

簡易な符号伝送による 低周波軌道回路の耐ノイズ性能向上

寺田 夏樹* 福田 光芳*

Improvement of Low Frequency Track Circuit against Noise using Simple Encoding

Natsuki TERADA Mitsuyoshi FUKUDA

The allowable value for the currents generated by vehicle's electric equipments is set at a very small level against preventing the fault operation of the track circuits for long distance, which is becoming an obstacle to develop new vehicles. To resolve this issue, we have studied countermeasure to enhance tolerance of track circuits for long distance against vehicle's noise. In establishing the countermeasure, signals have been encoded, and binary phase shift keying has been adopted because it is easily applicable to existing signal generators. We have also reported the study result on how many frames to be checked for the track circuits to be stable in a normal state and to be prevented from unsafe failure in an abnormal state.

キーワード：EMC，長大軌道回路，BPSK 変調，符号検定，危険側誤動作防止，安定動作確保

1. はじめに

近年車両機器においては、VVVF 装置や SIV（静止型インバータ）装置に代表されるパワーエレクトロニクス技術が導入されている。これらの機器に対し、軌道回路が誤動作しないための妨害許容値が小さいことが問題になっており、最近の車両開発における障害の 1 つとなっている。特に長大軌道回路においては妨害許容値が非常に小さい。現状では車両を開発する際において対策を実施しているが、既存の軌道回路に対しても何らかの対策が望まれる。そこで長大軌道回路を対象に、現場機器を最大限利用しながら送信信号の符号化を実施して検定を行うことで、長大軌道回路の危険側誤動作を防止し妨害耐量を向上させるという方策について検討を行い、試作装置による検証を実施したので報告する。

2. 軌道回路の妨害許容値と長大軌道回路

2.1 妨害許容値

軌道回路の妨害に対する許容値には 2 つある。

- (1) 安定動作確保のための許容値 平常時（軌道回路の不均衡率を通常 10% 以内と仮定している）において軌道回路が不正に落下（列車ありと判定する）することのない妨害電流値
- (2) 危険側誤動作防止の許容値 レール破断等の障害に

より片側のレールにのみ電流が流れる 100% 不均衡時において（本来であれば軌道回路が落下すべきであるが）軌道回路が不正に動作することのない妨害電流値

主な軌道回路の許容値を表 1 に示す¹⁾。表 1 の計算では、仮定した不均衡率の下で軌道回路の最小動作電流の 1/2 を許容値としている。ここで長大軌道回路の許容値が特に小さいことが分かる。直流車両においては電車電流が数千 A に達するため、ノッチの入切に伴う過渡成分であっても 25/30Hz においては 0.3A 程度の電流が簡単に発生してしまう。このようなことも想定して長大軌道回路では 2 秒の時素リレーを接続することを標準としているが、近年の VVVF 制御車では抵抗制御車と異なり何も対策を行わない場合、2 秒以上継続してノイズが発生することもありうる。これに対して車両において低周波のノイズを低減させるための主な対策は、車両に搭載するフィルタコンデンサおよびフィルタリアクトルの大型化であるが、搭載可能な範囲で十分な効果が得られない場合もある。従って車両に対策するだけでなく、軌道回路の妨害耐量を向上させる対策も重要になってきている。

表 1 主な軌道回路に対する妨害許容値

種別	周波数	安定動作確保	危険側誤動作防止
長大	25/30Hz	3.0A	0.3A
分倍周	25/30Hz	18.0A	1.8A
商用	50/60Hz	7.0A	0.7A

* 信号通信技術研究部（信号）

特集：信号通信技術

2.2 長大軌道回路の概要

長大軌道回路は閑散線区において単線自動閉そくを実現するために開発された軌道回路である。1つの駅間を1つの軌道回路によって連続検知するのが本来の要求であり、商用周波数の1/2周波の信号(25/30Hz)を送信し(通常は分周器を使用する)、受信器は信号をローパスフィルタ(LPF)で処理して平滑化することで信号の有無を判定する。非電化区間で6km、電化区間で5kmの区間で列車を連続検知できるように設計されている。しかしながら制御長が長い一方で最小動作電圧に対応する信号電流が小さく、電化区間向けではノイズに対する妨害耐量が低い。特に最近の新製車両に関して課題となっているのは前述したとおりであり、軌道回路での対策が最も望まれている。

