

1. 緒言

短下肢装具（以下 AFO）は、歩行時に麻痺した足先の垂れ下がり（下垂足）によって生じる転倒などの危険を防止する福祉用補助装具である。一般的なプラスチック製の靴べら型 AFO は足関節を固定することで下垂足を防止するが、反面その剛性により健常者のような滑らかな歩行を行うことが困難となってしまう。健常者の歩行では、歩行状態別に足関節の回転減衰が適切に制御されているためである。

本研究で提案する AFO は、足関節の回転減衰を制御するために DC モータの電磁ブレーキを利用する。歩行状態別に足関節の回転減衰を可変制御すると共に昇圧チョップ回路を用いてエネルギー回生を行うことで、長時間駆動が可能なセミアクティブ AFO の開発を目指している。

本報では、AFO への実装のための基礎検討として昇圧チョップ回路の数値シミュレーションと実験値を比較し、基本的な性能について検討する。

2. エネルギー回生を用いた AFO

図 1 に示す開発した AFO は、足関節が自由に回転可能なプラスチック製 AFO をベースに、DC モータと足関節周りの運動がリンクしている。これにより、コントローラの信号に合わせて DC モータと、DC モータとリンクしている足関節の回転減衰を制御することができ、逆に足関節の回転運動をモータへ伝えて発電を行える機構となっている。足関節の回転減衰は、足裏の 2 カ所のセンサから歩行状態をセンシングし、それに応じた回転減衰を設定することで健常者の歩行に近づくように歩行の補助を行う。



図 1 開発した AFO

3. 数値シミュレーションの方法

図 2 の模式図に示す昇圧チョップ回路において、周期 0.1[ms]でトランジスタの On 時間、Off 時間での数値シミュレーションを行い、電流値と電圧値を算出する。数値シミュレーションには Microsoft Visual Studio を使用し、ルンゲ・クッタ法を用いて算出している。今回用いた昇圧チョップ回路は、昇圧確認に必要な最低限のものであり、コンデンサ等省略している素子もある。

図 2 の回路の方程式は、抵抗 $R[\Omega]$ 、電流 $i[A]$ 、電源電圧 $E[V]$ 、バッテリー電圧 $E_0[V]$ 、インダクタンス $L[H]$ 、トランジスタのコレクタ - エミッタ間電圧 $V_{CE}[V]$ 、時間 $t[s]$ とすると、

トランジスタ On 時は式(1)、トランジスタ Off 時は式(2)で表わされる。

$$Ri + L \frac{di}{dt} = E - V_{CE} \tag{1}$$

$$Ri + L \frac{di}{dt} = E - E_0 \tag{2}$$

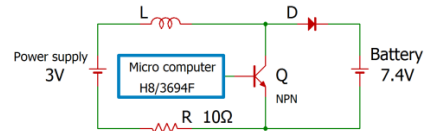


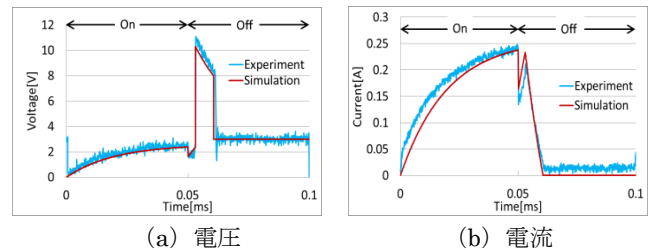
図 2 昇圧チョップ回路

4. シミュレーション結果と実験結果との比較

図 2 の回路を作り、入力電圧 3[V]、デューティ比が 10, 50, 70[%]で昇圧確認実験を行った。数値シミュレーション結果と合わせて、図 3 にデューティ比が 50%の時の電圧と電流の実験結果をそれぞれ示す。

トランジスタ On 時間では、コイルにより電圧値が上昇し、それと共に電流値も上昇している。トランジスタ Off 時間では、切り替え直後に電圧値と電流値がベース - エミッタ間にかかっていた分だけ降下している。その後、On 時間の時のように電圧値と電流値が上昇していき、やがて電圧値のみが急激に上昇している。

これらの結果から昇圧チョップ回路による昇圧を確認し、また昇圧後の電圧がバッテリー電圧 (7.4[V]) を超えていることから、昇圧チョップ回路を利用することでバッテリーへの充電が可能であることが確認できた。また、デューティ比が大きくなると回路中の平均電流が増加することから、回転減衰の可変制御が可能であることを確認した。



(a) 電圧

(b) 電流

図 3 昇圧実験結果とシミュレーション結果の比較 (デューティ比 50%の場合)

5. 結言

本研究では、エネルギー回生を用いた AFO の開発のための基礎検討として、昇圧チョップ回路の周期的な動作の数値シミュレーションを行い、電流値と電圧値を算出した。また比較実験を行った結果、一部の条件においてよく一致した。このことから、様々な条件での数値シミュレーションによる設計を行える準備が整った。さらに、昇圧が確認でき、回転減衰の可変制御の見通しがたった。