

無アーク状態の高速しゅう動接点より生じる無線雑音のレベル推定式と電流依存性

正員 藤原 修[†] 准員 上林 真司[†] 正員 雨宮 好文[†]

Level Estimation and Current Dependence of Radio Noise Caused by High Speed Sliding Contact without Arc Discharges

Osamu FUJIWARA[†], Regular Member, Shinji UEBAYASHI[†], Associate Member and Yoshifumi AMEMIYA[†], Regular Member

あらし 本論文は、無アーク状態の高速しゅう動接点より生じる無線雑音のレベル推定式を導出し、それによって雑音レベルの電流依存性の定量的な説明を行なった。アーク放電を伴わないしゅう動接点において生じる雑音電流は、接点開離時と接点閉成時の異なった過渡電流波形が互いに独立した時間間隔（接点の開離からつぎの開離まで、また接点の閉成からつぎの閉成まで）をもってそれぞれ不規則に繰返しているものと大略みなすことができる。測定される雑音レベルは、接点閉成に伴う両者の過渡電流波形およびその平均的な繰返しの時間間隔から定まり、後者だけ実測すれば推定できる。雑音レベルの接点電流依存性については、過渡電流波形の繰返し時間間隔が電流の増大とともに増し、雑音レベルを低下させるが、過渡電流のほうが大きく増大するので、結局、雑音レベルは電流が大のほど高くなる。

1. ま え が き

電気車の走行に伴って発生する無線雑音は沿線のテレビに障害を与える。この種の雑音の発生機構は、集電部を一種の電気接点（しゅう動を伴わない開閉接点）とみなした研究⁽¹⁾により大略説明されているが、雑音レベルの電流依存性は電気接点のモデルでは十分に説明されない⁽²⁾。

筆者らは高速しゅう動接点につき実験を行ない、雑音発生は電気接点におけるのと異なる機構で行なわれること、雑音レベルの電流依存性は電気車でのそれに類似した特性をもつこと等の知見を得て、接点開放電圧が大きくアーク放電を伴う場合に測定される雑音のレベル推定式を導出し、雑音レベルの電流依存性（電流を大にするほど雑音レベルは低下するという特

性）もこれによって誘導し得ることを報告⁽³⁾した。接点開放電圧が小さく、アーク放電を伴わない場合には

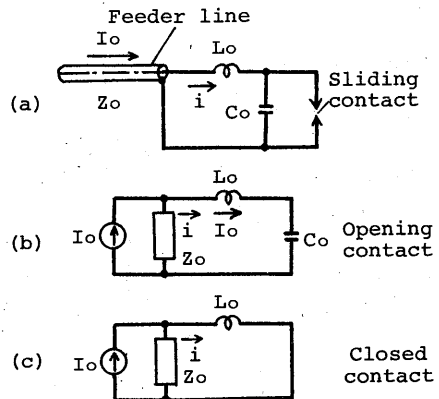


図1 しゅう動接点回路のモデル(a)と雑音電流に対する等価回路(b), (c)

Fig. 1- Model of a sliding contact circuit and equivalent circuits to calculate a noise current.

[†]名古屋大学工学部電気学科, 名古屋市 Faculty of Engineering, Nagoya University, Nagoya-shi, 464 Japan
論文番号: 昭57-論289 [C-51]

雑音発生機構は上記のそれとはまったく異なり、雑音レベルは電流を大にするにつれて高くなる。

本論文では、この場合に測定される雑音のレベル推定式を導出し、雑音レベルの電流依存性も推定式によって説明し得ることを示す。

2. 理 論

図1(a)は電気車の集電部位をモデルとしたしゅう動接点回路を示す。 L_0 は接点部 (Sliding contact) の浮遊インダクタンス、 C_0 は浮遊容量、 Z_0 は給電線 (Feeder line) の特性インピーダンスである。 I_0 は給電線から接点部に供給される集電電流である。

しゅう動接点から発生する無線雑音は接点部の不規則な開閉とそれに伴う放電現象によって生じた高周波電流 (雑音電流) に起因する。本論文では、前論文⁽³⁾と同じく図1(a)に示す電流 i で雑音を代表させ、接点開放電圧が小さく、接点部にはアーク放電が生じない場合の電流 i の測定レベル推定式の導出を一つの目的とする。

雑音測定器は、ガウス形振幅特性と直線形位相特性のバンドパスフィルタを内蔵し、その出力の尖頭値を指示するものとする。そのとき、しゅう動接点において生じる雑音電流の測定レベル (雑音レベル) は、接点の開閉に伴う過渡電流波形 (その高周波成分が測定器への雑音入力となる) と測定器に対する雑音入力の衝撃回数から定まる⁽³⁾。

