

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
DE CONCEPTION EN ELECTROMECHANIQUE

Gm.0187

**TITRE : CONCEPTION D'UNE CARTE ELECTRONIQUE
AMELIOREE POUR L'ALIMENTATION D'UN TUBE
NEON A PARTIR D'UNE SOURCE PHOTOVOLTAÏQUE**

AUTEUR : Ananivi YANDA
DIRECTEUR : Adama DIARRA
DIRECTEUR EXTERNE : Amadou COULIBALY

DATE : juillet 92

DÉDICACE

Je dédie ce travail à :

- Ma mère Chérie
- Mes frères et soeurs
- Mes amis

AVANT PROPOS

La maîtrise des techniques d'utilisation des énergies renouvelables revêt une importance capitale pour l'avenir du monde . Parmi ces énergies , l'énergie solaire, qui a un avenir prometteur surtout en AFRIQUE . Cette maîtrise ne sera qu'un ensemble de solutions apportées aux problèmes posés par l'application de ces nouvelles technologies .

Le problème qui nous interpelle aujourd'hui concerne l'éclairage avec des tubes néon alimentés par énergie solaire .

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, j'adresse mes sincères remerciements
à:

- Mr Amadou COULIBALY, directeur de la société
SAHEL ÉNERGIE SOLAIRE, initiateur du projet, pour son
soutien logistique et l'intérêt qu'il porte à la science.
J'espère que ce travail lui donnera satisfaction.
- Mr Adama DIARRA, Professeur à L'E.P.T, directeur du
projet, pour sa disponibilité et son apport scientifique
- Mr Roger FAYE, Technicien au laboratoire d'électronique
- A tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail.

SOMMAIRE

Une remarque générale sur les lampes néon alimentées par une source photovoltaïque, est que ces dernières ont une durée de vie très réduite contrairement à toute attente.

L'objectif de cette étude est d'expliquer les phénomènes qui se produisent au cours de la destruction des lampes afin de concevoir une carte électronique mieux adaptée au fonctionnement de ces lampes néon et d'améliorer leur durée de vie.

L'étude sera orientée dans une première partie vers une description générale d'une installation photovoltaïque domestique, à partir du panneau solaire jusqu'au tube néon en passant par la batterie d'accumulateur et ses systèmes de régulation. Dans une deuxième partie, l'effort sera concentré sur une description du fonctionnement de la carte électronique qui permet l'amorçage des tubes néon. C'est alors que commencera l'analyse de la carte proprement dite. Il s'agira de simuler l'allumage et l'extinction des lampes néon par une variation de la tension aux bornes de la source continue dont nous disposons. La finalité serait d'observer et d'interpréter le comportement des tensions, courants et fréquences dans la plage de destruction des lampes. Ceci nous conduira à la proposition d'une solution, au calcul et choix des composants du circuit proposé.

A la fin du travail il sera procédé à une étude comparative entre la solution retenue et d'autres solutions afin d'énumérer les avantages et les limites de la solution finale proposée.

TABLE DES MATIERES

	PAGES
DÉDICACE	I
AVANT PROPOS	II
REMERCIEMENTS	III
SOMMAIRE	IV
CHAPITRE I: INTRODUCTION	
INTRODUCTION	1
CHAPITRE II : DESCRIPTION DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE	
2.1 GÉNÉRALITÉ	3
2.2 PRODUCTION ET STOCKAGE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE	4
2.2.1 le panneau solaire	4
2.2.2 la batterie d'accumulateur	6
2.2.3 les systèmes de régulation et de protection	7
2.3 Le tube néon	10
CHAPITRE III: LA CARTE ÉLECTRONIQUE D'AMORÇAGE DES RÉGLETTES	
3.1 INTRODUCTION	12
3.2 OSCILLATION	14
3.3 STABILISATION	15
3.4 PRECHAUFFAGE	16
3.5 LE TRANSFORMATEUR	17

**CHAPITRE IV : ANALYSE ; recherche des causes de la durée de vie
réduite des lampes**

4.1 INTRODUCTION	19
4.2 DESCRIPTION DU MONTAGE	19
4.3 DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE	20
4.4 LES RÉSULTATS DE MESURES	21
4.5 DESCRIPTION DES COURBES	29
4.5.1 courant en fonction de la tension	29
4.5.2 réponse en fréquence	29
4.6 RECHERCHE DES CAUSES DU NOIRCISSEMENT DES TUBES	31
4.6.1 première hypothèse: impacts des électrons ou des cations sur la paroi interne du tube	31
4.6.2 deuxième hypothèse: destruction des électrodes	33
4.6.3 troisième hypothèse: résonance à l'extinction	34
4.6.4 quatrième hypothèse: dissymétrie dans le fonctionnement du tube	34
4.7 VÉRIFICATION DES HYPOTHESES	35
4.7.1 Impacts des électrons ou des cations sur la paroi interne du tube	35
4.7.2 Destruction des électrodes	37
4.6.3 résonance à l'extinction	37
4.7.4 entraînement du gaz	38
4.8 EXPLICATION APPORTEE AUX PICS DE TENSIONS	38
4.9 PROPOSITION D'ACTIONS CORRECTIVES	41

CHAPITRE V: développement d'une solution	
5.1 RECHERCHE D'UN SCHÉMA DE MONTAGE	43
5.1.1 L'onduleur	43
5.1.2 Le multivibrateur	44
5.1.3 Carte pouvant fonctionner en 12v et 24v	45
5.4 l'oscillateur bloqué astable	46
5.2 CALCULS ET CHOIX DES COMPOSANTS	49
5.3 TRAITEMENT DES DÉFAUTS	64
5.3.1 Choix d'un radiateur pour la protection du transistor	64
5.3.2 Stabilisation du tube	65
5.3.3 Protection des électrodes	68
5.3.4 Autres protections	75
CHAPITRE VI : ÉTUDE COMPARATIVE	
6.1 ÉTUDE QUANTITATIVE	76
6.2 ÉTUDE QUALITATIVE	77
6.3 COMPARAISON AVEC D'AUTRES SOLUTIONS	78
CHAPITRE VII: CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	82
ANNEXES	
BIBLIOGRAPHIE	

CHAPITRE I :

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Cette étude que nous allons engager se rapporte à la durée de vie réduite des lampes néon alimentées par une source photovoltaïque. Elle a été proposée par la direction de la société SAHEL ENERGIE SOLAIRE (S.A.E.S). Le sujet est né des difficultés rencontrées lors de l'utilisation de ces lampes néon dont la société S.A.E.S est importatrice.

Une petite enquête sur le marché sénégalais, nous a montré que Presque tous les importateurs et usagers de tubes néon alimentés par piles photovoltaïques au SÉNÉGAL, sont unanimes sur le fait que ces tubes ont une durée de vie réduite contrairement aux prévisions des constructeurs.

En effet Les études menées par le CERER (Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies Renouvelables) confirment un tel phénomène . Dans leur rapport intermédiaire publié le 15 décembre 1991 , les agents du CERER remarquent que les tubes néon représentent le point faible de leurs installations . La durée de vie des tubes de 7w estimée à 5000 heures est loin d'être atteinte. Pour un fonctionnement de 4h30mn par jour, ces tubes sont hors d'usage après 3 ou 4 mois de fonctionnement soit une réduction de leur durée de vie de 92 à 88% .

L'expérience a révélé que les tubes alimentés normalement en 12v¹cc ne présentent aucun problème tandis que les tubes sous alimentés en 6v cc noircissent très vite . Il se dégage une conclusion qui à première vue parait contradictoire; la sous alimentation des tubes parait la cause probable du problème alors que les lampes sous alimentées sont traversées par un courant plus faible et que leur durée de vie devrait être inversement proportionnelle au courant qui les traverse.

L'intérêt du problème n'est plus à démontrer . Il nous revient de trouver une explication à ce phénomène et d'apporter une solution à la durée de vie réduite des lampes.

¹ CC : continu

CHAPITRE II :

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

PHOTOVOLTAÏQUE

2.1 GÉNÉRALITÉS

L'installation générale pour l'alimentation des lampes néon est schématisée à la figure N°1 ci-dessous. Elle permet la conversion de l'énergie solaire en courant alternatif. Une première partie de l'installation permet la production et le stockage de l'énergie solaire sous forme de courant continu. La seconde partie quant à elle est destinée à la conversion du courant continu en courant alternatif pour l'alimentation des lampes.

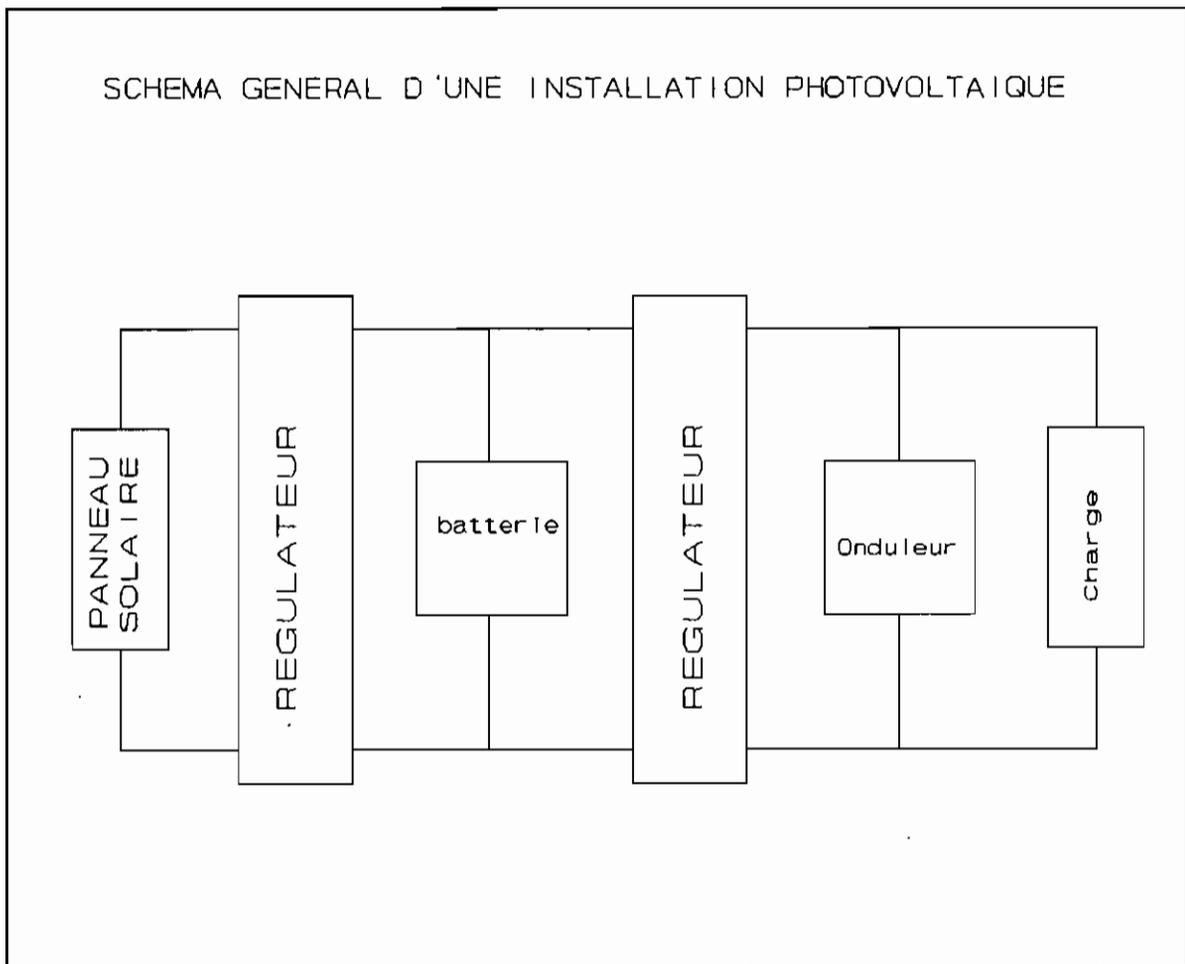


fig n°1

En fonctionnement lorsque tout est branché, l'énergie du rayonnement solaire est captée par le panneau solaire qui génère un courant I_p . Ce courant servira à la charge de la batterie ou à l'alimentation directe de la charge. La charge dans le cas qui nous concerne est constituée par le tube néon. Elle a besoin pour son fonctionnement normal, d'une tension alternative assez élevée. C'est pourquoi l'installation est équipée d'une carte électronique pour faciliter l'amorçage du tube néon et pour l'alimenter en alternatif. Sur la figure N°1 la carte a été assimilée à un onduleur car elle permet la conversion du courant continu en courant alternatif.

2.2 PRODUCTION ET STOCKAGE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

Cette partie est composée des équipements comme la batterie d'accumulateur, le panneau solaire, le système de régulation et de protection de la batterie.

2.2.1 LE PANNEAU SOLAIRE

Il est composé de cellules photovoltaïques. Généralement réalisée à l'aide de semis conducteurs au silicium (SiO_2), la cellule photovoltaïque est constituée d'une jonction PN. Sous l'effet de l'énergie $E = h \cdot c / \lambda$ des photons que transportent les rayons solaires, les atomes de la cellule libèrent des électrons et se chargent positivement.

² h : constante de Planck

Les électrons libérés se dirigent vers la zone N. Une différence de potentielle apparaît alors entre les deux zones N et P et engendre un courant continu qui servira à la charge de la batterie.

Lorsque la cellule n'est pas éclairée elle se comporte comme une diode. le courant qui traverse la jonction suit la relation

$$I_d = I_s \cdot \exp\left(\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T} - 1\right).$$

avec I_s : courant inverse

V : tension aux bornes de la jonction.

$\frac{kT}{q}$: 26mv à 300°K

n : coefficient d'idéalité de la diode

Éclairée , elle génère un courant $I = I_L - I_d$ où, $I_L = K \cdot Q$ représente le courant photo généré. K : constante

Q : flux lumineux

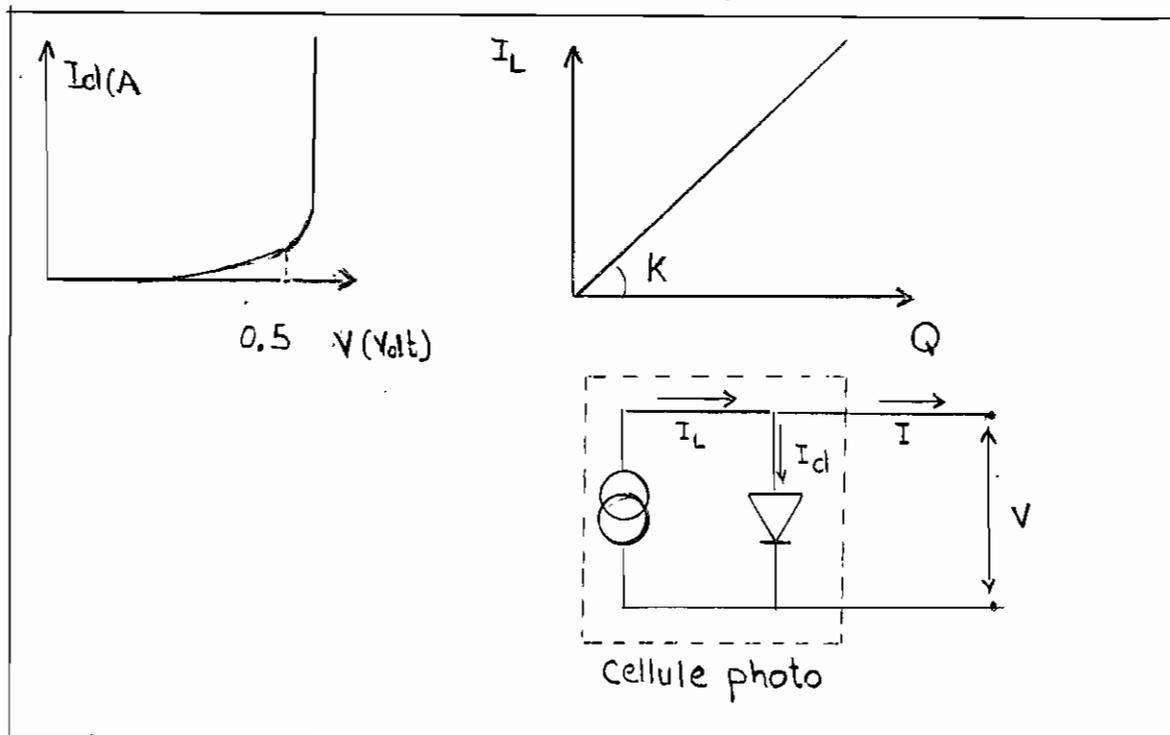


Fig No 2 REPARTITION DU COURANT PHOTO-GENERE

2.2.2 LA BATTERIE D' ACCUMULATEUR

Elle permet le stockage de l'énergie produite par la photopile . Elle se charge en période d'ensoleillement lorsque le courant d'utilisation I_L est inférieur au courant de la plaque I_p . Par contre elle se décharge lorsque le courant I_u est supérieur au courant I_p .

Il existe plusieurs types d'accumulateurs, dont l'accumulateur au plomb et l'accumulateur au nickel-cadmium sont les plus utilisés dans le cas de nos montages .

CHARGE ET DÉCHARGE DE LA BATTERIE

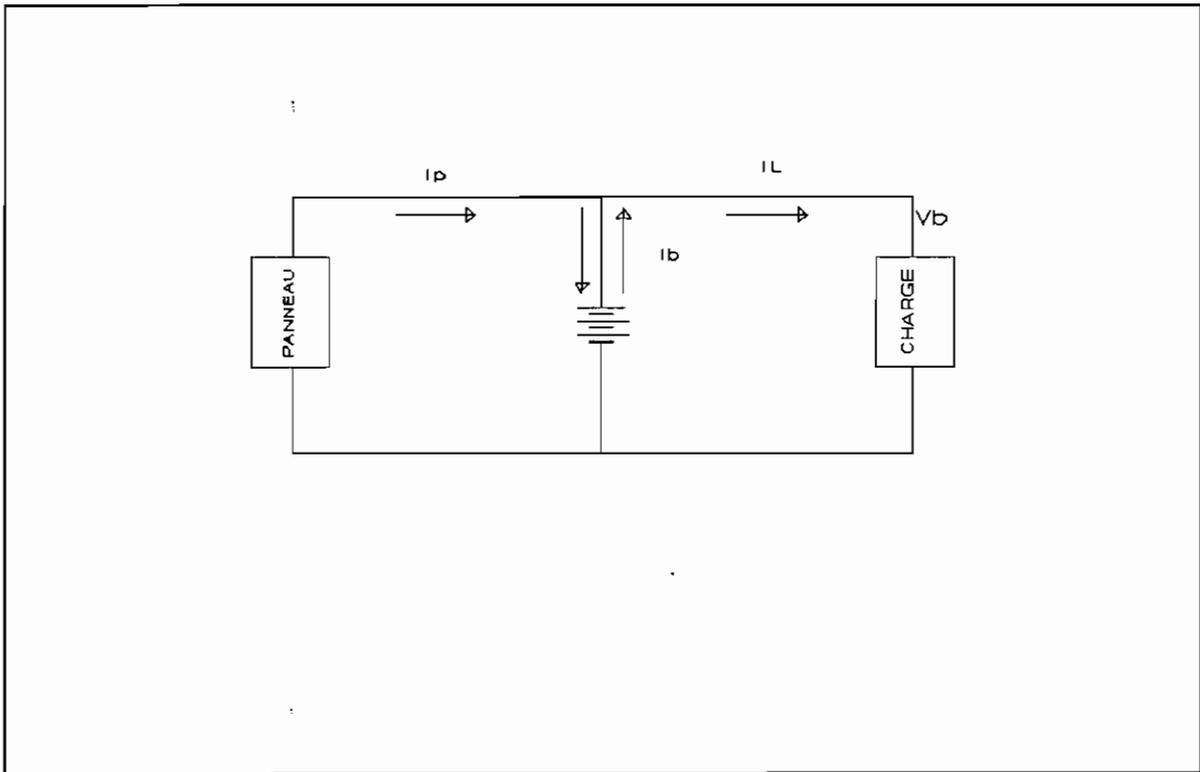


fig N°3

Pour la batterie au plomb la charge et la décharge suivent la réaction chimique



Notons qu'une charge trop poussée de même qu'une décharge trop poussée est nuisible à la batterie . Pour cette raison elle est équipée de régulateurs.

