

Étude et réalisation d'un allumage électronique

par M. Thierry DELAROCHELAMBERT
Lycée Technique Louis Armand, 68100 Mulhouse

L'introduction croissante de dispositifs électroniques dans l'automobile, l'amélioration des performances des moteurs et les économies d'énergie qu'elle y entraîne ne peut qu'inciter les professeurs de l'enseignement technique en particulier - et les professeurs de sciences physiques plus généralement - à ouvrir leur enseignement à de telles applications.

L'étude d'un allumage électronique présente l'avantage de recourir à des domaines très différents : mécanique, électromagnétisme, régimes électriques transitoires, électronique, énergie, etc.

Elle peut donc donner lieu à un travail interdisciplinaire, à un thème, un PAE sur un sujet pour lequel les élèves manifestent une évidente curiosité, voire un intérêt certain (utilisation sur les motos).

Dans une première partie, nous rappellerons le principe de l'allumage automobile classique ; nous examinerons ensuite les différents allumages électroniques existants et plus particulièrement le type retenu pour l'étude. La conception et le calcul du circuit feront l'objet d'une troisième partie, et la réalisation, l'installation et les mesures achèveront cet article.

Afin d'inciter mes collègues à réaliser eux-mêmes ce dispositif, je suis en mesure de garantir les résultats suivants après sept années de fonctionnement sans aucune panne :

- diminution de la consommation d'essence d'environ 5 % sur trajets identiques à vitesse identique ;
- augmentation très nette de la puissance des reprises ;
- allumage sans problème au démarrage en hiver (en Alsace !) ;
- économie totale des «vis platinées» (rupteur) dont le réglage n'a pas du tout bougé en cinq ans (pas d'usure) ;

- allongement important de la durée de vie des bougies avec encrassement très réduit (80 000 km sans problèmes) ;
- allongement probable de la durée de vie du moteur (190 000 km actuellement).

1. PRINCIPES DE L'ALLUMAGE AUTOMOBILE À ESSENCE

Le schéma de principe est représenté sur la figure 1, le dispositif pratique sur la figure 2.

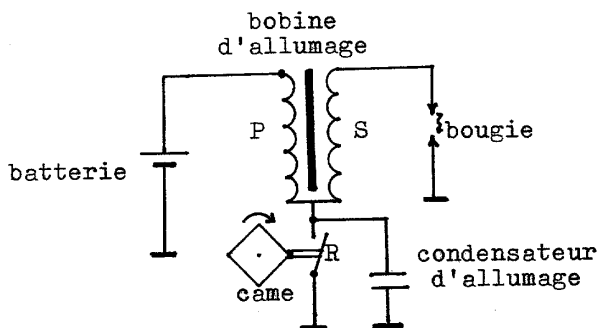


Figure 1 : Allumage électromagnétique.

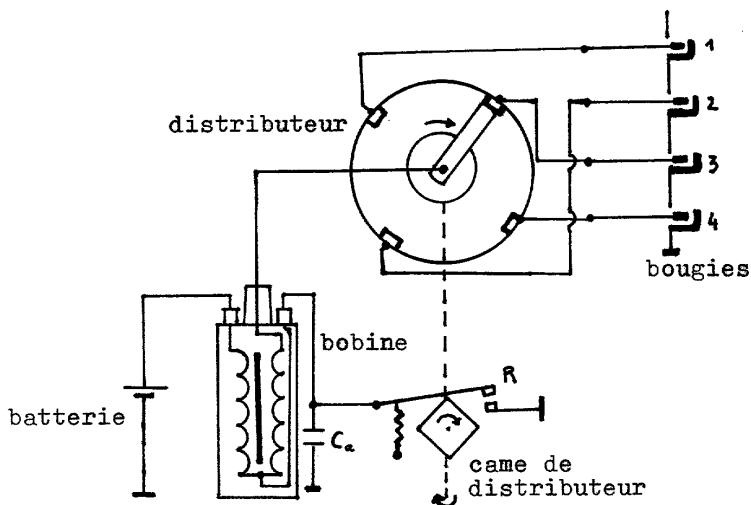


Figure 2 : Schéma pratique de l'allumage.

Aspects théoriques

Le mélange air-essence, comprimé après admission dans le cylindre est enflammé par ionisation au moyen d'une haute tension, produite entre les électrodes de la bougie d'allumage distantes d'environ 0,6 mm. Alors qu'environ 1800 V suffiraient à y produire une étincelle à l'air libre, la résistance à l'ionisation qu'entraînent la présence d'essence et la compression à 8-9 atmosphères nécessite une tension dix fois plus élevée pour que naisse l'étincelle, particulièrement à froid.

La haute tension est obtenue à l'enroulement secondaire de la bobine d'allumage, refermé directement sur les électrodes, par brusque ouverture du circuit primaire alimenté par la batterie lors de l'écartement des contacts du rupteur. Pour cela, il est impératif d'obtenir une vitesse de disparition du courant primaire la plus grande possible. La durée de l'étincelle étant au maximum de 0,5 ms à haut régime, ceci conduit à un temps de rupture de I_p de l'ordre de 50 μ s. On obtient ce résultat grâce au condensateur d'allumage C_A branché en parallèle sur le rupteur, formant avec l'enroulement primaire un circuit oscillant tel que $T_0/4 \approx 0,05$ ms.

