AGRHYMET

CILSS - OMM - PNUD

CENTRE REGIONAL DE FORMATION ET D'APPLICATION EN AGROMETEOROLOGIE ET HYDROLOGIE OPERATIONNELLE

RADIOMETRIE

DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DE L'EQUIPEMENT ELECTRONIQUE

G.C. DEROO

N° 124

NIAMEY, MARS 1980

AGRHYMET

CILSS - OMM - PNUD

CENTRE REGIONAL DE FORMATION ET D'APPLICATION EN AGROMETEOROLOGIE ET HYDROLOGIE OPERATIONNELLE

RADIOMETRIE

DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DE L'EQUIPEMENT ELECTRONIQUE

G.C. DEROO

N° 124

NIAMEY, MARS 1980

TABLE DES MATIERES

.../...

PAGE

L'ENREGISTREUR LEEDS & NORTHRUP - SPEEDOMAX " H "

1) Alimentation Générale (FIG. 1)

L'enregistreur LEEDS & NORTHRUP étant conçu pour fonctionner sur 110 V., un transformateur (T 1) 220 V/110 V est monté dans l'enregistreur. Le fusible F 1 (2 A) protège l'enregistreur et l'imprimante SODECO.

Les 110 V à la secondaire du transformateur alimentent les moteurs M 1 (moteur d'équilibrage), M 2 (moteur avance papier), M 3 (moteur d'intégrateur), le compteur, la cellule photoélectrique, le relai de l'imprimante et le transformateur T 2. Le fusible F 2 (1 A protège le circuit des moteurs tandis que le fusible F 3 (0,2 A) protège le circuit de l'alimentation stabilisée et de l'amplificateur.

L'interrupteur S-1 alimente l'enregistreur et l'interrupteur S-2 alimente le moteur avance papier M 2.

La secondaire du transformateur fournit la tension de 120 V (entre 9 et 13) pour le convertisseur photo-électrique G 1 dans l'amplificateur, entre 4-5 et 5-6 une alimentation de 25 V est fournie pour l'amplificateur même. Entre 10 et 12 une tension de 80 V est appliquée aux points 5 et 6 de l'alimentation stabilisée.

2) Circuit du signal (FIG. 1)

2.1. Mesure de zéro

2.1.1. Principe

Le Speedomax H est composé d'un circuit de mesure fonctionnant sur le principe de la méthode de zéro et équilibré automatiquement par un servo-mécanisme.

Les parties principales de l'appareil sont :

a) le circuit de mesure par méthode de zéro

b) l'amplificateur de zéro

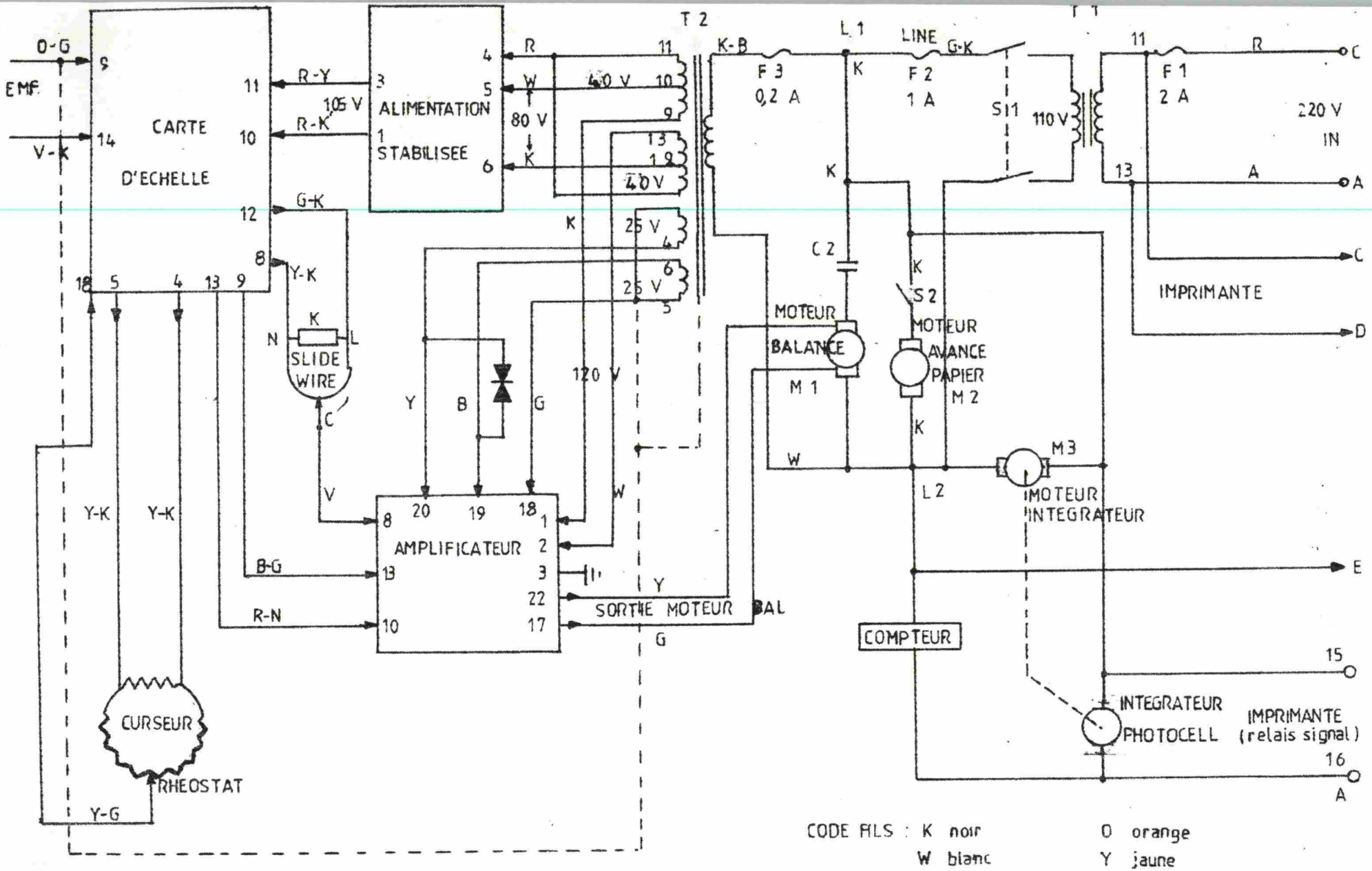
c) le servo-mécanisme d'équilibrage

d) un dispositif indicateur - enregistreur analogique.

La FIG. 2 représente le schéma de principe de l'appareil.

Dans cet exemple de mesure de f.e.m., le circuit de mesure

.../...



CODE FILS : K noir, W blanc, G vert, R rouge, B bleu, N brun, O orange, Y jaune, V violet, P lila, A gris

FIG. 1 SCHEMA ENREGISTREUR LEEDS & NORTHRUP

est constitué par un fil calibré pouvant fournir une f.e.m. étalonnée et réglable, mise en opposition avec la tension à mesurer.

Lorsque les deux grandeurs ne sont pas égales, un courant de déséquilibre circule et passe par le circuit d'entrée de l'amplificateur. Après amplification, le signal de déséquilibre est appliqué au moteur **diphasé** à deux sens de marche (moteur d'équilibrage). Ce moteur est lié au fil calibré du circuit de mesure et agit jusqu'à l'annulation du courant de déséquilibre (en pratique ce courant ne s'annule pas complètement, un courant très faible correspondant au seuil de sensibilité de l'amplificateur, subsiste).

Le moteur d'équilibrage entraîne le curseur du fil calibré et le disponitif indicateur enregistreur.

2.1.2. Pont potentiométrique (carte d'échelle)

Le circuit de mesure utilisé dans le Speedomax H est un pont potentiométrique.

Le schéma de principe d'un tel circuit, pour mesure de f.e.m. est présenté FIG.3.

Le circuit est divisé en deux branches de résistances égales. L'ensemble est alimenté par un générateur de tension stabilisé. La valeur du courant potentiométrique peut être réglée avec un potentiomètre inclus dans l'alimentation stabilisée.

Cette alimentation est prévue pour débiter un courant total de 10 mA. Chaque branche de pont consomme normalement 5 mA. La valeur de la résistance F est calculée pour absorber une partie du courant total lorsque l'étendue de mesure est inférieure à 5 mV pleine échelle. L'intensité dans les branches est alors inférieure à 5 mA.

Ce montage permet d'utiliser des résistances plus grandes dans le circuit de mesure, donc d'améliorer la précision.

Pendant l'équilibrage, le servo-mécanisme entraîne le curseur du fil calibré S de façon à obtenir l'égalité entre la tension à mesurer et la tension comprise entre le curseur

.../...

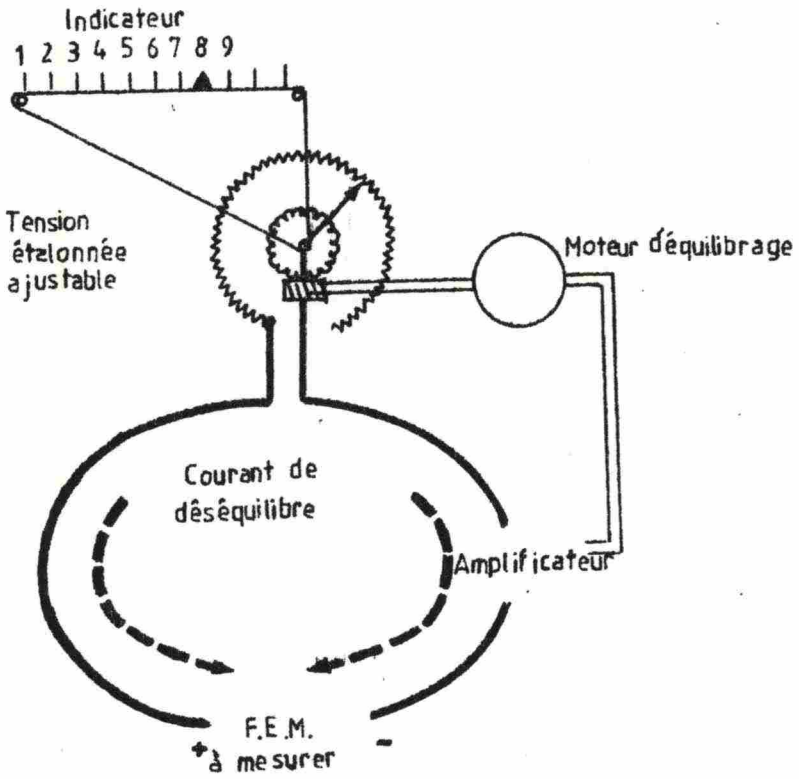


FIG. 2 Schéma de principe de la mesure de zéro.

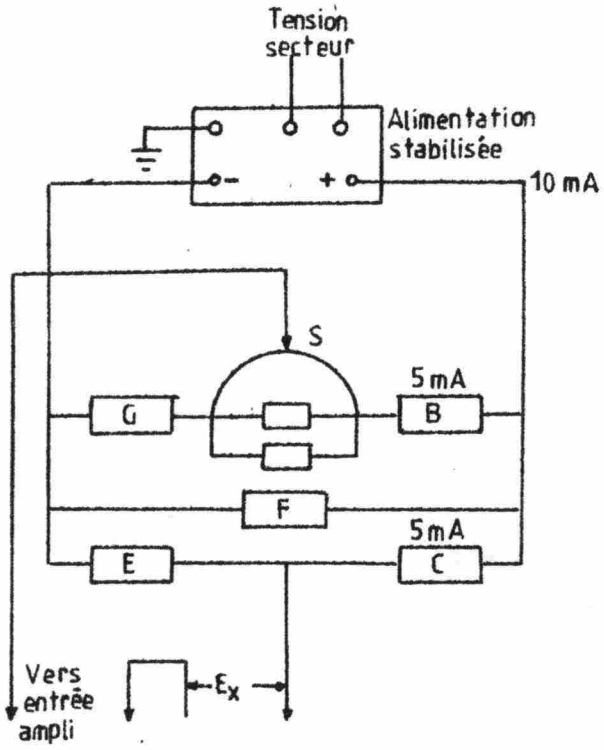


FIG. 3 Potentiomètres

de S et le point de jonction des résistances E et C. Les résistances S, G et E sont calculées de façon à obtenir l'étendue de mesure voulue ainsi qu'un éventuel décalage d'origine. B permet d'égaliser la résistance des deux branches.

Etendue de mesure

Le déplacement de l'index de mesure, d'une extrêmité à l'autre de l'échelle correspond à une course complète du curseur sur le fil calibré. La tension aux bornes du fil calibré doit donc être égale à la différence entre les valeurs extrêmes de l'étendue de mesure désirée. Cette tension est appelée E_S et la valeur du fil calibré qui lui correspond est donnée par la formule : $S = \frac{E_s}{5 \text{ mA}}$.

S est donné en ohms et E_S en millivolts.

Décalage d'origine

Si l'étendue de mesure part de zéro les résistances G et E doivent être égales. Toutefois dans de nombreux cas, l'origine de l'échelle est supérieure à zéro. Dans ce cas la résistance G doit être supérieure à la résistance E.

La différence des tensions aux bornes de ces résistances doit être égale au décalage d'origine désiré.

Par exemple, pour un décalage d'origine de 30 mV, G doit mesurer 6 de plus que E $\left(\frac{30 \text{ mV}}{5 \text{ mA}}\right) = 6\,\Omega$

Dans certains cas, on réalise des étendues de mesure pour lesquelles le zéro est compris dans l'échelle (ex.: -50 mV + 50mV).

Dans ce cas, la résistance E est supérieure à G et est calculée sur le même principe que ci-dessus.

Caractéristiques des circuits potentiométriques

1. La mesure est faite par comparaison indirecte entre une f.e.m. inconnue et une grandeur étalonnée.
2. A l'équilibre pratiquement, aucun courant n'est débité dans la source.
   En conséquence le potentiomètre mesure la f.e.m. c.à d. la tension à vide de la source.

3. La résistance de contact du curseur de fil calibré n'a pas d'influence sur la mesure puisque cette résistance se trouve dans le circuit parcouru par le courant de déséquilibre (courant pratiquement nul à l'équilibre).

2.1.3. Extrêmités du fil calibré

La longueur et la résistance du fil calibré sont supérieures de 2 % aux valeurs nécessaires pour obtenir une étendue d'échelle donnée.

Le schéma exact du fil calibré est représenté FIG. 4. Les positions supplémentaires situées à chaque extrêmité permettent la vérification de l'étalonnage des graduations extrêmes de l'échelle.

Cette forme spéciale de fil calibré rend plus délicats les calculs des éléments du circuit de mesure.

