

バウンスレス・アークフリー電気接点の研究

高津 宣夫¹・鯉渕 元²・若月 昇³

A Study on Bounceless Arc-free Electrical Contacts

Nobuo TAKATSU¹, Hajime KOIBUCHI² and Noboru WAKATSUKI³

¹ *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan*

² *Meitec Fielders Inc., Akasaka DS Build., Akasaka 8-5-26, Minato-ku, Tokyo, Japan*

³ *Department of Information Technology and Electronics, Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan*

Abstract

A bounceless and arc-free electrical contact system for small power DC circuit is designed and manufactured. Contacts used in a commercial miniature power relay are modified and installed in the system. Preliminary experiment showed a critical closing speed exists under which no bounce occurs. MPU controlled linear actuator is applied to drive moving contact along a bounce less trajectory which is composed of a 7th order polynomial trajectory and a slow ramp of the critical speed. Transient current switch (TCS) is introduced for arc-free opening of the contact. It is demonstrated that the proposed contact system can be closed with no bouncing and open DC30V 3A circuit with 0.1mH inductive load without any break arcing.

1. 緒論

電気回路開閉デバイスの半導体化が進んでいるが、機械的接点を持つスイッチや電磁リレーの重要性は未だに衰えていない。また近年の太陽光発電などの自然エネルギー発電システム、情報通信機器の給電システムの直流化、及び電気自動車の高電圧回路などと直流回路の利用が広がりつつあり、直流回路開閉のためのスイッチ・電気接点への耐久性、信頼性のさらなる向上が求められている。

機械的電気接点においては、接点閉成時におけるバウンス現象と開離時におけるアーク現象が生じ、接点の寿命を支配していることが知られ、これらの現象について長年にわたって研究されているが未だに完全には解決されていない。

このうち、開離時アークの発生はとくに直流電流の流れている回路を遮断する際不可避であるとされ、いかにして短時間でアークを消滅させるかを目的として種々の工夫がなされてきた。近年、著者の一人は開離時のアーク抑制に関して「過渡電

流スイッチ⁽¹⁾」を考案して米国特許⁽²⁾を得た。これによれば通常の小電力直流回路の遮断についてはほぼ完全なアーク抑制が可能となり、一例として接点定格が抵抗負荷時 DC30V5A の市販中負荷制御用パワーリレー FTR-MY（富士通コンポーネント）に適用し、アーク無しで 50V25A の条件で遮断することに成功している⁽¹⁾。

一方、接点バウンス現象とその抑制に関しても多くの研究がなされてきた。古くは P. Barkan による弾性衝突モデルによる解析と実験⁽³⁾があり、J. McBride⁽⁴⁾らはピボットメカニズムを用いた接点开閉装置でバウンス現象の詳細を検討した。

バウンスを軽減する最近の研究として B. O. Ciocirlan による斜め接触接点を用いたバウンス低減の試み⁽⁵⁾が発表されている。また、接触時の速度を制御してバウンスを抑制する試みとして、たとえばリードリレーに関する W. Gruszczynski らの研究⁽⁶⁾がすでに行われているが、いまだに大

¹石巻専修大学理工学部機械工学科

²(株)メイテックフィルダース 東京都港区赤坂八丁目 5 番 26 号 赤坂 DS ビル

³石巻専修大学理工学部情報電子工学科

部分のスイッチ・リレー接点では、効果的なバウンス対策が実現されていないのが現状である。さらに近年の自動車分野の直流電源の高圧化に伴い、バウンス時アークによる接点焼損や溶着が問題となっている⁽⁷⁾。

電磁リレー接点の閉成においてバウンスが生じる理由は、本質的に振動系を形成する可動接点が高速で固定接点と接触することにある。そのような設計がなされる要因は、(i) 閉成状態ではば一定の接触力を保持し外部振動の影響を受けにくくするために可動接点は接点バネで支持され、原理的に振動系を構成すること、(ii) 開離アーク抑制を目的として開離速度をできるだけ大きくするために強力な復帰ばねを用いること、(iii) したがって閉成時にはそのばね力に打ち勝つだけの駆動力を可動接点に与える必要があり、電磁石の吸引力が使用される、であると考えられる。よって閉成時には、強力な加速の結果可動接点が固定接点に高速で衝突することで必然的にバウンスが生じる。

以上の考察から、閉成時のバウンスが低減できれば、過渡電流スイッチ技術を併用することで理想的なスイッチ・リレー接点を実現することになる。本研究では小電力回路用電磁リレーを比較・改善の対象として、まず閉成過程における接点の変位軌跡を制御することによってバウンスレス接点動作の実現を目指す。次に過渡電流スイッチ回路を併用してバウンスレス・アークフリーの理想的な直流電気接点の実現を試みる。

2. 接点と実験装置

2.1 対象とする接点モデル

電磁リレーは電磁石が発生する吸引力により接点を駆動して電気回路を開閉する制御可能なスイッチである。リレーに求められる条件は以下のようである：

- (ア) 開離時定常状態において十分な絶縁性能があること
- (イ) 閉成時定常状態において低くて安定した接触抵抗を維持すること。また外部振動に耐えること。
- (ウ) 本質安全性：電磁石のコイル電流が切れたとき閉成接点が開離すること
- (エ) 開離のときアークが迅速に消滅すること
- (オ) 閉成のときバウンスが少ないこと
- (カ) 長寿命

このうち(イ)を満たすように可動接点は接点バネに取り付けられ、電磁石により吸引されて閉成状態を保つ。また(ウ)、(エ)を満たすように可動接点は復帰ばねにより急速に開離状態に戻るよう設計される。さらに(オ)に対しては閉成時の接触力を増加させることで軽減を図っている。

本研究では、ヒンジ形小型パワーリレー HH62P（富士電機製）の接点部を直流回路に適用する場合を扱う。この接点は定格絶縁電圧が 250V、動作時間 20ms 以下、寿命を 100 万回としたときの遮断電流容量は、AC200V 誘導負荷（力率 0.7）または DC24V 誘導負荷（時定数 15 ms）のとき 1A、また抵抗負荷のとき 3A であ