一般に孤立的な過渡電流波形 $f(t)$ が時間間隔 T で測定器を繰返し衝撃するとき、周波数 f において測定される雑音レベル $G(f)$ は

$$G(f) = 2B |F(f)| \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[-\pi(BT)^2 n^2] \quad (1)$$

で与えられる⁽³⁾。ここに $F(f)$ は $f(t)$ のフーリエ変換、 B は測定器のインパルス帯域幅 (6dB垂下) である。ただし、 $F(f)$ は帯域幅 B の範囲で周波数に依存せず一定であるとしている。式(1)において、 $1/BT$ が測定器に対する雑音入力の衝撃回数であり、たとえば $BT > 1$ のときには $G(f) \div 2B |F(f)|$ 、 $BT < 1$ のときには $G(f) \div 2 |F(f)| / T$ となる⁽³⁾。

図1(b)は接点開放時の孤立的な過渡電流に対する等価回路を示し、同図(c)は接点閉成時のそれを示す。前者における過渡電流波形のフーリエ変換を $F_0(f)$ 、後者でのそれを $F_1(f)$ とするとき、図の等価回路より

$$|F_0(f)| = (I_0 / 2\pi f) \{ [1 - (f/f_0)^2]^2 + (f/f_0)^2 \}^{-1/2}$$

$$|F_1(f)| = (I_0 / 2\pi f) \{ 1 + (f/f_c)^2 \}^{-1/2}$$

を得る。ここに $f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{L_0 C_0}$ 、 $f_c = 1 / 2\pi C_0 Z_0$ 、 $f_c = Z_0 / 2\pi L_0$ である。

しゅう動接点においては、接点開放時の過渡電流波形と接点閉成時の過渡電流波形とがそれぞれ不規則な時間間隔をもって測定器を繰返し衝撃する。本論文では、両者の過渡電流波形が互いに独立した時間間隔をもって測定器を繰返し衝撃するものとする。そのとき接点開放時の過渡電流波形の平均的な繰返し時間間隔を \bar{T} 、接点閉成時のそれを \bar{T}_c とすれば、雑音レベル $G(f)$ は式(1)より

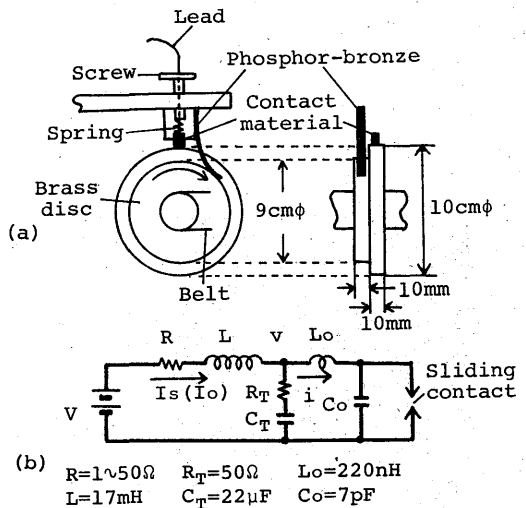


図2 しゅう動接点装置(a)と実験回路(b)

Fig. 2—Sliding contact apparatus and experimental circuit.

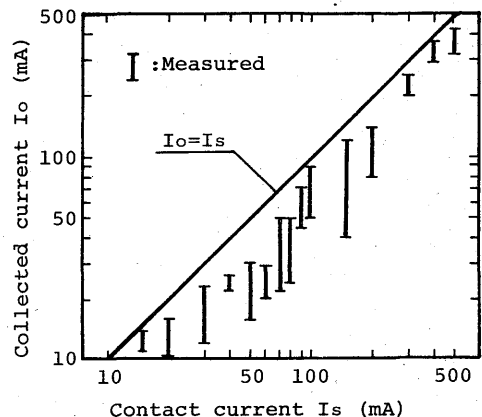


図3 接点電流と集電電流の関係

Fig. 3—Relationship between a contact current and a collected current.

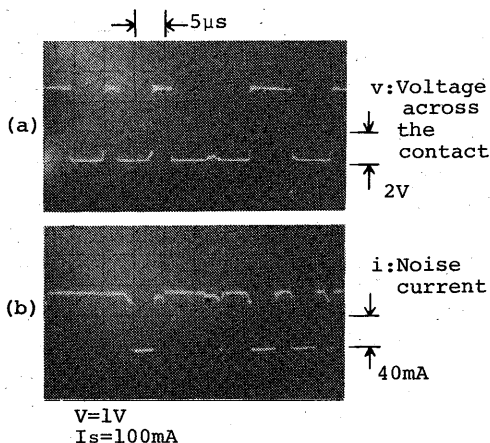


図4 接点のしゅう動に伴う接点間電圧(a)と雑音電流(b)
Fig. 4- Voltage across the contact and noise current caused by the sliding contact.