3. 妨害対策の検討

3.1 基本的な考え方

近年開発された一部の軌道回路では、符号検定や時分割送信などの技術により妨害による危険側誤動作防止の許容値を考えなくてもよいものとされている。従って長大軌道回路でも100%不平衡時の安全を確保できれば、危険側誤動作防止の許容値を廃止でき、車両開発の負担を軽減できるとともに、信号設備における誤動作のリスクを低減できる。副作用として安定動作確保のための許容値は下がる。ここで長大軌道回路と同じ周波数を使用し、広く使用されている分倍周軌道回路の危険側誤動作防止の許容値が1.8Aであるため、安定動作確保のための許容値の目標を1.8Aとして検討を行った。

低コストかつ簡便に妨害対策を施すことが重要であるため、次のような方針に従って検討を行うこととした。

- a) 現行の長大軌道回路の周波数とし、伝送特性もそのまま利用する。現場機器についてはそのまま使用する。
- b) 符号に従って信号を変調し、信号波の有無だけでなく符号の照合によって、軌道回路の在線判定を行う。
 - ・レール破断時に帰線ノイズで不正動作することを防ぐことができる。
 - ・危険側誤動作に対する妨害耐量が大きくなる。
- c) 符号化はノイズが擬似符号になる可能性を考慮に入れ、交番信号(0と1の繰り返し)以外の符号化を行う。

なお長大軌道回路では妨害許容値が小さいという問題の他に短絡不良等の問題を抱えているが、本手法の目的はあくまでも妨害対策である。短絡不良時にはS/Nが悪くなるため、この方法を用いれば結果的に短絡不良が改善される可能性もあるが、本来は短絡不良に対しては別の面からの対策が必要である。

3.2 変調方式の検討

符号化を行うための変調方式について検討を行った。

これまで軌道回路に採用されている変調方式としては断続変調(AM変調)やMSK(Minimum Shift Keying)変調が代表的である。これらは車両に速度信号等の情報を送る目的あるいは妨害対策として使用されている。

軌道回路信号をデジタル変調する場合にはMSK変調がよく使用されている。しかし長大軌道回路では送信器として商用周波の電流を直接分周する分周器が用いられており、この出力をMSK変調することは容易ではない。MSK変調方式の場合はまず信号波形を生成し、これを増幅器で増幅して送信すべきである。

一方断続変調では、信号の有無に0, 1を割り当てるのではなく、断続させる変調周波数を変化させ、周波数に情報を持たせる方法が採られている例が大部分である。この方式ではS/N=1程度まで許容できるとされているが、危険側誤動作防止の許容値を廃止できないため、候補から外した。

信号の有無に0, 1を割り当てるASK(Amplitude Shift Keying)について適用できるかを検討したが、軌道回路が落下状態と動作状態との間を遷移する場合に、短絡により信号断なのかbitが0のために信号断なのかを本質的に区別できない問題がある。長大軌道回路では搬送周波数が25/30Hzと低いために変調周波数についても小さくせざるを得ず、1bitに対応する時間が長くなる。変調周波数に情報を持たせる場合には、送信断の時間は変調周期の半分の時間であり問題はないが、積極的な符号化を行った場合、0が続くとそれだけ動作判定の時間が長くなるため符号選択の制約となる。

そこで送信信号の極性の反転の有無に情報を割り当てることを考える。極性の反転は半導体スイッチ等により容易に実現できる。この方式は0度と180度の2つの位相に情報を割り当てるものであり、位相変調方式の1つであるBPSK(Binary Phase Shift Keying)変調に相当する。ASKと比較するとBPSKの方が誤り率、電力効率ともよい。またASKで問題となる短絡状態と0との区別も可能となる。

