

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6349269号
(P6349269)

(45) 発行日 平成30年6月27日 (2018. 6. 27)

(24) 登録日 平成30年6月8日 (2018. 6. 8)

(51) Int. Cl.		F I			
B60L	3/00	(2006.01)	B60L	3/00	D
H02M	7/12	(2006.01)	H02M	7/12	P
H02M	7/48	(2007.01)	H02M	7/12	B
H02M	1/14	(2006.01)	H02M	7/48	E
			H02M	1/14	

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-28151 (P2015-28151)	(73) 特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22) 出願日	平成27年2月17日 (2015. 2. 17)	(74) 代理人	100098660 弁理士 戸田 裕二
(65) 公開番号	特開2016-152665 (P2016-152665A)	(72) 発明者	杉浦 徹 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所 内
(43) 公開日	平成28年8月22日 (2016. 8. 22)	(72) 発明者	野崎 雄一郎 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所 内
審査請求日	平成29年2月14日 (2017. 2. 14)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車両駆動システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一の単相交流電力を供給する第一の電車線が設置された路線と、前記第一の単相交流電力よりも周波数の高い第二の単相交流電力を供給する第二の電車線が設置された路線を走行する車両の車両駆動システムにおいて、

前記第一の電車線もしくは前記第二の電車線から供給された単相交流電力を直流電力に変換し、直流電力線に出力する第一の電力変換装置と、

前記直流電力線に出力された前記直流電力を三相交流電力に変換する第二の電力変換装置と、

当該三相交流電力が供給される車両駆動用の電動機と、

前記第一の電力変換装置と並列に直流電力線に接続され、前記第一の単相交流の二倍の周波数帯に共振点を有する共振フィルタと、

前記直流電力線の電圧を検出する電圧検出器と、

前記電圧検出器の検出値に応じて前記第二の電力変換装置の出力を制御し、前記三相交流電力に重畳する脈動を抑制する脈動抑制手段と、

前記第一の電力変換装置と並列に前記直流電力線に接続され、前記第一の電力変換装置が前記第一の単相交流電力を前記直流電力に変換する際に発生する脈動を前記脈動制御手段により抑制するために必要となる静電容量より小さく、前記第一の単相交流電力よりも周波数の高い前記第二の単相交流電力を前記直流電力に変換する際に発生する脈動を前記脈動制御手段により抑制するために必要となる静電容量より大きい平滑コンデンサと、を

備えることを特徴とする車両駆動システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の車両駆動システムにおいて、

前記共振フィルタは、前記直流電力に重畳する前記第一の単相交流電力の二倍の周波数成分の脈動を吸収するとともに、

前記脈動抑制手段は、前記三相交流電力に重畳する前記第二の単相交流電力の二倍の周波数成分の脈動を抑制するように前記第二の電力変換装置の出力を制御することを特徴とする車両駆動システム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の車両駆動システムにおいて、

前記第一の電車線と前記第二の電車線のいずれかから電力供給を受けているかを判断する電源判定手段を備え、

前記第一の電車線から電力供給を受けていると判断した場合には、脈動抑制手段を停止し、

前記第二の電車線から電力供給を受けていると判断した場合には、脈動抑制手段を動作させることを特徴とする車両駆動システム。

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載の車両駆動システムにおいて、

前記共振フィルタは、互いに直列接続された共振リアクトルと共振コンデンサを備えることを特徴とする車両駆動システム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の車両駆動システムにおいて、

前記共振フィルタは、前記共振リアクトルに対して並列に接続される接触器を更に備え、

前記電圧検出器により前記共振フィルタの共振周波数と同一の脈動を検出した場合に、前記接触器を開放し、

前記電圧検出器により前記共振フィルタの共振周波数以外の脈動を検出した場合に、前記接触器が投入されることを特徴とする車両駆動システム。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の車両駆動システムにおいて、

前記共振フィルタは、前記共振リアクトルに対して直列に接続される接触器を更に備え、

前記電圧検出器により前記共振フィルタの共振周波数の脈動を検出したときは、前記接触器を開放させると共にビートレス制御を実行し、

前記電圧検出器により前記共振フィルタの共振周波数の脈動を検出しないときは、前記接触器を投入させると共にビートレス制御を停止することを特徴とする車両駆動システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は車両の駆動システムに係り、特に交流電気車の主変換器にて発生するビート現象を抑制する制御技術に関する。

【背景技術】

【0002】

交流架線から供給される電力を入力とする鉄道車両の駆動システムは、単相交流電力を直流電力に変換するコンバータと、コンバータにより出力される直流電力を任意の周波数の三相交流電力に変換するインバータと、インバータにより出力される交流電力により駆動される主電動機から構成されている。また、コンバータとインバータを繋ぐ直流回路を直流ステージと呼ぶ。

【0003】

10

20

30

40

50

直流ステージの電圧は、架線から供給される単相交流電圧を全波整流して生成される為、交流架線周波数の2倍の周波数が重畳する性質がある。一方で、インバータにより直流電圧を交流電圧に変換すると、インバータの出力電圧にはインバータ基本波の周波数と前記直流電圧の振動周波数の和と差の成分が現れる。特に周波数の差の成分については、インバータ基本波の周波数と直流電圧の振動周波数が近づくほど当該差の周波数成分は低くなり、これに併せて主電動機のインピーダンスも低下することから、主電動機の電流が当該差の周波数で脈動することが知られている。一般的にこの脈動はビート現象と呼ばれている。

