

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-9008

(P2011-9008A)

(43) 公開日 平成23年1月13日(2011.1.13)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)		
H05H	7/04	(2006.01)	H05H	7/04	2G085
H05H	13/04	(2006.01)	H05H	13/04	E
H01F	7/06	(2006.01)	H01F	7/06	K

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2009-150087 (P2009-150087)
 (22) 出願日 平成21年6月24日 (2009. 6. 24)

(71) 出願人 504151365
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
 茨城県つくば市大穂1番地1
 (74) 代理人 100098589
 弁理士 西山 善章
 (74) 代理人 100097559
 弁理士 水野 浩司
 (74) 代理人 100123674
 弁理士 松下 亮
 (72) 発明者 中村 英滋
 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

最終頁に続く

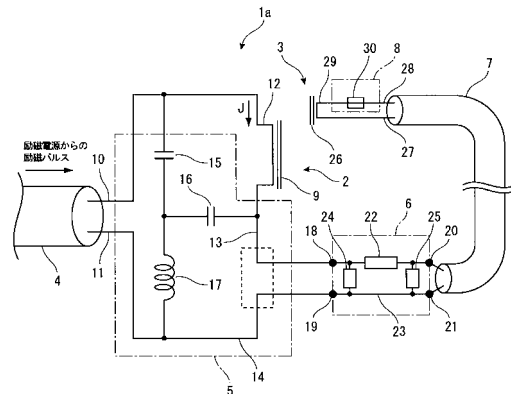
(54) 【発明の名称】 長時間出力型高速励磁型電磁石システム

(57) 【要約】

【課題】パルス状の励磁電流により磁場を発生させるとき、磁場の立ち上がりを速く、かつ安定させるとともに、フラットトップの長さを長くさせて、制御対象粒子線の軌道が乱れないよう構成された高速励磁型電磁石システムを提供する。

【解決手段】パルス伝送ケーブル4を介してパルス状の主励磁電流が供給されたとき、整合型終端装置5によって、インピーダンス整合させながら、主電磁石2の主励磁コイル12に主励磁電流を供給して、主磁束を発生させるとともに、補助励磁電流生成装置6、パルス伝送補助ケーブル7によって、主励磁電流の一部から主励磁電流の波形を補正するのに必要な波形、位相を持つパルス状の補助励磁電流を生成させ、これを補助電磁石3に供給させて、補助磁束を発生させ、終端装置8で終端させる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パルス伝送ケーブルを介して供給されるパルス状の励磁電流で、電磁石を励磁して、磁束を発生させる長時間出力型高速励磁型電磁石システムにおいて、

磁場発生場所に取り付けられ、パルス伝送ケーブルを介して、パルス状の主励磁電流が供給されているとき、主磁束を発生する主電磁石と、

前記主電磁石を含む伝送系をインピーダンス整合させ、前記主電磁石に供給された主励磁電流が前記パルス伝送ケーブル側に戻らないようにする整合型終端装置と、

前記整合型終端装置から出力される主励磁電流の波形形状、位相を整えて、補助励磁電流を生成する補助励磁電流生成 / 伝送装置と、

前記主電磁石と隣接して配置され、前記補助励磁電流生成 / 伝送装置から補助励磁電流が供給されているとき、補助磁束を発生する補助電磁石と、

前記補助電磁石を含む伝送系をインピーダンス整合させ、前記補助電磁石に供給された補助励磁電流が前記補助励磁電流生成 / 伝送装置側に戻らないようにする終端装置と、

を備えたことを特徴とする長時間出力型高速励磁型電磁石システム。

10

【請求項 2】

パルス伝送ケーブルを介して供給されるパルス状の励磁電流で、電磁石を励磁して、磁束を発生させる長時間出力型高速励磁型電磁石システムにおいて、

磁場発生場所に取り付けられ、パルス伝送ケーブルを介して、パルス状の主励磁電流が供給されているとき、主磁束を発生する主電磁石と、

前記主電磁石を含む伝送系をインピーダンス整合させ、前記主電磁石に供給された主励磁電流が前記パルス伝送ケーブル側に戻らないようにする整合型終端装置と、

前記整合型終端装置から出力される主励磁電流の波形形状、位相を整えて、補助励磁電流を生成する補助励磁電流生成 / 伝送装置と、

前記主電磁石と隣接して配置され、前記補助励磁電流生成 / 伝送装置から補助励磁電流が供給されているとき、補助磁束を発生する補助電磁石と、

前記補助電磁石を含む伝送系を完全インピーダンス整合させ、前記補助電磁石に供給された補助励磁電流が前記補助励磁電流生成 / 伝送装置側に戻らないようにする完全整合型終端装置と、

