

I T D 軌道回路装置の開発

尾崎 裕一* 佐野 実 丸山 晃司

川岡 干輝 玉川 清久 (株式会社 京三製作所)

Development of ITD Track circuit device

Yuichi Ozaki*, Minoru Sano, Kouji Maruyama,
Tateki Kawaoka, Kiyohisa Tamagawa (Kyosan Electric Mfg. Co., LTD.)

The non-insulated track circuit device that consolidates the function and the hardware of the AF(Audio Frequency) have already been developed.

Recently, having insulated track circuit device that uses low frequency (25~60Hz) needs a low-cost and smaller device. We developed the ITD track circuit devices that have high performances, low-costs, space-saving, and noise tolerance. This introduces the outline and the advantage of the ITD train circuit device.

キーワード：列車検知，集中制御，低周波，低周期 FSK，並列送信

(Train Detector, Concentrated control, Low frequency wave, Low cycle length FSK, Parallel transmission)

1. はじめに

信号保安装置に、マイクロエレクトロニクス (ME) 技術を導入してから二十数年が経過し、その安全性や信頼性に高い評価を得ている。また、ME 技術の発展に伴い、より高機能で高性能、小型化がすすんでおり、無絶縁軌道回路用に AF (Audio Frequency) 軌道回路機器の機能とハードの集約を図った装置を既に開発した。

最近、低周波帯 (25~60Hz) を使用した有絶縁軌道回路においても機能・性能面の向上とともに低コスト化、小型化の要求が一段と強まっている。

また、車両主電動機の VVVF インバータ化が広く普及され、レールに流れる帰線電流に含まれる低周波数帯の雑音が大きくなっており、現在有絶縁軌道回路で使用されている低周波軌道回路においては、安全性確保のために車両編成長を抑えたり、動作時素を延ばすなどの対策が取られているのが実情である。

そこで、従来の低周波軌道回路装置に代わる装置として、機器の集約・高機能化と低コスト化を図るとともに、耐雑音特性の向上を図った ITD 軌道回路装置を開発したので、その概要と利点について紹介する。

※ITD (Insulated track circuit-Train Detector) 「有絶縁軌道回路の列車検知装置」の略称で以降、ITD と称す。

2. 開発課題

〈2・1〉 現状の低周波軌道回路の問題点

現状の低周波軌道回路における問題点を以下に列挙する。

(1) ME 機器で構成する場合、軌道回路ごとに送受信器が必要となり、軌道回路数に応じた機器を設備する必要がある。(信号発生・変調・受信判定・故障検知回路等)

(2) 軌道回路数に応じて機器室～現場機器間へケーブル敷設及び工事が必要となる。

(3) 軌道回路調整の際、軌道電圧のレベル調整の他、局部電圧と軌道電圧の位相差の調整が必要であり熟練を要する。

(4) 車両制御の VVVF 化により、帰線電流に含まれる低周波数帯の雑音が増大し、軌道回路の S/N が悪化するとともに、車両では低周波雑音を抑えるため、性能を犠牲にしている。

〈2・2〉 開発コンセプト

前項の問題点を踏まえ、ITD 軌道回路装置の開発コンセプトを以下に示す。

(1) コストパフォーマンスの向上

多軌道並列連続送信、ケーブル敷設の削減、一括送受信処理を図り、コストを削減する。

(2) 耐雑音性の向上

信号方式に低周期 FSK 方式を採用して耐雑音性を向上さ

せ、雑音の許容値をアップする。

(3) 容易な軌道回路調整、保守

連続送受信式軌道回路とし、受信レベルの自動調整化を図るとともに、予防保全機能を追加し、保守作業の軽減化を図る。

(4) あらゆる設備に適用可能な構成

非電化区間や直流電化、交流電化区間の複軌条、単軌条方式に適用可能とする。また、継電連動装置や電子連動装置とのIFを可能にするとともに、列車接近検知点の受信を可能にする。

