

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5233235号
(P5233235)

(45) 発行日 平成25年7月10日(2013.7.10)

(24) 登録日 平成25年4月5日(2013.4.5)

(51) Int.Cl.

H01S 5/0683 (2006.01)

F 1

H01S 5/0683

請求項の数 7 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2007-264001 (P2007-264001)
 (22) 出願日 平成19年10月10日 (2007.10.10)
 (65) 公開番号 特開2009-94315 (P2009-94315A)
 (43) 公開日 平成21年4月30日 (2009.4.30)
 審査請求日 平成22年10月5日 (2010.10.5)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
 (74) 代理人 110000028
 特許業務法人明成国際特許事務所
 (72) 発明者 池上 富雄
 長野県諏訪市大和三丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 金高 敏康

(56) 参考文献 特開2003-249716 (JP, A)
 特開2001-209342 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体発光素子の制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源装置であって、
半導体レーザと、
 入力値に応じて前記半導体レーザを制御する制御部と、
 を備え、
 前記制御部は、

前記入力値と、前記半導体レーザの閾値電流の推定値と、に基づいて、駆動電流を前記半導体レーザに供給する供給部と、

前記駆動電流の値と、前記半導体レーザから射出される光の量に関する検出値と、を用いて、前記供給部で用いられる前記閾値電流の推定値を求める推定部と、
 を備え、

前記推定部は、
 前記駆動電流の値と、前記閾値電流の推定値と、を用いて、前記半導体レーザから射出される光の量に関する推定値を求め、

前記光の量に関する検出値と前記光の量に関する推定値との差分を、前記推定部の入力側にフィードバックし、

前記制御部は、
 前記半導体レーザの発光が停止されると、前記差分の前記フィードバックを停止する停止部を備える、

10

20

光源装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光源装置であって、

前記供給部は、さらに、

前記閾値電流の推定値を用いて、前記駆動電流のうちの前記閾値電流を発生させるための第 1 の回路と、

前記入力値を用いて、前記駆動電流のうちの前記閾値電流を超える電流を発生させるための第 2 の回路と、

を備える、光源装置。

【請求項 3】

10

請求項 1 または 2 に記載の光源装置であって、

前記制御部は、さらに、前記半導体レーザに有意な発光を開始させる前に、前記半導体レーザを予備的に発光させる、光源装置。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 までのいずれか一項に記載の光源装置であって、

前記制御部は、さらに、

前記推定部で用いられる前記駆動電流の値を測定する測定部を備える、光源装置。

【請求項 5】

20

請求項 1 から 4 までのいずれか一項に記載の光源装置であって、

前記制御部は、さらに、

前記推定部で用いられる前記駆動電流の値を算出する算出部を備える、光源装置。

【請求項 6】

画像表示装置であって、

請求項 1 から 5 までのいずれか一項に記載の光源装置を備え、

前記入力値は、画像データに含まれる各画素データである、画像表示装置。

【請求項 7】

入力値に応じて半導体レーザを制御する方法であって、

前記入力値と、前記半導体レーザの閾値電流の推定値と、に基づいて、駆動電流を前記半導体レーザに供給する工程と、

前記駆動電流の値と、前記半導体レーザから射出される光の量に関する検出値と、を用いて、前記供給する工程で用いられる前記閾値電流の推定値を求める工程と、を備え、

前記閾値電流の推定値を求める工程は、

前記駆動電流の値と、前記閾値電流の推定値と、を用いて、前記半導体レーザから射出される光の量に関する推定値を求める工程と、

前記光の量に関する検出値と前記光の量に関する推定値との差分とを、前記閾値電流の推定値を求める工程にフィードバックさせる工程と、を備え、

更に、前記半導体レーザの発光が停止されると、前記差分の前記フィードバックを停止する工程、を備える

方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、半導体発光素子を制御する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

プロジェクタは、通常、光源装置として高圧水銀ランプを備えている。近年、プロジェクタの光源装置として、半導体レーザを用いることが試みられている。

【0003】

【特許文献 1】特開 2000-294871 号公報

50

【特許文献 2】 U S P 6 2 4 3 4 0 7 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

半導体レーザが用いられる場合には、発熱に起因して、入力値が変化しないにも関わらず、半導体レーザから射出される光の強度（発光量）が変化し得る。この場合には、プロジェクタによって表示される画像が、原画像データによって表される原画像と異なり得る。この現象は、例えば、熱レンズ効果を利用する半導体レーザが用いられる場合に、顕著となる。

【0005】

なお、上記の問題は、半導体レーザに限らず、発光ダイオードなどの他の半導体発光素子が利用される場合にも共通する。また、上記の問題は、プロジェクタに限らず、半導体発光素子を含む光源装置に共通する。

【0006】

この発明は、従来技術における上述の課題を解決するためになされたものであり、半導体発光素子に、入力値に応じた強度の光を正確に射出させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。

本発明の第1の光源装置は、

半導体レーザと、

入力値に応じて前記半導体レーザを制御する制御部と、
を備え、

前記制御部は、

前記入力値と、前記半導体レーザの閾値電流の推定値と、に基づいて、駆動電流を前記半導体レーザに供給する供給部と、

前記駆動電流の値と、前記半導体レーザから射出される光の量に関する検出値と、を用いて、前記供給部で用いられる前記閾値電流の推定値を求める推定部と、
を備え、

前記推定部は、

前記駆動電流の値と、前記閾値電流の推定値と、を用いて、前記半導体レーザから射出される光の量に関する推定値を求め、

前記光の量に関する検出値と前記光の量に関する推定値との差分を、前記推定部の入力側にフィードバックし、

前記制御部は、

前記半導体レーザの発光が停止されると、前記差分の前記フィードバックを停止する停止部を備える。

半導体レーザの温度が変化すると、半導体レーザの閾値電流が変化し得る。しかしながら、この装置では、閾値電流の推定値が求められ、入力値と該閾値電流の推定値とに基づいて、駆動電流が半導体レーザに供給されるため、温度変化に起因して閾値電流が変化する場合にも、半導体レーザに、入力値に応じた強度の光を正確に射出させることができる。また、この装置によれば、半導体レーザの発光が停止された後であっても、オープンループで閾値電流の推定値を求めることができる。

【0008】

[適用例 1] 光源装置であって、

半導体発光素子と、

入力値に応じて前記半導体発光素子を制御する制御部と、
を備え、

前記制御部は、

10

20

30

40

50

前記入力値と、前記半導体発光素子の閾値電流の推定値と、に基づいて、駆動電流を前記半導体発光素子に供給する供給部と、

前記駆動電流の値と、前記半導体発光素子から射出される光の量に関する検出値と、を用いて、前記供給部で用いられる前記閾値電流の推定値を求める推定部と、を備える、光源装置。

【0009】

半導体発光素子の温度が変化すると、半導体発光素子の閾値電流が変化し得る。しかしながら、この装置では、閾値電流の推定値が求められ、入力値と該閾値電流の推定値とにに基づいて、駆動電流が半導体発光素子に供給されるため、温度変化に起因して閾値電流が変化する場合にも、半導体発光素子に、入力値に応じた強度の光を正確に射出させることができる。 10

【0010】

[適用例2] 適用例1記載の光源装置であって、

前記供給部は、さらに、

前記閾値電流の推定値を用いて、前記駆動電流のうちの前記閾値電流を発生させるための第1の回路と、

前記入力値を用いて、前記駆動電流のうちの前記閾値電流を超える電流を発生させるための第2の回路と、

を備える、光源装置。

【0011】

20

こうすれば、閾値電流と閾値電流を超える電流とを含む駆動電流を、半導体発光素子に容易に供給することができる。

【0012】

[適用例3] 適用例1または2記載の光源装置であって、

前記推定部は、オブザーバであり、

前記推定部は、第1の状態変数の推定値として、前記閾値電流の推定値を求める、光源装置。

【0013】

[適用例4] 適用例3記載の光源装置であって、

前記推定部は、さらに、第2の状態変数の推定値として、他の推定値を求める、光源装置。 30

【0014】

このように、2つの状態変数を利用すれば、第1の状態変数である閾値電流を正確に推定することができる。

【0015】

[適用例5] 適用例1ないし4のいずれかに記載の光源装置であって、

前記推定部は、

前記駆動電流の値と、前記閾値電流の推定値と、を用いて、前記半導体発光素子から射出される光の量に関する推定値を求め、

前記光量に関する検出値と前記光量に関する推定値との差分を、前記閾値電流の推定値を求めるために、前記推定部の入力側にフィードバックし、 40

前記制御部は、

前記半導体発光素子の発光が停止されると、前記差分の前記フィードバックを禁止する禁止部を備える、光源装置。

【0016】

こうすれば、半導体発光素子の発光が停止された後に、オープンループで閾値電流の推定値を求めることができる。

【0017】

[適用例6] 適用例1ないし5のいずれかに記載の光源装置であって、

前記制御部は、さらに、前記半導体発光素子に有意な発光を開始させる直前に、前記半 50

導体発光素子を予備的に発光させる、光源装置。

【0018】

こうすれば、半導体発光素子が有意な発光を開始した直後に、閾値電流の推定値を正確に求めることができる。

【0019】

[適用例7] 適用例1ないし6のいずれかに記載の光源装置であって、

前記制御部は、さらに、

前記推定部で用いられる前記駆動電流の値を測定する測定部を備える、光源装置。

【0020】

[適用例8] 適用例1ないし6のいずれかに記載の光源装置であって、

前記制御部は、さらに、

前記推定部で用いられる前記駆動電流の値を算出する算出部を備える、光源装置。

【0021】

このように、推定部で用いられる駆動電流の値は、測定によって求められてもよいし、算出によって求められてもよい。

【0022】

[請求項9] 画像表示装置であって、

適用例1ないし8のいずれかに記載の光源装置を備え、

前記入力値は、画像データに含まれる各画素データである、画像表示装置。

【0023】

[他の適用例1] 適用例4記載の光源装置であって、

前記推定部は、

前記閾値電流の推定値の導関数を積分して、前記閾値電流の推定値を求める第1の積分器と、

前記第2の状態変数の推定値の導関数を積分して、前記第2の状態変数の推定値を求める第2の積分器と、

を備え、

前記推定部は、

前記駆動電流の値と、前記第1の積分器から出力される前記閾値電流の推定値と、を用いて、前記半導体発光素子から射出される光の量に関する推定値を求め、

前記光量に関する検出値と前記光量に関する推定値との差分を用いて、前記第2の積分器に与えられる前記第2の状態変数の推定値の導関数を求め、

前記駆動電流の値と、前記差分と、前記第1の積分器から出力される前記閾値電流の推定値と、前記第2の積分器から出力される前記第2の状態変数の推定値と、を用いて、前記第1の積分器に与えられる前記閾値電流の推定値の導関数を求める、光源装置。