【0004】

上述したビート現象を抑制する方法としては、交流架線の2倍の周波数を共振点とする共振フィルタを設置する方法や、インバータのスイッチング制御により、インバータの出力電圧の周波数を調節して、インバータの出力電圧のビート現象の周波数成分を抑制するビートレス制御等の方法がある。共振フィルタを設置する方法は、特許文献1（EP1288060A）に開示されており、ビートレス制御については特許文献2（特開平11-164565）にその構成が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】EP1288060A

【特許文献2】特開平11-164565号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら上述した各特許文献1, 2に記載されたビート現象を抑制する技術には以下に述べる課題があった。

【0007】

まず、特許文献1に記載された共振フィルタを用いる場合、交流架線の周波数の異なる複数区間から成る路線を走行し、複数周波数の交流電力を電源とする交流電気車は、それぞれの周波数に合わせた共振フィルタを搭載する必要があり、車上機器（共振フィルタ）が大型化するという問題がある。

30

【0008】

一方、特許文献2に記載されたビートレス制御を用いる場合、周波数の低い交流電源から電力供給を受けるときに、直流ステージのコンバータとインバータに対して並列接続される平滑コンデンサの静電容量を十分に大きくしないと、インバータの出力電圧の脈動を抑えることができなくなる。そのため、周波数の低い交流電源から電力供給を受ける場合には、出力する交流電圧を安定化させるために、直流ステージの平滑コンデンサの静電容量を大きくする必要があり、車上機器（平滑コンデンサ）が大型化するという問題がある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の課題を解決するために、特許請求の範囲に記載の構成を採用する。

40

【0010】

第一の単相交流電力を供給する第一の電車線が設置された路線と、前記第一の単相交流電力よりも周波数の高い第二の単相交流電力を供給する第二の電車線が設置された路線を走行する車両の車両駆動システムにおいて、

前記第一の電車線もしくは前記第二の電車線から供給された単相交流電力を直流電力に変換し、直流電力線に出力する第一の電力変換装置と、

前記直流電力線に出力された前記直流電力を三相交流電力に変換する第二の電力変換装置と、

当該三相交流電力が供給される車両駆動用の電動機と、

50

前記第一の電力変換装置と並列に直流電力線に接続され、前記第一の単相交流の二倍の周波数帯に共振点を有する共振フィルタと、

前記直流電力線の電圧を検出する電圧検出器と、

前記電圧検出器の検出値に応じて前記第二の電力変換装置の出力を制御し、前記三相交流電力に重畳する脈動を抑制する脈動抑制手段を備えることにより実現できる。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、周波数の異なる複数区間を運行する交流電気の車上機器を小型化することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第一の実施例における駆動システムの構成を示す図

【図2】第二の実施例の構成を示す図

【図3】第三の実施例の構成を示す図

【図4】第一の実施例における電源周波数と平滑コンデンサ静電容量の関係を示す図

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【実施例1】

20

【0014】

本発明における第1の実施例を図1を用いて説明する。図1に本実施例における車両駆動システムの構成を示す。

【0015】

1は集電装置、2は変圧器、5はコンバータ、コンバータ5を構成する5a、5b、5c、5dはコンバータ5のスイッチング素子、6は共振フィルタ回路、共振フィルタ回路6を構成する6aは共振リアクトル、6bは共振コンデンサ、8は平滑コンデンサ、9はインバータ、インバータ9を構成する9a、9b、9c、9d、9e、9fはインバータ9のスイッチング素子、11は電動機、21は車輪である。

【0016】

30

また、3は変圧器2の二次側電圧を測定する電圧検出器、4は変圧器2の二次側電流を測定する電流検出器、7は平滑コンデンサ8の両端電圧を測定する電圧検出器、10は主電動機11の電流を測定する電流検出器である。

【0017】

さらに、22は第一の交流電源、23は第一の交流電源22とは周波数の異なる第二の交流電源、24は第一の交流電源22の電力を車両に供給する第一の電車線、25は第二の交流電源23の電力を車両に供給する第二の電車線、26は第一の電車線24と第二の電車線25を絶縁する無電化区間、27は車両の軌道である。

【0018】

本実施例では一例として、コンバータ5は2レベル単相フルブリッジの電力変換装置、インバータ9は2レベル三相フルブリッジの電力変換装置としているが、コンバータ及びインバータは、これ以外の形態の電力変換装置、例えば3レベル回路で構成することも可能である。

40

【0019】

本駆動システムは、車両を加速および減速させるための装置であり、車両は第一の交流電源22より供給される交流電力を電車線24と軌道27を介して、もしくは第二の交流電源23より供給される交流電力を電車線25と軌道27を介して、集電装置1および車輪21より入力させる。加速時においては、この入力された交流電力を主変圧器2にて降圧し、コンバータ5にて直流電力に変換する。直流に変換された電力は平滑コンデンサ8により平滑された後、インバータ9にて交流電力に変換され、主電動機11に供給され

50

ることで、可変速駆動により車両を加速する。

また減速時には、主電動機 11 の回生ブレーキにより発生する交流電力はインバータ 9 にて直流電力に変換される。直流に変換された電力は平滑コンデンサ 8 により平滑された後、コンバータ 5 にて交流電力に逆変換され、主変圧器 2 で昇圧された後、集電装置から電車線 24 もしくは電車線 25 に戻される。

