

無拘束ポペット弁のための モータドライバ回路の設計と フレキシブル回路への実装

Design of motor driver circuit for unconstrained poppet valve and its implementation to flexible circuit

○学 永井 舜也 (立命館大) 正 平井 慎一 (立命館大)

Shunya NAGAI, Ritsumeikan University

Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

In recent years, the application of pneumatic actuators has been progressing not only in the industrial field but also in the medical and welfare fields. However, general pneumatic valves are large and difficult to incorporate into robots. Therefore, a unconstrained poppet valve, which is a small pneumatic valve, was developed. At present, the driving system of the unconstrained valve is larger than the valve, and the driving system needs to be smaller. Here, we verified the design of circuits using motor drivers to replace conventional drive circuits. We fabricated the circuit boards made of soft materials for incorporation into robots.

Key Words: Air valve, Pneumatic actuator, Electronic oscillator

1 緒言

近年、空気圧アクチュエータを用いてロボットハンドや人工筋肉を使用したアームを駆動させようとする動きが高まっている [1]。空気圧アクチュエータは質量に対して大きな力を出力でき、エネルギー源が空気であるため、油圧アクチュエータのような油の漏れもなく、危険性は低い。そのため、産業分野や医療・福祉分野でも空気圧アクチュエータに対して期待が高まっている。特に生体と接する機械は柔らかいアクチュエータが必要となる [2]。しかし、空気圧アクチュエータを駆動させる際、制御弁のサイズが問題となってくる。制御弁のサイズが大きい場合、制御弁をロボットの外部に配置する必要がある。また、多数の制御弁を用いる際には、空気を送るチューブも多数になり、絡まるなどの問題が生じる。そこで、ロボットの内部に組み込むことができるサイズの振動駆動式無拘束ポペット弁が開発された [3]。

本弁は小型かつ高流量であり、ソフトハンドや空気圧シリンダといった空気圧アクチュエータの駆動に必要な圧力でも、十分な性能を発揮できる。本弁の駆動には発振回路が必要である。本弁はファンクションジェネレータと電源回路で駆動をさせることができる。しかし、ファンクションジェネレータは本弁に比べ非常に大きく、空気圧システム全体が大きくなる。そこで、本弁を含めた空気圧システム全体を小型化するためにファンクションジェネレータに代わる発振回路とスイッチング回路を組み合わせた一体化回路が開発された [4]。一体化回路により、本弁のシステムは十円玉サイズまで小さくすることができた。しかし、実際にロボットに組み込むまでは至っていない。そのため、小型化された回路のサイズを維持しつつ、様々な方法でロ

ボットに組み込むことが可能な回路の開発が望まれる。

2 振動式無拘束ポペット弁

振動駆動式無拘束ポペット弁は、弁の内部にある圧電素子が振動し、ポペットが跳躍することで空気を排出する仕組みとなっている。以後、本弁を無拘束弁または弁と呼ぶ。ここでは無拘束弁の構造、駆動原理、周波数特性について述べる。

2.1 構造

無拘束弁の構造を図1に示す。無拘束弁の構造を説明する。無拘束弁はケース、ベース、ポペット、オリフィス、圧電素子で構成されている。ケースとベースはステンレス製であり、中央に空気を通るφ0.5mmの穴が開いている。ベースは圧電素子の配線のためにφ0.5mmの穴が2か所開いている。ポペットはステンレス製のφ2.0mmの球であり、空気の通り穴であるオリフィスの穴の開閉を行う。オリフィスはばね鋼をレーザー加工したもので、圧電素子の上に配置され、流量の調節をする。圧電素子は株式会社富士セラミックス社製の圧電セラミックス振動子であり、中央にφ1.0mmの穴が開いている。

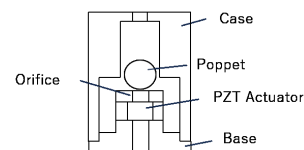


Fig.1 Structure of an unconstrained valve

2.2 駆動原理

無拘束弁の駆動原理について説明する。空気を給気口に供給すると弁の内部と排気口の圧力差によってポペットが

空気の通る穴を塞ぐ。ポペットが空気の通りを塞いでおり、空気の供給が止まっている状態は閉状態である。開状態は圧電素子に電圧を印加したときに弁の内部にあるポペットが振動して、空気が流れる。

2.3 周波数特性

無拘束弁を駆動させるには、弁に交流電圧を印加しなければならない。ファンクションジェネレータから周波数を調節しながら、矩形波を出力した。3つの無拘束弁 A, B, C について計測した結果を図 2 に示す。グラフから分かるように無拘束弁は個体差があるものの、50～65 kHz 付近に共振周波数をもつことが分かる。

