



Redaktion: Dr. Peter Erni (HB9BWN), Römerstrasse 32, 5400 Baden
Packet: HB9BWN @ hb9aj E-Mail: hb9bwn@uska.ch

Modulator und Demodulator für das 0.00000063-m-Band entsprechend 630 nm oder 476000 GHz

Iacopo Giangrandi (HB9DUL), Eden-Roc 7, 1073 Savigny

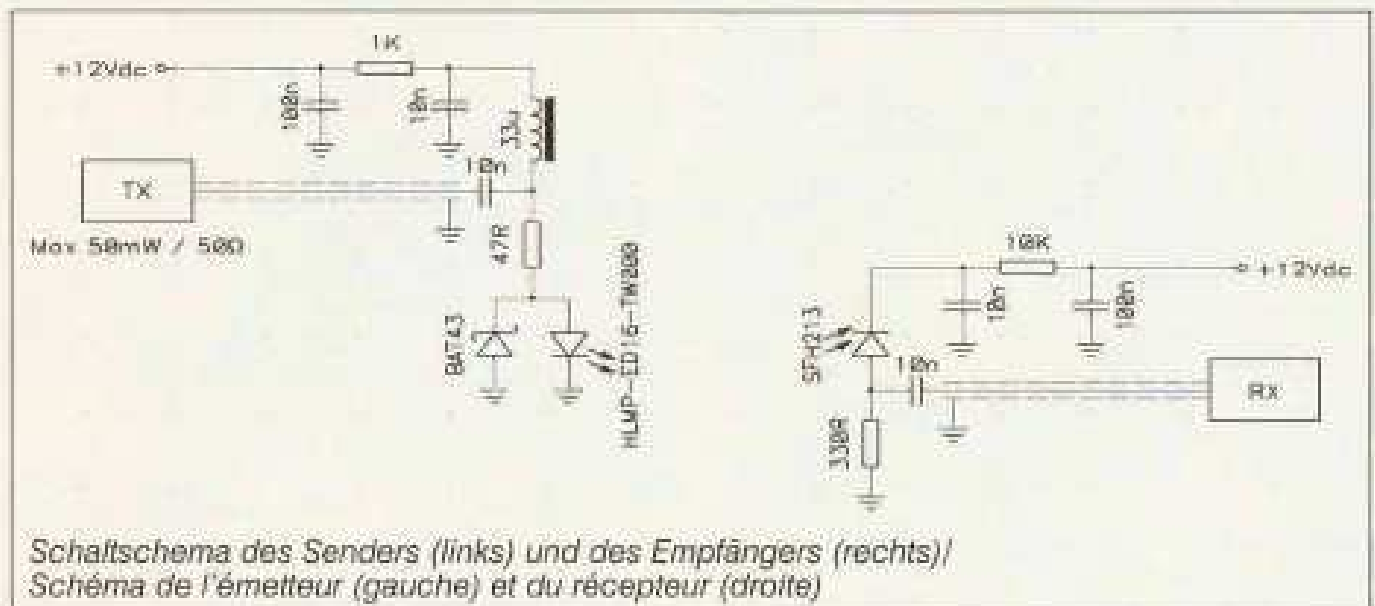
Ich stelle Ihnen hier zwei kleine Schaltungen zur Modulation und Demodulation von Signalen auf einer Wellenlänge von 0,00000063 Meter (630 nm oder 476000 GHz) also im sichtbaren roten Wellenbereich vor. Zur Erinnerung: 1 Nanometer entspricht 0.001 Mikrometer. Die Idee ist mir beim Testen der Empfindlichkeit und des Frequenzganges verschiedener Fotodioden gekommen. Ich versuchte das ausgesandte Licht einer LED zu modulieren und umgekehrt das empfangene Signal einer Fotodiode zu demodulieren. Anstatt einen kompletten Modulator oder Demodulator selber zu bauen – verwende ich zwei meiner Transceiver, welche bessere Eigenschaften als Selbstbaugeräte aufweisen. Ich habe zwei kleine Schaltungen entworfen, welche nachstehend beschrieben sind.