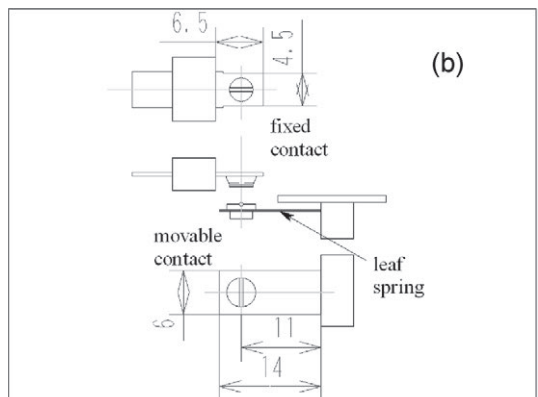
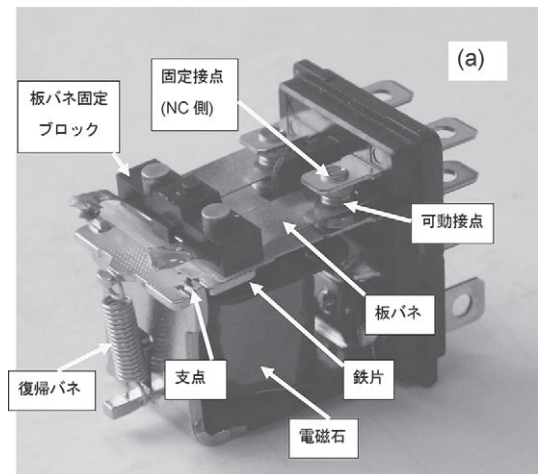


図 1 小型パワーリレー HH62P (a) 外観、(b) 接点部詳細

る。DC のとき開閉容量が AC の場合の約 1/10 であるのは DC ではアークが長時間にわたり発生するためである。図 1 (a)に構造の概略を、また接点部分の詳細を図 1 (b)に示す。なお、接点表面の溝については後述する。

接点は材質が銀合金であり、直径 4mm のリベット状である。可動側接点は幅 6mm 有効長さ 14mm 厚さ 0.2mm の銅合金板バネに取り付けられている。可動接点と板バネは振動系を構成し、その一次モードは 320Hz である。また板バネの曲げ剛性は接点中心部で 0.77 N/mm である。固定側接点は幅 4.5mm、厚さ 0.5mm、有効長さ 6.5mm の導体板に固定されている。

このリレーを図 2 に示す回路の S として通常の方法で動作させ、接点間電圧 v_c と電流 i_c を測定した。回路電圧は $E_0=20\text{V}$ 、閉成時回路電流は 1A であり、開離時にアークが発生する条件である。図 3 (a)に示すように閉成時にはバウンスが約 1.2ms の間生じ、接点が一時的に離れたときはアークも生じている。この中には約 0.3ms 周期のバウンスと 0.1ms 以下の短い周期のバウンスの 2 種類があるように見える。このうち比較的大きな 0.3ms 周期のバウンスは、接触時の接点速度が速すぎるために衝突後反発して一時的に接触が切れる状況と推測される。また、0.1ms 以下の細かいバウンスもいわゆる衝突振動と呼ばれる接点バネや接触部の剛性と接点質量からなる振動

系の振動が誘起されているものと考えられる。さらに接点表面に存在する微小突起の影響も考えられる。なお、接触時の接点速度の測定は難しいが、シミュレーションで推定された最大速度は約 600mm/s である⁽¹²⁾。

