

OUTPUT PROPERTIES OF IOT RF SOURCES

Masaru Sawamura¹

ERL Development Group, Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

Abstract

The JAEA ERL-FEL replaced the all-solid-state amplifiers for the injector rf sources with 500MHz 50kW IOTs. The IOTs are thought to be one choice of the rf power sources for the 1.3GHz energy recovery-linac. IOTs have an advantage of higher efficiency and a disadvantage of lower gain than klystrons. The rf properties of 500MHz and 1.3GHz IOTs were measured. The gains of the both IOTs were over 22dB. The efficiency of the 500MHz IOT was 69% and that of 1.3GHz was 52% for the beam power.

IOT高周波出力特性

1. はじめに

日本原子力研究開発機構 (JAEA) の自由電子レーザー (FEL) 用超伝導加速器の高周波源として全半導体増幅器を用いてきたが、エネルギー回収型 (ERL) への改造に伴い、ビーム電流の増加により FEL 出力を増やすため、高周波源の更新を行った。ERL によりビーム電流が増えても、主加速器部分の高周波源の増強は必要ないが、エネルギー回収を行わない入射部ではビーム電流に比例した高周波出力が必要になる。入射部の新しい高周波源として 500MHz、50kW CW の IOT (Inductive Output Tube) 増幅器に更新し、運転を行っている [1]。

IOT の長所として、

- 1) 効率が低い
- 2) 出力空洞を調整することにより、周波数を変えることができる
- 3) グリッドに印加する高周波電圧で電子ビームをバンチするためクライストロンのようにドリフト空間が不要で、サイズが小さい

欠点として

- 1) 利得が小さいため (20 数 dB)、ドライブ用に大出力の高周波電力が必要になる
- 2) 出力が小さい

などがある。

また IOT は現在計画中の ERL 実証機の 1.3GHz 高周波源の候補の一つと考えており、CPI よりデモ機を借りて出力試験を行った。

2. 500MHz IOT

JAEA ERL-FEL 超伝導加速器の入射部の単セル空洞 2 台の高周波源として 8kW 全半導体アンプを用いて、高周波のマクロパルス幅は 2-3msec、繰り返し 10Hz で運転されてきた。電子ビームのマイクロバンチは 10MHz の繰り返しであったが、これを 20MHz 繰り返しに改良し、電子ビーム電力を増やして FEL 出力を増加させた [2]。この改良に伴い入射部の高周波電力

を増加させることが必要であり、またマクロパルス幅として秒オーダーでの運転も計画されていたため、高周波源を CW 出力が可能な CPI 製 K2H50W 50 kW-IOT に交換した。IOT はクライストロンに比べて効率が低い (60-70%) という特徴をもつが、利得が小さい (~20dB) ため前段増幅器として 400W 半導体アンプを用いている。IOT 出力と利得の関係を図 1 に示す。最大出力で最適になるように高圧電源、出力空洞等を調整してあるため、ほぼ最大出力で最大利得になっている。IOT のバンド幅を図 2 に示す。バンド幅は半値幅で 6.5MHz であった。このバンド幅は IOT と前段の半導体アンプとの合成であり、半導体アンプのバンド幅は 10MHz である。ただし IOT は出力空洞を調整することで 470-860MHz の範囲で周波数を変えることが可能である。

