  est à la masse,  $T_1$  est bloqué.  $T_2$  est alimenté en courant de base par  $R_2$ ; il est saturé et il permet au courant de la batterie de saturer le circuit magnétique de la bobine .

$T_2$  est un transistor haute tension de type BU II2 .

Il peut supporter un courant de collecteur de 10 A .

pour qu'il entre en saturation, il faut que :  $I_{b2} \geq I_{CS2} / \beta_{cs2}$

Pour une bobine classique 12 V, le courant maximum de collecteur est de 4 A, on choisit donc  $I_{CS2} = 4$  A;  $\beta_{cs2} = 7$

$$I_{b2} \geq \frac{4}{7} = 0,57 \text{ A} \quad I_b = 0,6 \text{ A}$$

$$E = R_2 \cdot I_{b2} + V_{CEsat} = R_2 \cdot I_b + V_{CEsat}$$

$T_2$  est saturé si sa tension  $V_{be}$  est supérieure à 0,35 V (seuil de conduction pour un transistor au silicium)

$$V_{CEsat} = V_{CEsat} = 0,6 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{12 - 0,6}{0,6} = 19 \Omega$$

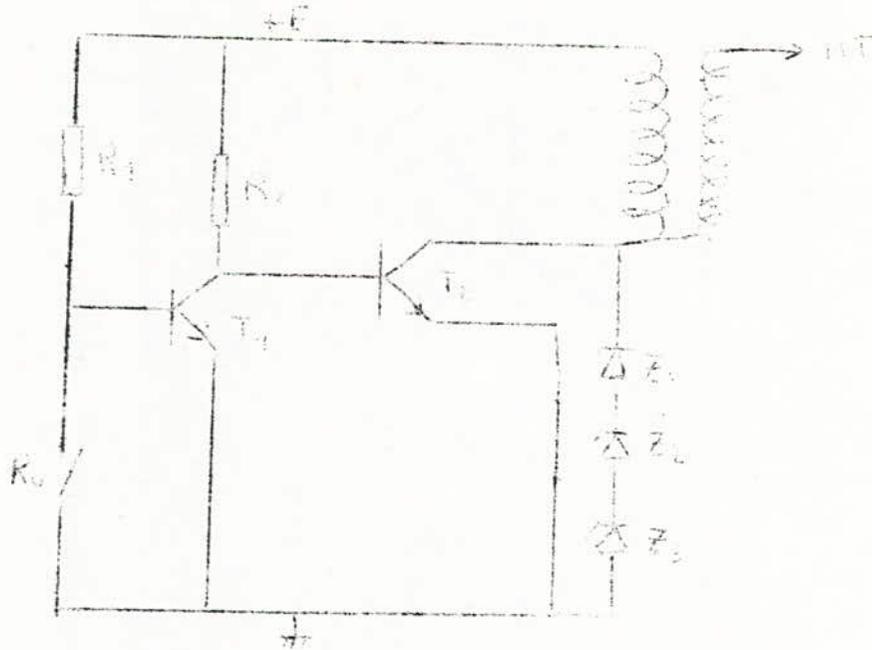


Figure 6 : Système utilisant un transistor haute tension

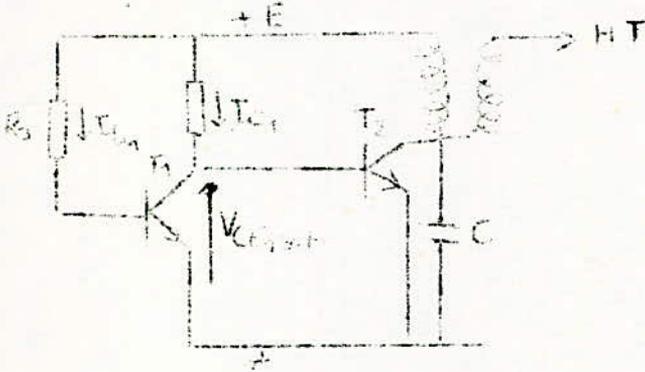
$T_1$ : 2N3055;  $T_2$ : BU112;

$R_1 = 380$  ohms;  $R_2 = 19$  ohms.

$Z_1, Z_2, Z_3$ : 1N988B

b) Rupteur ouvert :

La tension de base de  $T_1$  est positive. Si  $I_{b1} = I_{CS1}$ ,  $T_1$  est saturé ;  $V_{CE1}$  est faible ; comme  $V_{CE1} = V_{BE2}$  si  $V_{CE1}$  est suffisamment basse,  $T_2$  est bloqué.



$$R_2 I_{b1} + V_{BE2} = E = R_1 I_{c1} = V_{CE1}$$

$T_2$  est bloqué si  $V_{BE2} < 0,35V$

$$\text{Soit } V_{BE2} = V_{CE1} = 0,28V$$

$$I_{c1} = \frac{12 - 0,28}{46} = 0,26A$$

Les transistors de puissance ont une tension de saturation  $V_{CES}$  de l'ordre de 1V pour un courant maximal qu'ils peuvent couper.

Comme  $V_{CES}$  est proportionnel au courant de collecteur si on veut que  $V_{CES1}$  soit égale à 0,28V pour un courant de 0,26A, il faudra choisir un transistor qui puisse couper un courant

$$I = \frac{0,28 \times 1}{0,28} = 1A$$

On choisira pour  $T_1$  un transistor de type 2N3055 qui peut couper un courant maximum de 15A.

Le courant maximal de collecteur étant de 15A, la tension de saturation correspondant à un courant de collecteur de 0,7A sera plus faible ce qui assure le blocage de  $T_2$ . Le courant initialement égal à 0,7A variera très légèrement (équation I)

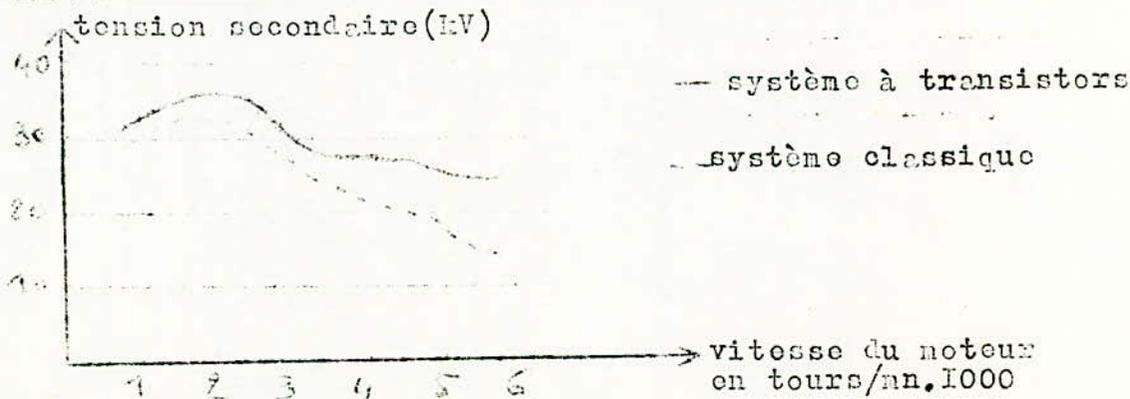
$$I_{D1} = \frac{I_{cs}}{\beta_{min}} = \frac{0,6}{20} = 0,030A$$

$$R_1 I_{D1} + V_{be_{sat}} = E \quad V_{be_{sat}} = 0,6V$$

$$R_1 = \frac{E - V_{be_{sat}}}{I_{D1}} = \frac{12 - 0,6}{0,030} = 380 \Omega$$

Une amélioration peut être apportée aux systèmes à transistors: on diminue l'inductance de la bobine au primaire. La constante de temps  $\frac{L}{R}$  diminue et de ce fait la valeur limite du courant et par suite la valeur limite de la tension sont plus vite atteintes aux vitesses de rotation élevées.

COMPARAISON ENTRE LA TENSION DE SORTIE D'UN  
SYSTEME CLASSIQUE ET D'UN SYSTEME A TRANSISTORS



### INCONVENIENT DU SYSTEME A TRANSISTORS

Au démarrage la tension de la batterie tombe à IOV, le rupteur est fermé, les transistors E sont saturés; la tension aux bornes du transistor interrupteur diminue d'environ 1 V la tension aux bornes de la bobine; on a donc un démarrage moins facile qu'avec les autres systèmes (classique et à décharge du condensateur)

### AVANTAGES DU SYSTEME A TRANSISTORS :

L'avantage principal reside dans le fait que le rupteur, effectuant une coupure de courant tres faible, a une durée de vie tres longue.

D'autre part, avec les systèmes à transistors, on a obtenu une tension secondaire élevée et presque constante aux vitesses de rotation élevées.

### D) SYSTEME A DECHARGE DU CONDENSATEUR /:

Ces systèmes comprennent :

— Un système de découpage de la tension de la batterie qui la transforme en créneaux .

— Un système élévateur de tension qui permet d'obtenir une tension variable en forme de créneaux dont la tension de crête atteint de 300 V à 400 V .

— Un système redresseur transformant cette tension en tension continue débitant sur un condensateur qui va se charger à la tension de crête .

— Un système de décharge du condensateur dans la bobine quand le rupteur s'ouvre .