2.2.3 LES SYSTÈMES DE RÉGULATION

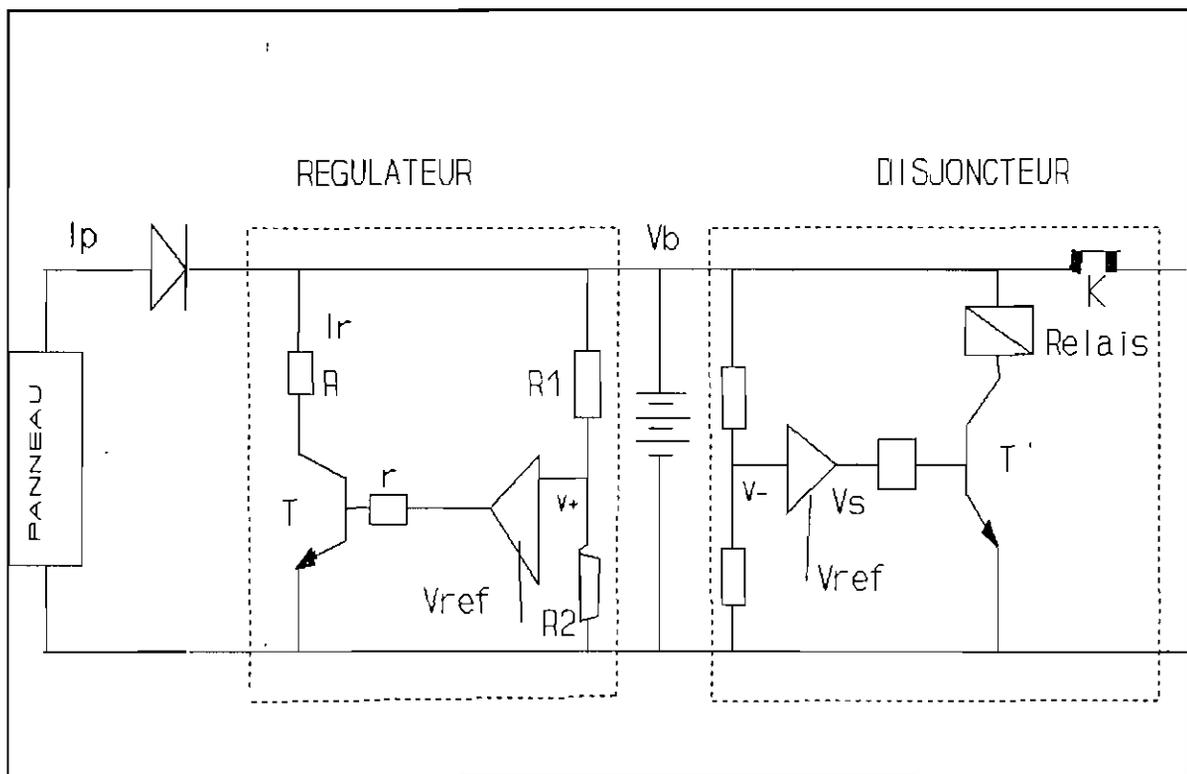


Fig N°4 régulation de la batterie

Deux types de régulations sont à distinguer à ce niveau :

- régulation contre une décharge poussée
- régulation contre une charge trop poussée.

Avant de commencer la description du fonctionnement du disjoncteur il serait souhaitable de donner la signification de quelques annotations sur la figure N°4. La tension de référence des amplificateurs opérationnels est désignée par V_{ref} , tandis que leur tension d'entrée est désignée par V_+ ou V_- et leur tension de sortie par V_s . La tension aux bornes de la batterie est désignée par V_b .

2.2.3.1- le disjoncteur automatique

Son rôle est d'éviter une décharge excessive de la batterie . Au cours de la décharge, lorsque V_b atteint une certaine valeur , $V_- < V_{ref}$, d'où $V_s = V_{ref} - V_- > 0$. le transistor T' se met à conduire, la bobine du relais est traversée par un courant collecteur I_c , le contact K du relais s'ouvre et la charge est déconnectée .

2.2.3.2 - Les régulateurs électroniques

IL existe plusieurs types de régulations parmi lesquelles la régulation série, la régulation parallèle et la régulation par coupure électromécanique. Ces dispositifs permettent de limiter la charge de la batterie .

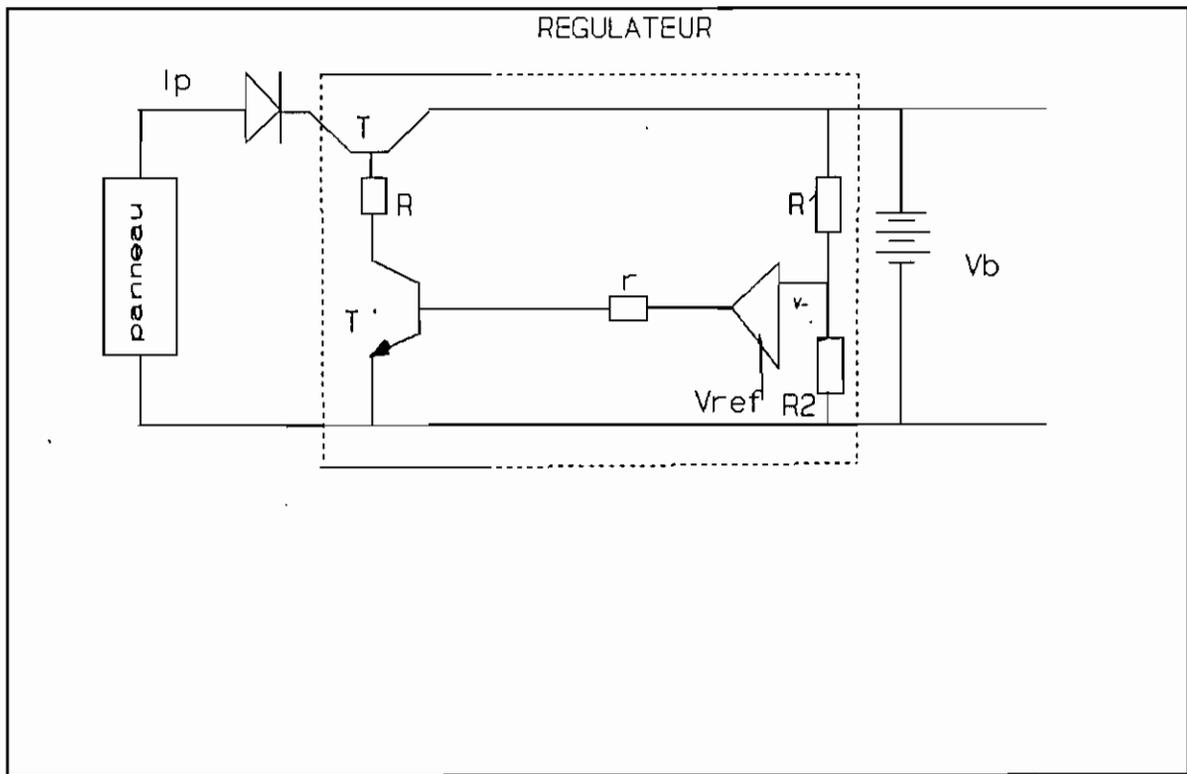
- régulation parallèle (voir fig N°4)

L'objectif d'un tel montage entre le panneau solaire et l'accumulateur, est de dissiper l'énergie excédentaire de charge de l'accumulateur sous forme de chaleur . Au moment où V_b atteint la valeur limite de charge $V_+ > V_{ref}$ et $V_s = V_+ - V_{ref} > 0$, le transistor T se met à conduire et une partie du courant I_p produit, est dissipée dans la résistance R .

- la régulation série par semi conducteur(fig N°5)

Si la tension batterie V_b est inférieure à la valeur limite de charge ; $V_- < V_{ref}$, $V_s > 0$, T et T' sont saturés , la charge de la batterie se poursuit . En un moment donné la tension V_b aux bornes de la batterie dépasse la valeur limite de charge . En ce moment $V_- > V_{ref}$, $V_s < 0$; les transistors se bloquent. La tension de la batterie diminue jusqu'à l'équilibre .

Fig N°5 SCHÉMA D'UNE RÉGULATION SÉRIE



2.3 LE TUBE NÉON

IL est rempli d'un gaz rare ou d'un mélange de gaz rares (en général de l'argon ou du néon) . Les gaz rares sont utilisés pour le remplissage de ces tubes parce qu'ils sont inertes et ne réagissent pas avec les électrodes .

Sous l'effet de la lumière extérieure le gaz est partiellement ionisé. Lorsqu'une tension V est appliquée aux électrodes, les charges q à l'intérieur du tube acquièrent une énergie $q \cdot V$. Les électrons se dirigent vers l'anode et les cations vers la cathode.

Les électrons ont la possibilité de rencontrer d'autres atomes de gaz, d'en extraire d'autres électrons ou de faire changer de couche à certains électrons si leur énergie $e \cdot V^3$ le permet . certains électrons peuvent se recombiner à des cations pour former de nouveaux atomes de gaz . Tous ces phénomènes (changement d'orbite des électrons, retour sur orbite) s'accompagnent d'émissions de radiations dont l'ultra - violet qui excite la poudre fluorescente tapissant la paroi interne du tube . Le tube émet alors une lumière blanche qui permet d'éclairer.

Le potentiel V_i qui permet à l'électron d'ioniser le gaz est appelé potentiel d'ionisation . Il est intimement lié à la tension d'amorçage du tube .

La description du fonctionnement des tubes néon met fin à ce chapitre et nous permet d'aborder dans le prochain chapitre le circuit d'amorçage des lampes qui fera beaucoup plus l'objet de notre travail.

³ e = charge de l'électron

CHAPITRE III :

CARTE ELECTRONIQUE D'AMORCAGE

DES REGLETTES

3.1 INTRODUCTION

Avant de passer à l'analyse du circuit d'amorçage, objet du prochain chapitre, nous abordons dans ce chapitre la description du fonctionnement du circuit d'amorçage des lampes, que représente la carte électronique (fig N°6). Cette carte cumule quatre fonctions essentielles :

- _la conversion du courant continu en courant alternatif
- la stabilisation de la lampe (ballaste)
- _le préchauffage des électrodes pour faciliter l'amorçage
- l'élévation de la tension disponible (transformateur).

3.2 L'OSCILLATION

Presque tous les composants de la carte participent à la fonction d'oscillation du circuit d'amorçage. Lorsque la carte est branchée à la source continu, le tube présente une grande résistance; tout le courant I_2 est injecté dans la base du transistor qui se met à conduire. Le courant collecteur I_c ne peut prendre instantanément sa valeur de saturation I_{cmax} à cause de l'inductance L_1 . Il augmente progressivement jusqu'à atteindre cette valeur $I_{cmax} = B \cdot I_B$, où B représente le gain en courant du transistor. La variation du courant collecteur entraîne une variation de flux dans les bobines et induit une tension V_s au secondaire (bobine L_3 fig N°6).

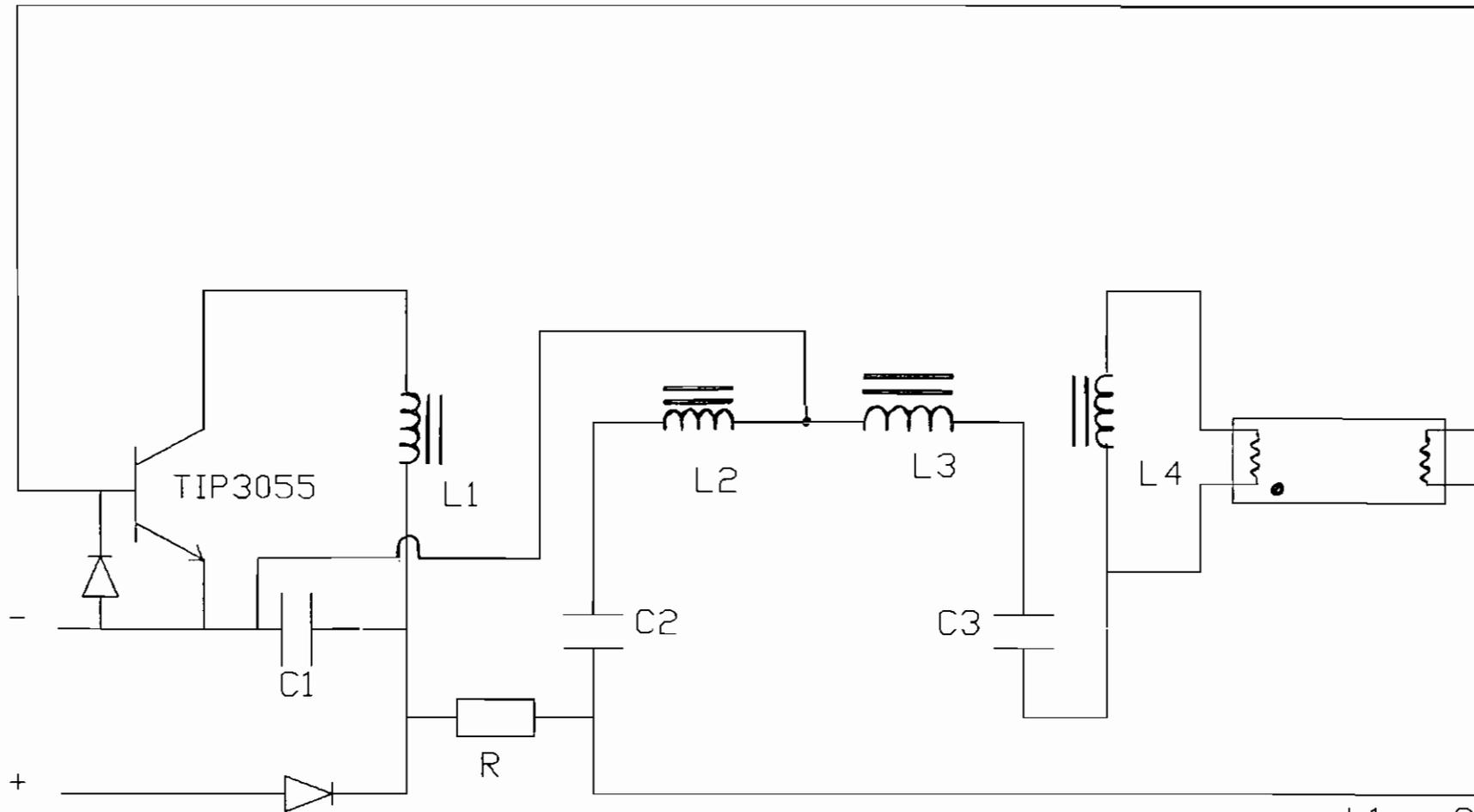


Fig N°6 CIRCUIT D'AMORCAGE DE REGLETTE

CARTE DE 24 V

R=4.6Kohms

L1 = 372.7uH
 L2=L4=5.3uH
 L3=7.5mH
 C1=220uF
 C2=232uF
 C3=4.9nF

Lorsque la tension secondaire V_s dépasse la tension d'amorçage V_{am} du tube, il s'allume. Un courant traverse le tube et le condensateur C_3 se charge. Le condensateur C_2 par contre se décharge et facilite l'amorçage du tube et la saturation du transistor.

A l'instant où $I_c = I_{cmax} = B \cdot I_B$, la variation de flux cesse et les tensions induites sur les bobines devraient disparaître. Le courant collecteur chute entraînant à nouveau une variation de flux (diminution). la tension secondaire diminue et lorsqu'elle passe par la tension d'extinction V_{ex} du tube, le tube s'éteint. Au passage à zéro du courant collecteur, le transistor se bloque le courant I_B de la base s'annule. C'est alors que commence la charge du condensateur C_2 à travers la résistance R . Cette charge inverse le courant dans la bobine de préchauffage L_2 et par conséquent le courant dans l'enroulement collecteur. La tension induite dans la bobine L_3 s'inverse et le tube s'allumera lorsque cette tension sera supérieure à V_{am} (en valeur absolue). Ceci correspond à l'alternance négative où la bobine de préchauffage L_2 se comporte comme le primaire du transformateur. Aux tensions induites par L_2 sur les autres bobines, s'additionne l'effet de la tension inverse induite sur L_1 par l'ouverture du transistor. A la fin de la charge de C_2 la variation (augmentation) du flux inverse prend fin ; les tensions induites repassent à zéro.

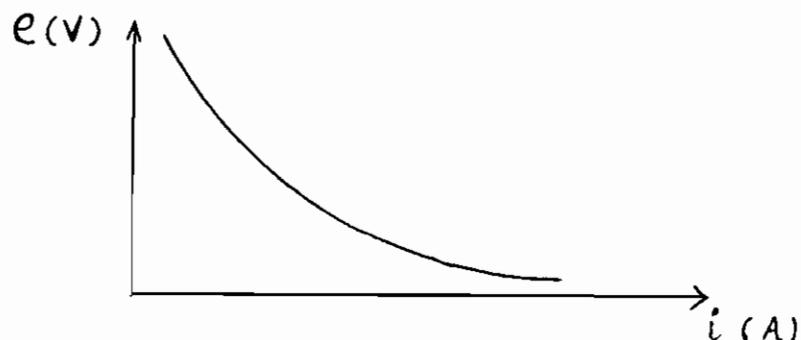
Notons que la charge de C_2 durera jusqu'à ce qu'elle impose une tension positive à la base ($V_{BE} > 0.7V$). Le transistor se met à conduire de nouveau et le cycle recommence .

Enfin il faudrait remarquer que le condensateur C1 se charge par le courant inverse I_c du collecteur. le fonctionnement de l'oscillateur est conditionné par l'inertie des bobines, les temps de charge et décharge des condensateurs.

3.3 LA STABILISATION

Lorsque le tube Néon est polarisé, les électrons peuvent circuler de la cathode vers l'anode mais il se forme un nuage d'électrons entre les électrodes repoussant les électrons qui cherchent à sortir de la cathode; c'est la charge d'espace qui donne une résistance apparente positive au tube. Dans le cas des tubes à gaz, (tube néon) le nuage d'ions positif qui se forme lors de l'ionisation du gaz par bombardement électronique réduit la charge d'espace autour de la cathode. Donc plus le courant i qui traverse le tube est grand plus il y a d'ions positifs et la chute de tension e aux bornes du tube diminue. Le tube se comporte comme une résistance négative (figure ci-dessous).

FIG N°7 Chute de tension aux bornes du tube
en fonction du courant à travers le tube



Un tel tube ne peut être branché directement sur un réseau; il serait instable et amènerait à un court circuit pouvant le détruire. D'où la nécessité de placer en série avec le tube une résistance, une inductance ou une capacitance pour le stabiliser. Ces éléments jouent le rôle assigné aux ballasts.

pour la carte étudiée, la stabilisation du tube est réalisée par les condensateurs C2 et C3 qui se comportent comme des résistances $R_2 = 1/C_2W$ et $R_3 = 1/C_3W$ en série. En pratique C3 étant très inférieur à C2 la stabilisation se fera par C3 . C'est certainement pour des raisons économiques que le choix a porté sur la stabilisation du tube par capacité (bon rendement). Une stabilisation par résistance pure consommerait de l'énergie active et réduirait le rendement de la carte. Une seconde raison est que la décharge de C3 pourrait faciliter le réamorçage du tube.

3.4 LE PRECHAUFFAGE

Nous avons vu au paragraphe précédent que la résistance du tube est due à une charge d'espace autour de la cathode qui l'empêche d'émettre facilement des électrons .

Nous savons également qu'en chauffant une résistance on parvient à lui extraire facilement des électrons suivant la relation de RICHADSON $I = A \cdot T^2 \cdot \exp(-b_2/T)$ où A et b2 caractérisent le métal , T étant la température du métal en degré Kelvin. Pour le tungstène $A = 60.2$ et $b_2 = 5.24$.

En facilitant l'émission d'électrons par la cathode, le préchauffage facilite l'amorçage du tube par réduction de la charge d'espace. Les tensions induites aux bornes des inductances L4 et L2 (Fig N°6) permettent le préchauffage des électrodes.

3.5 LE TRANSFORMATEUR

Son rôle est d'élever la tension disponible au primaire (24 ou 12V) à une tension susceptible d'allumer la lampe pour l'éclairage . L'enroulement primaire L1 et secondaire L3 constituent principalement le transformateur pendant la première alternance. Pendant la seconde alternance cette fonction sera assurée par L2 et L3. Par souci d'efficience tous les enroulements sont réalisés autour d'un même noyau . l'objectif est de faciliter le couplage magnétique entre les bobines et de minimiser les pertes magnétiques.

La description du fonctionnement de la carte met fin à la partie descriptive de l'installation. La compréhension du fonctionnement de chaque élément serait d'une importance capitale pour la suite du travail. Elle constituera l'élément moteur devant servir à localiser les différentes causes du problème posé.

Un premier doute est déjà levé sur la cause de la destruction des lampes (décharge de la batterie d'accumulateur). Notre analyse sera axée sur la recherche des causes profondes. Il s'agira d'expliquer les phénomènes qui se produisent au niveau de la carte à basse tension.

