

REF 12

Réalisation d'un TX et RX laser

F1FHP

Pour les Om's tentés par l'aventure, voici un petit résumé de quelques notions de bases, complété par la description de mon équipement (origine N1BUG et K3PGP) facilement reproductible avec des composants non exotiques, et facilement approvisionnables.

Caractéristiques : QRG environ 447 THZ soit 670 nm. ou 0.67 micron. de longueur d'onde (rouge)

Modulation AM, phonie

Puissance 5 mW maximum

Alimentation 12 V.

Distances réalisables : 50 à 100 km

TX : De nombreux schémas sont disponibles sur divers sites dont :

www.qsl.net/K3PGP

<http://pageperso.aol.fr/yvesflavy/>

<http://www.n1bug.net/tech/laser/laserfr.html>

Dans la réalisation proposée c'est le montage d'origine N1BUG qui est retenu (schéma ci-joint).

Les modules laser et diodes, sont disponibles entres-autres chez : EDS, CONRAD, SELECTRONIC, GO-TRONIC en 1 ou 5 mW, les autres composants sont très classiques.

ATTENTION DANGER : En raison des propriétés de concentration par le cristallin sur une surface aussi petite que la longueur d'onde au carré, regarder ou diriger un faisceau laser directement ou indirectement à courte distance de son point d'émission est très dangereux pour la rétine. Pour un laser de 5 mW et dont le diamètre est de 1 mm, la densité est de 159 mW/cm². **La perte de vue permanente est possible.** Un laser de 5 mW est amplement capable de causer un tel dégât.

Prendre toutes les précautions nécessaires. Relire aussi l'article de RR n°768 07/2004 page 29.

RX : Le modèle de référence, celui de K3PGP est celui retenu, très performant et pouvant être muni d'une photodiode PIN très bon marché et courante ou d'un modèle plus performant. Tous les composants sont là aussi très courants.

SUPPORTS : Aussi bien pour le TX que pour le RX, des trépieds stables et lourds, munis de systèmes de réglages micrométriques en site et azimuth doivent être impérativement prévus. Le réglage d'orientation se faisant au milliradian. Sans des réglages précis, aucun pointage n'est possible. Les conditions nocturnes n'arrangent rien, aucun détail ne doit être négligé. Des viseurs réticulés et éclairés sont indispensables.

ANTENNE : Ici aussi l'antenne sera l'élément essentiel du montage. Elle prend avec les ondes lumineuses une forme particulière. Constituée de lentilles ou de miroirs, c'est ce système optique qui collecte les précieux photons. *L'optique et les photons méritent quelques développements en annexe.* On ne s'occupe que du système optique côté RX, en effet à 5 mW on peut utiliser une lentille plan-convexe souvent montée d'origine qui permet une divergence < 5 milliradians. Pour le RX, il s'agit de faire converger le maximum de photons du flux émis par la source sur la photodiode. Contrairement à ce qui se passe habituellement en SHF, le capteur transpose l'énergie absorbée directement en courant qui ne contient plus aucune information relative à la fréquence reçue, *l'annexe apporte aussi quelques précisions.* Donc cette antenne pourra être tous dispositifs pouvant concentrer la lumière reçue au point focal où sera placé le capteur. Loupe, lentille de projecteur ou d'agrandisseur photo, lentille de Fresnel ... Le télescope ou la lunette pour ceux qui font de l'astronomie sera sans aucun doute un système tout trouvé et très performant, il suffira de placer, avec un adaptateur, le RX dans le porte-oculaire (au foyer du télescope). *Voir dans l'annexe les remarques concernant le grossissement avec des oculaires.* Pour les autres on peut fabriquer une très bonne antenne à partir d'un miroir grossissant concave (type salle de bain) qu'on trouve chez certains opticiens ou grandes surfaces pour un QSJ abordable d'environ 50 Euros pour un 200 mm en verre, courte focale de bonne qualité optique. Ne pas trop « économiser » sur la qualité, ici aussi les irrégularités de surface doivent être inférieures à 0.1 ou mieux à 0.05 de λ , on comprend mieux pourquoi les miroirs de haute qualité utilisés sur les télescopes sont les mieux adaptés.

Diverses réalisations sont visibles sur les sites. Chacun improvisera avec l'approvisionnement local et ses possibilités.

