Énergie mécanique - Énergie électrique

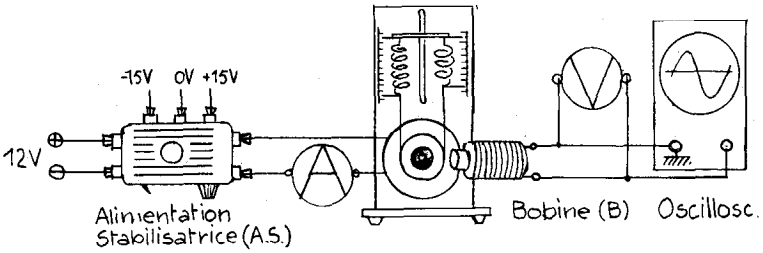
par R. MOREAU (C.M.I.G.)
et M. BARBASTE (L.T. Talence).

BUTS DE LA MANIPULATION.

1. Etudier le moment du couple disponible sur l'axe d'un moteur électrique de faible puissance (quelques watts), tournant à vitesse constante, en fonction de l'intensité du courant absorbé.

2. Déterminer le rendement de ce moteur pour diverses vitesses de rotation.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL.



REGLAGES PRELIMINAIRES.

1. **Etalonnage du voltmètre en tachymètre.**

a) Brancher aux bornes de (B) :

* l'oscilloscope,
* le voltmètre utilisé en alternatif.

b) A l'aide du bouton de (A. S.), fixer la vitesse de rotation du moteur à une valeur particulière (... 2 000, ... 3 0000, ... tours-min^{-1}) déterminée grâce à l'oscillo : on s'efforcera d'obtenir une période seule, de la sinusoïde observée pour 10 carreaux.

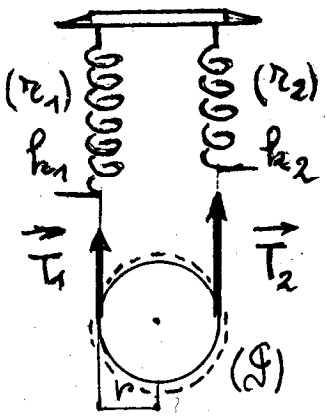
c) Amener l'aiguille du voltmètre sur une valeur particulière compte tenu du calibre choisi (par exemple pour 3 000 tours-min^{-1}, on se fixera à 3 V, 15 V, ou 30 V,...) en modifiant la distance de (B) à l'aimant fixé sur l'axe.

2. **Détermination des raideurs k_1 et k_2 des ressorts (r_1) et (r_2).**

On tracera la courbe d'étalonnage.

ETUDE MECANIQUE.

Mesure du moment du couple utile du moteur.



1. **Principe de la méthode.**

La vitesse de rotation n étant fixée, alors les moments des couples, exercés sur la poulie $(\mathcal{S})$ (considérée comme système) :

— par le moteur : $\mathfrak{M}(C_u)$

— par le frottement du fil : $\mathfrak{M}(C_f)$

} sont égaux en valeur absolue.

2. **Création d'un couple de frottements C_f.**

A l'aide de deux ressorts parallèles reliés entre eux par un fil passant sur la gorge d'une poulie solidaire de l'arbre du moteur, on crée un couple de frottements C_f dont on pourra faire varier le moment $\mathfrak{M}(C_f)$ en tendant plus ou moins (r_1) et (r_2).

3. **Expression du moment du couple de frottements.**

Soit : r le rayon de la poulie : $r = 2 \cdot 10^{-2}$ m,

$\| \vec{T}_1 \|$ la norme de la tension de (r_1) s'allongeant de Δl_1 :

$$\| \vec{T}_1 \| = k_1 \Delta l_1,$$

$\| \vec{T}_2 \|$ la norme de la tension de (r_2) s'allongeant de Δl_2 :

$$\| \vec{T}_2 \| = k_2 \Delta l_2,$$

alors :

$$\mathfrak{M}(C_f) = r \left| \| \vec{T}_1 \| - \| \vec{T}_2 \| \right|.$$

4. **Relevé des valeurs numériques.**

Un seul manipulateur mesurera l'intensité I du courant et il la fera varier de 0,100 A (ou 0,200 A) en tendant les ressorts chaque fois : on s'efforcera d'obtenir une dizaine de couples de valeurs $[I ; \mathfrak{M}(C_f)]$.

