

Un amplificateur 144 MHz avec 2 triodes GS35B

Eric Champion – F5MSL

Introduction

Les triodes GS35B, d'origine russe et apparues en grande quantité ces dernières années sur les salons radioamateurs européens, permettent de réaliser des amplificateurs de puissance sans se ruiner. Elles remplacent avantageusement les célèbres 3CX1500A7/8877 et fonctionnent jusqu'à la bande 23 cm. Sur 144 MHz, les descriptions à un seul tube sont nombreuses. Celle-ci sort un peu de l'ordinaire puisqu'elle met en œuvre deux tubes en parallèle.

Avertissement

Si l'utilisation d'un tel amplificateur est dans la plupart des cas hors du cadre de la réglementation radioamateur, l'intérêt réside avant tout dans sa réalisation. A l'heure du matériel tout fait ou des kit aseptisés, les composants mis en œuvre dans ce type d'équipement sont suffisamment spéciaux et difficiles à trouver à l'identique pour que chaque amplificateur soit un cas unique qui demande un minimum d'adaptations. Il n'y a pas meilleure école pour qui aime apprendre et construire à sa guise.

La triode GS35B

Il y a quelques années, on trouvait des GS35B en quantité astronomique lors des salons de Weinheim et Friedrichshafen. Actuellement, ce n'est plus tout à fait le cas, mais il est encore assez facile de s'en procurer pour moins de 100 €. Le tableau suivant résume les caractéristiques de cette triode.

Dissipation anodique maximum : 1500 W
Tension anodique maximum : 3000 V permanent, 6000 V pointe
Courant anodique maximum : 1,5 A
Tension cathode-grille : -400 V à 120 V
Dissipation grille maximum : 26 W
Température anodique maximum : 200°C
Température maximale des connexions de grilles et de cathode : 120°C
Chauffage filament : 12,6 V (11,9 à 13,3 V) sous 2,65 à 3,25 A
Temps de chauffage filament : 3 min
Capacité anode-grille : 4,5 pF (3,8 à 5 pF)
Capacité cathode-grille : 21 pF (18 à 24 pF)
Capacité anode-cathode : inférieure à 0,12 pF
Refroidissement anodique : 2500 litres/min
Refroidissement cathodique : 50 litres/min
Refroidissement grille : 300 litres/min
Courant de grille maximum : 200 à 300 mA
Poids : 2,8 kg (0,85 kg sans radiateur)
Diamètre : 100 mm (65 mm sans radiateur)
Hauteur : 200 mm (153 mm sans radiateur)

Quelques précautions à prendre avec les GS35 :

- Si les tubes que l'on trouve sont souvent neufs, ceux-ci ont été stockés de nombreuses années, et le vide à l'intérieur du tube n'est plus toujours suffisant. S'il est mis en route

sans précautions particulières, il a de fortes chances d'arquer à une tension anodique bien inférieure à sa valeur nominale. Avant d'utiliser le tube, il est donc recommandé de laisser chauffer le filament plusieurs heures (le plus longtemps possible). Pendant cette opération, le tube devra être ventilé (un simple ventilateur plat soufflant sur l'ensemble de la lampe suffit). La seconde étape consistera à alimenter le tube en haute tension (chauffage présent, bien entendu), mais à travers une résistance de forte valeur de façon que le tube ne débite que quelques milliampères pendant plusieurs heures. On pourra par exemple relier la cathode et la grille ensemble et, selon la HT disponible (1000 V suffisent), relier le +HT à l'anode à travers une résistance de valeur adaptée (l'application de la loi d'Ohm et quelques essais vous aideront à trouver la valeur ad hoc).

- Dans cette description, les deux tubes sont en parallèle et le circuit de polarisation est commun (ceci afin de simplifier le circuit d'entrée). Il convient donc de trouver deux tubes « appariés ». Pour ce faire, il est préférable de tester plusieurs tubes et d'en choisir deux ayant des courants de repos assez proches pour une tension de polarisation cathode-grille donnée.

