

**ITER ECRF ADVANCED SOURCE DEVELOPMENT**

- Coaxial Cavity Gyrotron -

- Final Report -

ITER task No.: G 52 TT 22 EU (TWO-ADV/SOR)

B. Piosczyk, A. Arnold, H. Budig, G. Dammertz, O. Drumm, M. Kuntze, M. Thumm

Executive Summary:

In accordance with the goal of the ITER task experimental and theoretical investigations on the coaxial cavity gyrotron have been continued. A status has been achieved where a decision about an industrial realization of a 2 MW, CW 170 GHz coaxial cavity gyrotron can be taken. In addition, first work on integration of such a coaxial gyrotron has been done.

The measurements have been performed with an experimental tube constructed in a modular way. The gyrotron has been designed to operate in the TE<sub>31,17</sub> mode at 165 GHz. The cavity has been optimized for the nominal parameters: cathode voltage  $U_c = 90$  kV, beam current  $I_b = 50$  A, microwave output power  $P_{out} = 1.5$  MW. In general, the measurements have been performed at short pulses (typically 1 ms) with a repetition rate of 1 Hz. However, in order to investigate the behavior at longer pulses, single pulse operation with extended pulse lengths has been examined.

The achievements can be summarized as follows:

- The mechanism of the parasitic low frequency oscillations has been understood and the occurrence of such oscillations have been suppressed successfully.
- Efficient microwave output power generation has been achieved in single mode operation in good agreement with results of numerical simulations. In particular the following experimental results have been obtained:

maximum RF-output power:

$$P_{out} \cong 2.2 \text{ MW} \quad \text{with} \quad U_c \cong 94.6 \text{ kV}, \quad I_b \cong 84 \text{ A}$$

maximum output efficiency  $\eta_{out}$  at  $P_{out} \cong 1.5$  MW:

$$\eta_{out} \cong 30 \% \quad \text{with} \quad U_c \cong 90.4 \text{ kV}, \quad I_b \cong 56 \text{ A}$$

$$\eta_{out} \cong 48 \% \quad \text{with} \quad U_{coll} \cong -34 \text{ kV}, \quad \text{with depressed collector}$$

- Stable electron beam current up to 84 A at  $U_c \cong 90$  kV and velocity ratio  $\alpha \cong 1.4$  has been obtained.
- The microwave pulse length has been extended up to 17 ms, limited due to a type of a Penning discharge in the gun region. The origin of this limitation has been investigated and

found to be related to the possibility of electron trapping within the gun. Possibilities to avoid this limitation are suggested.

- The current to the insert saturates at nominal parameters after a few ms at a value  $< 30$  mA.
- The amplitude of the mechanical vibrations of the insert has been measured to be within  $\pm 0.03$  mm caused mainly due to the flow of the cooling water. This value is sufficiently low for stable CW operation of a coaxial gyrotron.
- The losses at the insert have been measured to be about 0.1% of the microwave output power, in reasonable agreement with numerical calculations. The cooling capability of the insert is completely sufficient to remove these losses even for a 2 MW, CW tube.
- The amount of the microwave losses captured inside the gyrotron tube has been found to be fairly large, namely about 11% of the RF output power. The uniform distribution of the captured radiation inside the mirror box, however, reduces the technical problems due to absorption of the stray radiation in the walls of the box. Some reduction of the amount of the stray radiation is expected from a further optimization of the mirrors.
- By biasing the coaxial insert a fast (within  $\approx 0.1$  ms) frequency tuning has been demonstrated. In particular, a fast step frequency tuning between the 165 GHz nominal mode and the azimuthal neighbors at 162.75 GHz and 167.2 GHz have been performed. In addition, at the nominal mode a continuous frequency variation within the bandwidth of up to 70 MHz have been done.

The different gyrotron components have been investigated for their usability in a 2 MW, CW gyrotron. The  $TE_{34,19}$  mode has been selected in agreement with technical restrictions for the 2 MW, 170 GHz coaxial gyrotron. A collector suitable for handling the remaining beam power of 2.4 MW has been suggested and a technical design has been performed in collaboration with TED, Velizy, France.

The obtained results are presented and discussed in detail in this report.

## **ITER ECRF ENTWICKLUNG VON FORTSCHRITTLICHEN GYROTRONEN**

- Gyrotron mit koaxialer Anordnung -

- Abschlußbericht -

ITER task No.: G 52 TT 22 EU (TWO-ADV/SOR)

Kurzfassung:

In Übereinstimmung mit den Zielen des ITER Programmpunktes wurden sowohl experimentelle als auch theoretische Untersuchungen zum koaxialen Gyrotron fortgesetzt. Der erreichte Stand der Entwicklung ermöglicht es, eine Entscheidung über eine technische

Realisierung eines 2 MW, 170 GHz koaxialen Gyrotrons, welches im Dauerstrich (CW) betrieben werden kann, zu fällen.