Cette analyse passe par un diagnostic général de la carte devant conduire à cibler toutes les causes possibles de la destruction prématurée des lampes. Elle se fondera sur des hypothèses de travail qui seront vérifiées par des tests. La finalité de l'analyse serait de retenir les hypothèses les plus probables et d'amorcer des solutions.

La décharge de la batterie est simulée par la diminution de la tension d'alimentation de la carte à partir de la source continue.

CHAPITRE IV :

ANALYSES

Recherche des Causes de la durée de vie des des tubes

4.1 INTRODUCTION

Les études menées sur le sujet que nous traitons, ont révélé que la décharge de la batterie d'accumulateur entraîne une baisse de tension au niveau de la lampe et provoque leur destruction. Ce renseignement nous a conduit à simuler la décharge de la batterie au laboratoire, par une diminution de la tension continue d'alimentation. Grâce à cette simulation nous avons pu noter plusieurs paramètres sur le circuit d'amorçage des lampes. Nous avons ensuite relié certains paramètres par des courbes pour faciliter l'interprétation des résultats de mesures. Ce qui nous permettra de cibler certaines causes de la destruction des lampes et de commencer des approches de solution. L'analyse des causes du noircissement des lampes de même que les approches de solution seront regroupées sous forme de tableaux.

4.2 DESCRIPTION DU MONTAGE

Le montage est réalisé à partir d'une source variable de tension continue d'une capacité maximale de 30V, de la carte électronique et du tube néon. La source est directement connectée à la carte électronique devant amorcer la lampe. Seront insérés en divers endroits du circuit des multimètres pour relever les valeurs efficaces des courants, tensions et pour relever la fréquence de la tension d'alimentation du tube.

Il faut noter que pour la mesure des courants, le multimètre sera en série et qu'elle sera en dérivation pour la mesure des tensions et fréquences.

Comme appareil de mesure, l'oscilloscope a été également utilisé pour observer les formes d'onde au niveau des différents composants du circuit.

4.3 DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE

L'expérience peut être scindée en deux parties. la première partie consiste à simuler l'allumage du tube par une augmentation progressive et lente de la tension continue d'alimentation. La seconde partie beaucoup plus liée au problème posé, consiste à simuler l'extinction des lampes par une diminution de la tension d'alimentation. Cette dernière simulation permet de relever presque tous les phénomènes susceptibles de se produire pendant la décharge de la batterie. Pour une analyse plus complète, des mesures ont été effectuées également à l'allumage.

A l'allumage la tension d'alimentation est augmentée jusqu'à sa valeur maximale (30V) en passant par la tension nominale de fonctionnement des lampes. Les différents appareils étant mis en place, la fréquence f_L de la tension aux bornes des lampes, le courant I_L traversant les lampes, la tension V_L aux bornes des lampes, la tension secondaire V_S (bobine L_3), la tension primaire V_P (bobine L_1), les tensions de préchauffage (L_4 , L_2), ont été relevés simultanément pour une tension d'alimentation donnée .

Les mêmes mesures ont été effectuées à l'extinction. Cette fois la tension d'alimentation a été diminuée de sa valeur maximale jusqu'à 0 volt. les résultats de mesures pour la carte de 24V se trouvent dans les tableaux N°1 et N°2. A la fin du paragraphe suivant, quelques courbes prélevées à l'oscilloscope seront présentées.

4.4 LES RÉSULTATS DE MESURES

(voir pages suivantes)

TABLEAU N°1 : MESURES SUR LA LAMPE DE 24V

RESULTATS A L'EXTINCTION

E(V)	VP(V)	VS(V)	VL(V)	IL(mA)	fL(KHZ)
0	0	0	0	0	0
28.23	40.9	170	19.2	123	20.11
25.85	37	165.5	23.5	111	20.17
21.51	21.51	130.1	32.4	86	21.66
19.47	25.4	113.8	36.6	73	23
17.32	21.7	96.5	40.3	62	24
15.71	18.5	83.1	45.2	52	25
14.07	15.1	68.1	50	41	26.39
13.58	13.8	62.6	52.5	37	26.9
12.86	10.7	50.6	46.1	25	23.13
12.47	18.1	55.1	60	30	24.71
11.81	23.1	100	98.5	37	40
11.38	23.1	102.3	96.2	37	39.92
9.39	19.3	86.3	82.2	31	43.87
7.72	13.6	62.1	61.1	20	52.4
5.96	8.4	41.9	38.4	8	68.2
4.35	4.7	24.6	16.98	1	79.9
3.88	3.5	14.51	14.34	0	89.43
2.38	1.13	5.26	5.61	0	98.73

E : Tension continue d'alimentation

Vp: Tension primaire, sur bobine L1

Vs tension secondaire, sur bobine L3

FI : Fréquence lampe

Vc : tension Chauffage

TABLEAU N°2 : MESURES SUR LA LAMPE DE 24V

RESULTATS A L'ALLUMAGE

E(V)	VP(V)	VS(V)	VL(V)	IL(mA)	fL(KHZ)	Vc(V)
0	0	0	0	0	0	0
0.021	0.0004	0.0003	0.0002	0	0	0
1.64	0.0004	0.0004	0.0002	0	0	0.0003
3.79	3.04	14.09	13.61	0	86.03	0.0004
5.73	6.16	27.65	25.62	4	74.83	0.53
8.11	10.88	65.8	36.08	23	52.3	0.61
9.81	14.05	84.6	40.49	29	45.38	0.73
11.16	22.4	92	94.2	36	41.7	0.89
11.69	23.8	104.7	102.2	38	40.41	1.34
12.81	26.5	116.4	110.5	42	38.54	1.54
13.94	29.3	127.6	124.2	47	36.75	1.91
14.67	30.4	134.5	127.5	47	36.15	2.17
15.1	31.12	138.4	130.9	47	35.36	2.37
15.86	32.8	143.1	135.2	47	35.52	2.6
16.47	19.6	87	38	48	25	1.72
17.97	22.2	98.8	40.8	47	24.06	2.07
19.9	25.5	114.2	36.2	55	23.05	2.22
21.72	28.7	128	32.7	63	22.29	2.56
24.09	33.3	148.7	28.96	100	21.54	2.58
26.21	37.5	166.4	18.47	112	20.78	2.61

E : Tension continue d'alimentation

Fl : Fréquence lampe

Vp: Tension primaire, sur bobine L1

Vc : tension Chauffage

Vs tension secondaire, sur bobine L3

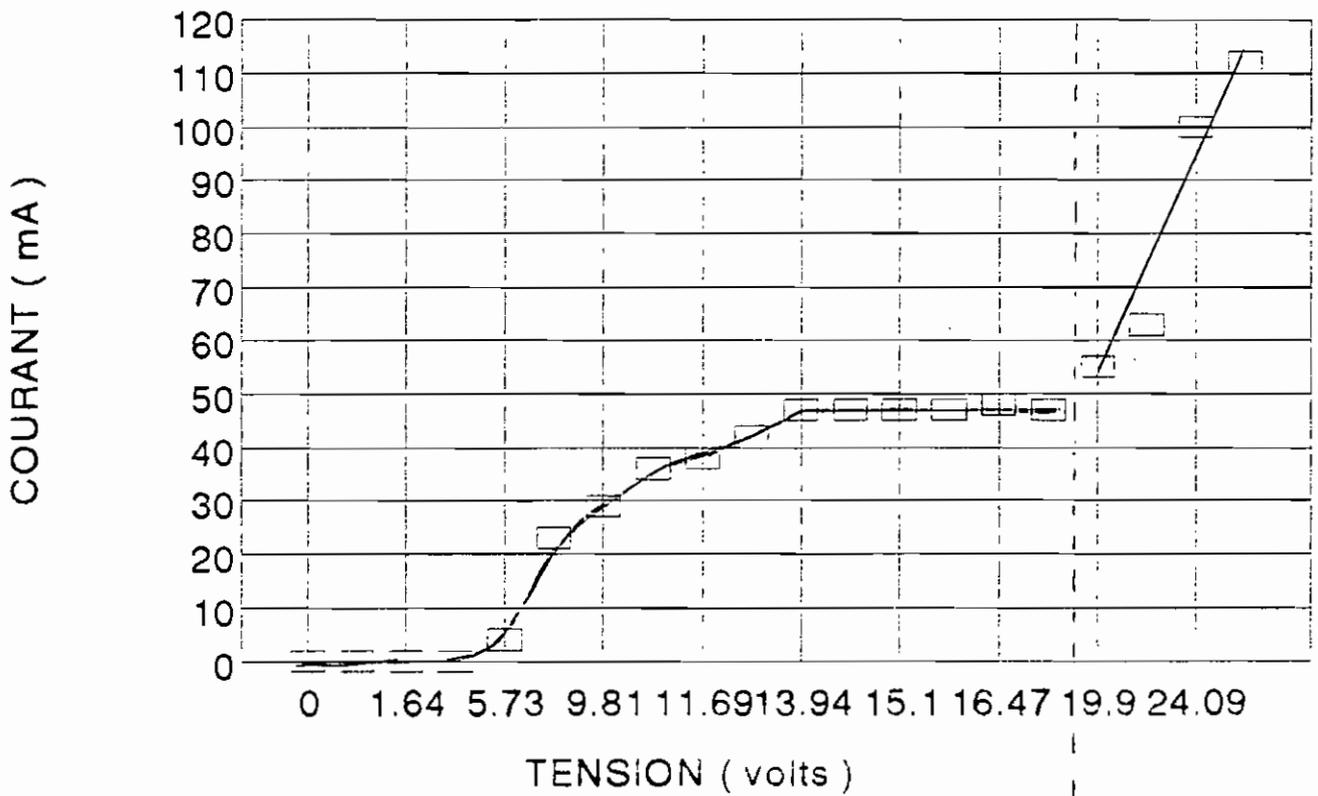
VI : Chute aux bornes lampes

Il : courant Lampe

(FIGN°8)

ALLUMAGE

COURANT LAMPE FONCTION DE V SOURCE

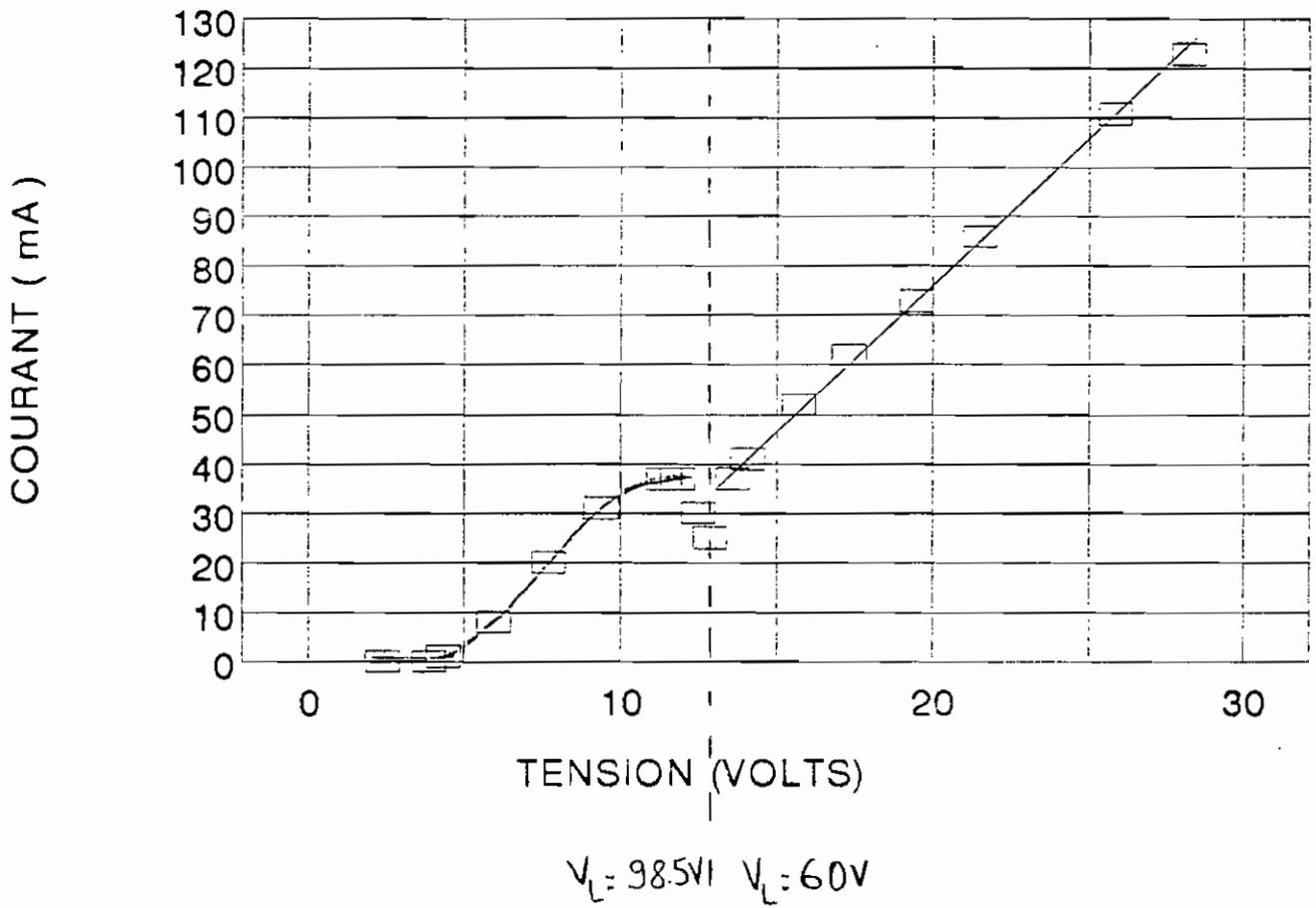


$V_L = 135V$ $V_L = 38V$

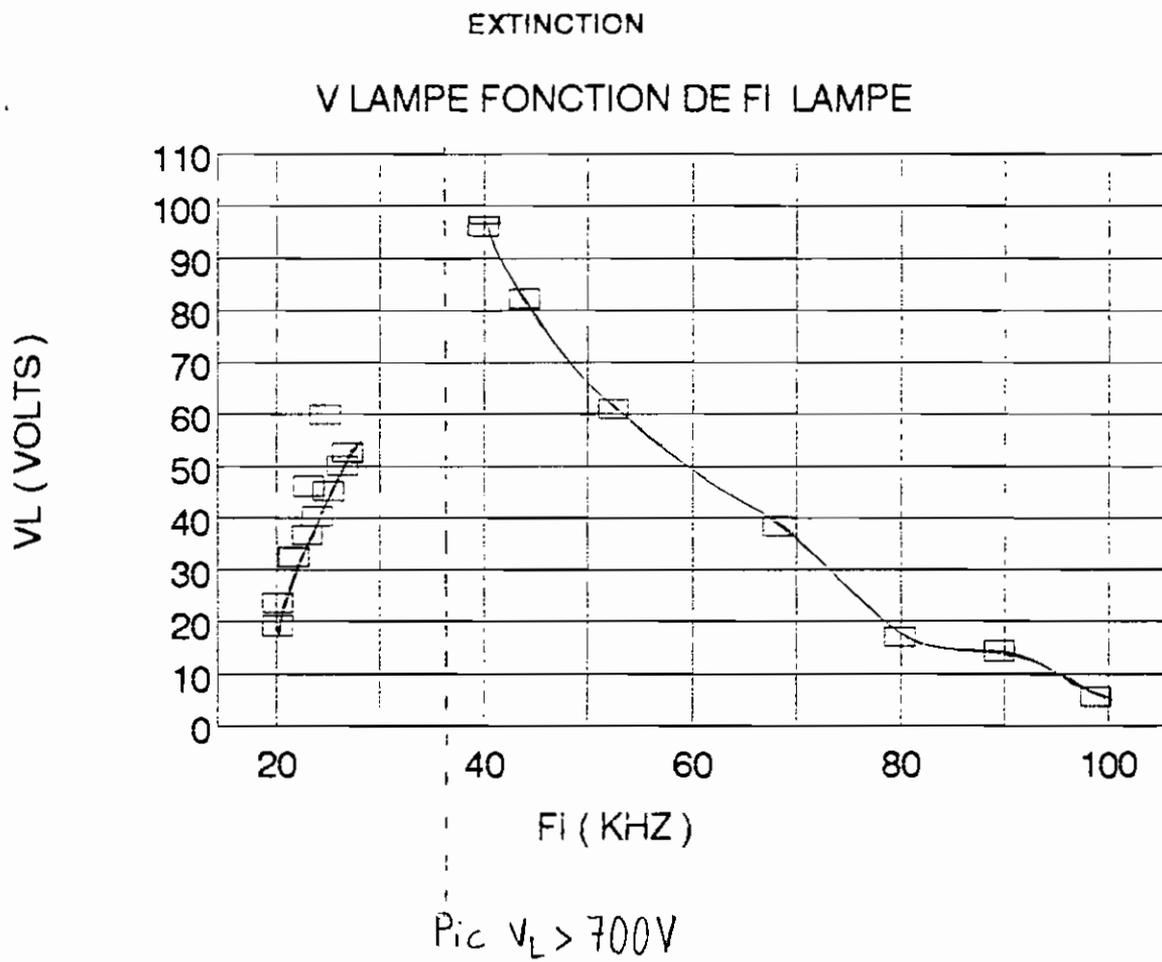
(FIG N°9)

EXTINCTION

COURANT LAMPE FONCTION DE V SOURCE



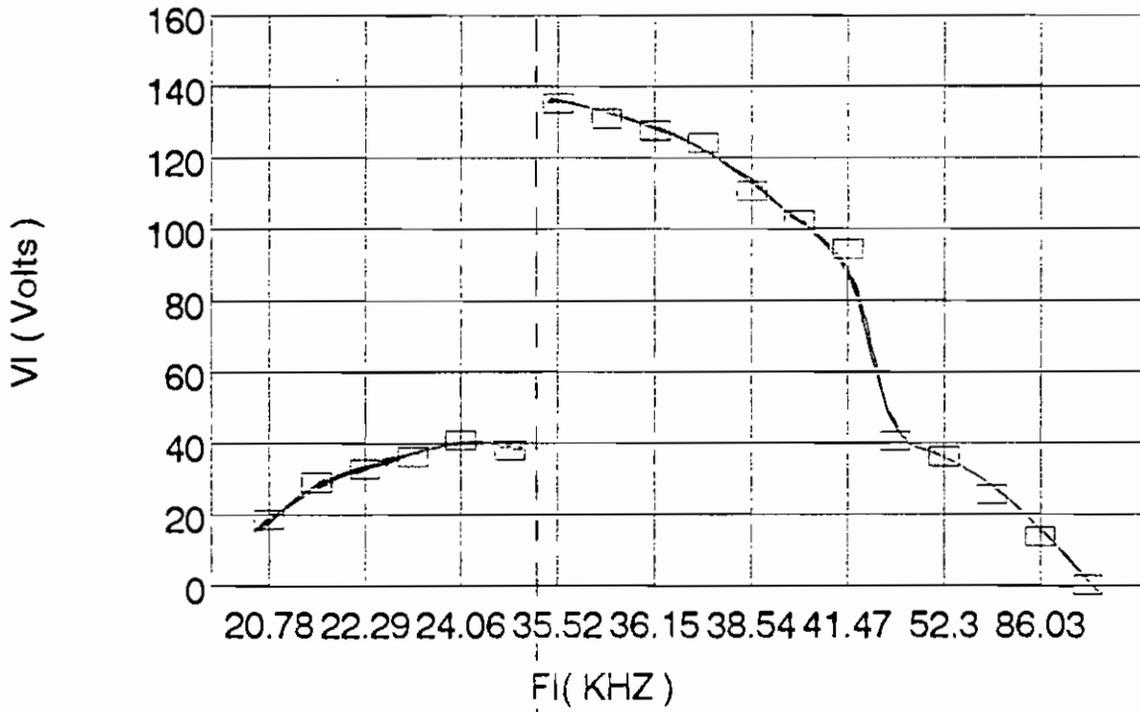
(fig N°10)



(FIG N° 11)