Modulateur et démodulateur pour la bande des 0.00000063 m

soit 630 nm correspondant à 476'000 GHz
Iacopo Giangrandi (HB9DUL), Eden-Roc 7, 1073 Savigny

Je vous présente deux petits schémas pour moduler et démoduler des signaux à une longueur d'onde de 0.00000063 m (oui, 630 nm, 476'000 GHz), c'est-à-dire de la lumière rouge. Rappel: 1nm = 0,001 micromètre

L'idée m'en est venue en testant la sensibilité et la réponse en fréquence de plusieurs photodiodes. Je cherchais en fait à moduler la lumière émise par une diode LED, et à l'inverse, à démoduler le signal reçu par une photodiode afin de pouvoir les comparer. C'est alors que je me suis dit qu'au lieu de bricoler un modulateur et un démodulateur complet, j'aurais pu utiliser tout simplement deux de mes transceivers qui auraient eu d'ailleurs des meilleures caractéristiques. J'ai donc réalisé les deux petits schémas que je vous présente ci-après avec lesquels je me suis pas mal amusé.

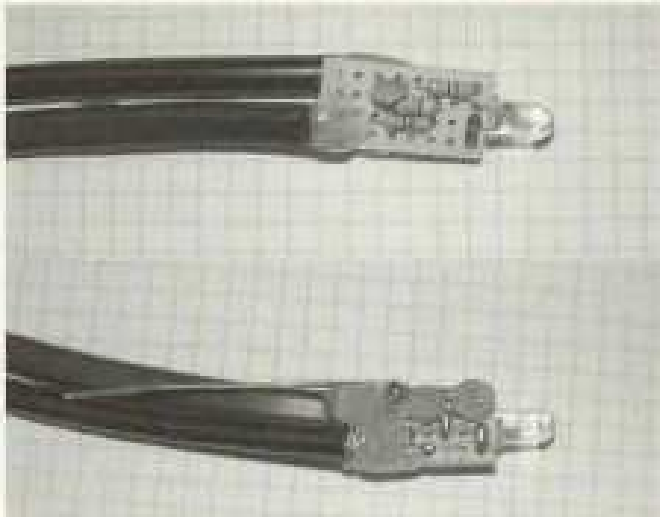


Der Sender

Die Schaltung ist sehr einfach (Bild 1): Man nimmt das modulierte HF-Signal direkt vom Ausgang eines QRP-Senders. Die maximale Sendeleistung beträgt etwa 50 mW. Falls der Sender nicht genügend weit heruntergeregelt werden kann, sollten Sie einen Abschwächer

L'émetteur

Le schéma est très simple (fig. 1): on prend le signal RF modulé, directement à la sortie d'antenne d'un émetteur en QRP. La puissance maximale applicable est d'environ 50 mW, et si votre émetteur ne permet pas de descendre aussi bas, je vous conseille de connecter un

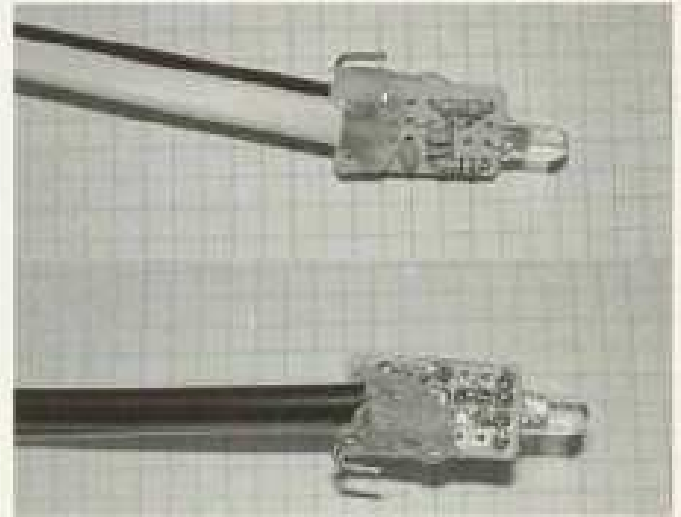


Der Sender (Vorder- und Rückseite)/L'émetteur (vu des deux côtés).

zwischen Antennenausgang und dem optischen Sender einfügen. Dieses Vorgehen hat auch den Vorteil, dass die Impedanz so viel näher bei 50Ω liegt. Das HF-Signal wird über eine Kapazität von 10 nF an die Sende-LED-Diode geführt um den Gleichstromanteil von der Antenne fernzuhalten. Der Widerstand von 47Ω dient zur Impedanzanpassung auf etwa 50Ω . Eine perfekte Anpassung ist nicht möglich, da die LED-Diode ein nichtlineares Element ist. Die antiparallel geschaltete Schottky-Diode BAT43 verhindert die Gleichrichtung eines zu starken HF-Signals (eine Diode 1N4148 sollte auch ausreichen).

