

交流電車のパンタグラフ上昇時に発生するサージ電圧の抑制対策

車両制御技術研究部 駆動制御
主任研究員 廿日出 悟

1. はじめに

交流電車の車体には車上機器の帰線電流、遮へい電流、主回路電流などさまざまな電流が流れる¹⁾。この車体にサージ電圧が発生し、車上機器が損傷する被害が起きている。

車体サージによる被害は同電位であるべき車体と台車との間に数 kV の電位差が発生し、機器、特に車体～台車間を接続する機器が損傷を受けることである。また、サージが地上に流出して地上機器が破損した例や隣接番線の車両に搭載されている機器が破損した例もある。さらに、最近では電子機器の多用に伴って、台車と接続しない電子機器が損傷する例も報告され、今後サージ電圧による被害が増大する可能性がある。

本発表ではこれまで研究を行ってきたサージ電圧の抑制対策や対策実施にあたっての留意点を周辺技術とともに述べる。

2. サージ電圧による影響

サージ電圧による被害は昔からあったが、現在とは様相が異なる。近年のサージの特徴は車体に発生するサージであり、被害機器も異なっている。

2.1. サージ電圧の昔と今

サージ電圧による影響は過去と現在で以下のように異なっている。

過去：主回路にある遮断器の開閉サージにより主回路機器が損傷する。

現在：主回路で発生したサージが車体に伝搬し、制御機器などの電子機器が損傷する。

2.2. サージ電圧の発生メカニズム

発生メカニズムを図 1 に示す。パンタグラフ上昇やセクション通過、VCB(真空遮断器)の入切など特別高圧ケーブル(特高ケーブル)の電圧が急変すると、特高ケーブルの遮へい層に電圧が誘起される。遮へい層は車体と接続されているため、誘起された電圧は車体電位の変化となる。この車体電位の変化が車上機器に影響を及ぼし、誤動作や機器損傷の原因となる。

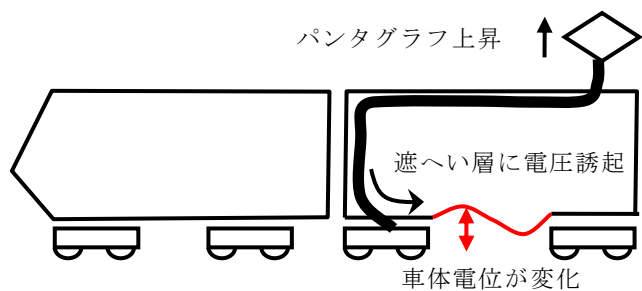


図 1 サージ電圧発生メカニズム

2.3. 影響を受ける機器

サージ電圧によって影響を受ける機器は以下のとおりである。

影響大：車体と台車を接続する電子機器(各種センサ、電磁弁ドライバなど)

影響小：車上電子機器(放送装置、表示器、電源装置)

影響小の機器には情報伝送を使用している機器が該当する。情報伝送のための電線は車間や車

内を長距離配線するため誘起電圧が大きくなる傾向にある。最近になって被害報告があったため、今後はこれら影響小の機器についても注意が必要である。

3. サージ電圧対策の開発²⁾

車体に発生するサージ電圧対策は発生源側(特高回路)と伝搬側(車体・接地回路)の双方で対策すべきであるが、発生源側(特高ケーブルやパンタグラフ)の対策は費用や効果から対策不可能と判断し、伝搬側の対策を開発した。本節では対策のカギであるサージの性質、対策手法の例や対策の効果について述べる。

3.1. レールの電位勾配

サージ電圧発生時にはレールに大きな電位勾配が発生する。これはレールの素材が鉄であるため、サージ電圧の周波数において強い表皮効果が発生することから、レールにはサージが流れにくくなるためである。レール電位はパンタグラフのある車両が最高地点となり、先頭車に向かって電位が下がる(図 2)。一方、車両はアルミニウム車体やステンレス車体であり表皮効果が小さく、サージが流れやすいため電位勾配が小さい。結果として先頭車に近づくほど車体～レール間の電位差は大きくなる(図 2 において電圧は絶対値ではなく相対値で表示している)。