Les caractéristiques de la bobine doivent répondre à ces exigences et fournir environ 30 mJ par étincelle, à une fréquence pouvant dépasser 200 Hz (inductance L , résistance R).

Sachant qu'il se produit une étincelle par demi-tour de vilebrequin, et que les contacts du rupteur sont fermés pendant les 2/3 de la période T séparant les étincelles, il faut que le courant primaire atteigne son intensité maximale $I_m = \frac{E}{R}$ au bout d'environ trois périodes propres

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

$$\text{D'où : } t_0 = \frac{2}{3} T = \frac{1}{3f_m} \approx 3\tau \text{ et } W = \frac{1}{2} L I_m^2 = \frac{1}{2} L \frac{E^2}{R^2}$$

$$\text{Si } f_m \text{ (fréquence moteur)} = \frac{5000}{60} = 83,3 \text{ Hz, on en déduit :}$$

$$L = 4,25 \text{ mH} \text{ et } R = 3,2 \Omega$$

La f.é.m. qui naît à l'ouverture du rupteur est donc :

$$\bar{e} \approx L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \text{avec } \Delta t \approx 5.10^{-5} \text{ s}, \text{ soit } e \approx 320 \text{ V}$$

Le rapport de transformation de la bobine est donc environ $m = \frac{25000}{320} = 78$; la capacité du condensateur d'allumage est déterminée par :

$$\frac{T_0}{4} = \frac{\pi}{2} \sqrt{LC} = 5.10^{-5} \text{ s} \quad \text{d'où } C_A = 220 \text{ nF}$$

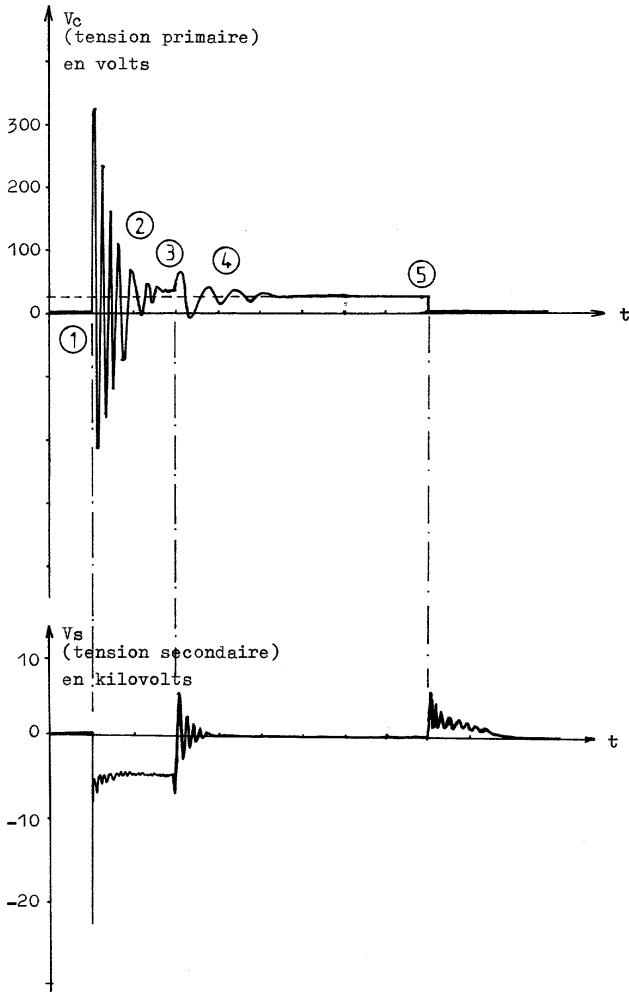
Étude pratique du circuit d'allumage en fonctionnement

Avant toute modification, il convient de connaître les valeurs réelles de l'inductance propre et de la résistance à froid de l'enroulement primaire de la bobine, que l'on mesurera par exemple par la méthode de Joubert ou par pont.

Il est également important d'étudier les oscillogrammes relevés aux bornes du primaire et du secondaire, afin du bien comprendre les différentes phases de l'allumage. Ce relevé est effectué en branchant une sonde atténuatrice 10:1 directement aux bornes du condensateur ($U_c = E - V_p$), puis sur le fil central de la bobine (sortie du secondaire) par effet capacitif au moyen d'une pince crocodile (les tensions de 25 kV sont dangereuses pour l'oscillographe et pour l'opérateur). Un branchement direct ne peut se faire qu'au moyen d'un pont diviseur de plusieurs centaines de $M\Omega$ isolé.

Interprétation des oscillogrammes

- **Tension primaire** : en ①, le rupteur est fermé ; c'est la fin de «charge» de la bobine : l'intensité primaire atteint son maximum I_m . Il s'ouvre brusquement, ce qui donne naissance aux oscillations rapidement amorties de la phase ② dans le primaire, qui maintiennent une tension de quelques dizaines de volts durant le temps de l'étincelle. En ③, l'étincelle s'arrête d'elle-même, provoquant un nouveau régime d'oscillations de retour à 12 V. On remarquera que la pseudo période est plus grande, du fait de l'augmentation de l'impédance capacitive du secondaire ramenée au primaire. La phase ④ s'arrête à la fermeture du rupteur, annulant la tension.