を備えたことを特徴とする長時間出力型高速励磁型電磁石システム。

20

30

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の長時間出力型高速励磁型電磁石システムにおいて、

前記補助励磁電流生成 / 伝送装置は、前記整合型終端装置から出力される主励磁電流を分圧処理、分流処理して、前記主励磁電流の波形と対応する波形の電流を生成するとともに、前記主励磁電流が持つ波形歪みと、前記電流が持つ波形歪みとを相殺させるのに必要な時間だけ、位相をずらし、前記補助励磁電流を生成する、ことを特徴とする長時間出力型高速励磁型電磁石システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子を加速する粒子線加速器などで使用される長時間出力型高速励磁型電磁石システムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

粒子線加速器などで使用される高速励磁型電磁石システムとして、従来、キッカー電磁石システムを代表とするパルス電磁石が用いられる。パルス電磁石としては、集中定数型、分布定数型、結合型、特異型の 4 種類に大別される。これらの中で、励磁電源への負担が最も小さいものとして、図 6 に示す結合型電磁石システムに属する高速励磁型電磁石システム 101 が知られている。

【0003】

50

図 6 に示す高速励磁型電磁石システム 101 は、粒子線加速器などに取り付けられる電磁石 102 と、パルス伝送ケーブル 103 を介して、電磁石 102 にパルス状の励磁電流が供給されているとき、これを終端させて、無反射状態にさせる完全整合型終端装置 104 とを備えており、パルス伝送ケーブル 103 を介して、パルス状の励磁電流が供給されているとき、完全整合型終端装置 104 によって、パルス伝送ケーブル 103 などが持つシステムインピーダンス、電磁石 102 が持つインダクタンス成分などを整合させて、無反射状態にしなが、電磁石 102 にパルス状の励磁電流を供給し、磁束を発生させる。

【0004】

電磁石 102 は、鉄心 105 と、鉄心 105 に巻き付けられた状態で、一端がパルス伝送ケーブル 103 のプラス線 106 に接続され、他端が完全整合型終端装置 104 内に設けられた終端抵抗 109 の一端に接続される励磁コイル 108 とを備えており、パルス伝送ケーブル 103 を介してパルス状の励磁電流が供給されているとき、励磁コイル 108 を励磁して、磁束を発生し、制御対象粒子線の軌道を偏向させる。

【0005】

完全整合型終端装置 104 は、一端が励磁コイル 108 の他端に接続され、他端がパルス伝送ケーブル 103 のマイナス線 107 に接続される終端抵抗 109 と、一端が励磁コイル 108 の一端に接続されるインピーダンス整合用のコンデンサ 110 と、一端がコンデンサ 110 の他端に接続され、他端が終端抵抗 109 の一端に接続されるインピーダンス整合用のコンデンサ 111 と、一端がコンデンサ 111 の一端に接続され、他端が終端抵抗 109 の他端に接続されるインピーダンス整合用のコイル 112 とを備えており、パルス伝送ケーブル 103 を介して、電磁石 102 の励磁コイル 108 に、パルス状の励磁電流が供給されているとき、パルス伝送ケーブル 103 などが持つシステムインピーダンスと、励磁コイル 108 が持つインダクタンス成分などを整合させて、無反射状態にさせ、パルス伝送ケーブル 103 内の励磁電流が波形変形しないようにする。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2007 - 018770 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、パルス状の励磁電流を使用する、一般的な電磁石システムなどでは、次式に示すパラメータ “ ” において、励磁電流 “ J ” の周波数特性を表現できる。

$$= (\times L) / (2 \times Z) \dots (1)$$

但し、 : パルス電圧を構成する周波数成分に対応する角速度

L : 電磁石のインダクタンス

Z : パルス伝送ケーブルなどが持つシステムインピーダンス

上記 (1) 式から明らかなように、一般的な電磁石システムなどでは、カットオフ周波数が存在し、複数の周波数成分で構成されるパルス状の励磁電流を通過させるとき、図 7 に示す如く特定の周波数領域で、励磁電流の増幅率が突出してしまう。

【0008】

高速励磁型電磁石システム 101 も、このような一般的な電磁石システムと同様な特性を持っている。このため、励磁電源から見たとき、電氣的に完全に整合するように、完全整合型終端装置 104 を構成する各コンデンサ 110、111 の容量、周波数特性、コイル 112 のインダクタンス値、周波数特性、終端抵抗 109 の抵抗値、周波数特性などを決めても、特定の周波数領域での増幅率異常に起因し、図 8 に示す如く励磁電流の立ち上がり部分で、リングングが発生してしまう。

【0009】

これにより、フラットな周波数特性 (理想的な周波数特性) を持つときの励磁電流波形と比べたとき、立ち上がりの速さ、フラットトップの長さなどの特性が悪く、歪んだ励磁

10

20

30

40

50

電流になってしまい、制御対象粒子線の軌道が乱れてしまうという問題があった。

【 0 0 1 0 】

本発明は、上記の事情に鑑み、請求項 1 では、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、パルス状の励磁電流の立ち上がり部分で、リングングの発生を排除すると共に、フラットトップの長さを長くさせることができ、これによって周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、励磁コイルを励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようにすることができる長時間出力型高速励磁型電磁石システムを提供することを目的としている。

