

論文・解説

20

ヒンジ型a接点電磁リレーの復帰時バウンスに関する一報告 Bounces of Making Contact Relay on Braking Time

岡田 厚信^{*1}

Atsunobu Okada

要約

電磁リレーの接点劣化を助長させる現象の一つに、バウンスと呼ばれる接点間の異常な間欠的開閉現象がある。一般的に衝突や振動などの機械的要素が起因とされている。本稿では高速度カメラを用いて、コイルサージ抑制部品にダイオードを用いた、ヒンジ型a接点リレーの復帰時の動きを撮影し、機械的要素を起因としないバウンスの存在と、その発生メカニズムを考察したので報告する。

Summary

Bounce is one of the phenomena that promote degradation or melting of electrical contact of electromagnetic relay and is generally considered to be attributable to mechanical factors such as collision or vibration. Using a hinge-type a-contact relay, which uses diode for a surge suppression coil, we filmed how it breaks with a high-speed camera. This paper describes how we confirmed the bounce not attributable to mechanical factors and investigated its generation mechanism.

1. はじめに

車両の省エネや安全性を高める車載電装品において、より細かい制御を実現する高速スイッチング素子の採用が拡大している。その一方で、高速開閉を必要としない回路においては、現在も電磁リレー（以下、リレーと略）がその役を担い続けている。そして、このリレーの品質を確保することは、電装品開発において重要な要素の一つである。

リレーの接点が劣化する要因の一つに、接点間の異常な間欠的開閉現象がある。「JIS C5442 制御用小型電磁リレーの試験方法」では、この現象を「バウンス」と「チャタリング」の2つに分け、次のように定義している。

① バウンス

リレーの可動部分（接極子）が鉄心やバックストップへ衝突したり、または接点相互が衝突することによって生じる衝突、振動などに起因する接点間の異常な間欠的開閉現象。

② チャタリング

リレーに加わる外部からの衝突、振動などに起因する接点間の異常な間欠的開閉現象。

両定義とも、衝突や振動などの機械的要素を起因として

いる。本稿では、リレーのコイルサージ抑制部品にダイオードを用いた、ヒンジ型a接点リレーの復帰時において、この定義に当てはまらない異常な間欠的開閉現象を確認したので報告する。なお、本稿は復帰時の動きを高速度カメラで撮影し、その映像解析の結果に基づいて構成している (Fig.1)。



Fig.1 Image with High-Speed Camera

本稿で用いるリレーの構造と各部名称は、Fig.2に準じる。スイッチ①を介して通電されるコイル②は、樹脂製のコイルボビン③に巻かれており、磁束を発生する。ボビンの中心にはコア（鉄心）④が通っており、磁化されたコアはアマチュ

*1 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.

ア⑤を吸引する。アマチュアはアマチュアスプリング⑥により可動接点⑦と連結されている。そのため、アマチュアの吸引移動に伴って、可動接点はバックストップ⑧から離れて固定接点⑨側へ移動する。また、コアはヨーク⑩と締結され、一体の磁気回路を形成している。リターンスプリング⑪はスイッチが開いたとき、アマチュアをコアから引き離す働きをしている。スプリングの代用にアマチュアスプリングをヨークに締結しているリレーも多い。

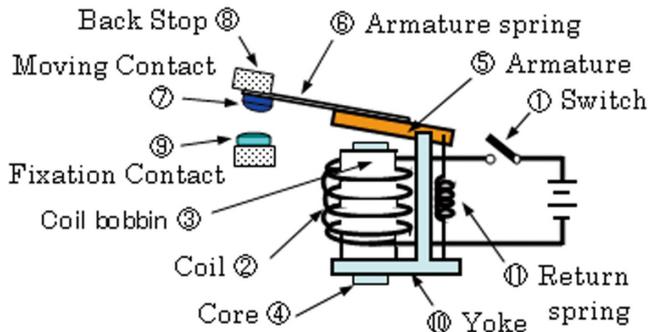


Fig.2 Name of Relay Parts

2. ダイオードの有無と復帰時バウンスの関係

コイルサージ抑制部品にダイオードを用いた評価回路図をFig.3に示す。試験では、スイッチを閉じてリレーコイルに通電し、コイル電流が安定した時点でスイッチを開き、リレーを復帰させた。復帰時のバウンスの観測は、回路のマイナス側を基準にして、リレー接点間の電圧波形を測定した。リレー接点の負荷は抵抗を用いた。試験電圧は被試験品リレーの定格電圧 (12V) とした。

