

UNIVERSITE DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES D'ALGER

ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE

25/82

200

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
ET D'ELECTROTECHNIQUE

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE
PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE ET REALISATION D'UN DETECTEUR DE TRACES
DE CHLORURE DE SODIUM DANS L'EAU



Proposé par :
IVAN IVANOV - L
Docteur - Ingénieur

Etudié par
R. DRICI
M. S. R. MELBOUCI

Janvier 1982

- DEDICACES -

A mes parents qui m'ont aidé et soutenu tout le le long
de ma scolarité .

A mon frère aîné Yahia qui a été un second père pour moi.

A mes autres frères et soeur.

A mes belles soeurs

A mes neveux et nieces

A toute la famille MELBOUCI

A toute la famille LEFKI en particulier ami El hadj

A mes amis et collegues : Rachid, DJAMO,WARDA,HAFIDA,

HINA, Valentina(m^{me} IVANOV)

BENYOUCEF, ANETTA,NADO SORAYA,YASMINE,TAYEB,HAMID,

LAYACHI,MOH. AUX BORDJIENNES

M^d Saïd - Rachid -

- DEDICACES -

- A la mémoire de mon père .
- A ma mère, mon frère et ma soeur.
- A mon épouse et mes enfants Fanny, Rafik et Karim.
- A toutes les familles proches et alliées .
- A toutes les personnes que j'estime .

Rachid

Citation :

- Aide ton prochain en lui offrant
non pas un poisson
mais un hameçon.

Mao - Tsé - Toung

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement monsieur IVAN IVANOV LAZAROV docteur ingénieur, professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique de nous avoir aidés et guidés dans notre travail qu'il soit assuré de notre reconnaissance et de notre fidèle amitié .

Nous remercions également tous les professeurs et assistans qui ont contribué à notre formation .

Nos remerciements vont de même à monsieur BERERHI, directeur général de l'ENEMA; à monsieur KHELIL, directeur général adjoint; à monsieur SAAD, chef de l'UTM; monsieur SEMACHE chef du DTR; ainsi qu'à toutes les personnes de l'établissement qui ont bien voulu nous aider .

Que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet en soient remerciées .

S O M M A I R E .

	PAGE
- Introduction	
- Chapitre I. methodes et appareils relatifs aux mesures de salinité	
I.1 Introduction	1
I.2. Schéma synoptique d'un appareil mesurant l'électro-conductivité d'une solution	1
I.3. sensibilité et précision d'un appareil mesurant la conductivité	2
I.4. Etude des différentes méthodes de mesures de la conductivité	3
I.5. Conductivité d'une solution	6
I.6. les électrodes	7
I.7. Les indicateurs	8
I.8. Etude de quelques appareils basés sur les méthodes étudiés	9
- Chapitre II Choix de la méthode -schéma de l'appareil-	
II.1 Choix de la méthode	19
II.2 schéma synoptique de l'appareil-principe de fonctionnement	20
II.3. schéma de principe-principe de fonctionnement du bloc d'alimentation et du bloc de mesure	23
- Chapitre III Etude de la Realisation (Choix et calculs des éléments)	
III.1. le capteur	26
III.2. Compensation thermique du capteur	27
III.3. Bloc d'alimentation	29
III.4. transformateur de secteur	36
III.5. bloc de mesure	38

.../...

- Chapitre IV. Réalisation	43
- Chapitre V expériences .	
V.1. Introduction	44
V.2. matériel utilisé	44
V.3. Recherche de l'erreur principale de l'appareil.....	44
V.4. Recherche de l'erreur produite par la variation - de la tension de secteur	45
V.5. Recherche de l'erreur due à la variation de la - température de la solution	45
V.6. Recherche de l'erreur due à la variation de la - température ambiante	46
V.7. Conclusion	47
- VI Conclusions .	48

ANNEXE :

- Bloc d'alimentation .
- Bloc de mesure .
- Transformateur d'alimentation .
- Transformateur à ferrite .
- Capteur
- Chassis-montage
- Schéma de montage

I N T R O D U C T I O N .

Le but que nous nous sommes assignés dans notre travail est essentiellement axé sur l'étude d'un appareil mesurant de faibles concentrations de sel dans l'eau .

Ce travail comporte trois parties.

- une partie theorique et pratique
- une partie experimentale
- une partie annexe

La partie théorique et pratique nous permettra de présenter les caracteristiques de l'appareil et de broser les differentes étapes de la réalisation.

La partie experimentale nous permettra de tester et de juger l'appareil.

La partie annexe aidera à une éventuelle construction de l'appareil.

Notre realisation se prête à plusieurs utilisations notamment dans l'industrie chimique, les industries legère et lourde, les circuits de refroidissement et autres domaines où le dépassement d'une certaine concentration en sel de l'eau utilisée peut être préjudiciable pour les installations ou modifier les qualités et propriétés du produit fabriqué .

C H A P I T R E I

METHODES . ET. APPAREILS RELATIFS

AUX . MESURES . DE . SALINITE .

But.de. L'étude

I . 1. Introduction.

Le but du présent chapitre est d'étudier les différentes méthodes et appareils relatifs aux mesures de salinité de l'eau; ceci nous conduit à étudier le synoptique de ces appareils basé sur le principe de l'électroconductivité .

I . 2 Schéma Synoptique d'un appareil mesurant l'électroconductivité d'une solution .

Ce schéma est représenté sur la figure 1 .

Il existe cinq(5) éléments de base :

- le capteur
- l'étalon
- Le circuit de comparaison
- L'indicateur
- la source de tension .

a) Le capteur

Le capteur est une cellule électrolytique contenant la solution dont les paramètres sont à mesurer .

La forme et les dimensions du capteur sont fonctions du type de la solution, de sa conductivité et de la méthode utilisée .

b) L'étalon

L'étalon doit avoir une valeur de conductivité fixe et stable qui nous permet de lui comparer les valeurs données par le capteur.

Du choix de l'étalon dépend la précision de la mesure; pour avoir une mesure rigoureuse on utilise un étalon comportant une résistance de grande précision, pour une mesure qui l'est moins, on utilise un étalon qui est lui même une cellule électrolytique possédant des paramètres constants.

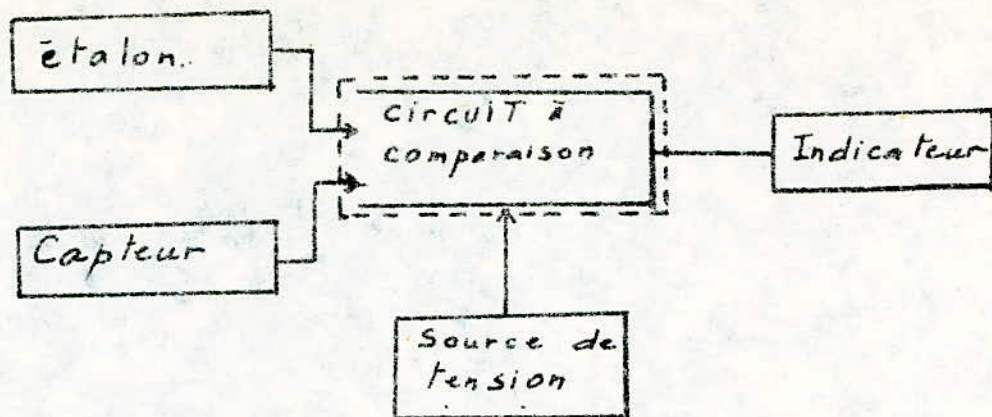


fig 1

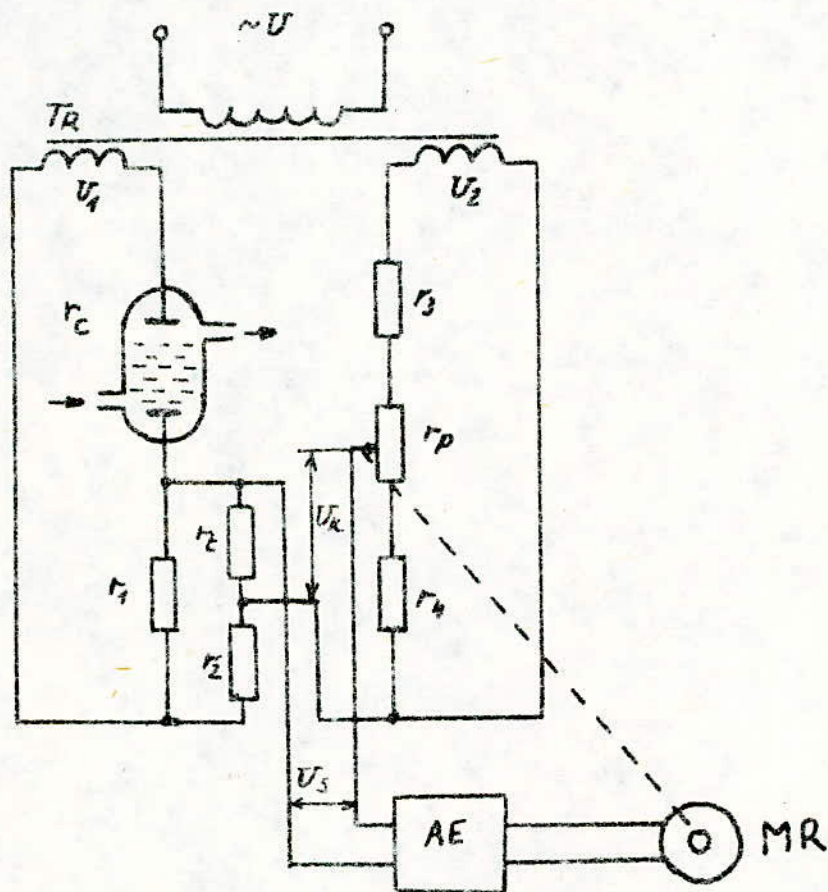


fig 2

c) Le circuit de comparaison .

Le circuit de comparaison est un circuit électronique permettant de comparer les paramètres du capteur aux paramètres de l'étalon .

Pour des mesures précises on utilise des circuits de comparaison tels que les ponts, les circuits de compensation, les comparateurs .

Le circuit de comparaison doit avoir une précision supérieure ou au moins égale à celle de l'étalon.

Pour réaliser cette condition, il faudrait que le circuit de comparaison ait une sensibilité aussi grande que possible .

d) L'indicateur .

L'indicateur est branché à la sortie du circuit de comparaison.

Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés comme par exemple des milliampèremètres, des galvanomètres, oscillographes, voltmètres à affichage numérique,.....

Les appareils analogiques utilisés peuvent être gradués directement en valeurs des paramètres mesurés .

e) La source de tension de l'alimentation

La source de tension alimente le circuit de comparaison ainsi que tous les autres blocs de l'appareil .

Elle peut être source de courant alternatif ou de courant continu

Dans le premier cas on utilise un générateur électronique qui produit une tension alternative de fréquence et d'amplitude très stables.

Dans le deuxième cas ,on peut utiliser une alimentation stabilisée on une batterie .

I . 3 . Sensibilité et précision d'un appareil mesurant la conductivité .

La sensibilité et la précision sont des caractéristiques métrologiques très importantes pour ce genre d'appareil.

La sensibilité (1) est le rapport de la déviation de l'indicateur à la variation du paramètre mesuré .

La sensibilité peut être donnée par la formule .

$$S_T = \frac{d\alpha}{dA} \quad (1).$$

$d\alpha$ étant la déviation de l'indicateur

A étant la variation du paramètre mesuré .

La sensibilité de notre appareil reposant sur la sensibilité de deux principaux circuits (circuit de comparaison de sensibilité S_c et l'indicateur de sensibilité S_I), sera donnée par

$$S_T = S_c \cdot S_I \quad (2) .$$

La précision de l'appareil peut être déterminée par la considération des erreurs suivantes :

- Erreur d'étalon
- Erreur du capteur (polarisation, impédance parasite)
- Erreur interblocs (mutuelles inductances, capacité parasite)
- Erreur due à la sensibilité du circuit de comparaison et de l'indicateur .
- Erreur due aux variations de fréquence et d'amplitude de la tension d'alimentation.
- Erreur due aux champs électromagnétiques extérieurs
- Erreur due aux variations de température de la solution .

I. 4. Etude des différentes méthodes de mesures de la conductivité

Il existe deux principaux types de mesure de la conductivité l'un basé sur la modulation en amplitude et se rapportant essentiellement aux appareils analogiques, l'autre basé sur la modulation de fréquence .

Notons que la méthode basée sur la modulation d'amplitude est la plus utilisée et la plus ancienne .

La méthode basée sur la modulation de fréquence est récente et ne date que d'une décennie environ car elle a suivi l'évolution des appareils à affichage numérique . Ceci s'explique par la facilité de conversion des signaux modulés en fréquence en signaux digitaux.

Ces deux méthodes peuvent utiliser deux sortes de capteurs, avec ou sans contact direct entre leurs éléments actifs et la solution, c'est pourquoi on les appelle méthodes avec contact et méthode sans contact.

La méthode avec contact permet une mesure précise mais il faut tenir compte dans ce cas de l'erreur de polarisation due aux électrodes.

La méthode avec contact basée sur la modulation d'amplitude se subdivise en deux autres méthodes; l'une utilisant un courant alternatif de basse fréquence (appelée méthode basse fréquence) l'autre utilisant un courant continu variant avec les paramètres mesurés .

La méthode de basse fréquence est la plus répandue, on utilise ici différents ponts ou circuits de compensation. Cette méthode permet d'avoir une grande précision et de lire directement la valeur du paramètre mesuré mais après une compensation manuelle quelquefois délicate à obtenir bien qu'il ne s'agisse que d'une quantité de solution prélevée et non d'un débit. cette dernière n'existe pas lorsqu'il s'agit d'une compensation automatique.

Par la méthode de courant continu, la compensation peut être obtenue plus aisément à partir de circuits plus simples mais l'erreur de polarisation est ici plus grande d'où précision moins bonne; pour remédier à cela il faut utiliser un capteur plus élaboré.

En ce qui concerne la méthode avec contact basée sur la modulation de fréquence, ne sont utilisés généralement que les différents oscillateurs R.C. afin d'avoir des courants très faibles qui n'engendrent pas le phénomène de polarisation au niveau des électrodes .

Un tel oscillateur peut être réalisé avec un oscillateur à pont de Wien dans lequel nous remplacerons l'une des résistances par la cellule électrolytique dont la résistance est variable avec la conductivité de la solution entraînant en sortie une modulation de fréquence.

Cependant cette méthode présente l'inconvénient d'avoir une fonction de transfert non linéaire .

Pour éliminer le phénomène de polarisation, nous pouvons utiliser les méthodes sans contact dans lesquelles les électrodes restent neutres . Toutefois ici, les mesures ne sont données que relativement aux valeurs initiales des éléments actifs jouant le rôle d'électrodes car une cellule capacitive ou inductive possède toujours une valeur initiale C_0 ou L_0 , d'où la nécessité d'avoir un circuit correcteur ou de compensation .

La méthode sans contact basée sur la modulation d'amplitude se subdivise à son tour en deux méthodes, l'une basée sur la modulation en amplitude en basse fréquence, l'autre sur la modulation en amplitude en haute fréquence.

Dans le premier cas, on utilise des ponts avec transformateur tels que le pont différentiel, le pont de Schering,....

Dans le deuxième cas, on utilise aussi des ponts mais travaillant en haute fréquence tels que les ponts en T et en double T alimentés naturellement par des générateurs de hautes fréquences. On utilise de même des Q-mètres où dans le cas d'une cellule capacitive, nous devons ajouter une self et inversement dans le cas d'une cellule inductive ajouter une capacité pour obtenir le circuit résonant qui donnera les différentes valeurs du coefficient Q qui correspondront aux différentes valeurs de conductivité de la solution étudiée .

La méthode sans contact basée sur la modulation de fréquence utilise généralement des oscillateurs L.C ou C(ou L) et la cellule électrolytique .Dans ce cas la modulation de fréquence est fonction de la capacité(ou de la self). et des variations des pertes .

I.5 Conductivité d'une solution.

La conductivité d'une solution est la propriété de celle ci de se laisser traverser par un courant électrique.

Notons que la conductivité de la solution varie essentiellement avec sa concentration en ions et avec sa température .

Dans le cas d'électrodes de forme plate, nous avons un courant de conduction entre celles ci traversant le volume de solution de resistance

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{s}$$

l = longueur des électrodes (en cm)

s = surface du plan horizontal separant les électrodes (en cm^2)

R = Resistance (en ~~ohms~~).

$\frac{1}{\sigma}$ = Résistivité (en $\Omega \cdot \text{cm}$)

Pour le cas des solutions on utilise σ qui est la conductivité exprimée en $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ ou en Siemens par cm (S/cm)

Le coefficient $\frac{l}{s}$ s'appelle la capacité résistive de l'électrode ou paramètre de l'électrode .

Pour determiner les paramètres d'électrodes on utilise les solutions suivantes :

Na cl concentre de $\sigma = 0,2161 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ à 18°c

ou K cl.concentre de $\sigma = 9,824 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ à 18°c .

Si nous n'avons pas de solution concentrée et que nous disposons seulement par exemple d'une solution de Kcl de concentration $\frac{1}{20}$ avec $\sigma = 1,891 \cdot 10^{-3}$ à 18°c il faut tenir compte de la

conductivité de l'eau distillée contenue dans la solution qui est de l'ordre de $0,5 \text{ à } 2 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$.

La capacité résistive de l'électrode peut être déterminée en comparant la capacité résistive connue d'une cellule à celle de la cellule comportant l'électrode étudiée, ces deux cellules contenant la même solution .

Nous savons que lorsque la température croît, la conductivité de l'électrolyte augmente rapidement .

Le coefficient de température n'est pas fixe il est élevé pour les basses températures et faibles pour les hautes températures donc inversement proportionnel à celle ci

exemple : $\theta = 2,5\% / ^\circ\text{c}$ à 18°c

$$\theta = 0,8\% / ^\circ\text{c} \quad \text{à } 100^\circ\text{c}$$

Nous pouvons avoir une précision suffisante en prenant une valeur moyenne du coefficient de température lorsque cette température varie dans une plage réduite .

La conductivité d'une solution dépend du sel qui y est dissout si une solution contient plusieurs solutions, la conductivité totale de cette dernière est la somme des conductivités prise une à une de chaque solution parcequ'il existe une fonction linéaire entre la conductivité et la concentration d'une solution, ceci n'est valable que pour une concentration n'excédant pas 100mg/l.

Pour une concentration plus importante, nous pouvons toujours approximer en se basant sur la linéarité pour utiliser les mêmes méthodes de mesure.

1.6 Les électrodes.

Les matériaux utilisés sont l'acier, le carbone et le platine

Lorsque les concentrations sont faibles, on utilise l'acier.

Pour avoir une bonne précision, les électrodes ne doivent pas être très éloignées l'une de l'autre .

La capacité résistive des électrodes en acier est :

$$C = 0,058 \text{ cm}^{-1} .$$

Lorsque la concentration est plus grande, la capacité résistive de l'électrode est aussi plus grande .

exemple : Concentration 500mg/l $C = 5,8 \text{ cm}^{-1}$.

Notons que la capacité résistive de la solution doit être toujours plus grande que celle de l'électrode .

Aussi, la capacité résistive de la solution est fonction linéaire de la température .

Pour réaliser la compensation thermique, il faut connaître la température de la solution. Ceci est possible à l'aide de thermistances ou de thermomètres résistifs alimentés par un courant alternatif .

L'utilisation du courant continu ne se prête pas ici suite à l'effet de polarisation .

Les électrodes en carbone sont peu utilisées^{es} vu leur fragilité cependant elles sont assez courantes dans les appareils de laboratoires .

Il est de même pour les électrodes en platine qui ne sont utilisées que dans les appareils de grande précision ou appareils étalons et ceci est dû à leur prix élevé .

Les électrodes les plus courantes sont celles qui sont en acier platiné .

I.7 Les indicateurs

Sont utilisés les appareils à aiguilles comme microampèremètres ou milliampèremètres gradués directement en concentration de la solution étudiée .

Sont utilisés aussi les appareils enregistreurs si l'exploitation nécessite une connaissance dans le temps de cette concentration .

Notons que dans un but d'étude, un convertisseur analogique numérique est souhaitable pour la transmission des données à un ordinateur qui peut être utilisé aussi pour la commande des différents process d'une production .

I.8 Etude de quelques appareils basés sur les méthodes étudiées.

I.8.1) Appareil pourvu d'un compensateur à courant continu

Le schéma de cet appareil est représenté sur la figure 2

r_c étant la résistance du capteur

r_t la résistance de la thermistance.

r_p la résistance du potentiomètre .

r_1, r_2, r_3, r_4 les résistances du schéma de mesure.

AE : l'amplificateur électronique .

MR : le moteur réversible .

T_R : le transformateur .

cet appareil est utilisé pour mesurer les faibles concentrations car dans ce cas il existe une fonction linéaire entre la conductivité et la concentration.

Neanmoins il peut être utilisé pour connaître une forte concentration se trouvant dans une plage limitée .

Le capteur de cet appareil possède deux électrodes .

La tension de sortie U_s est compensée par une tension U_K obtenue à l'aide du potentiomètre r_p .

Les résistances r_1 et r_2 sont utilisées pour graduer l'appareil .

Notons que la précision de cet appareil est limitée à cause de l'effet de polarisation des électrodes provenant de l'utilisation du courant continu .

Cependant, vu sa simplicité et son moindre coût de revient, il apparaît comme étant un bon appareil de mesures de concentrations relatives .

I.8.2. Appareil de mesure délivrant un courant continu en sortie

A La sortie de cet appareil (figure 3), on obtient un signal de courant continu fonction de la concentration de la solution étudiée. Ici, est utilisé un amplificateur à grande contre-réaction en courant qui stabilise le gain .

Les résistances r_3 et r_4 servent à fixer la valeur minimale indiquée sur le cadran qui correspond à une concentration minimale.

La difficulté dans cet appareil réside en l'obtention d'une grande stabilité de la tension alimentant le capteur .

La graduation du cadran n'est pas linéaire, pour obtenir la linéarité, il faut utiliser des capteurs à quatre (4) électrodes.

I.8.3 Appareil de mesure, dont le capteur a quatre (4) électrodes.

Le schema de l'appareil est représenté sur la figure 4 .

On remarque que ce schema est basé sur la méthode de compensation en courant alternatif .

$$\text{Si } \frac{r_2 r_t}{r_2 + r_t} \ll r_1 \text{ et } r_g \ll r_3 \gg r_p + r_4 + r_5$$

Alors la condition d'équilibre est donnée par

$$\frac{U_1 r_2 r_t}{r_1 (r_2 + r_t)} = \frac{U_2 (r_3 + \Delta r_p) r_c}{(r_4 + r_5 + r_p) r_g}$$

$$\Delta r_p = K \cdot \frac{r_t}{r_2 + r_t} \cdot r_g - r_3 \quad ; \quad r_g = \frac{1}{r_c}$$

$$K = \frac{U_1 r_3 r_2 (r_4 + r_5 + r_p)}{U_2 r_1}$$

On choisit la resistance r_2 pour réaliser la condition de thermocompensation pour laquelle la graduation relative à la conductivité est linéaire .

