

High Power TWT's

Angel Vilaxco, HB9SLV
9, chemin des Pralies, CH-1261 Bogis-Bossey, Schweiz

A number of high-powered traveling-wave tubes (Figures 1,2) were recently developed by Siemens AG for up-link satellite operation. The bands in use for this kind of operation are the following : 6 GHz, 14 GHz and 30 GHz. Unfortunately, this does not quite include our amateur bands. However, the techniques used to obtain this power level might of course be used in the future to manufacture TWT's useful to us radio-amateurs.

The main limiting factor for a TWT's output power is that the RF dissipation and the energy of the spent electron beam have to be expelled from the helix by way of electrically insulating materials to a cooling medium. The insulator is not necessarily a very good conductor of heat and it can also be susceptible to evaporation from the hot helix. By means of new materials with good heat-conducting characteristics and the use of new technologies it has been possible to reduce the temperature of the helix and thus increase RF power quite considerably. Shrink technology has been applied to the type of tube discussed here (the YH 1421). The helix is made of tungsten and is inserted together with three boron nitride rods (Figure 3) into the vacuum envelope, which is heated up to 770 C, and compressed by the reduction of diameter (shrinking) that results from cooling. Instead of glass, the envelope is formed of airtight soldered polepieces and non-magnetic spacers. The central opening that holds the helix system is polished and honed with a great deal of precision. The quality of the heat transmission between the helix and the envelope depends on the compacting pressure. The larger the pressure the better the heat transmission. However, the amount of pressure that can be used is limited by the strength of the boron nitride rods. Typical thermal resistance is 3 to 5 C/W.

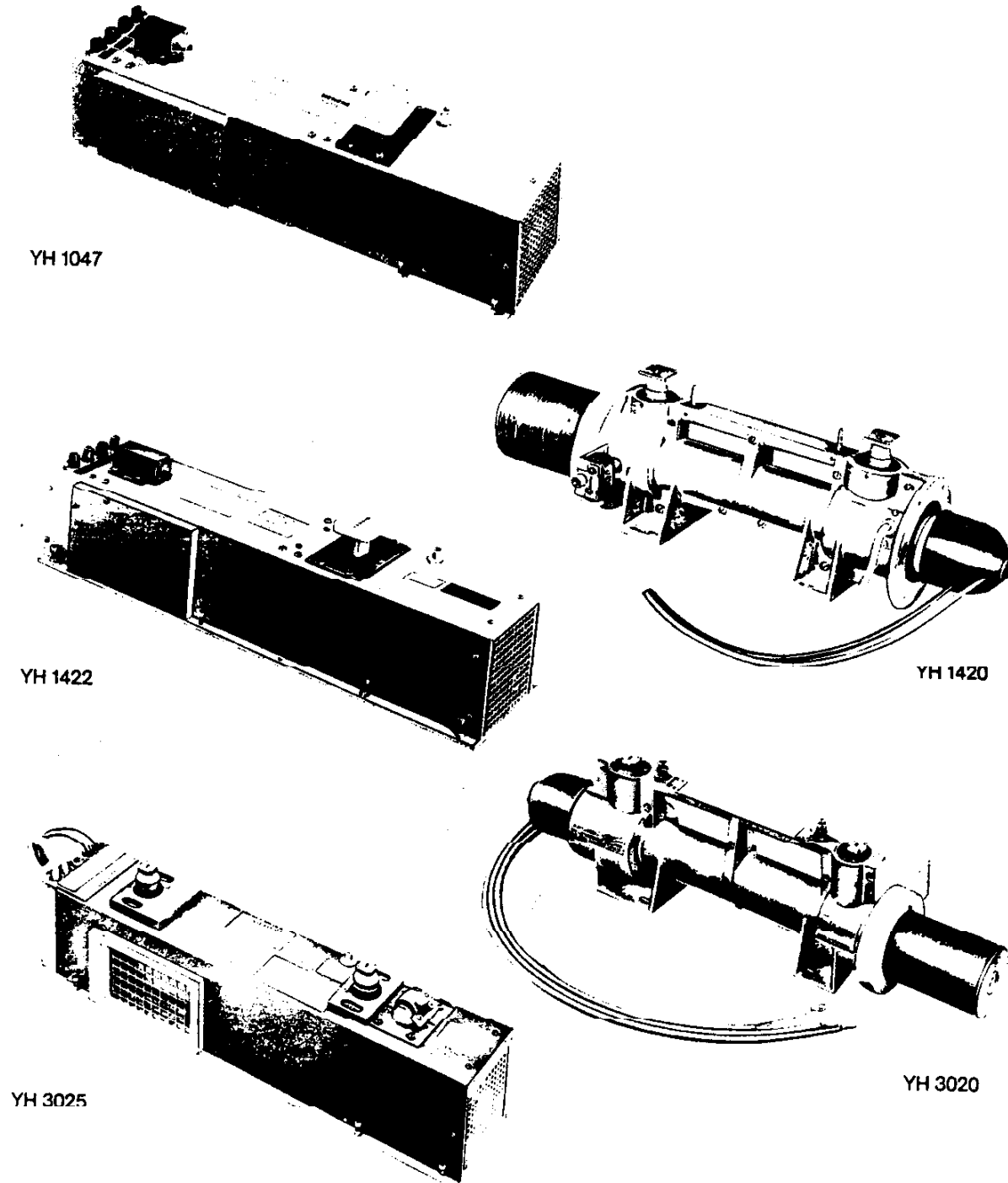
It is still necessary to consider the thermal conduction from the vacuum envelope to the cooling medium (the air, although a few of the Siemens high-power TWTs are water-cooled). The thermal resistance of an iron polepiece corresponds to 1 C/W per centimeter of the length of the system. If a copper core is inserted in the middle of a polepiece (figure 4) and is soldered to the cooled waveguide, the thermal resistance is halved. A total thermal resistance between the helix and the cooled waveguide of 3.5 C/W/cm can thus be reached. This technique is only applied in that part of the slow-wave structure where the thermal load is at its greatest, namely in front of the RF output coupling. (see figure 4)

