

Moteur électrique à courant continu sans balais

par Daniel LACROIX,

Ecole Normale, Grenoble.

Les anciens programmes de 5^e, et les nouveaux programmes de 3^e incitent à achever l'étude de l'électromagnétisme par la construction d'un moteur à courant continu, alimenté par une pile de 4,5 V.

De multiples difficultés sont rencontrées habituellement lors de la mise en place, et pour le réglage des balais. Elles tendent à donner à ces organes une place prépondérante. Ils remplissent une fonction primordiale, mais d'autres dispositifs tous aussi fiables et plus aisés à mettre en œuvre, permettent eux aussi de remplir cette fonction. L'introduction et l'étude des composants électroniques dans les programmes du collège permettent d'envisager d'autres solutions, dont l'une va être décrite maintenant.

INTRODUCTION.

Une maquette de moteur électrique peut être réalisée à partir d'une boussole entourée par un bobinage.

Lorsque les extrémités de ce bobinage sont mises en contact avec les 2 bornes d'une pile, l'aiguille aimantée se déplace et peut même s'orienter parallèlement à l'axe de la bobine. Le courant a créé un champ magnétique, l'aiguille aimantée s'est orientée dans ce champ magnétique.

Si la bobine est alimentée momentanément, l'aiguille aimantée reçoit une impulsion, elle peut tourner plusieurs fois autour de son axe.

On obtiendra un moteur si chaque impulsion entraîne l'aiguille aimantée dans le même sens de rotation que la précédente.

Remarques.

3 organes sont donc nécessaires pour construire ce moteur :

- * une pièce aimantée, libre de se mouvoir autour d'un axe, ce sera le ROTOR,

- * un aimant temporaire. Ici ce « STATOR » est une bobine qui joue le rôle d'électro-aimant,
- * un dispositif logique permettant d'alimenter la bobine au moment opportun.

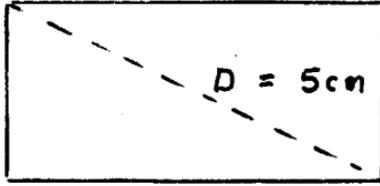


Fig. 1

Matériel.

Pour le rotor et le stator :

- 1 lame de rasoir,
- 1 clou de 3 cm et de 2 mm de diamètre,
- 1 rivet creux,
- 1 plaque de bois 8×15 cm,
- 1 morceau de bristol (Fig. 1),
- 1 tourillon de 6 mm de diamètre,
- un peu de colle,
- fil émaillé 3/10 mm.

Pour le dispositif logique :

- 1 pile 4,5 V,
- 2 résistances de 100 ohms,
- 1 transistor BD 135,
- 1 récepteur infrarouge LPR 4208,
- 1 émetteur infrarouge LPE 4208.

LE ROTOR.

Problèmes à résoudre.

Ce moteur sera alimenté par une pile 4,5 V ; cette pile lorsqu'elle est en fonctionnement doit délivrer un courant qui ne puisse la détériorer. On limite l'intensité qui la traverse à 0,2 A max. en mettant en série dans le circuit une ampoule 3,5 V - 0,2 A. Les interactions électromagnétiques entre le stator et le rotor de ce moteur sont donc faibles. Il est indispensable de limiter au maximum toutes les causes de frottement.

Tout d'abord, aucun balai ne doit venir freiner le mouvement du rotor ; celui-ci doit donc contenir un aimant permanent. Le poids de cet aimant doit être très faible, on utilisera soit une

lame de rasoir, soit 2 petits aimants. Toujours pour limiter au maximum les frottements, le rotor sera en contact avec son support par une pointe fine. Pour que le système pivote et ne fasse que pivoter, le rotor devra être équilibré; en équilibre statique et dynamique stable autour du point de pivotement. La lame de rasoir sera donc collée sur une feuille de bristol ayant la forme d'un disque, un rivet creux traverse ce disque en son centre.

Fabrication du rotor.

Découper dans la feuille du bristol un disque de 6,7 cm de diamètre. Avec un clou, élargir un peu le trou laissé par la pointe du compas.

Introduire le rivet en force, de telle sorte qu'il soit solidaire du disque de bristol, et coller la lame de rasoir sur ce disque. L'ensemble doit pouvoir tourner horizontalement sans frottement sur le clou planté verticalement dans la plaque de bois.