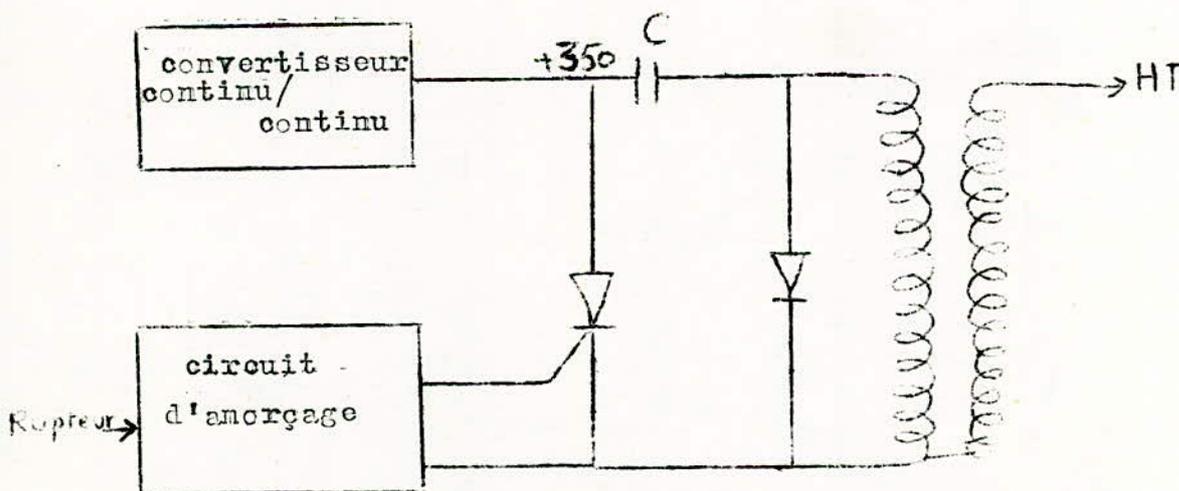


figure 7: SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME A DECHARGE  
DU CONDENSATEUR

### I) Principe de fonctionnement :

Le condensateur C est chargé à une tension continue de 350 V puis brusquement déchargé dans le primaire de la bobine d'allumage à travers un thyristor. L'impulsion qui rend le thyristor conducteur est délivrée par un circuit d'amorçage commandé par le rupteur. La diode laisse passer l'extra courant de rupture qui apparaît dans le primaire de la bobine dès que le thyristor a déchargé le condensateur C et redient isolant; elle protège donc le dispositif contre une surtension, ce qui permet d'obtenir un arc aux bougies d'une durée de l'ordre de 100 microsecondes au lieu de quelques microsecondes seulement.

### II) ETUDE DU CONVERTISSEUR 12V → 350V (figure 8)

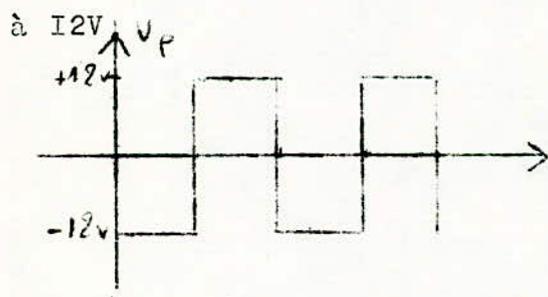
On utilise un dispositif à deux transistors et un transformateur.

Pour que le système démarre, il faut qu'il y ait une dissymétrie dans le montage. En effet il existe un léger léger déséquilibre entre les conductances des transistors. Supposons que lorsqu'on ferme le circuit,  $T_1$  débite plus que  $T_2$ . Le courant résultant est dirigé dans le sens du courant de collecteur de  $T_1$ . Ce courant va créer dans la moitié supérieure de l'enroulement P une tension induite qui tend à faire baisser le

potentiel de collecteur de  $T_1$ ; le courant de collecteur de  $T_1$  augmente. Comme la base de  $T_2$  est alimentée à partir du potentiel de collecteur de  $T_1$ , son potentiel diminue aussi. Le processus cumulatif continue jusqu'à ce que  $T_1$  soit complètement saturé et  $T_2$  bloqué.

Quand le circuit magnétique est saturé, le phénomène s'inverse.

En effet, une tension induite de sens inverse de la précédente va bloquer  $T_1$  et débloquer  $T_2$  dont le courant de collecteur va croître jusqu'à ce que le noyau magnétique soit saturé en sens inverse. Le cycle recommencera. Les deux transistors conduisent alternativement et la tension induite au primaire passe de  $+12\text{ V}$  à  $-12\text{ V}$  si la tension de la batterie est égale



En réalité si on tient compte des chutes de tension dans les enroulements et des tensions de saturation des transistors ( $V_{CEs}$ ) on aura en sortie une tension de  $-10\text{ V}$  à  $+10\text{ V}$ .

On choisit un transformateur ayant un rapport de transformation  $k=35$ . En sortie on aura des créniaux d'amplitude  $A=35 \cdot I_0 = 350$  V. Cette tension appliquée à un pont de diodes donnera une tension continue de 350V.

#### CHOIX DES TRANSISTORS T<sub>1</sub> ET T<sub>2</sub> :

En raison de la symétrie de l'onde rectangulaire à chaque transistor est appliquée, de façon périodique une tension inverse qui est égale à deux fois celle de la batterie à laquelle on peut ajouter les surtensions instantanées qui augmentent d'environ 20% la tension inverse que le transistor doit pouvoir supporter.

On devra donc choisir un type de transistor qui supporte au moins 2,4 fois la tension de la batterie cette dernière étant la valeur en fin de charge.

En charge la tension de la batterie peut atteindre 13,5V. Le transistor devra supporter au minimum une tension inverse de  $2,4 \cdot 13,5 \text{ V} = 31,68 \text{ V}$ .

L'intensité de courant de collecteur maximum ne peut être calculée exactement, car il faut tenir compte de plusieurs facteurs; telle que la puissance absorbée par la charge, puissance dissipée dans les enroulements dans les transistors mêmes.

Pour une marge de sécurité, on choisira un type

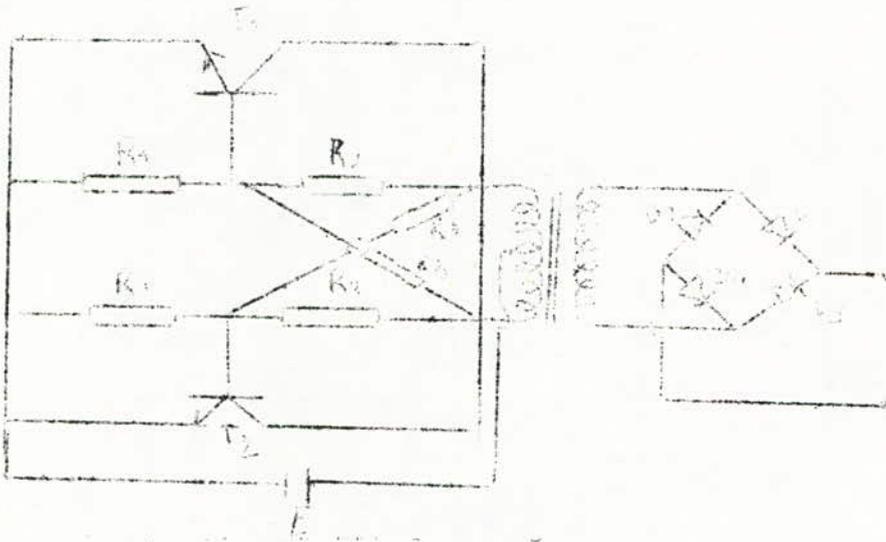


figure 8: Convertisseur 12V 350 V

$T_1, T_2 : 2N 3055$

$R_1 = 200 \text{ ohms}$

$R_2 = 100 \text{ ohms}$

$R_3 = 260 \text{ ohms}$

$D_1, D_2, D_3, D_4 : BY126$

de transistor supportant un courant de collecteur maximum supérieur à 10 ampères .

Les transistors de type 2N 3055 répondent à ces critères. Ils supportent un courant de collecteur maximal de 15 ampères et une tension inverse de 100V .

### III) ETUDE DU CIRCUIT D'AMORÇAGE : (figure 9)

Le circuit d'amorçage comprend un transistor commandé par le rupteur. Le transistor, à son tour commandera la mise en conduction du thyristor .

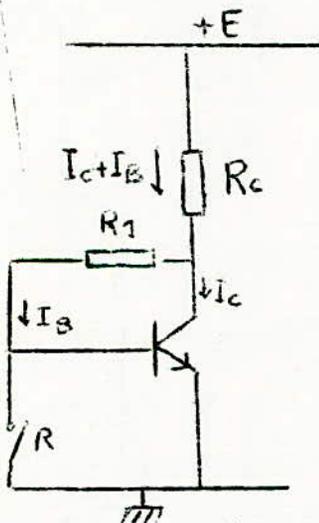


figure 9

a) Rupteur ouvert:

Le courant  $I_b$  et la base est à un potentiel positif

À la saturation  $E = R_c (I_{cs} + I_{bs}) + V_{CES}$

$$I_{bs} = \frac{I_{cs}}{\beta_{min}}$$

Le transistor utilisé est du type 2N1037 ..