【 0 0 1 1 】

また、請求項 2 では、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、パルス状の励磁電流の立ち上がり部分で、リングングが発生しないようにすると共に、励磁電流の立ち上がりをさらに速くさせ、フラットトップの長さをさらに長くさせることができ、これによって周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、励磁コイルを励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようにすることができる長時間出力型高速励磁型電磁石システムを提供することを目的としている。

10

【 0 0 1 2 】

また、請求項 3 では、主励磁電流を分圧処理、分流処理、遅延処理させるという、簡単な処理だけ補助励磁電流を生成させることができ、これによって、回路構成を簡素化させながら、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、励磁コイルを励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようにすることができる長時間出力型高速励磁型電磁石システムを提供することを目的としている。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

上記の目的を達成するために本発明は、請求項 1 では、パルス伝送ケーブルを介して供給されるパルス状の励磁電流で、電磁石を励磁して、磁束を発生させる長時間出力型高速励磁型電磁石システムにおいて、磁場発生場所に取り付けられ、パルス伝送ケーブルを介して、パルス状の主励磁電流が供給されているとき、主磁束を発生する主電磁石と、当該主電磁石を含む伝送系をインピーダンス整合させ、前記主電磁石に供給された主励磁電流が前記パルス伝送ケーブル側に戻らないようにする整合型終端装置と、前記整合型終端装置から出力される主励磁電流の波形形状、位相を整えて、補助励磁電流を生成する補助励磁電流生成 / 伝送装置と、前記主電磁石と隣接して配置され、前記補助励磁電流生成 / 伝送装置から補助励磁電流が供給されているとき、補助磁束を発生する補助電磁石と、前記補助電磁石を含む伝送系をインピーダンス整合させ、前記補助電磁石に供給された補助励磁電流が前記補助励磁電流生成 / 伝送装置側に戻らないようにする終端装置とを備えたことを特徴としている。

30

【 0 0 1 4 】

また、請求項 2 では、パルス伝送ケーブルを介して供給されるパルス状の励磁電流で、電磁石を励磁して、磁束を発生させる長時間出力型高速励磁型電磁石システムにおいて、磁場発生場所に取り付けられ、パルス伝送ケーブルを介して、パルス状の主励磁電流が供給されているとき、主磁束を発生する主電磁石と、前記主電磁石を含む伝送系をインピーダンス整合させ、前記主電磁石に供給された主励磁電流が前記パルス伝送ケーブル側に戻らないようにする整合型終端装置と、前記整合型終端装置から出力される主励磁電流の波形形状、位相を整えて、補助励磁電流を生成する補助励磁電流生成 / 伝送装置と、前記主電磁石と隣接して配置され、前記補助励磁電流生成 / 伝送装置から補助励磁電流が供給されているとき、補助磁束を発生する補助電磁石と、前記補助電磁石を含む伝送系を完全インピーダンス整合させ、前記補助電磁石に供給された補助励磁電流が前記補助励磁電流生成 / 伝送装置側に戻らないようにする完全整合型終端装置とを備えたことを特徴としている。

40

50

【 0 0 1 5 】

また、請求項 3 では、請求項 1、2 のいずれかに記載の長時間出力型高速励磁型電磁石システムにおいて、前記補助励磁電流生成 / 伝送装置は、前記整合型終端装置から出力される主励磁電流を分圧処理、分流処理して、前記主励磁電流の波形と対応する波形の電流を生成するとともに、前記主励磁電流が持つ波形歪みと、前記電流が持つ波形歪みとを相殺させるのに必要な時間だけ、位相をずらし、前記補助励磁電流を生成することを特徴としている。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 6 】

本発明による、請求項 1 の長時間出力型高速励磁型電磁石システムでは、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、パルス状の励磁電流の立ち上がり部分で、リングングの発生を排除すると共に、フラットトップの長さを長くさせることができ、これによって周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、励磁コイルを励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようにすることができる。

10

【 0 0 1 7 】

また、請求項 2 の長時間出力型高速励磁型電磁石システムでは、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、パルス状の励磁電流の立ち上がり部分で、リングングの発生を防止すると共に、励磁電流の立ち上がりをさらに速くさせ、フラットトップの長さをさらに長くさせることができ、これによって周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、励磁コイルを励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようにすることができる。

20

【 0 0 1 8 】

また、請求項 3 では、主励磁電流を分圧処理、分流処理、遅延処理させるという、簡単な処理だけ補助励磁電流を生成させることができ、これによって、回路構成を簡素化させながら、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、励磁コイルを励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようにすることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 9 】

