

複数台直流モータの時分割四象限運転法

学生員 川村 卓也

正員 野口 季彦 (静岡大学)

非会員 チャン・アンヤポ

Time Sharing Four-Quadrant Operation of DC Motors

Takuya Kawamura, Student Member, Toshihiko Noguchi, Member (Shizuoka University)

Chan Anyapo, Non-Member

This paper presents a newly designed chopper circuit and its operation characteristics, which can drive many DC motors at the same time on the basis of a time sharing operation. By employing this method, the switching device count can be reduced as more DC motors are used. The operation characteristics of the proposed circuit are examined through some simulations and experimental tests. As a result, it is clarified that the proposed technique achieves an independent and simultaneous drive of many DC motors.

キーワード：チョッパ、DC モータ、四象限運転、時分割制御

Keywords : Chopper, DC motor, four-quadrant operation, time sharing control

1. はじめに

現在、モータの制御技術の発展に伴い、移動機器の電動化が急速に進んでいる。中でも電動車椅子に代表される障害者や高齢者を対象とした電動移動機器が普及し、障害者や高齢者の社会的自立を促している。このような電動移動機器はその応用範囲も急速に拡大しており、今後も福祉機具産業の高度化を推進する質の高い移動機器に大きな期待が寄せられている。それらの移動機器が高度な動作を実現するには複数台のモータが必要になる。しかし、実装するモータが多くなるとそれぞれのモータを独立に駆動する回路が必要となるため、大型化や制御装置全体の機構の複雑化、高コスト化を避けることができない。

そこで、本稿では同時に複数台の直流モータを独立して駆動できる新たなチョッパ回路とその制御法を提案する。提案する回路は複数台の直流モータを独立して四象限運転することが可能であり、従来法よりもスイッチング素子数を大幅に低減することが可能である。ここでは、時分割制御に基づく新しいチョッパ回路のシミュレーションと実験を通じて基本的な運転特性を確認したので報告する。

2. 回路構成と動作原理

従来の四象限 H ブリッジチョッパ回路を図 1 に示す。従来法では電動車椅子のように 2 台の直流モータを四象限運転させるため、8 個のスイッチング素子が必要とする。そこで、スイッチング素子を低減し、より多くの直流モータにも対応できる拡張性をもった回路とするために、図 2 に示

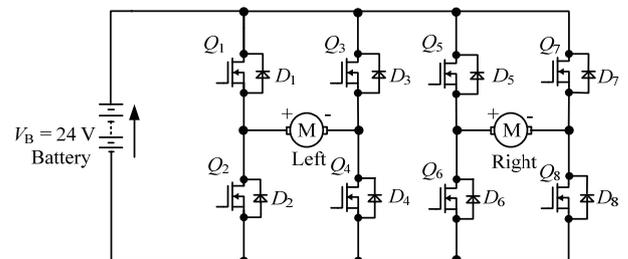


図 1 従来の四象限 H ブリッジチョッパ回路

Fig. 1. Conventional four-quadrant H-bridge chopper for two DC motors.

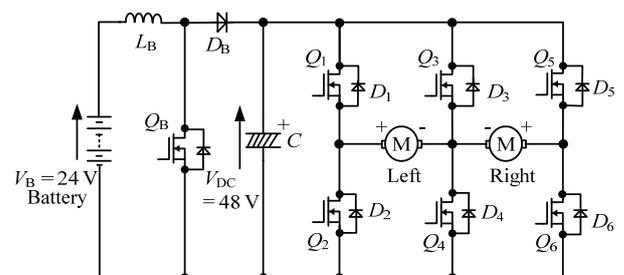


図 2 提案する時分割四象限チョッパ回路

Fig. 2. Proposed time sharing four-quadrant chopper for two DC motors.

