

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

電気設備の境界： 交流50/60Hzセクションを高速で通過する

北陸新幹線では、他の新幹線と異なり、50Hzで電源が供給される区間と60Hzで電源が供給される区間があります。その境界では電源の50Hz/60Hzを切り替える必要があるため、電源を切り替えながら新幹線車両が高速で通過するための技術が適用されています。ここでは、電力設備および信号設備に関してどのように設備を構成したのか、すでに導入済みの関連技術の解説を交えて紹介します。

北陸新幹線の概要

北陸新幹線は全国新幹線鉄道整備法に基づき、整備計画が決定された整備新幹線の1つであり、東京から長野、富山、金沢、福井を經由して大阪を結ぶ計画の路線です。東京～高崎間は東北・上越新幹線と共用し、高崎～長野間が平成9年10月に開業しました。現在延伸工事中で、長野～富山～金沢間が平成26年度末を目標に開業のための準備が進められています。

北陸新幹線が電気設備から見て特徴的なのは、東海道・山陽新幹線が60Hz、東北・上越新幹線が50Hzで電源が供給されるのに対し、北陸新幹線では50Hz/60Hzの両方で電源が供給されるというところにあります。

おおまかには群馬県内が東京電力の50Hz電源、長野県内が中部電力の60Hz電源、新潟県内が東北電力の50Hz電源、富山・石川県内が北陸電力の60Hz電源となります。長野県内では軽井沢駅の先にある新軽井沢き電区分所（SP：sectioning post）で東京方の50Hzと長野方の60Hzとの間で切替を行います。延伸区間では上越妙高駅（新潟県上越市）の先にある新高田SPおよび糸魚川駅（同糸魚川市）の先にある新糸魚川SPにおいて50Hzと60Hzの切替が行われます。

これらの電源が突き合わせとなる箇所では、車両の制御をそれぞれの電源に合わせて切り替える必要があります。その仕組みについて解説していきます。



寺田 夏樹
Natsuki Terada
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
主任研究員
[専門分野] 軌道回路、ATC、信号システム



赤木 雅陽
Masataka Akagi
電力技術研究部
き電研究室
副主任研究員
[専門分野] き電システムの保護技術、電気機器の劣化検出技術



横田 倫一
Rinichi Yokota
(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
東京支社 電気第二部
信号第二課 課長補佐
[専門分野] 軌道回路、ATC