2.1.4. Transformation du courant continu en courant alternatif

La dérive de l'amplificateur est définie comme étant la tension d'entrée nécessaire pour obtenir un signal de sortie nul.

Théoriquement, à une tension d'entrée nulle devrait correspondre une tension de sortie également nulle. En pratique ces conditions ne sont jamais réalisées exactement et il importe seulement que la tension de dérive soit faible (inférieure à 15 μV). Dans ce cas il est possible de compenser par un léger décalage du fil calibré. Un amplificateur de déséquilibre doit donc avoir un zéro très stable. Tous les amplificateurs à courant continu présentent le défaut d'avoir un zéro instable. Ils sont donc inutilisables pour les mesures réalisées par méthode de zéro.

Pour cette raison les Speedomax "H" sont équipés d'un amplificateur alternatif.

Pour cela, on utilise un convertisseur statique qui fonctionne à la fréquence du secteur. Le processus de transformation est décrit plus loin. Le schéma du circuit d'entrée (constitué du convertisseur et du primaire du transformateur d'entrée) est représenté sur la FIGURE 5.

.../...

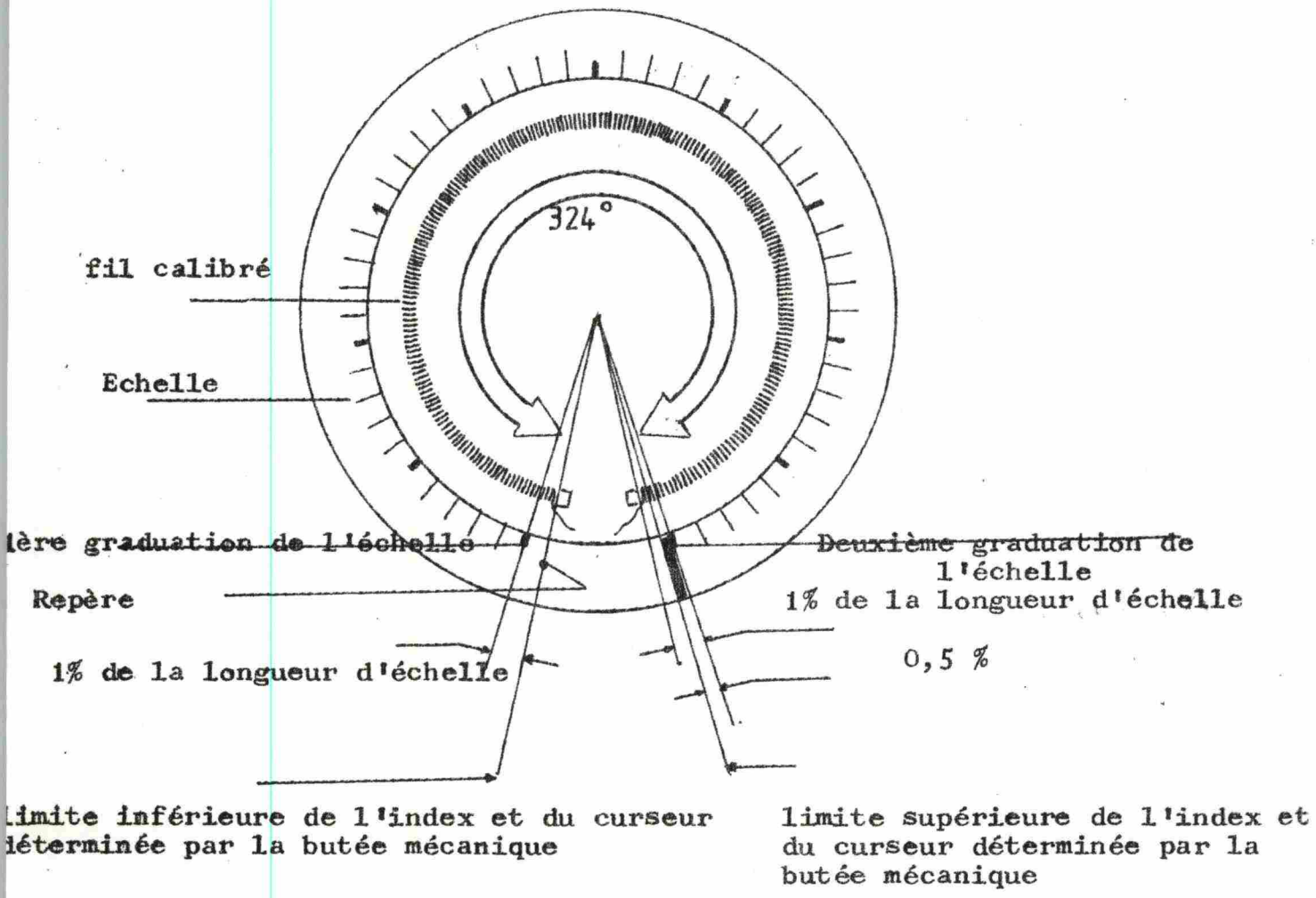


FIG. 4 Schéma du fil calibré (dépassement des extrêmités)

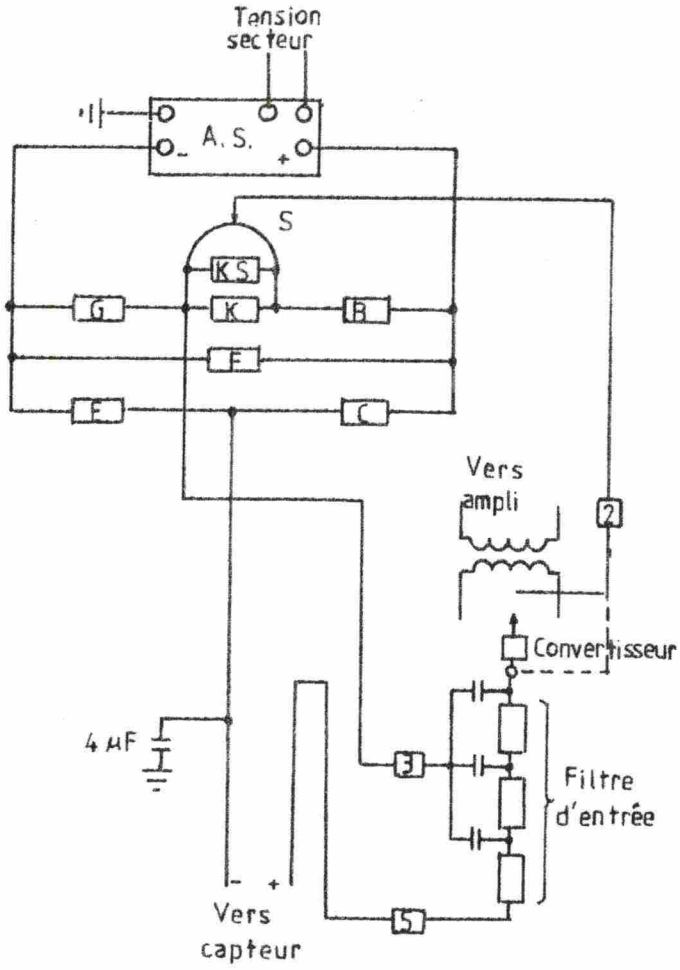


FIG.5 POTENTIOMETRE

2.1.5. Filtrage

La résistance ou la tension à mesurer peuvent se trouver à une distance importante de l'appareil.

Dans ces conditions, il est à craindre que des courants parasites viennent perturber le signal d'entrée. En particulier les couplages électrostatiques ou électromagnétiques avec le courant secteur sont possibles.

Fréquemment, des courants à 50 HZ s'introduisent dans le circuit du capteur et pénètrent par cette voie dans l'appareil sans filtrage, ces interférences sont "hâchées" par le convertisseur et pénètrent dans l'amplificateur où elles produisent une surcharge pouvant aller jusqu'à la saturation.

a) Filtre d'entrée

Pour réduire l'action des courants parasites induits dans le circuit du capteur un filtre RC à trois étages est monté sur l'amplificateur.

La FIGURE 5 montre comment le filtre est raccordé au circuit d'entrée de l'amplificateur. Comme on peut le voir le filtre d'entrée est efficace principalement pour les signaux parasites introduits au niveau du détecteur ou des fils de raccordement du détecteur.

Son efficacité est beaucoup moins importante sur les signaux parasites pouvant s'introduire par le circuit de mesure. En conséquence, des précautions ont été prises pour protéger ces circuits.

b) Condensateur du circuit d'entrée

Un condensateur de 4 μF branché comme l'indique la FIGURE 5 a pour but de diminuer l'influence des tensions parasites pouvant exister entre le capteur et la terre.

Ce condensateur est placé au fond du boîtier à côté de la carte d'échelle.

.../...

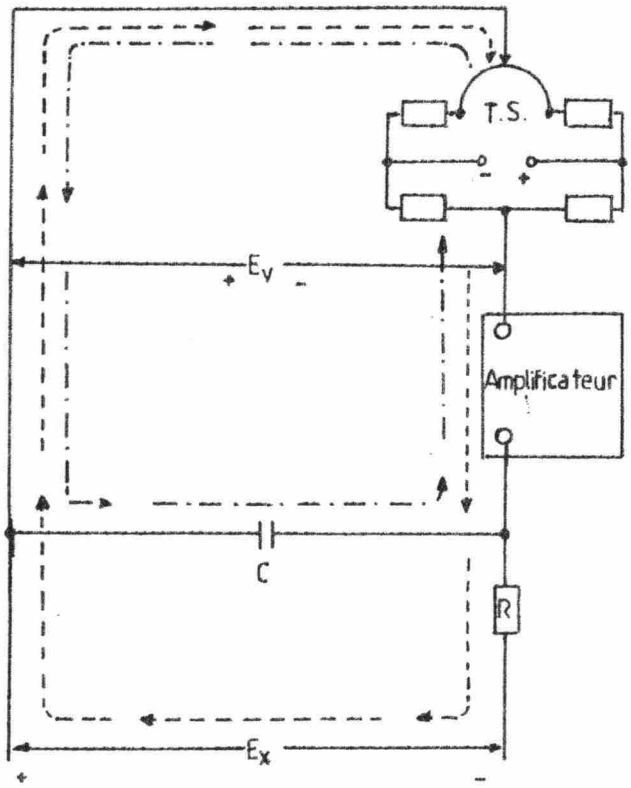


FIG. 6 Courants d'amortissement et de déséquilibre dans un potentiomètre.

2.1.6. Amortissement

Le couple maximum du moteur d'équilibrage est obtenu pour une tension de déséquilibre de 40 μV à l'entrée de l'amplificateur.

On voit que cette tension correspond à 2% d'une étendue de mesure de 2 mV.

Cette caractéristique est nécessaire pour donner une grande sensibilité à l'appareil, mais sans précautions spéciales, elle provoque un dépassement systématiquement du point de mesure à chaque équilibrage.

Un amortissement du système est donc indispensable. L'amortissement est réalisé à partir des éléments du filtre d'entrée.

Pour simplifier, sur la FIGURE 6 le filtre a été réduit à un seul étage R.C.

Sur la FIGURE 13 on peut voir qu'au point d'équilibre les tensions E_x, E_v et la tension aux bornes de C sont égales. Admettons que E_x augmente, la polarité restant la même, un courant de déséquilibre entre E_x et E_v prend naissance dans le circuit d'entrée de l'amplificateur et provoque le déplacement du curseur du fil calibré vers le haut de l'échelle.

Lorsque le curseur se déplace E_v augmente et provoque un courant de charge dans C et dans le circuit d'entrée de l'amplificateur. Ce courant est proportionnel à la vitesse de déplacement du curseur.

Nous avons maintenant deux courants qui s'écoulent dans le circuit d'entrée de l'amplificateur : l'un proportionnel à la variation de la mesure et tend à provoquer un déplacement de l'index vers le haut de l'échelle ; l'autre proportionnel à la vitesse de déplacement du curseur et tend à provoquer un déplacement de l'index vers le bas d'échelle.

Lorsque l'on approche de l'équilibre, le premier courant tend vers zéro mais le courant d'amortissement persiste aussi longtemps que le système continue à se déplacer.

.../...

Près du point d'équilibre, le courant d'amortissement est prédominant, il applique un couple inverse au moteur d'équilibrage et empêche le dépassement.

On peut voir que le courant d'amortissement est également proportionnel à la capacité de C. Donc l'effet d'amortissement augmente avec la valeur du condensateur C. D'autre part le courant d'amortissement ne passe pas dans R qui est parcouru uniquement par le courant de déséquilibre. L'augmentation de R a donc pour effet d'accroître l'effet d'amortissement en augmentant le courant relatif d'amortissement.

L'amortissement optimum peut donc être obtenu en agissant sur les valeurs relatives de R et de C.

2.1.7. Réalisation du câblage de l'appareil

Comme il a été dit plus haut, le filtre d'entrée n'est pas efficace pour les courants alternatifs parasites qui s'introduisent directement par le câblage de l'appareil.

En conséquence, certaines précautions ont été prises pour limiter les couplages entre les circuits à haut niveau (câblages des moteurs, des contacts de régulation, transformateur, etc...) et les circuits à bas niveau (circuits de mesure et d'entrée de l'amplificateur).

Le résultat est obtenu en réalisant des câblages séparés pour ces deux catégories de circuits.

Les câblages "bas niveau" sont prévus avec le minimum de "boucles". Lorsque cela est nécessaire, les conducteurs sont torsadés. Le fil calibré, en particulier, a été étudié pour être influencé au minimum.

Comme le montre la FIGURE 7, les deux extrêmités du fil sont ramenées au même endroit en utilisant l'âme du fil isolé sur lequel est bobiné le fil calibré.

La prise de potentiel sur le fil calibré est réalisée à l'aide d'un trolley parallèle et réuni au fil par un curseur. Ce système permet d'avoir uniquement des connexions fixes et le minimum de risque d'induction.

.../...

