

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4526580号
(P4526580)

(45) 発行日 平成22年8月18日 (2010. 8. 18)

(24) 登録日 平成22年6月11日 (2010. 6. 11)

(51) Int. Cl.	F I
HO 2 N 2/00 (2006. 01)	HO 2 N 2/00 B
HO 1 L 41/083 (2006. 01)	HO 1 L 41/08 P

請求項の数 5 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2008-176931 (P2008-176931)	(73) 特許権者	000004695
(22) 出願日	平成20年7月7日 (2008. 7. 7)		株式会社日本自動車部品総合研究所
(65) 公開番号	特開2010-17059 (P2010-17059A)		愛知県西尾市下羽角町岩谷 1 4 番地
(43) 公開日	平成22年1月21日 (2010. 1. 21)	(73) 特許権者	000004260
審査請求日	平成22年2月2日 (2010. 2. 2)		株式会社デンソー
			愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地
		(74) 代理人	110000578
			名古屋国際特許業務法人
		(72) 発明者	深川 康弘
			愛知県西尾市下羽角町岩谷 1 4 番地 株式
			会社日本自動車部品総合研究所内
		(72) 発明者	中村 勉
			愛知県西尾市下羽角町岩谷 1 4 番地 株式
			会社日本自動車部品総合研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ピエゾアクチュエータ駆動装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ピエゾアクチュエータに直列に接続されるインダクタと、
該インダクタと前記ピエゾアクチュエータとの直列回路に対して、直流電源から充電スイッチを介して電源供給を行うための充電経路と、

前記直列回路に並列に接続され、放電スイッチを介して前記ピエゾアクチュエータの充電電荷を放電させるための放電経路と、

前記充電スイッチに対して、カソードが前記直流電源の正極側となるよう並列に接続された第 1 ダイオードと、

前記放電スイッチに対して、アノードが前記直流電源の負極側となるよう並列に接続された第 2 ダイオードと、

外部から駆動指令が入力されると、前記充電スイッチのオン／オフを繰り返すことにより、前記ピエゾアクチュエータを充電させて伸長させる充電制御手段と、

前記ピエゾアクチュエータの放電電流を検出する放電電流検出手段を有すると共に、外部から駆動停止指令が入力されると、前記放電スイッチをオンし、その後、前記放電電流がピーク側閾値まで増加したと判定すると前記放電スイッチをオンからオフに切り替え、前記放電電流がボトム側閾値まで減少したと判定すると前記放電スイッチをオフからオンに切り替える、という動作を繰り返すことにより、前記ピエゾアクチュエータを放電させて収縮させる放電制御手段と、

前記ピーク側閾値を時間に比例して上昇するように設定する閾値設定手段とを備え、

10

20

前記閾値設定手段は、前記充電制御手段により前記piezoアクチュエータに充電された充電電荷量を検出する充電電荷検出手段を有すると共に、前記充電制御手段により前記piezoアクチュエータに充電された充電エネルギー E_0 と、前記放電制御手段が前記piezoアクチュエータから放電させるべき放電エネルギー ΔE 及び放電時間 T と、前記ボトム側閾値との各値が与えられ、その各値と前記充電電荷検出手段で検出した充電電荷量 Q_0 とから、前記piezoアクチュエータの放電エネルギー変化率を「 $\Delta E / T$ 」にするための前記ピーク側閾値の時間に対する傾きと切片を決定すると共に、その傾き及び切片と前記piezoアクチュエータの放電開始時からの経過時間 t とから前記ピーク側閾値を設定すること、

を特徴とするpiezoアクチュエータ駆動装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のpiezoアクチュエータ駆動装置において、

前記閾値設定手段は、前記充電電荷量 Q_0 が大きいほど、前記傾きと切片を大きい値に決定するようになっていること、

を特徴とするpiezoアクチュエータ駆動装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載のpiezoアクチュエータ駆動装置において、

前記閾値設定手段は、下記の式 1 により前記ピーク側閾値を設定すること、

を特徴とするpiezoアクチュエータ駆動装置。

【数 1】

$$I_{p(t)} = \frac{2Q_0}{T} \left[\left\{ -\frac{\Delta E}{E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} + \frac{2}{T} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \right\} \times t + \left\{ \frac{\Delta E}{2E_0} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} - 2 \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \right\} \right] - I_b \quad \cdots \text{式 1}$$

但し、式 1 において、 $I_p(t)$ は、充電方向を正とした場合のピーク側閾値であり、 I_b は、充電方向を正とした場合のボトム側閾値である。

【請求項 4】

請求項 1 又は請求項 2 に記載のpiezoアクチュエータ駆動装置において、

前記閾値設定手段は、下記の式 2 により前記ピーク側閾値を設定すること、

を特徴とするpiezoアクチュエータ駆動装置。

【数 2】

$$I_{p(t)} = 2 \frac{Q_0}{T} \left(\left(1 - \sqrt{2} \right) \frac{\Delta E^2}{E_0^2 T} t - \frac{\Delta E}{2E_0} \right) - I_b \quad \cdots \text{式 2}$$

但し、式 2 において、 $I_p(t)$ は、充電方向を正とした場合のピーク側閾値であり、 I_b は、充電方向を正とした場合のボトム側閾値である。

【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 の何れか 1 項に記載のpiezoアクチュエータ駆動装置において、

前記充電電荷検出手段は、前記充電制御手段が前記piezoアクチュエータを充電する際に、前記piezoアクチュエータに供給される充電電流を検出すると共に、その充電電流を積分することにより、前記充電電荷量 Q_0 を検出すること、

を特徴とするpiezoアクチュエータ駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ピエゾアクチュエータを駆動する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、充電により伸長し放電により縮小してピストン等を直線動するピエゾアクチュエータが知られており、例えば内燃機関の燃料噴射装置として、燃料噴射用インジェクタの開閉弁の切り替えを、そのようなピエゾアクチュエータにより行うものが知られている（例えば、特許文献1，2参照）。

【0003】

10

また、ピエゾアクチュエータを充放電させて伸縮させる駆動装置としては、インダクタとピエゾアクチュエータとの直列回路に対して、MOSFETからなる充電スイッチを介して直流電源から電源供給を行うための充電経路と、上記直列回路に並列に接続され、MOSFETからなる放電スイッチを介してピエゾアクチュエータの充電電荷を放電させるための放電経路と、充電スイッチに対してカソードが直流電源の正極側となるよう並列に接続された第1ダイオードと、放電スイッチに対してアノードが直流電源の負極側となるよう並列に接続された第2ダイオードとを備えたものが知られている。

【0004】

そして、この種の駆動装置では、外部から駆動信号が入力されると、放電スイッチをオフした状態で充電スイッチのオン／オフを繰り返すことにより、ピエゾアクチュエータを充電させて伸長させ、その後、駆動信号が入力されなくなると、充電スイッチをオフした状態で放電スイッチのオン／オフを繰り返すことにより、ピエゾアクチュエータを放電させて収縮させる。

20

【0005】

つまり、充電期間においては、充電スイッチをオンすることで直流電源から充電経路を介してピエゾアクチュエータに充電電流を流し、その後、充電スイッチをオフすることで、インダクタに蓄積されたエネルギーによって流れる充電電流（即ち、フライホイール電流）を、放電スイッチと並列な第2ダイオードを介してピエゾアクチュエータに流す、といった手順を繰り返すことにより、段階的にピエゾアクチュエータを充電させる。

【0006】

30

また、放電期間においては、放電スイッチをオンすることで、ピエゾアクチュエータの正極側からインダクタを介して放電経路に放電電流を流し、その後、放電スイッチをオフすることで、ピエゾアクチュエータの正極側からインダクタ及び充電スイッチと並列な第1ダイオードを介して直流電源へと放電電流を流し、その放電電流によりピエゾアクチュエータの電荷を直流電源に回収する、といった手順を繰り返すことにより、段階的にピエゾアクチュエータを放電させる。

【0007】

そして、ピエゾアクチュエータを放電させる放電制御としては、まず放電スイッチをオンし、その後、ピエゾアクチュエータの放電電流の検出値がピーク側閾値まで増加したと判定すると放電スイッチをオンからオフに切り替え、放電電流の検出値がボトム側閾値まで減少したと判定すると放電スイッチをオフからオンに切り替える、という動作を繰り返す制御が知られている。

40

【0008】

更に、特許文献1には、上記ピーク側閾値（遮断電流）を時間とともに上昇させることで、放電エネルギーを一定に保つことが記載されている。ピエゾアクチュエータの電圧は放電が進むにつれて下降するため、電流を上昇させることで、その時間積であるエネルギーが一定に保たれるようにし、それにより放電時間（放電に要する時間）が変動しないようにしている。

