

COMMANDE DE MOTEURS A COURANT CONTINU

59 | 1969

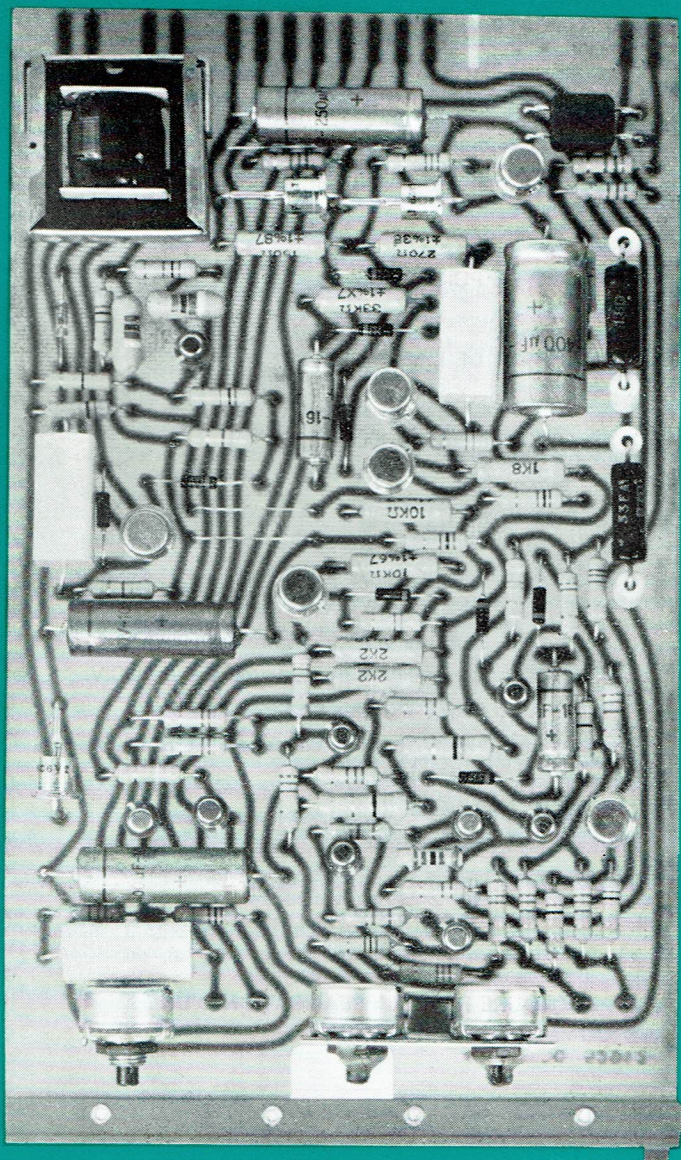
Plusieurs systèmes exigeant le contrôle de deux paramètres, asservissant l'un et limitant l'autre, peuvent utiliser pour la partie de commande, l'AEM 022 décrit cette information.

Ainsi, par exemple, on peut commander des moteurs à courant continu.

On pourrait aussi charger à courant constant des batteries pendant tout le cycle de la charge, tout en arrêtant celle-ci lorsque la f.c.e.m. a atteint une valeur spécifiée.

On pourrait encore maintenir constante la température d'un four électrique tout en limitant le courant à l'enclenchement, lorsque les résistances chauffantes sont froides.

Cette brochure d'information se limite à la description de l'utilisation de l'AEM 022 pour la commande de moteurs à courant continu.



AEM 022

I. INTRODUCTION

II. DESCRIPTION

III. CARACTERISTIQUES DE L'AEM 022

3. 1. Caractéristiques mécaniques
3. 2. Tensions d'entrée
3. 3. Tensions de sortie
3. 4. Compatibilité de l'AEM 022 et d'un thyristor

IV. MESURE DE LA VITESSE ET DU COURANT

4. 1. Méthodes de mesure de la vitesse
4. 1. 1. Pont compensé
4. 1. 2. Dynamo tachymétrique
4. 1. 3. Comparaison des méthodes
4. 2. Mesure du courant d'induit
4. 2. 1. Mesure par résistance
4. 2. 2. Mesure par transformateur
4. 2. 3. Comparaison des méthodes
4. 2. 4. Relations liant les courants moyen, de crête et efficace, en fonction de l'angle de conduction

V. LE PONT DE PUISSANCE

VI. UTILISATION DE L'AEM 022

6. 1. Circuit compensateur d'avance et de retard de phase
6. 2. Compensation RI.
6. 3. Asservissement de la vitesse et limitation du couple
6. 3. 1. Moteur de $\frac{2}{3}$ C.V.
6. 3. 2. Moteur de 2 C.V.
6. 3. 3. Boîte de vitesse électronique
6. 3. 4. Commande pour moteurs de 1 à 8 C.V.
6. 3. 5. Autres exemples
6. 4. Asservissement du couple et limitation de la vitesse
6. 4. 1. Schéma
6. 4. 2. Applications

VII. REGLAGE ET CONTROLE DE L'AEM 022

VIII. PROCEDURE POUR LA REALISATION D'UNE COMMANDE DE MOTEUR

IX. MONTAGE MECANIQUE DE L'AEM 022

INTRODUCTION

Les moteurs électriques peuvent se répartir en deux grandes familles :

D'une part, celle où la puissance est transmise au rotor par l'intermédiaire d'un collecteur et de balais et d'autre part, celle où cette transmission s'effectue par induction.

Les moteurs à collecteur et balais sont généralement alimentés en continu, avec des exceptions telles que, par exemple, le moteur série universel ou encore le moteur spécial dit de Schrage, qui sont alimentés en alternatif. Ces moteurs, du fait surtout de la présence du collecteur et des balais, sont relativement coûteux et exigent un entretien régulier. Cependant, ils se prêtent aisément aux commandes les faisant fonctionner dans des plages étendues de vitesse ou de couple.

D'autre part, les moteurs à induction, et principalement le moteur asynchrone, se caractérisent par une grande robustesse, une fiabilité élevée et un prix de revient relativement bas.

Le moteur à induction se prête plus difficilement que le moteur à collecteur à la commande variable de vitesse ou de couple. Celle-ci peut s'effectuer statiquement au moyen d'ensembles tels que l'onduleur à fréquence variable, le cycloconvertisseur, etc...

Ces ensembles sont plus coûteux et ont été développés plus récemment que leur équivalent pour la commande des moteurs à collecteur et balais.

C'est le souci d'un ensemble électronique éprouvé, fiable et permettant une grande souplesse dans l'utilisation, qui a fait préférer le moteur à collecteur et balais, associé à l'AEM 022.

La commande de moteurs en général, requiert le contrôle de deux paramètres.

Un premier qui est asservi à une consigne donnée, par exemple la vitesse de rotation ou le couple, et un second qui est limité à une valeur spécifiée, comme le couple ou la vitesse, respectivement.

Il est bien entendu que plusieurs systèmes exigeant le contrôle de deux paramètres, asservissant l'un et limitant l'autre, peuvent utiliser pour la partie de commande, l'AEM 022 décrit dans cette information.

Ainsi, par exemple, on peut commander des moteurs à courant continu.

On pourrait aussi charger à courant constant des batteries pendant tout le cycle de la charge, tout en arrêtant celle-ci lorsque la f.c.e.m. a atteint une valeur spécifiée.

On pourrait encore maintenir constante la température d'un four électrique tout en limitant le courant à l'enclenchement, lorsque les résistances chauffantes sont froides.

Cette brochure d'information se limite à la description de l'utilisation de l'AEM 022 pour la commande de moteurs à courant continu.

L'inducteur du moteur à collecteur et balais peut être alimenté de trois façons différentes :

- 1) Dans le cas du moteur à excitation indépendante, l'inducteur est alimenté en courant et l'induit en tension.
- 2) Dans le cas du moteur série, l'inducteur et l'induit sont parcourus par le même courant.
- 3) Dans le cas du moteur shunt, l'inducteur et l'induit sont alimentés en parallèle sous la même tension.

Une variation de vitesse peut être opérée en maintenant constante *la tension* aux bornes de l'induit, et en variant *le courant* dans l'inducteur.

Dans ce cas, la plage de vitesse peut s'étendre de N à $\frac{N}{4}$, environ.

Une plus grande plage peut cependant être obtenue en faisant l'inverse, c'est-à-dire en maintenant constant le courant dans l'inducteur et en agissant sur la tension aux bornes de l'induit.

La variation possible est alors de N à $\frac{N}{80}$, au moins.

De plus, la force contre-électromotrice développée aux bornes de l'induit est proportionnelle à la vitesse de rotation et au flux d'excitation produit par l'inducteur. Cette force contre-électromotrice peut servir, dans certains cas, à mesurer la vitesse.

Nous examinons de près le cas de l'excitation indépendante qui permet une meilleure étude théorique, et une utilisation pratique plus aisée.

Retenons cependant que l'AEM 022 n'exclut pas les autres modes d'alimentation du moteur à courant continu.

II DESCRIPTION

Quelle que soit la puissance du moteur contrôlé, il y a toujours toute une partie du circuit de commande qui reste invariable.

On pourrait la définir en gros comme étant la partie électronique, ou encore la partie à faible puissance, qui se distingue de la partie à forte puissance, c'est-à-dire celle qui comprend les diodes simples et les diodes contrôlées qui alimentent le moteur proprement dit.

Cette dernière partie de puissance doit, à l'opposé de la partie électronique, être calculée en fonction de chaque cas.

Le module AEM 022 contient les circuits électroniques permettant la régulation de la vitesse de rotation ou du couple des moteurs à courant continu d'une puissance inférieure ou égale à 8 C.V., à partir du réseau monophasé, et ceci dans un sens de rotation. La conception d'un système régulé complet se réduit ainsi au calcul de la partie à forte puissance comprenant les thyristors et les diodes.

L'emploi de l'AEM 022 apporte une solution économique, peu encombrante et rapide au problème de la commande des moteurs à courant continu.

L'AEM 022 permet deux modes de régulation :

- 1) L'asservissement de la vitesse de rotation à une consigne donnée, ajustable, et une limitation du courant d'induit ou du couple moteur.
- 2) L'asservissement du couple moteur à une consigne donnée, ajustable, et une limitation de la vitesse de rotation.

On peut résumer de la façon suivante les spécifications auxquelles satisfait le bloc électronique :

- 1) L'AEM 022 peut recevoir l'information de la vitesse instantanée provenant d'un pont compensateur mesurant la force contre-électromotrice ou d'une dynamo tachymétrique.

Lorsque l'asservissement de vitesse utilise un pont pour la mesure de la force contre-électromotrice, la diminution de la vitesse de rotation est comprise entre 3 % et 5 %, en passant du fonctionnement à vide à la charge nominale. Cette diminution est inférieure à 3 % si l'on utilise une dynamo tachymétrique.

- 2) L'information correspondant au courant d'induit du moteur peut être relevée soit par une résistance de mesure, soit par un transformateur de courant.
- 3) L'affichage de la consigne de vitesse peut s'effectuer manuellement, au moyen d'un potentiomètre, et également par une tension extérieure.
- 4) Le gain en boucle du système est ajustable, ce qui permet un fonctionnement optimal de la régulation.
- 5) L'information servant de consigne à un freinage éventuel peut être obtenue.
- 6) La cellule d'avance de phase permettant un meilleur comportement dynamique est ajustable extérieurement en fonction de la charge.
- 7) L'AEM 022 peut alimenter les circuits de gâchette d'un ou de deux thyristors, dans un réseau à 440 V efficaces, au maximum.

L'AEM 022 est alimenté sous 24 V, 50 Hz (-15% à $+10\%$) à partir du réseau qui alimente les thyristors.

La température ambiante peut varier de -20°C à $+70^{\circ}\text{C}$.

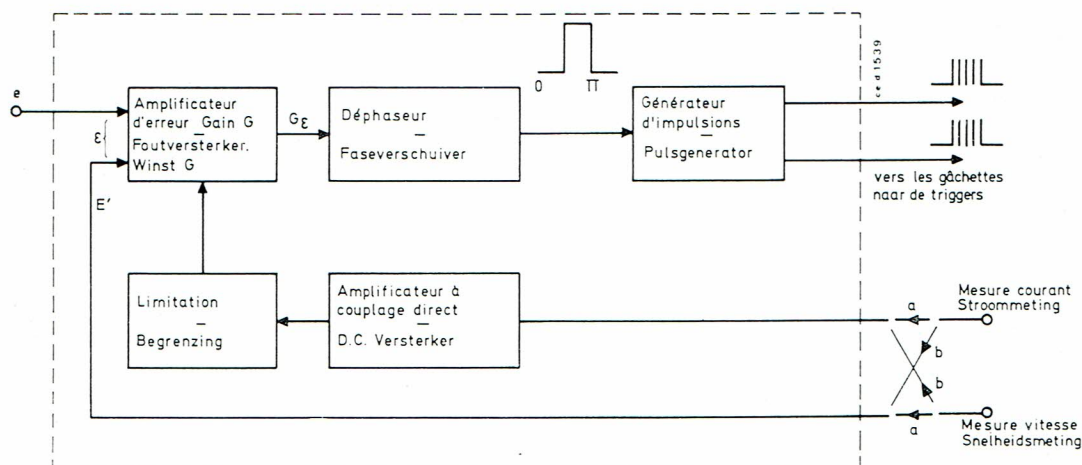


Fig. 1 — Schéma-bloc de l'AEM 022

Connexions a : asservissement de la vitesse avec limitation du courant ou du couple
Connexions b : asservissement du couple avec limitation de la vitesse

On peut établir à partir de ces données la liste des différents circuits qui sont groupés dans l'AEM 022 (voir la figure 1).

1) Un amplificateur d'erreur à deux entrées :

- l'une pour la tension e représentant une consigne de vitesse ou de couple ;
- l'autre pour la tension E' , ou le signal de réaction, représentant la vitesse ou le couple instantané mesuré sur l'axe.

Le mode commun de ces signaux est rejeté et le gain est réglable de façon continue. L'avance du signal de réaction peut être ajustée extérieurement.

2) Un circuit déphaseur traduisant le signal d'erreur provenant de l'amplificateur en un angle de conduction des thyristors variant de 0 à 180°.

3) Un générateur fournissant les impulsions nécessaires aux circuits de gâchette d'un ou de deux thyristors, suivant l'angle de conduction déterminé par le circuit déphaseur. Les deux circuits de sortie sont isolés l'un de l'autre pour des tensions allant jusqu'à 440 V efficaces.

4) Un circuit de mesure du courant traversant l'induit du moteur. Au cas où l'on utilise une résistance en série avec l'induit, le signal recueilli doit rester faible, de façon à limiter la dissipation dans cette résistance. Il faut donc disposer d'un amplificateur à couplage direct pour amener ce faible signal à un niveau utilisable. On peut également injecter dans ce circuit une tension proportionnelle à la vitesse, dans le cas d'un asservissement de couple.

5) Un circuit de limitation qui peut prendre le pas sur la boucle principale lorsque la grandeur à limiter (cou-

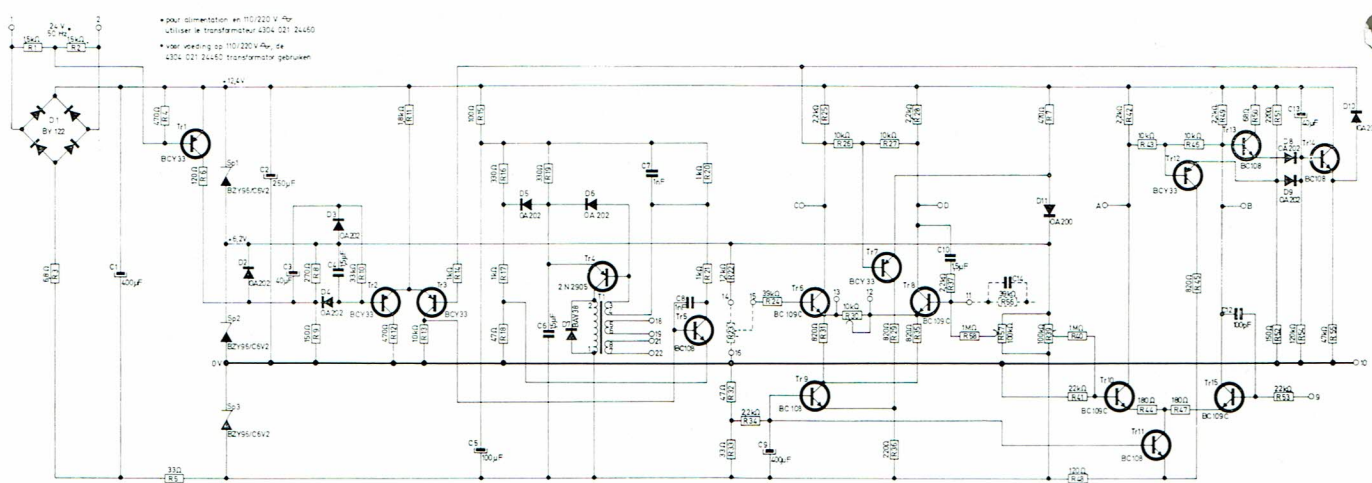


Fig. 2 — Schéma électrique de l'AEM 022

rant ou vitesse) atteint et dépasse la limite proposée. Le temps de réponse de ce circuit à un dépassement de la limite est de l'ordre d'une demi-période.