Oscillogrammes de l'allumage classique.

- Tension secondaire : l'ouverture du rupteur provoque un pic négatif d'environ $-20\,000$ V, immédiatement suivi d'un retour à quelques milliers de volts, tension de maintien des étincelles. Celles-ci s'arrêtent brusquement, provoquant une série d'oscillations rapides autour de zéro. Lorsque le rupteur se referme, la surtension au primaire se traduit par un pic positif à amortissement exponentiel accompagné de nouvelles oscillations au secondaire.

(Remarque : le pic de -20 kV est négatif par rapport à la masse pour accroître l'efficacité d'ionisation à partir de l'électrode de masse, plus large, en meilleur contact avec le mélange, et diminuer l'usure de l'électrode centrale).

Inconvénients du système classique d'allumage

- Le temps nécessaire au courant primaire pour s'établir pendant le temps de fermeture du rupteur est déterminé par le réglage de l'écartement maximum des contacts à l'ouverture (environ 0,4 mm) qui fixe le «dwell», c'est-à-dire le rapport $\frac{\text{temps de fermeture}}{\text{période}}$, à 2/3. Si le moteur tourne à 6000 tours par minute, le temps de fermeture du rupteur n'est que de 3,3 ms, insuffisant pour permettre à I_p d'atteindre sa valeur maximale (surtout pour une bobine haute énergie pour laquelle L peut dépasser 8 mH), ce qui diminue l'énergie emmagasinée dans la bobine, provoquant des ratés d'allumage, avec production d'imbrûlés, temps morts.

- Le courant primaire, d'intensité 4 à 5 A en moyenne, est coupé 100 à 200 fois par seconde par le rupteur. Malgré la présence du condensateur, il en résulte une usure rapide des contacts et un dérèglement progressif du calage de l'avance à l'allumage. Cette avance est cruciale pour le bon fonctionnement du moteur : elle permet au mélange d'amorcer sa combustion avant que le piston n'arrive au PHM (point mort haut), compte tenu du temps nécessaire à la propagation du front de flamme.

- Au ralenti, le temps d'ouverture des contacts du rupteur est trop lent (0,7 ms à 700 tr/min), la rupture du courant n'est pas suffisamment franche et la tension secondaire est insuffisante. Ceci est encore aggravé lors du démarrage à froid, quand la tension aux bornes de la batterie peut descendre au dessous de 10 V. L'énergie emmagasinée,

$$W = \frac{1}{2} L \frac{E^2}{R^2} \approx 21 \text{ mJ}, \text{ est à peine suffisante pour maintenir l'étincelle.}$$

2. LES ALLUMAGES ÉLECTRONIQUES

Pour simplifier la présentation des systèmes électroniques actuels, nous ne retiendrons que les trois principaux dispositifs existants :

– allumage par transistor ;

- allumage par décharge capacitive ;
- allumage intégral à microprocesseur.

Allumage par transistor

Dans ce type de dispositifs, le courant I_p est interrompu directement par un transistor de puissance qui sert donc d'interrupteur à la place du rupteur. Celui-ci peut être conservé pour commander le transistor ou une électronique (bascule monostable, mise en forme, stabilisation, driver) pilotant le transistor.

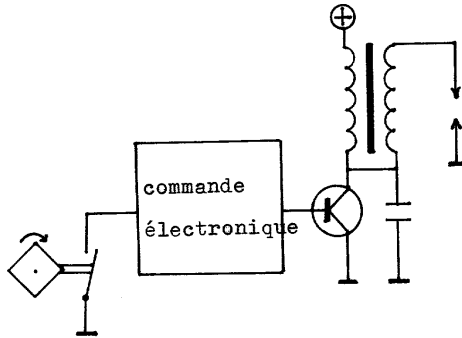


Figure 3 : Allumage à transistor.

Les avantages essentiels apparaissent immédiatement :

- pas d'usure des contacts du rupteur ;
- possibilité de calibrage de l'étincelle à toute température et à tout régime ;
- gain d'énergie électromagnétique aux régimes élevés.

Le rupteur lui-même peut être remplacé par un capteur quelconque (à effet Hall, magnétorésistant, optoélectronique), mais on ne peut plus repasser en allumage classique en cas de panne.

Allumage par décharge capacitive

Plus complexe et de mise au point délicate, mais très efficace, cet allumage consiste à charger un condensateur sous une tension élevée (300 à 400 V) par l'intermédiaire d'un onduleur-redresseur ou d'un hacheur survolteur, et à le décharger périodiquement dans le primaire de la bobine à l'ouverture du rupteur, au moyen d'un circuit à thyristor.

