

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2007-258558
(P2007-258558A)

(43) 公開日 平成19年10月4日(2007.10.4)

(51) Int. Cl.	F I			テーマコード (参考)		
HO 1 S 3/0975 (2006.01)	HO 1 S	3/097	D	5 F 0 7 1		
HO 2 M 9/04 (2006.01)	HO 2 M	9/04	C	5 H 7 9 0		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-83029 (P2006-83029)	(71) 出願人	000001236
(22) 出願日	平成18年3月24日 (2006.3.24)		株式会社小松製作所
			東京都港区赤坂二丁目3番6号
		(71) 出願人	000102212
			ウシオ電機株式会社
			東京都千代田区大手町2丁目6番1号
		(74) 代理人	100071054
			弁理士 木村 高久
		(74) 代理人	100106068
			弁理士 小幡 義之
		(72) 発明者	川筋 康文
			栃木県小山市横倉新田400
		(72) 発明者	堀 司
			栃木県小山市横倉新田400
		Fターム(参考)	5F071 AA06 GG03 JJ05 JJ07
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスレーザ装置の電源回路

(57) 【要約】

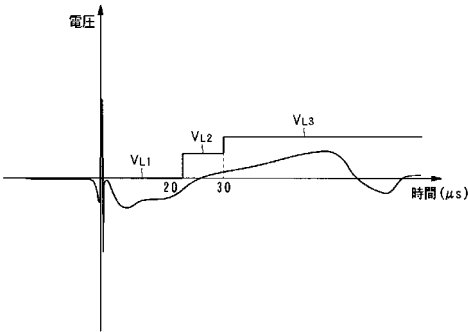
【課題】

磁気パルス圧縮動作前にリセット電流に起因してピーキングコンデンサCpに充電される電圧Vcpのピーク値を極力小さくすることによって、高繰り返し周波数のレーザ装置であっても良好な放電を得る。

【解決手段】

主放電後の所定の時間で、各リセット巻線LR1～LR3、TC1R、TC2Rに流れる電流に起因して発生するピーキングコンデンサCpの電圧が、主放電後の所定の時間に対応して設定された上限値以下に抑制されるように、各素子を調整する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高電圧電源（HV）に並列に接続される主コンデンサ（C0）と、
 昇圧用 1 次巻線（TC11）及び昇圧用 2 次巻線（TC12）を有し当該昇圧用 1 次巻線（TC11）が前記主コンデンサ（C0）に磁気アシスト（SR1）及び固体スイッチ（SW）を介して並列に接続される昇圧用トランス（TC1）と、
 回生用 1 次巻線（TC21）及び回生用 2 次巻線（TC22）を有し当該回生用 1 次巻線（TC21）が前記主コンデンサ（C0）にダイオード（D1）を介して並列に接続される回生用トランス（TC2）と、
 複数の転送コンデンサ（C1、C2）及び磁気スイッチ（SR2、SR3）を有し 1 段目の転送コンデンサ（C1）が前記昇圧用 2 次巻線（TC12）に並列に且つ前記回生用 2 次巻線（TC22）にダイオード（D2）を介して並列に接続されておりまた n （ $n = 2 \sim k$ （ k は 2 以上））段目の転送コンデンサ（C2）が $n - 1$ 段目の磁気スイッチ（SR2）を介して $n - 1$ 段目の転送コンデンサ（C1）に並列に接続されている磁気パルス圧縮回路と、
 前記磁気パルス圧縮回路の k 段目の磁気スイッチ（SR3）を介して k 段目の転送コンデンサ（C2）に並列に接続されるピーキングコンデンサ（Cp）と、
 前記ピーキングコンデンサ（Cp）に並列に接続される一対の主放電電極（E、E）と、
 前記磁気アシスト（SR1）のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする磁気アシスト用リセット巻線（LR1）と、
 前記 n 段目の磁気スイッチ（SR2）のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする磁気スイッチ用リセット巻線（LR2）と、
 前記昇圧用トランス（TC1）のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする昇圧用トランスリセット巻線（TC1R）と、
 前記回生用トランス（TC2）のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする回生用トランスリセット巻線（TC2R）と、
 を備え、
 前記高電圧電源（HV）によって前記主コンデンサ（C0）に蓄積された電荷が、前記昇圧用トランス（TC1）を介して後段の各転送コンデンサ（C1、C2）に電流パルス幅が圧縮されつつ順次転送され、さらに前記ピーキングコンデンサ（Cp）に転送されて前記主放電電極（E、E）間で主放電が発生し、主放電後に電荷が前記ピーキングコンデンサ（Cp）から前段の各転送コンデンサ（C2、C1）に順次転送され、さらに前記回生用トランス（TC2）及び前記ダイオード（D1）を介して前記主コンデンサ（C0）に転送されて前記主コンデンサ（C0）で回生されるガスレーザ装置の電源回路において、
 主放電後の所定の時間で、前記各リセット巻線（LR1、LR2、TC1R、TC2R）に流れる電流に起因して発生するピーキングコンデンサ（Cp）の電圧が、主放電後の所定の時間に対応して設定された上限値以下に抑制されていること
 を特徴とするガスレーザ装置の電源回路。

【請求項 2】

前記昇圧用トランス（TC1）の昇圧用 1 次巻線（TC11）及び昇圧用 2 次巻線（TC12）の巻数比 n_{TC12} / n_{TC11} と、前記回生用トランス（TC2）の回生用 1 次巻線（TC21）及び回生用 2 次巻線（TC22）の巻数比 n_{TC22} / n_{TC21} と、前記主コンデンサ（C0）及び前記 1 段目の転送コンデンサ（C1）の容量比 C_{c0} / C_{c1} と、が予め調整されており、電荷が前記ピーキングコンデンサ（Cp）から前記主コンデンサ（C0）に転送された後に、前記 1 段目の転送コンデンサ（C1）の電圧 V_{c1} が負から上昇するようにされていること

を特徴とする請求項 1 記載のガスレーザ装置の電源回路。

【請求項 3】

前記昇圧用トランス（TC1）の昇圧用 2 次巻線（TC12）の巻数 n_{TC12} 及び前記昇圧

用トランスリセット巻線 (TC1R) の巻数 n_{TC1R} と、前記回生用トランス (TC2) の回生用 2 次巻線 (TC22) の巻数 n_{TC22} 及び前記回生用トランスリセット巻線 (TC2R) の巻数 n_{TC2R} と、前記各転送コンデンサ (C1、C2) 及び前記ピーキングコンデンサ (Cp) の容量 C_{c1} 、 $\dots$ C_{ck} 、 C_{cp} と、が予め調整されており、前記ピーキングコンデンサ (Cp) の電圧上昇速度が所定速度以下になるようにされていること

を特徴とする請求項 1 記載のガスレーザ装置の電源回路。

【請求項 4】

$$(n_{TC12} / n_{TC11}) > \sqrt{(C_{c0} / C_{c1})}$$

$$(n_{TC22} / n_{TC21}) < \sqrt{(C_{c0} / C_{c1})}$$

なる関係式が成り立つこと

10

を特徴とする請求項 2 記載のガスレーザ装置の電源回路。

【請求項 5】

前記昇圧用トランスリセット巻線 (TC1R) に流れるリセット電流を I_{TC1R} とし、前記回生用トランスリセット巻線 (TC2R) に流れるリセット電流を I_{TC2R} とした場合に、

$$\{ I_{TC1R} \times (n_{TC12} / n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22} / n_{TC2R}) \} / (C_{c1} + \dots + C_{ck} + C_{cp}) < K$$

