

[P7-28]

IMPROVEMENT TO THE DE-Q'ING CIRCUIT FOR THE KEKB INJECTOR LINAC KLYSTRON MODULATOR

H. Honma, M. Akemoto, T. Shidara, S. Anami

High Energy Accelerator Research Organization(KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

Abstract

We carried out tests and simulation on the de-Q'ing circuit in order to improve the stability of the output pulse voltage from the klystron modulator. We obtained almost two-times the stability by adding a phase lead compensation circuit between the de-Q'ing trigger circuit and the voltage monitoring probe for the PFN charging voltage. From the simulation, it was found that further improvement of the stability is difficult to be realized only by a method of this phase lead compensation circuit, since the time delay of our de-Q'ing circuit is varied by an input dc voltage.

ディキューイング回路の改善

1. はじめに

KEKB 入射器大電力クライストロン用パルス電源では、出力安定化のためディキューイング回路を用いている。KEKB リングの立ち上げ調整が昨年の10月から行われ、ビーム調整を効率的に行う必要性からライナックのビーム安定化が強く要求された。この中にはパルス毎のビームエネルギーの安定度向上も含まれている。

パルス電源の出力電圧安定度は KEKB 用への増強後も 0.2%以内になっているが、これを機にディキューイングトリガー回路に簡単な回路を追加し安定度向上を図るための実験をした。

2. ディキューイング回路の構成・原理

図1にパルス電源の回路図を示す。ディキューイング回路は充電チョークトランス、ホールドオフダイオード、サイリスター、電力抵抗、PFN 充電電圧検出用高圧プローブ、トリガー回路から構成される。

図2にパルス電源各部の電圧・電流波形を模式的示す。PFN 充電電圧が基準電圧に達し、コンパレータからのトリガー信号がサイリスターを点弧させると、2次側回路が閉じホールドオフダイオードアノード側電位(一点鎖線で示す)がカソード側(即ち PFN 充電電圧)より低くなり、1次側電流(I_c)による PFN への充電は停止される。ここで充電電圧を高安定なものとするためには、信号検出からダイオードがオフになるまでの時間遅れが問題になる。考えられる主な遅れの要因には (1) PFN 充電電圧検出用高圧プローブからコンパレータを経由しサイリス

ターに至る信号の時間遅れ、(2)サイリスター動作での遅れ、(3)充電チョークトランスの漏れインダクタンスによる動作の遅れがある。

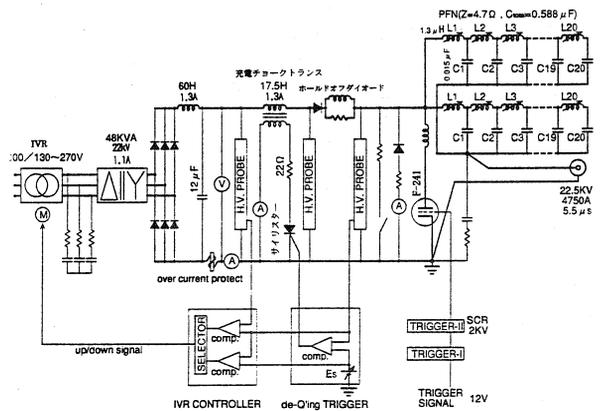


図1 パルス電源回路図

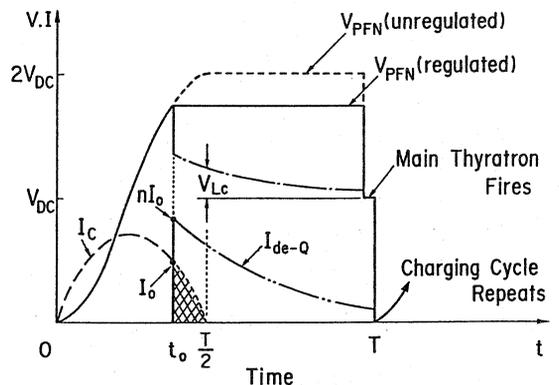
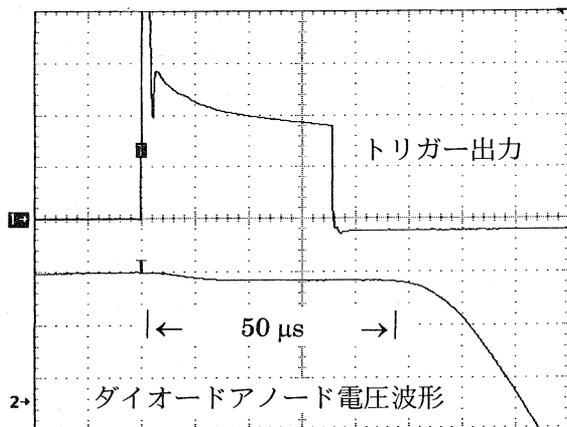