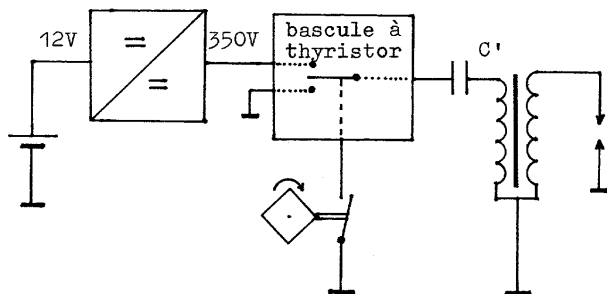


Figure 4 : Allumage par décharge du condensateur

L'intérêt est ici d'emmagasiner une énergie très largement suffisante dans le condensateur C' , bien calibrée, et de contrôler efficacement sa décharge dans la bobine. Si $C' = 1 \mu\text{F}$ et $U_c = 350 \text{ V}$, on stocke $W = \frac{1}{2} C' U_c^2 = 61 \text{ mJ}$. La charge du condensateur est également très rapide.

Allumage intégral par microprocesseur

Différents capteurs sont disposés dans le moteur pour délivrer des impulsions de position du vilebrequin, vitesse du moteur, dépression à l'admission, et éventuellement de température des gaz, de l'huile, etc. Ces impulsions, mises en forme, sont converties en bits par le CAN (convertisseur analogique-numérique), stockées et comparées par le microprocesseur en fonction d'un programme d'optimisation de l'allumage, installé en ROM (mémoire morte). Le microprocesseur envoie alors l'impulsion calibrée par un compteur vers l'interface d'allumage. Ces dispositifs, extrêmement performants, sont réalisables à condition de munir le moteur d'un disque à encoches spécialement conçu pour mesurer à la fois la vitesse et la position du vilebrequin.

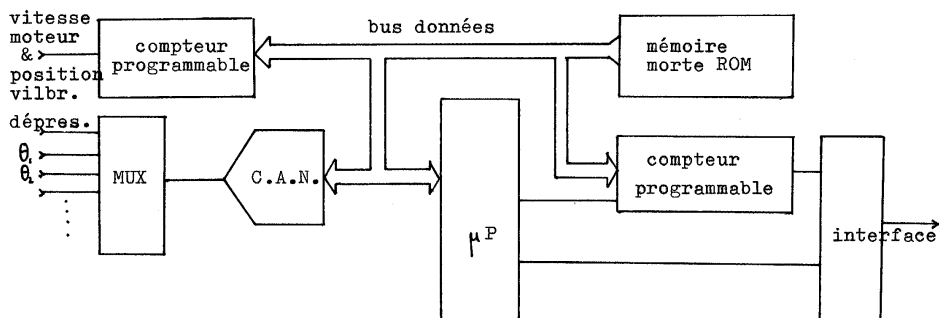


Figure 5 : Allumage intégral par microprocesseur.

3. CONCEPTION D'UN ALLUMAGE PAR TRANSISTOR

Cahier des charges

- Le transistor de puissance doit pouvoir supporter une tension V_{ce0} entre collecteur et émetteur (base déconnectée) d'au moins 400 V, et saturer pour des intensités de collecteur I_c d'au moins 8 A. Il doit offrir un temps d'ouverture t_{off} inférieur à 50 μs , et un gain en courant de 20 à 50.
- Le transistor doit être protégé contre les tensions inverses qui naissent à l'ouverture du primaire, et contre les surtensions accidentelles directes supérieures à 400 V.
- La durée de l'étincelle doit être fixée à sa valeur utile. Certains auteurs préconisent des durées fixes entre 0,5 et 1,5 ms ; d'autres défendent les trains d'étincelles. Nous retiendrons pour notre part une durée fixe de 0,5 ms qui permet d'obtenir une durée toujours supérieure à 3τ quel que soit le régime moteur. Chacun peut bien sûr fixer cette durée après étude de la tension secondaire ou primaire à haut régime et mesure de $\tau = \frac{L}{R}$.
- L'allumage doit fonctionner entre $-40^\circ C$ et $150^\circ C$.
- Il doit fonctionner également pour des tensions d'alimentation entre 7 et 16 V.
- Il doit être protégé contre l'humidité.
- La commutation allumage électronique-allumage classique doit être très facile.

Schéma synoptique

Les différentes fonctions formant l'allumage électronique sont présentées sur la figure 6.

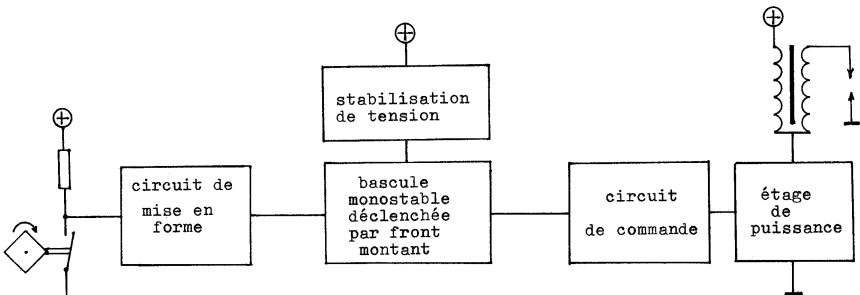


Figure 6 : Schéma synoptique de l'allumage électronique.

Le signal délivré par le capteur (rupteur + résistor série), entâché de parasites et d'éventuels rebondissements, est mis en forme par un filtre RC, de manière à produire un créneau de tension propre, à flan positif très raide capable de déclencher une bascule monostable. Celle-ci délivre un créneau positif de durée rigoureusement fixe 0,5 ms. Ce signal commande un étage adaptateur plus puissant (driver) qui attaque la base du transistor de puissance. Il est nécessaire d'introduire une stabilisation de tension sur l'étage le plus sensible à une baisse passagère de la tension de l'alimentation, à savoir la bascule monostable, sans quoi l'on risque de ne pouvoir démarrer ou de ralentir en donnant un coup d'avertisseur !