Si on choisit  $R_c = 500$  ohms ; pour  $V_{CES} = 1V$  On a

$$E = V_{CEs} + R_c I_{Cs} + R_e \frac{I_{Cs}}{\beta_{min}}$$

$$I_{Cs} = \frac{E - V_{CEs}}{R_c + \frac{R_e}{\beta_{min}}} = \frac{11}{500 + \frac{500}{25}} = \frac{11}{520} \approx 21 \text{ mA}$$

D'autre part:

$$E = R_c (I_{Cs} + I_{Bs}) + R_1 I_{Bs} + V_{be \text{ sat}}$$

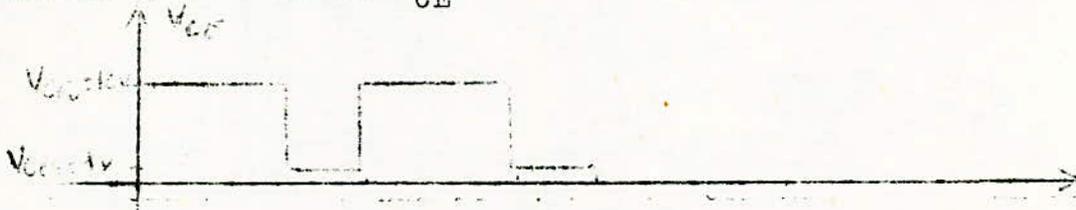
$$R_1 = \frac{E - R_c (I_{Cs} + I_{Bs}) - V_{be \text{ sat}}}{I_{Bs}}$$

$$V_{be \text{ sat}} = 0,6 \text{ V} \quad ; \quad R_1 = \frac{11 - 500 \left( 21 \cdot 10^{-3} + \frac{21}{25} \cdot 10^{-3} \right) - 0,6}{\frac{21}{25} \cdot 10^{-3}}$$

$$R_1 \approx 571 \Omega$$

b) Rupteur fermé:

La base du transistor est à la masse, le transistor est bloqué. La tension  $V_{CE}$  sera de la forme suivante:



Aux bornes du transistor, entre collecteur et émetteur on place un condensateur  $C_I$ .

Lorsque  $V_{CE} = 12 \text{ V}$ ,  $C_I$  se charge; il se déchargera quand le transistor sera saturé, soit pour  $V_{CE} = V_{CES} = 1 \text{ V}$ .

Rappel sur le fonctionnement du thyristor:

Le thyristor est un semi conducteur à trois jonctions qui comporte une anode, une cathode et une electrode supplémentaire appelée gachette.

Quand la gachette est en l'air ou au potentiel de la cathode, meme si l'anode est portée à un potentiel positif par rapport à la cathode, le thyristor n'entre en conduction.

On peut en rendant la gachette positive par rapport à la cathode ou ce qui revient au meme en injectant du courant  $I_G$  par la connexion de gachette commander l'amorçage du thyristor.

Les valeurs de tension anode-cathode d'amorçage  $V_{AKO}$  dependent du courant  $I_G$  : plus celui-ci est élevé plus  $V_{AKO}$  est faible.

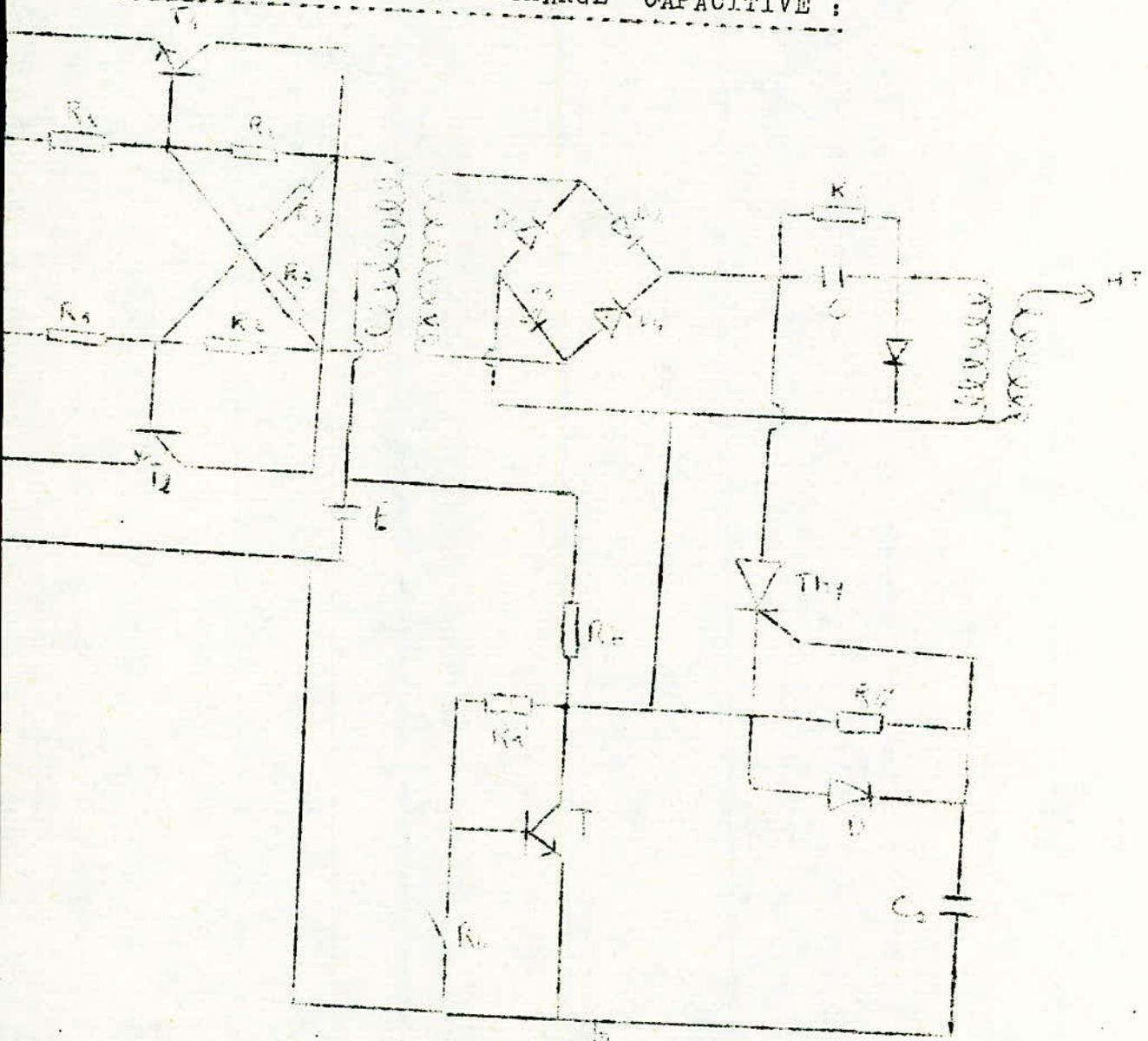
Pour le type de thyristor 2NI778, la tension  $V_{AKO}$  est égale à 350V pour une tension de commande gachette-cathode de 9V.

Pour que la charge se fasse rapidement, on met en serie avec  $C_I$  une diode ; elle empeche qu'une tension inverse ne soit appliquée entre gachette et cathode.

Par contre  $C_I$  se déchargera en partie sur une résistance  $R_5$  placée en parallèle sur la diode D entre la gachette et la cathode.



figure 10: SYSTEME A DECHARGE CAPACITIVE :



T: 2N 1037 ;  $T_1$  ,  $T_2$  : 2N 3055 ; THY: 2N 1778

$R_1 = 200$  ohms ;  $R_2 = 100$  ohms ;  $R_3 = 260$  ohms ;  $R'_1 = 570$  ohms ;

$R_0 = 500$  ohms ;  $R_6 = 350 \cdot 10^3$  ohms ;  $R_5 = 150$  ohms ;

$C = 1$  micro farad ;  $C_1 = 0,5$  microfarad .

$D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D$  : BY126

déclencher la mise en conduction du thyristor.

Il existe entre l'anode et la cathode une chute de tension très faible environ de IV. Pratiquement toute la tension aux bornes de C se retrouve aux bornes du primaire de la bobine.

La tension au primaire, multipliée par le rapport de transformation, se retrouvera au secondaire.

#### Remarques

L'énergie emmagasinée pendant la fermeture du rupteur est égale à  $W = \frac{1}{2} CV^2$

On choisit C=1 micro farad

$$W = \frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 = 61 \text{ mJ}$$

Cette énergie transmise à la bobine dépasse largement celle qui est nécessaire pour produire un allumage correct et qui est de l'ordre de 30 millijoules.

La décharge de C est rapide car la résistance de la bobine est faible, mais comme elle se fait dans un circuit inductif, il se produit des oscillations amorties.

lorsque le moteur tourne à une vitesse  $N=6000\text{tr/mn}$ ,  
 la fréquence d'allumage est  $N'=200$  allumages/seconde  
 la période est  $T=1/200=5\text{ms}$ .

Le rupteur est fermé pendant les  $2/3$  de la période,  
 donc pendant  $2/3 \cdot 5\text{ms} = 3,3\text{ms}$ .

Or le condensateur se charge à 99% pendant  $5RC$  soit  
 $5 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0,5\text{ms}$  si la résistance maximale de charge  
 est de  $100\text{ohms}$ .

Le condensateur a donc largement le temps de se  
 charger même à régime élevé.

La résistance  $R_6$  sert à décharger  $C$  quand le moteur  
 est arrêté.