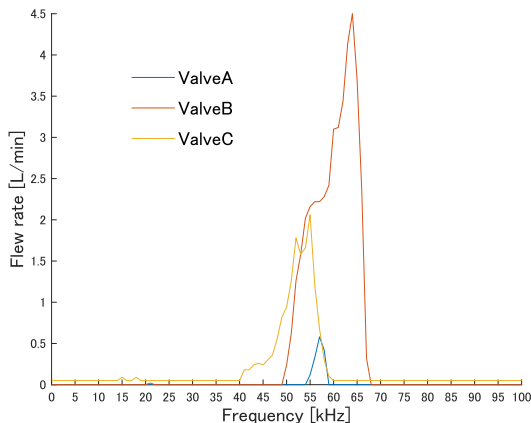


Fig.2 Flow rate – frequency relationship

3 モータドライバを用いた駆動回路

3.1 モータドライバ回路

製作したモータドライバ回路の回路図を図 3 に示す。本回路はモータドライバ、NOT ゲート、抵抗、コンデンサで構成されている。発振回路は NOT ゲート、抵抗、コンデンサで構成されており、PZT ドライバはモータドライバで代用している。また NOT ゲートとモータドライバは IC チップを使用している。外部電源は 5.0 V と 15 V の 2 個を使用する。電源 5.0 V をモータドライバと NOT ゲート回路に接続し、電源 15 V をモータドライバのみに接続する。

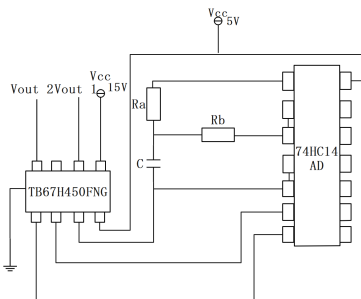


Fig.3 Motor driver circuit

3.2 回路構成

本回路の発振回路は一体化回路におけるマルチバイブレータ回路を NOT ゲート、2つの抵抗、コンデンサで構成している。一体化回路では可変抵抗、抵抗、コンデンサ、

トランジスタを使用していたが、本回路は 4 つの素子のみで構成されているので、小型化を容易にしている。本回路における発振周波数を式 (1) に示す。式 (1) から分かるようにコンデンサと抵抗の値で発振周波数が決まる。

$$f = \frac{1}{2.2CR_b} \quad (1)$$

4 モータドライバ回路の動作実験

4.1 実験目的

本実験では、ブレッドボード上でモータドライバ回路を使用し、無拘束弁を駆動させ流量を計測する。この時に発振周波数を計測し、無拘束弁を駆動させるために使用する抵抗とコンデンサの値を決める。

4.2 実験環境

本実験の実験環境を図 4 に示す。第 4.2 節のモータドライバ回路をブレッドボード上で製作する。外部電源は 2 個使用し、発振周波数の計測はオシロスコープである IWATSU 社製の ss-7810 を使用する。流量は流量計に Arduino を接続し、PC ヘデータを送信する。実験は 3 つの無拘束弁 A, B, C について行う。

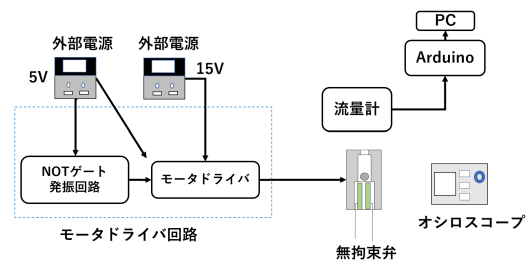


Fig.4 System for driving valve

4.3 実験手順

実験手順を以下に示す。

1. 第 4.2.2 項の実験環境を構成し、無拘束弁 A を接続する。
2. NOT ゲート回路への印加電圧を 5.0 V に設定する。
3. オシロスコープで出力波形を計測する。発振周波数を計測し、発振周波数を無拘束弁の共振周波数に合わせる。
4. モータドライバへの印加電圧を 15 V に設定する。
5. 流量計から得られる流量出力電圧を 10 秒間、1 秒間隔で Arduino のアナログ入力端子より取得する。
6. 得られた流量出力電圧を実際の流量に換算し、計測する。
7. 無拘束弁 B, 無拘束弁 C においても同様の計測を行う。

4.4 実験結果

オシロスコープで計測した結果を図5に示す発振周波数を無拘束弁の共振周波数に近い値の52 kHz, 57 kHz, 62 kHzに調整した. 無拘束弁 A, 無拘束弁 B, 無拘束弁 C における発振周波数ごとの流量特性の実験結果を図6, 図7, 図8に示す.