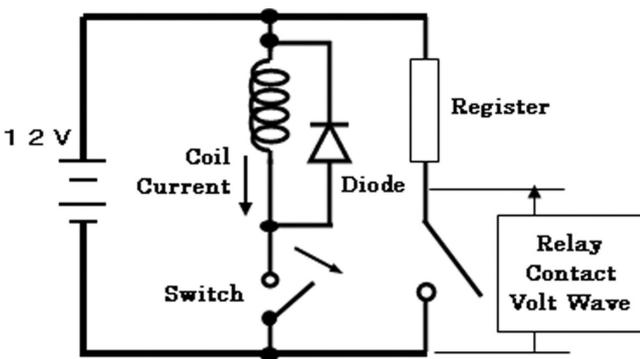


Fig.3 Test Circuit

Fig.4-1とFig.4-2は、同一リレーで測定した復帰時のバウンス波形である。試験回路の各部の電流変化が分かりやすいように、Fig.4-1はコイル電流、Fig.4-2はダイオード電流を測定して示した。

両図中で電流波形が急峻に立ち下がり始めたところが、スイッチを開いた時点である。しばらく遅れてリレー接点が開き、一度開いた接点が再び閉じている様子が、接点間

の電圧波形から読み取れる。つまり、復帰時にバウンスが発生していることが分かる。発生回数は一定せず、Fig.4-1では1回、Fig.4-2では2回となっている。

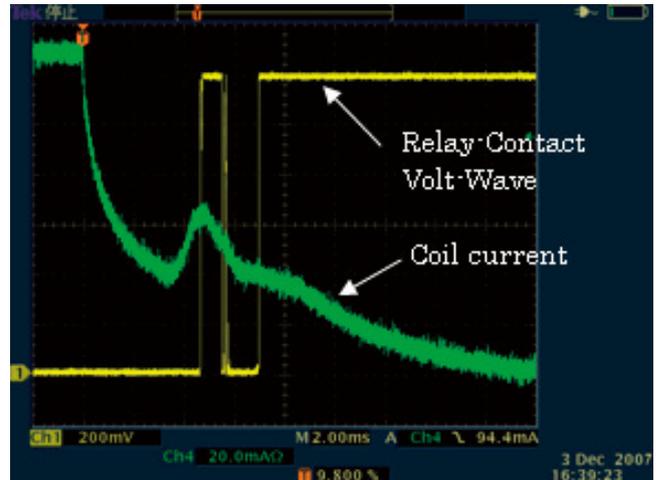


Fig.4-1 Wave with Diode (One Bounce)

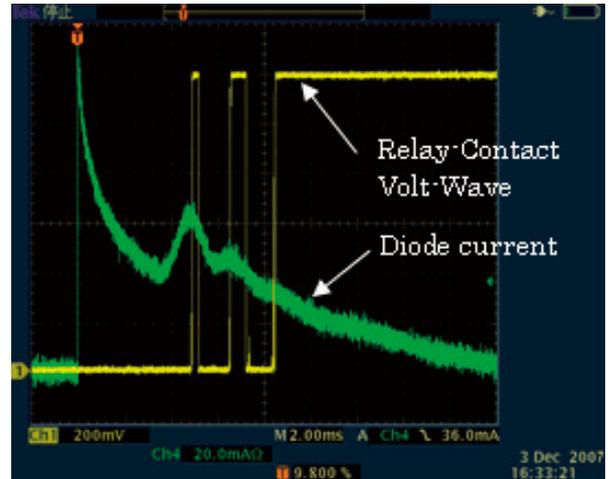


Fig.4-2 Wave with Diode (Two Bounces)