また開離時には図 3 (b)に示すように典型的なアークが生じ、0.2ms 持続して完全な OFF 状態となる。

この接点に対して、バウンスレス・アークフリー化を実現するのが本研究の目的である。その方針として、

- 閉成時のバウンスに対しては接触の瞬間の接点速度を制御する。そのために位置

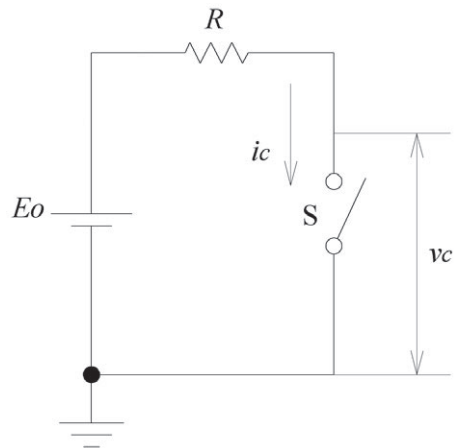


図 2 接点で開閉される直流回路

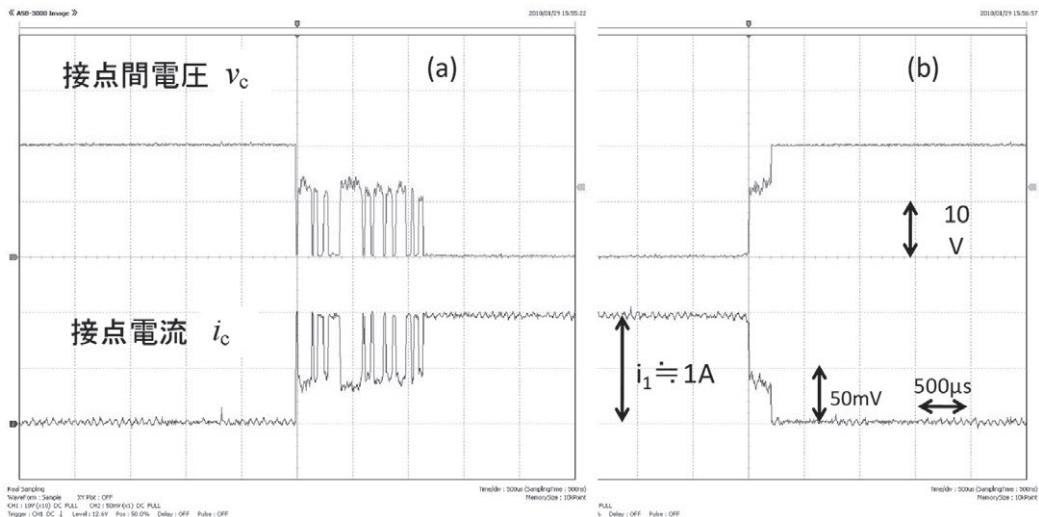


図 3 HH62P 通常動作、(a) 閉成時バウンス、(b) 開離時アーク

制御可能な接点駆動装置を構成する

- 開離時のアークに対しては過渡電流ス
イッチを導入する

を定めた。

2.2 接点の任意波形駆動装置

閉成時の接点の挙動を制御する試みは以前から行われてきた。Carballeira ら⁽⁸⁾は 1980 年にすでにリレー接点のシミュレータを試作し、バウンスレス閉成に成功している。ただし電磁加振器を接点駆動のためのアクチュエータとし、加振器駆動電流をステップ状に変化させるもので、ミニコンベースの制御システムであるため大掛かりな装置となっていた。現在では種々のアクチュエータやマイコンベースの制御装置を利用することが可能となり、速度制御可能なリレーの実現が現実味を帯びてきた。

本研究では 1 軸精密位置決めに用いられるリニアアクチュエータで接点を駆動する実験装置を構成した。使用したリニアアクチュエータは MAB-D28N10（シチズン千葉精密製）である。主な仕様は、最大ストローク 10mm、最大速度

50mm/s、定格推力 49N、分解能 $0.5\mu\text{m}$ 、繰返し位置決め精度 $10\mu\text{m}$ であり、パルス入力方式であるので、開ループ制御で任意軌道に沿う位置決め制御を行うことができる。実験装置の概要を図 4 (a)、接点部分の詳細を図 4 (b)に示す。

接点部分は HH62P の 1 極分を取り出し、図 4 (b)に示すように実験装置に組み込んだ。同図に示すように、可動接点を剛体ブロックを介してアクチュエータのロッドに固定した。これは可動接点下部にレーザ変位計を設置して接点の変位を測定するためである。また可動側と固定側の両接点表面に溝加工を行い、直径 0.5mm の銀線を互いに直交するようにハンダ付けした。ハンダ付けにはエコソルダーペースト S70G type4（千住金属株式会社製）を使用した。これは、接点間で点接触を実現し、接触状況の再現性向上を図るためである。

2.3 制御・計測系と駆動装置の特性

制御・計測系のブロック図を図 5 に示す。任意の変位波形に沿う位置決め制御の手順は以下のようになる。まず、PC 上で指定した変位波形に対してサンプリングタイムごとの速度テーブルを作成し 16 ビットシングルボードコンピュータ (SBC) に送る。SBC では速度テーブルを読み出しサンプリングタイム毎のパルスレートを持つパルス列をアクチュエータドライバに送る。アクチュエータドライバからリニアアクチュエータへ駆動信号が送られ任意の変位が可能となる。サンプル点数は 100 とした。

固定接点と可動接点は図 2 の回路の S として導入され、電源電圧と負荷抵抗または負荷インダクタンスの値を変更することにより回路条件が設定される。

可動接点の変位測定にはレーザ変位計 (KEYENCE 製、コントローラ LK-G3000、ヘッド LK-G30) を用いた。仕様は基準距離：30 mm、測定範囲： $\pm 5\text{mm}$ 、スポット径：約 $\phi 30\mu\text{m}$ 、繰返し精度 $0.05\mu\text{m}$ 、サンプリング周期：20–1000 μs である。本研究ではサンプリング周期を 20 μs として測定を行った。

接点電流の測定には広帯域のクランプオン電流センサ HIOKI 3276 を使用した。その仕様は、出

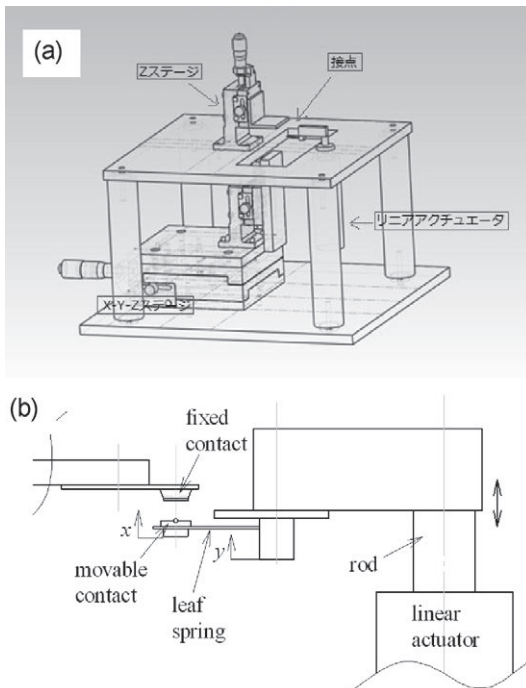


図 4 実験装置 (a) 装置概要 (b) 接点部分の詳細

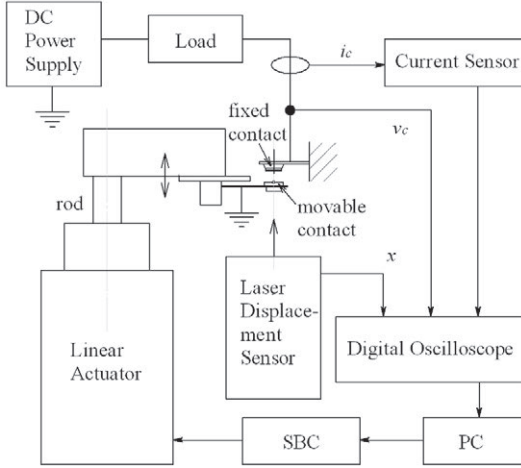


図5 実験装置制御・計測ブロック図

力電圧 0.1V/A, 周波数帯域 DC-100MHz、最大ピーク電流 50A である。

接点変位 x 、接点間電圧 v_c と接点電流 i_c の波形はデジタルオシロスコープ アドテック ASB-3000 または Lecroy WaveJet 354A に記録される。