(但し、 $\{ I_{TC1R} \times (n_{TC12} / n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22} / n_{TC2R}) \} > 0$ であり、K は定数)

なる関係式が成り立つこと

を特徴とする請求項 3 記載のガスレーザ装置の電源回路。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数段のコンデンサ及び磁気スイッチによってエネルギーの磁気パルス圧縮動作を行って主放電電極間で主放電を発生させ、主放電で消費されなかったエネルギーを次の主放電エネルギーとして回生し、各磁気スイッチの動作点をリセットしてから次の磁気パルス圧縮動作を行うガスレーザ装置の電源回路に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、その製造用の投影露光装置においては解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される露光光の短波長化が進められており、半導体露光用光源として、従来の水銀ランプから波長 248 nm の KrF エキシマレーザ装置が用いられている。さらに、次世代の半導体露光用光源として、波長 193 nm の ArF エキシマレーザ装置及び波長 157 nm のフッ素 (F2) レーザ装置等の紫外線を放出するガスレーザ装置が有力である。KrF エキシマレーザ装置においては、フッ素 (F2) ガス、クリプトン (Kr) ガス及びバッファーガスとしてのネオン (Ne) 等の希ガスからなる混合ガス、ArF エキシマレーザ装置においては、フッ素 (F2) ガス、アルゴン (Ar) ガス及びバッファーガスとしてのネオン (Ne) 等の希ガスからなる混合ガス、フッ素 (F2) レーザ装置においては、フッ素 (F2) ガス及びバッファーガスとしてヘリウム (He) 等の希ガスからなる混合ガスであるレーザガスが数百 kPa で封入されたレーザチャンバの内部で放電を発生させることにより、レーザ媒質であるレーザガスが励起される。

30

40

【0003】

レーザチャンバ内部には、レーザガスを励起するための一対の主放電電極が、レーザ発振方向に垂直な方向に所定の距離だけ離間して対向配置されている。この一対の主放電電極には高電圧パルスが印加され、主放電電極間にかかる電圧がある値 (ブレイクダウン電圧) に到達すると、主放電電極間のレーザガスが絶縁破壊されて主放電が開始し、この主放電によりレーザ媒質が励起される。このような露光用ガスレーザ装置は主放電の繰返しによるパルス発振を行い、放出するレーザ光はパルス光となる。現状、露光に用いられているレーザ装置のレーザパルスの繰返し周波数は 4 kHz 程度であるが、近年、スループ

50

ットの増大、露光量のバラツキの減少のため、繰返し周波数 6 K H z 以上が要請されている。

【0004】

上記した露光用ガスレーザ装置において、上記したようにレーザチェンバ内で放電を発生させレーザガスを励起させるための高電圧パルス発生装置（以下では電源回路ということもある）の例を図 4 に示す。

【0005】

図 4 の電源回路は、高電圧電源 H V に並列に接続される主コンデンサ C 0 と、昇圧用 1 次巻線 T C 11 及び昇圧用 2 次巻線 T C 12 を有し当該昇圧用 1 次巻線 T C 11 が前記主コンデンサ C 0 に磁気アシスト S R 1 及び固体スイッチ S W を介して並列に接続される昇圧用トランス T C 1 と、回生用 1 次巻線 T C 21 及び回生用 2 次巻線 T C 22 を有し当該回生用 1 次巻線 T C 21 が前記主コンデンサ C 0 にダイオード D 1 を介して並列に接続される回生用トランス T C 2 と、複数の転送コンデンサ C 1、C 2 及び磁気スイッチ S R 2、S R 3 を有し 1 段目の転送コンデンサ C 1 が前記昇圧用 2 次巻線 T C 12 に並列に且つ前記回生用 2 次巻線 T C 22 にダイオード D 2 を介して並列に接続されておりまた n ($n = 2 \sim k$ (k は 2 以上)) 段目の転送コンデンサ C 2 が $n - 1$ 段目の磁気スイッチ S R 2 を介して $n - 1$ 段目の転送コンデンサ C 1 に並列に接続されている磁気パルス圧縮回路と、 k 段目の磁気スイッチ S R 3 を介して k 段目の転送コンデンサ C 2 に並列に接続されるピーキングコンデンサ C p と、前記ピーキングコンデンサ C p に並列に接続される一対の主放電電極 E、E と、前記磁気アシスト S R 1 のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする磁気アシスト用リセット巻線 L R 1 と、前記 n 段目の磁気スイッチ S R 2 のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする磁気スイッチ用リセット巻線 L R 2 と、前記昇圧用トランス T C 1 のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする昇圧用トランスリセット巻線 T C 1R と、前記回生用トランス T C 2 のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする回生用トランスリセット巻線 T C 2R と、を備える。

【0006】

磁気アシスト用リセット巻線 L R 1 と、磁気スイッチ用リセット巻線 L R 2 と、昇圧用トランスリセット巻線 T C 1R と、回生用トランスリセット巻線 T C 2R と、は直列に接続され、電源 C S に接続されている。

【0007】

図 4 の電源回路は、可飽和リアクトルからなる 3 個の磁気スイッチ S R 1、S R 2、S R 3 を用いた 2 段の磁気パルス圧縮回路を有する。磁気スイッチ S R 1 は、I G B T 等の半導体スイッチング素子である固体スイッチ S W で生ずるスイッチングロスを低減するための磁気スイッチであり、磁気アシストとも呼ばれる。なお、磁気スイッチについては後で図 6、図 7 を用いて詳述する。

【0008】

図 4 に示す電源回路の動作を図 5 を参照して説明する。

先ず固体スイッチ S W が O F F にされ、電圧値 V_{in} に調整された高電圧電源 H V によって主コンデンサ C 0 が充電される。このときの主コンデンサの充電電圧は正であるとする。固体スイッチ S W が O F F から O N に切り換えられると、主コンデンサ C 0 の充電電圧 V_{c1} は磁気アシスト S R 1 に印加される。主コンデンサ C 0 の充電電圧 V_{c0} の時間積分値が磁気アシスト S R 1 の特性で決まる限界値に達すると、磁気アシスト S R 1 が飽和して磁気アシスト S R 1 のインダクタンスが低下する。このタイミングを図 5 の時刻 t_1 で示す。すると、主コンデンサ C 0、磁気アシスト S R 1、昇圧用トランス T C 1 の 1 次巻線 T C 11、固体スイッチ S W のループに電流が流れる。同時に、昇圧用トランス T C 1 の 2 次巻線 T C 12、1 段目の転送コンデンサ C 1 のループにも電流が流れ、主コンデンサ C 0 に蓄えられていた電荷が 1 段目の転送コンデンサ C 1 に転送されて、1 段目の転送コンデンサ C 1 が負側に充電される。

