

# 大強度陽子加速器リニアック用 DTQ 電源の高調波抑制

堀利彦<sup>1,A)</sup>、伊藤崇<sup>A)</sup>、千代悦司<sup>A)</sup>、泉敬介<sup>A)</sup>、山崎正義<sup>A)</sup>、  
渡辺和彦<sup>A)</sup>、高崎栄一<sup>B)</sup>、長谷川和男<sup>A)</sup>、吉川博<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> 日本原子力研究所 大強度陽子加速器施設開発センター  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

<sup>B)</sup> 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

## 概要

大強度陽子加速器リニアック用の DTQ 電源を実機で円滑に運用するためには、入力 AC ラインに流出する高調波電流を技術指針上限値以下に抑制することが必須である。そこで、電源回路定数の解析を行なった結果、電源単体での抑制策では第 5,7 次高調波成分を上限値以下には抑制できないことが判明したため、多相化給電トランスを含む電気設備システムの再検討を行なった。結果、2 台の給電トランスの運用時電力容量をバランスさせる送電システムを構築することにより効率的、安価に第 5,7 次高調波電流を抑制できる検討結果が得られた。

## 1. はじめに

大強度陽子加速器リニアックの 324MHz アルバ型加速空洞(DTL)のドリフトチューブ(DT)用収束電磁石には最大出力電流：1000A、最小パルス幅：2ms の定電流パルス電源が使用される。この電源は既に全数製作され所定の出力性能を確保しているが、この電源を実機で円滑に運用するためには、入力 AC ラインに流出する高調波電流を技術指針上限値以下に抑制することが必須である。今回、この電源から発生する高調波電流の測定並びに、高調波抑制のための検討と解析を行ない、第 5,7 次高調波成分に関しては多相化トランス方式と電力バランスを考慮した電力送電方式を採用することで目標値以下に高調波電流を抑制することが可能な検討結果を得た。本稿ではこれらの検討時に得られた解析結果と系統構成などの報告を行なう。

## 2. DTQ 電磁石用パルス電源

DTL タクは 3 台設置されるが、ドリフトチューブ用 Q 磁石(DTQ)は DTL1 に 77 台、DTL2 に 44 台、DTL3 に 28 台、全数：149 台で構成される。設計当初は DTQ と電源との構成比は全て 1:1 であったが、建屋スペースやコストの関係でビルドアップ時には 94 台で運用する予定である。なを将来の拡張性を考慮し、DTQ 電源室の電気容量や分電盤仕様は電源が 124 台使用された場合でも運用できるように設計した。次に、94 台の電源と DTQ 負荷との構成比の内訳は 1:1 が 39 台、1:2 が 55 台であるが、DTQ 磁石が異なった 6 タイプの断面

形状を有するため、各々の負荷インダクタンス値は異なっている。図 1 に電源の負荷インダクタンス値別の出力電流値（実機での設計値）を示すが、負荷インダクタンス値は 1:1 構成時が 30~48  $\mu\text{H}$ 、1:2 構成時が 48 ~ 105  $\mu\text{H}$  となっており、これに加えて出力電流値も 530 ~ 850 A まで離散的に分布している。これらの異なった仕様に対応できるように電源は 2 機種準備され、1:1 構成時のものが A タイプ (IDX 製)、1:2 構成時のものが B タイプ (NICHICON 製) である。次に、代表的な出力電流、電圧波形として B タイプ 電源を電流：760A、負荷インダクタンス値：54  $\mu\text{H}$ 、パルス繰り返し：50pps で動作した時に

