

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6575137号
(P6575137)

(45) 発行日 令和1年9月18日 (2019.9.18)

(24) 登録日 令和1年8月30日 (2019.8.30)

(51) Int. Cl.

F I

H 0 5 B 41/24 (2006.01)

H 0 5 B 41/24

G 0 3 B 21/14 (2006.01)

G 0 3 B 21/14

A

G 0 3 B 21/00 (2006.01)

G 0 3 B 21/00

D

請求項の数 10 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2015-101765 (P2015-101765)
 (22) 出願日 平成27年5月19日 (2015.5.19)
 (65) 公開番号 特開2016-219205 (P2016-219205A)
 (43) 公開日 平成28年12月22日 (2016.12.22)
 審査請求日 平成30年4月13日 (2018.4.13)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
 (74) 代理人 100149548
 弁理士 松沼 泰史
 (74) 代理人 100140774
 弁理士 大浜 一徳
 (74) 代理人 100114937
 弁理士 松本 裕幸
 (74) 代理人 100196058
 弁理士 佐藤 彰雄
 (74) 代理人 100064908
 弁理士 志賀 正武
 (74) 代理人 100146835
 弁理士 佐伯 義文

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放電灯駆動装置、光源装置、プロジェクター、および放電灯駆動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電極を有する放電灯に駆動電流を供給する放電灯駆動部と、
 前記放電灯駆動部を制御する制御部と、
 前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部と、
 を備え、

前記制御部は、前記放電灯に第1周波数を有する交流電流が供給される第1期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第2期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、

前記第1周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、

前記第1期間は、前記放電灯に供給される交流電流の前記第1周波数が互いに異なる交流期間を複数有し、

前記第1期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の前記第1周波数が小さくなり、

前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、複数の前記交流期間における前記第1周波数のそれぞれを変化させることを特徴とする放電灯駆動装置。

【請求項2】

電極を有する放電灯に駆動電流を供給する放電灯駆動部と、

前記放電灯駆動部を制御する制御部と、

10

20

前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部と、
を備え、

前記制御部は、前記放電灯に第1周波数を有する交流電流が供給される第1期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第2期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、

前記第1周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、

前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第1周波数を変化させ、

前記制御部は、検出された前記電極間電圧が第1所定値よりも大きい場合、または前記放電灯に供給される前記駆動電力が第2所定値よりも小さい場合、前記第2期間の代わりに、第3期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、

前記第3期間は、前記放電灯に直流電流が供給される第1直流期間、および前記第1直流期間において前記放電灯に供給される前記直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が前記放電灯に供給される第2直流期間を交互に含み、

前記第1直流期間の長さは、前記第2直流期間の長さよりも大きく、

前記第2直流期間の長さは、0.5msよりも小さいことを特徴とする放電灯駆動装置

。

【請求項3】

前記第1期間は、前記放電灯に供給される交流電流の周波数が互いに異なる交流期間を複数有し、

前記第1期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の周波数が小さくなる、請求項2に記載の放電灯駆動装置。

【請求項4】

前記制御部は、検出された前記電極間電圧に基づいて、前記第1周波数を設定し、

前記第1周波数は、前記電極間電圧が大きいほど大きく設定される、請求項1から3のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置。

【請求項5】

前記制御部は、前記駆動電力に基づいて、前記第1周波数を設定し、

前記第1周波数は、前記駆動電力が小さいほど大きく設定される、請求項1から4のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置。

【請求項6】

前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第2期間の長さを変化させる、請求項1から5のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置。

【請求項7】

光を射出する放電灯と、

請求項1から6のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置と、

を備えることを特徴とする光源装置。

【請求項8】

請求項7に記載の光源装置と、

前記光源装置から射出される光を画像信号に応じて変調する光変調装置と、

前記光変調装置により変調された光を投射する投射光学系と、

を備えることを特徴とするプロジェクター。

【請求項9】

電極を有する放電灯に駆動電流を供給して、前記放電灯を駆動する放電灯駆動方法であって、

前記放電灯に第1周波数を有する交流電流が供給される第1期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第2期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられ、

前記第1周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、

前記第1期間は、前記放電灯に供給される交流電流の前記第1周波数が互いに異なる交

10

20

30

40

50

流期間を複数有し、

前記第 1 期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の前記第 1 周波数が小さくなり、

検出された電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、複数の前記交流期間における前記第 1 周波数のそれぞれを変化させることを特徴とする放電灯駆動方法。

【請求項 10】

電極を有する放電灯に駆動電流を供給して、前記放電灯を駆動する放電灯駆動方法であって、

前記放電灯に第 1 周波数を有する交流電流が供給される第 1 期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第 2 期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられ、

前記第 1 周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、

検出された電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第 1 周波数を変化させ、

検出された前記電極間電圧が第 1 所定値よりも大きい場合、または前記放電灯に供給される前記駆動電力が第 2 所定値よりも小さい場合、前記第 2 期間の代わりに、第 3 期間が設けられるように前記放電灯を駆動し、

前記第 3 期間は、前記放電灯に直流電流が供給される第 1 直流期間、および前記第 1 直流期間において前記放電灯に供給される前記直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が前記放電灯に供給される第 2 直流期間を交互に含み、

前記第 1 直流期間の長さは、前記第 2 直流期間の長さよりも大きく、

前記第 2 直流期間の長さは、0.5 ms よりも小さいことを特徴とする放電灯駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放電灯駆動装置、光源装置、プロジェクター、および放電灯駆動方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献 1 には、高圧放電ランプに供給する交流電流の周波数を、第 1 の周波数と、第 1 の周波数よりも大きい第 2 の周波数とに切り替える構成が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2011-124184 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

例えば、特許文献 1 では、電極の先端部の損耗を抑制することを目的として、高圧放電ランプ（放電灯）に第 1 の周波数の交流電流が半周期の長さで供給される期間が設けられている。しかし、この方法では、例えば、高圧放電ランプが劣化するのに伴って、電極の先端部の損耗を十分に抑制できない問題があった。したがって、高圧放電ランプの寿命を十分に向上できない問題があった。

【0005】

本発明の一つの態様は、上記問題点に鑑みて成されたものであって、放電灯の寿命を向上できる放電灯駆動装置、そのような放電灯駆動装置を備えた光源装置、およびそのような光源装置を備えたプロジェクターを提供することを目的の一つとする。また、本発明の一つの態様は、放電灯の寿命を向上できる放電灯駆動方法を提供することを目的の一つとする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の放電灯駆動装置の一つの態様は、電極を有する放電灯に駆動電流を供給する放電灯駆動部と、前記放電灯駆動部を制御する制御部と、前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部と、を備え、前記制御部は、前記放電灯に第1周波数を有する交流電流が供給される第1期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第2期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、前記第1周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、前記第1期間は、前記放電灯に供給される交流電流の前記第1周波数が互いに異なる交流期間を複数有し、前記第1期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の前記第1周波数が小さくなり、前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、複数の前記交流期間における前記第1周波数のそれぞれを変化させることを特徴とする。

10

本発明の放電灯駆動装置の一つの態様は、電極を有する放電灯に駆動電流を供給する放電灯駆動部と、前記放電灯駆動部を制御する制御部と、前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部と、を備え、前記制御部は、前記放電灯に第1周波数を有する交流電流が供給される第1期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第2期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、前記第1周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第1周波数を変化させることを特徴とする。

20

【0007】

例えば、放電灯が劣化して電極間電圧が大きくなる場合および駆動電力が小さくなる場合、放電灯に供給される駆動電流が小さくなる。そのため、アーク放電の輝点が不安定になりやすく、移動しやすい。アーク放電の輝点が移動すると、電極における溶融する位置および溶融量が変化する。これにより、電極の形状が不安定になり、消耗しやすくなる虞があった。したがって、放電灯の寿命を十分に向上できない虞があった。

【0008】

これに対して、本発明の放電灯駆動装置の一つの態様によれば、制御部は、電極間電圧および駆動電力の少なくとも一方に基づいて、第1周波数を設定する。そのため、駆動電流が小さくなるほど、第1周波数を大きくすることで、アーク放電の輝点を安定させやすくできる。これにより、電極の消耗を抑制でき、放電灯の寿命を向上できる。

30

【0009】

また、第1周波数は、互いに異なる複数の周波数を含むため、第1期間において電極に加えられる熱負荷を変動させることができる。そのため、電極の突起の形状を維持しやすい。

【0010】

前記制御部は、検出された前記電極間電圧に基づいて、前記第1周波数を設定し、前記第1周波数は、前記電極間電圧が大きいほど大きく設定される構成としてもよい。

この構成によれば、放電灯が劣化した場合に、アーク放電の輝点を安定させやすい。

40

【0011】

前記制御部は、前記駆動電力に基づいて、前記第1周波数を設定し、前記第1周波数は、前記駆動電力が小さいほど大きく設定される構成としてもよい。

この構成によれば、駆動電力が小さくなった場合に、アーク放電の輝点を安定させやすい。

【0012】

前記第1期間は、前記放電灯に供給される交流電流の周波数が互いに異なる交流期間を複数有し、前記第1期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の周波数が小さくなる構成としてもよい。

この構成によれば、第1期間と第2期間とが切り替えられる際に、電極に加えられる熱

50

負荷の変動をより大きくできる。

【 0 0 1 3 】

前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第 2 期間の長さを変化させる構成としてもよい。

この構成によれば、放電灯が劣化した場合であっても電極の突起の形状を維持しやすい。また、この構成によれば、電極に加えられる熱負荷が過剰に大きくなることを抑制しやすい。

【 0 0 1 4 】

前記制御部は、検出された前記電極間電圧が第 1 所定値よりも大きい場合、または前記放電灯に供給される駆動電力が第 2 所定値よりも小さい場合、前記第 2 期間の代わりに、第 3 期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、前記第 3 期間は、前記放電灯に直流電流が供給される第 1 直流期間、および前記第 1 直流期間において前記放電灯に供給される前記直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が前記放電灯に供給される第 2 直流期間を交互に含み、前記第 1 直流期間の長さは、前記第 2 直流期間の長さよりも大きく、前記第 2 直流期間の長さは、 0.5 ms よりも小さい構成としてもよい。

この構成によれば、検出された電極間電圧が第 1 所定値よりも大きい場合、または放電灯に供給される駆動電力が第 2 所定値よりも小さい場合に、互いに極性が異なる第 1 直流期間および第 2 直流期間を有する第 3 期間が設けられる。そのため、一方の電極が加熱する際に、他方の電極の温度が低下し過ぎることを抑制できる。

【 0 0 1 5 】

本発明の光源装置の一つの態様は、光を射出する放電灯と、上記の放電灯駆動装置と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

本発明の光源装置の一つの態様によれば、上記の放電灯駆動装置を備えるため、放電灯の寿命を向上できる。

【 0 0 1 7 】

本発明のプロジェクターの一つの態様は、上記の光源装置と、前記光源装置から射出される光を画像信号に応じて変調する光変調装置と、前記光変調装置により変調された光を投射する投射光学系と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

本発明のプロジェクターの一つの態様によれば、上記の光源装置を備えるため、放電灯の寿命を向上できる。

【 0 0 1 9 】

本発明の放電灯駆動方法の一つの態様は、電極を有する放電灯に駆動電流を供給して、前記放電灯を駆動する放電灯駆動方法であって、前記放電灯に第 1 周波数を有する交流電流が供給される第 1 期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第 2 期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられ、前記第 1 周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、前記第 1 期間は、前記放電灯に供給される交流電流の前記第 1 周波数が互いに異なる交流期間を複数有し、前記第 1 期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の前記第 1 周波数が小さくなり、検出された電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、複数の前記交流期間における前記第 1 周波数のそれぞれを変化させることを特徴とする。

本発明の放電灯駆動方法の一つの態様は、電極を有する放電灯に駆動電流を供給して、前記放電灯を駆動する放電灯駆動方法であって、前記放電灯に第 1 周波数を有する交流電流が供給される第 1 期間と、前記放電灯に直流電流が供給される第 2 期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられ、前記第 1 周波数は、互いに異なる複数の周波数を含み、検出された電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第 1 周波数を変化させることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

本発明の放電灯駆動方法の一つの態様によれば、上述したのと同様にして、放電灯の寿

10

20

30

40

50

命を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】第1実施形態のプロジェクターの概略構成図である。

【図2】第1実施形態における放電灯を示す図である。

【図3】第1実施形態のプロジェクターの各種構成要素を示すブロック図である。

【図4】第1実施形態の放電灯点灯装置の回路図である。

【図5】第1実施形態の制御部の一構成例を示すブロック図である。

【図6】放電灯の電極先端の突起の様子を示す図である。

【図7】第1実施形態における混合期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

10

【図8】第1実施形態におけるランプ電圧と第1周波数との関係の一例を示すグラフである。

【図9】第1実施形態における駆動電力と第1周波数との関係の一例を示すグラフである。

【図10】第2実施形態における混合期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

【図11】第2実施形態における制御部による放電灯駆動部の制御手順の一例を示すフローチャートである。

【図12】第3実施形態における放電灯に駆動電流が供給される期間の変化を示す模式図である。

【図13】第3実施形態における第4期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

20

【図14】第3実施形態における第5期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

【図15】第3実施形態における制御部による放電灯駆動部の制御手順の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態に係るプロジェクターについて説明する。

なお、本発明の範囲は、以下の実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で任意に変更可能である。また、以下の図面においては、各構成をわかりやすくするために、実際の構造と各構造における縮尺や数等を異ならせる場合がある。

30

【0023】

<第1実施形態>

図1に示すように、本実施形態のプロジェクター500は、光源装置200と、平行化レンズ305と、照明光学系310と、色分離光学系320と、3つの液晶ライトバルブ（光変調装置）330R、330G、330Bと、クロスダイクロイックプリズム340と、投射光学系350と、を備えている。

【0024】

光源装置200から射出された光は、平行化レンズ305を通過して照明光学系310に入射する。平行化レンズ305は、光源装置200からの光を平行化する。

【0025】

40

照明光学系310は、光源装置200から射出される光の照度を、液晶ライトバルブ330R、330G、330B上において均一化するように調整する。さらに、照明光学系310は、光源装置200から射出される光の偏光方向を一方向に揃える。その理由は、光源装置200から射出される光を液晶ライトバルブ330R、330G、330Bで有効に利用するためである。

