

CR 発信回路を用いた振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の駆動

Unconstrained poppet pneumatic valve based on CR electronic oscillator

○学 Ziyuan ZHOU (立命館大) 正 平井 慎一 (立命館大)
正 松野 孝博 (立命館大)

Ziyuan ZHOU, Ritsumeikan University
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University
Matsuno TAKAHIRO, Ritsumeikan University

This paper presents a driver for unconstrained poppet valves based on a CR electronic oscillator. Unconstrained poppet valves are small-sized and lightweight, capable of controlling air flow around 0.5 MPa up to 10 L/min. Drivers for unconstrained poppet valves require generation of pulse signals and amplification of driving current. We applied CR electronic oscillator circuit to realize these requirements on a driver. We found that the developed chopper-based driver could control unconstrained poppet valves

Key Words: pneumatic valves, unconstrained poppet valves, electronic oscillator

1 緒言

現在、シリコンなどの柔らかい素材を用いて作成されたソフトロボットの開発が進められている。ソフトロボットは柔軟駆動を実現させるために駆動方法として空気圧を採用している。一方で、そのようなロボットに適した大きさの空気圧弁がないという問題点がある。

空気圧弁の大きさと流量の関係を Fig.1 に示す [5]。このグラフからわかるように、出力が大きくて、サイズの大きい弁と、サイズが小さく出力の小さい弁が存在している一方で、ロボットに適した大きさの空気圧弁がないという問題点がある。この場合、“右下の大型弁”と示した図のように、手先から離れた位置に、弁を設置する必要がある。その結果、長い配管により圧力ロスが生じ、制御に遅れが発生する。小型の弁の場合は、“右下の小型弁”と示した図のように、手先位置に弁を設置することができ、複雑な配管が不要になり、圧力ロスや制御の遅れを防ぐことができる。

従来の空気圧弁の駆動回路では、ファンクションジェネレータと外接電源を接続しなければならず、ロボット全体の軽量化を実現することは難しい。先行研究では、マルチバイブレータを用いた。ただし、矩形波には減衰振動のノイズが取れない。本研究の目的は、精度が高い矩形波を生成し、単純化された回路を作成することである。

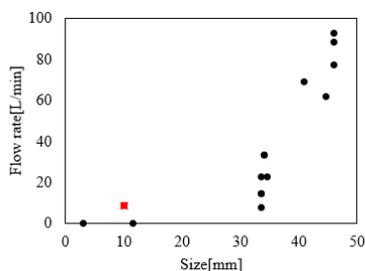


Fig.1 The relationship between the size of the pneumatic valve and the flow rate

2 振動無拘束ポペット空気弁

振動駆動式無拘束弁の内部構造を Fig.2 に示す。無拘束弁は主にポペット、圧縮空気の流量を調節するためのオリフィス、振動を与える圧電素子、これらを覆うケースとベースから構成される。オリフィスの片面は圧電素子の片面と接着されており、圧電素子

の他方の一面はベースと接着されている。ケースはオリフィス、圧電素子を覆い、ベースの外縁部と接着されている。ケース上部には空気圧源に接続される入力ポートが設けられており、ベースには出力ポートが設けられている。また、ポペットはケースの中に封入されており、名称のとおり他の部品と接着されていない。

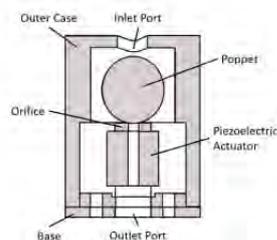


Fig.2 Structure of an unconstrained valve

空気を給気口からケース内に供給すると、ケース内と排気口との間に差圧が生じ、ポペットがオリフィスの穴を塞ぐ。これが空気を通すことのない閉状態である。ここで、PZT アクチュエータにパルス電圧を印加すると、PZT アクチュエータは振動する。その振動により PZT アクチュエータに接着されているオリフィスも同様に振動し、オリフィスからの撃力によってポペットが跳躍運動を行う。その結果、ポペットとオリフィスの間に隙間が生じ、空気を放出する。これが開状態である。