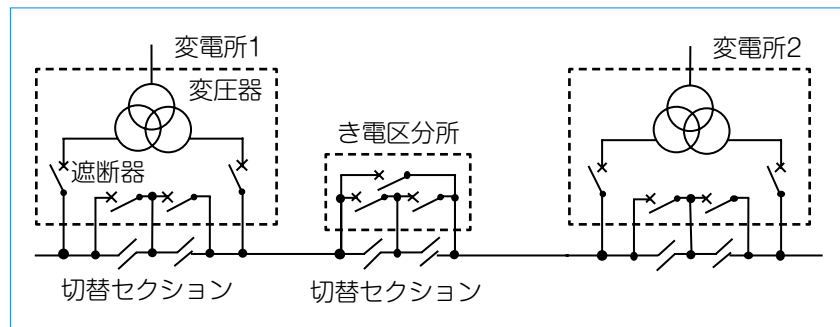


図1 交流き電回路の構成例

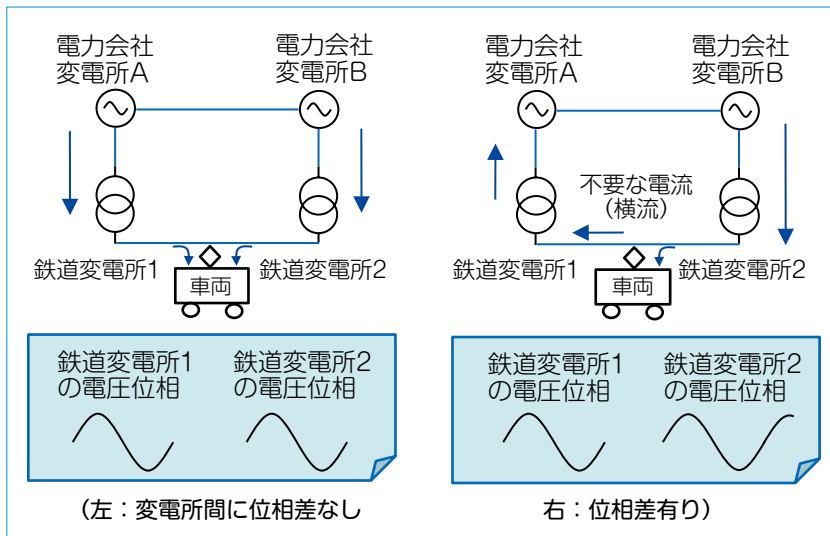


図2 交流き電回路と横流

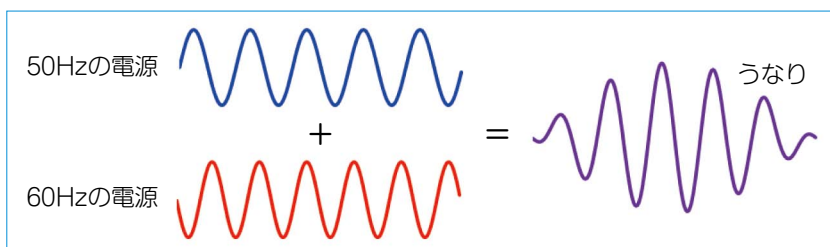


図3 うなりの発生(異周波混触)

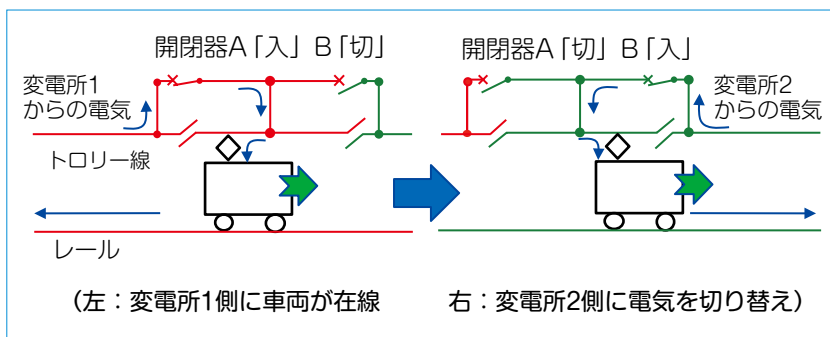


図4 切替セクション通過時の電流経路

交流き電回路と横流

図1に交流き電回路の構成例を示します。交流き電回路では通常片送りき電と呼ばれる構成をとっており、車両の走行に必要な電流は変電所1ないし2のみから供給されます。

変電所1と2の回路をつながず突き合わせとする理由はいくつかありますが、代表的なものとして横流(変電所

と変電所をまたぐ不要な電気)の存在が挙げられます。

図2で示すように変電所1と2でそれぞれある電圧値と位相の交流を電力会社から受電しているものとします。変電所1と2の電圧値と位相が同じ場合(図2左)は、変電所1と2からそれぞれ車両に向かって適切な量の電流が供給されるため特に問題が生じません。

一方、電圧値と位相が異なる(図2右)と、車両の走行には寄与しない不要な電流が変電所2から1(あるいはその逆)に向かって流れ出してしまう、き電回路の保護や省エネルギーの観点で支障となります。

さらに、変電所1と2の周波数が違うとより大きな問題が生じます。例えば変電所1が50Hz電源で変電所2が60Hz電源の場合が該当します。異なる周波数の電源が混ざると、図3に示すように「うなり」と称する最大値が定期的に変動する波が生じる現象が起こります。「うなり」は過電圧や周波数の誤検知などさまざまな問題を引き起こすため、絶対に避けなければならない現象です。これを「異周波混触現象」と呼んでいます。

切替セクション

さて、車両は変電所1の区間から変電所2の区間に移る際に電源系統を切り替えなければなりません。しかし、不用意に切り替えると先程述べたように二つの回路がつながり、横流が流れて問題となります。

そこで、新幹線では切替セクション、在来線ではデッドセクションと呼ばれるセクションでトロリー線の電氣的な絶縁をとりつつ車両が走行できるようになっています。図4に切替セクション通過時の電流の経路を示します¹⁾。切替セクションでは、列車の通過に連動して開閉器が自動的に開閉することで電気を供給する変電所が切り替わるため、車両は力行したままセクションを通過することができます。一方、デッドセクションでは列車の通過に連動した開閉器は設けられていないため、車両はセクション通過時に惰行する必要があります。

なお通常の新幹線では、トロリー

線のみ電源系統を切り替え、レールは変電所1の区間と変電所2の区間で共用していますが、北陸新幹線の50Hz/60Hz切替箇所では、後述する信号用の電流が適切に流れるように、トロリー線とレールが同時に切り替わるような構成となっています。

ATCとそれを支える仕組み

新幹線の運行を支えるものにATC (Automatic Train Control: 自動列車制御装置) があります。新幹線では、200km/h以上の高速で走行しますから、沿線に信号機を立て、それを見て運転するような仕組みができません。そこで運転台に許容される速度を示す方式となっています。さらに、先行する列車に近づいたときなどには自動的にブレーキがかかり、許容速度にまで減速させる仕組みを採用しています。