【0009】

1 段目の転送コンデンサ C 1 の充電電圧 V_{c1} の時間積分値が磁気スイッチ S R 2 の特性で

決まる限界値に達すると、磁気スイッチ S R 2 が飽和して磁気スイッチ S R 2 のインダクタンスが低下する。このタイミングを図 5 の時刻 t 2 で示す。すると、1 段目の転送コンデンサ C 1、2 段目の転送コンデンサ C 2、磁気スイッチ S R 2 のループに電流が流れ、1 段目の転送コンデンサ C 1 に蓄えられていた電荷が 2 段目の転送コンデンサ C 2 に転送されて、2 段目の転送コンデンサ C 2 が負側に充電される。

【0010】

さらに、2 段目の転送コンデンサ C 2 の充電電圧 V_{c2} の時間積分値が磁気スイッチ S R 3 の特性で決まる限界値に達すると、磁気スイッチ S R 3 が飽和して磁気スイッチ S R 3 のインダクタンスが急激に低下する。このタイミングを図 5 の時刻 t 3 で示す。すると、2 段目の転送コンデンサ C 2、ピーキングコンデンサ C p、磁気スイッチ S R 3 のループに電流が流れ、2 段目の転送コンデンサ C 2 に蓄えられていた電荷がピーキングコンデンサ C p に転送されて、転送コンデンサ C p が負側に充電される。

10

【0011】

ピーキングコンデンサ C p の電圧 V_{cp} がある値（ブレイクダウン電圧） V_b に達すると、主放電電極 E、E 間のレーザガスが絶縁破壊されて主放電が開始される。この主放電によってレーザ媒質が励起され、光が発生する。

【0012】

なお、主放電電極 E、E で大きな放電が発生させるために、1 段目の転送コンデンサ C 1 から 2 段目の転送コンデンサ C 2 への電荷転送、及び 2 段目の転送コンデンサ C 2 からピーキングコンデンサ C p への電荷転送の際に、電流パルスのパルス幅を順次狭くする所謂磁気パルス圧縮動作が行われるように、磁気パルス圧縮回路（C 1、S R 1、C 2、S R 2）の各素子が設計されている。

20

【0013】

ところで、従来の電源回路では、主放電後にピーキングコンデンサ C p と主コンデンサ C 0 との間で電荷が逆方向に進行しさらに順方向に進行することによって、主放電に悪影響を及ぼしていた。そこで、本発明者らは、図 4 に示すように、主放電後にピーキングコンデンサ C p から主コンデンサ C 0 に転送される電荷を主コンデンサ C 0 に蓄積して次の充電エネルギーの一部として回生可能にする回生回路（T C 2、D 1、D 2）を開発した。この回生回路については下記特許文献 1 に開示されている。

【0014】

回生回路を利用したエネルギー回生動作について説明する。

主放電後にピーキングコンデンサ C p には主放電の残留電荷等によって逆電圧が印可される。つまりピーキングコンデンサ C p は正側に充電される。このタイミングを時刻 t 4 で示す。そして、ピーキングコンデンサ C p から 2 段目の転送コンデンサ C 2 へ、また 2 段目の転送コンデンサ C 2 から 1 段目の転送コンデンサ C 1 へと電荷が順次転送される。転送コンデンサ C 2、C 1 もピーキングコンデンサ C p と同様に磁気パルス圧縮動作時の充電電圧とは逆極性の電圧が印加される。つまり、転送コンデンサ C 2、C 1 も正側に充電される。それぞれのタイミングを図 5 の時刻 t 5、t 6 で示す。

30

【0015】

回生動作時に固体スイッチ S W は O F F にされている。このため、1 段目の転送コンデンサ C 1 から主コンデンサ C 0 への電荷転送は、回生用トランス T C 2 を介して行われる。主コンデンサ C 0 は高電圧電源 H V によって充電される電圧と同じ極性、すなわち正側に充電される。このとき固体スイッチ S W は O F F にされており、また回生回路のダイオード D 1、D 2 は逆極性で接続されているので、次に固体スイッチ S W が O N に切り換えられるまで、電荷は主コンデンサ C 0 に蓄積される。

40

【0016】

ここで磁気スイッチの動作について、さらに詳しく説明する。

図 6 に磁気スイッチを構成する可飽和リアクトルの一般的な構成を示し、図 7 に磁気スイッチを構成する可飽和リアクトルのコアの磁化曲線を示す。

図 6 に示すようにコア C R には主巻線 S R とリセット巻線 L R が巻回されている。リセ

50

ット巻線 L R はリセット回路 R C に接続されている。まず、コア C R の動作点が図 7 の “ 0 ” 点にあるときに、リセット巻線 L R に直流電流が流れると、コア C R の動作点は (5) 点に移動する。主巻線 S R に励磁電流が流れると磁界強度 H が増加し、コア C R の動作点は (5) 点から (4) 点を通り (1) 点に向かって移動する。

【 0 0 1 7 】

コア C R の動作点が (1) 点に達すると、コア C R 内の磁束密度が飽和磁束密度以上となり、可飽和リアクトルは飽和する。このとき可飽和リアクトルのインダクタンスが急激に低下し、主巻線 S R は導通状態となる。コア C R の動作点は、可飽和リアクトルが飽和しているときは (1) よりもはるかに磁界の力 H が大きいところにあるが、主巻線 S R を流れる電流の減少とともに (1) 点から (2) 点に向かって移動する。このとき可飽和リアクトルのインダクタンスが急激に増加するので、主巻線 S R を流れる電流は急激に減少する。主巻線 S R の電流が 0 となったときのコア C R の動作点は (2) 点で停止し、コア C R には磁束が残る (残留磁束) 。

10

【 0 0 1 8 】

コア C R の動作点が (2) 点にある状態で再び主巻線 S R に励磁電流が流れると、コア C R の動作点は (2) 点から (1) 点に向かって移動するが、この場合の磁束密度の変化量は (5) 点から (4) 点を通り (1) 点に向かって移動するよりも小さい。このため非飽和時の可飽和リアクトルのインダクタンスが十分に大きくなり、磁気パルス圧縮回路における磁気パルス圧縮動作がほとんど行えなくなる。磁気パルス圧縮動作を行うためには、コア C R の動作点を図 6 の (2) 点から (3) 点を介して (5) 点に戻すように磁気リセットを行う必要がある。そこで、リセット巻線 L R に主巻線 S R とは逆方向の直流電流 (リセット電流) が流されて、主巻線 S R の電流が 0 となった後にコア C R の動作点は (5) 点に戻される。

20

【 0 0 1 9 】

図 4 に示す電源回路には、磁気スイッチ S R 1 ~ S R 3 に対応するリセット巻線 L R 1 ~ L R 3 や各トランス T C 1、T C 2 に対応するリセット巻線 T C 1 R、T C 2 R が直列に接続されたリセット電流回路が設けられている。リセット巻線やリセット電流回路については、例えば下記特許文献 2、3 で開示されている。

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 2 5 0 2 7 9 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 3 - 2 8 3 0 1 7 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 4 - 7 1 6 1 3 号公報