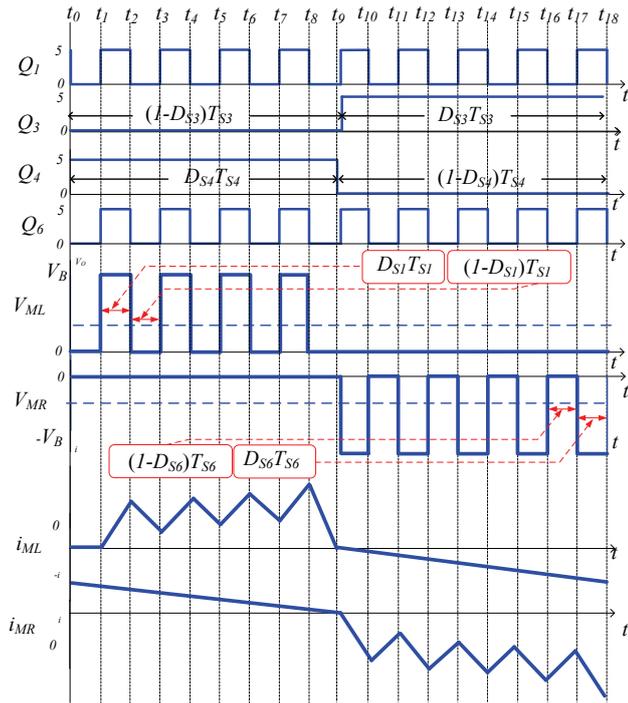


図 3 旋回時の動作原理

Fig. 3. Operation waveforms on pivot right turn.

したような時分割四象限チョップを提案する。提案する回路では、それぞれの H ブリッジチョップ回路の一方のレグを共通としている。Q3, Q4 で構成される共通レグは 1 kHz で常に 50 %デューティサイクルでオンオフを繰り返す。そして、外側の Q1, Q2, Q5, Q6 で構成するレグは共通レグの 10 倍の周波数である 10 kHz で動作させてモータの速度制御を行う。共通レグを 2 つのモータに対して時分割で動作させることにより、それぞれの直流モータを独立して四象限運転させることが可能となる。しかし、共通レグは常に 50 %デューティサイクルで動作しているため、電源の電圧利用率は半分になる。そのため、従来の 2 倍に相当する電圧を直流電源として使用するか、図 2 のように倍電圧昇圧回路を挿入する必要がある。

図 3 に 2 個のモータが互いに逆方向へ動作する旋回時の動作波形を示す。Q3, Q4 が共通レグのスイッチング波形で 1 kHz, 50 %デューティサイクルで動作している。Q1, Q6 は外側のレグのスイッチング波形で、それぞれ 10 kHz, 50 %デューティサイクルで動作している場合を示している。この場合、Q4 がオンの区間で Q1 のスイッチングにより左のモータには平均的に正の電圧が印加される。そして、Q3 がオンの区間で Q6 のスイッチングにより右のモータに負の平均電圧が印加される。したがって、左のモータは正方向に回転し、右のモータは負方向に回転する。これによりそれぞれのモータが独立して逆方向に回転する動作を実現している。

図 4 に複数台の直流モータを駆動する場合の回路を示す。図のように共通レグにモータを接続し、外側のレグにスイ

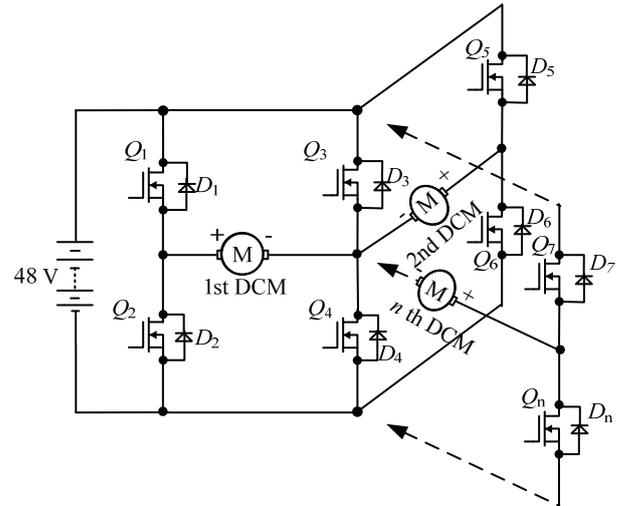


図 4 複数台の DC モータ駆動回路

Fig. 4. Main power circuit for more DC motors.

表 1 主回路の電気的パラメータ

Table 1. Electric parameters of main power circuit.

| | |
|---|------------------|
| Power supply voltage | 48 V |
| Switching frequency (Q1, Q2, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10) | 10 kHz |
| Switching frequency (Q3, Q4) | 1 kHz |
| Capacitor C | 5000 μF, 100 V |
| Rated power of DC motors | 60 W and/or 110W |
| Rated voltage of DC motors | 24 V and/or 72V |

表 2 ML1 と MR1 の仕様

Table 2. Specifications of ML1 and MR1.