MISE EN ŒUVRE : Le RX et le TX étant sur leur trépied munis des réglages micrométriques adéquats et des viseurs convenablement réglés, les premiers essais en direct ou par réflexions peuvent commencer. On peut utiliser comme réflecteur un miroir ou des catadioptrés disposés à environ 50 à 100 mètres. Il faut ensuite, en s'aidant de la voie de service, guider l'autre correspondant pour obtenir en face le maximum d'éclat du spot laser, puis pointer le RX dessus. On peut dégrossir la position en utilisant un puissant projecteur ou un flash stroboscopique QRO. Notre RX étant très sensible à tout le spectre lumineux et plus encore, l'essai se fera de nuit à l'écart des lumières. En expérimentation DX, il faudra choisir un trajet exempt de pollutions lumineuses, une nuit claire et froide, sans lune ni vent et si possible en altitude pour minimiser la scintillation. Les conditions favorables pour une bonne visibilité sont très souvent à l'avant d'un front froid. Le trajet devra être parfaitement reconnu de jour, avec des relevés très précis des positions, des photos, des simulations (aide de RM efficace) en anticipant chaque détail, la visée d'un point, même lumineux, dans le noir total est très délicate, nos réflexes et sensations ne sont plus du tout les mêmes la nuit, en plus si par chance pour nous il fait très froid! Les conditions météo et la préparation de la liaison (trajet, positions, connaissance parfaite des sites ...) sont les deux atouts principaux pour prétendre réussir. La procédure par réflexion permet de tester des trajets et le matériel sans pour autant avoir besoin de correspondant, c'est très important tant est difficile de mettre en œuvre une liaison à l'avance, en raison des paramètres mal connus comme la météo, mais aussi la disponibilité du correspondant et l'installation souvent au dernier moment et de nuit des stations.

EVOLUTIONS : La modulation du courant dans le domaine du fonctionnement laser entraîne une modulation correspondante de la lumière quasi instantanée, et ce temps de réponse très court permet de dépasser largement le GHz avec de nombreuses diodes. La modulation la plus simple est l'AM, mais tous les autres types de modulation sont possibles. Les programmes de traitements FFTDSP de signaux faibles trouvent là une excellente application (voir le site de F1AVY ainsi que le CR dans le RR N° 777 de mai 2005 page 78). L'IR est prometteur en réflexion sur la végétation qui à un albédo favorable sur ces longueurs d'ondes. L'herbe à un albédo de 0.7 soit dix fois plus qu'en visible. Avec plus de puissance, de réelles possibilités de DX existent par réflexion de QRA à QRA (bien au chaud), sans la lourdeur de la mise en place des liaisons directes. Il faut cependant souligner que des puissances plus élevées surtout dans l'IR, invisible pour les pauvres humains que nous sommes, doivent être utilisées avec la plus grande prudence, un système optique type « Beam-Expender » doit obligatoirement être installé sur le TX.

Côté réception on peut gagner énormément en sensibilité avec un RX cryogénique, on estime à + 6 dB par tranche de 10° C en moins sur la PIN. Associé à des diodes plus sensibles, la surface du collecteur de photons et une autre source possible d'améliorations. L'utilisation de filtres de bandes peut également s'envisager. Des expérimentations *Cloud Scatter et Rain Scatter* sont également possibles.

MESURES : Pour apprécier la quantité de photons reçus, une BPW 34 aux bornes d'un microampèremètre de 50 ou 100 µA placé à la place du RX permettra de visualiser le gain apporté par un miroir, l'effet d'un filtre, l'atténuation d'une optique ...et bien d'autres mesures. La QRG des ondes lumineuses peut se mesurer avec un spectrographe, très facile à réaliser. Un simple tube avec une fente très fine à une extrémité et un réseau (disponible chez JEULIN) à l'autre bout. La capture du spectre se fait avec un APN ou une Webcam, et est analysé dans un logiciel (en freeware). Ces mesures permettent par exemple quel type de filtre de bande convient le mieux.

De nombreuses expérimentations sont encore à faire, il y a de nombreux points encore très mal définis et l'association de différentes disciplines comme la micromécanique, la topographie, les traitements de signaux faibles, l'optique, l'électronique, l'informatique, la spectrographie... font de cette discipline un terrain immense d'essais et de découvertes où l'esprit du radioamateur trouve toute sa raison d'être.