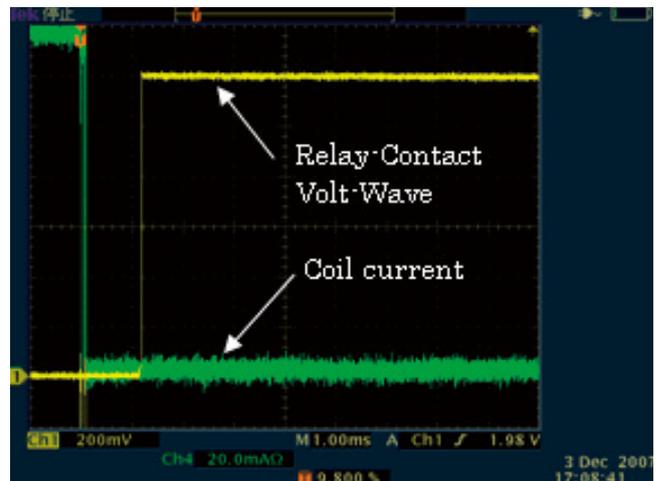


Fig.5 Wave without Diode (No Bounce)

Fig.5は、Fig.4の被試験品リレーからダイオードを取り外して、同じ評価を行った波形である。コイルサージ抑制

部品のダイオードを接続していないため、スイッチを開くと同時に、コイル電流はゼロになっている。そして、少し遅れて接点が開いているが、バウンスは発生していない。ダイオードを接続しない回路では、何度評価を行っても復帰時のバウンスは発生しなかった。

同一リレーで行ったこの比較試験から、復帰時バウンスの発生の有無は、コイルサージ抑制ダイオードの有無が関係していることが分かる。

3. 衝突を起因としない復帰時のバウンス

復帰時に可動接点を固定接点から引き離す力は、Fig.2におけるスプリング⑩によって与えられる。また、一般的に、復帰時に発生するバウンスの原因は、固定接点から離れた可動接点が、勢いよくバックストップに衝突し、その跳ね返りで再び固定接点に接触するとされている。つまり、可動接点がバックストップに衝突する速度が速いほど、跳ね返り量も大きくなってバウンスが発生しやすい。

しかし、前項の比較試験の結果は、この通説に沿っていない。なぜなら、可動接点がバックストップに衝突する速度は、コイル電流の減衰特性に大きく影響され、コイル電流の減衰が速いほど衝突速度が速くなるからである。

これはコイル電流が流れ続ける限り、コアはアマチュアを吸引し続け、開離速度にブレーキを掛けるからである。つまり、Fig.5のように、コイルサージ抑制部品に何も用いない場合の衝突速度が一番速く、Fig.4のように、ダイオードを接続した場合が一番遅くなるのである。

従って、最も衝突速度が速いFig.5でバウンスが見られないリレーでは、それよりも衝突速度が遅いFig.4で発生しているバウンスは、衝突による跳ね返りではないと考えられる。

この推測を裏付けるため、高速度カメラで復帰時の可動接点を撮影すると、Fig.4のバウンス発生時においては、バックストップと衝突していないことが確認できた。つまり、Fig.4でa接点に発生している復帰時バウンスは、機械的要因を起因としたものではないと判明した。

4. 復帰時バウンスの発生メカニズム

Fig.4のコイル電流波形を見ると、Fig.3の評価回路においてスイッチを開くと、コイル電流が指数関数曲線を描いて一気に減衰している。しかし減衰の途中で一旦増加に転じて小山を形成し、その後、再び減衰している。

増加に転じる原因は、アマチュアがコアから高速で離れるため、磁路の磁気抵抗が急増して磁束が急減することによる。ファラデーの電磁誘導の法則により、磁束の急減はコイルにそれを打ち消す方向の起電力を誘起させる。その結果、コイルとダイオードで形成する閉回路に、新たな電流が供給されるのである。

この時のアマチュアの動きを高速度カメラで撮影したと

ころ、コアから勢いよく離れたアマチュアは、そのまま一気に上死点まで移動せず、途中の空間で急停止をして、その位置でしばらく留まる様子が確認できた。

コイルサージ抑制部品に抵抗を用いた場合や、何も接続しない場合は、この急停止は発生しないことも確認した。コイルサージ抑制部品にダイオードを用いた場合のみ、アマチュアの急停止現象が発生したのである。

