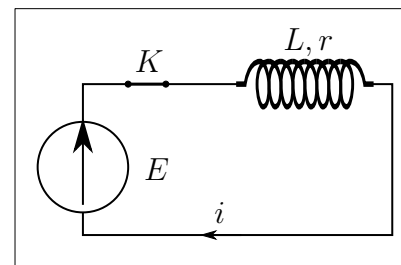


Révisions

Électricité

1. Arc électrique de rupture

Les machines électriques utilisées en milieu industriel comportent fréquemment des bobinages et présentent, pour cette raison, un comportement inductif. La coupure brutale du courant dans de tels système pose quelques difficultés puisqu'il faut dissiper en très peu de temps l'énergie magnétique emmagasinée. À haute intensité, des étincelles et des arcs électriques peuvent apparaître et endommager les interrupteurs. Pour modéliser cette situation, considérons un circuit électrique formé d'une bobine d'inductance $L = 2 \text{ H}$ et de résistance $R = 100 \Omega$ placée en série avec une source de tension de fem E et un interrupteur K .



1. Le circuit étant depuis longtemps en fonctionnement, quelle est l'expression de l'intensité i_0 qui circule dans le circuit ? En introduisant une constante de temps τ , préciser ce qui signifie l'expression « depuis longtemps ».
2. Savez-vous ce que l'on appelle « étincelle de rupture » dans un circuit inductif et connaissez-vous l'interprétation qualitative de ce phénomène ?
3. À $t = 0$, on ouvre l'interrupteur. Malheureusement, son comportement n'est pas celui qu'on attend car l'air entre les contacts s'ionise et devient conducteur. La caractéristique de l'interrupteur est définie par la relation

$$u = u_m + \frac{a}{b + i} \quad \text{avec} \quad u_m = 40 \text{ V}, \quad a = 40 \text{ V.A} \quad b = 0,04 \text{ A} \quad .$$

Elle est représentée sur la figure 1.

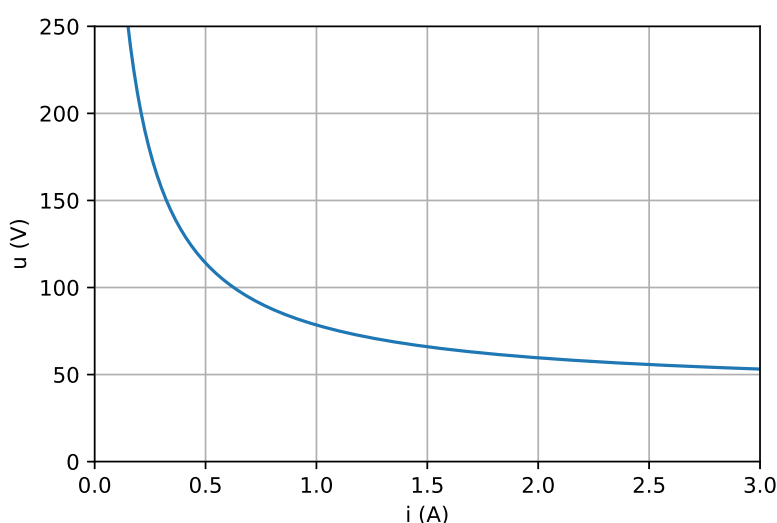


FIGURE 1 – Caractéristique d'un arc électrique

Est-il possible que l'on obtienne, quelque temps après l'ouverture de l'interrupteur, un nouveau régime permanent dans lequel une intensité non nulle se maintient ? Discuter selon la valeur de E et déterminer une valeur critique E_c séparant deux types de comportement, l'un possédant un unique point de fonctionnement et l'autre en possédant deux.

Pour répondre à cette question, on raisonnera en cherchant le point de fonctionnement du système formé de l'arc d'une part et du générateur en série avec la bobine d'autre part. Au choix, une méthode graphique et une méthode calculatoire sont permises.

- On suppose dans cette question $E < E_c$ et on étudie le régime transitoire qui suit l'ouverture de l'interrupteur. Écrire l'équation différentielle régissant l'évolution de $i(t)$ et montrer que l'intensité décroît jusqu'à s'annuler. Représenter le déplacement du point de fonctionnement dans le diagramme de la figure (1).
- Montrer que le temps d'extinction du courant est donné par

$$T = \tau \int_0^1 \frac{dx}{1 - x - \frac{\alpha}{\beta + x}}$$

avec $\alpha = a/(ri_0^2)$ et $\beta = b/i_0$. Avec les valeurs de l'énoncé, cette intégrale vaut 1,29. Calculer numériquement T .