30

【 図 1 】本発明による長時間出力型高速励磁型電磁石システムのうち、請求項 1、3 に対応する一形態を示す概略構成図である。

【 図 2 】図 1 に示す主電磁石を構成する主鉄心、補助電磁石を構成する補助鉄心の配置例を示す平面図である。

【 図 3 】図 1 に示す主励磁コイル、補助励磁コイルに供給される主励磁電流、補助励磁電流によって構成される総合励磁電流の一例を示す波形図である。

【 図 4 】図 3 に示す総合励磁電流、従来の励磁電流のフラットトップ部分を拡大した波形図である。

【 図 5 】本発明による長時間出力型高速励磁型電磁石システムのうち、請求項 2、3 に対応する一形態を示す概略構成図である。

40

【 図 6 】従来から知られている高速励磁型電磁石システムの一例を示す概略構成図である。

【 図 7 】図 6 に示す高速励磁型電磁石システムの周波数特性例を示すグラフである。

【 図 8 】図 6 に示す励磁コイルに供給される励磁電流の波形と、理想的な励磁電流の波形とを示す波形図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 0 】

1. 本発明の第 1 の実施の形態

図 1 は、本発明による長時間出力型高速励磁型電磁石システムのうち、請求項 1、3 に対応する一形態を示す概略構成図である。

50

【 0 0 2 1 】

図 1 に示す長時間出力型高速励磁型電磁石システム 1 a は、粒子線加速器の加速リングなどに取り付けられる主電磁石 2 と、主電磁石 2 と隣接して配置される補助電磁石 3 と、パルス伝送ケーブル 4 を介して、主電磁石 2 にパルス状の主励磁電流が供給されているとき、これを終端させる整合型終端装置 5 と、整合型終端装置 5 から出力される主励磁電流の波形形状、位相を整えて、補助励磁電流を生成する補助励磁電流生成装置（請求項 1、2 の補助励磁電流生成 / 伝送装置）6 と、補助励磁電流生成装置 6 から出力される補助励磁電流を取り込み、補助電磁石 3 に供給するパルス伝送補助ケーブル（請求項 1、2 の補助励磁電流生成 / 伝送装置）7 と、パルス伝送補助ケーブル 7 を介して、補助電磁石 3 にパルス状の補助励磁電流が供給されているとき、これを終端させる終端装置 8 とを備えている。

10

【 0 0 2 2 】

そして、パルス伝送ケーブル 4 を介して、パルス状の主励磁電流が供給されているとき、整合型終端装置 5 によって、パルス伝送ケーブル 4 などが持つシステムインピーダンス、主電磁石 2 が持つインダクタンス成分などを整合させて、無反射状態にしなから、主電磁石 2 にパルス状の主励磁電流を供給し、主磁束を発生させる。また、この動作と並行し、補助励磁電流生成装置 6、パルス伝送補助ケーブル 7 によって、主励磁電流の一部から、指定された波形、位相を持つパルス状の補助励磁電流を生成させて、補助電磁石 3 に供給し、補助磁束を発生させるとともに、終端装置 8 によって、終端させる。

20

【 0 0 2 3 】

主電磁石 2 は、図 2 に示す如く通常の電磁石を構成する鉄心の長さより所定寸法だけ短くなるように構成され、粒子線加速器の加速リング内を通過する制御対象粒子線の重心軌道と対応するように配置される主鉄心 9 と、主鉄心 9 に巻き付けられた状態で、一端がパルス伝送ケーブル 5 のプラス線 10 に接続され、他端が整合型終端装置 5 に接続される主励磁コイル 12 とを備えており、パルス伝送ケーブル 4 を介してパルス状の主励磁電流が供給されているとき、主励磁コイル 12 を励磁して、主磁束を発生し、制御対象粒子線の軌道を偏向させる。

【 0 0 2 4 】

整合型終端装置 5 は、一端が主励磁コイル 12 の他端に接続され、他端が補助励磁電流生成装置 6 のプラス側入力端子 18 に接続される電流ライン 13 と、一端が補助励磁電流生成装置 6 のマイナス側入力端子 19 に接続され、他端がパルス伝送ケーブル 4 のマイナス線 11 に接続される接地ライン 14 と、一端が主励磁コイル 12 の一端に接続されるインピーダンス整合用のコンデンサ 15 と、一端がコンデンサ 15 の他端に接続され、他端が主励磁コイル 12 の他端に接続されるインピーダンス整合用のコンデンサ 16 と、一端がコンデンサ 15 の他端、コンデンサ 16 の一端に接続され、他端が接地ライン 14 に接続されるインピーダンス整合用のコイル 17 とを備えている。

30

【 0 0 2 5 】

そして、パルス伝送ケーブル 4 を介して、主電磁石 2 の主励磁コイル 12 に、パルス状の主励磁電流が供給されているとき、パルス伝送ケーブル 4 などが持つシステムインピーダンスと、主励磁コイル 12 が持つインダクタンス成分などを整合させて、無反射状態にさせ、パルス伝送ケーブル 4 内の励磁電流が波形変形しないようにするとともに、主励磁電流の一部を補助励磁電流生成装置 6 に供給する。