【0026】

照度分布と偏光方向とが調整された光は、色分離光学系320に入射する。色分離光学系320は、入射光を赤色光（R）、緑色光（G）、青色光（B）の3つの色光に分離する。3つの色光は、各色光に対応付けられた液晶ライトバルブ330R、330G、330Bにより、映像信号に応じてそれぞれ変調される。液晶ライトバルブ330R、330

50

G, 330Bは、後述する液晶パネル560R, 560G, 560Bと、偏光板（図示せず）と、を備えている。偏光板は、液晶パネル560R, 560G, 560Bのそれぞれの光入射側および光射出側に配置される。

【0027】

変調された3つの色光は、クロスダイクロイックプリズム340により合成される。合成光は投射光学系350に入射する。投射光学系350は、入射光をスクリーン700（図3参照）に投射する。これにより、スクリーン700上に映像が表示される。なお、平行化レンズ305、照明光学系310、色分離光学系320、クロスダイクロイックプリズム340、投射光学系350の各々の構成としては、周知の構成を採用することができる。

10

【0028】

図2は、光源装置200の構成を示す断面図である。光源装置200は、光源ユニット210と、放電灯点灯装置（放電灯駆動装置）10と、を備えている。図2には、光源ユニット210の断面図が示されている。光源ユニット210は、主反射鏡112と、放電灯90と、副反射鏡113と、を備えている。

【0029】

放電灯点灯装置10は、放電灯90に駆動電流Iを供給して放電灯90を点灯させる。主反射鏡112は、放電灯90から放出された光を照射方向Dに向けて反射する。照射方向Dは、放電灯90の光軸AXと平行である。

【0030】

20

放電灯90の形状は、照射方向Dに沿って延びる棒状である。放電灯90の一方の端部を第1端部90e1とし、放電灯90の他方の端部を第2端部90e2とする。放電灯90の材料は、例えば、石英ガラス等の透光性材料である。放電灯90の中央部は球状に膨らんでおり、その内部は放電空間91である。放電空間91には、希ガス、金属ハロゲン化合物等を含む放電媒体であるガスが封入されている。

【0031】

放電空間91には、第1電極（電極）92および第2電極（電極）93の先端が突出している。第1電極92は、放電空間91の第1端部90e1側に配置されている。第2電極93は、放電空間91の第2端部90e2側に配置されている。第1電極92および第2電極93の形状は、光軸AXに沿って延びる棒状である。放電空間91には、第1電極92および第2電極93の電極先端部が、所定距離だけ離れて対向するように配置されている。第1電極92および第2電極93の材料は、例えば、タングステン等の金属である。

30

【0032】

放電灯90の第1端部90e1に、第1端子536が設けられている。第1端子536と第1電極92とは、放電灯90の内部を貫通する導電性部材534により電氣的に接続されている。同様に、放電灯90の第2端部90e2に、第2端子546が設けられている。第2端子546と第2電極93とは、放電灯90の内部を貫通する導電性部材544により電氣的に接続されている。第1端子536および第2端子546の材料は、例えば、タングステン等の金属である。導電性部材534, 544の材料としては、例えば、モリブデン箔が利用される。

40

【0033】

第1端子536および第2端子546は、放電灯点灯装置10に接続されている。放電灯点灯装置10は、第1端子536および第2端子546に、放電灯90を駆動するための駆動電流Iを供給する。その結果、第1電極92および第2電極93の間でアーク放電が起きる。アーク放電により発生した光（放電光）は、破線の矢印で示すように、放電位置から全方向に向かって放射される。

【0034】

主反射鏡112は、固定部材114により、放電灯90の第1端部90e1に固定されている。主反射鏡112は、放電光のうち、照射方向Dと反対側に向かって進む光を照射

50

方向Dに向かって反射する。主反射鏡112の反射面(放電灯90側の面)の形状は、放電光を照射方向Dに向かって反射できる範囲内において、特に限定されず、例えば、回転楕円形状であっても、回転放物線形状であってもよい。例えば、主反射鏡112の反射面の形状を回転放物線形状とした場合、主反射鏡112は、放電光を光軸AXに略平行な光に変換することができる。これにより、平行化レンズ305を省略することができる。

【0035】

副反射鏡113は、固定部材522により、放電灯90の第2端部90e2側に固定されている。副反射鏡113の反射面(放電灯90側の面)の形状は、放電空間91の第2端部90e2側の部分を囲む球面形状である。副反射鏡113は、放電光のうち、主反射鏡112が配置された側と反対側に向かって進む光を主反射鏡112に向かって反射する。これにより、放電空間91から放射される光の利用効率を高めることができる。

10

【0036】

固定部材114, 522の材料は、放電灯90からの発熱に耐え得る耐熱材料である範囲内において、特に限定されず、例えば、無機接着剤である。主反射鏡112および副反射鏡113と放電灯90との配置を固定する方法としては、主反射鏡112および副反射鏡113を放電灯90に固定する方法に限らず、任意の方法を採用できる。例えば、放電灯90と主反射鏡112とを、独立にプロジェクター500の筐体(図示せず)に固定してもよい。副反射鏡113についても同様である。

【0037】

以下、プロジェクター500の回路構成について説明する。

20

図3は、本実施形態のプロジェクター500の回路構成の一例を示す図である。プロジェクター500は、図1に示した光学系その他、画像信号変換部510と、直流電源装置80と、液晶パネル560R, 560G, 560Bと、画像処理装置570と、CPU(Central Processing Unit)580と、を備えている。

【0038】

画像信号変換部510は、外部から入力された画像信号502(輝度-色差信号やアナログRGB信号など)を所定のワード長のデジタルRGB信号に変換して画像信号512R, 512G, 512Bを生成し、画像処理装置570に供給する。

【0039】

画像処理装置570は、3つの画像信号512R, 512G, 512Bに対してそれぞれ画像処理を行う。画像処理装置570は、液晶パネル560R, 560G, 560Bをそれぞれ駆動するための駆動信号572R, 572G, 572Bを液晶パネル560R, 560G, 560Bに供給する。

30

【0040】

直流電源装置80は、外部の交流電源600から供給される交流電圧を一定の直流電圧に変換する。直流電源装置80は、トランス(図示しないが、直流電源装置80に含まれる)の2次側にある画像信号変換部510、画像処理装置570およびトランスの1次側にある放電灯点灯装置10に直流電圧を供給する。

【0041】

放電灯点灯装置10は、起動時に放電灯90の電極間に高電圧を発生し、絶縁破壊を生じさせて放電路を形成する。以後、放電灯点灯装置10は、放電灯90が放電を維持するための駆動電流Iを供給する。

40

【0042】

液晶パネル560R, 560G, 560Bは、前述した液晶ライトバルブ330R, 330G, 330Bにそれぞれ備えられている。液晶パネル560R, 560G, 560Bは、それぞれ駆動信号572R, 572G, 572Bに基づいて、前述した光学系を介して各液晶パネル560R, 560G, 560Bに入射される色光の透過率(輝度)を変調する。

【0043】

CPU580は、プロジェクター500の点灯開始から消灯に至るまでの各種の動作を

50

制御する。例えば、図 3 の例では、通信信号 5 8 2 を介して点灯命令や消灯命令を放電灯点灯装置 1 0 に出力する。CPU 5 8 0 は、放電灯点灯装置 1 0 から通信信号 5 8 4 を介して放電灯 9 0 の点灯情報を受け取る。

【 0 0 4 4 】

以下、放電灯点灯装置 1 0 の構成について説明する。

図 4 は、放電灯点灯装置 1 0 の回路構成の一例を示す図である。

放電灯点灯装置 1 0 は、図 4 に示すように、電力制御回路 2 0 と、極性反転回路 3 0 と、制御部 4 0 と、動作検出部 6 0 と、イグナイター回路 7 0 と、を備えている。

【 0 0 4 5 】

電力制御回路 2 0 は、放電灯 9 0 に供給する駆動電力を生成する。本実施形態においては、電力制御回路 2 0 は、直流電源装置 8 0 からの電圧を入力とし、入力電圧を降圧して直流電流 I_d を出力するダウンチョッパ回路で構成されている。

【 0 0 4 6 】

電力制御回路 2 0 は、スイッチ素子 2 1、ダイオード 2 2、コイル 2 3 およびコンデンサ 2 4 を含んで構成される。スイッチ素子 2 1 は、例えば、トランジスタで構成される。本実施形態においては、スイッチ素子 2 1 の一端は直流電源装置 8 0 の正電圧側に接続され、他端はダイオード 2 2 のカソード端子およびコイル 2 3 の一端に接続されている。

【 0 0 4 7 】

コイル 2 3 の他端にコンデンサ 2 4 の一端が接続され、コンデンサ 2 4 の他端はダイオード 2 2 のアノード端子および直流電源装置 8 0 の負電圧側に接続されている。スイッチ素子 2 1 の制御端子には、後述する制御部 4 0 から電流制御信号が入力されてスイッチ素子 2 1 の ON / OFF が制御される。電流制御信号には、例えば、PWM (Pulse Width Modulation) 制御信号が用いられてもよい。

【 0 0 4 8 】

スイッチ素子 2 1 が ON すると、コイル 2 3 に電流が流れ、コイル 2 3 にエネルギーが蓄えられる。その後、スイッチ素子 2 1 が OFF すると、コイル 2 3 に蓄えられたエネルギーがコンデンサ 2 4 とダイオード 2 2 とを通る経路で放出される。その結果、スイッチ素子 2 1 が ON する時間の割合に応じた直流電流 I_d が発生する。

【 0 0 4 9 】

極性反転回路 3 0 は、電力制御回路 2 0 から入力される直流電流 I_d を所定のタイミングで極性反転させる。これにより、極性反転回路 3 0 は、制御された時間だけ継続する直流である駆動電流 I 、もしくは、任意の周波数を持つ交流である駆動電流 I を生成し、出力する。本実施形態において、極性反転回路 3 0 は、インバータブリッジ回路 (フルブリッジ回路) で構成されている。

【 0 0 5 0 】

極性反転回路 3 0 は、例えば、トランジスタなどで構成される第 1 のスイッチ素子 3 1、第 2 のスイッチ素子 3 2、第 3 のスイッチ素子 3 3、および第 4 のスイッチ素子 3 4 を含んでいる。極性反転回路 3 0 は、直列接続された第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 2 のスイッチ素子 3 2 と、直列接続された第 3 のスイッチ素子 3 3 および第 4 のスイッチ素子 3 4 と、が互いに並列接続された構成を有する。第 1 のスイッチ素子 3 1、第 2 のスイッチ素子 3 2、第 3 のスイッチ素子 3 3、および第 4 のスイッチ素子 3 4 の制御端子には、それぞれ制御部 4 0 から極性反転制御信号が入力される。この極性反転制御信号に基づいて、第 1 のスイッチ素子 3 1、第 2 のスイッチ素子 3 2、第 3 のスイッチ素子 3 3 および第 4 のスイッチ素子 3 4 の ON / OFF 動作が制御される。

【 0 0 5 1 】

極性反転回路 3 0 においては、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 と、第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 と、を交互に ON / OFF させる動作が繰り返される。これにより、電力制御回路 2 0 から出力される直流電流 I_d の極性が交互に反転する。極性反転回路 3 0 は、第 1 のスイッチ素子 3 1 と第 2 のスイッチ

10

20

30

40

50

素子 3 2 との共通接続点、および第 3 のスイッチ素子 3 3 と第 4 のスイッチ素子 3 4 との共通接続点から、制御された時間だけ同一極性状態を継続する直流である駆動電流 I 、もしくは制御された周波数をもつ交流である駆動電流 I を生成し、出力する。

【 0 0 5 2 】

すなわち、極性反転回路 3 0 は、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 が ON のときには第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 が OFF であり、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 が OFF のときには第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 が ON であるように制御される。したがって、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 が ON のときには、コンデンサ 2 4 の一端から第 1 のスイッチ素子 3 1、放電灯 9 0、第 4 のスイッチ素子 3 4 の順に流れる駆動電流 I が発生する。第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 が ON のときには、コンデンサ 2 4 の一端から第 3 のスイッチ素子 3 3、放電灯 9 0、第 2 のスイッチ素子 3 2 の順に流れる駆動電流 I が発生する。

【 0 0 5 3 】

本実施形態において、電力制御回路 2 0 と極性反転回路 3 0 とを合わせた部分が放電灯駆動部 2 3 0 に対応する。すなわち、放電灯駆動部 2 3 0 は、放電灯 9 0 を駆動する駆動電流 I を放電灯 9 0 に供給する。

【 0 0 5 4 】

制御部 4 0 は、放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。図 4 の例では、制御部 4 0 は、電力制御回路 2 0 および極性反転回路 3 0 を制御することにより、駆動電流 I が同一極性を継続する保持時間、駆動電流 I の電流値（駆動電力の電力値）、周波数等のパラメータを制御する。制御部 4 0 は、極性反転回路 3 0 に対して、駆動電流 I の極性反転タイミングにより、駆動電流 I が同一極性で継続する保持時間、駆動電流 I の周波数等を制御する極性反転制御を行う。制御部 4 0 は、電力制御回路 2 0 に対して、出力される直流電流 I_d の電流値を制御する電流制御を行う。

【 0 0 5 5 】

本実施形態において制御部 4 0 は、交流駆動と、直流駆動と、混合駆動と、を実行可能である。交流駆動は、放電灯 9 0 に交流電流が供給される駆動である。直流駆動は、放電灯 9 0 に直流電流が供給される駆動である。混合駆動は、交流駆動と直流駆動とが交互に実行される駆動である。各放電灯駆動によって放電灯 9 0 に供給される駆動電流 I の駆動電流波形については、後段において詳述する。

【 0 0 5 6 】

制御部 4 0 の構成は、特に限定されない。本実施形態においては、制御部 4 0 は、システムコントローラ 4 1、電力制御回路コントローラ 4 2、および極性反転回路コントローラ 4 3 を含んで構成されている。なお、制御部 4 0 は、その一部または全てを半導体集積回路で構成してもよい。