【0020】

この周波数の異なる電車線 24 と電車線 25 のどちらから電力の供給を受けているかの識別は、電圧検出器 3 による電圧の周波数を検知することにより行うことが可能であり、他にも車両の位置検出技術を用いることで可能である。この位置検出手段としては、図示しない軌道回路を用いた検出手段や、車両の速度情報を積算して求めた走行距離情報を用いた検出手段、又は、GPSを用いた検出手段が適用できる。後述する共振フィルタおよびビートレス制御部によるビート抑制機能は、このような電圧検出器や位置検出技術により識別された電源に応じて切り替えることができる。仮に、電車線 24 の電源周波数が電車線 25 の電源周波数よりも低い場合、電車線 25 から電力供給を受けていると判断した場合には、ビートレス制御部を動作させて、ビートレス制御による脈動抑制を行う。また、電車線 24 から電力供給を受けていると判断した場合には、共振フィルタにより脈動抑制が行われる。共振フィルタによる脈動抑制を行う場合には、ビートレス制御は不要となるため、ビートレス制御を停止させても良いが、停止させずに動作させたままでも良い。

【0021】

続いて同図の 100 はコンバータ 5 の電力変換制御を行うコンバータ制御装置である。101 は電源位相検出器、102 は正弦波発生器、103 と 106、108 は減算器、104 は電圧制御器、105 は乗算器、107 は電流制御器、109 は PWM 制御器である。

【0022】

コンバータ制御装置 100 は、主変圧器 2 の二次側電圧を電圧検出器 3 にて検出し、その電気角を電源位相検出器 101 にて検出する。正弦波発生器 102 は、その電気角の情報に基づいて電源電圧と同位相で振幅が 1 となる正弦波を生成する。

【0023】

それと並列に、平滑コンデンサ 8 の直流電圧 E_d を電圧検出器 7 より検出し、減算器 103 にて直流電圧指令 E_d^* から直流電圧 E_d を減算する。電圧制御器 104 は、その減算結果に基づいて直流電圧 E_d を指令値 E_d^* に一致させるための二次電流実効値指令 I_s^* を生成する。この指令 I_s^* と正弦波発生器 102 で発生させた正弦波を乗算器 105 で乗算して、主変圧器 2 の二次電流指令 i_s^* を生成する。この二次電流指令 i_s^* は主変圧器 2 の二次電圧と同位相で、これによりコンバータ 5 の入力を力率 1 になるように制御する。

【0024】

その後、二次電流指令 i_s^* と電流検出器 4 より検出する二次電流 i_s を減算器 106 で減算する。電流制御器 107 は、その減算結果に基づいて交流電圧指令 e_c を生成する。その後、減算器 108 で二次電圧 e_s から交流電圧指令 e_c を減算して、この減算結果に基づき PWM 制御器 109 でコンバータパルス指令 S_c を生成する。

【0025】

このコンバータパルス指令 S_c をコンバータ 5 に入力し、コンバータパルス指令 S_c に基づいて 5a ~ 5d をスイッチングさせることで、直流電圧 E_d を一定に制御する。

【0026】

さらに同図の 200 はインバータ 9 の電力変換制御を行うインバータ制御装置であり、201 は座標変換器、202 と 203 は減算器、204 は電流制御器、205 はビートレス制御器、206 は加算器、207 は PWM 制御器である。

【0027】

インバータ制御装置 200 は、電流検出器 10 より検出した三相交流電流 i_u 、 i_v 、 i_w を座標変換器 201 に入力して d 軸電流 I_d と q 軸電流 I_q を生成する。減算器 20

10

20

30

40

50

2にて、d軸電流指令 I_d^* からd軸電流 I_d を減算し、減算器203にて、q軸電流指令 I_q^* からq軸電流 I_q を減算する。電流制御器204は、減算器202と減算器203でそれぞれ算出された減算結果に基づいて主電動機11の可変速運転に必要な変調率 V_c 、出力周波数 F_i 、出力偏角を計算する。ビートレス制御器205は、電圧検出器7で検出された平滑コンデンサ8の直流電圧 E_d に基づいて出力周波数の補正值 F_i を出力し、加算器206は出力周波数 F_i と補正值 F_i を加算して出力周波数指令 F_i^* を生成する。その後、PWM制御器207は、変調率 V_c 、出力周波数指令 F_i^* 、出力偏角に基づいてインバータパルス指令 S_i を生成し、インバータ9に入力することで、主電動機11を駆動させる。

【0028】

10

ここで、複数周波数の交流電力の周波数に合わせた複数の共振フィルタを搭載した場合には、車上機器（共振フィルタ）が大型化するという課題があり、ビートレス制御を用いる場合には、周波数の低い交流電源に備えて、直流ステージの平滑コンデンサの静電容量を大きくする必要があり、車上機器（平滑コンデンサ）が大型化するという課題がある。また、平滑コンデンサの静電容量を大きくした場合の他の問題として、コンバータ又はインバータの短絡故障時に流れる放電電流が大きくなり二次故障のリスクが増大するという課題がある。

【0029】

そのため詳細は後述するが、本実施例は2種類以上の電源周波数をもつ路線に乗り入れる鉄道車両において、直流電圧に重畳する交流電源電圧の2倍の周波数の脈動に起因して主電動機11の電流に現れるビート現象を抑制するために、共振フィルタ6とビートレス制御器205の両方を備えており、周波数の最も低い架線電圧に対しては、共振点が交流電源電圧の2倍の周波数となる共振フィルタ6を用いて直流電圧に重畳する交流電源電圧の2倍の周波数の脈動を抑制するとともに、それ以外の周波数の架線電圧に対しては、インバータのスイッチング制御であるビートレス制御により主電動機の電流に生じる脈動を抑制することを特徴とする。

20

【0030】

一例として、交流電源として16.7Hzと50Hzの2種類を持つ路線を走行する鉄道車両に本発明を適用する場合を考えると、周波数の低い16.7Hzの交流電源に対してはハードウェアである共振フィルタにより直流電圧に重畳する交流電源電圧の2倍の周波数の脈動を抑制するとともに、周波数の高い50Hzの架線電圧に対しては、ソフトウェアであるビートレス制御により主電動機の電流に生じる脈動を抑制する。