40

【 0 0 2 6 】

補助励磁電流生成装置 6 は、一端がプラス側入力端子 18 に接続され、他端がプラス側出力端子 20 に接続された抵抗などによって構成されるインピーダンス素子 22 と、一端がマイナス側入力端子 19 に接続され、他端がマイナス側出力端子 21 に接続される接地ライン 23 と、一端がインピーダンス素子 22 の一端に接続され、他端が接地ライン 21 に接続された抵抗などによって構成されるインピーダンス素子 24 と、一端がインピーダンス素子 22 の他端に接続され、他端が接地ライン 23 に接続された抵抗などによって構成されるインピーダンス素子 25 とを備えている。

50

【 0 0 2 7 】

そして、整合型終端装置 5 から主励磁電流の一部が出力されたとき、これを取り込み、各インピーダンス素子 2 2、2 4、2 5 によって、インピーダンス整合処理、周波数フィルタリング処理、分圧処理、分流処理して、主励磁電流の波形を補正するのに最適な波形を持つパルス状の補助励磁電流を生成し、パルス伝送補助ケーブル 7 に供給する。

【 0 0 2 8 】

パルス伝送補助ケーブル 7 は、特性インピーダンスが整ったケーブルによって構成されており、所定の長さ、例えば補助励磁電流生成装置 6 と補助電磁石 3 との距離より長く、かつ主電磁石 2 の励磁タイミングと補助電磁石 3 の励磁タイミングとの間の最適なずれ時間に対応する時間だけ遅延させるのに必要な長さにされる。

10

【 0 0 2 9 】

そして、補助励磁電流生成装置 6 からパルス状の補助励磁電流が出力されたとき、これを取り込み、遅延時間に対応する時間だけ、位相を遅らせて、補助電磁石 3 に供給する。

【 0 0 3 0 】

補助電磁石 3 は、図 2 に示す如く通常の電磁石を構成する鉄心と主電磁石 2 の主鉄心 9 の長さとの差に対応する長さに形成され、主電磁石 2 の鉄心 9 と磁氣的に連続するように配置される補助鉄心 2 6 と、補助鉄心 2 6 に巻き付けられた状態で、一端がパルス伝送補助ケーブル 7 のプラス線 2 7 に接続され、他端が終端装置 8 に接続される補助励磁コイル 2 9 とを備えており、パルス伝送補助ケーブル 7 からパルス状の補助励磁電流が出力されているとき、補助励磁コイル 2 9 を励磁して、補助磁束を発生し、制御対象粒子線の軌道を偏向させる。

20

【 0 0 3 1 】

終端装置 8 は、一端が補助励磁コイル 2 9 の他端に接続され、他端がパルス伝送補助ケーブル 7 のマイナス線 2 8 に接続される終端抵抗 3 0 を備えており、パルス伝送補助ケーブル 7 を介して、補助電磁石 3 の補助励磁コイル 2 9 に、パルス状の補助励磁電流が供給されているとき、パルス伝送補助ケーブル 7 などが持つシステムインピーダンスと、補助励磁コイル 2 9 が持つインダクタンス成分などを整合させて、無反射状態にし、パルス伝送補助ケーブル 7 内の補助励磁電流が波形変形しないようにする。

【 0 0 3 2 】

次に、具体的な数値を使用して、図 1 に示す長時間出力型高速励磁型電磁石システム 1 a の特性について説明する。

30

【 0 0 3 3 】

まず、パルス伝送ケーブル 4 などの伝送路系インピーダンス“ Z ”、主電磁石 2 のインダクタンス値、主励磁電流のパルス幅に応じて、各インピーダンス素子 2 2、2 4、2 5 のインピーダンス値、パルス伝送補助ケーブル 7 のインピーダンス値、遅延時間、補助電磁石 3 のインダクタンス値、終端抵抗 3 0 の抵抗値などが最適化される。

【 0 0 3 4 】

例えば、伝送路系インピーダンス“ Z ”が“ 10Ω ”、主電磁石 2 のインダクタンス値が“ $1 \mu\text{H}$ ”、主励磁電流のパルス幅が“ $0.4 \mu\text{s}$ ”であれば、インピーダンス素子 2 2 のインピーダンス値が“ $\sim 2.0 \times Z$ ”にされ、また各インピーダンス素子 2 4、2 5 のインピーダンスが“ $\sim 1.6 \times Z$ ”にされ、さらにパルス伝送補助ケーブル 7 のインピーダンスが“ Z ”、遅延時間が“ 80 ns ”にされ、終端抵抗 3 0 の抵抗値が“ Z ”にされる。