#### IV) AVANTAGES DU SYSTEMES A THYRISTOR :

L'allumage électronique à décharge capacitive garantit  
 la complète combustion du mélange air-essence dans  
 les cylindres, à n'importe quelle condition de fonction-  
 nement. Ceci est possible du fait qu'une énergie  
 élevée presque constante est garantie à tous les  
 régimes de rotation du moteur, tandis que dans  
 l'allumage traditionnel, cette énergie tend à décroître  
 avec l'augmentation du nombre de tours. Il permet  
 d'autre part de réduire les gaz d'échappement nocifs

Dans ce système, (c'est même que celui à transistors) les vis platinées du rupteur ont pour seule fonction la commande du circuit d'amorçage du thyristor et en conséquence d'interrompre un courant très inférieur à celui que l'on observe dans le cas de l'allumage classique donc la durée de vie des vis platinées est plus longue.

La décharge capacitive est beaucoup plus rapide que la décharge inductive de l'allumage traditionnel. Cette rapidité garantit une tension très élevée au capable de provoquer l'étincelle entre les bougies même si celles-ci sont encrassées ou usées. La décharge s'effectuant en un temps très court, les électrodes sont elles-mêmes moins sollicitées et en conséquence leur durée est prolongée.

La bobine n'est parcourue par du courant que pendant un temps très court; quand le condensateur C se charge et se décharge; alors que dans le système à coupure par transistor ou classique un courant moyen intense parcourt la bobine pendant les  $2/3$  du cycle. Le courant débité par la batterie est donc directement proportionnel au nombre de tours du moteur.

## SYSTEMES D'ALLUMAGE SANS RUPTEUR

Jusqu'ici c'était le rupteur qui commandait l'allumage. Les systèmes d'allumage électronique décrits précédemment utilisant les contacts du rupteur pour produire le signal de commande réduisent l'usure des contacts par suite du courant et de la tension plus faibles qui leur sont appliqués.

Mais l'usure mécanique qui persiste dérègle le point d'allumage, on peut observer ainsi des dispersions atteignant 7° ( voir Injection chapitre II)

Pour pallier à cet inconvénient, on peut utiliser les capteurs optoelectroniques ou les systèmes magnétiques.

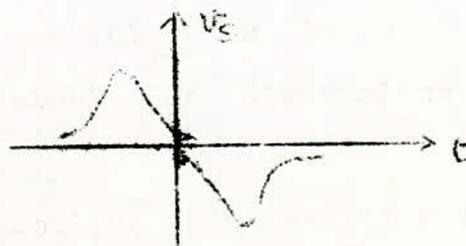
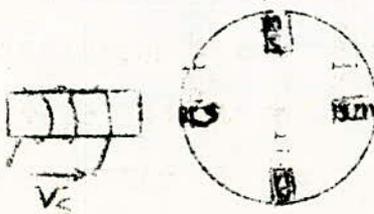
Les premiers ont l'inconvénient d'être sensibles aux poussières et d'employer des composants sujets à l'usure, ils sont donc peu utilisés.

### 1) Les capteurs magnétiques

Le capteur magnétique comporte des aimants fixés sur un volant entraîné par le vilebrequin.

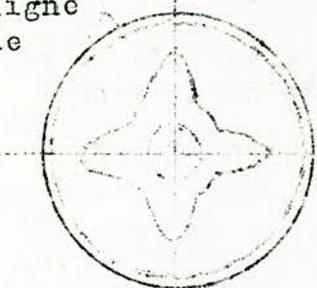
Le nombre d'aimants est égale au nombre de cylindres.

Les aimants défilent devant une bobine fixe dans laquelle ils induisent des tensions alternatives suivant le principe des alternateurs.



Le circuit magnétique peut être conçu pour n'utiliser qu'un seul aimant permanent mais à condition de disposer d'un rotor en étoile pour obtenir les variations de flux dans la bobine aux positions désirées.

première ligne  
de commande



l'inconvénient de ce système est l'amplitude du signal de sortie est fonction de la vitesse de rotation du rotor et tend vers 0 aux très faibles vitesses du rotor.

Mais on peut toujours concevoir un circuit de telle façon que le déclenchement ait lieu pour une valeur limite suffisamment basse.

#### II) Capteurs optoelectroniques :

Une source lumineuse complétée par une lentille produit un faisceau perpendiculaire au plan de rotation d'un disque; celui-ci est entraîné par le vilebrequin et comprend

fontes.

phototransistor

En tournant, le disque coupe et rétablit le faisceau lumineux, ce qui bloque et rend conducteur le photo-

transistor. Avec ce système une grande précision peut être obtenue.



diode électro  
luminescente  
ou lampe

### L'ALLUMAGE PIEZOELECTRIQUE

Il met en oeuvre la piézoélectricité d'un cristal synthétique appelé PZT car il est composé de plomb zirconium et de titane. Lors de sa fabrication il est chauffé jusqu'à sa fusion et polarisé par une haute tension pour devenir piézoélectrique. Après refroidissement, on obtient des tiges de céramique de 8,4mm de diamètre qu'il suffit de comprimer et de décompresser alternativement avec une force d'environ 36daN pour obtenir des tensions de 20 à 30KV. Ces efforts sont effectués par un doigt mécanique commandé par le vilebrequin à la façon dont est actionné la membrane de la pompe à essence classique. La tension est pratiquement indépendante de la vitesse du moteur, ce qui facilite les démarrages par temps froid, même si les bougies sont encrassées mal réglées ou en mauvais état.

Ce dispositif est étanche compact et léger. Sa durée de vie est supérieure à celle du rupteur d'une tête d'allumage classique. Ce système élimine la bobine d'allumage, le rupteur et le condensateur ainsi que les semi-conducteurs des systèmes d'allumage électronique.

## L'INJECTION ELECTRONIQUE

La carburation est l'ensemble des procédés permettant de réaliser à partir d'air et d'un combustible un mélange gazeux susceptible d'évoluer dans les cylindres du moteur à allumage <sup>commandé</sup>. Il existe deux groupes de solutions utilisées actuellement :

— La carburation par giclage

— L'injection d'essence

Dans les carburateurs, même les plus modernes, on n'est pas sûr de conserver en cours de route la proportion idéale d'air et d'essence. C'est pourquoi il est nécessaire de prévoir des mélanges plutôt riches pour satisfaire tous les régimes : le carburateur consomme plus d'essence qu'il ne devrait.

De plus le carburateur a des défauts, entre autres :

+ Quand la température est trop élevée, l'essence bout et passe à l'état de vapeur; faute d'être alimenté, le moteur s'arrête.

+ Par temps froid ?, lorsqu'on traverse une zone humide le gicleur se bouche de neige artificielle.

On voit donc que le carburateur ne peut pas être parfait à tous les régimes, à toutes les charges, à toutes les températures, à toutes les altitudes.

On a fait appel à la technique de carburation interne; seul l'air est aspiré; l'essence elle est injectée

sous pression dans la chambre de combustion.

Avec cette alimentation par injection, pour chaque vitesse et suivant la charge imposée au moteur, la richesse du mélange correspond à l'optimum de la courbe de consommation spécifique.

Il y a deux sortes d'injection :

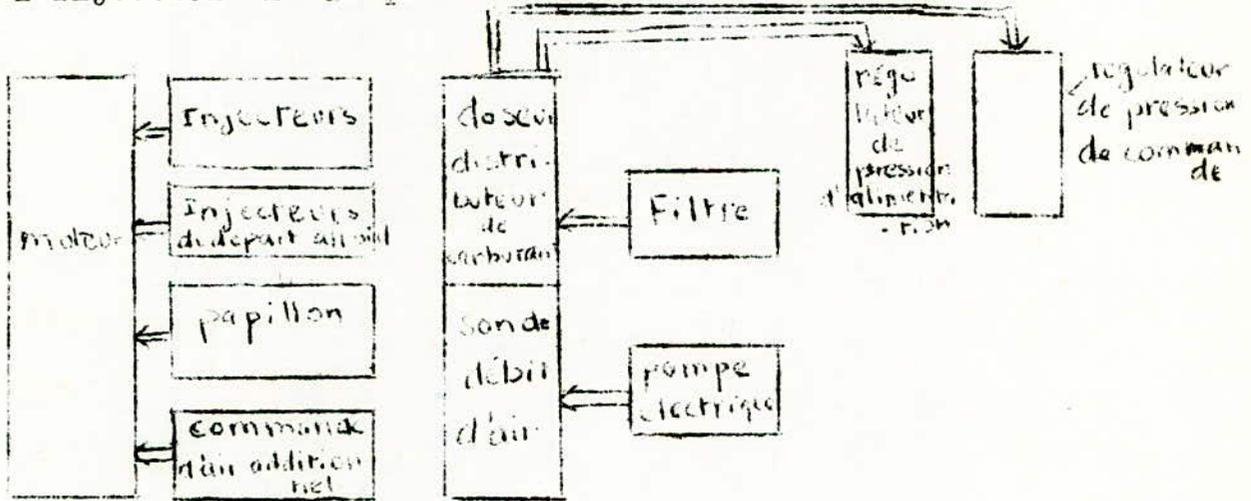
— L'injection mécanique

— L'injection électronique

L'injection mécanique met en jeu une pompe d'injection comportant autant de pistons qu'il y a de cylindres-moteurs : ces pistons refoulent l'essence à haute pression dans les injecteurs placés à l'entrée des soupapes. Un injecteur est affecté à chaque cylindre. On dispose pour doser le mélange air-essence de deux robinets, l'un commandant le débit d'air, l'autre d'essence ; il est indispensable de conjuguer la manœuvre d'un robinet avec celle de l'autre. La quantité d'essence à tout moment doit varier automatiquement suivant que le conducteur appuie plus ou moins sur la pédale d'accélérateur, celle-ci commandant un papillon placé dans la tuyère d'arrivée d'air aux cylindres : les variations de dépression de la tuyère par le jeu d'une capsule, commandent une sorte de balance (doscur) chargée de doser la quantité d'essence envoyée par la pompe à haute

pression vers le distributeur. Ce dernier répartit l'essence vers les injecteurs.