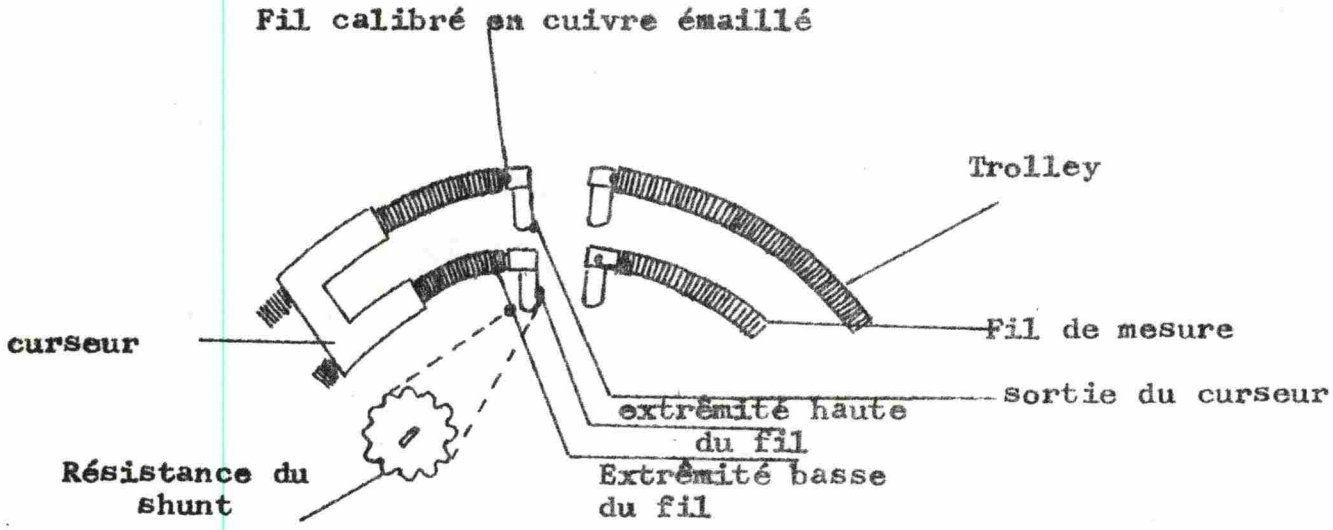


FIG. 7 Réalisation du fil calibré

3. L'amplificateur transistorisé.

3.1. Système d'équilibrage.

Le système comprend le détecteur - amplificateur (FIGURE 8), un moteur d'équilibrage et une liaison mécanique entre le moteur et le curseur du fil calibré de mesure et l'index. Cette liaison comprend un engrenage à vis-sans-fin de rapport de réduction 100/1 pour un temps de traversée d'échelle de 6 secondes et de 16,66/1 pour un temps de 1,2 seconde.

De conception spéciale, le moteur d'équilibrage est un moteur asynchrone déphasé ayant deux enroulements entièrement séparés. Les deux tensions alimentant les enroulements doivent être de même fréquence mais déphasés de 90° en avant ou arrière suivant le sens de rotation désiré. Il suffit donc pour changer le sens de modifier de 180° la phase de l'un des enroulements.

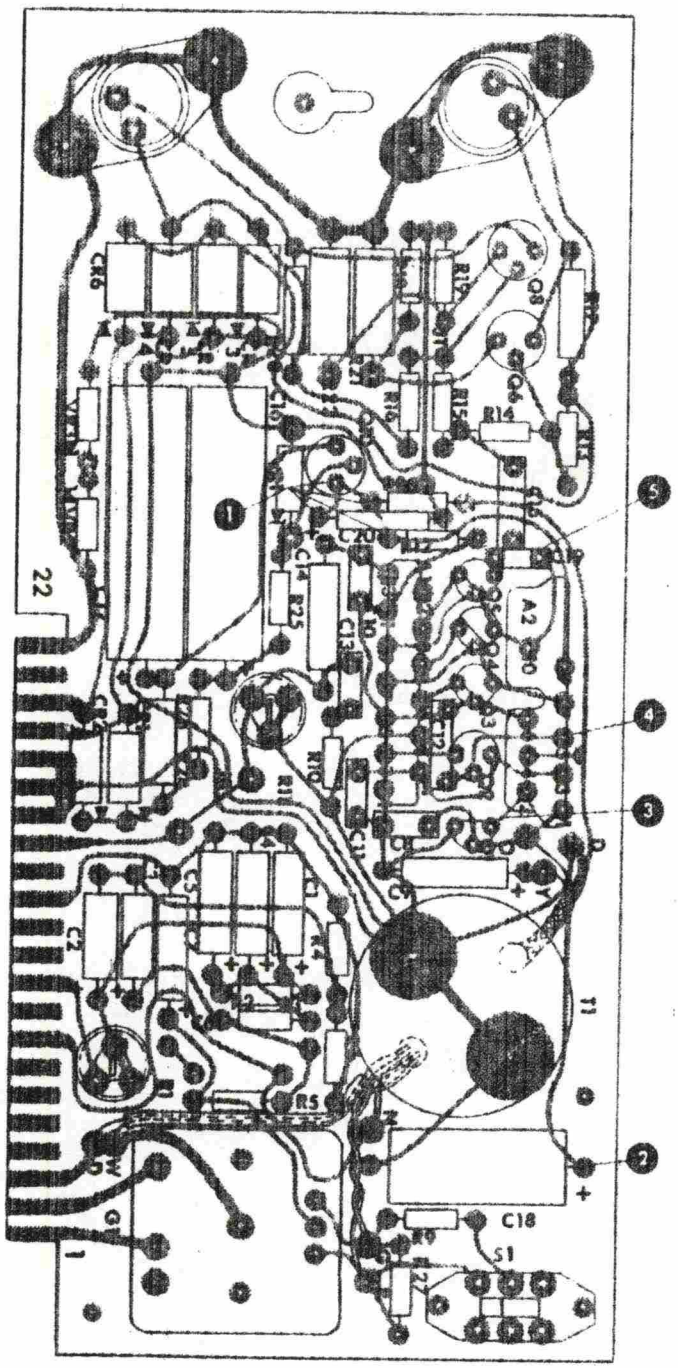
Ces deux enroulements sont désignés respectivement enroulement secteur et enroulement de contrôle.

L'enroulement secteur est raccordé au secteur par un condensateur 1,6 μ F et se trouve ainsi alimenté par une tension 50 Hz constante en phase et en amplitude et en avance de 90° sur la phase du secteur.

L'enroulement de contrôle est alimenté par l'étage de puissance du détecteur - amplificateur. Il faut donc que l'amplificateur émette une tension 50 Hz soit en phase, soit déphasé de 180° par rapport à la tension secteur.

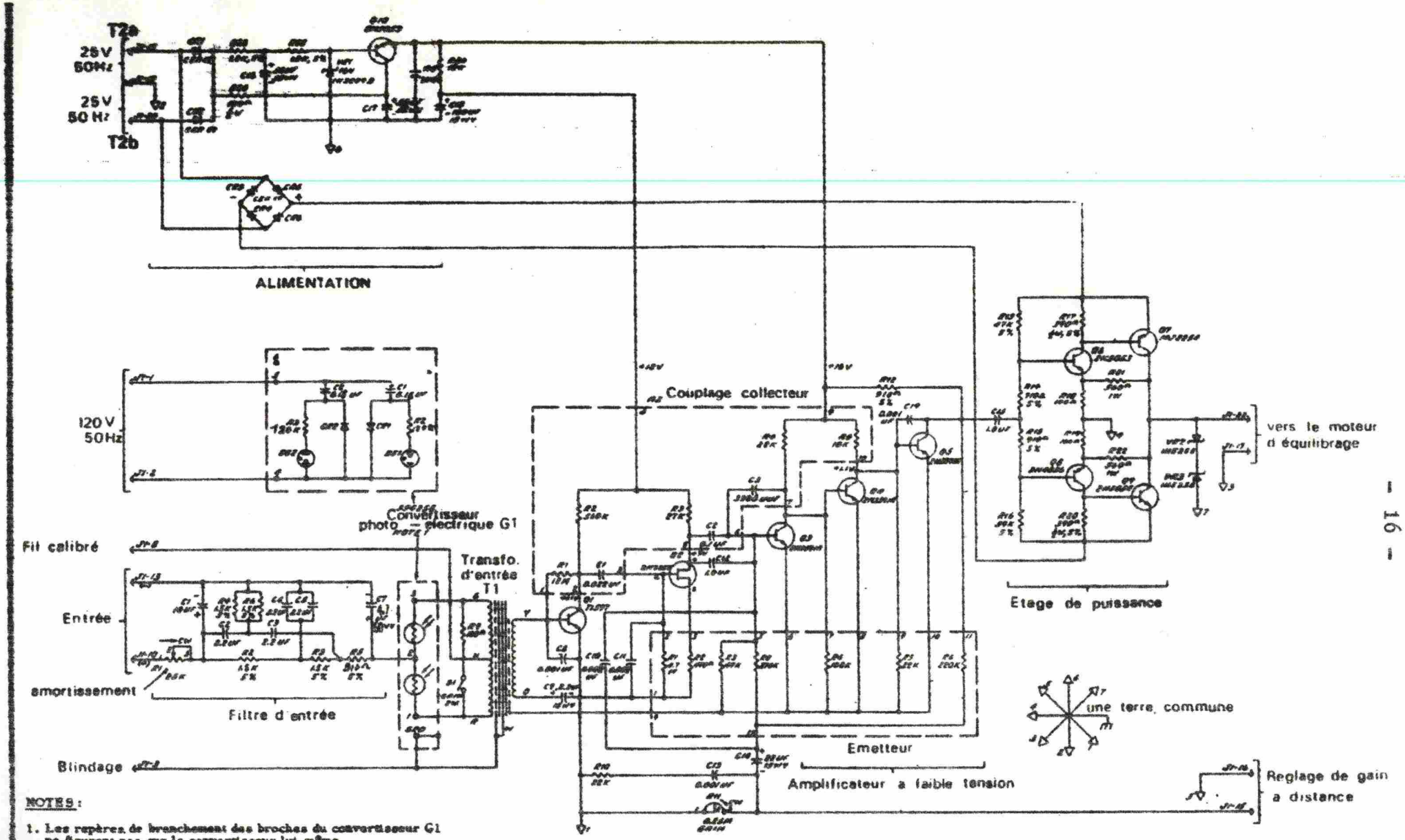
L'amplificateur de la tension de sortie doit être approximativement proportionnelle au signal de déséquilibre et suffisante pour faire tourner le moteur à partir d'un déséquilibre de 1 μ V.

La réalisation du principe décrit ci-dessus est obtenue en trois étapes distinctes :


CR6
Q8
Q4
R14
R15
R16
R12
C16
C20
C14
R25
C13
A2
Q5
Q3
R10
C11
C7
T1
C2
C3
C1
R2
R5
C18
R9
S1
22
1
2
3
4
5

E5938

FIG. 8



NOTES :

1. Les repères de branchement des broches du convertisseur G1 ne figurent pas sur le convertisseur lui-même.

2. Sauf indications contraires toutes les résistances sont 1/4 W, 10 %.

FIG. 9 - Schéma de l'amplificateur transistorisé.

(1) Transformation du signal de déséquilibre continu en un signal à 50 Hz.

(2) Amplification du signal 50 Hz jusqu'au niveau nécessaire pour faire tourner le moteur d'équilibrage.

(3) Mise en marche du moteur dans le sens du rétablissement de l'équilibre.

Examinons ces trois fonctions.

3.2. Transformation du signal continu en signal à 50 Hz.

La transformation du signal continu en signal alternatif est réalisée par un convertisseur statique à cellules photo-électriques monté sur le circuit imprimé de l'amplificateur. Son schéma est représenté FIGURE 10, laquelle montre également ses connexions au transformateur d'entrée T1, l'ensemble constituant le circuit d'entrée de l'amplificateur.

Le convertisseur joue le rôle d'un commutateur - inverseur unipolaire commandé par l'allumage et l'extinction d'une paire de cellules photo-électriques V 1 et V 2. Les deux lampes à néon, DS 1 et DS 2, lesquelles excitent les cellules, sont alimentées en courant 50 Hz fourni par le transformateur d'alimentation de l'amplificateur. Le convertisseur commuté donc synchronisme avec le secteur 50 Hz. V 1 est soumise à l'action de DS 1 et V 2 de DS 2.

Pendant chaque demi-période de la tension secteur où le côté K (supérieur) du secondaire est positif par rapport au côté R 1 (inférieur), la diode CR 1 est conductrice, court-circuitant R 2 et DS 1. V 1 n'est donc pas éclairée et sa résistance est maximale. CR 1 étant conductrice, le condensateur C 1 se charge.

Pendant la demi-période suivante, la tension sur le secondaire est inversée et CR 1 bloquée. La tension aux

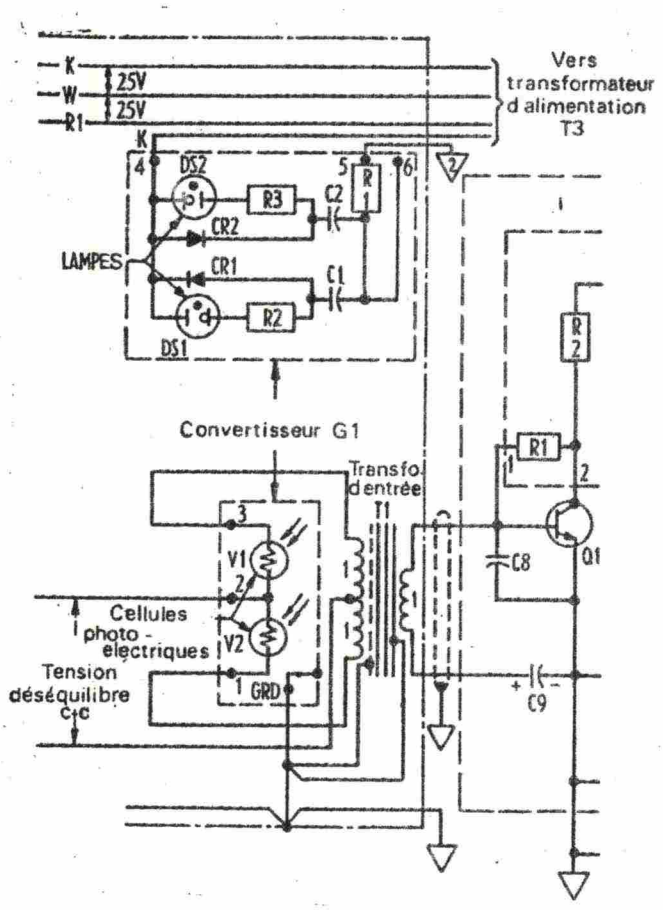


FIG. 10 Circuit de convertisseur

bornes du condensateur est en série avec la tension du secondaire et de même sens, leur somme positive est appliquée sur DS 1 qui s'allume. La résistance R 2 ne fait que limiter le courant dans DS 1 à une valeur acceptable. La lumière de DS 1 fait réduire au minimum la résistance de V 1. Pendant la demi-période où DS 1 est bloqué, c'est DS 2 qui devient conductrice en réduisant au minimum la résistance de V 2.

De la sorte, toute tension de déséquilibre du circuit de mesure est appliqué alternativement aux deux moitiés du primaire du transformateur d'entrée par le fonctionnement du convertisseur. Ainsi un courant continu passe d'abord dans une moitié de l'enroulement et ensuite dans l'autre moitié en sens inverse. Il en résulte une tension 50 Hz - de forme d'onde à peu près carrée - induite dans le secondaire du transformateur et appliquée à la base du transistor Q 1.