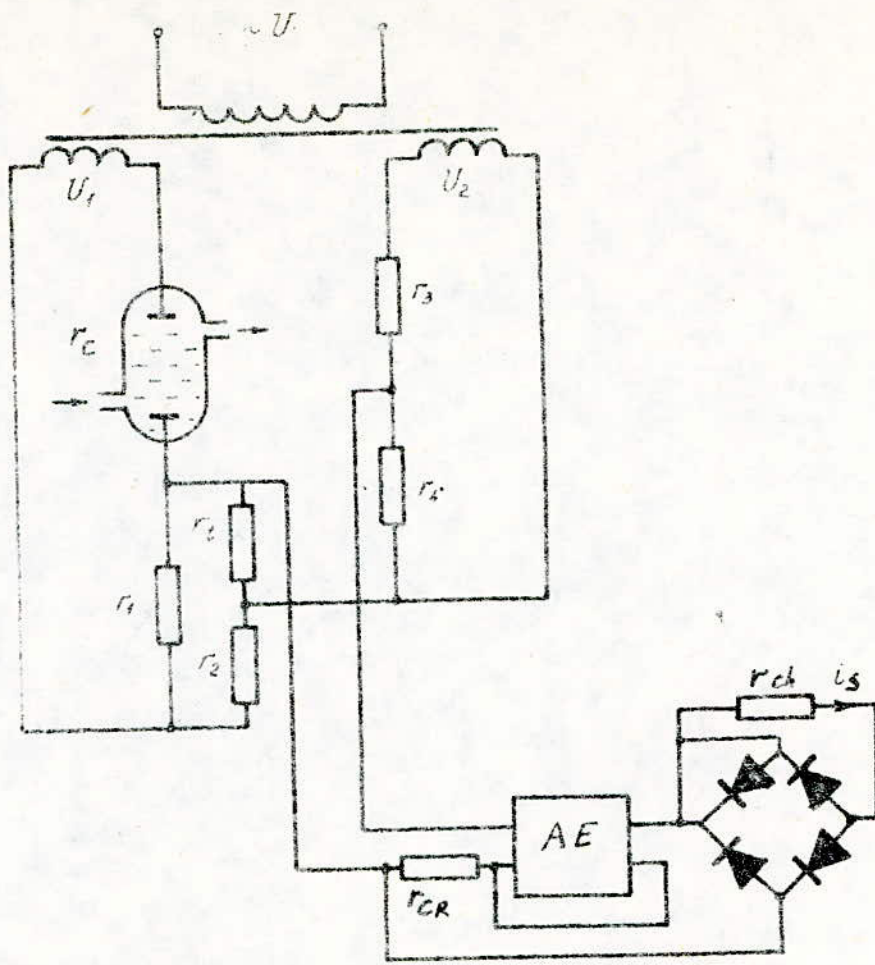
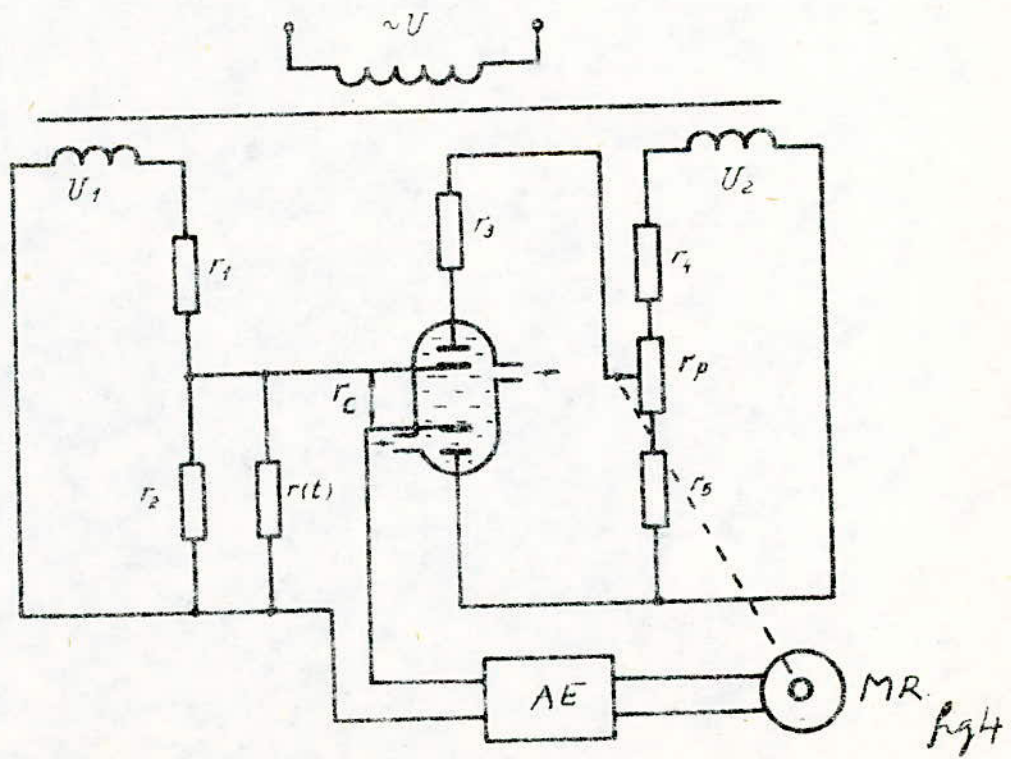


fig 3



La résistance r_5 sert à fixer la valeur minimale indiquée sur le cadran qui correspond à une concentration minimale .

Notons que pour ces deux ~~derniers~~ appareils, la précision obtenue n'est pas très élevée et que la mesure n'est pas automatique mais manuelle.

I.8.4 Appareil de mesure type P M S. 3 . (de fabrication polonaise)

Le schéma de cet appareil est représenté sur la figure 5.

Cet appareil mesure la concentration en sel de l'eau de mer préalablement déssalée, transformée en vapeur et servant à faire tourner entre autres les turbines de certains bateaux .

On mesure avec ce dernier l'électroconductivité de l'eau à l'aide d'un capteur .

L'alimentation se fait par une batterie ou par la tension secteur 110 V ou 220 V redressée .

L'indication de la concentration en sel de l'eau est ici linéaire et est donnée par un appareil de mesure analogique .

Le capteur possède 2 électrodes cylindriques distantes de 13 mm l'une de l'autre .

La valeur du courant traversant le capteur est proportionnelle à la conductivité de la solution étudiée .

Ce même courant est redressé par un pont de Graetz et injecté à l'indicateur .

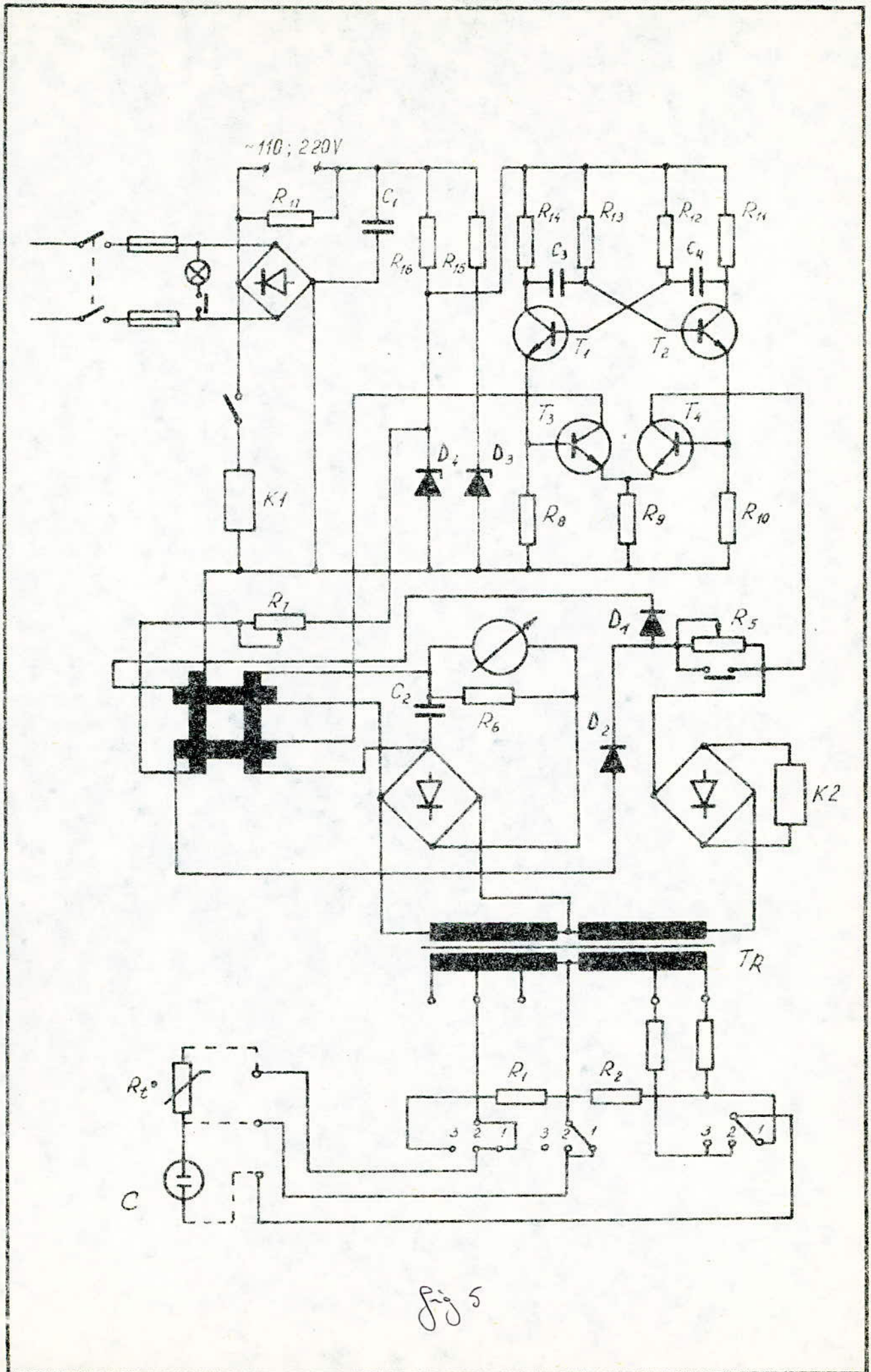
Cet appareil travaille en ohmètre en serie .

La tension d'alimentation du capteur est rectangulaire et de fréquence 600 HZ obtenue à l'aide de multivibrateurs réalisés à l'aide de transistors SF - 519; cet appareil est pourvu d'un système d'alarme réalisé à l'aide de 2 relais .

Caracteristiques de l'appareil

- Calibre : 0- 60 mg/l.

0- 120mg/l.



- Niveau d'alarme : 30mg/l
- plage de compensation thermique : 20°C à 70° C.
- Erreur de mesure : inférieure à $\pm 7\%$.
- Erreur de compensation thermique inférieure à $\pm 8\%$
- Erreur totale : $\pm 15\%$
- Erreur du niveau d'alarme : inférieure $\pm 8\%$

I.8.5 . Appareil de mesure type SL.20 .(fabrication danoise)

Cet appareil mesure la salinité d'eau douce obtenue par distillation de l'eau de mer .

- Alimentation : 110-115-127 et 220V · 50HZ - 60 HZ.

ou tension continue de 11V à 240V(en fonction des types de systèmes d'alarme et de vannes automatiques utilisés.

- Calibres : 0- 20mg/l
0- 200mg/l.

- plage de compensation thermique(automatique) : 20°C à 100°C.

Le schéma de principe de cet appareil est représenté sur la figure 6 .

Les différentes tensions alternatives attaquent un diviseur de tension résistif pour obtenir la tension d'alimentation de l'appareil qui sera redressée et filtrée(48V); cette tension attaque un convertisseur tension continu - tension alternative à deux sorties. La tension délivrée par la première sortie est redressée (10V) et alimente le bloc de mesure .

La tension délivrée par la deuxième sortie (tension rectangulaire de 700HZ). est injectée par l'intermédiaire d'un transformateur de courant au capteur .

Un commutateur sert à sélectionner les deux calibres .

Le courant donnant les valeurs de l'indicateur est proportionnel au courant traversant les électrodes(linéarité).

Le niveau d'alarme est fixé à l'aide d'un trigger de Schmitt et de deux relais K_1 et K_2 .

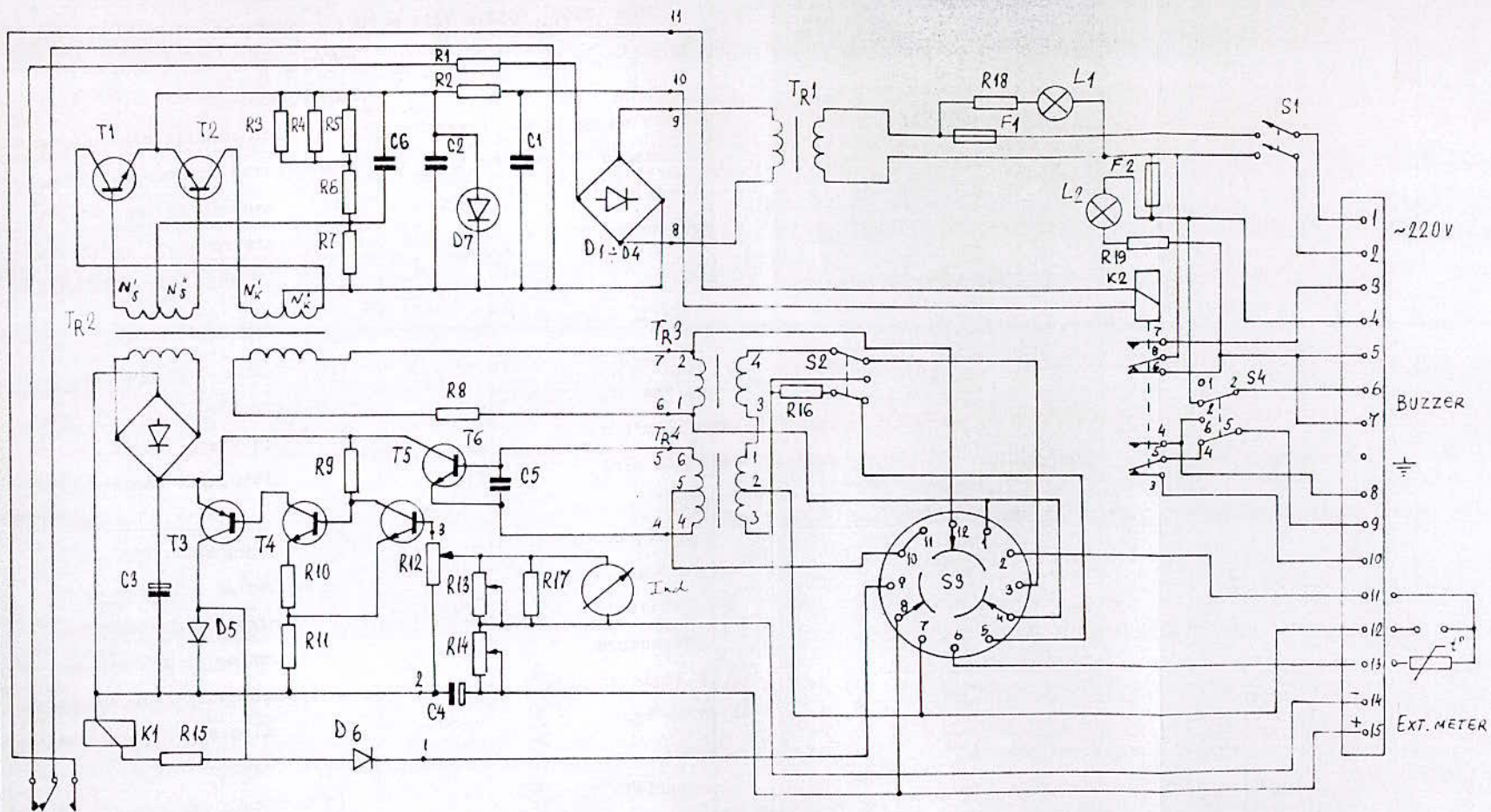


Fig 6

I. 8. 6 Appareil de mesure " Crockatt-electric salinity indicator "S" series (de fabrication anglaise)

Caracteristiques de l'appareil .

- tension d'alimentation 110V - 115V - 220V 50HZ- 60HZ

- calibres 0 - 39mg/gallon.

0- 325mg/gallon.

- Compensation thermique independante de la plage de variation de temperature cet appareil est aussi utilisé en plusieurs versions pour determiner le degre de pollution de l'eau, les differentes concentrations d'acides et la teneur des composants de produits chimiques.

I.9 Analyse de la sensibilité d'une cellule electrolytique

Precedemment nous avons étudié la méthode avec contact et avons dit qu'elle assure une bonne precision et qu'elle est souvent utilisée, c'est pourquoi il est plus interessant d'utiliser cette methode afin d'étudier la sensibilité d'une cellule electrolytique .

En injectant une tension entre les deux électrodes plongées dans la solution la resistance de l'électrolyte entre ces deux électrodes est determinée à partir de la quantité d'électricité Q et de l'effet de polarisation, celui ci fausse les mesures et provoque une difference entre la resistance de l'électrolyte et l'impedance de la cellule, d'où l'existence d'un déphasage entre la tension et le courant .

Une analyse plus poussée permet de minimiser ou d'éliminer les erreurs afin d'avoir une mesure précise .

En courant alternatif, le schéma équivalent d'une cellule electrolytique à 2 électrodes platinées est proposé sur la figure 7

R = Resistance active de l'électrolyte .

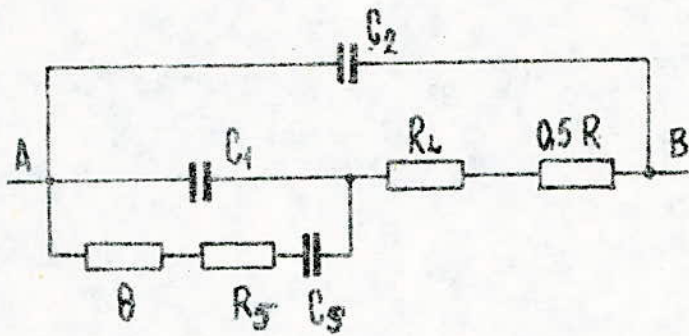


fig 7

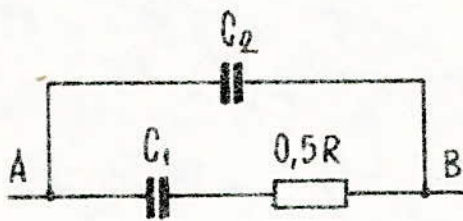


fig 8

Tous les éléments du circuit équivalent sauf la résistance R, donnent des erreurs de mesure à cause de la différence entre la résistance R et l'impédance Z_{AB} ;

l'erreur de mesure est fonction de la fréquence utilisée; du modèle de la cellule, du matériau des électrodes et de l'état de leurs surface .

Elle peut varier de quelques centièmes de pourcent et à quelques pourcent .

Si la condition $C_2=0$, $R_L = \theta = 0$ on peut écrire:

$$Z_{AB} = R + \frac{2R_S C_S^2}{\omega^2 R_S^2 C_1^2 C_S^2 + (C_1 + C_S)^2} - 2j \frac{\omega^2 R_S^2 C_1^2 C_S^2 + C_1 + C_S}{\omega^2 R_S^2 C_1^2 C_S^2 + (C_1 + C_S)^2} \quad (1).$$

le premier terme est la partie réelle .

le 2^{eme} terme représente l'erreur R_S de l'effet de polarisation

le 3^{eme} terme représente la ~~résistance~~ ^{partie} réactive.

quand $C_1 \gg C_2$ nous pouvons écrire:

$$\Delta R_S \approx \frac{1}{\gamma \cdot C_1^2} \cdot \omega^{-3/2}. \quad (2)$$

la formule (2) présente une droite de pente $\frac{1}{\gamma C_1^2}$

où γ est une constante qui dépend de la propriété de la surface d'électrode .

la résistance réelle est déterminée à l'aide d'une interpolation, quand $t \rightarrow \infty$, $\Delta R_S = 0$; Lorsque les électrodes sont platinées ΔR_S diminue, atteignant des valeurs négligeables même si la fréquence est très basse

Lorsque la couche de platine n'est pas trop épaisse, on peut négliger ΔR_S , en travaillant en haute fréquence .

Dans ce cas le schéma équivalent de la cellule est proposée sur la figure 8 , La sensibilité S_Z se determine comme étant le rapport de variation relative de Z_{AB} par la variation relative du paramètre d'entrée R:

$$S_Z = \frac{dZ_{AB}}{Z_{AB}} \bigg/ \frac{dR}{R} = \frac{dZ_{AB}}{dR} \cdot \frac{R}{Z_{AB}} \quad (3)$$

pour la figure 8, $1/Z_{AB} = \sqrt{\frac{R^2 X_1^2 + X_1^2 X_2^2}{R^2 (X_1 + X_2)^2}}$ (4)

où $X_1 = \frac{1}{\omega C_1}$, $X_2 = \frac{1}{\omega C_2}$.

en differenciant par rapport à R. et en remplaçant dans (3)

on trouve
$$S_Z = \frac{R^2 X_1 (2X_1 + X_2)}{R^2 \left[(R^2 + X_1^2) + (X_1 + X_2)^2 \right] + X_1^2 (X_1 + X_2)^2}$$

en prennant $K = \frac{X_1}{X_2}$, $Q = \frac{R}{X_2}$.

$$K = \frac{X_1}{X_2} = \frac{\omega C_2}{\omega C_1} = \frac{C_2}{C_1} \quad (6)$$

$$Q = \frac{R}{1/\omega C_2} = \omega R C_2 \quad (7)$$

Pour analyser K, la capacité de la cellule C_2 et la capacité inter-couches C_1 sont déterminées par les paramètres de la cellule et des électrodes .

pour déterminer C_2 il faut connaître la constante dielectrique de la solution ϵ_p (pour l'eau $\epsilon_p=81$), la distance l entre les électrodes , et la surface S de l'électrode .

$$C_2 = \epsilon_p \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{l} \quad (8)$$

où ϵ_0 est la constante dielectrique du vide .

La double couche joue (intercouche) joue le rôle d'un condensateur à 2 armatures ; les études faites sur ce condensateur montrent qu'il avoisine une valeur de $30 \mu\text{F}/\text{cm}^2$, si nous prenons cette valeur, nous obtenons:

$$K = \frac{C_2}{C_1} \frac{\epsilon_p \cdot \epsilon_0 \cdot S/l}{30 \cdot 10^{-6} \cdot S} = 2,4 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{l} \quad (9)$$

Dans ce cas K est un facteur géométrique; D'après la bibliographie: $0,4 \leq l \leq 15 \text{cm}$

La valeur de Q est liée à la valeur de la conductivité relative κ .

$$Q = 2\pi f \epsilon_p \cdot \epsilon_0 \frac{l}{S} \cdot \frac{1}{S_1} \cdot \frac{1}{\kappa}$$

S_1 étant la surface du plan séparant les 2 électrodes.

En étudiant la formule (5) de S_Z on s'aperçoit que $S_Z = 1$ (sensibilité maximale) lorsque $K=Q=0$.

Pour une solution réelle , les valeurs de κ et de ϵ_p sont aussi réelles donc la condition $K=Q=0$ est réalisée pour un courant continu et pour une mesure avec des électrodes non polarisées .
les graphes des figures 9,10,11 . donnent un aperçu sur l'analyse que nous venons de faire.

Le graphe donnant la valeur de resistance R_S en fonction de la distance entre électrodes dans une cellule électrolytique pour 2 frequences 500 et 4000HZ est proposé en figure 9. On s'aperçoit que la valeur de R_S est indépendante de la distance entre électrodes .