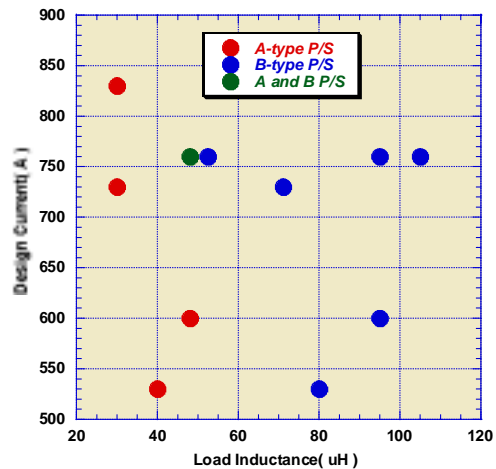


図 1 . DTQ 電源の負荷インダクタンス別設計電流値

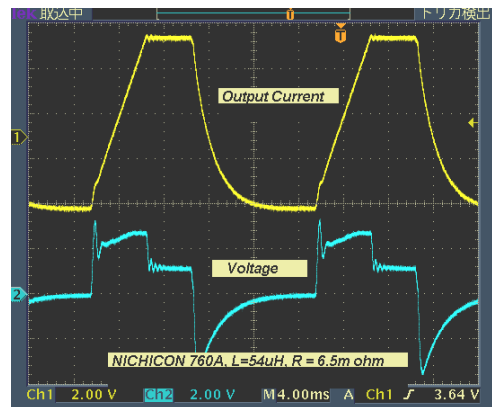


図 2 . 代表的な DTQ 電源の出力電流、電圧波形

得られた波形を図2示す。1°以上立ち上がり時間は5~8msまで1msステップ毎に変化できること、並びにフラットトップの安定度、再現性及びリップルが0.1%以下の時間領域が2ms以上などの出力性能を有している。

### 3. 高調波電流と高調波抑制対策技術指針

図3に代表的なAC440Vライン電流、電圧波形としてBタイプ電源を1000A出力で動作した時に得られたU相波形を示す。なを、測定器には3相結線の各相電圧、電流と高調波測定が同時に可能な「Power Quality Analyzer」を使用した。図3の電流波形を次数別高調波電流値と技術指針の上限値とで比較したものを図4に示す。技術指針とは高調波対策基準の一つで「契約電力1kW当りの高調波流出電流上限値」を示しているが、今回の440V系ラインに対しては直接制約する値の明記はないため、上限値は契約電力を電源の皮相電力：9kVAと読み替え、6.6kVラインの次数別高調波流出電流上限値から換算して求めた。この図から5次高調波で1/7、7次高調波以上の次数別高調波で1/5程度まで現状の流出電流を抑制しなければならない。

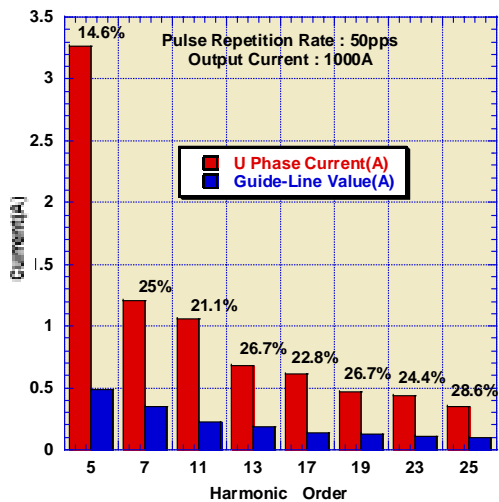


図4. 代表的な高調波電流値と技術指針上限値

## 4. 高調波抑制対策

### 4.1 電源単体での抑制

電源の高調波成分は電源入力インダクタンスに大きく依存し、これを抑制するためには入力インダクタンスを十分に大きくする必要がある。図5に解析に使用した電源の等価回路を示すが、入力インダクタンスは次式で求められる。

$$Z_{input} = R_e + j I_m$$

ただし、

$$R_e = r + R / (CR)^2$$

$$I_m = L - 1 / C$$

$$r = R_1 + R_2 + R_3$$

$$L = L_4, \quad C = C_1$$

上式のZ inputを大きくするためには、負荷インダクタンスと直列となるrもしくはRを大きくするか、Cを小さくする2通りしかない。ここで、Cを小さくすることは現実的では無いため、電源外部に追加でき電力損失にもならないLを大きくする方式が最良である。そこで、ACラインに直列リアクタンス(ラインチョーク)を挿入し、この数値を変化し次数別の高調波抑制効果を解析したが、第5,7次高調波に対してはほとんど効果が無く、それ以上の次数の高調波についてのみ効果のあることが判明した。