実験装置の駆動特性を評価するためのランプ波を目標波形として接点駆動実験を行った。図6 (a), (b)にそれぞれ目標速度 10mm/s, 50mm/s のときの目標波形と応答波形を示す。(a)では約 20ms の時間遅れを持つが、ほぼ入力に忠実な応答波形を示している。一方本システムの最高速度である(b)では明らかな応答遅れが見られた。

3. 接点のバウンスレス駆動

3.1 バウンスレス閉成のための駆動波形

ロボットマニピュレータなど慣性負荷の高速位置決め、カムを用いた動弁機構の残留振動低減⁽⁹⁾ などダイナミクスを持つ物体の位置決め制御は動力学の中の重要な一分野をなしている。Van de Strate⁽¹⁰⁾ はサーボモータで変速機を介して慣性負荷を駆動するとき、モータトルクを最小化する軌道を考察している。2.1 節で示したバウンスレス・アークフリー化の方針に沿って

- ① 閉成行程の大半をできるだけ高速でかつ残留振動を生じないように接点を駆動して一旦静止させる

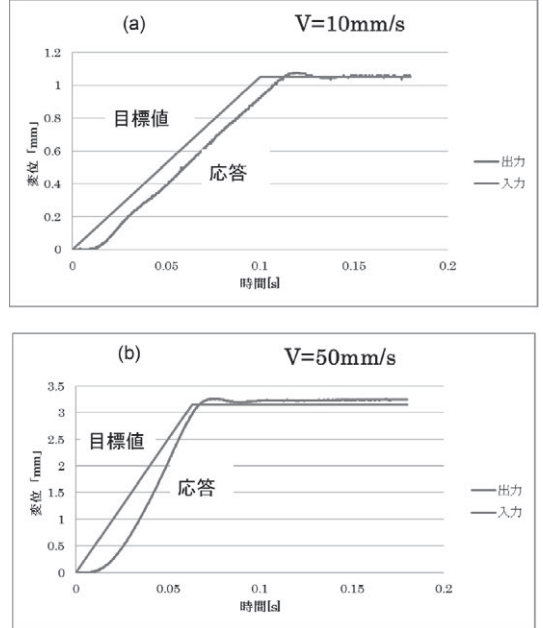


図6 接点駆動装置の特性

- (a) $v=10\text{mm/s}$ 、最終変位 1mm ランプ波に対する応答、
- (b) $v=50\text{mm/s}$ 、最終変位 3mm ランプ波に対する応答

② その後バウンスを生じない低速度で閉成させ、その状態を保持する
とすることを試みた。①を実現するためにポリダイナミクス⁽⁸⁾、②はランプ波を採用することに定めた。

ポリダイナミクス変位曲線は時間 t の 7 次式で表すもので、加加速度まで連続となるように定めると、図7のような目標変位曲線が得られる。ただし最終変位 $y_1=1\text{mm}$ 、停止までの時間 $t_1=0.1\text{s}$ としている。

このとき $0 < t < t_1$ の速度パターンは次式で与えられる⁽⁸⁾：

$$v(t) = y_1 \left(2b_2 \frac{t}{t_1^2} + 3b_3 \frac{t^2}{t_1^3} + 4b_4 \frac{t^3}{t_1^4} + 5b_5 \frac{t^4}{t_1^5} + 6b_6 \frac{t^5}{t_1^6} + 7b_7 \frac{t^6}{t_1^7} \right) \cdots (1)$$

ここに

$$\begin{aligned} b_0 &= (2\pi r_a)^2, \quad b_2 = \frac{420}{b_0}, \quad b_3 = -\frac{1680}{b_0}, \\ b_4 &= 35 \left(1 + \frac{60}{b_0} \right), \quad b_5 = -84 \left(1 + \frac{10}{b_0} \right), \\ b_6 &= 70, \quad b_7 = -20 \end{aligned}$$

であり、 $r_a = t_1 f_n$ 、 f_n は接点・板バネ振動系の固有振動数[Hz]である。

この曲線によれば、理論的には駆動される接点バネ系の残留振動は誘起されない。

図7の接点変位曲線はこの目標変位を目標値として接点を駆動したときの応答を示す。遅れ時間があるものの、応答波形は目標値に極めてよく追従している。また、このとき可動接点の変位(図4(b)の x)と駆動点変位(図4(b)の y)との差は、変位センサの出力で比較した限りでは全行程にわたって認められなかった。すなわち可動接点系の固有振動は誘起されない。

またランプ波の速度パターンは明らかに

$$v(t) = \frac{y_1}{t_1} \quad (0 < t < t_1) \quad \dots(2)$$

$$= 0 \quad (t > t_1)$$

以上の速度パターンをサンプルタイムごとに離

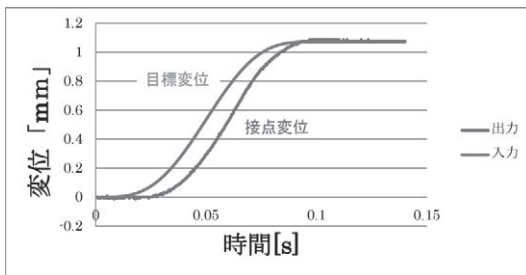


図7 ポリダイナ曲線による接点系の駆動

散化してアクチュエータを駆動した。

3.2 バウンスレス接触の条件

接触時の速度を低下させていけばいずれバウンスが消滅することは容易に予測されることであるが、その限界となる速度を実験により求めた。当初、ピエゾアクチュエータ AE0203D44H40F (NEC/TOKIN 製、最大変位量 $42 \mu\text{m}/150\text{V}$) を用いた接点駆動機構を試作し、駆動速度を 0.5 mm/s から 3.5 mm/s の範囲で変化させてバウンス発生状況を調査した。回路条件は 6V 、 0.02A とした。その結果、 0.81 mm/s 付近でバウンスが生ぜず、それより高速にしても低速にしてもバウンスが生じるという興味深い結果を得て、これを臨界速度と名づけた⁽¹¹⁾。図8は臨界速度における繰り返し閉成実験の結果を示し、この条件ではほぼ5分5分の割合でバウンスが生じたり生じなかったりすることが確認された。なお、同図では接点間電圧 v_c は閉成時に高レベルとなっている。