- On suppose maintenant $E > E_c$. En utilisant l'équation différentielle du circuit, discuter la stabilité des deux points de fonctionnement. Lequel observera-t-on expérimentalement ?

Remarque : on peut à nouveau exprimer sous forme intégrale le temps d'établissement du régime permanent. Il semble que l'intégrale soit divergente, ce qui n'est pas impossible puisque la fin est définie par l'annulation du dénominateur ...

2. Anti-rebond

Les bouton-poussoirs interviennent dans une multitude d'appareils électroniques, par exemple les claviers d'ordinateurs ou les télécommandes. Ce sont des interrupteurs mécaniques dont le rôle est de créer un front de tension lorsqu'ils passent de l'état ouvert à l'état fermé, ou inversement. Ces dispositifs sont fréquemment sujets à des « rebonds » indésirables, particulièrement à la fermeture, car les conducteurs métalliques qui entrent en contact possèdent une certaine élasticité. Le passage de l'état ouvert à l'état fermé ne se fait pas proprement mais plutôt selon le premier schéma de la figure 2.

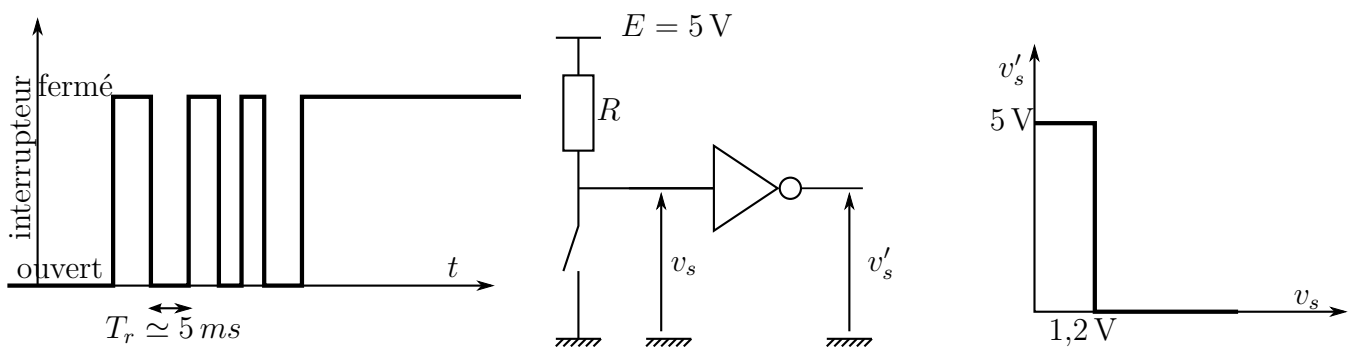


FIGURE 2 – Le potentiel de 5 V est maintenu par un générateur de tension non représenté.

- Le triangle de la figure 2 représente une porte logique « NON » dont la caractéristique est schématisée à droite. Elle présente une impédance d'entrée infinie. Représenter les variations de v_s et v'_s en fonction du temps en tenant compte des rebonds.
- Dans quel genre d'appareils le phénomène de rebond est-il sans importance ou, au contraire, particulièrement néfaste ? Comment procéderiez-vous pour le mettre en évidence expérimentalement ?
- Pour remédier aux rebonds, on utilise couramment le montage de gauche de la figure 3.
 - Que valent v_s et v'_s lorsque l'interrupteur est fermé ? lorsqu'il est ouvert depuis longtemps ?
 - Comment évolue v_s à partir d'un instant où l'interrupteur s'ouvre ?
 - Comment évoluent v_s à partir d'un instant où v_s se ferme ?
 - Comment choisir les valeurs de R et C pour remédier aux rebonds de fermeture ?

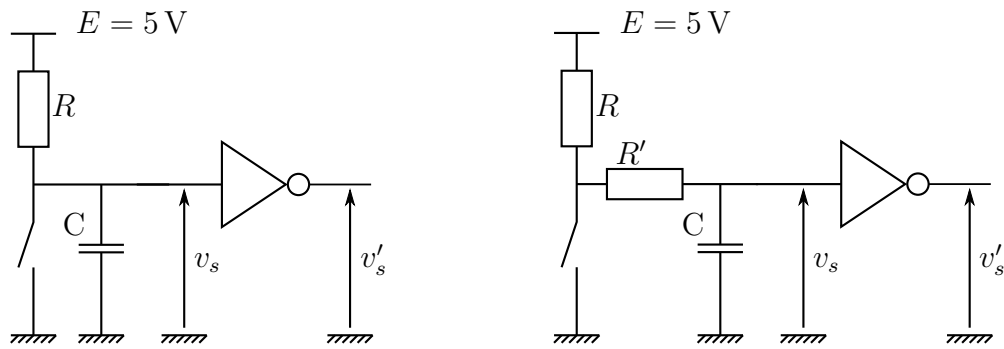
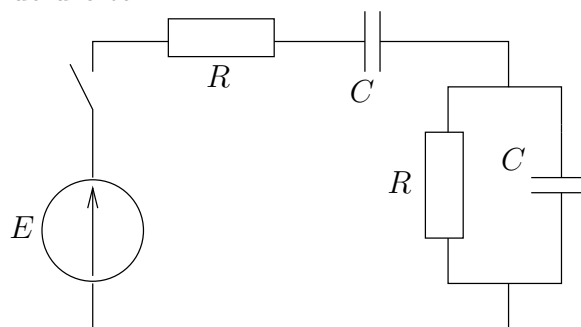