Wegen ihres guten Wirkungsgrades (155 lm/W , 7.3%) habe ich als Sende-LED-Diode das Model HLMP-ED16-TW000 von Agilent (ex HP) verwendet. Ausserdem kann diese Diode eine Lichtleistung von mehr als 3 mW aussenden, was für eine LED sehr viel ist. Die Diode hat einen Öffnungswinkel von nur 15° , und – was besonders wichtig ist – sie lässt sich mit HF modulieren. Ich habe mit vielen verschiedenen Typen von Dioden experimentiert, musste aber auf alle infraroten Typen verzichten, da sie nur bis knapp 1 MHz moduliert werden können. Alle getesteten Dioden im sichtbaren Bereich hingegen funktionierten gut bis 10 oder 20 MHz .

Das reicht aus um in FM oder CW zu senden, es ist aber nicht linear genug für die anderen Modulationsarten. Um in AM oder SSB zu senden, muss die Diode mit einem Gleichstrom von etwa 10 mA – begrenzt durch einen Widerstand von $1 \text{ k}\Omega$ – vorgespannt werden. Die zwei Kondensatoren von 10 nF und 100 nF sowie die Spule von $33 \mu\text{H}$ verhindern, dass das HF-Signal in die Speiseleitungen gelangt. Das Vorspannen der LED-Diode erlaubt auch eine Modulation mit viel höheren Frequenzen.



Der Empfänger (Vorder- und Rückseite)/Le récepteur (vu des deux côtés).

atténuateur entre la sortie d'antenne et le petit circuit en question. Ceci aura aussi l'avantage de présenter à l'émetteur une impédance beaucoup plus proche de 50 Ohms . Le signal RF est couplé à la diode LED émettrice à travers une capacité de 10 nF , pour éviter que du DC puisse entrer dans la prise d'antenne. La résistance de 47 Ohms en série avec la diode sert à montrer à l'émetteur une impédance proche de 50 Ohms . Une adaptation parfaite n'est pas possible, car la diode LED est un élément non linéaire. La diode Schottky BAT43 en antiparallèle sert à éviter de redresser le signal RF si celui-ci est trop fort (une diode 1N4148 devrait aussi faire l'affaire).

Comme diode LED émettrice j'ai choisi le modèle HLMP-ED16-TW000 produite par Agilent, ex HP, de part son bon rendement (155 lm/W , 7.3%). De plus, elle peut émettre plus que 3 mW de lumière ce qui est énorme pour une LED. Elle a un angle d'ouverture de seulement 15° , et surtout se laisse moduler en HF. J'ai essayé beaucoup de types de diodes et ai dû renoncer aux modèles infrarouges car elles atteignent à peine un MHz. Toutes les diodes «visibles» essayées, par contre, fonctionnent très bien jusqu'à 10 ou 20 MHz .

C'est suffisant pour émettre en FM ou en CW mais n'est pas assez linéaire pour les autres modes. Pour émettre en AM ou en SSB il faut polariser la diode LED avec un courant continu d'environ 10 mA , limité par la résistance de $1 \text{ k}\Omega$. Les deux condensateurs de 10 nF et 100 nF ainsi que l'inductance de $33 \mu\text{H}$ servent à empêcher que le signal RF ne se propage dans les câbles d'alimentation. Le fait de polariser la diode LED permet aussi de monter beaucoup plus haut en fréquence. Pour faire les choses «propres et en ordre,» j'ai monté ce

Um „Nägel mit Köpfen“ zu machen, habe ich die kleine Schaltung in ein Kupfergehäuse eingebaut, dadurch werden alle parasitären Abstrahlungen vermieden. Da es sich um eine HF-Schaltung handelt, ist es angebracht Scheiben- oder keramische Kondensatoren zu verwenden (siehe die entsprechenden Bilder).

Der Empfänger

Die Schaltung des Empfängers ist auch nicht komplizierter als diejenige des Senders (Bild 1). Als Fotodiode habe ich das Model SFH213 von Osram gewählt, da sie eine gute Empfindlichkeit im sichtbaren und nicht nur im infraroten Bereich hat. Sie ist auch recht selektiv mit einem Öffnungswinkel von nur 10° . Bei der Auswahl einer Fotodiode muss man berücksichtigen, dass mit grösserer Chipoberfläche auch die Empfindlichkeit zunimmt. Eine grössere Oberfläche führt allerdings auch zu einer grösseren Streukapazität und dadurch sinkt die maximale Arbeitsfrequenz. Die SFH213 hat eine nutzbare Oberfläche von 1 mm^2 und eine Streukapazität von 11 pF bei 0 V . Die Fotodioden von schwarzer Farbe sind nur empfindlich bis in den infraroten Bereich, sie eignen sich daher nicht für diesen Verwendungszweck.