Deux autres manipulateurs mesureront chacun l'allongement Δl.

On dressera le tableau ci-après en n'omettant pas I_0 quand $\mathfrak{M}(C_f) = 0$.

(tours-min^{-1})	1 500				
I (A)	$\Delta l_1 \cdot 10^{-3}$ (m)	$\| \vec{T}_1 \| \cdot 10^{-3}$ (N)	$\Delta l_2 \cdot 10^{-3}$ (m)	$\| \vec{T}_2 \| \cdot 10^{-3}$ (N)	$\mathfrak{M}(C_f)$ (N. m)

5. **Tracé du graphique** $\mathfrak{M}(C_f) = f(I)$.

a) Pour chaque valeur de *n*, on obtient une droite affine : l'intersection avec l'axe des moments donne la valeur particulière $\mathfrak{M}_0(C_f)$ du moment de C_f.

b) Pour l'ensemble des valeurs de *n*, on constate que les diverses droites

— sont parallèles entre elles,

— coupent l'axe des moments pour des valeurs de $\mathfrak{M}_0(C_f)$ de plus en plus négatives.

6. **Interprétation.**

a) De la droite : chaque brin de fil du bobinage du rotor, placé latéralement, appelé « brin actif » est soumis à la « force de Laplace » d'expression $F_1 = BIl$ (B : champ magnétique ; I : intensité ; l : longueur du brin). Ce brin placé à la distance d de l'axe (Δ) du moteur, alors le moment de la force $\vec{F}_1$ sera : $\mathfrak{M}\,\vec{F}_1/\Delta = F_1 \cdot d = Bld \cdot I$; il est proportionnel à I.

Si l'on considère l'ensemble des « brins actifs «, formant un bobinage figé, l'ensemble des $\mathfrak{M}\,\vec{F}_i/\Delta$ créera donc un « couple électromagnétique» C_{el} dont le moment $\mathfrak{M}\,(C_{el})$ sera proportionnel à I. Cependant, les frottements (solides, visqueux) et les pertes dans le fer du rotor qui est soumis à un champ alternatif, sont responsables de forces dont le moment $\mathfrak{M}\,(C_p)$ s'oppose à la rotation du moteur. On ne récupère donc sur l'arbre qu'un couple utile C_u dont le moment satisfait à la relation :

$$\mathfrak{M}\,(C_u) = \mathfrak{M}\,(C_{el}) - \mathfrak{M}\,(C_p).$$

Si la vitesse n est constante, alors $\mathfrak{M}\,(C_p)$ est constant :

$$\mathfrak{M}\,(C_u) = KI - \mathfrak{M}\,(C_p)$$

d'où la droite affine obtenue.

b) Du moment $\mathfrak{M}\,(C_p)$: les frottements solides et les pertes par hystérésis sont responsables, ensemble, d'un moment résistant indépendant de n, vitesse de rotation ; notons-le : $\mathfrak{M}_{p_s}$.

Ensemble également, les frottements visqueux et les courants de Foucault sont à l'origine d'un moment résistant proportionnel à n ; notons-le : $\mathfrak{M}_{p_v}$.

Ainsi :

$$\mathfrak{M}\,(C_p) = \mathfrak{M}_{p_s} + \mathfrak{M}_{p_v},$$

ne dépend donc que de n, d'où la suggestion de le mesurer pour chaque valeur de n et de tracer :

$$\mathfrak{M}\,(C_p) = g\,(n),$$

les points sont alignés.

ETUDE ENERGETIQUE.

1. Transformation d'énergie mécanique en énergie électrique. Bilan.

La puissance électrique P_{el} absorbée par le moteur (fonctionnant sous la tension continue U et traversée par un courant d'intensité I) $P_{el} = UI$ se retrouve sous forme :

— de puissance mécanique directement disponible sur l'axe : c'est la puissance utile du moteur égale au produit :

- du moment du couple moteur $\mathfrak{M}\,(C_u)$,
- de la vitesse angulaire : $\omega = 2\pi n$; n : nombre de tours. s^{-1},

soit :

$$P_u = \omega \cdot \mathfrak{M}\,(C_u),$$

— de puissance dissipée par effet Joule dans les fils de résistance R formant le bobinage : $P_J = RI^2$,

— de puissance dissipée par :

- les « frottements solides » et les « frottements visqueux »,
- courants de Foucault et hystérésis.