30

【0031】

まず、直流ステージに共振フィルタ6が無い場合における直流電圧 E_d の脈動について以下に説明する。

【0032】

交流車の直流電圧 E_d の脈動は、コンバータ5の整流に起因するものと、インバータ9の電圧変換に起因するものがある。

【0033】

コンバータ5の整流に起因する脈動は、単相交流の整流により発生するものなので、当該脈動の主な周波数帯は架線電圧の2倍の周波数となる。このときの直流電圧 E_d の脈動とビートレス制御に必要な平滑コンデンサ8の静電容量との関係を数(1)に示す。

40

$$|\Delta E_{cf}| = \frac{P}{2 \cdot \omega c \cdot C_f \cdot E_{cf}} \quad \text{数(1)}$$

【0034】

ここで、 E_{cf} は直流電圧の脈動幅、 P は車両駆動システムの最大電力、 c は架線電圧の角周波数、 C_f は平滑コンデンサ8の静電容量、 E_{cf} は直流電圧の直流分である。

50

【 0 0 3 5 】

数 (1) から分かるように、直流電圧の脈動幅 E_{cf} は架線電圧の交流周波数 c に反比例する。

【 0 0 3 6 】

一方でインバータの電圧変換に起因する脈動は、直流を三相交流に変換することにより発生するものなので、当該脈動の主な周波数帯はインバータの出力周波数の 6 倍の周波数となる。このときの直流電圧の脈動とビートレス制御に必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量の関係を数 (2) に示す。

$$|\Delta E_{cf}| = \frac{P}{6 \cdot \omega_i \cdot C_f \cdot E_{cf}} \quad \text{数 (2)}$$

10

【 0 0 3 7 】

ここで、 i はインバータの出力電力が最大となる点における角周波数である。直流ステージに共振フィルタ 6 を持たないシステムでは、インバータのビートレス制御によりインバータの交流出力電圧の脈動を抑制する必要があるため、数 (1) と数 (2) に示された平滑コンデンサの静電容量 C_f を有する必要がある。そのため、交流架線が 2 種類の路線、例えば交流架線の周波数が 16.7 Hz と 50 Hz の場合では、下記の 3 つの直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制する必要がある。

20

- (a) 架線周波数 16.7 Hz の場合のコンバータ 5 の整流に起因する直流電圧脈動
- (b) 架線周波数 50 Hz の場合のコンバータ 5 の整流に起因する直流電圧脈動
- (c) インバータ動作における直流電圧脈動が最大となる条件での直流電圧脈動

ここで、インバータ動作における直流電圧脈動が最大となる条件とは、インバータ 9 の出力電圧が最大となる場合である。鉄道車両のインバータ装置は、電圧利用効率を高くするために、定格速度の半分程度に対応するインバータ周波数 F_i で出力電圧を飽和させ、それ以上の速度ではインバータ周波数 F_i のみを制御する。この出力電圧が飽和する速度を、 V/f 終端速度といい、この終端速度よりも高い速度においてはインバータの出力電力が最大となり、直流電圧の脈動幅 E_{cf} も最大となる。

30

【 0 0 3 8 】

このときにビートレス制御に必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f について以下に説明する。

【 0 0 3 9 】

直流電圧 E_d に重畳する脈動率を k として、コンバータ動作により発生する脈動幅を E_{cf} 以下としたい場合のビートレス制御に必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f は数 (3) となる。

$$|\Delta E_{cf}| = k \cdot E_{cf} > \frac{P}{2 \cdot \omega_c \cdot C_f \cdot E_{cf}}$$

40

$$C_f > \frac{P}{2 \cdot \omega_c \cdot k \cdot E_{cf}^2} \quad \text{数 (3)}$$

【 0 0 4 0 】

また、インバータ動作により発生する脈動幅を E_{cf} 以下にしたい場合のビートレス制御に必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f は数 (4) となる。

50

$$|\Delta E_{cf}| = k \cdot E_{cf} > \frac{P}{6 \cdot \omega_i \cdot C_f \cdot E_{cf}}$$

$$C_f > \frac{P}{6 \cdot \omega_i \cdot k \cdot E_{cf}^2} \quad \text{数 (4)}$$

【 0 0 4 1 】

例えば、直流ステージに共振フィルタ 6 が接続されていない車両駆動システムで、 $P = 1630 \text{ kW}$ 、 $E_{cf} = 2400 \text{ V}$ 、 $k < 0.04$ となる条件について検討した場合、上記した3つの直流電圧脈動 (a) ~ (c) に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要な平滑コンデンサの静電容量 C_f は下記のようになる。

10

(a) 架線周波数が 16.7 Hz の場合、数 (3) における架線周波数 $\omega = 2 \times 16.7 \text{ rad/s}$ となるため、架線周波数が 16.7 Hz の場合のコンバータ 5 の整流に起因する直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要となる平滑コンデンサ 8 の静電容量は、 $C_f > 28800 \mu\text{F}$ となる。

20

(b) 架線周波数が 50 Hz の場合、数 (3) における架線周波数 $\omega = 2 \times 50 \text{ rad/s}$ となるため、架線周波数が 50 Hz の場合のコンバータ 5 の整流に起因する直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要となる平滑コンデンサ 8 の静電容量は、 $C_f > 9600 \mu\text{F}$ となる。

(c) インバータ動作における直流電圧脈動が最大となる場合、 V/f 終端の出力電力が最大になる点で、インバータ動作による直流電圧脈動 E_{cf} は最も大きくなり、数 (4) におけるインバータ動作周波数 F_i が 50 Hz 、各周波数 $\omega_i = 2 \times 50 \text{ rad/s}$ となるため、インバータ動作による直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要となる平滑コンデンサの静電容量は、 $C_f > 3200 \mu\text{F}$ となる。