3. 特長

(3・1) コストパフォーマンスの向上

搬送波周波数ごとに送信器を持ち、送信器1台で4軌道に並列送信できる構成にするとともに、送受信処理部で最大16軌道回路まで制御を可能にし、機器の集約・共用化を図ることで、機器の削減や小型化及び機器室～現場機器間のケーブルを削減し、機器費、工事費、機器設置スペースの縮小を図った。

(3・2) 耐雑音性の向上

(1) 軌道回路の雑音環境

車両性能の向上と電力の効率化からVVVF車両が普及してきているが、制御応答に起因する低次(数十～数百Hz程度)の周波数成分が発生する。この対策として、車両側では、一般的にリアクトルとコンデンサによるフィルタを搭載しているが、低周波で共振させるためには特にリアクトルが大きくなり、車両の設置スペースや重量の制約により、低周波帯の出力制限には限界がある。また、低周波帯の出力を制限するために制御応答を犠牲にする対策が考えられるが、車両の加減速性能や保護動作の発生などの制約があり限界がある。したがって、今後、VVVF車両の普及により、帰線電流の低周波領域の雑音が拡大し、現状の低周波軌道回路の使用制限または使用不可能となる可能性がある。

具体的には、低周波軌道回路の使用周波数25～60Hzに対し、車両の低周波抑制対策としてフィルタの共振周波数は約17Hzが限界であり、ある程度の影響を抑えているが、特に25Hzまたは30Hzを使用している長大軌道回路や分周軌道回路については、車両の編成長を抑えることや、動作時素を延ばすなどの対策が取られている。

(2) 信号方式の検討

低周波軌道回路は一般的に制御軌道回路長が長く、制御長の制約としては、主にレールのインダクタンスの影響が大きく、なるべく低周波帯を使用する必要がある。

一方、雑音については前述の通り、なるべく周波数を高くした方が影響を受けにくく、80Hz帯であれば十分対策が可能であるといわれている。

また、帰線雑音に対しては、信号方式を「信号の組合せと変調化、符号化」等を図る必要性があり、符号化するには一定の信号長が必要で、かつ、低周波帯では伝送速度を

高くできないことから、スキミング方式においては実現が困難である。さらに、高性能なハードでなければ符号化は実現できないことから、低コスト化には不向きである。ここで言うスキミング方式とは、1台の送信器で一定時間ごとに軌道を切り替えて送信し、送信したタイミングにおいて当該軌道の信号を受信する方式である。

したがって、搬送波周波数を80Hz、135Hzとし、AF軌道回路で実績のある低周期FSK信号(相補性検定方式の受信判定)を採用することにより、狭帯域で雑音に強く、単純なハードで実現することにした。

(3) 低周期FSK信号

低周期FSK信号の波形と受信の機能ブロック図をそれぞれ図1及び図2に示す。

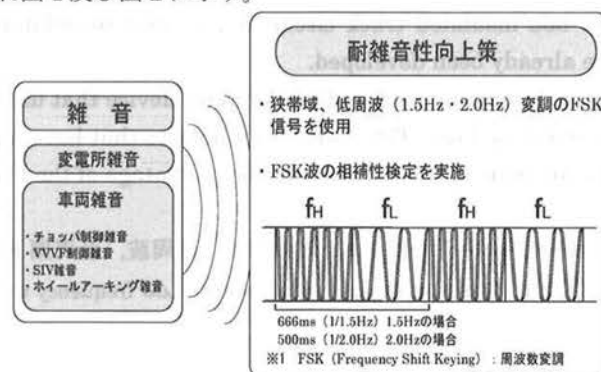


図1 低周期FSK信号の波形

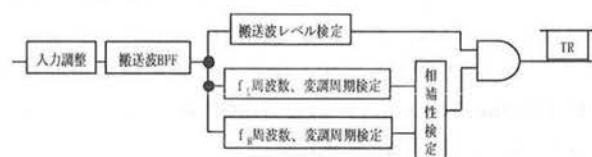


図2 受信の機能ブロック図

低周期FSK信号は偏移周波数が $\pm 2\text{Hz}$ で、その周波数差は4Hzと狭く、50Hzまたは60Hz間隔に分布する変電所雑音に対して影響を受けにくく、 f_L 、 f_H の搬送波を狭帯域で選別することによりVVVF制御車両の発生する連続的な周波数変化に対して f_L 、 f_H の境界周波数を信号なしとして検知できるようにしている。