【 0 0 5 7 】

システムコントローラ 4 1 は、電力制御回路コントローラ 4 2 および極性反転回路コントローラ 4 3 を制御することにより、電力制御回路 2 0 および極性反転回路 3 0 を制御する。システムコントローラ 4 1 は、動作検出部 6 0 が検出したランプ電圧（電極間電圧） V_{la} および駆動電流 I に基づき、電力制御回路コントローラ 4 2 および極性反転回路コントローラ 4 3 を制御してもよい。

【 0 0 5 8 】

本実施形態においては、システムコントローラ 4 1 には、記憶部 4 4 が接続されている。

システムコントローラ 4 1 は、記憶部 4 4 に格納された情報に基づき、電力制御回路 2 0 および極性反転回路 3 0 を制御してもよい。記憶部 4 4 には、例えば、駆動電流 I が同一極性で継続する保持時間、駆動電流 I の電流値、周波数、波形、変調パターン等の駆動パラメータに関する情報が格納されていてもよい。

【 0 0 5 9 】

電力制御回路コントローラ 42 は、システムコントローラ 41 からの制御信号に基づき、電力制御回路 20 へ電流制御信号を出力することにより、電力制御回路 20 を制御する。

【0060】

極性反転回路コントローラ 43 は、システムコントローラ 41 からの制御信号に基づき、極性反転回路 30 へ極性反転制御信号を出力することにより、極性反転回路 30 を制御する。

【0061】

制御部 40 は、専用回路を用いて実現され、上述した制御や後述する処理の各種制御を行うようにすることができる。これに対して、制御部 40 は、例えば、CPU が記憶部 44 に記憶された制御プログラムを実行することによりコンピュータとして機能し、これらの処理の各種制御を行うようにすることもできる。

10

【0062】

図 5 は、制御部 40 の他の構成例について説明するための図である。図 5 に示すように、制御部 40 は、制御プログラムにより、電力制御回路 20 を制御する電流制御手段 40-1、極性反転回路 30 を制御する極性反転制御手段 40-2 として機能するように構成されてもよい。

【0063】

図 4 に示した例では、制御部 40 は、放電灯点灯装置 10 の一部として構成されている。これに対して、制御部 40 の機能の一部を CPU 580 が担うように構成されていてもよい。

20

【0064】

動作検出部 60 は、本実施形態においては、放電灯 90 のランプ電圧 V_{1a} を検出して制御部 40 にランプ電圧情報を出力する電圧検出部を含む。また、動作検出部 60 は、駆動電流 I を検出して制御部 40 に駆動電流情報を出力する電流検出部などを含んでいてもよい。本実施形態においては、動作検出部 60 は、第 1 の抵抗 61、第 2 の抵抗 62 および第 3 の抵抗 63 を含んで構成されている。

【0065】

本実施形態において、動作検出部 60 の電圧検出部は、放電灯 90 と並列に、互いに直列接続された第 1 の抵抗 61 および第 2 の抵抗 62 で分圧した電圧によりランプ電圧 V_{1a} を検出する。また、本実施形態において、電流検出部は、放電灯 90 に直列に接続された第 3 の抵抗 63 に発生する電圧により駆動電流 I を検出する。

30

【0066】

イグナイター回路 70 は、放電灯 90 の点灯開始時にのみ動作する。イグナイター回路 70 は、放電灯 90 の点灯開始時に放電灯 90 の電極間（第 1 電極 92 と第 2 電極 93 との間）を絶縁破壊して放電路を形成するために必要な高電圧（放電灯 90 の通常点灯時よりも高い電圧）を、放電灯 90 の電極間（第 1 電極 92 と第 2 電極 93 との間）に供給する。本実施形態においては、イグナイター回路 70 は、放電灯 90 と並列に接続されている。

【0067】

40

図 6 (A)、(B) には、第 1 電極 92 および第 2 電極 93 の先端部分が示されている。第 1 電極 92 および第 2 電極 93 の先端にはそれぞれ突起 552p、562p が形成されている。

【0068】

第 1 電極 92 と第 2 電極 93 の間で生じる放電は、主として突起 552p と突起 562p との間で生じる。本実施形態のように突起 552p、562p がある場合には、突起が無い場合と比べて、第 1 電極 92 および第 2 電極 93 における放電位置（アーク位置）の移動を抑えることができる。

【0069】

図 6 (A) は、第 1 電極 92 が陽極として動作し、第 2 電極 93 が陰極として動作する

50

第1極性状態を示している。第1極性状態では、放電により、第2電極93（陰極）から第1電極92（陽極）へ電子が移動する。陰極（第2電極93）からは電子が放出される。陰極（第2電極93）から放出された電子は陽極（第1電極92）の先端に衝突する。この衝突によって熱が生じ、陽極（第1電極92）の先端（突起552p）の温度が上昇する。

【0070】

図6（B）は、第1電極92が陰極として動作し、第2電極93が陽極として動作する第2極性状態を示している。第2極性状態では、第1極性状態とは逆に、第1電極92から第2電極93へ電子が移動する。その結果、第2電極93の先端（突起562p）の温度が上昇する。

10

【0071】

このように、放電灯90に駆動電流Iが供給されることで、電子が衝突する陽極の温度は上昇する。一方、電子を放出する陰極は、陽極に向けて電子を放出している間、温度は低下する。

【0072】

第1電極92と第2電極93との電極間距離は、突起552p、562pの劣化とともに大きくなる。突起552p、562pが損耗するためである。電極間距離が大きくなると、第1電極92と第2電極93との間の抵抗が大きくなるため、ランプ電圧V1aが大きくなる。したがって、ランプ電圧V1aを参照することによって、電極間距離の変化、すなわち、放電灯90の劣化度合いを検出することができる。

20

【0073】

なお、第1電極92と第2電極93とは、同様の構成であるため、以下の説明においては、代表して第1電極92についてのみ説明する場合がある。また、第1電極92の先端の突起552pと第2電極93の先端の突起562pとは、同様の構成であるため、以下の説明においては、代表して突起552pについてのみ説明する場合がある。

【0074】

以下、本実施形態の制御部40による放電灯駆動部230の制御について説明する。本実施形態において制御部40は、交流駆動および直流駆動を交互に繰り返す混合駆動によって放電灯駆動部230を制御する。

【0075】

30

図7は、本実施形態の駆動電流波形の一例を示す図である。図7において、縦軸は駆動電流Iを示しており、横軸は時間Tを示している。駆動電流Iは、第1極性状態である場合を正とし、第2極性状態となる場合を負として示している。

【0076】

図7に示すように、本実施形態においては、第1期間（交流駆動期間）P1と第2期間（直流駆動期間）P2とが交互に繰り返される混合期間PH1が設けられる。混合期間PH1は、混合駆動が実行される期間である。第1期間P1は、交流駆動が実行される期間である。第2期間P2は、直流駆動が実行される期間である。混合期間PH1における第1期間P1の数と第2期間P2の数とは、特に限定されない。

【0077】

40

第1期間P1は、放電灯90に第1周波数f1を有する交流電流が供給される期間である。本実施形態において第1期間P1は、第1交流期間（交流期間）P11と、第2交流期間（交流期間）P12と、第3交流期間（交流期間）P13と、第4交流期間（交流期間）P14と、を有する。第1交流期間P11と、第2交流期間P12と、第3交流期間P13と、第4交流期間P14とは、この順に連続して設けられる。

【0078】

本実施形態において第1交流期間P11と、第2交流期間P12と、第3交流期間P13と、第4交流期間P14と、における交流電流は、例えば、電流値Im1と電流値-I_{m1}との間で極性が複数回反転される矩形波交流電流である。

【0079】

50

第1交流期間P11における第1周波数 f_{11} と、第2交流期間P12における第1周波数 f_{12} と、第3交流期間P13における第1周波数 f_{13} と、第4交流期間P14における第1周波数 f_{14} と、は、互いに異なる。すなわち、第1周波数 f_1 は、互いに異なる複数の周波数を含み、第1期間P1は、放電灯90に供給される交流電流の周波数が互いに異なる交流期間を複数有している。

【0080】

第1周波数 f_{11} と、第1周波数 f_{12} と、第1周波数 f_{13} と、第1周波数 f_{14} と、は、この順に小さくなる。すなわち、第1期間P1において、時間的に後に設けられる交流期間ほど交流電流の周波数が小さくなる。

【0081】

本実施形態において制御部40は、動作検出部60における電圧検出部によって検出されたランプ電圧 V_{1a} および放電灯90に供給される駆動電力 W_d の両方に基づいて、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ を設定する。すなわち、制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ を設定する。すなわち、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ を変化させる。

【0082】

図8は、ランプ電圧 V_{1a} と第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ との関係の一例を示すグラフである。図8において、縦軸は第1周波数 f_1 を示しており、横軸はランプ電圧 V_{1a} を示している。図8は、駆動電力 W_d が一定の値である場合のランプ電圧 V_{1a} と第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ との関係を示している。

【0083】

図8の例では、ランプ電圧 V_{1a} の値が所定の値 V_{1a1} 未満の範囲において、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ は、一定である。図8の例では、ランプ電圧 V_{1a} の値が所定の値 V_{1a1} 以上の範囲において、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ は、ランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される。ランプ電圧 V_{1a} の値が所定の値 V_{1a1} 以上の範囲において、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ とランプ電圧 V_{1a} との関係は、例えば、1次関数で表される。

【0084】

図8の例では、ランプ電圧 V_{1a} の値が所定の値 V_{1a1} 以上の範囲におけるランプ電圧 V_{1a} に対する第1周波数 f_1 の変化の傾きは、第1周波数 f_{14} 、第1周波数 f_{13} 、第1周波数 f_{12} 、第1周波数 f_{11} の順で大きくなる。すなわち、ランプ電圧 V_{1a} が大きくなるほど、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ 間の値の差は大きくなる。

【0085】

図9は、駆動電力 W_d と第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ との関係の一例を示すグラフである。図9において、縦軸は第1周波数 f_1 を示しており、横軸は駆動電力 W_d を示している。図9は、ランプ電圧 V_{1a} が一定の値である場合の駆動電力 W_d と第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ との関係を示している。

【0086】

図9の例では、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ は、駆動電力 W_d が小さいほど大きく設定される。第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ と駆動電力 W_d との関係は、例えば、1次関数で表される。図9の例では、駆動電力 W_d に対する第1周波数 f_1 の変化の傾きは、例えば、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ のいずれにおいても同じである。

【0087】

本実施形態においては、図8に示すランプ電圧 V_{1a} に対する第1周波数 f_1 の変化と、図9に示す駆動電力 W_d に対する第1周波数 f_1 の変化との両方に基づいて、第1周波数 f_1 が設定される。具体的には、例えば、ランプ電圧 V_{1a} に対して設定される第1周波数 f_1 の値に、駆動電力 W_d の変化による第1周波数 f_1 の変化分を足し合わせる、あるいは減じることで、第1周波数 f_1 の値が設定される。第1周波数 f_1 の値は、例えば、50Hz以上、50kHz以下の間である。

【0088】

10

20

30

40

50

なお、本明細書において、第1周波数 f_1 はランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される、とは、図8の例のようにランプ電圧 V_{1a} の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、ランプ電圧 V_{1a} の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

【0089】

また、本明細書において、第1周波数 f_1 は駆動電力 W_d が小さいほど大きく設定される、とは、図9の例のように駆動電力 W_d の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよいし、駆動電力 W_d の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよい。

【0090】

また、本明細書において、第1周波数 f_1 はランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される、とは、駆動電力 W_d を一定とした場合について、このように設定されることを含む。また、本明細書において、第1周波数 f_1 は駆動電力 W_d が小さいほど大きく設定される、とは、ランプ電圧 V_{1a} を一定とした場合について、このように設定されることを含む。

【0091】

すなわち、例えば、本実施形態のように第1周波数 f_1 がランプ電圧 V_{1a} と駆動電力 W_d との両方に基づいて設定される場合、ランプ電圧 V_{1a} が大きくなった場合でも駆動電力 W_d が大きくなることで実際の第1周波数 f_1 は小さくなることがあり、駆動電力 W_d が大きくなった場合でもランプ電圧 V_{1a} が小さくなることで実際の第1周波数 f_1 は大きくなることもある。

【0092】

本実施形態において、第1期間 P_1 の開始極性は、例えば、直前に設けられる期間、すなわち本実施形態では第2期間 P_2 の終了極性と反対の極性である。開始極性とは、ある期間が開始した時点における駆動電流 I の極性である。終了極性とは、ある期間が終了した時点における駆動電流 I の極性である。

【0093】

具体的には、例えば、第1期間 P_1 の直前に設けられた第2期間 P_2 において放電灯90に供給される直流電流の極性が第2極性であった場合、第2期間 P_2 の終了極性は第2極性となるため、第1期間 P_1 の開始極性は第1極性である。本実施形態において第1期間 P_1 の開始極性とは、第1交流期間 P_{11} の開始極性である。

【0094】

図7に示すように、本実施形態において、第1交流期間 P_{11} の長さ t_{11} と、第2交流期間 P_{12} の長さ t_{12} と、第3交流期間 P_{13} の長さ t_{13} と、第4交流期間 P_{14} の長さ t_{14} とは、例えば、同じである。各交流期間に含まれる交流電流の周期数 T_1 は、例えば、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の両方に基づいて設定される。本実施形態において各交流期間に含まれる交流電流の周期数 T_1 は、例えば、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の両方に基づいて設定される第1周波数 f_1 に基づいて設定される。

【0095】

すなわち、図7に示す第1交流期間 P_{11} における周期数 T_{11} は、第1周波数 f_{11} に基づいて設定される。第2交流期間 P_{12} の周期数 T_{12} は、第1周波数 f_{12} に基づいて設定される。第3交流期間 P_{13} の周期数 T_{13} は、第1周波数 f_{13} に基づいて設定される。第4交流期間 P_{14} の周期数 T_{14} は、第1周波数 f_{14} に基づいて設定される。具体的には、例えば、各第1周波数 f_1 に各期間の長さを乗じた値が、周期数となる。