With this technique, a number of tubes have been built with an RF output power of up to 900 Watts. The technologies used for the electric gun, permanent magnet focusing and the air cooling of the slow-wave structure are state-of-the art for tubes used in earth stations.

Because of the high power gain, (50 to 60 dB), and to avoid self-oscillation, the slow-wave structure is divided into three segments (input, center and output). These are isolated by attenuator regions in the boron nitride rods.

To improve linearity and tube efficiency, the taper of the helix is matched to the electron velocity towards the output, which decreases with the RF circuit modulation.

Taken from a reprint of an article appeared in Siemens Components 6/89. The author is Dipl.-Ing. Fritz Hanf, Siemens AG, Bereich Passive Bauelemente und Rohren, Entwicklung Hochleistungs-Wanderfeldrohren, München.



Bild/Figure 1: High Power Traveling Wave Tubes

For 6 GHz satellite earth stations

Type	Ordering code	Frequency range GHz	Output power W	Gain dB	AM/PM-conversion °/dB	Cooling
YH 1047-A1	Q42-X4659	5.850...6.425	600	46	1.5	Forced-air flow
YH 1047-A2	Q42-X4661	5.850...6.425	700	46	2	Forced-air flow

For 14 GHz satellite earth stations

Type	Ordering code	Frequency range GHz	Output power W	Gain dB	AM/PM-conversion °/dB	Cooling
YH 1423	Q42-X4632	14.0... 14.5	75	48	5	Conduction
YH 1422	Q42-X4625	14.0... 14.5	300	50	3	Forced-air flow
YH 1424	Q42-X4633	14.0... 14.5	300	50	3	Conduction
YH 1425	Q42-X4634	14.0... 14.5	300	50	3	Forced-air flow*)
YH 1421	Q42-X4631	14.0... 14.5	600	50	3	Forced-air flow
YH 1420	Q42-X4619	14.0... 14.5	2300	45	3	Forced-air flow/ water

*) Reduced length and pressure drop

For 30 GHz satellite earth stations

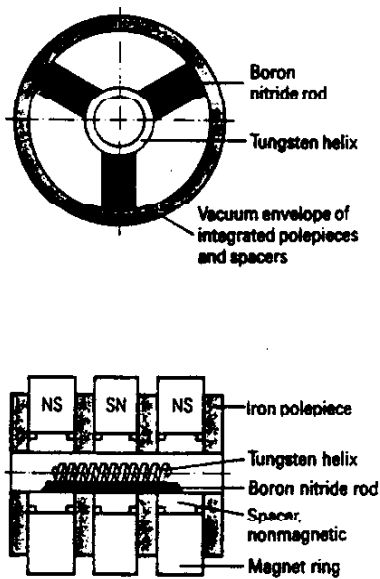
Type	Ordering code	Frequency range GHz	Output power W	Gain dB	AM/PM-conversion °/dB	Cooling
YH 3025	Q42-X4626	27.5... 29.5	350	50	5	Forced-air flow
YH 3020	Q42-X4621	28.7... 30.0	1300	45	5	Forced-air flow/ water

Bild/Figure 2: Table of Siemens TWT's

Für Satellitenverbindungen wurden neue Hochleistungs-TWT's von der Siemens AG entwickelt. Sie sind für die Bereiche 6 GHz, 14 GHz und 30 GHz vorgesehen. Wenn das auch keine Amateurbereiche sind, mögen doch die Techniken für solch große Leistungen auch für Amateure interessant sein, wenn z.B. X-Band TWT's in dieser Technologie verfügbar werden.

Das Hauptproblem für Leistungs-TWT's ist es, die Verlustwärme von der Helix über ein isolierendes Medium auf den externen Kühlkörper zu übertragen. Isolatoren sind meistens keine guten Wärmeleiter und sind empfindlich gegen die hohe Temperatur der Helix. Durch neue Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit und durch geschickte Geometrie gelang es, die Wärmeabfuhr deutlich zu verbessern und damit die Temperatur der Helix zu reduzieren. Dadurch konnte die Ausgangsleistung beträchtlich gesteigert werden.