La conception générale

Elle est très classique et du même type que celle retenue la plupart du temps dans les montages à tube unique :

- Les triodes sont montées en **grille à la masse**.
- Les deux tubes sont en **parallèle**. Cette solution a l'avantage de la simplicité par rapport à un montage push-pull. Associée à un couplage capacitif, son défaut est de ne pas se comporter comme un filtre efficace pour les harmoniques (après tout, ce n'est pas le rôle premier du circuit de sortie). Un filtre passe-bas en sortie d'amplificateur corrigera ce « défaut ».
- Le circuit de sortie est constitué de **deux lignes ¼ d'onde**. L'isolation électrique entre la ligne et la masse est assurée par une capacité placée au **pied** de la ligne. Cela permet d'appliquer la haute tension en bout de ligne, c'est-à-dire sur un nœud de tension HF. Il y a donc peu de risques de retour HF dans le circuit d'alimentation HT et de soucis avec la self de choc qui apporte la haute tension à la ligne (en théorie, sa présence est même inutile, puisque nœud de tension).
- Le couplage est **capacitif**. Par rapport à un couplage inductif, la mise au point est infiniment plus simple.
- La ventilation d'air se fait par **extraction**. La position de la turbine sur le caisson donne un ensemble plus compact (surtout si la turbine est correctement dimensionnée) que lorsqu'elle est greffée sur un côté pour injecter l'air dans le compartiment anodique. Par ailleurs, dans cette configuration, la turbine protège les dissipateurs anodiques.
- Le circuit d'entrée est une **ligne ½ onde**.

Le caisson de l'amplificateur

Il est réalisé en tôles d'aluminium de 2mm d'épaisseur maintenues entre elles par des équerres. On veillera à ce qu'aucune pointe (vis...) n'apparaisse à l'intérieur du compartiment des anodes, et en particulier là où les tensions HF sont élevées (près des anodes des tubes).

Les dimensions intérieures sont de 450 mm par 270 mm pour une hauteur de 220 mm. Ces dimensions ne sont pas critiques.

La cloison qui sépare les compartiments anodique et cathodique est réalisée à l'aide

- d'une plaque d'aluminium de 10 mm d'épaisseur et de 270 mm par 140 mm qui servira de support pour les 2 tubes. 2 trous de 61 mm permettront de poser la collerette de grille des triodes sur la plaque d'aluminium. Chaque tube sera alors maintenu par 2 demi-coquilles placées dans le compartiment des anodes (ou par tout autre dispositif capable de plaquer le tube sur son support). Voir **photo 13**. L'entraxe entre les deux tubes est tel que les deux dissipateurs d'anodes se frôlent.
- de 2 tôles d'aluminium de 2 mm d'épaisseur venant compléter la cloison de part et d'autre de la plaque de 10 mm. Voir **photo 3**.

La hauteur (intérieure) du compartiment cathodique est de 55 mm. Celle du compartiment des anodes est de 155 mm. La hauteur totale du caisson est de 220 mm (compte tenu de l'épaisseur de la cloison).

Une cloison verticale sépare le compartiment inférieur en deux : circuit d'entrée d'un côté, circuit de polarisation de l'autre. Voir **photo 3**.

Le fond du boîtier est muni d'un ventilateur de 120 mm par 120 mm (220 V/15 W) destiné à refroidir la cathode. L'entrée d'air se fait via ce ventilateur et via les perçages effectués sur le fond (voir **photo 2**). La surface totale d'entrée d'air est calculée de façon à être légèrement supérieure à la surface de passage à travers les deux dissipateurs d'anodes. L'air circule ensuite à travers la cloison de séparation des deux compartiments des anodes et des cathodes (voir **photo 3**). Deux cheminées en Nylon (ou Téflon, mais pas de PVC) fixées sur le couvercle supérieur du caisson viennent affleurer les dissipateurs d'anodes (inutile d'emmancher les cheminées dessus). Attention : pas de pointe de vis côté dissipateur d'anode ! Une tôle d'alu roulée sert « d'entretoise » entre la turbine et le couvercle. La turbine est un modèle triphasé récupéré dans un amplificateur Eurosignal.

Le circuit d'entrée

Voir **photos 3 à 11**.

Les deux condensateurs variables font environ 25 pF fermés. Le condensateur de liaison entre le CV de charge et la ligne est un modèle Semco (Mica) de 220 pF. Il sert uniquement de protection en cas de court-circuit du CV de charge.

Toutes les liaisons aux cathodes et aux filaments des tubes sont soudées (très facile et sans risque pour les tubes).