30

【 0 0 4 2 】

上述した通り、周波数が低い 16.7 Hz の交流電圧をコンバータで直流電圧へ変換する際に発生する直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f が最も大きく、つづいて周波数 50 Hz の交流電圧をコンバータで直流電圧へ変換する際に発生する直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f が大きく、インバータ動作により発生する直流電圧脈動が最大となる条件における直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f が最も小さくなる。

40

【 0 0 4 3 】

この直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要となる、電源周波数と平滑コンデンサ 8 の静電容量の関係を図 4 に示す。横軸が電源周波数で、縦軸が平滑コンデンサ 8 の静電容量である。同図は数 (3) をもとに、直流電圧に重畳する脈動成分に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要となる平滑コンデンサの静電容量を試算したものである。計算条件は上述の (a) と (b) の値を用いた。

【 0 0 4 4 】

50

この結果より、コンバータ動作により発生する脈動を、ビートレス制御を用いて抑制するために必要となる平滑コンデンサ 8 の静電容量は、電源の周波数に対して反比例の関係にあることがわかる。そのため、交流架線の周波数が低い 16.7 Hz の 2 倍の周波数（低周波数）に対しては、共振フィルタ 6 の共振特性を合わせることで、直流電圧の脈動を抑制する。一方で、交流架線の周波数が高い 50 Hz の 2 倍の周波数（高周波数）に対しては、ビートレス制御を適用することで直流電圧の脈動 Ecf をインバータ出力側の主電動機 11 に伝えないようにする。このように、共振フィルタ 6 とビートレス制御機能を備え、共振フィルタ 6 の共振特性を最も周波数の低い直流電圧脈動と一致させることで、図 4 に示すように、平滑コンデンサ 8 に必要とされる静電容量を約 1/3 以下に抑えることができる。

10

【0045】

ここで、ビートレス制御に必要な静電容量は、平滑コンデンサ 8 と共振フィルタ 6 の共振コンデンサ 6b の静電容量から分担できるため、共振コンデンサ 6b に必要な静電容量は数(5)となる。

$$C_{lc} > \frac{P}{2 \cdot \omega c \cdot k \cdot E_{cf}^2} - \frac{P}{6 \cdot \omega i \cdot k \cdot E_{cf}^2} \quad \text{数(5)}$$

【0046】

ここで C_{lc} は共振コンデンサ 6b の静電容量である。

20

【0047】

さらに、共振リアクトル 6a のインダクタンスおよび共振コンデンサ 6b の静電容量の関係は、共振フィルタ 6 の共振点を架線周波数 16.7 Hz の 2 倍に定めればよいため、数(6)の関係を満たせばよい。

$$\omega c = \frac{1}{\sqrt{L_{lc} \cdot C_{lc}}} \quad \text{数(6)}$$

【0048】

ここで L_{lc} は共振リアクトル 6a のインダクタンスである。

30

【0049】

よって本実施例における共振リアクトル 6a のインダクタンスは、数(6)を展開して数(7)により定まる。

$$L_{lc} = \frac{1}{\omega c^2 \cdot C_{lc}} \quad \text{数(7)}$$

【0050】

上述の構成とすることにより、平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f が定まれば、共振コンデンサ 6b の静電容量 C_{lc} と共振リアクトル 6a のインダクタンス L_{lc} を定めることができ、複数周波数を電源とする車両駆動システムの装置容積と重量の小型化、最適化ができる。

40

なお、架線周波数が 16.7 Hz の場合のコンバータ 5 の整流に起因する直流電圧脈動に対して、ビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要となる平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f > 28800 μF は、架線周波数 16.7 Hz の 2 倍の脈動成分を抑制するために必要な共振コンデンサ 6b の静電容量や、50 Hz の 2 倍の脈動成分に対してビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f > 9600 μF と比較して非常に大きい。そのため、架線周波数 16.7 Hz の 2 倍の脈動成分を抑制するために必要な共振コン

50

デンサ 6 b の静電容量と、50 Hz の 2 倍の脈動成分に対してビートレス制御を用いてインバータの交流出力電圧の脈動を抑制するために必要な平滑コンデンサ 8 の静電容量 $C_f > 9600 \mu F$ をそれぞれ備えた方が、システム全体として必要なコンデンサの静電容量を小さくすることができる。

【0051】

また、コンバータ 5 ないしインバータ 9 に短絡故障が起きた際に、故障箇所には平滑コンデンサ 8 に蓄えられている電荷が放電され故障箇所に事故電流が流れることになるが、上述の構成により、平滑コンデンサの静電容量を小さくできるため電流を抑制でき、装置の二次破壊を防止することができる。

【実施例 2】

【0052】

本発明における第 2 の実施例を図 2 を用いて説明する。図 2 に本実施例の構成を示す。

【0053】

同図における図 1 と同一の箇所は同じ符号で表現しており、その部分の説明は省略する。

【0054】

同図の 1 2 は共振フィルタを示しており、共振フィルタ 1 2 は、共振リアクトル 1 2 a、共振リアクトル 1 2 a と直列接続された共振コンデンサ 1 2 b、共振リアクトル 1 2 a と並列接続された接触器 1 2 c で構成される。

【0055】

共振フィルタ回路 1 2 は実施例 1 の共振フィルタ回路 6 に対して、外部から投入される投入開放指令に従い接触器 1 2 c を投入することにより、共振フィルタのリアクトルを短絡できるという特長を有する。