一方BPSKをMSKと比較すると、理論的には同一伝送速度に対する被変調波のメインローブの帯域が4/3となる上、サイドローブの減衰も小さいため、一見不利に見える。しかし同一の伝送速度、C/N、復調方式に対する理論的な誤り率は同等であり²⁾、またビットレート程度の帯域があれば実際には信号の復調は可能である。BPSKがMSKに対して完全に優位にあるわけではないが、切替スイッチによれば増幅器が不要であり、送信器の設計など新規製作部分を大幅に減らせるという利点を重視して、BPSKを前提に検討を行うこととした。なお増幅器を使用する場合には増幅する前の信号波もしくは被変調波に適切なフィルタを使用することでMSKと同程度の帯域にできる。

PSKの復調方式としては、送信側の被変調波に同期した信号を生成してその同期信号を元に位相を判定する同

同期検波方式と、1bit分の前の信号との位相差を検出して位相を判定する遅延検波方式とがある。同期検波には位相基準が必要であるが、長大軌道回路では、送受信器の間で信号高圧等により位相が一致していることは想定されていないため、遅延検波を前提とする。遅延検波を実施するには1bit分だけ前の値との積をとれば、同位相であれば正、逆位相であれば負となることを利用する。

図1に遅延検波の例を示す。200ms毎に1bitとして00110011という信号を送信している(図1(a))。この場合400ms毎に位相が切り替わる。受信側では1周期前(200ms)の信号との乗算を行う。1周期前と同位相では正、逆位相では負となる(図1(b))。これに対してLPFをかければ図1(c)のように正負による符号判定が可能になる。実際には1の場合は前の信号の極性と同極、0の場合は異極として送信する。そうすれば乗算結果が正であれば1、負であれば0というように復号可能である。

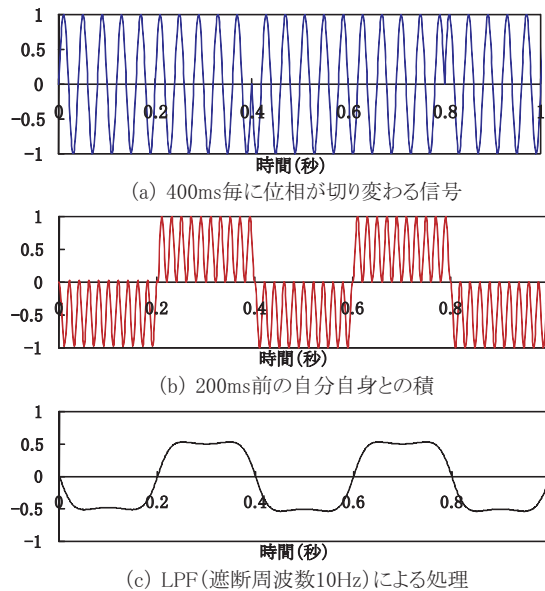


図1 BPSK変調および遅延検波の例

3.3 符号語の検討

符号語については搬送周波数が低いためどこから読み始めてもよいように巡回符号³⁾として1つの符号を連続して流しつづけるものとする。また長大軌道回路という前提に立つと列車検知ができればよく、特に多情報を伝送する必要が無いため、軌道回路毎に固定符号と考える。伝送波形を考えた場合に各bitに0と1のどちらを符号に採用すべきかについて基本的には大きな制約はないが、位相の切替がないと復調時において同期がとりにくいいため、0が長く連続する符号は避ける。また、1だけの符号や0と1の交番信号も、定周期で位相が反転するだけとなるため、擬似信号の可能性を極力排除するために避ける。その前提で自分自身をシフトさせた信号とのハミング距離を考えた場合に4以上になる符号は最小7bitであり、具体的には00010111, 01001111, 01000111, 00101111