Toutes ces pertes de puissance qui, comme les pertes par effet Joule « font chauffer le moteur » ont leur siège réparti dans l'ensemble des parties du moteur ; elles forment des « pertes collectives », nous les noterons en bloc P_c : elles sont constantes si la vitesse est constante.

D'où le bilan :

$$P_{el} = P_u + P_J + P_c$$

avec :

$$P_u = 2\pi n \mathfrak{M}(C_u)$$

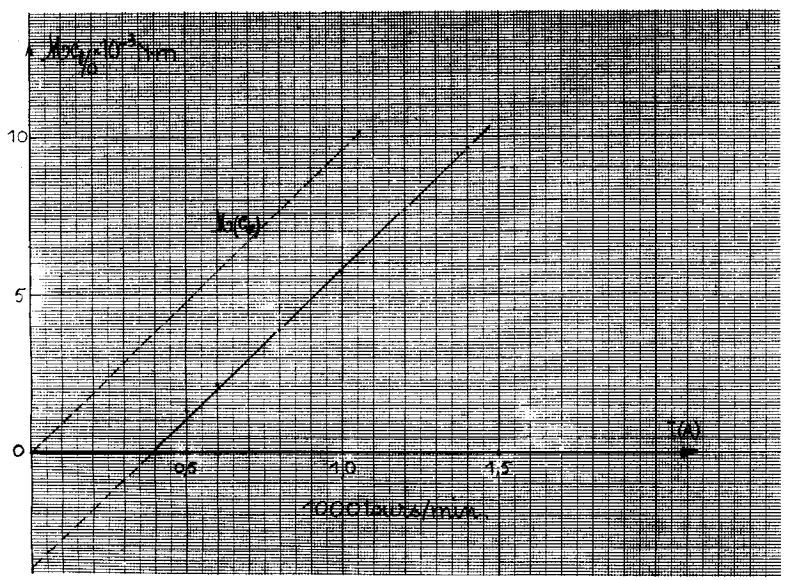
et :

$$P_c = 2\pi n \mathfrak{M}(C_p)$$

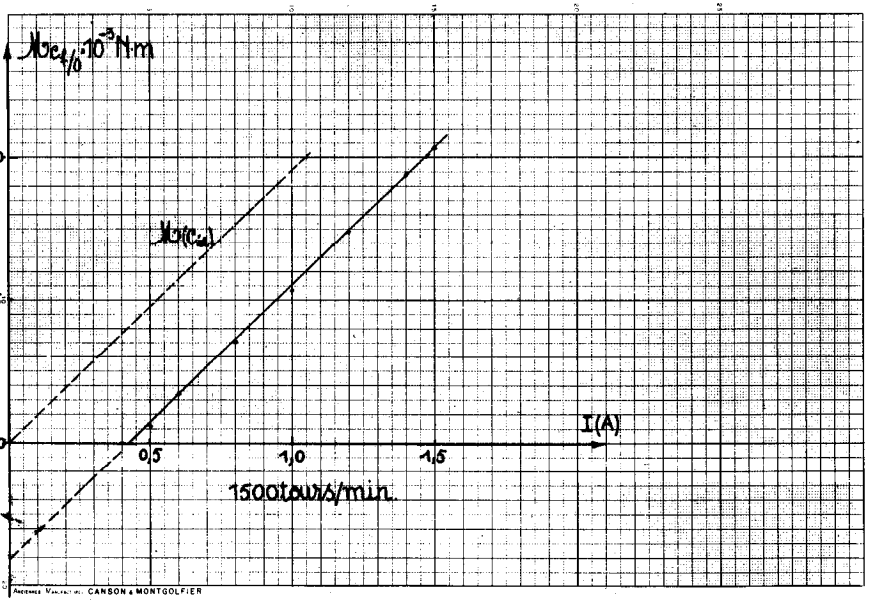
$$UI = 2\pi n [\mathfrak{M}(C_u) + \mathfrak{M}(C_p)] + RI^2.$$

