

21-P10

DEVELOPMENT OF LONG-PULSE, HIGH-FLATNESS PULSE POWER SUPPLY FOR AN S-BAND KLYSTRON

E. Oshita, Y. Morii, S. Abe and T. Tomimasu

Free Electron Laser Research Institute, Inc.(FELI)

4547-44, Tsuda, Hirakata, Osaka 573-01, Japan

K. Ikeda, I. Ito, Y. Miyai, K. Nakata and M. Hakota

Nissin Electric, Co., Ltd.

47, Umezu-Takase-cho, Ukyo-ku, Kyoto 615, Japan

ABSTRACT

FELI(Free Electron Laser Research Institute, Inc.) is constructing a free electron laser facility covering from $20\ \mu\text{m}$ (infra-red region) to $0.35\ \mu\text{m}$ (ultra-violet region), using an S-band linac.

This linac uses two S-band klystrons capable of supplying long and flat microwave pulse in order to get the high stable and high quality FELs.

In this paper, a long-pulse($24\ \mu\text{s}$), high-flatness(0.08%) klystron pulse power supply developed by FELI and Nissin Electric Co. is described.

Sバンドクライストロン用長パルス高平坦度パルス電源の開発

1. はじめに

自由電子レーザー研究所では、電子リニアックによって波長 $20\ \mu\text{m}$ の中赤外から $0.35\ \mu\text{m}$ の紫外域までの自由電子レーザー(FEL, Free Electron Laser)を発振させ、このFELを利用した技術開発をめざしている¹⁾。

安定で、高品質のFELを得るためには、高周波源のクライストロンを駆動する電源を長パルスかつ高平坦度、高安定度化する必要がある。

そこで今回、表1のパラメータのクライストロンパルス電源の開発を行った。

ここで、モード1は可視紫外域用、モード2は赤外用、モード3はリングFELのための蓄積リング入射用のモードとしている。

表1 クライストロンパルス電源装置のパラメータ

モード	モード1	モード2	モード3
パルス電圧(kV)	285	304	390
パルス電流(A)	280	305	477
有効パルス幅(μs)	24	12.5	0.5
パルス平坦度(%)	0.08	0.08	1.5
パルス安定度(%)	0.08	0.08	1.5
パルス繰返し(pps)	10	10	10
パルス立上り(μs)	2	2	2
パルス立下り(μs)	3	3	3.5

注)パルス立上り、立下りは10%~90%値

2. 全体構成

図1に本電源装置の全体回路図を示す。

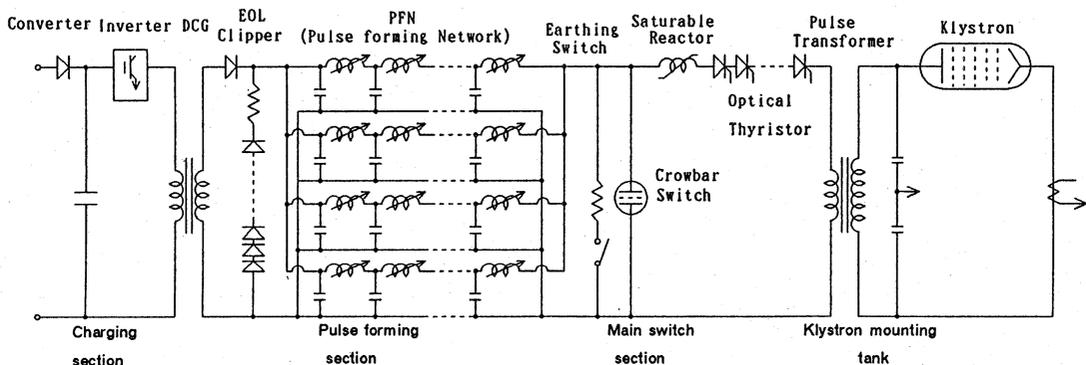


図1 クライストロンパルス電源回路図

本電源装置は、コンバータ、インバータ方式を用いた充電部、4並列のPFN(Pulse Forming Network)回路を用いたパルス発生部、主スイッチに光サイリスタを用いた主スイッチ部、クライストロンに高電圧を供給するためのパルストランスを設置したクライストロンマウントタンクより構成されている。尚、出力電圧は、パルストランス2次側にてC分圧器を用いて測定している。