が該当する。

しかしながら固定符号で誤り検出が可能であればよい前提であればハミング距離にこだわる必要はないため、動作時間等を考慮して6bit符号の010011と001011で伝送速度や検定方法の検討を行うこととした。

3.4 符号の伝送速度の検討

符号の伝送速度については大きければ大きいほど検定を行う上で有利になるが、受信器の入力フィルタの帯域を広くする必要がある。一方この帯域については耐妨害性能向上の観点からは極力狭いものとすべきである。これについては車両に搭載されるフィルタリアクトルの特性を踏まえ、搬送波±5Hz程度の範囲に収める方針としたため、伝送速度は10bps程度が限界となる。

その上で変調や遅延検波の実装の容易さから1bitの時間は搬送波周期の整数倍を前提とした。搬送波25Hzと30Hzで伝送速度を共通とする場合には1bitを5波(25Hz)ないし6波(30Hz)として200ms/bit(5bps)とすればよい。この場合帯域10Hzのバンドパスフィルタにおいてメインローブが通過帯域内に収まる。これ以上伝送速度を早くするには25Hzと30Hzで異なる変調速度とする必要があるが、帯域が10Hzに収まるのは搬送波25Hzでは3波長(8.33bps)、30Hzでは4波長(7.5bps)が限界である。これに対して帯域10Hzの入力フィルタで問題がないかを検討してみた。

搬送波25Hzに対して8.33bpsとしたときに10Hzの帯域に収まるエネルギーは搬送波のエネルギーの86%程度で-0.66dBとなる。つまりフィルタをかけることによる受信レベルの低下は1dBに満たないこととなる。一方被変調波の1bitあたりのエネルギーとノイズとの比については、入力フィルタをメインローブの帯域とした場合の-0.3dB程度である。従って誤り率等に多少の影響はあるものの実現可能であるため、この伝送速度とした。

3.5 落下から動作に移移する場合の検定の検討

3.5.1 危険側誤動作に関する検討

100%不平衡時において軌道回路が落下している状態から雑音による危険側誤動作を防止するための検定について考える。理想的には現行長大軌道回路に挿入する時素である2.0秒程度で動作するのが望ましい。6bit, 7.5bpsとすると2~3符号語(1.6~2.4秒)がこれに相当する。

信号システムの危険側故障率の目安は $1 \times 10^{-9} \sim 10^{-10}/h$ 程度(10~100万年に1回)とされている⁴⁾。そこで、100%不平衡の発生確率を含めて $1 \times 10^{-10}/h$ 程度の誤り見逃し率となるように検討を行う。実際の障害発生状況を鑑み、1年間に1軌道回路で1時間だけ100%不平衡が発生すると仮定する。100%不平衡の発生確率は $1/(24 \times 365) = 1.14 \times 10^{-4}/h$ であり、 $1 \times 10^{-9} \sim 10^{-10}/h$ をこれで割ると $8.76 \times 10^{-6} \sim 10^{-7}$ となる。そこで1時間妨害を受信し続け

特集：信号通信技術

実際の誤り見逃し率が同程度になるように検討する。

信号が受信されない場合に雑音により bit が一致する確率を 1/2 とする。雑音が 6bit の符号のいずれかに一致する確率は $6 \times (1/2)^6 = 0.094$ で、3 回中 2 回一致で動作判定する場合の誤り見逃し率はおよそ ${}_3C_2 \times 6 \times (1/2)^{12} = 4.32 \times 10^{-3}$ となる。1 時間で 3 符号語が受信される回数は $3600/2.4 = 1500$ であるから、1 時間に 1 回誤る確率は 1 を超えてしまう。この値は 5 回中 4 回一致 (4 秒) としても 1.59×10^{-3} (5 符号あたり 1.77×10^{-6}) であり、誤り見逃しを防ぐにはさらに工夫が必要である。