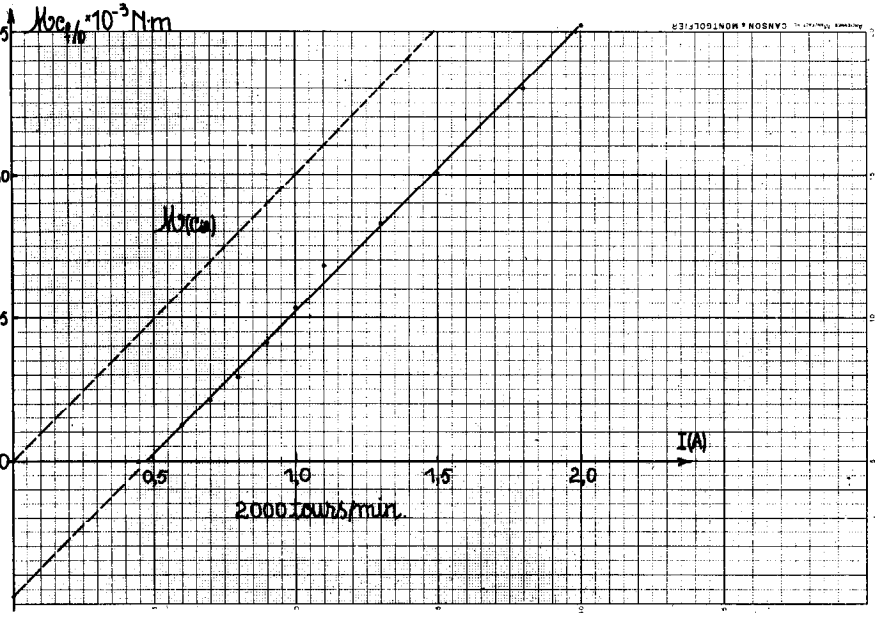
2. **Calcul du rendement η du moteur pour une vitesse donnée :**

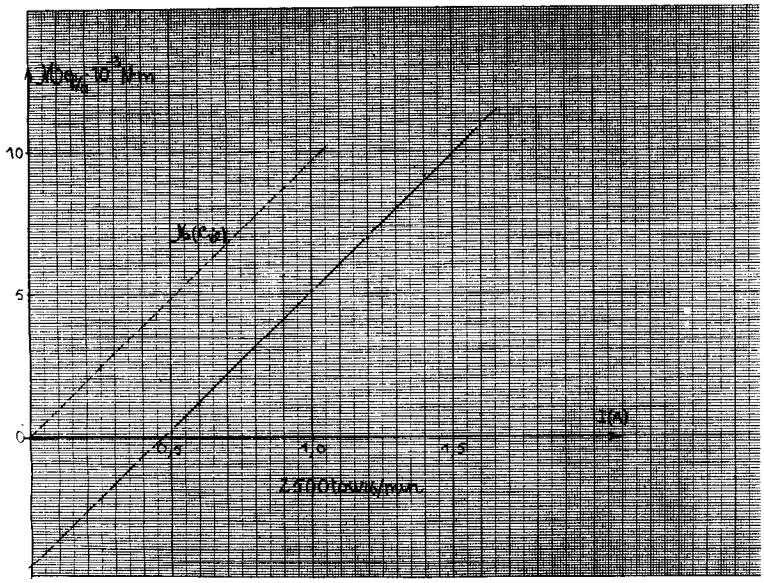
$$\eta = \frac{\text{P utile}}{\text{P absorbée}} = \frac{2\pi \mathfrak{M}(C_u)}{UI}.$$

