

POWER SUPPLY DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED RF SYSTEM FOR THE ILC

Mitsuo Akemoto¹, Hiroyuki Honma, Hiromitsu Nakajima, Tetsuo Shidara, Shigeki Fukuda
 High Energy Accelerator Research Organization(KEK)
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

This paper describes power supply development of Distributed RF System (DRFS) for the International Linear Collider (ILC). The DRFS uses a total of approximately 8,000 modulating anode klystrons, each capable of 750 kW, 1.5 ms rf power at a repetition rate of 5 pps. One unit of the power supply for the DRFS consists of a DC power supply, a heater power supply and an anode modulator, which drives thirteen klystrons. The design for the supply is base on low cost, small size to fit the accelerator tunnel and high availability.

ILC計画における分布型RF源用電源の開発

1. はじめに

ILC(国際リニアコライダー)計画では、コスト削減のため1トンネル案が検討されている。そのRF源として、Klystron Cluster System(KCS)及びDistributed RF System(分布型RFシステム、DRFS)^[1]が提唱されている。本稿ではDRFS用電源の概要及び開発の進捗状況について報告する。

2. DRFSの概要

ILCの基本案Basic Configuration Design では1台のクライストロンから26台の空洞へRFを供給し、全体でRF源は650台(主ライナックは560台)必要となる。DRFSはRF源を地下の加速器トンネル内に設置し、それを細かく分けて空洞に供給するもので、1台のクライストロンで2台の空洞へ供給する。図1にDRFSの1ユニットの構成を示す。そのため、全体では約8,000台の750 kWクライストロンが必要となる。DRFSはKCSよりもシステムの単純さ、制御性や運転のフレキシビリティの点で優れているが、その反面、コンポーネントの数が増大するため、コスト高と運転稼働率の低下が大きな課題となる。

コスト高においては高電力コンポーネントの数が増大するため、単純な大量生産効果では解決できない。削減を強く押し進めるためにクライストロン(以降クライストロンと表記)を採用して電源コストを削減する。これはダイオードタイプのクライストロンと比較すると、電源において長パルスを作るための高価な高電圧、大電流のスイッチング素子が不要になる利点がある。更に、1ユニット13台のクライストロンのDCカソード電源、ヒータ電源及びモジュレーションアノード付のクライストロン(Mアノード変調器)を夫々共通化して1つに集約することで電源の大幅なコスト削減を行う。

運転稼働率の面においては2ユニット当たり1組のDCカソード電源、ヒータ電源及びMアノード変調器のバックアップを設ける。これによって電源の故障による運転への影響を低減する。また、次節で述べる遮断器(高圧リレー)によって、クライストロンを個別に電源システムから切り離すことのできる方式を採用して、どのクライストロンが不良になっても、継続運転が可能で、高い運転稼働率を実現する。

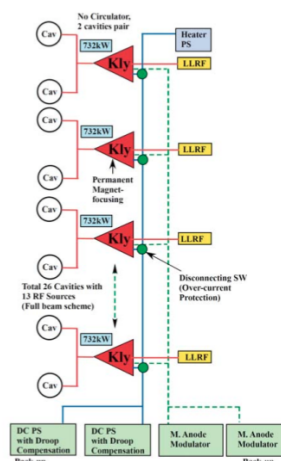


図1: DRFSの1ユニットの構成

3. DRFSの電源システム

3.1 概要

DRFSの電源システムは(1)小型化、(2)低価格化、(3)高稼働率化を柱として設計されなければならない。いろいろな方式が考えられるが、現時点で大きな技術開発を必要としない方式で原案

¹ E-mail: mitsuo.akemoto@kek.jp

を作った。図2にDRFSの1ユニットの回路構成を示す。DRFSの電源は共通となるクローバ回路を含むDCカソード電源、ヒータ電源及びMアノード変調器から構成し、並列接続された13台のクライストロンに電力を供給する。

3.2 回路構成

内径5.2mの狭いトンネル内に電源機器をすべて納めなければならない。商用周波数では高電圧を作る昇圧トランスが大きくなるため、スイッチング電源を採用した。また、コンデンサバンクを小さくするためにバウンサー方式^[2]を採用した。

トンネルに分配されるAC6.6kV、3相系統からVCBを通して受電し、降圧トランスでAC420Vにして、スイッチング電源(50kJ/s x 4台)に入力電力を供給する。スイッチング電源はコンデンサバンクに電圧安定度0.1%で、-68kVに充電する。バウンサー回路はコンデンサバンクの放電による10%の出力電圧サグを1%以下に補償し、コンデンサの容量を1/10にすることができる。この回路はLCの共振回路で構成され、コンデンサバンクと直列接続され、コンデンサの出力波形のサグを打ち消す逆電圧(正弦波の直線部分)を加えて平坦化する。クローバ回路は通常イグナイトロンが使用されるが、小型化と低価格化を狙ってスパークギャップスイッチを考えている。