受信処理としては入力される雑音を搬送波BPF(Band pass Filter)により除去し、搬送波のレベル検定を行うとともに f_L 、 f_H の周波数検定を行い、各周波数の継続時間幅が一定で周期的に交互に受信されることを検定(相補性検定)し、レベル検定と相補性検定の両方の条件が満足したときに信号あり(列車非在線)とし、満足しない場合を信号なし(列車在線)として、列車の有無を判定している。

受信帯域内に規定以上の雑音が侵入した場合、本来 f_H または f_L がないタイミングにおいて f_H または f_L がありになるか、 f_H または f_L があるタイミングにおいて f_H または f_L がなしになるため列車検知信号とはみなさず、動作側の誤動作は極めて少なくなる。

これにより耐雑音性を向上させ、危険側の誤作動（列車が在線しているにもかかわらず列車検知ができない事象）を防止することができ、従来はレール破断などの軌道回路不平衡率 100%の状態でも危険側の誤動作にならないように S/N を規定していたが、この方式により、雑音に対して安定動作するよう、軌道回路不平衡率を 10%見込む程度でよくなり、従来から 10 倍強くなったことになる。

以上の点より、ITD 軌道回路装置は以下の特徴を持つ。

- ・低周波領域で低周期 FSK 信号を実現し、帰線雑音から不正動作を回避できる。
- ・低周波であることから、制御軌道回路長を長くできる可能性があり、かつ、軌間電圧を最低 1 V 化することによりある程度の短絡不良の防護ができる。

〈3・3〉 容易な軌道回路調整、保守

（1）列車検知信号は連続送受信式

軌道への送受信信号は従来どおり連続送受信しているため、スキャンニング式とは異なり常に信号を受信することから列車検知時間を短くできる。

また、絶縁破壊、レール破断等のトラブルシューティングが容易で短絡不良（残留電圧）及びレベル低下検知機能により、軌道回路が不正動作や落下する前に警報を出力し予防保全を可能にしている。

絶縁破壊検知をするには、使用する周波数を 2 波必要とするため、その場合は、80Hz と 135Hz を軌道に対し交互に使用することになる。当該軌道に異なる信号が検出されたときに絶縁破壊と検知する。絶縁破壊検知例を図 3 に示す。

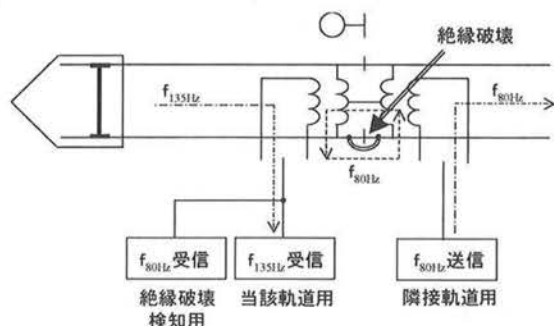


図 3 絶縁破壊検知の例

ただし、基本的には、80Hz の 1 波で変調波を 2 波使用することにより、商用軌道回路などのように 3 位制御時の絶縁破壊における不正動作は防護できる。この場合、列車非在線時に絶縁破壊が発生すると、隣接軌道回路相互のレベル差により TR が不正落下するか、動作のままとなるが、列車が進入すると落下し、通常の列車検知は可能である。

また、レール破断になるまでの状態としては、道床の構造が異なる境界付近の振動の違いなどによりレールにひびが入り、接触・非接触を繰り返した後に、完全に切り離される場合がある。この過程における接触・非接触を繰り返す状態において、現場で調査する場合、スキャンニング方式では当該軌道には断続的に送信されているので、汎用のオシロスコープや電圧計で観測するには区別がつかず困難