L'injection mécanique se schématise ainsi



L'injection mécanique ne peut pas tenir compte de plusieurs paramètres. Par contre l'injection électronique permet de résoudre ce problème mais au prix d'une complexité plus grande que l'allumage du fait qu'elle doit tenir compte simultanément de paramètres plus nombreux.

#### L'injection électronique

Elle fait appel à un calculateur qui reçoit en permanence des informations sur les différents paramètres de fonctionnement du moteur: vitesse de rotation, charge, pression atmosphérique, température de refroidissement du moteur: il les interprète pour donner en sortie des impulsions de courant qui commandent la durée

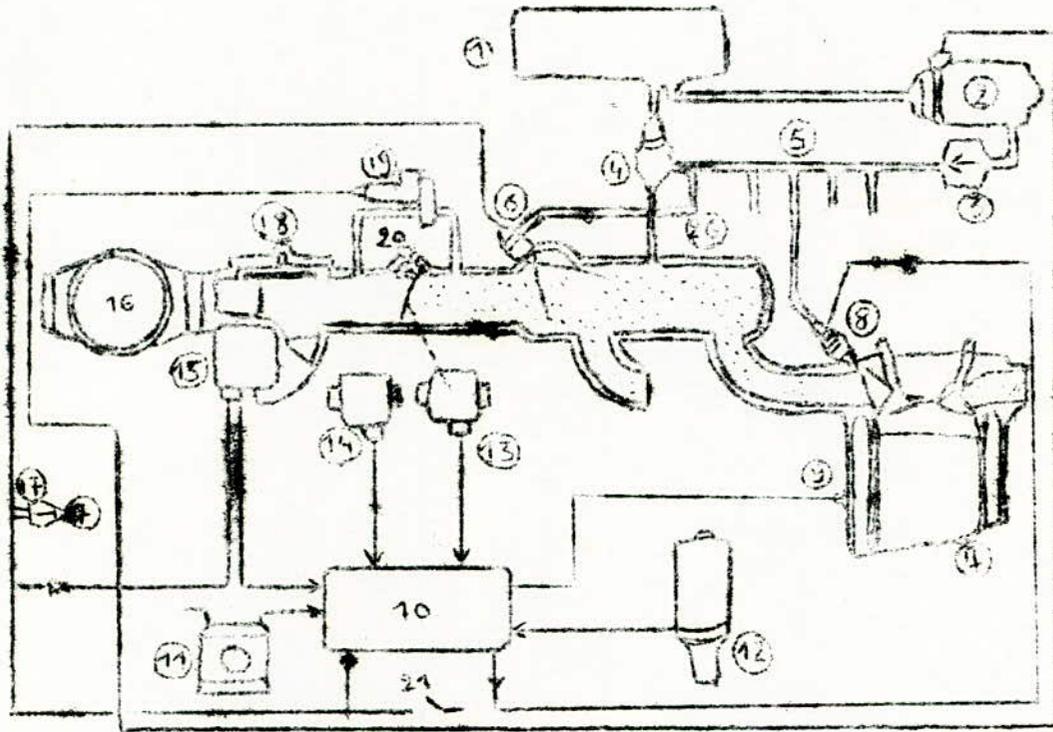


figure I: SYSTEME D'INJECTION ELECTRONIQUE

1-Reservoir de carburant  
 2-Pompe à carburant  
 3-Filtre à carburant  
 4-Régulateur de pression  
 5-Rampes d'injection vers les injecteurs  
 6-Injecteur de départ à froid  
 7-Bloc-moteur  
 8-Injecteur  
 9-Sonde de température  
 10-Appareil de commande  
 11-Batterie  
 12-Contact du rupteur dans l'allumeur

13-Contacteur de papillon  
 14-Correcteur altimétrique  
 15-Sonde de débit d'air  
 16-Filtre à air  
 17-Thermocontact temporisé  
 18-By-pass de la sonde de débit d'air pour le réglage du mélange  
 19-Commande d'air additionnel  
 20-Vis de réglage du ralenti  
 21-Commutateur d'allumage-dénarrage  
 26-Conduite de commande

48'

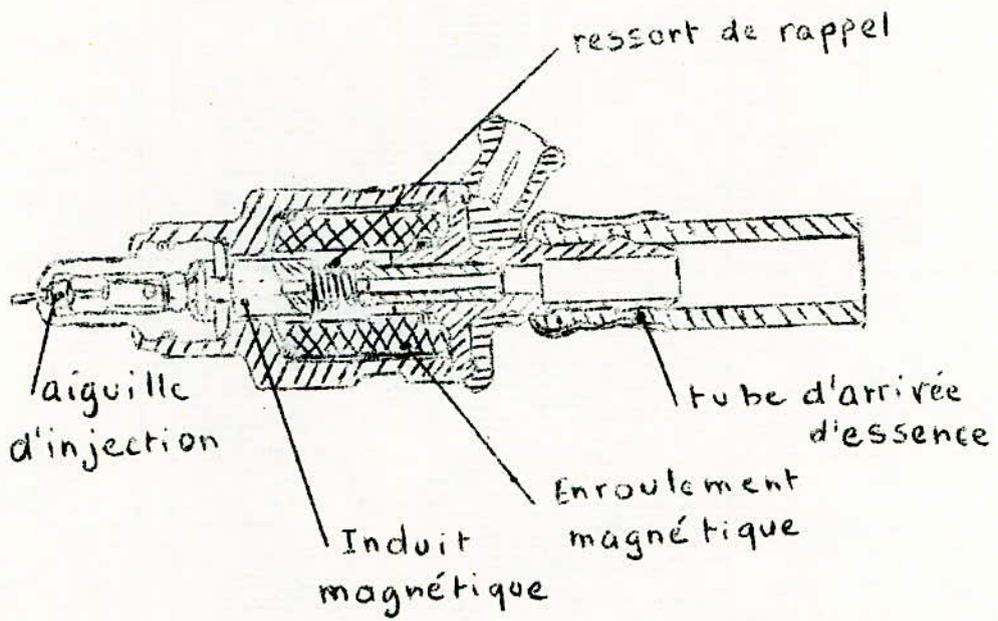


Fig I' L'INJECTEUR ELECTROMAGNETIQUE

d'ouverture des injecteurs ( 2,5 ms au ralenti à 9,5 ms en pleine charge) afin que le moteur reçoive la quantité d'essence nécessaire à son bon fonctionnement.

### I) FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME : (figure I)

L'air provenant du filtre à air passe à travers la sonde de débit d'air et parvient au répartiteur d'admission dont chaque tuyau conduit à un cylindre .

A chaque cylindre est adjoint un injecteur électromagnétique disposé à proximité de la soupape d'admission. Parallèlement au papillon se trouve un conduit fournissant de l'air additionnel pour le moteur encore froid. Lorsque le moteur a atteint sa température normale de fonctionnement, le réglage d'air de ralenti se fait par un by-pass qui contourne également le papillon.

A basse température, le moteur a besoin d'une quantité supplémentaire de carburant : un injecteur de départ à froid injecte du carburant tant que la température du moteur est inférieure à un seuil : au dessus de ce seuil de température, un thermocontact ferme le circuit de carburant alimentant l'injection de départ à froid. Une résistance à coefficient de température négatif faisant office de sonde de température est montée dans la chemise du bloc-moteur : lorsque la température de

celle-ci croit, la quantité de carburant supplémentaire diminue et s'annule lorsque la température de fonctionnement normale est atteinte.

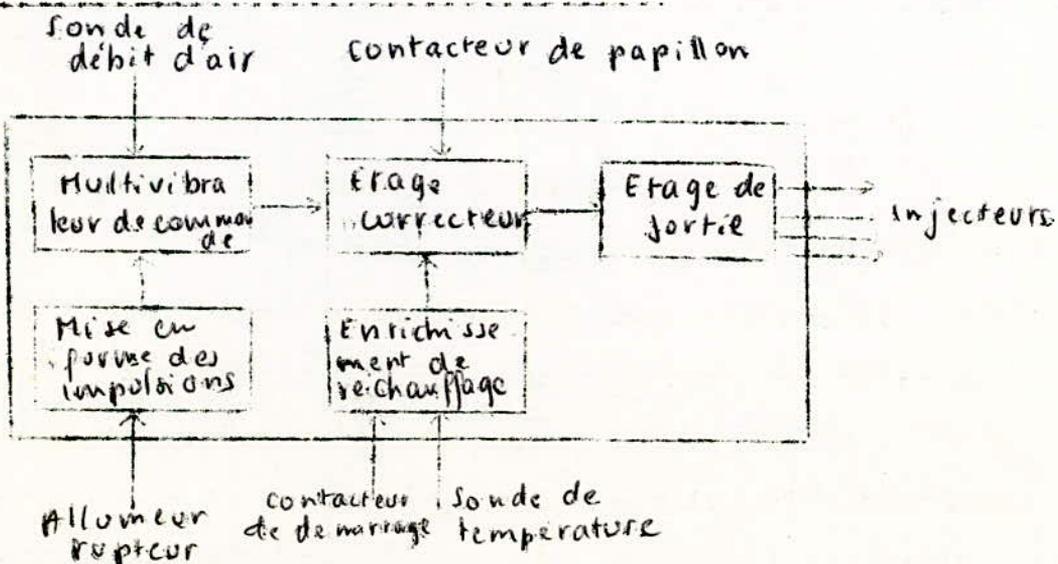
Une pompe multicellulaire aspire le carburant du réservoir et engendre la pression d'injection.