Il y a certainement des oublis, si je peux apporter quelques autres précisions : f1fhp@wanadoo.fr
Mon site (en évolution) sur lequel une page relate mes expérimentations : <http://monsie.wanadoo.fr/jean-ma>

A bientôt sur les ondes lumineuses

Jean-Marie F1FHP

TECHNIQUE

Comme dans la présentation de ce petit ensemble laser, issus des descriptions déjà expérimentées par d'autres OM's, je n'ai pas la prétention de faire un cours, mais dans le même esprit, apporter quelques précisions nécessaires à la bonne compréhension de ces ondes si particulières.

Ondes ou corpuscules ? Le laseriste évolue dans un mode étrange, celui de la physique quantique, voir les travaux de H. HERTZ, M. PLANCK et A. EINSTEIN qui a imaginé le concept de **Photon** en 1905. Le photon (γ) qui représente l'énergie, ne prend matériellement son existence que dans l'interaction avec la matière. Une substance est dotée d'effet photoélectrique si elle émet des électrons quand elle est frappée par des photons. La lumière serait donc composée de grains, les photons qui se déplacent à la vitesse de la lumière, et gardent leurs propriétés même après des voyages de plusieurs milliers d'AL (**1AL=10000 milliards de Km**) dans l'espace. Ils sont classés aujourd'hui comme des particules fondamentales, d'énergie bien définie et de masse nulle. Le photon est la plus petite quantité d'énergie indivisible associée à un rayonnement pour une longueur d'onde donnée. La quantité de photons émis est fonction de la puissance de la source, l'énergie de ces derniers dépend de la fréquence. Ainsi, une source rouge d'une puissance donnée émettra plus de photons qu'une source bleue, mais dans les longueurs d'ondes plus courtes (le bleu) ils seront plus énergétiques.

En tant qu'onde la lumière est dotée des mêmes propriétés que tout autres ondes et subit les mêmes effets en fonction aussi de sa fréquence : diffractions, réfractions, absorptions, interférences ... On est bien dans la dualité onde particule, ou comment concilier du continu (onde) et du discontinu (particule).

Si la réponse spectrale du capteur correspond à la longueur d'onde émise, les photons (dont l'énergie est liée à la fréquence) qui frappent ce dernier, arracheront les électrons qui produiront le courant aux bornes du capteur. Plus ils seront nombreux (dépendant de la puissance émise), plus le courant sera fort. Le raisonnement quantique montre que nous convertissons directement les photons en énergie, aucun changement de fréquence ni autres circuits intermédiaires.

Les ondes lumineuses venant de la source arrivent plus ou moins parallèles sur le capteur. Pour obtenir un courant maximum aux bornes du capteur, il faut collecter un grand nombre de photons utiles, c'est le rôle de l'antenne (le système optique). La puissance et la fréquence étant définies, la seule façon d'avoir un signal plus fort sera de collecter davantage de photons. Le fait de doubler le diamètre du collecteur apporte un gain de 6 dB. On utilisera donc le plus grand diamètre possible, bien vite limité par le coût des grandes optiques et les contraintes de pollutions lumineuses de toutes sortes générant le bruit de fond. Avec de « grandes antennes » il faut choisir aussi un environnement très pur et même en altitude, notre civilisation est source d'immenses pollutions qui nuisent à ces activités, l'astronomie est aussi touchée par tous les éclairages urbains. Il faudra faire un compromis, disons qu'entre 90 mm et 200 mm voire 300 mm pour les radioamateurs astronomes on a le choix.

Un autre paramètre important dans le choix de l'antenne est la longueur focale de ce système optique. Elle entre en compte dans le rapport F/D (l'ouverture) et dans l'angle de champ (l'étendue de la vision). Une courte focale et un grand diamètre donnent un rapport très ouvert (nombre plus petit) le système est plus lumineux et l'angle plus ouvert. Une plus longue focale diminuera la luminosité, et réduira le champ, ce choix sera plus approprié dans un environnement pollué, mais au détriment de la quantité de photons reçus. Le grossissement n'apporte aucun gain (on n'augmente pas pour autant le nombre de photons), et peut dans certains cas le réduire. L'utilisation d'oculaires de focales appropriées devant le RX sur un télescope ne servant qu'à réduire le champ, et donc les photons inutiles des lumières environnantes et pouvant rendre les réglages des pointages plus souples.