Après disparition du dépassement, le temps de retour à l'asservissement contrôlé par la boucle principale est de plusieurs secondes.

Ceci évite toute dissymétrie dans les temps de conduction des deux thyristors du pont de puissance.

Ces différents circuits forment, on vient de le voir, deux boucles de réaction.

- 1) L'amplificateur d'erreur, le circuit déphaseur et le générateur d'impulsions forment la boucle principale, asservissant soit la vitesse de rotation, soit le couple moteur à une consigne e.
- 2) L'amplificateur de tension continue et le circuit de limitation forment la boucle de limitation, limitant le courant, dans le cas d'un asservissement de vitesse, ou la vitesse dans le cas d'un asservissement de couple.

Le schéma général de l'AEM 022 est donné à la figure 2.

N.B. Ce n'est pas le but de cette information de décrire en plus de détails chacun des circuits mentionnés ci-dessus.

Le lecteur, s'il le désire, pourra consulter avec profit la référence [1].

III. CARACTERISTIQUES DE L'AEM 022

3.1. CARACTERISTIQUES MECANIQUES

- 1) L'AEM 022 est monté sur un circuit imprimé en résine époxy. Les dimensions sont données à la figure n° 3.

Le raccordement aux circuits périphériques se fait au moyen d'un connecteur à 23 contacts, du type 2422. 020.52592, suivant la figure n° 4.

Un détrompeur n° 4332.026.04740 doit être introduit, afin d'éviter l'inversion de la plaquette (voir aussi le chapitre 9).

2) Raccordement :

Bornes 1 et 2	: alimentation : 24 V _{eff} 50 Hz
Borne 9	: tension représentant le paramètre limité (courant ou vitesse)
Borne 10	: niveau 0 de référence
Borne 11	: tension représentant le paramètre asservi : vitesse ou couple ou courant moyen d'induit
Bornes 12, 13	: permettent le réglage à distance du gain en boucle, après suppression de R ₃₀ sur le circuit
Bornes 14, 15 16	: consigne par potentiomètre
Bornes 15, 16	: consigne par tension
Bornes 18, 19, 21 et 22	: les deux circuits de gâchette

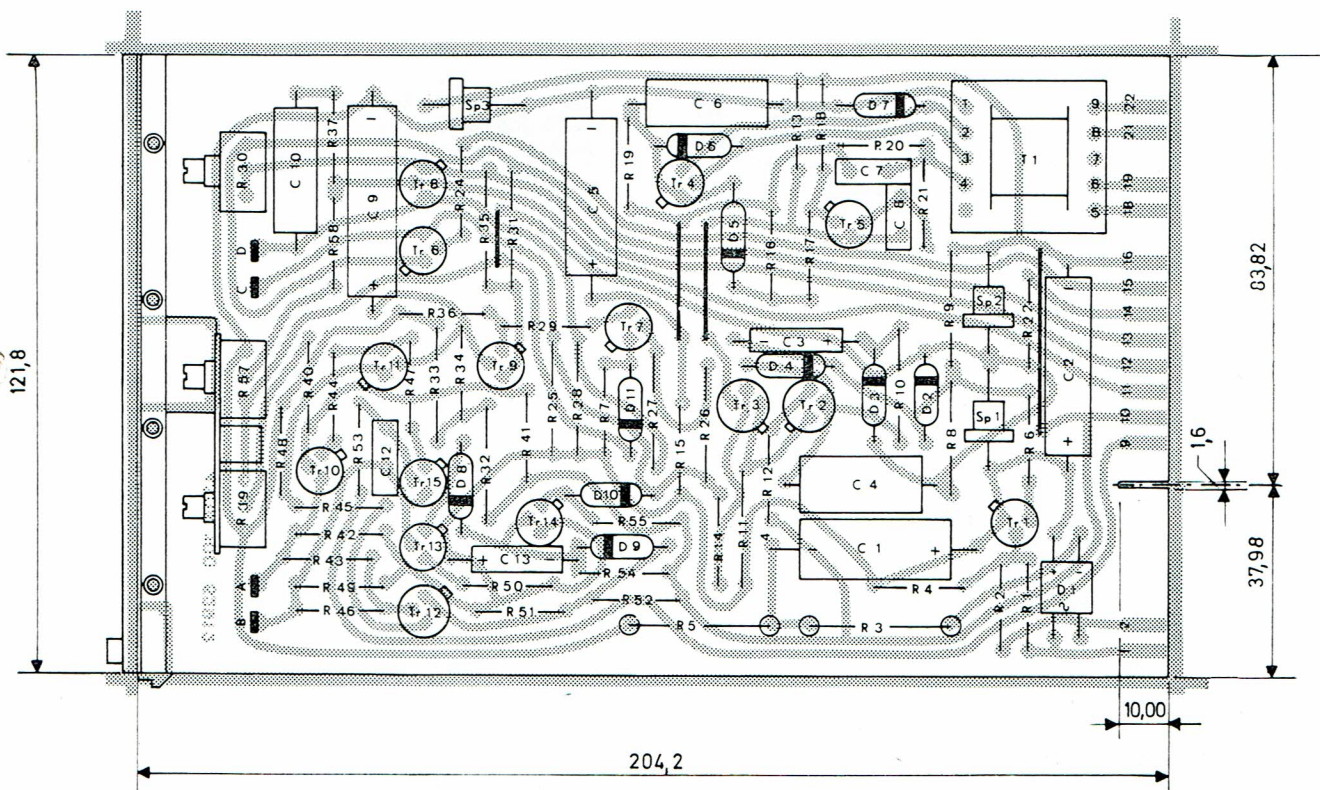


Fig. 3 — Aspect physique et dimensions de l'AEM 022
Hauteur hors tout : 26 mm

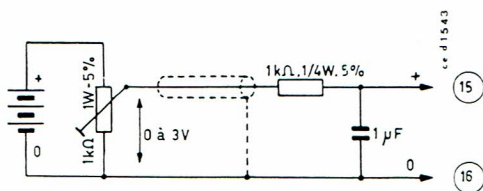


Fig. 6 — Commande en tension avec cellule R C

Remarque importante :

Lors d'une commande en tension (figure 6) on aura soin d'utiliser des fils blindés ou torsadés pour les conducteurs amenant la tension de consigne au module. Suivant la longueur et le parcours de ces fils, il est même recommandé de monter une cellule RC (R : 1 kΩ, 1/4 W, et C : 1 μF) à proximité des bornes 15 et 16.

Sans ces précautions, en effet, les flancs relativement raides du courant traversant les conducteurs de la partie de puissance peuvent induire des tensions parasites dans le circuit de consigne à haute impédance et causer ainsi un fonctionnement erratique de l'ensemble.

3) Tension de réaction représentant le paramètre régulé

Suivant le mode de régulation utilisé, cette tension est une mesure soit de la vitesse de rotation instantanée du moteur, soit du couple instantané. Elle est appliquée entre les bornes 11 et 10 (11 : positif, 10 : référence ou masse).

L'impédance de sortie du capteur (pont compensé, dynamo, transformateur de courant, etc...) doit être inférieure à 5 kΩ.

On raccorde en série avec le conducteur relié à la borne 11 une résistance de 39 kΩ, 1/4 W, shuntée par un condensateur C ; ceci constitue la cellule ajustable d'avance de phase du système asservi (voir fig. 7 et aussi le § 6.1.).

Il est indispensable de prévoir cette résistance, même si un condensateur d'avance de phase s'avère inutile, car elle assure la symétrie des impédances d'entrée de l'amplificateur différentiel.

L'excursion de la tension de réaction ne doit pas dépasser 3 V.

Il est nécessaire d'atténuer en conséquence le signal provenant du capteur de vitesse ou de couple.

4) Tension de réaction représentant le paramètre limité

Le paramètre limité est le courant d'induit ou le couple, lors d'un asservissement de vitesse, et la vitesse, lors d'un asservissement de couple.

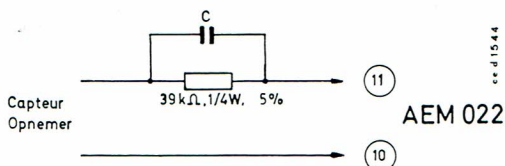


Fig. 7 — Cellule d'avance de phase, pour le paramètre régulé

La tension de réaction de la boucle de limitation est amenée aux bornes 9 et 10 (9 : négatif, 10 : référence ou masse).

L'impédance d'entrée est de 30 kΩ.

La boucle de limitation prend le pas sur la boucle d'asservissement lorsque la valeur de crête de la tension amenée entre 9 et 10 atteint 2,5 V.

Par exemple, si nous utilisons une résistance de mesure de 0,33 Ω, le courant de crête répétitive parcourant l'induit et les thyristors est limité à la valeur :

$$i = \frac{2,5}{0,33} = 7,5 \text{ A}$$

Si nous intégrons la tension aux bornes de la résistance de mesure, c'est le courant **moyen**, ou le couple qui est limité à cette même valeur de 7,5 A.

Des valeurs plus élevées du courant limite peuvent être obtenues en atténuant le signal de réaction.

La précision de régulation sur la valeur limitée est de 5 à 7 %.

3.3. TENSIONS DE SORTIE

Les tensions de sortie apparaissant aux bornes 18-19 et 21-22 sous la forme de trains d'impulsions, permettent d'alimenter les circuits de gâchette d'un seul ou de deux thyristors, dans les conditions décrites au § 3.4 (compatibilité). Une résistance de 27 Ω, 1/4 W, 5 %, doit être raccordée extérieurement en série dans chaque circuit de sortie.

La figure 8 indique comment varie la durée des impulsions en fonction du courant de gâchette, pour un seul et deux thyristors.

Le temps de montée des impulsions dépend du courant débité, et est inférieur ou égal à 1 μs.

L'isolation relative des enroulements de sortie est telle que les impulsions peuvent amorcer des thyristors montés en tête-bêche dans un réseau dont la tension nominale peut atteindre 440 V efficaces.

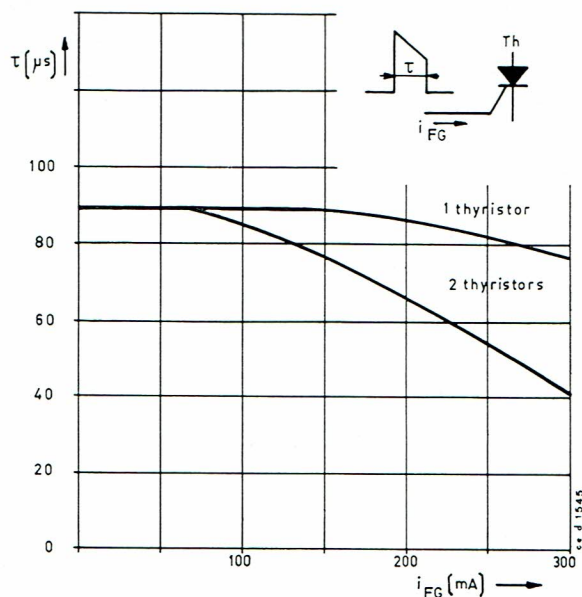


Fig. 8 — Durée des impulsions de gâchette, en fonction du courant i_{FG}

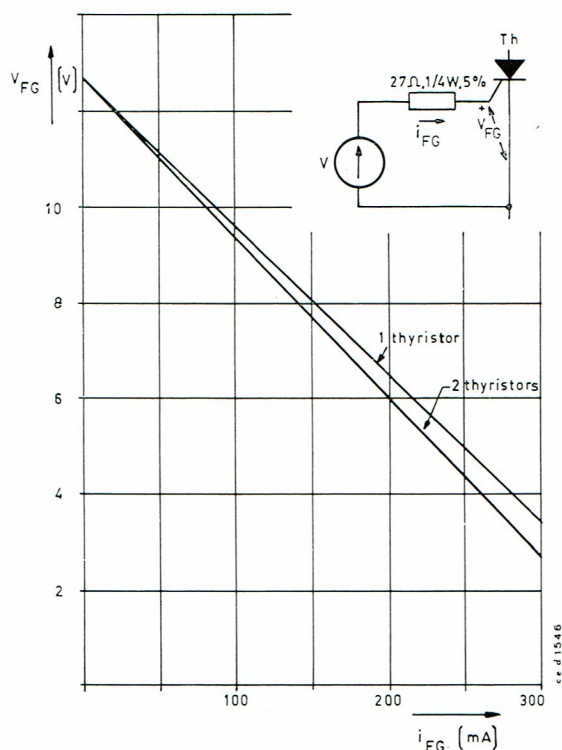


Fig. 9 — Droites de charge de l'AEM 022

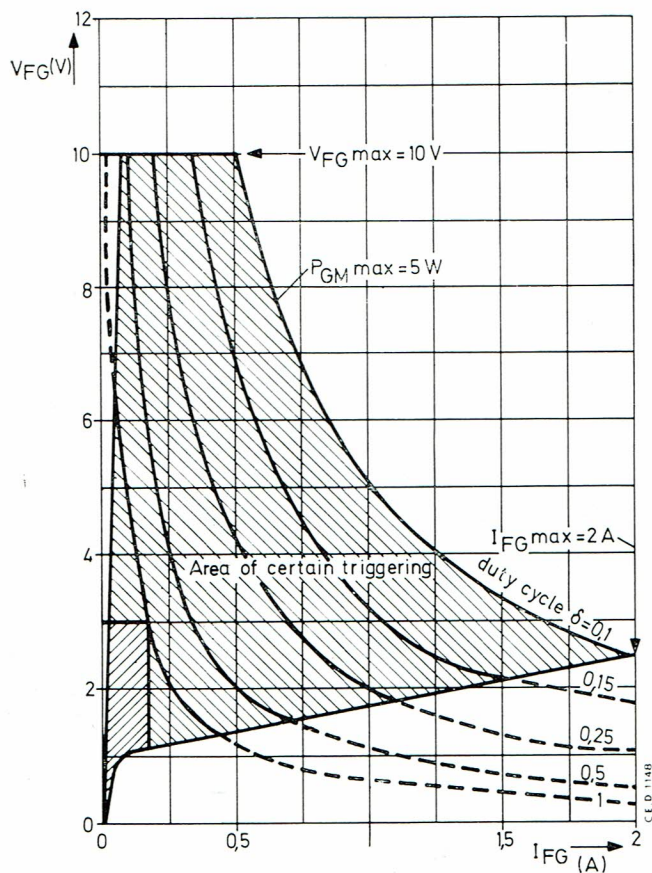


Fig. 10 — Exemple de caractéristiques d'un thyristor

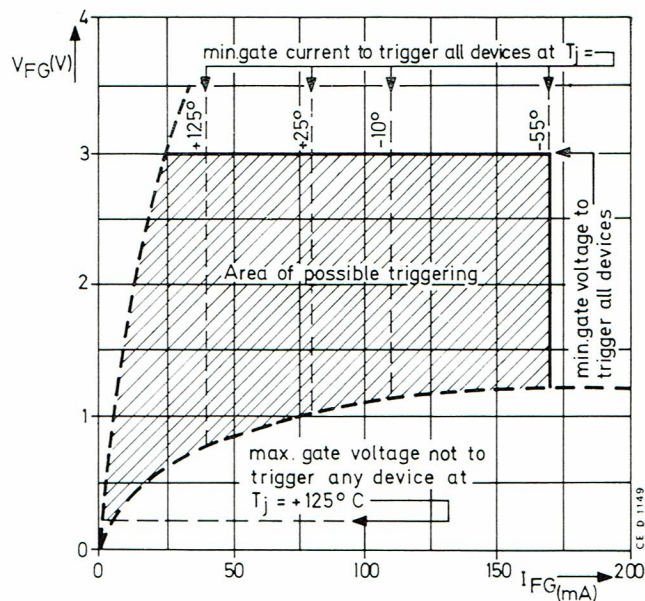


Fig. 11 — Agrandissement de la figure 10

3.4. COMPATIBILITE DE L'AEM 022 ET D'UN THYRISTOR

Ce problème peut être résolu graphiquement, de manière très aisée, au moyen des caractéristiques de sortie du module, à la figure 9.