Dans la conduite de refoulement, un régulateur la pression du carburant à une pression relative constante de 2,5 à 3 bars. La référence pour le régulateur de pression est celle du collecteur d'admission.

La commande de la quantité de carburant injectée résulte essentiellement de la mesure du débit d'air aspiré par le moteur et la vitesse de celui-ci.

En plus de ces deux paramètres, il faudra tenir compte de la pleine charge et de la période de réchauffage. Le signal initial sera donc corrigé.

Schéma synoptique du calculateur



II) resume du fonctionnement du moteur;

Soit un cylindre schématisé par la figure 4, il est muni de deux orifices A et E. Il comprend un piston P relié à un arbre moteur O et par une bielle PM articulée sur une manivelle OM. Le piston se déplace entre deux positions extrêmes dites point mort haut (PMH) et point mort bas (PMB).



Premier temps:

L'orifice A est ouvert, mettant en communication le cylindre avec le mélange gazeux préparé pour y être introduit.

L'orifice E est fermé. Le piston se déplace de haut en bas, ce qui correspond à un demi tour du moteur (180°). Cette descente provoque une dépression et par conséquent une aspiration des gaz.

Lorsque la bielle atteint la position B (PMB), on ferme l'orifice A :

Deuxième temps :

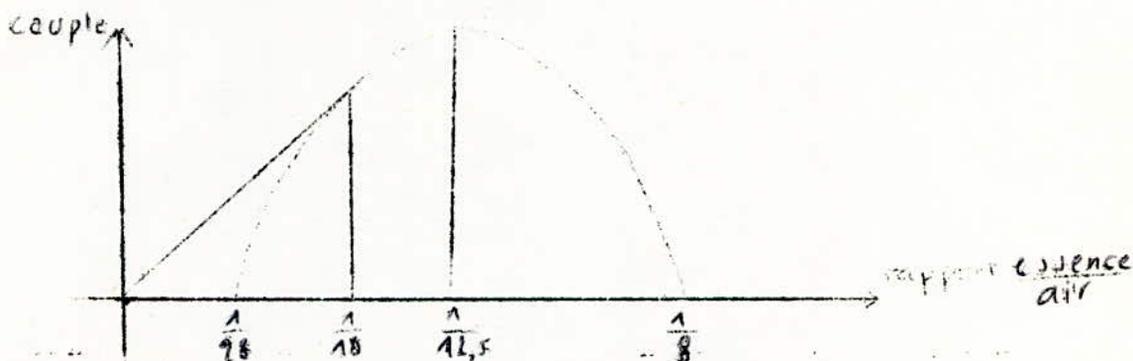
Il y a une compression des gaz. Les orifices A et E sont fermés, le piston remonte, le point H va en H.



Un mélange pauvre contenant plus de 28 g d'air pour 1 g d'essence ne s'enflamme pas.

En dessous de cette proportion au fur et à mesure que la quantité d'essence augmente, le couple (donc la puissance) augmente d'abord très rapidement puis plus lentement pour passer par un maximum et décroître ensuite.

Un mélange riche contenant moins de 8 g d'air pour 1 g d'essence ne s'enflamme pas.



Le dosage de rendement maximum varie très légèrement quand on modifie la vitesse du moteur.

### III) MISE EN FORME DES IMPULSIONS DE L'ALLUMEUR :

On a vu (chapitre allumage) que lorsque le rupteur est fermé la tension à ses bornes est nulle.

Lorsqu'il est ouvert, la tension à ses bornes est sinusoidale amortie de haute fréquence ( $\omega$ ). Elle se stabilise très vite à la tension de batterie  $E$ .

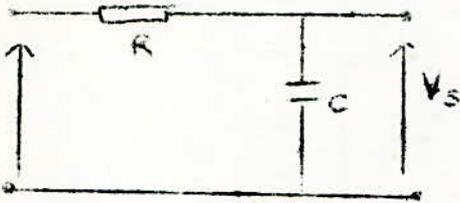
Il est donc nécessaire de mettre en forme ce signal avant de l'introduire dans le calculateur.

On doit d'abord supprimer le signal  <sup>$\omega$</sup>  de fréquence. Pour

On utilise un filtre passe-bas

1°) Calcul du filtre passe-bas:

On utilise le circuit suivant



$$G = \frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

$$* R\omega C \gg 1 \quad |G| = \frac{1}{R\omega C}$$

$$|G|_{dB} = 20 \log \frac{1}{R\omega C} = -20 \log R\omega C$$

$$\omega \rightarrow 2\omega \quad ; \quad |G|_{dB} \rightarrow |G|_{dB} - 6 \text{ dB}$$

La courbe de  $|G|_{dB}$  en fonction de  $\log \omega$  est une droite de pente  $-6 \text{ dB/octave}$ .

$$\omega = \frac{1}{RC} = \omega_1 \Rightarrow G = \frac{1}{j+1} \Rightarrow |G|_{dB} = -20 \log \sqrt{2} = -3 \text{ dB}$$

$$* R\omega C \ll 1 \Rightarrow |G| = 1 \quad |G|_{dB} = 0$$

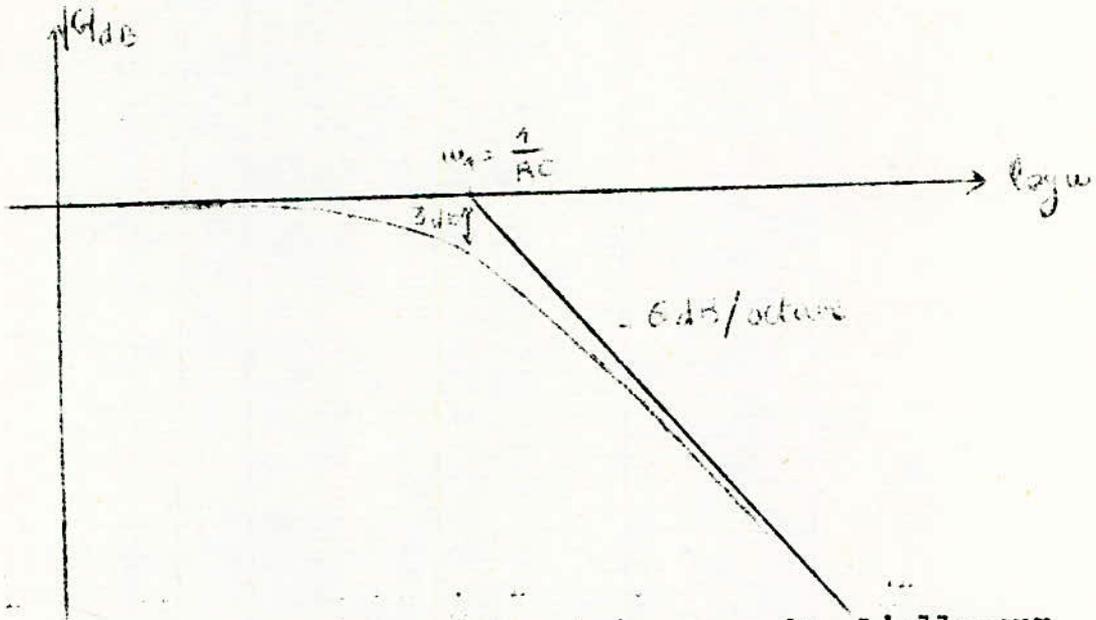
$\omega'$  = pulsation du signal sinusoidal amorti =  $2,4 \times 10^4 \text{ rad/s}$ .

On choisit donc R et C de telle façon que  $\omega' \gg \omega_1$

autre part, il ne faut pas supprimer le signal

rectangulaire de pulsation  $\omega'$

$$\frac{1}{RC} \gg \omega'_{\text{max}}$$



Soit  $N$  la vitesse du moteur, la fréquence de l'allumeur est égale à  $N' = 2N$ .

Si on considère que  $N_{max} = 6000 \text{ tr/mn} = 100 \text{ tr/s}$ .