Mアノード変調器は抵抗分圧とスイッチング素子によりカソード電圧を分圧してパルス化し夫々のクライストロンにアノード電圧を与える。また、本装置にはアノードバイアス用電源、ヒータに電力を供給する絶縁トランスが同じ絶縁オイルタンクに収納される。表1,2にクライストロンと電源の仕様を示す。

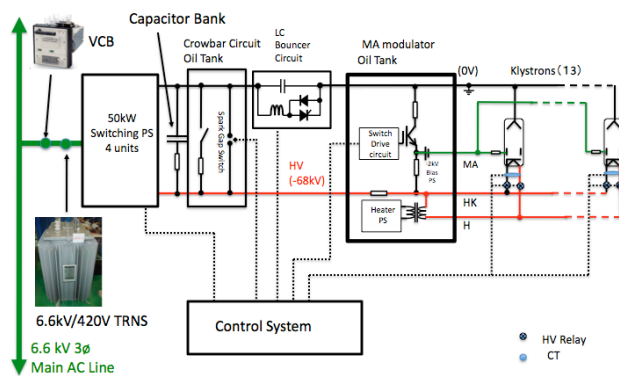


図2 : DRFSの1ユニットの回路構成

3.3 高圧リレーによるクライストロンの分離

各クライストロンにはビーム電流をモニターするCTと高圧リレーが接続されている。どのクライストロンが管内放電等で短絡したかは夫々のCTの電流モニター信号で判別することができ、過電流が発生した場合クライストロンを保護するためにクローバ回路を動作させる。同じクライストロンが何度も過電

流を起こす場合はそのクライストロンを不良とみなし、カソード電源をオフして、それに接続されている通常閉の高圧リレーを開にして、電源システムから分離する。このように個々のクライストロンが運転中に不良になっても、それを切り離して継続運転が可能なシステムになっている。また、クローバ回路と組み合わせて高圧リレーを消弧状態で動作させるので、通常の安い高圧リレーが利用できる。

表1 : クライストロンの仕様

周波数	1.3 GHz
RFパルス幅	1.5 ms
ピーク出力電力	750 kW
ビーム電圧	64.1 kV
ビーム電流	19.5 A
パービアンス	1.2 μ
繰返し	5 pps
効率	60%

表2 : 13台のクライストロンを駆動する電源の仕様

クライストロンの数	13
カソード出力電圧	68 kV
カソード平均電流	2.3 A
出力電力	165 MW
ピークパルス電流	254 A
モジュレーションアノード電圧	53 kV
アノードバイアス電圧	-2 kV
パルス平坦度	< ±0.5%
パルス幅(平坦部)	> 1.5 ms
パルス幅(半値幅)	1.7 ms
ガン放電時クライストロン許容	
注入エネルギー	< 20 J
最大パルス繰返し	5 pps

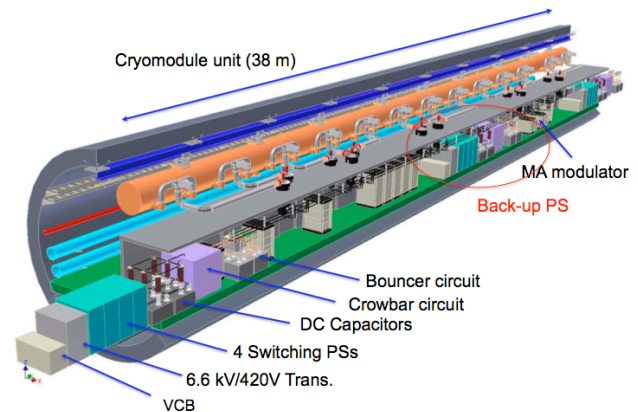


図3 : トンネル内での電源システムの配置

3.4 トンネル内での配置

図3にトンネル内でのコンポーネントの配置を示す。図ではクライオモジュールを天井から吊り下げる構造であるが、それを床に置くことも検討している。放射線防御されたシールド部屋に電源すべての

機器が収納される。また、トンネル内の空調器に大きな負荷とならないように、機器の冷却はできる限り水冷方式が多用される。

4. S1-Global計画での実証試験

4.1 概要

現在、STFで進められているS1-Global計画で、DRFSとしては最少システムとなるクライストロン2台による実証試験を2010年10月から年末の期間に実施する^{[3][4]}。クライストロンは現在製造中で、仕様は表1の通り。開発の第一段階なので、クライストロンの並列運転での基本性能及び機能の確立が中心となる。また、DRFSの重要な要素部品で、また大量に使用されるスパークギャプスイッチ、高圧リレー、CT（非接触型の電流検出器）等を高信頼化及び低価格化するための開発も同時に進める。