Die parasitäre Kapazität ist der limitierende Faktor für die Bandbreite. Um diese Kapazität soweit wie möglich zu reduzieren, muss man die Fotodiode mit einer negativen Spannung vorspannen. 12 V_{cc} sind schon ein guter Wert. Um die Kapazität weiter zu reduzieren, kann die negative Spannung noch grösser gewählt werden, man sollte aber die maximale inverse Spannung der Fotodiode nicht überschreiten (50 V für die SFH213). Die Polarisationsspannung wird über einen Widerstand von $10 \text{ k}\Omega$ zugeführt. Der Kondensator von 100 nF dient zur Entkoppelung der Speisung.

Für die HF-Signale befindet sich die Kathode der Fotodiode über den Kondensator von 10 nF auf Massenpotential, da ihre Impedanz viel kleiner ist als $10 \text{ k}\Omega$ und verhindert dadurch, dass die HF in die Speisung gelangt.

Der Widerstand von 330Ω ist der Lastwiderstand der Fotodiode und bildet ein RC-Glied mit der Streukapazität. Wählt man einen kleineren Widerstand, so wird die Zeitkonstante kleiner und damit die Arbeitsfrequenz höher hingegen wird das Signal schwächer und umgekehrt.

Das HF-Signal wird über einen Kondensator von 10 nF an die Antenne des Empfängers

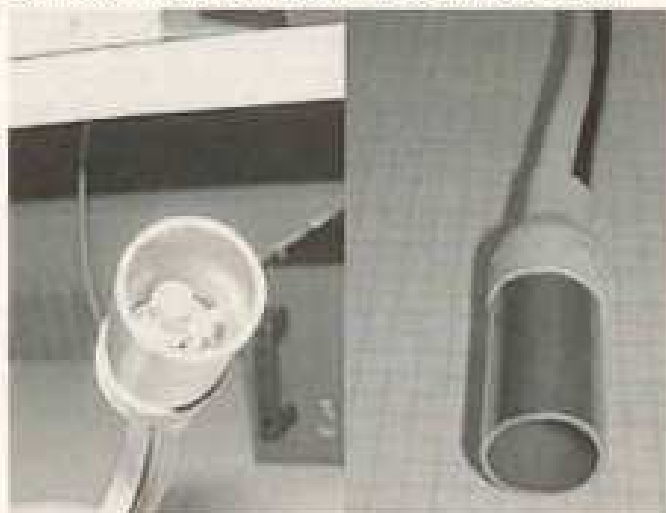
petit circuit à l'intérieur d'un tube de cuivre pour éviter tout rayonnement parasite. Vu qu'il s'agit d'un schéma HF, il est aussi judicieux d'utiliser des capacités à disque ou en céramique (voir les photos).

Le récepteur

Le schéma du récepteur n'est pas plus compliqué que le précédent (fig. 1). Comme photodiode j'ai choisi le modèle SFH213 produit par Osram car il a une bonne sensibilité à la lumière visible et non pas seulement à l'infrarouge. Il est aussi assez directif avec un angle d'ouverture de seulement 10° . En choisissant une photodiode, il faut considérer que plus la surface du chip est grande, plus sa sensibilité sera élevée, ainsi que sa capacité parasite, de sorte que la fréquence maximale de travail sera plus petite. L'SFH213 a une surface utile de 1 mm^2 et une capacité parasite de 11 pF à 0 V . Les photodiodes de couleur noire ne sont sensibles qu'à l'infrarouge et ne se prêtent pas à cette application.

Cette capacité parasite est le facteur limitant de la bande passante, et pour la réduire le plus possible, il faut polariser la photodiode avec une tension inverse. 12 V_{cc} est déjà une bonne valeur. Pour réduire davantage la capacité on peut utiliser une tension plus élevée, tout en respectant la tension inverse maximale de la photodiode (50 V pour la SFH213). La tension de polarisation est amenée par la résistance de $10 \text{ k}\Omega$. La capacité de 100 nF sert à découpler l'alimentation.

Pour les signaux RF, la cathode de la photodiode se trouve connectée à la masse à travers la capacité de 10 nF qui, en HF, a une impédance beaucoup plus faible que $10 \text{ k}\Omega$ et empêche donc la RF de remonter vers l'alimentation.