【0024】

[他の適用例2] 適用例4記載の光源装置であって、

前記推定部は、

時刻 $k + 1$ での前記閾値電流の推定値を遅延させて、時刻 k での前記閾値電流の推定値を求める第1の遅延器と、

時刻 $k + 1$ での前記第2の状態変数の推定値を遅延させて、時刻 k での前記第2の状態変数の推定値を求める第2の遅延器と、

を備え、

前記推定部は、

時刻 k での前記駆動電流の値と、前記第1の遅延器から出力される時刻 k での前記閾値電流の推定値と、を用いて、時刻 k での前記半導体発光素子から射出される光の量に関する推定値を求め、

時刻 k での前記光量に関する検出値と時刻 k での前記光量に関する推定値との差分と、前記第2の遅延器から出力される時刻 k での前記第2の状態変数の推定値と、を用いて、前記第2の遅延器に与えられる時刻 $k + 1$ での前記第2の状態変数の推定値を求め、

10

20

30

40

50

時刻 k での前記駆動電流の値と、時刻 k での前記差分と、前記第1の遅延器から出力される時刻 k での前記閾値電流の推定値と、前記第2の遅延器から出力される時刻 k での前記第2の状態変数の推定値と、を用いて、前記第1の遅延器に与えられる時刻 $k+1$ での前記閾値電流の推定値を求める、光源装置。

【0025】

なお、この発明は、半導体発光素子を含む光源装置、半導体発光素子のための制御装置および方法、光源装置を備える画像表示装置、該画像表示装置のための制御装置および方法、これらの方法または装置の機能を実現するためのコンピュータプログラム、そのコンピュータプログラムを記録した記録媒体、そのコンピュータプログラムを含み搬送波内に具現化されたデータ信号、等の種々の態様で実現することができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

次に、本発明の実施の形態を実施例に基づいて以下の順序で説明する。

A. 第1実施例：

A - 1. プロジェクタの構成：

A - 2. 比較例：

A - 3. 光源装置の構成：

A - 4. 光源装置の動作：

A - 5. 閾値電流推定器：

B. 第2実施例：

20

【0027】

A. 第1実施例：

A - 1. プロジェクタの構成：

図1は、プロジェクタPJの概略構成を示す説明図である。このプロジェクタPJは、いわゆるラスタスキャン方式のリアプロジェクタである。プロジェクタPJは、光源装置50と、ポリゴンミラー62と、ミラー駆動部64と、スクリーン70と、を備えている。

【0028】

光源装置50は、半導体レーザを備えており、レーザ光を射出する。具体的には、光源装置50は、画像データを構成する各画素データ（画素値）に応じた強度の光を射出する。ポリゴンミラー62は、複数のミラー面を含んでおり、各ミラー面は、光源装置50から射出された光をスクリーン70に向けて反射する。ミラー駆動部64は、ポリゴンミラー62を、中心軸Cを中心に回転させる。このため、スクリーン70に形成される光のスポットは、スクリーン70上でx方向に沿って走査する。また、ミラー駆動部64は、ポリゴンミラー62を、図中、x方向と平行な軸を中心に回動させる。このため、光のスポットの走査ラインは、y方向に沿って、次第に移動する。スクリーン70は、拡散板であり、入射する光を拡散させる。この結果、スクリーン70上に画像データによって表される画像が表示される。なお、観察者は、残像現象を利用して、画像を観察する。

30

【0029】

図2は、プロジェクタPJの動作を模式的に示す説明図である。図2(A)は、ポリゴンミラー62の回転角度を示しており、図2(B)は、光源装置50から射出される光の強度（発光量）を示している。

40

【0030】

図2(A)のポリゴンミラー62の回転角度は、光源装置50から射出された光が入射する対象ミラー面の回転角度を示している。図中、基準期間Taは、光源装置50から光が継続して射出されると仮定したときに、対象ミラー面にレーザ光が入射する期間を示す。基準期間Taの始期は、対象ミラー面の回転開度の最小値(min)に対応し、基準期間Taの終期は、対象ミラー面の回転角度の最大値(max)に対応する。本実施例では、図2(B)に示すように、光源装置50は、基準期間Taのうちの一部の有効期間Tbのみで、光を射出する。すなわち、有効期間Tbにおける対象ミラー面の回転角度の増大

50

に伴って、1走査ライン分の部分画像（ライン画像）が描画される。なお、図2（B）に示す期間T0については、後述する。

【0031】

ところで、上記のようなラスタスキャン方式のプロジェクタPJでは、光源装置50から射出される光の強度は、画素データ（画素値）に対応する強度であることが望ましい。しかしながら、前述したように、半導体レーザから射出される光の強度は、半導体レーザ52の温度に依存して変化し得る。このため、光源装置50から射出される光の強度は、画素データ（画素値）に対応しない強度になり得る。

【0032】

A-2. 比較例：

10

図3は、比較例における光源装置の動作を示すタイミングチャートである。図3（A）は、光源装置に与えられる画素データを示す。図3（B）は、半導体レーザに供給される駆動電流を示す。図3（C）は、半導体レーザの温度を示す。図3（D）は、半導体レーザの閾値電流を示す。図3（E）は、半導体レーザから射出される光の強度（発光量）を示す。

【0033】

図3（A）に示すように、画素データ（画素値）は、期間T1では、ゼロであり、期間T2では、比較的大きな値であり、期間T3では、比較的小さな値である。比較例では、半導体レーザの駆動電流は、図3（B）に示すように、画素データ（画素値）に対応する値に設定される。具体的には、半導体レーザの駆動電流は、期間T1では、ゼロに設定され、期間T2では、比較的大きな値に設定され、期間T3では、比較的小さな値に設定される。

20

【0034】

駆動電流の変化に伴って、半導体レーザの温度は、例えば、図3（C）に示すように、変化する。具体的には、半導体レーザの温度は、駆動電流が有意な値に設定された後の期間T2において次第に上昇し、駆動電流が低減された後の期間T3において次第に下降する。そして、半導体レーザの温度の変化に伴って、半導体レーザの閾値電流は、図3（D）に示すように、変化する。具体的には、半導体レーザの閾値電流は、期間T2では、温度の上昇に伴って減少し、期間T3では、温度の下降に伴って増大する。この結果、図3（E）に示すように、半導体レーザの発光量は、期間T2では、急峻に増大した後に緩やかに増大し、期間T3では、急峻に減少した後に緩やかに減少する。

30

【0035】

半導体レーザの発光量（図3（E））のプロファイルは、画素データ（図3（A））のプロファイルと同等（相似）であることが望ましい。しかしながら、図3（A），（E）を比較して分かるように、2つのプロファイルは、大きく異なっている。これは、図3（D）に示すように、半導体レーザの温度に応じて、閾値電流が大きく変化するためである。

【0036】

比較例の光源装置が利用される場合には、スクリーン上にベタ画像（輝度が均一な画像）が表示されるべき場合にも、画像内に輝度の分布が発生し得る。具体的には、ベタ画像の第1の側から第2の側に向かって、各ライン画像が描かれる仮定する。各ライン画像の第1の側が描画される際には、半導体レーザの温度が比較的低く、閾値電流は比較的高いため、発光量は、比較的小さくなる。逆に、各ライン画像の第2の側が描画される際には、半導体レーザの温度が比較的高く、閾値電流は比較的低いため、発光量は、比較的大きくなる。この結果、スクリーン上に表示されるべきベタ画像の第1の側の輝度は、第2の側の輝度よりも低くなってしまう。

40

【0037】

そこで、本実施例では、発光量のプロファイルが画素データのプロファイルと同等（相似）になるように、光源装置50の構成を工夫している。

【0038】

50

なお、図3に示す問題は、熱レンズ効果を利用する半導体レーザが用いられる場合に、顕著となる。具体的には、駆動電流に応じて、半導体レーザの温度が高くなると、閾値電流が小さくなり、半導体レーザの発光量が増大する。逆に、駆動電流に応じて、半導体レーザの温度が低くなると、閾値電流が大きくなり、半導体レーザの発光量が減少する。ここで、熱レンズ効果は、レーザ光の照射によって局所的に温度が上昇して屈折率分布が生じる現象を意味している。

【0039】

A - 3 . 光源装置の構成 :