効率は 50kW 出力のときで、ビーム電力に対して 69%、高圧電源の AC200V ラインの実効電力に対しては 66% であった。

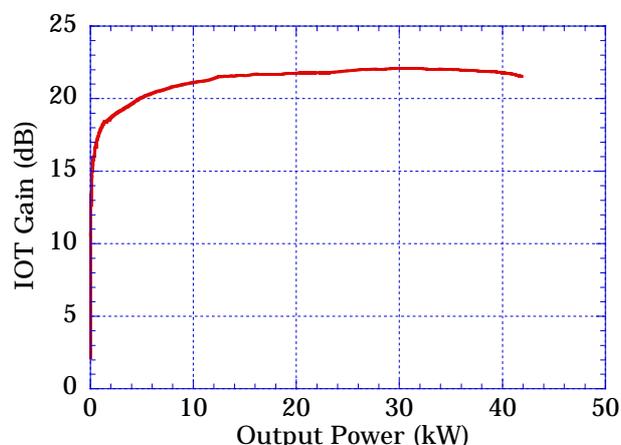


図 1 500MHz-IOT の利得

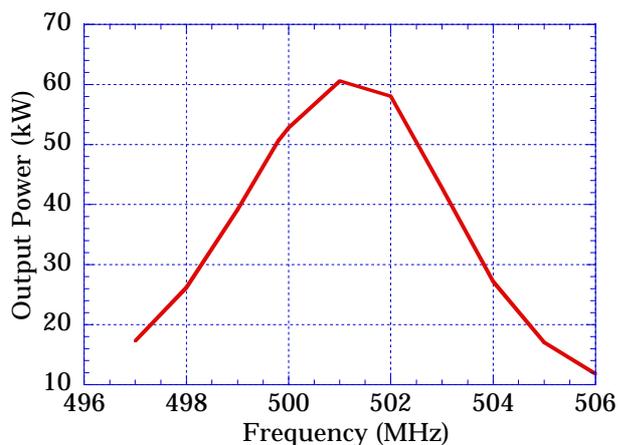


図2 500MHz-10Tのバンド幅

3 . 1.3GHz 10T

3.1 要求性能

ERL実証機用の高周波源として必要な電力は、入射部では主に電子ビーム電力であり、平均電流を100mA、1空洞当たりのエネルギー利得を1MeVとすると、100kWとなる。主加速器部分ではエネルギー回収のためビーム電力にほとんど関係しないが、周回による位相誤差、ビーム損失、加速・減速による位相のスリッページさらに高負荷Q値に伴うマイクロフォニクスによる影響等が必要電力を決めることとなるが、現在のところ9cell 1空洞あたり20kW前後と考えられている。

3.2 500MHz-10Tとの比較

CPI製1.3GHz-10Tの基本性能は出力30kW、利得22.5dB、効率54%である。加速電圧、ヒータ電流、グリッド電圧、集束コイル電流等の運転パラメータは500MHz-10Tとほぼ同じである。

10Tの原理としてグリッドの高周波でバンチされた電子ビームが直後の出力空洞を通過し、高周波電力に変換されるため、管自体の大きさは周波数によってあまり変わらない。出力空洞は周波数に依存した大きさが必要であるが、470-860MHzの範囲で調整できるように500MHz-10Tは出力空洞が管と別の構造になっている。これに対して1.3GHz-10Tは周波数固定であり、出力空洞が管と一体の構造になっているため、全体として500MHz-10Tに比べ小さなサイズとなっている。500MHz-10Tと1.3GHz-10Tの外観を図3に示す。出力は500MHz、1.3GHzとも同軸管になっているが、1.3GHzは導波管に変換されている。

3.3 出力試験

1.3GHz-10Tは500MHz-10Tとほぼ同じ運転パラメータであるため、500MHz-10Tの高圧電源をそのまま用いて高周波試験を行った。

利得は22dB程度であるので、10Tのドライブ用の前段増幅器として200W出力の半導体高周波アンプを用意した。

負荷としてダミーロードを用い、直前に設置した方向性結合器で出力を測定した。出力試験のセットアップを図4に示す。

出力特性として利得、効率、バンド幅の測定を行った。出力に対する利得の変化を図5に、効率の変化を図6に示す。出力30kWで利得、効率が最適になるように調整してあるため、ともに30kWで最大になっている。ビーム電力に対する効率は高圧電源の加速電圧とビーム電流から求めたものである。またAC200Vラインに対する効率は高圧電源に供給しているAC3相200Vの電源ラインの実効電力から求めたものである。AC3相200Vラインからはビーム加速に必要な高圧電源のほかに、10T管を真空に引くためのイオンポンプ電源、カソードを温めるためのヒータ電源、電子ビームを制御するためのグリッド電源の電力が供給されている。

バンド幅を図7に示す。このバンド幅は200Wの前段増幅器と1.3GHz-10Tの合成であり、半値幅で4MHzであった。200W前段増幅器のみのバンド幅は半値幅で70MHzであった。



図3 500MHz-10T(左)、1.3GHz-10T(右)