Les selfs de choc sont réalisées avec 16 spires jointives en fil émaillé de 12/10^{èmes} bobiné sur un support (Téflon ou Nylon) de 10mm. Des by-pass à vis de 1 nF/400 V assurent le découplage à l'extrémité froide des selfs.

Notez l'inclinaison de la ligne (pour des raisons mécaniques).

Le circuit de sortie

Voir **photos 13 à 25**.

Le point le plus critique est la liaison des deux dissipateurs d'anodes entre eux. Celle-ci est réalisée à l'aide de deux bandes de cuivre soudées sur les radiateurs. Inutile de vouloir faire

plus rigide : cela induirait des contraintes mécaniques car les tubes sont fermement fixés au fond du compartiment des anodes et il est bien difficile d'ajuster précisément la liaison entre les deux dissipateurs d'anodes pour que tout s'emmanche parfaitement. Un peu de « mollesse » au niveau des dissipateurs d'anodes est donc indispensable. Pour réaliser la soudure, il faudra démonter les dissipateurs d'anodes (l'emmanchement est conique : chauffer légèrement le dissipateur au chalumeau aidera à le désolidariser du tube). On pourra souder à l'étain (chalumeau indispensable) ou braser. Sur chaque dissipateur, on pourra aussi souder les ailettes à la collerette qui reçoit la bande de liaison (simple emmanchement d'origine). Il faudra procéder avec beaucoup de soin pour ne pas soumettre les tubes à des contraintes mécaniques trop fortes lorsqu'ils seront en place.

Autre point critique : le choix des condensateurs assiettes aux pieds des lignes. L'intensité HF est forte aux pieds de lignes (ventre d'intensité). La plupart des condensateurs assiettes supportent mal les fortes intensités et induisent des dérives de puissance et/ou d'accord.

- Ne pas utiliser de condensateur assiette à enrobage plastique.
- Choisir une valeur de 500 pF (voire moins, au prix d'une ligne à peine plus longue). Des valeurs plus fortes posent souvent des problèmes de stabilité (probablement dus au diélectrique trop « dopé »).

Attention : selon les condensateurs employés, il sera peut-être nécessaire d'ajuster les longueurs des lignes (+/- 1 à 2 cm). Il est donc impératif de vérifier l'accord du circuit de sortie avant de placer définitivement les capas (CV d'accord et de charge en position médiane, capa de sortie coincées entre la ligne et le fond du caisson, couvercle fermé au mieux, charge 50 ohms sur la sortie, pas de HT (!) ni de chauffage et mesure de l'accord à l'analyseur, au grid-dip, ou en reliant une antenne sur la sortie de l'amplificateur et en faisant le maximum de signal sur une balise à l'aide d'un récepteur relié à l'entrée de l'ampli).

A défaut de condensateur de pied de ligne ad hoc, on pourra en fabriquer (sandwich au Téflon) comme expliqué par F5OAU dans sa description d'amplificateur avec une GS35 VHF parue dans le proceeding de CJ 2002.

Pour les dimensions de la self de choc d'alimentation HT, voir la **photo 24**. Les dimensions ne sont pas critiques du tout. La capa de découplage après la self de choc sera de type assiette et de 500 pF/6 kV mini (non critique également).

La hauteur des armatures de la capa d'accord et le diamètre de l'armature mobile de la capa de charge fait sensiblement la même hauteur que le dissipateur anodique (environ 65 mm).

Des plaques de Téflon de 3 mm d'épaisseur assurent l'isolation au niveau des capas d'accord et de charge. Voir **photos 23 et 25**. Elles sont clipsées dans les trous du fond du compartiment des anodes (le couvercle les empêche de se sauver !).

Les bords des armatures des capas seront arrondis (sans cela, même 3 mm de Téflon peuvent ne pas suffire à arrêter le feu d'artifice... on a testé !).

On veillera à ce que le montage des deux lignes soit bien symétrique.

Pour le reste, les photos parlent d'elles-mêmes et chacun pourra adapter le montage selon ses idées et ses possibilités de réalisation mécanique.