【0056】

本実施例における車両駆動システムは、2 種類以上の電源周波数を持つ路線に乗り入れる鉄道車両において、直流電圧に重畳する電源周波数の 2 倍の周波数の脈動に起因して主電動機 1 1 の電流に現れるビート現象を抑制するために、共振フィルタ回路 1 2 と、ビートレス制御器 2 0 5 の両方を備えている点では、実施例 1 と同一であるが、共振フィルタ 1 2 の構成部品として、共振リアクトル 1 2 a と共振コンデンサ 1 2 b の他に、接触器 1 2 c が含まれている。

【0057】

本実施例では、交流電源の電源周波数に応じて直流ステージ電圧の脈動抑制の方式を切り替える。共振フィルタ 1 2 の共振周波数は、実施例 1 と同様に、複数の交流電源の中で、一番低い周波数の 2 倍に合わせて共振フィルタ 1 2 (共振リアクトル 1 2 a と共振コンデンサ 1 2 b の直列接続体) の共振周波数を定めて脈動抑制を行い、それ以外の交流電源の周波数については、ビートレス制御器 2 0 5 により抑制する。

【0058】

ビートレス制御器 2 0 5 は電圧検出器 7 により測定された平滑コンデンサ 8 の電圧に重畳する脈動の周波数により、共振フィルタ 1 2 による脈動抑制とビートレス制御による抑制を切り替える。

【0059】

接触器 1 2 c が投入されている状態で電圧検出器 7 により共振フィルタ 1 2 の共振周波数と同一の脈動を検出した場合、接触器の開放指令がビートレス制御器 2 0 5 より出力され、共振フィルタ 1 2 の接触器 1 2 c が開放状態になり、共振フィルタ 1 2 により直流ステージの脈動を抑制する。また、この場合にはビートレス制御は不要となるため、ビートレス制御を停止させても良いが、ビートレス制御を動作させたままにしても良い。

【0060】

一方で、接触器 1 2 c が開放されている状態で電圧検出器 7 により共振フィルタ 1 2 の共振周波数以外の脈動を検出した場合、接触器の投入指令がビートレス制御器 2 0 5 より出力され、共振フィルタ 1 2 の接触器 1 2 c が投入されて、ビートレス制御により直流ス

10

20

30

40

50

ページの脈動を抑制する。このとき、接触器 12c が投入されることで、共振リアクトル 12a の部分が短絡されるため、共振コンデンサ 12b を直流ステージの平滑コンデンサとして用いることができる。

【0061】

本実施例は、実施例 1 と比較して、直流電圧に重畳する脈動を抑制するために必要となる平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f が異なる。つまり、本実施例を適用することで、共振コンデンサ 12b を平滑コンデンサの一部として利用できるため、直流電圧の脈動 E_cf を抑えるために必要となる平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f を小さくすることができ、装置を小型化することができる。またビートレス制御において共振リアクトル 6a で発生する損失を低減できる。

10

【0062】

本実施例では、平滑コンデンサの電圧に基づいてビートレス制御器 205 が接触器 12c の投入開放及びビートレス制御の動作停止を制御する形態を示したが、実施例 1 と同様に、電圧検出器 3 により検知された電圧、または位置検出手段により識別された電源周波数に基づいて、接触器 12c の投入開放及びビートレス制御の動作停止を制御しても良い。

この場合、共振フィルタ 12 の共振周波数と一致する周波数の交流電源から電力供給を受けていると判断した場合には、接触器の開放指令が出力され、共振フィルタ 12 の接触器 12c が開放状態になり、共振フィルタ 12 により直流ステージの脈動を抑制する。また、共振フィルタ 12 の共振周波数とは異なる周波数の交流電源から電力供給を受けていると判断した場合には、接触器の投入指令が出力され、共振フィルタ 12 の接触器 12c が投入されて、ビートレス制御により直流ステージの脈動を抑制する。

20

【0063】

なお、本実施例では、コンバータ制御装置 100 内に、平滑コンデンサ 8 の電圧が共振フィルタ 12 の共振周波数と同一か否かを判断し、当該判断結果に基づいて、接触器 12c へ投入開放の制御指令を出力し、インバータ制御装置 200 内のビートレス制御器 205 へビートレス制御の開始停止の制御指令を出力するようにしても良い。

【実施例 3】

【0064】

本発明における第 3 の実施例を図 3 を用いて説明する。図 3 に本実施例の構成を示す。

30

【0065】

同図における図 1 と同一の箇所は同じ符号で表現しており、実施例 1 と同様の機能を有するためその部分の説明は省略する。

【0066】

同図の共振フィルタ 13 は、共振リアクトル 13a、共振リアクトル 13a と直列接続された共振コンデンサ 13b、及び共振リアクトル 13a と更に直列接続された接触器 13c を備え、コンバータ制御装置 100 は、故障検出器 110 を備え、インバータ制御装置 200 は、出力調整器 208 を備えている。

【0067】

共振フィルタ回路 13 は実施例 1 の共振フィルタ回路 6 に対して、外部から入力される投入開放指令に従い、接触器 13c の投入と開放を自在に制御できる特徴を有する。なお、共振フィルタ 13 が正常動作しているときには共振フィルタ回路 13 の接触器 13c は投入状態となっている。

40

【0068】

本実施例における車両駆動システムは、共振フィルタ回路 13 の共振リアクトル 13a ないし共振コンデンサ 13b が故障した際に、故障検出器 110 にて故障状態を検出する。その検出方法は、電圧検出器 7 より検出した直流電圧 E_d より、共振フィルタ回路の共振周波数を検出することで判別する。