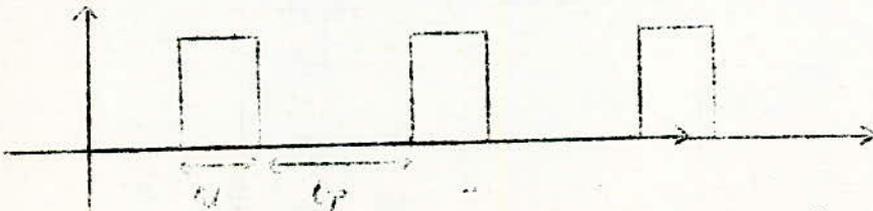
$N = 2N' = 200 \text{ hertz}$        $\omega_{max} = 2\pi N'_{max} = 1256 \text{ rad/s}$

Il faut que  $1256 \ll \frac{1}{RC} \ll 2,4 \cdot 10^4 \text{ rad/s}$

On choisit  $\frac{1}{RC} = 8 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$

Si  $R = 400 \Omega \Rightarrow C = 1,25 \text{ nF}$

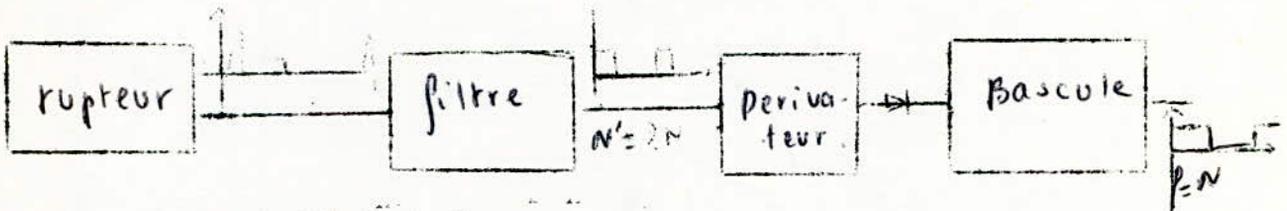
On obtient en sortie un signal en créneaux



$t_d = \frac{1}{2} t_p$  quelle que soit la vitesse du moteur, mais la période du signal varie, par suite  $t_d$  et  $t_p$  varient en constant dans le rapport.

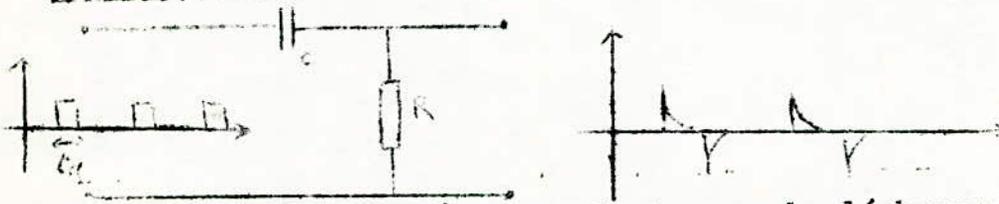
Les injecteurs sont montés en parallèle, ils reçoivent tous en même temps une impulsion. Pour que la combustion soit suffisamment régulière, la quantité de carburant requise pour un cycle de travail est injectée en deux fois. Il faudra donc diviser par deux la fréquence de l'allumeur.

Pour cela, on dérive le signal, les impulsions négatives sont supprimées, les impulsions positives attaqueront un multivibrateur bistable. La fréquence du signal de sortie est égale à la vitesse du moteur (en trs/s)



## 2°) Choix du multivibrateur bistable:

### a) Dérivation:



Il faut que  $t_d \text{ minimum} \gg 3\tau = 3RC$  = temps de décharge du condensateur

$$t_{d \text{ min}} = \frac{1}{3} T_{\text{min}}$$

$$T = \frac{1}{N'} = \frac{1}{2N} ; \quad N_{\text{max}} = 6000 \text{ tr/min} = 100 \text{ tr/s}$$

$$T_{\text{min}} = \frac{1}{200} = 5 \text{ ms} ; \quad t_{d \text{ min}} = \frac{1}{3} \frac{1}{200} = 1,66 \text{ ms}$$

$$t_{d \text{ min}} \gg 3RC$$

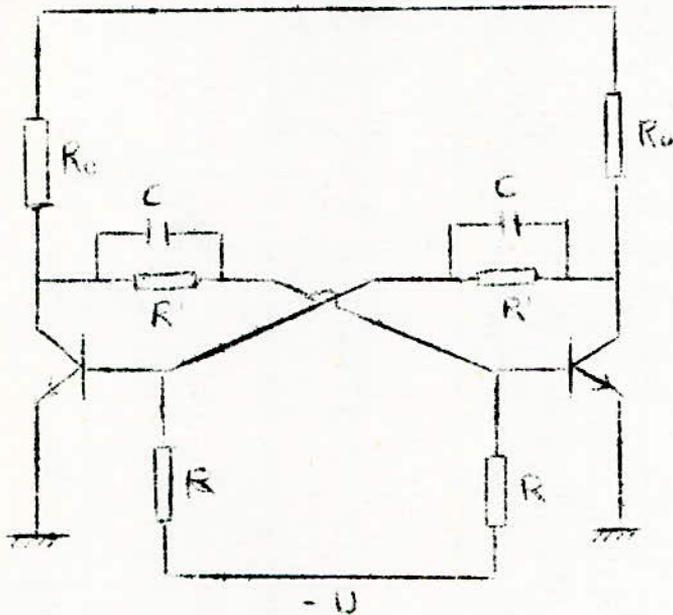
$$3RC \ll 1,66 \text{ ms}$$

$$RC \ll 0,55 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$R_E = 100 \Omega ; C = 100 \text{ nF} ; R_C = 10 \text{ k}\Omega$$

On place sur la sortie du dérivateur une diode pour supprimer les impulsions négatives.

b) Calcul des paramètres du multivibrateur



Les transistors sont du type 2N1012

$$I_{Cmax} = 50 \text{ mA} \quad V_{CEmax} = 22 \text{ V} \quad F_c = 3 \text{ MHz}$$

$$\beta_{moy} = 40 \quad \alpha = 0,25$$

$I_{co}$  = courant de fuite de collecteur = 50 nA

On se donne  $U_{sat} = 9 \text{ V}$  ,  $U_{sa} = a E$  ,  $E = 12 \text{ V}$

$$a = \frac{9}{12} = 0,75$$

\* Calcul de  $R_u$

$$20 I_{co} \leq I_{cs} \leq I_{Cmax}$$

$$20 \cdot 50 \cdot 10^{-9} \leq I_{cs} \leq 50 \text{ mA}$$

$$I_{mA} \leq I_{cs} \leq 50 \text{ mA}$$

$$I_{cs} = 20 \text{ mA} ; R_0 = \frac{E}{I_{cs}} = \frac{12}{20 \cdot 10^{-3}} = 600 \Omega$$

\* Calcul de R

$$R \leq \alpha \frac{U}{I_{cs}} = 0,75 \frac{0,2 \cdot 12}{50 \cdot 10^{-3}} = 36 \text{ k}\Omega$$

$$R = 500 \Omega$$

\* Calcul de R':

$$R' = R_0 \left( \frac{B_{\text{min}}}{N + B \frac{U}{E} \cdot \frac{K}{R_0}} - 1 \right) = 600 \left( \frac{400}{1,2 + 400 \cdot 0,2 \cdot \frac{500}{600}} - 1 \right)$$

$$R' = 600 \times 4,1 = 2460 \Omega$$

$$* U_s = \frac{R' E}{R' + R_0} = \frac{2460 \times 12}{2460 + 600} \approx 9,6 \text{ V}$$

$$* C_{\text{opt}} = \frac{1,5}{2\pi f_0 R_0} = \frac{1,5}{6,28 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 600} = 133 \text{ pF}$$

$$T_{\text{min}} = \frac{1}{0,7 f_0} > \frac{C R' R}{R' + R} ; C < \frac{R' + R}{R R' + 0,7 f_0}$$

$$C < \frac{0,5 \cdot 10^3 + 2,4 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 3 \cdot 10^6} = 1,15 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 1150 \text{ pF}$$

Verifications:

$$* E < V_{\text{ccmax}} ? \quad E = 12 \text{ V} ; V_{\text{ccmax}} = 22 \text{ V}$$

$$E < V_{\text{ccmax}}$$

$$* U_s > U_{sd} ? \quad U_s = 9,6 \text{ V} ; U_{sd} = 9 \text{ V} \Rightarrow U_{sd} < U_s$$

signal de sortie :



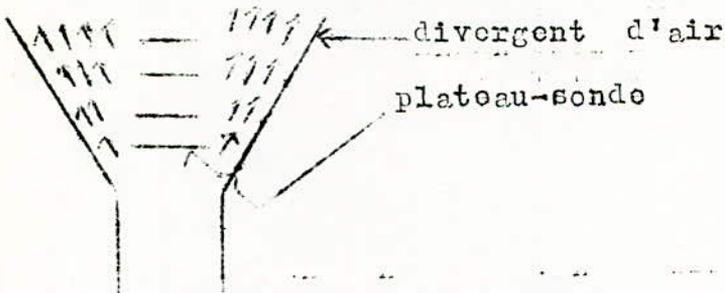
II) ETUDE DU SIGNAL DE DEBIT L'AIR :

La mesure du débit d'air se fait tout d'abord à l'aide d'un dispositif pneumatique ; puis ce débit est transformé en une tension.