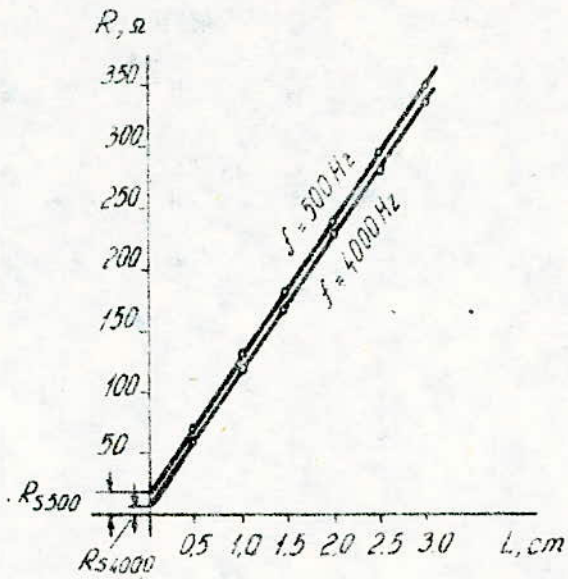


fig 9

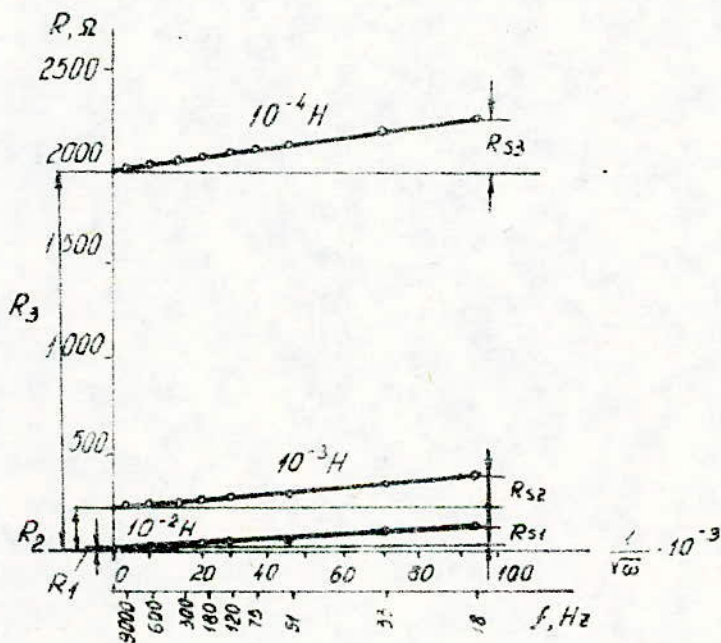


fig 10

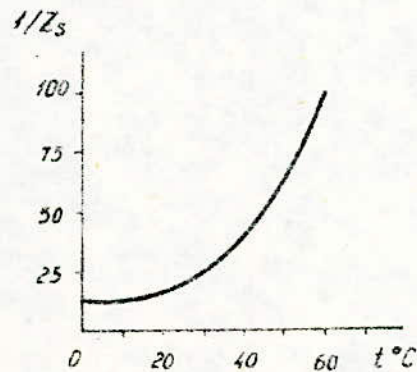


fig 11.

Sous l'effet de polarisation , nous avons une très forte influence de la fréquence du courant alternatif; le fonction $R_S=f(w)$ est de la forme :

$$R_S = \frac{\gamma}{\sqrt{\omega}}, \quad \gamma = \text{constante (11)}.$$

La figure 10, donne le graphe de cette fonction pour une solution de KCl pour différentes concentrations, à une température de 26,8° c et lorsqu'on utilise des électrodes en Nickel. On s'aperçoit que la fonction est linéaire elle diminue quand ω , R_S diminue et pour une fréquence $f = 1000\text{HZ}$ cette fonction est nulle.

La figure 11. donne le graphe de la valeur de $\frac{1}{Z_S}$ en fonction de la température pour une fréquence constante $f = 1500\text{HZ}$, les électrodes utilisées sont en cuivre, l'électrolyte est du Cu SO_4 . Z_S a un coefficient de température négatif que est égal à $-1,6\%/^{\circ}\text{c}$

Les valeurs de l'erreur produite à cause de la résistance de polarisation sont données ci dessous

materiau des électrodes	frequence (HZ)	erreur due à R_S (%)	erreur de mesure (%)	valeur de relative de Z_S .
Nickel	500	+ 11,4	$\pm 0,04$	-
	500	+20	$\pm 0,01$	-
Argent	4000	+6,7	$\pm 0,01$	-
	700	+2,4	$\pm 0,001$	0,990
platine	4350	+ 1,0	$\pm 0,001$	0,990.

en conclusion on minimise l'erreur due à l'effet de polarisation en améliorant la qualité des électrodes et de leurs surfaces, en augmentant la fréquence de mesure et en diminuant la densité de courant alternatif qui circule entre les 2 électrodes .

Remarque : l'étude faite précédemment nous permet de choisir une méthode et un principe de réalisation exposés dans les chapitres suivants .

Si l'appareil s'avère utile dans l'industrie, on pourra le fabriquer en série ce à quoi on propose en annexe une documentation de façon à réaliser l'appareil complet du point de vue électro-mécanique comme du point de vue mécanique

Nous ne proposons pas le modèle du boîtier car celui-ci varie d'une utilisation à ~~une~~ autre de l'appareil, nous pouvons aussi utiliser des ~~boîtiers~~ disponibles sur le marché .

- CHOIX DE LA METHODE -

- SCHEMA DE L'APPAREIL -

II - 1 Choix de la méthode

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les différentes méthodes utilisées pour la mesure de salinité et quelques appareils .

En résumé, il existe les méthodes suivantes :

- méthode avec contact { à basse fréquence
à courant continu .

- méthode sans contact { à basse fréquence
à haute fréquence

Les avantages de la méthode avec contact sont :

- Bonne précision
- Lecture directe de la concentration
- Simplicité de la méthode et de l'appareil

Les inconvénients de la méthode avec contact sont :

- Erreur due à l'effet de polarisation
- Non possibilité d'utiliser des solutions corrosives

Les inconvénients de la méthode sans contact sont :

- Précision moins bonne
- Lecture indirecte de la concentration

Notons que le but de notre étude est de réaliser un appareil qui satisfait aux conditions suivantes :

- concentration maximale en Na cl : 250 mg/l d'où effet de polarisation négligeable .
- Bonne précision
- Simplicité du réglage et de l'entretien de l'appareil.

Au vu des avantages et inconvénients des différentes méthodes et des conditions aux quelles nous sommes astreints, notre choix s'est porté sur la méthode avec contact à basse fréquence .

Notre appareil dont le capteur aura une liaison directe avec le circuit de mesure sera à lecture directe.

II - 2 Schéma synoptique de l'appareil . principe de fonctionnement .

Le schéma synoptique de l'appareil est représenté sur la fig 12

Nous trouverons sur ce schéma les blocs suivants :

C : Capteur

BM : Bloc de mesure

EC : Elément de comparaison

NA : Niveau d'alarme

BA : Bloc d'alarme

BI : Bloc d'indication

BA : Bloc d'alimentation

Le capteur fournit le signal d'entrée du bloc de mesure qui est un courant proportionnel à la concentration de la solution .

Le bloc de mesure possède deux calibres :

0 - 25 mg/l

0 - 250 mg/l

Se trouvent dans ce bloc de mesure :

- Un amplificateur Opérationnel de courant alternatif
- Un détecteur précis réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel.
- Un générateur de courant réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel et d'un transistor en sortie, permettant d'utiliser un indicateur supplémentaire sans aucun autre réglage .
- Un circuit de compensation thermique utilisant la thermistance se trouvant dans le capteur.

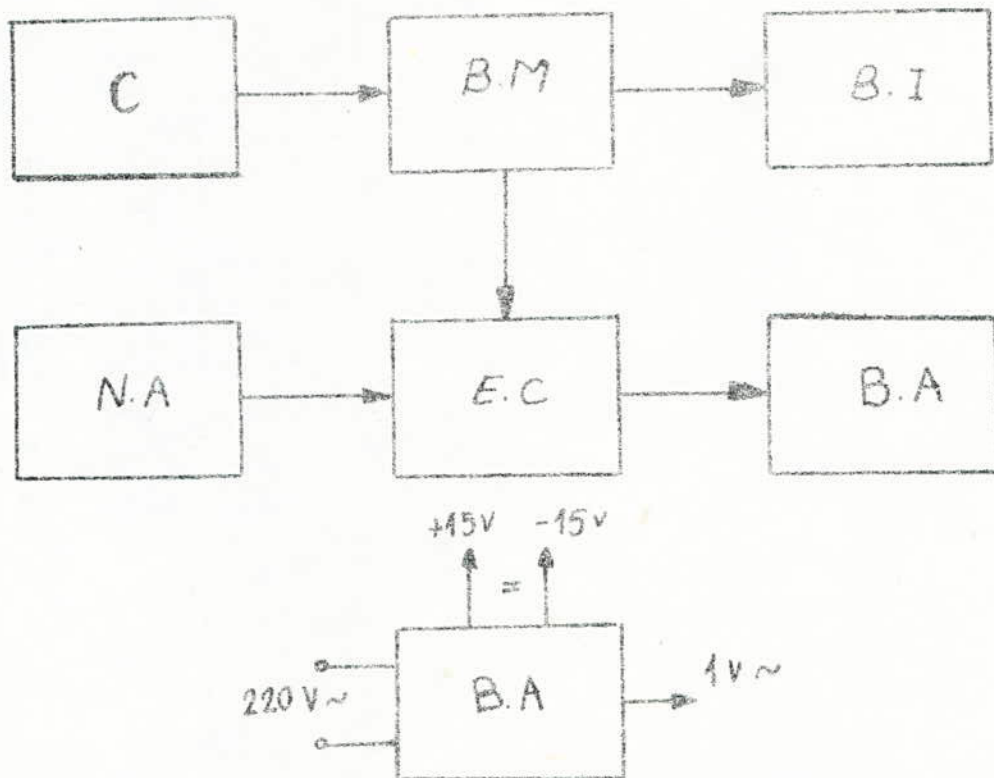


fig 12

A la sortie de ce bloc de mesure, nous récoltons un courant proportionnel au courant ~~traversant~~ le capteur .

L'élément de comparaison est réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel et représente un trigger de Schmitt dont les états nous donnent les niveaux d'alarme .

Le bloc fixant le niveau d'alarme choisi comprend :

- Une source de tension de référence(Diode Zener)
- Une résistance ajustable
- Un diviseur de tension réalisé à l'aide de résistances.

Le bloc d'alarme comprend :

- Un transistor de commutation
- Un relais
- Les éléments de signalisation .

Le bloc d'indication comprend :

- Un milliamperemètre à courant continu dont le cadran et gradué directement en mg/l de Na cl .
- Une prise supplémentaire est prévu pour le branchement d'un appareil similaire .

Le bloc d'alimentation comprend :

- Un transformateur de secteur .
- deux redresseurs
- Les condensateurs de filtrage
- Le convertisseur tension continue-tension alternative (signal carré de fréquence 1 KHZ)

Ce bloc alimente ^{sous} une tension de $\pm 15V$ les blocs suivants :

- le bloc de mesure
- l'élément de comparaison .
- le bloc fixant le niveau d'alarme .

et ~~soit~~ une tension rectangulaire de 1000 HZ le bloc de mesure et le capteur .

D'après le schéma synoptique , le fonctionnement de l'appareil est le suivant :

Le courant traversant le capteur est amplifié et détecté à la fois par le bloc de mesure, ensuite il est injecté au bloc indicateur .

La valeur de ce courant est comparé dans l'élément de comparaison à une valeur de référence fixée dans le bloc "niveau d'alarme" .

Si la valeur de ce courant dépasse le niveau d'alarme, l'élément de comparaison réagit et déclenche le bloc d'alarme mettant ainsi en service le voyant et le buzzer .

II - 3 Schéma de principe

Principe de fonctionnement .

Le schéma de principe se trouve sur la figure 13_a et sa réalisation est basée sur le schéma synoptique .

Le principe de fonctionnement de notre appareil est le suivant:

II - 3 - 1 Bloc d'alimentation .

Principe de fonctionnement .

A l'aide de l'interrupteur S_1 , la tension de secteur 220V est appliquée au primaire du transformateur d'alimentation (présence d'un fusible de protection); Après le fusible se trouvent une résistance R_1 , une diode D_1 et une LED H_1 indiquant l'état de marche de l'appareil .

La tension du secondaire du transformateur d'alimentation est appliquée au circuit imprimé d'alimentation 02.05.00. qui la redresse à l'aide du circuit intégré A_7 (A_7 étant un pont de Graetz).

La tension continue après A_7 est filtrée à l'aide d'un condensateur C_1 et ensuite appliquée à un circuit intégré A_1 (A_1 étant un stabilisateur précis $\mu A 723$).

Le circuit imprimé A_1 assure une tension stable de valeur nominale + 14,6 V . Cette tension alimente l'ampli opérationnel se trouvant dans le bloc de mesure et le convertisseur

Courant continu- courant alternatif réalisé par les transistors T_3 et T_4 et le transformateur T_{R_2}

La précision de l'appareil dépend de la stabilité de la tension de + 15V et de la tension rectangulaire alimentant le capteur: Pour cela, on utilise le stabilisateur précis A_1 (protégé contre les court-circuits) et la stabilisation en température du convertisseur CC - CA assurée par la thermistance R_9 .

A l'aide de l'enroulement supplémentaire N_4 du transformateur T_{R_2} du circuit intégré A_8 (pont de Graetz) et du stabilisateur paramétrique R_8 , D_5 , on obtient la tension continue -15V pour alimenter l'ampli opérationnel.

II - 3 Schéma de principe

Principe de fonctionnement.

Le schéma de principe se trouve sur la figure 13 et sa réalisation est basée sur le schéma synoptique.

Le principe de fonctionnement de notre appareil est le suivant:

II - 3 - 2 Bloc de mesure .

Principe de fonctionnement .

L'une des électrodes du capteur est reliée à l'alimentation 1,1 V 1000 HZ issue du convertisseur C.C. - C.A, l'autre étant relié à la borne inverseuse de l'ampli operationnel A_2 ;

Ce dernier fait correspondre la conductivité à une tension alternative dont l'amplitude est une fonction linéaire de la concentration en sel de la solution.

L'interrupteur S_3 permet de choisir l'un des deux calibres possibles
0-25mg/l ou 0-250mg/l .

le second ampli operationnel A_3 et la thermistance R 10 se trouvant dans la boucle de contre reaction, assurent la compensation en temperature de la tension issue de A_2 .

la plage de compensation efficace est limitée par les valeurs des resistances R 15 et R 16 lorsque les paramètre de la thermistance sont constants.

La tension à la sortie de A_3 est detectée par un ampli operationnel A_4 , A l'entrée de A_4 , le commutateur S_{22} permet d'injecter soit la tension issue de A_3 en regime "marche " soit la tension d'alimentation du capteur en regime " test " .

Dans le dernier cas, nous avons les possibilités de calibrage et de réglage. La resistance R_{17} nous permet d'annuler une éventuelle déviation de l'aiguille pour la ramener sur la valeur de référence A l'aide du commutateur S_{21} , le signal issu du detecteur est envoyé dans le convertisseur tension continue-courant continu réalisé avec l'ampli operationnel A_6 et le transistor T_{14} . A la sortie du convertisseur se trouvent deux appareils de mesure électrique PA_1 et PA_2 .(milliampermètres à aiguille) montés en série; toujours a la

.../...

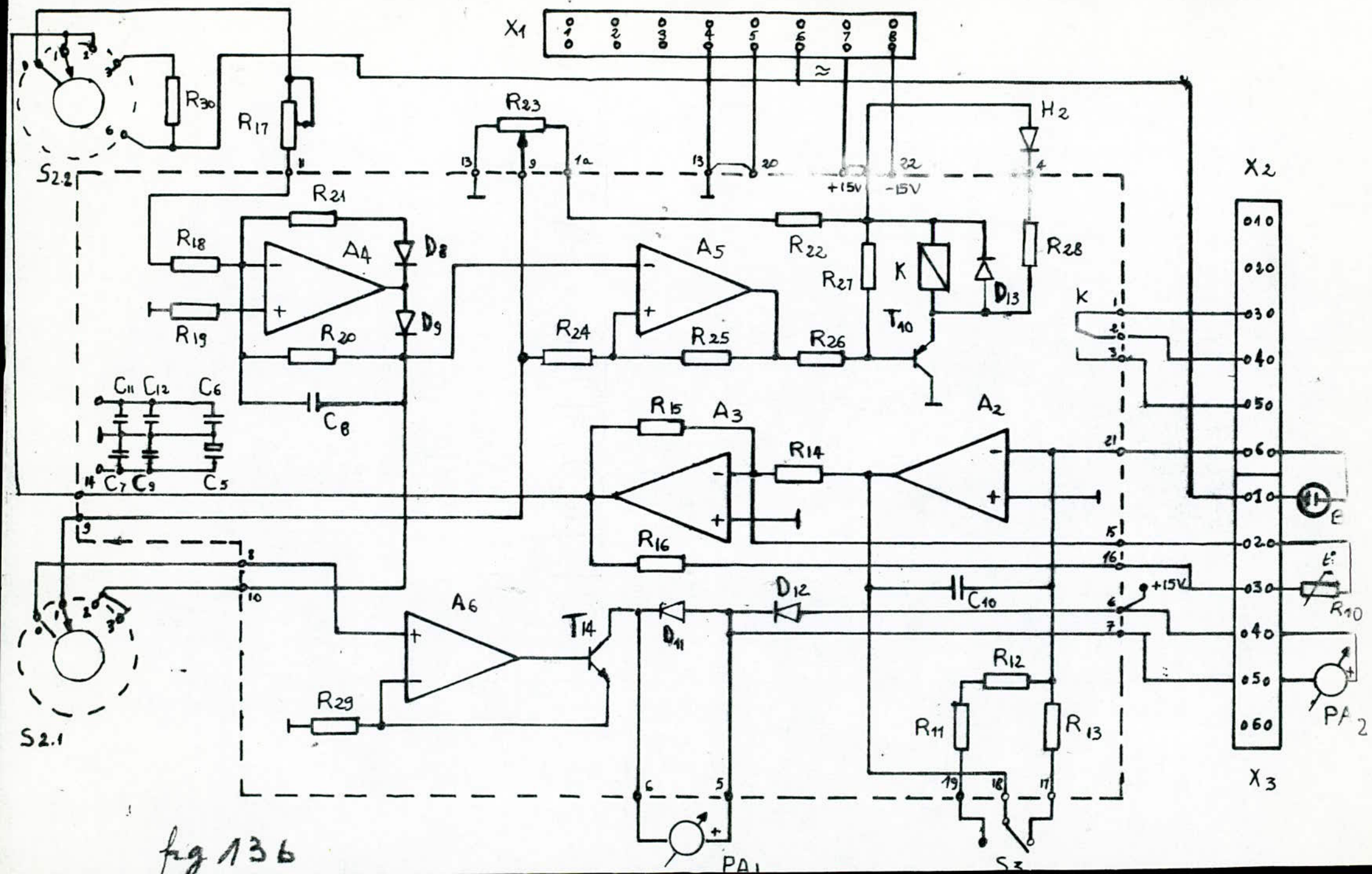


fig 136

sortie du détecteur, est branchée l'entrée inverseuse de l'ampli opérationnel A_6 qui joue le rôle de comparateur.

Le niveau de basculement de ce comparateur peut être réglé à l'aide de la résistance ajustable R_{23} qui règle aussi le niveau d'alarme; Dans ce cas la tension de référence est envoyée à l'entrée du convertisseur " tension - courant " à l'aide du commutateur S_{21} .

A la sortie du comparateur se trouvent la LED H_2 et le relais K

L'appareil travaillant en régime "marche", la LED assure l'indication lumineuse, le relais donne un signal supplémentaire lorsque la concentration a déjà atteint la valeur d'alarme.

- C H A P I T R E III -

- ETUDE DE LA REALISATION -

(Choix et calculs des éléments)

III-1 Le capteur :

Nous devons tenir compte des erreurs produites par les phénomènes électrochimique et électrique proprement dit.

Les paramètres affectés du capteur sont :

- Le matériau de l'électrode.

Chaque métal utilisé possède une résistance de polarisation allant décroissante pour les métaux suivants :

Au , Ni , Al , Cu , Ag , Pt .

- Le type de la surface de l'électrode .

La surface de l'électrode doit être plaquée.

Notons que le platine diminue l'effet corrosif et l'effet de polarisation .

- La distance entre les électrodes

Cette distance fait varier la capacité de l'électrolyte C_2

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_p \frac{S}{l}$$

et le courant circulant entre ces électrodes .

cette distance doit être : $0,4\text{mm} \leq l \leq 15 \text{ mm}$.

- La surface de l'électrode

La valeur de cette surface fait varier la capacité de l'électrolyte et de la capacité de la double couche C_1

$$C_1 = 2,4 \cdot 10^{-7} \cdot S$$

S : Surface de l'électrode en mm^2 .

- La forme de l'électrode .

Il faut choisir des électrodes de même forme pour ne pas augmenter l'effet de polarisation.

Il est préférable de les avoir cylindriques pour une question de commodité .

Suite à ce qui a été exposé nous avons choisi un capteur dont les caractéristiques sont les suivantes :

- distance entre électrodes : 13 mm
- surface d'une électrode : $4,86 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$
- matériau : cuivre
- plaquage de l'électrode : platine
- forme de l'électrode : cylindrique

Les électrodes sont fixées sur un corps isolant .

III - 2 compensation thermique du capteur .

La résistance d'une cellule électrolytique varie avec la température lorsque la concentration de la solution est constante.

$$R_e = \frac{R_{oe}}{1 + \alpha_e \Delta T}$$

$$\alpha_e = 0,024 \left(\frac{1}{\text{°K}} \right) \quad \text{avec K = degré Kelvin .}$$

Donc pour chaque degré Kelvin la résistance varie de 2,4 % .

Nous ne pouvons pas avoir une bonne compensation thermique avec une thermistance en cuivre parce que la résistance de cette dernière suit la loi :

$$R_{cu} = R_{o\text{cu}} \left[1 + \alpha_{cu} \Delta T \right]$$

$$\alpha_{cu} = + 0,004 \left(\frac{1}{\text{°K}} \right)$$

Nous pouvons nous attendre à une bonne compensation thermique vu que la résistance de la cellule et de la thermistance varient inversement mais nous avons seulement concordance du phénomène dans la plage de T : $0^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ qui n'est pas suffisante .

Il est préférable d'utiliser une thermistance semiconducteur obeissant à la loi :

$$R_t = R_{ot} e^{-\frac{B \Delta T}{T_o^2 \left(1 + \frac{\Delta T}{T_o} \right)}}$$

$$B = 2600 \text{ à } 3900 \quad 1/\text{°K}$$

$$T_o = 293^{\circ} \text{ K}$$

Lorsqu'on shunte la thermistance à l'aide d'une résistance d'une valeur de 3 à 5 fois R_{ot} , on a un circuit de même coefficient thermique que la résistance de la cellule électrolytique mais cependant la plage de la compensation thermique reste limitée à $T = 20^{\circ}\text{C}$.

Le schéma de ce circuit avec en plus un amplificateur opérationnel est proposé en figure 14 .

Le gain de l'amplificateur est dans ce cas :

$$A = \frac{R_o R_t}{R_o + R_t} \cdot \frac{1}{R_e}$$

avec

$$R_t = R_{t20} e^{-\frac{B}{T \cdot T_o}}$$

$$\text{et } R_e = R_{e20} (1 + \alpha \Delta T)$$

en remplaçant ces 2 relations dans la formule du gain, on trouve :

$$A_N = \frac{1 + \alpha \Delta T}{\frac{R_o}{R_{t20}} + e^{-\frac{B}{T \cdot T_o}}} \left(1 + \frac{R_o}{R_{t20}}\right)$$

avec $B = 3000$

$$T_o = 293^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\text{max}} = 40^{\circ}\text{C}$$

On peut améliorer la compensation thermique en mettant une résistance en série avec la thermistance (fig 15).