【0009】

尚、特許文献2には、ピエゾ素子の充電電荷量に応じて放電制御のピーク側閾値を変え

50

ることにより、充電電荷量を所望の放電時間で放電させることができるようにすることが記載されている。一方、特許文献3には、piezoアクチュエータに目標のエネルギーを充電する技術が記載されている。

【特許文献1】特開2003-92438号公報

【特許文献2】特開2007-205173号公報

【特許文献3】特開2008-5649号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1に開示の技術は、放電制御のピーク側閾値を常に一定の傾きで上昇させるだけであり、piezoアクチュエータの放電エネルギー変化率（放電の際のエネルギー変化率）を任意の一定値に制御したくても、それができない。また、piezoアクチュエータの静電容量が温度により変化するなどして、piezoアクチュエータを充電した際の充電電荷量が変わると、放電エネルギー変化率が変わって、放電に要する時間が変化してしまう。

【0011】

一方、特許文献2に開示の技術は、時間に対して一定のピーク側閾値をpiezo素子の充電電荷量に応じて変えるものであり、放電時のエネルギーは二次関数的に減少するため、放電エネルギー変化率を一定にすることはできない。

【0012】

こうした背景から、本発明は、piezoアクチュエータの放電エネルギー変化率を任意の一定値に制御できるようにすることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0013】

請求項1のpiezoアクチュエータ駆動装置は、piezoアクチュエータに直列に接続されるインダクタと、そのインダクタとpiezoアクチュエータとの直列回路に対して、直流電源から充電スイッチを介して電源供給を行うための充電経路と、前記直列回路に並列に接続され、放電スイッチを介してpiezoアクチュエータの充電電荷を放電させるための放電経路と、充電スイッチに対して、カソードが直流電源の正極側となるよう並列に接続された第1ダイオードと、放電スイッチに対して、アノードが直流電源の負極側となるよう並列に接続された第2ダイオードと、充電制御手段及び放電制御手段と、閾値設定手段とを備える。

【0014】

そして、充電制御手段は、外部から駆動指令が入力されると、充電スイッチのオン／オフを繰り返すことにより、piezoアクチュエータを充電させて伸長させる。

また、放電制御手段は、piezoアクチュエータの放電電流を検出する放電電流検出手段を有しており、外部から駆動停止指令が入力されると、放電スイッチをオンし、その後、放電電流検出手段で検出される放電電流がピーク側閾値まで増加したと判定すると放電スイッチをオンからオフに切り替え、前記放電電流がボトム側閾値まで減少したと判定すると放電スイッチをオフからオンに切り替える、という動作を繰り返すことにより、piezoアクチュエータを放電させて収縮させる。更に、閾値設定手段は、前記ピーク側閾値を時間

【0015】

ここで特に、請求項1のpiezoアクチュエータ駆動装置において、閾値設定手段は、充電制御手段によりpiezoアクチュエータに充電された充電電荷量を検出する充電電荷検出手段を有している。そして更に、閾値設定手段は、充電制御手段によりpiezoアクチュエータに充電された充電エネルギー E_0 と、放電制御手段がpiezoアクチュエータから放電させるべき放電エネルギー ΔE 及び放電時間 T と、前記ボトム側閾値との各値が与えられ、その各値と充電電荷検出手段で検出した充電電荷量 Q_0 とから、piezoアクチュエータの放電エネルギー変化率を「 $\Delta E/T$ 」にするためのピーク側閾値の時間に対する傾きと切片を決定すると共に、その傾き及び切片とpiezoアクチュエータの放電開始時からの経過時間

10

20

30

40

50

t とから、ピーク側閾値を設定する。

【0016】

このような請求項1のピエゾアクチュエータ駆動装置によれば、下記の効果が得られる。

(1) 閾値設定手段に与える放電エネルギー ΔE と放電時間 T の値を変えれば、ピーク側閾値の時間に対する傾きと切片が変わり、その与えた ΔE と T の比である放電エネルギー変化率($=\Delta E/T$)を実現することができる。よって、放電エネルギー変化率を任意の一定値に制御できる。

【0017】

(2) 充電電荷量 Q_0 の検出値に応じてピーク側閾値の傾きと切片が設定されるため、ピエゾアクチュエータの容量が温度によって変動しても、放電エネルギー変化率を一定値($=\Delta E/T$)に制御することができる。

【0018】

つまり、充電エネルギー E_0 が同じでも、温度によって容量が変動すると、充電電荷量 Q_0 が変わるが、実際の充電電荷量 Q_0 を検出し、その検出値を用いてピーク側閾値の傾きと切片を設定するため、温度ばらつきによる影響を抑えることができる。

【0019】

(3) 放電エネルギー変化率を一定値に制御でき、その値($=\Delta E/T$)が分かっているため、放電の経過時間 t から、放電したエネルギー量($=t \times \Delta E/T$)を把握することができる。そして、放電したエネルギー量が分かれば、充電エネルギー E_0 は既知であるため、ピエゾアクチュエータに残っているエネルギー量が分かり、その残存エネルギー量の値をピエゾアクチュエータの制御に利用することができるようになる。

【0020】

ところで、閾値設定手段は、請求項2に記載のように、充電電荷検出手段で検出した充電電荷量 Q_0 が大きいほど、ピーク側閾値の傾きと切片を大きい値に決定するように構成することができる。つまり、ピーク側閾値の傾きと切片を大きい値にするほど、単位時間当たりの放電電荷量が大きくなるためである。

【0021】

更に具体的には、閾値設定手段は、請求項3に記載の式1によりピーク側閾値を設定するように構成することができる。また、閾値設定手段は、請求項4に記載の式2によりピーク側閾値を設定するように構成することもできる。

【0022】

尚、式1と式2の各右辺においては、「 t 」が乗ぜられる部分が、ピーク側閾値 $I_p(t)$ の傾きに該当し、「 t 」が乗ぜられない部分が、ピーク側閾値 $I_p(t)$ の切片に該当している。また、式1、式2がどのように導出されたかについては、「発明を実施するための最良の形態」の欄で詳細に説明する。

【0023】

一方、充電電荷検出手段は、請求項5に記載のように、充電制御手段がピエゾアクチュエータを充電する際に、ピエゾアクチュエータに供給される充電電流を検出すると共に、その充電電流を積分することにより、充電電荷量 Q_0 を検出するように構成することができる。そして、この構成によれば、充電電荷量 Q_0 を簡単に検出できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下に、本発明が適用された実施形態のピエゾアクチュエータ駆動装置について説明する。

図1は、実施形態の駆動装置30の構成を表す構成図である。尚、本実施形態の駆動装置30は、車両に搭載されたディーゼルエンジンの燃料噴射装置を構成するものであり、ディーゼルエンジンの各気筒へコモンレールからの高圧燃料を噴射する各インジェクタに設けられたピエゾアクチュエータ1を充放電させて伸縮させることにより、その各気筒毎のインジェクタに燃料噴射の開始/停止をさせるものである。但し、図1では、複数のピ

10

20

30

40

50

エゾアクチュエータ１のうちの１つのみを示しており、以下では、その１つのピエゾアクチュエータ１の駆動を例に挙げて説明する。

【００２５】

図１に示すように、本実施形態の駆動装置３０は、ピエゾアクチュエータ１を充電するための電気エネルギーが蓄えられる直流電源としてのコンデンサ２と、車載バッテリー３の電圧（バッテリー電圧）を昇圧して、コンデンサ２を、その充電電圧がバッテリー電圧よりも高い所定の電圧となるように充電する昇圧回路４とを備えている。

【００２６】

更に、駆動装置３０は、ピエゾアクチュエータ１に対して直列に接続されるインダクタ５と、そのインダクタ５とピエゾアクチュエータ１との直列回路６に対して、コンデンサ２の正極側端子から充電スイッチ７を介して電源供給を行うための充電経路９と、直列回路６に対して並列に接続され、放電スイッチ１０を介してピエゾアクチュエータ１の充電電荷を放電させるための放電経路１２とを備えている。

10

【００２７】

そして、直列回路６のピエゾアクチュエータ１側の端部（換言すれば、ピエゾアクチュエータ１のインダクタ５側とは反対側の端部）は、抵抗１３を介して、コンデンサ２の負極側であるグラウンドラインに接続されている。尚、抵抗１３は、ピエゾアクチュエータ１に流れる電流（充電電流及び放電電流）を検出するための電流検出用抵抗である。