L'amplitude de la tension secondaire induite est proportionnelle à la tension primaire et par conséquent à la valeur de la tension de déséquilibre continue du circuit de mesure. En outre, la phase de cette tension dépend du sens de cette tension continue, car si la polarité du signal d'erreur est inversée le courant primaire passe en sens inverse pendant chaque demi-période, inversant la polarité instantanée de la tension secondaire, c'est-à-dire, déplaçant sa phase de 180°.

3.2.1. Convertisseur

Le convertisseur synchrone (chopper) constitue une pièce autonome fournie sous capot étanche aux poussières. Comme il fait partie du circuit basse tension il est essentiel de le blinder contre la tension d'alimentation 50 Hz. Ceci est réalisé en enfermant les circuits des lampes et des cellules photo-électriques dans des compartiments métalliques séparés. En outre, le coffret extérieur réduit au minimum l'action de tout flux magnétique provenant d'une source extérieure.

Le convertisseur est conçu pour qu'en marche normale chaque cellule photo-émectrique sont conductrice pendant 50 % du cycle. Le convertisseur n'exige aucun réglage. Dans les conditions de fonctionnement spécifiées, en service continu, sa durée est d'au moins 25.000 heures.

3.2.2. Transformateur d'entrée

Comme le montre la FIGURE 10, le transformateur d'entrée a un rapport de 1/1 et son rôle essentiel est d'isoler l'entrée de la sortie. Comme il est monté dans le circuit basse tension, des précautions spéciales ont été prises.

(1) L'enroulement est entouré de deux écrans concentriques en mumétal assurant le blindage magnétique.

(2) Le capot extérieur assure le blindage électrostatique.

(3) Les enroulements primaire et secondaire sont blindés séparément pour limiter les effets parasites.

3.3. Amplification

L'étage convertisseur produit donc une tension alternative d'amplitude et de phase correspondant à l'amplitude et à la polarité du signal continu de déséquilibre. Cette tension alternative doit être amplifiée suffisamment pour commander l'étage de puissance, lequel fera tourner le moteur d'équilibrage.

L'amplification est assurée par un amplificateur à cinq étages avec un étage de sortie en push - pull montés sur carte imprimée.

Le premier étage est un amplificateur de tension suivi d'un transistor Q 2 à effet de champ. Ce transistor sert à équilibrer les impédances, celle de sortie de Q 1 étant relativement élevée et celles d'entrée de Q 3, Q 4 et Q 5 étant faibles. Le couplage entre étages est du type conventionnel R C. La tension de polarisation est fournie par le bloc d'alimentation. Le fonctionnement de l'étage push - pull de sortie sera expliqué au chapitre : moteur d'équilibrage (3.4.).

La faible amplitude du signal alternatif du premier étage de l'amplificateur exige des précautions spéciales contre les parasites. Comme il est dit ci-dessus, le transformateur d'entrée est de conception spéciale. De plus, le condensateur C 8 (FIGURE 9) constitue une précaution supplémentaire. Ce condensateur, de faible capacité, n'a qu'un effet négligeable sur le signal 50 Hz mais arrête effectivement toutes tensions transitoires haute fréquence pouvant pénétrer dans l'amplificateur.

Le réglage de gain R 11 (FIGURE 9) sert à réduire le gain à une valeur acceptable. Il est prévu un branchement pour le réglage du gain à distance. Sur toutes les étendues de mesure autres que les plus faibles, le gain maximal de l'amplificateur rendrait le système trop sensible, d'où oscillations et excès d'amortissement. L'interrupteur de gain S 1 permet de réduire davantage encore le gain aux grandes étendues par shuntage du signal du primaire du transformateur d'entrée.

3.4. Fonctionnement du moteur d'équilibrage

La FIGURE 11 représente l'étage sortie de puissance de l'amplificateur, lequel alimente le moteur d'équilibrage. L'une des bornes de l'enroulement de contrôle est reliée à la prise centrale du transformateur, laquelle est à la terre. L'autre borne est reliée au point commun des deux transistors de sortie Q 7 et Q 9. Le signal de commande provient du transistor Q 5, avec couplage par le condensateur C 15.

Les diodes CR 3 à CR 6 constituent un redresseur à deux alternances alimenté par un transformateur à prise centrale à la terre. Le pôle + est à une tension de + 35 V crête à crête 100 Hz, redressée sans filtrage. Le pôle - du pont est à - 35 V.

La tension provenant de Q 5 est sinusoïdale à 50 Hz en phase ou déphasée de 180° suivant la polarité du signal continu d'entrée. Après passage par C 15, cette sinusoïde est à un potentiel supérieur et inférieur à celui de la terre.

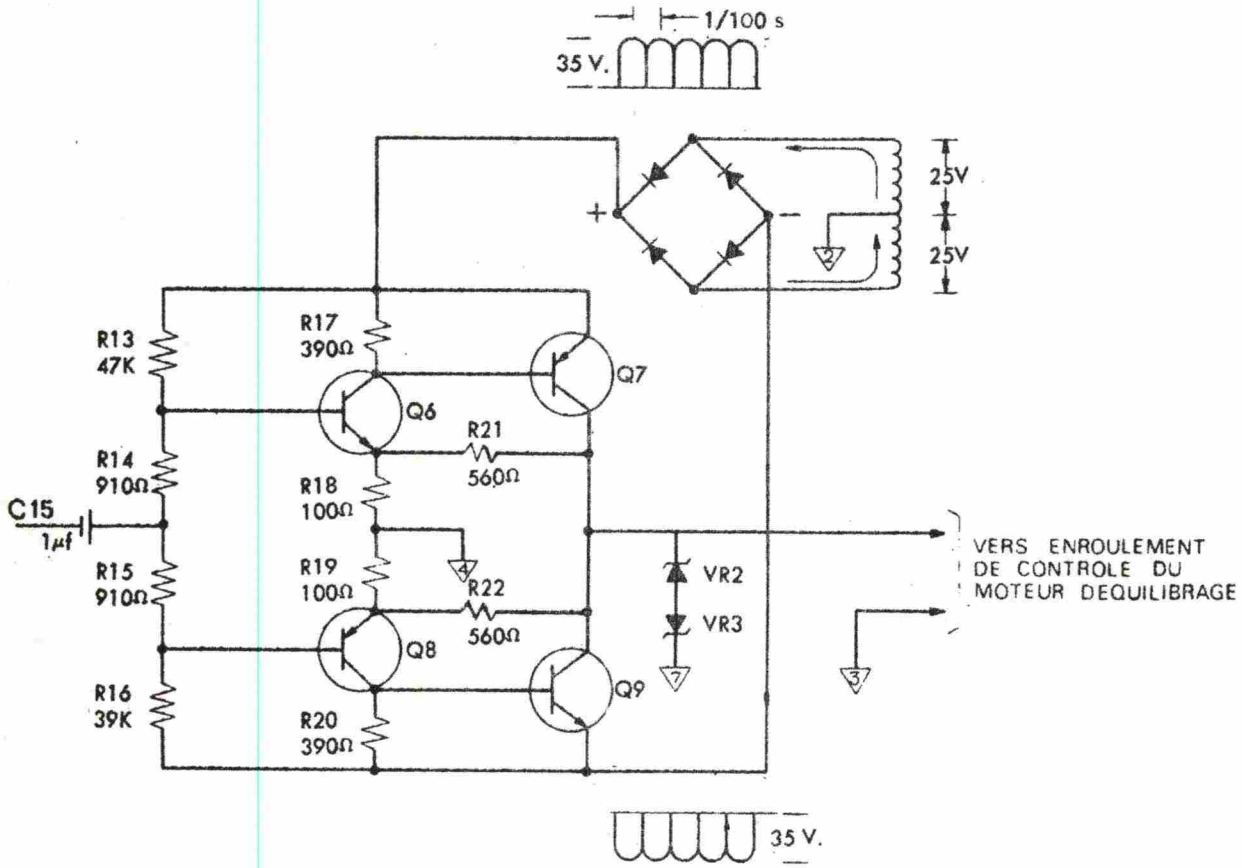


FIG.11 Etage de sortie de puissance de l'amplificateur

Lorsque l'alternance positive sur la base de Q 6 est en synchronisme avec les impulsions de sa tension collecteur, ce transistor sera conducteur et enverra par l'intermédiaire de Q 7 une demi-alternance positive sur l'enroulement de contrôle du moteur. Les alternances négatives sont sans effet sur Q 6 et Q 7. De même, l'alternance négative de Q 5 rendra Q 8 et Q 9 conducteurs et la demi-alternance négative attaquera le moteur via ce circuit.

Si un signal est déphasé de 180º par rapport au précédent, la tension alternative sur le moteur sera de phase opposée et le moteur tournera en sens inverse. Cette tension est proportionnelle au signal d'erreur à l'entrée de l'amplificateur. La saturation est atteinte pour des signaux d'erreur dont la valeur est de l'ordre de 2 à 3 % de l'étendue.

L'examen du schéma FIGURE 11 révèle deux circuits symétriques à l'exception du fait que R 13 est plus importante que R 16 ; cette caractéristique maintient le moteur sous une légère tension à l'arrêt et accroît la sensibilité. Cette tension de " polarisation " est d'environ 10 V crête à crête.

La FIGURE 12 montre des formes d'onde pour diverses conditions.

3.5. Déphasage

Les paragraphes précédents ont montré l'importance des décalages de phase pour le fonctionnement du système d'équilibrage. Il faut que la tension à 50 Hz fournie par l'amplificateur à l'enroulement de contrôle du moteur d'équilibrage soit déphasée de 90º sur la tension du réseau. Ceci est obtenu par un montage électrique approprié. Voir FIGURE 13. Le condensateur 1,6 μ F en série avec l'enroulement réseau décale la tension 120 V en avant de 90º. Les cellules photo-électriques sont en phase avec le réseau. En effet, l'avance du courant d'alimentation des lampes compense le retard dû à la résistance des cellules.

Le résultat final est une tension maximale en quadrature sur l'enroulement de contrôle du moteur.

.../...

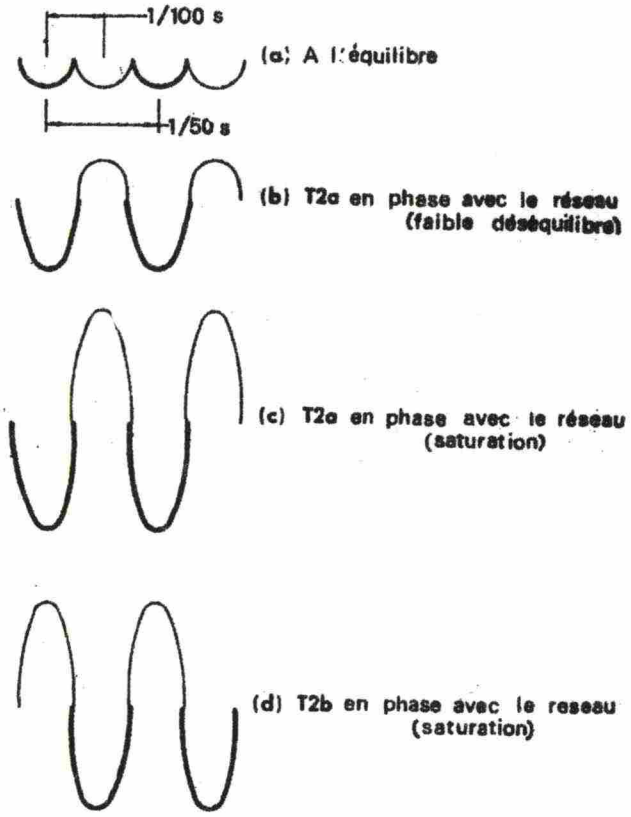


FIG. 12 Formes d'onde du courant de sortie de l'amplificateur.

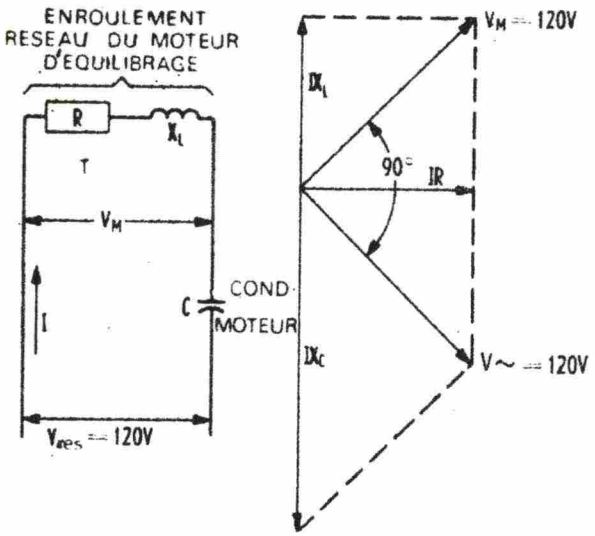


FIG. 13 Schéma de principe et diagramme de phases de l'enroulement réseau du moteur d'équilibrage - moteur en marche à l'équilibre.

3.6. Stabilisation

La tension collecteur de l'amplificateur est parfaitement stabilisée et filtrée afin de limiter les effets des variations de la tension réseau et de la température. Le gain reste stable de 107 à 127 V. eff. et de - 9 à + 50° C.

3.7. Couple moteur

Pour des écarts faibles, le couple du moteur est approximativement proportionnel au déséquilibre. Ce rapport est limité par la saturation de l'amplificateur. Le couple atteint 0,5 N / cm ce qui suffit pour actionner le mécanisme lors d'un déséquilibre de 40 μV environ.

4. Alimentation stabilisée

4.1. Généralités

Ce module, dont le schéma est représenté sur la FIGURE 14, convertit le courant alternatif provenant du réseau en un courant continu sous une tension qui demeure stable pour des variations de la tension du réseau entre 107 et 127 V, de la fréquence de 48 à 64 Hz et de la température de 16 à 75° C. Il est indispensable que cette tension continue soit fixe, car c'est elle qui produit la tension de référence du potentiomètre.

4.2. Vérification et / ou réglage

Chaque module d'alimentation stabilisée a son réglage particulier afin qu'il émette un courant continu d'exactement 10 mA. Un petit rhéostat monté sur le circuit imprimé peut être ajusté pour fournir ce courant de 10 mA pour des résistances de circuit de 101 à 109 Ohms. Cet ajustage est effectué en atelier et l'utilisateur ne doit pas, en principe, avoir à le retoucher.