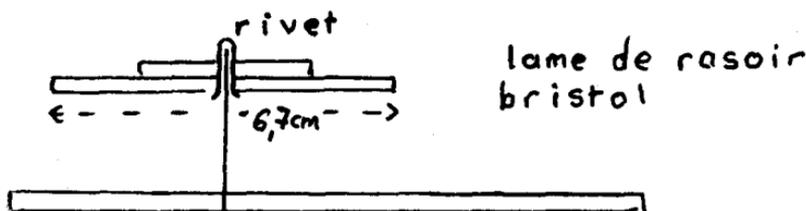


Fig. 2

LE STATOR.

Réaliser une bobine de section rectangulaire 3×8 cm, d'une hauteur de 1 cm constituée par 40 spires de fil émaillé. Maintenir sa forme par du ruban adhésif. Cette bobine sera ultérieurement fixée sur la plaque de bois à l'aide de 2 punaises. Oter l'émail qui recouvre le fil de cuivre émaillé à ses 2 extrémités. Vérifier, en mettant en contact ces 2 extrémités avec les lamelles d'une pile, que le rotor tourne.

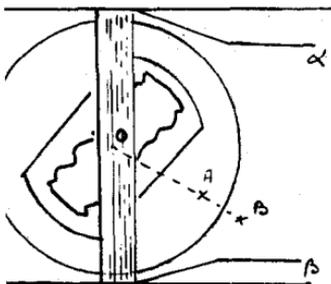


Fig. 3

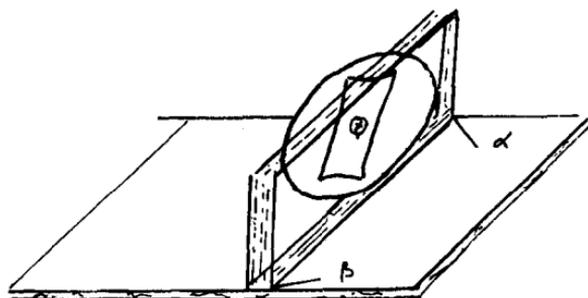


Fig. 4

LE DISPOSITIF LOGIQUE.

Alimentation du moteur.

On peut placer ce dispositif dans un circuit contenant un interrupteur pousse-contact et une pile. Plusieurs situations vont se présenter :

1. Le circuit est ouvert. La lame de rasoir prend toujours la même orientation, en fait, elle s'oriente dans la direction du champ magnétique terrestre.

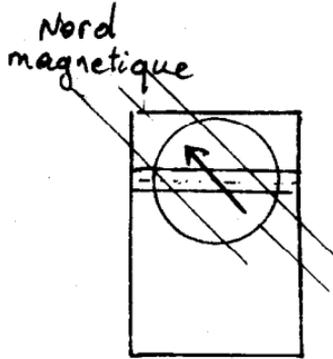


Fig. 5

2. Le circuit est fermé et reste fermé. La lame de rasoir prend après, quelques oscillations, une orientation différente, elle s'oriente parallèlement à l'axe de la bobine.

champ créé

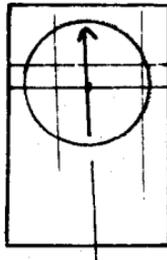


Fig. 6

3. Le circuit est fermé momentanément. La lame de rasoir s'accélère, elle tourne, puis son mouvement ralentit, elle s'arrête ; suivant la position de départ, elle tourne dans un sens ou dans l'autre, par exemple, lorsque la lame de rasoir est placée initialement dans la position décrite par le schéma ci-après, le mouvement se fera dans le sens des aiguilles d'une montre.

Quelle que soit la position initiale de la lame de rasoir dans le demi-plan I, la rotation se fera dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ; dans le cas inverse, le mouvement se fera dans le sens des aiguilles d'une montre.

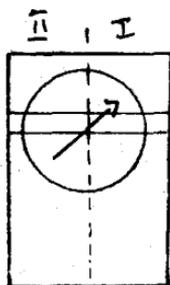


Fig. 7

4. On place par exemple la lame de rasoir dans la direction décrite sur le schéma ci-après. On ferme momentanément l'interrupteur, le rotor tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Si l'on ferme à nouveau momentanément l'interrupteur lorsque le rotor repasse dans cette position, il est à nouveau accéléré. Il tourne de plus en plus vite. On peut obtenir des vitesses de rotation comprises entre 1 et 10 tours/seconde.