図2 パルス電源電圧・電流波形模式図

図3はトリガー出力とホールドオフダイオードのアノ

ード電圧波形を示す。この図からトリガー信号が立ち上がってから、アノード側電圧が急激に降下するまでの時間遅れは約 $50\mu\text{s}$ であることがわかる。前述した充電電圧の変動は、この遅れ時間を見込んで早めた信号をディキューイングトリガー回路のコンパレータに入力すれば、原理的には変動を 0 近くに出来るはずである[1]。パルス電源の共振充電の周期 (T) は 20 ms であるので、 $50\mu\text{s}$ の進めは充電電圧の位相 (50Hz) の位相を約 1° 進めることに相当する。位相の進めは一般的な位相進め補償回路 (以下補償回路) で実現できる。



横軸： $10\mu\text{s}/\text{div}$

図3 ディキューイング回路動作の遅れ

3.2 充電電圧安定度

図5の菱形のプロットは現在の電源における直流電圧の変動と PFN 充電電圧の変動の関係を示すものである。実験では、直流電圧を基準電圧から 3%高い値 (制御値) に自動制御する回路 (IVR コントローラ) を手動で操作することにより直流電圧変動を与え、充電電圧の変動を測定した。この図から PFN 充電電圧の変動は直流電圧変動の約 27 分の 1 となっていることがわかる。又、この割合は直流電圧の広い範囲にわたり一定である。図中、正方形のプロットは図3での遅れ時間の測定値から割り出した充電チョークトランスの漏れインダクタンス値 (3%)を用い、スパイスのシミュレーションにより求めた計算結果である。計算と実験の結果がほぼ一致していることから、現電源の充電電圧変動を誘き起こす要因の中では、チョークトランスの漏れインダクタンスによる動作の遅れが支配的であることがわかる。このインダクタンスを小さくすれば変動も小さくなると考えられるが、これ以上小さくすることはトランスが大きくなり過ぎるので現電源での実現は困難である。

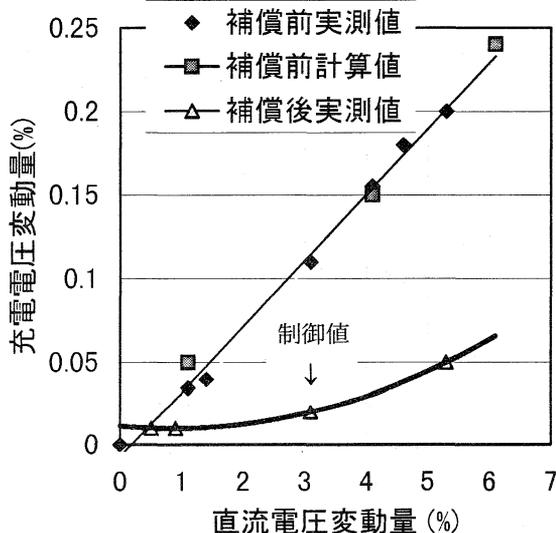


図5 直流電圧変動と PFN 充電電圧変動との関係

3. ディキューイング回路の動作実験

3.1 補償回路

図4は補償回路とその振幅、位相特性を示すボーデ図である。ボーデ図は回路シミュレーションコードプログラム「スパイス」の AC 解析により求めた。この図から本回路は位相が 50Hz で 1° 進み、ゲインは 94% となっていることがわかる。従って、正弦波に対しては出力部に増幅度 1.064 のアンプを使えば、レベルがそのまま位相だけが進んだ波形が得られる。実験では余裕をみて 4° まで位相を変えられる回路を作った。

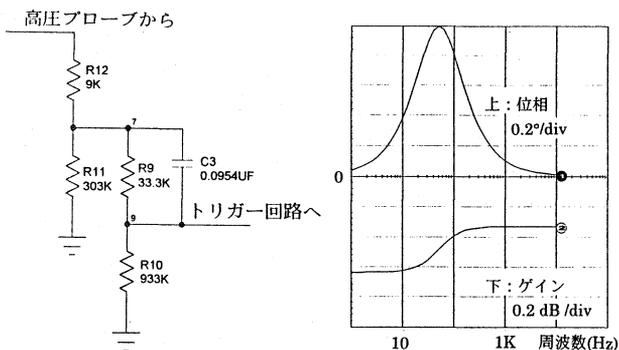


図4 補償回路とボーデ図

同図中の三角形のプロットは、補償回路を高圧プローブとトリガー回路間に入れて同様な測定をしたものである。但し、この実験は、位相を進ませる量を補償回路を入れる前に比べて、トリガーが早く出力され、PFN 充電電圧のレベルも低くなることははっきり確認出来るように、かなり多め (3.5°) に設定したまま結果を出したもので、その後加速器運転の都合で目標値での実験ができ