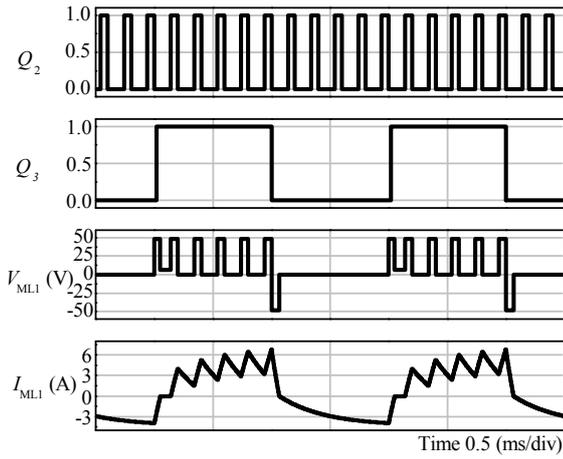
| | |
|---------------|---------------|
| Rated Voltage | 24 V |
| Rated Current | 3 A |
| Rated Power | 60 W |
| Maximum Speed | 2100 r/min |
| Manufacturer | HYPONIC DRIVE |

表 3 ML2 と MR2 の仕様

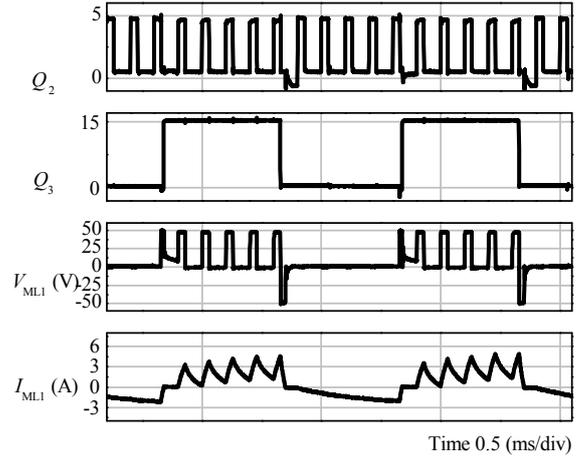
Table 3. Specifications of ML2 and MR2.

| | |
|---------------|-------------|
| Rated Voltage | 72 V |
| Rated Current | 2 A |
| Rated Power | 110 W |
| Maximum Speed | 3000 r/min |
| Manufacturer | SANYO DENKI |

ッチを 2 つ加えることでモータを増設し独立駆動することができる。直流モータの台数を増やすと共通レグの電流容量は増大するが、スイッチング周波数とデューティサイクルは 1 kHz, 50 %のままでもよい。また、外側レグのスイッチング周波数は 10 kHz のままで任意のデューティサイクルとしてよい。これにより、従来は $N = 4M$ 個のスイッチング素子が必要であったが、提案法では、 $N = 2M + 2$ 個のスイッチング素子で直流モータを四象限運転させることが可能となる。ここで、 N はスイッチング素子数であり、 M は直流モータの台数である。つまり、四輪駆動の電動移動機器では、従来法から 6 個のスイッチング素子が低減され、回路の簡易化、省スペース化、低コスト化を図ることができる。



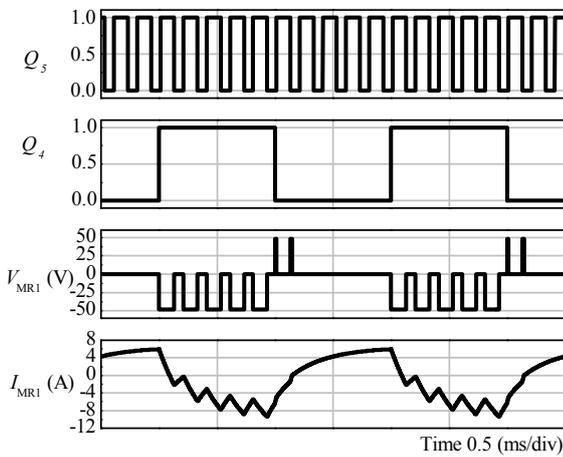
(a) シミュレーション結果



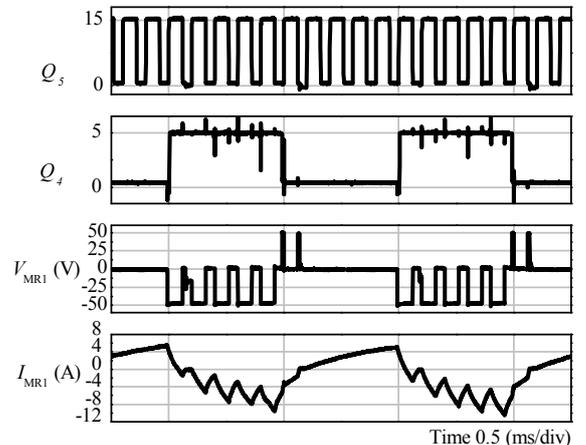
(b) 実験結果

図 5 LM1 のシミュレーションと実験波形

Fig. 5. Simulation and experimental waveforms of LM1.