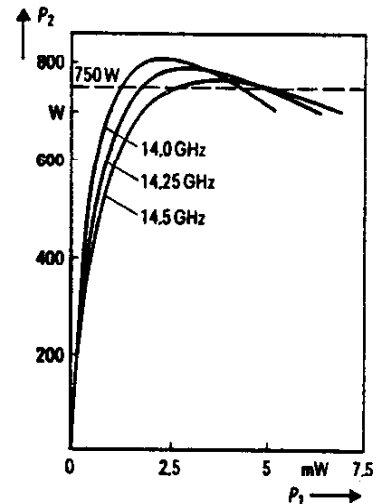
Die Helix wird aus Tungsten gefertigt und durch Boron-Nitride Halter in dem Vakuumrohr gehalten. Durch die externe Kühlung und die hohe Innentemperatur (770 °C) zieht sich das Rohr zusammen (Shrink-Technologie) und sorgt dadurch für eine stabile Geometrie. Das Vakuumrohr wird nicht aus Glas gefertigt, sondern als Struktur von Eisenjochen für das Magnetfeld und Abstandsringen, die vakuumdicht ist. Der Innenraum ist poliert und präzise auf die Abstandshalter angepaßt, um einen möglichst hohen



Bild/Figure 3: TWT Helix Structure

Druck beim Zusammenziehen zu erzeugen. Der thermische Widerstand der Boronnitrid-Stäbe beträgt ca. $5 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Der zweite Wärmestau entsteht beim Übergang vom Vakuumrohr auf das externe Kühlmedium (Luft oder Wasser). Durch Einfügen von Kupferschichten (Bild 4) kann der Wärmewiderstand gegenüber reinen Eisenjochen halbiert werden. Der Gesamtwert, der erreichbar ist, beträgt ca. $3,5 \text{ }^\circ\text{C}/(\text{W}\cdot\text{cm})$ Rohrlänge.



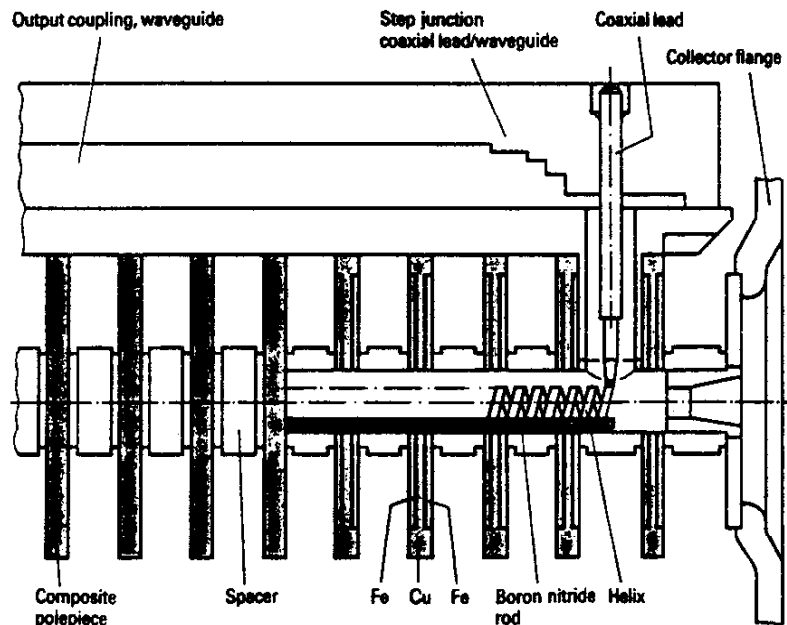
Heater voltage	$U_F = 6.3 \text{ V}$
Anode voltage	$U_{a2} = 6.25 \text{ kV}$
Line voltage	$U_L = 11.1 \text{ kV}$
Collector voltage	$U_C = 5.7 \text{ kV}$
Collector current	$I_C = 420 \text{ mA}$
Line current	$I_L = 0.35 \text{ mA}$

Bild/Figure 5: Output versus Input Power

ge. Diese Technik wird hauptsächlich in dem Teil der Helix angewendet, wo die Wärmebelastung am größten ist.

Mit dieser Technik wurden TWT's mit bis zu 900 W Ausgangsleistung gebaut. Wegen der hohen Leistungsverstärkung von 50 - 60 dB wird zur Vermeidung von Selbsterregung der Wellenleiter in drei Zonen aufgeteilt, die durch Abschwächer in den Boronnitrid-Stäben voneinander getrennt sind.

Die Helix wird mit unterschiedlichem Windungsabstand gemäß der Elektronengeschwindigkeit gewickelt, um Liniertät und Wirkungsgrad zu optimieren.



Bild/Figure 4: Cross Section for Slow Wave Structure