4.2 試験用電源

現在、電源は製作中で、図4に電源の回路構成を示す。予算の削減と早期に進めたいことから、予定していたバウンサー回路を省略し、その代わりにDCコンデンサを1台から3台に増やして、サグを約5.6%とした。このサグは出力RFに約46度の位相変化をもたらすが、通常のフィードバックで補償する。直流電源は松定プレジジョン製の6.4kJ/sのスイッチング電源5並列接続で構成し、容量15.6μFのコンデンサを最大-80kVまで充電する。電圧安定度は0.1%である。クローバ回路は小型化と費用を押さえるために、廃品となった100kVサイラトロンスイッチを活用した。また、コンパクトで安価なスイッチとしてSAMTECH社製100kVスパークギャプスイッチの評価試験もこの装置で同時に行い、結果が良好であれば運転に使用する予定である。

Mアノード変調器はJ-Parkライナック用に開発されたものをベースにして製作した。1700V, 42AのIGBT素子を90直列接続したスイッチを使用している。

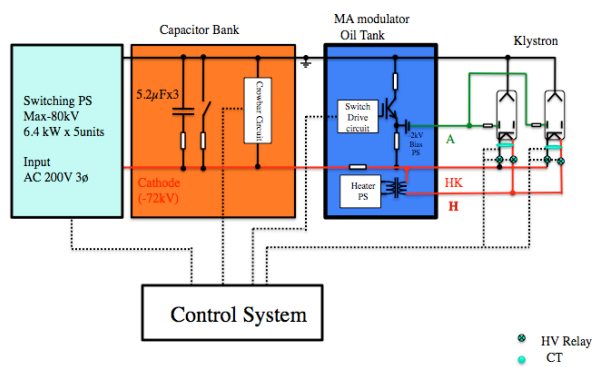


図4：S1-GlobalでのDRFS電源の回路構成

図5に電源の機器の配置を示す。STF棟内の場所が限られているため、地上部に直流電源及びコンデンサバンク、地下トンネルにMアノード変調器と2台のクライストロンが設置される。地上と地下を結

ぶ高圧ラインは約45 mの100kV同軸ケーブルが使用される。

4.3 クライストロンの接続機器

クライストロンはそれぞれ架台に載せられ、その下にはボックスが設置される。クライストロンの高圧部は絶縁油が入った絶縁キャップが装着され、Mアノード電極とカソード・ヒータ電極に繋がる端子がキャップに取り出されている。ボックスは絶縁油で密閉されていて、クライストロンの短絡保護用のシリーズ抵抗、システムから切り離すための高圧リレーが内蔵され、その上にはCTが置かれて、このCTを通して上にあるクライストロンの電極にカソード、ヒータ接続線が接続される。また、このボックスを中継して、カソード・ヒータの高圧ラインは分配される。高圧リレーとしてはガス封入型でGIGAVAC製 G71L(70kV, 10A)を使用する予定。

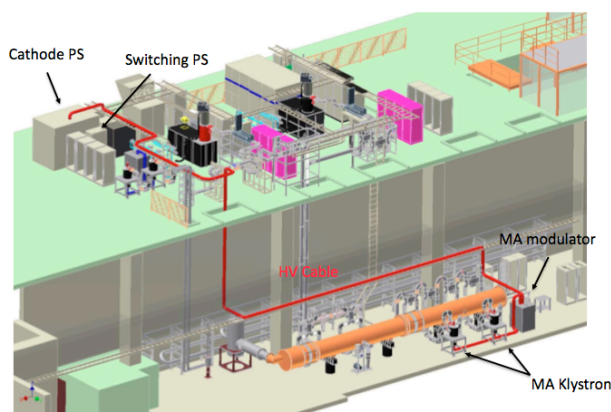


図5：S1-GlobalでのDRFS電源の機器の配置

5. 今後の展開

S1-Global計画ではDRFS電源システムのデモンストレーションを行い、完了後、クライストロン1台と電源システムは2011年の量子ビームの試験に利用される。また、2012年のSTF2計画では、4台のクライストロンを並列運転(実機の1/3モデル)するDRFS電源を新規に製作する予定である。

参考文献

- [1] 福田茂樹, “ILCの新提案-分布型RFシステム(DRFS)”, Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, pp.765-768, (2009).
- [2] 明本光生, 他, “KEK超伝導加速器試験施設(STF)に於ける10MW長パルスモジュレータの開発”, Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, pp.773-775, (2009).
- [3] 松本利広, 他, “KEK超伝導RF試験施設(STF)でのS1GlobalのためのRF源”, 本日本加速器学会年会.
- [4] 竹中たてる, 他, “S1-Gに向けた導波管システム”, 本日本加速器学会年会.