Cette figure représente les deux droites de charge de l'AEM 022, l'une pour l'amorçage d'un thyristor, l'autre pour l'amorçage de deux thyristors.

D'autre part, les constructeurs publient toujours les courbes d'amorçage de leurs thyristors. Un exemple en est donné à la figure 10. La figure 11 est un agrandissement de la figure précédente, dans la zone qui nous intéresse.

Le graphique comporte deux régions : l'une dite d'amorçage certain (area of certain triggering), l'autre d'amorçage incertain ou possible (area of possible triggering) limitée, à droite, par des verticales correspondant à diverses températures T_j . Lors du choix d'un thyristor, on détermine d'abord la température minimale à laquelle sera soumise la jonction du thyristor, soit $T_{j\min}$.

En cas de doute, on impose T_j = température ambiante minimale.

On déduit ainsi la verticale délimitant à droite la zone d'allumage incertain ou possible.

On superpose ensuite la droite de charge de l'AEM 022 (pour 1 ou 2 thyristors, suivant le cas).

Tout thyristor dont la zone d'allumage incertain n'est pas coupée par la droite de charge, peut être commandé par l'AEM 022.

Les figures 12 et 13 illustrent deux exemples.

IV. MESURE DE LA VITESSE ET DU COURANT

4.1. METHODES DE MESURE DE LA VITESSE DE ROTATION

Toute méthode de mesure de la vitesse convient, à condition que :

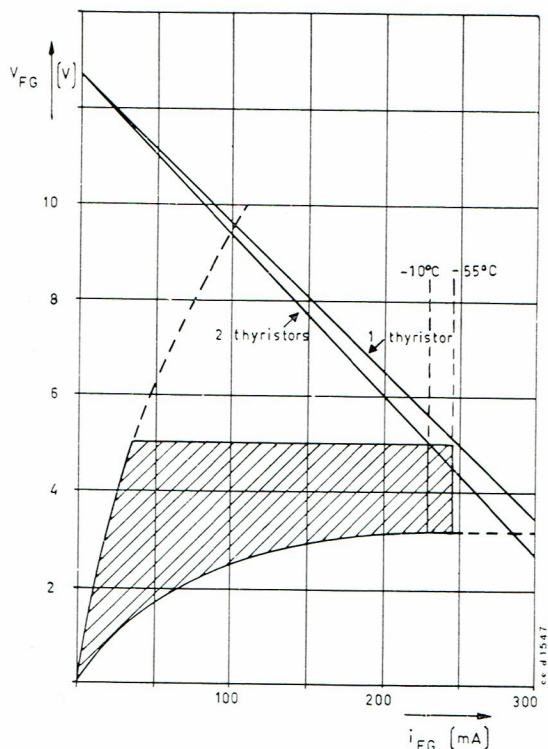


Fig. 12 — Exemple : amorçage certain d'un thyristor jusqu'à -55°C et d'un ou de deux thyristors jusqu'à -10°C

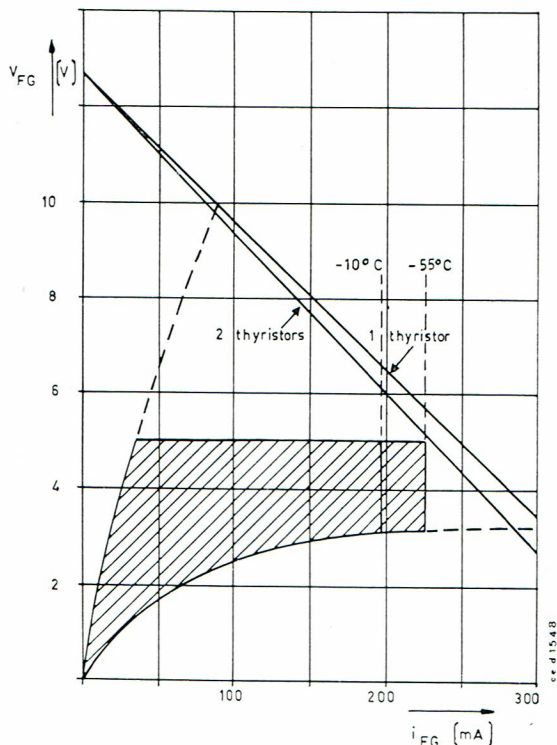


Fig. 13 — Exemple : amorçage certain d'un ou de deux thyristors jusqu'à -55°C

- l'impédance de sortie du circuit capteur soit inférieure à $3\text{ k}\Omega$.
- la courbe tension/vitesse soit linéaire, c'est-à-dire que cette courbe ne présente ni zone morte, ni zone de saturation.
- le temps de réponse soit inférieur à $0,1\text{ s}$.
- la tension de sortie soit d'au moins 3 volts à la vitesse nominale et que cette tension présente une ondulation résiduelle inférieure à 300 mV crête à crête dans toute la plage de vitesse.

Analysons deux méthodes de mesure :

- le pont compensé mesurant la force contre-électromotrice de l'induit et la dynamo tachymétrique.

Nous n'entrons pas dans le détail d'autres procédés tels que ceux utilisant des capteurs optiques ou magnétiques, par exemple, bien que ces procédés puissent parfaitement être utilisés, à condition de satisfaire aux conditions énumérées ci-dessus.

4.1.1. Le pont compensé mesurant la force contre-électromotrice

L'induit d'un moteur à courant continu, dont l'inducteur est alimenté de façon indépendante, peut se représenter par un circuit série R_m, L_m, E , où R_m est la résistance ohmique de l'induit, L_m la self induction de l'induit et $E = KN\Phi$ la force contre-électromotrice.

Lorsque l'induit est parcouru par un courant $i(t)$, qui est en fait du courant continu pulsé, la différence de potentiel mesurée entre les balais à la forme :

$$e(t) = R_m \cdot i(t) + L_m \frac{di(t)}{dt} + E$$

Nous négligeons ici la différence de potentiel de contact entre chaque balai et le collecteur.

Moyennant cette approximation, et après élimination des termes en R_m et L_m , la tension e est proportionnelle à la vitesse de rotation.

Les termes en R_m et L_m sont éliminés par le montage de la figure 14 qui forme, avec l'induit, un pont compensé.

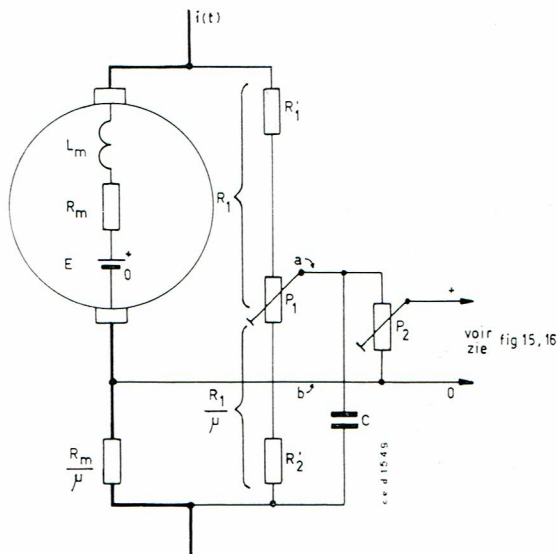


Fig. 14 — Mesure de la force contre-électromotrice par pont compensé

On raccorde à cet effet en série avec l'induit la résistance $\frac{R_m}{\mu}$.

Les deux autres branches du pont sont formées par les résistances R_1 et $\frac{R_1}{\mu}$ cette dernière étant shuntée par le condensateur C , qui vaut :

$$C = \frac{\mu \cdot L_m}{R_m \cdot R_1} \text{ [F]}$$

μ est un facteur arbitraire, sans dimensions dont le choix détermine la sensibilité du pont de mesure, c'est-à-dire la tension recueillie à ses bornes pour un déséquilibre donné.

On peut démontrer que, dans ces conditions, le pont est équilibré quelles que soient l'amplitude et la fréquence de la tension alimentant le moteur.

La tension apparaissant entre les points a et b vaut :

$$\frac{E}{\mu + 1} \text{ [V]}$$

L'impédance de sortie en continu à ces bornes est :

$$\frac{R_1 + R_m}{\mu + 1} \text{ [\Omega]}$$

La puissance maximale dissipée dans $\frac{R_m}{\mu}$ est :

$$\frac{R_m}{\mu} (i_{\text{eff max}})^2 \text{ [W]}$$

En pratique, la branche formée de R_1 et $\frac{R_1}{\mu} C$ comprend un potentiomètre P_1 et deux résistances R'_1 et R'_2 .

On choisit :

$$\begin{aligned} P_1 &= 3,3 \text{ k}\Omega \text{ } 3 \text{ W} \\ R'_1 &= 8,2 \text{ k}\Omega \text{ } 5,5 \text{ W} \\ R'_2 &= 470 \text{ }\Omega \text{ } 0,5 \text{ W} \end{aligned}$$

Pour un réseau à 220 Veff on peut choisir une valeur de μ égale à 10.

La valeur de C est donnée par :

$$C = \frac{\mu + 1}{11,97} \cdot \frac{L_m}{R_m} \cdot 10^{-3} \text{ [F]}$$

Pour $\mu = 10$:

$$C = 0,925 \frac{L_m}{R_m} 10^{-3} \text{ [F]}$$

Exemple :

un inductif présentant une constante de temps $\frac{L_m}{R_m}$ de 10 ms nécessite un condensateur C de 9,25 μF .

La branche $\frac{R_1}{\mu}$ est formée de la résistance R'_2 de 470 Ω et d'une partie du potentiomètre P_1 égale à :

$$\frac{11,970}{\mu + 1} = 470 \text{ [\Omega]}$$

Pour $\mu = 10$, cette partie de P_1 vaut 520 Ω .

La tension de sortie est donnée par : ($\mu = 10$).

$$\frac{E_{\text{max}}}{11} \text{ [V]}$$

L'impédance de sortie, en continu est de ($\mu = 10$) :

$$1088 + \frac{R_m}{11} \approx 1088 \text{ }\Omega$$

Procédure de calcul d'un pont compensé

1. Relever les paramètres :

- R_m et L_m
- la force contre-électromotrice E_{max} correspondant à la vitesse de rotation maximale et au champ d'induction nominal.
- le courant d'induit moyen nominal $I_{\text{av max}}$.

2. Calculer, pour $\mu = 10$, les grandeurs :

- $R_m/10$ = résistance de mesure [Ω]
- $R_m/10 (I_{\text{av max}} \cdot 1,3)^2$: la puissance dissipée [W] dans celle-ci, en admettant pour le courant un facteur de forme de 1,3

$$C = 0,925 \frac{L_m}{R_m} 10^{-3} \text{ [F]} \text{ le condensateur } C$$

$$\frac{E_{\text{max}}}{11} \text{ [V]} : \text{ la tension de sortie du pont}$$

Au besoin, recommencer le calcul en imposant d'autres valeurs à μ pour obtenir $\frac{E_{\text{max}}}{\mu + 1}$ supérieur ou égal à 3 V de façon à trouver pour R_m/μ et C des valeurs acceptables.

Remarquons que l'ajustage de P_1 permet de faire varier μ de 2,2 à 24,5. Si néanmoins, aucune valeur de μ ne permet d'obtenir des valeurs acceptables pour R_m/μ et C , il est nécessaire d'adopter un autre procédé de mesure de la vitesse de rotation.

3. Positionner le potentiomètre P_1 à l'ohmètre de façon à trouver entre le curseur et l'extrémité inférieure (voir la figure 14) la valeur de 520 Ω (pour $\mu = 10$) ou $\frac{11,970}{\mu + 1} - 470$ pour d'autres valeurs de μ .

4. Positionner le potentiomètre atténuateur P_2 (1 k Ω , 0,5 W) de façon à obtenir entre le curseur et l'extrémité inférieure (voir la figure 14) une tension de 3 V lorsque la tension $\frac{E_{\text{max}}}{\mu + 1}$ est présente aux bornes extrêmes.

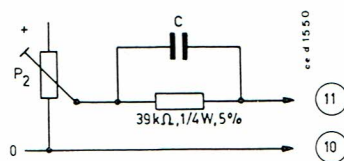


Fig. 15 — Raccordement du pont compensé de la fig. 14 : cas d'un asservissement de la vitesse

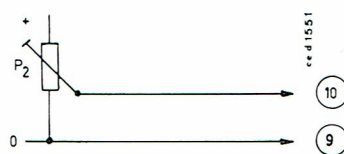


Fig. 16 — Raccordement du pont compensé de la fig. 14 : cas d'un asservissement du couple

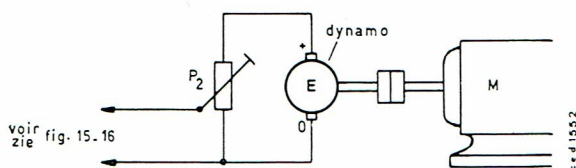


Fig. 17 — Mesure de la vitesse par dynamo tachymétrique

La liaison du pont compensé avec l'AEM 022 se fait lors de l'asservissement de vitesse suivant la figure 15 et lors de l'asservissement de couple suivant la figure 16.

4.1.2. La dynamo tachymétrique (voir la figure 17)

Les bornes de la dynamo sont reliées aux bornes extrêmes d'un potentiomètre P2 de 1 kΩ, par exemple. La tension de la dynamo à la vitesse nominale étant E, on choisit un potentiomètre d'une puissance donnée par

$$\frac{E^2}{R_{(P2)}} = 10^{-3} \cdot E^2$$

Lors d'un asservissement de vitesse, le curseur du potentiomètre P2 est relié par l'intermédiaire de la cellule d'avance de phase (C, R = 39 kΩ) à la borne 11 (voir la figure 15).

La borne 10 est reliée à la borne inférieure du potentiomètre.

La borne 11 doit être positive par rapport à la borne 10.

Le potentiomètre est ajusté de façon à fournir 3 V entre les bornes 10 et 11 à la vitesse nominale.

Lors d'un asservissement de couple on relie directement le curseur de P2 à la borne 10 et la borne inférieure de P2 à la borne 9.

Cette dernière doit être négative par rapport à la borne 10. Le potentiomètre est ajusté de façon à fournir 2,5 V entre les bornes 9 et 10 à la vitesse limite désirée (voir la figure 16).

4.1.3. Comparaison des deux méthodes

La dynamo tachymétrique permet d'atteindre une précision d'asservissement de la vitesse meilleure que 3 %. En raison du déséquilibre provoqué par l'échauffement de la résistance Rm du cuivre de l'induit, et en raison aussi de la variation de l'inductance Lm, le pont ne peut assurer qu'une précision comprise entre 3 et 5 % sur la vitesse.

Par précision d'asservissement, on entend la diminution relative de la vitesse de rotation due à l'augmentation du couple lorsque la charge passe de zéro à sa valeur nominale, et ceci en partant de la vitesse nominale.

La dynamo tachymétrique doit être utilisée dans les cas où une haute précision est demandée pour des moteurs d'une puissance de 0 à 1 kW, et de toutes façons pour des puissances supérieures, si l'on considère la dissipation croissante dans les éléments du pont de mesure.

Le pont compensé peut servir pour des moteurs de puissance fractionnaire (0 à 1 kW).

L'isolement galvanique d'une part, les exigences mécaniques de la fixation et l'encombrement de la dynamo d'autre part, sont encore un avantage et des inconvénients qui peuvent être cités lors d'une comparaison entre les deux méthodes.

Le choix final entre la dynamo et le pont de mesure sera le résultat d'un compromis entre le prix de l'ensemble et les performances du système dans les deux cas, en prenant la puissance du moteur comme paramètre.

4.2. MESURE DU COURANT D'INDUIT

Du fait qu'il est obtenu par un redressement des deux alternances, au moyen de thyristors et diodes, le courant d'induit présente une composante alternative à 100 Hz superposée à une composante continue moyenne.