図4は、光源装置50(図1)の概略構成を示す説明図である。図示するように、光源装置50は、半導体レーザ(LD)52と、半導体レーザ52の動作を制御する制御回路54と、を備えている。半導体レーザ52は、熱レンズ効果を利用する。制御回路54は、電流ドライバ110と、受光素子(PD)130と、電流-電圧(I/V)変換器140と、閾値電流推定器150と、を備えている。

【0040】

電流ドライバ110は、3つの信号Dapc1, Dapc2, Dに応じた駆動電流Iを、半導体レーザ52に供給する。なお、3つの信号Dapc1, Dapc2, Dについては後述する。

【0041】

半導体レーザ52は、電流ドライバ110から供給された駆動電流Iに応じて、レーザ光を射出する。

【0042】

受光素子130は、半導体レーザ52から射出された光の強度(発光量)に応じた電流を出力する。

【0043】

I/V変換器140は、受光素子130から受け取った電流に応じた電圧を出力する。I/V変換器140から出力される電圧は、半導体レーザ52から射出される光の強度(発光量)に依存する。このため、以下では、I/V変換器140から出力される電圧を、単に「発光量L」とも呼ぶ。

【0044】

閾値電流推定器150は、I/V変換器140から出力される電圧(すなわち、発光量L)と、電流ドライバ110から半導体レーザ52に供給される駆動電流Iと、を用いて、半導体レーザ52の閾値電流It hを推定する。推定された閾値電流It hは、信号Dapc1としてリアルタイムで電流ドライバ110にフィードバックされる。

【0045】

なお、本実施例における制御回路54が本発明における制御部に相当する。そして、電流ドライバ110が本発明における供給部に相当し、閾値電流推定器150が本発明における推定部に相当する。

【0046】

図5は、電流ドライバ110(図4)の内部構成を示す説明図である。なお、図5では、半導体レーザ52も示されている。電流ドライバ110は、駆動電流決定部110aと、閾値電流決定部110bと、発光電流決定部110cと、を備えている。

【0047】

周知のように、半導体レーザ52は、駆動電流Iが閾値電流It hを超える場合に、発光する。すなわち、半導体レーザ52の発光量Lは、駆動電流Iと閾値電流It hの差に依存する。このため、本実施例では、駆動電流Iと閾値電流It hの差分を、「発光電流」Idと呼ぶ。

【0048】

駆動電流決定部110aは、2つのpMOSトランジスタTm1, Tm2を含むカレントミラー回路を備えている。第1のトランジスタTm1のドレイン端子は、半導体レーザ52に接続されており、第2のトランジスタTm2のドレイン端子は、閾値電流決定部1

10

20

30

40

50

10 b と発光電流決定部 110 c とに接続されている。

【0049】

閾値電流決定部 110 b は、定電流源 S1 を備えている。定電流源 S1 には、信号 Dapc1 が与えられ、定電流源 S1 は、信号 Dapc1 に応じた電流 SIt h を流す。なお、電流 SIt h は、閾値電流 It h に対応する。

【0050】

発光電流決定部 110 c は、直列に接続された定電流源 S2 と nMOS トランジスタ Ti を備えている。定電流源 S2 には、信号 Dapc2 が与えられ、定電流源 S2 は、信号 Dapc2 に応じた電流 SIG を流す。なお、本実施例では、信号 Dapc2 は一定の値であるため、電流 SIG は一定の値である。

10

【0051】

また、発光電流決定部 110 c は、並列に接続された 4 組のスイッチ Sw1 ~ Sw4 および nMOS トランジスタ Td1 ~ Td4 を備えている。なお、各組のスイッチ（例えば Sw1）およびトランジスタ（例えば Td1）は、直列に接続されている。4 組のスイッチ Sw1 ~ Sw4 およびトランジスタ Td1 ~ Td4 は、閾値電流決定部 110 b と並列に設けられている。また、4 つのトランジスタ Td1 ~ Td4 のゲート端子は、共に、トランジスタ Ti のゲート端子に接続されている。

【0052】

4 つのスイッチ Sw1 ~ Sw4 には、4 ビットで構成される画素データ D が与えられる。なお、図 5 では、画素データ D は 4 ビットで構成されているが、より少数のビットで構成されていてもよいし、より多数のビットで構成されていてもよい。この場合には、画素データ D のビット数に対応する組数のスイッチおよびトランジスタが設けられていればよい。

20

【0053】

画素データ D に従って、各スイッチ Sw1 ~ Sw4 がオン状態に設定されると、対応する各トランジスタ Td1 ~ Td4 に電流が流れる。画素データ D の第 1 のビット（最上位ビット）に従って第 1 のスイッチ Sw1 がオン状態に設定されると、第 1 のトランジスタ Td1 には、電流 1/2 · SIG が流れる。同様に、画素データ D の第 2 のビットに従って第 2 のスイッチ Sw2 がオン状態に設定されると、第 2 のトランジスタ Td2 には、電流 1/4 · SIG が流れる。画素データ D の第 3 のビットに従って第 3 のスイッチ Sw3 がオン状態に設定されると、第 3 のトランジスタ Td3 には、電流 1/8 · SIG が流れる。画素データ D の第 4 のビット（最下位ビット）に従って第 4 のスイッチ Sw4 がオン状態に設定されると、第 4 のトランジスタ Td4 には、電流 1/16 · SIG が流れる。

30

【0054】

4 つのトランジスタ Td1 ~ Td4 を流れる電流の和である電流 SIGd は、すべてのスイッチ Sw1 ~ Sw4 がオン状態に設定される場合に最大 (15/16 · SIG) となる。なお、電流 SIGd は、発光電流 Id に対応する。

【0055】

駆動電流決定部 110 a の第 2 のトランジスタ Tm2 には、閾値電流決定部 110 b に供給される電流 SIt h と、発光電流決定部 110 c に供給される電流 SIGd と、の和である電流 SIG が流れる。本実施例では、2 つのトランジスタ Tm1, Tm2 のサイズ (L (チャネル長) / W (チャネル幅)) は同じであるため、第 1 のトランジスタ Tm1 には、電流 SIG の値と同じ値を有する駆動電流 Id が流れる。そして、この駆動電流 Id が、半導体レーザ 52 に供給される。なお、2 つのトランジスタ Tm1, Tm2 のサイズ (L / W) は異なっていてもよい。

40

【0056】

上記のように、駆動電流 Id は、閾値電流 It h に対応する電流 SIt h と、発光電流 Id に対応する電流 SIGd と、を用いて、決定されている。閾値電流 It h に対応する電流 SIt h は、信号 Dapc1 に応じて決定されている。発光電流 Id に対応する電流 SIGd は、2 つの信号 Dapc2, D に応じて決定されている。なお、本実施例では、信号 D

50

a p c 2 は、一定の値であるため、発光電流 I_d に対応する電流 $S_I d$ は、信号 D に応じて決定されていると言える。

【0057】

図5の構成を採用すれば、電流ドライバ110は、閾値電流 I_{th} と、閾値電流 I_{th} を超える発光電流 I_d と、を含む駆動電流 I を、半導体レーザ52に容易に供給することができる。

【0058】

なお、本実施例における閾値電流決定部110bが本発明における第1の回路に相当し、発光電流決定部110cが本発明における第2の回路に相当する。

【0059】

図4、図5で説明したように、光源装置50は、駆動電流 I と発光量 L を用いて、閾値電流 I_{th} を推定し、推定された閾値電流 I_{th} をリアルタイムで電流ドライバ110にフィードバックしている。そして、電流ドライバ110は、画素データ D と推定された閾値電流 I_{th} とに基づいて、駆動電流 I を決定している。この構成により、半導体レーザ52は、発光電流 I_d に対応する発光量 L でレーザ光を射出することができる。

【0060】

なお、閾値電流推定器150の動作帯域は、半導体レーザ52の温度応答よりも速ければよい。例えば、半導体レーザ52の温度応答の速度が数十 μ 秒である場合には、閾値電流推定器150の動作帯域は、数 μ 秒(数百 kHz)であればよい。

【0061】

A-4. 光源装置の動作：

図6は、光源装置50の動作を示すタイミングチャートである。図6(A)は、電流ドライバ110に与えられる画素データ D を示す。図6(B)は、発光電流決定部110cによって決定される画素データ D に応じた発光電流 I_d を示す。図6(C)は、閾値電流推定器150によって推定される半導体レーザ52の閾値電流 I_{th} を示す。図6(D)は、電流ドライバ110から半導体レーザ52に供給される駆動電流 I を示す。なお、図6(D)には、破線で図6(C)の閾値電流 I_{th} が示されている。図6(E)は、半導体レーザ52の発光量 L を示す。

【0062】

図6(A)に示すように、画素データ D が変化すると、図6(B)に示すように、画素データ D に応じて発光電流 I_d が変化する。前述したように、半導体レーザ52の閾値電流 I_{th} は、半導体レーザの温度に応じて、変化し得る。閾値電流 I_{th} は、例えば、図6(C)に示すように、変化する。駆動電流 I は、閾値電流 I_{th} (図6(C))と発光電流 I_d (図6(B))との和で表されるため、半導体レーザ52には、図6(D)に示す駆動電流 I が供給される。この結果、半導体レーザ52は、図6(E)に示す発光量 L で光を射出する。

【0063】

上記のように、本実施例では、閾値電流 I_{th} と、画素データ D に応じた発光電流 I_d と、の和である駆動電流 I が半導体レーザ52に供給されるため、画素データ D (図6(A))のプロファイルと、発光量 L のプロファイル (図6(E))と、を同等(相似)にすることができます。