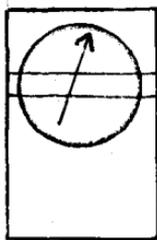


Fig. 8

Il est difficile et fastidieux d'appuyer à chaque tour, au moment voulu sur l'interrupteur. On remplace l'opérateur par un dispositif électronique permettant de déceler la position du rotor et d'alimenter la bobine au moment voulu.

PRINCIPE DE L'ALIMENTATION DE LA BOBINE : DISPOSITIF ELECTRONIQUE.

La lame de rasoir est horizontale. On place un émetteur et un récepteur infrarouge de part et d'autre de la lame de rasoir, à la verticale l'un de l'autre (fig. 9 et 10). On désigne par A_0 le

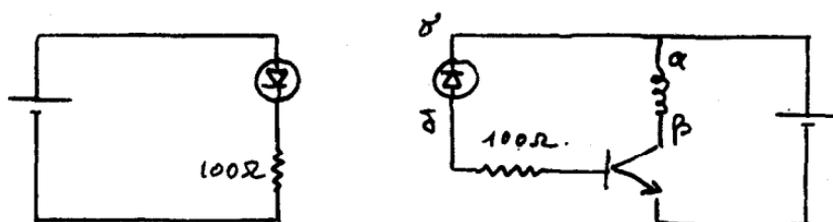


Fig. 9

point d'intersection de cette verticale avec le plan horizontal contenant la lame de rasoir.

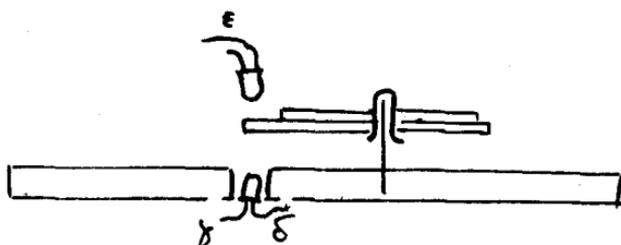


Fig. 10

On l'oriente de telle sorte que son axe de symétrie soit parallèle à l'axe de la bobine. On trace sur le bristol la droite OA_0 et on découpe une encoche comme indiquée sur la fig. 11.

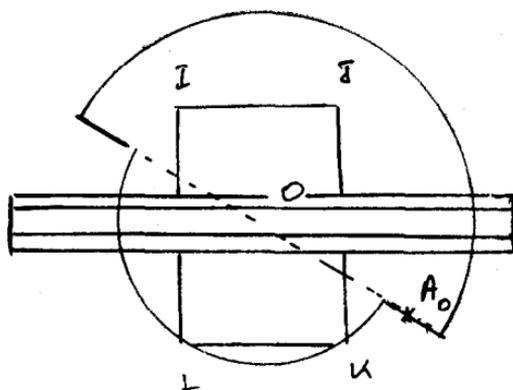


Fig. 11

La lame de rasoir est aimantée. On branche le dispositif aux bornes d'une pile. Deux situations vont se présenter.

Situation 1 : fig. 12.

Le faisceau infrarouge émis par la LED émettrice se propage jusqu'au récepteur. Éclairé il devient conducteur. Un courant tra-

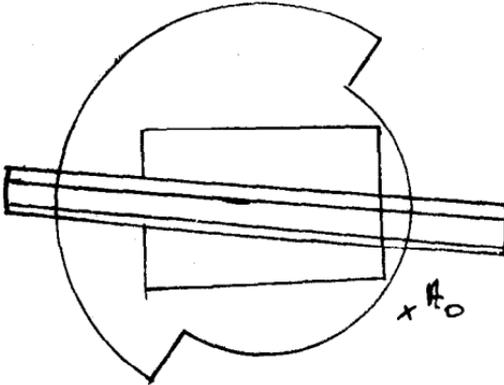


Fig. 12

verse la base du transistor T, il est débloquent. Dans les conditions de polarisation précédent, il est saturé. Le courant collecteur traverse la bobine, il crée un champ magnétique, ce courant traverse la bobine toujours dans le même sens, le champ magnétique en un point a un sens constant. La lame de rasoir cherche à s'orienter dans le champ créé ; elle se met en mouvement. Si les pôles occupent les faces IJ et KL pendant toute cette phase, le rotor tourne de plus en plus vite. C'est ce que l'on observe au démarrage du moteur.