La mesure du courant peut avoir trait soit à la valeur moyenne du courant, soit à sa valeur de crête répétitive.

On mesurera de préférence la valeur de crête du courant d'induit lorsque l'on désirera asservir en vitesse un moteur d'une puissance inférieure à 1 kW, et surtout lorsque la protection de la partie de puissance est envisagée.

En effet : si la valeur de crête du courant est limitée au courant maximal de crête répétitive du thyristor utilisé, les valeurs moyenne et efficace du courant traversant ce dernier seront toujours en deçà de la limite fixée, quels que soient l'angle de conduction et le type de charge.

D'autre part, on mesurera plutôt le courant moyen, ce qui équivaut à mesurer le couple moteur, lors d'un asservissement de couple, et aussi lors d'un asservissement de vitesse au cas où l'on désire réaliser des accélérations à couple limite constant.

Cette seconde méthode exige en contre-partie un surdimensionnement de la partie de puissance par rapport à la première méthode, pour les raisons suivantes :

- un courant moyen constant implique un courant de crête répétitive croissant à angle de conduction décroissant. Voir à ce sujet la courbe C de la figure 23 ;
- d'autre part, le temps de réponse de l'AEM 022 à un dépassement de la limite de courant est de l'ordre d'une alternance pour la première méthode et de 3 à 8 alternances pour la seconde. C'est-à-dire que, dans le second cas, le thyristor aura à supporter un surcourant pendant un temps de 3 à 8 fois plus long que celui intervenant dans le cas où l'on adopte la première méthode.

Nous allons examiner deux façons de mesurer le courant d'induit : par résistance et par transformateur, et deux façons d'utiliser ces mesures.

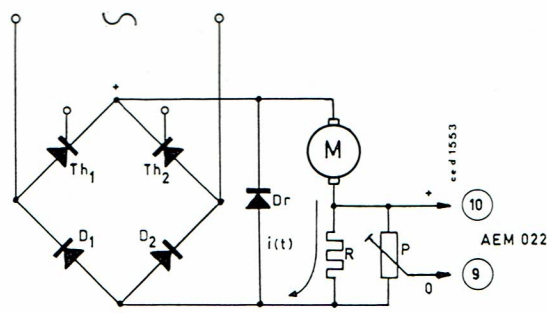


Fig. 18 — Mesure du courant d'induit par résistance

4.2.1. Mesure du courant d'induit par résistance

La résistance de mesure R est raccordée en série avec l'induit, comme illustré à la figure 18.

- 1° Dans le cas d'une limitation du courant, le signal recueilli aux bornes de cette résistance R est amené par un potentiomètre atténuateur P ($1\text{ k}\Omega$, $\frac{1}{2}\text{ W}$) aux bornes 9 et 10 de l'AEM 022 ; la borne 10 doit être positive par rapport à la borne 9.

Le potentiomètre P est ajusté de façon à fournir une tension de $2,5\text{ V}$ entre 9 et 10 lorsque le courant de crête d'induit atteint la limite proposée. L'atténuation α est alors donnée par :

$$\alpha = \frac{2,5}{R \cdot i_{\text{crête}}}$$

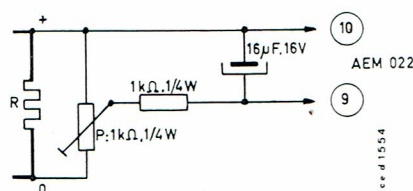


Fig. 19 — Limitation du couple moteur : une cellule d'intégration est insérée dans le circuit de la fig. 18

On peut effectuer une limitation du courant moyen, c'est-à-dire du couple moteur, en intercalant un circuit intégrateur entre le circuit de la figure 18 et l'AEM 022, comme à la figure 19.

$$R = 1\text{ k}\Omega, \frac{1}{4}\text{ W} \quad C = 16\text{ }\mu\text{F}, 16\text{ V}$$

- 2° Lors d'un asservissement du couple, on ajoute une résistance de $39\text{ k}\Omega$, $\frac{1}{4}\text{ W}$, 5%, et un condensateur d'intégration de $3,3\text{ }\mu\text{F}$, 100 V, et on raccorde le tout aux bornes 11 et 10 de l'AEM 022 suivant la figure 20.

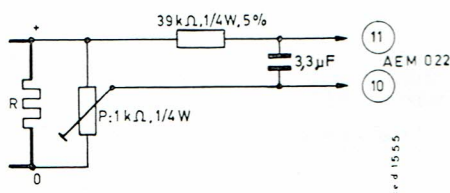


Fig. 20 — Asservissement du couple moteur : le signal est appliqué aux bornes 10 et 11 au travers d'une cellule d'intégration

Le potentiomètre P est ajusté de façon à fournir entre 11 et 10 une tension de 3 V lorsque l'induit est parcouru par le courant moyen nominal correspondant au couple nominal du moteur.

Dans tous les cas, le choix de la résistance de mesure dépend des conditions suivantes :

- provoquer, pour le courant d'induit nominal (moyen ou de crête) une chute de tension correspondant aux niveaux définis plus haut ;
- admettre une dissipation de R ($i_{\text{moy}} \cdot 1,3$)² [W].

Remarques :

- a) 1,3 est un exemple de valeur du facteur de forme du courant ;
- b) si l'on mesure la vitesse de rotation au moyen d'un pont compensé, selon la figure 14, il est intéressant de se servir de la résistance $\frac{R_m}{\mu}$ également pour la mesure du courant d'induit suivant les règles énoncées ci-dessus.

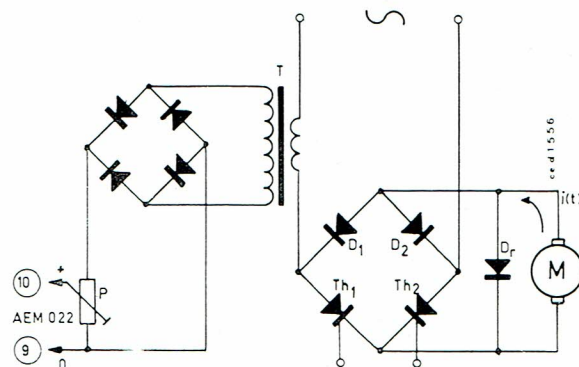


Fig. 21 — Mesure du courant d'induit par transformateur de mesure

4.2.2. Mesure du courant d'induit par transformateur

Le primaire du transformateur de mesure T peut se raccorder en série dans la ligne alternative, comme montré à la figure 21.

Les deux alternances de la tension obtenue au secondaire sont redressées, ce qui donne une image du courant d'induit du moteur.

Cette tension doit être utilisée lors des asservissements de vitesse et de couple qui nécessitent l'information soit du courant moyen d'induit, soit du courant de crête, comme décrit au paragraphe 4.2.1. et aux figures 18, 19 et 20.

Le potentiomètre P est le même que celui décrit plus haut.

On peut encore être amené, par exemple, à utiliser un transformateur de courant avec un primaire à prise médiane, suivant le schéma de la figure 22.

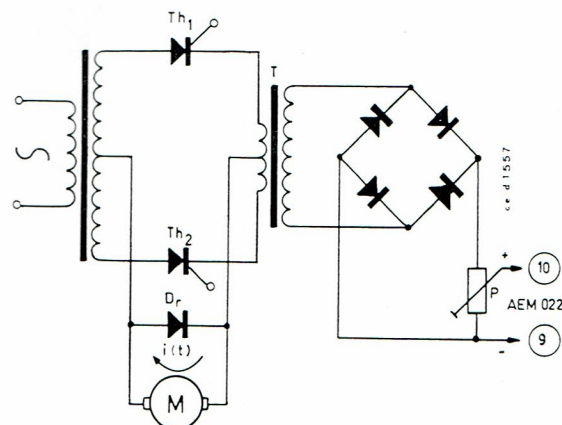


Fig. 22 — Autre solution, avec transformateur à prise médiane

A titre d'exemple, voici les données d'un transformateur permettant la mesure jusqu'à 6 A eff.

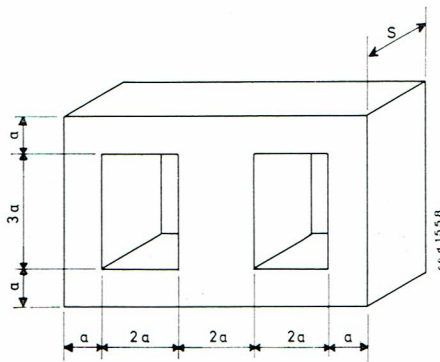


Fig. 22 bis — Circuit magnétique standard

- tôles à 10.000 G ou 1 Wb/m²
a = 6,4 mm ; S : 12,5 mm (voir figure 22bis)
primaire : 10 tours, Ø = 1 mm
secondaire : 2.500 tours, Ø = 0,08 mm.

Le calcul détaillé d'autres transformateurs de courant sort du cadre de la présente information.

4.2.3. Comparaison des méthodes de mesure

Le transformateur présente sur la résistance de mesure les avantages suivants :

- isolement galvanique entre le circuit électronique et le circuit de puissance ;
 - dissipation minimale et indépendante de la puissance du moteur.
- Il a comme désavantage un prix de revient plus élevé.

4.2.4. Relations liant les courants moyen, de crête et efficace en fonction de l'angle de conduction de thyristors

Lors d'une limitation du courant de crête répétitive, il est intéressant de connaître la variation du courant moyen, dont dépend le couple moteur, en fonction de l'angle de conduction de thyristors.

Cette information est donnée à la figure 23 par la courbe A.

Les valeurs indiquées en ordonnée valent pour un courant de crête limité à 10 A. La variation du courant efficace d'induit est donnée par la courbe B dans les mêmes conditions.

La courbe C donne la variation du courant de crête répétitive en fonction de l'angle de conduction des thyristors, le courant moyen étant limité à 1 A.

La courbe D donne la variation du courant efficace dans les mêmes conditions.

Remarque : La courbe D représente en fait le facteur de forme I_{eff}/I_{moyen} . Lors de l'établissement de ces courbes, on a considéré une charge purement résistive, on n'a donc pas tenu compte de son caractère inductif éventuel.

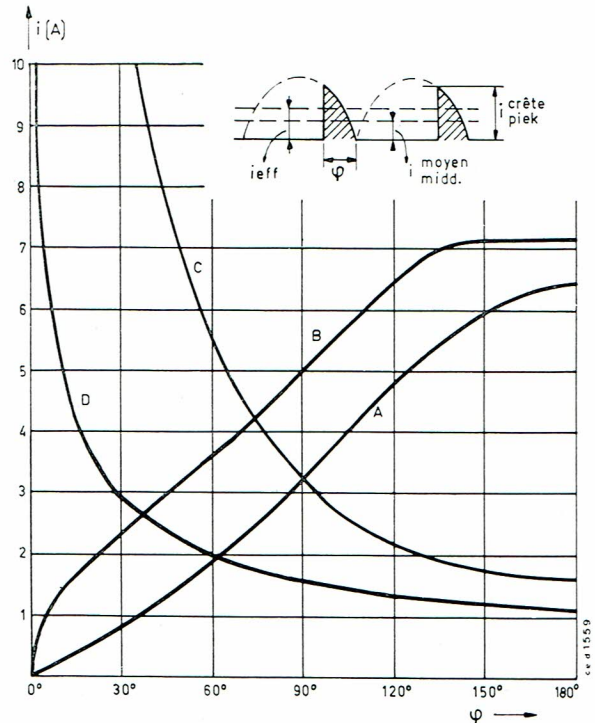


Fig. 23 — Relations entre I_{moy} , I_{eff} et I_{crete} en fonction de l'angle de conduction de thyristors (2 alternances)

De ce fait, les lectures faites sur les courbes A et B donnent des valeurs minimales, d'autre part, celles faites sur les courbes C et D donnent des valeurs maximales.

V. LE PONT DE PUISSANCE

Sans entrer dans les détails qui sortiraient du cadre de cette information, nous donnons la préférence au schéma du pont de puissance montré à la figure 24. Ce pont comprend deux thyristors Th 1 et Th 2, deux diodes D 1 et D 2 et une ou deux diodes de récupération Dr.

On consultera avec profit la référence [3]. Ce schéma implique en fait trois séries de montages.

- La première série utilise des thyristors du type BTY 79, et des diodes de puissance et de récupération du type BYX 38.

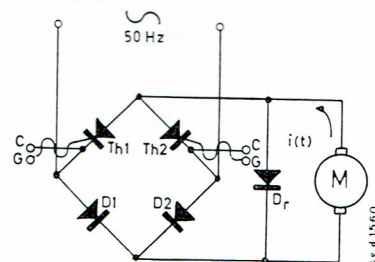


Fig. 24 — Pont de puissance : schéma de principe

Les refroidisseurs des diodes portent le numéro 56.268 ; ceux des thyristors portent le numéro 56.256.

Le courant maximal à la sortie du pont varie suivant la température ambiante, et peut atteindre :

8,5 A pour 35° C

7,5 A pour 45° C

6,5 A pour 55° C

La tension des diodes et des thyristors est choisie en fonction de la tension du réseau.

Des exemples d'asservissement de couple et de vitesse équipés de ce jeu de semi-conducteurs seront décrits plus loin aux figures 28 et 40.

Un exemple, réalisé sur plaque standard, est donné à la photo 1.

— La deuxième série comprend des ponts pour 12, 17, 23, 25 A efficaces, montés sur deux refroidisseurs en rail d'aluminium :

type des rails : 56259

longueur de chaque rail : 50 mm

Les refroidisseurs sont peints en noir mat ; ils sont disposés verticalement, l'un au dessus de l'autre et espacés de 10 à 20 mm. Il est important de prévoir une bonne circulation naturelle de l'air ambiant.

Les thyristors sont montés sur le rail inférieur et les diodes sur le rail supérieur.

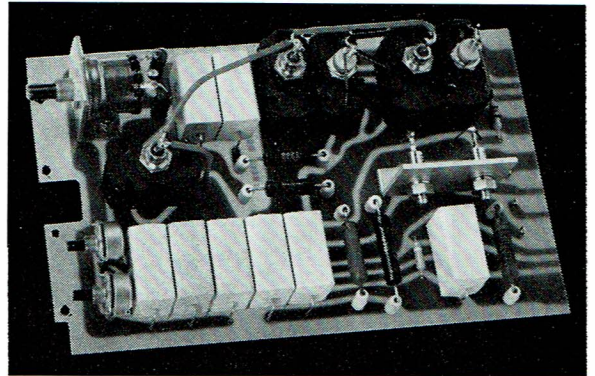


Photo 1

Tableau des combinaisons possibles pour la deuxième série :

Avalanche contrôlée	Th 1 Th 2	D 1 D 2	Dr	I_{max} de sortie (A eff.)	
				Tamb 35° C	Tamb 45° C
non	BTY 79 ⁽¹⁾	BYX 38	2xBYX 38 ⁽²⁾	12	11
oui	BTX 68	BYX 39	2xBYX 39 ⁽²⁾	12	12
non	BTY 87	2xBYX 38 ⁽²⁾	2xBYX 38 ⁽²⁾	17 ⁽³⁾	15 ⁽³⁾
oui	BTX 35	2xBYX 39 ⁽²⁾	2xBYX 39 ⁽²⁾	17 ⁽³⁾	15
oui	BTX 36	BYX 25	BYX 25	23	20
oui	BTX 48	BYX 25	BYX 25	25	22

⁽¹⁾ A l'inverse des autres ponts, les thyristors sont montés sur le rail supérieur et les diodes sur le rail inférieur.

⁽²⁾ Deux diodes en parallèle.

⁽³⁾ Attention : les diodes de récupération ne peuvent absorber 1,33 fois le courant de sortie du pont. La charge ne pourra donc présenter qu'une faible composante inductive.

Tableau des combinaisons possibles pour la troisième série :

Avalanche contrôlée	Th 1 Th 2	D 1 D 2	D	I_{max} de sortie (A eff.)	
				Tamb 35° C	Tamb 45° C
oui	BTX 36	BYX 25	BYX 25	26,4	23,4
non	BTY 91	BYX 13	BYX 13	26,4	23,4
oui	BTX 48	BYX 25	BYX 25	29,2	26,2
oui	BTX 37	2xBYX 25 ⁽²⁾	2xBYX 25 ⁽²⁾	43,6	39,6
non	BTY 95	BYX 52	BYX 52	43,6	39,6
non	BTY 99	2xBYX 52 ⁽²⁾	2xBYX 52 ⁽²⁾	69	59

⁽²⁾ Deux diodes en parallèle.