Avec cette disposition nous avons un gain de :

$$A = \frac{R_{sh}(R_{se} + R_t)}{R_e(R_{se} + R_{sh} + R_t)}$$

en fonction de la température cette formule devient :

$$A = \frac{\delta (1 + \alpha \Delta T) + e^{-\frac{B}{T \cdot T_o}}}{1 + \beta e^{-\frac{B}{T \cdot T_o}}}$$

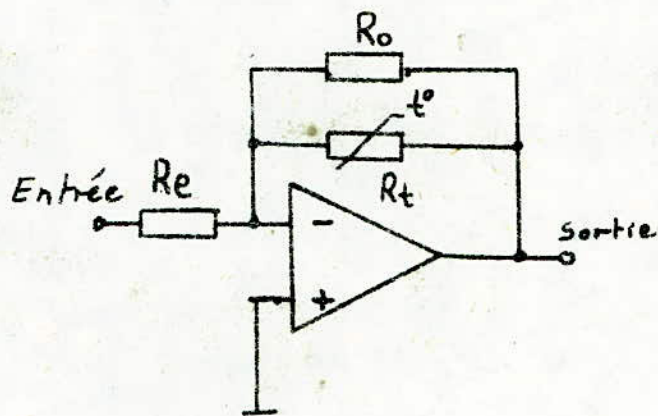


fig 14

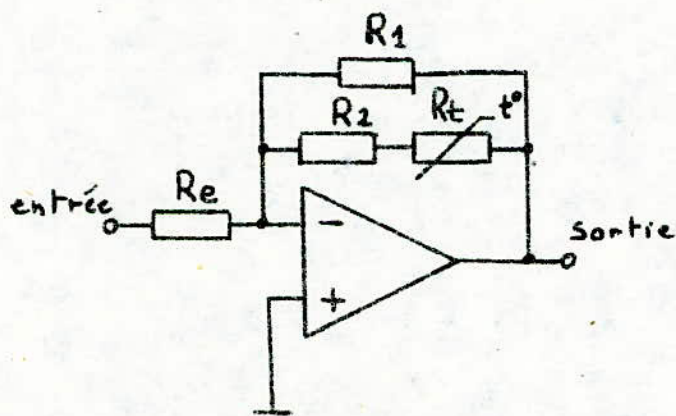


fig 15

avec $\gamma = \frac{R_{sh}}{R_{to}}$ et $\beta = \frac{R_{to}}{R_{sé}}$

- pour $T = 20^{\circ}\text{C}$ (20°C à 40°C)

$\gamma = 0,303$ $\beta = 0,35$ et $R_{to} = 2,2 \text{ K}\Omega$

on trouve :

$R_{sh} = 666 \Omega$ et $R_{sé} = 6,28 \text{ K}\Omega$

- pour $T = 60^{\circ}\text{C}$ (20°C à 80°C)

$\gamma = 0,28$ $\beta = 0,4$ et $R_{to} = 2,2 \text{ K}\Omega$

on trouve :

$R_{sh} = 616 \Omega$ et $R_{sé} = 5,5 \text{ K}\Omega$

Les valeurs des resistances R_{sh} et $R_{sé}$ sont trouvées expérimentalement dans une plage de 20°C à 80°C et sont :

$R_{sh} = 560 \Omega$ et $R_{sé} = 4,7 \text{ K}\Omega$

Notons que la valeur de la thermistance pour une température de 20°C est $1,57 \text{ K}\Omega$.

III - 3 Bloc d'alimentation

III - 3 - 1 Convertisseur courant-continu-courant alternatif(CC-CA)

- Données : $U_e = 15\text{v}$ $U_{s1} = 15\text{v}$ $U_{s2} = 1\text{v}$
 $f = 1 \text{ KHZ}$ $I_{s1} = 100\text{mA}$ $I_{s2} = 10\text{mA}$

- Choix des transistors .

Le courant de collecteur, le transistor étant saturé sera :

$$I_{cm} = \frac{U_{s1} \cdot I_{s1} + U_{s2} \cdot I_{s2}}{\eta (U_e - U_{ecs})} = \frac{15 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,01}{0,8 (15 - 1,6)} = 0,14 \text{ A}$$

η = rendement du convertisseur

U_{ecs} = tension émetteur -collecteur du transistor

saturé , pour un transistor au silicium de moyenne puissance

$U_{ecs} \approx 1,6 \text{ v}$.

L'amplitude de la tension émetteur-collecteur est :

$$U_{ec} = 2,4 \quad U_{s1} = 2,4 \times 15 = 36 \text{ v}$$

A l'aide de I_{cm} et U_{ec} on peut choisir le transistor .

Nous avons pris ici deux transistors de type Bc 337 ayant les paramètres suivants :

$$U_{ecm} = 50\text{v} \quad P_{cm} = 625 \text{ mW}$$

$$U_{eBm} = 5 \text{ v} \quad h_{21\text{min}} = 77$$

$$I_{cm} = 800\text{mA} \quad h_{21\text{max}} = 160$$

$$I_{Bm} = 100\text{mA} \quad f^T = 100 \text{ MHz}$$

La valeur maximale du courant collecteur à la commutation est égale à $I'_{cm} = I_{cm} \cdot K_1 \cdot \delta_{\text{min}} \cdot \frac{h_{21\text{max}}}{h_{21\text{min}}}$

K_1 = coefficient déterminé à partir de la formule :

$$K_1 \approx \frac{1}{(1 - 0,03 \sqrt{U_e})^2} = \frac{1}{(1 - 0,03 \sqrt{15})^2} = 1,37$$

δ_{min} = valeur minimale du coefficient de saturation donnée par la formule :

$$\delta_{\text{min}} = \frac{I_B \cdot h_{21 \text{ min}}}{I_{cm}}$$

Le plus souvent : $1,3 \leq \delta_{\text{min}} \leq 1,5$

Dans ce cas la valeur maximale du courant collecteur est:

$$I'_{cm} = 0,14 \times 1,37 \times 1,3 \times \frac{160}{77} = 0,487 \text{ A}$$

$$\text{comme } I'_{cm} < I_{cm}$$

$$\text{et } U_{ec} < U_{ecm}$$

Le transistor BC 337 se prête bien à l'emploi .

- Calcul du transformateur à ferrite

Le noyau est en ferrite blindée de type AL 1000 ayant

$$B_{\max} : 0,3 \text{ T}$$

On peut déterminer la section du noyau à l'aide de la formule:

$$S_F \cdot S_f = \frac{P}{2 f B_{\max} \cdot K_{cu} \cdot K_F \cdot \Delta \cdot \eta_{Tr}}$$

S_F = Section de ferrite

S_f = Section des fenêtres

K_{cu} et K_F étant les rapports des sections effectives aux sections apparentes .

Δ = densité de courant

η_{Tr} = rendement du transformateur $0,75 \leq \eta \leq 0,85$

on prend ici $\eta_{Tr} = 0,8$

K_{cu} , K_f et Δ sont donnés sur les abaques

$$K_{cu} = 0,12 \quad K_F = 1 \quad \Delta = 1 \text{ A/m}^2$$

Si à la sortie des secondaires se trouvent des ponts redresseurs

nous pouvons calculer la puissance P à l'aide des formules

$$P_1 = 1,3 U_{S1} \cdot I_{S1} = 1,3 \times 15 \times 0,1 = 1,95 \text{ w}$$

$$P_2 = 1,3 U_{S2} \cdot I_{S2} = 1,3 \times 1 \times 0,01 = 0,013 \text{ w}$$

$$P_T = P_1 + P_2 = 1,95 + 0,013 = 1,963 \text{ w}$$

Dans ce cas :

$$S_F \cdot S_f = \frac{1,963 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^3 \times 0,3 \times 0,12 \times 1 \times 1 \times 0,8} = 1,56 \text{ cm}^4$$

Nous prendrons donc un noyau de ferrite blindée dont la surface est $S_F = 1,24 \text{ cm}^2$

L'enroulement branché au collecteur d'un transistor comporte:

$$N_1 = \frac{(U_e - U_{ecs}) \cdot 10^4}{4 f \cdot B_{\max} \cdot S_F \cdot K_F} = \frac{(15 - 1,6) \cdot 10^4}{4 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 1,24 \cdot 1} = 90$$

Note : Le transformateur réalisé a un fonctionnement satisfaisant avec $N_1 = 120$ spires

Le nombre de spires de l'enroulement des secondaires est :

$$N_3 = \frac{N_1 \cdot U_{s2}}{U_e - U_{ecs}} = \frac{120 \cdot 1}{15 - 1,6} = 9,6$$

$$N_4 = \frac{N_1 \cdot U_{s1}}{U_e - U_{ecs}} = \frac{120 \cdot 15}{15 - 1,6} = 168$$

En augmentant de 10% le nombre de spires et cela à cause des pertes on trouve :

$$N_3 = 12$$

$$\text{on fait } N'_3 = N''_3 = 3 \quad \text{et } N_3 = 6$$

$$N_4 = 180$$

Le nombre de spires de l'enroulement connecté à la base du transistor est :

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot U_B}{U_e - U_{ecs}} = \frac{120 \times 2,5}{15 - 1,6} = 24$$

U_B varie de 1,5 v à 2,5 v . on prend $U_B = 2,5$ v

en pratique $N_2 = 30$, donc $N'_2 = N''_2 = 30$

Les valeurs efficaces des courants dans le convertisseur sont :
enroulement du collecteur

$$I_c = \frac{I_{cm}}{\sqrt{2}} = \frac{0,14}{1,41} = 0,1 \text{ A}$$

enroulement de la base

$$I_B = \frac{I_{cm} \cdot S_{\min}}{\sqrt{2} \cdot h_{21\min}} = \frac{0,14 \times 1,3}{1,41 \times 77} = 0,002 \text{ A}$$

Le diamètre du fil de chaque enroulement est :

.../...

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{I_c}{\Delta}} = 1,13 \sqrt{\frac{0,1}{5}} = 0,16 \text{ mm}$$

$$d_2 = 1,13 \sqrt{\frac{I_B}{\Delta}} = 1,13 \sqrt{\frac{0,002}{5}} = 0,02 \text{ mm}$$

$$d_4 = 1,13 \sqrt{\frac{I_{s1}}{\Delta}} = 1,13 \sqrt{\frac{0,1}{5}} = 0,12 \text{ mm}$$

$$d_3 = 1,13 \sqrt{\frac{I_{s2}}{\Delta}} = 1,13 \sqrt{\frac{0,01}{5}} = 0,05 \text{ mm.}$$

En pratique nous avons utilisé pour le transformateur le nombre de spires et diamètres suivants :

$$N_1' = N_1'' = 120$$

$$d_1 = 0,18 \text{ mm}$$

$$N_2' = N_2'' = 30$$

$$d_2 = 0,07 \text{ mm}$$

$$N_3 = 6$$

$$d_3 = 0,25 \text{ mm}$$

$$N_3' = N_3'' = 3$$

$$d_3 = 0,25 \text{ mm}$$

$$N_4 = 180$$

$$d_4 = 0,14 \text{ mm}$$

- Alimentation stabilisée + 15 v

Pour obtenir une bonne stabilité de la tension + 15 v, nous avons utilisé le circuit intégré μ A 723 avec un transistor extérieur de régulation, de type NPN.

Les paramètres les plus importants du μ A 723 sont :

$$U_e : \text{de } 9,5 \text{ v à } 40\text{V} \quad I_s : \text{de } 1 \text{ à } 50 \text{ m A}$$

$$U_s : \text{de } 2 \text{ v à } 38 \text{ V} \quad P_{\max} : 0,8 \text{ w}$$

La tension et le courant de sortie sont donnés par les formules

$$U_s = U_{ref} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3} \quad I_s = \frac{0,65 \text{ v}}{R_5}$$

Les valeurs de R_3 et de R_4 sont données par la notice :

$$R_3 = R_4 = 2 \text{ K}\Omega \pm 1\%$$

La résistance R_5 s'utilise comme résistance de protection et sa valeur est donnée de même par la notice :

$$R_5 = 2,2 \Omega$$

Nous avons choisi le transistor BD 139 ayant les paramètres suivants :

$$U_{ecm} = 80 \text{ v} \quad I_{cm} = 1 \text{ A} \quad P_{cm} = 1 \text{ w}$$

Le condensateur C_2 sert à la compensation de fréquence d'après la notice $C_2 = 100\text{pF}$.

- Choix des autres éléments du bloc d'alimentation .

Comme élément redresseur de ce circuit, on prend deux circuits intégrés étant des ponts de Graetz de type 1 PM .

Pour assurer la tension - 15 v , on utilise une alimentation stabilisée par diode Zener de type PL 15 v .

La résistance R_8 utilisée ici est de 470Ω .

Pour le filtrage de la tension on utilise le condensateur C_3 de $100 \mu\text{F}$.

Le point de fonctionnement des transistors du convertisseur CC- CA est obtenu à l'aide du diviseur de tension réalisé avec R_6 et R_7 .

Pour avoir une bonne compensation de température nous avons placé la thermistance R_9 en parallèle avec R_7 .

$$R_6 = R_7 = 2 \text{ K}\Omega \quad R_9 = 100 \text{ K}\Omega$$

Pour avoir un bon filtrage de la tension + 15 v, on utilise le condensateur C_1 à l'entrée et le condensateur C_4 à la sortie du circuit intégré $\mu\text{A} 723$.

$$C_1 = 500 \mu\text{F}$$

$$C_4 = 100 \mu\text{F}$$

La LED H_1 de type VQA 13 est utilisée comme voyant et est alimentée par le redresseur à 1 diode D_1 de type 1 N 4148 en série avec la résistance R_1 de $12 \text{ K}\Omega / 2 \text{ w}$ limitant le courant dans la diode D_1 .

III- 4 Transformateur de secteur

Données :

$$U_{\text{secteur}} = 220\text{V} \quad f_{\text{secteur}} = 50 \text{ Hz}$$

$$U_0 = 18\text{V} \quad I_0 = 0,2 \text{ A}$$

Les tensions et courants efficaces au secondaire sont :

$$U_2 = 1,11U_0 = 1,11 \cdot 18 = 19,98\text{V}$$

$$I_2 = 0,078 \cdot I_0 = 0,078 \cdot 0,2 = 0,0156 \text{ A}$$

On prend un transformateur de faible puissance travaillant sur une charge résistive donc $\cos \varphi_2 = 1$.

Dans ce cas la puissance au secondaire est de :

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 19,98 \times 0,0156 \times 1 = 0,3117 \text{ w}$$

On choisit un noyau en acier laminé et le rendement de ce transformateur est $\eta = 0,8$.

La puissance au primaire est égale :

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{0,3117}{0,8} = 0,3896 \text{ w}$$

Donc la puissance du transformateur doit être égale à :

$$P_{\text{Tr}} = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{0,3117 + 0,3896}{2} = 0,3506 \text{ w}$$

Nous relevons sur les abaques que pour

$$f = 50 \text{ Hz et } P_{\text{Tr}} = 0,3506 \text{ w}$$

$$B_{\text{max}} = 1,55 \text{ T} \quad \Delta = 5 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2 \quad \alpha = 5$$

La surface minimale du Noyau doit être égale à

$$S_A = C \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{Tr}} \cdot \alpha}{f \cdot B_{\text{max}} \cdot \Delta}} = 0,7 \sqrt{\frac{0,3506 \cdot 5}{50 \cdot 1,55 \cdot 5 \cdot 10^6}}$$
$$S_A = 2,003 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 2 \text{ cm}^2$$

Notons que dans ce cas $\cos \varphi_1 = 0,9$ et que la valeur du courant efficace du primaire est :

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot \cos \psi_1} = \frac{3,46}{220 \cdot 0,9} = 0,017 \text{ A}$$

Le nombre de spires est égal respectivement à .

$$N_1 = \frac{U_1 \left(1 - \frac{\Delta U_1 \%}{100} \right)}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A} = \frac{220 (1 - 0,3)}{4,44 \times 50 \times 1,55 \times 2 \cdot 10^{-4}}$$

$$N_1 = 2238 \text{ spires}$$

$$N_2 = \frac{U_2 \left(1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100} \right)}{4,44 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A} = \frac{18 (1 - 0,3)}{4,44 \times 50 \times 1,55 \times 2 \cdot 10^{-4}}$$

$$N_2 = 185 \text{ spires .}$$

En pratique nous devons prendre

$$N_1 = 1850 \text{ et } N_2 = 190$$

La section des fils du primaire et du secondaire est :

$$s_1 = \frac{I_1}{\Delta} = \frac{0,017}{5 \cdot 10^{-6}} = 0,0034 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$s_2 = \frac{I_2}{\Delta} = \frac{0,1416}{5 \cdot 10^{-6}} = 0,0283 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

par suite les diamètres respectifs sont :

$$d_1 = 0,12 \text{ mm} \quad d_2 = 0,51 \text{ mm}$$

III - 5 Bloc de mesure

- Choix des amplis opérationnels.

La fréquence maximale de notre signal est égale à 1 KHZ , c'est pourquoi nous n'avons pas à utiliser un ampli opérationnel à large bande et, pour ne pas avoir un plus grand nombre de composants nous utiliserons le μ A 741 à compensation de fréquence interne .

En outre , cet ampli opérationnel a deux protections, l'une en entrée, l'autre en sortie.

Les principales caractéristiques du μ A 741 sont :

Caractéristiques	Minimum	Moyenne
A_v (gain en boucle ouverte)	50.000	200.000
R_s (Résistance de sortie)		75 Ω
CMRR (Rapport de rejection de mode commun)	70 dB	90 dB
R_e (Resistance d'entrée)	300K Ω	2 M Ω

- Amplificateur de tension alternative A_2

Nous avons trouvé que la résistance du capteur plongé dans l'eau distillée est $R_c = 20,75 \Omega$ et que celle-ci diminue lorsque la concentration de l'eau en sel augmente .

En plus, l'amplificateur A_2 nous permet d'avoir à l'aide du commutateur S_3 deux gains, l'un étant 10 fois plus grand que l'autre, ceci nous étant dicté par l'existence des deux calibres :

0-25 mg/l et 0- 250mg/l .

Pour le premier calibre, $R_{13} = 10 K\Omega \pm 1 \%$

Pour le deuxième calibre , R_{11} doit être 10 fois plus faible, donc $R_{11} = 1K\Omega \pm 1 \%$.

En série avec R_{11} on place R_{12} dont la valeur est choisie lors du réglage de l'appareil .

Le condensateur de filtrage de parasites est $C_{10} = 220$ pF .

- Amplificateur A_3 de la compensation thermique du capteur

Dans le paragraphe III-1 nous avons choisi, pour avoir une bonne compensation thermique, les résistances R_{15} et R_{16} avec

$$R_{15} = 560 \Omega \pm 1 \% \text{ et } R_{16} = 4,7 K\Omega \pm 1 \%$$

En même temps la valeur de la thermistance, pour une température de $20^\circ C$, est $R_{10} = 1,57 K\Omega$.

Le signal issu de A_2 ne doit pas être amplifié, c'est pourquoi R_{14} peut-être choisie plus grande pour ne pas charger A_2 ; d'où

$$R_{14} = 10 K\Omega \pm 5 \%$$

- Le démodulateur A_4 .

Le gain du démodulateur doit être environ de 3.

$$\text{Nous choisissons } R_{20} = R_{21} = 20 K\Omega \pm 1 \%$$

$$R_{18} = 6,2 K\Omega \pm 1 \%$$

$$R_{19} = \frac{R_{20} \times R_{18}}{R_{20} + R_{18}} = \frac{20 \times 6,2}{20 + 6,2} = 4,73 K\Omega$$

$$\text{Valeur normalisée } R_{19} = 4,7 K\Omega \pm 5 \%$$

Les diodes D_8 et D_9 doivent être de faibles puissances d'où choix du type 1 N 4148.

La fréquence maximale du signal détecté est de 1 KHZ donc la période T est de 1 ms.

La constante de temps de R_{20} et C_8 est $\tau = R_{20} \cdot C_8 > 10 T$

$$\text{donc } C_8 > \frac{10 T}{R_{20}} = \frac{10 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^3} = 0,5 \cdot 10^{-6} F$$

donc on prend $C_8 = 1 \mu F$.

En série avec la résistance R_{18} on place une résistance ajustable R_{17} pour tester l'appareil. $R_{17} = 1 K\Omega$.

Lorsque le commutateur est en position 3 (Test), la résistance R_{30} est placée en série avec R_{17} et cela pour faciliter le test .

La valeur de R_{30} est fixée lors du réglage préliminaire de l'appareil . $510 \Omega < R_{30} < 1,5 \text{ K}\Omega$.

- Le comparateur A₅ .

Le comparateur est un ampli opérationnel à contre réaction positive obtenue à l'aide des résistances R_{25} , R_{24} et R_{23} .

$$R_{25} = 2 \text{ M}\Omega \pm 5 \%$$

$$R_{24} = 1 \text{ K}\Omega \pm 5 \%$$

R_{24} est reliée au point milieu du potentiomètre R_{23} , ce dernier permettant de fixer les niveaux d'alarme ~~désirés~~ s .

Ces niveaux d'alarme étant les paliers de basculement du comparateur .

$R_{23} = 3,3 \text{ K}\Omega$ et est en série avec une résistance R_{22} de $4,7 \text{ K}\Omega$.

R_{26} limite le courant de base du transistor T_{10} et R_{27} assure l'état préliminaire du transistor T_{10} (bloqué).

$$R_{26} = R_{27} = 4,7 \text{ K}\Omega \pm 5 \%$$

Le transistor T_{10} travaille en régime de commutation avec une charge à l'émetteur qui est un relais de paramètres :

$$U = 12 \text{ v} \quad I = 40 \text{ m A} .$$

Le transistor utilisé est de type PNP et de moyenne puissance .

Nous devons avoir $U_{ec_{\max}} > 24 \text{ v}$ et $I_{c_{\max}} > 40 \text{ m A}$
le transistor choisi est le BC 212 ayant les caractéristiques suivantes :

$$U_{ec_{\max}} = 50 \text{ v} \quad I_{c_{\max}} = 200 \text{ mA}$$

$$U_{BE_{\max}} = 5 \text{ v} \quad I_{B_{\max}} = 50 \text{ mA}$$

$$P_{c_{\max}} = 300 \text{ mw} .$$

Pour protéger le transistor d'une surtension, nous plaçons en parallèle avec le relais la diode D_{13} de type 1N 4148 .

L'indicateur lumineux est réalisé à l'aide de la LED H_2 de type VQA 13 branchée entre + 15v et le collecteur du transistor T_{10} .

Pour limiter le courant traversant la LED H_2 nous plaçons la résistance R_{28} de valeur $1,5 K\Omega \pm 5\%$.

- Le convertisseur " tension - courant " A_6

Ici $I_s \approx I_{B.T14} = \frac{U_e}{R_{29}}$ est indépendant de la

charge .

Le transistor T_{14} doit être choisi en fonction du courant de collecteur car $I_c = 100mA$.

Nous avons pris le B C 182 de type NPN ayant les caractéristiques suivantes :

$$U_{ecmax} = 50v \qquad I_{cmax} = 200 \text{ mA}$$

$$U_{BE_{max}} = 6v \qquad I_{B_{max}} = 50mA$$

$$P_{cmax} = 300mw .$$

PA1 et PA2 (appareils indicateurs) sont en série avec le collecteur de T_{14} .

Pour assurer la protection de PA1 et PA2 nous plaçons en parallèle avec chacun d'eux une diode (D_{11} et D_{12}) de type 1N4148.

Si nous prenons I_s de A_6 tel que :

$$I_s \leq 5mA \Rightarrow R_{29} \geq \frac{U_e}{I_s} = \frac{10}{0,005} = 2K\Omega$$

Ici U_e (tension d'entrée du convertisseur ou tension de sortie du démodulateur) 10v

On prend $R_{29} = 2,2K\Omega \pm 5\%$

Note : pour protéger le bloc de mesure des parasites

Nous plaçons près des amplis opérationnels les condensateurs C_7 , C_9 , C_{11} et C_{12} de valeur $0,22 \mu\text{F}$.
pour un filtrage supplémentaire de la tension d'alimentation + 15v
nous plaçons les condensateurs C_5 et C_6 de $100 \mu\text{F} / 25\text{v}$.

