

通信線のメッセンジャワイヤを用いた 電磁誘導対策法

森 武 昭・大 矢 征

The Reduction Method for Electromagnetic Inductive
Interference by Using the Messenger Wire
in a Communication Line

Takeaki MORI and Susumu OHYA

Abstract

The electromagnetic inductive interference from power line to communication line has become increasingly important problems. The number of communication lines, for which the method how to reduce the electromagnetic inductive voltage must be considered, shows a tendency to increase.

So, this paper proposes the reduction method using AS or IACSR, which is used for a ground wire in a power transmission system, as the messenger wire in a communication line. This method is effective for the cases that the calculated value of electromagnetic inductive voltage is slightly higher than the limitation value. By the numerical calculating results, we quantitatively clarify the effectiveness of this method.

1. ま え が き

電力線の1線地絡事故時に生じる近傍通信線への電磁誘導障害は、地絡故障電流の増大や両線路の接近事例の増加などにより、ますます重要な問題となっているのは周知の通りである^{1),2)}。この障害については、①送電線または通信線を新たに設置するとき、②送電系で変圧器の増設等により地絡故障電流が増加するときの2つのケースについて事前に予測計算をおこなうことになっている。そして、この電磁誘導電圧の予測計算結果が制限値（一般に問題となる直接接地系の超高圧送電線について、日本と西ドイツは430V、他のほとんどの欧米諸国では650V）を超える場合には、何らかの方法で必ず制限値以下となるように対策することになっている。対策法として、わが国では、主にしゃへい層（電磁軟鉄）を有した電磁誘導対策用しゃへいケーブルを使用したり、通信線を地中埋設管路内に布設したりする方法が採用されている。また、最近

実用化された光ファイバーケーブルには、保守等の目的で数対の金属介在対が使用されており、これに関する対策には電磁誘導対策用アレスタを用いている。

ところで、予測計算結果が制限値を若干超えてしまうような事例が現実には数多く存在している²⁾。このような場合、通信線をしゃへいケーブルに変更するのは経済的観点からして余りよい方法とはいえない。また、前記②の増設時に、しゃへいケーブルですすで対策済みのところへ故障電流が増加したために制限値を若干超えてしまう場合の対策は、全面的にしゃへい性能のよいケーブルまたは管路に取り替えるなどせねばならないため、対策に要する費用はかなりのものとなる。

本稿では、このような制限値を若干上回るような事例に対して、通信線を取り替えるような大規模な対策でなく、ごく小規模の対策で済むような方法を提案するものである。即ち、架空通信線には、張力維持のために、メッセンジャワイヤが使用されている。このワイヤは、現行においては亜鉛めっき鋼より線を用いているため電氣的導電率は余りよくなく、両端を低抵抗

接地しても電磁誘導に対しては効果がほとんど期待できない。そこで、張力も維持でき、なおかつ導電性がよく、両端を接地すれば電磁誘導に対してもある程度の効果が発揮できる方法として、送電系の架空地線に使用しているアルミ覆鋼より線 (AS) またはイ号鋼心アルミより線 (IACSR) をメッセンジャワイヤとして使用することを本稿では提案する。AS や IACSR は雷対策用として使用しているため、張力の大きい鋼を芯とし、外側に導電率のよいアルミを用いたものである。この方法は、既設のケーブルに対して適用するのは経済性からみて必ずしも得策ではないが、新設するものに今後順次導入していくと、将来大きなメリットを生むことが予想される。即ち、誘導電圧予測値が制限値を若干上回る場合に、両端をある値以下に接地するだけで対策可能だからである。また、ここでは架空通信線についてのみ検討するが、地中通信線についてもこのような考え方を導入することも容易におこなうことができる。

そこで、本稿では IACSR または AS を通信線のメッセンジャワイヤとして使用した場合の電磁誘導対策面からみた特性を定量的に検討し、その有効性を明らかにする。