- La troisième série comprend des ponts pour 26, 29, 44 et 69 A efficaces, montés sur deux refroidisseurs en rail d'aluminium :
type : 56259 longueur : 110 mm

La tension V_{BO} des thyristors et la tension V_{RRM} des diodes sont choisies en fonction de la tension de crête du réseau.

La présence de variations de tension $\frac{dV}{dt}$ trop élevées aux bornes des thyristors bloqués peut entraîner des états de conduction non désirés.

Afin de protéger efficacement les thyristors, dans les cas envisagés, on modifiera le schéma de la fig. 24 suivant la fig. 25.

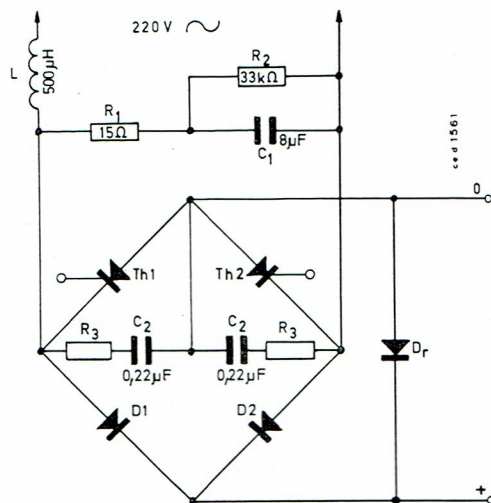


Fig. 25 — Protection contre les surtensions survenant lors du blocage des thyristors

Type de thyristor	R 3 (Ω)
BTY 79	6,8
BTY 87/91, BTY 35/36	5,6
BTY 95/99, BTY 37/38	3,9

Dans d'autres cas, c'est-à-dire avec d'autres tensions du réseau ou pour d'autres types de thyristors, on se référera utilement à la littérature traitant de cette matière, par exemple la référence [2].

VI. UTILISATION DE L'AEM 022

Le module de commande AEM 022 peut être utilisé pour deux types de régulation :

- 1) Asservissement de vitesse à une consigne donnée, avec limitation du couple.

Des exemples d'une telle utilisation sont :

- Arrivée de matière à vitesse constante (poste de soudure semi-automatique)
- Positionnement d'outils à paliers de vitesse d'approche (boîte de vitesse électronique)
- Asservissement de la vitesse de défilement de navettes à la quantité de matière enroulée (bobinage de fibre textile)
- Asservissement de la vitesse à une flèche donnée (ensemble dérouleur-enrouleur).

- 2) Asservissement du couple à une consigne donnée avec limitation de la vitesse.

Des exemples d'une telle utilisation sont :

- Enroulement ou déroulement à traction constante (fibre synthétique, papier, tôles, etc...)
- Arrivée de matière avec poussée constante sur l'outil (bois, marbre sur scie circulaire, pièce à forer sur foreuse, pièce à tourner sur ciseau, etc...).

Dans ce paragraphe, nous traiterons brièvement du circuit d'avance et de retard de phase, de la compensation RI, et nous donnerons des exemples d'applications décrivant les performances statiques et dynamiques du premier type de régulation.

6.1. CIRCUIT COMPENSATEUR D'AVANCE ET DE RETARD DE PHASE

L'ensemble du circuit asservissant la vitesse de rotation d'un moteur à une consigne quelconque, du moteur lui-même et de sa charge constitue un servomécanisme.

Il est bien connu que les performances statiques et dynamiques d'un tel système peuvent être poussées jusqu'à une certaine limite de stabilité qui est fonction des constantes de temps mécaniques et électriques de chaque élément.

Il est également bien connu que cette limite peut être reculée moyennant l'utilisation d'un circuit compensateur calculé pour chaque cas.

Ce circuit est composé d'une partie fixe « retard de phase » constitué de R 37, C 10, et située sur l'AEM 022 ainsi que d'une partie « avance de phase », ajustable en fonction de chaque cas, et pour cette raison, prévue à l'extérieur de la plaquette, dans le conducteur reliant le système de mesure du paramètre asservi à la borne 11.

$$R \text{ extérieure} = 39 \text{ k}\Omega, \frac{1}{4} \text{ W.}$$

C extérieure est ajustée par essais successifs pour obtenir les meilleures performances transitoires. Des valeurs typiques de C sont comprises entre 2 et 20 μF . Cette façon de déterminer le réseau compensateur semble la plus rationnelle, si l'on considère l'autre solution qui consiste en l'étude théorique, les approximations du modèle étudié que celle-ci suppose et le calcul fastidieux qu'elle exige.

6.2. LA COMPENSATION RI.

L'asservissement de vitesse étudié présente à l'entrée de l'amplificateur différentiel une erreur qui est fonction, en majeure partie, du couple moteur, et qui est à peu près indépendante de la vitesse de rotation affichée.

Cette erreur traduit la chute de vitesse observée en passant d'une charge nulle à la charge nominale.

Elle est constante pour un couple donné, mais est souvent définie par rapport à la vitesse nominale du moteur. Ceci veut dire qu'une erreur de 1 % définie à 1000 t/min devient 100 %, soit l'arrêt, à 10 t/min.

Il est possible d'améliorer la précision d'asservissement aux bas régimes en faussant la tension de réaction proportionnelle à la vitesse, c'est-à-dire en lui retranchant une grandeur proportionnelle au courant moteur ou au couple, comme montré à la figure 26.

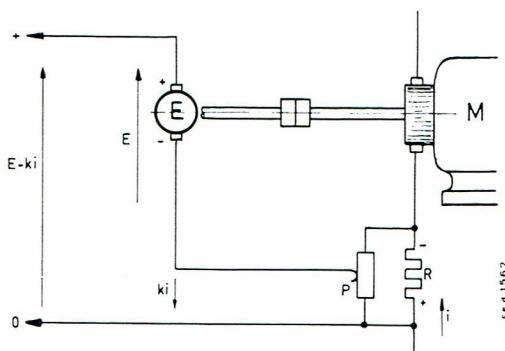


Fig. 26 — Correction de la mesure de la vitesse aux bas régimes : principe

Le taux de compensation RI est réglable par le potentiomètre P, qui est ajusté de façon à produire une erreur nulle dans la plage de vitesse désirée.

La figure 27 donne un exemple pratique dans le cas où l'on mesure la vitesse au moyen d'une dynamo tachymétrique.

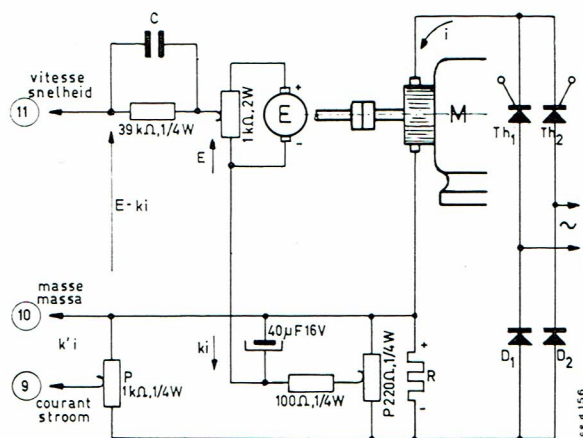


Fig. 27 — Correction aux bas régimes : schéma pratique

Le taux de compensation est ajusté au moyen d'un potentiomètre de 220 Ω.

Dans le cas où l'on mesure la vitesse par un pont compensé, la compensation RI est plus simple : elle est obtenue par un déséquilibre du pont au moyen d'un dérèglement de P1 (voir la fig. 14).

Le taux de compensation est proportionnel à ce dérèglement ; il sera déterminé en pratique sur un modèle en fonctionnement dans la plage de vitesse choisie.

6.3. ASSERVISSEMENT DE VITESSE ET LIMITATION DU COUPLE

6.3.1. Premier exemple : asservissement de la vitesse d'un moteur de $\frac{2}{3}$ C.V.

1. Caractéristiques du moteur

P : $\frac{2}{3}$ C.V.
I moy. nominal : 4 A
Rm : 3,5 Ω
Lm : 43 mH
V inducteur : 220 V

On désire un asservissement de la vitesse entre 100 et 1.500 t/min avec une précision de 3 à 5 %, ainsi qu'une limitation du courant de crête répétitive.

On choisit la mesure de la vitesse par pont compensé et la mesure du courant par résistance en série.

On applique la procédure de calcul décrite au paragraphe 4.1.1.

A la fig. 28 on donne le schéma d'ensemble comprenant :

- le pont de puissance à thyristors muni des protections contre les surtensions ;
- les circuits de mesure de la vitesse et du courant ; le module AEM 022.

Une vue d'ensemble comprenant la partie de puissance et les circuits de mesure est donnée à la photo I.

2. Mesures de la précision en régime (voir la fig. 29)

Le moteur tournant à vide, au départ, on mesure, à partir de différentes consignes de vitesse, la baisse de vitesse lors d'une charge du moteur au couple nominal correspondant au courant moyen nominal.

Le moteur est chargé par une dynamo débitant sur une résistance.

Deux courbes sont relevées :

- une première : A, sans compensation RI
- une seconde : B, avec compensation RI.

Dans le second cas, on remarque des états de surcompensation.

3. Mesure des performances dynamiques (voir la figure 30)

L'ensemble du circuit de la fig. 28 est commandé par une tension de consigne e formée d'une composante continue de 1,24 V à laquelle se superpose une ondulation Δe de 0,5 V crête à crête, dont on fait varier la fréquence de 0,1 Hz à 40 Hz.

La vitesse de rotation est relevée en fonction de la fréquence d'ondulation.

La courbe présente une composante continue de 620 t/min et, aux basses fréquences une ondulation de ΔN de 250 t/min crête à crête.

La grandeur $\frac{\Delta N}{\Delta e}$ est mesurée en amplitude, normalisée aux basses fréquences, et en phase.



Eléments à ajuster

C₂ : avance de phase ; valeur maximale : 13,6 μ F ; valeur typique : 2,2 μ F



17

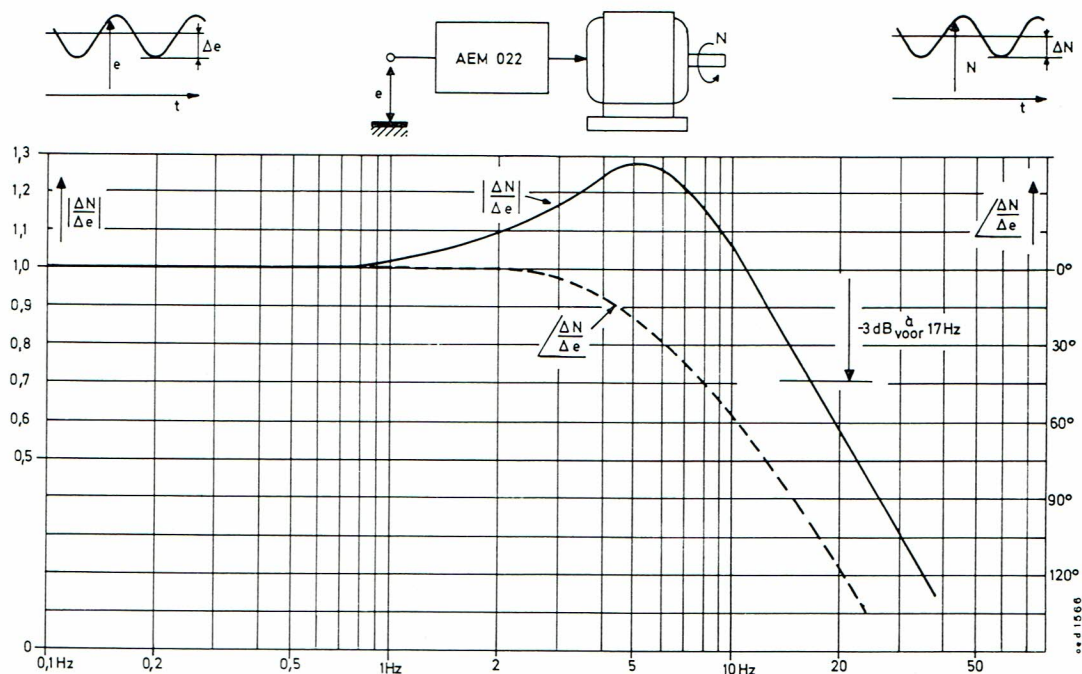


Fig. 30 — Mesure des performances dynamiques
trait plein : amplitude normalisée
trait interrompu : phase

Le moteur entraîne sa charge nominale.

On remarque une atténuation de -3 dB à 17 Hz, un dépassement maximal de 28 % à 5 Hz et le déphasage de 90° entre ΔN et Δe à 15 Hz.

4. Mesure du temps d'accélération et des perturbations entraînées par une brusque variation de la charge.

La courbe d'accélération est donnée à la fig. 31, pour une variation brusque de la consigne de 0 à 1000 t/min.

Le temps que met la vitesse pour passer de 10 % à 90 % de ce maximum est de 75 ms. On remarque aussi une coïncidence des courbes d'accélération du moteur non chargé, et chargé par le couple résistant correspondant à 3 A moyen.

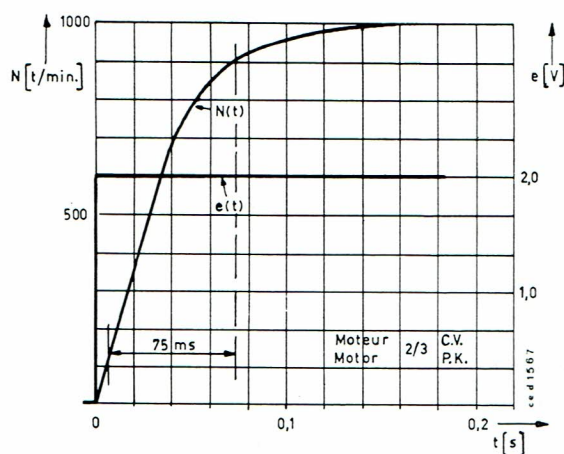


Fig. 31 — Mesure du temps d'accélération
Consigne de 0 à 1.000 t/min.

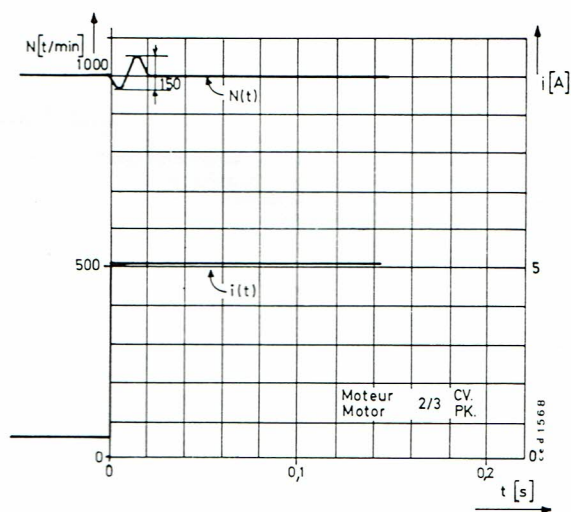


Fig. 32 — Perturbations dues à une brusque variation de la charge

A la fig. 32 on montre l'effet dû à un brusque enclenchement de la charge correspondant à un courant moyen de 5 A, le moteur tournant à vide à 1000 t/min. On remarque une perturbation passagère de 20 ms et d'une amplitude de 150 t/min crête à crête.

Les photos 2 et 3 donnent une vue d'ensemble du moteur de $\frac{2}{3}$ C.V. et d'un exemple de réalisation utilisant l'AEM 022 respectivement avec boîtier ouvert et avec boîtier fermé.