【００２８】

直列回路６のインダクタ５側の端部（換言すれば、インダクタ５のピエゾアクチュエータ１側とは反対側の端部）は、充電スイッチ７を介して、コンデンサ２の正極側端子に接続されるようになっている。また、充電スイッチ７には、ダイオード（還流回路）８が、カソードをコンデンサ２の正極側端子の方にして並列に接続されている。そのダイオード８は、ピエゾアクチュエータ１を放電させる際において、放電スイッチ１０がオンからオフされた時にコンデンサ２へ回生電流を流し込む役割を果たす。

20

【００２９】

尚、充電スイッチ７は、 n チャネルＭＯＳＦＥＴからなり、ドレインがコンデンサ２の正極側端子に接続され、ソースがインダクタ５の一端に接続されている。そして、そのＭＯＳＦＥＴの寄生ダイオードを、ダイオード８として利用している。

【００３０】

また、放電スイッチ１０は、オンすることで放電経路１２を形成するが、この放電スイッチ１０も n チャネルＭＯＳＦＥＴからなる。そして、そのソースがグラウンドラインに接続され、ドレインが充電スイッチ７とインダクタ５との接続点に接続されている。

30

【００３１】

また、放電スイッチ１０には、ダイオード（還流回路）１１が、アノードをグラウンドラインの方にして並列に接続されている。そして、そのダイオード１１は、ピエゾアクチュエータ１を充電する際において、充電スイッチ７がオンからオフされた時にインダクタ５によるフライホイール電流を流す役割を果たす。尚、このダイオード１１も、放電スイッチ１０を成すＭＯＳＦＥＴの寄生ダイオードである。

【００３２】

更に、駆動装置３０は、上記抵抗１３の両端に生じる電圧を増幅して出力する電流検出回路としての増幅回路１４と、その増幅回路１４の出力電圧 V_0 を積分する電荷検出回路としての積分回路１５と、２つの比較器１６、１７と、ピエゾアクチュエータ１の充電制御を行う充電制御回路１８と、ピエゾアクチュエータ１の放電制御を行う放電制御回路１９と、放電制御用の閾値を設定する閾値設定回路２０とを備えている。

40

【００３３】

比較器１６は、放電制御回路１９が放電制御を行う際に、ピエゾアクチュエータ１の放電電流のピーク側閾値 I_p に相当する閾値電圧（ピーク側閾値電圧） V_p と、増幅回路１４の出力電圧 V_0 とを比較する。

【００３４】

50

また、比較器 17 は、放電制御回路 19 が放電制御を行う際に、ピエゾアクチュエータ 1 の放電電流のボトム側閾値 I_b に相当する閾値電圧（ボトム側閾値電圧） V_b と、増幅回路 14 の出力電圧 V_0 とを比較する。

【0035】

ここで、本実施形態では、ピエゾアクチュエータ 1 及び抵抗 13 に流れる電流の正負極性として、ピエゾアクチュエータ 1 の充電方向を正（放電方向を負）としている。このため、ピエゾアクチュエータ 1 の放電電流は負であり、ピエゾアクチュエータ 1 の放電時における増幅回路 14 の出力電圧 V_0 も負である。そして、放電電流のピーク側閾値 I_p とボトム側閾値 I_b も負であり、それらに対応するピーク側閾値電圧 V_p とボトム側閾値電圧 V_b も負である。更に、ピーク側閾値 I_p とボトム側閾値 I_b は、「 $I_p < I_b$, $|I_p| > |I_b|$ 」の大小関係にあるため（図 4 参照）、ピーク側閾値電圧 V_p とボトム側閾値電圧 V_b も、「 $V_p < V_b$, $|V_p| > |V_b|$ 」の大小関係にある。

10

【0036】

そして、比較器 16 は、「 $V_0 \leq V_p$ 」になると、放電制御回路 19 への出力信号を例えばハイに変化させる。このため、ピエゾアクチュエータ 1 の放電電流の絶対値が増加してピーク側閾値 I_p の絶対値に達すると、比較器 16 の出力信号がローからハイになる。

【0037】

また、比較器 17 は、「 $V_0 \geq V_b$ 」になると、放電制御回路 19 への出力信号を例えばハイに変化させる。このため、ピエゾアクチュエータ 1 の放電電流の絶対値が減少してボトム側閾値 I_b の絶対値に達すると、比較器 17 の出力信号がローからハイになる。

20

【0038】

尚、以下の説明において、ピエゾアクチュエータ 1 の放電電流の増加、減少とは、放電電流の絶対値が増加、減少することを意味している。そして、放電電流がピーク側閾値 I_p まで増加するとは、放電電流の絶対値がピーク側閾値 I_p の絶対値にまで増加したということであり、放電電流がボトム側閾値 I_b まで減少するとは、放電電流の絶対値がボトム側閾値 I_b の絶対値にまで減少したということである。また、比較器 16 への閾値電圧 V_p と、比較器 17 への閾値電圧 V_b は、閾値設定回路 20 から出力されるが、その閾値設定回路 20 については後で説明する。

【0039】

一方、充電制御回路 18 は、増幅回路 14 の出力電圧 V_0 をモニタすることにより、ピエゾアクチュエータ 1 に流れる充電電流を検出するようになっている。更に、充電制御回路 18 には、車両のエンジン制御を行う電子制御ユニットのマイコン（図示省略）から、インジェクタを開弁させるための駆動信号（いわゆる噴射指令信号）が入力される。尚、その駆動信号は、ハイになっている間インジェクタを開弁させる、という意味を持っている。また、本実施形態の駆動装置 30 は、上記電子制御ユニットの内部と外部のどちらに設けられても良い。

30

【0040】

そして、充電制御回路 18 は、上記駆動信号がハイになると、充電スイッチ 7 をオン／オフさせてピエゾアクチュエータ 1 を充電する充電制御を行う。尚、この充電制御が行われる場合、放電スイッチ 10 はオフのままである。

40

【0041】

つまり、この駆動装置 30 において、充電スイッチ 7 がオンされると、コンデンサ 2 から充電経路 9 及びインダクタ 5 を介してピエゾアクチュエータ 1 に充電電流が流れ、充電スイッチ 7 がオンからオフされると、インダクタ 5 に蓄積されたエネルギーによって流れる充電電流が、グラウンドライン側から放電スイッチ 10 に並列なダイオード 11 を介してピエゾアクチュエータ 1 に流れることとなる。このため、充電制御により充電スイッチ 7 のオン／オフが繰り返されることで、ピエゾアクチュエータ 1 が段階的に充電されて伸長し、インジェクタが開弁する。

【0042】

この充電制御について更に具体的に説明する。

50

充電制御回路 18 は、駆動信号がハイになると、充電スイッチ 7 をオンし、増幅回路 14 の出力電圧 V_0 に基づいて、ピエゾアクチュエータ 1 に流れる電流（この場合は充電電流）が所定値（例えば 25 A）に達したと判定したら、充電スイッチ 7 をオフすると共に、この 1 回目の充電スイッチ 7 のオン時間を記憶する。そして、1 回目の充電スイッチ 7 のオフ後にピエゾアクチュエータ 1 の充電電流が 0 A まで低下したことを検知すると、1 回目で記憶したオン時間だけ充電スイッチ 7 をオンし、その後、充電電流が 0 A に低下すると再び 1 回目で記憶したオン時間だけ充電スイッチ 7 をオンすることを所定回数繰り返す。

【0043】

このような充電制御により、時間当たりの充電エネルギーが一定となり、温度が変動してピエゾアクチュエータ 1 の容量が変化しても、そのピエゾアクチュエータ 1 に目標の電気エネルギー（充電エネルギー）が蓄えられる（充電される）こととなる。尚、こうした充電制御については例えば特許文献 1 に記載されている。

【0044】

尚、充電制御回路 18 が行う充電制御としては、例えば特許文献 3 に記載されているものでも良い。つまり、この場合、充電制御回路 18 は、1 回の充電期間においてピエゾアクチュエータ 1 に充電すべき充電エネルギー（即ち、目標の充電エネルギー）及びコンデンサ 2 の電圧に基づいて、充電スイッチ 7 のオン期間におけるピエゾアクチュエータ 1 の充電エネルギーの目標値を設定する目標値設定手段と、充電スイッチ 7 のオン時にコンデンサ 2 から直列回路 6 に供給される充電電流を検出する電流検出手段と、その電流検出手段により検出される充電電流を積分することにより、充電スイッチ 7 のオン期間におけるピエゾアクチュエータ 1 の充電エネルギーを推定する推定手段と、上記駆動信号がハイになると、予め設定された所定の周期で充電スイッチ 7 をオンすると共に、前記推定手段により推定される推定値が、前記目標値設定手段により設定された目標値に到達する度に充電スイッチ 7 をオフする充電スイッチ駆動手段と、を備えるように構成すれば良い。