従って、急停止の原因は、増加に転じたコイル電流によって、コイルの磁力が再び強まり、アマチュアを再吸引するためと推測した。

更にこの時の可動接点の動きを詳しく見ると、可動接点はアマチュアがコアから離れる動きに連れられて、固定接点から離れた。しかし、アマチュアが空中で急停止するため、慣性によってアマチュアの停止位置を支点として、バックストップ側へ大きく振れた (Fig.6)。そして次に、反り返ったアマチュアスプリングの反動で、今度は固定接点側へと大きくゆり戻される様子が確認できた。

急停止したアマチュアは、停止位置にそのまましばらく留まっているため、ちょうど飛び込み板が上下に振れるような挙動である。

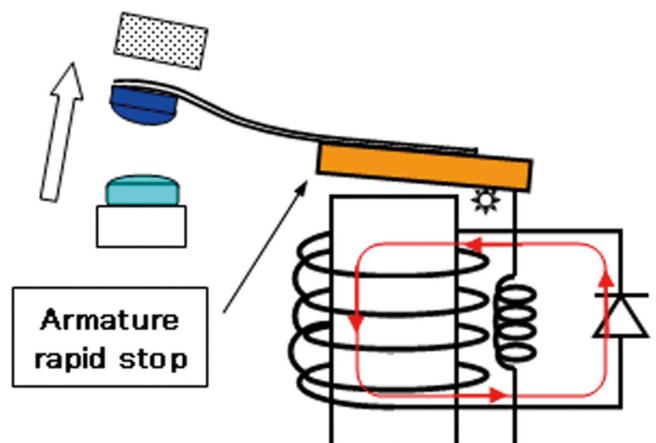


Fig.6 Over Moving of Moving Contact

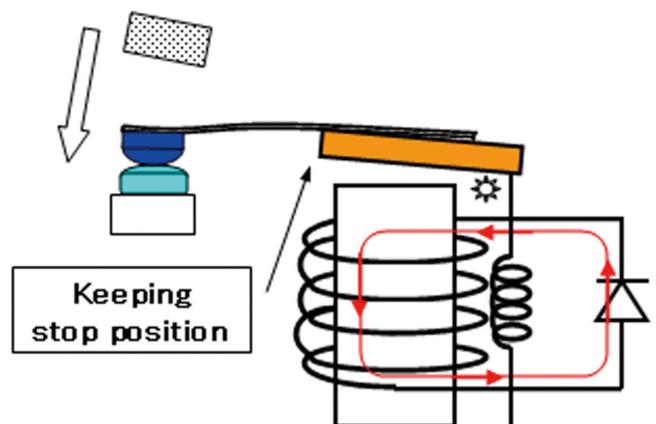


Fig.7 Electro-Magnetic Contact

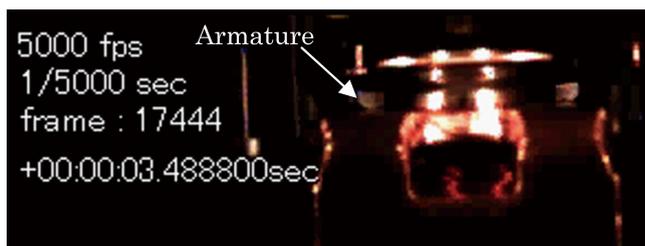


Fig.8-1 Image of Default Stage

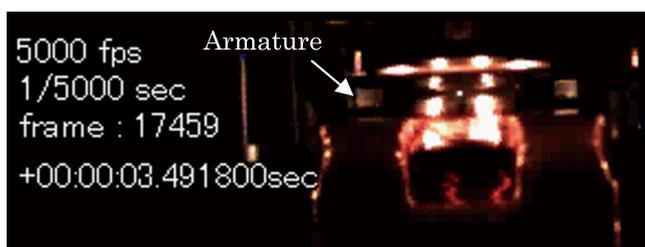


Fig.8-2 Image of First Breaking Stage



Fig.8-3 Image of High Point Stage



Fig.8-4 Image of Re-Contact Stage

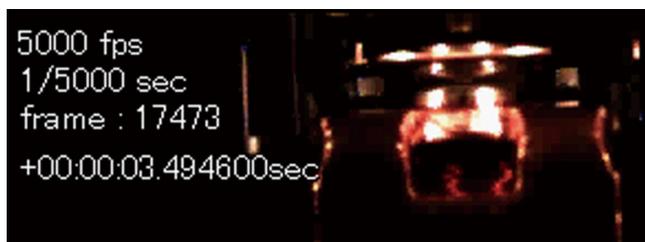


Fig.8-5 Image of Re-Braking Stage



Fig.8-6 Image of Back-Stop stage

つまり、可動接点はバックストップに衝突することもなく、アマチュアの停止位置を支点として、固定接点とバックストップの間で大きくゆり動く様子が確認できた。そして、固定接点側に再接近したとき、両接点が接触する様子が、高速度カメラとオシロスコープとによって確認できた (Fig.7)。