La polarisation

Elle est réalisée avec un transistor amplifiant l'effet d'une diode Zener (ou d'une série de diodes Zener en série). Voir **schéma 1**. La tension de polarisation (donc celle des Zener) doit être choisie en fonction de la HT pour que le courant global de repos soit de 300 à 400 mA (150 à 200 mA par tube). Plus la tension HT est élevée, plus la tension de polarisation devra être élevée. Commencez avec un total de 40 V au niveau des Zener, puis réduisez jusqu'à obtenir le courant de repos souhaité. Une fois la tension de polarisation déterminée, n'utilisez pas trop de diodes Zener en série (6 maxi) pour ne pas dégrader la qualité de régulation et calculez la puissance des Zener en conséquence (à partir du courant de repos, du gain approximatif du transistor et des tensions de chaque diode utilisée). En général 3 à 4 diodes Zener de 1 W conviendront (vérifiez qu'elles ne chauffent pas trop).

Un relais avec un contact en série sur la Zener permet de bloquer le tube en réception. Il sera piloté par le séquenceur émission/réception de la station.

Attention à utiliser un transistor capable de tenir une tension collecteur/émetteur assez élevée. Des transistors de balayage TV en boîtier TO3 (genre BUX...) sont bien adaptés. Un 2N3773 semble être le minimum acceptable. Un 2N3055 rendra l'âme au bout de quelques heures d'utilisation.

Le chauffage

La tension de chauffage est de 12,6 V et l'intensité 6,2 A (2 x 3,1 A).

A froid, le filament d'un tube se comporte comme un court-circuit : il y a donc un fort appel de courant. Il est préférable de limiter ce courant de démarrage. Pour cela, plusieurs solutions :

- Insérer dans le primaire du transformateur de chauffage une résistance de limitation que l'on court-circuite au bout de quelques secondes.
- Utiliser un transformateur fournissant une tension de sortie supérieure à la tension nécessaire et abaisser cette tension à l'aide d'une résistance en série. Cette résistance en série (non commutée contrairement à la solution précédente) jouera également le rôle de limiteur de courant. C'est cette solution qui a été utilisée avec un transformateur torique de 18 V (encore un p'tit coup de loi d'Ohm et de Joule pour trouver la valeur et la puissance de la résistance). Voir **photo 26**.
- Redresser, filtrer et réguler en courant la tension de chauffage. Cette solution n'est pas très compliquée à mettre en œuvre (un régulateur de courant sommaire est facile à réaliser avec un transistor puisque $I_c = \beta I_b$).

L'alimentation

Il ne faut pas hésiter à alimenter les GS35 avec une tension assez élevée. Un minimum de 4000 V en charge et un maximum de 5000 V à vide sont de bons repères. Le courant anodique maximum par tube est de 1,4 A. Cela donne un total de près de 3 A pour deux tubes. Avec de telles valeurs, il est recommandé d'utiliser une alimentation avec un transformateur triphasé (voir l'article de F5OAU à ce sujet dans Radio-REF de mai 2002). Celui utilisé pour cette réalisation est issu d'une ancienne soudeuse HF. Comme dans toute alimentation HT qui se respecte, on prévoira :

- Un démarrage « mou » (résistances dans le primaire du transfo court-circuitées une fois la charge des capa de filtrage terminée),
- Une mesure de l'intensité consommée (intensité anodique) dans le moins de l'alimentation (jamais dans le plus !!!).
- Une mesure du courant de grille (galvanomètre + shunt entre le –HT et la masse), à moins de placer cette mesure sur l'amplificateur lui même.
- Dans le cas où le secteur n'est pas régulier (fonctionnement sur groupe électrogène ou en bout de ligne EDF), une mesure de la tension HT n'est pas un luxe.
- Une liaison vissée (donc difficile à défaire accidentellement) entre la masse de l'alimentation et la masse de l'amplificateur.
- L'utilisation de connectique HT adaptée (fiches BNC spéciales HT par exemple).
- De faire le nécessaire pour que le potentiel du –HT reste proche de la masse (shunt de la mesure du courant de grille réparti entre l'amplificateur et l'alimentation ou diodes standards utilisées en écrêteuses.
- De s'assurer qu'à l'extinction de l'alimentation, les condensateurs de filtrage se déchargent dans des résistances (résistances d'équilibrage des condensateurs de filtrage s'il y a lieu, ou résistance de décharge spécifique sinon).
- Une ventilation éventuelle du transformateur (1 ou 2 ventilateurs plats 12 cm par 12 cm) si le transformateur est confiné dans un boîtier (ce qui est hautement recommandable pour la sécurité).
- D'être extrêmement prudent pour ne pas y laisser sa vie.