【0096】

本実施形態において、第1期間 P_1 の長さ t_1 、すなわち、長さ $t_{11} \sim t_{14}$ の合計の長さは、例えば、10ms(ミリ秒)以上、10s(秒)以下である。第1期間 P_1 の長さ t_1 がこのように設定されることで、第1電極92の突起552pおよび第2電極93の突起562pに好適に熱負荷を加えることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 7 】

第 2 期間 P 2 は、放電灯 9 0 に直流電流が供給される期間である。図 7 に示す例では、第 2 期間 P 2 においては、一定の電流値 I_{m1} を有する第 1 極性の駆動電流 I が放電灯 9 0 に供給される。混合期間 P H 1 の第 2 期間 P 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 2 期間 P 2 が設けられるごとに反転する。

【 0 0 9 8 】

すなわち、混合期間 P H 1 において、第 1 期間 P 1 の直前に設けられる第 2 期間 P 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流と、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる第 2 期間 P 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流とでは、互いに極性が異なる。例えば、第 1 期間 P 1 の直前に設けられる第 2 期間 P 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性が、図 7 に示す第 2 期間 P 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流と同様に第 1 極性である場合、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる第 2 期間 P 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 1 極性と反対の第 2 極性である。この場合、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる第 2 期間 P 2 においては、一定の電流値 $-I_{m1}$ を有する第 2 極性の駆動電流 I が放電灯 9 0 に供給される。

【 0 0 9 9 】

図 7 に示す第 2 期間 P 2 の長さ t_2 は、第 1 期間 P 1 における第 1 周波数 f_{11} を有する交流電流の半周期の長さよりも大きい。第 2 期間 P 2 の長さ t_2 は、例えば、 10ms (ミリ秒) 以上、 20ms (ミリ秒) 以下である。第 2 期間 P 2 の長さ t_2 がこのように設定されることで、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p に好適に熱負荷を加えることができる。

【 0 1 0 0 】

本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の両方に基づいて第 2 期間 P 2 の長さ t_2 を設定する。すなわち、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて第 2 期間 P 2 の長さ t_2 を設定する。言い換えると、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 を変化させる。第 2 期間 P 2 の長さ t_2 は、例えば、ランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される。第 2 期間 P 2 の長さ t_2 は、例えば、駆動電力 W_d が大きいほど小さく設定される。

【 0 1 0 1 】

第 2 期間 P 2 の長さ t_2 とランプ電圧 V_{1a} との関係は、駆動電力 W_d を一定とした場合、例えば、1 次関数で表せる。第 2 期間 P 2 の長さ t_2 と駆動電力 W_d との関係は、ランプ電圧 V_{1a} を一定とした場合、例えば、1 次関数で表せる。

【 0 1 0 2 】

なお、本明細書において、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 はランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される、とは、ランプ電圧 V_{1a} の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、ランプ電圧 V_{1a} の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

【 0 1 0 3 】

また、本明細書において、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 は駆動電力 W_d が大きいほど小さく設定される、とは、駆動電力 W_d の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、駆動電力 W_d の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

【 0 1 0 4 】

すなわち、ランプ電圧 V_{1a} が所定の値以下である場合には、例えば、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 を一定としてもよい。また、駆動電力 W_d が所定の値以下である場合には、例えば、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 を一定としてもよい。

【 0 1 0 5 】

また、本明細書において、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 はランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される、とは、駆動電力 W_d を一定とした場合について、このように設定されることを含む。また、本明細書において、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 は駆動電力 W_d が大きいほど小さく設定される、とは、ランプ電圧 V_{1a} を一定とした場合について、このように

設定されることを含む。

【0106】

すなわち、例えば、本実施形態のように第2期間P2の長さ t_2 がランプ電圧 V_{1a} と駆動電力 W_d との両方に基づいて設定される場合、ランプ電圧 V_{1a} が大きくなった場合でも駆動電力 W_d が大きくなることで、設けられる第2期間P2の長さ t_2 は小さくなることもあり、駆動電力 W_d が大きくなった場合でもランプ電圧 V_{1a} が小さくなることで、設けられる第2期間P2の長さ t_2 は大きくなることもある。

【0107】

上述した制御部40による制御は、放電灯駆動方法としても表現できる。すなわち、本実施形態の放電灯駆動方法の一つの態様は、第1電極92および第2電極93を有する放電灯90に駆動電流 I を供給して、放電灯90を駆動する放電灯駆動方法であって、放電灯90に第1周波数 f_1 を有する交流電流が供給される第1期間P1と、放電灯90に直流電流が供給される第2期間P2と、が交互に繰り返される混合期間PH1が設けられ、第1周波数 f_1 は、互いに異なる複数の周波数を含み、検出されたランプ電圧 V_{1a} および放電灯90に供給される駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第1周波数 f_1 を変化させることを特徴とする。

10

【0108】

例えば、放電灯90が劣化してランプ電圧 V_{1a} が大きくなる場合、放電灯90に供給される駆動電流 I が小さくなるため、アーク放電の輝点が不安定になりやすく、移動しやすい。アーク放電の輝点が移動すると、第1電極92における溶融する位置および溶融量が変化する。これにより、第1電極92の形状が不安定になり、消耗しやすくなる虞があった。したがって、放電灯90の寿命を十分に向上できない虞があった。

20

【0109】

また、同様にして、駆動電力 W_d が小さい場合においても、駆動電流 I が小さくなる。そのため、アーク放電の輝点が不安定になり、第1電極92が消耗しやすくなる虞があった。したがって、放電灯90の寿命を十分に向上できない虞があった。

【0110】

これらの問題に対して、本実施形態によれば、制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第1周波数 f_1 を設定する。そのため、上記問題の少なくとも一方を解決できる。

30

【0111】

具体的には、第1周波数 f_1 がランプ電圧 V_{1a} に基づいて設定される場合、ランプ電圧 V_{1a} が大きくなるほど、第1周波数 f_1 を大きく設定することで、放電灯90が劣化した場合に、アーク放電の輝点を安定させやすい。これは、以下の理由による。

【0112】

放電灯90に供給される交流電流の周波数が比較的大きい場合、第1電極92の突起552pにおける溶融される部分の体積が比較的小さくなる。アーク放電の輝点は、突起552pが溶融されて平坦化された先端面に位置する。突起552pにおける溶融される部分の体積が小さい場合、平坦化される先端面の面積が比較的小さい。そのため、アーク放電の輝点が移動する領域が小さくなり、アーク放電の輝点の位置を安定化できる。

40

【0113】

したがって、本実施形態によれば、放電灯90が劣化した場合に、第1電極92が消耗しやすくなることを抑制できる。

【0114】

一方、第1周波数 f_1 が駆動電力 W_d に基づいて設定される場合、駆動電力 W_d が小さくなるほど、第1周波数 f_1 を大きく設定することで、駆動電力 W_d が比較的に小さい場合に、第1周波数 f_1 を比較的大きくできる。これにより、上記と同様にして、アーク放電の輝点を安定化でき、第1電極92が消耗しやすくなることを抑制できる。

【0115】

以上のように、本実施形態によれば、第1電極92が消耗することを抑制でき、放電灯

50

90の寿命を向上させることができる。

【0116】

本実施形態によれば、第1周波数 f_1 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の両方に基づいて設定されるため、上記問題をいずれも解決することができる。したがって、放電灯90の寿命をより向上できる。

【0117】

また、本実施形態によれば、第1周波数 f_1 は、互いに異なる複数の周波数を含む。そのため、第1期間 P_1 内において、第1電極92に加えられる熱負荷を変動させることができる。したがって、本実施形態によれば、第1電極92の突起552pを成長させやすい。

10

【0118】

また、本実施形態によれば、第1期間 P_1 において、時間的に後に設けられる交流期間ほど第1周波数 f_1 が小さくなる。すなわち、第1期間 P_1 においては、時間的に最も前に設けられる第1交流期間 P_{11} において、第1周波数 f_1 が最も大きい。言い換えれば、第1周波数 f_1 のうちで、第1交流期間 P_{11} において放電灯90に供給される交流電流の第1周波数 f_{11} が最も大きい。放電灯90に供給される交流電流の周波数が大きいほど、第1電極92の温度は低下しやすい。

【0119】

そのため、混合期間 P_H1 において、第1期間 P_1 よりも熱負荷が大きい第2期間 P_2 の直後に、第1周波数 f_1 が大きい第1交流期間 P_{11} を設けることで、第2期間 P_2 によって加熱された第1電極92の温度を急激に低下させやすく、第1電極92に熱負荷の変動による刺激を加えやすい。その結果、本実施形態によれば、突起552pをより成長させやすい。

20

【0120】

また、本実施形態によれば、制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第2期間 P_2 の長さ t_2 を設定する。そのため、第2期間 P_2 の長さ t_2 をランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定することで、放電灯90が劣化した場合に、突起552pを好適に溶解させやすく、突起552pの形状を維持しやすい。また、第2期間 P_2 の長さ t_2 を駆動電力 W_d が大きいほど小さく設定することで、第1電極92の突起552pが過剰に溶解されることを抑制でき、突起552pの形状を維持しやすい。

30

【0121】

また、本実施形態によれば、混合期間 P_H1 の第2期間 P_2 において放電灯90に供給される直流電流の極性は、第2期間 P_2 が設けられるごとに反転する。そのため、混合期間 P_H1 において、第1電極92の突起552pおよび第2電極93の突起562pをバランスよく成長させることができ、突起552pの形状および突起562pの形状を共に維持しやすい。

【0122】

なお、本実施形態においては、以下の構成および方法を採用することもできる。

【0123】

本実施形態において混合期間 P_H1 は、放電灯90が点灯している間、常に設けられていてもよいし、他の期間を挟みつつ、断続的に複数設けられていてもよい。

40

【0124】

また、本実施形態において複数の第1周波数 f_1 は、どのように設けられてもよい。本実施形態においては、例えば、第1期間 P_1 において、時間的に後に設けられる交流期間ほど、第1周波数 f_1 が大きくなる構成であってもよい。

【0125】

また、本実施形態において第1期間 P_1 に含まれる交流期間の数は、特に限定されない。本実施形態において第1期間 P_1 は、2つまたは3つの交流期間を有していてもよいし、5つ以上の交流期間を有していてもよい。また、本実施形態においては、例えば、第1

50

期間 P_1 ごとに有する交流期間の数が異なってもよい。

【0126】

また、本実施形態において第1期間 P_1 に含まれる各交流期間の長さは、互いに異なってもよい。すなわち、第1交流期間 P_{11} の長さ t_{11} と、第2交流期間 P_{12} の長さ t_{12} と、第3交流期間 P_{13} の長さ t_{13} と、第4交流期間 P_{14} の長さ t_{14} と、は、互いに異なってもよい。

【0127】

また、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} のみに基づいて第1周波数 f_1 を設定してもよいし、駆動電力 W_d のみに基づいて第1周波数 f_1 を設定してもよい。

10

【0128】

また、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} のみに基づいて第2期間 P_2 の長さ t_2 を設定してもよいし、駆動電力 W_d のみに基づいて第2期間 P_2 の長さ t_2 を設定してもよい。また、本実施形態において第2期間 P_2 の長さ t_2 は、変化しなくてもよい。

【0129】

また、本実施形態において制御部40は、第2期間 P_2 が設けられるごとに、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて第2期間 P_2 の長さ t_2 を設定してもよいし、混合期間 P_H1 が複数設けられる場合、混合期間 P_H1 が設けられるごとに1度ずつランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて第2期間 P_2 の長さ t_2 を設定してもよい。第2期間 P_2 の長さ t_2 が、第2期間 P_2 が設けられるごとに設定される場合、1つの混合期間 P_H1 において各第2期間 P_2 の長さ t_2 は、互いに異なる場合がある。一方、第2期間 P_2 の長さ t_2 が、混合期間 P_H1 が設けられるごとに1度ずつ設定される場合、1つの混合期間 P_H1 において各第2期間 P_2 の長さ t_2 は、互いに同じである。

20

【0130】

また、本実施形態において制御部40は、混合期間 P_H1 が複数設けられる場合、混合期間 P_H1 が所定の数だけ設けられるごとに1度ずつランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて第2期間 P_2 の長さ t_2 を設定してもよい。

【0131】

また、本実施形態において制御部40は、混合期間 P_H1 の第2期間 P_2 において放電灯90に供給される直流電流の極性を、第2期間 P_2 が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、放電灯90に同じ極性の直流電流が供給される第2期間 P_2 が、2回以上連続して設けられてもよい。

30

【0132】

< 第2実施形態 >

第2実施形態は、第1実施形態に対して、第3期間（分割直流駆動期間） P_3 が設けられる点において異なる。なお、上記実施形態と同様の構成については、適宜同一の符号を付す等により説明を省略する場合がある。

【0133】

本実施形態において制御部40は、第1実施形態で説明した各駆動に加えて、分割直流駆動を実行可能である。本実施形態において制御部40は、分割直流駆動が実行される期間である第3期間 P_3 が設けられるように、放電灯駆動部230を制御する。第3期間 P_3 は、所定の条件下で、第2期間 P_2 の代わりに設けられる期間である。

40

【0134】

図10は、第3期間 P_3 の駆動電流波形の一例を示す図である。図10において、縦軸は駆動電流 I を示しており、横軸は時間 T を示している。駆動電流 I は、第1極性状態である場合を正とし、第2極性状態となる場合を負として示している。

【0135】

図10に示すように、本実施形態においては、混合期間 P_H2 が設けられる。混合期間

50

P H 2 においては、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返されるか、または第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返される。すなわち、混合期間 P H 2 においては、所定の条件に応じて、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返されるか、第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返されるか、が異なる。

【 0 1 3 6 】

図 1 0 の例では、混合期間 P H 2 において第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返される場合について示している。混合期間 P H 2 において第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返される場合、混合期間 P H 2 における駆動電流波形は、第 1 実施形態の混合期間 P H 1 の駆動電流波形と同様である。