さらに第2章で構成したリニアアクチュエータを用いて、改めて 2V 、 0.2A の条件で同様の実験を繰り返した結果、やはり同じ速度でバウンスが生じないことが確認された。このような結果となった理由として、使用した接点系の短周期のバウンスは可動接点振動系の高次モードが関係していることが考えられる。

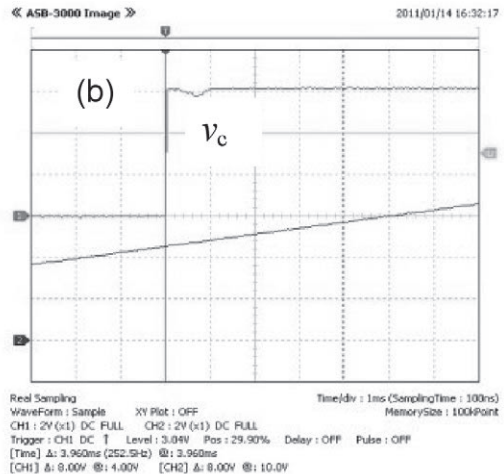
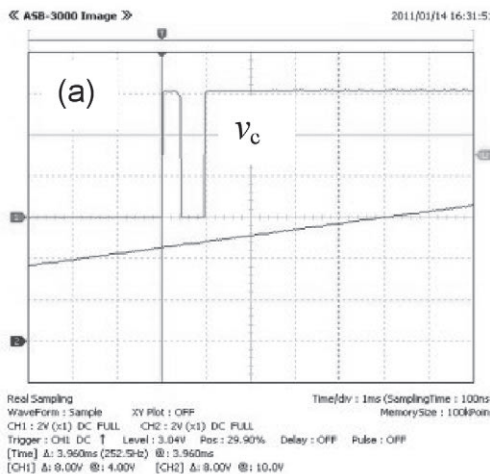


図8 バウンスレス接触の実現例 ピエゾ駆動⁽¹¹⁾のとき
(a) バウンスが発生しなかった例 (b) バウンスが発生した例

3.3 バウンスレス閉成の実験

前節の実験結果にもとづき、この接点に与える動作条件を通常のリレーに準じて接点ギャップ、閉成時間、閉成時接触力を次のように設定し、閉成過程を実現することを試みた。

- ・ 接点ギャップ 1mm
- ・ 閉成時間 0.3s
- ・ 接触力 0.1N

変位曲線として、初期の 0.12 秒間でポリダイン曲線で 0.95mm 移動させその後 0.8mm/s のランプ波で閉成させ、さらに駆動を続け接触力が指定値になった時点で保持させる駆動パターンを作成した。接触力の値は板バネの曲げ剛性から対応するたわみ量を求めて設定した。このパターンで接点を駆動した時の目標変位と応答変位を図 9 に示す。

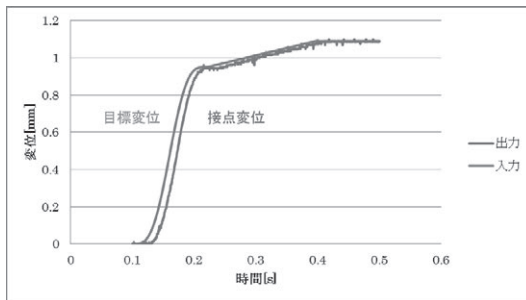


図 9 バウンスレス駆動時の入出力特性 最終変位 1mm、閉成時間 0.3s

図 9 の軌道を用いて、電圧 30V、電流 3.0A の回路条件で閉成実験を行った。接点変位、接点電圧・電流波形を図 10 に示す。接触時のバウンスは認められず、この方法によればバウンスレス閉成が可能となることが確認された。

4. 過渡電流スイッチの併用によるバウンスレス・アークフリー接点の実現

4.1 過渡電流スイッチの概要とキャパシタ容量の選定指針

過渡電流スイッチ (TCS) を導入することにより開離時のアークを根本的に抑制することができる。図 2 に TCS を追加した回路を図 11 に示す。L は負荷インダクタンスまたは回路残留インダクタンスを表す。これまで考察してきた接点を S_1 で表わしている。過渡電流スイッチとはメインの接点 S_1 と並列に補助スイッチ S_2 とキャパシタ C の直列要素を接続し、 S_1 を閉成させた後 S_2 を ON にし、 S_2 を ON のまま S_1 を開離することで、 S_1 に生じる開離アークを抑制するものである。とくに誘導負荷の場合に生じる激しい過渡電圧をコンデンサで吸収することができるので効果的である。キャパシタに並列に接続された抵抗 R_d はキャパシタのチャージを放電するためのものであり、当然ながら $R_d \gg R$ とする必要がある。