Calcul du circuit

• Étage de puissance

Le transistor de puissance choisi est un darlington NPN, le BUX 37, dont les caractéristiques sont bien adaptées à notre application :
 $V_{ceo} = 400 \text{ V}$ $I_{cmax} = 15 \text{ A}$ $I_b = 0,5 \text{ A}$ $\beta > 20$ $V_{cesat} < 2 \text{ V}$
 $V_{besat} < 2,5 \text{ V}$.

Son schéma interne comporte une diode en inverse entre collecteur et émetteur pour le protéger de tensions négatives. La présence de deux résistors intégrés augmente la tension de claquage au détriment du gain en courant.

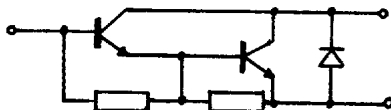


Figure 7 : Darlington.

Une diode zener de 350 V (ou deux de 180 V montée en série) protégera le darlington si la tension entre C et E dépasse le seuil zener, rendant le darlington brusquement conducteur. D'où la configuration de l'étage de puissance (figure 8).

Le transistor doit absolument saturer dans les pires conditions (-40°C , batterie à 16 V). La résistance du primaire étant de $2,7 \Omega$ (valeur courante), le coefficient de température du cuivre $\alpha = 4.10^{-3} \text{ K}^{-1}$, la résistance à -40°C devient :

$$R(-40^\circ\text{C}) = R(20^\circ\text{C}) \cdot \frac{1 + 4.10^{-3} \cdot (-40)}{1 + 4.10^{-3} \cdot (20)}$$

soit $2,1 \Omega$. D'où :

$$I_c = (-40^\circ\text{C}) = \frac{E - V_{\text{cesat}}}{R(-40^\circ\text{C})} = \frac{16 - 1,2}{2,1}$$

soit 7 A. Le gain étant d'environ 30 pour cette intensité (à mesurer), le courant de base doit fournir : $I_b = \frac{I_c}{\beta} = 0,23 \text{ A}$. La résistance R1 ramène la base du darlington à la masse.

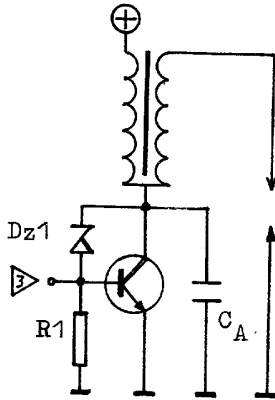


Figure 8 : Étage de puissance.

Le calcul de la puissance de la diode zener est plus délicat. Cette diode n'entre en fonction que si la tension C – B dépasse la tension zener, soit 350 V à froid. Le transistor, normalement bloqué, redevient conducteur et absorbe au maximum toute l'énergie de la bobine dans un bref laps de temps. L'évolution de l'intensité durant ce temps Δt est linéaire ; en effet :

$$L \frac{dI}{dt} + RI - E + U_z + V_{be} = 0$$

Or RI et V_{be} sont négligeables par rapport à U_z , ainsi que E. D'où $L \frac{dI}{dt} \approx -U_z$. D'où $\Delta t \approx \frac{L I_m}{U_z} \approx 80 \mu\text{s} \ll 4 \text{ ms}$ (période d'allumage à 250 Hz). Comme la décroissance est linéaire, on écrit que la puissance absorbée par le transistor est au maximum égale au rapport de l'énergie de la bobine au temps Δt :

$$P = \frac{U_z \cdot I_m}{2} \leq \frac{L I_m^2}{2 \Delta t}$$

En moyenne sur une période $\bar{P} = \frac{LI_m^2}{2T} \approx 7,5 \text{ W}$. La diode zener doit dissiper sur Δt : $P_z = U_z \bar{I}_z = \frac{U_z I_m}{2 \beta_{\text{sat}}} = \frac{P}{\beta_{\text{sat}}}$. En moyenne, cette puissance vaut : $\bar{P}_z = \frac{\bar{P}}{\beta_{\text{sat}}} \leq \frac{7,5}{20}$

Pour conserver une marge de sécurité suffisante (puissance transitoire élevée), on prendra une diode de 1 W.

• Circuit de commande (driver)

On utilise un transistor NPN de moyenne puissance qui doit se bloquer lorsque le darlington conduit (rupteur fermé). Une diode D₁ permet d'accroître la vitesse de commutation du transistor de puissance et éliminer la tension de déchet V_{ce} de T₁. La résistance R₂ est donnée par :

$$R_2 = \frac{E_m - V_d - V_{be}}{I_{bm}} = \frac{16 - 0,6 - 2,5}{0,23} = 56 \, \Omega$$

Si la tension de démarrage tombe à 7 V, il est nécessaire de baisser cette valeur à environ 47 Ω (valeur normalisée). La puissance supportée est de $47 \times 0,23^2 \approx 3 \text{ W}$. Le transistor T₁ doit donc supporter un courant de collecteur $I_c = \frac{16 - 0,6}{47} = 0,33 \text{ A}$. On choisira un transistor courant de moyenne puissance (0,8 W) comme le 2N 2219 (30 V ; 0,8 A ; $\beta \geq 100$).