【 0 1 3 7 】

第 3 期間 P 3 は、第 1 直流期間 P 3 1 および第 2 直流期間 P 3 2 を交互に含む期間である。第 1 直流期間 P 3 1 は、放電灯 9 0 に直流電流が供給される期間である。図 1 0 に示す例では、第 1 直流期間 P 3 1 においては、一定の電流値 I_{m1} を有する第 1 極性の駆動電流 I が放電灯 9 0 に供給される。

【 0 1 3 8 】

第 2 直流期間 P 3 2 は、第 1 直流期間 P 3 1 の極性において放電灯 9 0 に供給される直流電流と反対の極性を有する直流電流が放電灯 9 0 に供給される期間である。すなわち、図 1 0 に示す例では、第 2 直流期間 P 3 2 においては、一定の電流値 $-I_{m1}$ を有する第 2 極性の駆動電流 I が放電灯 9 0 に供給される。

【 0 1 3 9 】

第 1 直流期間 P 3 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性および第 2 直流期間 P 3 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 3 期間 P 3 が設けられるごとに反転する。すなわち、図 1 0 に示される第 3 期間 P 3 の次に設けられる第 3 期間 P 3 においては、第 1 直流期間 P 3 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 2 極性となり、第 2 直流期間 P 3 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 1 極性となる。

【 0 1 4 0 】

第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} は、第 2 直流期間 P 3 2 の長さ t_{32} よりも大きい。第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} は、例えば、第 2 直流期間 P 3 2 の長さ t_{32} の 1 0 倍以上である。第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} がこのように設定されることで、第 3 期間 P 3 において、一方の電極を好適に加熱しつつ、他方の電極の温度が低下し過ぎることを好適に抑制できる。

【 0 1 4 1 】

第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} は、例えば、 5.0ms (ミリ秒) 以上、 20ms (ミリ秒) 以下である。第 2 直流期間 P 3 2 の長さ t_{32} は、 0.5ms (ミリ秒) よりも小さい。第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} の合計は、所定の条件が満たされない場合に設けられる第 2 期間 P 2 の長さ t_2 よりも大きい。

【 0 1 4 2 】

第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} の合計とは、第 3 期間 P 3 に含まれるすべての第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} を足し合わせた長さである。図 1 0 の例では、第 3 期間 P 3 には、例えば、3 つの第 1 直流期間 P 3 1 が含まれている。そのため、第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} の合計とは、3 つの第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} を足し合わせた長さである。

【 0 1 4 3 】

第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} の合計は、例えば、 5.0ms (ミリ秒) 以上、 100ms (ミリ秒) 以下である。第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} の合計がこのように設定されることで、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p に加えられる熱負荷を好適に大きくできる。

【 0 1 4 4 】

なお、以下の説明においては、第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31}

10

20

30

40

50

の合計を、単に、第1直流期間P31の合計長さ、と呼ぶ場合がある。

【0145】

第1直流期間P31の長さ t_{31} は、それぞれ同じであってもよいし、互いに異なってもよい。図10の例では、第1直流期間P31の長さ t_{31} は、それぞれ同じである。

【0146】

本実施形態において、制御部40は、混合期間PH2において交互に繰り返される期間が、所定の条件に応じて切り替えられるように放電灯駆動部230を制御する。すなわち、制御部40は、所定の条件に応じて、第2期間P2の代わりに第3期間P3が設けられるように放電灯駆動部230を制御する。以下、詳細に説明する。

10

【0147】

図11は、混合期間PH2における制御部40の制御の一例を示すフローチャートである。図11に示すように、制御部40は、混合駆動を開始した(ステップS11)後、交流駆動を実行する(ステップS12)。これにより、混合期間PH2における第1期間P1が開始される。

【0148】

次に、制御部40は、第1実施形態で述べたように、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d に基づいて、直流駆動を実行する第2期間P2の長さ t_2 を設定する(ステップS13)。そして、制御部40は、設定された第2期間P2の長さ t_2 が所定値より大きいかな否かを判断する(ステップS14)。すなわち、本実施形態において、所定の条件は、設定された第2期間P2の長さ t_2 が所定値よりも大きいかな否かということである。

20

【0149】

第2期間P2の長さ t_2 が所定値以下の場合(ステップS14:NO)、制御部40は、直流駆動を実行する(ステップS15)。これにより、第2期間P2が開始される。すなわち、この場合においては、混合期間PH2における駆動電流波形は、第1期間P1と第2期間P2とが交互に繰り返される波形となる。

【0150】

一方、第2期間P2の長さ t_2 が所定値よりも大きい場合(ステップS14:YES)、制御部40は、分割直流駆動を実行する(ステップS16)。これにより、第3期間P3が開始される。すなわち、この場合においては、混合期間PH2における駆動電流波形は、第1期間P1と第3期間P3とが交互に繰り返される波形となる。ステップS14における所定値は、例えば、20ms(ミリ秒)である。

30

【0151】

このように、本実施形態において制御部40は、設定された第2期間P2の長さ t_2 が所定値よりも大きい場合、第2期間P2の代わりに、第3期間P3が設けられるように放電灯駆動部230を制御する。すなわち、本実施形態において、第2期間P2の長さ t_2 が所定値よりも大きく設定されると、第2期間P2は設けられない。そのため、設けられる第2期間P2の長さ t_2 は、所定値以下となる。

【0152】

図10に示す第3期間P3における第1直流期間P31の長さ t_{31} の合計は、設定された第2期間P2の長さ t_2 と同じである。すなわち、設定された第2期間P2の長さ t_2 が所定値よりも大きい場合、第2期間P2が設けられない代わりに、放電灯90に直流電流が供給される期間が、設定された長さ t_2 の分だけ、複数の第1直流期間P31に分割されて設けられる。第3期間P3は、第1直流期間P31に加えて第2直流期間P32を有するため、第1直流期間P31の合計長さは、設定された第2期間P2の長さ t_2 が所定値以下の場合に設けられる第2期間P2の長さ t_2 よりも大きい。

40

【0153】

具体的には、例えば、所定値が20ms(ミリ秒)の場合、第2期間P2の長さ t_2 が20ms(ミリ秒)よりも大きく、40ms(ミリ秒)以下に設定されると、制御部40は、第2期間P2を2つの第1直流期間P31に分割し、第1直流期間P31の間に第2

50

直流期間 P 3 2 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。また、例えば、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 が 4 0 m s (ミリ秒) よりも大きく 6 0 m s (ミリ秒) 以下に設定されると、図 1 0 に示す例のように、制御部 4 0 は、第 2 期間 P 2 を 3 つの第 1 直流期間 P 3 1 に分割し、各第 1 直流期間 P 3 1 の間に第 2 直流期間 P 3 2 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。

【 0 1 5 4 】

図 1 1 の例では、混合期間 P H 2 において、交流駆動 (第 1 期間 P 1) が実行されるごとに、次に、直流駆動 (第 2 期間 P 2) と分割直流駆動 (第 3 期間 P 3) とのうちのいずれを実行するかを選択する構成である。そのため、1 つの混合期間 P H 2 内において、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とが共に設けられる場合がある。例えば、混合期間 P H 2 の開始初期の段階において第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返される場合を考える。この場合、途中でランプ電圧 V_{1a} が大きくなる等によって第 2 期間 P 2 の長さ t_2 の設定値が所定値よりも大きくなった場合には、混合期間 P H 2 の駆動電流波形は、途中から第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返される駆動電流波形となる。

【 0 1 5 5 】

上述したように、本実施形態において制御部 4 0 は、設定される第 2 期間 P 2 の長さ t_2 に基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれが設けられるかを決定する。本実施形態において第 2 期間 P 2 の長さ t_2 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の両方に基づいて設定される。すなわち、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の両方に基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのいずれが設けられるかを決定する。

【 0 1 5 6 】

例えば、混合期間 P H 2 において長さ t_2 が所定値よりも大きく設定された第 2 期間 P 2 が設けられた場合、第 2 期間 P 2 で加熱される電極と反対の電極、例えば第 2 電極 9 3 の温度が低下し過ぎる虞がある。

【 0 1 5 7 】

これに対して、本実施形態によれば、設定された第 2 期間 P 2 の長さ t_2 が所定値よりも大きい場合、第 2 期間 P 2 の代わりに、第 1 直流期間 P 3 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流と反対の極性の直流電流が放電灯 9 0 に供給される第 2 直流期間 P 3 2 を有する第 3 期間 P 3 が設けられる。そして、第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の合計長さは、設定された第 2 期間 P 2 の長さ t_2 と同じである。そのため、第 2 期間 P 2 で加熱される電極、例えば第 1 電極 9 2 を十分に加熱しつつ、第 1 電極 9 2 と反対の第 2 電極 9 3 の温度が低下し過ぎることを抑制できる。

【 0 1 5 8 】

また、本実施形態によれば、第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} の合計は、5 . 0 m s (ミリ秒) 以上、1 0 0 m s (ミリ秒) 以下である。そのため、第 1 直流期間 P 3 1 において陽極となる側の電極をより好適に加熱することができる。

【 0 1 5 9 】

また、本実施形態によれば、第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t_{31} の合計は、設定された第 2 期間 P 2 の長さ t_2 が所定値以下の場合に設けられる第 2 期間 P 2 の長さ t_2 よりも大きい。そのため、第 2 期間 P 2 が設けられる場合に比べて、第 1 直流期間 P 3 1 において陽極となる側の電極をより加熱することができる。

【 0 1 6 0 】

なお、本実施形態においては、以下の構成を採用することもできる。

【 0 1 6 1 】

本実施形態において制御部 4 0 は、混合期間 P H 2 が複数設けられる場合、混合期間 P H 2 が設けられるごとに 1 度ずつ、混合期間 P H 2 において第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのいずれが設けられるかを決定してもよい。この場合、1 つの混合期間 P H 2 においては、第 1 期間 P 1 および第 2 期間 P 2 のみが交互に繰り返される、あるいは、第 1 期間 P 1 および第 3 期間 P 3 のみが交互に繰り返される。すなわち、この場合、1 つの混合期間

P H 2 においては、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれか一方のみと、第 1 期間 P 1 と、が設けられる。

【 0 1 6 2 】

また、本実施形態において制御部 4 0 は、混合期間 P H 2 が複数設けられる場合、混合期間 P H 2 が所定の数だけ設けられるごとに 1 度ずつ、混合期間 P H 2 において第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのいずれが設けられるかを決定してもよい。

【 0 1 6 3 】

また、上記説明においては、制御部 4 0 が、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d に応じて設定される第 2 期間 P 2 の長さ t 2 に基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれを設けるかを決定する構成としたが、これに限られない。本実施形態においては、制御部 4 0 が、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d に応じて設定される第 2 期間 P 2 の長さ t 2 が所定値よりも大きいかな否かを判断するのではなく、より直接的にランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の少なくとも一方に基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれを設けるかを決定してもよい。

【 0 1 6 4 】

また、この場合、第 2 期間 P 2 の長さ t 2 は、ランプ電圧 V 1 a あるいは駆動電力 W d に応じて変化しなくてもよい。すなわち、制御部 4 0 は、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の少なくとも一方に基づいて、第 2 期間 P 2 の代わりに、第 3 期間 P 3 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御してもよい。より具体的には、制御部 4 0 は、ランプ電圧 V 1 a が所定の値（第 1 所定値）よりも大きい、あるいは、駆動電力 W d が所定の値（第 2 所定値）よりも小さい場合に、第 2 期間 P 2 の代わりに、第 3 期間 P 3 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御してもよい。すなわち、本実施形態において、所定の条件は、ランプ電圧 V 1 a が所定の値よりも大きいかな否か、あるいは駆動電力 W d が所定の値よりも小さいかな否か、ということである。この場合、制御部 4 0 は、例えば、検出されたランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の少なくとも一方に基づいて、第 3 期間 P 3 における第 1 直流期間 P 3 1 の長さ t 3 1 の合計を設定する。

【 0 1 6 5 】

また、本実施形態において制御部 4 0 は、第 1 直流期間 P 3 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性および第 2 直流期間 P 3 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性を、第 3 期間 P 3 が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、2 回以上連続して、第 1 直流期間 P 3 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性および第 2 直流期間 P 3 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性がそれぞれ同じである第 3 期間 P 3 が設けられてもよい。

【 0 1 6 6 】

< 第 3 実施形態 >

第 3 実施形態は、第 1 実施形態に対して、第 4 期間（低周波交流駆動期間）P 4 および第 5 期間（片寄駆動期間）P 5 が設けられる点において異なる。なお、上記実施形態と同様の構成については、適宜同一の符号を付す等により説明を省略する場合がある。

【 0 1 6 7 】

本実施形態において制御部 4 0 は、第 1 実施形態で説明した各駆動に加えて、低周波交流駆動と、片寄駆動と、を実行可能である。低周波交流駆動は、放電灯 9 0 に交流駆動の交流電流よりも周波数の低い交流電流が供給される駆動である。片寄駆動は、放電灯 9 0 に極性の異なる直流電流が交互に供給され、一方の極性の直流電流の長さが、他方の極性の直流電流の長さよりも十分に長い駆動である。

【 0 1 6 8 】

本実施形態において制御部 4 0 は、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返される混合期間 P H 1 に加えて、低周波交流駆動が実行される期間である第 4 期間 P 4 と、片寄駆動が実行される期間である第 5 期間 P 5 と、が設けられるように、放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。

【 0 1 6 9 】

図 1 2 は、本実施形態における放電灯 9 0 に駆動電流 I が供給される期間の変化を示す模式図である。図 1 2 に示すように、本実施形態において制御部 4 0 は、駆動サイクル C が繰り返されるように、放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。本実施形態において駆動サイクル C は、第 1 期間 $P 1$ と、第 2 期間 $P 2$ と、第 4 期間 $P 4$ と、第 5 期間 $P 5$ と、を有する。すなわち、駆動サイクル C は、制御部 4 0 が 4 つの駆動を行うことで実行される。駆動サイクル C には、第 1 期間 $P 1$ と第 2 期間 $P 2$ とが交互に繰り返される混合期間 $P H 1$ が設けられる。本実施形態において混合期間 $P H 1$ は、複数設けられる。