【0045】

次に、放電制御回路 19 にも、上記駆動信号が入力される。

そして、放電制御回路 19 は、上記駆動信号がハイからローになると、放電スイッチ 10 をオン／オフさせてピエゾアクチュエータ 1 を放電させる放電制御を、予め設定された放電実施時間だけ行う。尚、この放電制御が行われる場合、充電スイッチ 7 はオフのまま

【0046】

つまり、この駆動装置 30 において、放電スイッチ 10 がオンされると、ピエゾアクチュエータ 1 の正極側からインダクタ 5 及び放電経路 12 を介してグラウンドライン側へ放電電流が流れ、放電スイッチ 10 がオンからオフされると、ピエゾアクチュエータ 1 の正極側からインダクタ 5 及び充電スイッチ 7 に並列なダイオード 8 を介してコンデンサ 2 へと放電電流が流れ、その放電電流によりピエゾアクチュエータ 1 の電荷がコンデンサ 2 に回収される。このため、放電制御により放電スイッチ 10 のオン／オフが繰り返されることで、ピエゾアクチュエータ 1 が段階的に放電されて収縮し、インジェクタが閉弁する。

【0047】

この放電制御について更に具体的に説明する。

図 2 に示すように、放電制御回路 19 は、駆動信号がハイからローになって放電制御を開始すると、まず、放電スイッチ 10 をオンする（S110）。

【0048】

そして、放電スイッチ 10 をオンしているときには（S120：YES）、ピエゾアクチュエータ 1 の放電電流が閾値設定回路 20 で設定されるピーク側閾値 I_p にまで増加するまで待つ（S130：NO）。具体的には、比較器 16 の出力信号がローからハイになるまで待つ。そして、比較器 16 の出力信号がハイになって放電電流がピーク側閾値 I_p まで増加したと判定すると（S130：YES）、放電スイッチ 10 をオフする（S140）。

【0049】

また、放電スイッチ10をオフしているときには（S120：NO）、ピエゾアクチュエータ1の放電電流がボトム側閾値I_bにまで減少するまで待つ（S150：NO）。具体的には、比較器17の出力信号がローからハイになるまで待つ。そして、比較器17の出力信号がハイになって放電電流がボトム側閾値I_bまで減少したと判定すると（S150：YES）、放電スイッチ10をオンする（S160）。

【0050】

そして、放電制御回路19は、このような放電制御を、駆動信号がローになった時点から前述の放電実施時間が経過するまで行う。尚、放電実施時間（放電制御を行う時間）は、固定値でも良いが、例えば上記電子制御ユニット内のマイコンによって指令される可変値になっていても良い。

10

【0051】

次に、本実施形態において最も特徴的な部分である閾値設定回路20について説明する。

閾値設定回路20には、充電制御回路18の充電制御によりピエゾアクチュエータ1に充電される充電エネルギー（前述した目標の充電エネルギー）E₀の値と、放電制御回路19が放電制御によってピエゾアクチュエータ1から放電させるべき放電エネルギーΔEの値と、ピエゾアクチュエータ1の放電時間（前述した放電実施時間）Tの値と、ボトム側閾値I_bの値とが与えられ、それら各値（E₀、ΔE、T、I_b）は、閾値設定回路20内にあるRAM又はROM等のメモリ21に記憶されている。

20

【0052】

尚、上記各値（E₀、ΔE、T、I_b）は、メモリ21に固定値として記憶されるようになっていても良いが、例えば上記電子制御ユニット内のマイコンによってメモリ21に任意の値が書き込まれる構成でも良い。特に、放電実施時間を可変にする場合、メモリ21には、放電時間Tとして、その放電実施時間と同じ値を書き込めば良く、同様に、充電制御でピエゾアクチュエータ1に充電する目標の充電エネルギーを可変にする場合、メモリ21には、充電エネルギーE₀として、その目標の充電エネルギーと同じ値を書き込めば良い。

【0053】

また、閾値設定回路20は、駆動信号がハイになった時に積分回路15をリセットし、駆動信号がローになった時に積分回路15の出力値を読み取って、その出力値から、充電制御回路18の充電制御でピエゾアクチュエータ1に充電された充電電荷量Q₀を検出する。つまり、積分回路15は、充電制御によってピエゾアクチュエータ1に充電された充電電流を積分することとなり、閾値設定回路20は、その積分値から充電電荷量Q₀を算出する。

30

【0054】

そして、閾値設定回路20は、メモリ21内の上記各値（E₀、ΔE、T、I_b）と、上記の手順で検出した充電電荷量Q₀とから、ピエゾアクチュエータ1の放電エネルギー変化率を「ΔE／T」にするためのピーク側閾値I_pの時間に対する傾きaと切片bを決定すると共に、その傾きa及び切片bと、ピエゾアクチュエータ1の放電開始時（即ち、駆動信号がローになった時点）からの経過時間tとから、下記の式3により、ピーク側閾値I_pを設定する。

40

【0055】

【数 3】

$$I_{p(t)} = \left\{ -\frac{2\Delta E \times Q_0}{E_0 \times T^2} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} + \frac{4Q_0}{T^2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \right\} \times t$$

$$+ \left\{ \frac{\Delta E \times Q_0}{E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} - \frac{4Q_0}{T} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) - I_b \right\} \quad \dots \text{式3}$$

10

尚、式 3 の右辺においては、「t」が乗ぜられる { } の部分が、ピーク側閾値 I_p の傾き a であり、「t」が乗ぜられない { } の部分が、ピーク側閾値 I_p の切片 b である。また、ピーク側閾値 I_p は時間 t に比例した値に設定されるため、式 3 及び前述の図 1、図 2 では、ピーク側閾値 I_p を、時間 t の関数であることを示す $I_p(t)$ と記載している。そして、以下では、 I_p など、時間とともに変化する物理値については、(t) を付すことにする。また、式 3 において、 $I_p(t)$ と I_b は、充電方向を正としている。

【0056】

そして更に、閾値設定回路 20 は、上記式 3 により設定したピーク側閾値 $I_p(t)$ に、抵抗 13 の抵抗値と増幅回路 14 の増幅率とを乗じた値の電圧を、前述の閾値電圧 V_p として比較器 16 に出力し、また、上記メモリ 21 に記憶されたボトム側閾値 I_b に、抵抗 13 の抵抗値と増幅回路 14 の増幅率とを乗じた値の電圧を、前述の閾値電圧 V_b として比較器 17 に出力する。尚、閾値電圧 V_p も時間に比例して変化することとなるため、前述の図 1 では、 V_p を $V_p(t)$ と記している。

20

【0057】

以下に、式 3 がどのように導出されているかについて説明する。尚、以下の各式では、式 3 と同様に、 piezoアクチュエータ 1 の充電方向を正（放電方向を負）としている。

まず、図 3（A）に示すように、piezoアクチュエータ 1 の放電電流の積分値である放電電荷量を $f(t)$ とすると、放電制御が行われる際の piezoアクチュエータ 1 の電荷量（以下、piezo電荷という） $q(t)$ は、「 $q(t) = Q_0 + f(t)$ 」という時間関数で表すことができる。ここでは、放電電流が負の値であり、 $f(t)$ は負方向に増加するため、piezo電荷 $q(t)$ は Q_0 から時間とともに減少することとなる。尚、図 3（A）において、 Q_1 は、放電時間 T が経過した時の piezo電荷 $q(T)$ である。

30

【0058】

また、図 3（B）に示すように、piezoアクチュエータ 1 の放電エネルギー量を $g(t)$ とすると、piezoアクチュエータ 1 に蓄積されているエネルギー（以下、piezoエネルギーという） $e(t)$ も、「 $e(t) = E_0 + g(t)$ 」という時間関数で表すことができる。放電が進むにつれて放電エネルギー量 $g(t)$ が負方向に増加し、piezoエネルギー $e(t)$ は E_0 から時間とともに減少することとなる。尚、図 3（B）において、 E_1 は、放電時間 T が経過した時の piezoエネルギー $e(T)$ である。また、放電時間 T 分の放電エネルギー量 $g(T)$ の絶対値が、放電エネルギー ΔE に該当する。

40

【0059】

次に、piezoアクチュエータ 1 の静電容量を C とすると、piezoエネルギー $e(t)$ は下記の式 4 で表される。

【0060】

【数 4】

$$e_{(t)} = \frac{q_{(t)}^2}{2C} \quad \dots \text{式4}$$

50

そして、「 $C = (Q_0^2) / (2 \times E_0)$ 」の関係から、式 4 は、下記の式 5 のように変形できる。

【0061】

【数 5】

$$e_{(t)} = \frac{E_0}{Q_0^2} \times q_{(t)}^2 \quad \dots \text{式5}$$

更に、式 5 を時間微分すると、下記の式 6 となる。

10

【0062】

【数 6】

$$\frac{d}{dt} e_{(t)} = \frac{E_0}{Q_0^2} \times 2q_{(t)} \times \frac{d}{dt} q_{(t)} \quad \dots \text{式6}$$