例えば雑音が符号と同じ周期で位相が反転する確率は低いため、復調する受信波の 1bit 分の時間を評価し雑音と信号波を区別すればよい。符号判定は乗算結果を LPF で処理した結果の極性によるから、LPF 出力の極性が変化する時間を調べれば、この周期は評価可能である。同符号が続く場合にはそれらを合わせた時間を評価すればよい。検討対象である 010011, 011001 の各符号については正となるのが 2 回、負となるのが 2 回となり、雑音により 0/1 の判定が一致した場合に各 bit の周期も一致する確率を仮に 1/6 とすると、1 符号あたり 7.72×10^{-4} 、2 符号で 5.95×10^{-7} だけ危険側誤動作の確率を減らすことができる。よって全体の危険側誤動作の確率は ${}_3C_2 \times 6 \times (1/2)^{12} \times (3600/2.4) \times 5.95 \times 10^{-7} = 3.86 \times 10^{-6}$ となり、目標を達成できることになる。

3.5.2 安定動作に関する検討

上の検定により列車通過後の軌道回路動作が安定的に得られるかどうかを考える。1 軌道回路で 1 年に 1 回誤る確率は $1/(24 \times 365) = 1.14 \times 10^{-4}/h$ 、仮に 100 年、100 軌道回路で 1 回誤るとした場合にはこれを 10^4 で割るから $1.14 \times 10^{-8}/h$ となる。さらに列車の通過頻度を 3 分に 1 回とすると 1 時間あたり 20 回落下から動作に至るから、1 回の動作あたりの誤り率の目標としてはその 1/20 である 5.57×10^{-10} となる。

一方 BPSK 遅延検波でのビット誤り率は雑音を加法性白色雑音と仮定した場合に信号と雑音のエネルギー比 γ に対して $\exp(-\gamma)/2$ で与えられる²⁾。軌道回路の平常状態の信号電流は通常最小動作レベルの 2 倍以上であり、10% 不平衡時には軌道回路最小動作レベル相当の帰線電流値が 6.0A であるため信号相当の帰線電流値は 12.0A 以上となる。これに対して妨害電流値を 1.8A (分倍周軌道回路の危険側誤動作防止の許容値) の 2 倍である 3.6A とすると信号と妨害のエネルギー比は 10.4dB 以上となる。 $\gamma = 10(10dB)$ を適用した場合のビット誤り率は 2.27×10^{-5} 、6bit のフレーム誤り率は 1.36×10^{-4} となる。3 符号を受信し 3 回中 2 回で合格とした場合のフレーム誤り率はおよそ ${}_3C_2 \times (1.36 \times 10^{-4})^2 = 5.55 \times 10^{-8}$ となるが目標に 2 桁ほど足りない。

そこで 4 符号を受信し、4 回中 2 回迄の誤りを許容する。1 動作あたりの誤り率はおよそ ${}_4C_3 \times (1.36 \times 10^{-4})^3 = 1.51 \times 10^{-11}$ となり、1 桁の誤り率上昇を考慮しても目標

に収まる。この場合の危険側誤り見逃し率の上昇は ${}_4C_2$ と ${}_3C_2$ の比から 2 倍程度で許容範囲内である。従って 4 符号中 2 符号の一致とすれば、許容値を 1.8A とした場合であっても、ごくまれに軌道回路の動作が遅れることがあっても著しい障害には至らないと考えられる。

3.6 動作から落下に遷移する場合の検定の検討

平常時において軌道回路が動作している場合に検定で落下判定を行うことを考える。許容値や平常レベルを落下動作の時と同じと考えるとビット誤り率やフレーム誤り率は 3.5.2 項と同じ値となる。

落下状態からの動作を 1 時間に 20 回と見積もったが、ここでは常時動作と考える。仮に検定に必要な時間を 3 秒程度とすれば、必要な 1 回の検定あたりの誤り率は先の 5.57×10^{-10} に対し、さらに 1/60 となり、 9.28×10^{-12} となる。先の 4 回中 2 回誤り許容という検定を同様に適用すると 1 回の検定あたりの誤り率は 1.51×10^{-11} であり、目標には若干劣るがほぼ同程度であり、妥当と考えられる。ここでは動作時のように時間を厳密に見る必要はない。