Die Messungen wurden an einer experimentellen Röhre im modularen Aufbau durchgeführt. Das Gyrotron wurde für einen Betrieb in der  $TE_{31,17}$  Mode bei 165 GHz entworfen. Der Resonator wurde für die folgenden Parameter optimiert: Kathodenspannung  $U_c = 90$  kV, Strahlstrom  $I_b = 50$  A, Mikrowellenleistung  $P_{out} = 1.5$  MW. Im allgemeinen wurden die Messungen bei kurzen Pulsen ( typischerweise 1 ms) mit einer Wiederholrate von 1 Hz durchgeführt. Um jedoch das Verhalten bei längeren Pulsen zu untersuchen, wurde im Betrieb mit Einzelpulsen die Pulslänge verlängert.

Die erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Mechanismus, der zur Entstehung parasitärer Schwingungen bei niedrigen Frequenzen führt, wurde verstanden und das Auftreten der parasitären Schwingungen wurde erfolgreich unterdrückt.
- Ein hoher Wirkungsgrad bei der Erzeugung der Mikrowellen (HF) wurde in guter Übereinstimmung mit numerischen Rechnungen erreicht. Im einzelnen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

maximale RF-Ausgangsleistung:

$$P_{out} \cong 2.2 \text{ MW} \quad \text{mit} \quad U_c \cong 94.6 \text{ kV}, \quad I_b \cong 84 \text{ A}$$

maximaler Wirkungsgrad  $\eta_{out}$  bei  $P_{out} \cong 1.5$  MW:

$$\eta_{out} \cong 30 \% \quad \text{mit} \quad U_c \cong 90.4 \text{ kV}, \quad I_b \cong 56 \text{ A}$$

$$\eta_{out} \cong 48 \% \quad \text{mit} \quad U_{coll} \cong -34 \text{ kV}, \quad \text{mit Energierückgewinnung}$$

- Ein stabiler Elektronenstrahl wurde bis zu einem Strom von 84 A bei  $U_c \cong 90$  kV mit  $\alpha \cong 1.4$  wurde beobachtet.
- Die Länge des Mikrowellenpulses wurde bis 17 ms verlängert, begrenzt durch das Auftreten einer Penning-Entladung im Bereich der Elektronenkanone. Die Ursache der Begrenzung liegt darin, dass im Bereich der Elektronenkanone Fallen für Elektronen existieren, in denen gefangene Elektronen oszillieren können. Möglichkeiten zum Vermeiden dieses Verhaltens wurden aufgezeigt.
- Bei Nominalparametern sättigt der Strom zum Innenleiter bei einem Wert  $< 30$  mA.
- Die Amplitude der mechanischen Schwingungen des Innenleiters bleibt unter Betriebsbedingungen innerhalb  $\pm 0.03$  mm. Dieser Wert ist völlig ausreichend für einen stabilen CW-Betrieb. Die mechanischen Schwingungen des Innenleiters werden hauptsächlich durch den Fluß des Kühlwassers verursacht.

- Die Verluste am Innenleiter betragen unter Betriebsbedingungen etwa 0.1% der HF-Ausgangsleistung. Dieser Wert ist in guter Übereinstimmung mit Rechnungen. Bei der gegebenen Kühlmöglichkeit des Innenleiters kann diese Verlustleistung leicht abgeführt werden.
- In Messungen wurde festgestellt, dass der Anteil der Mikrowellenleistung, welcher als Streustrahlung im Gehäuse des Gyrotrons gefangen wird, relativ groß ist, nämlich etwa 11% von der HF-Ausgangsleistung. Die Beobachtung, dass die gefangene Mikrowellenleistung annähernd isotrop im Gyrotrongeäuse verteilt ist, erleichtert die Abführung der in den Wänden absorbierten Leistung. Von einer weiteren Optimierung der Mikrowellenspiegel wird eine Reduzierung der Streustrahlung erwartet.
- Durch das Anlegen einer Spannung an den Innenleiter wurde eine schnelle ( $\approx 0.1$  ms) Frequenzverstimmung durchgeführt. Sowohl eine stufenweise Frequenzvariation zwischen der Nominalmode bei 165 GHz und den azimuthalen Nachbarmoden bei 162.75 und 167.2 GHz als auch eine kontinuierliche Frequenzvariation um bis zu 70 MHz innerhalb der Bandbreite der Nominalmode wurde demonstriert.

Die Verwendbarkeit der einzelnen Komponenten des Gyrotrons für einen Einsatz in einem 2 MW, CW Gyrotron wurde geprüft. In Übereinstimmung mit technischen Randbedingungen wurde eine geeignete Resonatormode ausgesucht. Ein geeigneter Kollektor für eine Strahleistung von 2.4 MW wurde vorgeschlagen und in Zusammenarbeit mit TED, Velizy, Frankreich wurde ein technischer Entwurf durchgeführt.

Im vorliegenden Bericht werden die erzielten Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

[Volltext](#)

[Bibliothek](#)