40

【 0 0 3 5 】

このような設定条件で、長時間出力型高速励磁型電磁石システム 1 a を動作させたとき、図 3 に示す如く従来の長時間出力型高速励磁型電磁石システムで得られる励磁電流に比べて、立ち上がりが速く、長いフラットトップを持つ総合励磁電流（主励磁電流と、補助励磁電流とを合成した励磁電流）を得ることができた。

【 0 0 3 6 】

また、図 4 の拡大図（図 3 の部分拡大図）に示す如く従来の励磁電流波形に比べ、総合

50

励磁電流を構成するフラットトップ部分の変動幅を“1%”以内にすることができた。

【0037】

さらに、従来の長時間出力型高速励磁型電磁石システムに比べて、励磁量を“22%”程度、増加させることができた。このため、長時間出力型高速励磁型電磁石システム1aによって、従来の長時間出力型高速励磁型電磁石システムと同じ励磁量を得るとき、その分だけ主励磁電流の電流値を小さくさせることができた。

【0038】

このように、この形態では、パルス伝送ケーブル4を介してパルス状の主励磁電流が供給されたとき、整合型終端装置5によって、パルス伝送ケーブル4などが持つシステムインピーダンスと、主電磁石2が持つインダクタンス成分などを整合させながら、主電磁石2の主励磁コイル12に主励磁電流を供給して、主磁束を発生させるとともに、補助励磁電流生成装置6、パルス伝送補助ケーブル7によって、主励磁電流の一部から主励磁電流の波形を補正するのに必要な波形、位相を持つパルス状の補助励磁電流を生成し、これを補助電磁石3に供給して、補助磁束を発生させ、終端装置8で終端させるようにしているので、立ち上がり部分に、不要なリングングなどが無く、かつ立ち上がりが速く、フラットトップが長い励磁電流で、磁場を発生させたときと同じ磁場（理想的な磁場）を発生させることができ、これによって制御対象粒子線の軌道が乱れないようさせることができる（請求項1の効果）。

10

【0039】

また、この形態では、補助励磁電流生成装置6によって、主励磁電流を周波数フィルタリング処理、分圧処理、分流処理させて、主励磁電流の波形と対応する波形の補助励磁電流を生成するとともに、パルス伝送補助ケーブル7が持つ遅延特性を積極的に利用して、主励磁電流が持つ波形歪みと、補助励磁電流が持つ波形歪みとを相殺させるのに必要な時間だけ、位相をずらし、補助電磁石3に供給するようにしているので、回路構成を簡素化させながら、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、主励磁コイル12、補助励磁コイル29を励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようすることができる（請求項3の効果）。

20

【0040】

2. 本発明の第2の実施の形態

30

図5は本発明による長時間出力型高速励磁型電磁石システムのうち、請求項2、3に対応する一形態を示す概略構成図である。なお、図5において、図1の各部に対応する部分には、同じ符号が付してある。

【0041】

図5に示す長時間出力型高速励磁型電磁石システム1bが、図1に示す長時間出力型高速励磁型電磁石システム1aと異なる点は、終端装置8に代えて、完全整合型終端装置40を設けたことである。

【0042】

完全整合型終端装置40は、一端が補助励磁コイル29の他端に接続され、他端がパルス伝送補助ケーブル7のマイナス線28に接続される終端抵抗41と、一端が補助励磁コイル29の一端に接続されるインピーダンス整合用のコンデンサ42と、一端がコンデンサ42の他端に接続され、他端が終端抵抗41の一端に接続されるインピーダンス整合用のコンデンサ43と、一端がコンデンサ42の他端、コンデンサ43の一端に接続され、他端が終端抵抗41の他端に接続されるインピーダンス整合用のコイル44とを備えており、パルス伝送補助ケーブル7を介して、補助電磁石3の補助励磁コイル29に、パルス状の補助励磁電流が供給されているとき、パルス伝送補助ケーブル7などが持つシステムインピーダンスと、補助励磁コイル29が持つインダクタンス成分などを整合させて、無反射状態にし、パルス伝送補助ケーブル7内の補助励磁電流が波形変形しないようにする。

40

【0043】

50

このように、この形態では、完全整合型終端装置 40 によって、パルス伝送補助ケーブル 7 などが持つシステムインピーダンスと、補助励磁コイル 29 が持つインダクタンス成分などを整合させて、完全無反射状態にさせ、補助励磁コイル 29 側からパルス伝送補助ケーブル 7 側に補助励磁電流が戻らないようにすることで、上述した第 1 形態より、磁場波形の補正精度をさらに高めて、制御対象粒子線の軌道を偏向させるときの精度をさらに向上させることができる（請求項 2 の効果）。