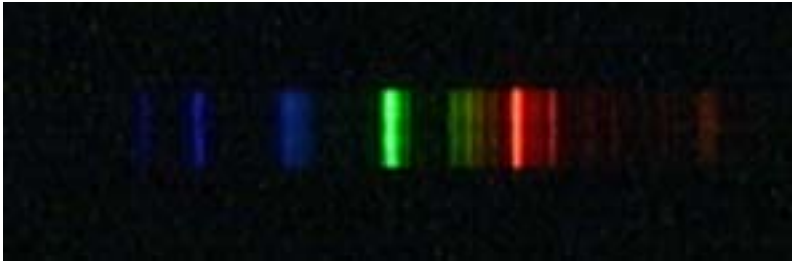
LE LASER :

LIGHT AMPLIFICATION BY STIMULATED EMISSION OF RADIATION, le premier laser opérationnel construit en 1960 par Théodore Maiman était un laser à rubis. D'autres modèles se différencient par la nature du milieu utilisé pour obtenir la luminescence par excitation : gaz, semi-conducteurs, c'est cette dernière catégorie qui nous intéresse. L'émission stimulée est créée dans une cavité optique, on excite les atomes par une perturbation extérieure qui va augmenter leur énergie. Quand ces atomes se désexcitent par émission spontanée d'un photon, leurs influences mutuelles stimulent l'émission dans une réaction synchrone amplifiée. La fréquence de résonance de la cavité doit correspondre à la longueur d'onde des photons émis.

Sa lumière est cohérente. C'est un rayonnement électromagnétique parfaitement défini en fréquence et en phase. C'est une source monochromatique, n'émettant que sur une seule longueur d'onde. Le fourmillement que l'on peut observer sur la surface illuminée par un spot laser, est l'effet d'interférences produites par réflexions sur les plus infimes irrégularités de la surface. Pour plus de détails relire les articles très techniques de F1PLX dans RR.

QUELQUES SPECTRES

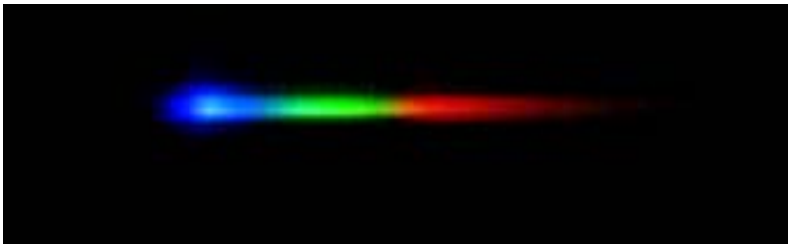
Spectre d'une lampe à économie d'énergie



Les spectres ont été capturés avec une Webcam Philips Toucam équipée d'un capteur Cmos.

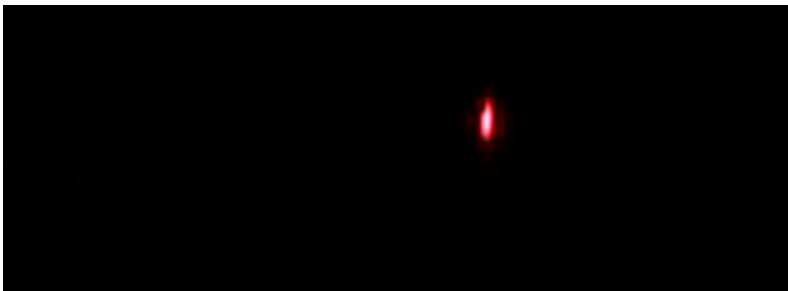
Le réseau est d'origine « Ciel et Espace » non blazé d'environ 1000 T/mm, peu performant et mal adapté.

Spectre d'une LED blanche HL



A l'avenir le réseau sera changé et la fente du spectro améliorée ; réglable pour améliorer la résolution et choisir un bon rapport entre cette dernière et la luminosité, est d'une plus grande longueur pour augmenter la largeur du spectre.

