

tubes à ondes progressives

Neil Gruending (Canada)

Le monde des amplificateurs RF est fascinant par la multiplicité de leurs conceptions. Si aujourd’hui, les semi-conducteurs se sont imposés à peu près partout, il subsiste encore quelques cas où les tubes à vide restent incontournables. Après avoir examiné les klystrons dans le passé, tournons-nous aujourd’hui vers l’amplificateur à tube à ondes progressives, un autre de ces héros électroniques méconnus.

L’un des aspects les plus fascinants des amplificateurs à tube à ondes progressives est leur mode de fonctionnement. Ces tubes comportent un élément chauffant, une cathode émettrice d’électrons et des électrodes accélératrices formant un canon à électrons, similaire à celui d’un tube cathodique, qui envoie un faisceau d’électrons vers le collecteur (fig. 1). Ce faisceau est focalisé par un champ magnétique externe, généralement constitué d’aimants permanents. En utilisant la modulation de vitesse des électrons du faisceau par le signal d’entrée RF, ceux-ci amplifient ce signal en lui cédant une partie de leur énergie.

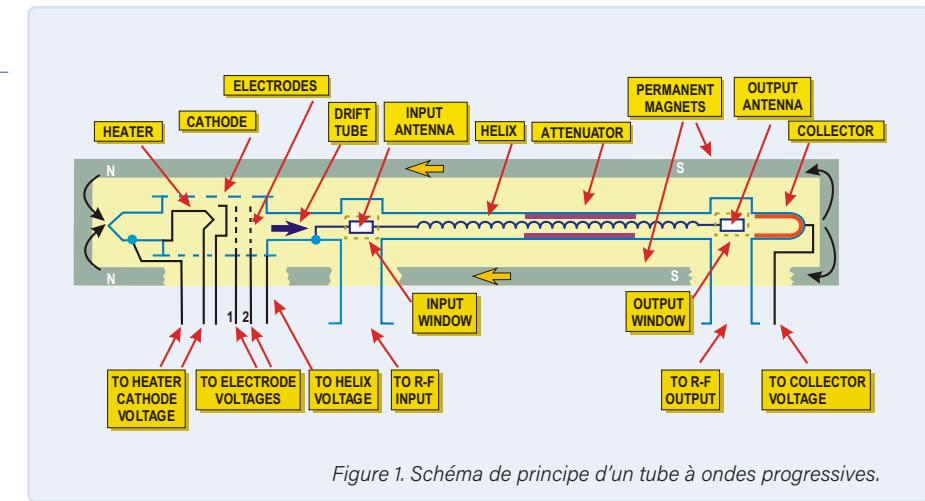


Figure 1. Schéma de principe d'un tube à ondes progressives.

Les électrons du faisceau étant beaucoup moins rapides que le signal RF (dont la vitesse est voisine de celle de la lumière), celui-ci est ralenti en allongeant son trajet par passage dans un fil enroulé en spirale, l’hélice, de sorte que la composante axiale de sa vitesse soit légèrement inférieure à celle du flux d’électrons.

En se propageant le long de l’hélice, le signal RF module la vitesse des électrons du faisceau, ceux en phase accélérant, les autres ralentissant, ce qui a pour effet de les regrouper en paquets. Les électrons ralentis, en majorité, induisent un signal amplifié dans l’hélice qui est ensuite prélevé à l’extrémité de l’hélice à l’aide d’un coupleur directionnel. Comparés aux klystrons [1], les tubes à ondes progressives se distinguent par une bande passante plus large. Dépourvus de composants résonnantes, ils sont idéaux pour les applications à micro-ondes de faible puissance comme les radars ou les communications spatiales. Un excellent exemple est l’amplificateur Collins Radio en bande S (figures 2 et 3) utilisé dans le programme spatial Apollo [2]. Il s’agissait d’un amplificateur compact de 20 W, pesant 15 kg, qui transmettait l’ensemble des signaux voix, données et télévision au réseau d’antennes paraboliques terrestres de 26 m de la NASA.

En comparaison, la station terrestre utilisait un émetteur directionnel de 10 kW pour communiquer avec le vaisseau. Bien que l’usage des tubes à ondes progressives soit essentiellement du domaine commercial, il y a toujours un petit groupe de passionnés expérimentant ces remar-

quables petits amplificateurs dans des émetteurs à micro-ondes amateurs [3]. Leur plus grand défi, cependant, est d’en trouver, des tubes !

210418-04 – VF : Helmut Müller

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



Figure 2. Amplificateur en bande S Collins Radio à tube à ondes progressives utilisé pour la communication avec la Terre pendant la mission Apollo. (Source : Ken Shirriff)



Figure 3. Fonctionnant à plusieurs milliers de volts, l’amplificateur de Collins Radio était un enchevêtrement compact de câbles coaxiaux. (Source : Ken Shirriff)

LIENS

- [1] N. Gruending, « le klystron, drôle de composant n°13 », Elektor 03/2015 : <https://www.elektormagazine.fr/140535>
- [2] K. Shirriff, « Inside a 20-Watt Traveling-Wave Tube Amplifier from Apollo », blog de Ken Shirriff, 07/2021 : <https://bit.ly/3ea8lOn>.
- [3] H. Griffiths, « Travelling Wave Tube Amplifiers », The National Valve Museum, 09/1980 : <https://bit.ly/3wA8aCn>