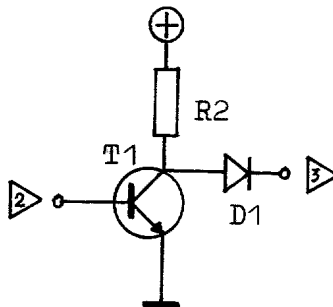


Figure 9 : Étage de commande.

• *Étage monostable déclenché par front montant*

Différentes possibilités de réaliser une telle bascule existent. Afin de rester dans la logique transistorisée, nous retiendrons le principe de la bascule à deux transistors T_2 et T_3 , représentée en figure 10.

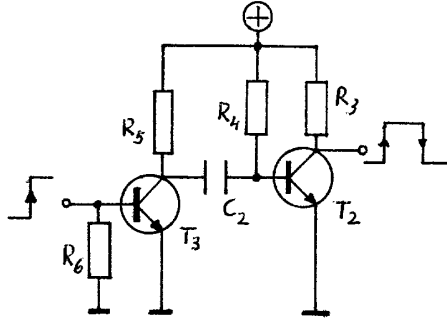


Figure 10 : Monostable déclenché par front montant.

Le transistor T_2 , normalement saturé, se bloque à l'arrivée d'un créneau montant sur la base de T_3 , et ce, pendant une durée égale à environ $0,7.R_4.C_2$, après laquelle il revient à son état stable saturé. Si l'on choisit $R_3 = 470 \Omega$ pour bien saturer T_1 , on peut prendre $R_4 = 3 \text{ k}\Omega$ et $C_2 = 220 \text{ nF}$. On donnera à R_5 la même valeur qu'à R_3 . La stabilisation en tension de cet étage nécessite une diode zener de 6 V environ, alimentée par la résistance R_7 de l'ordre de 100Ω , 2 W permettant un fonctionnement correct dans tous les cas.

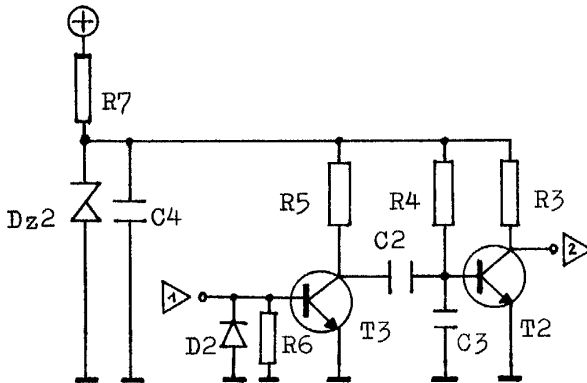


Figure 11 : Étage monostable complet.

Un condensateur de filtrage C_4 améliorera cette stabilisation. Le condensateur C_3 a quand à lui pour rôle d'accélérer les commutations de T_2 .

La base de T_3 doit être référencée à la masse par une résistance et protégée contre d'éventuelles tensions négatives par une diode en inverse.

• *Circuit de mise en forme*

Le rupteur devant délivrer un signal positif lors de son ouverture, on relie son contact mobile à la borne positive de la batterie par le résistor R_{10} dont la résistance est calculée pour laisser passer une intensité minimale de 100 mA. Celle-ci est nécessaire à l'autonettoyage des contacts. On prendra $R_{10} = 100 \Omega$, 3 W.

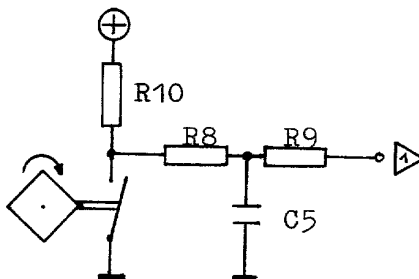


Figure 12 : Circuit de mise en forme.

Le signal positif d'ouverture est conduit à la base de T_3 à travers un simple réseau ($R_8 + R_{10}$, C_5) limitant les fréquences supérieures à 250 Hz.

Le transistor T_3 devant saturer à l'état conducteur dans les plus mauvaises conditions, la résistance totale de base ($R_{10} + R_8 + R_9$) doit être de l'ordre de 2 $K\Omega$. On donnera à R_8 et R_9 la même valeur qu'à R_6 de manière à porter la base de T_3 à un potentiel suffisamment élevé ($1/3 V_{CC}$) en toutes circonstances. On choisit donc $R_8 = R_9 = R_6 = 1 k\Omega$ et $C_5 = 1 \mu F$.

• *Schéma complet de l'allumage électronique*

Le transistor de puissance T_p doit être installé sur un radiateur de résistance thermique maximale R_{th-r-a} permettant à la jonction de ne pas dépasser $150^\circ C$.

Dans les conditions extrêmes, le transistor dissipe :

– une puissance $P = V_{\text{cesat}} \cdot I_{\text{cm}} = 2.7 = 14 \text{ W}$ en conduction constante à l'arrêt à -40°C ;

– une puissance $P' = f \cdot \frac{1}{2} L I_m^2 = \frac{250 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 4^2}{2} = 8 \text{ W}$ si le fil du distributeur se coupe à pleine vitesse (bobine à 125°C).