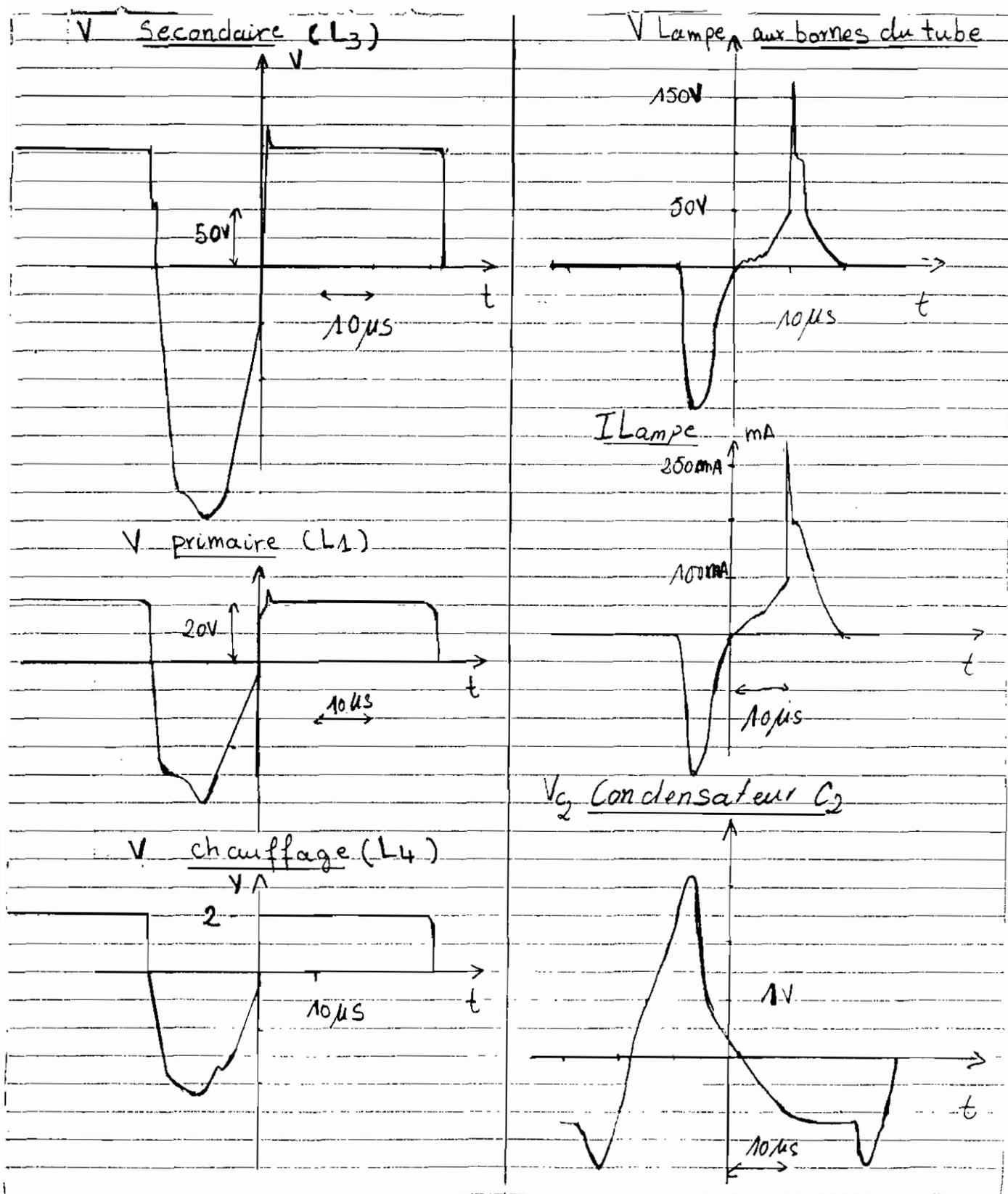
ALLUMAGE

V LAMPE FONCTION DE FREQUENCE



Pic $V_L > 700V$

Fig N°12 AUTRES COURBES



4.5 DESCRIPTION DES COURBES

4.5.1 Courant en fonction de la tension

La variation du courant dans le tube en fonction de la tension source E , donne les courbes d'allumage et d'extinction de la lampe (fig n°8 et fig n°9).

Pour la courbe d'allumage, la tension source est augmentée progressivement. Sur la carte de 24 V, pour une tension source inférieure à 4 V on note un très faible courant à travers le tube. Ce courant est dû à l'ionisation partielle du gaz à l'intérieur du tube par les radiations extérieures. Lorsque E atteint $5.73 = 6V$ le courant augmente brusquement dans le tube pour la simple raison que la tension aux bornes du tube dépasse la tension d'ionisation du gaz $V_i=26V$. Une poursuite de l'augmentation de la tension source se traduit toujours par une augmentation du courant lampe I_{lamp} mais avec une pente de plus en plus faible . A partir de $E = 14V$ la pente de la courbe est presque nulle ; tous les électrons libérés par le gaz sont captés par l'anode. Le palier se poursuit jusqu'à une tension E de 16V. C'est alors que s'amorce le tube. La tension efficace aux bornes du tube est égale à sa tension d'amorçage $V_{am} = 135V$. Le tube qui se comportait jusque là comme une résistance positive change de caractéristique et se comporte comme une résistance négative. La tension à ses bornes chute brusquement à 38V. La différence de potentiel aux bornes du tube va diminuer maintenant pour une augmentation de E .

En régime nominal elle ne sera que de 29V. A l'extinction, mise à part le décalage du point d'extinction par rapport au point d'allumage, les caractéristiques relevées sont les mêmes. Ce décalage peut s'expliquer par le fait que les charges d'espace n'ont pas eu la possibilité de se reconstituer avant l'extinction. A $E = 12V$, le tube s'éteint complètement et la tension d'extinction $V_{ext} = 40 V$ (fig N°9).

4.5.2 Réponse en fréquence

La courbe traduisant la variation de la chute de tension aux bornes du tube V_{lamp} , en fonction de la fréquence est donnée par la figure N°10 (extinction).

A 25 KHZ la tension augmente brusquement de 50V à 100V et la fréquence s'établit à 40KHZ. Au point (100v,40KHZ) le tube s'éteint totalement mais la fréquence du signal augmente toujours avec une diminution de E. La chute de tension V_{lamp} quant à elle diminue jusqu'à ce que le transistor cesse de commuter; le courant dans le tube est alors nul .

4.6 RECHERCHE DES CAUSES DU NOIRCISSEMENT DES TUBES

Le noircissement d'une réglette est le signe précurseur d'une diminution de sa durée de vie. Dans le tableau N°3, nous avons regroupé un ensemble de critères pour vérifier les hypothèses formulées ci-dessous. Cette approche nous conduit par élimination des hypothèses, vers les causes réelles du phénomène.

4.6.1 Première hypothèse :

IMPACT DES ÉLECTRONS OU DES CATIONS SUR LA PAROI DU TUBE

A l'extinction, au moment où la tension d'alimentation E est voisine de 12V, le tube avant de s'éteindre émet un bruit pouvant traduire un certain désordre à son intérieur. La tension du tube passe de V_{ext} à 98.5V. Le régime turbulent dans lequel vient de rentrer le courant du tube, se poursuit.

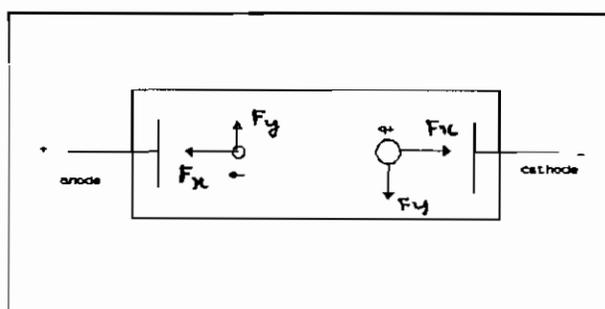
En effet la tension de 98.5V bien que suffisante pour libérer assez d'électrons des atomes de gaz, est insuffisante pour faire parvenir tous les électrons libérés à l'anode et tous les ions positifs à la cathode. Il se produit des chocs de tout espèce dans le tube se traduisant à la limite par l'émission de bruits.

Théoriquement nous savons qu'une charge électrique q placée dans un champ électrique E est soumise à une force électrostatique $F = q * E$; le champ électrique $E_x = - dV/dx$ est proportionnel à la différence de potentielle entre les électrodes.

Nous savons également que par bombardement électronique un atome est susceptible de libérer un électron dans n'importe quelle direction. En plus il est démontré qu'un ion dans un fluide peut ballotter en tous sens par agitation atomique (mouvement BROWNIEN). Les charges à l'intérieur du tube sont donc soumises à diverses forces. Si les composantes horizontales ($F_x = q \cdot E_x$ Fig N°13) de ces forces sont insuffisantes pour orienter les charges vers les électrodes; leur mouvement ne sera plus linéaire. A défaut d'un mouvement d'ensemble des charges dans le tube les chocs se multiplient entre les particules. Tout se passera comme une réaction en chaîne; la probabilité pour qu'un électron heurte un atome de gaz dans cette situation étant élevée, les charges se multiplient dans le tube. Ne pouvant tous atteindre les électrodes, elles produisent des impacts sur la paroi interne du tube, cède leur énergie $q \cdot V$ à la paroi sous forme de chaleur ce qui peut être à la base du noircissement des lampes.

La composante F_y des forces sur les cations devant être plus élevée que celle des électrons en raison de leur masse, les cations sont plus susceptibles de produire des impacts sur la paroi interne du tube. Cette supposition sera confirmée par un courant relativement faible à travers le tube.

Fig N°13 SCHEMA DES FORCES AGISSANT SUR LES CHARGES



4.6.2 Deuxième hypothèse:

DESTRUCTION DES ÉLECTRODES

Au premier amorçage la tension aux bornes du tube passe de 135V à 38V. Le même phénomène se produirait au cours des réamorçages cycliques (à chaque alternance). Cette chute de potentielle est un court circuit qui engendre des pics de courant à travers le tube. Ce courant sera exacerbé par:

_ la décharge du condensateur C3 pendant l'amorçage en sens inverse (deuxième alternance).

_ La chute de tension aux bornes du tube qui diminue lorsque le courant augmente dans celui-ci (résistance négative).

- les pics de la tension d'alimentation (tension secondaire) pour un fonctionnement de la lampe dans la zone d'allumage ou d'extinction .

Ces pics de courant, combinés à la fréquence élevée du signal d'alimentation dans la zone d'extinction (2 fois plus grand que la fréquence nominale) sont susceptibles de provoquer la destruction des électrodes.

En outre ne perdons pas de vue que les tensions induites aux bornes des électrodes pour leur chauffage, connaissent également des pics dans la zone d'allumage et d'extinction; toutes les bobines étant sur le même noyau. Ainsi en maintenant la lampe fonctionner dans cette zone, on provoquerait un échauffement excessif des électrodes pouvant les amener à la destruction .

4.6.3 Troisième Hypothèse:

RÉSONANCE DANS LA ZONE A L'EXTINCTION ET D'ALLUMAGE

L'idée de considérer la résonance comme une source probable du noircissement est liée:

- _ à l'allure des courbes N° 3 et N°4($V_{lamp} = f (w)$)
- _ aux pics de tension secondaire entre 25 et 40 KHZ
- _ au bruit que produit le tube entre 25 et 40 KHZ juste avant l'allumage. Nous savons que la puissance du bruit produit par un circuit oscillant est maximale à sa fréquence propre f_0 . Le calcul de la fréquence propre $f_0 = 1 / (2 * 3.14 * (L * C)^{1/2})$ du circuit nous donne pour la carte de 24V, 26KHZ ($20 < 26 < 40$ KHZ).

4.6.4 Quatrième Hypothèse:

DISSYMMÉTRIE DANS LE FONCTIONNEMENT DU TUBE

Au début de l'allumage comme à l'extinction le tube se comporte comme une résistance infinie; toute la tension secondaire est appliquée à ses bornes.

D'après la forme d'onde de cette tension à l'allumage, le tube conduit beaucoup plus pendant l'alternance positive que pendant l'alternance négative (Annexe 4). Cette durée de conduction est approximativement de $20\mu\text{s}$ pour l'alternance positive de $4\mu\text{s}$ pour l'alternance négative. Cela peut occasionner l'entraînement du gaz dans une moitié du tube. Le tube, vidé dans l'autre moitié de gaz, aura alors une résistance plus élevée et une tension élevée sera appliquée aux électrodes (faible courant secondaire).

4.7 VÉRIFICATION DES HYPOTHESES

A la fin de ce paragraphe, les vérifications seront synthétisées dans le tableau N°3.

4.7.1 Impact des électrons ou des cations sur la paroi du tube

Nous avons démontré que le courant dans le tube peut rentrer en régime turbulent et provoquer des impacts de charges sur la paroi interne du tube (à l'allumage comme à l'extinction). Le régime étant turbulent il ne devrait donc pas y avoir une zone d'impact préférentielle pour les charges. Le noircissement devrait se produire de manière uniforme sur presque toute la longueur du tube. Si ses impacts sont effectivement à la base du noircissement du tube, il devrait s'échauffer plus à basse tension ($E=12\text{V}$) qu'en régime nominal et on devrait même avoir quelques arrachements de particules fluorescentes.

Tout Cela devrait s'accompagner d'une baisse relative du courant à travers le tube. Les tests effectués sur la lampe dans cet ordre d'idées se sont révélés presque tous négatifs:

_ Noircissement seulement au niveau des électrodes

_ Échauffement du tube en régime nominal plus élevé que dans la zone de destruction

_ Pas d'arrachement de particules fluorescentes sur toute la longueur du tube .

Néanmoins certaines observations ont tendance à confirmer cette hypothèse.

En effet une simple comparaison entre le courant nominal de la lampe pour une tension secondaire VS de 165V ($I_n = 104\text{ma}$) et son courant à l'extinction ($I_{ex} = 35\text{ma}$) pour VS égale à 100V, nous permet d'affirmer que ce courant a relativement chuté.

En plus sur la figure N°9 le palier pouvant indiquer que tous les électrons libérés atteignent l'anode n'est pas noté.

Tout Ce qui précède ne démontre pas que l'hypothèse avancée est fausse. Les chocs peuvent se produire dans le tube mais l'énergie des charges serait insuffisante pour provoquer le noircissement ou l'arrachement des particules fluorescentes. Par contre nous pouvons affirmer avec certitude que ces chocs ne sont pas à la base de la destruction du tube .

4.7.2 Destruction des électrodes

il a été retenu que les électrodes peuvent être détruites par les pics de courant à travers le tube, engendrés lors des réamorçages cycliques et par un échauffement excessif dû aux pics de tension sur les électrodes.

l'hypothèse de la destruction des électrodes soumises à certains critères d'évaluation, paraît la plus plausible:

-le noircissement du tube se situe au niveau des électrodes avec un noircissement plus prononcé sur l'électrode sans condensateur série (L4).

-les bruits émis proviennent des électrodes

-le tube s'échauffe plus au niveau des électrodes

-la fréquence élevée du signal en basse tension devrait entraîner un nombre de réamorçage plus élevé qu'en régime nominal et un échauffement plus poussé des électrodes. En toute évidence, ces derniers n'auront pas le temps de dissiper l'énergie de chauffage, par convection à travers le gaz et par conduction à travers la paroi du tube.

4.7.3 Résonance

elle aurait pu être retenue comme cause si:

- pour les lampes de 12V (Schéma en annexe), la fréquence propre du secondaire correspondait à leur domaine de destruction

-il n'existe plus d'autres explications au bruit dans le tube à l'extinction.

-il n'existe plus d'autres explications aux pics de tension observée à l'amorçage.

En effet dans un paragraphe précédent il est retenu que les bruits sont dus à des étincelles sur les électrodes.

4.7.4 Entraînement du gaz

En faisant fonctionner le tube pendant un très long moment, aucune mention n'a été faite d'un éclaircissement à moitié du tube. Néanmoins la forme d'onde de la tension secondaire peut laisser présager un léger entraînement du gaz. La durée de l'alternance positif est 5 fois celle de l'alternance négative (20 μ s et 4 μ s). Il serait fort souhaitable de traiter ce cas comme une cause secondaire de la durée de vie réduite des lampes .

4.8 EXPLICATION APPORTÉE AUX PICS DE TENSION

Les pics de tension constituent une cause de la destruction des électrodes. Ils peuvent s'expliquer par le fait qu'à basse tension, le tube est traversé par un faible courant voire nul, à cause de sa grande résistance. Or nous savons (par la loi de lenz) que la circulation d'un courant au secondaire devait engendrer une chute de tension sur la bobine secondaire. Cette chute étant proportionnelle à ce courant, plus ce courant serait faible plus la tension secondaire serait élevée.

En outre, pour une faible polarisation E du transistor le courant de saturation $I_c = (E-V_{ce}) / R$ est également faible.

On aurait donc besoin d'un courant de base I_B faible pour la saturation du transistor. Dans ces conditions pour une charge plus faible du condensateur C_2 le transistor peut se fermer. La tension inverse induite aux bornes de la bobine secondaire étant liée à la charge de C_2 , elle ne sera plus que des impulsions lorsque le temps de charge de C_2 va diminuer.

Or la tension induite sur une bobine est $V=n*d\phi/dt^4$ (n : nombre d'enroulement de la bobine). Si dt devient plus faible par rapport à $d\phi$, V connaît des pics. Ces pics seront exacerbés par le rapport de transformation ($N_3/N_2 = 38$) très élevé entre les bobines L_3 et L_2 . Vient s'ajouter à tout cela l'effet de la tension inverse induite $e = - L_1*di/dt$ sur la bobine L_1 par l'ouverture rapide du transistor. La polarisation du transistor étant plus faible à basse tension; son ouverture serait plus facile et plus rapide (fréquence de commutation élevée). la tension e deviendrait très grande lorsque di va croître et dt va diminuer. Nous venons de voir que dt est plus faible à basse tension. Par ailleurs, di serait également élevée car l'ouverture brusque du transistor inverse subitement la tension aux bornes de L_1 . Ce phénomène similaire à un court circuit peut produire des étincelles sur la bobine.

On peut ainsi comprendre la présence de pics de tension au secondaire. Ces pics sont donc liés à des variations brusques de flux magnétique dans le noyau .

⁴ $d\phi/dt$ variation de flux par rapport au temps

TABLEAU N°3 : ANALYSE DES CAUSES DU NOIRCISSEMENT DES TUBES A BASSE TENSION

HYPOTHESE	TEST OU CRITERE D'EVALUATION	RESULTAT	DECISION	ACTION A ENTREPRENDRE
impact des cations ou des électrons sur la paroi du tube	1 température du tube élevée sur la longueur 2 noircissement répartie sur toute la longueur du tube 3 tension aux bornes du tube assez élevée mais faible courant	négatif négatif positif	rejetée	aucune
destruction des électrodes	1 noircissement proche des électrodes 2 les bruits proviennent des électrodes 3 température du tube élevée au niveau des électrodes 4 électrodes rongées ou coupée	positif positif positif en cours	retenue	1 réduire la fréquence du signal à basse tension 2 écrêter les pics de tension secondaire 3 protéger les électrodes
Résonnance	1 fréquence propre des tubes de 12V correspond au domaine de destruction 2 il existe une autre raison aux pics de tension	négatif négatif	rejetée	aucune
entraînement du gaz	1 une moitié du tube plus éclairée 2 différence entre la durée alternance	négatif positif	retenue	équilibrée la durée des alternances

4.9 PROPOSITION D'ACTION CORRECTIVES

Fort des enseignements tirés de la section précédente, nous regroupons dans le tableau N°4 un ensemble d'actions à mener. Leur analyse nous fera évoluer vers la proposition et l'étude d'un schéma.

TABLEAU N°4 ANALYSE DES PROPOSITIONS

SOLUTION	REALISATION PRATIQUE	INCIDENCE SUR LE FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT	AUTRES ACTION A ENTREPRENDRE
réduire les pics de courant à travers le tube	introduire une inductance en série avec le tube néon	consommation de puissance réactive	correction du facteur de puissance
réduire les pics de tension sur les électrodes	introduire une capacitance en série avec chaque électrode	1 retard du préchauffage 2 raté au premier amorçage	augmenter la tension d'alimentation du tube
diminuer le chauffage des électrodes	réduire le nombre d'enroulement des bobines de préchauffage	raté au premier amorçage	augmenter la tension d'alimentation du tube
limiter les pics de tension au secondaire	circuit écrêteur	défavorable lorsque le préchauffage est réduit	abandonnée
diminuer la fréquence à basse tension	prolonger le temps de décharge des condensateurs de protection des électrodes (20 μ s)	peut corriger l'entraînement du gaz	abandonnée

CHAPITRE V :

DEVELOPPEMENT D'UNE SOLUTION

5.1 RECHERCHE D'UN SCHÉMA DE MONTAGE

Avant de commencer cette démarche il ne faudrait pas perdre de vue notre objectif qui est de concevoir une carte économiquement réalisable. Il faut rappeler qu'il est impossible d'allumer notre lampe à partir d'une source continue de 24V, inférieure à la tension d'amorçage qui varie entre 100 et 135 V. Même si la tension continue disponible lui était supérieure, la nécessité d'inverser périodiquement sa polarité s'impose (entraînement du gaz).