【0064】

A-5. 閾値電流推定器：

閾値電流推定器150を構築するために、まず、半導体レーザ52の動作モデルを考慮する。

【0065】

半導体レーザのレート方程式は、次の式(1), 式(2)で表される。

【0066】

10

20

30

40

【数1】

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I}{e} \frac{1}{V} - \frac{N}{\tau_c} - A(N - N_c)P \quad \dots \quad (1)$$

【0067】

【数2】

$$\frac{dP}{dt} = A(N - N_c)P - \frac{P}{\tau_p} \quad \dots \quad (2)$$

10

【0068】

ここで、 I は、発光領域（活性領域）に注入される電流（すなわち駆動電流）を示し、 e は、電荷を示し、 V は、発光領域の体積を示す。 N は、注入されたキャリア密度を示し、 N_c は、光の増幅が始まるキャリア密度を示す。 c は、キャリアの緩和時間（すなわち、キャリア密度が失われる時定数）を示す。 P は、レーザ光のエネルギー密度（光子数密度）を示す。 τ_p は、光子の緩和時間（すなわち、光子数密度が失われる時定数）を示す。 A は、誘導放出に関する係数である。

【0069】

式（1）は、キャリア数の時間変化が、注入された電流に応じたキャリア数から、緩和によって消滅するキャリア数と、有効な誘導放出に寄与するキャリア数と、を減算したものであることを示す。式（2）は、光子数の時間変化が、有効な誘導放出によって発生した光子数から、緩和によって消滅する光子数を減算したものであることを示す。

20

【0070】

定常状態における光子数密度 P は、式（1），式（2）を用いて、以下の式（3）で表される。

【0071】

【数3】

$$\begin{aligned} P &= G(I - I_{th}) \\ I_{th} &= \frac{e \cdot V}{\tau_c} \left(\frac{1}{A \cdot \tau_p} + N_c \right) \quad \dots \quad (3) \\ G &= \frac{\tau_p}{e \cdot V} \end{aligned}$$

30

【0072】

次に、半導体レーザの熱レンズ効果を考慮する。熱レンズの効果に起因して、発光領域内の光子数密度が増加すると考えると、レート方程式は、次の式（4），式（5）で表される。なお、式（4），式（5）は、式（1），式（2）の誘導放出に関する係数 A を、係数 $A \cdot F$ で置換したものである。ここで、係数 F は、熱レンズの効果に関する係数である。

40

【0073】

【数4】

$$\frac{dN}{dt} = \frac{I}{e} \frac{1}{V} - \frac{N}{\tau_c} - A(N - N_c)F \cdot P \quad \dots \quad (4)$$

【0074】

【数5】

$$\frac{dP}{dt} = A(N - N_c)F \cdot P - \frac{P}{\tau_p} \quad \dots (5)$$

【0075】

また、定常状態における光子数密度 P は、次の式(6)で表される。なお、式(6)は、式(3)の係数 A を係数 $A \cdot F$ で置換したものである。

【0076】

【数6】

10

$$\begin{aligned} P &= G(I - I_{th}) \\ I_{th} &= \frac{eV}{\tau_c} \left(\frac{1}{A \cdot F \cdot \tau_p} + N_c \right) \quad \dots (6) \\ G &= \frac{\tau_p}{e \cdot V} \end{aligned}$$

係数 F は、熱レンズの効果に関する係数であるため、駆動電流 I の増大に伴って熱レンズ効果が大きくなると、係数 F の値は大きくなり、閾値電流 I_{th} は小さくなる。逆に、駆動電流 I の減少に伴って熱レンズ効果が小さくなると、係数 F の値は小さくなり、閾値電流 I_{th} は大きくなる。

20

【0077】

ところで、発光領域から射出される光の割合と、受光素子 130 および I/V 変換器 140 の感度と、を考慮すると、半導体レーザの発光量 L は、係数 M を用いて、次の式(7)で表される。

【0078】

【数7】

$$L = M(I - I_{th}) \quad \dots (7)$$

30

【0079】

駆動電流 I に応じた発光領域の温度の応答は、発熱量 Q が駆動電流 I に比例すると仮定すると、次の式(8)で表される。

【0080】

【数8】

$$\begin{aligned} Q &= a \cdot I \\ &= C \frac{d\theta}{dt} + k \cdot \theta \quad \dots (8) \end{aligned}$$

【0081】

40

ここで、 a は、係数である。また、 θ は、発光領域の温度を示し、 C は、発光領域の熱容量を示し、 k は、熱伝導係数を示す。

【0082】

$= C/k$ とすると、式(8)から次の式(9)が得られる。

【0083】

【数9】

$$\tau \frac{d\theta}{dt} + \theta = \frac{a}{k} I \quad \dots (9)$$

【0084】

50

閾値電流 I_{th} は、熱レンズ効果（係数 F ）に依存し（式（6）参照）、熱レンズ効果は、発光領域の温度に依存する。したがって、閾値電流 I_{th} は、発光領域の温度に依存する。閾値電流 I_{th} が発光領域の温度の一次関数であると考えると、次の式（10）が成り立つ。なお、 m 、 n は定数である。

【0085】

【数10】

$$\theta = -m \cdot I_{th} + n \quad \dots (10)$$

【0086】

式（10）を式（9）に代入すると、式（11）が得られる。なお、 α 、 β は定数である。

【0087】

【数11】

$$\begin{aligned} \frac{dI_{th}}{dt} &= \frac{-I_{th} + \alpha - \beta I}{\tau} \\ \alpha &= \frac{n}{m} \quad \dots (11) \\ \beta &= \frac{a}{m \cdot k} \end{aligned}$$

【0088】

α 、 β は、電流 - 発光量の測定によって求められる。具体的には、直流で半導体レーザ 52 を発光させる場合には、式（11）の右辺がゼロに等しい。このため、 $I_{th} = -\beta I$ が成り立つ。したがって、直流で半導体レーザ 52 を発光させる場合には、式（12）が成り立つ（式（7）参照）。また、交流で半導体レーザ 52 を発光させる場合には、より具体的には、半導体レーザ 52 の温度応答よりも短い周期で半導体レーザを発光（点滅）させる場合には、式（13）が成り立つ（式（7）参照）。

【0089】

【数12】

$$\begin{aligned} L_{dc} &= M \{I - (\alpha - \beta I)\} \\ &= M \{(1 + \beta)I - \alpha\} \quad \dots (12) \\ &= M(1 + \beta) \left(I - \frac{\alpha}{1 + \beta} \right) \end{aligned}$$

【0090】

【数13】

$$L_{ac} = M(I - I_{th}) \quad \dots (13)$$

【0091】

直流および交流での電流 - 発光量の測定を行えば、式（12）と式（13）とを利用して、定数 α 、 β の値が求められる。

【0092】

本実施例では、閾値電流推定器 150 は、現代制御のオブザーバを利用して構成される。数値計算による検討結果から、上記のパラメータの精度が、閾値電流 I_{th} の推定精度に大きく影響することが分かっている。このため、本実施例では、オブザーバは、以下のように構成される。

10

20

30

40

50

【0093】

状態変数として、閾値電流 I_{th} と、パラメータ H と、が選択される。また、以下では、閾値電流 I_{th} の推定値を電流ドライバ 110 へ直接的にフィードバックできるように、スケーリングされた状態変数が用いられる。

【0094】

電流ドライバ 110 の出力電流（駆動電流） I は、定数 $H1, H2$ を用いて、式(14)で表される（図5参照）。スケーリングされた電流値を $u = I / H1, x = I_{th} / H1$ とする。このとき、式(14)から式(15)が得られる。

【0095】

【数14】

10

$$I = H1 \cdot Dapc1 + H2 \cdot Dapc2 \cdot D \quad \dots (14)$$

【0096】

【数15】

$$u = Dapc1 + \frac{H2}{H1} \cdot Dapc2 \cdot D \quad \dots (15)$$

【0097】

20

また、式(7)から式(16)が得られ、式(11)から式(17)が得られる。なお、 $M1 = M \cdot H1$ であり、 $1 = 1 / H1$ である。

【0098】

【数16】

$$\begin{aligned} L &= M \cdot H1 \left(\frac{I}{H1} - \frac{I_{th}}{H1} \right) \\ &= M1(u - x) \quad \dots (16) \\ \therefore y &= L = M1(u - x) \end{aligned}$$

【0099】

30

【数17】

$$\begin{aligned} \frac{1}{H1} \frac{dI_{th}}{dt} &= \frac{-\frac{I_{th}}{H1} + \frac{\alpha}{H1} - \beta \frac{I}{H1}}{\tau} \quad \dots (17) \\ \therefore \frac{dx}{dt} &= \frac{-x + \alpha 1 - \beta u}{\tau} \end{aligned}$$

【0100】

状態変数を $[x, 1]^T$ とすると、プラントの状態方程式は、式(16), 式(17)を用いて、式(18)で表される。なお、プラントには、図4に示す半導体レーザ 52 と、受光素子 130 と、I/V 変換器 140 と、が含まれる。

40

【0101】

【数18】

$$\dot{w} = Aw + Bu$$

$$y = Cw + Du$$

$$w = \begin{bmatrix} x \\ \alpha 1 \end{bmatrix} \quad \dots (18)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau} & \frac{1}{\tau} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [-M1 \ 0], D = M1$$

10

【0102】

式(18)の状態方程式を利用してオブザーバ、すなわち、閾値電流推定器150を構成すれば、閾値電流 I_{th} を補正することができる。具体的には、閾値電流推定器150は、式(19)で表される。

