

KEKにおけるILCクライストロン用チョッパ型マルクス電源の改善と大電力試験

中島 啓光^{A)}, 明本 光生^{A)}, 川村 真人^{A)}, 夏井 拓也^{A)}, 徳地 明^{B)}, 澤村 陽^{B)}, 江 偉華^{C)}
 A)高エネルギー加速器研究機構, B)パルスパワー技術研究所, C)長岡技術科学大学

概要

はじめに

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) では、ILCで使用される予定の10MWマルチビームクライストロン用の電源として、長岡技術科学大学及びパルスパワー技術研究所との共同研究でチョッパ型マルクス電源の開発を行ってきている。ILCクライストロン用チョッパ型マルクス電源は、20ユニットで構成されており、現在、KEKにおいてクライストロンを負荷とした大電力試験を行っている。

大電力試験と問題点の改善

Thalesの5MWクライストロンTH2104を負荷にして大電力試験を行い、出力電圧-74kV、出力電流39.6Aで繰り返し5Hzの運転を行った。さらに、その際に明らかとなった充電器のインバータユニット内部の温度上昇、チョッパ型マルクス電源筐体内部の温度上昇、負荷短絡時の浮遊容量に起因する過電流の問題に関して対策を行った。また、PWMのパターンの最適化を行い、出力電圧波形の調整を行った。

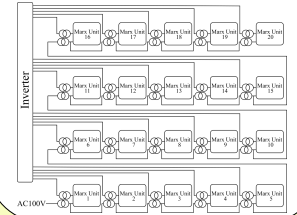
ILCクライストロン用チョッパ型マルクス電源

主な電気仕様

出力電圧	-120kV
出力電流	140A
パルス幅(フラットトップ)	1.65ms
繰り返し	5Hz
パルス平坦度	< ±0.5%
クライストロン充電時許容注入エネルギー	< 20J

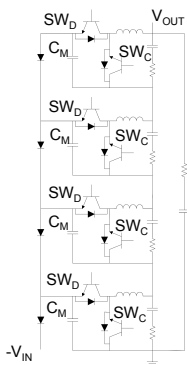
充電用インバータ

AC420Vを受電し整流後、20kHzの高周波を出力する。各ユニットには、絶縁トランスを介して20kHzの高周波が入力され、各ユニット内にある整流回路で整流されて充電される。



チョッパ型マルクス電源

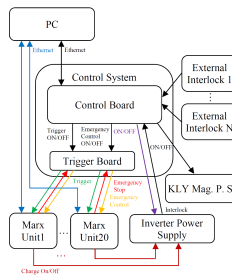
各マルクスセルのコンデンサ C_M は、充電用の SW_C をONすることにより、並列に充電され、放電用の SW_D をONすることでマルクスセルの充電電圧の段数倍の出力電圧が得られる。さらに、放電用の SW_D をPWM制御することで、コンデンサ C_M の充電電圧が低下することによる出力電圧の低下を補正する。各マルクスセルは、最大で-2kVに充電され、-1.6kV、1.65msのフラットなパルス出力電圧を得る。



クライストロン負荷での大電力試験

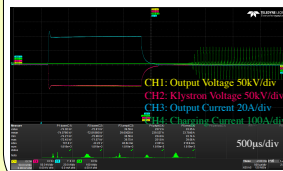
全体制御

クライストロンの保護のためのインターロック入力、外部機器を制御するために必要となる接点出力、PCと接続するためのEthernet等を備える。



大電力試験結果

充電電圧: 1000V、繰り返し: 5Hz、PWM duty: 86% - 97%で出力電圧: -74kV、出力電流: 39.6A



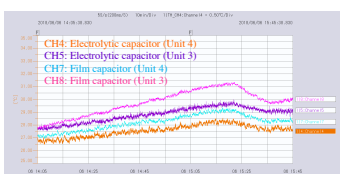
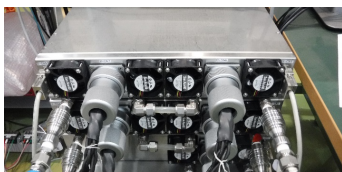
問題点

- インバータユニット内部の温度上昇 (電解コンデンサの温度が約50°C)
- 筐体内部の温度上昇 (一部のマルクスユニットで温度異常)
- 負荷短絡時に高圧側の2ユニットが故障 (充電電圧: 1100V、PWM duty: 100% 一定、繰り返し: 1Hz)

問題点の改善

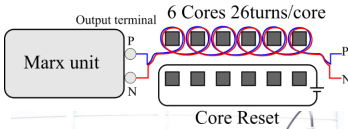
冷却の強化

充電器のインバータユニットの冷却を強化するために背面に冷却ファンを追加し前面パネルにスリットを入れた。充電電圧800V、繰り返し5Hzで30分の連続運転を行った所、電解コンデンサの温度は、約30°Cであった。



短絡保護回路追加

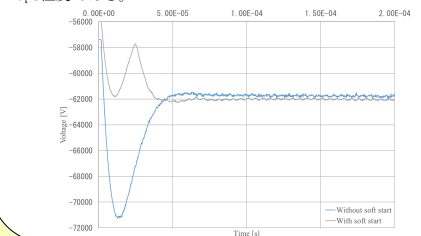
コモンモードのフィルタを高圧側の5ユニットに追加し、出力電圧が約-60kVで負荷短絡試験を行って問題がないことを確認した。



出力電圧波形の補正

ソフトスタート制御

ソフトスタート制御を行うことで立ち上がりのオーバーシュートを抑えられた。また、その時の立ち上がり時間は40µs程度である。



パルス平坦部の補正

パルス平坦部の補正をすることで約0.23% (p-p) のよりフラットな平坦部を得ることができた。