- C H A P I T R E IV -

- REALISATION -

Notre but n'était pas de réaliser un appareil directement exploitable mais seulement une maquette d'études nous permettant de faire des essais .

Notons que la maquette proposée est la reproduction fidèle du schéma . Les différents éléments de celle-ci se trouvent en annexe ainsi que les différentes pièces mécaniques susceptibles d'être utilisées pour une production .

Diverses étapes :

- fabrication et assemblage des pièces formant le capteur
- réalisation du circuit imprimé du bloc de mesure.
- réalisation du circuit imprimé du bloc d'alimentation.
- réalisation du transformateur à ferrite .
- montage et connexions des composants.

Notons que le transformateur secteur n'a pas été bobiné mais acheté .

5.1. Introduction: le but de ce chapitre est d'exprimer la réalisation et rechercher les différentes erreurs dues à certaines conditions d'utilisation de notre appareil.

5.2. Materiel utilisé .

1. auto transformateur
2. multimètre Numerique PHILIPS
3. thermomètre à mercure
4. balance de precision 0,5 %
5. four de laboratoire

5.3. Recherche de l'erreur principale de l'appareil

A l'aide de l'auto transformateur, on fixe la tension d'alimentation à 220v ; on mesure cette tension à l'aide du multimètre PHILIPS.

La temperature ambiante et la temperature de la solution étant constantes, on mesure ces 2 temperatures à l'aide du thermomètre à mercure.

Nous avons pris 9 mesures.

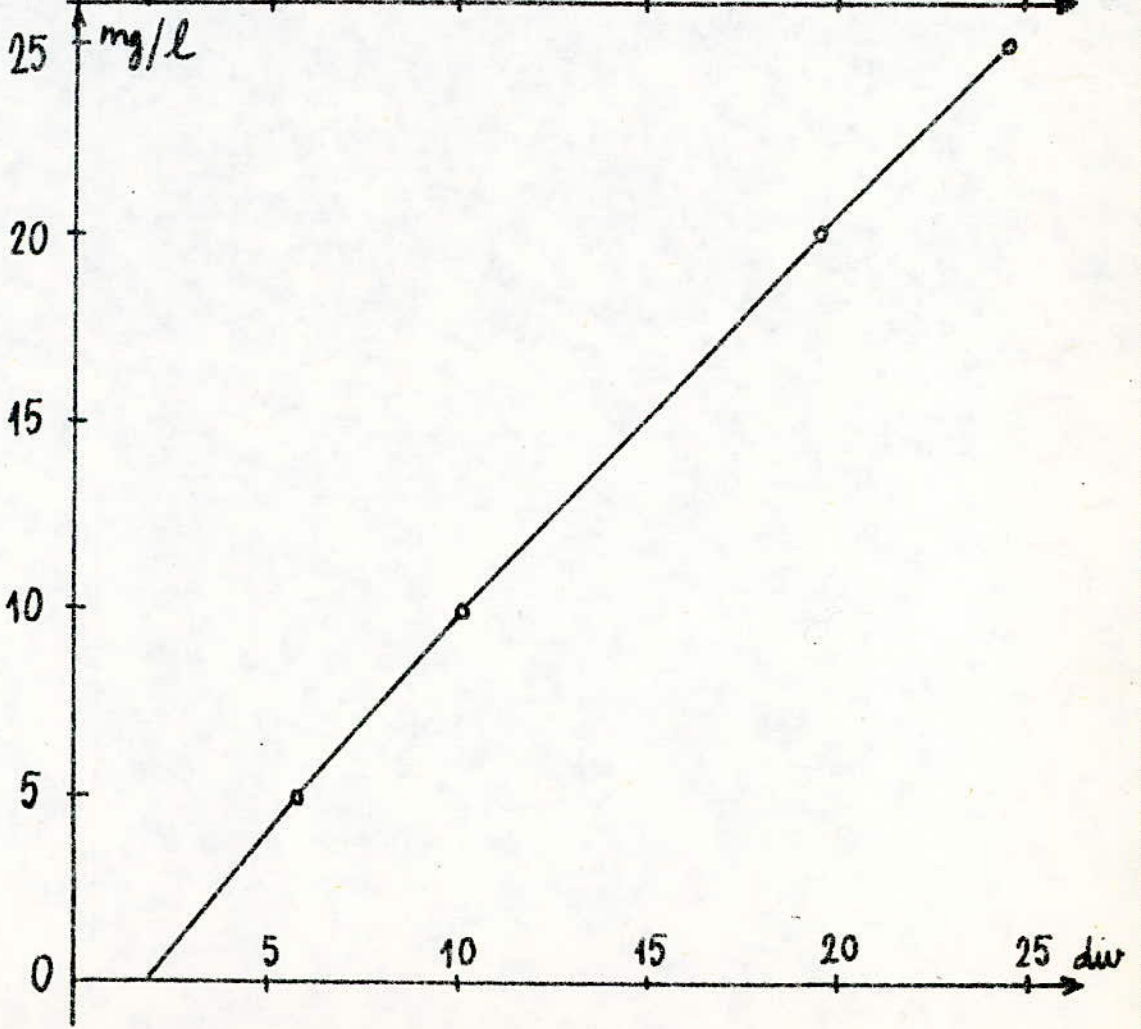
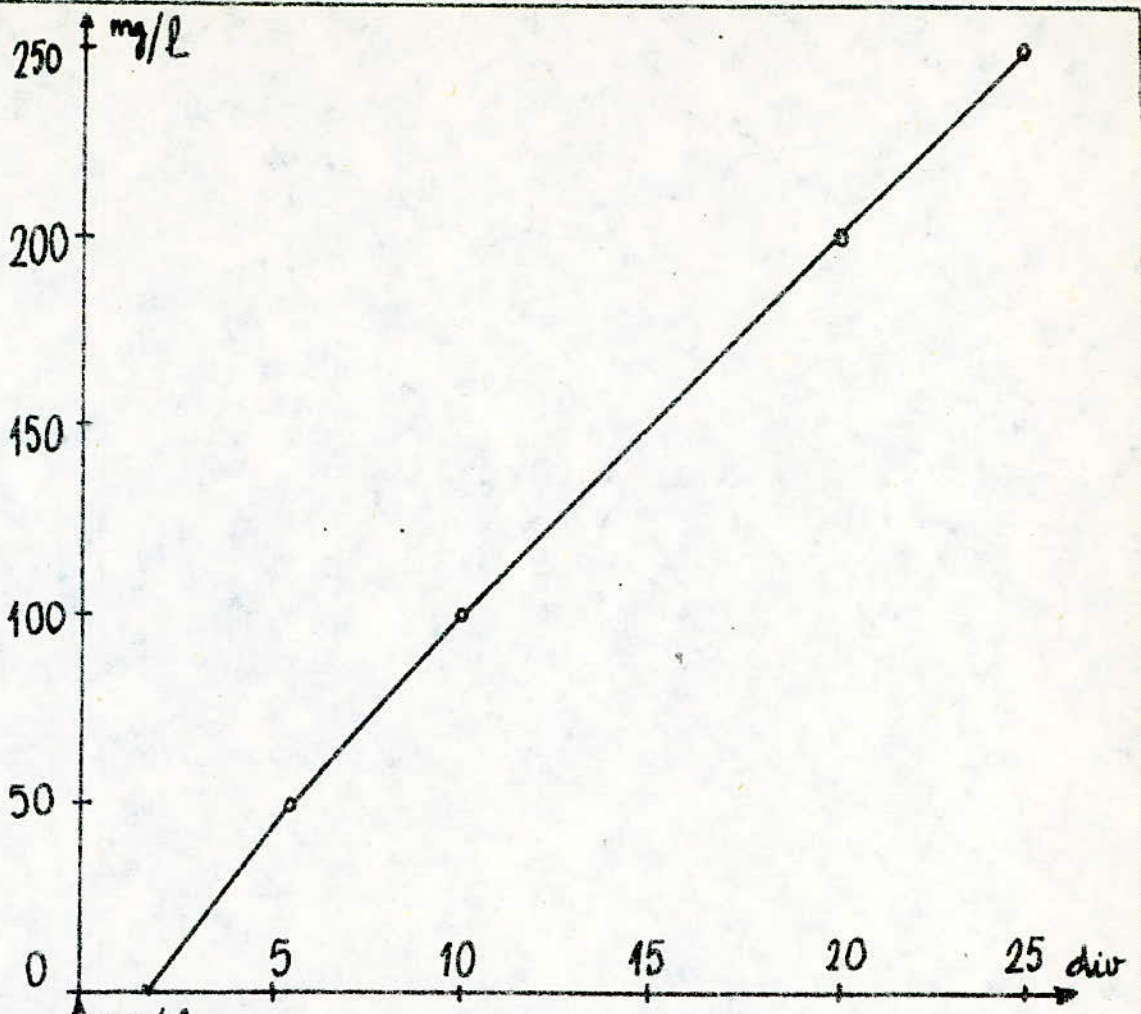
la première étant faite avec de l'eau distillée.

les autres étant faites avec différentes quantités de sel ajoutées à l'eau distillée; ces quantités sont préalablement pesées à l'aide de la balance .

Les resultats de notre experience sont données dans le tableau ci dessous .

Na cl (mg/l)	0	5	10	20	25	50	100	200	250
(nombre de divisions)	1,8	5,8	10,2	19,6	24,5	5,6	10	20	24,9

ci-après la figure donnant la courbe de graduation de notre appareil .



Ces resultats nous permettent de faire les conclusions suivantes.

1. En l'absence de sel dans la solution, la valeur donnée par l'appareil n'est pas nulle; ceci est dû au fait que l'eau distillée n'est pas un isolant parfait; nous avons mesuré la resistance entre les 2 électrodes plongées dans l'eau distillée, la resistance n'est pas infinie mais elle est de l'ordre de 20 K Ω .

Nous remarquons que lorsque le capteur est en l'air (électrodes non plongées dans la solution) l'appareil indique une valeur nulle .

2. Pour rechercher l'erreur principale on utilise la concentration maximale qui est de 250 mg/l, pour cette valeur nous avons la deviation maximale de l'appareil.

3; En utilisant le graphe de graduation , nous trouvons l'erreur principale comprise entre - 1 % et + 1 % .

5.4. Recherche de l'erreur produite par la variation de tension de secteur : ± 25 V.

Condition de mesure .

Temperature ambiante et temperature de la solution constantes on fait varier à l'aide du transformateur la tension de secteur : on fixe une tension égale à 220 v + 25% (275v) et une tension 220 v - 25 % (165 V).

Nous mesurons à l'aide du multimètre PHILIPS la valeur de la tension continue à la sortie du bloc d'alimentation cette valeur est constante dans la plage de tension 165V \div 275 V de secteur et elle est égale à 14,55V.

La variation de la tension de secteur n'engendre pas d'erreur

5.5 Recherche de l'erreur due à la variation de la temperature de la solution.

l'experience est faite de la manière suivante .

Nous utilisons une solution de concentration de sel de 250mg/l

Nous chauffons la solution jusqu'à la temperature de 90° C.

Nous prenons les mesures pendant que la solution se refroidit .

Afin de vérifier l'efficacité de la compensation thermique

Nous regardons la variation de tension à la sortie de l'amplificateur de tension alternative .

Nous mesurons la tension tous les deux degrés dans une plage de température de $80^{\circ}\text{C} \div 25^{\circ}\text{C}$.

Tableau de mesures :

$t^{\circ}\text{C}$	80	78	76	74	72	70	68	66	64	62
$U_s(\text{V})$	0,403	0,401	0,399	0,398	0,397	0,396	0,396	0,395	0,395	0,395

60	58	56	54	52	50	48	46	44	42
0,394	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,393	0,394	0,394	0,395

40	38	36	34	32	30	28	25
0,395	0,395	0,395	0,396	0,396	0,397	0,398	0,398

l'erreur relative est égale à :

$$\delta_r = \frac{\Delta X}{U_{s_{\max}}} \cdot 100 \%$$

ΔX = erreur absolue

$U_{s_{\max}}$ = tension maximale mesurée

dans la plage de température $40 \div 60^{\circ}\text{C}$ nous avons .

$$\Delta X = 0,001\text{V} .$$

$$U_{s_{\max}} = 0,398\text{V} .$$

$$\delta_r = \frac{0,001}{0,398} \cdot 100 = 0,25\%$$

dans la plage de température $40 \div 80^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta X = 0,008\text{V} .$$

$$U_{s_{\max}} = 0,403\text{V} .$$

$$\delta_r = \frac{0,008}{0,403} \cdot 100 = 1,9 \%$$

5.6 Recherche de l'erreur due à la variation de la température ambiante .

Cette experience se fait lorsque l'appareil(sans capteur) est placé préalablement à une temperature ambiante de 60°C.

Lorsque la temperature ambiante baisse progressivement nous effectuons nos relevés dans la plage de temperature allant de 50°C — 25°C., nous trouvons que la difference de l'indication de l'appareil entre 50°C et 25°C est de 0,1 division qui engendre une erreur de 0,5% , d'ue à l'instabilité des paramètres des éléments électroniques

5.7. Conclusion :

- l'erreur principale est égale à 1%
- les erreurs supplémentaires sont :
 - variation de temperature : 2%
 - variation de tension de secteur: 0%
 - variation des paramètres des élément électroniques: 0,5 %

En supposant que l'appareil travaille dans de mauvaises conditions:

- variation de la tension de secteur $\pm 25V$
- temperature maximale ambiante et temperature de la solution 50°C.

Dans ce cas l'erreur maximale serait

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= \sqrt{\delta_p^2 + \delta_{t_c}^2 + \delta_{\text{secteur}}^2 + \delta_{t^\circ: \text{ ambiante}}^2} \\ &= \sqrt{1^2 + 2^2 + 1^2} = 2,45 \% . \end{aligned}$$

- C H A P I T R E VI -

- CONCLUSIONS -

Notre travail a consisté à :

- rechercher des documents traitant des différentes méthodes et divers appareils mesurant la concentration de sel dans l'eau .
- Choisir la méthode, proposer un schéma basé sur cette dernière et calculer les différents éléments .
- réaliser une maquette qui a servi aux essais donnant les caractéristiques de l'appareil .

En conclusion nous pouvons dire que :

- l'appareil réalisé possède des qualités satisfaisantes
- les éléments utilisés sont courants .
- le schéma permet un réglage et un dépannage aisés de l'appareil .
- la réalisation se prête à diverses utilisations et éviterait ainsi l'importation d'un même type d'appareil.

Nous conseillons pour un éventuel perfectionnement de l'appareil , l'utilisation d'un indicateur digital nécessitant l'emploi d'un convertisseur analogique - numérique .

ANNEXE

Schémas		
N°	Nature	reference
1	2	3
1.	1. Bloc d'alimentation .	
	1.1. Introduction	
	1.2. Principe de fonctionnement	
	1.3. réglage ,utilisation et dépannage	
2.	2. Bloc de mesure.	
	2.1. Introduction	
	2.2. Principe de fonctionnement	
	2.3.réglage,utilisation et dépannage.	
3.	Châssis - montage	02.00.00
4.	Semelle	02.00.01
5.	Semelle	02.00.02
6.	Charnière	02.00.03
7.	Bague	02.00.04
8.	Etrier de fixation	02.00.06
9.	Etrier de fixation	02.00.07
10.	Plaque de devant	02.00.08
11.	Radiateur	02.01.00
12.	Transformateur à ferrite	02.02.00
13.	Bobine	02.02.01
14.	Transformateur d'alimentation	02.04.01
15.	Bobine	02.04.02
16.	Boulon	02.04.03
17.	Plaque	02.04.04
18.	Noyau de fer laminé	02.04.05
19.	Bloc d'alimentation Schéma	02.05.00
20.	C.I. 1 a	02.05.00

.../...

21	C.I. 1 b	02.05.00
22	Bloc de mesure.Schéma	02.06.00
23	C.I. 2 a	02.06.00
24	C.I. 2 b	02.06.00
25	Capteur	02.07.00
26	Electrodes	02.07.01
27	Bague	02.07.02
28	Bague	02.07.03
29	Corps	02.07.04
30	Collier	02.07.05
31	Rondelle	02.07.06
32	Joint	02.07.07
33	cache	02.07.08
34	Schéma de montage	02.08.00

1. BLOC. D'ALIMENTATION .

1.1. Introduction

Le bloc d'alimentation comprend un transformateur d'alimentation 02 04 00 , un circuit imprimé d'alimentation 02. 05.00, des éléments extérieurs (fusibles, LED, interrupteur), donnés par les positions sur le schéma du châssis montage 02. 00. 00.

Le bloc d'alimentation est destiné à fournir les tensions suivantes

+ 15V \pm 10 % - Stable en température -

- 15V \pm 10 %

Une tension rectangulaire de 1KHZ, d'amplitude 0,75V à 1,5V ; cette amplitude doit être stable dans le temps .

1.2 Principe de fonctionnement .

A l'aide de l'interrupteur S_1 , la tension de secteur 220V est appliquée au primaire du transformateur d'alimentation (présence d'un fusible de protection); Après le fusible se trouvent une Résistance R_1 , une diode D_1 et une LED H_1 indiquant l'état de marche de l'appareil.

La tension du secondaire du transformateur d'alimentation est appliquée au circuit imprimé d'alimentation 02.05.00. qui la redresse à l'aide du circuit intégré A_7 (A_7 étant un pont de **Grats** .

La tension continue après A_7 est filtrée à l'aide d'un condensateur C_1 et ensuite appliquée à un circuit intégré A_1 (A_1 étant un stabilisateur précis A 723).

Le circuit imprimé A_1 assure une tension stable de valeur nominale + 14,6 V . Cette tension alimente l'ampli opérationnel se trouvant dans le bloc de mesure et le convertisseur.

Courant continu - courant alternatif réalisé par les transistors T_3 et T_4 et le transformateur T_{R_2} 02.02.00.

La précision de l'appareil dépend de la stabilité de la tension de + 15 V et de la tension rectangulaire alimentant le capteur; Pour cela, on utilise le stabilisateur précis A_1 (protégé contre les court-circuits) et la stabilisation en température du convertisseur CC -CA assurée par la thermistance R_9 .

A l'aide de l'enroulement supplémentaire N_4 du transformateur T_{R_2} du circuit intégré A_8 (pont de Graetz) et du stabilisateur paramétrique R_8 , D_5 , on obtient la tension continue - 15V pour alimenter l'ampli opérationnel.

1-3 Utilisation, règlage et dépannage.

1.3.1. Reglage

Le réglage du bloc d'alimentation consiste à rendre égaux les coefficients des tensions de base des transistors T_3 et T_4 .

1.3.2. Verifications avant utilisation.

- 1- Bloc d'alimentation déconnecté
- 2- Verication des éléments
- 3- Branchement de la tension secteur.
- 4- Verifaction de la L.E.D tension H_1 (LED allumée=marche)
- 5- A l'aide d'un multimètre de 20 K /V, on mesure les tensions des bornes 7 et 8 par rapport à la bornes 4.

Ces tensions étant respectivement + 14,3V \pm 0,5V et -15V \pm 0,75V.

6- A l'aide d'un oscilloscope on mesure l'amplitude des impulsions entre les bornes 5 et 6, l'amplitude devant être, entre 0,75V et 1,5V.

1.3.3. Entretien du bloc d'alimentation.

Il faut s'assurer de l'état de marche de la LED tension H_1 . Avant un remplacement de H_1 , on est tenu de vérifier la diode D_1 .

Il faut toujours utiliser des fusibles de même courant nominal.

PANNES .	Causes éventuelles	Depannage .
H ₁ éteinte	Redresseur ou H ₁	Changer le redresseur Verifier H ₁
tension supérieure à + 15V sur la borne 7 .	T ₂ A ₁	Changer T ₂ Changer A ₁
tension inférieure à + 13V sur la borne 7.	Convertisseur CC - CA	Verifier T ₃ et T ₄

1.3.4. Précautions d'emploi

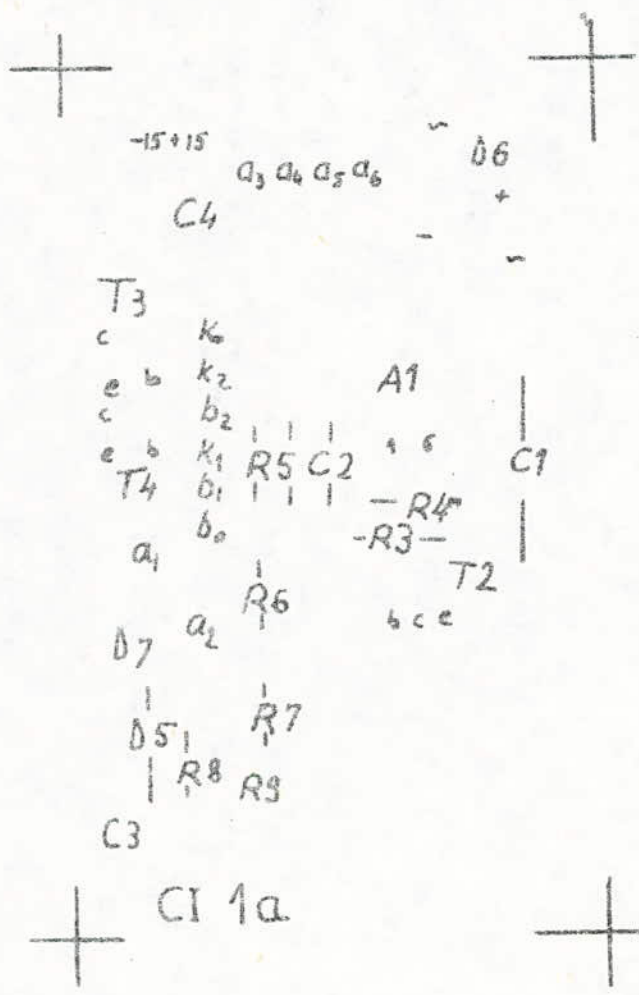
Les différentes interventions faites sur le bloc d'alimentation doivent être assurées par des personnes connaissant les normes de sécurité relatives aux tensions allant jusqu'à 1000V .

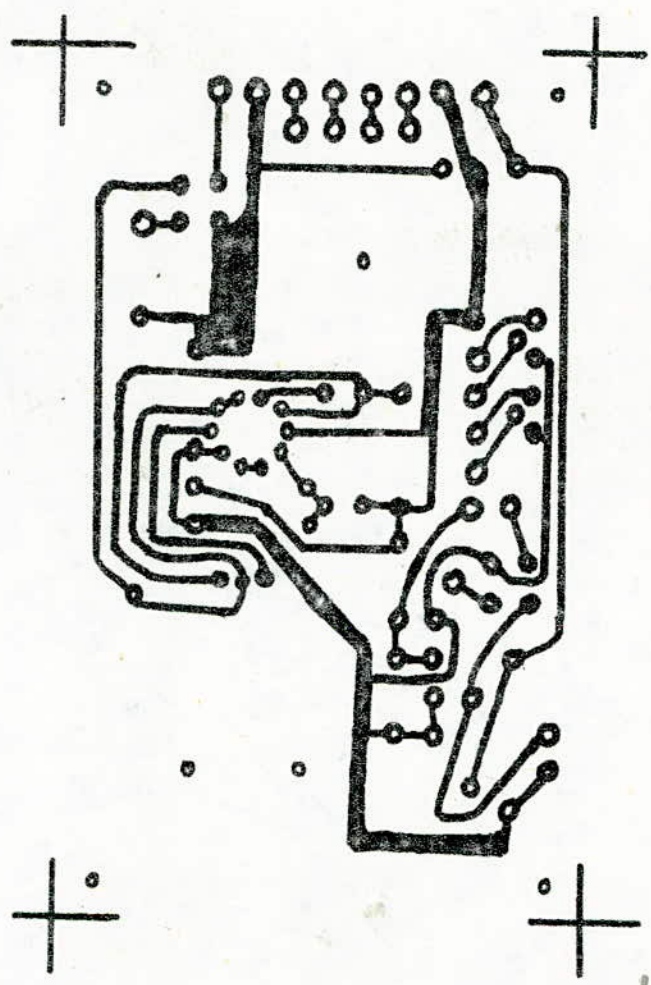
Note 1 : Les précautions ci dessus ne sont pas nécessaires lorsque l'alimentation est assurée par une batterie .