FIGURE 3 – Dispositifs anti-rebond

- e. On envisage ici une situation où l'utilisateur presse deux fois le bouton-poussoir et on note T_u la durée qui sépare la fin de la première pression, instant auquel l'utilisateur relâche l'interrupteur qui redevient ouvert, du début de la seconde. Le début de chaque pression donne lieu à des rebonds de fermeture. Expliquer pourquoi ces deux pressions successives risquent de passer pour une pression unique. Comment choisir R et C pour éviter cet écueil ? Proposer finalement des valeurs de ces composants.
- f. On étudier maintenant les rebonds qui pourraient se produire à l'ouverture de l'interrupteur, c'est à dire le phénomène inverse de celui représenté sur la figure 2¹. Le dispositif présenté ici permet-il d'y remédier ?
4. Afin de limiter le courant de décharge dans l'interrupteur et de lutter contre divers parasites mystérieux, un dispositif anti-rebond réel comprend une seconde résistance R' comme le montre la figure 3. Étudier à nouveau ce qui se passe à l'ouverture ou à la fermeture de l'interrupteur et proposer des valeurs de R , R' et C . Expliquer comment ce dispositif remédie aux rebonds de fermeture et d'ouverture et proposer des valeurs numériques pour C , R et R' . Attention : la résistance R' ici est choisie assez grande pour que v_s se maintienne au dessus de V_{seuil} pendant tous les rebonds de fermeture.

3. Réponse d'un pont de Wien à un échelon de tension

Les condensateurs étant initialement déchargés, on ferme l'interrupteur à $t = 0$. Déterminer l'évolution de la charge du condensateur de droite.



4. Caténaire d'alimentation ferroviaire

Une motrice TGV est alimentée en haute tension alternative, de fréquence 50 Hz selon le schéma de la figure 4. À intervalles réguliers, des sous-stations d'alimentation distantes de $l = 50$ km, assimilées à des générateurs idéaux de fem efficace $U_e = 25$ kV, alimentent la caténaire formée d'un câble de cuivre de conductivité $\gamma = 6,0 \cdot 10^7$ S.m⁻¹ et de section s . La locomotive consomme un courant d'intensité efficace $I_e = 0,35$ kA quelle que soit sa position x sur la ligne. Le retour du courant vers les sous-stations s'effectue par les rails et le sol dont on néglige la résistance électrique. On note $P_0 = U_e I_e$ la puissance

1. Ce n'est pas très réaliste !

moyenne qui serait consommée par la locomotive si elle était directement branchée sur une sous-station d'alimentation.

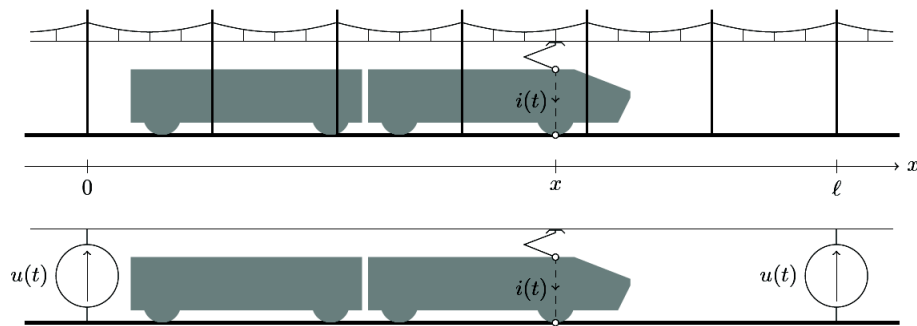


FIGURE 4 – Alimentation d'un TGV

1. Exprimer la puissance moyenne $P(x)$ consommée par la rame lorsque la locomotive se trouve à l'abscisse x .
2. Pour un bon fonctionnement et limiter l'échauffement de la caténaire on impose $P > 0,98 P_0$ quelle que soit la position du train. En déduire la valeur minimale s_{min} de la section du câble de cuivre.