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 2 0 】

エネルギー回生動作によって主コンデンサ C 0 が充電された後もリセット電流回路には電流が流れているため、転送コンデンサ C 1、C 2 及びピーキングコンデンサ C p の電圧 V c 1、V c 2、V c p は変化する。エネルギー回生動作完了のタイミングで 1 段目の転送コンデンサ C 1 の電圧 V c 1 と 2 段目の転送コンデンサ C 2 の電圧 V c 2 とピーキングコンデンサ C p の電圧 V c p は略 0 である。電圧 V c p と電圧 V c 2 は、時間経過と共に負側で下降し、磁気スイッチ S R 3 のコアがリセットされるタイミングで一致し負側で上昇する。一方、電圧 V c 1 は時間経過と共に正側で上昇した後には下降する。

40

【 0 0 2 1 】

そして、磁気スイッチ S R 2 のコアがリセットされるタイミングで電圧 V c 1、V c 2、V c p は一致して共に上昇し、昇圧用トランス T C 1 のコアがリセットされるタイミングで電圧 V c 1、V c 2、V c p は下降し、最終的には 0 に収束する。従来のようにレーザパルスの繰返し周波数が約 4 K H z 以下であれば、パルス間隔が約 2 5 0 μ s 以上あり、主放電が発生してから次の磁気パルス圧縮動作までの間に電圧 V c 1、V c 2、V c p は 0 に収束する。

【 0 0 2 2 】

しかしながら、レーザパルスの繰返し周波数が約 6 K H z 以上であると、パルス間隔が約 1 6 6 μ s 以下であり、電圧 V c 1、V c 2、V c p が 0 に収束する前に次の磁気パルス圧縮

50

動作が開始される。これは正側での電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_{cp} のピーク値が高く、0 に収束するまでに時間を要するためである。ピーキングコンデンサ C_p に電圧が生じているときに磁気パルス圧縮動作によって充電が開始されると、主放電に悪影響が及ぶことになる。

【0023】

本発明はこうした実状に鑑みてなされたものであり、磁気パルス圧縮動作前にリセット電流に起因してピーキングコンデンサ C_p に充電される電圧 V_{cp} のピーク値を極力小さくすることによって、高繰り返し周波数のレーザ装置であっても良好な放電を得ることを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0024】

10

上記目的を達成するために、第1発明は、

高電圧電源 (HV) に並列に接続される主コンデンサ (C_0) と、

昇圧用1次巻線 (TC11) 及び昇圧用2次巻線 (TC12) を有し当該昇圧用1次巻線 (TC11) が前記主コンデンサ (C_0) に磁気アシスト (SR1) 及び固体スイッチ (SW) を介して並列に接続される昇圧用トランス (TC1) と、

回生用1次巻線 (TC21) 及び回生用2次巻線 (TC22) を有し当該回生用1次巻線 (TC21) が前記主コンデンサ (C_0) にダイオード (D1) を介して並列に接続される回生用トランス (TC2) と、

複数の転送コンデンサ (C_1 、 C_2) 及び磁気スイッチ (SR2、SR3) を有し1段目の転送コンデンサ (C_1) が前記昇圧用2次巻線 (TC12) に並列に且つ前記回生用2次巻線 (TC22) にダイオード (D2) を介して並列に接続されておりまた n ($n = 2 \sim k$ (k は2以上)) 段目の転送コンデンサ (C_2) が $n - 1$ 段目の磁気スイッチ (SR2) を介して $n - 1$ 段目の転送コンデンサ (C_1) に並列に接続されている磁気パルス圧縮回路と

20

、
前記磁気パルス圧縮回路の k 段目の磁気スイッチ (SR3) を介して k 段目の転送コンデンサ (C_2) に並列に接続されるピーキングコンデンサ (C_p) と、

前記ピーキングコンデンサ (C_p) に並列に接続される一对の主放電電極 (E、E) と

、
前記磁気アシスト (SR1) のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする磁気アシスト用リセット巻線 (LR1) と、

30

前記 n 段目の磁気スイッチ (SR2) のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする磁気スイッチ用リセット巻線 (LR2) と、

前記昇圧用トランス (TC1) のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする昇圧用トランスリセット巻線 (TC1R) と、

前記回生用トランス (TC2) のコアに巻回され通電に応じて当該コアの動作点をリセットする回生用トランスリセット巻線 (TC2R) と、

を備え、

前記高電圧電源 (HV) によって前記主コンデンサ (C_0) に蓄積された電荷が、前記昇圧用トランス (TC1) を介して後段の各転送コンデンサ (C_1 、 C_2) に電流パルス幅が圧縮されつつ順次転送され、さらに前記ピーキングコンデンサ (C_p) に転送されて前記主放電電極 (E、E) 間で主放電が発生し、主放電後に電荷が前記ピーキングコンデンサ (C_p) から前段の各転送コンデンサ (C_2 、 C_1) に順次転送され、さらに前記回生用トランス (TC2) 及び前記ダイオード (D1) を介して前記主コンデンサ (C_0) に転送されて前記主コンデンサ (C_0) で回生されるガスレーザ装置の電源回路において、

40

主放電後の所定の時間で、前記各リセット巻線 (LR1、LR2、TC1R、TC2R) に流れる電流に起因して発生するピーキングコンデンサ (C_p) の電圧が、主放電後の所定の時間に対応して設定された上限値以下に抑制されていること

を特徴とする。

【0025】

また、第2発明は、第1発明において、

50

前記昇圧用トランス (TC1) の昇圧用 1 次巻線 (TC11) 及び昇圧用 2 次巻線 (TC12) の巻数比 n_{TC12}/n_{TC11} と、前記回生用トランス (TC2) の回生用 1 次巻線 (TC21) 及び回生用 2 次巻線 (TC22) の巻数比 n_{TC22}/n_{TC21} と、前記主コンデンサ (C0) 及び前記 1 段目の転送コンデンサ (C1) の容量比 C_{c0}/C_{c1} と、が予め調整されており、電荷が前記ピーキングコンデンサ (Cp) から前記主コンデンサ (C0) に転送された後に、前記 1 段目の転送コンデンサ (C1) の電圧 V_{c1} が負から上昇するようにされていること

を特徴とする。

【0026】

また、第 3 発明は、第 1 発明において、

10

前記昇圧用トランス (TC1) の昇圧用 2 次巻線 (TC12) の巻数 n_{TC12} 及び前記昇圧用トランスリセット巻線 (TC1R) の巻数 n_{TC1R} と、前記回生用トランス (TC2) の回生用 2 次巻線 (TC22) の巻数 n_{TC22} 及び前記回生用トランスリセット巻線 (TC2R) の巻数 n_{TC2R} と、前記各転送コンデンサ (C1、C2) 及び前記ピーキングコンデンサ (Cp) の容量 C_{c1} 、 $\dots$ C_{ck} 、 C_{cp} と、が予め調整されており、前記ピーキングコンデンサ (Cp) の電圧上昇速度が所定速度以下になるようにされていること