La mise au point

Les réglages sont les suivants :

- Laisser chauffer le filament quelques minutes et vérifier le bon fonctionnement de l'amplificateur en régime statique (courant de repos en l'absence de HF). Voir le paragraphe « Polarisation ».
- Le circuit d'entrée doit être accordable (on peut le faire au grid-dip, à l'analyseur de spectre, au milliwattmètre, en écoutant une balise le circuit d'entrée servant de filtre). Il est préférable de trouver l'accord à froid (il ne changera pas beaucoup à chaud) lorsque le circuit de sortie n'est pas encore monté (sans quoi, on risque d'avoir du mal à distinguer l'accord du circuit d'entrée de l'accord du circuit de sortie). Ne monter définitivement la ligne du circuit d'entrée qu'après avoir trouvé la longueur qui correspond à l'accord pour une position médiane du CV d'accord d'entrée. Ensuite, câbler le reste du circuit d'entrée. La recherche du meilleur point d'attaque de la ligne et le réglage du CV « de charge » (nom donné abusivement) se fera en fonctionnement de manière à minimiser le retour HF à l'entrée de l'amplificateur (on veillera à toujours réaccorder le circuit d'entrée avec le CV d'accord en recherchant la position correspondant au maximum de puissance de sortie).
- Le circuit de sortie doit être accordable. Il faut avant toute chose trouver l'accord. Positionner la capacité de charge (disque) à sa valeur médiane (voir **photo 15**). Trouver l'accord (même méthode que pour le circuit d'entrée). S'assurer que la longueur des lignes soit identique et telle que l'accord existe pour une position médiane du condensateur d'accord.
- A chaque puissance de sortie correspond une position de la capa de charge pour laquelle le rendement de l'amplificateur est optimal. Par ailleurs, si pour une puissance donnée, la capa de charge est trop forte (espacement faible entre les armatures), le gain de l'amplificateur sera inférieur à sa valeur nominale. Inversement, si pour une puissance donnée, la capa de charge est trop faible (espacement important entre les armatures), le

gain de l'amplificateur sera supérieur à sa valeur nominale mais le courant de grille atteindra une valeur trop élevée avant que la puissance maximum de l'amplificateur ne soit atteinte (par exemple, le courant de grille peut être excessif à seulement 1500 W). Il faut donc se fixer une puissance nominale de fonctionnement (techniquement, celle-ci devrait être de 4 kW, mais chacun peut la choisir comme bon lui semble en fonction de ses critères de décision : tension d'alimentation, mauvaise conscience...) et trouver le réglage de la capa de charge correspondant (bon compromis entre le gain et le courant de grille). On n'oubliera pas de refaire l'accord à chaque modification de la position de la capa de charge. Le courant de grille ne devra pas dépasser 500 à 600 mA (la moitié par tube). Le fait que les grilles de triodes russes ressemblent à des barreaux de chaises plus qu'à de la dentelle n'excuse pas tout !