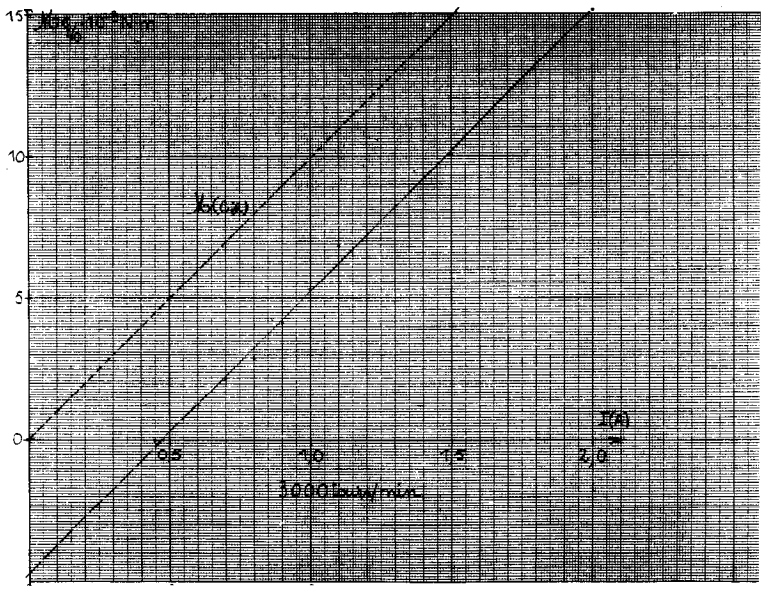


n (tours/min)	$\Delta l_1 \times 10^{-3}$ (m)	$\|\|\vec{T}_1\|\| \times 10^{-3}$ (N)	$\Delta l_2 \times 10^{-3}$ (m)	$\|\|\vec{T}_2\|\| \times 10^{-3}$ (N)	$\mathfrak{M}\, C_f/0 \times 10^{-3}$ (N. m)	I (A)
1 000	0	0	0	0	0	0,45
	14	95,2	7	31,5	1 274	0,50
	25	170,0	14	63,0	2 140	0,60
	48	326,4	29	130,5	3 918	0,80
	70	476,0	43	193,5	5 650	1,00
	95	646,0	58	261,0	7 700	1,20
	120	816,0	74	333,0	9 660	1,40
1 500	0	0	0	0	0	0,40
	7	47,6	4	18,0	592	0,50
	19	129,2	10	45,0	1 684	0,60
	41	278,8	23	103,5	3 508	0,80
	63	428,4	36	162,0	5 328	1,00
	87	591,6	50	225,0	7 330	1,20
	111	754,8	64	288,0	9 330	1,40
	123	836,4	72	324,0	10 200	1,50
2 000	0	0	0	0	0	0,40
	20	13,6	10	45,0	1 820	0,60
	41	278,8	23	103,5	3 506	0,80
	66	448,8	38	171,0	5 560	1,00
	88	598,4	51	229,5	7 378	1,20
	115	782,0	67	301,5	9 610	1,40
	120	816,0	70	315,0	10 020	1,45
2 500	0	0	0	0	0	0,45
	3	20,4	3	13,5	138	0,50
	12	81,6	6	27,0	1 092	0,60
	25	170,0	18	81,0	1 780	0,80
	56	380,8	28	126,0	5 096	1,00
	79	537,2	42	189,0	6 964	1,20
	104	707,2	56	252,0	9 104	1,40
	126	856,8	70	315,0	10 836	1,60
3 000	0	0	0	0	0	0,45
	11	74,8	3	13,5	1 226	0,60
	23	156,4	11	49,5	2 138	0,70
	32	217,6	16	72,0	2 912	0,80
	44	299,2	21	94,5	4 094	0,90
	54	367,2	23	103,5	5 274	1,00
	63	428,4	19	85,5	6 858	1,10
	73	496,4	19	85,5	8 218	1,30
	94	639,4	30	135,0	10 084	1,50
	120	816,0	36	162,0	13 080	1,80
	131	890,8	29	130,5	15 206	2,00


$\mathcal{M}_{c_{f/0}} \cdot 10^{-3}$ N·m
$\mathcal{M}(c_{ia})$
I(A)
0,5
1,0
1,5
1500 tours/min.
CANSON & MONTGOLFIER


$\mathcal{M}_{c_{f/0}} \times 10^{-3}$ N·m
$\mathcal{M}(c_{ia})$
I(A)
0,5
1,0
1,5
2,0
2000 tours/min.


10
5
0
0,5
1,0
1,5
I(A)
2100 tours/min.


15
10
5
0
0,5
1,0
1,5
2,0
I(A)
3000 tours/min.

DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'APPAREIL

Nous ne fournirons ci-après que quelques indications succinctes destinées à donner au lecteur un aperçu d'un appareil relativement simple dans sa conception et pouvant subir des modifiactions dans sa réalisation. Ce modèle fait suite à un prototype réalisé par M. BÉROUARD dans le cadre d'un P.A.E. : « L'énergie et ses conversions en 1re S. E. et 1re F, mené en collaboration entre les lycées V.-Louis et Technique de Talence au cours des années scolaires 1983-1984 et 1984-1985, sur l'encouragement de M. R. MOREAU, C.M.I.G.

L' « Alimentation stabilisatrice », conçue par M. R. MOREAU, avait été étudiée et fabriquée par les élèves de 1^{re}_8 F_2 (BTn Electronique) sous la direction de M. CROS et c'est M. EGÉA, aide-laboratoire au Lycée Technique, qui avait construit une série de 20 appareils identiques à celui présenté dans ces pages, et avec beaucoup de soin.

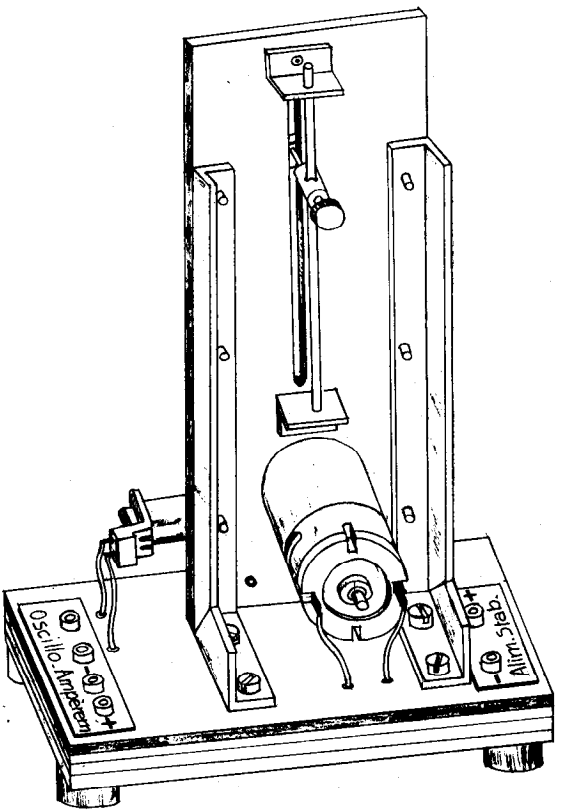


Fig. 1

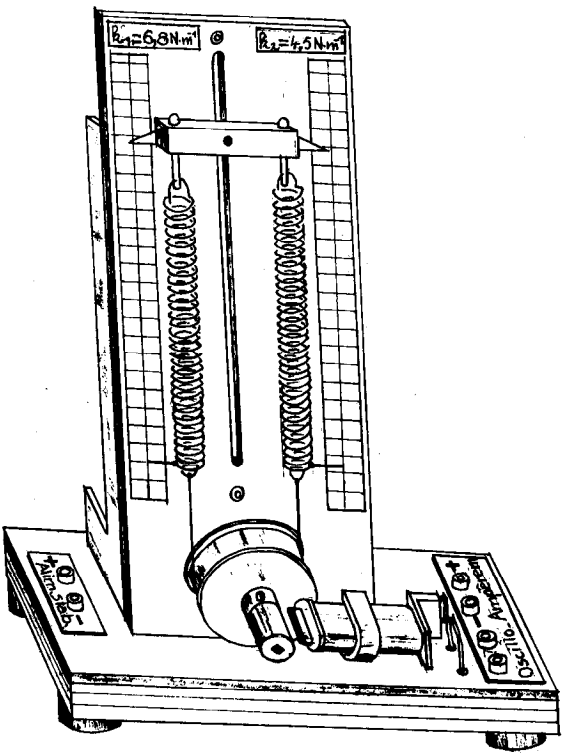


Fig. 2

Cet appareil comprend donc essentiellement :

— un panneau vertical en PVC (300 × 120 × 3) avec une « lumière » (20 × 4), riveté en 3 points sur 2 équerres obtenues à partir de profilé en aluminium (20 × 15 × 1,5) ; elles le maintiennent sur :

