

令和元年6月7日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04746

研究課題名(和文)キッカー電磁石励磁に伴う粒子検出器へのサージノイズの完全除去

研究課題名(英文) Complete elimination of kicker noise to the nearby particle detector which is produced by the ignition of kicker magnet.

研究代表者

入江 吉郎 (Irie, Yoshiro)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・その他部局等・名誉教授

研究者番号：00124173

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：当初、可飽和インダクタを用いてキッカー電磁石励磁に伴う突入電流を阻止することを目指したが、インダクタ素材に関するメーカー資料による特性が大電流磁場(1.6テスラ)下では実現されず、突入電流の阻止は達成出来なかった。これに代わり空芯インダクタとキャパシタによるパイ型ローパスフィルタを用いることで突入電流の電源外部への流出はかなり抑止できた。しかしノイズの完全除去には至らなかった。一方、キッカー電源システムに発生するコモンモード電流と粒子検出器ノイズに相関があることを実験的に見出した。現在、コモンモード電流の低減が粒子検出器ノイズの除去に重要であろうと考えている

研究成果の学術的意義や社会的意義

連続するパルスビームの中から一個を蹴出して行う素粒子実験では高速の上り時間を持つ大電流キッカーパルス電源が使用される。小規模実験施設ではこのパルス電源は粒子検出器から近距離に置かれるため、観測すべき粒子はパルス電源の励磁に同期して検出器に入射するが、同時にパルス電源由来のノイズも粒子信号に重畳する。このノイズの除去は素粒子実験にとって喫緊の課題である。パルス電源が発生するサージ電流を抑止する立場からこの課題に取り組んだが改善には至らなかった。しかし、大電流パルス電源に発生するコモンモード電流とノイズに相関があることを実験的に検証した。この観点からの研究が今後重要になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Although we first aimed to block the surge current produced at the kicker magnet ignition by using a saturable inductor, it was not successful because the saturation characteristic of ferrite inductor material in the manufacturer's data sheet was not realized under the high magnetic field condition (1.6T). We then switched to the pi-type low pass filter which comprises an air-core inductor and capacitors. Consequently, it was almost successful to suppress the surge current flowing out of the kicker power supply. However, complete elimination of the kicker noise to a nearby particle detector could not be achieved. In the meantime, we have confirmed experimentally that there is a correlation between the detector noise and the common-mode current of the kicker power supply system. Then, we think it would be very important to suppress the common-mode current in order to eliminate the detector noise.

研究分野：加速器科学

キーワード：粒子検出器へのノイズ キッカーパルス電源 サージ電流の抑止 可飽和インダクタ ローパスフィルタ コモンモード電流との相関

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 連続する複数のパルスビームの中から一個を蹴出し、これを実験室へ導いて行う素粒子実験では高速の立上り時間を持つ大電流キッカーパルス電源が使用される。本研究の発端となった J-PARC ミュオン実験室ではこのパルス電源は粒子検出器から近距離に設置されている。このため、観測すべき粒子はキッカー電源の励磁に同期して検出器に入射するが、同時に電源由来のノイズも粒子信号に重畳する。このノイズの大きさは粒子信号と比較して無視できない大きさであった。

### 2. 研究の目的

(1) 本来の粒子信号に対して無視できない大きさのノイズが重畳する場合、得られるデータの信頼性を損なうことになる。ゆえに、このノイズを除去する方法について研究する。

### 3. 研究の方法

(1) ノイズ信号の周波数成分が 8 メガヘルツ付近にあることから、キッカー電源の励磁に伴うサージ電流がノイズ発生の原因であると考えた。即ち、サージ電流がパルス電源筐体より出力伝送同軸線を通して負荷電磁石方向へ伝搬し、これが負荷端で反射することを繰り返す頻度(多重反射の周波数)は 8.3 メガヘルツである。この多重反射の際、配線経路のいたるところに存在する浮遊容量を介して環境へ流出したサージ電流がノイズの原因になり得る。

(2) サージ電流抑止のために最初に考えたのが可飽和インダクタの使用である。これは、パルス立上り部のサージ電流成分に対して大きなインダクタンスとして作用し、それに続く電流成分に対しては十分低いインピーダンスとして作用する。このような特性の可飽和インダクタをキッカー電源出力端に実装することで、サージ電流の電源外への流出は阻止され、その他の全体波形のみが出力されることが期待される。