なお、車両のノッチ入切等で帰線電流の変動があった場合には許容値として考えた 1.8A よりはるかに大きい電流が発生する。これについては許容するものとし、符号が誤る前提とする。

4. 試作装置による評価

送信信号を符号化する切替器、および受信器を試作して誤り率、送受信特性等の各種測定を行った。試作装置の構成を図 2 に示す。ここで分周器は既存の長大軌道回路用のものである。

なお試作器では製作の都合上誤り見逃し率改善のための時間判定論理は付加しなかったため、時間判定論理の有効性については内部処理のログデータを用いて処理を行い検証を実施した。

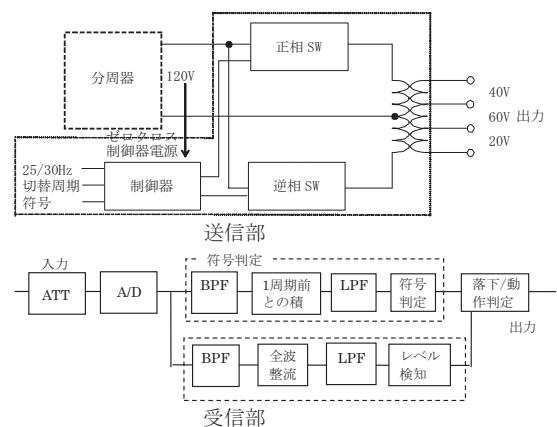


図 2 試作装置の構成

4.1 基本動作の確認

切替器を分周器出力に直接接続した場合、切替時の突入電流により切替器が過熱してしまう他、分周器の電源が不安定となる問題が発生した。これに対して現行の長大軌道回路において送信側に挿入している軌道抵抗子を分割して分周器～切替器、切替器～現場の両方に挿入すると、切替時の突入電圧を抵抗子で負担するため安定することを確認した。40～80Ω程度を分周器～切替器に挿入すればよい。

4.2 送受信特性

図3に分周器の送信電圧を120Vとして、擬似軌道回路にて漏れコンダクタンス、距離を変えながら受信レベルを測定した例を示す。0.5S/km, 5kmにおいても最小動作レベル3Vの倍の6Vが確保できていることを確認した。

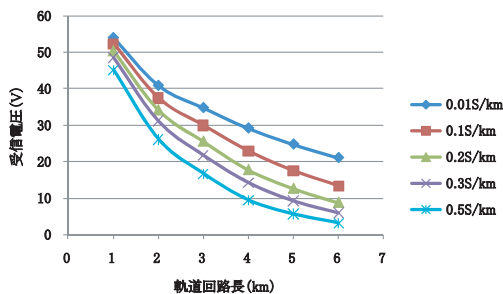


図3 受信レベル特性 (30Hz, 商用 ZB, 共振 C 43 μ F)

4.3 入力立ち上がり特性

受信器内部のフィルタ処理等による遅れを評価するため、送信器と受信器とを直接接続したうえで入力短絡し、短絡を開放した場合の受信信号および検波信号の立ち上がり方を調べた。図4に例を示す。短絡を開放した点を0秒としている。信号の立ち上がりに300msほどかかっているが、この立ち上がり時間は現行長大軌道回路受信器の動作時間の規定値0.5～1.5sと比べると200msほど短い。また実際に遅延検波の計算結果が使用できるのはそれから1bit分遅れた450ms以降である。

軌道回路としての動作時間を考えると2符号連続一致で $0.45 + 12/7.5 = 2.05$ 秒, 3符号で一致する場合でも $0.45 + 18/7.5 = 2.88$ 秒かかることとなる。判定時間を0.12秒とすると2.17～3.0秒で動作することとなる。この値