【 0 1 7 0 】

本実施形態において第 4 期間 $P 4$ は、時間的に隣り合う混合期間 $P H 1$ の間に設けられる。第 4 期間 $P 4$ は、例えば、第 1 期間 $P 1$ の直後に設けられる。第 4 期間 $P 4$ は、例えば、第 1 期間 $P 1$ の直前に設けられる。

10

【 0 1 7 1 】

図 1 3 は、第 4 期間 $P 4$ の駆動電流波形の一例を示す図である。図 1 3 において、縦軸は駆動電流 I を示しており、横軸は時間 T を示している。駆動電流 I は、第 1 極性状態である場合を正とし、第 2 極性状態となる場合を負として示している。

【 0 1 7 2 】

図 1 3 に示すように、第 4 期間 $P 4$ は、放電灯 9 0 に第 1 周波数 $f 1$ よりも小さい第 2 周波数 $f 2$ を有する交流電流が供給される期間である。すなわち、第 4 期間 $P 4$ における交流電流の第 2 周波数 $f 2$ は、第 1 周波数 $f 1 1 \sim f 1 4$ のいずれよりも小さい。第 2 周波数 $f 2$ の値は、例えば、 $1 0 \text{ Hz}$ 以上、 $1 0 0 \text{ Hz}$ 以下の間である。

20

【 0 1 7 3 】

第 4 期間 $P 4$ は、設けられるごとに開始極性が反転する。図 1 3 の例では、第 4 期間 $P 4$ の開始極性は、例えば、第 1 極性である。そのため、図 1 3 に示す第 4 期間 $P 4$ の次に設けられる第 4 期間 $P 4$ においては、開始極性は第 2 極性となる。

【 0 1 7 4 】

第 4 期間 $P 4$ の長さ $t 4$ は、例えば、第 2 期間 $P 2$ の長さ $t 2$ よりも大きい。第 4 期間 $P 4$ の長さ $t 4$ は、第 2 周波数 $f 2$ を有する交流電流の 6 周期の長さ以上、30 周期の長さ以下である。第 4 期間 $P 4$ の長さ $t 4$ がこのように設定されることで、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p の形状を好適に整えることができる。

【 0 1 7 5 】

30

図 1 2 に示すように、第 5 期間 $P 5$ は、時間的に隣り合う混合期間 $P H 1$ の間に設けられる。第 5 期間 $P 5$ は、例えば、第 1 期間 $P 1$ の直後に設けられる。第 5 期間 $P 5$ は、例えば、第 1 期間 $P 1$ の直前に設けられる。

【 0 1 7 6 】

図 1 4 は、第 5 期間 $P 5$ の駆動電流波形の一例を示す図である。図 1 4 において、縦軸は駆動電流 I を示しており、横軸は時間 T を示している。駆動電流 I は、第 1 極性状態である場合を正とし、第 2 極性状態となる場合を負として示している。

【 0 1 7 7 】

図 1 4 に示すように、第 5 期間 $P 5$ は、第 3 直流期間 $P 5 1$ および第 4 直流期間 $P 5 2$ を交互に含む期間である。第 3 直流期間 $P 5 1$ は、放電灯 9 0 に直流電流が供給される期間である。図 1 4 に示す例では、第 3 直流期間 $P 5 1$ においては、一定の電流値 $I m 1$ を有する第 1 極性の駆動電流 I が放電灯 9 0 に供給される。

40

【 0 1 7 8 】

第 4 直流期間 $P 5 2$ は、第 3 直流期間 $P 5 1$ において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が放電灯 9 0 に供給される期間である。すなわち、図 1 4 に示す例では、第 4 直流期間 $P 5 2$ においては、一定の電流値 $- I m 1$ を有する第 2 極性の駆動電流 I が放電灯 9 0 に供給される。

【 0 1 7 9 】

第 3 直流期間 $P 5 1$ において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性および第 4 直流期間 $P 5 2$ において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 5 期間 $P 5$ が設けられる

50

ごとに反転する。すなわち、図 1 4 に示される第 5 期間 P 5 の次に設けられる第 5 期間 P 5 においては、第 3 直流期間 P 5 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 2 極性となり、第 4 直流期間 P 5 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 1 極性となる。

【 0 1 8 0 】

第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} は、第 4 直流期間 P 5 2 の長さ t_{52} よりも大きい。第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} は、例えば、第 4 直流期間 P 5 2 の長さ t_{52} の 1 0 倍以上である。第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} がこのように設定されることで、第 5 期間 P 5 において、一方の電極を好適に加熱しつつ、他方の電極の温度が低下し過ぎることを好適に抑制できる。

10

【 0 1 8 1 】

第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} は、例えば、 5.0 ms (ミリ秒) 以上、 20 ms (ミリ秒) 以下である。第 4 直流期間 P 5 2 の長さ t_{52} は、 0.5 ms (ミリ秒) よりも小さい。

【 0 1 8 2 】

第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} の合計は、第 2 期間 P 2 の長さ t_2 よりも大きく、第 4 期間 P 4 の交流電流、すなわち第 2 周波数 f_2 を有する交流電流の半周期の長さよりも大きい。第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} の合計とは、第 5 期間 P 5 に含まれるすべての第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} を足し合わせた長さである。図 1 4 の例では、第 5 期間 P 5 には、例えば、4 つの第 3 直流期間 P 5 1 が含まれている。そのため、第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} の合計とは、4 つの第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} を足し合わせた長さである。

20

【 0 1 8 3 】

第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} の合計は、例えば、 10 ms (ミリ秒) 以上、 1.0 s (秒) 以下である。第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} の合計がこのように設定されることで、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p に加えられる熱負荷を好適に大きくできる。

【 0 1 8 4 】

なお、以下の説明においては、第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} の合計を、単に、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さ、と呼ぶ場合がある。

30

【 0 1 8 5 】

第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} は、それぞれ同じであってもよいし、互いに異なってもよい。図 1 4 の例では、第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} は、それぞれ同じである。

【 0 1 8 6 】

本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の両方に基づいて、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを設定する。すなわち、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを設定する。言い換えると、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを変化させる。第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さは、例えば、ランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される。第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さは、例えば、駆動電力 W_d が大きいほど小さく設定される。

40

【 0 1 8 7 】

第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さとランプ電圧 V_{1a} との関係は、駆動電力 W_d を一定とした場合、例えば、1 次関数で表せる。第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さと駆動電力 W_d との関係は、ランプ電圧 V_{1a} を一定とした場合、例えば、1 次関数で表せる。

【 0 1 8 8 】

なお、本明細書において、第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t_{51} の合計はランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される、とは、ランプ電圧 V_{1a} の値が所

50

定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、ランプ電圧 V_{1a} の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

【0189】

また、本明細書において、第5期間 P_5 における第3直流期間 P_{51} の長さ t_{51} の合計は駆動電力 W_d が大きいほど小さく設定される、とは、駆動電力 W_d の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、駆動電力 W_d の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

【0190】

すなわち、ランプ電圧 V_{1a} が所定の値以下である場合には、例えば、第3直流期間 P_{51} の合計長さを一定としてもよい。また、駆動電力 W_d が所定の値以下である場合には、例えば、第3直流期間 P_{51} の合計長さを一定としてもよい。

10

【0191】

また、本明細書において、第5期間 P_5 における第3直流期間 P_{51} の長さ t_{51} の合計はランプ電圧 V_{1a} が大きいほど大きく設定される、とは、駆動電力 W_d を一定とした場合について、このように設定されることを含む。また、本明細書において、第5期間 P_5 における第3直流期間 P_{51} の長さ t_{51} の合計は駆動電力 W_d が大きいほど小さく設定される、とは、ランプ電圧 V_{1a} を一定とした場合について、このように設定されることを含む。

【0192】

すなわち、例えば、本実施形態のように第3直流期間 P_{51} の合計長さがランプ電圧 V_{1a} と駆動電力 W_d との両方に基づいて設定される場合、ランプ電圧 V_{1a} が大きくなった場合でも駆動電力 W_d が大きくなることで実際の第3直流期間 P_{51} の合計長さは小さくなることもあり、駆動電力 W_d が大きくなった場合でもランプ電圧 V_{1a} が小さくなることで実際の第3直流期間 P_{51} の合計長さは大きくなることもある。

20

【0193】

第5期間 P_5 に含まれる第3直流期間 P_{51} の数は、例えば、第3直流期間 P_{51} の合計長さに基づいて決まる。第3直流期間 P_{51} の数は、例えば、各第3直流期間 P_{51} の長さ t_{51} が所定の値以下となる範囲内で、設定された第3直流期間 P_{51} の合計長さを実現できるように決められる。すなわち、第5期間 P_5 に含まれる第3直流期間 P_{51} の数は、例えば、第3直流期間 P_{51} の合計長さが大きくなるほど多くなる。

30

【0194】

具体的には、例えば所定の値が 20 ms (ミリ秒) と設定される場合、第3直流期間 P_{51} の合計長さが 20 ms (ミリ秒) よりも大きく 40 ms (ミリ秒) 以下のとき、第5期間 P_5 に含まれる第3直流期間 P_{51} の数は2つである。また、第3直流期間 P_{51} の合計長さが 40 ms (ミリ秒) よりも大きく 60 ms (ミリ秒) 以下のとき、第5期間 P_5 に含まれる第3直流期間 P_{51} の数は3つである。

【0195】

図14に示す例では、第5期間 P_5 に含まれる第3直流期間 P_{51} の数は4つである。すなわち、例えば所定の値が 20 ms (ミリ秒) と設定される場合、第3直流期間 P_{51} の合計長さは、 60 ms (ミリ秒) よりも大きく 80 ms (ミリ秒) 以下である。

40

【0196】

以上のように設定することで、各第3直流期間 P_{51} の長さ t_{51} を所定の値 (20 ms) 以下としつつ、設定された第3直流期間 P_{51} の合計長さを実現できる。

【0197】

上述したように、本実施形態において第4期間 P_4 と第5期間 P_5 とは、時間的に隣り合う混合期間 P_{H1} 同士の間に設けられる。本実施形態において第4期間 P_4 と第5期間 P_5 とは、一定のパターンに沿って周期的に設けられる。以下、詳細に説明する。

【0198】

図15は、本実施形態の制御部40による駆動サイクルCにおける制御の一例について示すフローチャートである。図15に示すように、制御部40は、駆動サイクルCを開始

50

する（ステップS 2 1）と、まず混合駆動を実行する（ステップS 2 2）。これにより、混合期間P H 1が開始される。そして、制御部4 0は、駆動サイクルCを開始してから第1所定時間が経過したか否かを判断する（ステップS 2 3）。

【0 1 9 9】

ここで、第1所定時間とは、駆動サイクルCが開始された時点から第1所定時刻までの間の時間である。本実施形態において第1所定時刻は、等間隔に複数設定される。そのため、本実施形態において第1所定時間は、複数設けられる。

【0 2 0 0】

具体的には、例えば、本実施形態において所定時刻は、3 0 s（秒）ごとに設定される。すなわち、第1所定時刻は、例えば、駆動サイクルCが開始された時点をもとに、3 0 s（秒）、6 0 s（秒）、9 0 s（秒）となる時刻である。すなわち、第1所定時間は、例えば、3 0 s（秒）、6 0 s（秒）、9 0 s（秒）である。駆動サイクルCを開始した直後においては、第1所定時間は、初期値（3 0 s）に設定されている。

【0 2 0 1】

駆動サイクルCを開始してから第1所定時間が経過していない場合（ステップS 2 3：N O）、制御部4 0は、混合駆動を続行する。一方、駆動サイクルCを開始してから第1所定時間が経過した場合（ステップS 2 3：Y E S）、制御部4 0は、駆動サイクルCを開始してから第2所定時間が経過したか否かを判断する（ステップS 2 4）。

【0 2 0 2】

ここで、第2所定時間とは、駆動サイクルCが開始された時点から第2所定時刻までの間の時間である。第2所定時刻は、例えば、駆動サイクルCが開始された時点をもとに、9 0 s（秒）となる時刻である。すなわち、第2所定時間は、例えば、9 0 s（秒）である。第2所定時間は、第1所定時間の初期値（例えば、3 0 s）よりも大きい。

【0 2 0 3】

駆動サイクルCを開始してから第2所定時間が経過していない場合（ステップS 2 4：N O）、制御部4 0は、片寄駆動を実行する（ステップS 2 5）。これにより、第5期間P 5が開始される。制御部4 0は、第5期間P 5が終了した後、第1所定時間を次の値（6 0 s）に設定し（ステップS 2 6）、再び混合駆動を実行する（ステップS 2 2）。

【0 2 0 4】

一方、駆動サイクルCを開始してから第2所定時間が経過した場合（ステップS 2 4：Y E S）、制御部4 0は、低周波交流駆動を実行する（ステップS 2 7）。これにより、第4期間P 4が開始される。制御部4 0は、第4期間P 4が終了した後、駆動サイクルCを終了し（ステップS 2 8）、次の駆動サイクルCを開始する（ステップS 2 1）。

【0 2 0 5】

以上のように、例えば、駆動サイクルCが開始してから初めの第1所定時間（3 0 s）が経過した場合、および駆動サイクルCが開始してから2番目の第1所定時間（6 0 s）が経過した場合には、片寄駆動が実行され、第5期間P 5が設けられる。

【0 2 0 6】

一方、駆動サイクルCが開始してから3番目の第1所定時間（9 0 s）が経過した場合には、第2所定時間（9 0 s）も経過しているため、低周波交流駆動が実行され、第4期間P 4が設けられる。

【0 2 0 7】

このように、第4期間P 4と第5期間P 5とは、一定のパターンに沿って周期的に設けられる。すなわち、本実施形態において制御部4 0は、第1所定間隔、上記例では3 0 s（秒）ごとに、第4期間P 4と第5期間P 5とのうちのいずれか一方が設けられるように、かつ、第2所定間隔、上記例では9 0 s（秒）ごとに、第4期間P 4が設けられるように放電灯駆動部2 3 0を制御する。第2所定間隔は、第1所定間隔よりも大きい。

【0 2 0 8】

上記例では、第5期間P 5が3 0 s（秒）ごとに2つ設けられた後に、第4期間P 4が設けられる。すなわち、第4期間P 4が設けられてから次の第4期間P 4が設けられるま