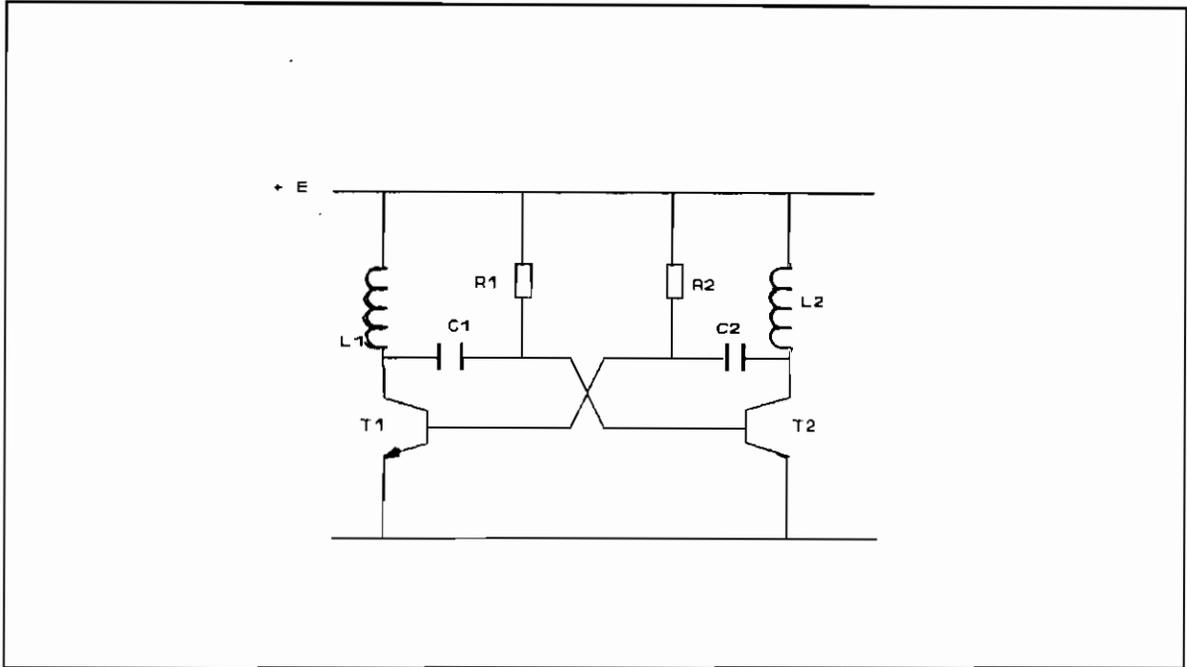
En tenant compte de ces contraintes, les éléments nécessaires à la constitution du circuit se dessinent. Il s'agira d'un transformateur de courant continu-alternatif (onduleur, multivibrateur astable, oscillateur) et d'un élévateur de tension (transformateur).

5.1.1 Onduleur

L'idéal serait d'alimenter la lampe à partir d'une tension sinusoïdale parfaitement réalisée par un onduleur. Mais cette solution ferait intervenir plus de composants statiques et s'annonce plus chère que la solution existante. Des efforts ne seraient donc pas poursuivis dans ce sens.

5.1.2 Multivibrateur astable

Fig N°14 SCHEMA D'UN MULTIVIBRATEUR



La figure ci-dessus est un multivibrateur astable avec des inductances mises en série dans le circuit collecteur de chaque bobine.

Supposons que le transistor T1 est bloqué à l'état initial et que T2 est saturé.

$$V_{CE1} = E \quad V_{CE2} = 0$$

$$V_{bE1} \leq 0.7V \quad V_{bE2} \geq 0.7V$$

Le montage ne peut rester longtemps dans cet état car le condensateur C2 se charge à travers R2. Dès que le potentiel de la base du transistor T1 devient positif, il conduit et sa tension collecteur chute rapidement ce qui engendre une impulsion négative à la base de T2 qui se bloque. La tension V_{ce1} passe de E à V_{ce1} saturation = 0 et V_{ce2} passe de V_{ce2} saturation = 0 à $V_{ce2} = E$. En ce moment C1 se charge à travers R1, le montage bascule au moment où la tension de la base du transistor T2 devient positive et le cycle recommence. Les deux enroulements L1 et L2 constitueront le primaire du transformateur. Ce système permettrait d'avoir une onde parfaitement symétrique en tout moment (même pour une faible alimentation) lorsque les bobines primaires seront convenablement enroulées. Mais une fois encore cette solution serait abandonnée pour des raisons économiques.

5.1.3 Carte pouvant fonctionner en 12 V ET 24 V

L'idée vient du fait que les lampes équipées d'une carte de 24 V continue, connaissent une durée de vie réduite lorsqu'elle fonctionne aux alentours de 12 V; alors qu'il existe déjà des cartes de 12 V pour lesquelles les lampes connaissent le même problème à une tension plus basse. Il serait intéressant de court-circuiter une partie de l'enroulement primaire sur la carte de 24 V lorsque la tension aux bornes de la batterie aura chuté jusqu'à 12V. Ce faisant on pourrait augmenter le rapport de transformation $N3/N1 = V_{am}/E$ et améliorer la durée de vie des lampes. Le problème est en réalité plus compliqué.

En effet la carte de 12 V pour une même puissance de la lampe appelle plus de courant du réseau , ceci est d'autant plus dangereux pour la durée de vie des batteries, qu'elles ont déjà connu une certaine décharge. Et n'ignorons pas qu'en dessous de sa capacité nominale, une augmentation de un(1) Ampère du courant de décharge de la batterie peut réduire sa durée de vie de dix(10).

5.1.4 Oscillateur bloqué astable

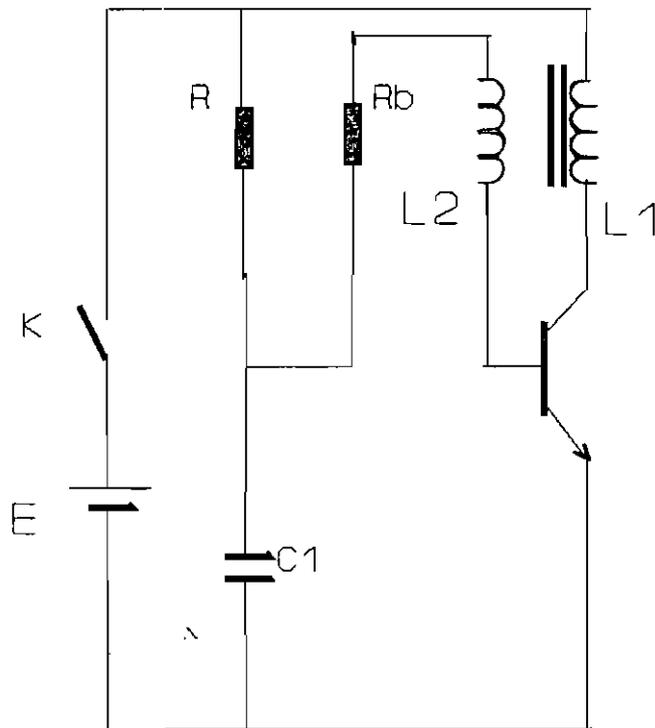


Fig No 15 SCHEMA D'UN OSCILLATEUR BLOQUE ASTABLE

Le principe de fonctionnement de l'oscillateur bloqué astable se résume comme suit:

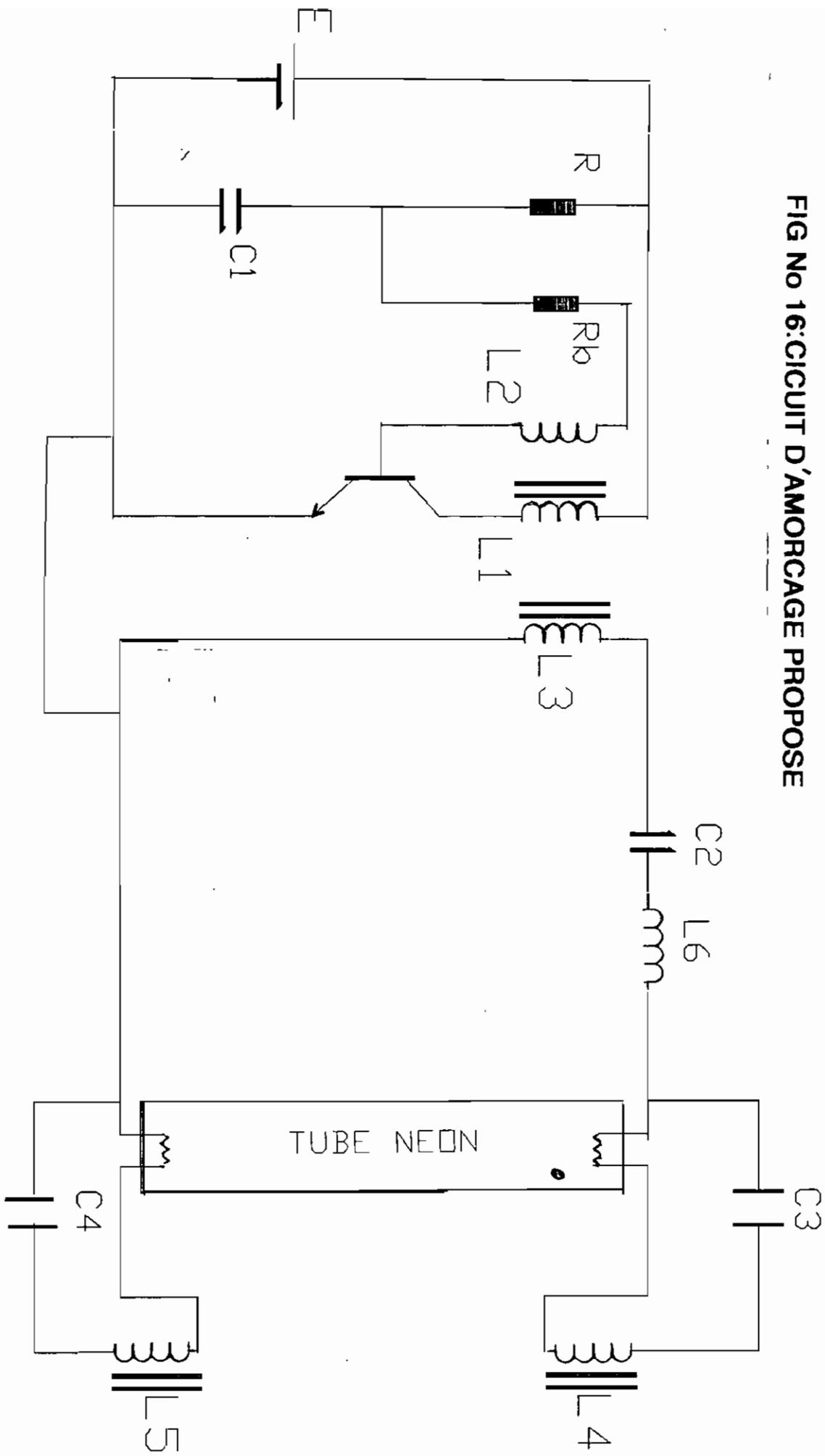
lorsqu'on ferme l'interrupteur K le collecteur reçoit une impulsion qui induit une tension positive à la base. le condensateur C1 se comporte comme un court-circuit pour une rapide variation de la tension base. Un courant I_b est injecté dans la base et le transistor passe de l'état bloqué a l'état saturé. Le courant collecteur ne peut passer immédiatement à sa valeur maximale $I_{cmax} = B \cdot I_b$. Le transistor conduira jusqu'à ce que $I_c = B \cdot I_b$.⁵ En ce moment précis la variation de flux magnétique cesse; la tension induite sur chaque bobine devra disparaître. L'inductance L1 se décharge et induit une tension négative à la base favorisant ainsi l'ouverture du transistor. Le transistor ne pourra demeurer longtemps dans l'état bloqué, car le condensateur C1 se charge à travers R et avec le courant inverse base collecteur I_{cbo} . Le transistor se mettra à conduire lorsque la tension base émetteur V_{BE} , deviendra positive.

Cette solution parait plus proche de celle existante. Elle sera développée jusqu'à compenser les défauts de la carte en étude.

De tout ce qui précède, nous retenons un premier schéma du circuit d'amorçage des lampes (Fig N°16) sur la base du quel le dimensionnement des composants sera effectué.

⁵ B gain en courant du transistor

FIG No 16: CIGUIT D'AMORCAGE PROPOSE



5.2 CALCULS ET CHOIX DES ÉLÉMENTS

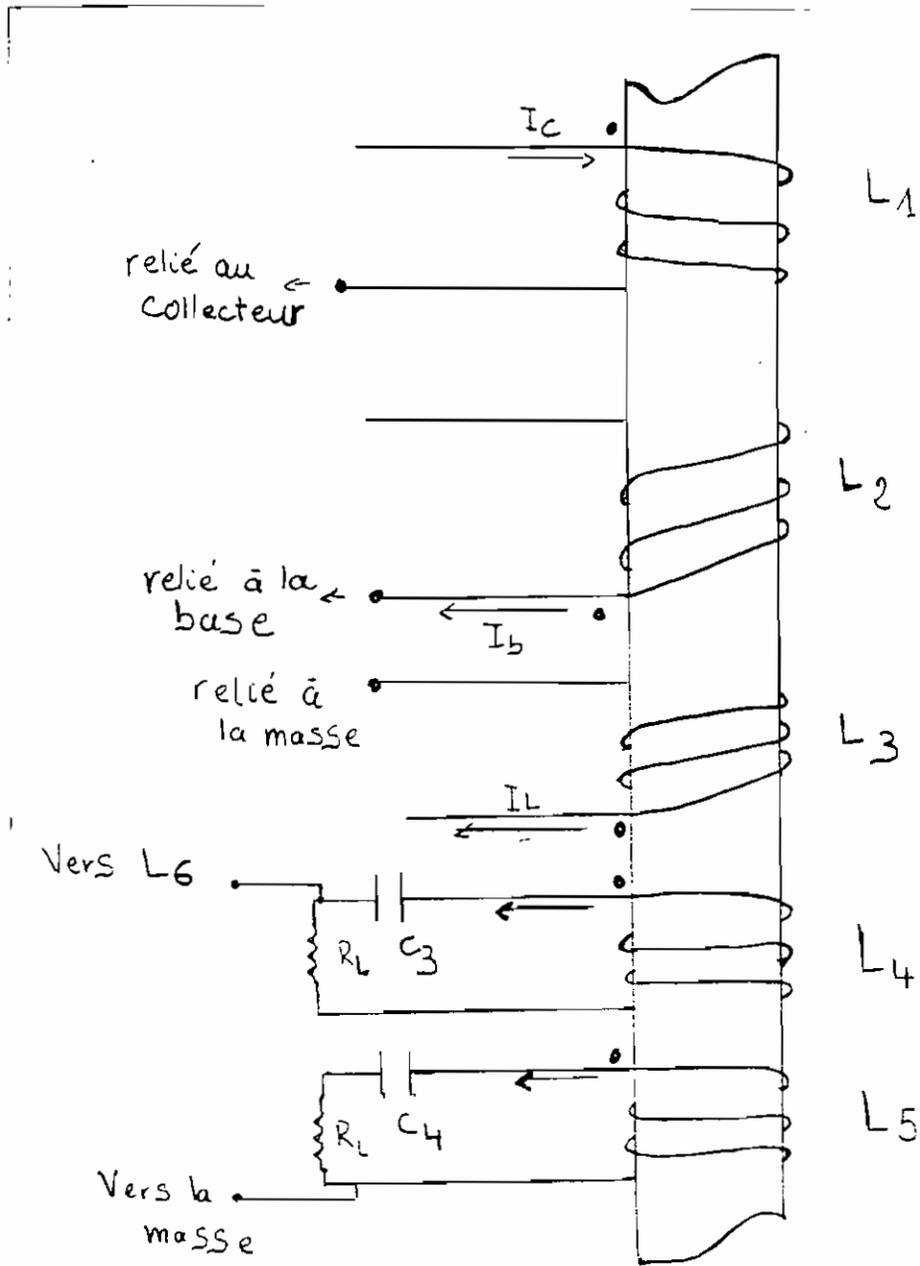
Le schéma retenu fig N°16, tient compte de certaines améliorations retenues après analyse des causes de la durée de vie réduite des lampes (voir tableaux d'analyse N°3 et 4) . Ces améliorations portent sur une bonne stabilité de la lampe et une protection des électrodes.

5.2.1 fonctionnement

L'inductance L6 est introduite pour corriger la stabilité du circuit. En série avec la capacité C2, elle forme le bloc de stabilisation. Ces deux composants doivent être choisis non seulement pour avoir une bonne stabilité du tube mais également pour obtenir un bon facteur de puissance $\cos\phi$ (déjà fixé à 0.9). Le condensateur C2 tout en participant à la stabilisation du circuit élimine la composante continue pouvant traverser le tube. De leur côté les condensateurs C4 et C3 introduits dans le circuit permettront de ne plus appliquer des pics de tension aux électrodes. L'oscillateur est composé des inductances L1, L2 du condensateur C1, des résistances R et Rb.

L'inductance L1 joue le rôle de primaire pendant l'alternance positive. Elle sera relayée par L4 et L5 pendant l'alternance négative. Dans toutes les situations, L3 sera le secondaire du transformateur.

Fig N°17 SCHÉMA D'ENROULEMENT DES BOBINES



Les enroulements se feront sur un même noyau de fer comme indiqué par la figure 17. Les points de liaison essentiels des enroulements avec d'autres éléments du circuit sont indiqués sur la figure.

5.2.2 Cahier de charge

Les idées maîtresses du projet sont regroupées dans un cahier de charge comme suit :

- Puissance de la carte $P = 8W$
- Tension de la source continue $E = 24V$
- Fréquence maximale de commutation du transistor $f = 25KHZ^6$

Cette fréquence est généralement limitée à 25KHZ pour les transistors de puissance. La raison est que pendant les temps de commutation (t_f :commutation à l'ouverture t_r : commutation à la fermeture) courant et tension peuvent exister simultanément dans le transistor et provoquer son échauffement. Plus la fréquence de commutation sera élevée, plus l'échauffement sera prononcé.

- une bonne commande de la base
- une bonne protection du transistor
- une durée de vie acceptable des lampes.
- un bon facteur de puissance $\cos\phi=0.9$

A tout cela nous pouvons ajouter l'intérêt porté par l'initiateur du projet, à un circuit d'amorçage sans perturbation sur les fréquences radiophoniques.

⁶ Ref LES ONDULEURS AUTONOMES F.BRICHANT

5.2.3 Expression du courant collecteur et du courant base

En réalité le calcul devrait tenir compte de toutes les inductances mutuelles ce qui conduirait à des équations compliquées. Une première approximation serait de négliger l'effet des inductances mutuelles des bobines L4 et L5 qui ont des valeurs relativement faibles par rapport aux autres inductances. Cette approximation conduit au système suivant:

$$\begin{array}{l} \lrcorner \\ | \quad E = L1*dIc/dt - M12*dIb/dt - M13*dI3/dt \\ | \quad 0 = -M12*dIc/dt + L2*dIb/dt + Rb*Ib + M23*dI3/dt \\ | \quad -V3 = -M31*dIc/dt + M32*dIb/dt + L3*dI3/dt \\ \llcorner \end{array}$$

En passant aux transformées de laplace nous obtenons:

$$\begin{array}{l} \lrcorner \\ | \quad E/S = L1*S*Ic - M12*S*Ib - M13*S*I3 \\ | \quad 0 = -M12*S*Ic + (L2*S+Rb)*Ib + M23*I3 \\ | \quad -V3/S = - M13*S*Ic + M23*S*Ib + L3*S*I3 \\ \llcorner \end{array}$$

Où I_c représente le courant collecteur, I_b le courant base, I_3 le courant secondaire, M_{ij} l'inductance mutuelle entre les bobines i et j , V_3 la tension induite au secondaire .

Le déterminant de ce système est nul. Les déterminants associés aux courants I_c , I_b , I_3 sont également nuls. Ce système conduit donc à une indétermination.

Une seconde approximation s'impose pour contourner le problème . Il s'agira de négliger les inductances mutuelles dans lesquelles participent la bobine secondaire L3. Cela nous permettra d'obtenir les conditions de fonctionnement de l'oscillateur sans charge. Le système obtenu est le suivant:

$$\begin{array}{l} \lrcorner \\ | \quad E/S = L1*S*Ic - M12*S*Ib \\ | \quad 0 = -M12*S*Ic + (Rb+L2*S)*Ib \\ \llcorner \end{array}$$

Le déterminant du système $\text{Det}S = L1*Rb*S$ et

$$Ic(S) = E/(L1*S^2) + (E*L2/(Rb*L1))*1/S$$

$$Ib(S) = (M*E/(L1*Rb))*1/S$$

Ce qui donne dans le temps

$$Ic(t) = (E/L1)*t + (E*L2/(Rb*L1))$$

$$Ib(t) = (M*E/(L1*Rb))$$

Soit $m = N2/N1$ le rapport de transformation entre L2 et L1;
 $m^2 = L2/L1$ et $m = M/L1$.