C の容量を選定する基準にはいくつか考えられ

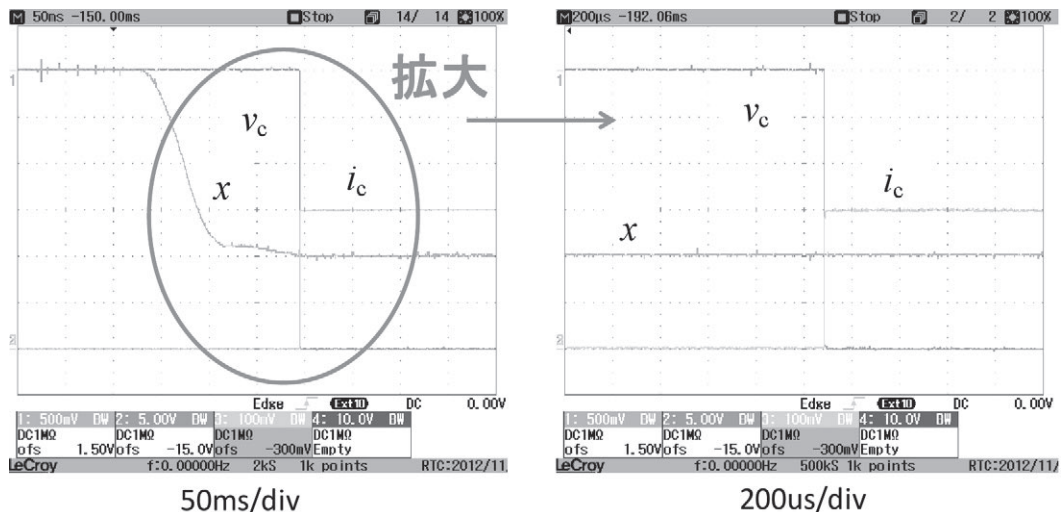


図 10 バウンスレス閉成 30V/3.0A v_c : 5V/div, i_c : 1A/div

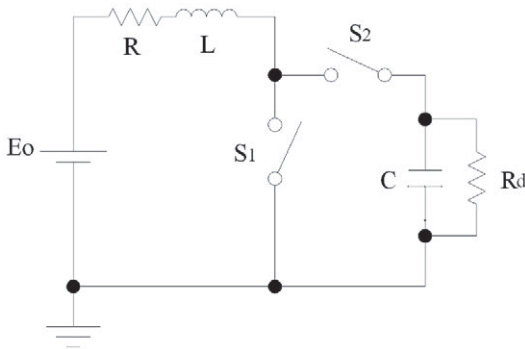


図 11 過渡電流スイッチを加えた直流開閉回路

る。図 11 において S_1 の開離直後を考えると、 R 、 L に流れていた電流が S_2 を通って C を充電し始める。すなわち R 、 L 、 C の直列回路が構成される。したがって $R \cdot L \cdot C$ の定数の組み合わせによってその後流れる電流波形が支配される。 C が相対的に小さいと振動的になり、 S_1 間に逆極性の電圧が印加される。 C を十分大きくすれば電流波形は過減衰となりそのような可能性はないが、コスト面で不利となるだろう。したがって電流波形が臨界減衰の条件を満たすように C をきめることが考えられる。その条件は回路方程式の考察により

$$C > \frac{L}{R^2} \quad \dots(3)$$

のように得られる。式(3)の条件は、 R が小さく回路電流が大きいほど、また負荷が誘導性で L が大きいほど C を大きくすべきことも示してる。

4.2 TCS の効果

図 11 において $E_0 = 30V$ 、 $R = 10\Omega$ の抵抗負荷回路とし、回路残留インダクタンスを $L = 1\mu H$ と仮定して、TCS キャパシタの容量を式 (3) に基いて求めると $0.01\mu F$ となる。ここでは $C = 1\mu F$ と選択し、TCS を使用しない場合と使用した場合の開離時のアーク発生状況を観察した。 S_1 を閉じて回路電流を $3A$ とした後 S_2 を閉じる。その後 S_1 を開いて開離時の接点間電圧と接点電流を測定した。 S_2 として電磁リレー HH62P を使用し、一連のシーケンスは SBC のソフトウェアで実現した。抵抗は $25W$ 無誘導型の組み合わせ、TCS キャパシタにはメタライズドポリプロピレンフィ

ルムコンデンサ（耐圧 $850VDC$ ）を用いた。開離時の変位波形は $50mm/s$ のランプとした。この速度はアクチュエータの最大速度であるが、実際のリレー接点の最大開離速度と比べると 10 分の 1 以下に過ぎない。

図 12 に結果を示す。同図(a)に示すように TCS を用いない時に約 $0.3ms$ にわたって生じるアークが同図(b)のように TCS の導入により抑制されている。

さらに図 13 には $0.1mH$ のインダクタを追加して時定数 $0.01ms$ の誘導負荷条件で開離実験を行った結果を示す。この条件でのキャパシタの適正容量を式(3)に基いて求めると $1\mu F$ 以上となる。図 13(a)は $C = 10\mu F$ 、同図(b)は $C = 0.01\mu F$ と過小に選択した場合の結果を示す。(a)では TCS の効果が明らかで、アークは一切生じない。一方(b)では C の値が過小であり、振動的な過渡電圧を生じている。

以上のように、開離速度が通常の 10 分の 1 程度でも過渡電流スイッチがアークの抑制に対して大きな効果があること、適切な容量のキャパシタを選定することが重要であることが実証された。

4.3 バウンスレス・アークフリー接点の実現

前章までの実験結果に基いて、バウンスレス閉成とアークフリー開離とを一連のシーケンスとして動作させた。1 例として、 $L = 0.1mH$ の誘導負荷で $30V$ 、 $3A$ のときの接点変位、接点間電圧、接点電流の時間変化を図 14(a)に示す。このとき TCS の C は図 13(a)同様 $10\mu F$ とした。また閉成時と開離時の拡大図を図 14(b)に示す。バウンスレス・アークフリー動作が実現できていることが見られる。

5. 考察

接点バネで支えられる接点をその固有振動を励起しないようにかつ高速で移動させ、その後微速度で固定接点と接触させる技術と過渡電流スイッチを併用して、直流回路の開閉に際してバウンスレス・アークフリー動作が実現できることが確認された。