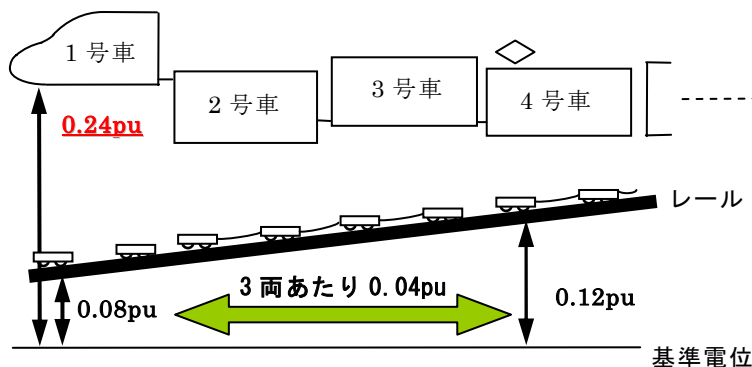


図 2 サージ電圧発生時の電位分布

3.2. 抑制方法の考え方

3.1 節に示したようにレールに電位勾配ができ、先頭車の電位差が最も大きくなることから、編成の先頭車にサージ対策をすべきであることがわかる。また、サージは周波数が高いことから、車両は分布定数回路のような応答をする。サージは先頭車において反射し、最大で 2 倍の電圧となることがある。こちらからも先頭車にサージ対策を行う必要性が導かれる。

サージの周波数が高いことは、配線それ自体のインピーダンスによっても電圧が大きくなることを意味する。よって配線は極力短くし、素子を挿入する場合でも高周波特性の良い素子が必要となる。

3.3. 開発した対策(例)と効果

開発した対策を表 1 に示す。どちらも先頭車に対策するものである。隣の車両に対策しても効果がないことは試験で実証済である。

表 1 開発したサージ電圧対策(例)

方式	図 (先頭非接地車 に対策した場合)	備考
コンデンサ ($1\mu\text{F}$)で車 体一台車間 を接続		低圧試験の結果 $0.1\mu\text{F}$ では効 果無し。
炭化珪素 (SiC) 接地 抵抗器で車 体一台車間 を接続		現用接地抵抗 器：質量 16kg で高周波特性悪 い

これらの方法は試験では先頭車のサージ電圧が 50%減少し、隣の間車車のサージも 25%減少した。中間車のサージが減少したのは先頭車をサージが流れた結果、レールの電位勾配が減少したことによるものと考えている。

4. 車体サージを避けるための配慮

前節では車体に施すサージ電圧対策の開発について述べたが、サージ電圧対策は機器側の対策も必要である。また、対策の実施にあたっては留意点があるのでここで述べる。

4.1. 車両側の対策と配慮

3.2 節にも述べたが、車両側への対策するにあたっての留意点は以下の二つである。

- ・ 接地線は極力短くする
- ・ 可能であれば先頭車の先頭台車、先頭軸を接地する

この両者が同時に満たせない場合(例えば先頭台車に接地した場合に配線が長くなるが、後位台車であれば接地線を短くすることができる)は接地線を極力短くすることを優先する。もし先頭車に対策できない場合は次節の緊急対策を取ることが可能である。

4.2. 緊急対策

車両に接地線を取り付ける際、接地装置の追加が必要になるなど工事の手間が増加する場合がある。そのような場合は緊急対策として図 3 のような方法がある。コンデンサ接続の場合、サージのみを流すため、台車枠に接続しても軸受損傷の可能性はほぼない。この方法も試験で表 1 の対策と同様の効果があることが分かっている。緊急対策後に実績を積みればそのまま恒久対策としても実施可能な方法である。

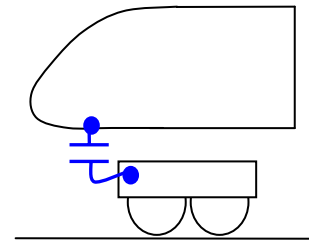


図 3 車両への緊急対策

4.3. 機器側の対策と配慮

機器側では発生したサージ電圧の直撃を受けないように絶縁と接続を工夫することが必要である。図 4 は台車～車体間を接続する機器の対策例である。

車上機器の電源はマイナス側が車体とつながっている。そのため基準電位は車体側にとるのが基本である。そのため台車側の部品は台車と絶縁する。この場合サージ電圧が台車側の部品にかかるため、部品取付には十分な絶縁耐圧が必要である。