Contact

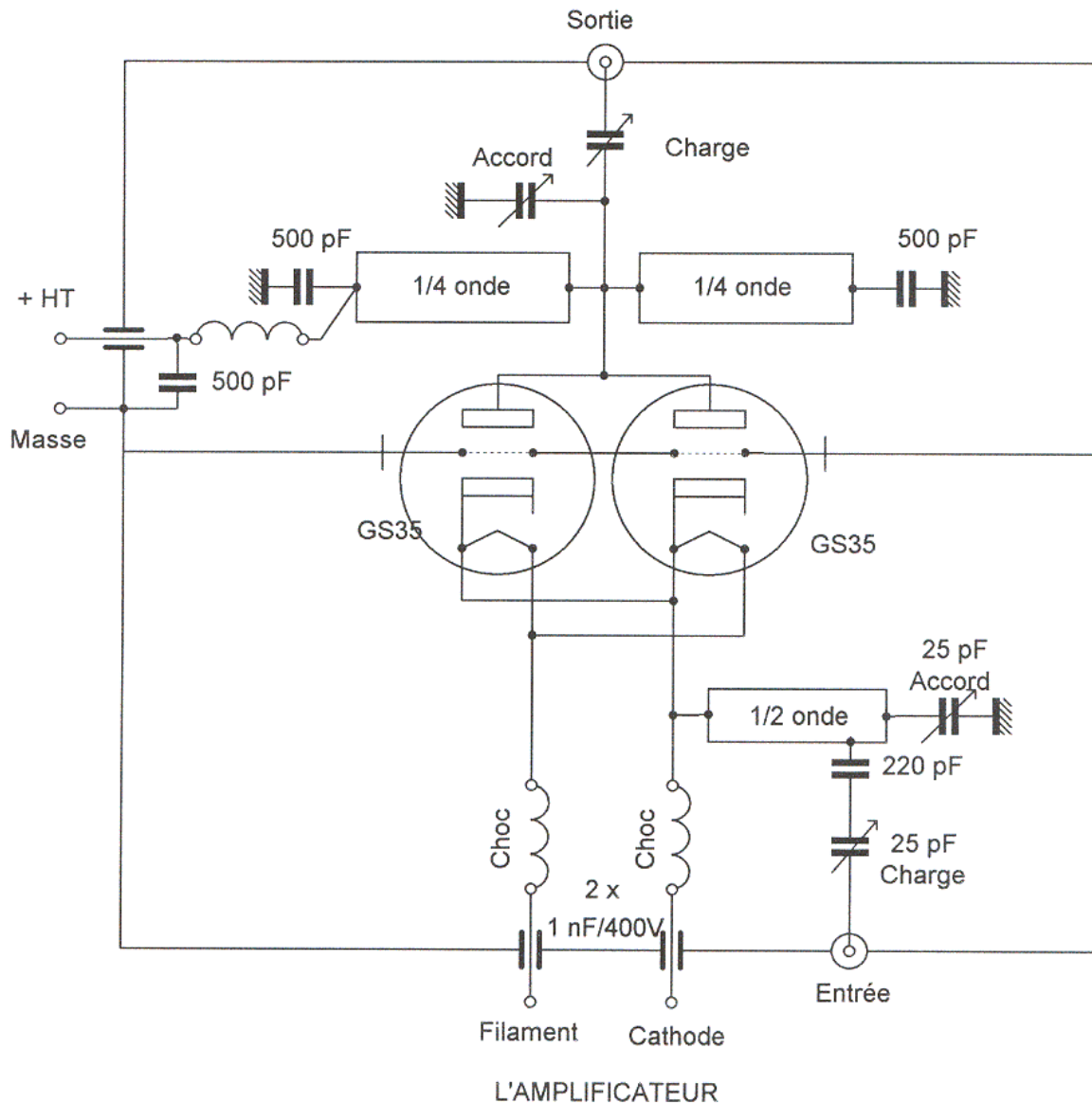
Pour tous renseignements complémentaires :
Eric Champion, F5MSL – 21, rue Pasteur – 71640 GIVRY
Par email : f5msl@ref-union.org