今回使用したリニアアクチュエータは AC サーボモータとボールねじを用いた汎用の位置決めデ

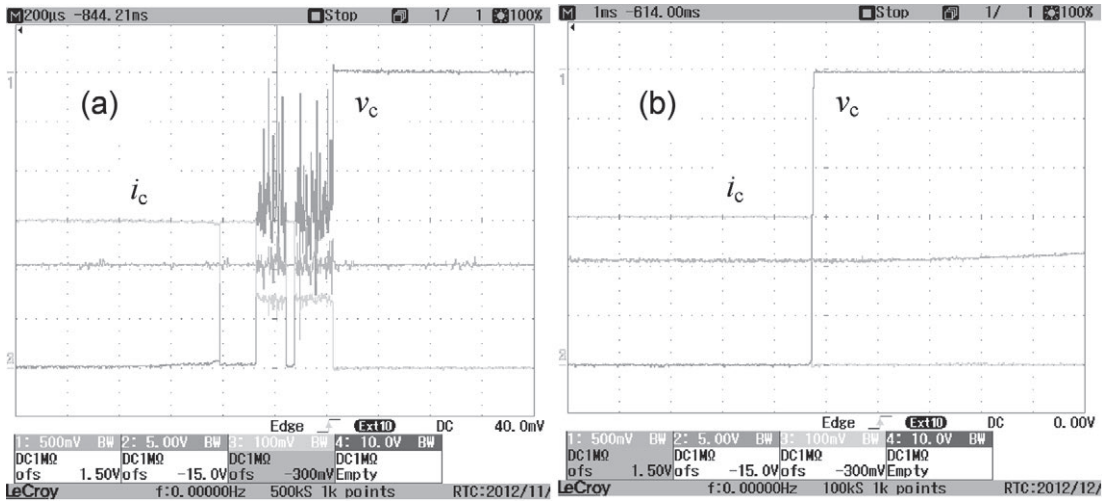


図 12 過渡電流スイッチの効果 30V、3.0A 抵抗負荷 v_c : 5V/div, i_c : 1A/div
(a) TCS なし 0.2ms/div (b) TCS あり $C=1\mu\text{F}$ 、1ms/div

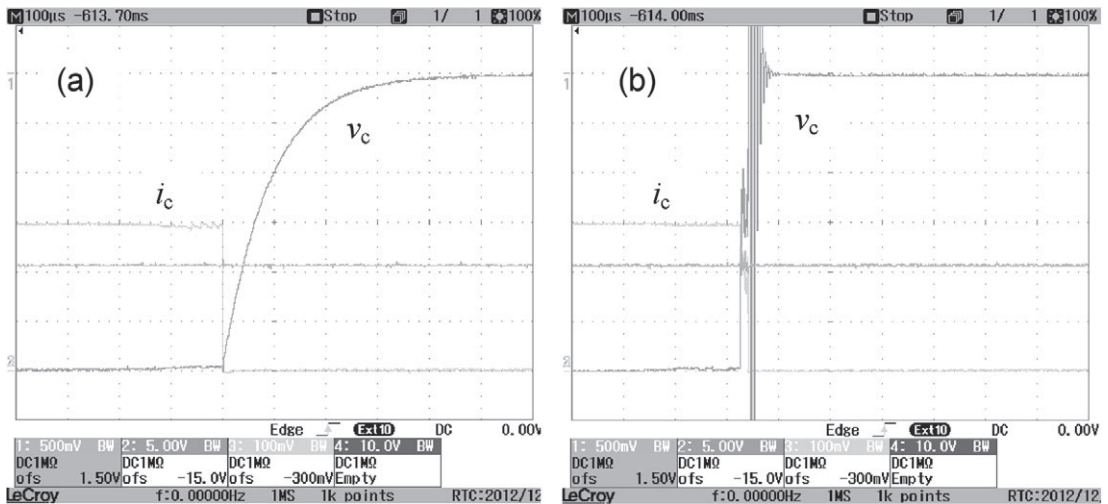


図 13 過渡電流スイッチの効果 30V、3.0A 0.1mH 誘導負荷 0.1ms/div
(a) $C=10\mu\text{F}$ 、(b) $C=0.01\mu\text{F}$

バイスであり、閉成・開離とも駆動速度を高めることはできない。したがって、リレーとしての動作速度は電磁リレーの 1/10 程度である。とくに開離時の速度は最大で 50mm/s と、通常のリレー接点に比べると極めて低速であるが、それにもかかわらずアークが抑制できるのは TCS の大きな利点である。ただし、高負荷時は接点ギャップが十分開かないうちにキャパシタの充電が完了してし

まい、一度抑制されたアークが再点弧する可能性がある。キャパシタの容量はこの点も考慮して決める必要があるだろう。また、ボールねじ駆動であるので、システムの電源が切れた時、閉成接点を開くことができない。