10

20

30

40

50

での間に、2つの第5期間P5が設けられる。第5期間P5における第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流の極性、および第4直流期間P52において放電灯90に供給される直流電流の極性は、第5期間P5が設けられるごとに反転する。そのため、時間的に隣り合う第4期間P4に挟まれて設けられる2つの第5期間P5においては、放電灯90に供給される駆動電流Iの極性が互いに逆となる。

【0209】

すなわち、本実施形態において制御部40は、第4期間P4が設けられる第2所定間隔において、第1極性の直流電流が放電灯90に供給される第3直流期間P51、および第2極性の直流電流が放電灯90に供給される第4直流期間P52を交互に含む第5期間P5と、第2極性の直流電流が放電灯90に供給される第3直流期間P51、および第1極性の直流電流が放電灯90に供給される第4直流期間P52を交互に含む第5期間P5と、の2つの第5期間P5が設けられるように放電灯駆動部230を制御する。言い換えると、時間的に隣り合う第4期間P4に挟まれる期間において、これら2つの第5期間P5が設けられる。

10

【0210】

本実施形態によれば、放電灯90に交流電流が供給される第1期間P1および放電灯90に直流電流が供給される第2期間P2が交互に繰り返される混合期間PH1に加えて、第4期間P4と第5期間P5とが設けられる。第4期間P4においては、第1期間P1の交流電流の第1周波数f1よりも小さい第2周波数f2を有する交流電流が放電灯90に供給される。そのため、第4期間P4において第1電極92に加えられる熱負荷は、第1期間P1において第1電極92に加えられる熱負荷よりも大きい。

20

【0211】

第5期間P5においては、第3直流期間P51と第4直流期間P52とが設けられる。第3直流期間P51の長さt51は、第4直流期間P52の長さt52よりも大きく、第4直流期間P52の長さt52は、0.5ms(ミリ秒)よりも小さい。そのため、第5期間P5においては、第3直流期間P51において陽極となる側の電極を加熱することができる。なお、以下の説明においては、加熱される側の電極が、例えば、第1電極92であるものとして説明する。

【0212】

また、第3直流期間P51の合計長さは、第2期間P2の長さt2よりも大きく、第4期間P4における交流電流の半周期の長さよりも大きい。そのため、第5期間P5において加熱される第1電極92に加えられる熱負荷は、第2期間P2において加熱される第1電極92に加えられる熱負荷よりも大きい。

30

【0213】

このように、第4期間P4および第5期間P5においては、第1期間P1あるいは第2期間P2に比べて、第1電極92に加えられる熱負荷が大きくなる。そのため、第4期間P4および第5期間P5を周期的に設けることで、第1電極92に加えられる熱負荷を、混合期間PH1のみの場合に比べて、より大きく変動させることができる。これにより、本実施形態によれば、突起552pの形状をより維持しやすく、放電灯90の寿命をより向上できる。

40

【0214】

また、第5期間P5には、第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流と反対極性の直流電流が放電灯90に供給される第4直流期間P52が設けられるため、第5期間P5において加熱する第1電極92と反対側の第2電極93の温度が低下し過ぎることを抑制できる。例えば、第2電極93の温度が低下し過ぎると、第2電極93を加熱して溶融させる際に、第2電極93の温度を高くしにくく、第2電極93の突起562pを溶融させにくい虞がある。

【0215】

また、第4直流期間P52の長さt52は、0.5ms(ミリ秒)よりも小さいため、第4直流期間P52において第1電極92の温度が低下しにくい。そのため、第3直流期

50

間 P 5 1 によって第 1 電極 9 2 を好適に加熱しやすい。

【 0 2 1 6 】

また、第 4 期間 P 4 と第 5 期間 P 5 とでは、第 5 期間 P 5 の方が、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が大きくなりやすい。そのため、例えば、第 5 期間 P 5 が周期的に設けられる期間が長く続くと、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p が過剰に溶解される虞がある。

【 0 2 1 7 】

これに対して、本実施形態によれば、第 5 期間 P 5 に加えて、第 5 期間 P 5 よりも第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が小さくなりやすい第 4 期間 P 4 を周期的に設けることで、第 5 期間 P 5 によって突起 5 5 2 p が過剰に溶解されることを抑制でき、突起 5 5 2 p の形状を整えることができる。

10

【 0 2 1 8 】

また、本実施形態によれば、第 5 期間 P 5 は、時間的に隣り合う混合期間 P H 1 の間に設けられる。そのため、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が比較的大きい第 5 期間 P 5 を適切に設けやすい。したがって、本実施形態によれば、突起 5 5 2 p の形状をより維持しやすく、放電灯 9 0 の寿命をより向上できる。

【 0 2 1 9 】

また、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とでは、第 1 期間 P 1 の方が、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が小さくなりやすい。本実施形態によれば、第 5 期間 P 5 は、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる。そのため、混合期間 P H 1 から第 5 期間 P 5 に移り変わることに
よる熱負荷の変動をより大きくしやすい。したがって、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p をより
成長させやすい。

20

【 0 2 2 0 】

また、本実施形態によれば、第 4 期間 P 4 は、時間的に隣り合う混合期間 P H 1 の間に設けられる。そのため、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が比較的大きい第 4 期間 P 4 を適切に設けやすい。したがって、本実施形態によれば、突起 5 5 2 p の形状をより維持しやすく、放電灯 9 0 の寿命をより向上できる。

【 0 2 2 1 】

また、本実施形態によれば、第 4 期間 P 4 は、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる。第 1 期間 P 1 および第 4 期間 P 4 においては、放電灯 9 0 に交流電流が供給される。そのため、放電灯 9 0 に交流電流が供給される期間が連続し、第 1 期間 P 1 から第 4 期間 P 4 に移
り変わる際に、周波数が第 1 周波数 f_1 から、第 1 周波数 f_1 よりも小さい第 2 周波数 f_2 となる。これにより、放電灯 9 0 に直流電流が供給される第 2 期間 P 2 の直後に第 4 期
間 P 4 が設けられる場合に比べて、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷の変動を緩やかにし
やすく、第 4 期間 P 4 において第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p の形状を整えやすい。

30

【 0 2 2 2 】

また、本実施形態によれば、第 1 所定間隔ごとに、第 4 期間 P 4 と第 5 期間 P 5 とのうちのいずれか一方が設けられる。そのため、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p に加えられる熱負荷を周期的に大きくすることができ、突起 5 5 2 p の形状を好適に維持しやすい。

【 0 2 2 3 】

また、本実施形態によれば、第 1 所定間隔よりも大きい第 2 所定間隔ごとに、第 4 期間 P 4 が設けられる。そのため、第 4 期間 P 4 が設けられる頻度を、第 5 期間 P 5 が設けられる頻度よりも低くしやすい。これにより、第 5 期間 P 5 が数回設けられた後に、第 4 期間 P 4 を設けることができる。したがって、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p を好適に溶解させつつ、突起 5 5 2 p の形状を整えることができる。

40

【 0 2 2 4 】

また、本実施形態によれば、第 3 直流期間 P 5 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性および第 4 直流期間 P 5 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 5 期間 P 5 が設けられるごとに反転する。そのため、第 1 電極 9 2 と第 2 電極 9 3 とを交互にバランスよく加熱しやすい。したがって、本実施形態によれば、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p および第 2 電極 9 3 の突起 5 6 2 p をバランスよく成長させることができ、

50

突起 5 5 2 p の形状および突起 5 6 2 p の形状を共に維持しやすい。

【 0 2 2 5 】

また、本実施形態によれば、第 4 期間 P 4 は、設けられるごとに開始極性が反転する。そのため、第 2 期間 P 2 および第 5 期間 P 5 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性を反転させる場合においても、第 4 期間 P 4 の直前の期間から第 4 期間 P 4 に移行変わる際、および第 4 期間 P 4 から直後の期間に移り変わる際に、極性を反転させることができる。すなわち、期間が移行変わる前後で、放電灯 9 0 に供給される駆動電流 I の極性を逆にすることができる。したがって、本実施形態によれば、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p および第 2 電極 9 3 の突起 5 6 2 p をよりバランスよく成長させることができ、突起 5 5 2 p の形状および突起 5 6 2 p の形状をより維持しやすい。

10

【 0 2 2 6 】

また、例えば、放電灯 9 0 が劣化すると、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p が溶融しにくくなり、突起 5 5 2 p の形状を維持しにくくなる。そのため、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が比較的大きい第 5 期間 P 5 によっても、突起 5 5 2 p の形状を十分に維持しにくくなる虞がある。

【 0 2 2 7 】

また、例えば、放電灯 9 0 に供給される駆動電力 W d が比較的大きい場合には、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が大きくなりやすい。そのため、第 5 期間 P 5 が設けられることで、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が過剰に大きくなる虞がある。

【 0 2 2 8 】

20

これらの問題に対して、本実施形態によれば、制御部 4 0 は、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の少なくとも一方に基づいて、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを設定する。そのため、上記問題の少なくとも一方を解決できる。

【 0 2 2 9 】

具体的には、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さがランプ電圧 V 1 a に基づいて設定される場合、ランプ電圧 V 1 a が大きくなるほど、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを大きく設定することで、放電灯 9 0 が劣化した場合に第 5 期間 P 5 において第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷をより大きくできる。これにより、放電灯 9 0 が劣化した場合に、第 5 期間 P 5 によって好適に第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p を溶融させやすく、突起 5 5 2 p の形状を維持しやすい。

30

【 0 2 3 0 】

一方、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さが駆動電力 W d に基づいて設定される場合、駆動電力 W d が大きくなるほど、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを小さく設定することで、駆動電力 W d が比較的に大きい場合に、第 5 期間 P 5 において第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷を小さくできる。これにより、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p が過剰に溶融されることを抑制でき、突起 5 5 2 p の形状を維持しやすい。

【 0 2 3 1 】

本実施形態によれば、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さは、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の両方に基づいて設定されるため、上記問題をいずれも解決することができる。

【 0 2 3 2 】

40

また、例えば、第 5 期間 P 5 において、第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t 5 1 と第 4 直流期間 P 5 2 の長さ t 5 2 との差（比）が小さいと、第 3 直流期間 P 5 1 における第 1 電極 9 2 の温度の上昇幅と、第 4 直流期間 P 5 2 における第 1 電極 9 2 の温度の下降幅との差が小さい。そのため、第 5 期間 P 5 において第 1 電極 9 2 の温度を上昇させにくい。これにより、第 5 期間 P 5 において第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷を十分に大きくできず、突起 5 5 2 p を十分に溶融できない虞がある。

【 0 2 3 3 】

これに対して、本実施形態によれば、第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t 5 1 は、第 4 直流期間 P 5 2 の長さ t 5 2 の 1 0 倍以上である。そのため、第 3 直流期間 P 5 1 における第 1 電極 9 2 の温度の上昇幅を、第 4 直流期間 P 5 2 における第 1 電極 9 2 の温度の下降幅に

50

対して十分に大きくできる。これにより、本実施形態によれば、第5期間P5において第1電極92に好適に熱負荷を加えることができ、突起552pの形状をより維持しやすい。

【0234】

また、本実施形態によれば、第5期間P5における第3直流期間P51の長さ t_{51} の合計は、10ms(ミリ秒)以上、1.0s(秒)以下である。そのため、第5期間P5において第1電極92に加えられる熱負荷を十分に大きくしやすく、突起552pの形状をより維持しやすい。

【0235】

また、本実施形態によれば、第4期間P4の長さ t_4 は、第4期間P4において放電灯90に供給される第2周波数 f_2 を有する交流電流の6周期の長さ以上、30周期の長さ以下である。そのため、第4期間P4において第1電極92の突起552pの形状をより好適に整えることができる。

【0236】

なお、本実施形態においては、以下の構成および方法を採用することもできる。

【0237】

本実施形態において、第1期間P1と、第2期間P2と、第4期間P4と、第5期間P5とは、混合期間PH1が設けられる範囲内において、どのように設けられてもよい。例えば、上記の説明においては、第1期間P1と第2期間P2とは、混合期間PH1において交互に連続して設けられる場合のみを説明したが、これに限られず、それぞれ離れて設けられてもよい。また、例えば、第2期間P2と第4期間P4、第2期間P2と第5期間P5、および第4期間P4と第5期間P5が、それぞれ連続して設けられてもよい。

【0238】

また、本実施形態において、時間的に隣り合う混合期間PH1の間に設けられる第4期間P4および第5期間P5は、第2期間P2の直後に設けられてもよい。

【0239】

また、上記説明においては、ある期間の終了極性と、ある期間の直後に設けられる期間の開始極性とは、互いに異なる構成としたが、これに限られない。本実施形態においては、ある期間の終了極性と、ある期間の直後に設けられる期間の開始極性とが同じであってもよい。

【0240】

また、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} のみに基づいて第5期間P5における第3直流期間P51の合計長さを設定してもよいし、駆動電力 W_d のみに基づいて第5期間P5における第3直流期間P51の合計長さを設定してもよい。また、本実施形態において第5期間P5における第3直流期間P51の合計長さは、変化しなくてもよい。

【0241】

また、本実施形態において制御部40は、第5期間P5における第3直流期間P51の合計長さ、および第2期間P2の長さ t_2 と同様に、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて第4期間P4の長さ t_4 を設定してもよい。すなわち、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 V_{1a} および駆動電力 W_d の少なくとも一方に基づいて、第4期間P4の長さ t_4 を変化させてもよい。

【0242】

また、本実施形態においては、混合期間PH1の代わりに、第2実施形態の混合期間PH2が設けられてもよい。この場合、第5期間P5における第3直流期間P51の合計長さは、混合期間PH2の第3期間P3における第1直流期間P31の合計長さよりも大きい。

【0243】

また、本実施形態において制御部40は、第4期間P4の開始極性を、第4期間P4が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、開始極性が同