La résistance du circuit est déterminée par la carte d'échelle et sera presque toujours de 105 Ohms. L'alimentation ne doit pas être réglée pour une tension autre que celle pour laquelle le circuit de charge a été prévu. Dans le cas d'une résistance de 105 Ohms, la tension est de 1,05 V $\pm$ 0,05%

L'alimentation stabilisée doit être vérifiée et, au besoin, réajustée après chaque remplacement ou réparation de composant électrique ainsi qu'avant tout étalonnage.

.../...

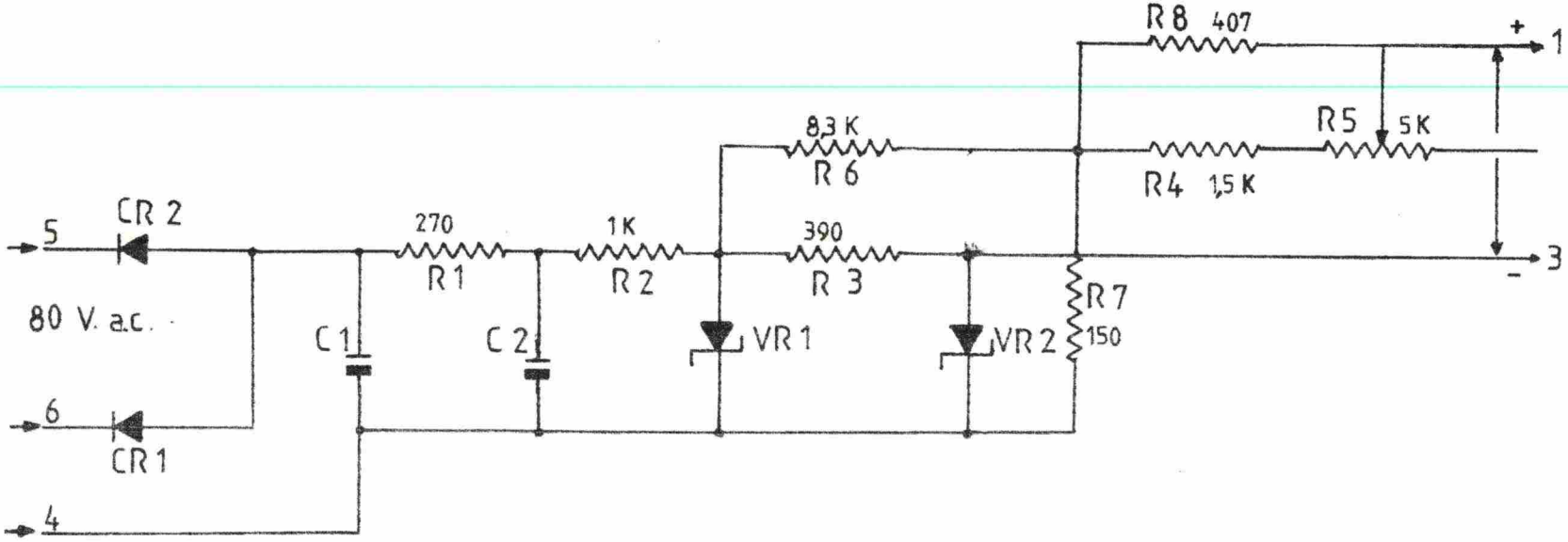


FIG. 14 ALIMENTATION STABILISEE

4.3. Description et fonctionnement

L'alimentation stabilisée a deux fonctions essentielles : redressement et stabilisation courant - tension.

Le circuit est alimenté à 80 V venant de la secondaire du transformateur T 2. Cette tension est redressée par un redresseur à deux alternances composé des diodes silicon CR 1 et CR 2, le filtrage se fait par le circuit C1 - R1 - R2 - C2 et la stabilisation est assurée par deux étages utilisant des diodes Zener.

La première stabilisation est obtenue par la diode Zener VR 1. La sortie de cet étage est appliquée au deuxième étage.-un pont consistant de la diode Zener VR 2 et trois branches de résistances (R3 - R6 et R7). Si les quatre branches du pont étaient purement résistives, un certain pourcentage de changement de la tension d'entrée à travers le pont donnerait le même pourcentage de changement à la tension de sortie du pont. Les trois résistances - R 3, R 6 et R 7 ont une résistance proportionnelle à l'impédance dynamique de VR 2, telle que un changement de la tension d'entrée du pont causera la tension à chaque terminal de sortie du pont de changer par la même quantité. Vu que la tension de sortie du pont est la différence entre les tensions à chaque terminal du pont, des changements égaux à ces terminaux ne causeront pas un changement de tension de sortie.

La diode Zener VR 2 a un coefficient de température très stable et la tension à travers le circuit potentiométrique est virtuellement indépendant de la température ambiante dans les limites de 16 à 75° C.

Les résistances R 4 et R 8 et le rhéostat R 5 sont montées en série-parallèle avec le circuit potentiométrique.

R 5 est ajustée à l'usine pour donner un courant de 10,0 mA et ne serait pas réglée sauf en cas de dépannage. R 5, comme montée, procure la possibilité de compenser des variations dans les tolérances de fabrication de V R 2.

.../...

...\...

5. Trajet du signal f.e.m. (FIGURE 1)

Le signal du pyranomètre est introduit aux points 9 et 14 de la carte d'échelle. D'autre part 1,05 V - 10 mA fourni par l'alimentation stabilisée est appliqué aux points 10 et 11. L'introduction du signal du pyranomètre déséquilibre le pont de la carte d'échelle ce qui introduit une tension d'erreur dans le fil calibré S.

Tandis que le signal de 50 Hz est introduit aux points 10 et 13 de l'amplificateur, le signal d'erreur est amené à l'amplificateur par le point 8 à la primaire de T 1. L'état de déséquilibre ainsi créé est amplifié par les cinq étages de l'amplificateur et cette tension d'erreur amplifiée est appliquée au moteur d'équilibrage par les points 22 et 17. Cela fait tourner le moteur d'équilibrage dans un sens ou l'autre pour rétablir l'équilibre.

Le frotteur du curseur S est connecté mécaniquement à l'axe du moteur d'équilibrage. Donc la rotation de l'axe du moteur change la position du frotteur. Cette opération continue jusqu'au moment où le circuit de la carte d'échelle - curseur S est en équilibre.

En même temps, le mécanisme d'inscription se déplace pour enregistrer la tension fournie par le pyranomètre.

Un rhéostat est connecté à la carte d'échelle par les points 4, 5 et 18.

Le but de ce rhéostat est d'introduire une lecture fixe dans l'enregistreur, dépendant de la carte d'échelle et du pyranomètre utilisé.

Le rhéostat change le circuit d'équilibrage de la carte d'échelle pour appliquer une tension déterminée à l'amplificateur.

6. L'intégrateur mécanique

L'intégrateur DISC. est monté dans les enregistreurs potentiométriques " LEEDS and NORTHRUP ".

Ce type d'intégrateur est quelquefois appelé " ball and disc integrator " et fonctionne suivant le principe suivant :

.../...

un moteur synchrone entraîne la rotation d'un disque à vitesse constante. Sur ce disque se trouve une bille dont la position par rapport au centre du disque est commandée par la position du curseur sur le fil calibré de l'enregistreur FIGURE 15.

Cette position est donc fonction de l'éclairement énergétique reçu par le capteur. Si la bille est près du centre du disque sa vitesse de rotation est faible, lorsqu'elle s'éloigne du centre vers le bord sa vitesse de rotation augmente.

Ainsi, le nombre de tours effectués par la bille est proportionnel pendant un temps donné et proportionnel à l'intégrale de l'éclairement énergétique. Un dispositif mécanique permet d'associer à chaque rotation de la bille la fermeture d'un contact de relais. La résolution de ce type d'intégrateur est de 1/10 ème de Joule/cm^{-2}.

Cet appareil, réalisé suivant le croquis de la FIGURE 16 possède une précision de 0,5 % lorsque l'enregistreur est à sa déviation maximale.

Un léger décalage de zéro mécanique est nécessaire pour conserver la linéarité dans le bas de l'échelle.

6.1. Ajustements de l'intégrateur

6.1.1. Généralités

La précision globale et la quantité proportionnelle de compte sont déterminées par les dimensions et la relation géométrique des composants. Ajustements ou étalonnage d'un intégrateur installé se limitera à l'alignement de zéro et la vérification de la linéarité et la quantité proportionnelle de compte.

6.1.2. Zéro de l'intégrateur

A. Emplacement

Le zéro de l'intégrateur est généralement aligné sur la division 0 de l'échelle de l'enregistreur et la quantité proportionnelle de compte à pleine échelle est atteinte à l'extrêmité droite de l'échelle de l'enregistreur, soit à 100 %.

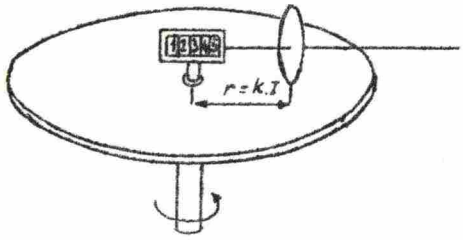


FIG. 15 Représentation simplifiée de l'intégrateur

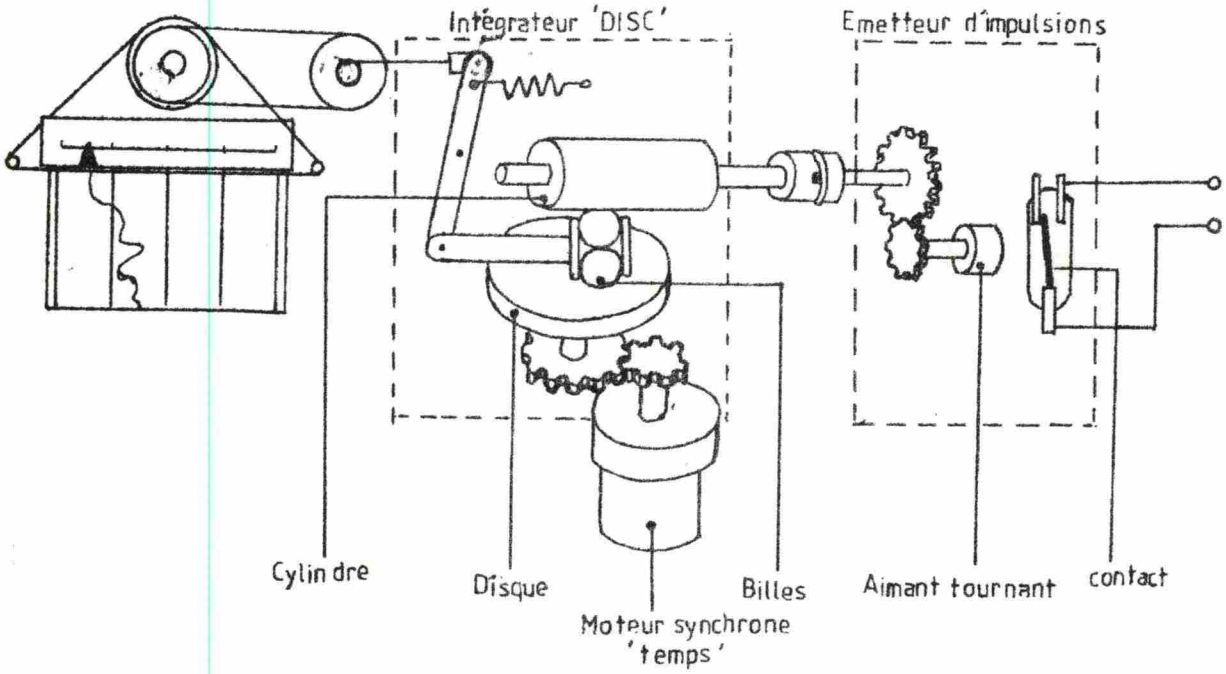


FIG. 16 Intégrateur Disc " série 300 "

B - Sensitivité

L'intégrateur est sensible à un mouvement d'approximativement 0,1 % de pleine échelle. Donc un enregistreur ayant une échelle de 25 cm, une déflection de 0,025 cm ou moins déplacera déjà le zéro de l'intégrateur. Pour cette raison le zéro de l'intégrateur doit être aligné précisément avec le zéro de l'échelle (à 0,025 cm près) pour assurer une sortie de zéro avec le zéro de l'échelle et pour une quantité proportionnelle de compte spécifiée à 100 %.

C - Alignement

1. Principe : En alignant le zéro de l'intégrateur, on fait une tentative pour positionner une sphère exactement au point central de la disque rotative. Un alignement absolu est rarement accompli et un alignement à ± 0,2 % de pleine échelle est normalement acceptable.

2. Procédure (FIGURE 17)

a. Mettre en marche le moteur d'avancement du diagramme et le moteur de l'intégrateur.

b. Introduire un signal zéro ou court-circuiter les bornes + et - à l'entrée de l'enregistreur.
Aligner, si nécessaire, le zéro de l'enregistreur pour que la plume inscrive exactement au zéro du diagramme.

c. Tenir stationnaire l'engrenage d'entrer et tourner lentement de quelques degrés le bouton de réglage du zéro. Observer le cadran indicateur de sortie, et continuer à tourner le bouton de réglage jusqu'au moment que le cadran se stabilise (si le cadran commence à tourner plus vite, tourner le bouton de réglage dans la direction opposée).

3. Remarques

a. Le cadran est considéré en position stabilisée du moment que le mouvement du cadran est inférieur à une division de l'indicateur pour 20 révolutions de l'engrenage du moteur " temps ".

b. L'engrenage d'entrée est fixé à l'axe par un écrou en nylon. Le bouton de réglage est solidement fixé ce qui permet l'axe d'entrée de déplacer la bille à l'intérieur de l'intégrateur, tandis que l'engrenage d'entrée maintient sa position de zéro par rapport au système d'enregistrement.

c. Une fois que le zéro a été aligné mécaniquement, des réglages supplémentaires ne sont plus nécessaires.

6.1.3. Etendue ou portée de l'intégrateur.

A. Généralités.

La quantité proportionnelle de compte de l'intégrateur à pleine échelle devrait correspondre avec la pleine échelle de l'enregistreur (± 0,25 %). Cette relation est déterminée par les dimensions des parties mobiles de l'enregistreur et de l'intégrateur. Due aux tolérances la quantité proportionnelle de compte peut changer légèrement après que l'intégrateur est installé dans l'enregistreur.

Un réglage d'approximativement ± 1 % peut être fait après installation.

Un contrôle précis devrait être fait avant le réglage.