(1) 充電部

今回の仕様においては、従来用いられてきたIVR～De-Qing回路では、下記の問題が生じるためインバータ、コンバータ方式を採用した。

- ①供給する電源電圧のふらつきにより、PFN充電電圧が約0.2%程度は変動してしまい、安定度の高い出力が得られない。
- ②繰り返しが10ppsと低いいため、共振充電回路の特定数を大きくしなければならず、電源の寸法が大きくなってしまふ。
- ③運転モードが3モードあり、モード2、モード3の場合共振充電後の充電電圧のリークの問題が生じる。

インバータは15kHz 5段直列接続としており、充電電圧の安定度が $\pm 1 \times 10^{-4}$ の高安定度を達成している。

(2) パルス発生部

PFNは4並列で構成され、モード1、2、3でそれぞれ24 μ s、12.5 μ s、0.5 μ sの出力パルスを得ることができる。PFNを4並列とすることで可変リアクトル1個あたりのインダクタンスを大きくすることができ、配線のインダクタンスが出力波形に与える影響を少なくすることができた。

PFN用の可変リアクトルはインダクタンス可変のための中心導体をモータ駆動しているため遠隔制御可能であり、また微調整を可能としている。このため、波形調整を容易に行うことができる。

また今回0.08%の高平坦度を得るため、可変リアクトルの最小微調精度は0.005%、可変幅は45%をタップ切換無しで得ている。

EOL(End of Line)クリッパー回路は、負荷のクライストロンがブレイクダウンを起こした際、PFNコンデンサ等各機器に過大な逆電圧がかかるのを防ぐよう設計し、機器の信頼性の向上を図った。

(3) 主スイッチ部

今回、主スイッチ素子として、高安定化のためサイラトロンではなく光サイリスタ(東芝製SL1500 GX22、30個直列接続)を採用した。一般に高電圧、大電流用のスイッチにはサイラトロンが適しているが、サイラトロンは導通時のON抵抗の変動が大きく($\geq 0.1\%$)、今回の仕様には適さない。

光サイリスタの採用にあたっては、下記の点が課題であった。

- ①di/dt値が素子定格の10倍以上($\sim 3000A/\mu s$)である。
- ②多数個の使用であるため、同時点弧を確立する必要がある。

光サイリスタの採用に先立ち、同一素子のdi/dt耐量試験をメーカーにて行ったところ、約1700A/ μ sにて素子は破壊した。このため、光サイリスタと直列に可飽和リアクトルを挿入し、サイリスタの点弧ばらつきの対策をとるとともにON時の通電面積の確保を行った。これより定格の10倍程度の高di/dtでの運転が可能となった。

また、サイリスタの中でも光サイリスタ(光によりゲートトリガON)を使用したことにより、ゲートドライブ回路との絶縁を容易に行うことができ、逆電圧に対しても強いスイッチとなっている。

3. 試験結果

1) 光サイリスタ特性測定

図2にモード1における光サイリスタの抵抗値の時間変化を示す。図2より、主電流がピークに達した後の光サイリスタの抵抗値は0.6~0.3 Ω /30個であり、1個あたりに換算すると20m Ω ~10m Ω となる。

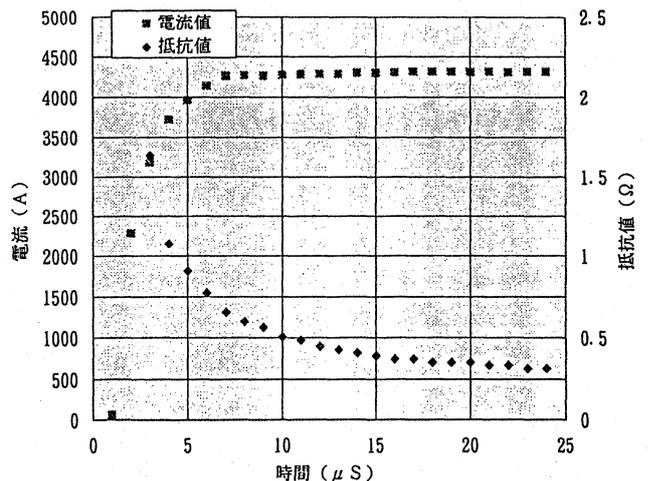


図2 可飽和リアクトル飽和後の光サイリスタ抵抗値

本光サイリスタの完全導通時の電流4kAにおける抵抗値は約0.5mΩであるため、モード1における光サイリスタの導通面積は完全導通時の1/40~1/20程度であることが判明した。