を特徴とする。

【0027】

また、第 4 発明は、第 2 発明において、

$$(n_{TC12}/n_{TC11}) > \sqrt{(C_{c0}/C_{c1})}$$

20

$$(n_{TC22}/n_{TC21}) < \sqrt{(C_{c0}/C_{c1})}$$

なる関係式が成り立つこと

を特徴とする。

【0028】

また、第 5 発明は、第 3 発明において、

前記昇圧用トランスリセット巻線 (TC1R) に流れるリセット電流を I_{TC1R} とし、前記回生用トランスリセット巻線 (TC2R) に流れるリセット電流を I_{TC2R} とした場合に、

$$\{I_{TC1R} \times (n_{TC12}/n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22}/n_{TC2R})\} / (C_{c1} + \dots + C_{ck} + C_{cp}) < K$$

(但し、 $\{I_{TC1R} \times (n_{TC12}/n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22}/n_{TC2R})\} > 0$ であり、K は定数)

30

なる関係式が成り立つこと

を特徴とする。

【0029】

第 1 発明を図 2 ～ 図 4 を用いて説明する。

【0030】

第 1 発明では各素子が図 4 に示すように接続される。高電圧電源 HV によって主コンデンサ C0 に蓄積された電荷は、昇圧用トランス TC1、転送コンデンサ C1、C2 を介してピーキングコンデンサ Cp に順次転送される。ピーキングコンデンサ Cp の電圧 V_{cp} がブレークダウン電圧に達すると、主放電電極 E、E 間で主放電が発生する。主放電で消費されなかった電荷は、ピーキングコンデンサ Cp から転送コンデンサ C2、C1、回生用トランス TC2 を介して主コンデンサ C0 に転送され、次の放電エネルギーの一部として回生される。各リセット巻線 LR1 ～ LR3、TC1R、TC2R にはリセット電流が流れており、回生動作完了後はこのリセット電流に起因して、転送コンデンサ C1、C2 及びピーキングコンデンサ Cp の電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_{cp} が共に負側から正側に上昇する。

40

【0031】

第 1 発明では図 3 に示すように、主放電後の所定の時間 T_n (例えば、 $T_n = 1 \sim 20 \mu s$ 、 $20 \sim 30 \mu s$ 、 $30 \mu s \sim$) で、電圧上限値 V_{Ln} (例えば、 $T_n = 1 \sim 20 \mu s$ で $0 v$ 以下、 $T_n = 20 \sim 30 \mu s$ で $300 v$ 以下、 $T_n = 30 \mu s \sim$ で $500 v$ 以下) が設定され、ピーキングコンデンサ Cp の電圧 V_{cp} が主放電後の各時間 T_n で設定された電圧上

50

限值 V_{Ln} 以下になるようにされている。具体的には次の 2 つの手段がとられている。

【0032】

第 1 の手段としては、図 2 に示すように、回生動作完了後に 1 段目の転送コンデンサ C1 の電圧 V_{c1} が負から上昇するように、昇圧用トランス TC1 の 1 次巻線 TC11 及び 2 次巻線 TC12 の巻数比 n_{TC12}/n_{TC11} と、回生用トランス TC2 の 1 次巻線 TC21 及び 2 次巻線 TC22 の巻数比 n_{TC22}/n_{TC21} と、主コンデンサ C0 及び 1 段目の転送コンデンサ C1 の容量比 C_{c0}/C_{c1} と、が予め調整されている（第 2 発明）。

【0033】

より具体的には、

$$(n_{TC12}/n_{TC11}) > \sqrt{(C_{c0}/C_{c1})}$$

$$(n_{TC22}/n_{TC21}) < \sqrt{(C_{c0}/C_{c1})}$$

10

なる関係式が成り立つように、昇圧用トランス TC1 の巻数比 n_{TC12}/n_{TC11} と回生用トランス TC2 の巻線比 n_{TC22}/n_{TC21} と、主コンデンサ C0 及び 1 段目の転送コンデンサ C1 の容量比 C_{c0}/C_{c1} と、が調整されている（第 4 発明）。

【0034】

第 2 の手段としては、電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_{cp} の電圧上昇速度が所定速度以下になるように、昇圧用トランス TC1 の 2 次巻線 TC12 の巻数 n_{TC12} 及びリセット巻線 TC1R の巻数 n_{TC1R} と、回生用トランス TC2 の 2 次巻線 TC22 の巻数 n_{TC22} 及びリセット巻線 TC2R の巻数 n_{TC2R} と、各転送コンデンサ C1、C2 及びピーキングコンデンサ Cp の容量 C_{c1} 、 $\dots$ C_{ck} 、 C_{cp} と、が予め調整されている（第 3 発明）。

20

【0035】

より具体的には、昇圧用トランス TC1 のリセット巻線 TC1R に流れるリセット電流を I_{TC1R} とし、回生用トランス TC2 のリセット巻線 TC2R に流れるリセット電流を I_{TC2R} とした場合に、

$$\{I_{TC1R} \times (n_{TC12}/n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22}/n_{TC2R})\} / (C_{c1} + \dots + C_{ck} + C_{cp}) < K$$

（但し、 $\{I_{TC1R} \times (n_{TC12}/n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22}/n_{TC2R})\} > 0$ であり、 K は定数）

なる関係式が成り立つように、昇圧用トランス TC1 の 2 次巻線 TC12 の巻数 n_{TC12} 及びリセット巻線 TC1R の巻数 n_{TC1R} と、回生用トランス TC2 の 2 次巻線 TC22 の巻数 n_{TC22} 及びリセット巻線 TC2R の巻数 n_{TC2R} と、各転送コンデンサ C1、 $\dots$ C_{ck} 及びピーキングコンデンサ Cp の容量 C_{c1} 、 $\dots$ C_{ck} 、 C_{cp} と、が予め調整されている（第 5 発明）。

30

【発明の効果】

【0036】

本発明によれば、昇圧用トランスの巻線数や回生用トランスの巻線数等の各素子の調整によって、主放電後のピーキングコンデンサ Cp の電圧上昇が抑制され、電圧 V_{cp} のピーク値が小さくなるため、電圧 V_{cp} が 0 に収束し易くなる。したがって、高繰り返し周波数のレーザ装置であっても磁気パルス圧縮動作時にピーキングコンデンサ Cp の電圧 V_{cp} を 0 にすることができ、良好な放電を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0037】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

本実施形態における電源回路の構成は図 4 に示す従来の電源回路の構成と同一であるため、前述した図 4 の説明をもって本実施形態の回路構成の説明とする。

【0038】

本実施形態の最大の特徴は、主放電後のピーキングコンデンサ Cp の電圧 V_{cp} が上限値 V_{Ln} 以下になるように、昇圧用トランス TC1 における 1 次巻線 TC11、2 次巻線 TC12、リセット巻線 TC1R の各巻数と、回生用トランス TC2 における 1 次巻線 TC21、2 次巻線 TC22、リセット巻線 TC2R の各巻数と、各コンデンサ C1、C2、Cp の容量と、が予め調整されている点にある。

50

【0039】

本実施形態ではピーキングコンデンサ C_p の電圧 V_{cp} を上限値 V_{Ln} 以下に抑制するために2つの手段がとられている。第1の手段は回生動作完了後の1段目の転送コンデンサ C_1 の電圧 V_{c1} を負にする方法であり、第2の手段は回生動作完了後のピーキングコンデンサ C_p の電圧 V_{cp} の上昇速度を抑制する方法である。