— un socle PVC (260 × 120 × 3) et contreplaqué « de 10 »,

— un moteur M 10-74080 - 0,4 A - 6 W (F. T.T.C. ≃ 55,00),

— une poulie en AU 4 G (∅ 40 ; épaisseur : 8) emmanchée sur l'axe du moteur ; un aimant cylindrique quadrupolaire récupéré sur un poste TV est collé sur la poulie et l'axe,

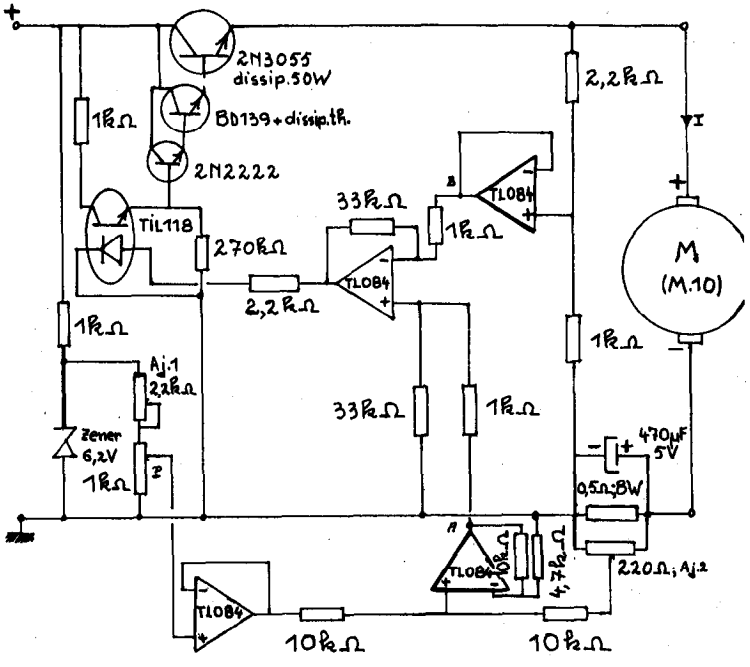
— une bobine récupérée dans un central téléphonique en démolition et dont on peut régler la distance à l'aimant en la faisant coulisser dans un support en PVC, riveté sur le panneau, et formé à cet effet grâce à un chalumeau à air chaud,

— deux ressorts de longueur à vide 6 et 7 cm environ obtenus à partir d'un ressort à boudin ∅ 12) (F. T.T.C. ≃ 39,60) sont suspendus à deux goupilles que l'on peut faire tourner de manière

à amener les index, soudés à leur partie inférieure, au contact des bandelettes de papier millimétré : on mesure très facilement ainsi, les longueurs des ressorts étirés. Leur étalonnage a donné pour valeurs des raideurs :

$$k_1 = 6{,}8 \text{ N.m}^{-1} \quad \text{et} \quad k_2 = 4{,}5 \text{ N.m}^{-1}.$$

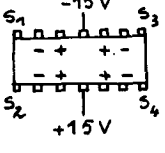
Alimentation pour petit moteur à courant continu (0,5 A) assurant une bonne stabilisation de vitesse lorsque la charge du moteur varie

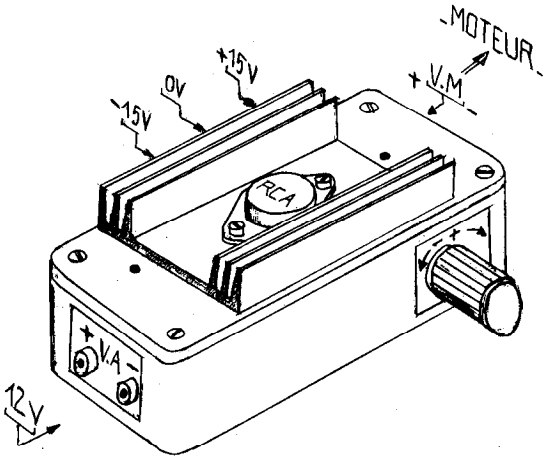


TIL118 : photo transistor

1 : anode
2 : cathode
4 : émetteur
5 : collecteur

TL084 : quadruple A.O.





ALIMENTATION STABILISATRICE

Adresses des fournisseurs.

— Moteur : Ecreso Electronics distribution, 125, rue de Kater - Bordeaux.

— Ressort : Didalab - rue Tabuteau - Z.I. du Buc, 78530 Versailles.