2. メッセンジャワイヤのしゃへい効果

2.1 検討モデル

図1のような通信ケーブルについて、① 従来使用している鋼より線と同一以上の張力が確保できるような太さの AS または IACSR を用いるものとする。ま

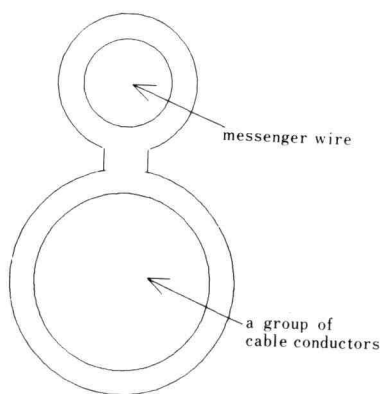


Fig. 1. Cross-sectional view of the communication line with a messenger wire.

た、② ケーブル接続点で、メッセンジャワイヤはジャンパー線などを用いて電氣的に完全に接続されているものとする。なお、③ 電磁誘導に対するしゃへい効果を検討するので、メッセンジャワイヤの両端は、それぞれ R_1, R_2 [Ω] の接地抵抗で接地されているものとする。

これらの条件を前提として、図2のような代表的な検討モデルについて解析する。メッセンジャワイヤとしては、上記①の条件を考慮して、

- (1) AS 100 mm²: 外径 12.9 mm,
直流抵抗 0.496 Ω /km
- (2) AS 70 mm²: 外径 10.5 mm,
直流抵抗 0.74 Ω /km

の2種類について検討する。また、図1におけるメッセンジャワイヤと通信線心線群の中心間距離は、標準的な値として 3 cm を用いる。なお、IACSR でも径が同じであれば、張力においても直流抵抗においても AS とほとんど同じ数値となる。

2.2 しゃへい係数の計算式

図2において、電力線 P、メッセンジャワイヤ M、通信線 C として、これらの文字を添字として各導体の大地帰路自己インピーダンス [Ω /km] 及び導体間の大地帰路相互インピーダンス [Ω /km] を表現すると、メッセンジャワイヤのしゃへい係数は次式で表わすことができる。

$$\lambda_M = 1 - \frac{Z_{MC}}{Z_{PC}} \frac{Z_{PM}}{Z_M + \frac{R_1 + R_2}{l}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 l [km] は P と C の平行区間長 (誘導区間長ともいう) を表わす。

図2において、一般に $Z_{PC} \approx Z_{PM}$ とみなすことができるので、 $R_e = \frac{R_1 + R_2}{l}$ [Ω /km] とおくと、

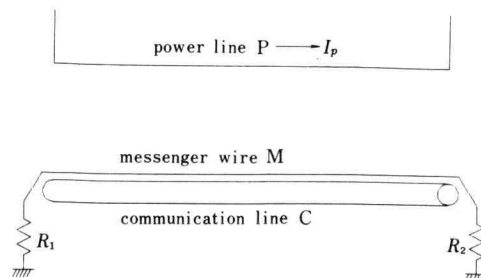


Fig. 2. Arrangement of conductors.