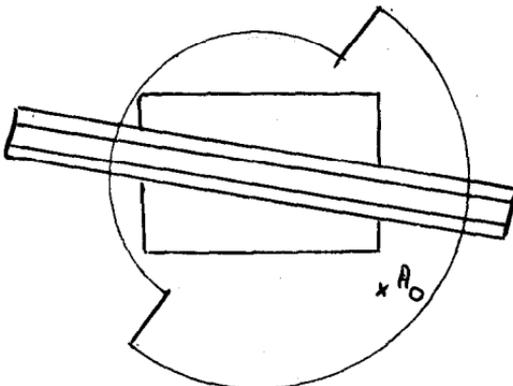
Situation 2 : fig. 13.

Fig. 13

Le bristol arrête le faisceau infrarouge. Le récepteur infrarouge n'est pas alimenté. La base du transistor T_1 n'est traversée par aucun courant, le transistor est bloqué. Le rotor n'est soumis à aucune force de la part de la bobine. Sous l'action des forces de frottement, il doit ralentir très légèrement.

MISE EN ŒUVRE.

Dans la plaque de bois, réaliser 4 trous (fig. 3) :

A de diamètre 5 mm

B de diamètre 8 mm

C de diamètre 3 mm

D de diamètre 3 mm

dans le trou A, on placera la LED infrarouge, les trous C et D permettront de faire sortir les 2 pattes de la LED, sans crainte de faux contacts. Dans le trou B, on placera un tourillon de 8 mm de diamètre qui servira de support au récepteur infrarouge, ces trous sont placés comme l'indique le schéma du rotor.

Remarque.

La distance $OA = 2,8$ cm et la distance $OB > 3,6$ cm.

O A B sont alignés.

On pourra, par exemple, utiliser une barrette de dominos ou une plaquette veroboard pour assembler facilement les différents composants électroniques.

Remarques.

Le morceau de bristol enlevé déséquilibre le mobile, rééquilibrez-le en repliant le morceau enlevé et en le collant sur la partie rabattue.

Les récepteurs IR sont parfois sensibles au rayonnement IR solaire, faites vos essais dans un endroit peu éclairé.

Pour augmenter le dynamisme de votre moteur, augmentez le nombre de tours de fil de la bobine ou collez l'une sur l'autre plusieurs lames de rasoir.

On peut aussi augmenter le couple s'exerçant sur le rotor soit en remplaçant la lame de rasoir par 2 petits aimants, et en diminuant les dimensions du rotor (le faire de 2 cm au lieu de 6 cm par exemple).

Visualisation du courant traversant la bobine.

Beaucoup de moteurs à balais construits avec des moyens rudimentaires ont besoin pour fonctionner d'une intensité im-

portante, ainsi, une pile qui a servi à alimenter l'un d'eux est détériorée très rapidement.

Dans ce moteur sans balais, on a réduit les forces de frottement s'exerçant sur le rotor, aussi celui-ci fonctionne-t-il avec une intensité de 100 à 200 mA. Le moteur tourne alors lentement (sa vitesse est fonction de l'intensité qui traverse la bobine). On peut percevoir les impulsions qu'il reçoit.

Le dispositif électronique permet de faire passer temporairement dans la bobine un courant de sens constant.

Lorsque le rotor tourne lentement, un courant ayant une intensité de 50 mA suffit à entretenir le mouvement.

Une ampoule de 3,5 V - 0,2 A mise en série avec la bobine est alors alimentée elle aussi temporairement.

Les éclaircissements se succèdent donc pas trop rapidement... on peut voir clignoter l'ampoule, et visualiser ainsi l'alimentation temporaire de la bobine.

Prolongements.

Ce moteur est facile à réaliser. Toutefois, on peut lui reprocher :

- de ne tourner que dans un seul sens,
- de ne pas démarrer quelle que soit l'orientation du rotor par rapport à la bobine,
- d'être alimenté et donc moteur, de manière intermittente.

Diverses solutions peuvent être apportées au 1^{er} problème :

* on peut évidemment inverser le branchement de la bobine dans le circuit, on inverse alors le sens du champ magnétique créé ;

* sans inverser le sens du courant qui parcourt la bobine, on peut inverser le sens de rotation du moteur — fig. 14 et 15. Dans le premier cas, la bobine est traversée par un courant lorsque le récepteur IR est éclairé. Dans le second cas, la bobine est traversée par un courant lorsque le récepteur IR n'est pas éclairé. Le dispositif 15' joue le rôle d'inverseur.