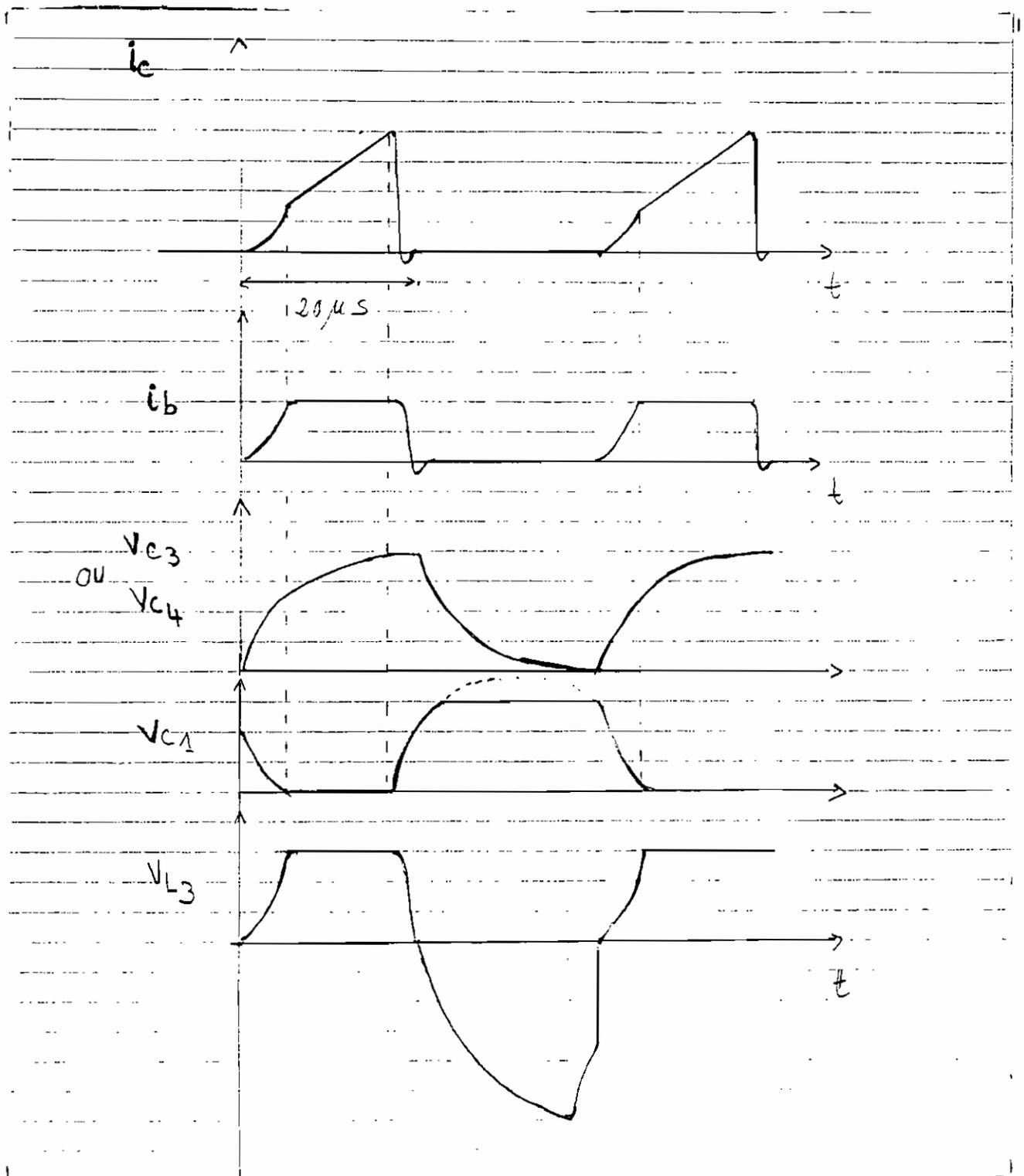
En définitif nous avons :

$\begin{array}{l} Ic(t) = (E/L1) t + (E/Rb)m^2 \\ Ib(t) = m*E/Rb \end{array}$

Nous pouvons donc conclure qu'au moment où le transistor conduit, le courant collecteur est une fonction linéaire du temps alors que le courant base est constant dans le temps. Ces expressions nous permettent de prévoir les formes d'onde de la première alternance et de choisir le transistor (I_{cmax}). Les formes d'onde de la seconde alternance seront dictées par la décharge des condensateurs C3 et C4 .

Un aperçu des formes d'onde recherchées après la réalisation finale est celui de la figure N°18

Fig N°18 FORMES D'ONDE ESSENTIELLES (PRÉVUES)



5.2.4 Dédution à partir du cahier de charge

Nous avons :

$$E = 24V$$

$$V3 = V_{am} = 150V \quad V_{am} : \text{tension d'amorçage de la lampe.}$$

Cette tension d'amorçage de la lampe a été mesurée dans les conditions les plus défavorables.

En effet elle a été obtenue pour une augmentation lente de la tension d'alimentation. Pour une brusque augmentation de cette tension, elle a des valeurs plus faibles (jusqu'à 100 V). à cause des chutes de tension probables au secondaire on se propose de fixer la tension secondaire à 120V pendant la première alternance. Ce qui donne un rapport de transformation

$$N3/N1 = 120/24 = 5.$$

La puissance consommée par la charge est de 8w en fixant $\cos\phi$ à 0.9,

$$\text{nous obtenons } \boxed{I_c = 8/120*0.9 = 0.37A} \quad (P=U*I*\cos\phi).$$

5.2.5 Détermination du courant base I_B , de $L1$ ET R_b

Pour un transistor en commutation, le courant de saturation du collecteur, est $I_{cs} = (E - V_{CEs})/R_s$, où E représente la tension de polarisation du transistor, V_{CEs} la tension de saturation collecteur émetteur, R_s la résistance série placée aux collecteur. V_{CEs} est généralement proche de 1V pour les transistors de puissances. Nous en déduisons $R_s = (24-1)/0.37 = 62.16\text{ohms}$.

R_s correspond à la résistance qu'oppose la bobine L_1 au courant collecteur; $R_s = L_1 \cdot w$. Comme $w = 2 \cdot 3.14 \cdot f$ et $f = 25 \text{KHZ}$ alors $L_1 = 396 \mu\text{H}$.

Nous savons également que le courant collecteur $I_c = B \cdot I_b$.

Nous choisirons un transistor ayant un B moyen proche de 45; ce qui donnera un I_b proche de 8mA. Comme $I_b = m \cdot E / R_b$ alors

$R_b = 250 \text{ohms}$. Il faudrait également induire sur la bobine base une tension supérieure à 0.7V. Compte tenu des chutes de tension cette valeur sera fixée à 2V et le rapport de transformation

$$m = N_2 / N_1 = 2 / 24 = 1 / 12 .$$

La valeur de I_b sera recalculée pour la valeur exacte de B .

5.2.6 NOMBRE D'ENROULEMENT DES BOBINES, DIAMETRE ET LONGUEUR DES FILS

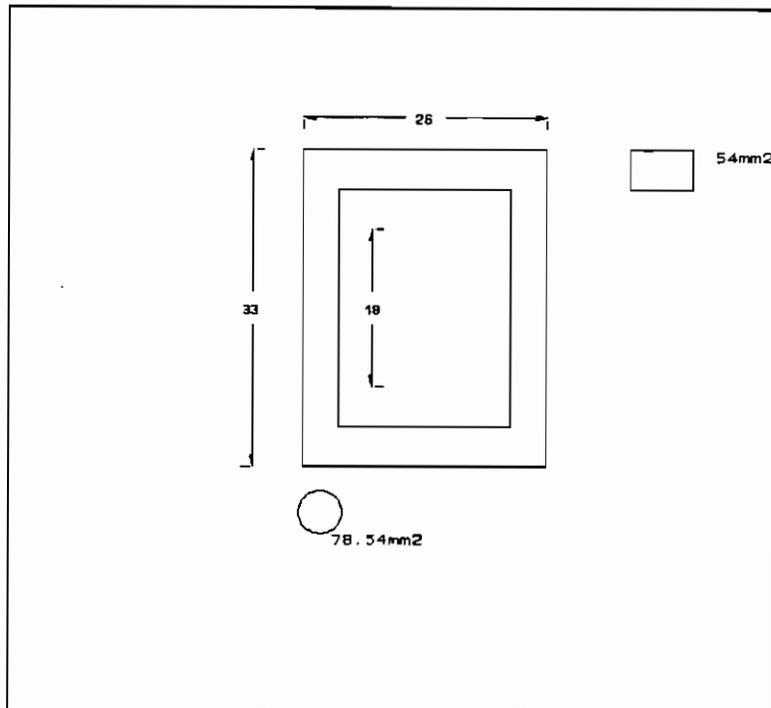
5.2.6.1 dimensions du circuit magnétique

Ces dimensions sont exactement celles d'un circuit disponible. Ce choix a été motivé par les limites d'espace qui s'imposent (dimensions raisonnables pour la carte et la réglette).

Une réglette ayant des dimensions plus grandes que celles existantes pourra engendrer des coûts supplémentaires.

Ce circuit magnétique (Fig N°19) est en acier moulé et constitue le noyau sur lequel les bobines seront enroulées.

FIG N°19 SCHÉMA DU CIRCUIT MAGNÉTIQUE



5.2.6.2 nombre d'enroulements primaires

L'objectif fixé est de choisir N_1 nombre d'enroulements pour avoir une bonne permittivité μ du noyau. Les aciers moulés ont une permittivité maximale pour une intensité du champ H comprise entre 150 et 300 A/m (annexe 1). D'après la formule:

$$H_1 = N \cdot I / L$$

I : courant traversant l'enroulement,

L : longueur du circuit magnétique,

le nombre d'enroulements primaires minimal

$N_{\min} = H_1 \cdot L / I_c = 150 \cdot 87 \cdot 10^{-3} / 0.37$ d'où $N_{\min} = 35$, et le nombre d'enroulements primaires maximal $N_{\max} = 300 \cdot 87 \cdot 10^{-3} / 0.37$ d'où $N_{\max} = 70$.

Pour des raisons d'ordre économique nous retiendrons N_{\min} pour le reste des calculs. Ce qui permet de déterminer la permittivité μ du noyau à utiliser.

$$\mu = L \cdot l / (A \cdot N^2),$$

A: section du noyau = 78.54 mm^2 ,

l: longueur du noyau = 87 mm ,

L: inductance primaire = $396 \mu\text{H}$.

d' où

$$\mu = 0.36 \cdot 10^{-3} \text{ w/A}\cdot\text{m}$$

5.2.6.3 enroulement secondaire

De ce qui précède le nombre d' enroulement secondaire $N_3 = 5 \cdot N_1$
 $N_3 = 5 \cdot 35 = 175$ et de la relation $L_3 / L_1 = (N_3 / N_1)^2 = 25$, nous avons
 $L_3 = 10 \text{ mH}$.

5.2.6.4 inductance reliée à la base L2

$L_2 / L_1 = (N_2 / N_1)^2 = (1/12)^2$ $L_2 = 2.75 \mu\text{H}$. Nous prendrons $L_2 = 3 \mu\text{H}$.

5.2.6.5 diamètre et longueur des fils

Pour ne pas avoir un échauffement excessif des enroulements il est recommandé de limiter la densité du courant j dans les enroulements entre $1.5A/mm^2$ et $2.5A/mm^2$ ⁷.

Au primaire $I_c = 0.37A$. Pour $j=2.5A/mm^2$ le diamètre du fil est minimal et il est maximal lorsque $j=1.5A/mm^2$. D'où $d_{1min}=0.5mm$ et $d_{1max}=0.6mm$.

De la même manière nous obtenons pour l'enroulement secondaire $d_{3min}=0.2mm$ et $d_{3max}=0.25mm$. Les autres enroulements auront un courant moins important que le courant primaire et secondaire. En plus ces enroulements ont des inductances faibles ce qui nous oblige pour des raisons d'ordre pratique à retenir seulement les deux types de diamètre précédent pour la réalisation des enroulements. Il serait même conseillé de réaliser les autres enroulements avec le fil de plus grande section pour minimiser les pertes par effet joule.

les longueurs des fils seront déterminées exactement par l'équation $l = N_1 * P_1 + N_2 * P_2 + \dots + N_i * P_i$ avec

N_i : nombre d'enroulement par couche

P_i : périmètre d'un enroulement de la couche i

i : nombre total de couche.

Nous commencerons par réaliser sur le noyau l'enroulement secondaire. Soit n le nombre d'enroulement secondaire par couche.

⁷ MEMOTECH

$n = l_d/d$ l_d : longueur disponible sur le noyau pour
l'enroulement 18mm
 d : diamètre du fil 0.25mm.

d'où $n = 18/0.25 = 72$ spires

$i = N_3/n = 175/72 = 2.4$. IL faut prendre $i = 2.5$ couches.

finalement $l = (9 * n * 3.14 / 2) * (d + A) = (9 * 72 * 3.14 / 2) * (10 + 0.25) = 10.4$.

Il faut Prendre $l = 11$ m pour tenir compte de certaines erreurs.
ensuite sera superposé sur l'enroulement secondaire,
l'enroulement primaire.

Dans ce cas $n = 18/0.6 = 30$ $i = 30/35 = 1.16$, $N_1 = 30$, $N_2 = 5$.

$$l = 3.14 * (A + 3 * d) * N_1 + 3.14 * (A + 3 * d + d_1) * N_2$$

$d_1 = 0.6$ mm représente le diamètre du fil primaire. Ce qui donne pour
l'enroulement primaire une longueur totale de 1.05m. Mais il faudra
acheter une longueur de $l = 2$ m en prévision de la réalisation des
autres enroulements.

Avec ces valeurs la hauteur des enroulements

$$H_t = 3 * 0.25 + 2 * 0.6 = 1.95 \text{mm}.$$

5.2.7 CHOIX DU TRANSISTOR

Il doit pouvoir supporter I_{cmax} , V_{CEmax} et doit posséder une
capacité suffisante pour dissiper les pertes par effet joule.

De l'expression du courant $I_c = (E/L_1)t + (E/R_b) * m^2$, si en régime
nominal le transistor conduit pendant une demi-période soit $20 \mu s$
 $I_{cmax} = 1.21$ A. Pour plus de sécurité nous supposons qu'un
dysfonctionnement ferait conduire le transistor toute une période.
Ce qui donne $I_{cmax} = 2.43$ A.

Quant à la puissance que le transistor doit dissiper , prendre 4 à 5⁸ fois la puissance calculée.

5.2.7.1 Calcul de la puissance totale à dissiper

$$W = \int_0^{t_r} V_{ce} \cdot i_c(t) \cdot dt + \int_0^{t_f} V_{ce} \cdot i_c(t) \cdot dt$$

t_r : temps de commutation à la fermeture

t_f : temps de commutation à l'ouverture

p : puissance à dissiper

V_{ce} : tension collecteur émetteur

I_c : courant collecteur

$$W = \frac{E \cdot I_c}{6} (t_r + t_f) \quad \text{si } t_f = t_r \quad \implies \quad P = \frac{E \cdot I_c}{3}$$

$$\text{d'où } P = 24 \cdot 0.37 / 3 = 3w$$

Notre Transistor doit être en mesure de dissiper $5 \cdot 3w = 15w$

Tout transistor répondant aux caractéristiques ci-dessus peut-être retenu provisoirement. Le choix ne sera définitif qu'après calcul de la tension inverse maximale V_{ceimax} appliquée au transistor pendant la seconde alternance (voir protection des électrodes). V_{CEmax} sera la plus grande valeur entre E et V_{ceimax} .

⁸ MEMOTECH

TABLEAU N°5 Liste de quelques transistors avec leurs caractéristiques

NPN	ICmax	VCEmax	hfe max/min	ts	tf	PD à 25°C
TIP35A	25 A	60V	75/10	0.6μs	2.5μs	125W
TIP41C	6 A	100V	75/15	0.4μs	0.15μs	65W
TIP31A	3 A	60V	/25	0.6μs	0.3μs	40W

5.2.8 CHOIX DU CONDENSATEUR C1 ET DE LA RÉSISTANCE DE CHARGE R

La charge du condensateur C1 doit durer une demi-période soit 20 μs. Elle se fera à travers R et avec le courant inverse de base Icbo. Cette charge prendra fin lorsque la tension base sera supérieure à 0,7V. A priori on ne saurait calculer la valeur de cette charge. Elle devrait vaincre la chute de tension au niveau de Rb, la tension inverse induite sur L2 par la décharge de C3, C4 et imposer au moins 0,7 V à la base. La charge de Vc peut être fixée entre 2 et 3 V.

$$\text{Nous savons que } V_c = E(1 - e^{-t/T}) \quad T = R \cdot C1$$

$$\text{d'où } T = -t / \ln(1 - V_c/E)$$

$$\text{pour } V_c = 2V \quad T = 230\mu s$$

$$\text{pour } V_c = 3V \quad T = 150\mu s$$

ROcr : résistance case radiateur 2°C/w

$$Pd = (T_{vi} - t_A) / *RO$$

$$RO = (t_{vj} - t_A) / Pd = (150 - 40) / 3 = 37$$

Avec $RO = RO_{rA} + RO_{jc} + RO_{cr}$

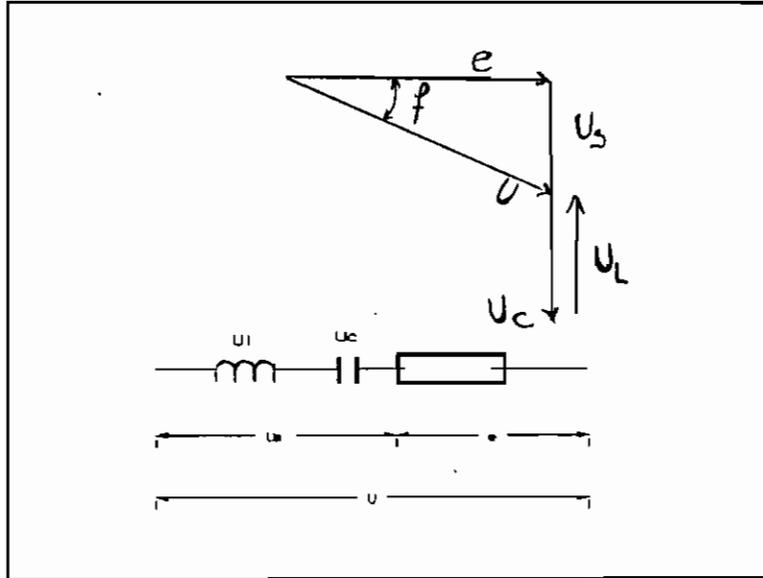
$$RO_{rA} = 37 - 3.125 - 2 = 31.875^\circ\text{C/W}$$

La résistance entre le radiateur et le milieu ambiant est supérieure à 20°C/W. D'après la courbe de choix des radiateurs, (voir annexe 2) le transistor ne nécessite pas de radiateur pour un bon fonctionnement. Il suffirait de le poser sur une petite plaquette d'aluminium ou de cuivre et de prendre soin de l'isoler de la plaquette avec une mince couche de graisse ou d'isolant.

5.3.2 stabilisation du tube

L'enroulement L6 ne sera pas sur le même noyau que les autres enroulements. Cette inductance et le condensateur C2 seront choisis pour obtenir une bonne stabilité et un cosφ de 0.9. L'ensemble des éléments aura un caractère capacitif pour faciliter les réamorçages cycliques .

Fig N°20 SCHÉMA POUR LA STABILISATION ET LA CORRECTION
DU FACTEUR DE PUISSANCE



$\text{Cos} \phi = e / (U_c - U_1) = R / (1/c \cdot \omega - L \cdot \omega)$; $R = e / I$ R: résistance du tube.

Posons $K = Z_c / Z_l$ d'où $(1/c \cdot \omega) / L \cdot \omega = 1 / L \cdot C \cdot \omega^2$

or $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f^9$ et nous avons $f = 1 / ((2 \cdot \pi \cdot (L \cdot C))^{1/2}) \cdot K^{1/2}$

la fréquence propre du circuit est $f_0 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot (L \cdot C))^{1/2}$

le rapport $f_0 / f = K^{1/2}$ est très déterminant pour la stabilité du tube. Pour avoir une bonne stabilité, K doit être inférieur à 2.7^{10} .

$\text{cos} \phi$ devient $\text{cos} \phi = R / ((K-1) \cdot L \cdot \omega^2)$.

⁹ $\pi = 3.14$

¹⁰ ref TUBES A DÉCHARGE LUMINEUSE

La résistance de la lampe est donnée par la pente d'une des droites approximant la relation entre la tension et le courant au niveau du tube fig N°7. Nous avons pris les points extrêmes dans le domaine où le tube est allumé lorsque nous avons simulé l'allumage du tube (tableau N°2), pour la détermination de la pente de cette droite, parce qu'à allumage la résistance du tube doit être plus élevée qu'à extinction (résistance liée à la formation de charges d'espace). Ceci nous permet d'obtenir

$$R=40.8-18.47/0.047-0.112= -344\text{ohms.}$$

Le signe " - ", indique le comportement du tube comme une résistance négative. Cette valeur de R peut être retenue pour la suite du travail car elle est supérieure à la résistance du tube en régime nominal égale à 290ohms (28.96V/100mA).