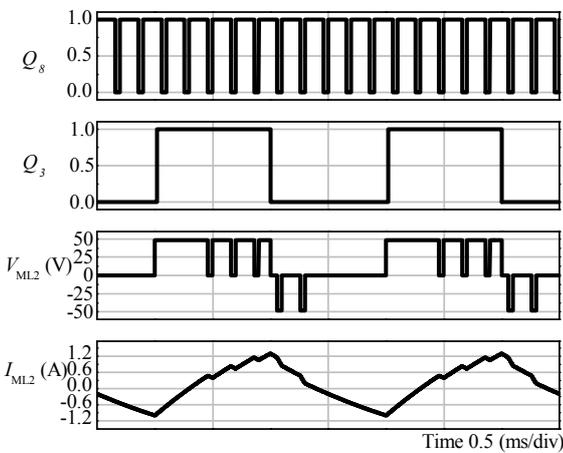
(a) シミュレーション結果



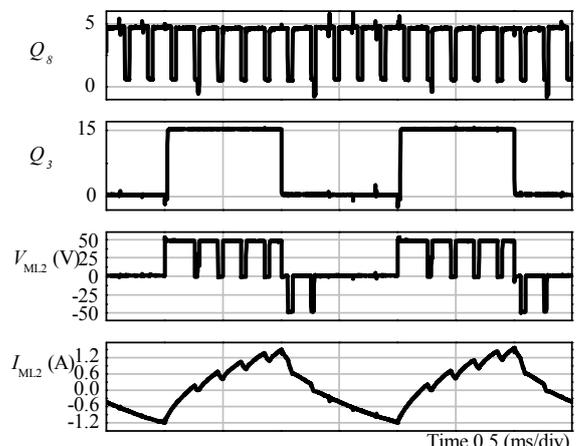
(b) 実験結果

図 6 RM1 のシミュレーションと実験波形

Fig. 6. Simulation and experimental waveforms of RM1.



(a) シミュレーション結果



(b) 実験結果

図 7 LM2 のシミュレーションと実験波形

Fig. 7. Simulation and experimental waveforms of LM2.

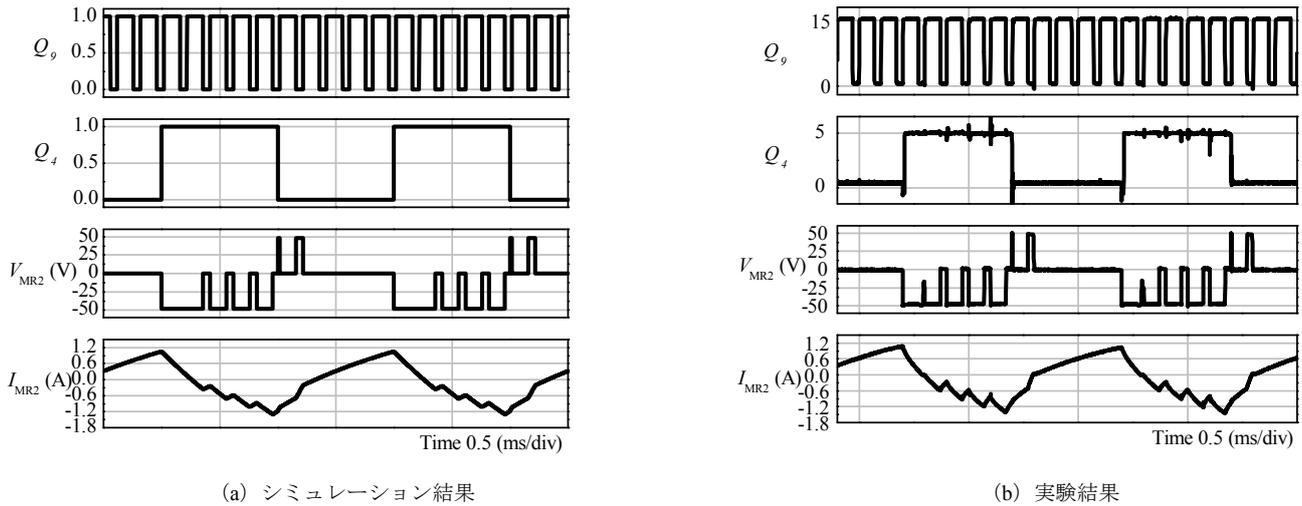


図 8 RM2 のシミュレーションと実験波形
 Fig. 8. Simulation and experimental waveforms of RM2.