Dans ce cas le transformateur T₁ n'est pas utilisé, les bornes de N₁ et N₂ devront être court-circuitées séparément et mettre à la place de R₁ une résistance de 2 KΩ - 0,5 W-

Note 2 : Un débranchement automatique de la tension secteur 220V se fait lorsqu'on enlève le cache de l'appareil, c'est pourquoi lorsqu'on effectue des réglages ou des dépannages, il est nécessaire de mettre l'appareil sous tension à l'aide de l'interrupteur S₄.

Lorsque les interventions sont terminées, il ne faut pas oublier d'inverser S₄.





C11b

N°	reference	Nature	quantité	Matériau
1	D ₁	Diode	1	2D5604
2	T ₂	Transistor	1	BD 139
3	T ₃ , T ₄	Transistor	2	2T 6551
4	H ₁	LED	1	V QA 13
5	A ₇ , A ₈	Circuit intégré	2	1 PM
6	A ₁	Circuit intégré	1	u A723
7	D ₅	Diode Zener 15V	1	PL.15V
8	R ₁	Résistance 12K Ω \pm 5%/2W	1	
9	R ₃ , R ₄	Résistance 2K Ω \pm 1%/0,25W	2	
10	R ₅	Résistance bobinée 2,2 Ω \pm 5%	1	
11	R ₆ , R ₇	Résistance 2K Ω \pm 5%/0,125W	2	
12	R ₈	Résistance 470 Ω \pm 5%/0,25W	1	
13	R ₉	Thermistance	1	TPH-82
14	C ₁	Condensateur chimique 500 μ F/15V	1	
15	C ₂	Condensateur chimique 100PF \pm 10%/63V	1	
16	C ₃	Condensateur chimique 100 μ F/16V	1	
17	C ₄	Condensateur chimique 100 μ F/25V	1	

02.01.00

bloc d'alimentation, Schéma

2. BLOC. de MESURE.

2. 1. Introduction .

Dans le bloc de mesure se trouvent un circuit imprimé 02.06.00. un capteur 02.07.00 et certains éléments d'indication et de commutation disposés sur la plaque de devant 02.00.08.

Le bloc de mesure, le capteur et l'appareil de mesure électrique à aiguille forment un ensemble; le bloc de mesure assure une bonne compensation en température en fonction de la variation de la température de la solution et assure en outre les différents niveaux d'alarme; il donne la possibilité de travailler avec deux calibres et de faire le calibrage et le réglage.

2. 2. Principe de fonctionnement .

L'une des électrodes du capteur est reliée à l'alimentation 1,1 V 1000HZ issue du convertisseur C.C. - C.A , l'autre étant reliée à la borne inverseuse de l'ampli opérationnel A₂;

Ce dernier fait correspondre la conductivité à une tension alternative dont l'amplitude est une fonction linéaire de la concentration en sel de la solution .

l'interrupteur S₃ permet de choisir l'un des deux calibres possibles:

0-25mg/l ou 0-250mg/l.

le second ampli opérationnel A₃ et la thermistance R 10 se trouvant dans la boucle de contre réaction, assurent la compensation en température de la tension issue de A₂ .

la plage de compensation efficace est limitée par les valeurs des résistances R 15 et R 16 lorsque les paramètres de la thermistance sont constants .

La tension à la sortie de A₃ est détectée par un ampli opérationnel A₄; A l'entrée de A₄ , le commutateur S₂₂ permet d'injecter soit la tension issue de A₃ en régime "marche" soit la tension d'alimentation du capteur en régime "test".

Dans le dernier cas, nous avons les possibilités de calibrage et de réglage. La résistance R_{17} nous permet d'annuler une éventuelle déviation de l'aiguille pour la ramener sur la valeur de référence. A l'aide du commutateur S_{21} , le signal issu du détecteur est envoyé dans le convertisseur tension continue - courant continu réalisé avec l'amplification opérationnel A_6 et le transistor T_{14} . A la sortie du convertisseur se trouvent deux appareils de mesure électrique PA_1 et PA_2 (milliampermètres à aiguille) montés en série; toujours à la sortie du détecteur, est branchée l'entrée inverseuse de l'amplification opérationnel A_6 qui joue le rôle de comparateur.

Le niveau de **basculement** de ce comparateur peut être réglé à l'aide de la résistance ajustable R_{23} qui règle aussi le niveau d'alarme; Dans ce cas la tension de référence est envoyée à l'entrée du convertisseur "tension - courant" à l'aide du commutateur S_{21} .

A la sortie du comparateur se trouvent la LED H_2 et le relais K .

L'appareil travaillant en régime "marche", la LED assure l'indication lumineuse, le relais donne un signal supplémentaire lorsque la concentration a déjà atteint la valeur d'alarme.

2. 3. Précautions d'emploi

1. On branche l'alimentation :

en régime "marche" et lorsque le capteur n'est pas plongé dans la solution, l'affichage de l'appareil doit être **inférieur** à une demi division sur n'importe quel calibre.

2. le commutateur sélectionnant les régimes (N°7) doit être sur l'indication "Test"; l'aiguille de l'appareil doit se trouver sur le régime "Test" avec une déviation inférieure à plus ou moins un quart de division ($\pm 1/4$ de **division**)

Dans le cas contraire, il faut recalibrer l'appareil à l'aide du potentiomètre "Test" (N°25).

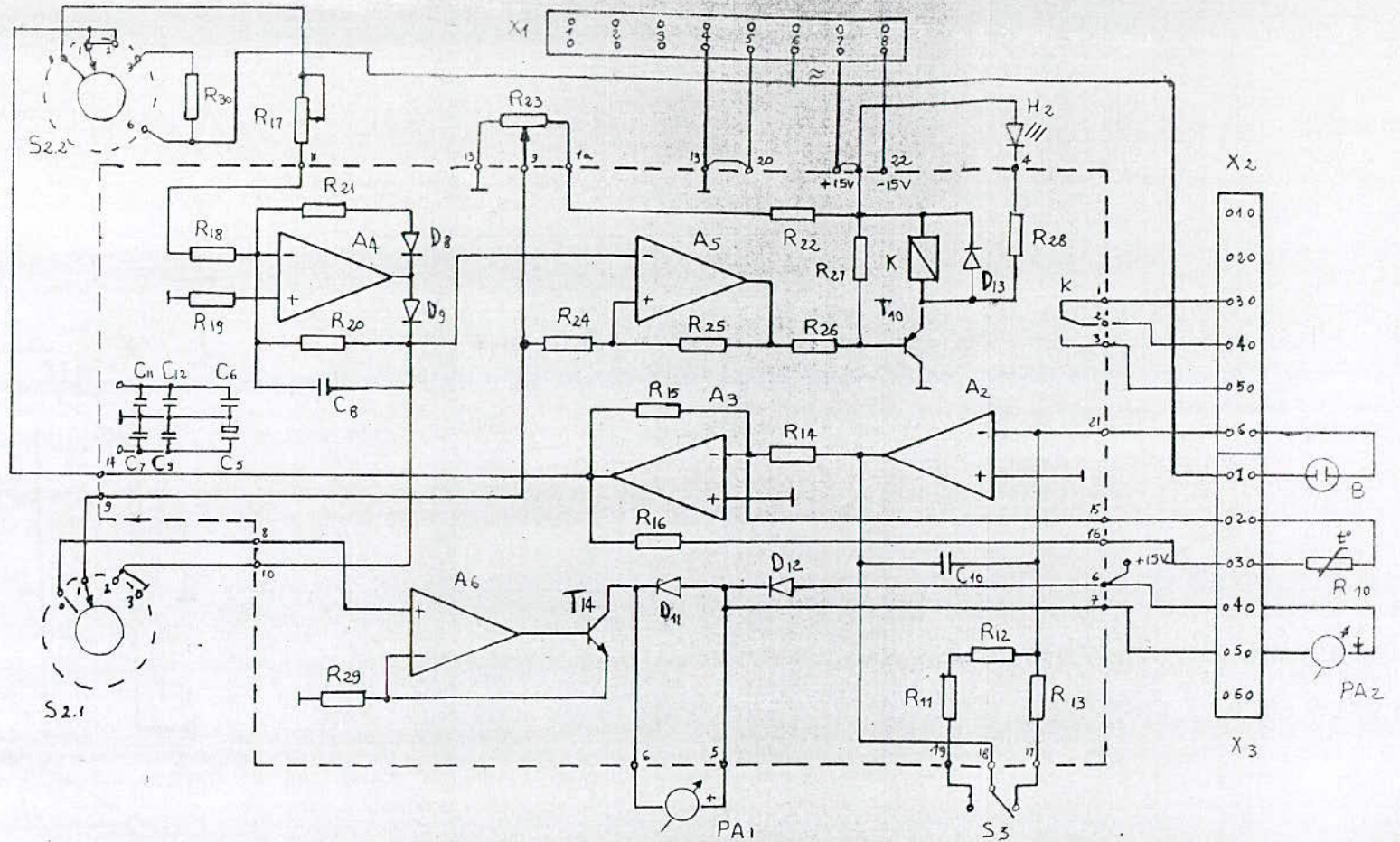
3. En position "alarme" du commutateur S_2 et en jouant sur le potentiomètre "alarme" (N°1), les différents niveaux d'alarme peuvent être choisis, dans ce cas on lit directement sur le cadran de l'appareil le niveau choisi selon le calibre sélectionné à l'aide de l'interrupteur S_3 (N°4).

2.4. Utilisation.

1. manipuler avec soin les organes de commande.
2. l'appareil doit être utilisé dans les conditions correspondant aux différents choix des selecteurs (surchage, test, réglage, marche)
3. Veiller à la propreté des électrodes (saleté, huile, detergents, réactifs, ...) et éviter leur déformation.

2.5 Dépannage

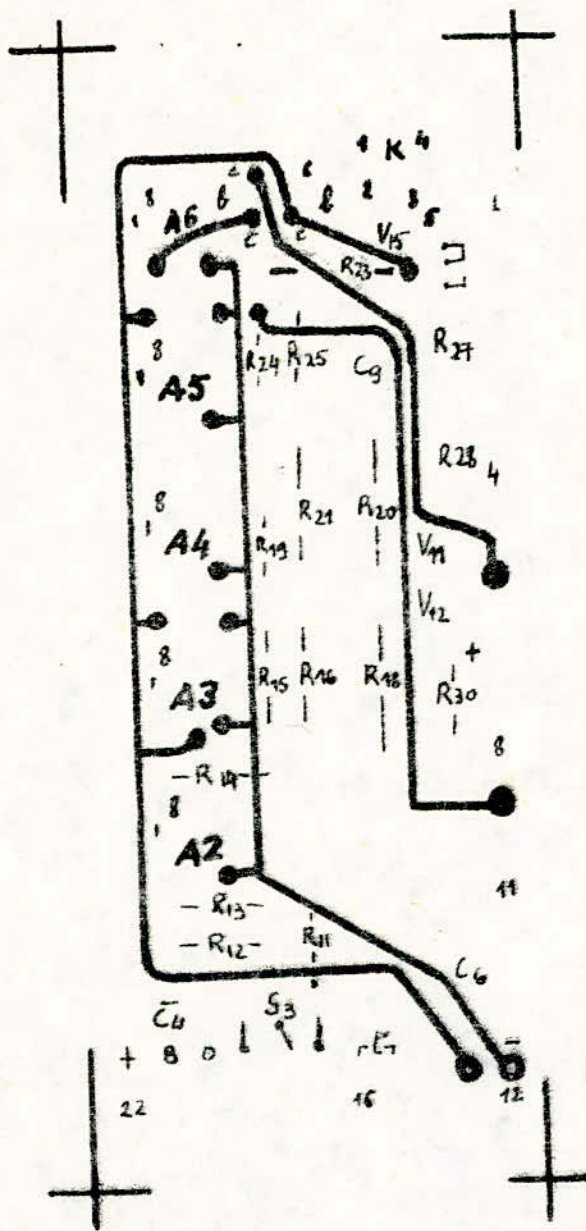
PANNES.	CAUSES éventuelles	Depannage
Dans les 3 regimes: aiguille déviée complètement à droite	Bloc d'alimentation (convertisseur C.C - C.A)	Voir tableau de depannage du bloc d'alimentation
En regime "marche" capteur plongé; indication nulle pour les 2 calibres.	- Cable de l'alimentation du capteur coupé - interrupteur S_2 .	réparer le câble changer l'interrupteur
Valeur d'alarme dépassée mais la LED H_2 éteinte.	- LED H_2 - Ampli opérationnel A_6	-Changer H_2 -Changer A_6



BLOC DE MESURE

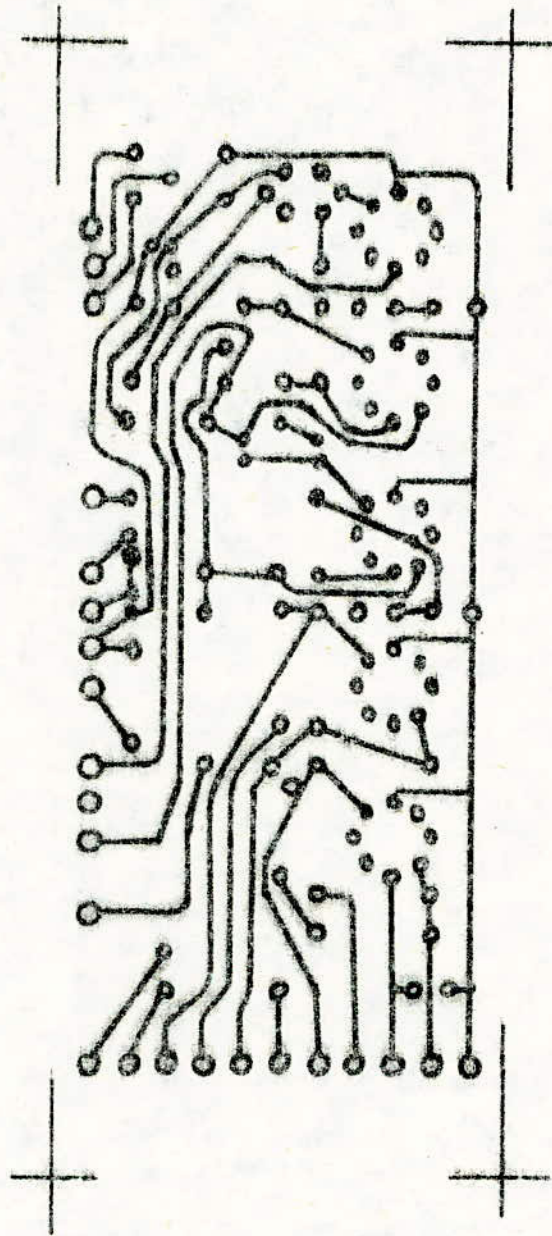
02.06.00

C12a



CI2a

CI 2 b



N°	reference	Nature	quantité	Matériau
1	A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅ , A ₆	Circuit intégré	5	μA74I
2	D ₈ , D ₉ , D ₁₁ , D ₁₂ , D ₁₃	Diode	5	2D5604
3	R ₁₁	Résistance 1K Ω ± 1%/0,25W	1	
4	R ₁₃	Resistance 10K Ω ± 1%/0,25W	1	
5	R ₂₂ , R ₁₆	Résistance 5K Ω ± 1%/0,25W	2	
6	R ₁₅	Résistance 560 Ω ± 1%/0,25W	1	
7	R ₁₈	Résistance 6,2K Ω ± 1%/0,25W	1	
8	R ₁₉ , R ₂₆ , R ₂₇	Résistance 4,7K Ω ± 5%/0,25W	3	
9	R ₂₀	Resistance 20K Ω ± 1%/0,25W	1	
10	R ₂₁	Resistance 20K Ω ± 5%/0,25W	1	
11	R ₂₄	Resistance 1K Ω ± 5%/0,25W	1	
12	R ₁₄	Resistance 10K Ω ± 5%/ 1W	1	
13	R ₂₅	Resistance 2 M Ω ± 5%/0,25W	1	
14	R ₂₈	Resistance 1,5K Ω ± 5%/0,25W	1	
15	K	Relais	1	PEC-10
16	R ₁₀	Thermistance	1	CT3-19
17	C ₈	Condensateur chimique 1 μ F/63V	1	
18	C ₁₀	Condensateur chimique 220/pF/63V	1	
19	C ₅ , C ₆	Condensateur chimique 100 μ F/25V	2	
20	C ₇ , C ₉ , C ₁₁ , C ₁₂	Condensateur polyester 0,22 μ F/63V	4	

02.06.00

Bloc de mesure .Schema.

Transformateur d'alimentation

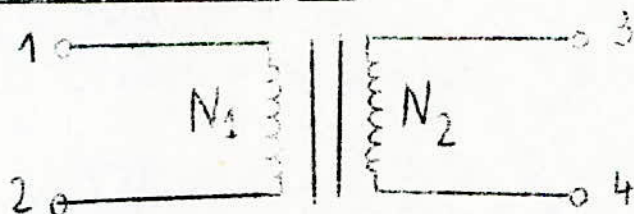
Conditions techniques

1. Introduction

Le transformateur d'alimentation est un élément de redresseur biphasé réalisé par pont de GRAETZ .

2. Conditions techniques

2.1. Schéma électrique



2.2. Caractéristiques techniques

Puissance - $P_T = 3 \text{ W}$

Tension du secteur - $220\text{V}^+_{-15\%} / 50 \text{ HZ (60 HZ)}$

Courant à vide - $I_V = 20 \text{ mA}$

Courant de travail - $I_{tr} = 150 \text{ mA}$

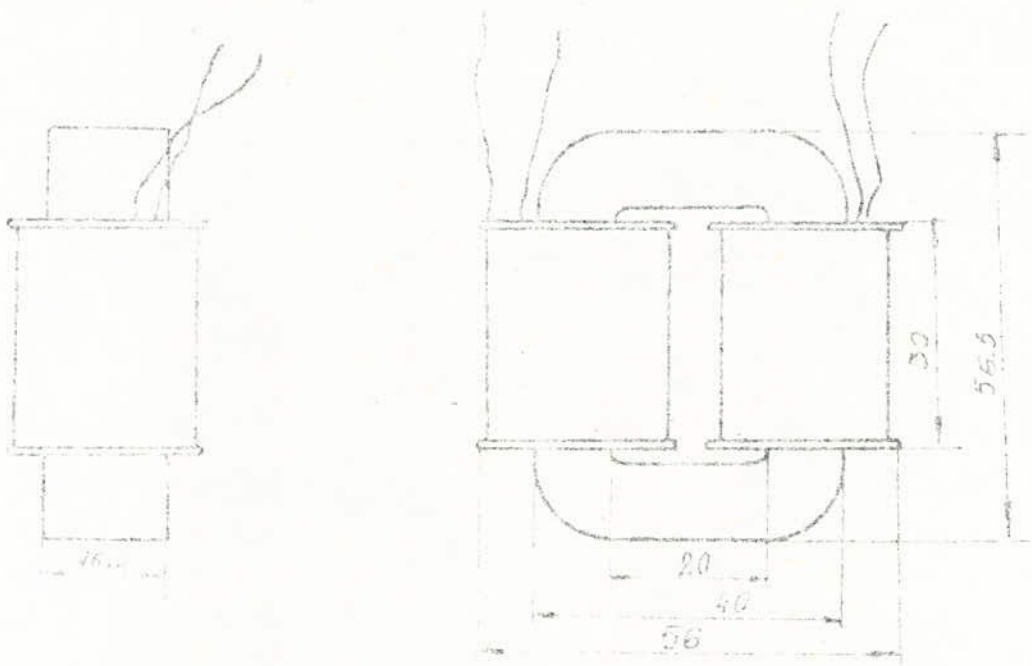
Résistance de claquage - $R_{cl.} = 20 \text{ M}$

Spires et fils: $N_1 = 1850 \text{ Spires } d_1 = 0,12 \text{ mm}$

$N_2 = 190 \text{ Spires } d_2 = 0,51 \text{ mm}$

2.3. Mesure de résistance de claquage .

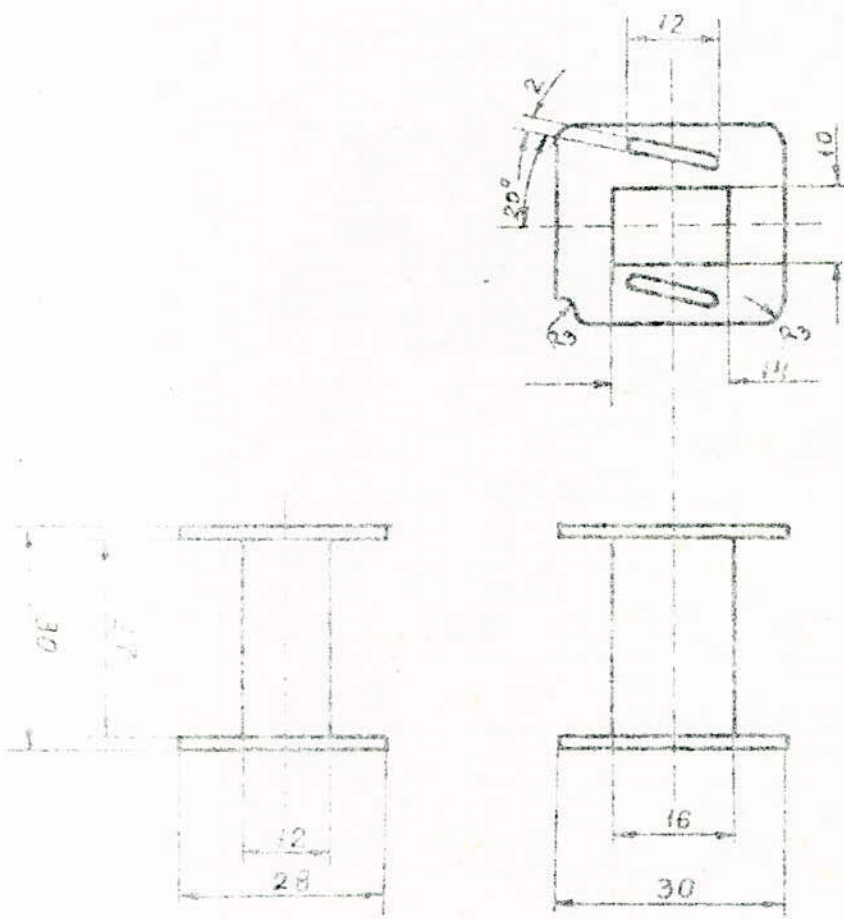
On mesure la résistance de claquage avec un mégohmmètre à magnéto 500V . Il faut contrôler la résistance entre le primaire et le corps et ensuite entre le secondaire et le corps .