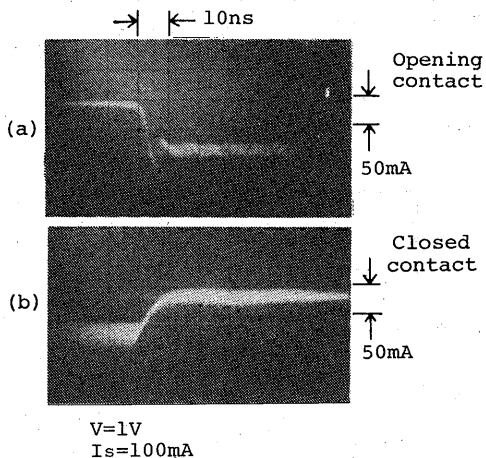


図5 しゅう動接点の開離に伴う雑音電流波形(a)と閉成に伴う雑音電流波形(b)

Fig. 5- Waveforms of the noise currents caused by the sliding contact.

$$G(f) = 2B\sqrt{|F_0(f)|^2 \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[-\pi (B\bar{T}_0)^2 n^2] \right\}^2 + |F_c(f)|^2 \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[-\pi (B\bar{T}_c)^2 n^2] \right\}^2} \quad (2)$$

となる。

3. 実験

3.1 実験方法

実験は前論文⁽³⁾と同じく、図2(a)のしゅう動接点装置(接点材質、黄銅)を用いて行なう。図2(b)は図1

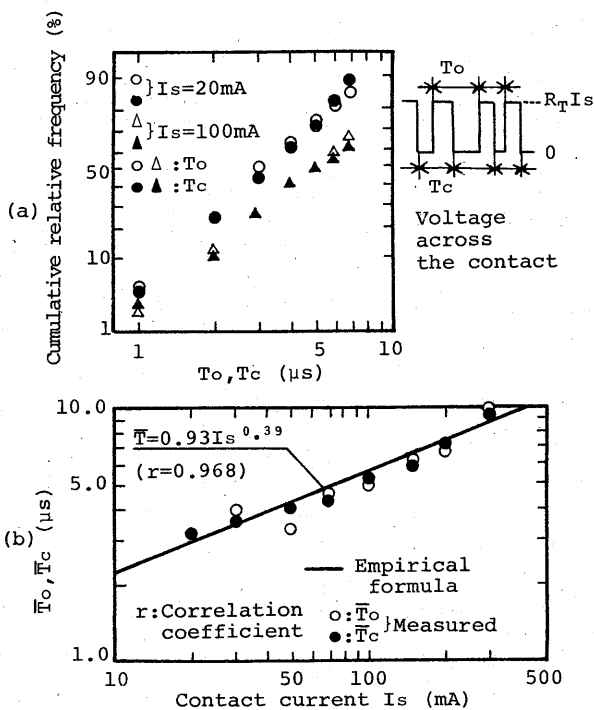


図6 T_0, T_c の累積相対度数分布(a)と \bar{T}_0, \bar{T}_c の接点電流依存性(b)

Fig. 6- Cumulative relative frequency distributions of T_0, T_c and dependences of \bar{T}_0, \bar{T}_c on the contact current.

(a)に対応させた実験回路を示す。すなわち、インダクタンスLによるリアクタンスは測定の対象とする周波数範囲では R_T に比して十分大きく、コンデンサ C_T によるそれは十分小さい。ゆえに、抵抗値 R_T は図1(a)の給電線の特異インピーダンス Z_0 に対応する。電流 I_0 は接点しゅう動状態の電流であり、図1(a)の集電電流 I_c に対応する。電流 I_s は接点静止状態の通電電流(接点電流)である。実験は接点しゅう動時にアークが生じないように $V=1V, I_s \leq 500mA$ の範囲で行なった。雑音電流の測定は、電流プローブを接点材に接続されたリード線にクランプして行なう。接点の接触荷重は20g以下とし、黄銅円板は2,000rpmで回転させた。

3.2 実験結果と考察

図3は接点電流(Contact current) I_s と集電電流(Collected current) I_0 の関係を示す。図より接点静止状態の電流 I_s は接点しゅう動状態の電流 I_0 と並行性があることがわかる。ゆえに、本論文では I_0 のかわりに I_s をもって雑音レベルおよびその電流依存性を評価する。

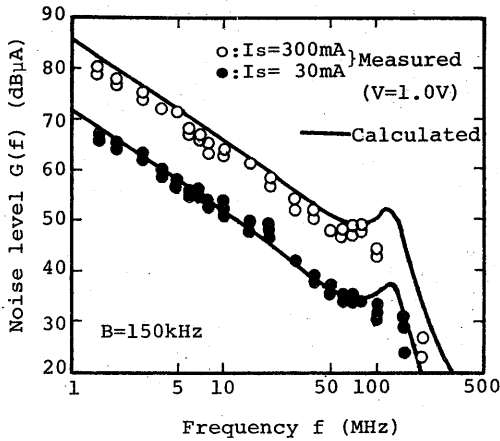


図7 雑音レベルの周波数スペクトル実測例

Fig.7-Measurements of the frequency spectra of the noise levels.