【0103】

【数19】

$$\dot{\hat{w}} = A\hat{w} + Bu - F(y - \hat{y})$$

$$\hat{y} = C\hat{w} + Du$$

$$\hat{w} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{\alpha}1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau} & \frac{1}{\tau} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots (19)$$

$$C = [-M1 \ 0], D = M1$$

$$F = \begin{bmatrix} f \\ \frac{f_0}{\tau} \end{bmatrix}$$

20

30

【0104】

なお、式中「 $\hat{\cdot}$ 」は、推定値を示す。 $f /$ ， $f_0 /$ は、フィードバック係数である。

【0105】

図7は、光源装置50の具体的な構成を示す説明図である。なお、図7は、式(15)と式(19)とを用いて、図4を書き直したものである。具体的には、電流ドライバ110は式(15)で表され、閾値電流推定器150は式(19)で表される。

【0106】

電流ドライバ110は、乗算器111と、2つの増幅器112，113と、加算器114と、を含んでいる。乗算器111は、2つの信号 D_{apc2} ， D を乗じて、信号 $D_{apc2} \cdot D$ を出力する。第1の増幅器112は、該信号 $D_{apc2} \cdot D$ を、 $H2/H1$ 倍に増幅して、信号 $H2/H1 \cdot D_{apc2} \cdot D$ を出力する。第2の増幅器113は、信号 D_{apc1} を1倍に増幅する。加算器114は、2つの増幅器112，113から出力される2つの信号 $H2/H1 \cdot D_{apc2} \cdot D$ ， D_{apc1} を加算する。この結果、加算器114からは、式(15)で表される信号 u が出力される。

40

【0107】

なお、本実施例では、第2の増幅器113が設けられているが、省略可能である。

【0108】

閾値電流推定器150は、5つの増幅器151～155と、3つの演算器156～158と、積分器159と、抽出器150aと、を含んでいる。

50

【0109】

積分器 159 は、信号 $d(w^)/dt$ を積分して、信号 $w^$ を出力する。

【0110】

第1の増幅器 151 は、信号 $w^$ を A 倍に増幅して、信号 $A \cdot w^$ を出力する。第2の増幅器 152 は、信号 u を B 倍に増幅して、信号 $B \cdot u$ を出力する。第3の増幅器 153 は、信号 $w^$ を C 倍に増幅して、信号 $C \cdot w^$ を出力する。第4の増幅器 154 は、信号 u を D 倍に増幅して信号 $D \cdot u$ を出力する。第5の増幅器 155 は、信号 $(y - y^)$ を F 倍に増幅して、信号 $F \cdot (y - y^)$ を出力する。

【0111】

第1の演算器 156 は、信号 $A \cdot w^$ と信号 $B \cdot u$ とを加算すると共に、信号 $F \cdot (y - y^)$ を減算することによって、式(19)で表される信号 $d(w^)/dt$ を出力する。第2の演算器 157 は、信号 $C \cdot w^$ と信号 $D \cdot u$ とを加算して、式(19)で表される信号 $y^$ を出力する。第3の演算器 158 は、信号 y から信号 $y^$ を減算し、信号 $(y - y^)$ を出力する。なお、信号 y は、発光量 L の測定値を示し、信号 $y^$ は、発光量 L の推定値を示す(式(16)参照)。

10

【0112】

抽出器 150a は、信号 $w^$ から信号 $x^$ を抽出し、信号 $x^$ を信号 Dapc1 として、電流ドライバ 110 にフィードバックする。

【0113】

式(19)に係数 A ~ D, F を代入すると、式(20)が得られる。そして、式(20)を展開すると、式(21)が得られる。

20

【0114】

【数20】

$$\begin{aligned}\dot{\hat{w}} &= \begin{bmatrix} \dot{\hat{x}} \\ \dot{\hat{\alpha}}1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau} & \frac{1}{\tau} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{\alpha}1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\beta}{\tau} \\ 0 \end{bmatrix} u - \begin{bmatrix} \frac{f}{\tau} \\ \frac{f_0}{\tau} \end{bmatrix} (y - \hat{y}) \quad \dots (20) \\ \hat{y} &= \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{\alpha}1 \end{bmatrix} + M1 \cdot u\end{aligned}$$

30

【0115】

【数21】

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}} &= \frac{1}{\tau}(\hat{\alpha}1 - \hat{x}) - \frac{\beta}{\tau}u - \frac{f}{\tau}(y - \hat{y}) \\ \dot{\hat{\alpha}}1 &= -\frac{f_0}{\tau}(y - \hat{y}) \quad \dots (21) \\ \hat{y} &= M1(u - \hat{x})\end{aligned}$$

40

【0116】

図8は、光源装置50の回路図を示す説明図である。なお、図8は、式(21)を用いて、図4を書き直したものである。

【0117】

図示するように、光源装置50は、半導体レーザ52に供給される駆動電流I(信号u)を測定する駆動電流測定部160を備えている。駆動電流測定部160は、差動増幅器161と、増幅器162と、を備えている。差動増幅器161の2つの端子は、半導体レーザ52のアノードに接続された抵抗器Rsの両端に接続されている。差動増幅器161は、抵抗器Rsの両端の電圧を受け取り、該両端の電圧の差を出力する。なお、電圧の差は、 $I \cdot R_s$ で表される。増幅器162は、該電圧の差を $1 / (R_s \cdot H1)$ 倍する。こ

50

の結果、増幅器 162 は、信号 I / H 1 すなわち信号 u を出力する。

【0118】

閾値電流推定器 150 は、5 つの差動増幅器 201 ~ 205 と、5 つの増幅器 211 ~ 215 と、2 つの積分器 221 ~ 222 と、を含んでいる。

【0119】

第 1 の積分器 221 は、信号 $d(x^)/dt$ を積分して、信号 $x^$ を出力する。第 2 の積分器 222 は、信号 $d(1^)/dt$ を積分して、信号 $1^$ を出力する。

【0120】

第 1 の差動増幅器 201 は、信号 $1^$ から信号 $x^$ を減算して、信号 $(1^ - x^)$ を出力する。第 1 の増幅器 211 は、信号 $(1^ - x^)$ を $1/$ 倍に増幅して、信号 $1/ \cdot (1^ - x^)$ を出力する。第 2 の増幅器 212 は、信号 u を $/$ 倍に増幅して、信号 $/ \cdot u$ を出力する。第 2 の差動増幅器 202 は、信号 $1/ \cdot (1^ - x^)$ から信号 $/ \cdot u$ を減算して、信号 $[1/ \cdot (1^ - x^) - / \cdot u]$ を出力する。第 3 の増幅器 213 は、信号 $(y - y^)$ を $f/$ 倍に増幅して、信号 $f/ \cdot (y - y^)$ を出力する。第 3 の差動増幅器 203 は、信号 $[1/ \cdot (1^ - x^) - / \cdot u]$ から信号 $f/ \cdot (y - y^)$ を減算して、式 (21) で表される信号 $d(x^)/dt$ を出力する。

【0121】

第 4 の増幅器 214 は、信号 $(y - y^)$ を $-f_0/$ 倍に増幅して、式 (21) で表される信号 $d(1^)/dt$ を出力する。

【0122】

第 4 の差動増幅器 204 は、信号 u から信号 $x^$ を減算して、信号 $(u - x^)$ を出力する。第 5 の増幅器 215 は、信号 $(u - x^)$ を $M 1$ 倍に増幅して、式 (21) で表される信号 $y^$ を出力する。

【0123】

第 5 の差動増幅器 205 は、信号 y から信号 $y^$ を減算して、信号 $(y - y^)$ を出力する。

【0124】

上記のように、閾値電流推定器 150 は、2 つの状態変数 x , 1 を利用しているため、信号 $x^$ の導関数である信号 $d(x^)/dt$ を積分して信号 $x^$ を求める第 1 の積分器 221 と、信号 $1^$ の導関数である信号 $d(1^)/dt$ を積分して信号 $1^$ を求める第 2 の積分器 222 と、を備えている。閾値電流推定器 150 は、信号 u と第 1 の積分器 221 から出力される信号 $x^$ とを用いて、信号 $y^$ を求める。そして、閾値電流推定器 150 は、信号 $(y - y^)$ を用いて、第 2 の積分器 222 に与えられる信号 $d(1^)/dt$ を求める。また、閾値電流推定器 150 は、信号 u と、信号 $(y - y^)$ と、第 1 の積分器 221 から出力される信号 $x^$ と、第 2 の積分器 222 から出力される信号 $1^$ と、を用いて、第 1 の積分器 221 に与えられる信号 $d(x^)/dt$ を求める。

【0125】

このように、2 つの状態変数 x , 1 を利用すれば、閾値電流の推定値 $x^$ を正確に求めることができる。

【0126】

光源装置 50 は、さらに、比較器 171 とスイッチ 172 とを含んでいる。比較器 171 は、信号 y (発光量 L) と、ゼロと、を比較する。比較器 171 は、信号 y がゼロ以上である場合には、スイッチ 172 をオン状態に設定する。このとき、スイッチ 172 は、差動増幅器 205 の出力、すなわち、信号 $(y - y^)$ を通過させる。一方、比較器 171 は、信号 y がゼロ未満である場合には、スイッチ 172 をオフ状態に設定する。このとき、スイッチ 172 は、差動増幅器 205 の出力 (信号 $(y - y^)$) を通過させず、値ゼロを出力する。

【0127】

半導体レーザ 52 の非発光期間では、信号 $(y - y^)$ は正確でないため、信号 $(y -$

50

y^{\wedge}) を閾値電流推定器 150 の 2 つの積分器 221, 222 にフィードバックすることは好ましくない。このため、非発光期間では、比較器 171 とスイッチ 172 を利用して、フィードバックループの切断が行われている。この結果、非発光期間では、閾値電流推定器 150 には、駆動電流 I の測定値 (u) のみが入力される。そして、閾値電流推定器 150 は、オープンループで、閾値電流 I_{th} の推定値 x^{\wedge} を求める。