【0044】

また、この形態では、上述した形態と同様に、補助励磁電流生成装置 6 によって、主励磁電流を周波数フィルタリング処理、分圧処理、分流処理させて、主励磁電流の波形と対応する波形の補助励磁電流を生成するとともに、パルス伝送補助ケーブル 7 が持つ遅延特性を積極的に利用して、主励磁電流が持つ波形歪みと、補助励磁電流が持つ波形歪みとを相殺させるのに必要な時間だけ、位相をずらし、補助電磁石 3 に供給するようにしているので、回路構成を簡素化させながら、周波数領域全体の周波数特性をフラットにできないときでも、周波数領域全体の周波数特性がフラットであるときに得られる理想的な波形と同じ波形の励磁電流で、主励磁コイル 12、補助励磁コイル 29 を励磁し、制御対象粒子線の軌道が乱れないようにすることができる（請求項 3 の効果）。

【0045】

3. 本発明の他の実施の形態

また、上述した第 1、第 2 形態では、主電磁石 2 に対し、1 つの補助電磁石 3 をカスケード（順次接続形式）に配置し、これら主電磁石 2、補助電磁石 3 で生成される主磁束、補助磁束の重畳効果で、磁場の波形を補正させ、理想的な波形の磁場を得るようにしているが、補助電磁石 3 に対し、さらに補助電磁石を設け、上述した第 1、第 2 形態と同様な方法で生成した補正励磁電流を流すようにしても良い。

【0046】

これにより、上述した第 1、第 2 形態より、さらに主励磁電流の補正精度を改善させ、制御対象粒子線の軌道を偏向させるときの精度をさらに向上させることができる。

【符号の説明】

【0047】

- 1 a、1 b：長時間出力型高速励磁型電磁石システム
- 2：主電磁石
- 3：補助電磁石
- 4：パルス伝送ケーブル
- 5：整合型終端装置
- 6：補助励磁電流生成装置（補助励磁電流生成／伝送装置）
- 7：パルス伝送補助ケーブル（補助励磁電流生成／伝送装置）
- 8：終端装置
- 9：主鉄心
- 10：プラス線
- 11：マイナス線
- 12：主励磁コイル
- 13：電流ライン
- 14：接地ライン
- 15：コンデンサ
- 16：コンデンサ
- 17：コイル
- 18：プラス側入力端子
- 19：マイナス側入力端子
- 20：プラス側出力端子
- 21：マイナス側出力端子
- 22：インピーダンス素子

10

20

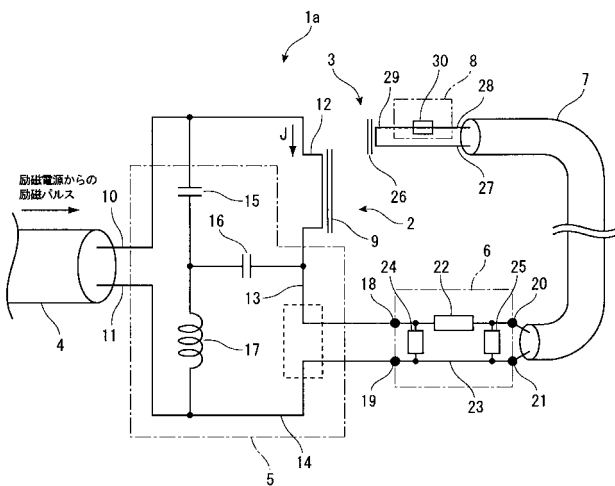
30

40

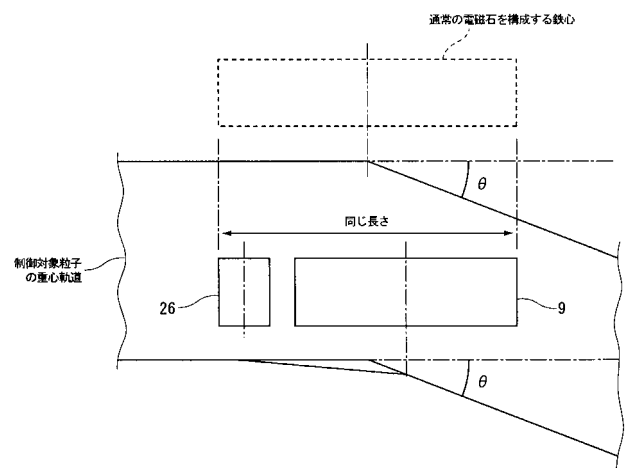
50

- 2 3 : 接地ライン
- 2 4 : インピーダンス素子
- 2 5 : インピーダンス素子
- 2 6 : 補助鉄心
- 2 7 : プラス線
- 2 8 : マイナス線
- 2 9 : 補助励磁コイル
- 3 0 : 終端抵抗
- 4 0 : 完全整合型終端装置
- 4 1 : 終端抵抗
- 4 2 : コンデンサ
- 4 3 : コンデンサ
- 4 4 : コイル