【0040】

ここで、本明細書で使用する文字を定義しておく。

C_{c0} : 主コンデンサ C_0 の容量

C_{c1} : 1段目の転送コンデンサ C_1 の容量

C_{c2} : 2段目の転送コンデンサ C_2 の容量

10

C_{cn} : n 段目の転送コンデンサ C_n の容量

n_{TC11} : 昇圧用トランス TC_1 の1次巻線 TC_{11} の巻数

n_{TC12} : 昇圧用トランス TC_1 の2次巻線 TC_{12} の巻数

n_{TC21} : 回生用トランス TC_2 の1次巻線 TC_{21} の巻数

n_{TC22} : 回生用トランス TC_2 の2次巻線 TC_{22} の巻数

$ITC1R$: 昇圧用トランス TC_1 のリセット巻線 TC_{1R} に流れる電流

$ITC2R$: 回生用トランス TC_2 のリセット巻線 TC_{2R} に流れる電流

$ITC12$: 磁気リセット時に昇圧用2次巻線 TC_{12} に流れる電流

$ITC22$: 磁気リセット時に回生用2次巻線 TC_{22} に流れる電流

以下で、第1、第2の手段について説明する。

20

【0041】

まず、第1の手段では、昇圧用トランス TC_1 の1次巻線 TC_{11} 及び2次巻線 TC_{12} の巻数比 n_{TC12}/n_{TC11} と、回生用トランス TC_2 の1次巻線 TC_{21} 及び2次巻線 TC_{22} の巻数比 n_{TC22}/n_{TC21} と、主コンデンサ C_0 及び1段目の転送コンデンサ C_1 の容量比 C_{c0}/C_{c1} と、が予め調整される。

【0042】

ここで、一般にトランスを介して1次側のコンデンサと2次側のコンデンサとの間で電荷を転送する場合に、トランスの1次巻線及び2次巻線の巻線比 (n_1/n_2) と1次側のコンデンサ及び2次側のコンデンサの容量比 (C_1/C_2) との間に成り立つ関係について考える。 (n_2/n_1) と (C_1/C_2) との間に成り立つ関係には次の3つが考えられる。

30

【0043】

第1の関係は、

$$(n_2/n_1) = \sqrt{(C_1/C_2)}$$

なる式で表される。この式が成り立つ場合に、1次側のコンデンサから2次側のコンデンサに電荷が転送されると、電荷転送後に1次側のコンデンサの電圧は0になる。逆に、2次側のコンデンサから1次側のコンデンサに電荷が転送されると、電荷転送後に2次側のコンデンサの電圧は0になる。通常の回路はこの関係が成り立つように巻線比 n_1/n_2 と容量比 C_1/C_2 とが調整される。

【0044】

第2の関係は、

$$(n_2/n_1) > \sqrt{(C_1/C_2)}$$

40

なる式で表される。この式が成り立つ場合に、1次側のコンデンサから2次側のコンデンサに電荷が転送されると、電荷転送後に1次側のコンデンサの電圧は負になる。逆に、2次側のコンデンサから1次側のコンデンサに電荷が転送されると、電荷転送後に2次側のコンデンサの電圧は正になる。

【0045】

第3の関係は、

$$(n_2/n_1) < \sqrt{(C_1/C_2)}$$

なる式で表される。この式が成り立つ場合に、1次側のコンデンサから2次側のコンデンサに電荷が転送されると、電荷転送後に1次側のコンデンサの電圧は正になる。逆に、2

50

次側のコンデンサから 1 次側のコンデンサに電荷が転送されると、電荷転送後に 2 次側のコンデンサの電圧は負になる。

【0046】

本実施形態は、回生動作完了後すなわち回生用トランス T C 2 を介して 1 段目の転送コンデンサ C 1 から主コンデンサ C 0 に電荷を転送した後に、1 段目の転送コンデンサ C 1 の電圧を負にすることを目的の一つとしている。前述した 3 つの関係を考慮すると、回生用トランス T C 2 の 1 次巻線 T C 21 及び 2 次巻線 T C 22 の巻数比 n_{TC22} / n_{TC21} と、主コンデンサ C 0 及び 1 段目の転送コンデンサ C 1 の容量比 C_{c0} / C_{c1} との間には、

$$(n_{TC22} / n_{TC21}) < \sqrt{(C_{c0} / C_{c1})} \quad \cdots (1)$$

なる関係が成り立てばよいことが解る。

10

【0047】

また、図 4 に示す電源回路では回生用トランス T C 2 と並列に昇圧用トランス T C 1 が接続されていることから、上記 (1) 式を成り立たせるためには、昇圧用トランス T C 1 の 1 次巻線 T C 11 及び 2 次巻線 T C 12 の巻数比 n_{TC12} / n_{TC11} と、主コンデンサ C 0 及び 1 段目の転送コンデンサ C 1 の容量比 C_{c0} / C_{c1} との間に、

$$(n_{TC12} / n_{TC11}) > \sqrt{(C_{c0} / C_{c1})} \quad \cdots (2)$$

なる関係が成り立つ必要がある。

【0048】

したがって、回路構成時に昇圧用トランス T C 1 の 1 次巻線 T C 11 の巻数 n_{TC11} と、昇圧用トランス T C 1 の 2 次巻線 T C 12 の巻数 n_{TC12} と、回生用トランス T C 2 の 1 次巻線 T C 21 の巻数 n_{TC21} と、回生用トランス T C 2 の 2 次巻線 T C 22 の巻数 n_{TC22} と、1 段目の転送コンデンサ C 1 の容量 C_{c1} と、主コンデンサ C 0 の容量 C_{c0} と、が上記 (1)、(2) 式を満たすように調整される。こうすることによって回生動作完了後の 1 段目の転送コンデンサ C 1 の電圧を負にすることが可能になる。

20

【0049】

次に、第 2 の手段では、昇圧用トランス T C 1 の 2 次巻線 T C 12 の巻数 n_{TC12} 及びリセット巻線 T C 1R の巻数 n_{TC1R} と、回生用トランス T C 2 の 2 次巻線 T C 22 の巻数 n_{TC22} 及びリセット巻線 T C 2R の巻数 n_{TC2R} と、各転送コンデンサ C 1、C 2 及びピーキングコンデンサ C p の容量 C_{c1} 、 $\cdots$ C_{ck} 、 C_{cp} と、が予め調整される。

【0050】

各トランス T C 1、T C 2 は各磁気スイッチ S R 1 ~ S R 3 と共にリセット電流によってリセットされる。このとき各トランス T C 1、T C 2 のリセット巻線 T C 1R、T C 2R にはリセット電流 I_{TC1R} 、 I_{TC2R} が流れ、それに伴い各トランス T C 1、T C 2 の 2 次巻線 T C 12、T C 22 に電流 I_{TC12} 、 I_{TC22} が流れる。このような場合は一般に、

$$I_{TC12} = I_{TC1R} \times (n_{TC12} / n_{TC1R})$$

$$I_{TC22} = I_{TC2R} \times (n_{TC22} / n_{TC2R})$$

なる関係が成り立つ。なお、昇圧用トランス T C 1 のリセット巻線 T C 1R に流れるリセット電流 I_{TC1R} 及び 2 次巻線 T C 12 に流れる電流 I_{TC12} は、1 段目の転送コンデンサ C 1 を正に充電する方向に流れる。また、回生用トランス T C 2 のリセット巻線 T C 2R に流れるリセット電流 I_{TC2R} 及び 2 次巻線 T C 22 に流れる電流 I_{TC22} は、1 段目の転送コンデンサ C 1 を負に充電する方向に流れる。