Les dispositifs électroniques permettant dans chaque situation d'alimenter la bobine sont décrits par les schémas 14' et 15'.

Alpha et bêta sont les 2 extrémités de la bobine.

La solution précédente semble apporter une solution compliquée à un problème simple. Pour un autre usage, on a construit

un dispositif inverseur constitué par un pont de transistors — voir fiche descriptive.

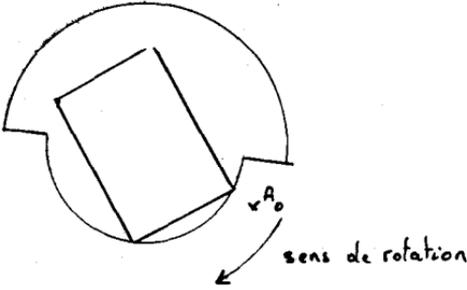


Fig. 14

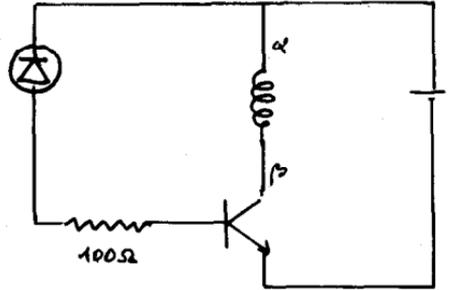


Fig. 14'

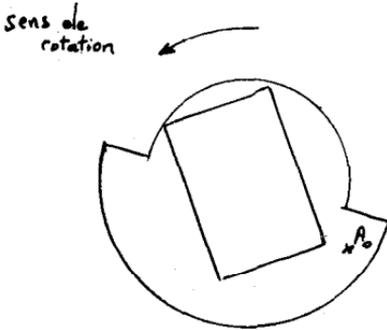


Fig. 15

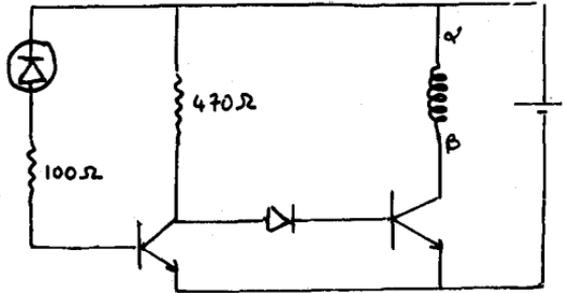


Fig. 15'

Si, maintenant pour alimenter le moteur on associe le système détecteur précédent et l'inverseur...

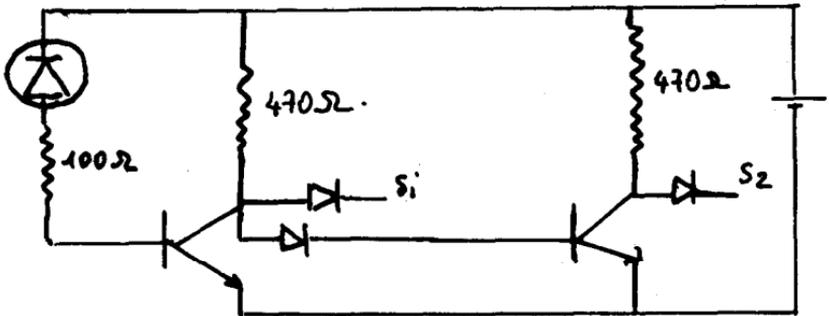


Fig. 16

S₁ et S₂ alimentent les entrées A et B de l'inverseur.

... on peut noter :

- 1) que quelle que soit la position du rotor, un courant traversera l'inducteur,
- 2) que le sens du courant dans la bobine sera encore fonction de position du rotor,
- 3) que le champ magnétique ainsi créé, lui aussi fonction de la position du rotor, générera un couple sur le rotor de sens constant.

Ce dispositif permet donc d'apporter une solution aux problèmes 2 et 3.

Associé à un interrupteur-inverseur, le dispositif précédent permettrait par la manipulation de l'interrupteur de faire tourner ce moteur dans un sens puis dans l'autre.

Le dispositif inverseur.

L'inverseur est constitué par :

- Octocoupleur CNX 35 nb : 4 représenté en pointillé,
- Transistor TIP 110 nb : 4,
- Diode 1 N 4004 nb : 4,
- Résistance 470 ohms nb : 4 R_1 ,
- Résistance 100 ohms nb : 4 R_2 .

Schéma du dispositif.