TRANSFORMATEUR
D ALIMENTATION

02.04.01

échelle -1:1



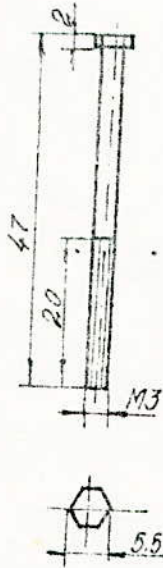
TRANSFORMATEUR

D ALIMENTATION
BOBINE

PVC

02.04.02

échelle - 1:1



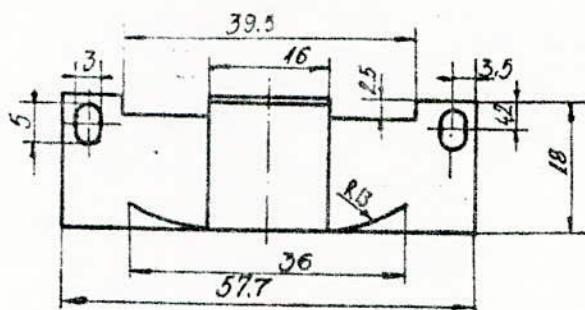
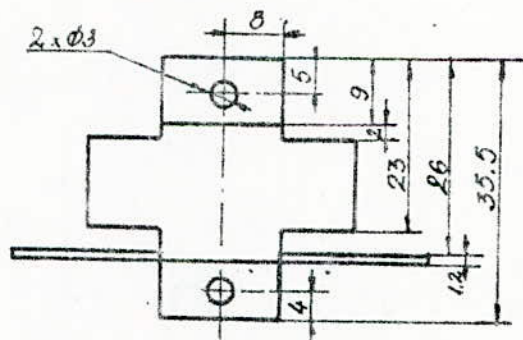
revêtement
de cadmium

BOULON

02.04.03

échelle -1:1

laiton



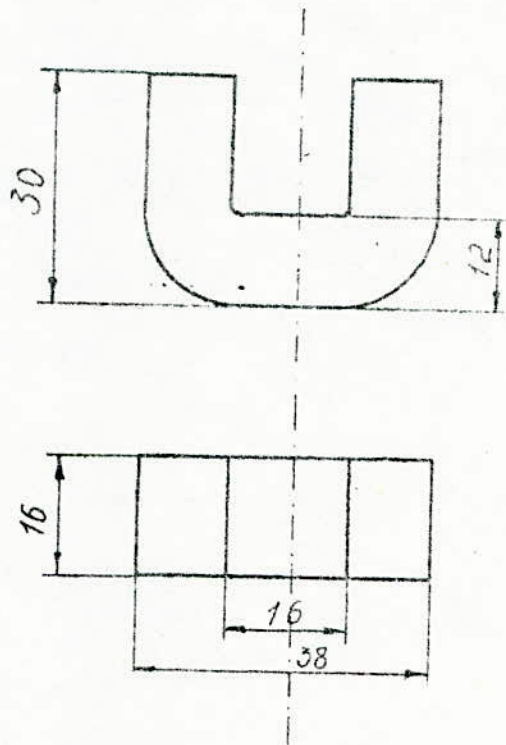
revêtement
de
cadmium

PLAQUE

02.04.04

échelle -1:1

acier



NOYAU DE FER
LAMINE

02.04.05

échelle-1:1

fer laminé

Transformateur à ferrite

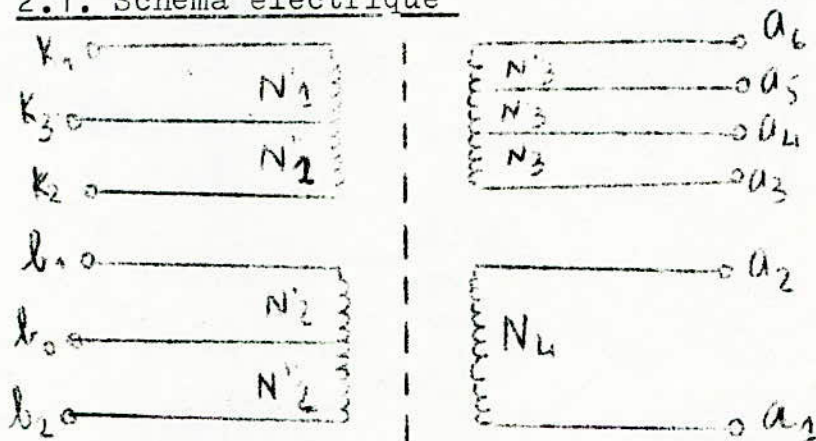
Conditions techniques

I. Introduction

Le transformateur à ferrite est un élément de convertisseur "C.C. - C.A."

2. Conditions techniques

2.1. Schéma électrique



2.2. Caractéristiques techniques

Tension d'alimentation : $14,3V \pm 0,6V$ continue

Tension des sorties : $V_{N_4} = 20V$ eff .

$V_{N_3}'' = 1,5V_{\text{eff}}$; $V_{N_3}' = 1,1V_{\text{eff}}$; $V_{N_3} = 0,75V_{\text{eff}}$

Courant de travail - $I_{N_4} = 20\text{mA}$; $I_{N_3} = 2\text{mA}$

Spires et fils :

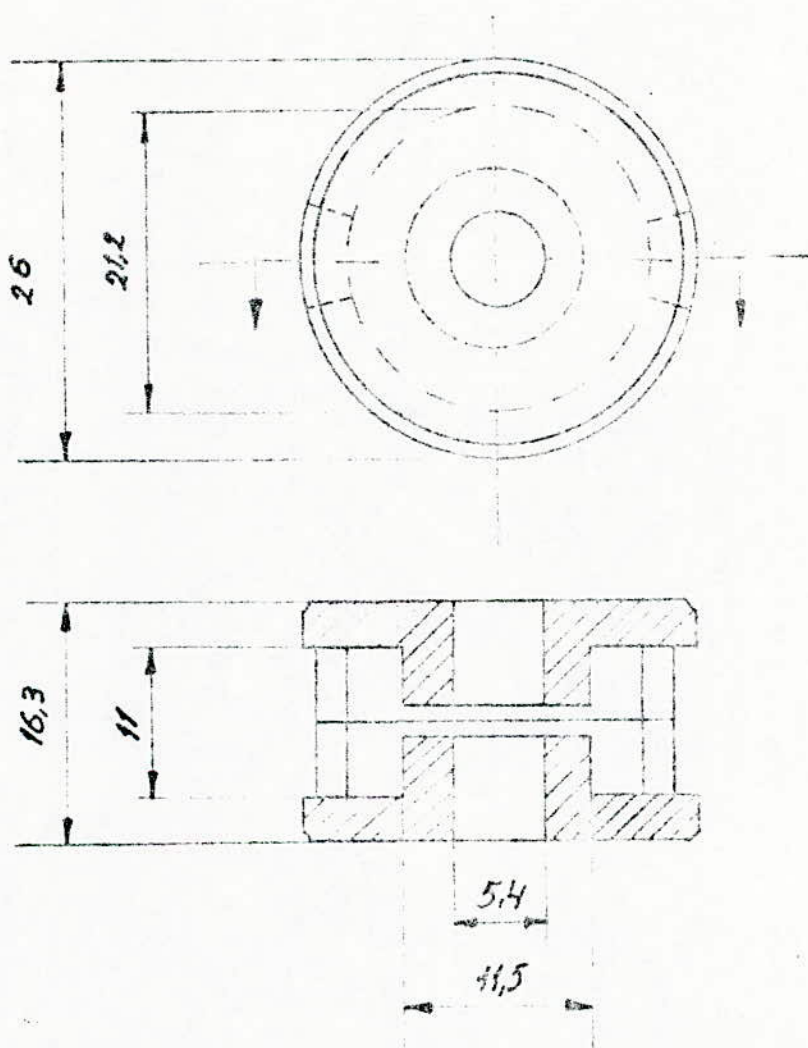
$N_1' = N_1'' = 120$ Spires - $d_1' = d_1'' = 0,18\text{mm}$

$N_2' = N_2'' = 30$ Spires - $d_2' = d_2'' = 0,07\text{mm}$

$N_3 = 6$ Spires . - $d_3 = 0,25\text{mm}$

$N_3' = N_3'' = 3$ Spires. - $d_3' = d_3'' = 0,25\text{mm}$

$N_4 = 180$ Spires . - $d_4 = 0,14\text{mm}$

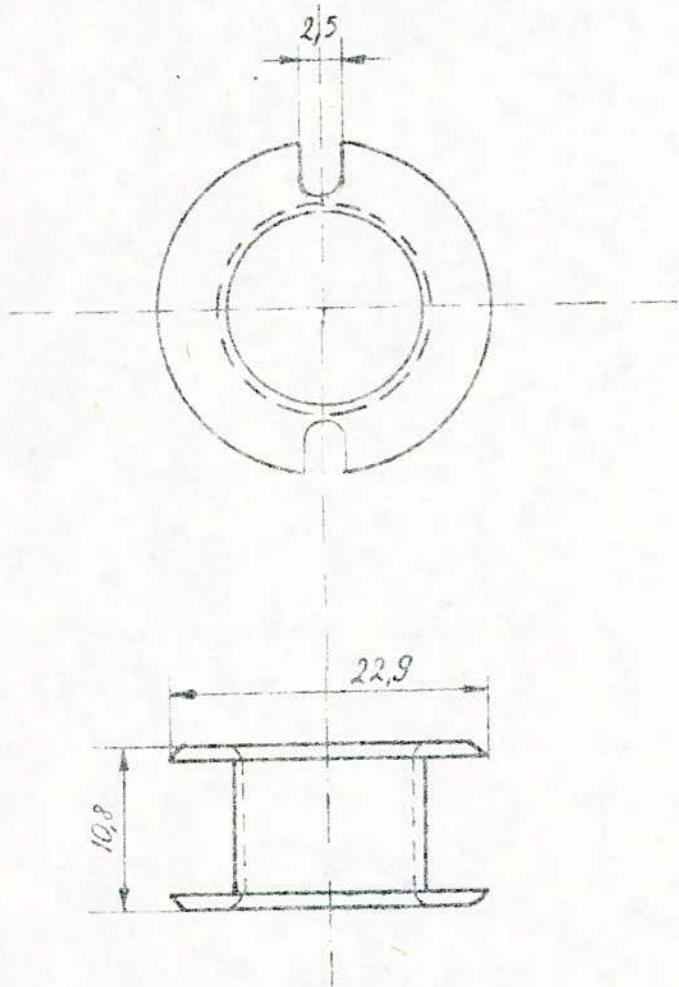


TRANSFORMATEUR
 A FERRITE
 CORPS

ferrite

02.02.00

échelle-2:1

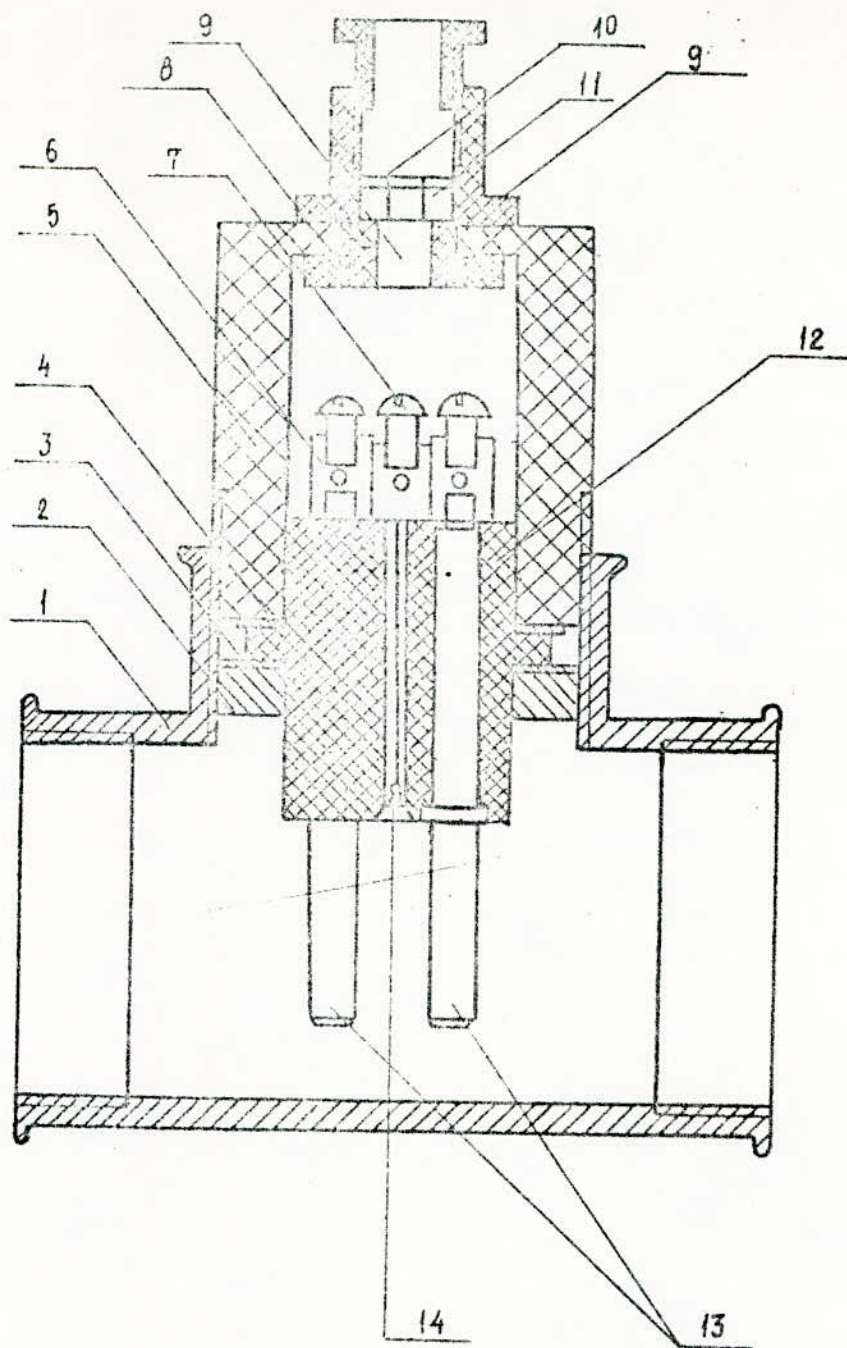


TRANSFORMATEUR
A.FERRITE
BOBINE

polystyrene

02.02.01

echelle : 1:1



CAPTEUR

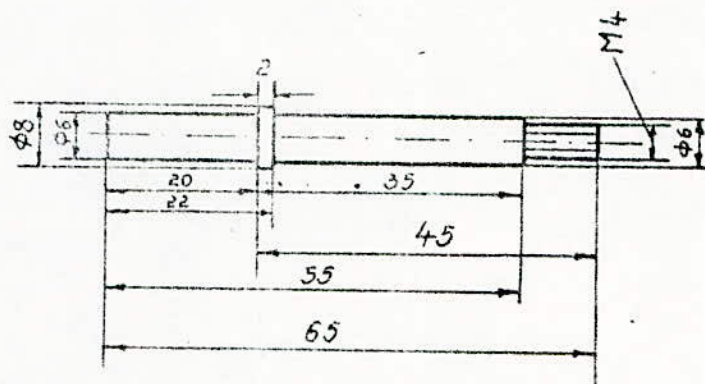
02.07.00

échelle - 1:1

N°	Nature	quantité	Matériau
1	Té de passage " 1/2"	1	
2	Ecrou	2	Laiton
3	Joint	1	Caoutchouc
4	Rondelle	1	Acier
5	Chapeau	1	Laiton
6	Borne	4	Laiton
7	Vis M 4X8	4	Acier
8	Ecrou	1	PVC
9	Manchon	1	PVC
10	Rondelle	1	Laiton
11	Joint	1	Caoutchouc
12	Corps	1	PVC
13	Electrodes	2	acier Cr -Ni
14	Thermistance	1	CT - 3 - 19

02.07.00

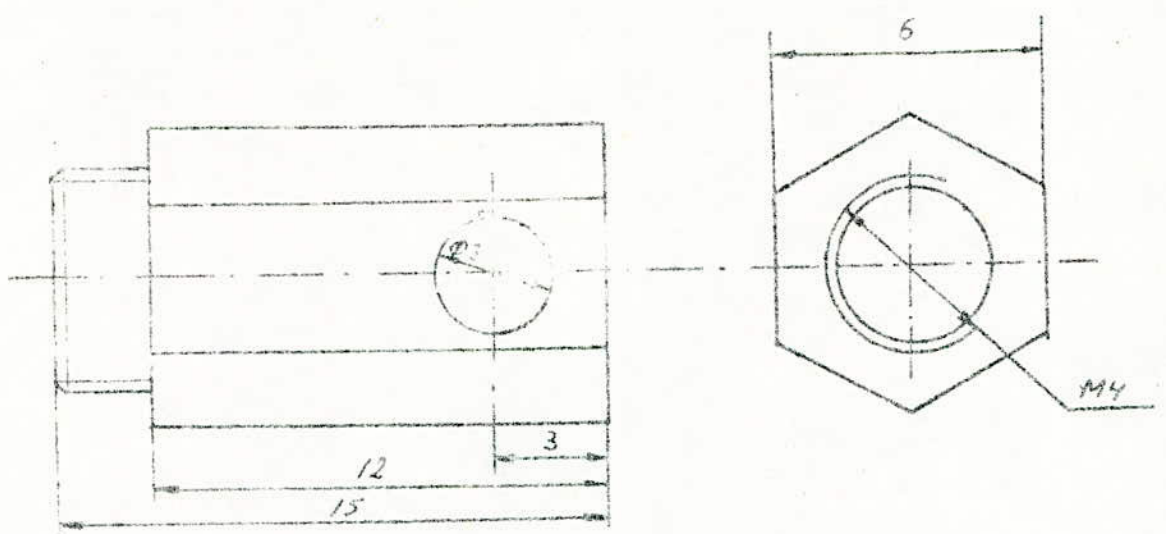
Capteur .



ELECTRODES

02.07.01

échelle -1:1

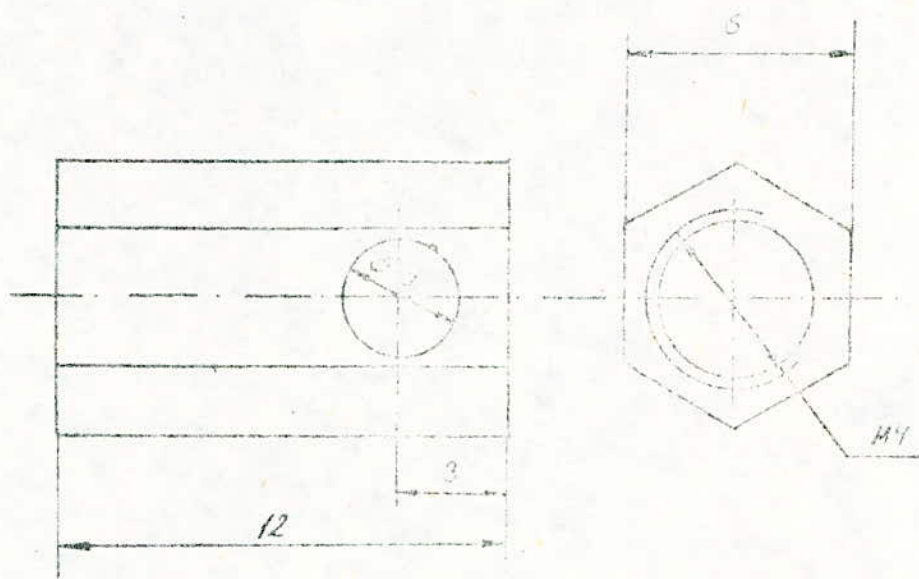


BAGUE

laiton

02.07.02

échelle - 5:1



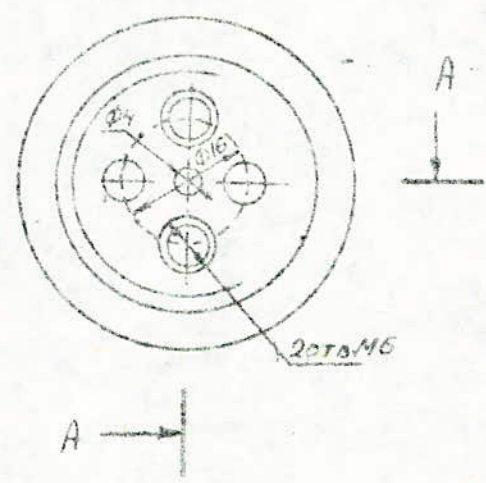
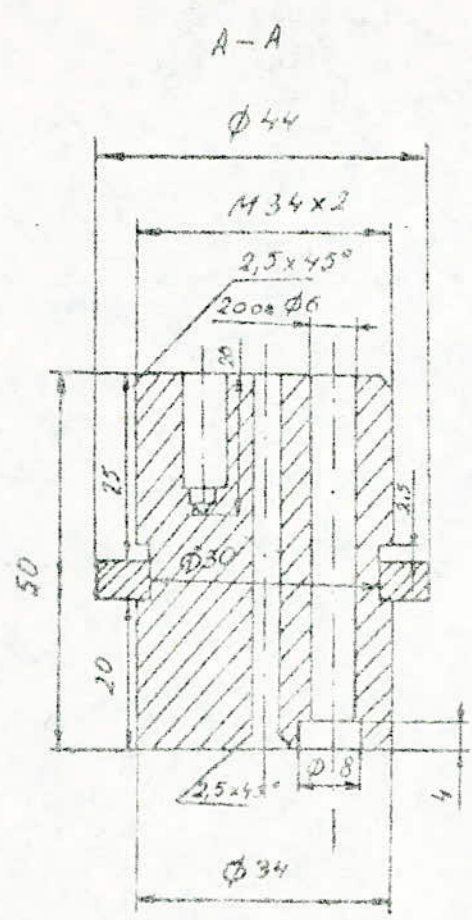
BAGUE