【0069】

電圧検出器 7 より共振フィルタ 13 の共振周波数以外の脈動を検出した場合、もしくは

50

、実施例 1 に記載された電源周波数の識別機能により周波数が最も低い電源から電力供給を受けていると判断した場合には、ビートレス制御を実行し、ビートレス制御器は直流電圧振動に伴う主電動機 11 のビート現象を抑制するためのビートレス制御指令 S_i を PWM 制御器 207 に対して出力する。

【0070】

一方、実施例 1 に記載された電源周波数の識別機能により周波数が最も低い電源から電力供給を受けていると判断した場合には、ビートレス制御を停止させて、共振フィルタ 13 により直流電圧に重畳する脈動を抑制する。ここで、ビートレス制御を停止させて、共振フィルタ 13 により直流ステージの脈動を抑制しているときに、電圧検出器 7 より共振フィルタ回路の共振周波数を検出したときは、共振フィルタ回路 13 に故障が発生したと判断し、故障検出器 110 より、共振フィルタ回路 13 の接触器 13c に対して、接触器開放指令を出力する。これにより故障した共振フィルタ回路 13 を回路から切り離すことで、故障による影響を他の回路に与えないようにする。それと同時に、ビートレス制御器 205 と出力調整器 208 に故障検知情報を出力する。

【0071】

ビートレス制御器 205 は、共振フィルタ 13 が正常動作しているときには停止しており、故障検知情報を受信したときに動作をして、直流電圧振動に伴う主電動機 11 のビート現象を抑制するためのビートレス制御指令 S_i を PWM 制御器 207 に対して出力する。

【0072】

共振フィルタ 13 を設置している車両駆動システムにおいて、共振フィルタ 13 が故障して、接触器 13c によりそれを回路から切り離した場合に、平滑コンデンサ 8 の静電容量が不足するため、制御による全負荷での振動抑制は困難となる。一方で、直流電圧 E_d の振動は、平滑コンデンサ 8 に流れる電流に比例することから、車両の運転速度を低くして主電動機 11 の負荷を下げれば、平滑コンデンサ 8 の電流もそれに比例して小さくなるため、直流電圧の振動を小さくでき、制御による主電動機 11 のビート現象抑制も可能となる。そこで故障検出時は、出力調整器 208 に故障検知情報を入力して、電流指令を絞ることで、主電動機 11 に流れる電流を少なくでき、ビートレス制御によるビート現象抑制が可能となるため、共振フィルタ故障時における車両の継続運転が可能となる。

【0073】

本実施例によると、他の実施例と同様に、直流電圧の脈動 E_{cf} を抑えるために必要となる平滑コンデンサ 8 の静電容量 C_f を小さくすることができ、装置を小型化することができることに加えて、故障した共振フィルタ回路 13 を回路から切り離すことで、故障による影響を他の回路に与えないようにすることができる。更に、共振フィルタ回路 13 の故障検出時にビートレス制御を実行することで、共振フィルタ故障が発生した場合であっても車両の継続運転が可能となる。

【0074】

本実施例では、故障検出器 110 をコンバータ制御装置 100 内に備える形態を説明したが、故障検出器 110 はインバータ制御装置 200 内に設けることもできる。

【符号の説明】

【0075】

- 1 集電装置
- 2 主変圧器
- 3 電圧検出器
- 4 電流検出器
- 5 コンバータ（第一の電力変換手段）
- 5 a、5 b、5 c、5 d スイッチング素子

10

20

30

40

50

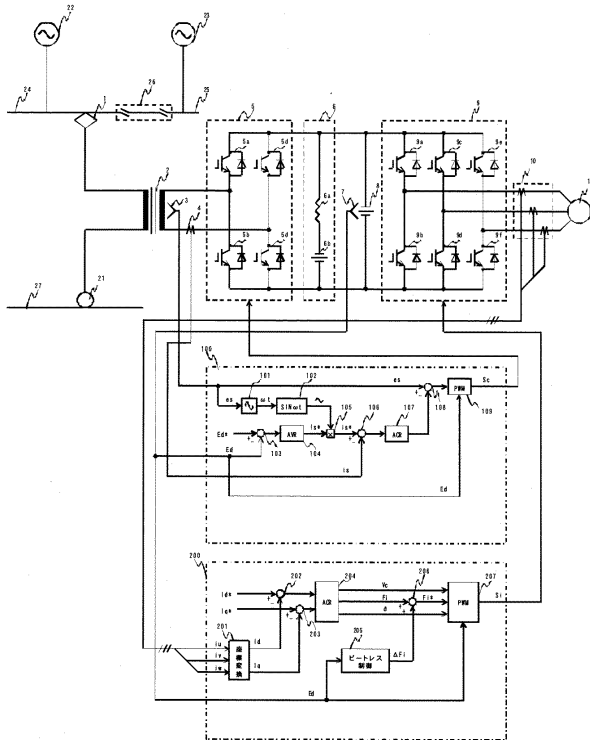
6	共振フィルタ	
6 a	共振リアクトル	
6 b	共振コンデンサ	
7	電圧検出器	
8	平滑コンデンサ	
9	インバータ(第二の電力変換手段)	
9 a、9 b、9 c、9 d、9 e、9 f	スイッチング素子	
1 0	電流検出器	
1 1	主電動機	
1 2	共振フィルタ	10
1 2 a	共振リアクトル	
1 2 b	共振コンデンサ	
1 2 c	接触器	
1 3	共振フィルタ	
1 3 a	共振リアクトル	
1 3 b	共振コンデンサ	
1 3 c	接触器	
2 1	車輪	
2 2、2 3	交流電源	
2 4、2 5	電車線	20
2 6	無電化区間	
2 7	軌道	
1 0 0	コンバータ制御装置	
1 0 1	電源位相検出器	
1 0 2	正弦波発生器	
1 0 3	減算器	
1 0 4	電圧制御器	
1 0 5	乗算器	
1 0 6	減算器	
1 0 7	電流制御器	30
1 0 8	減算器	
1 0 9	P W M制御器	
1 1 0	故障検出器	
2 0 0	インバータ制御装置	
2 0 1	座標変換器	
2 0 2	減算器	
2 0 3	減算器	
2 0 4	電流制御器	
2 0 5	ビートレス制御器	
2 0 6	加算器	40
2 0 7	P W M制御器	
2 0 8	出力調整器	
e s	二次電圧	
e c	交流電圧指令	
E d	直流電圧	
E d *	直流電圧指令	
F i	出力周波数	
i d	d軸電流	
i q	q軸電流	50