Mesure du débit

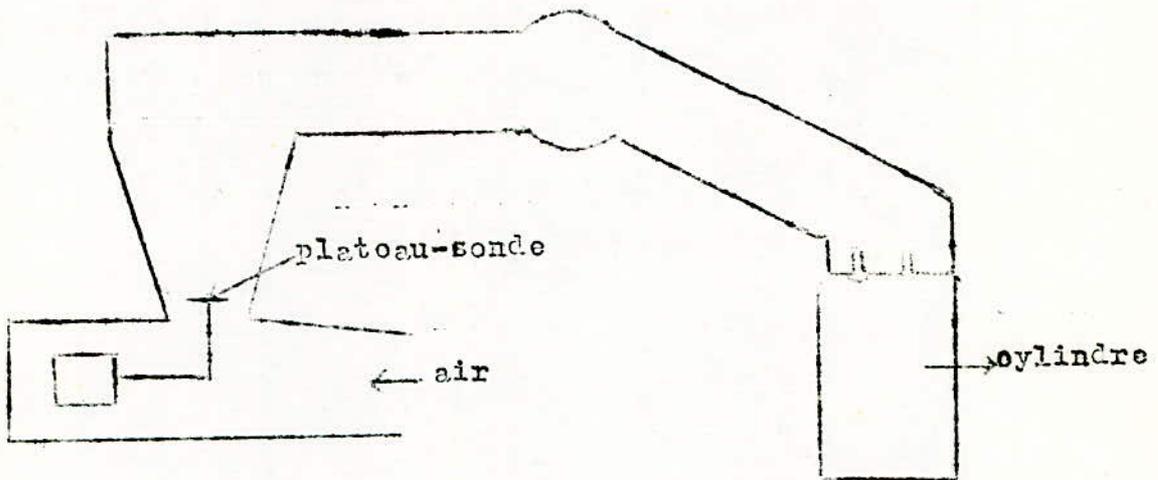
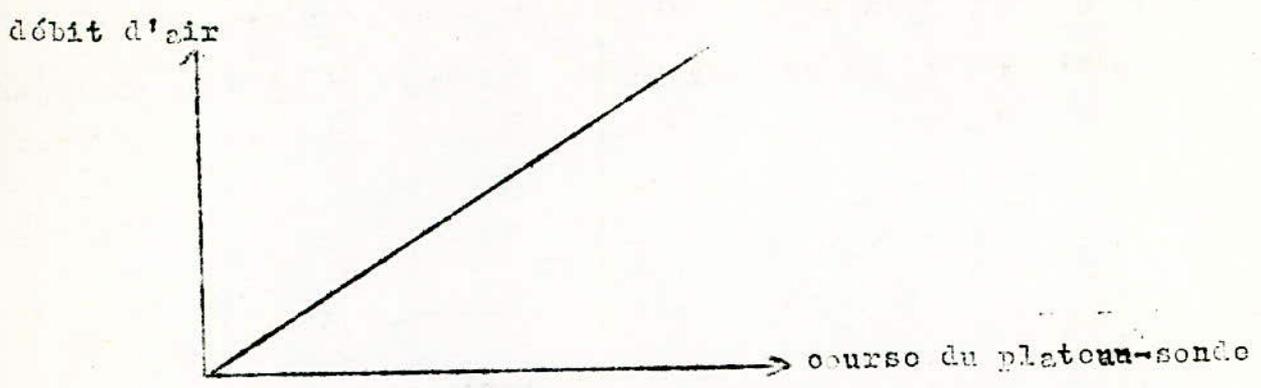
Principe :

La méthode utilisée pour la détermination de la quantité d'air s'apparente au principe des corps flottants.

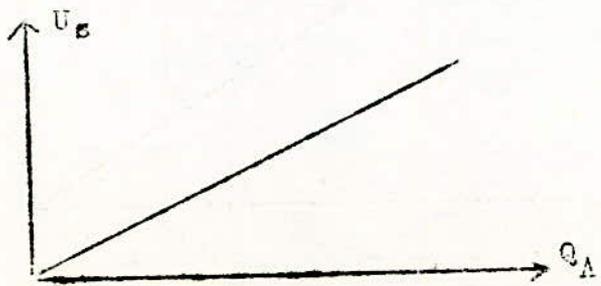


Lorsque le débit d'air augmente, la vitesse des filets d'air augmente également dans la section de passage initiale ; il s'ensuit que la poussée augmente et le plateau-sonde s'élève jusqu'à ce que la vitesse des filets d'air devienne constante.

La ~~rente~~ hauteur du plateau-sonde dans le divergent d'air est approximativement proportionnelle au débit d'air.



Le plateau actionne un potentiomètre réalisant une relation linéaire entre la tension de sortie et le débit d'air.



$$U_s = k Q_A$$

$Q_A$  = débit d'air en g/s.

### III-DETERMINATION DE LA QUANTITE D'ESSENCE DE BASE

Les injecteurs distribuent l'essence toujours à la même pression par rapport à celle de la tubulure d'admission de sorte que la quantité d'essence ne dépend que de la durée de l'ouverture.

L'instant où l'injection doit avoir lieu est déterminé conformément à la position de l'arbre à cames par le contact de déclenchement du rupteur. La durée de l'injection est déterminée tout d'abord par deux facteurs : le régime et la charge du moteur. Le régime est communiqué par le contact de déclenchement de l'allumeur. L'état de charge est déterminé par rapport au débit d'air qui traverse la tubulure d'admission (papillon plus ou moins ouvert).

On a vu que la période du signal d'injection est égal à  $\frac{I}{N}$

Si le débit d'air (g/s) est égal à  $Q_A$ , pendant une période la quantité d'air qui traverse la tubulure d'admission est  $q = Q_A \cdot T = \frac{Q_A}{N}$

Cette quantité d'air il correspond une quantité  $q'$  d'essence telle que  $q = k'q'$  ( $k' = 18$  pour un rendement maximum)  $q' = \frac{q}{k'} = \frac{Q_A}{N \cdot 18}$

Cette quantité d'essence est la quantité totale injectée pour une période  $\frac{I}{N}$  dans les (4) quatre cylindres.

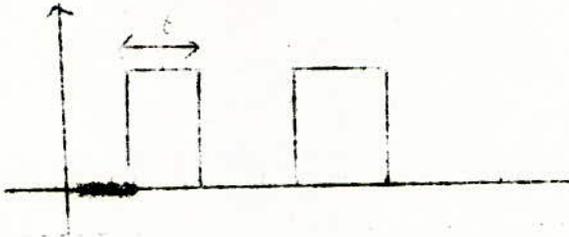
Pour un cylindre, il faudra une quantité :  $q_I = \frac{q}{4} = \frac{Q_A}{N} \cdot \frac{I}{18} \cdot \frac{I}{4}$

Si le débit d'essence est  $q_c$  (g/s), la quantité  $q_I$  sera délivrée

pendant un temps  $t = \frac{q_I}{q_c}$   $t = \frac{q_I}{q_c} = \frac{Q_A}{N} \cdot \frac{I}{18} \cdot \frac{I}{4} \cdot \frac{I}{q_c}$

$$t = \frac{Q_A}{72N \cdot q_c} = \frac{U_s}{k \cdot 72 \cdot N \cdot q_c} = k \frac{U_s}{N}$$

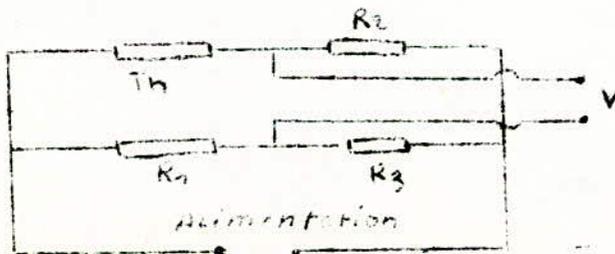
Par conséquent la durée d'ouverture des injecteurs est proportionnelle au débit d'air est inversement proportionnelle à la vitesse du moteur.



#### IV - CORRECTION DU SIGNAL D'INJECTION

En plus de cette quantité d'essence de base, il est nécessaire lors du démarrage à basses températures, pendant la période de réchauffage et dans le cas de pleine charge, d'injecter une quantité d'essence supplémentaire.

i°) L'enrichissement au démarrage dépend de la température du moteur. Il est déterminé électriquement par une sonde de température. La sonde de température est une thermistance placée dans un pont de Weststhone.



Le signal  $V$  est introduit dans le calculateur afin de corriger la durée  $t$  du multivibrateur.

De plus, l'enrichissement au démarrage ne peut être efficace que lorsque le démarreur est actionné. L'indication de fonctionnement du démarreur est transmise à l'appareil de commande par un câble.

11°) Lorsque le frein-moteur fonctionne, il ne doit pas y avoir d'injection d'essence. Cette phase de fonctionnement est caractérisée par le fait que le papillon est fermé et que la vitesse du moteur est plus élevée.

L'interrupteur de papillon coupe l'arrivée d'essence lorsqu'en utilisation en frein-moteur la vitesse dépasse 1800 tr/mn.

Si le moteur en utilisation en frein-moteur atteint une vitesse de 1250 tr/mn, l'adduction d'essence fonctionne de nouveau afin que le passage au régime de ralenti soit garanti.

### CONCLUSION

L'allumage et l'injection électroniques réduisent la pollution par suite de la réduction de l'échappement des gaz non brûlés. D'autre part, ils permettent de réaliser une économie d'essence de 13%.

Mais si on équipe de plus en plus les nouvelles automobiles d'un système d'allumage électronique, on hésite en ce qui concerne l'équipement d'injection électronique.

On essaie au maximum d'établir un compromis entre le prix de revient et le rendement.

Mais, les dispositifs électroniques les plus coûteux permettent de réaliser des économies considérables, ce qui encourage leur implantation croissante dans l'automobile.