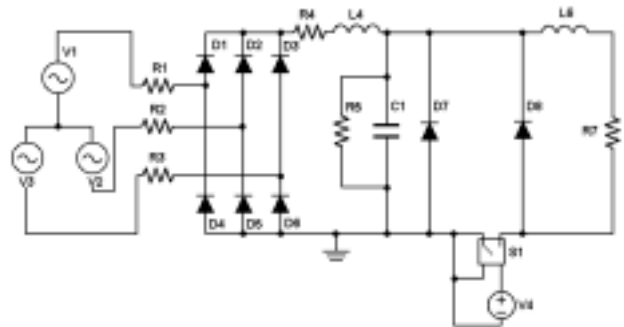


図5. 解析に使用した電源等価回路

### 4.2 多相化給電トランスでの抑制

以上の考察より、第5,7次高調波電流に関しては電源単体での抑制は困難なため、送電システムを含む電力系統の見直しを行なったところ、電源電力供給側の6600/440Vトランスの多相化に着目した。この方式は60度の位相差をもつ3相給電トランスをDTQ電源の上流側に設置し、440Vラインで発生している高調波を6600V側で合成し、第5,7次成分を打ち消すものである。ただし、第5,7次高調波成分を理想的にキャンセルするためには、2台の給電トランスの電力容量(総数のDTQ電源が運用値で稼働されている時の)を可能な限り等しくするような送電システムを構築することが非常に重要であり今回、これらを考慮した分電盤台数や個別分電盤の電気容量などを含む電気設備送電システムの検討を行なった。

## 5. 実機DTQ電源室の送電系統構成

図6に検討を行なった結果得られたDTQ電源室と設備送電システムを含む電力系統図を示す。DTQ電源室には加速器トランスのDTL空洞1,2,3が逆進行方向(図中の左から右へ)に順次設置されるに対応して、1分電盤当たり基本台数：24台の電源を6グループ化し配置する。先述したが、分電盤台数や分電盤容量はDTQ電源を124台使用する場合に最適化したものであるため、当初の94台使用時には#2分電盤を異なった多相化トランスから供給することで2台の運用時トランス容量バランスを向上した。図6系統構成での2台の多相ト

の電力容量のアンバランス比は 1.4%、U,V,W 各相のアンバランス比は 2.3%、5%、2.8%と求められ、この程度のアンバランス比であれば第 5,7 次高調波成分を技術指針上限値以下に抑制することが可能であるとの結果が得られた。

## 6 . まとめと今後

実機で採用される 2 機種種の DTQ 電源の入力 AC ラインに流出する高調波電流を測定したところ、高調波抑制対策技術指針の上限値を大幅に上回る高調波電流が観測された。これを安価で効率良く抑制するために、第 5、7 次高調波成分を 6600V ラインでキャンセルする多

相化トランス方式と 2 台の多相化トランスの運用時電力量をほぼ等しくするシステムを構成することで、技術指針上限値を満足する結果を得た。しかし、第 11、13 次の高調波成分に関してはラインフィルタなどを挿入する新たな抑制策を講じなければならず、今後も継続して検討を行う予定である。

## 参考文献

K. Yoshino et al., ' The 324MHz-DTL Focusing Magnets for the KEK/JAERI Joint Project ', Proceedings of The 25th Linear Accelerator Meeting in Japan( 2000 ), pp273-275