今回試作したシステムはバウンスレス・アークフリー動作の確認のためのシミュレータというべきものである。したがって、サイズ・コストの点

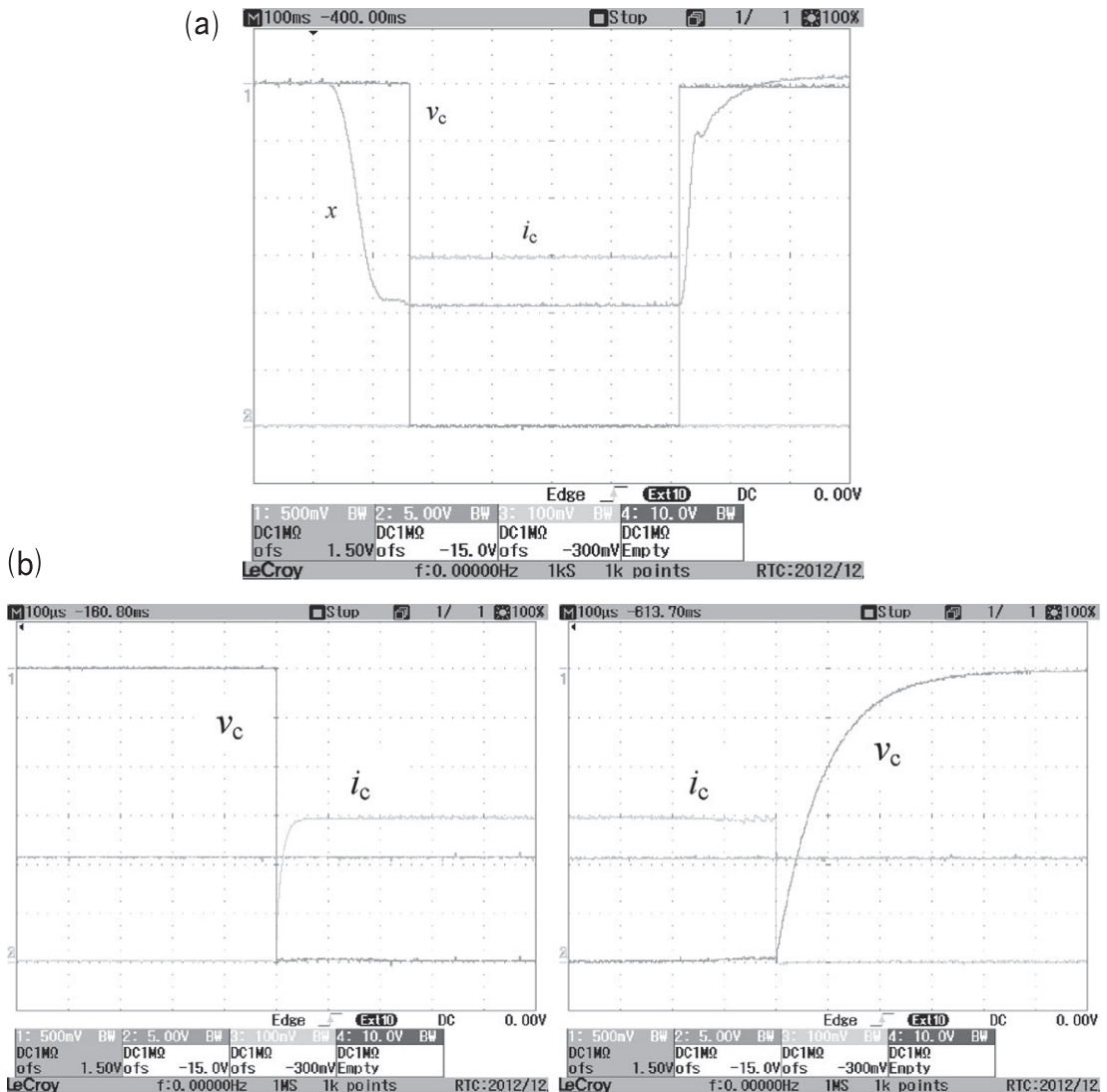


図 14 バウンスレス・アークフリー動作 30V、3A、0.1mH 誘導負荷

(a) 全体動作 100ms/div、(b) 閉成時 (左) および開離時 (右) の詳細 0.1ms/div

も考慮するとこのままでの商品化は現実的でないが、ボイスコイルモータなど近年急速に進歩している小型リニアアクチュエータを使用することで、従来型電磁リレーと同等の小型・低コストで同様の性能を持つ接点システムを開発できる可能性が十分にあると考えている。

6. 結論

電磁石で駆動されるリレー接点で不可避免的に生じる閉成時バウンスの問題を、リニアアクチュ

エータにより可動接点をポリダイナミクス曲線に沿って行程の大半を移動させた後低速度で等速駆動し、固定接点と接触させることにより、バウンスのない閉成を実現した。この技術と過渡電流スイッチによる開離時アークの抑制技術を組み合わせ、0.1mH 誘導負荷を DC30V3A の回路条件でバウンスレス・アークフリーで開閉することが可能であることを示した。最近の小型軽量リニアアクチュエータとマイクロコントローラを用いて、より実用的な実装も可能であると考えている。

終わりにあたり、実験装置を作成していただいた石巻専修大学工作センターに謝意を表す。また接点の微細溝加工は東北電子工業株式会社（石巻市）で行われた。合わせて謝意を表す。

文献

- (1) N. Wakatsuki, Y. Akiba and Y. Yonezawa, Time-Coordinated Switching Relay for Arc Discharge Suppression, IEICE Trans. Electron., Vol. E88-C, No.8, 2005
- (2) N. Wakatsuki, US Patent No. US7,486,488 B2
- (3) P.Barkan , A Study of the Contact Bounce Phenomenon , IEEE Trans. on power apparatus and systems , Vol.PAS-86, No.2 , FEBRUARY, 1967
- (4) J. McBride and S. Sharkh, Electrical Contact Phenomena During Impact , Proc. of IEEE Holm Conf. on Electrical Contacts (1991), pp.132-140.
- (5) B. O. Ciocirlan and H. Herrmann , Switching Contact Bounce Reduction, Proceedings of the 55th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, pp.56-64, SEPTEMBER, 2009
- (6) W. Grsuzczynski, J. Hrynczuk and H. Wierzba , Influence of Construction Data on the Dynamics of Dry-Reed Relays, IEEE Ttans. on magnetics, Vol.MAG-7, No.4, DECEMBER, 1971
- (7) L. Doublet, N. Ben Jamma, H. Hauner, D. Jeannot, Make Arc Erosion and Welding Tendency under 42 VDC in Automotive Area, Proc. of IEEE Holm Conf. on Electrical Contacts (2003) pp.158-162.
- (8) A. Carballeira and J. Galand, Test equipment simulating the operation od reklay contacts: Design and performance, Proc. of 10th Int. Conf. on Electric Contact Phenomena ,1980 Budapest pp.711-718.
- (9) 神崎一男 基礎メカトロニクス 共立出版 1994
- (10) H. J. Van de Strarte, J. De Schutter and K. U. Leuven, Optimal Variable Transmission Ratio and Trajectory for an Inertial Load with respect to Servo Motor Size, Trans. ASME, J. Mech. Design, Vol.121, Dec. 1999
- (11) 鯉淵元、平成 24 年度石巻専修大学修士論文、電気接点動作時におけるバウンスとアークの制御に関する研究
- (12) N. Takatsu, N. Wakatsuki and H. Homma, Minute mechanical motion of movable electrode and electrical characteristics of breaking electric contacts, Proc. of 24th Int. Conf. on Electrical Contacts, Saint-Malo, 2008 , pp.1410-144.