Spectre d'un module laser

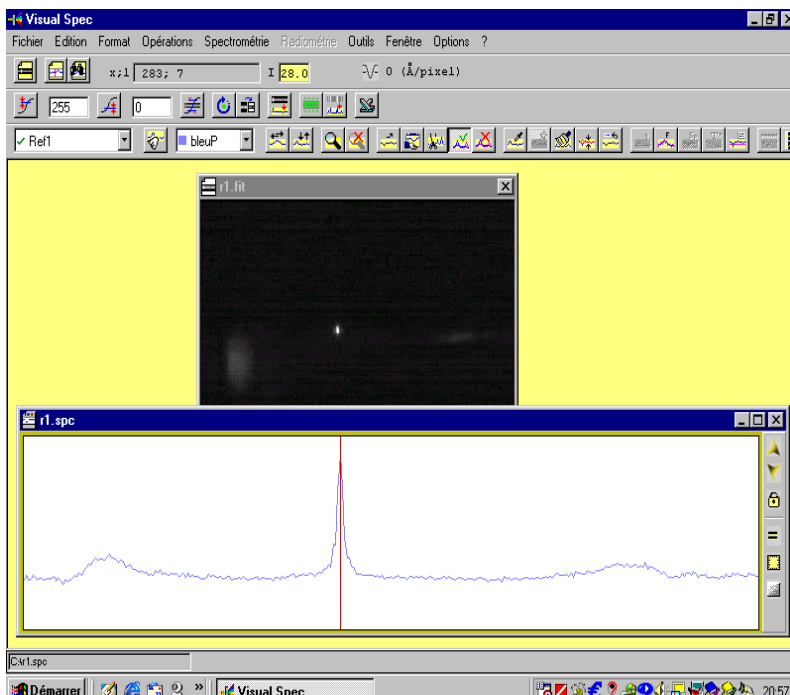


Sur le premier spectre la zone sombre horizontale est due à une irrégularité des bords de la fente d'entrée. On remarque bien quelques raies d'absorptions (sombres) et d'émissions (claires).

Sur le second, un exemple de continuum.

Copie d'écran de Visual Spec de Valérie Desnoux

<http://valerie.desnoux.free.fr/>



Le dernier montre bien le caractère très particulier du laser n'émettant que sur une seule longueur d'onde.

Sur la copie d'écran ci-contre, les lueurs aux deux extrémités sont dues à des reflets sur le spectrographe.

LE RX K3PGP

K3PGP a eu l'idée de se servir de la résistance interne inverse porte/drain d'un transistor à effet de champ comme résistance de charge en série avec la diode pour détecter des niveaux de l'ordre du picoampère, noyés dans le courant d'obscurité de la diode. Cette version donne déjà une excellente sensibilité qui peut être largement améliorée par le refroidissement de la diode PIN. Le reste du schéma est très classique. Ce montage étant à très haute impédance, un rien d'humidité peut faire descendre la valeur des résistances et perturber sérieusement les caractéristiques du montage. C'est cette remarque qui entrave la réalisation d'un RX refroidi, favorisant la condensation et la formation de givre sur la fenêtre de la diode, la solution est peut-être avec une cavité étanche sous CO₂, des recherches sont en cours.