【0128】

このように、本実施例では、非発光期間において、閾値電流推定器 150 の入力側への信号 ($y - y^{\wedge}$) のフィードバックが禁止されるため、閾値電流推定器 150 は、オープンループで閾値電流の推定値 x^{\wedge} を求めることができる。

【0129】

なお、本実施例における比較器 171 とスイッチ 172 とが、本発明における禁止部に相当する。

【0130】

ところで、非発光期間が長い場合には、閾値電流の推定値 (x^{\wedge}) の誤差は、より具体的には、閾値電流の実際の値 (x) と推定値 (x^{\wedge}) の差分は、次第に大きくなる。しかしながら、半導体レーザ 52 が再び発光を開始すれば、閾値電流推定器 150 は、正しい推定値 (x^{\wedge}) を出力することができる。ただし、閾値電流推定器 150 が正しい推定値 (x^{\wedge}) を出力するまでには、時間 (復帰時間) を要する。この復帰時間を考慮して、本実施例では、図 2 に示すように、有効期間 T_b の直前に、予備期間 T_0 が設けられている。なお、予備期間 T_0 は、復帰時間以上の長さである。本実施例では、制御回路 54 は、この予備期間 T_0 において、電流ドライバ 110 に予備的に駆動電流 I を供給させることによって、半導体レーザ 52 を予備的に発光させる。これにより、有効期間 T_b の始期を含むすべての期間において、閾値電流推定器 150 は、正しい推定値 (x^{\wedge}) を出力することができる。なお、予備期間 T_0 において半導体レーザ 52 から射出された光は、スクリーン 70 に導かれないように、マスクされればよい。

【0131】

このように、半導体レーザ 52 に有意な発光を開始させる直前に、半導体レーザ 52 を予備的に発光させれば、半導体レーザ 52 が有意な発光を開始した直後に、閾値電流の推定値 x^{\wedge} を正確に求めることができる。

【0132】

以上説明したように、本実施例では、閾値電流の推定値 x^{\wedge} が求められ、画素データ D と、該閾値電流の推定値 x^{\wedge} と、を用いて決定される駆動電流 u が半導体レーザ 52 に供給されるため、温度変化に起因して実際の閾値電流が変化する場合にも、半導体レーザ 52 に、画素データ D に応じた強度 (発光量) の光を正確に射出させることができる。

【0133】

B. 第 2 実施例：

第 2 実施例では、閾値電流推定器 150B がデジタル回路で構成される。式 (19) に關し、台形近似を利用してサンプリング間隔 T_s で離散時間化すると、式 (20) に対応する式 (22) が得られる。そして、式 (22) を展開すると、式 (21) に対応する式 (23) が得られる。

【0134】

10

20

30

40

【数22】

$$\hat{W}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{T_s}{\tau_{obs}} & \frac{T_s}{\tau_{obs}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \hat{W}_k + \begin{bmatrix} -\frac{\beta \cdot T_s}{\tau_{obs}} \\ 0 \end{bmatrix} U_k - \begin{bmatrix} \frac{f \cdot T_s}{\tau_{obs}} \\ \frac{f_0 \cdot T_s}{\tau_{obs}} \end{bmatrix} (Y_k - \hat{Y}_k)$$

$$\hat{Y}_k = [-M1 \ 0] \hat{W}_k + M1 \cdot U_k \quad \dots (22)$$

$$\hat{W}_k = \begin{bmatrix} \hat{X}_k \\ \hat{X}0_k \end{bmatrix}$$

10

【0135】

【数23】

$$\hat{X}_{k+1} = \left(1 - \frac{T_s}{\tau_{obs}}\right) \hat{X}_k + \frac{T_s}{\tau_{obs}} \hat{X}0_k - \frac{\beta \cdot T_s}{\tau_{obs}} U_k - \frac{f \cdot T_s}{\tau_{obs}} (Y_k - \hat{Y}_k)$$

$$= \hat{X}_k + \frac{T_s}{\tau_{obs}} \left(\hat{X}0_k - \hat{X}_k - \beta \cdot U_k \right) - \frac{f \cdot T_s}{\tau_{obs}} (Y_k - \hat{Y}_k) \quad \dots (23)$$

$$\hat{X}0_{k+1} = \hat{X}0_k - \frac{f_0 \cdot T_s}{\tau_{obs}} (Y_k - \hat{Y}_k)$$

$$\hat{Y}_k = M1(U_k - \hat{X}_k)$$

20

【0136】

図9は、第2実施例における光源装置50Bの回路図を示す説明図である。なお、図9は、式(23)を用いて、図4を書き直したものに相当する。

【0137】

図示するように、光源装置50Bは、半導体レーザ52に供給される駆動電流I(信号 U_k)を算出する駆動電流算出部180を備えている。駆動電流算出部180は、乗算器181と増幅器182と加算器183とを備えている。乗算器181は、信号Dと信号D_{apc2}とを乗算して、信号D_{apc2}・Dを出力する。増幅器182は、信号D_{apc2}・DをH2/H1倍に増幅して、信号H2/H1・D_{apc2}・Dを出力する。加算器183は、信号H2/H1・D_{apc2}・Dと信号D_{apc1}とを加算して、信号(D_{apc1} + H2/H1・D_{apc2}・D)すなわち信号 U_k を出力する(式(15)参照)。なお、信号 U_k は、第1実施例の信号uに対応する。

30

【0138】

上記の説明から分かるように、第1実施例(図8)では、閾値電流推定器150は、駆動電流測定部160によって得られる駆動電流Iの測定値(u)を利用して、閾値電流I_{th}を推定している。一方、本実施例では、閾値電流推定器150Bは、駆動電流算出部180によって得られる駆動電流Iの演算値(U_k)を利用して、閾値電流I_{th}を推定している。

40

【0139】

光源装置50Bは、さらに、D/A変換器119と、A/D変換器149と、を備えている。D/A変換器119は、信号 X_k をD/A(デジタル-アナログ)変換して、信号D_{apc1}を出力する。A/D変換器149は、I/V変換器140から出力される信号LをA/D(アナログ-デジタル)変換して、信号 Y_k を出力する。なお、前述したように、半導体レーザの温度応答の速度は数十μ秒であるため、D/A変換器119とA/D変換器149と後述する遅延器281, 282とのサンプリングクロックは、1MHz程度に設定されればよい。

【0140】

50

閾値電流推定器 150B は、5つの増幅器 261～265 と、5つの演算器 271～275 と、2つの遅延器 281～282 と、を含んでいる。

【0141】

第1の遅延器 281 は、信号 X_{k+1}^{\wedge} を遅延させて、信号 X_k^{\wedge} を出力する。第2の遅延器 282 は、信号 $X_{0_{k+1}}^{\wedge}$ を遅延させて、信号 $X_{0_k}^{\wedge}$ を出力する。なお、信号 X_k^{\wedge} , X_{k+1}^{\wedge} は、第1実施例の信号 x^{\wedge} に対応し、信号 X_k^{\wedge} , $X_{0_{k+1}}^{\wedge}$ は、第1実施例の信号 1^{\wedge} に対応する（図8参照）。

【0142】

第1の増幅器 261 は、信号 U_k を \cdot 倍に増幅して、信号 $\cdot U_k$ を出力する。第1の演算器 271 は、信号 $X_{0_k}^{\wedge}$ から信号 X_k^{\wedge} および信号 $\cdot U_k$ を減算して、信号 $(X_{0_k}^{\wedge} - X_k^{\wedge} - \cdot U_k)$ を出力する。第2の増幅器 262 は、該信号 $(X_{0_k}^{\wedge} - X_k^{\wedge} - \cdot U_k)$ を T_s / obs 倍に増幅して、信号 $T_s / \text{obs} \cdot (X_{0_k}^{\wedge} - X_k^{\wedge} - \cdot U_k)$ を出力する。

【0143】

第3の増幅器 263 は、信号 $(Y_k - Y_{k+1}^{\wedge})$ を $f \cdot T_s / \text{obs}$ 倍に増幅して、信号 $f \cdot T_s / \text{obs} \cdot (Y_k - Y_{k+1}^{\wedge})$ を出力する。第2の演算器 272 は、信号 X_k^{\wedge} と信号 $T_s / \text{obs} \cdot (X_{0_k}^{\wedge} - X_k^{\wedge} - \cdot U_k)$ とを加算すると共に、信号 $f \cdot T_s / \text{obs} \cdot (Y_k - Y_{k+1}^{\wedge})$ を減算する。この結果、第2の演算器 272 は、式（23）で表される信号 X_{k+1}^{\wedge} を出力する。

【0144】

第4の増幅器 264 は、信号 $(Y_k - Y_{k+1}^{\wedge})$ を $f_0 \cdot T_s / \text{obs}$ 倍に増幅して、信号 $f_0 \cdot T_s / \text{obs} \cdot (Y_k - Y_{k+1}^{\wedge})$ を出力する。第3の演算器 273 は、信号 $X_{0_k}^{\wedge}$ から信号 $f_0 \cdot T_s / \text{obs} \cdot (Y_k - Y_{k+1}^{\wedge})$ を減算する。この結果、第3の演算器 273 は、式（23）で表される信号 $X_{0_{k+1}}^{\wedge}$ を出力する。

【0145】

第4の演算器 274 は、信号 U_k から信号 X_k^{\wedge} を減算して、信号 $(U_k - X_k^{\wedge})$ を出力する。第5の増幅器 265 は、信号 $(U_k - X_k^{\wedge})$ を $M1$ 倍して、式（23）で表される信号 Y_k^{\wedge} を出力する。