3 CR 発振回路

CR 発振回路を Fig.3 に示す。説明のため各接点を A~D とそれぞれ名付け、Not-Gate 1, Not-Gate 2, Not-Gate 3 をそれぞれ IC 1, IC 2, IC 3 とする。コンデンサの充電と放電を繰り返すことで V_{out} から矩形波のパルス電圧を得ることができる。

次の 1~4 を繰り返すことで矩形波を生成する。

1. コンデンサは充電されておらず、(B) が L と仮定する。この場合、(B) から NOT ゲートを通過すると信号は H になり、さらに NOT ゲートを通過すると L になり、最後にもう一度 NOT ゲートを通過して H になる。この時点で、(D) が H、(C) が L のため、電流はコンデンサを充電する方向に流れる。

- コンデンサが徐々に充電されていき、(A) の電圧が上昇していく。コンデンサの電圧が、NOT ゲートの閾値電圧を超えた時、(B) は H となり、それぞれの NOT ゲートを通過することで (C) は H、(D) は L となる。この状態では、先ほどまでにコンデンサに充電した電荷を、放電する方向に電流が流れる。また、この状態では NOT ゲートの電源電圧と、コンデンサに充電された電圧の合計値が、(A) の電圧となる。
- コンデンサは完全に放電され、(A) の電圧は 5 V となる。そして今度は、「3」のように、コンデンサにマイナスの方向に充電するように電流が流れる。(A) の電圧は、電源電圧とコンデンサの電圧の合計値なので、コンデンサがマイナスの方向に充電されていくと、(A) の電圧はさらに低下していく。
- コンデンサが十分にマイナスの方向に充電され、(A) の電圧が NOT ゲートの閾値を下回ったとき、今度は「4」の状態になる。(B) は L となり、それぞれの NOT ゲートを通過することで (C) は L、(D) は H となる。この状態でコンデンサが放電されていき、完全に放電されると、最初に仮定した「1」の初期状態にもどる。状態が「1」から「2」にかわるとき、端子 (D) つまり信号の出力部が H から L に変化しており、「3」から「4」に変わるとき端子 (D) が L から H に変化している。

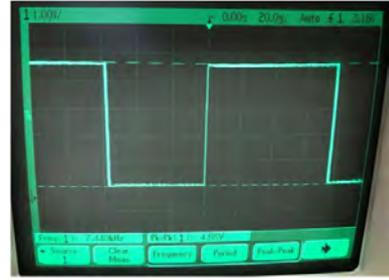


Fig.4 Multivibrator output waveform

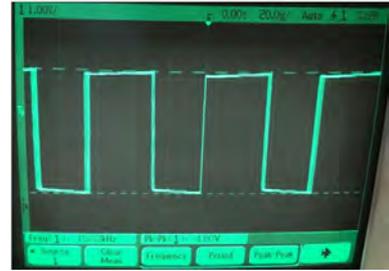


Fig.5 Multivibrator output waveform

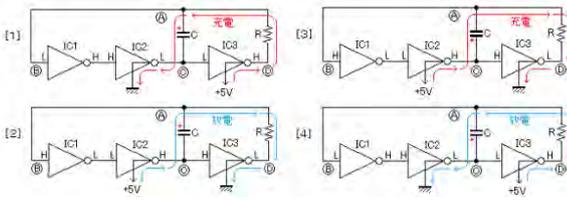


Fig.3 CR electronic oscillator

回路に使用する抵抗値と静電容量と周波数の関係は、

$$f = 1/(2.2 * V * R) \quad (1)$$

となる。実際には回路には配線の抵抗や寄生容量があり、この理論と実際の周波数は一致しない。生成した矩形波をオシロスコープで計測し、ファンクションジェネレータに代わる発振回路として利用可能か検証する。実験結果を Fig.4 と Fig.5 に示す。一つ目の発振回路では 3.3nF のコンデンサと 24k Ω の抵抗に交換することで、7kHz 付近を出力できた。二つ目の発振回路では 3.3nF のコンデンサと 12k Ω の抵抗に交換することで 15kHz 付近を出力できた。