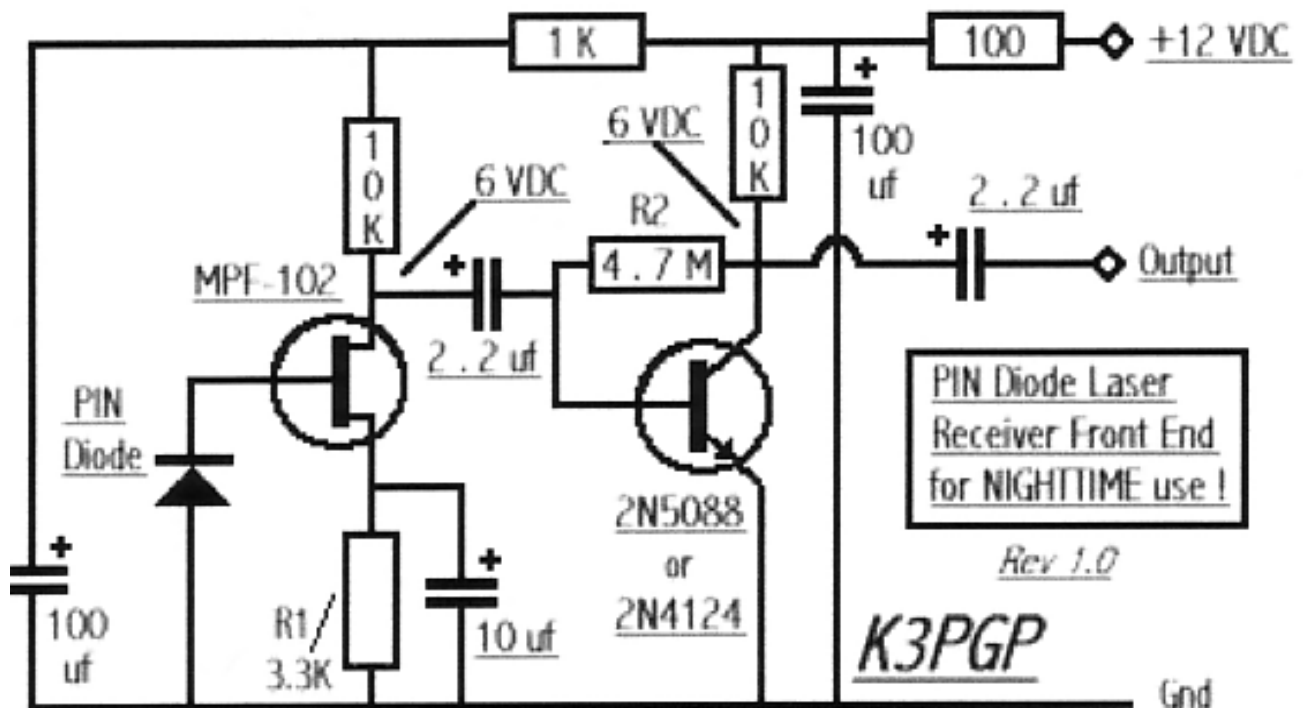
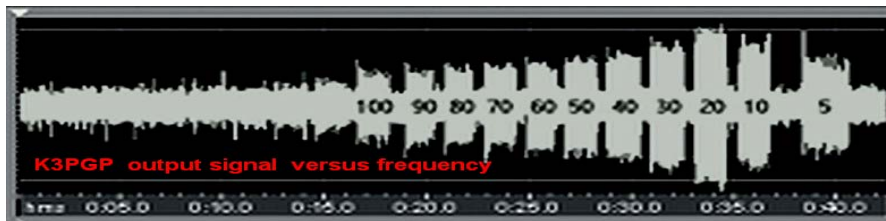
Pour info, la classique BPW 34 peut être remplacée par une OSD1-5T beaucoup plus sensible encore, mais dont la surface est nettement plus petite, rendant le pointage encore plus précis. Le 2N5088 peut être remplacé par un BC239 ou un BC109C. Les résistances seront de préférence à couches métalliques et le câblage, le plus possible en l'air. Le boîtier assurera un blindage parfait et sera étanche également à la lumière. Les entrées 12 V seront découplées par des traversées de 1 nf. Un étage BF construit autour d'un LM 386 par exemple, fera suite à ce montage.

Particularités : La connexion entre la cathode de la PIN et la porte du FET doit être impérativement câblée en l'air, à au moins 5 mm de toutes masses.

NE PAS DIRIGER le RX muni de son antenne directement vers le soleil sous peine de destruction immédiate de la PIN.

NE PAS REGARDER le soleil directement avec les yeux derrière une optique, sous peine de graves blessures oculaires.

Ce RX a été développé pour les très basses fréquences (VLF), ainsi dans cette version, ce RX donne de très bons résultats et permet une phonie d'excellente qualité si le gain est suffisant, mais une décroissance rapide au delà d'une bande passante de quelques centaines de Hz se manifeste en présence de très faibles niveaux de signaux optiques. Dans cette version la qualité de modulation est encore excellente à 50 Km avec à l'émission une puissance < 5 mW, ce qui permet d'envisager des distances bien supérieures.