Der Empfänger in seiner Abschirmung/Le récepteur dans son blindage.

geführt um die Gleichspannung vom Empfänger-
eingang fernzuhalten.

Auch hier ist es vorteilhaft Scheibenkondensatoren zu verwenden und die Schaltung gut abzuschirmen, damit nicht HF-Streuungen anstelle des optischen Signals empfangen werden.

Ratschläge und Experimente

Mit den beiden Schaltungsvorschlägen, so wie ich sie vorgestellt habe, kann man eine Distanz von etwa 7 bis 10 Meter überbrücken. Um weiter zu kommen, muss das gesendete und das empfangene Licht besser gebündelt werden. Dazu kann man verschiedene im Haushalt vorkommende Gegenstände wie Lupen, Brillen, Feldstecher, Teleskope, Kameraobjektive, Parabolspiegel, Autoscheinwerfer, Pfannendeckel etc. verwenden. Ich selber habe alte Ferngläser benutzt, was zu einer überbrückbaren Distanz von 30 m führte (schon fast eine „DX“-Verbindung). Bei einer solchen Distanz ist es unerlässlich die Optik auf einem Stativ zu montieren, da eine Abweichung von einem halben Grad genügt, um das Signal zu verlieren. In der Nacht erreicht man im allgemeinen grössere Distanzen.

Um die Reichweite weiter zu vergrössern kann man versuchen mehrere Dioden parallel zu schalten oder alternativ eine Laser-Diode zu verwenden (allerdings mit einer aufwändigeren Schaltung für die Erzeugung der Vorspannung).

Ich empfehle auch, immer die Dioden mit der Hand abzudecken, um sicher zu sein, dass man das optische Signal empfängt und nicht das HF-Signal.

Im allgemeinen ist das Signal stärker wenn die Frequenz tiefer ist, für „DX“-Verbindungen sendet man besser auf 1.8 MHz als auf 21 MHz.

Falls Ihr Empfänger Frequenzen bis 30 kHz empfangen kann, können Sie auch die Signale der „Infrarot“-Fernbedienungen demodulieren, welche eine Art von CW zwischen 30 und 50 kHz aussenden.

Berücksichtigt man die Einfachheit der beiden Schaltungen, lohnt es sich zum LötKolben zu greifen und Versuche zu machen. Viel Erfolg beim Basteln.

La résistance de 330 Ω est la résistance de charge de la photodiode, et forme un circuit RC avec la capacité parasite de cette dernière. En choisissant une résistance plus petite la constante de temps sera plus courte, la fréquence sera plus élevée, mais le signal sera plus faible, et vice-versa.

Le signal RF est couplé vers l'entrée d'antenne du récepteur à travers une capacité de 10 nF qui empêche la DC de rentrer dans le récepteur.

Ici aussi il est judicieux d'utiliser des condensateur en céramique et de bien blinder ce circuit pour éviter qu'il puisse capter directement le rayonnement RF à la place du signal lumineux.

Petits conseils, choses à essayer

Avec les deux schémas tels que je les ai présentés, on arrive à couvrir une distance d'environ 7 m à 10 m. Pour aller plus loin, il vaut mieux concentrer la lumière émise et reçue, et on peut essayer divers objets disponibles à la maison. Loupes, lunettes, jumelles, télescopes, objectifs pour cameras, oculaires de caméscope, miroirs paraboliques, phares de voiture, couvercles de casseroles, miroirs d'ampoules halogènes etc. Personnellement, j'ai utilisé des vieilles jumelles qui m'ont permis d'atteindre environ 30 m (j'appellerai ça «DX» ...). A une telle distance il est indispensable de monter l'optique sur un support, car bouger d'un demi degré suffit pour perdre le signal. La nuit, on atteint en général des distances plus élevées.

Pour augmenter la portée il faudrait peut-être essayer plusieurs diodes LED en parallèle, ou aussi une diode laser (en utilisant une polarisation plus compliquée).

Je conseille aussi de toujours couvrir les diodes avec la main afin de vérifier que c'est bel et bien le signal optique que l'on reçoit, et non pas la RF directement.

En général, le signal est plus fort si la fréquence est basse: pour le «DX» il vaut mieux émettre à 1.8 MHz qu'à 21 MHz.

Si votre récepteur peut descendre jusqu'à 30 kHz, vous pouvez démoduler aussi les signaux émis par les télécommandes infrarouges qui modulent en général une sorte de CW entre 30 et 50 kHz.

Vue la simplicité des deux circuits, ça vaut la peine de prendre le fer à souder et de faire des essais. Bon bricolage.