ではこの許容される速度の信号をどうやって車両に送っているのでしょうか？実はレールを使って信号を送っています。レールに電流として信号を流し、車両についているアンテナで電流を受信して、許容される速度を解読しているのです。

ところが、レールには電車を動かすための電流も流れます。交流電化区間においては、電源周波数が50Hzであれば50、150、250Hzといった周波数の電流、60Hzであれば60、180、300Hzといった周波数の電流、つまり電源の奇数次高調波が流れます。この電流と信号電流の周波数が近いと信号を正しく解読できません。周波数を高くすれば妨害は小さくなるのですが、レールを使った場合、せいぜい数kHz～数十kHzぐらいまでの信号電流しか送ることができません。そこで電源高調波を避けて信号電流を流す必要があります。

ところが、まだ問題があります。電

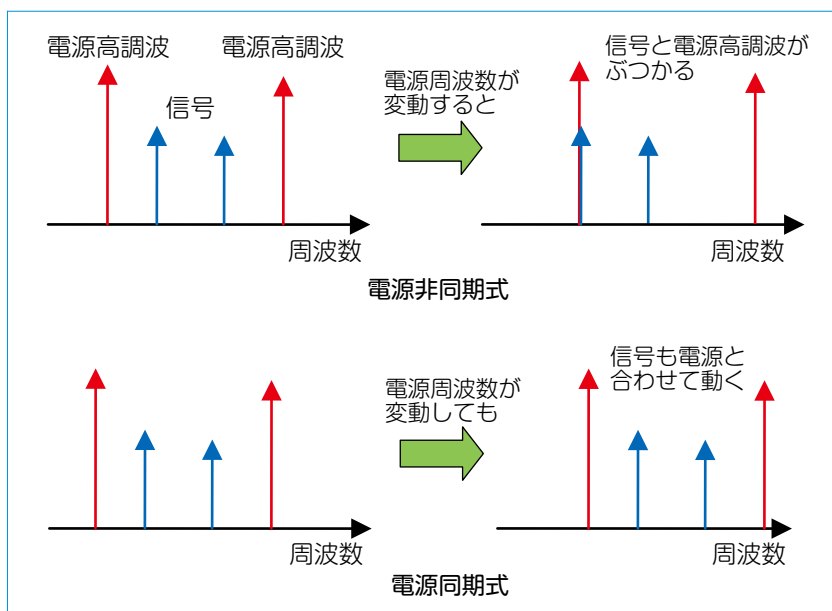


図5 電源同期式信号

源周波数は電力会社がずれないように管理していますが、この周波数が少しずれても高調波の周波数は大きくずれてしまうのです。例えば50Hzの電源が1%、つまり0.5Hzずれたとしましょう。この21次高調波である1050Hzは $0.5 \times 21 = 10.5\text{Hz}$ ずれてしまうのです。そうすると1040Hzや1060Hzを信号周波数とした場合には妨害を受けることになります。

そこで電源高調波そのものを信号の仕組みに取り入れることにしました。具体的には電源高調波からの周波数の差に応じて信号周波数となるようにしました。電源に同期して信号周波数が決まることから、電源同期式と呼びます(図5)。また、後述するデジタル式と区別するために、最近ではアナログ式と呼ばれます。

この電源同期式信号が東海道新幹線の開業時に導入されました。また、昭和57年開業の東北・上越新幹線にも導入されました。

ただし、東海道・山陽新幹線は電源が60Hzなので60Hzに合わせた信号、東北・上越新幹線は50Hzなので、50Hzに合わせた信号になっています。

表1に基準とする高調波の周波数(搬送波周波数)を示します。ここでは北陸新幹線での周波数も併せて示しました。L線と呼ばれる方向では、基準となる周波数より何Hz低い周波数であるかどうかを情報に使い、U線と呼ばれる方向では逆に基準となる周波数より何Hz高い周波数であるかを情報に使います。2つの周波数がありますが、この2つの信号を交互に使います。またそれとは別に情報を増やすために使われているのが副信号です。

北陸新幹線長野開業時のATC

北陸新幹線では冒頭で紹介したように長野・富山・石川県内は60Hz、群馬・新潟県内では50Hzが使用されています。電源の切替方法は切替セクションを応用したものというのは前述の通りですが、ここで信号に電源高調波を取り入れる仕組みが使われているため、ATC信号についても架線の電源周波数に合わせて切り替える必要があります。なお、その他の新幹線では電力会社間で連携が取られているため、位相は異なっても電源周波数は一致しており、ATC信号の切替の必要はありません。