B. Procédure de contrôle de l'étendue de l'intégrateur (FIGURE 18)

1. S'assurer que le zéro de l'intégrateur a été aligné exactement avec le zéro de l'échelle.

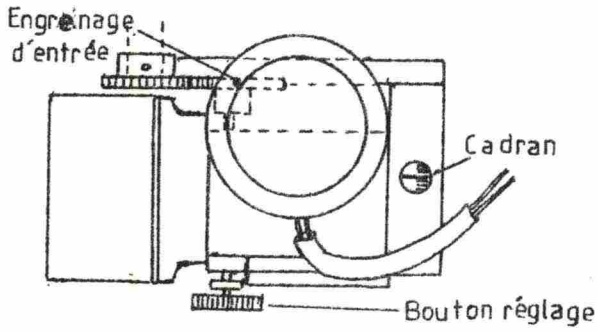

Engrenage
d'entrée
Cadran
Bouton réglage

FIG. 17

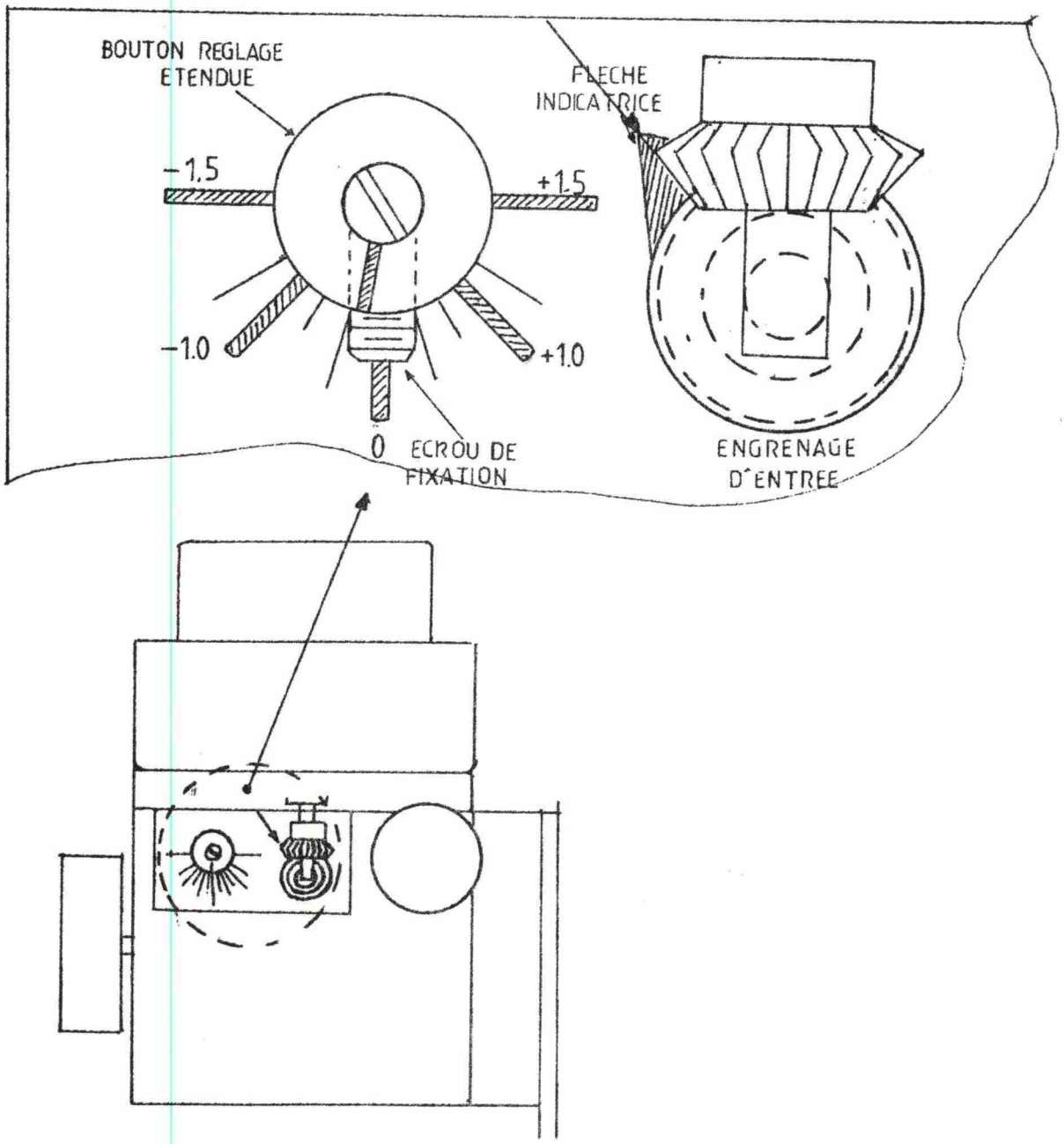

BOUTON REGLAGE
ETENDUE
FLECHE
INDICATRICE
-1.5
+1.5
-1.0
+1.0
0
ECROU DE
FIXATION
ENGRENAGE
D'ENTREE

FIG. 18

2. Avec toute alimentation coupée, placer la plume de l'enregistreur exactement à la division 100 du diagramme.

3. Aligner la flêche indicatrice de l'engrenage d'entrée (moteur synchrone "temps") avec la flêche de référence sur le boitier de l'intégrateur.

4. Régler le cadran indicateur de sortie tel que la graduation 0 est en ligne avec le trait sur la petite fenêtre ; puis tourner l'engrenage du moteur exactement de vingt rotations.

5. Observer la position du cadran indicateur de sortie. Il doit avoir tourné exactement dix rotations.

   Chaque petite division vaut 0,2 % de pleine échelle. Noter la correction exigée.

6. Remettre la plume de l'enregistreur à la position zéro et comparer la position du bouton de réglage de la portée avec la **FIGURE** 18.

7. Desserrer le petit écrou de fixation sur le bouton de réglage et tourner lentement le bouton dans la direction et la quantité de la correction exigée. Resserrer l'écrou de fixation.

8. Re-aligner le zéro de l'intégrateur comme décrit en 6.1.2. ; répéter le contrôle de l'étendue de l'échelle à 100 % jusqu'à alignement correct pour la valeur pleine échelle.

6.1.4. Linéarité

A. Généralités

La linéarité de l'intégrateur est déterminée par la précision et la relation géométrique de ces composants. Chaque intégrateur est testé à l'usine et doit être linéaire dans

± 0,1 % de pleine échelle. Après installation dans l'enregistreur on peut trouver une petite différence à cause de la tolérance du récepteur; néanmoins on devrait toujours trouver des résultats dans un domaine de ± 0,25 %.

Des alignements sur le terrain, pour améliorer les résultats de sortie, sont impossibles mais la procédure suivante permet de vérifier la linéarité.

B. Procédure de contrôle.

1. Couper l'alimentation et aligner la plume de l'enregistreur exactement au zéro de l'échelle.

2. Régler le cadran de l'indicateur de sortie tel que la graduation 0 est en ligne avec le trait sur la petite fenêtre.

3. Tourner l'engrenage du moteur de l'intégrateur exactement vingt rotations et lire le nombre de rotations sur le cadran de l'indicateur de sortie.

   Chaque petite division vaut 0,2 % de pleine échelle pour vingt rotations à l'entrée de l'intégrateur.

4. Placer successivement la plume de l'enregistreur à 10, 20, 40, 60, 80 et 100 divisions du diagramme et répéter les points 2 et 3. A la division 10, le cadran de sortie devrait indiquer une rotation, à 20 deux rotations, etc...

5. A partir des valeurs lues sur le cadran, pointer la déviation de la valeur théorique en fonction de la position de l'échelle. La déviation maximale d'une ligne droite centrale passant par les points pointés ne devrait pas dépasser ± 0,2 %.

C. Pour exemple typique voir FIGURE 19.

.../...

Position Echelle	Rotation Cadran		Déviation
	Théorique	Actuelle	%
0	0	0	0
20	2.00	2.03	+ .3
40	4.00	4.05	+ .5
60	6.00	6.08	+ .8
80	8.00	8.07	+ .7
100	10.00	10.09	+ .9

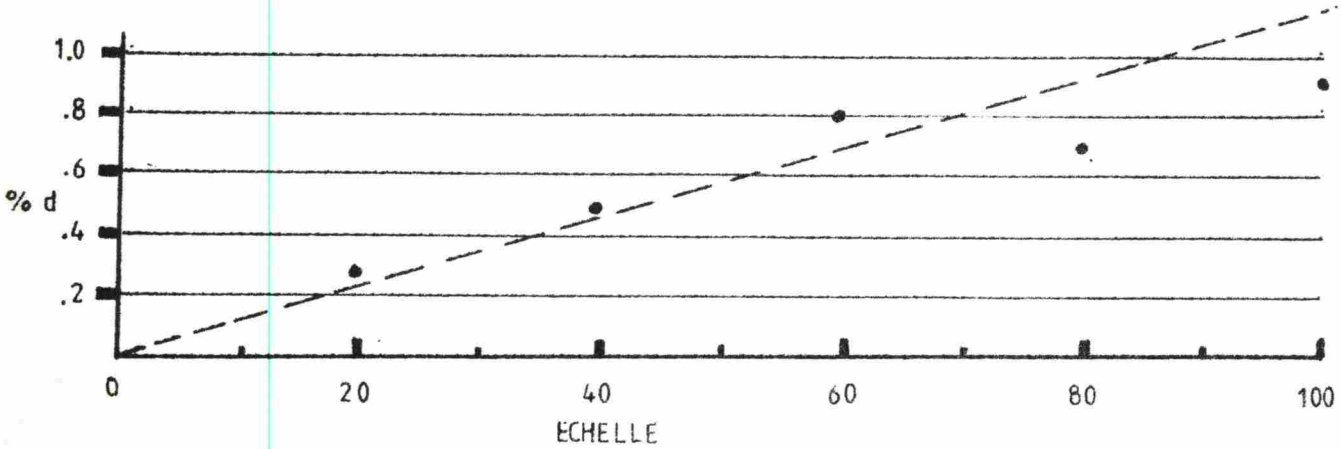


FIG. 19

7. Le compteur imprimeur SODECO - PRINT

Ce compteur imprimeur est composé : d'une minuterie, d'un relais de signal, d'un dispositif auxiliaire de commande KP 20 et de l'imprimante.

L'imprimante, elle-même, contient en plus une alimentation redressée et stabilisée, fournissant + 24 V dc.

Les FIGURES 20 et 21 montrent les schémas de câblage en bloc.

La FIGURE 20 montre le câblage dans l'enregistreur "LEEDS and NORTHRUP" avec les sorties vers l'imprimante.

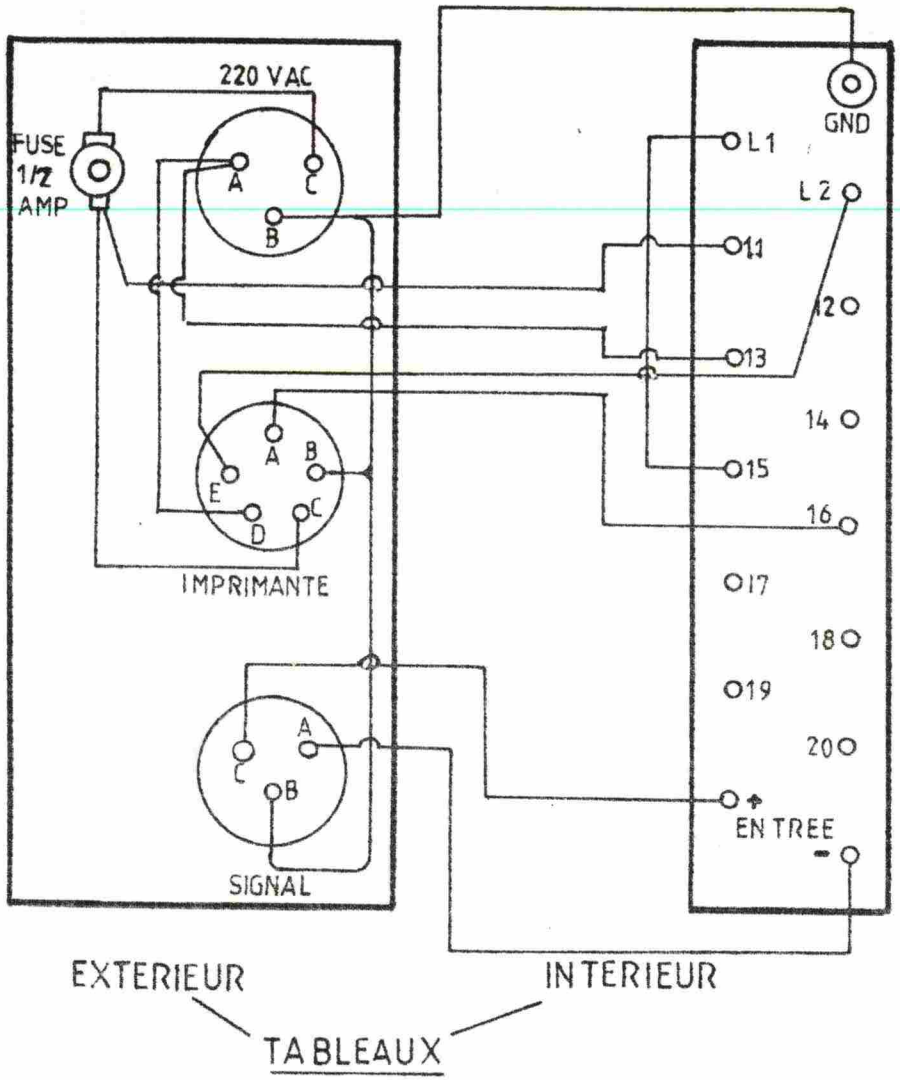
La FIGURE 21 montre les câblages principaux dans le compteur imprimeur.

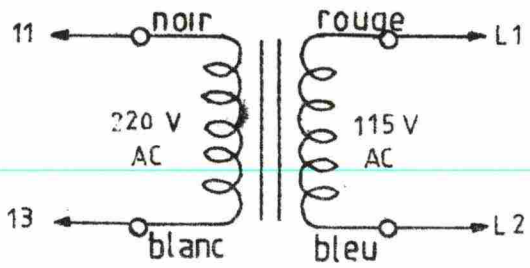
Le compteur imprimeur est alimenté à travers l'enregistreur "LEEDS and NORTHRUP", par les bornes C et D de P 1 ; par les mêmes bornes les 110 V sont également connectés aux bornes 5 et 10 de l'imprimante pour être redressée et pour fournir 24 V d.c. à l'imprimante et le dispositif auxiliaire de commande K P 20. Les 24 V sont pris aux bornes 4 et 9 de l'imprimante et entrent dans la platine K P 20 par les bornes 4 et 16.