- i s 二次電流
- i u u相電流
- i v v相電流
- i w w相電流
- i d * d軸電流指令
- i q * q軸電流指令
- i s * 二次電流指令
- I s * 二次電流実効値指令
- S c コンバータパルス指令
- S i インバータパルス指令
- S i ビートレス制御指令
- 出力偏角
- 電源角周波数
- t 時間
- P 電力変換装置の最大電力
- E c f 直流電圧の直流分
- E c f 直流電圧の脈動分
- C f 平滑コンデンサの静電容量
- c 架線角周波数
- i 出力角周波数
- k 脈動率
- L l c 共振リアクトルのインダクタンス
- C l c 共振コンデンサの静電容量

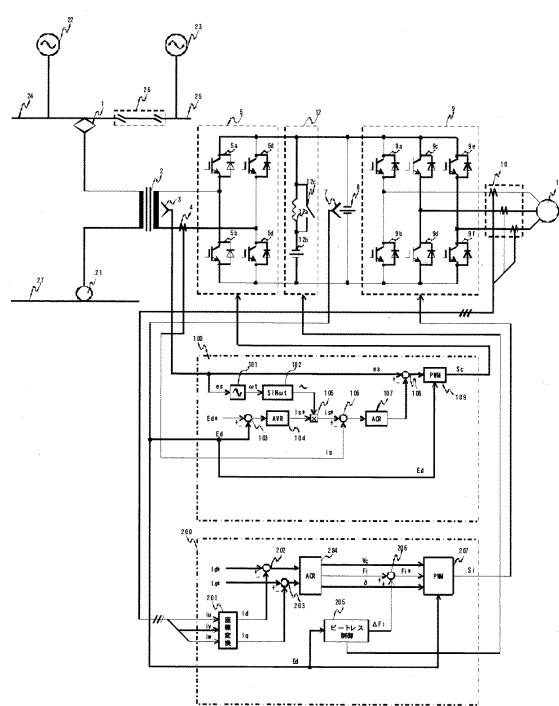
10

20

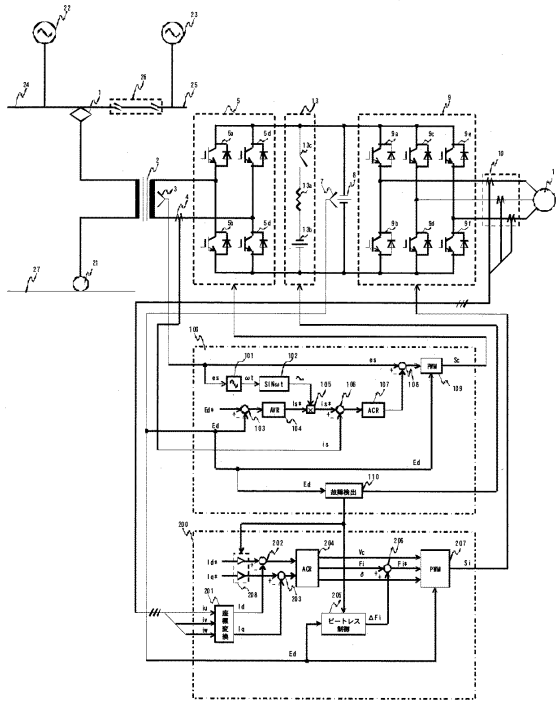
【図1】



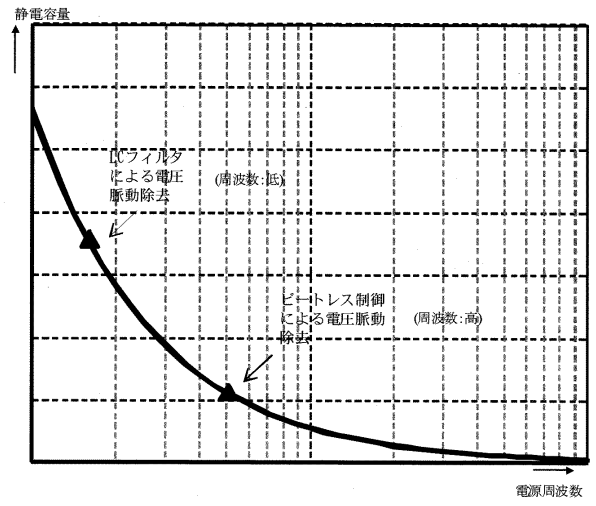
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

- (72)発明者 立原 周一
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
- (72)発明者 綾田 昌高
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 橋本 敏行

- (56)参考文献 特開2012-080659(JP,A)
特開2000-350301(JP,A)
特開平06-233538(JP,A)
再公表特許第2009/101673(JP,A1)
米国特許第05886889(US,A)
米国特許第05504667(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60L1/00-3/12
7/00-13/00
15/00-15/42
H02M1/00-1/44
7/00-7/98