ピエゾアクチュエータ 1 の放電エネルギー変化率を一定に制御するためには、式 6 の値が一定となるように、 $q(t)$ を制御する必要がある。

【0063】

20

ここで、図 3 (B) のようにピエゾエネルギー $e(t)$ をリニアに減少させるためには、放電エネルギー量 $g(t)$ が時間にリニアである必要があり、即ち「 $g(t) = \alpha \times t + \beta$ 」とおくことができる。

【0064】

更に、式 6 の左辺は、放電エネルギー変化率であり、放電させるべきエネルギー ΔE を放電時間 T で割ったもの、即ち「 $\Delta E / T$ 」に等しい。

このため、下記の式 7 が成立する。

【0065】

【数 7】

30

$$\frac{d}{dt} e_{(t)} = \frac{d}{dt} (E_0 + g_{(t)}) = \frac{d}{dt} g_{(t)} = \alpha = -\frac{\Delta E}{T} \quad \dots \text{式7}$$

よって、式 6 と式 7 から、放電エネルギー変化率を「 $\Delta E / T$ 」に制御するためには、下記の式 8 を満たすように、ピエゾ電荷 $q(t)$ を制御すれば良い。

【0066】

【数 8】

$$\frac{E_0}{Q_0^2} \times 2q_{(t)} \times \frac{d}{dt} q_{(t)} = -\frac{\Delta E}{T} \quad \dots \text{式8}$$

40

また、放電制御回路 19 による放電制御において、ピーク側閾値 $I_p(t)$ を時間に比例して上昇させた場合、放電電流の波形は、図 4 に示すように、ピーク値（負方向のピーク値）が徐々に大きくなる波形となり、その電流波形の積分値（面積）が放電電荷量 $f(t)$ に相当する。

【0067】

そして、その放電電荷量 $f(t)$ は、図 4 において、放電電流のピークを結んだ直線の傾き（即ち、ピーク側閾値 $I_p(t)$ の傾き）を a とし、放電電流の時間 0 との交点（即

50

ち、ピーク側閾値 $I_p(t)$ の切片) を b とすると、「 $b - I_b$ 」と「 $a \times t + b - I_b$ 」を上底及び下底とし高さを t とする台形の面積の半分と、ボトム側閾値 I_b と t からなる長方形の面積との和、として近似できる。このため、下記の式 9 が成立する。

【0068】

【数 9】

$$f_{(t)} = \underbrace{\frac{[(b - I_b) + \{a \times t + (b - I_b)\}] \times t}{2}}_{\text{台形の面積}} \times \underbrace{\frac{1}{2} + I_b}_{\text{長方形の面積}} \times t = \frac{a}{4} \times t^2 + \frac{b + I_b}{2} \times t \quad \dots \text{式 9}$$

10

従って、ピエゾ電荷 $q(t)$ は、「 $q(t) = Q_0 + f(t)$ 」の関係と式 9 とから、下記の式 10 で表すことができる。

【0069】

【数 10】

$$q_{(t)} = Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times t^2 + \frac{b + I_b}{2} \times t \right) \quad \dots \text{式 10}$$

20

そして、この式 10 が、式 8 を満たせば、放電エネルギー変化率を「 $\Delta E / T$ 」に制御することができる。

【0070】

そこで、式 10 を時間微分すると、下記の式 11 となる。

【0071】

【数 11】

$$\frac{d}{dt} q_{(t)} = \frac{d}{dt} \left\{ Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times t^2 + \frac{b + I_b}{2} \times t \right) \right\} = \frac{a}{2} \times t + \frac{b + I_b}{2} \quad \dots \text{式 11}$$

30

そして、式 10 と式 11 を式 8 に代入すると、下記の式 12 となり、その式 12 を変形した式 13 を更に変形して、下記の式 14 が得られる。

【0072】

【数 1 2】

$$\frac{d}{dt}e_{(t)} = \frac{E_0}{Q_0^2} \times 2 \left\{ Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times t^2 + \frac{b+I_b}{2} \times t \right) \right\} \times \left(\frac{a}{2} \times t + \frac{b+I_b}{2} \right) = -\frac{\Delta E}{T} \quad \cdots \text{式12}$$

$$\frac{\Delta E}{T} = -\frac{2E_0}{Q_0^2} \times \left\{ Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times T^2 + \frac{b+I_b}{2} \times T \right) \right\} \times \left(\frac{a}{2} \times T + \frac{b+I_b}{2} \right) \quad \cdots \text{式13}$$

$$-\frac{\Delta E \times Q_0^2}{2E_0 \times T} = \left\{ Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times T^2 + \frac{b+I_b}{2} \times T \right) \right\} \times \left(\frac{a}{2} \times T + \frac{b+I_b}{2} \right) \quad \cdots \text{式14}$$

10

一方、放電すべきエネルギー ΔE は、式 5 を用いて下記の式 1 5 で表される。

【0 0 7 3】

【数 1 3】

$$\Delta E = e_{(0)} - e_{(T)} = E_0 - e_{(T)} = E_0 - \frac{E_0}{Q_0^2} (Q_0 + f_{(T)})^2 \quad \cdots \text{式15}$$

20

そして、式 1 5 中の $f(T)$ を式 9 で表すことにより、下記の式 1 6 となり、その式 1 6 を順次変形することで、下記の式 1 7 ~ 1 9 が得られる。

【0 0 7 4】

【数 1 4】

$$\Delta E = E_0 - \frac{E_0}{Q_0^2} \left\{ Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times T^2 + \frac{b+I_b}{2} \times T \right) \right\}^2 \quad \cdots \text{式16}$$

$$\frac{E_0 - \Delta E}{E_0} \times Q_0^2 = \left\{ Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times T^2 + \frac{b+I_b}{2} \times T \right) \right\}^2 \quad \cdots \text{式17}$$

30

$$Q_0 + \left(\frac{a}{4} \times T^2 + \frac{b+I_b}{2} \times T \right) = Q_0 \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \quad \cdots \text{式18}$$

$$\frac{b+I_b}{2} = -\frac{Q_0}{T} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) - \frac{a}{4} \times T \quad \cdots \text{式19}$$

40

また、式 1 4 に式 1 8 を代入すると、下記の式 2 0 となり、その式 2 0 を順次変形することで、下記の式 2 1, 2 2 が得られる。

【0 0 7 5】

【数 1 5】

$$-\frac{\Delta E \times Q_0^2}{2E_0 \times T} = Q_0 \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \times \left(\frac{a}{2} \times T + \frac{b + I_b}{2} \right) \quad \cdots \text{式20}$$

$$\frac{a}{2} \times T + \frac{b + I_b}{2} = -\frac{\Delta E \times Q_0}{2E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} \quad \cdots \text{式21}$$

$$\frac{a}{4} \times T = -\frac{\Delta E \times Q_0}{4E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} - \frac{b + I_b}{4} \quad \cdots \text{式22}$$

10

そして、式 2 2 を式 1 9 に代入することで、切片 b が求められる。即ち、式 2 2 を式 1 9 に代入すると、下記の式 2 3 となり、その式 2 3 を下記の式 2 4 のように変形し、更に、その式 2 4 から、切片 b は下記の式 2 5 となる。

【0 0 7 6】

【数 1 6】

20

$$\frac{b + I_b}{2} = -\frac{Q_0}{T} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) + \frac{\Delta E \times Q_0}{4E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} + \frac{b + I_b}{4} \quad \cdots \text{式23}$$

$$\frac{b + I_b}{4} = \frac{\Delta E \times Q_0}{4E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} - \frac{Q_0}{T} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \quad \cdots \text{式24}$$

$$b = \frac{\Delta E \times Q_0}{E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} - \frac{4Q_0}{T} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) - I_b \quad \cdots \text{式25}$$

30

また、式 2 4 を式 2 2 に代入することで、傾き a が求められる。即ち、式 2 4 を式 2 2 に代入することで、下記の式 2 6 が得られ、その式 2 6 を下記の式 2 7 のように変形し、更に、その式 2 7 から、傾き a は下記の式 2 8 となる。

【0 0 7 7】

【数 1 7】

$$\frac{a}{4} = -\frac{\Delta E \times Q_0}{4E_0 \times T^2} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} + \frac{Q_0}{T^2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) - \frac{\Delta E \times Q_0}{4E_0 \times T^2} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} \quad \cdots \text{式26}$$