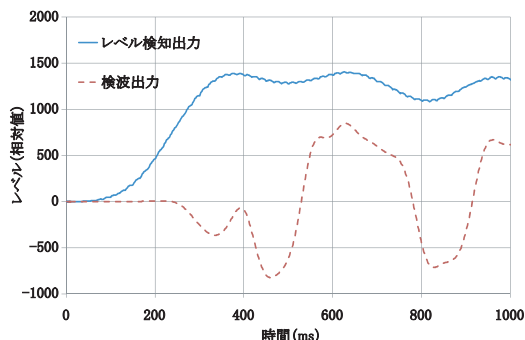


図4 立ち上がり時の内部処理波形

は検討における長大軌道回路の時素2.0秒と比べると大きいですが、長大軌道回路の受信器の動作時間0.5～1.5秒を加えると2.5～3.5秒となり、ほぼ同程度となる。

4.4 安定動作に関する誤り率測定

受信信号に対して妨害を加えたときにどの程度符号が誤るかを調査した。送信器と受信器を接続し、送信器と並列に発振器および増幅器を接続して妨害波を与えた。

4.4.1 正弦波妨害

一定振幅の正弦波を妨害として与えた場合の符号誤りについては妨害が小さければ誤りは発生しないが、妨害が一定のレベルを超えると急激に増大する。そこでそのしきい値を求めた。図5に結果を示す。なお搬送波と同一の周波数の正弦波信号を妨害として与えた場合については、搬送波と妨害波の位相差により誤りの発生仕方が異なるため、何回か実施してその最小値で求めた。

図5により受信レベルの-9dBの妨害により影響が発生することが分かる。妨害許容値は-10dBを基準として考えるものとしているが、実際にはさらに安全率として2倍と考えているため問題がないことが分かった。

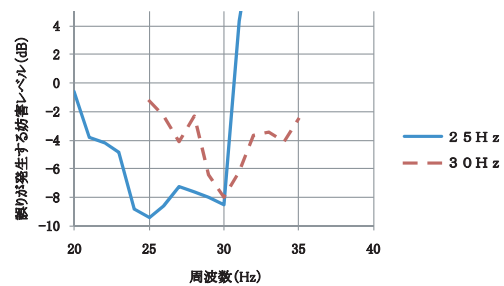


図5 正弦波に対する耐妨害特性

4.4.2 白色雑音による妨害

信号が受信される状態において、白色雑音を妨害として加えたときの、ビット誤り率を測定した。結果を図6に示す。ここで雑音のエネルギーは受信器入力フィルタの帯域幅(10Hz)で評価した。理論値と比べた場合、試作機において理論値と同一の誤り率を得るためには4dBほどC/Nを余分に見なければならぬという結果となった。仮に平常レベルに対して $10 + 4 = 14$ dB 小さい値の1/2

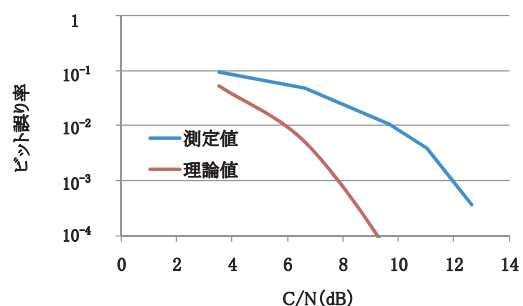


図6 ビット誤り率測定結果

特集：信号通信技術

を許容値とするとその値は1.2Aとなる。

4.5 危険側誤動作に関する誤り見逃し測定

発振器および増幅器を用いて妨害波を発生して、直接受信器に接続した。この場合送信器は接続しない。正弦波妨害に対して誤りが発生しないことを確認した上で、白色雑音に対してどの程度誤りが発生するかを確認した。

雑音レベルが小さいため軌道回路の動作には至っていないものの、単純に符号の周期毎に符号判定を行うと12bit以上連続一致している例が1時間に189回ほど発生している。また前後で3回中2回一致とするとこれが273回となる。従って雑音のエネルギーを増大させれば単純に2符号一致では安全性は確保できないことが確認された。