この再接触の要因はリレー内部にあり、かつ、衝突を起因としていない。電磁要因に起因する接点間の異常な間欠的開閉現象である。このため本稿では、この現象を前述のJISで定義された機械的要因のバウンスと区別するため、「電磁要因バウンス」と呼ぶことにした。

Fig.8は電磁要因バウンスの様子を撮影した1例である。高速度カメラの映像の中から、要点となる箇所を静止画として抜粋した。各映像のframe番号と時間表示 (sec) は、映像の画像番号と撮影経過時間を示す。なお、この映像のリレーは、Fig.4でバウンスの波形を測定したリレーとは、別型式の製品である。

Fig.8-1はコイル通電時の映像である。接点は閉じており、アマチュアもコアに吸引されている。Fig.8-2はコイル電流が遮断された後、アマチュアがコアから離れ、続いて、可動接点がワイピングの後に固定接点から離れる瞬間の映像である。接点間に見える小さな白い点は、配線のインダクタンスによるアーク放電である。この放電の存在は、接点がこの時点で開いたことを示している。このリレーでは、アマチュアはこの位置でほぼ停止した。Fig.8-3は、アマチュアが空中で停止した後、可動接点が上方向に触れたときの映像である。接点は離れており、ここから固定接点側へと移動が始まる。Fig.8-4は接点が再接触している映像である。アマチュア的位置はFig.8-2とほぼ同じか、コアよりに少し戻っている。戻るのは可動接点の下方向移動の勢いに連れられたものと思われる。Fig.8-5は、再接触を終えて、可動接点が再び離れた映像である。Fig.8-6は電磁要因バウンスが終わって、可動接点がバックストップに衝突した映像である。この後、接点が再接触することはないことがわかる。なお、一連の動きを動画で確認すると、アマチュアの空中停止と可動接点の動きの相関が把握しやすい。

5. 電磁要因バウンスのメカニズム検証

電磁要因バウンスの発生メカニズムを検証するには、アマチュアが空中で急停止する原因が、Fig.4の電流波形に現れる電流増加にあるのかを検証すればよい。

本章では、アマチュアがコアから急速に離れても、磁路の磁気抵抗が急激に増加しない工夫をリレーに施して、電流増加の要因を検証した。具体的には、アマチュアが吸引されている動作中のリレーにおいて、コアとアマチュア間に残っている極狭い空間に細い鉄線を置き、その状態で復帰させた。復帰によりアマチュアギャップが突然出現して