Le moteur de la minuterie est alimenté par les 110 V et un mécanisme ferme un contact toutes les 15 minutes, une impulsion, sortant par les bornes 1 et 2 de la minuterie active K P 20 par la borne 20 de ce dernier, l'impulsion après manipulation par relais sort par la borne 8 de K P 20 et est introduite dans l'imprimante par la borne 2. Un interrupteur, monté dans le même circuit "commande d'impression" permet par la même platine K P 20 une impression intermédiaire. Cette impulsion sort par la borne 20 de K P 20 et est introduite dans l'imprimante par la borne 3.

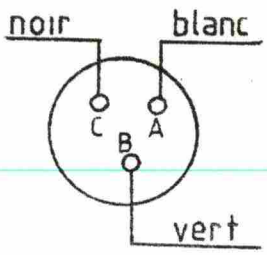
Les impulsions de l'intégrateur dans l'enregistreur sont introduites dans le compteur - imprimeur par les bornes A et B de P 1, et activent le " relais signal ". Cela envoie une impulsion à la platine K P 20 par la borne 18. Un système à relais sur la platine K P 20 envoie par la borne 8 cette impulsion à l'imprimante, borne 1.

.../...

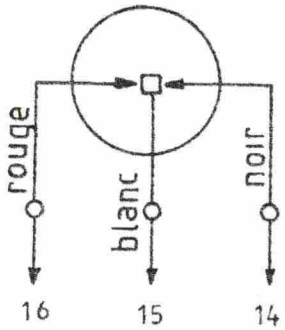




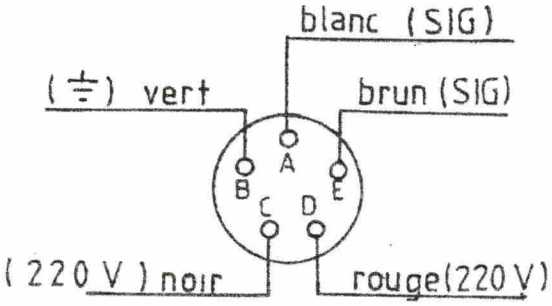
TRANSFO D'ENTREE



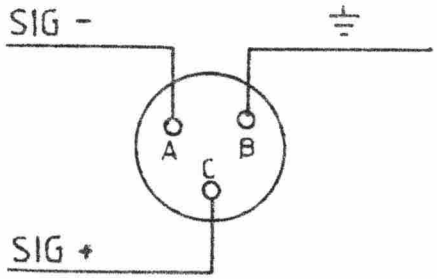
ENTREE 220 VAC



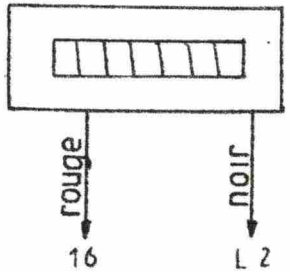
INTEGRATEUR



CABLE IMPRIMANTE



ENTREE SIGNAL



COMPTEUR

CONNECTIONS ENREGISTREUR L & N SPEEDOMAX "H"

FIG. 20

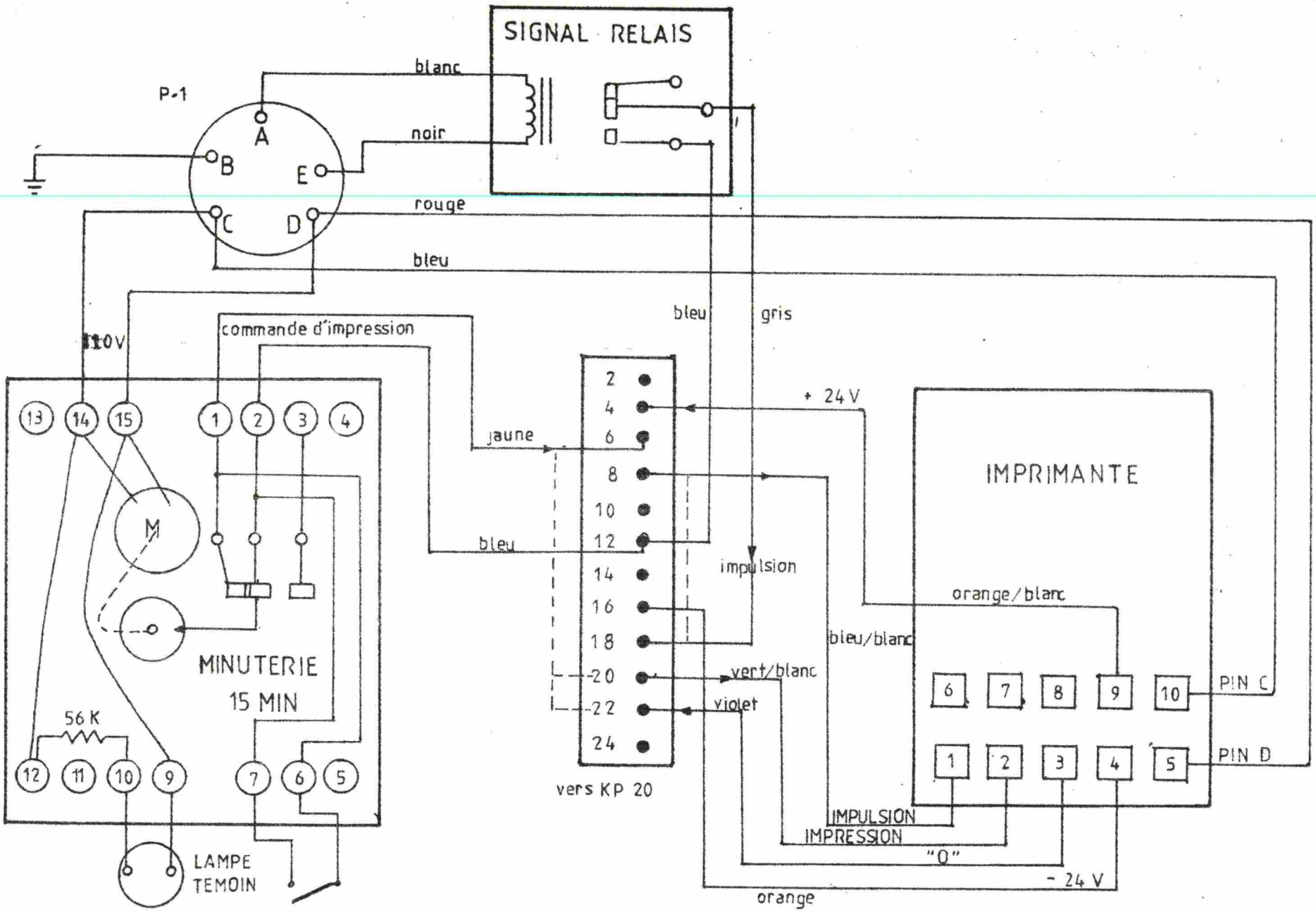


FIG. 21 IMPRIMANTE

7.1. Dispositif auxiliaire de commande K P 20 (FIGURES 22 et 23)

Le dispositif auxiliaire type K P 20 permet de réaliser automatiquement le cycle de commande suivant :

- impression
- remise à zéro
- mémorisation, puis restitution d'une impulsion survenue pendant l'impression ou la remise à zéro, permettant de compter jusqu'à 1 i/s sans perdre d'impulsions.

Principe de fonctionnement

L'impulsion de comptage est calibrée par le relais D qui tire cependant la charge du condensateur C 4 lorsque le contact d'émission (bornes 12 et 18) est fermé.

Si la fermeture du contact est trop courte, le contact d 2 assure la charge complète du condensateur. Lorsque cette dernière est atteinte, le relais D retombe ; et le condensateur se décharge dans R 4 à travers la diode D 8. L'impulsion de comptage calibrée est transmise au compteur par le contact d 1 et la borne 8.

Pour l'impulsion de temps ou pour un deuxième circuit de comptage, le relais E remplit les mêmes fonctions que le relais D.

Lorsque la commande d'impression est donnée, par un bouton - poussoir ou un contact P, le relais A tire à travers le condensateur C 1 et se maintient par a 3. Par a 2 le relais C tire à condition que les relais D et E soient au repos, donc pas d'impulsion de comptage. Par a 1, c 2 le circuit d'impression est actionné, borne 20, de même que le relais B tire. Le contact b 2 coupe le maintien de A, et b 1 commute le condensateur directement sur la source. Le condensateur C 1 se charge en maintenant A attiré. A la fin de la charge, A retombe, l'impulsion d'impression est terminée, le relais C est retardé à la chute par C 2 et R 2. Les contacts a 1, c 1 ferment le circuit de remise à zéro. A la chute de C, l'impulsion de remise à zéro est terminée. Par la diode

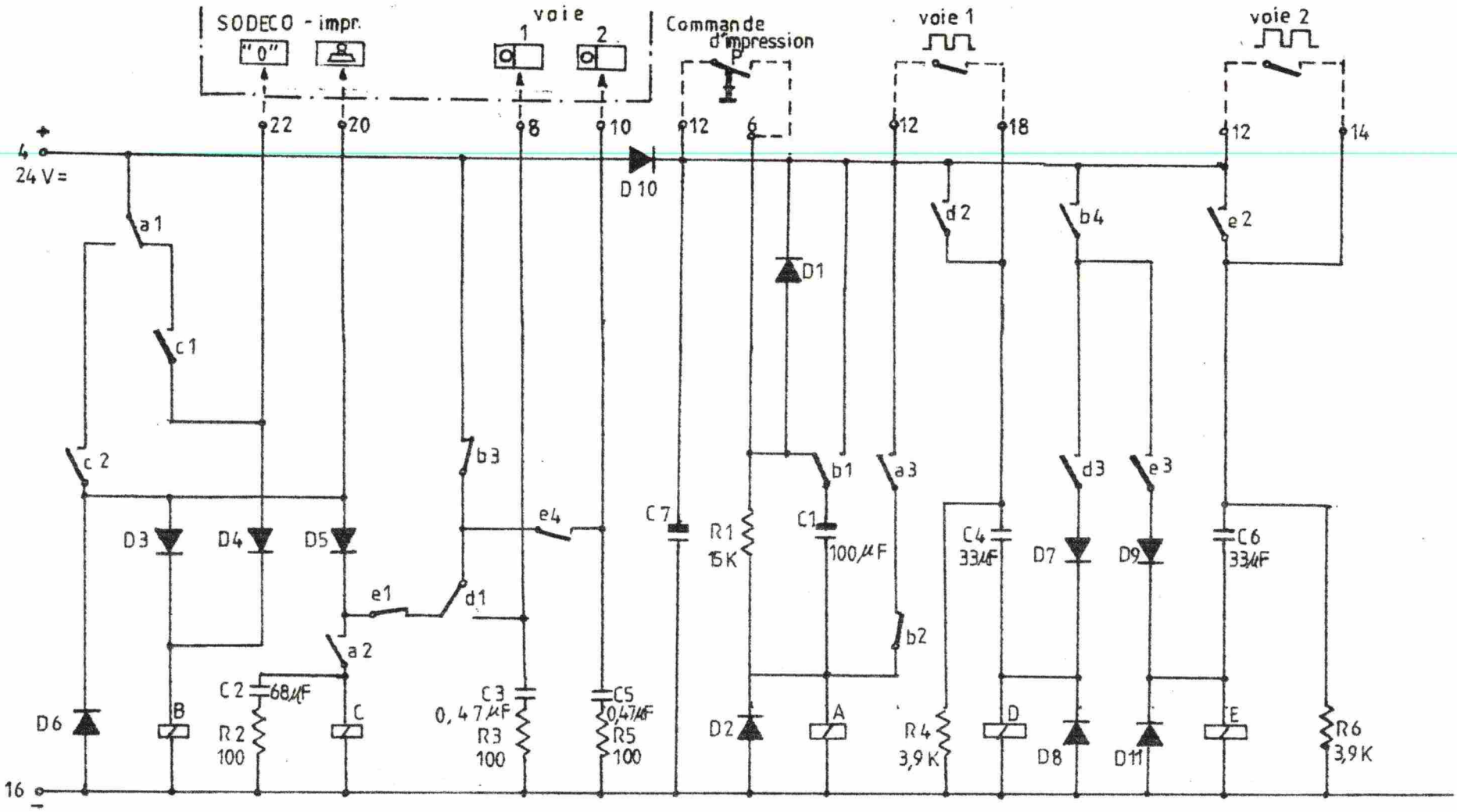


FIG.22 DISPOSITIF AUXILIAIRE DE COMMANDE KP 20

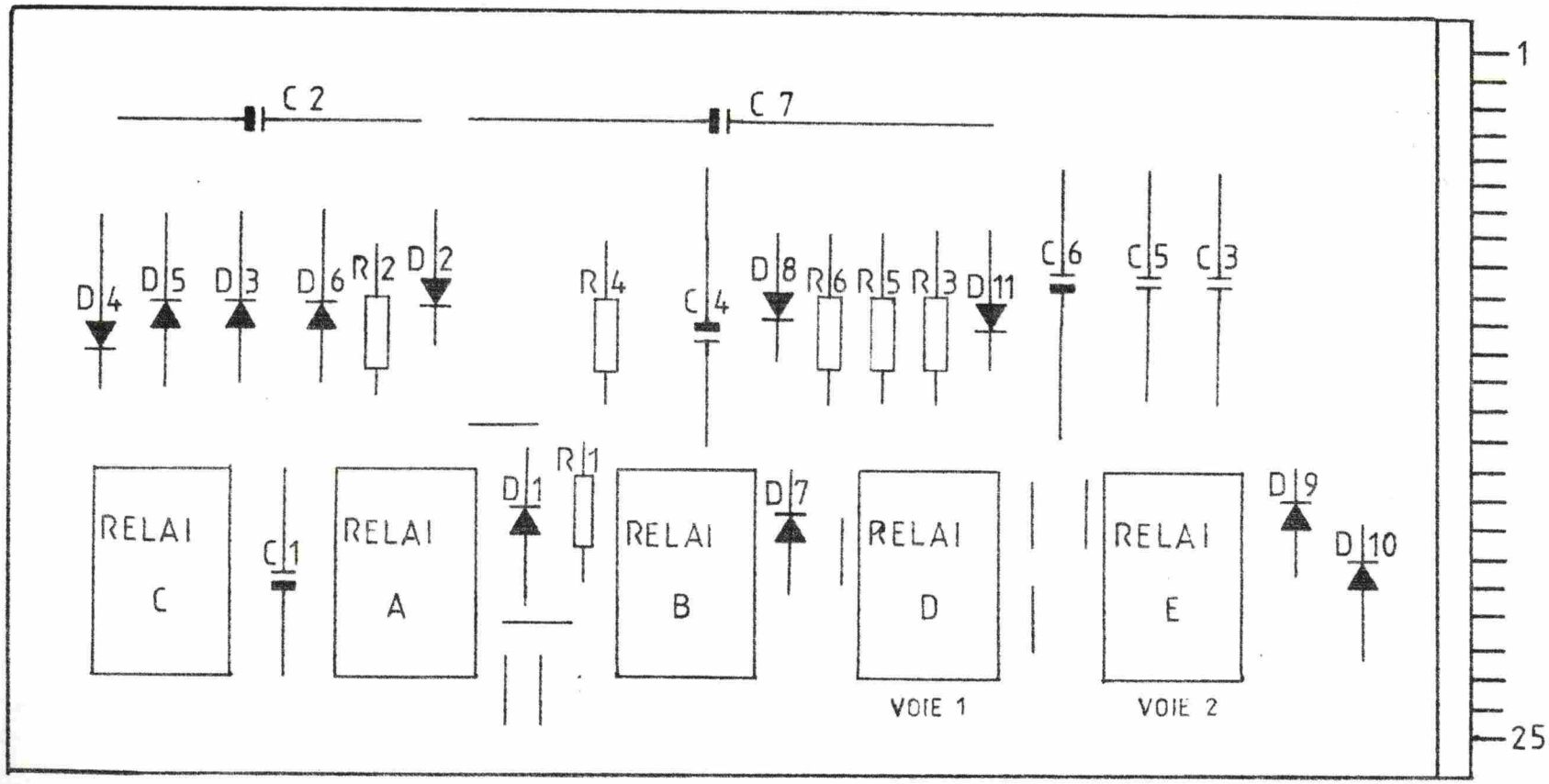


FIG. 23 KP 20 EMPLACEMENT DES COMPOSANTS

D 4 le relais B reste attiré pendant tout le cycle de remise à zéro. A la chute de B, le condensateur C 1 se décharge dans R 1.