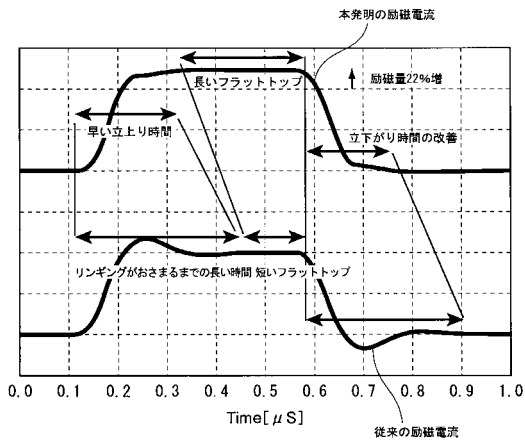
【 図 1 】



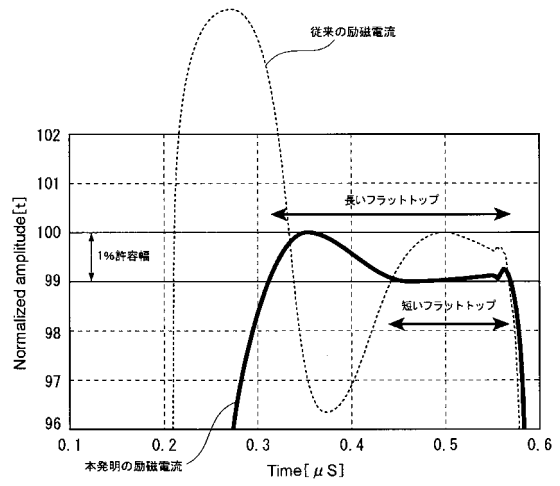
【 図 2 】



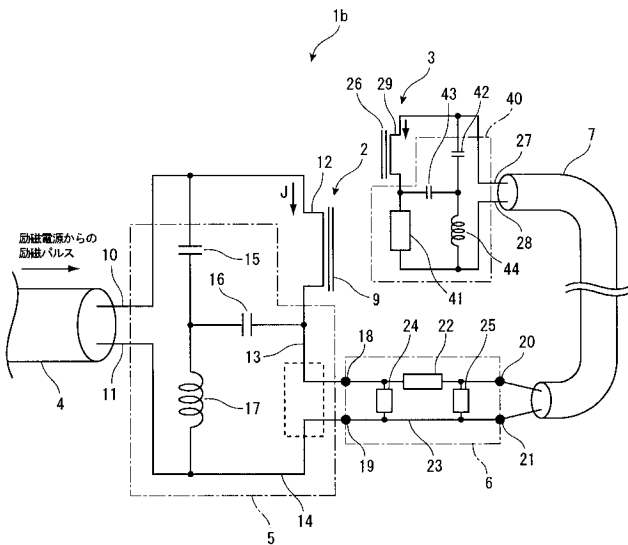
【 図 3 】



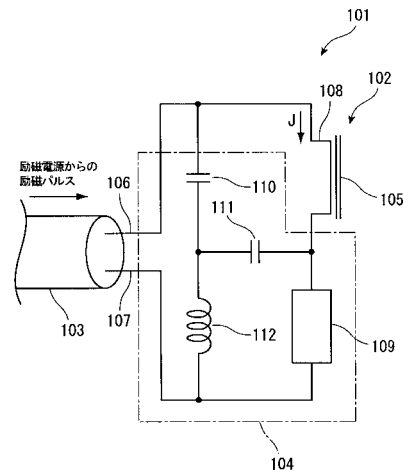
【 図 4 】



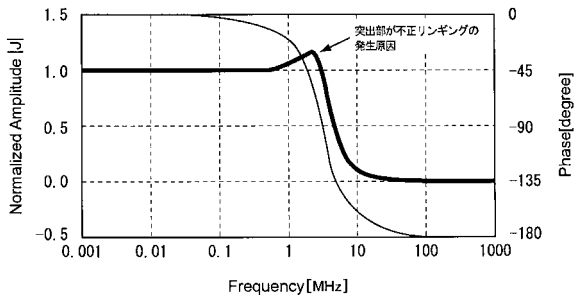
【 図 5 】



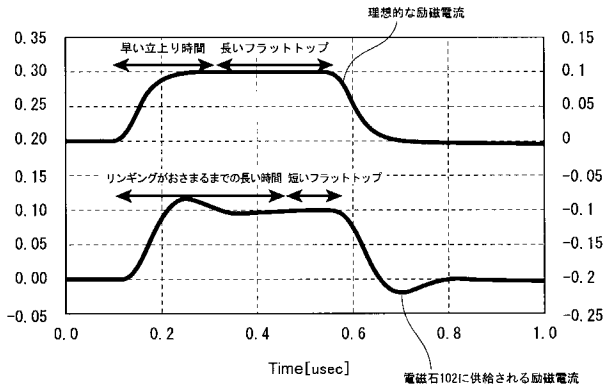
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 大木 俊征

茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

Fターム(参考) 2G085 BB17 BC08 BC15 CA14 CA18 EA03

5E048 AA09