Avec K à 2,

344

$$L6 = \frac{344}{(2 \cdot 3.14 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 0.9)} = 2.5\text{mH} \quad L6 = 2.5\text{mH}$$

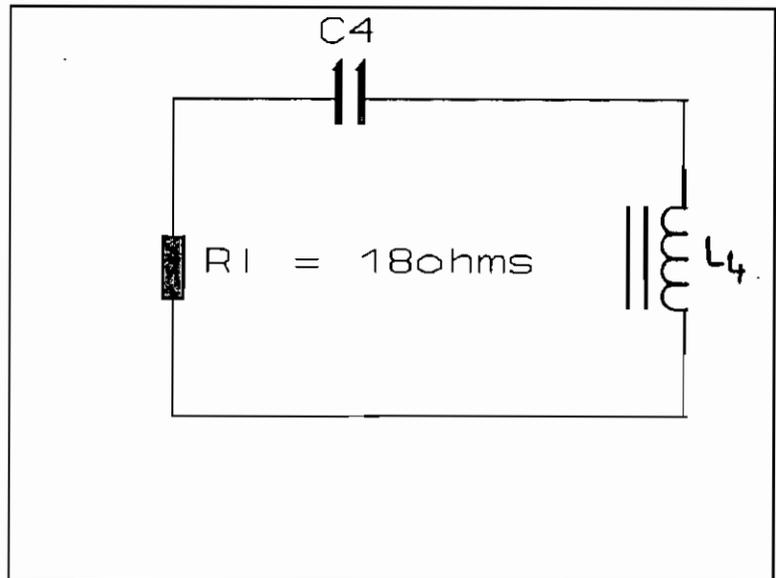
Ce qui permet d'évaluer la capacité du condensateur C2

$$C = \frac{1}{K \cdot L6 \cdot w^2} = 8 \text{ nF} \quad C = 8\text{nf}$$

5.3.3 PROTECTION DES ÉLECTRODES

Fig N°21 SCHÉMA DE PROTECTION DES ÉLECTRODES

Remarque: cette figure est une partie du circuit d'amorçage, reliée aux électrodes.



L'objectif visé dans cette partie est de protéger les électrodes contre les pics de tension, des échauffements trop poussés. Pour ce faire, il est utile de savoir la tension à induire exactement sur les électrodes. Il faudrait donc connaître la surface des électrodes, la charge d'espace. Ainsi la formule de RICHARDSON ($i = AT^2 \cdot \exp(-b/T)$) pourra être utilisée pour déterminer la température à laquelle porter les électrodes. Ne disposant pas de toutes les données, et sachant que la charge d'espace est variable, il est préférable de partir des valeurs mesurées.

La tension induite de préchauffage permettant de produire l'étincelle sur l'électrode est de 2.6V.

Il est important de rappeler que l'amorçage est aussi favorisé par une augmentation de la tension Secondaire. Sans préchauffage des électrodes, le tube peut s'amorcer mais avec une tension secondaire élevée. Il est alors possible de diminuer le chauffage des électrodes et de parvenir à allumer les lampes. En optant pour une diminution de la tension de préchauffage il faudrait augmenter la tension secondaire. Il faudra donc trouver un bon compromis entre ces deux tensions.

Trois options ont été prises pour atteindre les objectifs de protection des électrodes:

- diminuer la valeur des inductances L4 et L5
- insérer un condensateur en série avec les électrodes
- augmenter la tension aux bornes du tube pendant la seconde alternance.

l'augmentation de la tension aux bornes du tube pendant l'alternance négative se fera par un cumul du flux produit dans le noyau par la décharge des condensateurs C3 et C4. Sur la carte en étude la tension inverse est produite seulement par la charge d'un seul condensateur (C2). En introduisant sur chaque électrode un condensateur la possibilité de doubler cette tension est offerte. La tension induite aux bornes de la lampe sera

$$E = N \cdot d\phi / dt = N \cdot d(\phi_4 + \phi_3) / dt = N \cdot d\phi_4 / dt + N \cdot d\phi_3 / dt$$
, où ϕ_i est le flux produit par le condensateur C_i . Tout se passe comme si les tensions induites s'additionnaient.

Avec une valeur moyenne de la tension secondaire beaucoup plus élevée pendant l'alternance négative, on pourrait se permettre de réduire la tension de préchauffage des électrodes jusqu'à 1.5 V. Cette action peut entraîner des ratées au premier amorçage pendant l'alternance positif. Mais on peut s'assurer que le tube s'allumera pendant l'alternance négative, si nous optons pour une valeur efficace de 150V pour la tension secondaire, soit une participation de 75V de chaque condensateur. L'inductance de la bobine de préchauffage sera donnée par

$$E/e = N3/N4 = (L3/L4)^{1/2} \text{ (tiré de la relation } L = (A * \mu * N^2)/l \text{).}$$

$$E/e = 150/1.5 . \text{ Avec } L3=10\text{mH nous obtenons } L4=L5=1\mu\text{H.}$$

Les condensateurs C4 et C3 seront choisis de leur coté de manière à obtenir $5 * R * C4 = 20\mu\text{s}$ ($R=18\text{ohms}$ résistance des électrodes). Les calculs donnent $C4 = C3 = 222\text{nF}$. Mais nous retiendrons la valeur normalisée légèrement supérieure à 222nf .

l'introduction des condensateurs dans le circuit de préchauffage, permet de corriger les pics de tension susceptibles de s'appliquer aux électrodes. Ces pics viendront charger d'abord les condensateurs. Mais cela retardera la tension appliquée aux électrodes par rapport à la tension induite sur les bobines. La conséquence pourrait se traduire par une ratée d'amorçage pendant la première alternance (positive). Il faut noter que les condensateurs ne consomment pas de puissance active. Il servent seulement à voiler les tensions qui apparaissent sur les bobines de préchauffage.

Avec ces valeurs, la tension inverse V_{ceimax} serait $(N1/N4)(e4+e5)*K^{11}$ où $e4$ et $e5$ sont les tensions induites sur les bobines $L4$ et $L5$.

Approximativement $V_{ceimax} = (396/1)^{1/2} * 3 * 1.414$

$V_{ceimax} = 84.17V$. Le transistor TIP41C serait alors retenu.

Le facteur de sécurité pour le transistor est $100/84.17 = 1.2$.

5.3.4 Autres possibilités de protection

5.3.4.1 diode de roue libre

Il a été démontré qu'à l'ouverture du transistor une surtension (liée à dv/dt) peut apparaître sur la bobine $L1$.

Cette surtension aura tendance à :

- prolonger le courant dans le transistor
- provoquer des étincelles sur $L1$
- surchauffer les électrodes.

Il est donc impératif de faire disparaître le plus rapidement possible cette tension inverse sur la bobine.

La récupération se fera à travers une diode de roue libre $D1$ en série avec une résistance $R1$ le tout en parallèle avec la bobine.

La diode de roue libre doit avoir un temps de réponse inférieur au temps d'ouverture du transistor, pour créer un chemin au courant susceptible de se maintenir dans le transistor.

¹¹ $K = 2^{1/2}$ pour une tension sinusoïdal

L'énergie emmagasinée dans la bobine L1 sera dissipée dans la résistance R1.

- calcul de la tension inverse de crête répétitive

$$VRRM = E + V_{ceimax}$$

V_{ceimax}: tension inverse sur la bobine (produite par la décharge de C3 et C4)

$VRRM = 24 + (N1/N4)(1.5+1.5)*k$ en approximant la courbe de la tension par une sinusoïde nous prendrons $k = 2^{1/2}$.

$$N1/N4 = (396/1)^{1/2} \quad \text{=====>} \quad VRRM = 108.1$$

l'approximation faite, peut être une approximation par défaut. Il faut donc choisir la diode avec un facteur de sécurité. Une diode 1N5402 (case Do27A)¹² a un VRRM 200V. Le facteur de sécurité serait 1.85 .

Nous avons la possibilité de réduire le courant inverse de crête répétitive par le choix de R1. La résistance R1 sera choisie de manière à pouvoir dissiper l'énergie E*IC emmagasinée dans la bobine pendant l'alternance positive. Cette énergie $E*IC=24v * 0.37A = 12.58w$. Elle doit être encore égale à $E^2/R1$; d'où $R1 = 45.78ohms$. On peut retenir jusqu'à 50ohms pour R1 .

$$\text{Avec } R1 = 50ohms \quad IRFM = VRRM/R1 = 108/50 = 2.16A$$

2.16 A est inférieure à IRFM D1 = 15A.

cette diode a un temps de réponse de l'ordre de

$$0.2\mu s < 0.4\mu s \text{ (temps d'ouverture du transistor)}$$

¹² MEMOTECH R.BOURGEOIS

5.3.4.2 Diode Anti retour

Elle empêche le retour de courant vers la source. Son VRRM serait égale à celle de la diode de roue libre. On peut retenir la même diode.

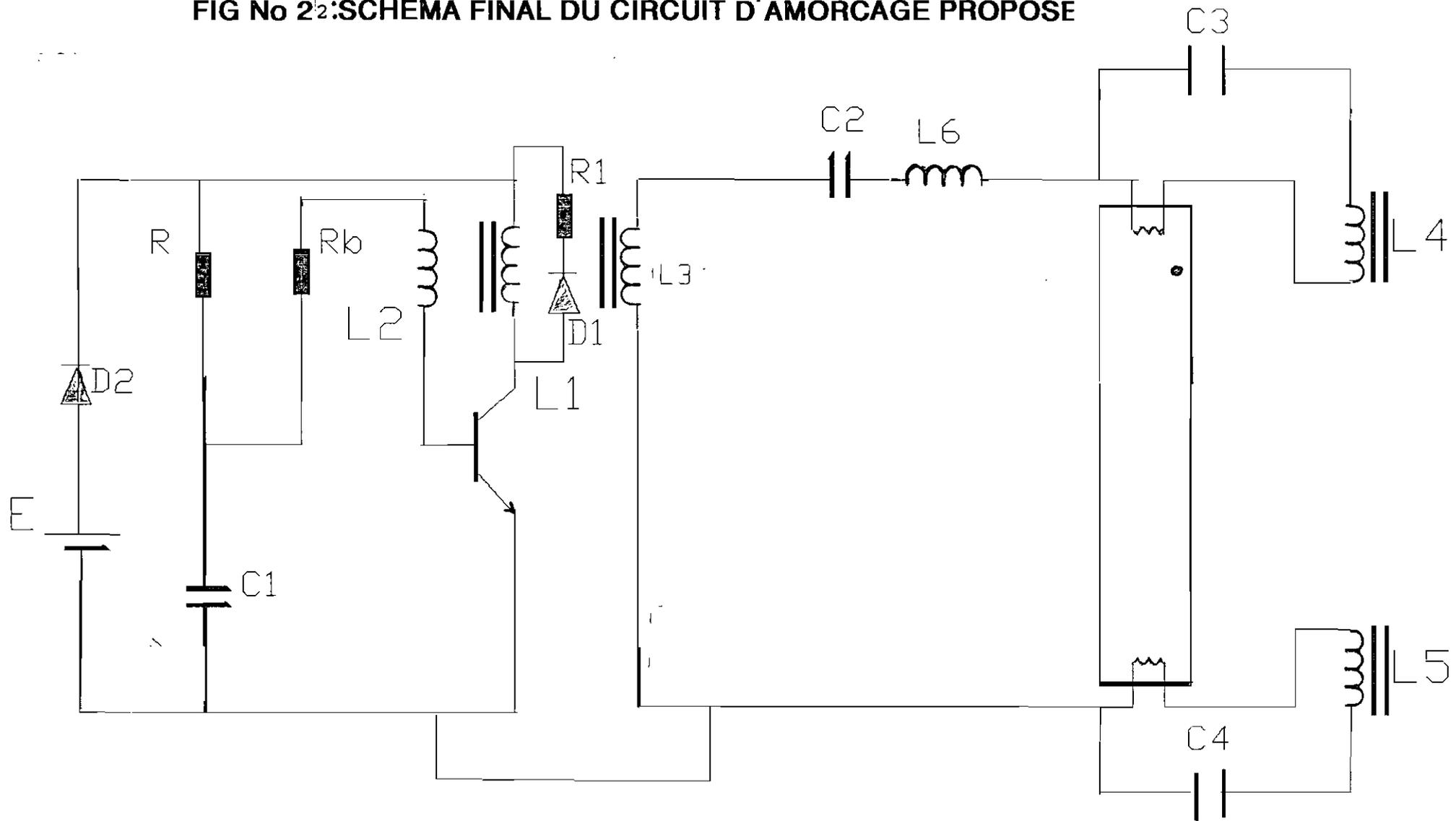
En conclusion de cette partie nous retenons la figure N°22 pour la réalisation de notre circuit d'amorçage. Cette figure indique la manière d'agencer les composants pour arriver à une solution devant garantir des avantages de fonctionnement que nous détaillerons dans l'analyse comparative. le tableau N°6 ci-dessous résume l'ensemble des composants pour la réalisation de ce circuit.

TABLEAU N°6 LISTE DU MATÉRIEL

	désignation	caractéristique 1	caracté 2	caracté. 3
condensateur	C1 électrolitique C2 non électro. C3 non électro. C4 non électro.		220 μ F 8nF 222nF 222nF	
fil	d1	diamètre 0.6mm	longueur totale 2m	pour L1=396 μ H
fil	d3	0.25mm	11m	L2=3 μ h L3=10mH L6=2.5 μ H L4=1. μ H L5=1. μ H
résistance	R1 Rb R	50ohms 250ohms 1ohm		
transistor	TIP41C Qté=1 *	Icmax 6A	Vcemax100V	Pd 65W
diode	1N5402 Qté = 2	IFM 15A	VRRM 200V	ts=200ns

* Qté=QUANTITE

FIG No 22: SCHEMA FINAL DU CIRCUIT D'AMORCAGE PROPOSE



CHAPITRE VI :

ETUDE COMPARATIVE

6.1 COMPARAISON QUANTITATIVE

Il est préférable de faire à ce niveau une étude selon la valeur physique des composants que de faire une étude en terme de coût. La raison est liée à une diversité des prix des composants sur le marché, alors que l'unité physique d'un composant est une constante sur la base de laquelle une bonne comparaison peut être effectuée. Ces valeurs physiques constituent une bonne base pour avoir une idée sur la différence entre le prix de revient de deux cartes électroniques.

TABLEAU N°7 ÉTUDE QUANTITATIVE

	SOLUTION ETUDIEE	SOLUTION PROPOSEE
capacité totale	220.237 μ F	220.452 μ F
inductance totale	7.87mH	11.76mH
résistance totale	4.6 kohms	301ohms
nbre diode	2	2
transistor	Pd 80w	Pd 65w

Pour la réalisation de ce tableau nous avons fait le total pour un type de composant donné, de la valeur physique la plus significative. Ainsi pour les condensateurs nous avons additionné les capacités, pour les bobines les inductances pour les résistances les ohms et pour les transistors les puissances dissipables parce qu'elles intègrent courant et tension.

IL est difficile de tirer une conclusion à partir de ce tableau. Les écarts ne vont nettement ni en faveur de la solution proposée ni en sa défaveur. Si l'on considère que le transistor coûte plus cher que la bobine; la solution proposée paraît plus efficiente.

Cependant ces écarts sont négligeables comparativement au rôle assigné aux cartes.

6.2 COMPARAISON QUALITATIVE

Elle portera sur la spécificité fonctionnelle de chaque carte. Pour la carte étudiée nous noterons les points suivants :

- Un bon fonctionnement en régime nominal
- Une bonne protection contre les retours de courant vers la source
- une protection contre une mauvaise polarisation du transistor
- une stabilisation imparfaite des lampes
- pas de protection pour les tubes contre les courts-circuits en provenance du réseau
- pas de protection pour les électrodes
- pas de protection à l'ouverture du transistor
- forme d'onde non symétrique.

la solution proposée remplira certaines fonctions supplémentaires:

- Meilleure stabilité des lampes
- bonne protection des électrodes
- protection des lampes contre les court-circuits en provenance du réseau (couplage magnétique uniquement, entre la charge et la source.
- bonne correction du facteur de puissance ($\cos\phi=0.9$).
- facilité d'utilisation pour une charge autre que le tube néon.

En effet la base du circuit étudié est alimentée à travers une résistance chauffante du tube néon. Avant de pouvoir utiliser ce circuit pour une autre charge il faudrait trouver un moyen pour alimenter la base. Ce qui demande au préalable la connaissance du schéma de ce circuit. Dans le cas du circuit proposé l'oscillateur seul connecté à la source peut fonctionner et peut alimenter une charge de 8W branchée au secondaire.

6.3 COMPARAISON AVEC D'AUTRES SOLUTIONS.

Afin de ressortir les performances de la solution proposée, nous la confrontons aux différentes approches envisagées par les sociétés importatrices de ces réglettes.

6.3.1 équiper chaque lampe de régulateur

Cette solution consiste à déconnecter la lampe pour une décharge de la batterie et une chute donnée sur les fils de distribution. Elle pourrait engendrer une frustration de l'utilisateur qui disposant d'une tension pour un éclairage passable se trouverait privé de lumière. Et le problème se poserait surtout la nuit, moment où il a le plus besoin d'éclairage. Nous avons effectivement vu au début de cette étude que la batterie ne peut se charger en absence de soleil.

Une seconde observation est que cette solution serait coûteuse de par la composition du circuit de régulation (amplificateur opérationnel , diode Zener, transistors..). Il faudrait disposer en plus une source non variable pour la tension de référence.

6.3.2 surdimensionner l'accumulateur

Cette solution est à prohiber pour plusieurs raisons; les batteries sont chères comparativement au tube néon. Une batterie de 12V 105Ah coûte environ 41000CFA HT(hors taxe) alors qu'un tube de 8w peut revenir à 1500CFA HT. Ce qui signifie qu'en optant pour cette solution il faudrait acquérir au moins une batterie supplémentaire qui revient 30 fois plus chère que le tube néon. D'aucun pourraient croire que cette solution serait économiquement rentable à long terme au cas où la fréquence de remplacement des tubes serait élevée.

Mais ce serait sans compter avec les coûts d'entretien de la batterie.

Viendront se greffer à cela d'autres problèmes. En fait la batterie supplémentaire sera soit mise en série au départ avec les autres, soit branchée en série avec les autres à un moment bien précis ou soit remplacera une batterie déchargée.

Dans le premier cas la lampe sera suralimentée et aura également une durée de vie réduite. Dans le second cas, la surveillance de la décharge des batteries pour déterminer le moment exact où brancher la nouvelle batterie, demanderait des moyens supplémentaires. Enfin, pour le dernier cas, il est déconseillé de mettre une batterie déchargée en série avec une batterie chargée. Celle déchargée aura tendance à débiter plus de courant et perdrait sa capacité à la charge.

6.3.3 Utilisation d'une lampe halogène en remplacement du tube néon

L'idée de remplacer les lampes néon par des lampes halogènes provient du fait que ces lampes :

- Produisent un bon éclairage pour une faible tension d'alimentation
- Peuvent être alimentées directement par une source continue.

On pourrait ainsi économiser sur l'achat des cartes , sur l'énergie consommée par la carte elle même.

Dans le cas étudié, cette énergie est 7 à 8 fois supérieure à celle consommée par le tube néon.

Mais cette solution n'est pas la meilleure car les lampes halogènes sont plus coûteuses et ont une faible durée de vie (1500h) .

En définitif, même si la solution proposée n'est pas encore mise à l'épreuve pour détecter ses failles, elle laisse entrevoir un avenir prometteur. Elle permettra à l'utilisateur de faire des économies sur l'achat des tubes, de s'éclairer jusqu'à une valeur limite proche de la tension d'extinction des lampes sans dommage. Les économies qu'elle permettra de réaliser compenseront largement les dépenses engagées pour les diverses protections.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS



Ce travail est une étude préliminaire, un avant projet devant conduire à la réalisation concrète d'une carte améliorée pour l'éclairage des lampes néon à partir d'une source continue de faible tension. Les calculs effectués sont basés sur certaines approximations et donnent l'ordre de grandeur des différents composants à utiliser. Le travail ne sera parfait qu'à la réalisation car a priori il est impossible de connaître avec exactitude la valeur de ces composants. Certains composants sont même réalisés avec une incertitude de 10% .

L'utilisation de certains logiciels de simulation de circuits électroniques (MICRO-CAP) serait très importante dans la finition du travail. Ces logiciels permettront de tester le nouveau circuit, de corriger certains éléments pour obtenir tension, courant et fréquence désirés au bon moment.