4 CR 発振回路を用いた無拘束弁の駆動

4.1 実験目的と実験環境

CR 発振回路で駆動する無拘束ポペット弁が、従来通りの性能を発揮できているか客観的に確認していく。この弁の流量を流量計で計測し、ファンクションジェネレータで駆動する性能と同程度の性能があれば問題ないと判断する。

本研究における空気圧供給システムの構成図を Fig.6 に示す。まず、大気中の空気をコンプレッサにより圧縮し、タンク 1 内に取り込む。フィルタ 1、2 で大気中の空気に含まれている水分、塵、埃、油分を取り除く。不純物が取り除かれた空気は電空レギュレータによって圧力が制御さ、その空気はタンク 2 へと蓄積される。再び別のタンクに空気が蓄積されることによって、ある程度の時間は安定した空気圧を供給できる。タンク内の空気はフィルタ 3 によって不純物が取り除かれて弁へ流れ込む。弁とフィルタの間には流量計が取り付けられており、弁内に供給された空気流量を計測することが可能である。また、タンク 1、2 内の圧力はそれぞれ、圧力計 1、2 によって確認できる。

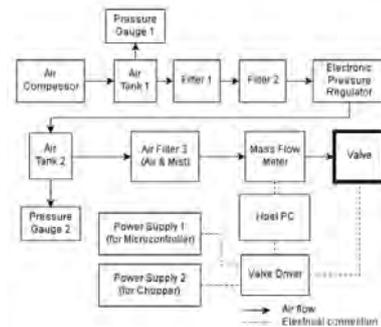


Fig.6 Schematic diagram of experimental system

4.2 実験結果と考察

実験結果を Table1 に示す。CR 発振回路で駆動する無拘束ポペット弁が、ファンクションジェネレータで駆動する性能と比べてやや劣るが、同じ程度の性能が発揮できていると考えられる。

Table 1 Flow rate measured by experiment

周波数	CR 発振回路使用時の流量	ファンクションジェネレータ使用時の流量
7kHz	22.6L/min	28.2L/min
15kHz	22.3L/min	27.8L/min

5 結言

本研究の目的は、無拘束ポペット弁を駆動させるための、簡単に構築可能な発振回路を開発することである。そこで、実用化されていた NOT ゲート IC 発振回路を利用し、少ない作業工程で作成できる駆動回路を提案していくことにした。そして、オシロスコープを用いて、矩形波の波形を無拘束ポペット弁の共振周波数に合わせた。最後は動作実験を行い、ファンクションジェネレータとはほぼ一致の性能を発揮できることが検証した。

今後の課題は、回路をさらに小型に製作することである。本実験では、CR 発振回路以外に、増幅回路を使用した。そのため、

回路と電源が二つ必要となる。それを解決するために、二つの回路を一つにまとめ、電源をさらに減少する必要がある。以上のことを実現し、精度が高い矩形波回路を開発することを今後の目標とする。

参考文献

- [1] 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, 2017
- [2] 川村貞夫, 野方誠, 田所諭, 早川恭弘, 松浦貞裕, “制御用アクチュエータの基礎”, コロナ社, 2006.
- [3] 巽 正之, ジェン スマディ, 小川 洋一郎, 本田 顕真, 平井 慎一, 振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁のための駆動回路の小型化, ロボティクス・メカトロニクス’10 講演会, 2010
- [4] Sumadi Jien, Shinichi Hirai, and Kenshin Honda., “, Miniaturized Unconstrained On-Off Pneumatic Poppet Valve – Experiment and Simulation –,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol.14, Issue 5, pp. 626–635, 2009
- [5] 谷江和雄, “アクチュエータの現状と展望”, ”日本ロボット学会誌”, 284-289, 258–261, 1984