30

40

【0051】

昇圧用トランス T C 1 を磁気リセットするためには、1 段目の転送コンデンサ C 1 を正に充電する必要がある。すなわち、

$$I_{TC12} - I_{TC22}$$

$$= I_{TC1R} \times (n_{TC12} / n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22} / n_{TC2R}) > 0$$

なる関係が成り立つ必要がある。

【0052】

また、主放電後に行われる磁気スイッチ S R 2、S R 3 のリセットは、昇圧用トランス T C 1 のリセットよりも早く完了し、ピーキングコンデンサ C p の電圧上昇速度を $K (v / \mu$

50

s) 以下に抑制する必要がある。そのためには、

$$\begin{aligned} & (I_{TC12} - I_{TC22}) / (C_{c1} + C_{c2} + C_{cp}) \\ & = \{ I_{TC1R} \times (n_{TC12} / n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22} / n_{TC2R}) \} \\ & \quad / (C_{c1} + C_{c2} + C_{cp}) < K \quad \cdots (3) \end{aligned}$$

なる関係が成り立つようにする。なお、Kは定数であって、実験によって所望の値を求めればよい。

【0053】

したがって、回路構成時に昇圧用トランスTC1の2次巻線TC12の巻数 n_{TC12} と、昇圧用トランスTC1のリセット巻線TC1Rの巻線 n_{TC1R} と、回生用トランスTC2の2次巻線TC22の巻数 n_{TC22} と、回生用トランスTC2のリセット巻線TC2Rの巻線 n_{TC2R} と、1段目の転送コンデンサC1の容量 C_{c1} と、2段目の転送コンデンサC2の容量 C_{c2} と、ピーキングコンデンサCpの容量 C_{cp} と、が上記(3)式を満たすように調整される。こうすることによって回生動作完了後のピーキングコンデンサCpの電圧上昇速度をK未満に抑制することが可能になる。

10

【0054】

なお、本実施形態の電源回路は2段の磁気パルス圧縮回路を備えているが、電源回路が n ($n = 2 \sim k$ (k は2以上)) 段の磁気パルス圧縮回路を備える場合は、

$$\begin{aligned} & \{ I_{TC1R} \times (n_{TC12} / n_{TC1R}) - I_{TC2R} \times (n_{TC22} / n_{TC2R}) \} \\ & \quad / (C_{c1} + \cdots + C_{ck} + C_{cp}) < K \quad \cdots (3)' \end{aligned}$$

なる関係が成り立つようにすればよい。

20

【0055】

次に、本実施形態によって得られる電圧特性について説明する。

図1は磁気パルス圧縮動作及びエネルギー回生動作の際の各コンデンサの電圧特性を示している。

図1に示すように、本実施形態によって磁気パルス圧縮動作及びエネルギー回生動作の際に生ずる電圧特性は、図5に示す従来の電圧特性と大きくは同じである。したがって、本実施形態による磁気パルス圧縮動作やエネルギー回生動作の基本的な流れは、従来と同じである。異なるのは、主コンデンサC0の電荷が1段目の転送コンデンサC1に転送された後に主コンデンサC0の電圧 V_{c0} が負になるという点(図1中のa)と、1段目の転送コンデンサC1の電荷が主コンデンサC0に転送された後に1段目の転送コンデンサC1の電圧 V_{c1} が負になるという点(図1中のb)である。

30

【0056】

図1中のaで示すように電荷転送後に主コンデンサC0が負になるのは、上記(2)式を満たすように各素子を調整したためである。また、図1中のbで示すように電荷転送後に1段目の転送コンデンサC1が負になるのは、上記(1)式を満たすように各素子を調整したためである。

【0057】

図2はエネルギー回生動作完了後のコンデンサC1、C2、Cpの電圧特性を示している。

図2に示すように、エネルギー回生動作完了のタイミング(図2中のa)で2段目の転送コンデンサC2の電圧 V_{c2} とピーキングコンデンサCpの電圧 V_{cp} は略0であり、1段目の転送コンデンサC1の電圧 V_{c1} は負である。電圧 V_{cp} と電圧 V_{c2} は、時間経過と共に負側で下降し、磁気スイッチSR3のコアがリセットされるタイミング(図2中のb)で一致し負側で上昇する。一方、電圧 V_{c1} は時間経過と共に負側で上昇し、正側に転じた後に再び下降する。

40

【0058】

そして、磁気スイッチSR2のコアがリセットされるタイミング(図2中のc)で電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_{cp} は一致して共に上昇し、昇圧用トランスTC1のコアがリセットされるタイミング(図2中のd)で電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_{cp} はピーク値から下降する。上記(3)式を満たすように各素子を設定することによって、磁気スイッチSR2のコアがリセット

50

された後の電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_{cp} の上昇速度を調整することが可能となる。

【0059】

ここで本発明者らが実施した試験について説明する。

本発明者らは、高繰り返し周波数（6 KHz）に好適なピーキングコンデンサ C_p の電圧上限値 V_{Ln} をつぎのように設定した。

【0060】

- ・主放電後 $1 \mu s \sim 20 \mu s$ の期間で上限値 $V_{L10} V$
- ・主放電後 $20 \mu s \sim 30 \mu s$ の期間で上限値 $V_{L2300} V$
- ・主放電後 $30 \mu s \sim$ の期間で上限値 $V_{L3500} V$

そして上記条件を満たすように、前述した第1、第2の手段に基づいて各巻線の巻数やコンデンサの容量を調整した。この際、上記（3）式の定数 K を、

$$K = 500 [V] / 40 [\mu s] = 12.5 [V / \mu s]$$

に設定した。その結果、図3に示す電圧特性を得た。

【0061】

図3は主放電前後に計測されたピーキングコンデンサ C_p の電圧特性を示している。主放電発生直後（ $1 \mu s$ 未満）はピーキングコンデンサ C_p の電圧 V_{cp} がごく短時間で正負間を振動する。このため、図3では主放電発生直後の電圧特性がほぼ垂直な直線で示されている。

【0062】

図3で示すように、ピーキングコンデンサ C_p の電圧 V_{cp} は、設定した条件の通り、主放電後 $1 \mu s \sim 20 \mu s$ の期間で上限値 $V_{L1} (= 0 V)$ 以下となり、主放電後 $20 \mu s \sim 30 \mu s$ の期間で上限値 $V_{L2} (= 300 V)$ 以下となり、主放電後 $30 \mu s \sim$ の期間で上限値 $V_{L3} (= 500 V)$ 以下となっている。つまり主放電後のピーキングコンデンサ C_p の電圧上昇は抑制され、電圧 V_{cp} のピーク値が抑制されているため、結果として早期に電圧 V_{cp} が0に収束する。したがって、高繰り返し周波数のレーザ装置であっても、良好な放電を得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】図1は本実施形態において得られる磁気パルス圧縮動作及びエネルギー回生動作の際の各コンデンサの電圧特性を示す図である。