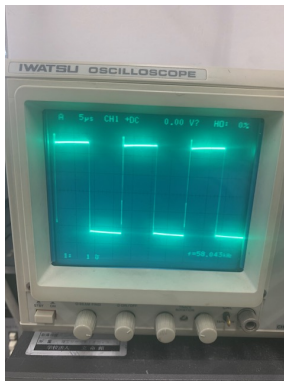


Fig.5 Output waveform

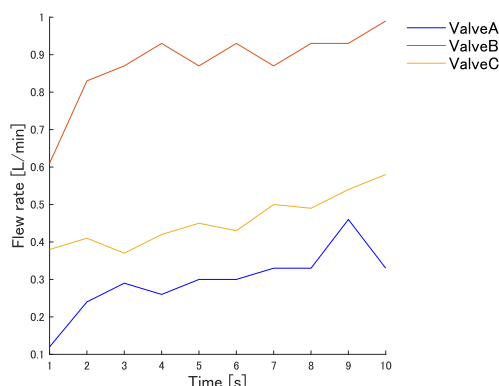


Fig.6 Flow rate - time relationship at 52 kHz

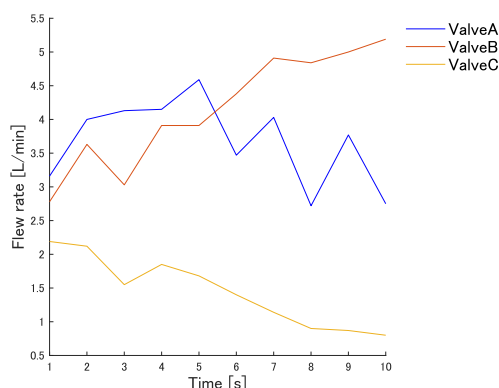


Fig.7 Flow rate - time relationship at 57 kHz

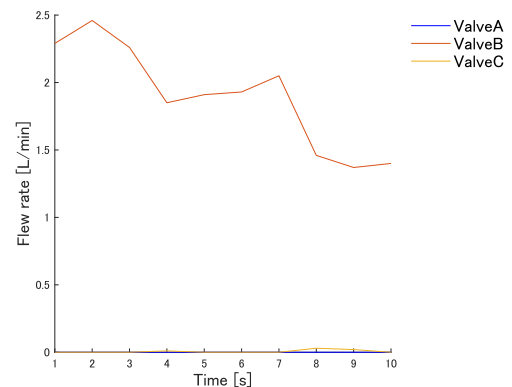


Fig.8 Flow rate - time relationship at 62 kHz

4.5 考察

第4.4節の実験結果で流量を得ていることから, モータドライバ回路で無拘束弁を駆動可能な矩形波の出力が確認できた. また, 無拘束弁を駆動させる発振周波数に調節できることが分かった. 本実験での流量特性は第4.4節の結果と図2の周波数特性を比較すると, 流量を得られた周波数域で同じように流量が得られていることが分かる. 図4.6の57kHzの流量特性から分かるように今回使用した3つの無拘束弁が共通して流量を計測した55 kHz~60 kHzで特に高流量を確保できると分かった. ばらつきは動作中のモータドライバの温度が高くなること要因であると考えられる. しかし, ばらつきを考慮しても流量を十分に得られていることや部品数が少なくなったことから本回路は実際に空気圧アクチュエータを駆動する際の一体化回路に代わりとなる回路といえる.

5 回路プリンタを使用した回路製作

本章では第4章で提案したモータドライバ回路を柔らかい素材を用いた回路の実現に向けて説明する. 回路の製作は回路プリンタである Voltera 社製 V-one を用いた製作方法を説明する.

5.1 フレキシブル回路

本回路はポリエチレンナフタレート (PEN) 樹脂を回路の素材とする. PEN 樹脂を選んだ理由は機械的強度に優れており, 耐熱劣化性もポリエチレンテレフタレート (PET) より優れている [5].

5.2 製作方法

回路の製作方法を以下に示す.

1. PEN フィルムを 57 mm × 83 mm(土台と同じサイズ)に切り取り, 土台に糊付けし, 固定する.
2. 回路プリンタに gbr 形式のファイルを送信する.
3. 回路プリンタにより回路の範囲を測定する.
4. 回路プリンタにより回路の高さを測定する.
5. 回路プリンタ用のインクを取り付ける. 回路プリンタが試運転後に回路上にインクを抽出する.

6. 回路プリントの加熱機能で 90 °C で 5 分, 120 °C で 20 分加熱する.
7. 加熱後にフィルムを土台からはがし, 回路上の部品の端子部分にはんだペーストを塗布する.
8. 部品をはんだペースト上にのせ, 回路プリントの加熱機能でリフローする.