も、コアとアマチュアは細鉄線で接続されているため、磁路の磁気抵抗は急増しない (Fig.9)。

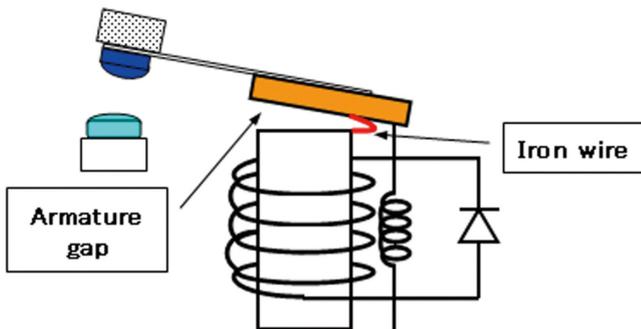


Fig.9 Test Relay with Thin Pieces of Wire Iron

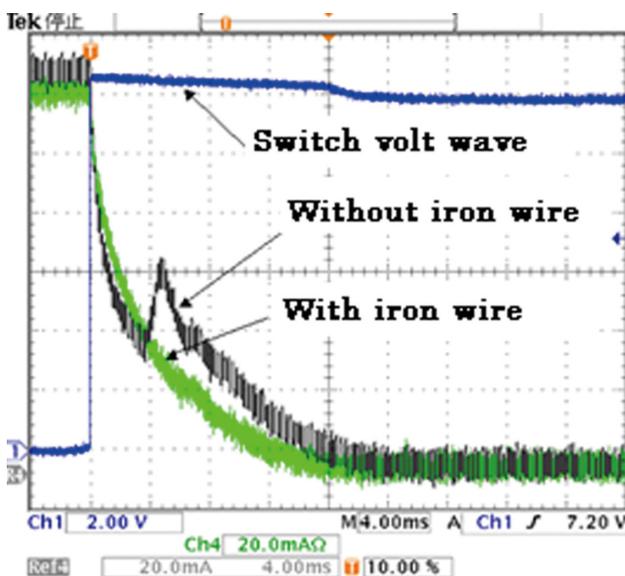


Fig.10 Current Wave with Wire Iron

Fig.10に細鉄線の有無における復帰時のコイル電流波形を示す。双方とも、スイッチを開くとコイル電流は急激に減衰を始めるが、細鉄線があると途中で増加に転じない。電流増加がないため磁力の増加もなく、コアから離れていくアマチュアを再吸引して停止させることもない。

この試験結果より、4章で推測したアマチュア急停止の原因は、アマチュアの高速開離移動で作られられた磁気抵抗の増加により、コイルに起電力が発生し、この電力によりアマチュア自身がコアに再吸引されるため、といえる。

6. 接触信頼性と電磁要因バウンス

一般的に、コイルサージ抑制部品にダイオードを用いると、接点劣化が早くなることが知られている。その要因としては、コイル電流がなだらかに減衰する特性に注目して、次のように説明されている。

- ① 接圧が徐々に低下するため低接圧期間が長くなる。
- ② 接点の開離速度が遅くなり、アークを引きやすい。

しかし、本稿で紹介した電磁要因バウンスは、一旦離れ

た接点に発生する再接触現象であるため、接点信頼性への影響は、上述の従来要因とは分けて扱う必要がある。

電磁要因バウンスは、リレーが保有している電磁エネルギーが減衰する過程において、復帰スプリング力とのバランスの中で、可動接点の持つ運動エネルギーとアマチュアスプリングの弾性特性により発生する。

意図としない偶発接触でもあり、とりわけ、可動接点が振動の下死点で固定接点に接触すると、速度も接圧も確保されない、ゼロ速度、ゼロ接圧での接触期間が生まれる。つまり極低接圧と極低速度の開閉が特徴として挙げられる。

その結果、大きな負荷やアークを引く誘導負荷の場合は、接点に甚大な悪影響を与え、比較的短期間に接点劣化や接触不良を起こしやすいと思われる。

7. まとめ

本稿で紹介した電磁要因バウンスは、リレーメーカーの方々にとっては周知のことと思う。しかし、リレーの設計製造を本業としない筆者の立場では、復帰時バウンスの発生原因は、バックストップに衝突した可動接点の跳ね返りであるとの思い込みがあった。また、コイルサージ抑制部品にダイオードを使用した場合の接点劣化要因についても、6章で触れたような一般論でしか持ち得なかった。

本文では紹介していないが、接点开離直前にアマチュア停止が発生する場合もある。この場合は、その停止期間中、可動接点は固定接点と極微接触状態となり、その後、電磁要因バウンスを起こさずにバックストップへ移動する。つまり、極微低接圧期間が発生しているのである。

このように、アマチュアの空中急停止を始めとして、極微低接圧期間や衝突に起因しない復帰時バウンスの存在を実映像として確認し、そのメカニズムを考察できたことは、復帰時の接点劣化要因を考える上で有意義であった。

勿論、すべてのリレーにおいて、アマチュア停止や電磁要因バウンスが発生するものではなく、発生しても接点劣化に直結するものではない。なぜなら接点劣化は負荷との適合性により、大きく影響されるからである。この点はお断りしておきたい。

今後は、今回得た知見を基に、電磁要因バウンスが発生しにくいリレーの開発にも、寄与していきたい所存である。