【0146】

第5の演算器 275 は、信号 Y_k^{\wedge} から信号 Y_{k+1}^{\wedge} を減算して、信号 $(Y_k^{\wedge} - Y_{k+1}^{\wedge})$ を出力する。

【0147】

上記のように、閾値電流推定器 150B は、2つの状態変数 X , X_0 を利用しているため、時刻 $k+1$ での信号 X_{k+1}^{\wedge} を遅延させて時刻 k での信号 X_k^{\wedge} を求める第1の遅延器 281 と、時刻 $k+1$ での信号 $X_{0_{k+1}}^{\wedge}$ を遅延させて時刻 k での信号 $X_{0_k}^{\wedge}$ を求める第2の遅延器 282 と、を備えている。閾値電流推定器 150B は、信号 U_k と信号 X_k^{\wedge} とを用いて、信号 Y_k^{\wedge} を求める。そして、閾値電流推定器 150B は、信号 $(Y_k^{\wedge} - Y_{k+1}^{\wedge})$ と第2の遅延器 282 から出力される信号 $X_{0_k}^{\wedge}$ とを用いて、第2の遅延器 282 に与えられる信号 $X_{0_{k+1}}^{\wedge}$ を求める。また、閾値電流推定器 150B は、信号 U_k と、信号 $(Y_k^{\wedge} - Y_{k+1}^{\wedge})$ と、第1の遅延器 281 から出力される信号 X_k^{\wedge} と、第2の遅延器 282 から出力される信号 $X_{0_k}^{\wedge}$ と、を用いて、第1の遅延器 281 に与えられる信号 X_{k+1}^{\wedge} を求める。

【0148】

このように、2つの状態変数 X , X_0 を利用すれば、閾値電流の推定値 X_k^{\wedge} を正確に求めることができる。

【0149】

光源装置 50B は、さらに、比較器 191 とセレクタ 192 を含んでいる。比較器 191 は、信号 Y_k^{\wedge} と、ゼロと、を比較する。比較器 191 は、信号 Y_k^{\wedge} がゼロ以上である場合には、セレクタ 192 に信号 $(Y_k^{\wedge} - Y_{k+1}^{\wedge})$ を選択させる。一方、比較器 191 は、信号 Y_k^{\wedge} がゼロ未満である場合には、セレクタ 192 に値ゼロを選択させる。

【0150】

10

20

30

40

50

上記のように、本実施例では、第1実施例(図8)の比較器171およびスイッチ172に代えて、比較器191およびセレクタ192が用いられている。本実施例でも、比較器191およびセレクタ192を用いることによって、第1実施例と同様に、非発光期間において、閾値電流推定器150の入力側への信号($Y_k - Y_k^h$)のフィードバックが禁止されるため、閾値電流推定器150は、オープンループで閾値電流の推定値 X_k^h を求めることができる。

【0151】

なお、本実施例における比較器191とセレクタ192とが、本発明における禁止部に相当する。

【0152】

また、第1実施例で説明したように、非発光期間が長い場合には、閾値電流の推定値(X_k^h)の誤差は、次第に大きくなる。しかしながら、半導体レーザ52が再び発光を開始すれば、閾値電流推定器150Bは、正しい推定値(X_k^h)を出力することができる。ただし、閾値電流推定器150Bが正しい推定値(X_k^h)を出力するまでには、復帰時間が必要する。この復帰時間を考慮して、本実施例でも、図2に示すように、有効期間Tbの直前の予備期間T0において、半導体レーザ52を予備的に発光させる。このように、半導体レーザ52に有意な発光を開始させる直前に、半導体レーザ52を予備的に発光されれば、半導体レーザ52が有意な発光を開始した直後に、閾値電流の推定値 X^h を正確に求めることができる。

【0153】

図10は、第2実施例における光源装置50Bの動作のシミュレーション結果を示す説明図である。図10(A-1)～(A-3)は、比較例における光源装置の動作のシミュレーション結果を示す。図10(A-1)は、画素データDを示し、図10(A-2)は、駆動電流Iを示し、図10(A-3)は、発光量Lを示す。一方、図10(B-1)～(B-3)は、本実施例における光源装置50Bの動作のシミュレーション結果を示す。図10(B-1)～(B-3)は、図10(A-1)～(A-3)に対応する。なお、図10(B-1)は、図10(A-1)と同じである。

【0154】

比較例では、閾値電流 I_{th} は推定されていない。このため、図10(A-2)に示す駆動電流Iは、図10(A-1)に示す画素データDとほぼ同様に変化しているが、図10(A-3)に示す発光量Lは、図10(A-1)に示す画素データDと同様に変化していない。

【0155】

一方、本実施例では、閾値電流 I_{th} は推定されている。このため、図10(B-2)に示す駆動電流Iは、図10(B-1)に示す画素データDと同様に変化しないが、図10(B-3)に示す発光量Lは、図10(B-1)に示す画素データDとほぼ同様に変化する。すなわち、本実施例では、発光量(図10(B-2))のプロファイルを、画素データD(図10(B-1))のプロファイルと同等(相似)にすることができる。

【0156】

以上説明したように、本実施例でも、第1実施例と同様に、閾値電流の推定値 X_k^h が求められ、画素データDと、該閾値電流の推定値 X_k^h と、を用いて決定される駆動電流 U_k が半導体レーザ52に供給されるため、温度変化に起因して実際の閾値電流が変化する場合にも、半導体レーザ52に、画素データDに応じた強度(発光量)の光を正確に射出させることができる。

【0157】

なお、この発明は上記の実施例や実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば次のような変形も可能である。

【0158】

(1) 上記実施例では、説明の便宜上、プロジェクトPJ(図1)が1つの光源装置50

10

20

30

40

50

, 50Bを備える場合について説明した。しかしながら、実際には、プロジェクタは、例えば、3種類の色光を射出する3つの光源装置と、3種類の色光を合成する合成光学系と、を備えている。そして、合成された光が、ポリゴンミラー62に導かれる。この結果、スクリーン70上にカラー画像が表示される。

【0159】

(2) 上記実施例では、プロジェクタPJは、ポリゴンミラー62を備えており、スクリーン70上に表示される画像に含まれる各ライン画像は、常に、1方向に描かれる。しかしながら、これに代えて、スクリーン70上に表示される画像に含まれる隣接するライン画像が、逆方向に描かれててもよい。なお、このようなプロジェクタは、例えば、特開2006-2227144号公報に開示されている。この場合にも、各ライン画像が描画される直前に、予備的な発光が行われる予備期間が設けられることが好ましい。

10

【0160】

(3) 上記実施例では、いわゆるラスタスキャン方式のプロジェクタに本発明の光源装置が適用されているが、これに代えて、液晶パネルやDMD(デジタル・マイクロミラー・デバイス:TI社の商標)などの光変調デバイスを備えるプロジェクタにも、本発明の光源装置を適用可能である。この場合には、例えば、信号Dとして、一定の値が与えられればよい。

【0161】

また、上記実施例では、投写型の画像表示装置に本発明が適用されているが、これに代えて、直視型の画像表示装置に本発明が適用されてもよい。

20

【0162】

(4) 上記実施例では、光源装置50, 50Bは、プロジェクタPJに適用されているが、これに代えて、加工装置などの他の光学装置に適用されてもよい。

【0163】

(5) 上記実施例では、光源装置50, 50Bは、半導体レーザを備えているが、これに代えて、発光ダイオード(LED)などの他の固体光源(半導体発光素子)を備えていてもよい。

【0164】

(6) 上記実施例において、ハードウェアによって実現されていた構成の一部をソフトウェアに置き換えるようにしてもよく、逆に、ソフトウェアによって実現されていた構成の一部をハードウェアに置き換えるようにしてもよい。