(3) しかし、実験に使用した可飽和インダクタの素材であるフェライトについてメーカー提供のデータシートでは比透磁率は 50 メガヘルツまで高い値(～40)を保持しているのも拘らず、我々の実験には適用できないことが判明した。即ち、メーカー提供の周波数特性は磁束密度 10 ガウスの強さで測定されたものである。しかし、我々のキッカーシステムでは磁束密度は 1.6T にも達するのでデータシート記載の高周波数まで高い比透磁率が保持されるかどうか疑わしい。ゆえに、サージ電流の様な高周波数成分(20 メガヘルツ以上)については阻止効果が期待できない。

(4) 可飽和インダクタの様な非線形素子から、非線形性の無い空芯コイルとコンデンサーからなる低域通過フィルタ(ローパスフィルタ、カットオフ周波数は 5.4 メガヘルツ)を用いる方法へ変更した。これによってサージ電流が大幅に減少することが観測された。しかし、残念ながらこの改善による検出器ノイズの減少は確認できなかった。

(5) 検出器ノイズの真の原因を探るべく、キッカー電源システムが発生するコモンモード電流と検出器ノイズの相関を調査した。調査方法はパルス電源筐体の出力端に繋がる伝送同軸線近傍にピックアップコイルを設置し、この出力と検出器ノイズの相関を調べることである。

### 4. 研究成果

#### (1) サージ電流成分の減少と検出器ノイズ

前節の(2)及び(4)の方法を適用した場合のキッカーパルス電流波形を、何も施さない場合の波形と比較して図 1、2 に示す。図 2 は立上り部分の拡大図である。キッカー電源の充電電圧は通常使用する 25 キロボルトである。何も施さない場合(図では「インサクション無し」)では立上り部分にサージ電流の多重反射を示す階段状の歪が見える。また、可飽和インダクタ

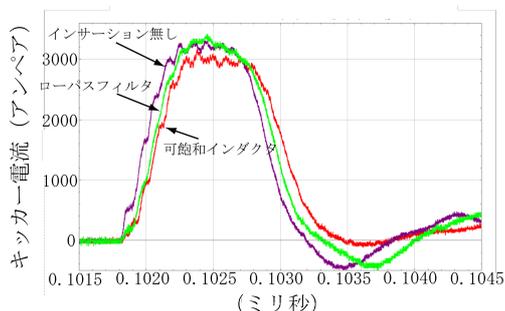


図 1. キッカー電流波形の比較

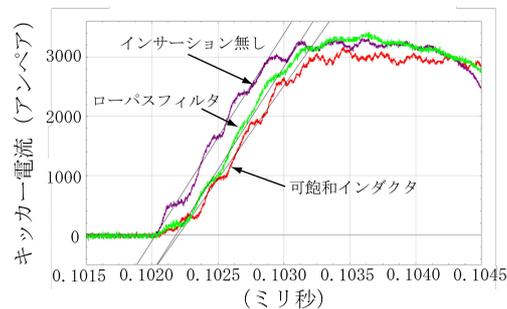


図 2. キッカー電流波形立上り部拡大

を使用した場合もこの歪はほとんど解消されていないことが分かる。これに対してローパスフィルタ使用の場合、歪が大幅に解消されている。さらに、立上り部の 5% - 9% 波高部についてその立上り時間(アンペア / 100 ナノ秒)を直線近似で求めると、インサクション無し、

ローパスフィルタおよび可飽和インダクタについて夫々872、864、および786である。ローパスフィルタはインサクション無しに比べ立上り時間についてほとんど劣化が無い結果が得られた。しかし、残念なことにローパスフィルタによってサージ電流が大幅に抑止されたにも拘らず検出器ノイズの改善には繋がらなかった。

(2) コモンモードピックアップコイル出力と検出器ノイズの相関

実際の電気回路では行きと帰りの配線に流れる電流の他に、浮遊容量で結合する周辺環境を経由して電源へ戻る電流が存在する。これは行きと帰りの配線で周辺環境への結合の度合いが異なるので両者の電流間に不均衡が発生するためである。この不均衡に相当する電流をコモンモード電流という。例えば出力伝送