40

$$\frac{a}{4} = -\frac{\Delta E \times Q_0}{2E_0 \times T^2} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} + \frac{Q_0}{T^2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \quad \cdots \text{式27}$$

$$a = -\frac{2\Delta E \times Q_0}{E_0 \times T^2} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} + \frac{4Q_0}{T^2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \quad \cdots \text{式28}$$

50

よって、「 $I_p(t) = a \times t + b$ 」の関係に、上記式 25 と式 28 を代入することで、式 3 が得られるのである。また、式 3 を変形すれば、下記の式 29 となり、その式 29 は、請求項 3 に記載の式 1 と同じである。

【0078】

【数 18】

$$I_{p(t)} = \frac{2Q_0}{T} \left[\left\{ -\frac{\Delta E}{E_0 \times T} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} + \frac{2}{T} \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \right\} \times t + \left\{ \frac{\Delta E}{2E_0} \sqrt{\frac{E_0}{E_0 - \Delta E}} - 2 \left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - \Delta E}{E_0}} \right) \right\} \right] - I_b \quad \cdots \text{式29}$$

尚、本実施形態では、充電方向を正としているため、図 4 のように、放電電流のピーク側閾値 $I_p(t)$ の傾き a と切片 b は負の値となる。そして、式 28 から分かるように、傾き a は、充電電荷量 Q_0 に比例するため、その充電電荷量 Q_0 が大きいほど、負方向であって、ピーク側閾値 $I_p(t)$ を上昇させる方向に大きい値となる。また、式 25 における「 $-I_b$ 」は正であるため、その式 25 で示される切片 b における「 $-I_b$ 」以外の部分は、負であり、また充電電荷量 Q_0 に比例する。このため、切片 b も、充電電荷量 Q_0 が大きいほど、負方向であって、ピーク側閾値 $I_p(t)$ を上昇させる方向に大きい値となる。つまり、傾き a と切片 b は、 E_0 、 ΔE 、 T 、 I_b が同じであれば、 Q_0 が大きいほど、ピーク側閾値 $I_p(t)$ を上昇させる方向に大きい値となる。

【0079】

以上のような本実施形態の駆動装置 30 によれば、前述した (1) ~ (3) の効果が得られる。

即ち、閾値設定回路 20 に与える ΔE と T の各値の比である放電エネルギー変化率 ($\Delta E / T$) を実現することができるので、放電エネルギー変化率を任意の一定値に制御できる。

【0080】

また、 Q_0 の検出値に応じてピーク側閾値 $I_p(t)$ の傾き a と切片 b が設定されるため、温度が変化してピエゾアクチュエータ 1 の容量が変動しても、図 5 に示すように、放電エネルギー変化率を目標の一定値 (この例では、 $\Delta E / T = 40 \text{ mJ} / 80 \mu\text{s}$) に良好に制御することができる。尚、図 5 は、 $E_0 = 60 \text{ mJ}$ 、 $\Delta E = 40 \text{ mJ}$ 、 $T = 80 \mu\text{s}$ 、 $I_b = 0 \text{ A}$ と設定して、式 3 (式 29) によりピーク側閾値 $I_p(t)$ を設定した場合の放電電流と放電エネルギーをシミュレーションした結果を表すグラフである。このシミュレーションでは、ピエゾの静電容量を $6 \mu\text{F}$ と仮定し、 E_0 から充電電荷量 Q_0 を $849 \mu\text{C}$ とおいて、 $I_p(t)$ を設定した。また、図 5 及び後述する図 6、図 7 において、一点鎖線で示しているエネルギー目標値とは、放電開始時の充電エネルギー E_0 ($= 60 \text{ mJ}$) から $\Delta E / T$ ($= 0.5 \text{ mJ} / \mu\text{s}$) の比率で減少するエネルギーを示している。

【0081】

更に、制御している放電エネルギー変化率 ($= \Delta E / T$) が分かっているため、放電の経過時間 t から、放電したエネルギー量 ($= t \times \Delta E / T$) を簡単に把握することができる。そして、放電したエネルギー量が分かれば、ピエゾアクチュエータ 1 に残っているエネルギー量が分かり、その残存エネルギー量の値をピエゾアクチュエータ 1 の制御に利用することができるようになる。

【0082】

尚、本実施形態では、充電制御回路 18 が充電制御手段に相当している。また、抵抗 13、増幅回路 14、比較器 16、17 及び放電制御回路 19 が、放電制御手段に相当し、そのうち、抵抗 13 及び増幅回路 14 が、放電電流検出手段に相当している。また、抵抗 13、増幅回路 14、積分回路 15 及び閾値設定回路 20 が、閾値設定手段に相当し、そのうち、抵抗 13、増幅回路 14 及び積分回路 15 が、充電電荷量検出手段に相当してい

る。

【0083】

一方、充電制御回路18と放電制御回路19と閾値設定回路20のそれぞれは、マイコンや専用IC等で構成することができる。また、それら回路18～20のうちの2つ以上を1つのICに統合して構成しても良い。

【0084】

また、ボトム側閾値I_bは、0でも良いが、例えば放電電流のピークとボトムとの差を小さくして振動を緩和するためにピーク側閾値I_pに近い値としたりするなど、任意に決定することができる。

【0085】

以上が第1実施形態である。

ところで、第1実施形態の式3（式29）を用いた場合、図6における実線のグラフに示すように、放電エネルギーΔEが充電エネルギーE₀に近い値をとる場合には、電荷計算の近似誤差が大きくなり、所望のエネルギー変化率（エネルギー目標値）からの誤差が大きくなる傾向がある。また、「ΔE=E₀」では計算式が成り立たない。

【0086】

更に、設定する放電エネルギーΔEと放電時間Tの比が同じでも、ΔEが大きく且つTが短い場合（図6における細かい点線のグラフ）と、ΔEが大きく且つTが長い場合（図6における粗い点線のグラフ）とでは、所望のエネルギー変化率（エネルギー目標値）との誤差が異なる傾向がある。つまり、エネルギー変化のプロファイルが異なる。

【0087】

尚、図6は、E₀=60mJ、I_b=0Aとし、ΔE/T=0.5mJ/μsの条件でΔEとTを3通りに変化させて、式3（式29）によりピーク側閾値I_p(t)を設定した場合の放電電流と放電エネルギーをシミュレーションした結果を表すグラフである。このシミュレーションでは、ピエゾの静電容量を6μFと仮定し、E₀から充電電荷量Q₀を849μCとにおいて、I_p(t)を設定した。

【0088】

そこで、第2実施形態として、閾値設定回路20が、下記の式30により、ピーク側閾値I_p(t)を設定するように構成すれば、ΔEとTの比が同じならば、I_p(t)は同じ値になるので、ΔEとTの組み合わせによらず同じエネルギー変化率を実現でき、また精度の向上も見込まれる。

【0089】

【数19】

$$I_{p(t)} = 2 \frac{Q_0}{T} \left((1 - \sqrt{2}) \frac{\Delta E^2}{E_0^2 T} t - \frac{\Delta E}{2E_0} \right) - I_b \quad \cdots \text{式30}$$

尚、式30は、第1実施形態の式3（式29）を元にして実験を繰り返すことで求めた実験式であり、請求項4に記載の式2と同じである。また、その式30においても、I_p(t)とI_bは、充電方向を正としている。そして、式30においては、「t」が乗ぜられる部分が、I_p(t)の傾きaに該当し、その傾きaは、Q₀が大きいほど、負方向であって、I_p(t)を上昇させる方向に大きい値となる。また、式30においては、「t」が乗ぜられない部分が、I_p(t)の切片bに該当し、その切片bも、Q₀が大きいほど、負方向であって、I_p(t)を上昇させる方向に大きい値となる。

【0090】

ここで、図7は、図5と同じ条件で、第1実施形態の式3（式29）によりピーク側閾値I_p(t)を設定した場合と、第2実施形態の式30（実験式）によりピーク側閾値I_p(t)を設定した場合との、それぞれについて、放電電流と放電エネルギーをシミュレー

10

20

30

40

50

ションした結果を表すグラフである。

【0091】

その図7のように、第2実施形態の式30を用いれば、第1実施形態よりも、放電エネルギー変化率の誤差を小さくすることができる。

ところで、図1では図示を省略したが、上記各実施形態の駆動装置30において、実際には、インダクタ5には各気筒毎の複数のピエゾアクチュエータ1が接続され、その各ピエゾアクチュエータ1のインダクタ5側とは反対側と抵抗13との間に、MOSFET等からなるスイッチ（いわゆる気筒選択スイッチ）がそれぞれ設けられる。そして、何れかのピエゾアクチュエータ1を駆動する場合には、そのピエゾアクチュエータ1に対応する気筒選択スイッチがオンされることで、その駆動対象のピエゾアクチュエータ1と抵抗13とが接続されることとなる。