表1 従来のATC(アナログATC)の搬送波周波数

	主信号		副信号
	博多→東京→盛岡 高崎→長野(U線)	盛岡→東京→博多 長野→高崎(L線)	
50Hz	750, 900Hz	850, 1000Hz	1200Hz
60Hz	720, 900Hz	840, 1020Hz	1200Hz

東北新幹線が開業する前に東海道新幹線と東北新幹線の乗り入れが検討された時は、東京都内の王子でこの切替を行うことが考えられていたようですが、実際にこの状況が初めて発生したのが、平成9年に北陸新幹線高崎～長野間が開業する時の新軽井沢SPです。

新軽井沢SPでは、切替セクションの中セクションで列車を検知して、電源を切り替える時に信号も同時に切り替えることにしました。具体的には50Hz用の信号を送る装置と60Hz用の信号を送る装置を両方用意しておき、列車の検知と同時にレールに接続する信号装置を切り替える、という方法が採用されました。

これで無事解決と言いたいところですが、1つ問題がありました。ATCはレールに流れる電流をアンテナで受ける仕組みですが、実は隣のレールの電流についてもアンテナで受けてしまう可能性があるのです。通常の上下線の場合では、表1にあるように上り用の信号と下り用の信号が分けてあるので問題はありません。しかし、電源を切り替える箇所では電源高調波そのものが妨害になりうるのです。例えば50Hzの15次高調波750Hzは60Hz区間の信号(720+30Hz)に対応します。

そのため、妨害を小さくしたり、信号を妨害に打ち勝つように大きくしたりするためにさまざまな対策が行われました。詳細は省略しますが、参考文献²⁾にその時の対策の考え方や試験結果が示されています。

北陸新幹線延伸区間のATC

北陸新幹線長野開業後、ATCに大きな変化がありました。それまでのATCは電源高調波から信号周波数ほどの程度離れているかを情報としていたのですが、その後デジタル信号(電文)を使うようになりました。デジタル信号を使うと情報を増やすことができます。これにより、制御を高度化して列車間隔や走行時分の短縮を行うことができるようになります。

信号システムを変更する場合は、これまでと違う周波数の信号を使うことが多いのですが、東海道新幹線のATC-NSや九州新幹線のKS-ATCでは、高調波電流の変動が小さくなるように周波数を600Hz前後と低くし、電源に同期しない信号を採用しました。一方、東北・上越新幹線で採用されたDS-ATCでは周波数を1500, 1600Hzと従来よりも大きくしたこともあり、電源同期式の仕組みが採用されました。この1500, 1600Hzというのは50Hzの30, 32倍ということで、50Hz電源に合わせたものです。

北陸新幹線の延伸区間でもDS-ATCが採用されることになりましたが、そのままの周波数では60Hz区間に対応できないため、新たに1560, 1680Hz(60Hzの26, 28倍)が採用されました³⁾。

そうすると、やはり電源を切り替える箇所では信号を切り替える必要が出てきます。

ここで、装置の処理能力が向上したこともあり、信号装置を2種類用意するのではなく、装置そのものが架線の

状態に応じて信号を自動的に切り替える仕組みをつくりました³⁾。なお、このシステムは前述した新軽井沢SPについても従来のシステムに替えて適用されて、延伸区間開業に先立ち、使用開始されています。

装置が自動切替をする仕組みはもう一つの利点を生みました。それは50Hz/60Hz両用システムを可能にしたということです。

北陸新幹線の延伸区間のうち、異周波切替セクションである新高田SPと新糸魚川SPとの間の40kmの区間では、通常は50Hzで供給される場所、変電所異常時などにおいて、隣の変電所から電源を供給する延長き電を行う場合には60Hzが供給されます。

当然のことながら、この区間では信号設備についても電源に合わせて切り替える必要が出てきます。この切替は、異周波切替セクションの仕組みを流用することで、特に信号指令で取り扱いをしなくても、架線の電源が切り替わると自動的にATC信号の切替が行えるような設備とすることができました。これにより、40kmの間にわたって、二重の設備を設けることなく、両用できる仕組みが整いました。変電所異常時であってもATCによって列車を動かすことが可能となったのです。[RRR]

文献

- 1) 赤木雅陽：変電所から車両までの電気の流れ, RRR, Vol.66, No.10, pp.14-17, 2009
- 2) 小澤吉樹, 渡辺郁夫, 奥谷民雄, 犀川潤：北陸新幹線異周波電源突合せ区間の誘導障害試験, 鉄道総研報告, Vol.12, No.2, pp.17-22, 1998
- 3) 寺田夏樹, 横田倫一, 須貝孝博, 葛西隆也, 武田真吾：北陸新幹線50/60Hzき電両用区間対応DS-ATCの開発, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.17-22, 2012