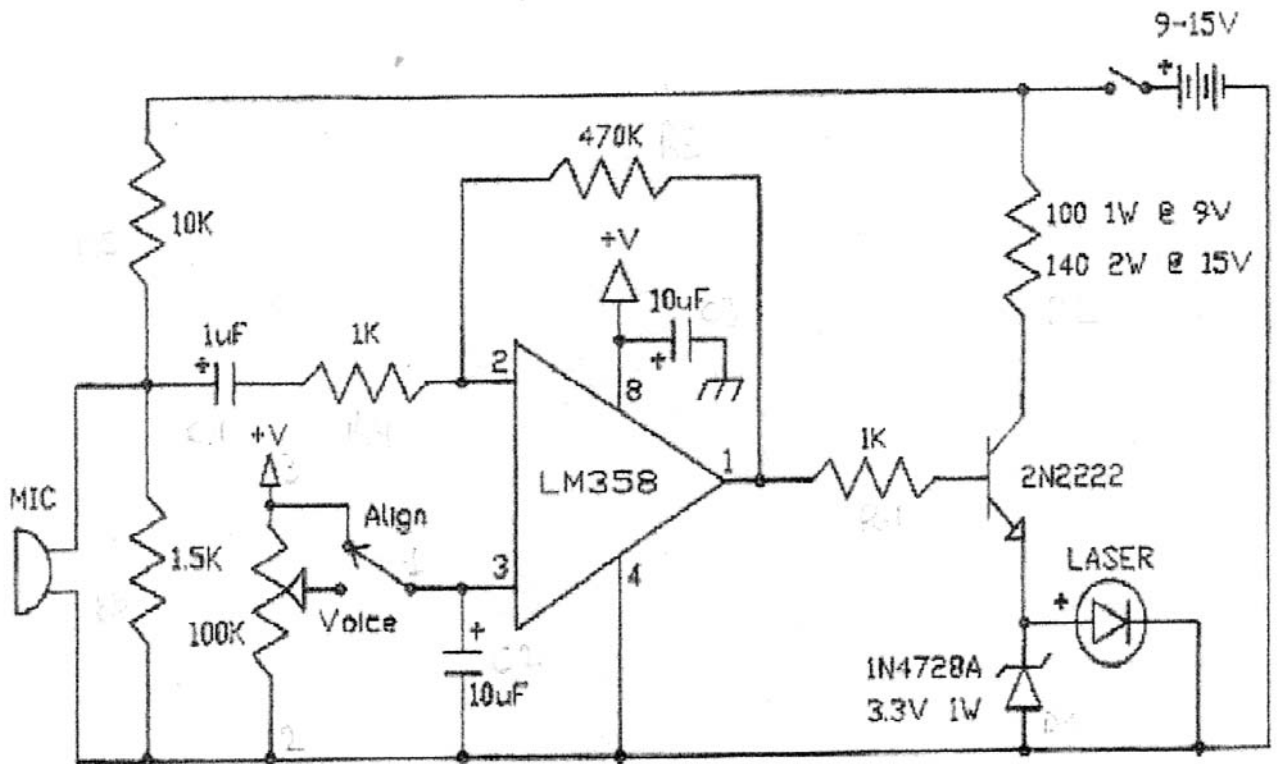
Le TX 5 mW phonie AM N1BUG

Le schéma est très simple et ne demande que peu de commentaires. Il est fait pour un module laser de 1 à 5 mW. Le micro sera avantageusement un electret, les micros/casques utilisés en informatique sont peu cher et conviennent fort bien. Il faudra prévoir un petit diviseur de tension pour la classique alimentation de ce type de micro. Le réglage optimum de la modulation se fera par l'intermédiaire du potentiomètre de 100KΩ. Un inverseur permettra l'allumage du laser en continu pour l'alignement. Pour protéger le module, il est souhaitable de câbler son alimentation très courte et d'insérer une diode en protection contre les tensions inverses très dangereuses pour le module.

NE PAS DIRIGER le faisceau vers quelqu'un ni le regarder en face, et attention aux trajets du faisceau.

Lors des essais dans le shack porter des lunettes de protection et travailler sous une forte lumière, qui oblige la pupille à se contracter. Evitez tous rayonnements indirects tout aussi dangereux que ceux en direct.

Les modules laser « low coast » de GO-TRONIC ont une régulation efficace, mais de ce fait une modulation moins fidèle que ceux de SELECTRONIC qui eux sont plus fragiles. Il est intéressant de tester plusieurs modules de provenances diverses.



Origine N1BUG