Une impulsion de comptage arrivant pendant l'impression ou la remise à zéro fait tirer le relais D qui se maintient par b 4, d 3. Le contact b 3 étant ouvert, elle n'est pas transmise au compteur. A la chute de B, le condensateur C 4 peut se charger et l'impulsion est transmise par b 3, d 1, donc restituée.

7.2. L'imprimante SODECO PRINT

7.2.1. L'alimentation + 24 V. dc. (FIGURE 25)

Les 110 V a.c. sont introduits aux bornes 5 et 10 de l'imprimante et appliqués à la primaire du transformateur T 1., dont la secondaire fournit 27 V.a.c. au redresseur D 1, monté en pont.

Le thyristor T R 1 se comporte comme un interrupteur qu'on peut fermer pendant une brêve impulsion électrique mais qui ne peut s'ouvrir que quand la tension à ses bornes est devenue nulle. La diode D 2 empêche l'application d'une tension négative à la cathode pendant l'alternance négative du secteur.

La stabilisation de l'alimentation est assurée par Tr 1 et les diodes Zener D 3 - D 4.

Les + 24 V dc. alimentent l'imprimante par les bornes 2 et 7 du raccordement intérieur et le dispositif auxiliaire de commande KP 20 est alimenté par les bornes 4 et 9 du raccordement extérieur.

7.2.2. La partie imprimante.

Les électro-aimants sont du type à courant continu. La valeur de la tension de service est la même pour tous les électro-aimants. Les électro-aimants sont largement dimensionnés et un fonctionnement impeccable est assuré, même si la tension d'alimentation varie de ± 10 % par rapport à la valeur nominale. Par contre, il est indispensable de s'assurer que les sources de tension sont en mesure de fournir la puissance nécessaire, et que la tension mesurée aux bornes de l'appareil ne dépasse pas les tolérances prescrites pendant le fonctionnement. Il faut tenir compte que lorsque les sources de courant sont

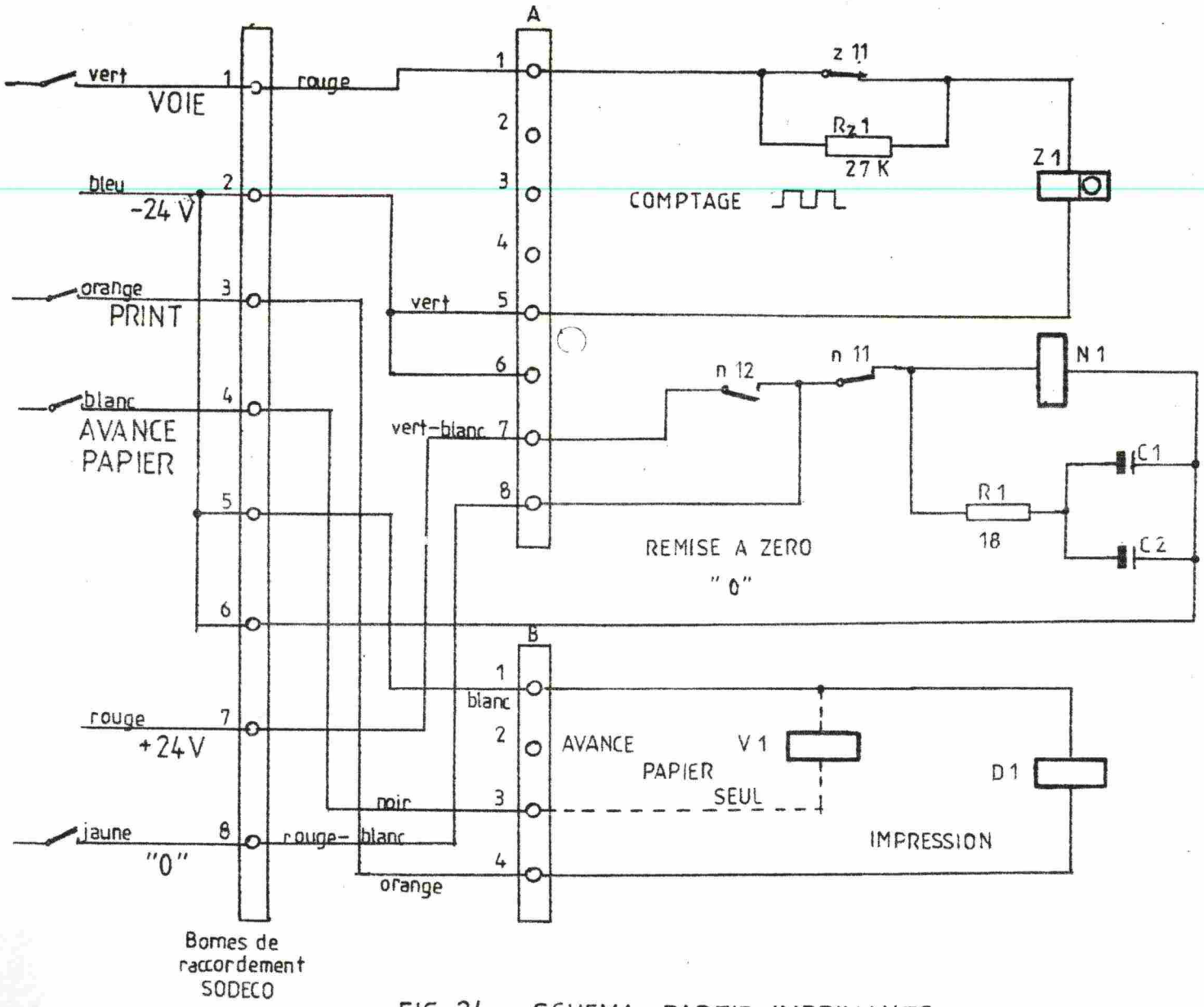


FIG. 24 SCHEMA PARTIE IMPRIMANTE

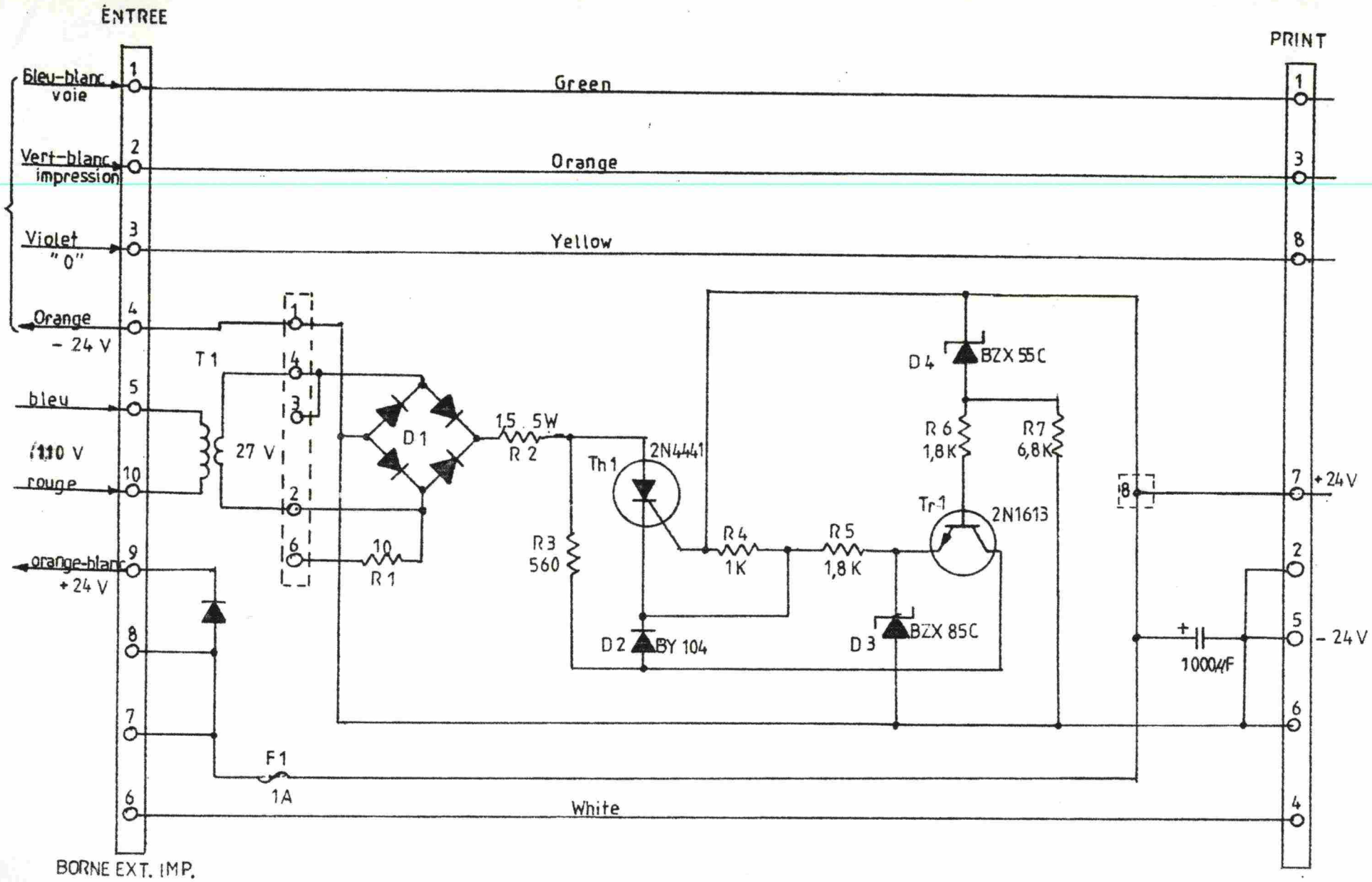


FIG. 25 ALIMENTION 24VDC

sollicitées par des impulsions, la mesure de la tension à vide ne donne qu'une information très incomplète.

Eléments de base (FIGURE 24)

Les compteurs d'impulsions " SODECO - PRINT " sont constitués par l'assemblage d'éléments de base différents.

1. Impression

L'impression s'obtient au moyen d'un marteau d'impression frappant la face inférieure de la bande de papier. Le mécanisme d'impression est actionné par un électro-aimant D 1, qui lance le marteau caoutchouté. Pour permettre une impression rapide et indépendante de la longueur de l'impulsion, le marteau est lancé par l'armature de l'électro-aimant pendant l'excitation de l'aimant, il frappe la bande de papier et revient ensuite à une position intermédiaire pendant le reste de la durée de l'impulsion.

Pour obtenir une impression de qualité, il faut que les tambours soient immobiles pendant la frappe du marteau. Il est donc conseillé d'interrompre l'arrivée d'impulsions de comptage au début du cycle d'impression. Le comptage peut être rétabli à la fin de l'impulsion d'impression.

Au moment de la chute du marteau d'impression, la bande est automatiquement avancée d'un pas et le ruban encreur qui est du type " sans fin " se déplace également. L'impression est visible après 8 pas.

L'alimentation du circuit arrive par les bornes 3 et 5 et est connectée au raccordement B, bornes 1 et 4.

Pour éviter un échauffement excessif de l'enroulement, choisir des impulsions de courte durée (150 ms.). En tout cas, la pause doit être de durée au moins égale à celle de l'enclenchement qui ne doit pas dépasser 5 sec.

2. Elément de base type 3 (FIGURE 24)

L'élément type 3 comprend un mécanisme de comptage avec une minuterie décimale à 6 tambours, un mécanisme de remise à zéro et un mécanisme d'impression (ce dernier est décrit sous 1 de ce chapitre).

a. Comptage

L'électro-aimant de comptage Z est actionné par des impulsions de préférence rectangulaires. L'avance simultanée des minuteries de lecture et d'impression se fait à l'attraction au moyen d'un dispositif à cliquet. Au passage de 9 à 0 de chaque tambour, le tambour de rang supérieur avance d'une unité.

L'alimentation est fournie par les bornes 1 et 2 à l'entrée de l'imprimante qui alimentent le raccordement A aux bornes 1 et 5.

Pour réduire la puissance absorbée, une résistance R_z correspondant à un peu plus de la moitié de la résistance ohmique de l'enroulement de Z 1, est branchée en série. A l'attraction, le contact z 11 s'ouvre, mettant alors R_z en circuit.

b. Remise à zéro

La remise à zéro se fait simultanément pour tous les tambours du même élément au moyen de l'électro-aimant N 1. La remise à zéro s'enclenche en fermant le contact de commande.

L'électro-aimant N 1 tire et ouvre en fin de course le contact autorupteur n 11. L'électro-aimant n'est plus excité, sa chute est retardée par le circuit R 1 et C 1, C 2.

Au moment, où le contact n 11 se referme, l'électro-aimant est de nouveau excité. Il en résulte un entraînement automatique de 10 pas, remettant tous les tambours à zéro. Lorsque ce but est atteint, un autre contact n 12 met fin au cycle de remise à zéro et le mécanisme s'arrête de lui-même.

-=-=-=-=-=-