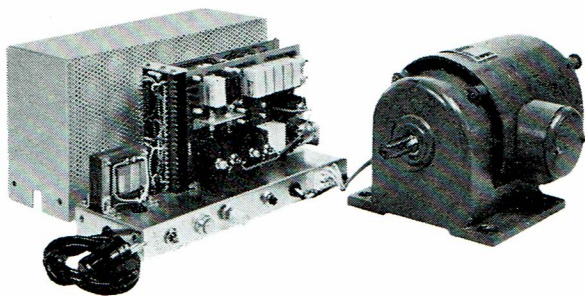


Photo 2

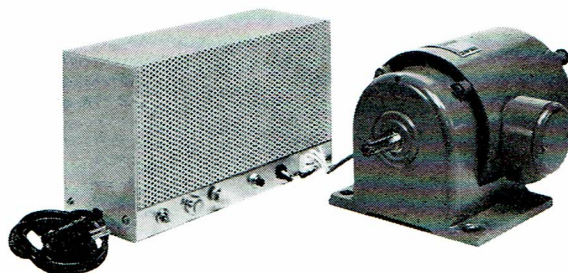


Photo 3

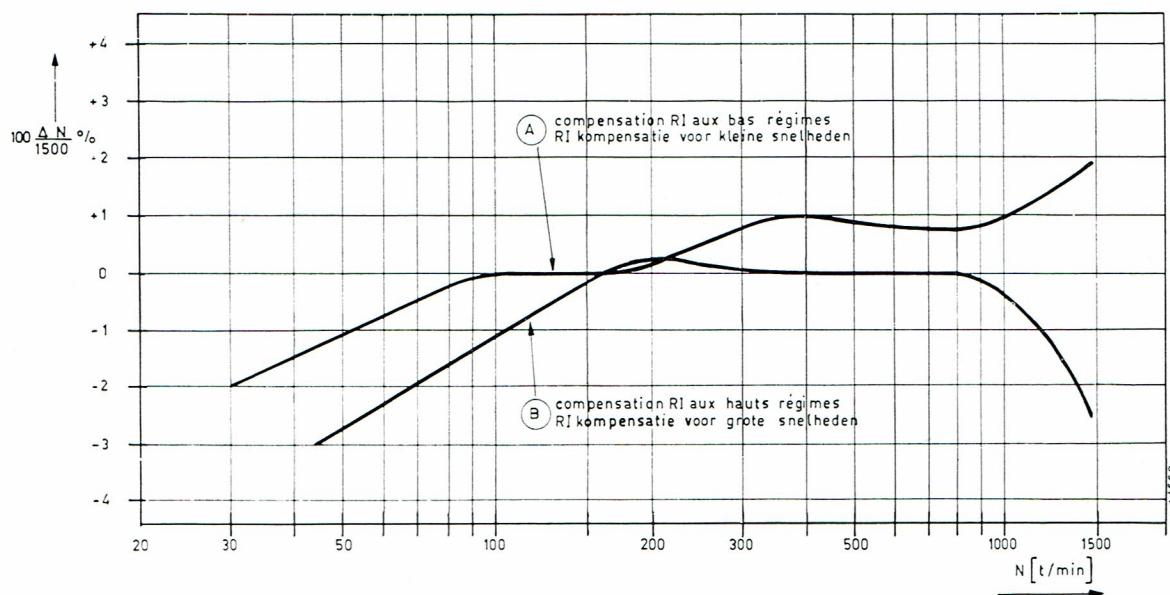


Fig. 33 — Mesure de la précision en régime, pour un moteur de 2 C.V.

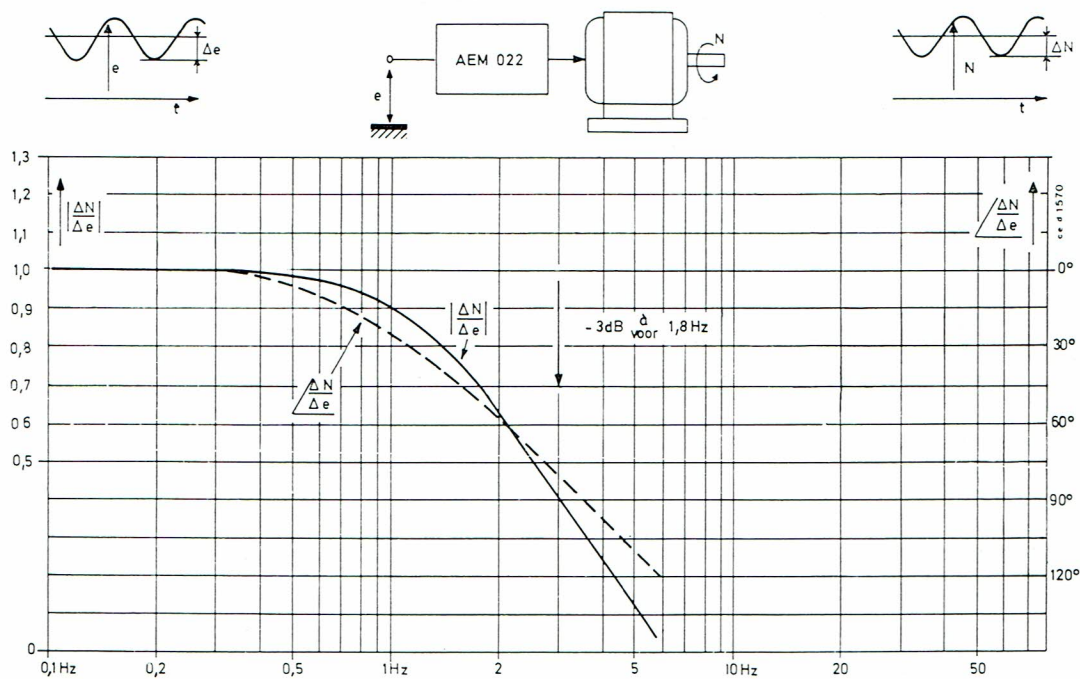


Fig. 34 — Mesure des performances dynamiques, pour un moteur de 2 C.V.

6.3.2. Second exemple : asservissement de la vitesse d'un moteur de 2 C.V.

1. Caractéristiques du moteur

P : 2 C.V. Rm : 1 Ω
V nominal : 220 V Lm : 17 mH
I moy. nominal : 12 A

On désire asservir la vitesse entre 100 et 1.500 t/min avec une précision de 3 à 5 % et une limitation du courant moyen ou du couple moteur.

On choisit exceptionnellement de mesurer la vitesse par un pont compensé et de mesurer le courant par un transformateur.

Le calcul donne par exemple : $\mu = 3,7$

On en déduit $\frac{R_m}{\mu} = 0,27 \Omega$; 55 W (C = 6,7 μ F; 100 V)

On prévoit un circuit d'intégration suivant la figure 19. Ces modifications exceptées, le schéma de la fig. 22 reste valable.

2. Mesure de la précision en régime

Les mesures s'effectuent dans les mêmes conditions qu'au paragraphe 6.3.1. Les résultats sont donnés à la figure 33 pour deux taux de compensation RI.

3. Mesure des performances dynamiques

La tension de consigne se compose d'une tension continue de 1,2 V et d'une tension alternative de 0,12 V crête à crête, d'une fréquence variable; elle commande l'ensemble dans les mêmes conditions qu'au paragraphe 6.3.1. Les résultats apparaissent à la fig 34.

Ceci donne lieu à une vitesse continue de 600 t/min à laquelle se superpose aux basses fréquences une ondulation de 60 t/min crête à crête.

Le moteur est chargé aux $\frac{2}{3}$ de la charge nominale. On remarquera qu'une atténuation de -3 dB apparaît à 1,8 Hz, sans dépassement.

Le déphasage de 90° entre ΔN et Δe se produit à 3,7 Hz.

6.3.3. « La boîte de vitesse électronique »

On peut définir la boîte de vitesse comme étant un système de transmission entraîné à une vitesse donnée par un moteur et qui assure à un axe de sortie un certain nombre de paliers de vitesse de rotation en relation fixe avec la vitesse d'entraînement de l'axe moteur.

Le circuit électronique suivant évite toute transmission mécanique. La vitesse de rotation de l'axe moteur est asservie à différentes consignes préétablies.

Cette réalisation utilise l'AEM 022 et les méthodes de mesure de la vitesse et du courant suivant les principes développés plus haut.

Le circuit groupant les différentes consignes ajustables est montré à la fig. 35. On y remarque que la saturation successive des transistors TR1, TR2 et TR3 met successivement en service les diviseurs résistifs.

R23, R17 + R18
R23, R21 + R22
R23, R26 + R27

entre les lignes d'alimentation + 12 V et 0 V.

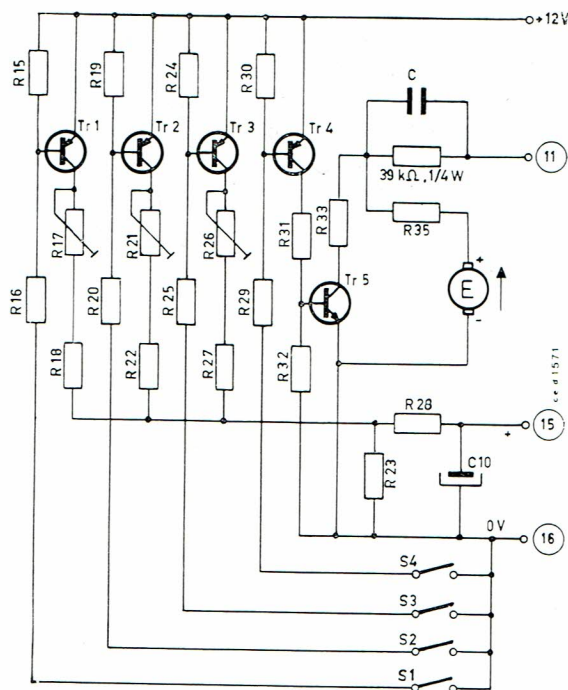


Fig. 35 — Boîte de vitesse électronique, programmation

R15, R19, R24, R30, R35, R28, R32 : 1 k Ω .

R16, R20, R25, R29, R31 : 2,7 k Ω .

R18 : 10 k Ω ; R22 : 3,3 k Ω ; R27 : 680 Ω ; R23 : 220 Ω ;
R33 : 100 Ω ; R17 : 47 k Ω ; R21 : 10 k Ω ; R26 : 2,2 k Ω ;
C10 : 64 μ F, 10 V; Tr21 à 24 : BC177; Tr25 : BC109.

Les tensions aux bornes de R23, suivant les valeurs de R17, R21, R26 et avec les données du schéma, sont respectivement :

0,05 V à 0,25 V
0,2 V à 0,75 V
0,85 V à 2,9 V

Ces tensions sont amenées au travers de la cellule d'intégration R28, C10 aux bornes de consigne 15 et 16 de l'AEM 022.

La saturation de TR1, TR2, TR3 est obtenue par la fermeture successive des interrupteurs S1, S2, S3.

Le courant de base est $\frac{12 \text{ V}}{2700}$ soit 4,5 mA.

La fermeture de l'interrupteur S4 a pour effet d'amener TR4 et TR5 à la saturation. Ceci branche un diviseur résistif par dix, par exemple, aux bornes de la dynamo (R33 - 535). Cette atténuation par dix du signal de réaction de vitesse a pour effet — l'une des autres touches étant enfoncées — d'accélérer l'axe moteur vers une vitesse dix fois plus élevée.

Par exemple, la fermeture de S1, S2 et S3 mettant en circuit R17, R21 et R26 donne les consignes respectives de 0,1 V, 0,5 V et 2,5 V; ceci permet les paliers de vitesse successifs de

10 t/min 50 t/min 250 t/min

La fermeture simultanée de S3 et S4 donne la vitesse de 2500 t/m.



Photo 4

Il est à noter que la boîte de vitesse sera simulée électroniquement de façon exacte à condition que lorsque la vitesse d'entraînement est susceptible de varier, le circuit de la figure 35 soit alimenté non plus sous

12 V mais par une tension-image de la vitesse d'entraînement.

Bien entendu, les interrupteurs S1 à S4 peuvent être remplacés par des informations digitales provenant de blocs-circuits, par exemple.

La photo 4 montre l'aspect extérieur d'une boîte de vitesse électronique réalisée suivant les schémas décrits.

6.3.4. Circuit typique de puissance permettant la commande de moteurs de 1 à 8 C.V. à l'aide de l'AEM 022

La puissance élevée du moteur à contrôler (de 1 à 8 C.V.) exclut les méthodes de mesure de la vitesse et du couple par les moyens décrits au § 4.1.1. et au § 4.2.1. respectivement, ceci principalement en raison de la dissipation importante dans les éléments de mesure.

La mesure de la vitesse de rotation se fait au moyen d'une dynamo tachymétrique et la mesure du courant au moyen d'un transformateur d'intensité (voir la figure 35bis).

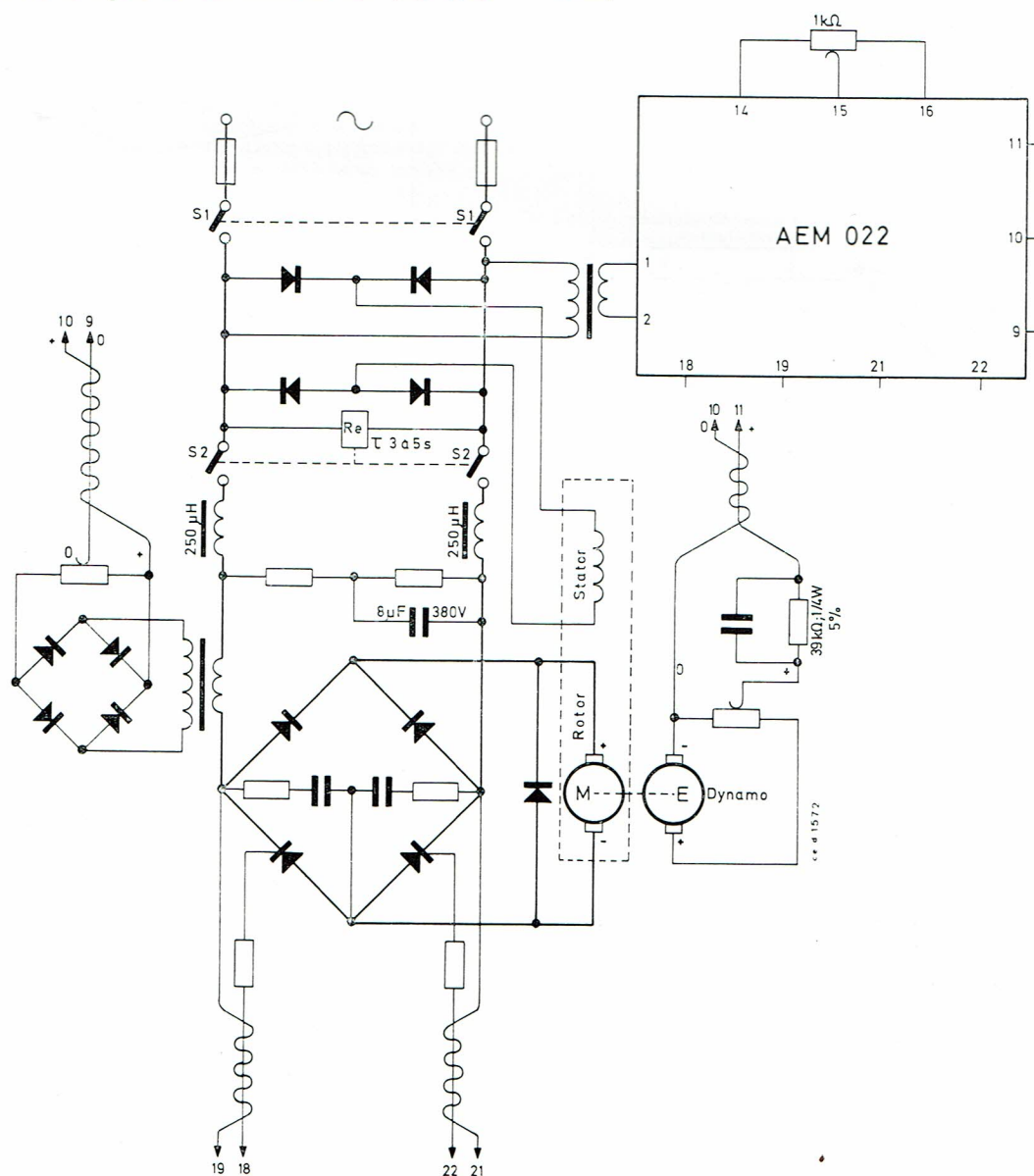


Fig. 35 bis — Commande pour moteurs de 1 à 8 C.V.