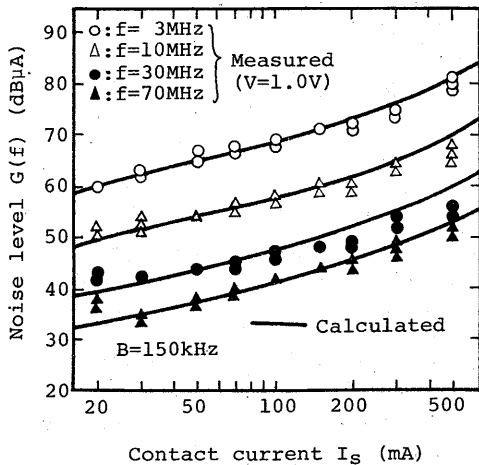


図8 雑音レベルの接点電流依存性

Fig.8-Dependences of the noise levels on the contact current.

図4(a)は接点のしゅう動に伴う接点間電圧 (Voltage across the contact) v (図2(b)参照) を示し、同図(b)はそのときに生じる雑音電流 (Noise current) i を示す。図は接点部がしゅう動に伴い無アークの不規則な開閉状態を繰返していることを示す。図5(a)はしゅう動接点の開離に伴う雑音電流の波形を示し、同図(b)は接点閉成時のそれを示す。これは100MHz(3dB垂下)のストレージオシロスコープにより雑音電流波形を重ね撮りしたものである。図は、しゅう動接点の開閉に伴う過渡電流波形が図1(b), (c)の等価回路から大略定

まることを示す。

図6(a)は接点間電圧の波形から実測して求めた時間間隔 T_0 , T_c (同図右上参照) の累積相対度数分布 (サンプル数, 100) を示す。図6(b)は同図(a)から求めた T_0 , T_c の50%値 (\bar{T}_0 , \bar{T}_c) の電流依存性を示す。図は \bar{T}_0 , \bar{T}_c は大略等しいこと、 \bar{T}_0 および \bar{T}_c は電流 I_s の増大とともに増すことを示す。

図7はスペクトルアナライザで実測した雑音電流周波数スペクトル (尖頭値指示) を示す。図中の実線は式(2)による計算値 ($I_0 = I_s$, $\bar{T}_0 = \bar{T}_c = \bar{T}$ とした) である。図は計算値が実測値によく一致することを示す。

図8は雑音レベルの電流依存性を示す。図によって計算式は実測レベルをよく表わすことがわかる。雑音レベルが接点電流の増大とともに高くなる理由のはつぎのとおりである。電流 I_s の増大とともに \bar{T}_0 , $\bar{T}_c (= \bar{T})$ が $I_s^{0.39}$ で増し、測定器 (スペクトルアナライザ) に対する雑音の衝撃回数は減少する。一方、過渡電流は電流 I_s に比例して大きくなる。ゆえに、 $B\bar{T} < 1$ のときには $G(f) \propto I_s^{0.61}$ となり、 $B\bar{T} > 1$ のときには $G(f) \propto I_s$ となって、雑音レベル $G(f)$ は電流 I_s の増大とともに高くなるのである。

雑音レベル計算に必要な諸量は、予め実験のために設定した回路定数 (図2(b)参照) および帯域幅 B のほかは、 \bar{T}_0 , \bar{T}_c という実測値だけである。

4. むすび

接点開放電圧が小さく、アーク放電を伴わないしゅう動接点において生じる雑音電流の測定レベル推定式を導出し、それによって雑音レベルの電流依存性を定量的に説明できた。

なお、本論文ではしゅう動接点の開閉の時間間隔 (たとえば \bar{T}_0 , \bar{T}_c) が接点電流に依存することの理由については触れなかった。 \bar{T}_0 , \bar{T}_c の値には接点材質が大きく関与する。これについては、雑音レベルの接点材質依存性との関係において別に報告したい。

文 献

- (1) 雨宮好文: "国鉄電車における無線雑音の発生機構", 電学誌, **77**, 823, p. 426 (昭32-04).
- (2) 雨宮好文: "電気鉄道の電波雑音", 電気学会技術報告, No.89, p. 48 (昭52-02).
- (3) 藤原, 上林, 雨宮: "高速しゅう動接点において生じる無線雑音のレベル推定式と電流依存性", 信学論(C), **J 65-C**, 3, pp. 170-176 (昭57-03).

(昭和56年12月25日受付)