であるが、連続式であれば信号の有無で判断できることから、容易に観測できる。

（2）軌道回路調整が容易

従来の商用軌道回路などは軌道電圧のレベル調整の他、局部電圧と軌道電圧の位相差の調整を軌道回路ごとに行い、調整できない場合は位相調整器を追加設備するなど熟練を要していたが、位相の概念が無く、受信レベルは設定スイッチを押下することで、以降、洩れコンダクタンスの変動によるレベル変化に追従する自動調整を行うようにしている。

〈3・4〉 あらゆる設備に適用可能な構成

（1）直流・交流電化区間のあらゆる線区に適用可能

狭帯域な信号を使用するため電化別に装置を分けて使用する必要がなく共通化が図れ、施工性や保全性、及び用品の供給性が向上している。

（2）単軌条化が容易

複数の信号周波数を使用することにより近接軌道回路からの回り込み信号を減衰させ、錯誤動作を防止することができる。例えば、搬送波 2 波、変調波 2 波の組み合わせにより計 4 波の使用が可能で、送信部はパワーアンプを片系 4 台実装できることから、これらを割り振って使用する。予備の変調波は大きな構内など 4 波では不足する場合に、搬送波 2 波と組み合わせるさらに別の変調波 2 波を用意し、別途架を設けて対応する。

また、レールからの電車電流による妨害波は、前述のとおり耐雑音性の向上により、S/N を従来の 1/10 で設計すればよく、さらに、低周波軌道回路と同様に現場整合変成器の軌道側に抵抗を使用して機器を防護する。

（3）他装置とのインターフェース (IF) 選択が可能

連動装置との IF は、継電連動装置とのリレー IF タイプと電子連動装置とのシリアル IF タイプを選択できるようにしている。

（4）列車接近検知点の受信が可能

本装置は最大で 16 軌道回路まで制御できるが、受信機能は独立しているため、レール間へのループコイルの敷設により ATS・ATC などのパターン発生点用の受信も可能で、たとえば、8 軌道回路の軌道受信と ATS パターン発生点 8 箇所を受信を行うことが可能となる。列車接近検知の軌道回路構成例を図 4 に示す。