これに対し周期の範囲を100～166ms(±33%)とすると誤差としては12bit連続一致の例が8時間に1回、189bit中6bitの連続誤りが許容される例が3回あり、1時間に1回生じるかどうかといったところである。周期の誤差の範囲を111～155msとすれば危険側誤りをほぼなくすることが可能であることを確認した。

4.6 帰線電流による評価

長大軌道回路使用線区と同程度の列車密度の複数の線区において帰線電流を測定し、それを再生して妨害として与えたときの動作について調査した。

測定では変電所において吸上げ電流をログスキーコイルで微分波形としてデータレコーダに記録した。再生出力に積分器を用いて復元した波形を増幅し、妨害として加えた。ここで再生する波形を入力フィルタの帯域に制限することで受信器から見て帰線電流に等価な波形を再現することができる。危険側誤動作に対しては送信器を接続せずに100%不平衡相当の電流を再生し、安定動作に関しては受信器から見た送信器出力を最小動作の2倍程度とした上で、10%不平衡相当の電流を再生した。

危険側誤動作についてはレベルが小さいこともあり動作は見られなかった。レベルと関係なしに復号された符号を調べたところ、符号が1回一致する例は見られるが、2回一致については見られなかった。

安定動作についてはノッチ入切等において符号が誤ることが確認された。符号誤りは帰線電流が大きい場合に発生する傾向があり、VVVF車のみならず抵抗制御車でも発生している。しかしながら軌道回路落下には至らなかった。それ以外に問題はなかった。

これらの結果から検討している検定方式により軌道回路が帰線電流により誤動作せず、また安定的に動作することが確認できた。

5. 提案する軌道回路仕様

本報告での検討を仕様案としてまとめたものを表2に示す。

今後試作装置を沿線に仮設し、評価試験を実施する予定である。その結果を踏まえ、必要に応じて仕様に反映して深度化を図る予定である。

表2 検討結果に基づく仕様案

変調速度	8.33bps (25Hz) / 7.5bps (30Hz)
変調方式	BPSK 変調, 切替スイッチでの転極
符号	010011 001011 軌道回路毎に固定
受信器帯域	20～30Hz (25Hz) / 25～35Hz (30Hz)
復調方式	遅延検波
最小動作	3.0V
検定	4符号中2符号の誤り2回以内で合格 落下1動作は各bit毎の時間を考慮
動作時間	2.0～2.8秒 (25Hz) / 2.2～3.0秒 (30Hz)
許容値	危険側誤動作防止：なし 安定動作確保：1.2A 0.8秒以内の突入電流等のノイズを除く

6. まとめ

低周波軌道回路における危険側誤動作に対する耐ノイズ性能向上策について、極性切替器を用いたBPSK変調と符号検定による手法を提案し、机上および試作装置による検証を行った。

なお、切替器を使ったBPSK変調方式は、低周波軌道回路に広く適用可能である。今回は妨害対策に焦点を当てたために固定情報としたが、動作時間を長くすれば多情報の伝送も可能となる。

例えば長大軌道回路では方向回線の情報や場内信号機の現示に従って情報を変えれば安全性向上に寄与することが考えられる。また、商用軌道回路等の低周波軌道回路においても受信器を変更する必要は生じるが、軌道回路において多現示の情報を送ることも可能となる。

これらの応用については今後の課題と考えている。

文献

- 1) 渡辺郁夫, 市川和男: VVVF制御車の高調波が信号設備へ与える影響, 鉄道と電気技術, Vol.6 No.12, pp.29-37, 1995
- 2) 斉藤洋一: デジタル無線通信の変復調, 電子情報通信学会, 1996
- 3) 新井英樹, 渡辺郁夫, 高重哲夫, 犀川潤, 奥谷民雄: 低周波デジタルコード式軌道回路の開発, 鉄道総研報告, Vol.13, No.8 pp.21-26, 1992
- 4) 鉄道総合技術研究所: 列車保安制御システムの安全性技術指針, 1996