

21a-7

DEVELOPMENT OF SWITCHING POWER SUPPLY FOR MAGNETS

Y. Suzuki, K. Suda, S. Imai, H. Kudo
 KUDO ELECTRIC CO., LTD
 3-chome Nisitaga Taihaku-ku Sendai-city

ABSTRACT

We developed switching power supply for electro-magnet of accelerator.
 Its output power is 11 kW(i.e. DC110V, 100A).
 And we report the result of examination on stability, efficiency,
 influence of RF noises and others.

電磁石用スイッチング電源の開発

1. はじめに

加速器に使用するマグネット電源は、低電圧、大電流出力の物が多く、従来のSCRやトランジスタドロップ方式では大型、低効率で発熱量が多く、そのためのスペースや冷却水等で付帯する設備上の問題があった。

これに対し、小型、軽量、高効率のスイッチング電源は他の用途では一般化しているが、マグネット用としての大容量、高安定な定電流制御のものは見当らない。

そこで今回110V-100A, 11kWクラスのスイッチング電源を開発し、電流安定度 1×10^{-4} 、効率90%の性能と高周波ノイズの影響等について検討した結果を報告する。

2. 設計方針

一般に普及しているスイッチング電源は容量で5kW未満であり、性能面では定電圧が主で出力可変範囲も狭く、又定電流機能は過負荷保護用のためマグネット用電源には適さない。

加速器用の偏向マグネットや集束マグネット用の電源は、出力容量が数KW以上の物が多く、電流安定度も 1×10^{-4} 以上の性能が必要であることから、次の点に留意して設計を行った。

- 1) 出力容量、基本ユニットを10kWとし、出力容量に応じ並列使用が出来ること。
 - 2) 電流安定度 1×10^{-4} を得るための定電流帰還回路の開発。
 - 3) 効率90%以上を得るためのスイッチング素子の選定と、大電力高周波トランスの巻線方法の工夫。
 - 4) 高周波ノイズ対策 ACライン側への高調波歪の低減と周辺測定器への影響の検討。
 - 5) 保護機能として、過電流や過渡現象による半導体素子の保護、負荷側短絡、内部温度過熱等、信頼性の向上。
 - 6) 形状 標準ラックに収納出来る寸法とし、冷却は強制空冷とする。
- 表1に仕様を示す。

(表1) Spec.

1	input	AC200V $\pm 10\%$ 3 ϕ 50/60Hz
2	output power	11KW
3	output voltage	DC 0~110V
4	output current	DC 0~100A
5	stability	$\pm 1 \times 10^{-4}$ or $\pm 10\text{mA}$
6	ripple	1×10^{-4} rms under $L \geq 0.1\text{H}$
7	temperature coefficient	$\pm 20\text{ppm}/^\circ\text{C}$
8	efficiency	90%
9	power-factor	90%
10	cooling	forced-air cooling
11	ambient temperature	0~40 $^\circ\text{C}$
12	size	W420, H300, D600
13	weight	50Kg

3. 回路構成

大電力用のスイッチング素子としてスイッチング時間が短く、駆動電力も比較的少ないパワーMOS FETを選定、又高周波トランスのコアについてはアモルファス等も実用化されてるが信頼性や入手等の面から、フェライトを用いた。

スイッチング回路方式では大電力用としてブリッチ型が適しているが、トランスの偏磁等の課題があり、原理的に偏磁の影響が少ないフォワード型回路を2組用い、駆動信号をそれぞれ180°位相をずらし、40KHzでスイッチング動作を行っている。