On prévoit un interrupteur bipolaire S1 amenant la tension à l'AEM 022, à l'inducteur du moteur et à un relais temporisateur Re. L'interrupteur S2 commandé par Re se ferme après un temps d'attente de 3 à 5 sec. environ et amène ainsi la tension au pont redresseur de puissance contenant les diodes et les thyristors ; ce pont alimente l'induit du moteur après tous les phénomènes transitoires intervenant dans l'inducteur et dans l'AEM 022.

6.3.5. Autres exemples d'applications

L'utilisation de l'AEM 022 pour l'asservissement de la vitesse avec limitation du couple peut se concevoir dans une multitude d'applications.

A titre d'illustration, nous nous proposons de traiter fort schématiquement quelques exemples supplémentaires.

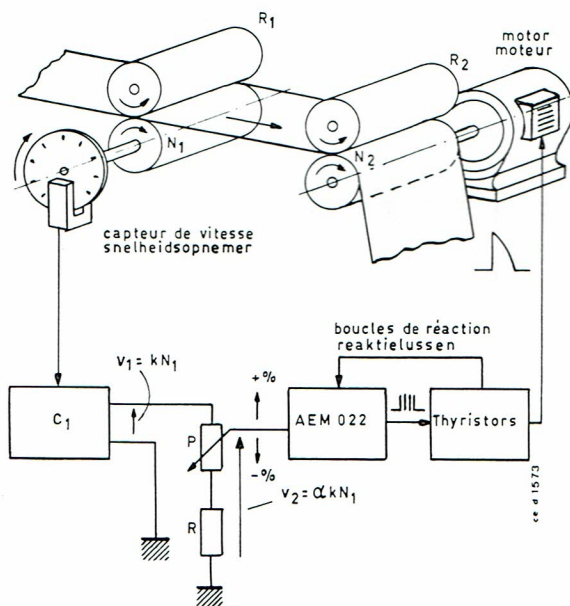


Fig. 36 — Rouleaux étireurs à rapport de vitesses constant

1. Rouleaux étireurs à rapport de vitesse constant

Ce problème se rencontre par exemple lors de la fabrication du « skin-plate » - voir la figure 36.

Une première paire de rouleaux R1 amène la matière à une vitesse variable N1. On se propose d'actionner une seconde paire de rouleaux R2 à vitesse N2 telle que :

$$N_2 = \left(1 + \frac{a}{100}\right)N_1$$

où « a » est le pourcentage d'écart en vitesse entre N1 et N2. Un capteur de vitesse C1 optique, magnétique ou une dynamo alimente un potentiomètre P, sous la tension $v_1 = k N_1$.

Au curseur de P, on obtient donc la tension $v_2 = \alpha k N_1$ où α dépend de la position du curseur

Cette tension v_2 sert de consigne au module AEM 022 qui détermine la vitesse de rotation N_2 de la seconde paire de rouleaux R2.

$$\text{Soit } v_2 = k' N_2$$

$$\text{On a : } k' N_2 = \alpha k N_1$$

Soit

$$N_2 = \alpha \frac{k}{k'} N_1 = \left(1 + \frac{a}{100}\right)N_1$$

Le curseur de P peut donc être étalonné directement en pourcentage d'écart de vitesse.

2. Bandes transporteuses à rapport de vitesse constant

Ce problème peut se rencontrer entre autres dans les biscuiteries, à la sortie du four de cuisson.

La solution est la reproduction exacte de celle qui vient d'être décrite et se passe de commentaire — voir figure 37

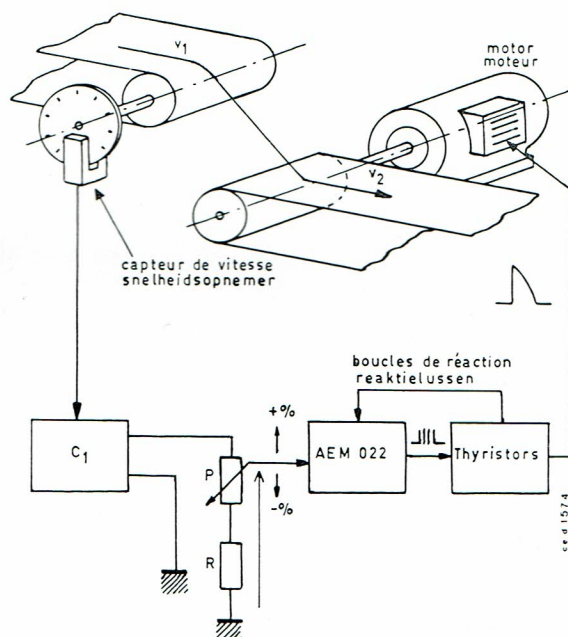


Fig. 37 — Bandes transporteuses à rapport de vitesses constant

3. Commandes de navette pour bobinage côte-à-côte

Lors du bobinage de fibres textiles ou synthétiques, il est important, pour une question d'encombrement, d'obtenir des bobines compactes. Cette grande densité s'obtient en assurant l'enroulement côte-à-côte du fil dans toute la masse enroulée.

Le mouvement de va-et-vient du fil, est obtenu au moyen d'une navette. L'enroulement côte-à-côte exige une vitesse de navette décroissante à mesure que le diamètre de la bobine augmente. Ce qui signifie que la vitesse de navette doit être directement proportionnelle à la vitesse de rotation de la bobine, comme le montre la figure 38.

Le signal correspondant à la vitesse de rotation de la bobine est obtenu au moyen d'un capteur quelconque ; sa tension de sortie sert de consigne à l'AEM 022 qui commande le moteur de la navette par l'intermédiaire d'un groupe de thyristors. La tension de sortie du capteur peut, à la rigueur, être atténuée au moyen d'un potentiomètre qui serait étalonné directement en diamètre de fil.

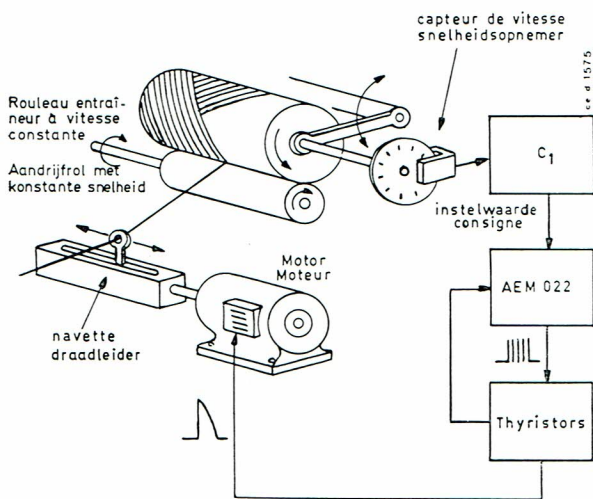


Fig. 38 — Commande de navette pour bobinage côte à côte

4. Système d'étirage asservi à une consigne d'épaisseur

Les industries textiles (étirage d'écheveaux de fibre de coton, par exemple), plastique (tubes, tiges, panneau) et métallurgique sont parfois confrontées avec le problème d'un étirage variable destiné à compenser des variations d'épaisseur ou de densité de la matière en cours de production.

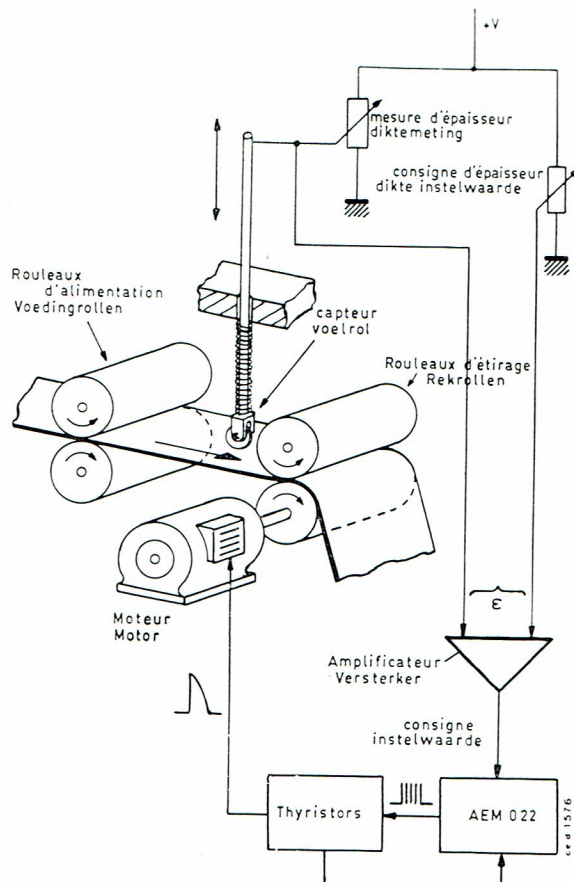


Fig. 39 — Système d'étirage asservi à une consigne d'épaisseur

La figure 39 donne le schéma de principe d'un système réalisant cette fonction. Un rouleau palpeur mesure l'épaisseur instantanée de la matière et le transmet sous forme de tension à l'entrée d'un amplificateur différentiel. Cette tension est comparée à une tension de consigne amenée à l'autre entrée de l'amplificateur.

La différence entre ces deux tensions, c'est-à-dire l'erreur, est amplifiée et sert de consigne à l'AEM 022. Celui-ci commande le moteur qui actionne les rouleaux-étireurs par l'intermédiaire d'un bloc de thyristors. On s'arrange de façon à ce qu'une épaisseur instantanée trop grande donne lieu à un étirage plus important.

6.4. ASSERVISSEMENT DE COUPLE MOTEUR ET LIMITATION DE LA VITESSE

6.4.1. Le schéma

Nous avons vu au paragraphe 6 que l'asservissement de couple — tout comme l'asservissement de vitesse — peut être utilisé dans beaucoup d'applications. En fait pour passer de l'asservissement de vitesse à l'asservissement de couple il suffit d'inverser les informations de vitesse et de courant d'induit au connecteur de l'AEM 022.

On voit à la figure 40, le résultat de cette opération en partant du schéma de la figure 28.

- Le pont de mesure du courant et de la vitesse reste inchangé ; toutefois, la polarité de l'alimentation est inversée.
- La constante de temps pour la mesure du courant moyen ou du couple moteur est obtenue au moyen de la résistance existante de 39 k Ω et d'un condensateur C2 de 3,3 μ F.
- Aucune avance de phase n'est prévue
- Les mesures effectuées sur un système d'après la figure 40 donnent avec le moteur de $\frac{2}{3}$ C.V. décrit au paragraphe 6.3. :

- 1) Limitation de vitesse ajustable au moyen de P : limite inférieure 1000 t/min.
- 2) consigne de couple ou de courant moyen ajustable de 0,5 A (courant à vide) à 5 A (courant nominal).

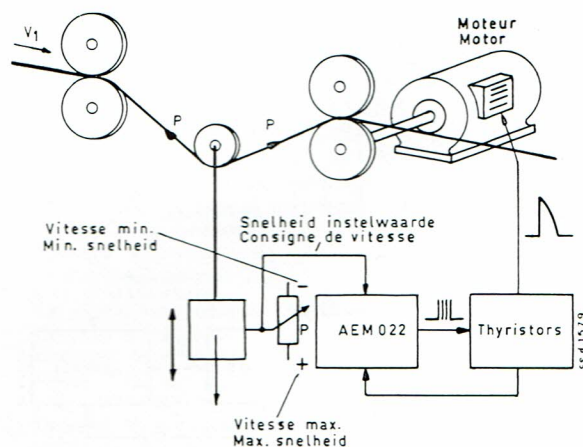
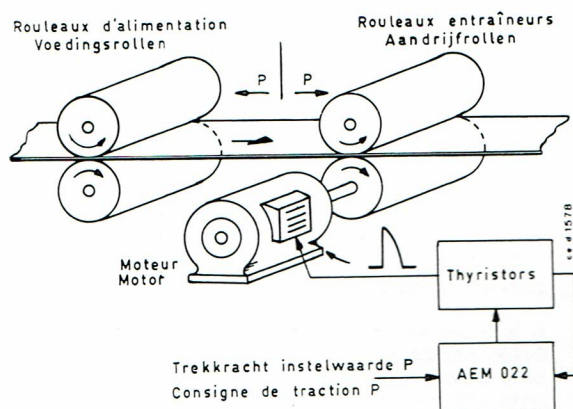
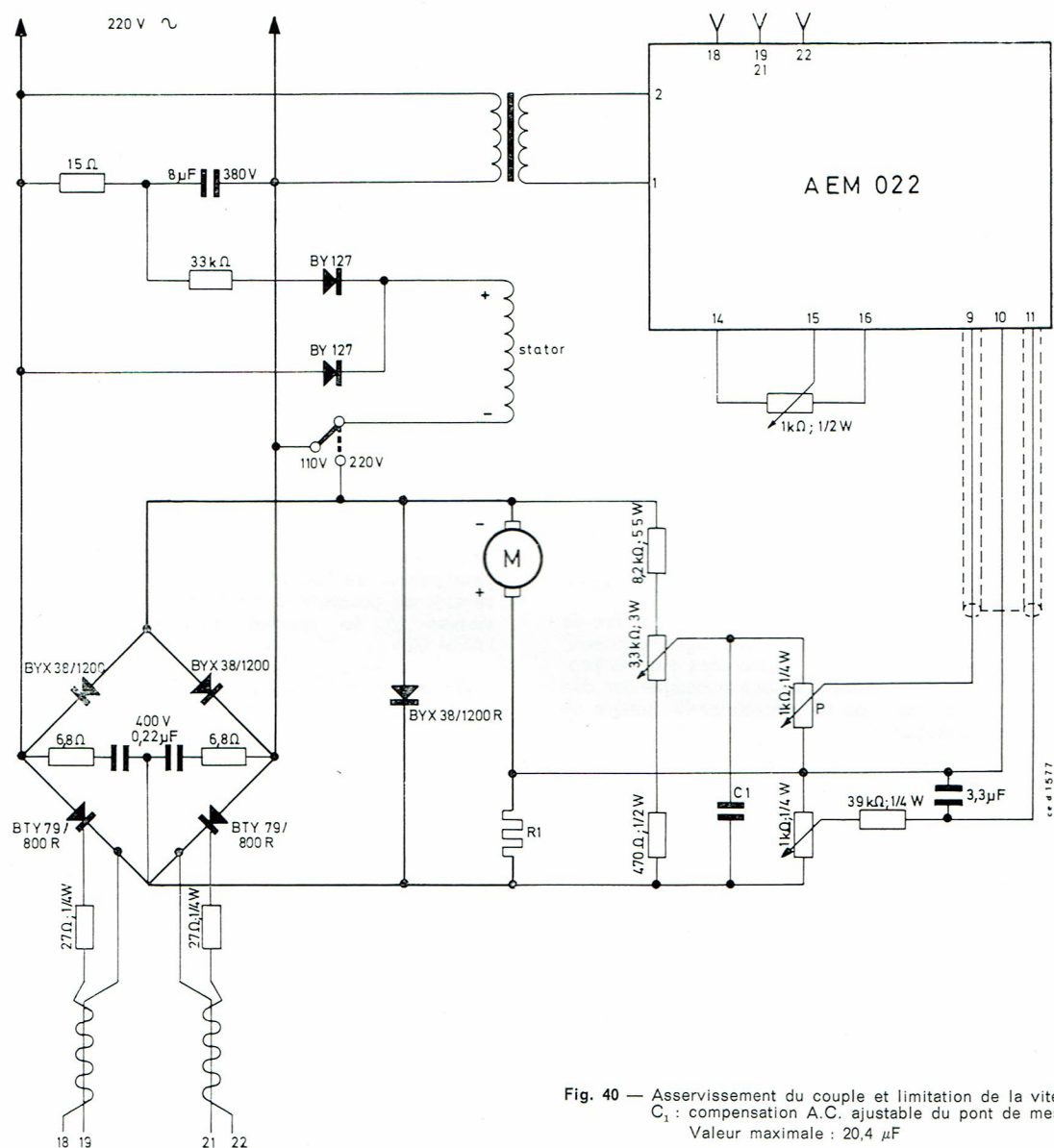
6.4.2. Quelques applications

1. Traction constante

Un courant moyen d'induit ou un couple constant signifie, à la périphérie d'un rouleau entraîneur par exemple, une force tangentielle constante c'est-à-dire une traction constante exercée sur la matière enroulée.

A la figure 41 on voit comment une paire de rouleaux entraîneur peut être commandée à l'aide de l'AEM 022 de façon à assurer un effort de traction constant p, sur la matière enroulée.