30

【図面の簡単な説明】

【0165】

【図1】プロジェクタPJの概略構成を示す説明図である。

【図2】プロジェクタPJの動作を模式的に示す説明図である。

【図3】比較例における光源装置の動作を示すタイミングチャートである。

【図4】光源装置50(図1)の概略構成を示す説明図である。

【図5】電流ドライバ110(図4)の内部構成を示す説明図である。

【図6】光源装置50の動作を示すタイミングチャートである。

【図7】光源装置50の具体的な構成を示す説明図である。

40

【図8】光源装置50の回路図を示す説明図である。

【図9】第2実施例における光源装置50Bの回路図を示す説明図である。

【図10】第2実施例における光源装置50Bの動作のシミュレーション結果を示す説明図である。

【符号の説明】

【0166】

50, 50B...光源装置

52...半導体レーザ

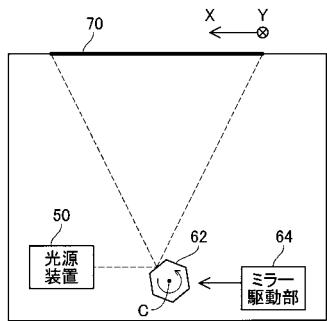
54...制御回路

62...ポリゴンミラー

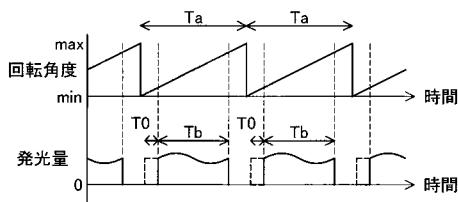
50

6 4 ... ミラー 駆動部	
7 0 ... スクリーン	
1 1 0 ... 電流 ドライバ	
1 1 0 a ... 駆動電流 決定部	
1 1 0 b ... 閾値 電流 決定部	
1 1 0 c ... 発光 電流 決定部	
1 1 1 ... 乗算器	
1 1 2 , 1 1 3 ... 増幅器	
1 1 4 ... 加算器	
1 1 9 ... D / A 変換器	10
1 3 0 ... 受光素子	
1 4 0 ... I / V 変換器	
1 4 9 ... A / D 変換器	
1 5 0 , 1 5 0 B ... 閾値 電流 推定器	
1 5 0 a ... 抽出器	
1 5 1 ~ 1 5 5 ... 増幅器	
1 5 6 ~ 1 5 8 ... 演算器	
1 5 9 ... 積分器	
1 6 0 ... 駆動電流 測定部	
1 6 1 ... 差動 増幅器	20
1 6 2 ... 増幅器	
1 7 1 ... 比較器	
1 7 2 ... スイッチ	
1 8 0 ... 駆動電流 算出部	
1 8 1 ... 乗算器	
1 8 2 ... 増幅器	
1 8 3 ... 加算器	
1 9 1 ... 比較器	
1 9 2 ... セレクタ	
2 0 1 ~ 2 0 5 ... 差動 増幅器	30
2 1 1 ~ 2 1 5 ... 増幅器	
2 2 1 ~ 2 2 2 ... 積分器	
2 6 1 ~ 2 6 5 ... 増幅器	
2 7 1 ~ 2 7 5 ... 演算器	
2 8 1 ~ 2 8 2 ... 遅延器	
P J ... プロジェクタ	
R s ... 抵抗器	
S 1 , S 2 ... 定電流 源	
S w 1 ~ S w 4 ... スイッチ	
T d 1 ~ T d 4 ... パワートランジスタ	40
T i ... パワートランジスタ	
T m 1 ~ T m 2 ... パワートランジスタ	

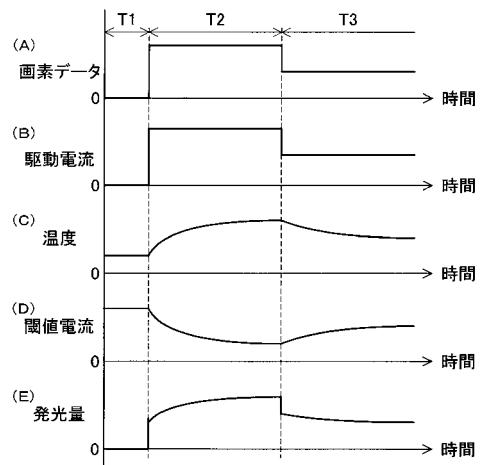
【図1】



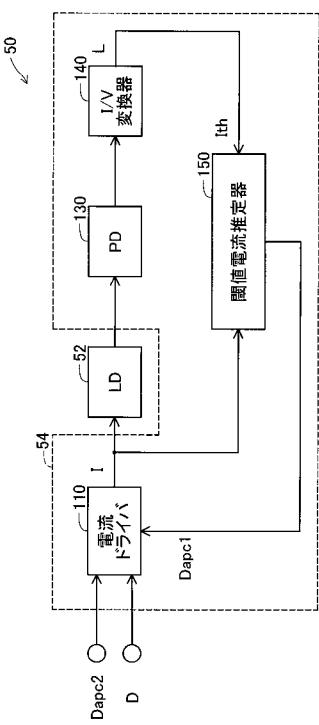
【図2】



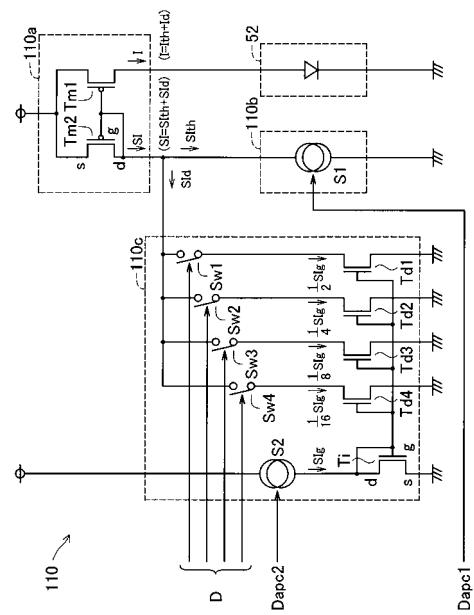
【図3】



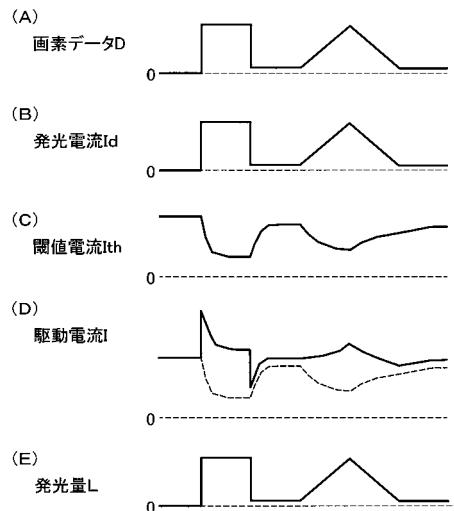
【図4】



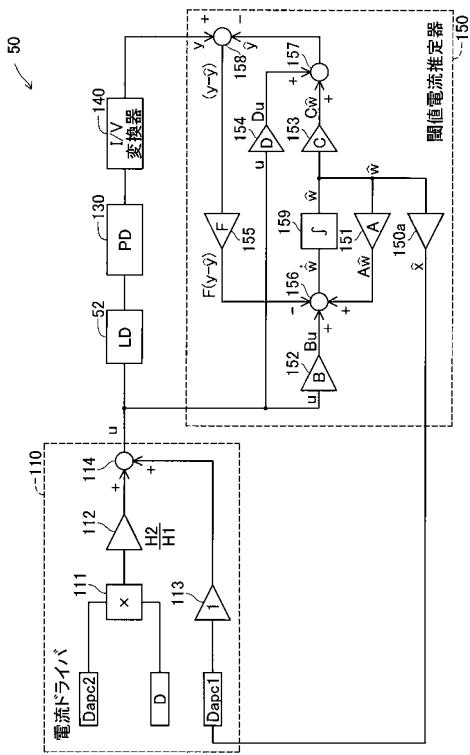
【図5】



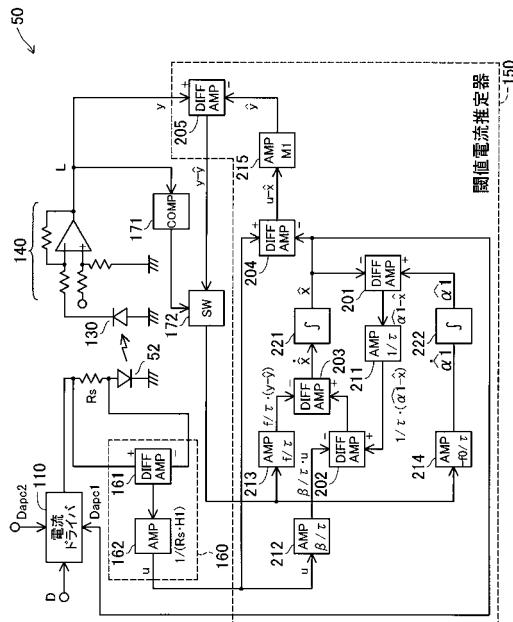
【図6】



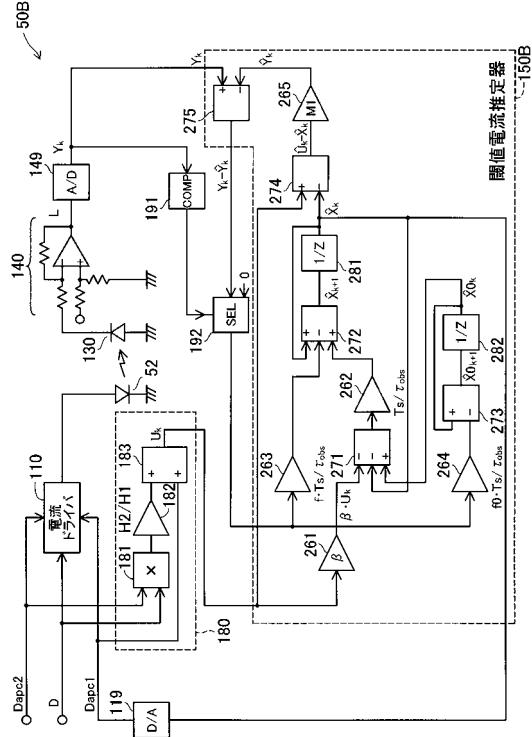
【図7】



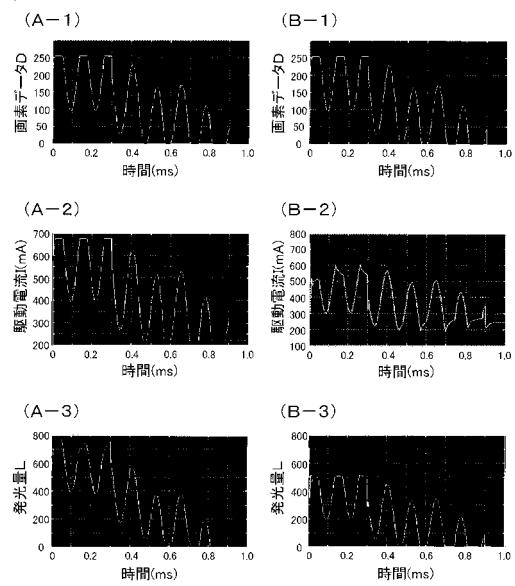
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0