本機のブロック図を、図1に示す。

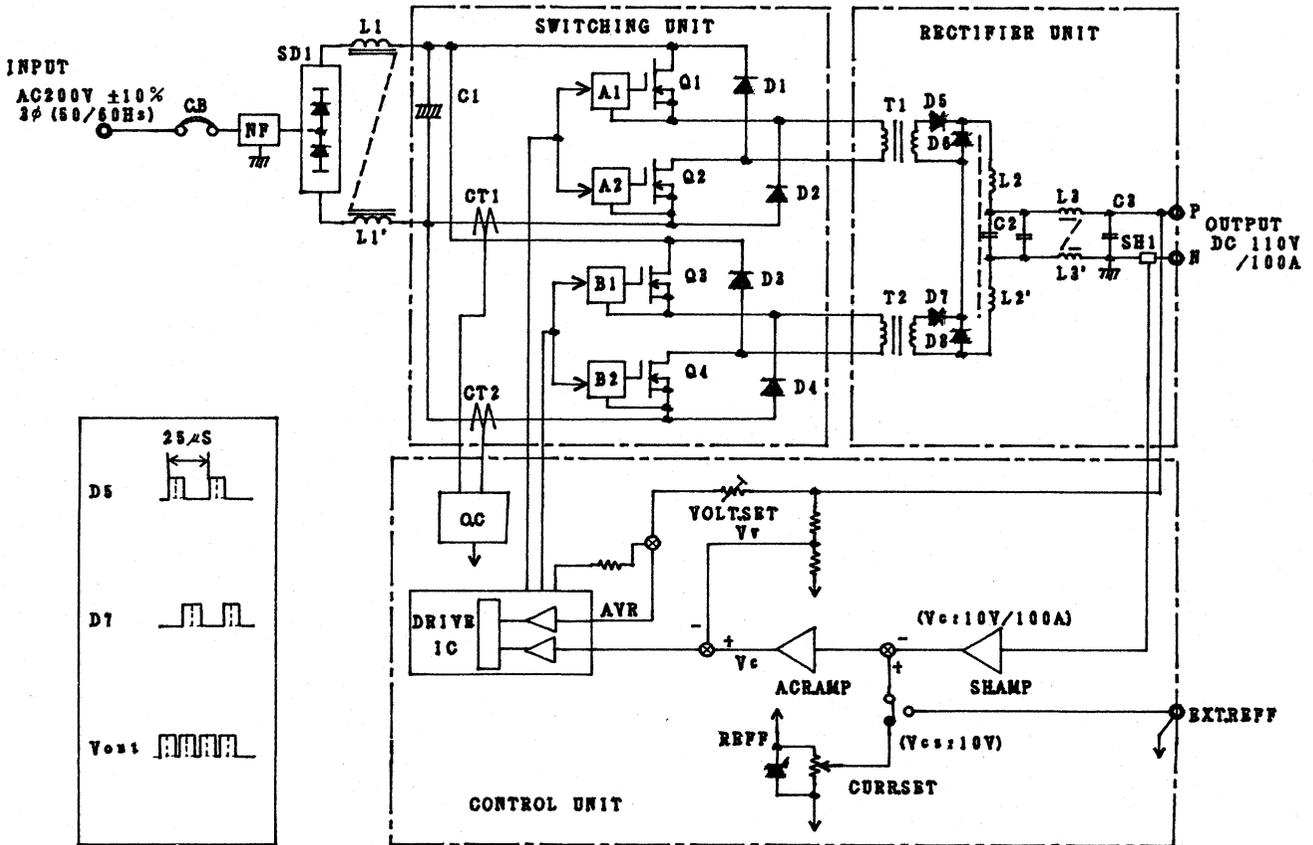


図2整流電圧波形

図1.ブロック図

4. 回路動作説明

整流回路は高調波電流歪を低減させるため、チョークインプット型フィルターで入力の方率改善を図っている。(C1) 電解コンデンサーで平滑された直流電力は、Q1, Q2及びQ3, Q4のパワーMOSFETでパルス巾変調されたスイッチングにより40KHzの高周波電力に変換され、高周波トランス(T1), (T2)により、絶縁、変圧する。(D5)及び(D7)の高速ダイオードは180°の位相差で半波整流後、合成して80KHzの脈流電圧となる。