10

20

30

40

50

じ極性の第2周波数 f_2 を有する交流電流が放電灯90に供給される第4期間P4が、2回以上連続して設けられてもよい。

【0244】

また、本実施形態において制御部40は、第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流の極性および第4直流期間P52において放電灯90に供給される直流電流の極性を、第5期間P5が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、2回以上連続して、第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流の極性および第4直流期間P52において放電灯90に供給される直流電流の極性がそれぞれ同じである第5期間P5が設けられてもよい。

【0245】

なお、上記の各実施形態において、透過型のプロジェクターに本発明を適用した場合の例について説明したが、本発明は、反射型のプロジェクターにも適用することも可能である。ここで、「透過型」とは、液晶パネル等を含む液晶ライトバルブが光を透過するタイプであることを意味する。「反射型」とは、液晶ライトバルブが光を反射するタイプであることを意味する。なお、光変調装置は、液晶パネル等に限られず、例えばマイクロミラーを用いた光変調装置であってもよい。

【0246】

また、上記の各実施形態において、3つの液晶パネル560R、560G、560B（液晶ライトバルブ330R、330G、330B）を用いたプロジェクター500の例を挙げたが、本発明は、1つの液晶パネルのみを用いたプロジェクター、4つ以上の液晶パネルを用いたプロジェクターにも適用可能である。

【0247】

また、上記説明した第1実施形態から第3実施形態の各構成は、相互に矛盾しない範囲内において、適宜組み合わせることができる。

【符号の説明】

【0248】

10...放電灯点灯装置（放電灯駆動装置）、40...制御部、90...放電灯、92...第1電極（電極）、93...第2電極（電極）、200...光源装置、230...放電灯駆動部、330R、330G、330B...液晶ライトバルブ（光変調装置）、350...投射光学系、500...プロジェクター、502、512R、512G、512B...画像信号、 f_1 、 f_{11} 、 f_{12} 、 f_{13} 、 f_{14} ...第1周波数、I...駆動電流、P1...第1期間、P11...第1交流期間（交流期間）、P12...第2交流期間（交流期間）、P13...第3交流期間（交流期間）、P14...第4交流期間（交流期間）、P2...第2期間、P3...第3期間、P31...第1直流期間、P32...第2直流期間、PH1、PH2...混合期間、V1a...ランプ電圧（電極間電圧）、Wd...駆動電力

10

20

30

【図 1】

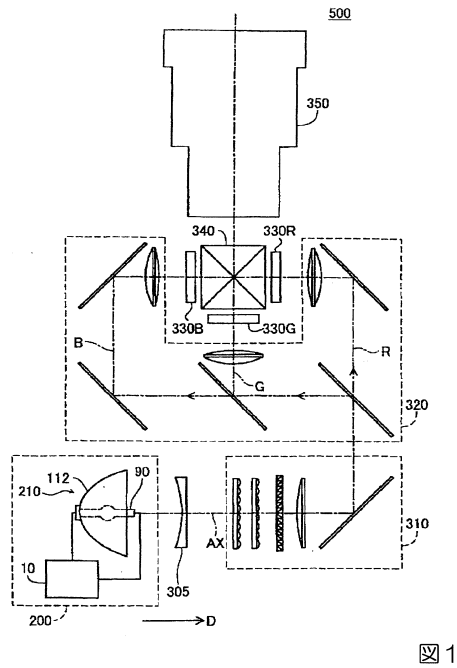


図 1

【図 2】

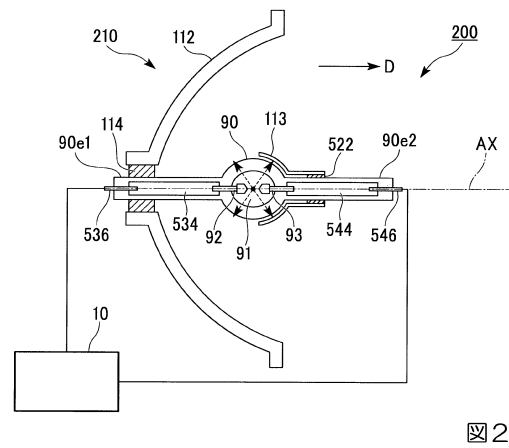


図 2

【図 3】

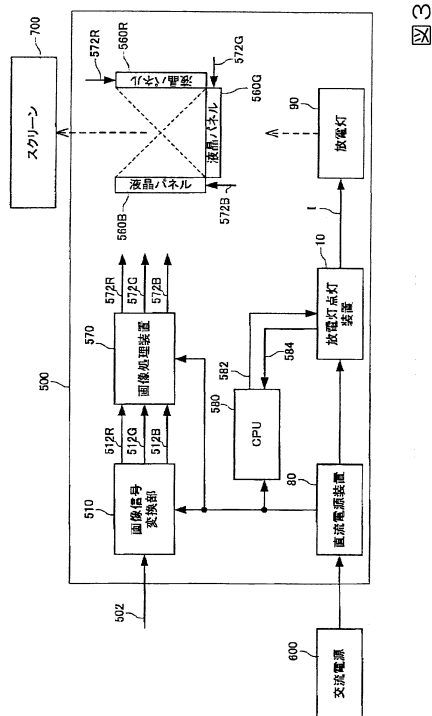


図 3

【図 4】

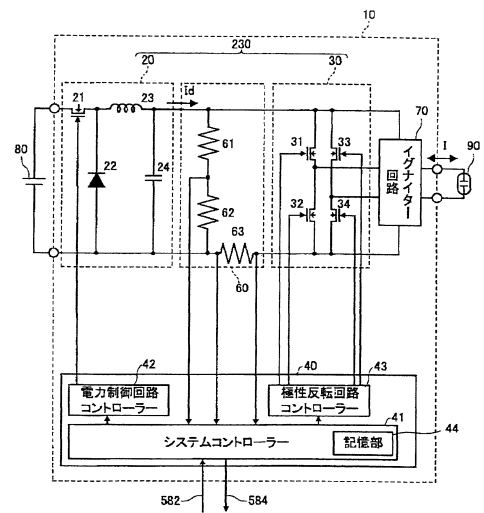


図 4

【図 5】

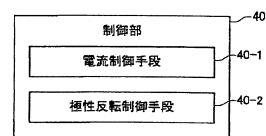


図 5

【図 6】

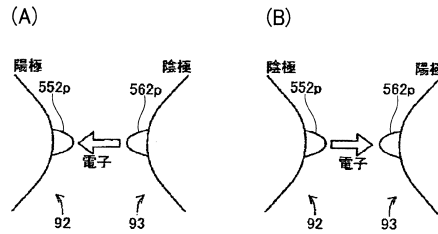
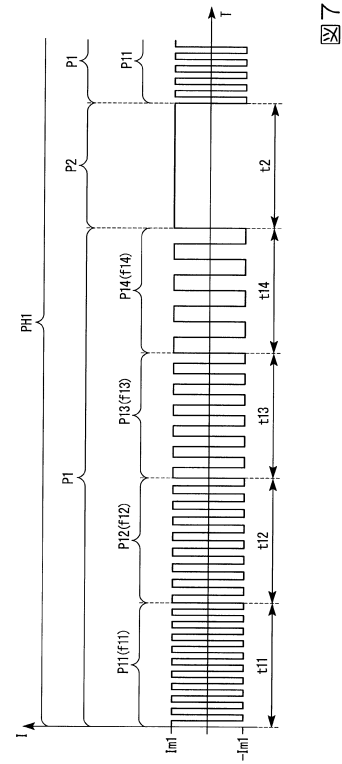


図 6

【図 7】



【図 8】

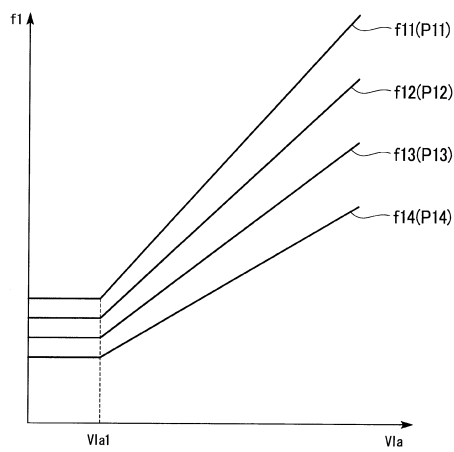


図 8

【図 9】

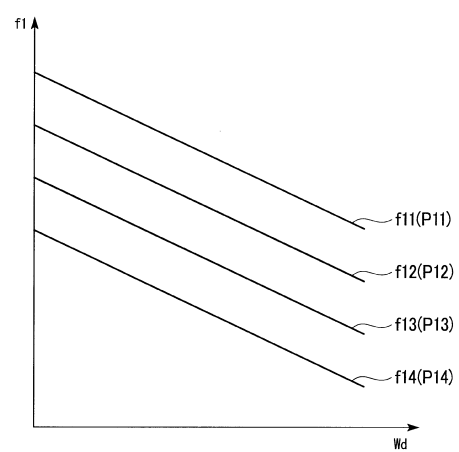
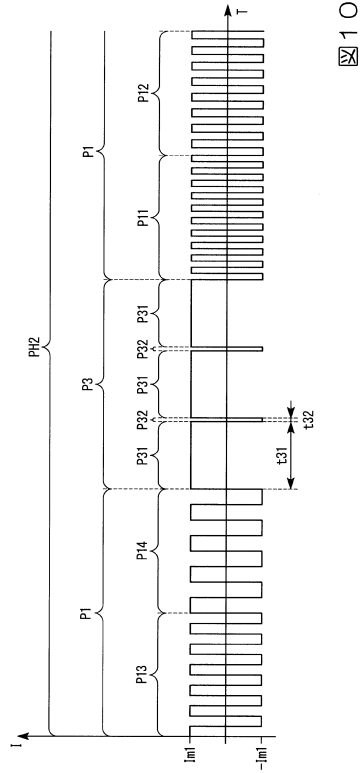


図 9

【図10】



【図11】

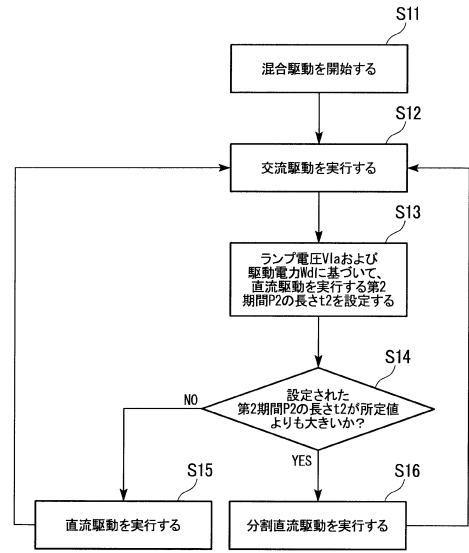
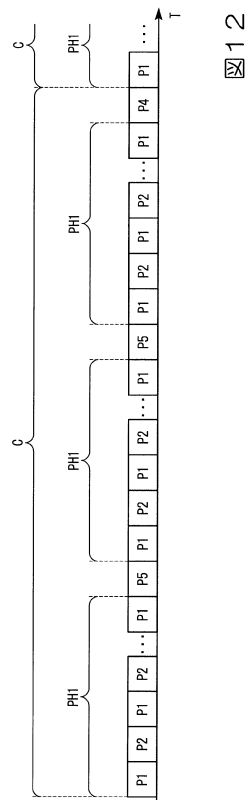
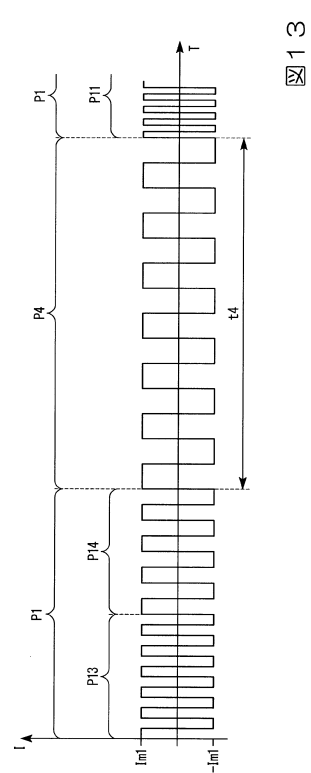


図11

【図12】



【図13】



【図14】

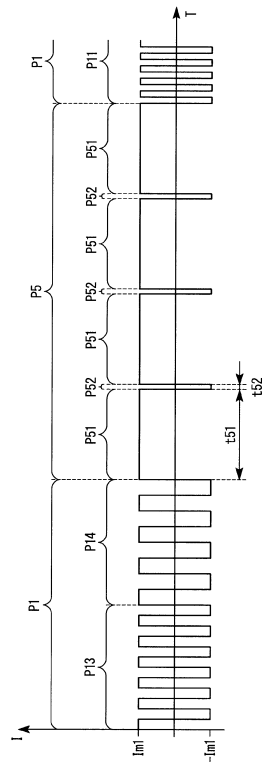


図14

【図15】

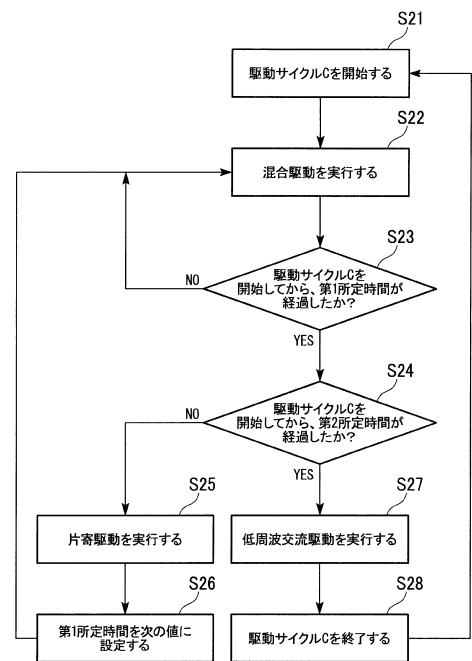


図15

フロントページの続き

- (72)発明者 佐藤 峻
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 鈴木 淳一
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 鬼頭 聡
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 安食 泰秀

- (56)参考文献 特開2013-098147(JP,A)
特開2011-023288(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| H05B | 41/24 |
| G03B | 21/00 |
| G03B | 21/14 |