A la figure 42 on voit les problèmes qui peuvent être évités par ce moyen. En effet, la méthode traditionnelle assurant une traction constante consistait à relever une consigne pour un asservissement de vitesse à partir de la flèche causée par un ensemble poulie et poids.



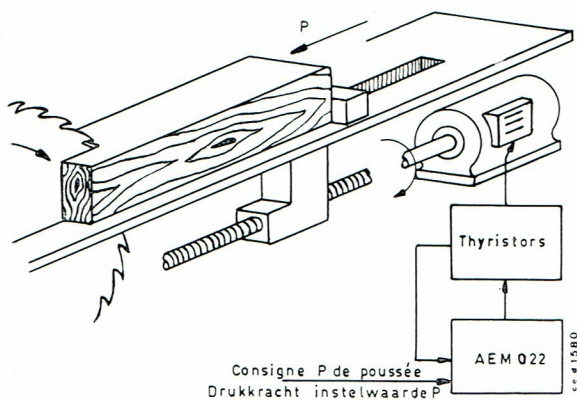


Fig. 43 — Poussée constante d'une pièce sur une scie circulaire

Les inconvénients, évités par l'asservissement du courant moyen, sont :

- l'encombrement de l'ensemble
- le potentiomètre de mesure P
- la difficulté du passage à d'autres consignes de traction
- le mauvais comportement dynamique du système.

Dans le cas d'un enroulement sur tambour tracteur, il faut toutefois remarquer que le courant d'induit n'est une mesure de la traction longitudinale dans la matière que lorsqu'il n'existe pas de couple de pliage, ou que celui-ci est négligeable par rapport à cette traction longitudinale et que le diamètre enroulé est constant.

2 Poussée constante

D'autres applications mentionnées au paragraphe 6 concernant la poussée constante d'une scie circulaire sur une pièce à scier, d'une mèche sur une pièce à forer sont illustrées aux figures 43 et 44.

Ces figures se passent de commentaire.

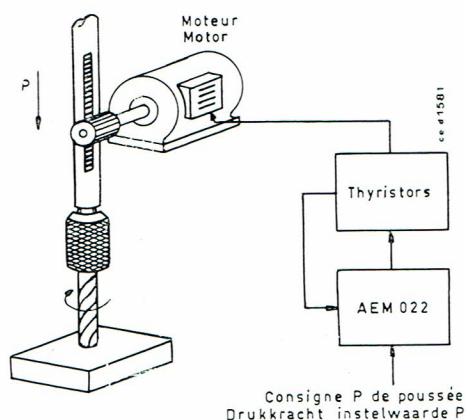


Fig. 44 — Poussée constante d'une mèche sur une pièce à forer

VII. REGLAGE ET CONTROLE DE L'AEM 022

Deux réglages sont prévus sur l'AEM 022. Ils sont effectués en usine et sont destinés à compenser les tolérances sur les valeurs nominales des différents éléments qui constituent le circuit : résistances, condensateurs et transistors.

Ils concernent les potentiomètres R37 et R39 dont les axes sont scellés.

Une procédure de réglage est cependant donnée dans ce paragraphe pour le cas où un dérèglement éventuel de R37 et R39 interviendrait ; on y voit aussi la procédure de contrôle du bon fonctionnement.

a) raccordement du circuit. Voir la figure 45

Utiliser le connecteur cité plus haut.

- 1) Raccorder le transformateur d'alimentation 4304 021 24460 ou 4304.021.01340 pour 24 Veff entre 1 et 2
- 2) R1 : 470 Ω entre 9 et 10 et raccorder le générateur de tension continue via R5 = 1 k Ω avec une tension de sortie $V_i = 0$
- 3) R2 : 39 k Ω entre 10 et 11
- 4) Potentiomètre P de 1 k Ω entre 14, 15, 16
- 5) R3 : 47 Ω entre 18 et 19
- 6) R4 : 47 Ω entre 21 et 22
- 7) Interconnecter 19 et 21

b) Réglage

Après mise sous tension en atmosphère calme de 18 à 25° C

- 1) mettre 15 et 16 en court-circuit en manœuvrant P
- 2) mettre R30 en court-circuit en le tournant au maximum dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre.

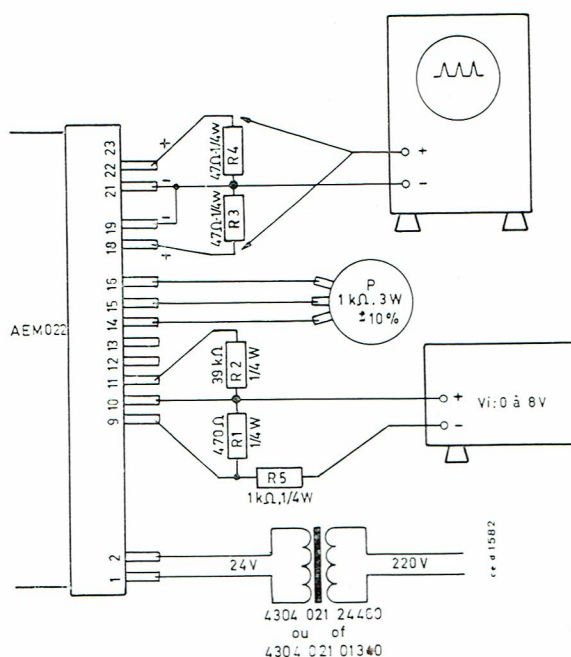


Fig. 45 — Réglage : schéma de raccordement

- 3) brancher un voltmètre à lampes entre A et B ; sensibilité : 2,5 V à fond d'échelle, et annuler la lecture en manœuvrant R39 — sceller l'axe.
- 4) brancher un voltmètre entre C et D (même sensibilité) et annuler la lecture en manœuvrant R57 — sceller l'axe
- 5) amener R30 au maximum dans l'autre sens et observer la tension entre C et D ; sa valeur absolue maximale (positive ou négative) doit être inférieure à 100 mV.

c) Essais

1) Essai de la boucle d'asservissement

- amener R30 à zéro comme en b2.
- mesurer à l'oscilloscope les tensions aux bornes de R3 et R4 en manœuvrant P
- vérifier la polarité des tensions comme à la figure 45 et les formes d'ondes comme aux figures 46a, 46b, 46c.

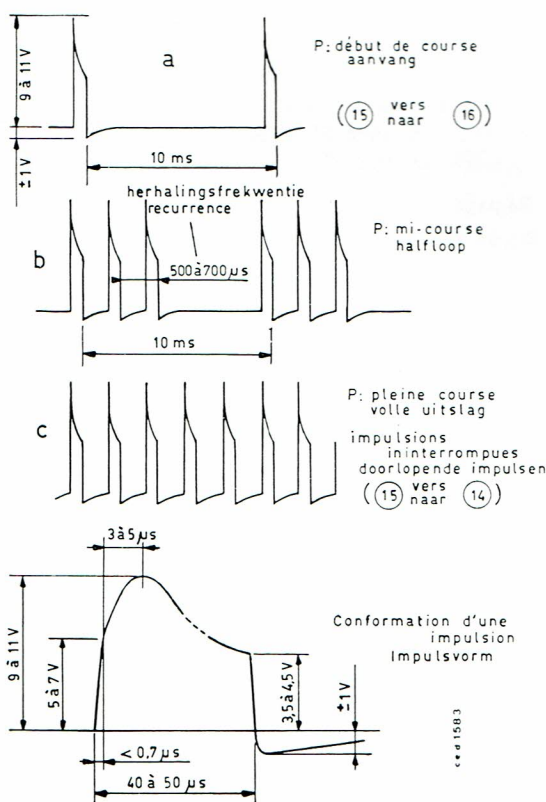


Fig. 46 — Essais : formes des signaux pour différentes positions de P

2) Essai de la boucle de limitation

- observer sur R3 une forme d'onde comme à la figure 46c ; manœuvrer P en conséquence.
- augmenter brusquement V_i de 0 à 8 V, observer la disparition brusque des impulsions sur R3.
- ramener brusquement V_i à 0 V, observer le retour progressif des impulsions sur R3.
- ramener R3 à mi-course ; ne pas sceller l'axe.

VIII. PROCEDURE POUR LA REALISATION D'UNE COMMANDE DE MOTEUR A COURANT CONTINU UTILISANT L'AEM 022

Pour le développement en un minimum de temps d'un projet utilisant l'AEM 022, on aura intérêt à suivre pas-à-pas la procédure décrite dans ce paragraphe pour l'asservissement de vitesse et de couple.

a) Le circuit

- 1) Du type de moteur dépend la puissance électrique mise en jeu, la tension du réseau et la vitesse maximale (§ 6.3.).
- 2) On en déduit le circuit de puissance à thyristors (§ 5).
- 3) On choisit la méthode de mesure de la vitesse de rotation (§ 4.1.3.) ; le cas échéant on calcule le pont compensé pour la mesure de la f.c.e.m. (§ 4.1.1.).
- 4) On choisit la méthode de mesure du courant d'induit (§ 4.2.3.) ; on calcule soit le transformateur de mesure, soit la résistance en tenant compte de 3 (§ 4.2.1. et 2.).

b) Réglages avant la mise sous tension

- 1) Régler, au besoin, le pont compensé par calcul (§ 4.1.A.)
- 2) Mettre les échelles de vitesse et de courant au maximum, c'est-à-dire ne pas atténuer les signaux de mesure.
- 3) Mettre le gain en boucle au minimum soit R30 à valeur ohmique maximale (10 k Ω).
- 4) Mettre la consigne de vitesse ou de couple à zéro — soit le potentiel de la borne 15 identique à celui de la borne 16.
- 5) Prévoir un ampèremètre en série dans l'induit du moteur.

c) Réglages après la mise sous tension

- 1) Augmenter la tension de consigne vers les $\frac{2}{3}$ de la course. Si une augmentation rapide de la vitesse intervient : couper la tension et inverser la polarité du signal provenant de la dynamo ou du circuit de mesure du courant.
- 2) Augmenter le gain en boucle jusqu'au maximum en diminuant la valeur ohmique de R30 jusqu'à 0.
- 3) Diminuer la valeur de la limitation de courant ou de vitesse vers la mi-course ou la valeur convenable.
- 4) Ajuster, pour une consigne maximale, la vitesse maximale ou le couple maximal à la valeur proposée.
- 5) Charger à courant nominal et décharger le moteur ; observer la variation de vitesse à l'aide d'un compte-tours ou la variation du courant moyen d'induit ; ceci à la température nominale du moteur.
- 6) Dans le cas de l'asservissement de vitesse retoucher le réglage du pont de façon à annuler ΔN soit dans la plage de vitesse utile soit à bas régime, ex. N/5 (paragraphe 6.2.).
- 7) Avec la dynamo tachymétrique déterminer dans le même cas et de la même façon la compensation RI (§ 6.2.).

- 8) Pour l'asservissement de vitesse : manœuvrer le potentiomètre de consigne pour essais dynamiques et déterminer le condensateur d'avance de phase par essais successifs. Retoucher, au besoin, les réglages 5, 6 et 7 (§ 6.1.).

Les performances de l'ensemble ne sont optimales que dans la mesure où le gain en boucle s'approche du maximum ($R_{30} = 0$).

Remarques :

En cas de fonctionnement insatisfaisant du système il peut être utile d'examiner les quelques points suivants :

- vérifier les contacts des connecteurs, la rigidité de l'ensemble ainsi que sa résistance aux chocs.
- prévoir le blindage et le découplage des conducteurs amenant la tension de consigne (§ 3.2.).
- étudier un circuit RLC limitant les surtensions [référence (2)]
- torsader les fils de gâchette.
- prévoir la coupure du courant d'induit par relais lors d'une absence du courant d'inducteur.
- blinder les conducteurs véhiculant les informations de vitesse et de courant.

IX. MONTAGE MECANIQUE DE L'AEM 022

Nous avons cité au chapitre 3 les pièces nécessaires au raccordement de la plaquette, c'est-à-dire le connecteur et le détrompeur.

Il est bien évident que le connecteur doit lui-même être fixé mécaniquement.

Trois solutions sont à envisager :

- 1) *Montage dans un châssis standard B8 716 15 (4322.026.38240)*

Deux trous taraudés au pas M 2,6 sont prévus dans le corps du connecteur, permettant la fixation par deux vis M 2,6 x 8, fournies avec le connecteur.

La plaquette s'introduit alors dans les glissières du châssis.

L'AEM 022 est muni d'un extracteur complet, avec son ergot de verrouillage et sa réglette blanche pour un texte d'identification. Un sachet contenant 25 extracteurs complets est disponible sous le numéro 4322.020.38400.

- 2) *Fixation sur tôle*

La fixation se fait perpendiculairement à la tôle, au moyen des deux vis M 2,6 x 8 fournies avec le connecteur.

Epaisseur de la tôle : de 1 à 3 mm

Un gabarit de perçage est donné à la figure 47.

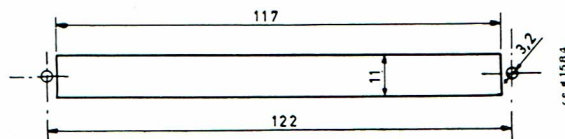


Fig. 47 — Fixation sur tôle, par vis : gabarit de perçage

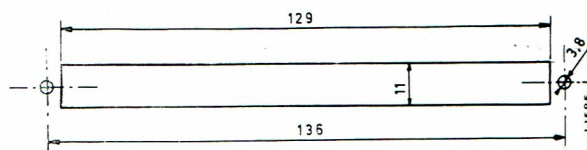


Fig. 48 — Fixation sur tôle, par deux pièces terminales
n° de commande : 4322.026.11110 (2 x)

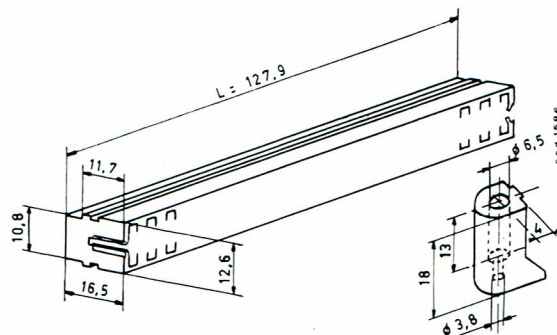


Fig. 49 — Dimensions du connecteur 2422.020.52592 et des pièces terminales 4322.026.11110

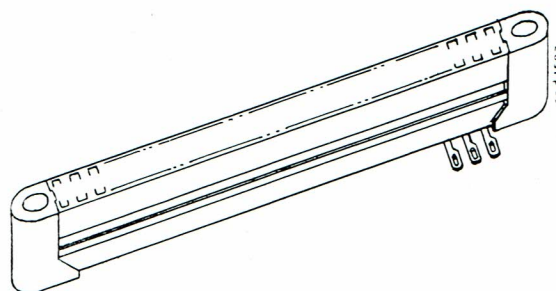


Fig. 50 — Fixation sur plaquette isolante, avec cosses repliées à 90°.

- 3) *Fixation par deux pièces terminales spéciales.*

Ces pièces portent le numéro 4322 026 11110.

Elles se fixent sur une tôle ou sur une plaquette isolante par deux vis d'un diamètre de 3 mm, et deux écrous correspondants.

Le perçage de la tôle est donné à la figure 48 ; les dimensions du connecteur et celles des pièces terminales sont données à la figure 49.

Dans le cas d'une fixation sur plaquette isolante, les cosses du connecteur peuvent être repliées à 90° le long de cette plaquette pour un raccordement latéral.

Il n'est alors plus nécessaire de ménager une fenêtre pour le passage des cosses. Un exemple est donné à la figure 50.

Remarque :

Si l'on désire utiliser l'AEM 022 dans un réseau dont la tension nominale est supérieure à 250 V efficaces (jusqu'à 440 Veff) il faut extraire du connecteur les contacts 17, 20 et 23.

Pour des raisons d'isolement, la fixation sur tôle n'est dans ce cas plus permise.

REFERENCES

- [1] *La commande de moteurs continus au moyen de thyristors à partir du réseau monophasé* — J.M. NOLF — Het Ingenieursblad, n° 8/37^{me} année.
- [2] *Détermination du circuit RLC optimal limitant la croissance de tension aux bornes de thyristors bloqués* — J.M. NOLF — Revue M.B.L.E, Volume XI, n° 1.
- [3] *A family of diode and thyristor stacks* — J. JONGSMA — Philips C.A.B. Report n° NP06807.