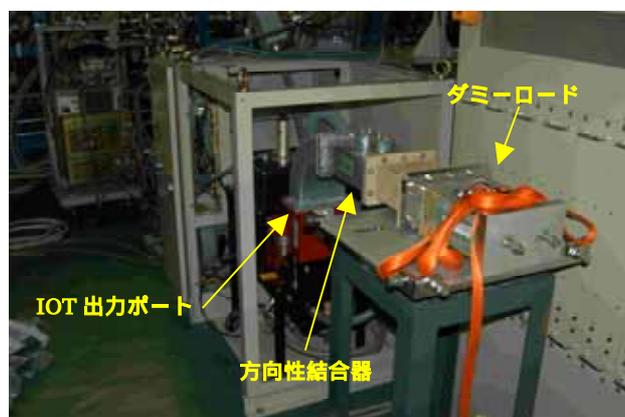


図4 出力試験セットアップ

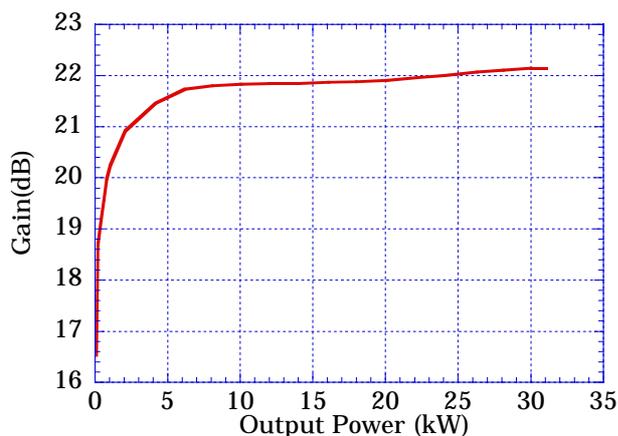


図5 1.3GHz-10Tの利得

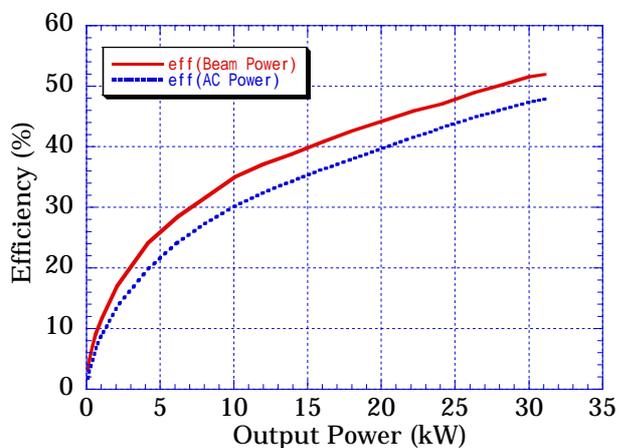


図6 1.3GHz-10Tの効率

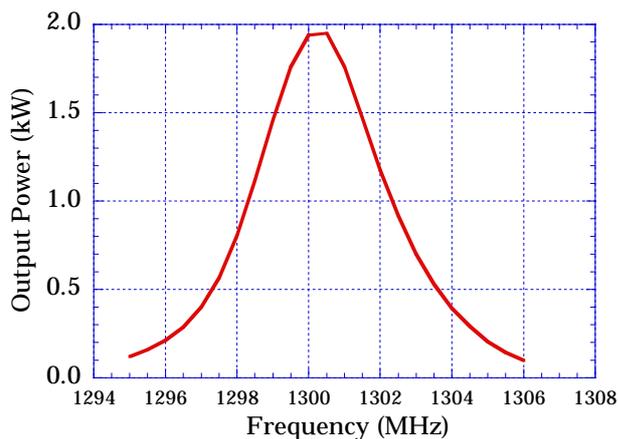


図7 1.3GHz-10Tのバンド幅

5. 謝辞

本研究は、一部、科学研究費補助金基盤研究C (18560049) の援助を受けている。

参考文献

- [1] M.Sawamura and R.Nagai, " Status of RF system for the JAERI energy-recovery linac FEL ", Nucl. Instrum. Methods A557 (2006) 287-289
- [2] R.Nagai, et al., "JAEA ERL-FELにおけるマイクロパルス繰返しの二倍化", in these proceedings.

4. まとめ

500MHz-10Tと1.3GHz-10Tの出力試験を行った。利得に関してはどちらも22dB以上でほぼ同じであるが、効率に関しては500MHz-10Tが69%であるのに対して、1.3GHz-10Tは52%と低くなっている。