La résistance thermique totale entre la jonction j et l'air ambiant a est définie par :

$$\begin{aligned} R_{\text{th}_{j-a}} &= R_{\text{th}_{j-b}} + R_{\text{th}_{b-r}} + R_{\text{th}_{r-a}} \\ &= \frac{\theta_j - \theta_a}{P_{\text{max}}} \text{ avec } R_{\text{th}_{j-b}} = \text{résistance thermique jonction-boîtier} \end{aligned}$$

$R_{\text{th}_{b-r}}$ = résistance thermique boîtier-radiateur

$R_{\text{th}_{r-a}}$ = résistance thermique radiateur-air

d'où :

$$R_{\text{th}_{r-a}} = \frac{\theta_j - \theta_a}{P_{\text{max}}} - R_{\text{th}_{j-b}} - R_{\text{th}_{b-r}}$$

On suppose que θ_a est élevée (température sous capot de 100°C) ; la puissance à dissiper étant alors de 8 W , le transistor étant isolé du radiateur par une semelle de mica enduite de graisse de silicone ($R_{\text{th}_{b-r}} = 0,3 \text{ K/W}$) et la résistance thermique $R_{\text{th}_{j-b}}$ du boîtier métallique TO3 étant de $1,5 \text{ K/W}$, on en déduit : $R_{\text{th}_{r-a}} \leq 4,45 \text{ K/W}$. On adoptera la valeur la plus proche dans la gamme commerciale (3 K/W).

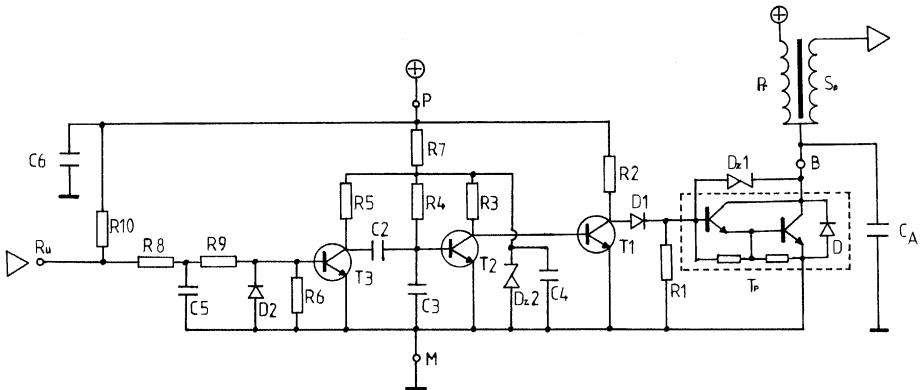


Figure 13 : Schéma complet de l'allumage électronique.

Tp = BUX 37	C2 = 220nF	R1 = 100Ω 2W
T1 = 2N2219	C3 = 10nF	R2 = 47Ω 3W
T2 = 2N2222	C4 = 1μF	R3 = 470Ω 1/2W
T3 = 2N2222	C5 = 1μF	R4 = 3kΩ 1/2W
Dz1 = 350V 1W	C6 = 150μF	R5 = 470Ω 1/2W
Dz2 = 6,2V 1/2W		R6 = 1kΩ 1/2W
D1 = 1N4001		R7 = 100Ω 2W
D2 = 1N4148		R8 = 1kΩ 1/2W
		R9 = 1kΩ 1/2W
		R10 = 100Ω 3W

4. RÉALISATION ET ESSAIS

• Circuit imprimé

Sa taille dépendant de celle du boîtier, son dessin sera laissé à l'habileté de chacun(e).

Tous les composants doivent cependant être soudés très près de la plaque (côté époxy) pour bien résister aux intenses vibrations auxquelles ils seront soumis. Il est conseillé de vernir correctement les deux faces du circuit percé et soudé. Les pistes de masse et de positif doivent être larges. Étamer toutes les pistes avant vernissage.

Le boîtier doit être bien étanche ; je conseillerai un boîtier électrique en plastique muni de quatre manchons souples pour les quatre fils de sortie.

Seul le transistor de puissance n'est pas soudé sur le circuit, mais vissé sur son radiateur avec sa semelle de mica, des canons isolants et une couche de graisse de silicone ; deux bouts de gaine thermorétractable emmanchés sur les fils soudés à l'émetteur et la base éviteront tout contact accidentel avec le radiateur.

La figure 14 donne un aperçu du montage.

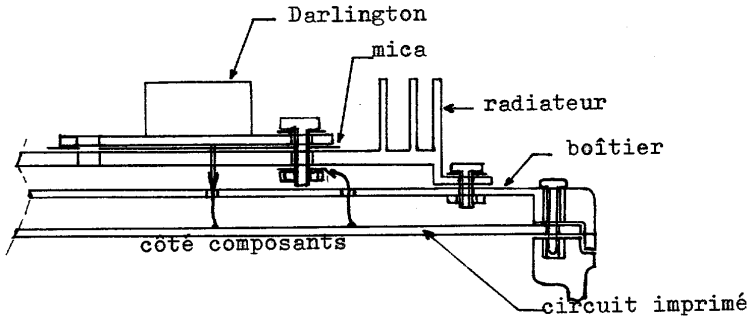


Figure 14 : Coupe du boîtier monté.