同軸線では内導体と外導体を流れる電流の大きさが異なり、両者の差がコモンモード電流となる。その結果、同軸線から電磁波が放射され、これをピックアップコイルで検出することでキッカー電源システム全体に流れるコモンモード電流の目安とすることが出来る。今回の実験では直径3cmの coils を同軸線近傍に置いて

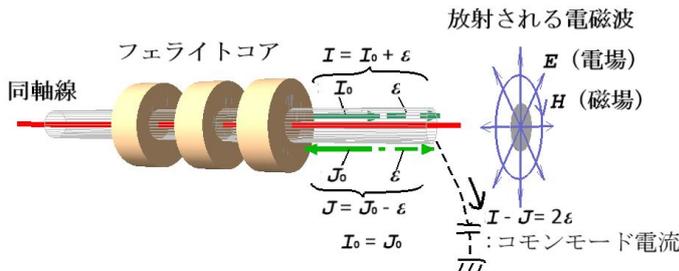


図3. コモンモード電流と電磁放射

その出力電圧を測定した。その際、コモンモード電流を抑止するためにフェライトコアを同軸線に複数個挿入し、その数をパラメータとした。また、同時にキッカー電源周辺に設置された検出器に発生するノイズの大きさを測定し相関を調べた。図4、5は夫々のピックアップコイル電圧および検出器ノイズ電圧を示す。ノイズは3種類の検出器アンプ出力(LA, TFA, PA)に対して測定した。キッカー充電電圧は25キロボルトで行った。また、この実験ではローパスフィルタは取り外している。

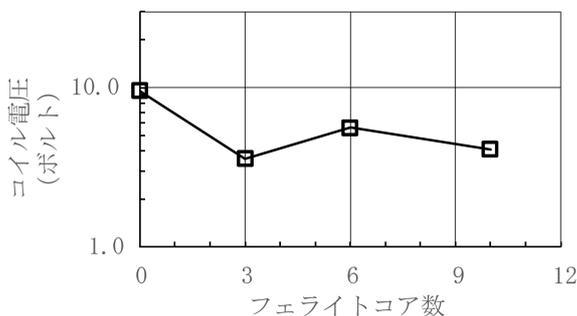


図4. ピックアップコイル電圧

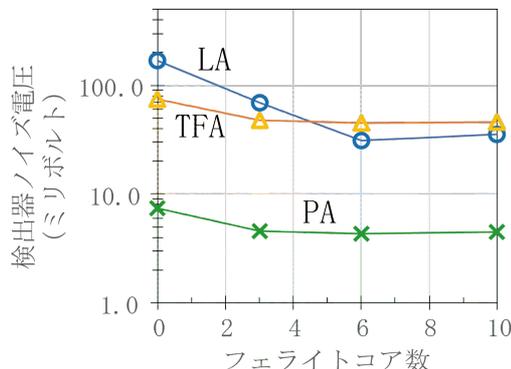


図5. 検出器ノイズ

これらの図からフェライトコアの挿入によるピックアップコイル電圧の減少、即ちコモンモード電流の減少は、検出器ノイズの減少と強く相関していることが分かる。

(3) 結論

検出器ノイズの原因として当初考えていたキッカー電源励磁に伴うサージ電流は検出器ノイズに大きく影響しないことが分かった。一方、キッカー電源システムのコモンモード電流と検出器ノイズには明らかな相関が認められた。今後、如何にしてコモンモード電流を極限まで小さくするかに主眼を置いたノイズ除去研究が重要であろう。勿論、検出器側においても、コモンモードノイズに影響されないアンプシステムの構築、即ち可能な限り差動アンプを活用する等の努力も必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：藤森 寛

ローマ字氏名：(FUJIMORI, hiroshi)

所属研究機関名：大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

部局名：物質構造科学研究所

職名：前任技師

研究者番号（8桁）：60391786

研究分担者氏名：小嶋 健児

ローマ字氏名：(KOJIMA, kenji)

所属研究機関名：大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

部局名：物質構造科学研究所

職名：准教授

研究者番号（8桁）：60302759

研究分担者氏名：反保 元伸

ローマ字氏名：(TAMPO, motonobu)

所属研究機関名：大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

部局名：物質構造科学研究所

職名：研究員

研究者番号（8桁）：50630399

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。