本条件において、現在 4×10^6 ショットの運転を行っているが、光サイリスタに何ら異常は見られていない。

また、図2からわかるように、光サイリスタのON抵抗がマイクロ秒のオーダーで低下していくため、波形調整の際はこのON抵抗の変化を打ち消すよう行った。

2) 出力特性

実負荷試験に先立って模擬抵抗負荷試験を行い、表1の仕様を満足していることを確認した。

表2にクライストロンを負荷としたときのパルス電源装置の出力特性を示し、図3、図4にモード1における出力電圧波形を示す。

表2 クライストロンパルス電源装置出力特性

モード	モード1	モード2	モード3
パルス電圧(kV)	285	304	390
パルス電流(A)	280	305	477
有効パルス幅(μs)	23.2	12.0	0.5
パルス平坦度(%)	0.08	0.08	0.3
パルス安定度(%)	-	-	-
パルス繰返し(pps)	10	10	10
パルス立上り(μs)	2.0	2.5	2.0
パルス立下り(μs)	4.5	6.5	6.4

注) パルス立上り、立下りは10%~90%値

主スイッチには光サイリスタを使用しているが、出力波形は2~3μsで立ち上がっている。これは可飽和リアクトルの効果により光サイリスタがマイクロ秒の立ち上がり十分に耐え得ることを示している。

モード1、2における有効パルス幅の確保およびモード1、2、3の出力電圧の安定度については現在実負荷にて調整、検証中である。

4. まとめ

今回パルス幅24μsかつ平坦度0.08%という世界最高レベルのパルス電源を、主スイッチに光サイリスタを用いるという新しい要素技術を取り入れ開発することに成功した。現在、同じ仕様でよりコンパクトな電源を検討、製作中である。

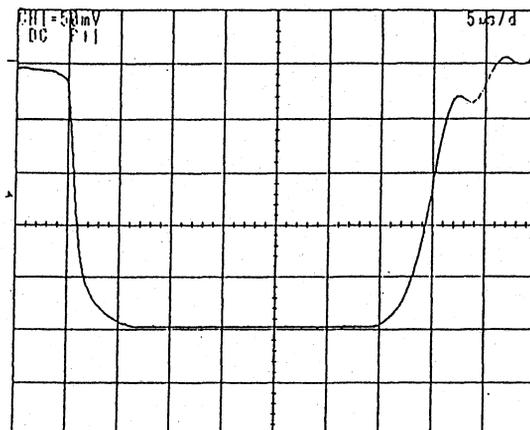


図3 モード1出力電圧波形

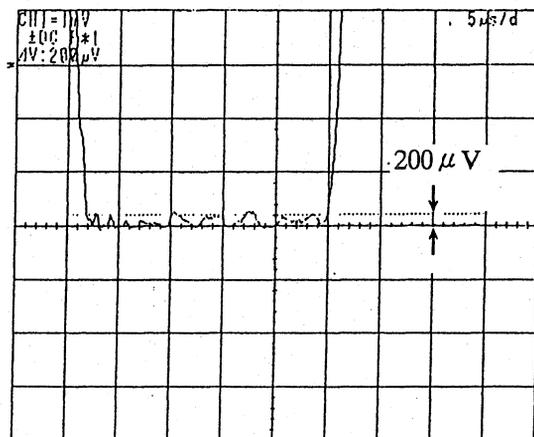


図4 モード1フラットトップ拡大波形

5. 謝辞

本電源の開発にあたり光サイリスタスイッチに関し、(株)東芝の田所雄一氏に多大なるご指導、ご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 富増, 他 “FEL研電子リニアックと赤外~紫外域FEL施設” in this proceedings