• Câblage interne et branchement au moteur

Du circuit sortent quatre fils : rupteur, bobine, positif, masse. Un double interrupteur, commandé de l'extérieur du boîtier, permet de passer facilement de l'allumage électronique à l'allumage classique (moteur arrêté). Un second coupe l'alimentation : il peut aussi servir d'antivol !

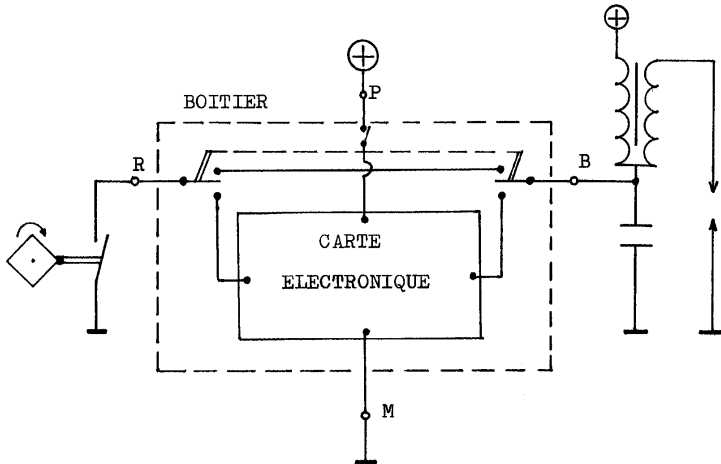


Figure 15 : Câblage interne du boîtier.

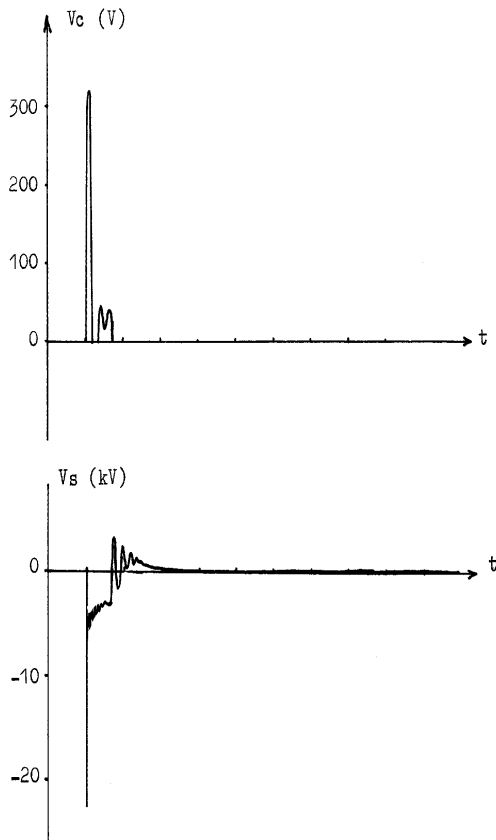
• Relevés à l'oscillographe

Si l'on peut tester indépendamment la bascule monostable et son circuit de déclenchement sur une plaquette d'essai, le fonctionnement

du transistor de puissance ne peut se faire que dans les conditions réelles, avec la bobine branchée sur une bougie aux électrodes écartées, ou directement sur le moteur.

Les oscillogrammes ci-dessous ont été relevés dans les mêmes conditions que pour l'allumage classique. On observe immédiatement la différence :

- au primaire, un pic très net de tension élevé supérieur à 300 V ; pas de tension négative ; une petite oscillation résiduelle, stoppée à 0,5 ms ;
- au secondaire, un pic très étroit de 22 à 25 kV se terminant par un amortissement de 0,5 ms, suivi d'un retour légèrement positif et exponentiel très court. Les pertes d'énergie sont donc réduites.



Oscillogrammes de l'allumage électronique.

CONCLUSION

Cette étude permet la mise en œuvre d'un ensemble de notions physiques et électroniques que l'on peut rendre accessibles à des élèves de Terminales F et BTS. Elle peut éventuellement déboucher sur des travaux plus sophistiqués en utilisant des capteurs différents, et en commandant l'électronique de puissance par une carte à microprocesseur et mémoire morte. On pourra lire avec profit les articles des revues et les ouvrages cités en bibliographie pour approfondir ces domaines.

BIBLIOGRAPHIE

• Revues

B.U.P. n° 673 d'avril 1985 (article de M. MOREAU).

Électronique applications n°27, décembre 1982 ; n° 44 novembre 1985.

Élector, avril 1982, janvier 1986.

Le haut-parleur, n° 1648 bis ; n° 1675.

• Ouvrages pratiques

Montages économiseurs d'essence, de P. GUEULLE, ETSF.

Performances automobiles, de F. HURÉ, ETSF.

Comment construire un système d'allumage électronique, ETSF.

Auto montages, de BISHOP, DUNOD.

• Ouvrages théoriques

L'électronique de puissance, de SÉGUIER, DUNOD.

Les composants actifs en commutation, de VERBEEK, DUNOD.