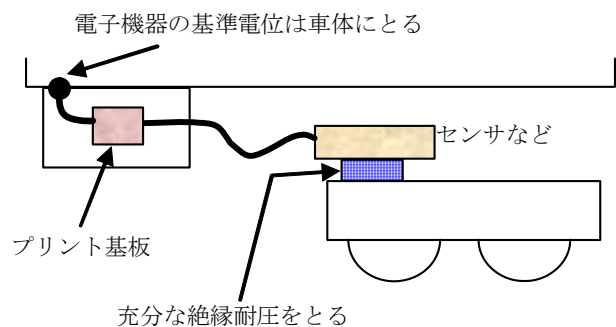


図 4 車上機器のサージ電圧対策

また、機器内で絶縁電源を使用した場合や情報伝送装置など車体から絶縁された部品を使用する場合、車体に伝搬したサージ電圧が絶縁された部品へ誘導電圧を引き起こすこと注意が必要である。誘導電圧はサージ電圧より低い、サージ電圧の半分程度の電圧が誘導された例もあり、機器全体で一定の耐圧が必要である。

5. 周辺の話題

サージ電圧対策はこれまでの車両が培ってきた軸受損傷対策と相反する面がある。軸受損傷対策の概要とサージ対策との両立のための提案について述べる。

5.1. 軸受損傷対策の経緯

軸受損傷のトラブルの多くは車体に帰線電流が吸い上がることが原因である。そのため対策として接地抵抗器の追加³⁾や接地配線長さの均等化、台車絶縁の強化が行われた。これらは電流を流しにくくする対策であるため、サージ電圧にとっては逆効果となっている。

5.2. 軸受損傷対策とサージ電圧対策の両立

現在ある接地は 5.1 節に述べたように軸受損傷対策として確立されたことから、サージ電圧対策としては不十分である。

軸受損傷対策とサージ対策の両立をはかるためには、両者の性質を利用する必要がある。軸受損傷を引き起こす電流は帰線電流であり、交流電車では 50/60Hz である。一方、サージは 100kHz 以上の高周波である。両者の周波数が異なることを利用することで両立できる。

図 5 に例を示すように、サージのみを流す素子であるコンデンサで接地することによって軸受損傷対策とサージ対策を両立することが可能である。コンデンサは 50/60Hz では極めてインピーダンスが高く (1 μ F で約 3k Ω になる)、主回路電流は接地抵抗器のみを流れる。サージはインピーダンスの低いコンデンサ側を流れ、サージ電圧を抑制できる。

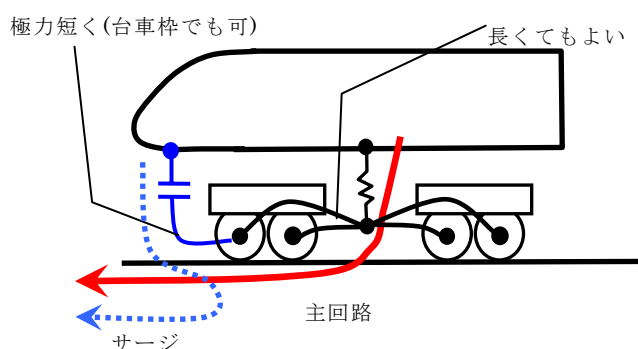


図 5 軸受損傷対策とサージ電圧対策の両立

6. まとめ

交流電車における車体サージの発生原理とその抑制策、実施上の注意事項を報告した。対策にあたっては車種毎に接地回路が異なることから、主回路電流をはじめとした各電流の経路をよく把握して実施することが望まれるが、大別すると以下のようなになる。

○車両側では車体に発生したサージ電圧を抑制するために先頭車を接地することが必須である。

接地に際し接地線は極力短くし、コンデンサまたは抵抗で接地する。

○機器側ではサージ電圧の影響を避けるため、機器のアースを車体基準として台車に取り付ける部品は取り付け絶縁を強化する。機器内部では絶縁電源や伝送回路などの耐圧を充分とる。

今後も車両の機能向上に伴い交流電車に搭載される電子部品が増えることは必然である。サージ電圧による被害は車両製作後にトラブルが発生することが多いため、対策が困難な実状もある。本発表がサージ電圧による被害を事前に防ぐための一助となれば幸いである。

参考文献

- (1) 廿日出：車両からレールまでの電気の流れ，RRR，Vol.66，No.9，2009.10
- (2) 廿日出：交流電車の車体に発生するサージ電圧の要因と低減手法の開発，鉄道総研報告，Vol.22，No.9，2008.9
- (3) 金田他：新幹線電車1次接地電流の分布，鉄道総合技術研究所速報，No.77-6,1977.2