ていない。それでもこの図から、補償回路を入れる前には 27 分の 1 だった充電電圧変動と直流電圧変動の比（以下変動比）は直流電圧の 3% までの変動では 200 分の 1、3% 以上では 100 分の 1 となっていることがわかり非常に高安定なものになっている。

図 6 は AC 200V のライン変動（上）と、PFN 充電電圧の変動（下）を記録計に書かせたものである。縦軸の 1div はライン電圧が 0.5%、PFN 充電電圧が 0.07% で、横軸は 1 div が 2 分である。入射器の電源ラインではこの測定の約 40 分でのライン変動は 2.5% であるが、もう少し長い時間で測定すると 7% 程になることもある。測定開始後 20 分に補償回路を動作させた。補償前後の変動比はノイズの影響のためか両者共、18 分の 1, 33 分の 1 と図 5 での値より大きくなってはいるが、この測定でも補償回路の効果が確認できる。

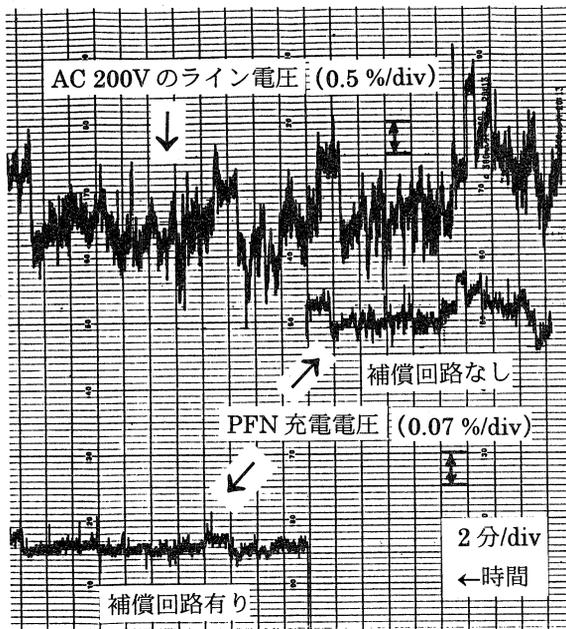


図 6 自然な運転状態での変動

図 7 は位相の進みをパラメータ(1°, 2°)として 2 つの電圧の変動量の関係をシミュレーションした結果である。図 5 での補償後の実測値（太線）も同時に示している。この図から位相の進みを 2° 付近に調整し直せば、IVR コントローラーの制御値での安定な出力が期待できるので急いで確認したいと思っている。

図 8 は図 3 で示す時間遅れが、直流電圧変動にどう依存するかをシミュレーションで調べたものである。この図から変動が大きい程、充電が停止されるまでの時間も長くなるのがわかる。従って変動量に依らず一定値しか補償しない今回の補償回路では、充電電圧の変動を完全に零にすることはできないと考えられる。

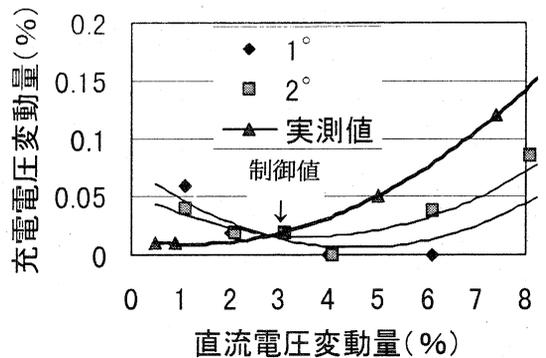


図 7 補償後の直流電圧変動と PFN 充電電圧変動との関係（位相進みをパラメータとして計算）

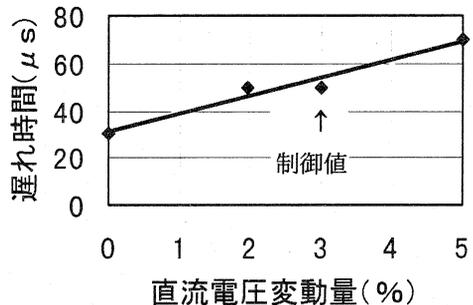


図 8 ディキューイング回路動作遅れの直流電圧変動量依存性

4. まとめ

今回の実験およびシミュレーションで次のことがわかった。

- (1) 直流電圧変動の約 27 分の 1 だった PFN 充電電圧変動が、補償回路を用いることにより、その半分以下になった。
- (2) PFN 充電電圧変動の 3 つの要因の中で充電チョークトランスの漏れインダクタンスによる動作の遅れが支配的である。
- (3) PFN 充電電圧変動を補償回路により完全に零にできない理由は、シミュレーションの結果から、ディキューイング回路の動作遅れが直流電圧変動量に依存するためと考えられる。

参考文献

- [1] The Stanford Two-Mile Accelerator, ed. R.B.Neal, Benjamin, New York, p433(1968)