10

【0092】

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明はこうした実施形態に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、種々なる態様で実施し得ることは勿論である。

【0093】

例えば、ピエゾアクチュエータは、インジェクタを開閉弁させるためのもの以外でも良い。

【図面の簡単な説明】

【0094】

20

【図1】実施形態の駆動装置の構成を表す構成図である。

【図2】放電制御を表すフローチャートである。

【図3】放電制御が行われる際の、ピエゾアクチュエータの電荷 $q(t)$ とエネルギー $e(t)$ を表すグラフである。

【図4】ピエゾアクチュエータの放電電流波形と放電電荷量の求め方とを説明する説明図である。

【図5】シミュレーション結果を表す第1のグラフである。

【図6】シミュレーション結果を表す第2のグラフである。

【図7】シミュレーション結果を表す第3のグラフである。

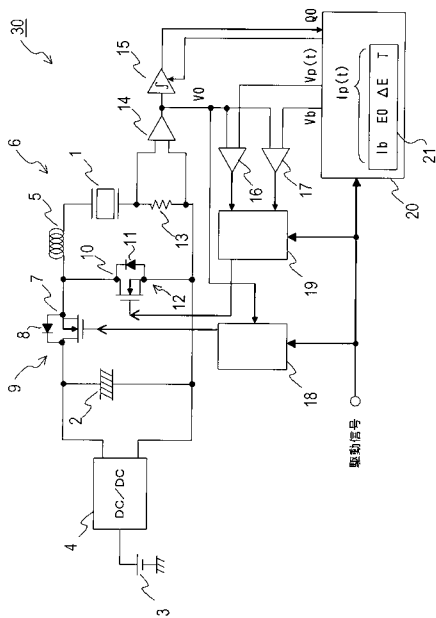
【符号の説明】

30

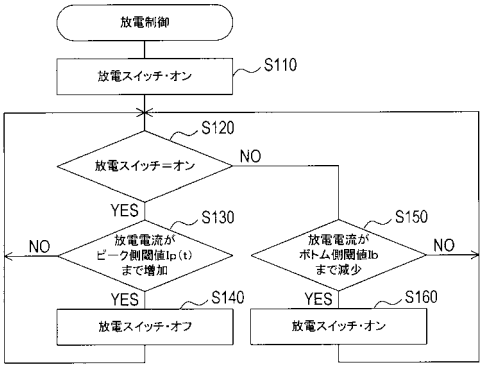
【0095】

1…ピエゾアクチュエータ、2…コンデンサ、3…車載バッテリー、4…昇圧回路、5…インダクタ、6…直列回路、7…充電スイッチ、8…ダイオード、9…充電経路、10…放電スイッチ、11…ダイオード、12…放電経路、13…抵抗、14…増幅回路、15…積分回路、16…比較器、17…比較器、18…充電制御回路、19…放電制御回路、20…閾値設定回路、21…メモリ、30…駆動装置