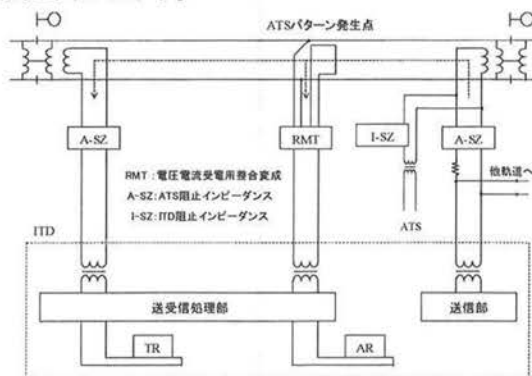


図 4 列車接近検知の軌道回路構成

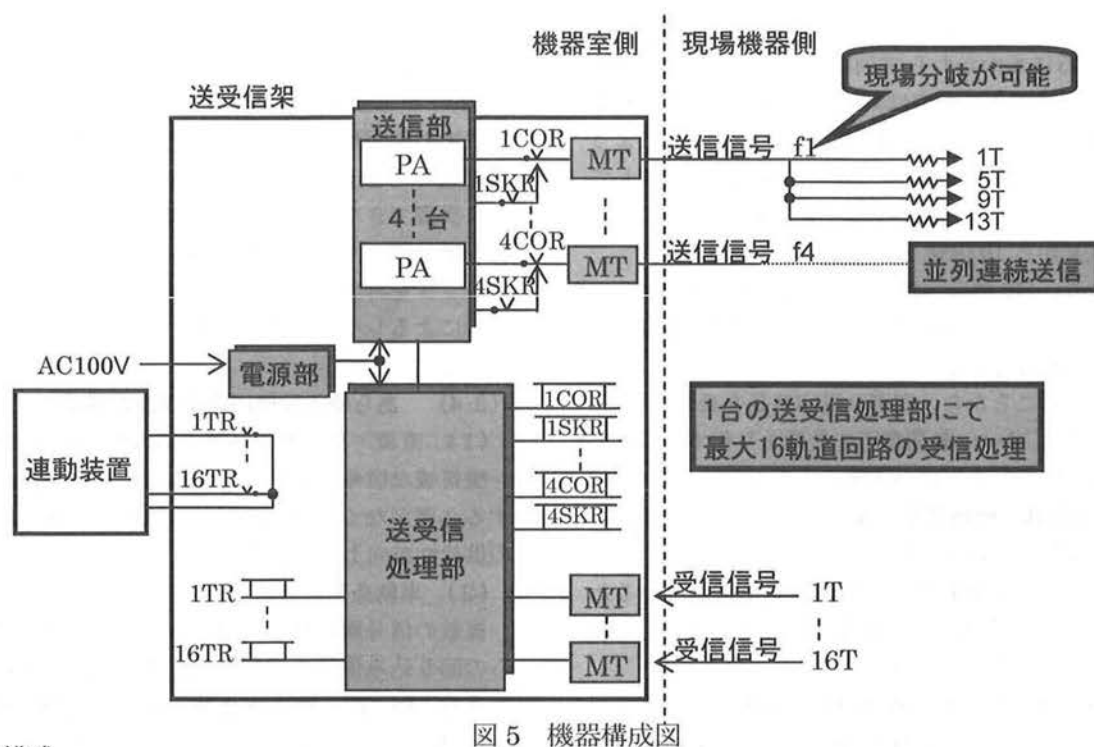


図5 機器構成図

4. 機器構成

例として、連動装置とのIFがリレーIFタイプの場合の機器構成図を図5に示す。電子回路は2重化を図り、信頼性を向上させている。

搬送波周波数ごとに送信器を持ち、送信器1台で4軌道に並列送信するとともに、送受信処理部で最大16軌道回路まで制御を可能にし、機器の集約・共用化を図ることで、機器の削減や小型化及び機器室～現場機器間のケーブルを削減している。

5. 仕様概要

表1に本装置の仕様概要を示す。

表1 仕様概要

項目	性能
電化方式	直流電化・交流電化
最大軌道回路長	500m
漏れコンダクタンス	0.5S/km以下
最大ケーブル長（片道）	2km
レール受信端最低確保電圧	1V以上
短絡感度	0.5Ω以上
制御軌道回路数	最大16軌道回路
送信方式	複数軌道連続並列送信方式
変調方式	低周波FSK変調
搬送周波数	80、135Hz
変調周期	1.5, 2.0(予備: 0.8, 1.1)Hz
偏移周波数	±2.0Hz
送信出力	最大20W(1送信部あたり)
受信方式	複数軌道連続受信方式
軌道入力補正	受信自動補正

時間特性	動作	1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 ±0.5秒
	復旧	1±0.5秒
列車検知結果条件出力		接点出力

表1における最大軌道回路制御長500mは、洩れコンダクタンスが最悪の0.5S/kmのときに受端レール間電圧を最低1V確保することを前提にしており、洩れコンダクタンスが最悪のときでも不正落下させないためには、レール受端電圧1V以上で落下させるよう軌道回路を調整する前提である。

ただし、電化区間で運転密度がある程度高い線区においては、レール受端電圧1Vを確保しなくても短絡不良にならない場合があるので、その場合は制御長がさらに長くできる。

6. 終わりに

今回の開発は回路技術の複雑化に頼ることなく、単純な手法で低周波軌道回路装置のコストパフォーマンスの向上を図った。今後は、視野を広げ、システム全体を見直すことにより、大幅なコストパフォーマンスの向上を図っていく所存である。

文 献

- (1) 電気学会・電気鉄道の電磁環境に関する共同研究委員会編：「鉄道とEMC」、オーム社（2008）