En outre certaines causes probables du noircissement des tubes relevées (fréquence élevée à basse tension signal non parfaitement sinusoïdal), n'ont pas été traitées dans la solution finale. Il faut également noter que nous n'avions pas abordé dans ce travail la partie devant concerner la perturbation des fréquences radiophoniques.

Quelques informations sur les protections contre ces genres de perturbation, seront trouvées dans le livre de Cyrill LANDER ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE .

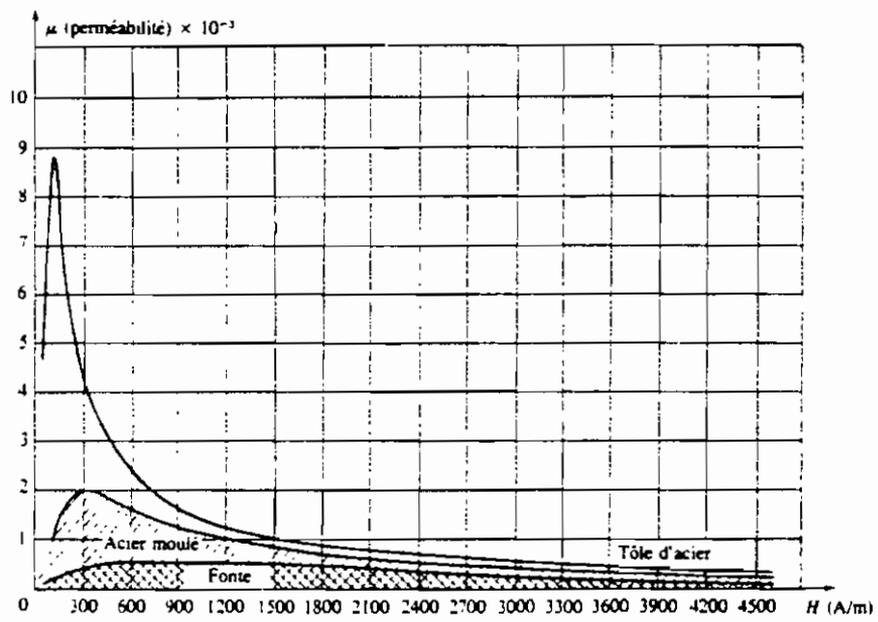
Une carte parfaite serait celle qui réglerait tous ces problèmes à un coût acceptable.

La solution qui consiste à équiper chaque carte d'un régulateur peut être abandonnée au détriment d'une bonne régulation au niveau de la batterie. Effectivement pour une tension donnée de la batterie, on pourrait calculer la chute de tension sur le réseau jusqu'à la lampe la plus éloignée. La tension de référence du régulateur surveillant la décharge de la batterie, pourrait donc être fixée en fonction de cette chute, de la tension d'extinction des lampes et de la limite de décharge des batteries.

Une autre solution envisageable serait de concevoir des cartes fonctionnant à une tension continue plus élevée pour une même charge. Ces cartes appelleront moins de courant du réseau et par conséquent la décharge de la batterie serait ralentie. Une carte de 24V pour une puissance de 8w serait meilleure à une carte de 12V pour la même puissance. Dans un tel cas il suffirait de reprendre les calculs déjà faits et de choisir les composants.

De cette étude il ressort qu'il existe plusieurs solutions au problème posé. La difficulté réside dans le choix de la solution la plus efficace et la plus efficiente. Notre solution s'est appesantie sur la stabilité des tubes néon et la protection des électrodes. Dans tous les cas des efforts doivent être consentis pour parfaire une solution car l'utilisation des lampes néons doit être encouragée à cause de leur faible consommation d'énergie.

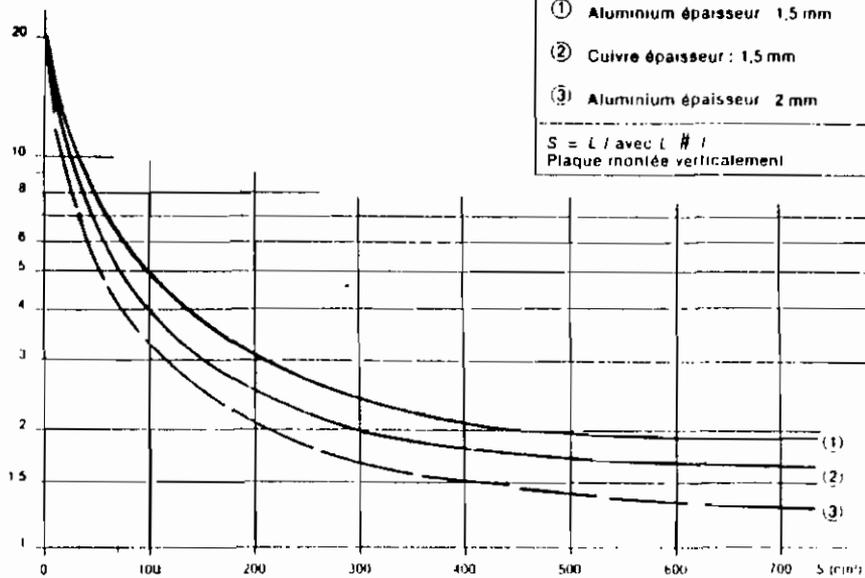
Courbes de saturation



Annexe A

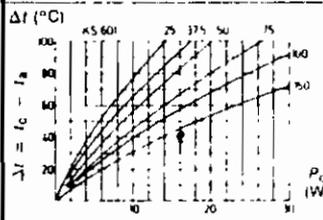
17.12.5.
PLAQUES
ALUMINIUM
OU CUIVRE
POUR PETITS
RADIATEURS
 $R_{th} > 1,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
 (Méthode a)

$R_{th} \text{ (} ^\circ\text{C/W)}$

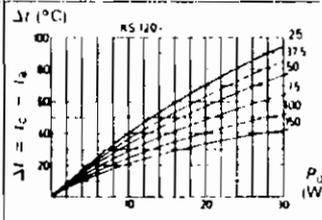
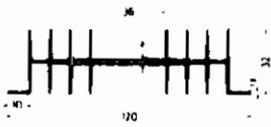


- ① Aluminium épaisseur 1,5 mm
 - ② Cuivre épaisseur : 1,5 mm
 - ③ Aluminium épaisseur 2 mm
- $S = L$ avec $L \neq 1$
 Plaque montée verticalement

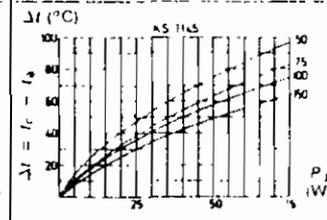
KS 601.
 Finition A* ou E** Longueurs (mm) 25, 37,5, 50, 75, 100, 1 000 Masse (g/cm): 8,2



KS 120.
 Finition A* ou E** Longueurs (mm) 37,5, 50, 75, 100; 150, 1 000 Masse (g/cm): 20

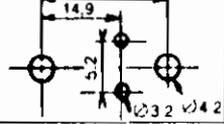


KS 1145.
 Finition A* ou E** Longueurs (mm) 50, 75, 100, 150, 1 000 Masse (g/cm): 40

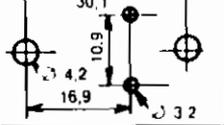


17.12.6.
CHOIX DES
RADIATEURS
 $R_{th} < 5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
 (Méthode b)

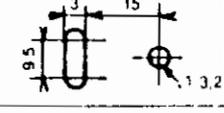
USINAGE POUR TO 66



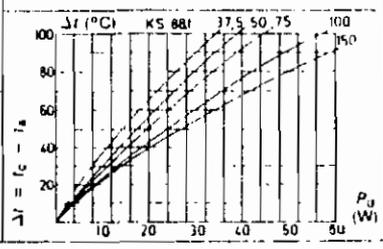
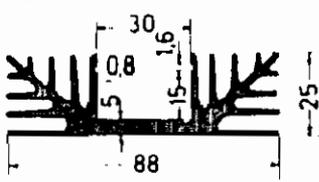
USINAGE POUR TO 3



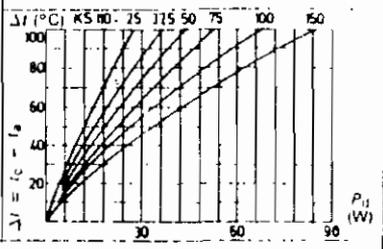
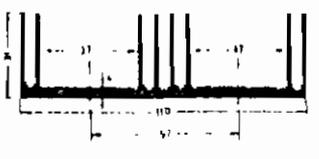
USINAGE POUR TO 220



KS 881.
 Finition A* ou E** Longueurs (mm) 31,5, 50, 75, 100, 150, 1000 Masse (g/cm): 24

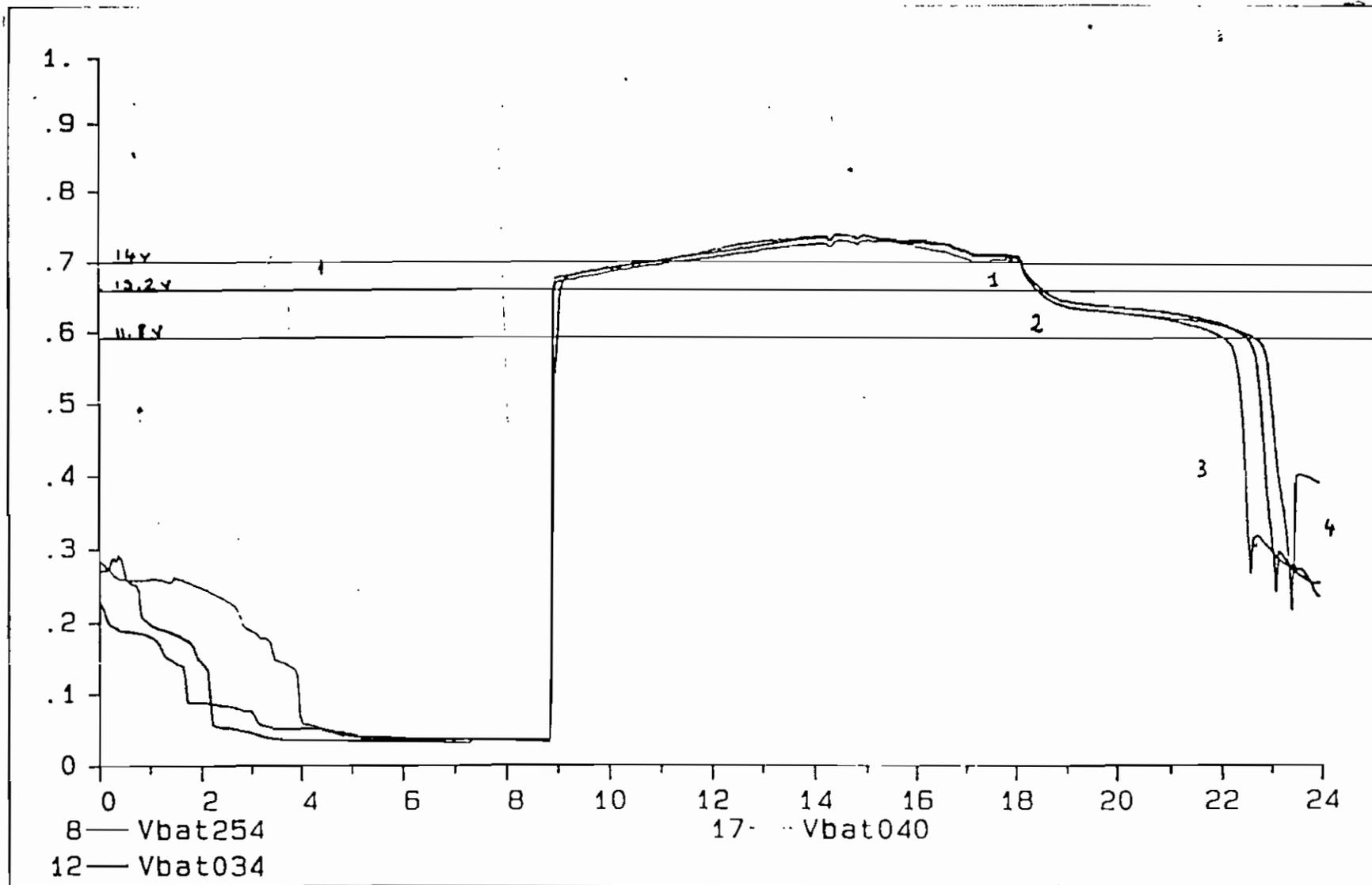


KS 110.
 Finition A* ou E** Longueurs (mm) 50, 75, 100; 1000 Masse (g/cm): 21



Exemples § 17.13

* A finition anodisée blanc.
 ** E finition anodisée noir (les diagrammes ci contre s'appliquent pour ce type de finition)
 Longueurs commercialisées en mm; Masse en g/cm

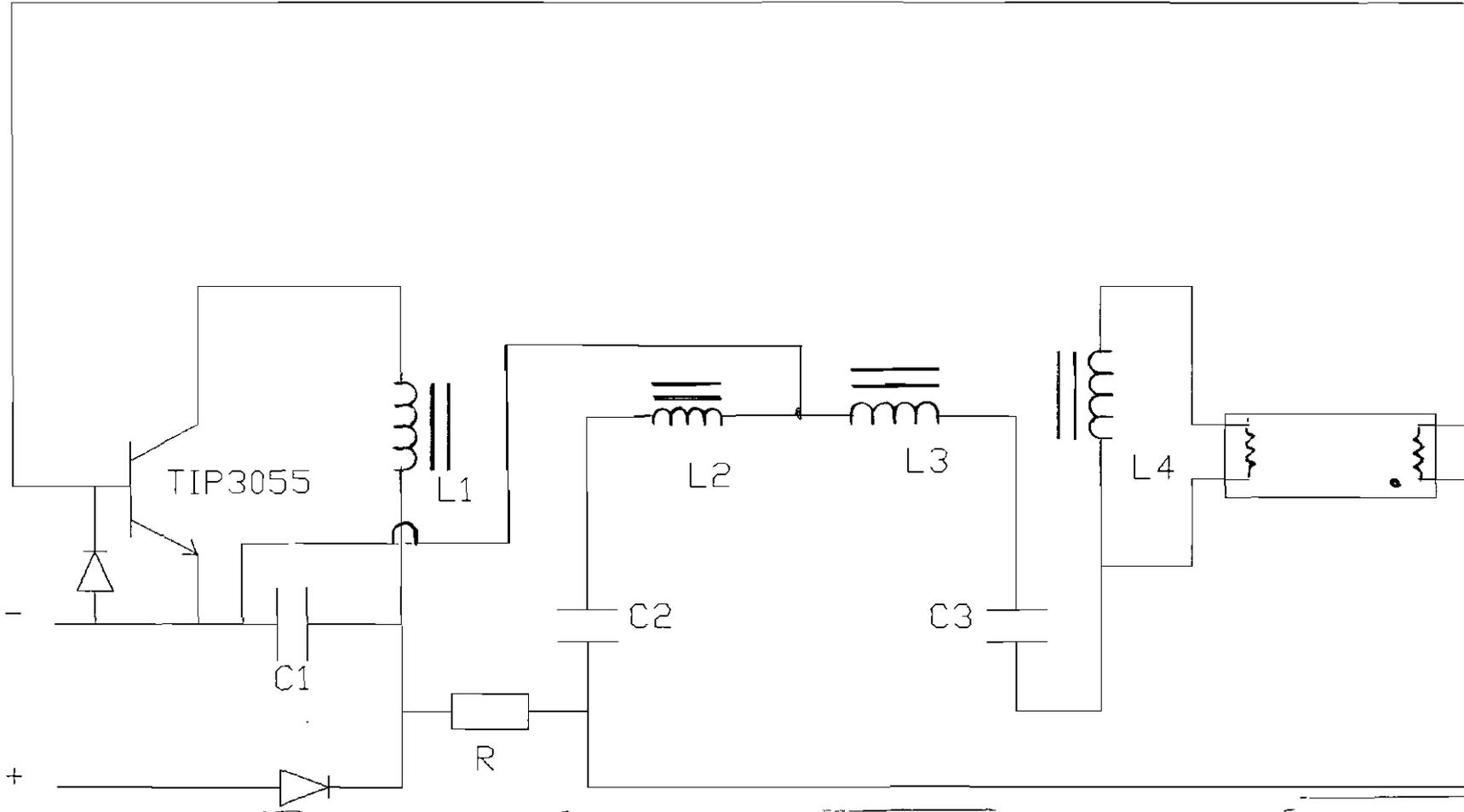


○ Energie Solaire
 Photovoltaïque
 □-△ SENELEC - GTZ

charge et décharge de l'accumulateur par jour

25.10.90

Annexe 3



ANNEXE: SCHEMA DU CIRCUIT D'AMORCAGE DE 12V

L1=175.5uH
L2=L4=5.9uH
L3=2.51mH
C1=220uF C3=10.08nF
C2=0.22uF R=335.3ohms

ANNEXE : TABLEAU DE MESURES SUR LA LAMPE DE 12V**RESULTATS A L'EXTINCTION**

E(V)	VP(V)	VS(V)	VL(V)	IL(mA)	fL(KHZ)
12.02	18.48	80.3	10.8		14.04
11.39	17.5	75.7	11.5		13.48
10.45	16.01	68.5	12.1		13.2
9.06	13.46	57.6	13.3		12.86
8.19	11.21	51.1	14.9		12.27
6.74	8.54	40.3	16.5		12.23
5.54	8	19.16	20.5		11.13
4.92	7.61	17.2	21.1		9.16
4.57	7.43	15.74	22.8		9
3.97	7.7	12.33	23.4		10.1
3.12	14.24	12.65	22.8		12
2.79	10.03	11.58	12.4		14
2.25	3.9	10.78	3.1		22
1.31	1.09	9.34	1		0
0.06	0.0005	4.06	0		0

E : Tension continue d'alimentation

Vp: Tension primaire, sur bobine L1

Vs tension secondaire, sur bobine L3

Vl : Chute aux bornes lampes

Il : courant Lampe

fL : Fréquence lampe

Vc : tension Chauffage

Annexe : MESURES SUR LA LAMPE DE 12V

RESULTATS A L'ALLUMAGE

E(V)	VP(V)	VS(V)	VL(V)	IL(mA)	fL(KHZ)
0	0	0			0
0.038	0.5	0.0005	0.0695		0
1.09	0.58	2.27	2.17		0
1.715	1.4	7.62	8.63		22.3
2.207	variable	9.19	22.17		10.52
2.41	4.69	9.67	26.02		8.97
3.31	13.24	11.92	32.02		9.35
4.07	17.47	14.11	36.76		9.3
4.47	17.95	13.95	variable		10.17
4.76	6.31	17.31	20.7		13.54
5.33	6.76	19.18	19.5		13.48
5.85	7.31	19.4	18		13.48
6.67	8.48	19.4	17.6		13.31
8.62	12.81	54.6	14.8		13.54
10.58	16.1	70	12		13.78
11.37	17.35	76	11.8		13.79
12.07	18.46	81	11.1		13.97
12.79	19.16	86	10.8		14.04
14.24	21.89	96.5	10.7		14.43

E : Tension continue d'alimentation
 Vp: Tension primaire, sur bobine L1
 Vs tension secondaire, sur bobine L3
 Vl : Chute aux bornes lampes
 Il : courant Lampe

Fl : Fréquence lampe
 Vc : tension Chauffage

Le courant lampe IL, n'a pas été mesuré à cause de l'influence des appareils de mesures. En régime nominal (12V) la lampe ne s'allume pas lorsque tous les sont branchés. Si par contre un appaël est déconnecté du circuit, la lampe s'allume. l'ampèremètre a été enlevé du circuit pour pouvoir faire des mesures simultanées, des autres grandeurs.

BIBLIOGRPHIE

- | | |
|---|----------------------------------|
| ELECTRONIQUE NON LINEAIRE | <i>ch.MASSELOT
M.GIRAR</i> |
| ELECTRO TECHNIQUE | <i>Théodore WILDI</i> |
| LES TUBES ADECHARGE LUMINEUSE
ET LEUR APPAREILLAGE | <i>J.LECORGUILLIER</i> |
| MICROELECTRONIQUE CIRCUITS | <i>Adel SEDRA
G. SMITH</i> |
| LE BRUIT DE FOND | <i>P.GRIVET
A. BLAQUIERE</i> |
| LES ONDULEURS AUTONOMES | <i>F.BRICHANT</i> |
| ELECTRONIQUE DE PUISSANCE | <i>Cyrill LANDER</i> |
| MEMOTECH | <i>R. BOURGEIOS</i> |
| MOTOROLA INC
BIPOLAR POWER TRANSISTOR AND THYRISTOR DATA | |
-