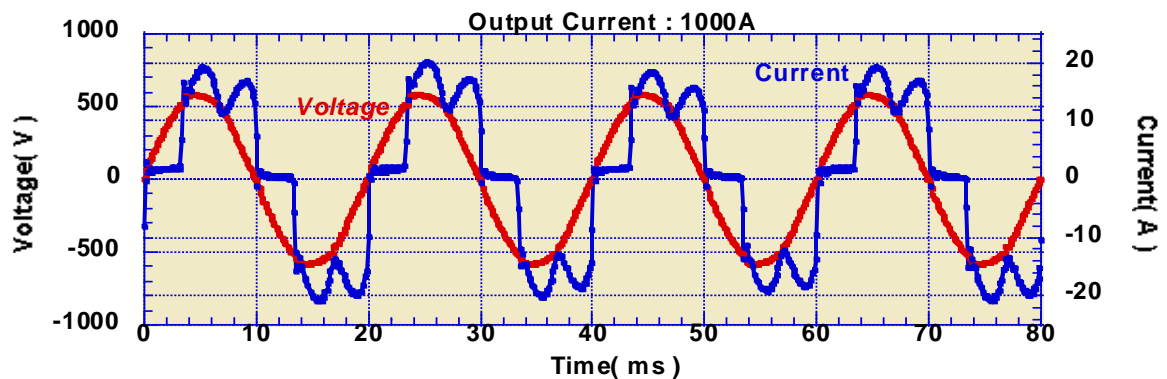


図 3 . 代表的な AC440V ライン電圧、電流波形 ( B タイプ電源、パルス繰返し : 50pps )

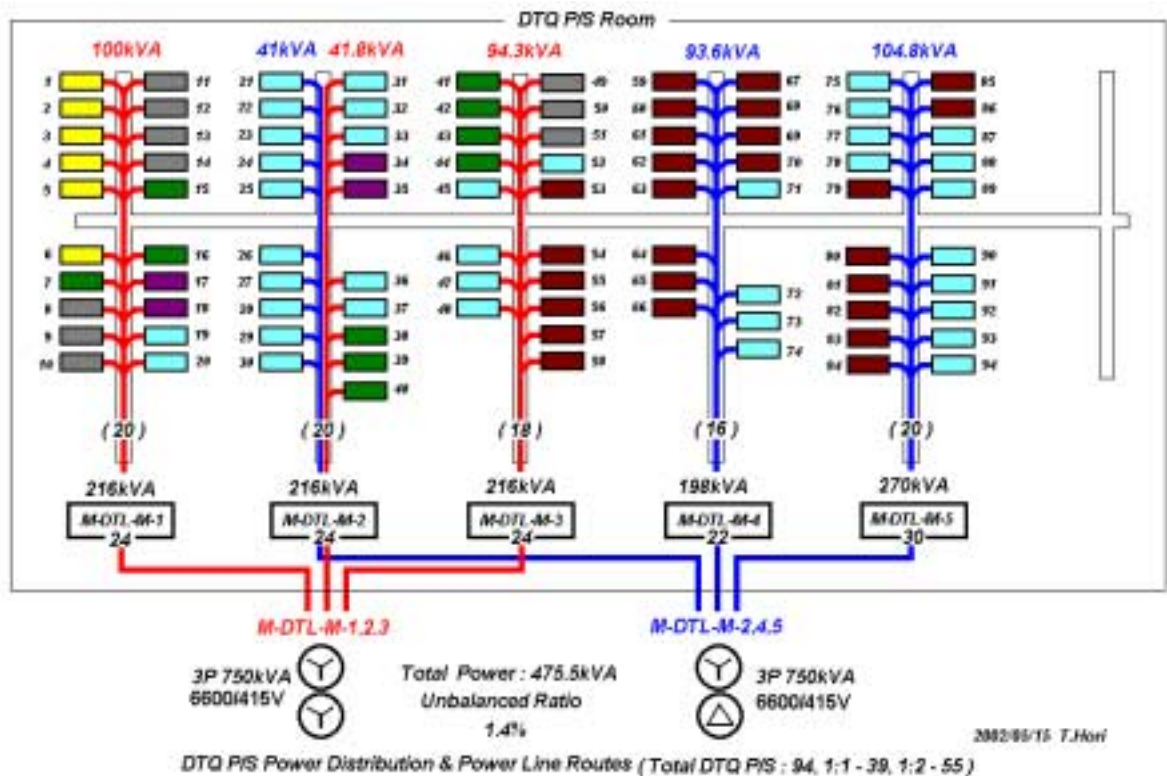


図 6 . DTQ 電源室を含む多相化トランス方式での電気設備給電系統図