表 4 モータの回転方向と速度指令

Table 4. Rotational direction and operation duty cycle of four motors.

| Motors | LM1 | RM1 | LM2 | RM2 |
|----------------------|---------|----------|---------|----------|
| Switching duty cycle | 30 % | 60 % | 80 % | 70 % |
| Rotation | forward | backward | forward | backward |

3. シミュレーションと実験結果

表 1 に示す電氣的パラメータを用いてシミュレーションと実験を行った。ここでは 4 台の直流モータを運転する回路を試作し、表 2 と表 3 に示した仕様をもつ直流モータを 2 台ずつ供試機として、それぞれを ML1, MR1 ならびに ML2, MR2 とよぶこととした。図 5 ～ 図 8 にシミュレーション結果と実験結果の各部動作波形を示す。モータの回転方向と速度指令は表 4 に示すとおりである。また、Q3, Q4 は常に 1 kHz, 50 %デューティサイクルで動作させており、すべてのモータは同時に動作させている状態とした。

図 5 に LM1 のシミュレーションと実験波形を示す。同図 (a) に示したように、Q2 をオンオフさせると Q3 がオンの区間で LM1 に 30 %デューティサイクルで制御された正の電圧パルスが印加されている。共通レグは 1 kHz で動作しているため平均電圧として 7.2 V 印加され、それに応じて電流も正方向に流れて正転動作が得られる。続いて、同図 (b) は同じ条件で計測した実験結果であるが、モータ電圧波形はシミュレーションと同様の波形になっていることがわかる。電流波形はシミュレーションよりも小さな値となっているが相似な波形が出力されている。

図 6 に RM1 のシミュレーション波形と実験波形を示す。RM1 は 60 %のデューティサイクルで、負方向へ回転させるように制御した。同図 (a) に示すように RM1 に負の電圧パルスを印加する場合は、Q4 がオンの期間にチョップの上アームのスイッチ Q5 をオンオフする。RM1 の実験波形を同図 (b) に示す。Q4 がオンの区間で RM1 には負の電圧パルスが印加されるため、シミュレーション通り負方向に電流が

流れ、モータも逆向きに回転する。

図 7, 図 8 のモータについても表 4 に示した指令通りに、シミュレーションとよく一致した実験波形が得られた。また、いずれの波形でも電圧パルスが逆向きに発生する状態が存在する。これは Q3, Q4 のスイッチが切り換わっても電流は流れ続けるので、オフしているスイッチのダイオードを通じて還流する状態である。加えて、電圧が印加されていない区間ではモータの誘起電圧の影響により電流が逆向きに流れる状態も存在する。これは、共通レグのどちらかのスイッチが必ずオンしているため、逆向きの電流がそのスイッチを通り還流するからである。

4. まとめ

本稿では、共通レグを設けた時分割制御に基づく新しいチョップ回路を提案した。この回路では $2M+2$ 個のスイッチング素子で M 個のモータを運転することができるため、モータ台数が増えるほど従来回路と比べ素子数を大幅に低減できる。ここでは、シミュレーションと実験を通じて、従来法よりも少ないスイッチング素子数でモータを独立に運転できることを確認した。今後は提案回路の簡素な構成を犠牲にすることなく、電圧利用率の低下を克服する手法を検討していく所存である。

文 献

- (1) 土山・手島・飴井・大路・作井:「高齢者向け屋内移動機器の開発」, 平成 17 年電気学会産業応用部門大会, Vol.2, 58, p.p.325-326 (2005)
- (2) C. Anyapo, K. Saito, and T. Noguchi, "Development of Electric Wheelchair Using Fuel Cell", Niigata Branch of IEEJ, IV-6, p. 56, 2006.
- (3) K. Saito, C. Anyapo, P. Kamjitjam and T. Noguchi: "Development of an Electric Wheelchair System Using PEM Fuel Cell," Journal of Asian Electric Vehicles, Vol. 7, No. 1, pp.1185-1190, 2009.
- (4) C. Anyapo, K. Saito and T. Noguchi : "Four-Quadrant Operation of Two DC Motors with Three-Leg Full-Bridge Chopper Incorporated Voltage Boost Function," The 2009 Annual Meeting I.E.E. Japan, pp.42-43, 2009