【図2】図2はエネルギー回生動作完了後のコンデンサ C_1 、 C_2 、 C_p の電圧特性を示す図である。

【図3】図3は主放電前後に計測されたピーキングコンデンサ C_p の電圧特性を示す図である。

【図4】図4はガスレーザ装置の電源回路を示す図である。

【図5】図5は従来装置において得られる磁気パルス圧縮動作及びエネルギー回生動作の際の各コンデンサの電圧特性を示す図である。

【図6】図6は磁気スイッチを構成する可飽和リアクトルの一般的な構成を示す図である。

【図7】図7は磁気スイッチを構成する可飽和リアクトルのコアの磁化曲線を示す図である。

【符号の説明】

【0064】

C_0 …主コンデンサ C_1 、 C_2 …転送コンデンサ C_p …ピーキングコンデンサ

S_{R1} 、 S_{R2} 、 S_{R3} …磁気スイッチ

T_{C1} …昇圧用トランス T_{C11} …1次巻線 T_{C12} …2次巻線

T_{C1R} …リセット巻線

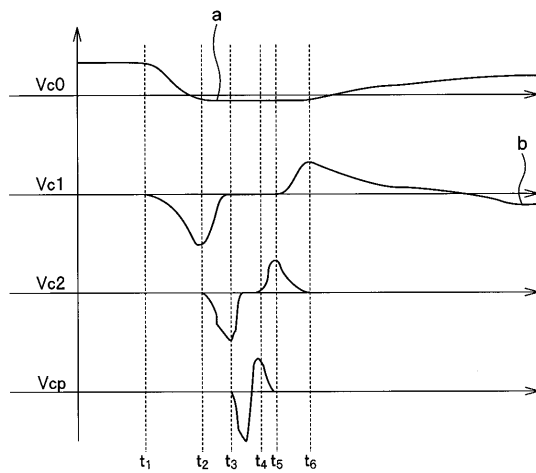
T_{R2} …回生用トランス T_{C21} …1次巻線 T_{C22} …2次巻線

T_{C2R} …リセット巻線

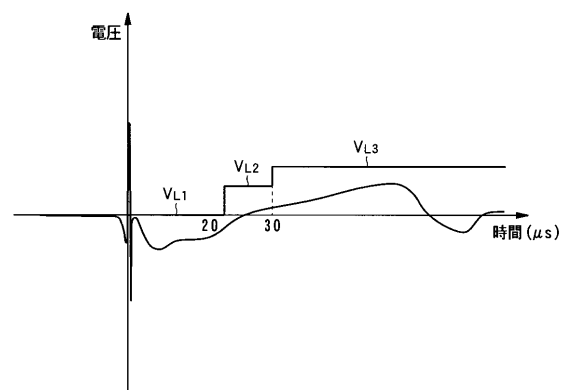
L_{R1} 、 L_{R2} 、 L_{R3} …リセット巻線

H V … 高電圧電源 D 1、D 2… ダイオード E … 主放電電極

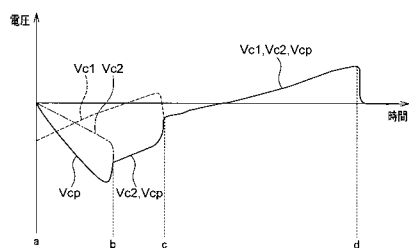
【図 1】



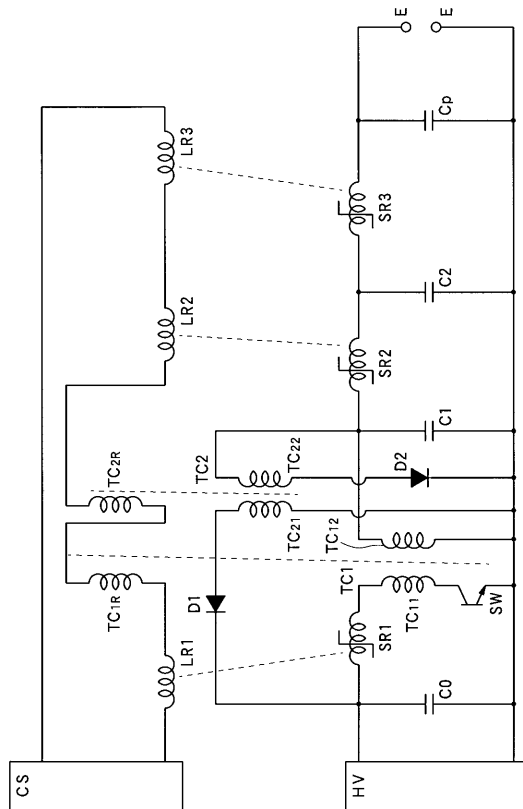
【図 3】



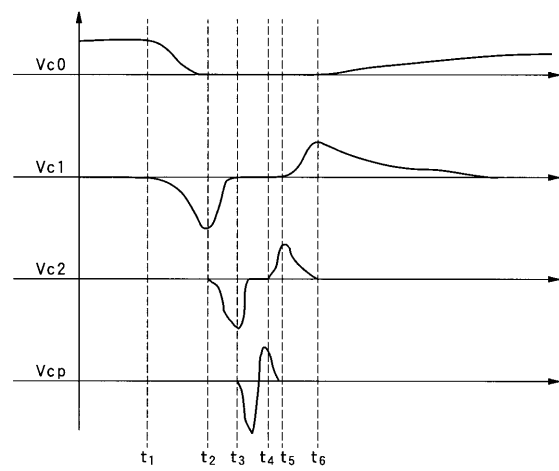
【図 2】



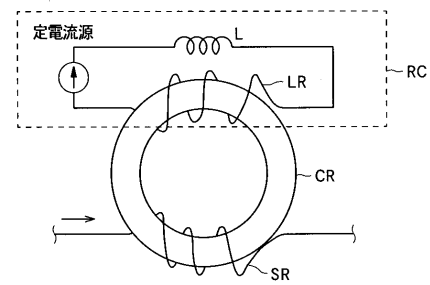
【図 4】



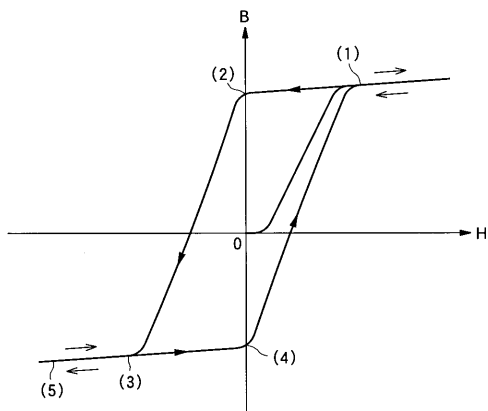
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H790 BA02 BA08 BB11 CC01 DD06 EA01 EA02 EA03 EA15