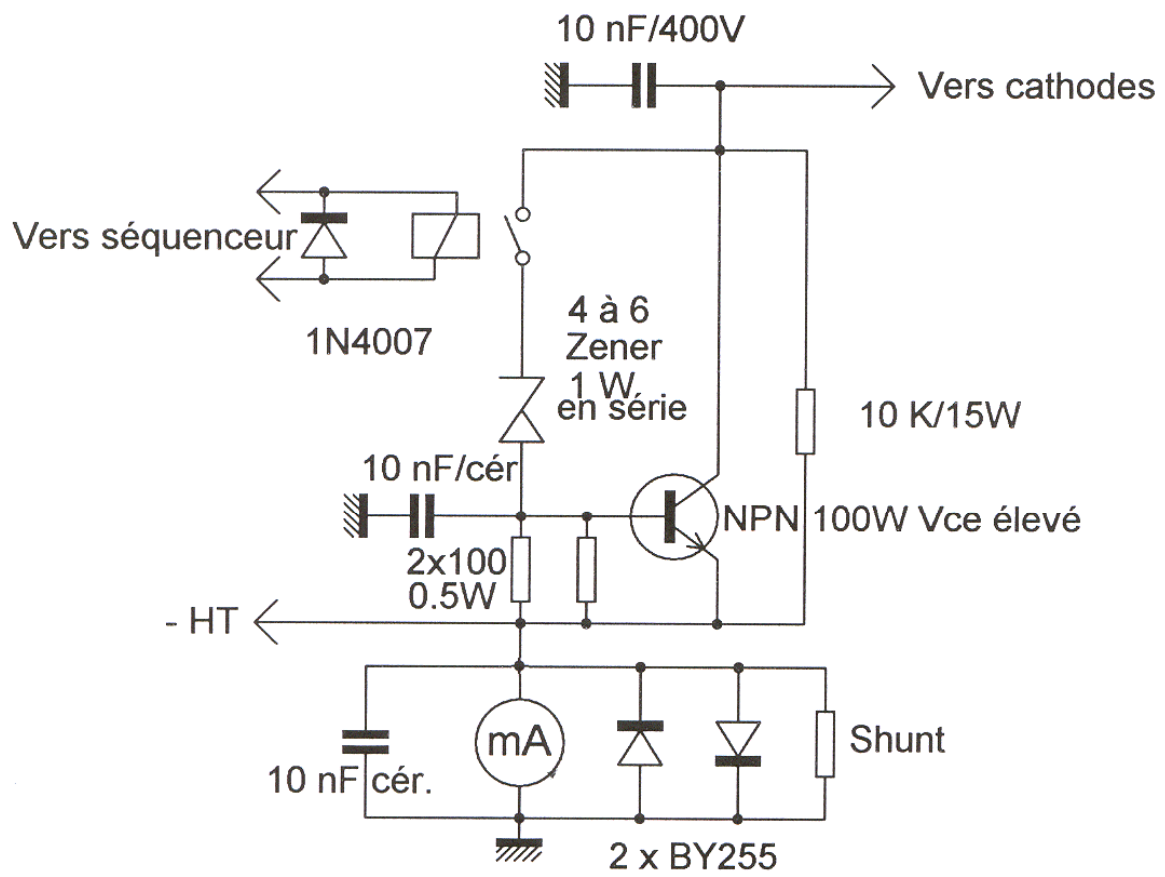
Légende des photos.

- Photo 1 : l'amplificateur posé sur son alimentation.
- Photo 2 : l'amplificateur vu de dessous.
- Photo 3 : polarisation et circuit d'entrée.
- Photo 4 : circuit d'entrée
- Photo 5 : liaison de la ligne aux cathodes des GS35.
- Photo 6 : liaison de la ligne aux cathodes des GS35.
- Photo 7 : liaison de la ligne aux cathodes des GS35.
- Photo 8 : liaison de la ligne aux cathodes des GS35.
- Photo 9 : accord et attaque de la ligne d'entrée.
- Photo 10 : liaison de la ligne aux cathodes des GS35.
- Photo 11 : liaison de la ligne aux cathodes des GS35.
- Photo 12 : circuit de sortie.
- Photo 13 : fixation des GS35.
- Photo 14 : CV de charge.
- Photo 15 : CV de charge.
- Photo 16 : CV d'accord.
- Photo 17 : CV d'accord.
- Photo 18 : Sortie HF.
- Photo 19 : lignes du circuit de sortie.
- Photo 20 : lignes du circuit de sortie.
- Photo 21 : lignes du circuit de sortie.
- Photo 22 : lignes du circuit de sortie.
- Photo 23 : les GS35, les lignes et les CV de charge et d'accord.
- Photo 24 : l'alimentation HT en bout de ligne.
- Photo 25 : les isolateurs Téflon retirés.
- Photo 26 : le circuit de polarisation.

NDLR

- Sur le transistor de polarisation, il serait souhaitable de placer trois condensateurs de 10nF : un entre base et émetteur, un entre base et collecteur, un entre collecteur et émetteur. Une autre petite remarque : pour passer en "stand-by" pourquoi ne pas insérer une résistance de 20K entre le transistor et les cathodes, résistance pouvant être court-circuitée avec le relais ; dans ce cas le tube s'autobloque par la tension développée aux bornes de la résistance et le transistor a besoin d'un VCE moins important. F6CER
- Avec plus de 100K pour la TH308 qui me sert en 1296 MHz car je me suis aperçu qu'une valeur plus faible augmentait de près de 0,5 dB le bruit en RX. F6ETI





CIRCUIT DE POLARISATION