これをL2, C2の平滑フィルター(カットオフ周波数 2kHz)で平滑し、L3, C3の高周波フィルターにより低雑音化し負荷マグネットに直流電流を出力する。

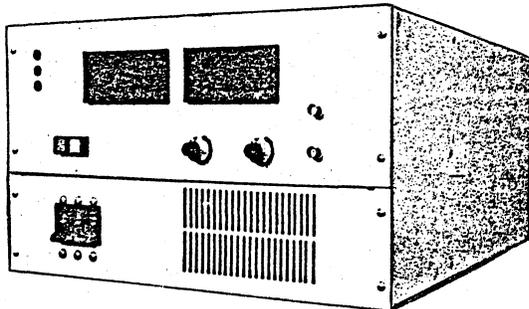
(SH1) 電流シャント10mΩによる電流検出電圧1Vは差動型SH.AMPより10Vに増幅して電流設定基準電圧(Vcs)と同相比較し、(ACR, AMP)電流フィードバックアンプ(ゲイン=1000)で増幅した電流誤差信号(ΔVc)は出力電圧信号(ΔVv)と比較され、(DRIVE IC)コンパレータにより(PWM)パルス幅変調してスイッチング電力制御を行い、出力電流を安定化させる。

5. 試験結果

図3に本機の外觀写真を示す。形状は従来方式の電源に比べ、体積比1/10、重量比1/10となり大幅に小型、軽量化された。

図4に定格出力での電流ドリフトを示す。安定度 $2 \times 10^{-5}/\text{Hr}$ を達成し、電流フィードバック系の設計通りの制御特性が得られた。

図5に入力端子雑音レベルを示す。(a)はノイズフィルター無しのレベルで-5 dBmすなわち315 mVであり、(b)はノイズフィルター付であるが測定器の最低レンジ-40 dB以下であり表示されなかった。



寸法 420^W, 300^H, 600^D 重量60Kg

図3. 外觀

FUC-777	NO.0001	ATT= 0dB
ELECTRIC PROBE 0.1-1000MHz		
0.1-0.5	MHz	-40dB
0.5-3	MHz	-40dB
3-10	MHz	-13dB
10-30	MHz	-06dB
30-88	MHz	-05dB
88-216	MHz	-08dB
216-470	MHz	-17dB
470-1000	MHz	-30dB

(a)ノイズフィルター無し

FUC-777	NO.0002	ATT= 0dB
ELECTRIC PROBE 0.1-1000MHz		
0.1-0.5	MHz	-40dB
0.5-3	MHz	-40dB
3-10	MHz	-16dB
10-30	MHz	-13dB
30-88	MHz	-12dB
88-216	MHz	-17dB
216-470	MHz	-29dB
470-1000	MHz	-39dB

(b)ノイズフィルター付

図5. 入力端子雑音レベル

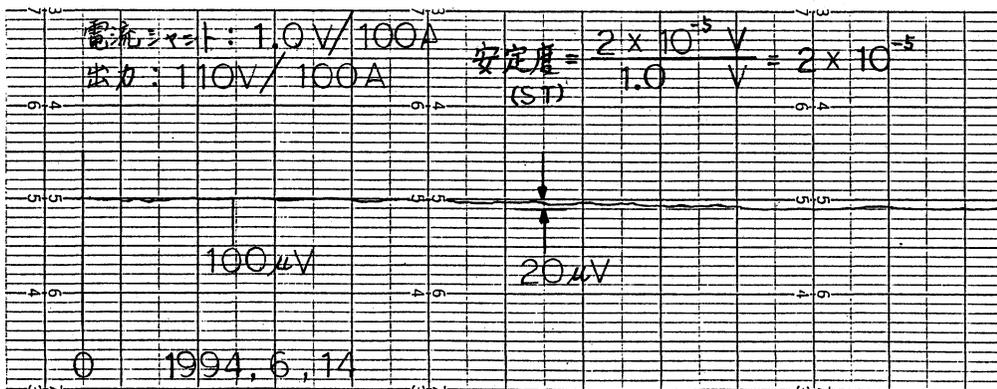


図4. 電流ドリフト

6. まとめ

加速器用マグネット電源のスイッチングレギュレータ化により電流安定度 $2 \times 10^{-5}/\text{Hr}$ 、効率90%で容積、重量が従来品に比べそれぞれ1/10程に小型、軽量化され、冷却も空冷で使える等の初期の目標をほぼ達成することが出来た。

高周波ノイズの測定評価については更に加速器のシステム内に設置した時の測定機器等への影響等の調査を行う予定である。

最後に本開発に当たり、御助言や御指導等を頂いた東北大核理研の関係各位に感謝致します。