02.07.03

échelle - 5:1

laiton

23
V



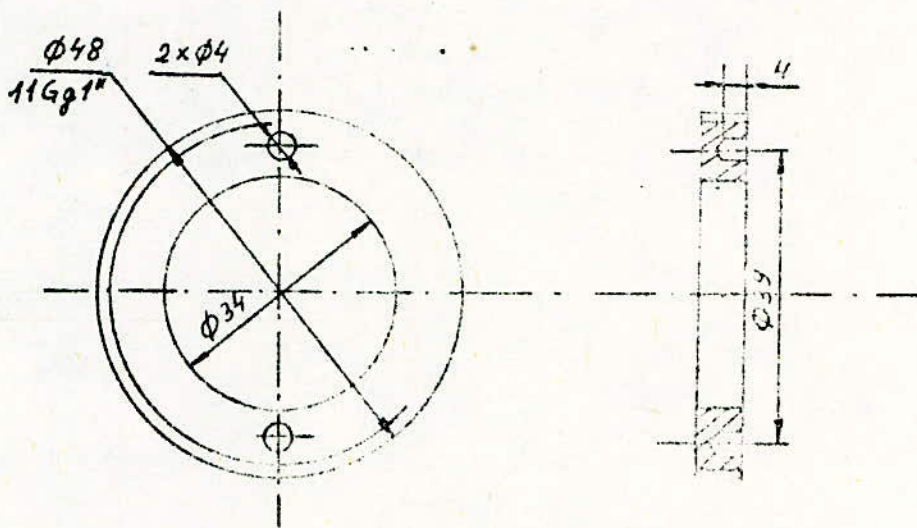
CORPS

02.07.04

échelle - 1:1

pvc

2,5
✓

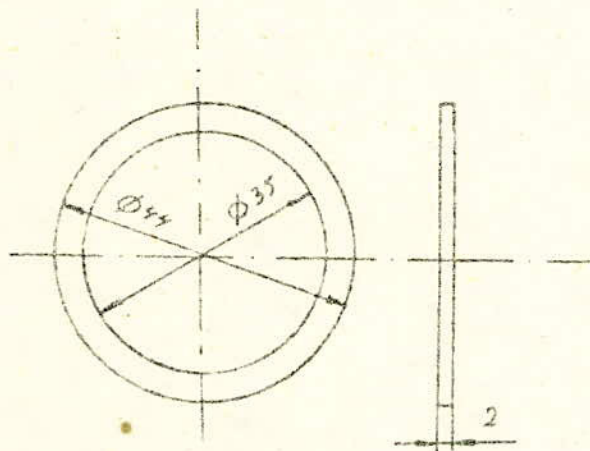


COLLIER

02.07.05

échelle - 1:1

laiton

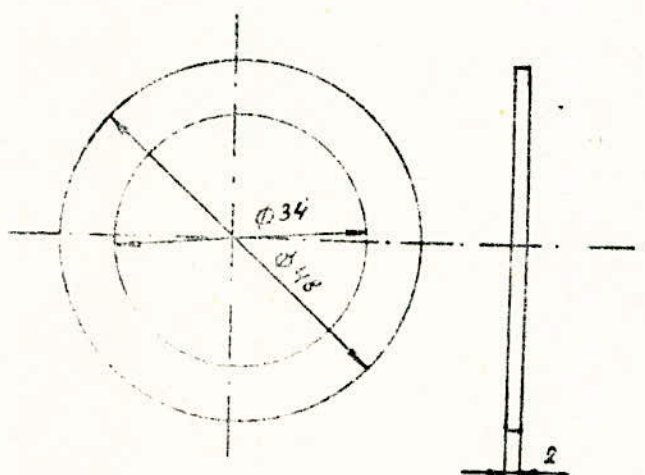


RONDELLE

02.07.06

échelle 1:1

laiton

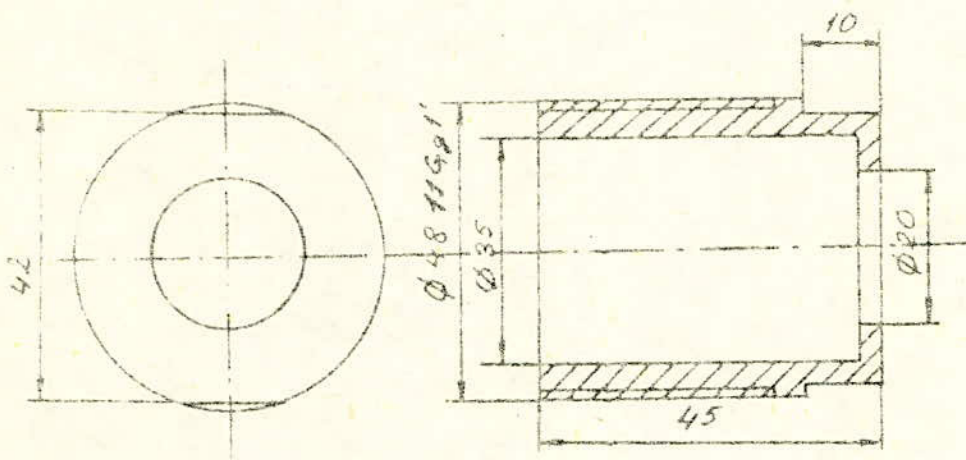


JOINT

caoutchouc

02.07.07

échelle = 1:1

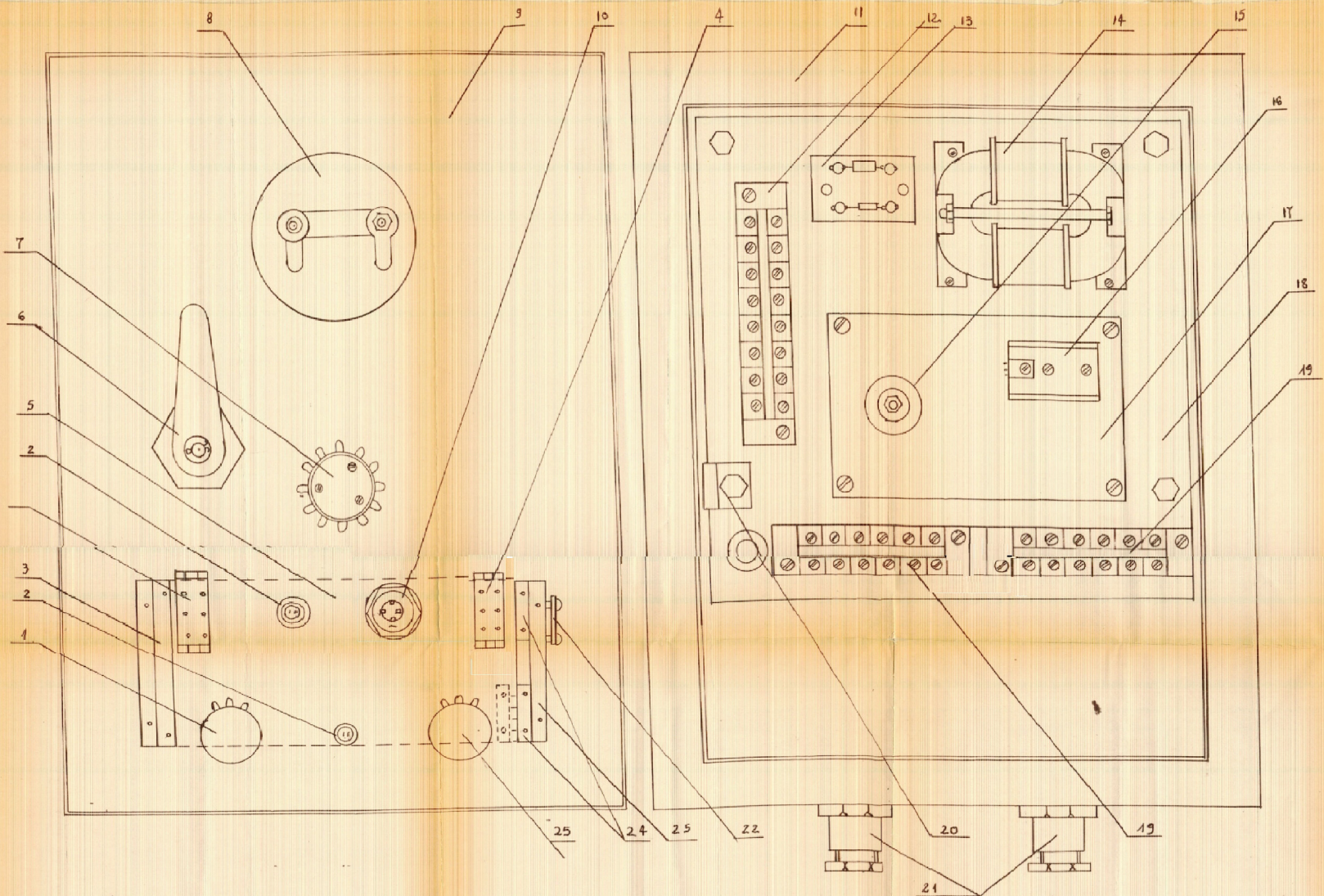


CACHE

02.07.08

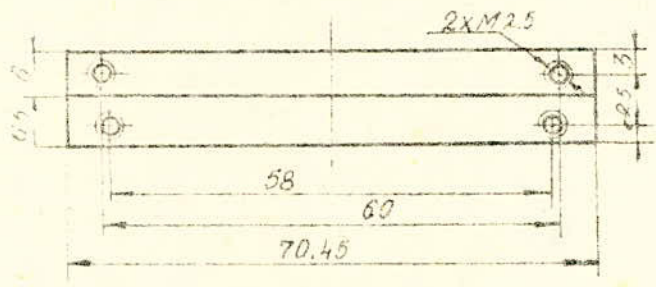
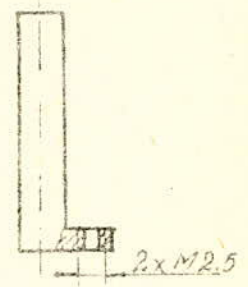
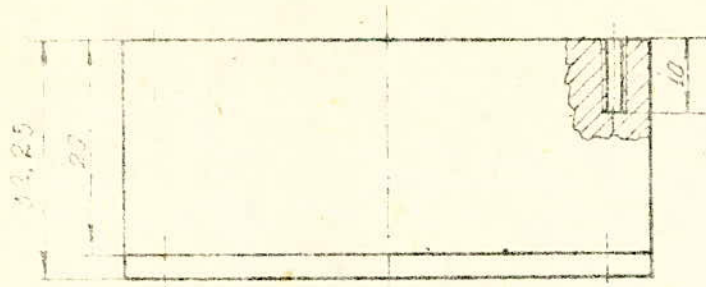
échelle - 1:1

laiton



CHASSIS	02.00.00
MONTAGE	échelle 1:1

N°	reference	Nature	quantité	Matériau
1	R ₂₃	Potentiomètre 3,3K \pm 10%	1	
2	H ₁ , H ₂	LED	2	VQA 13
3	02.00.01	Semelle	1	Al-9
4	S ₁ , S ₃	Interrupteur	2	
5	02.06.00	Bloc de mesure	1	
6		Serrure	1	
7	S ₂	Commutateur	1	
8	PA	Milliampèremètre	1	
9		Couvercle	1	
10	F ₁	Fusible 0,1A	1	
11		Boite	1	
12		Bornes	1	
13		Plaque de montage	1	
14	02.04.01	Transformateur d'alimentation	1	10VA/220V/24V
15	02.00.00	Transformateur à ferrite	1	
16	02.01.00	Radiateur	1	Al-9
17	02.05.00	Plaque d'alimentation	1	
18		Chaâsis	1	
19		Bornes	2	
20	02.00.06	Etrier de fixation	1	acier
21		Manchon	1	PVC
22	02.00.07	Etrier de fixation	1	acier
23	02.00.02	semelle	1	Al-9
24	02.00.03	charnière	2	acier
25	R ₁₇	Potentiomètre 1K \pm 10%	1	

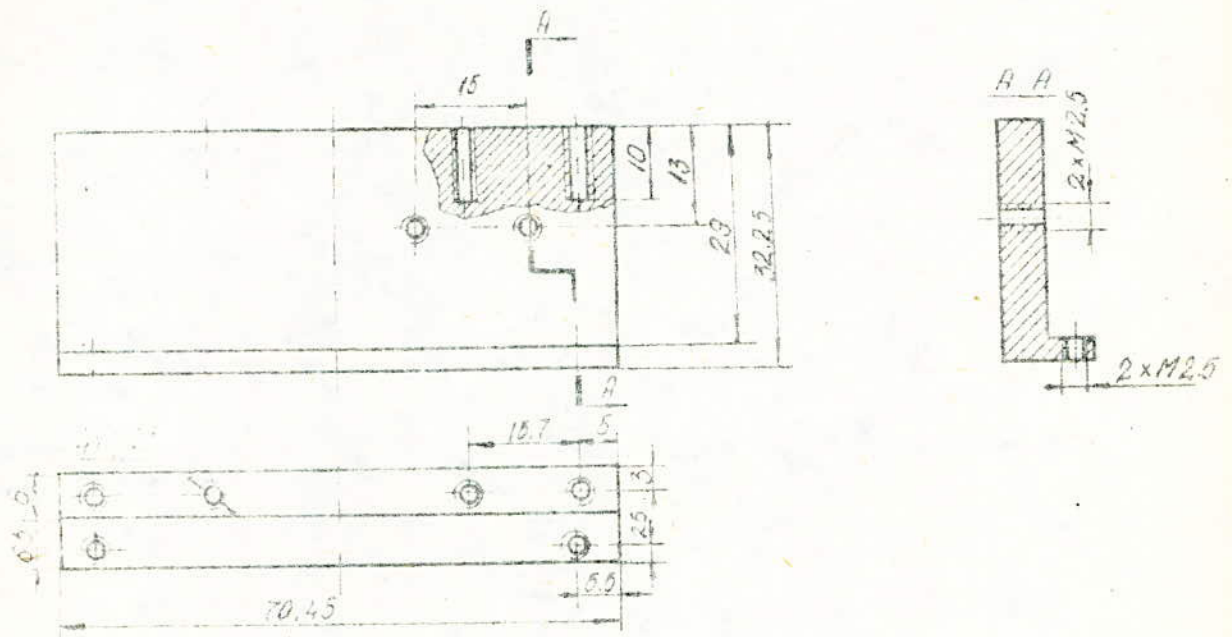


SEMELLE

aluminium 9

02.00.01

échelle - 1:1

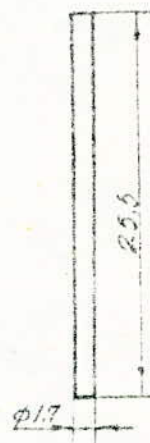
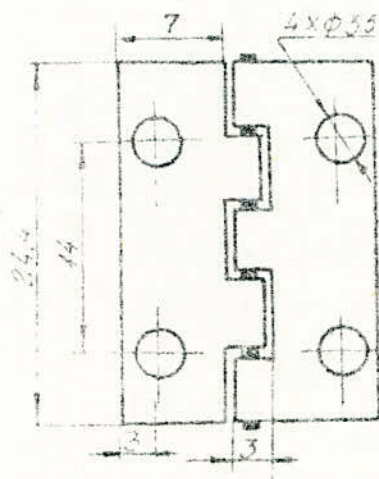


SEMELLE

02.00.02

échelle - 1:1

aluminium 9



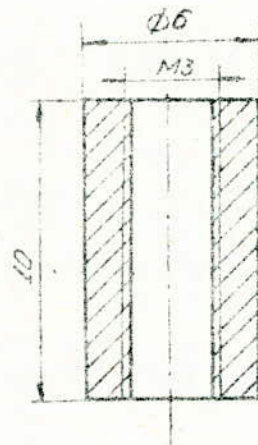
revêtement de
cadmium

CHARNIERE

acier

02.00.03

échelle - 2:1



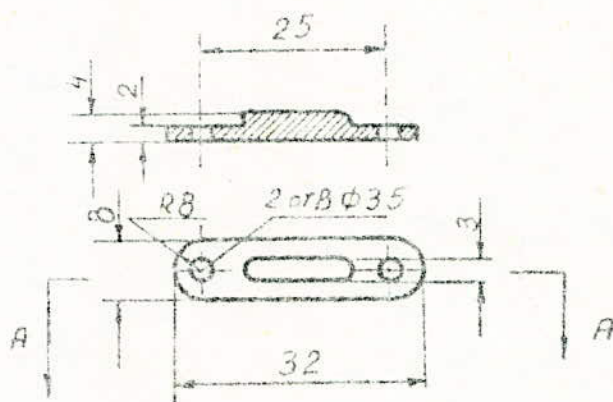
revetement
de cadmium

BAGUE

02 0004

échelle - 4:1

acier



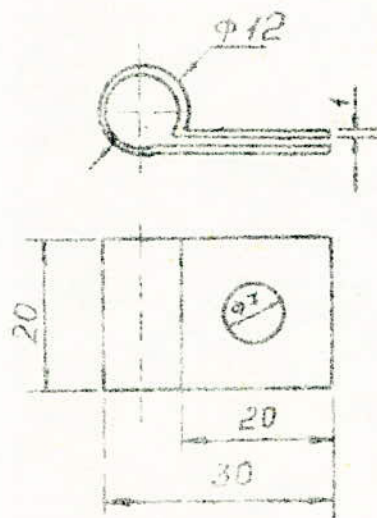
revêtement
de
cadmium.

ETRIER DE
FIXATION

acier

02 0006

echelle - 1:1



revelément
de cadmium

ETRIER

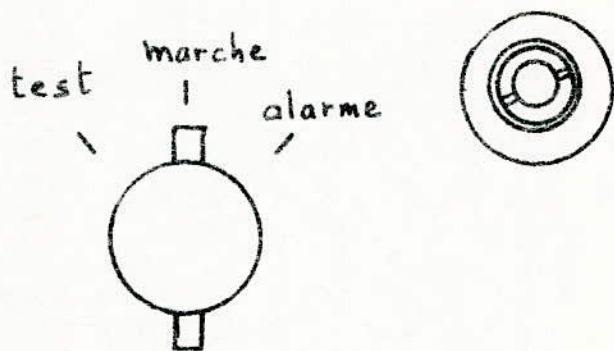
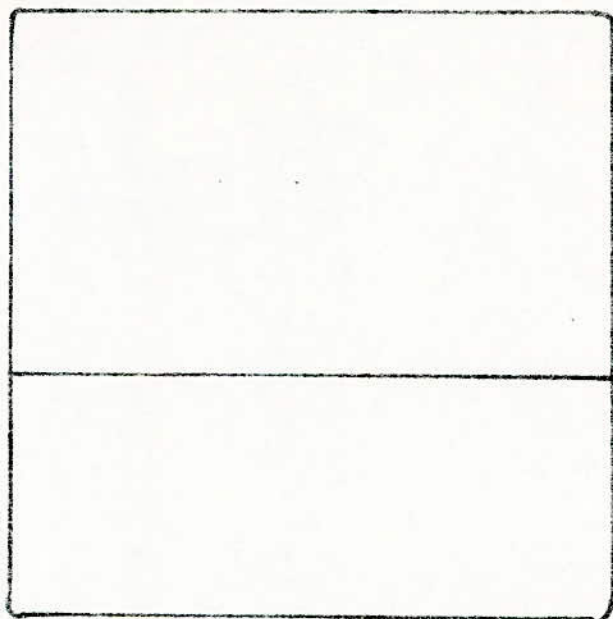
DE

02.00.07

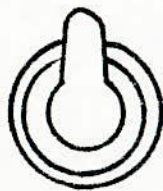
FIXATION

échelle-1:1

acier



25mg/l



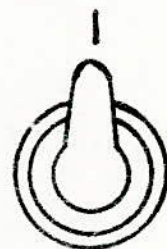
250mg/l



0,1A



—



0



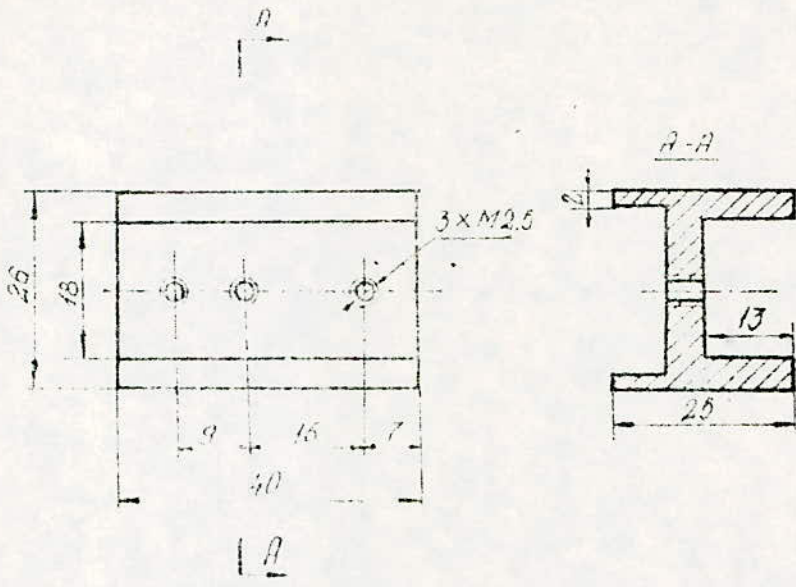
test



—



alarme

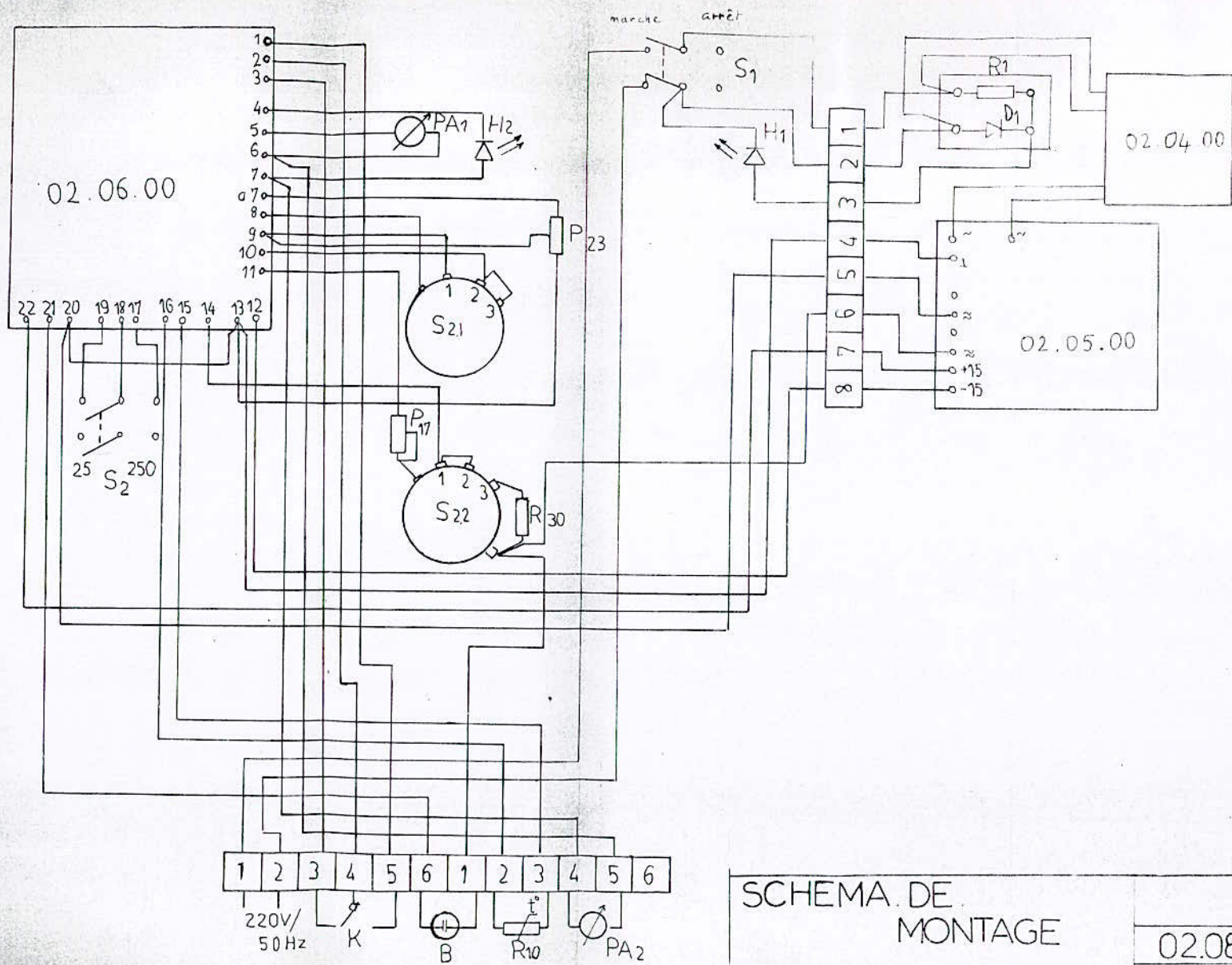


RADIATEUR

02.01.00

échelle : 1:1

aluminium 9



SCHEMA DE
MONTAGE

02.08.00

B I B L I O G R A P H I E

1. Appareils et methodes mesurant la conductivité
LOPATI .Academy des sciences U.R.S.S
2. methodes de mesures en electrochimie
Editeur MIR . MOSCOU 1977
3. CAVOV.S Inductances et transformateurs de faibles puissances
Technica sofia . 1979
4. KACAEF . O.I Convertisseurs C.C - C.A à transistors
ENERGUJA. MOSCOU 1967
5. Brevets des appareils SL.20, CROCKATT .
6. KUOCEV . I, KUOCEV .L. Alimentation stabilitee
Technica sofia 1979.
7. Amplificateurs operationnels principes et applications
R. DAMAYE
8. Le traitement des eaux L: GERMAIN , L. Colas , J. Rouquet.
9. Emploi rationnel des circuits integres analogiques. TEXAS. Instrument
10. mesures numeriques Edition. Radio.