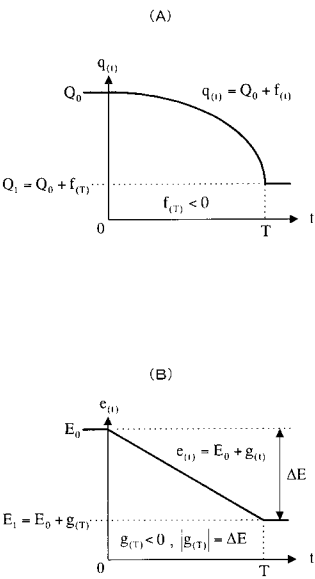
【図 1】



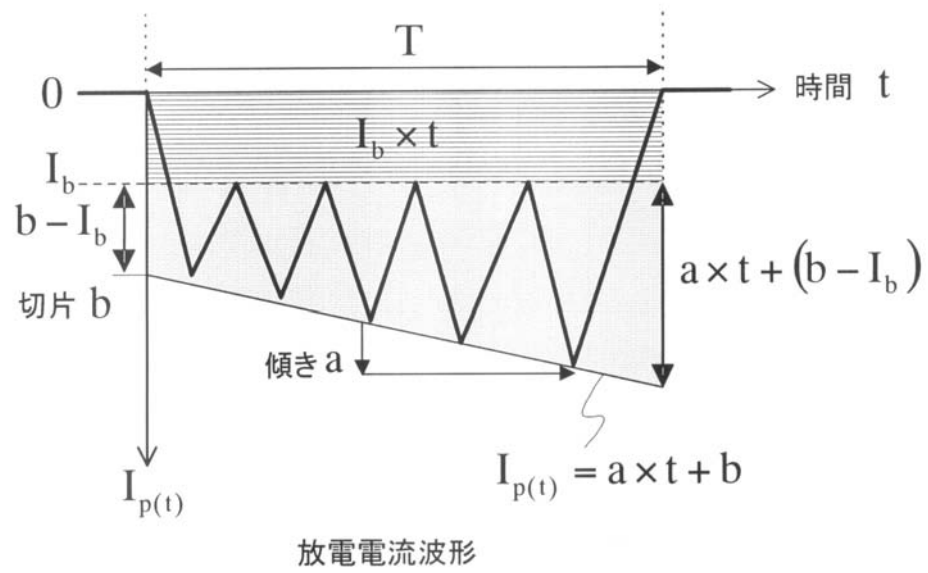
【図 2】



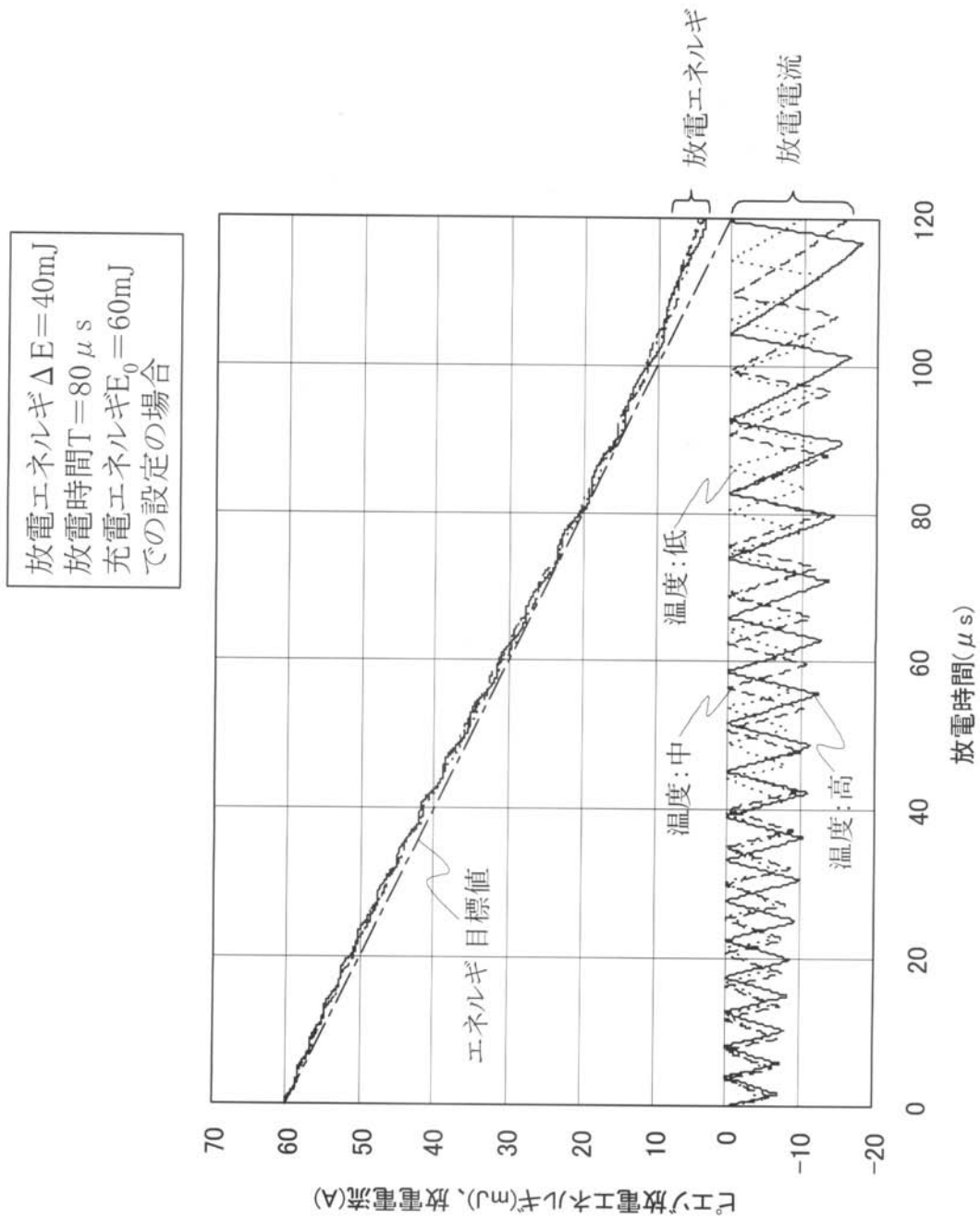
【図 3】



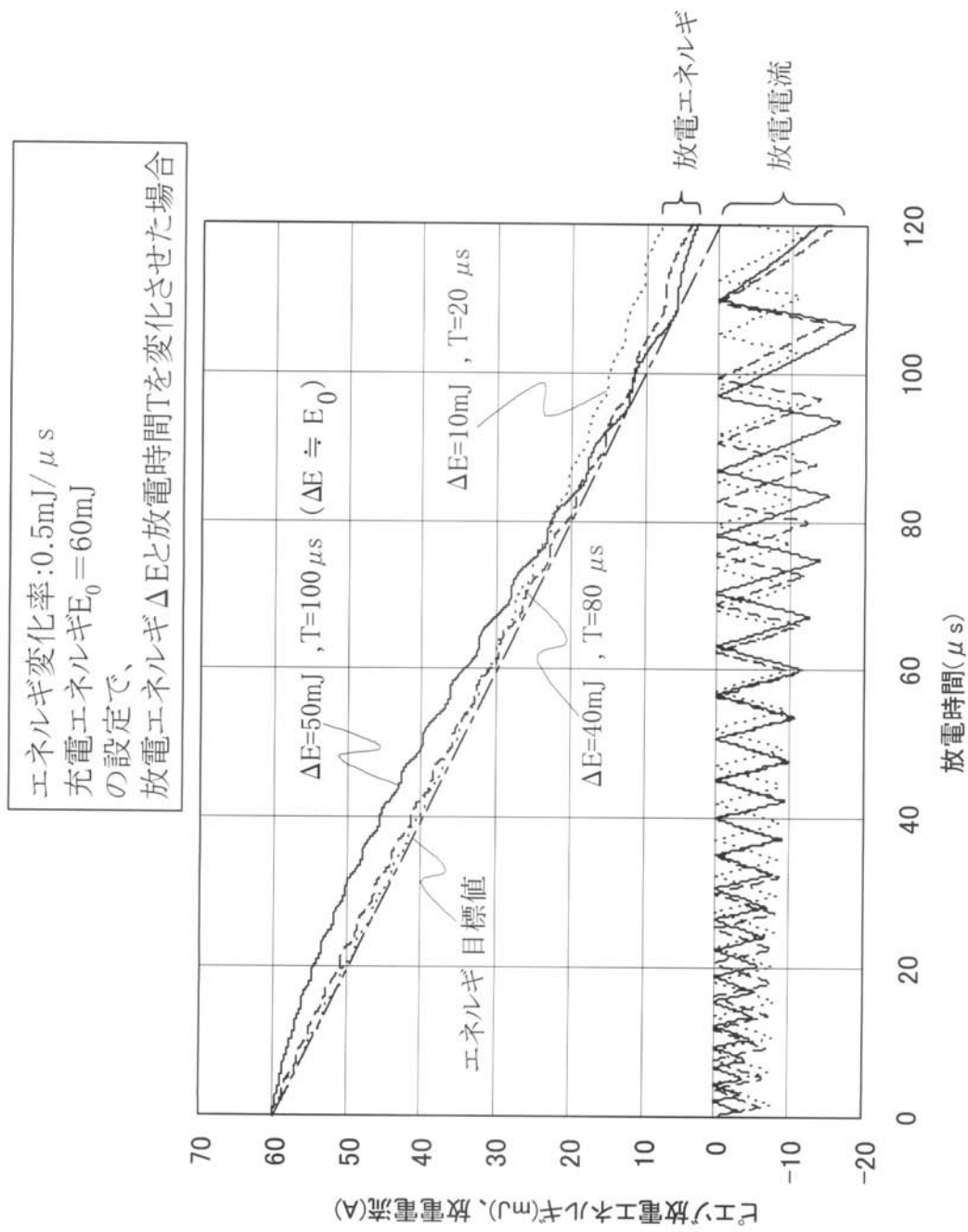
【図 4】



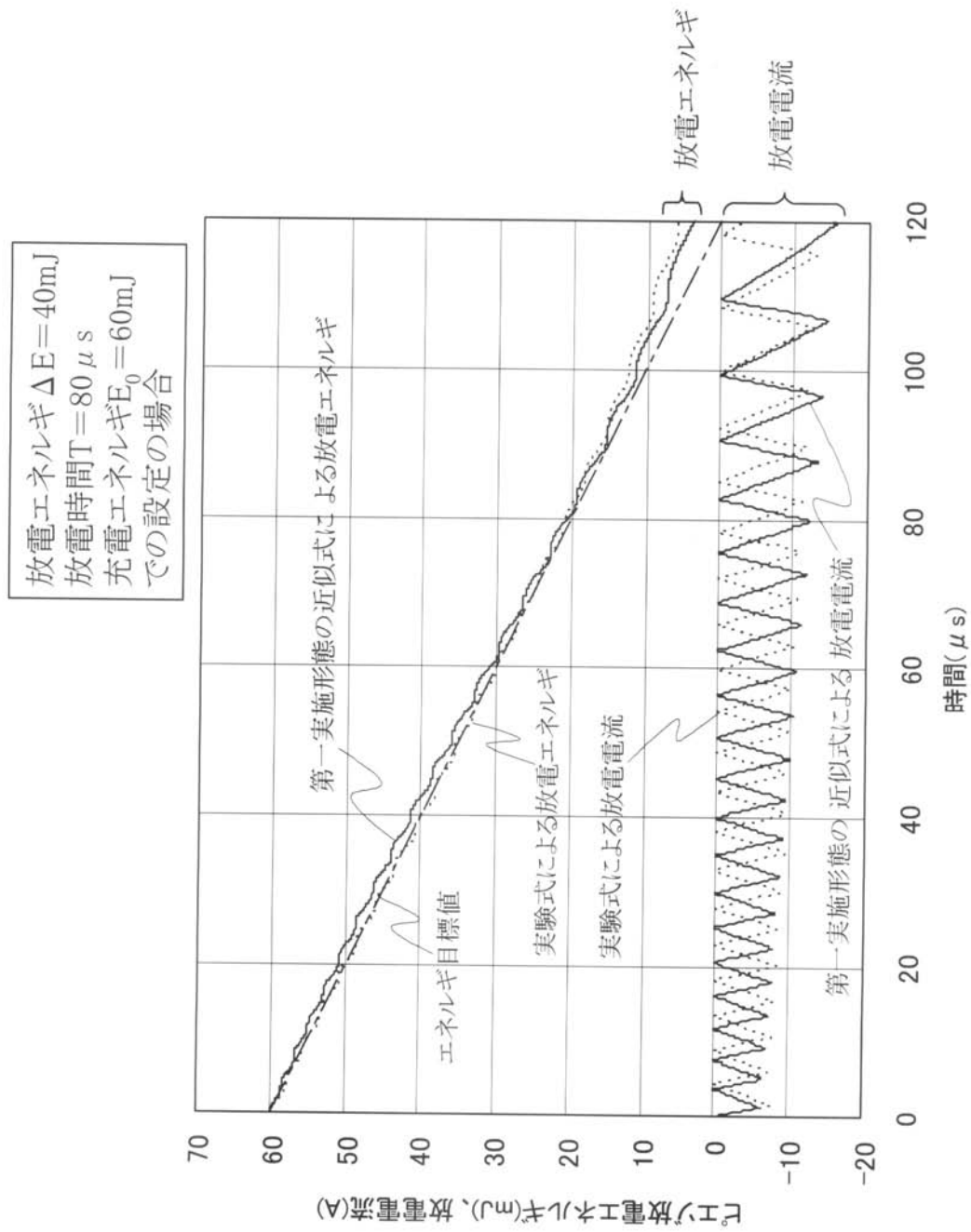
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 笈 達也

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

審査官 仲村 靖

(56)参考文献 特開2003-092438 (JP, A)

特開平11-317551 (JP, A)

特開2004-320869 (JP, A)

特開2008-005649 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02N 2/00

H01L 41/083