5.3 製作した回路の動作実験

製作したフレキシブル実装したモータドライバ回路の動作実験を行う

5.4 実験方法

フレキシブル実装したモータドライバ回路を第 4.2 節と同じ実験環境で構成し, モータドライバ回路に外部電源, 無拘束弁, オシロスコープを接続する. 流量は流量計に Arduino を接続し, アナログ通信で PC 上に流量データを送信する.

5.5 実験結果

PEN フィルムを用いたフレキシブル回路では無拘束弁を駆動させることはできなかった. フレキシブル基板を変えてフェノール樹脂製の FR 基板で回路を製作したところ無拘束弁の駆動に成功した. FR 基板の回路を図 9, FR 基板で計測した実験結果を図 10 に示す

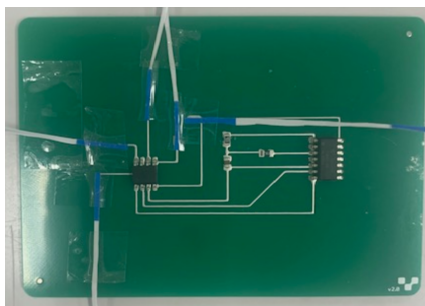


Fig.9 Motor driver circuit using FR board circuit

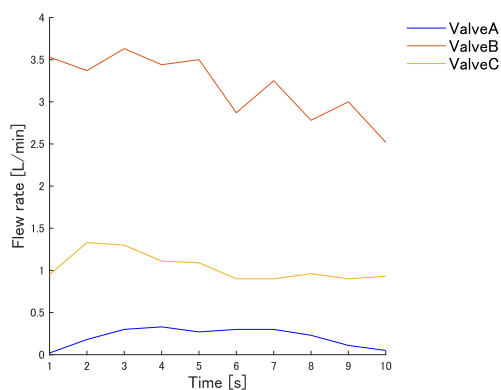


Fig.10 Flow rate – time relationship at 58 kHz

5.6 考察

フレキシブル基板は, 部品のはんだづけの温度が部品の絶対定格の保存温度を上回ってしまい基板上の IC が壊れ

るといった問題があった. FR 基板は耐熱性が PEN よりも高く, 厚さも大きいので IC の温度も上がりにくかったと考えられる. FR 基板を用いた回路は 58 kHz の周波数を発振し, 矩形波を出力することに成功した. 図 5.9 の計測結果を見ると, 2.3 節の周波数特性とほぼ同じ流量特性であることから回路は正常に動作していることが分かる.

6 結言

本研究の目的は, 無拘束弁を空気圧ハンドに実装するために無拘束弁の駆動システムの従来の一体化回路に代わって, ロボットに組み込み可能なフレキシブル基板で無拘束弁を駆動する回路を設計することである. 無拘束弁の駆動回路は NOT ゲートとモータドライバを用いた回路を製作した. NOT ゲートは発振回路に使用した. 本回路の発振回路は, 一体化回路よりも発振周波数の調整が容易であり, duty 比も固定されている利点がある. さらに構成する部品の数も大幅に減らすことができた. 発振回路は無拘束弁の駆動に必要な矩形波の出力も計測できた. モータドライバは圧電素子を駆動する役割を担っている. 実際に本回路で無拘束弁を駆動したところ, 無拘束弁の共振周波数で十分な流量を得ることができた. また, 本回路は無拘束弁の発振周波数の個体差も事前に計測すれば対応できることが分かった. しかし, 無拘束弁の発振周波数に対応しても, 流量は弁によって個体差が生まれた. フレキシブル回路への実装は実現できなかった. しかし, 回路プリントを用いて FR 基板では無拘束弁を駆動することに成功した. 回路プリントの加工の特性上, さらに熱に強い素材で回路を製作する必要があると分かった. 本研究で設計した回路は一体化回路よりも部品数がすくないため, さらなる小型化が可能であり, 空気圧アクチュエータに実装する可能性は高まった. 今後は空気圧アクチュエータに実装する機構や回路構成を考える必要がある.

参考文献

- [1] 千田益生, “人工筋肉とリハビリテーション医学”, 岡山医学会雑誌, 第 124 巻, pp.211-216, 2012.
- [2] 鈴森康一, “新しいアクチュエータへの期待”, 日本機械学会論文集, 第 77 巻 778 号, 2011.
- [3] 平井慎一, “振動駆動マイクロ空気圧弁”, 計測と制御, Vol.56, No.4, 特集 人に寄り添う空気圧システムの現状と展望, pp.258-261
- [4] 宮治和弥, 平井慎一, “振動駆動式無拘束ボベツ空気圧弁の駆動用発振回路の開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2018
- [5] 大内伊助, 熊田裕, “ポリエチレンナフタレートフィルムについて”, 繊維学会誌, 第 29 巻 11 号, pp405-411, 1973.