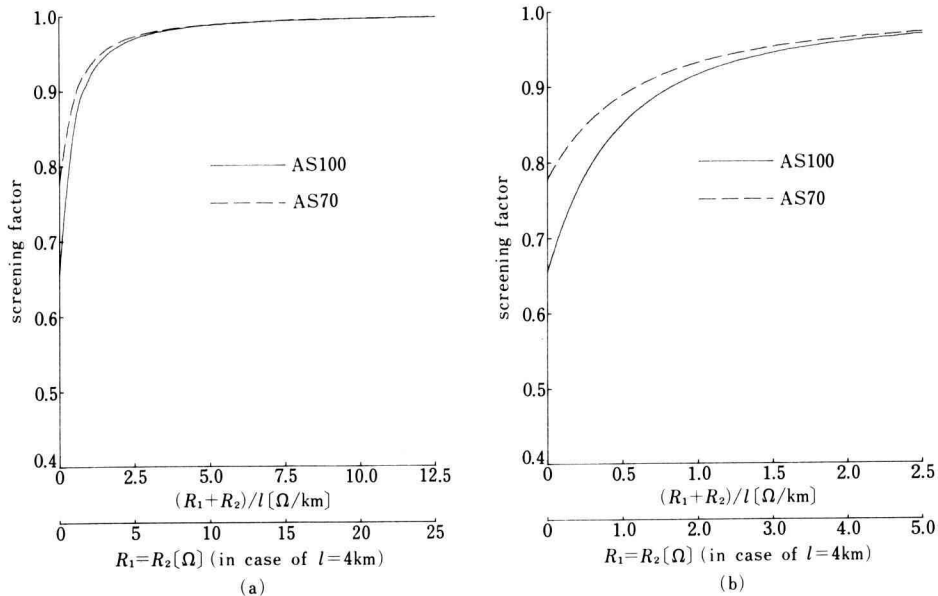


Fig. 3. Screening factor of the messenger wire.

$$\lambda_M = 1 - \frac{Z_{MC}}{Z_M + R_e} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。なお、 z_M と z_{MC} は、大地帰路インピーダンスを求める Carson-Pollaczek の式より算出することができる^{5),6)}。

2.3 シャヘイ係数の計算結果

(2) 式に対する計算結果を図3に示す。図3(a)は R_e の比較幅広い範囲について示したものであり、低接地抵抗の場合を拡大して示したものが図3(b)である。メッセンジャワイヤ単独ではそれほど大きなシャヘイ効果は期待できないが、平行区間長 l が長かったりすると、かなりのシャヘイ効果が得られている。いずれにせよ、第1章で述べたように、誘導電圧予測計算値が制限値を若干上回るようなケースに対して、両端で接地を施し、制限値以下とするような場合に有効に作用するものと思われる。シャヘイ係数の目安としては、 $R_e=0.5 \Omega/\text{km}$ のとき $0.85 \sim 0.9$ ($506 \sim 478 \text{ V}$ まで対策可能)、 $R_e=1 \Omega/\text{km}$ のとき $0.92 \sim 0.95$ ($467 \sim 453 \text{ V}$ まで対策可能) となっている。また、AS 100 でも AS 70 でも、 R_e が $1 \Omega/\text{km}$ より大きくなると $R_e \gg z_M$ になるため、シャヘイ係数はほとんど一致する結果となっている。

3. シャヘイケーブルとメッセンジャワイヤによるシャヘイ効果

3.1 シャヘイ係数の計算方法

図1において、通信線の心線群の周りをアルミシースと電磁軟鉄テープ2重巻で構成されたシャヘイ層で覆った電磁誘導対策用シャヘイケーブル(以下、「シャヘイケーブル」と略す)とメッセンジャワイヤによるシャヘイ効果について検討する。アルミシースの両端を接地すると、通信線の心線には電力線電流による誘導起電力と、これを打ち消すためにシャヘイ層に電力線から誘起されて流れる電流(電力線電流とほぼ逆位相)による誘導起電力とのフェーズ和が誘起される。なお、シャヘイ層の接地は、メッセンジャワイヤの接地とは別とし、接地間距離もある程度(10 m 以上)離れているものとして、お互いの接地間の相互干渉は無視できるものとして取り扱う。そうすると、シャヘイケーブルSとメッセンジャワイヤMによる全体のシャヘイ係数は、次式より求めることができる³⁾。

$$\lambda = 1 - \frac{Z_{MC}(Z_S Z_{PM} - Z_{MS} Z_{PS}) + Z_{SC}\{(Z_M + R_e)Z_{PS} - Z_{MS} Z_{PM}\}}{Z_{PC}\{(Z_M + R_e)Z_S - Z_{MS}^2\}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、インピーダンス $[\Omega/\text{km}]$ は、各添字に相当する導体の大地帰路自己インピーダンスまたは導体間の大地帰路相互インピーダンスを示している。ただし、しゃへい層の自己インピーダンス z_s とその内部にある通信線心線との間の相互インピーダンス z_{sc} は、次式より求める。

$$z_s = R_0 + R'_e + \Delta r + j\Delta x + jX_e \dots\dots\dots(4)$$

$$z_{sc} = \Delta r + j\Delta x + jX_e \dots\dots\dots(5)$$

ここで、

R_0 : アルミシースの直流抵抗 $[\Omega/\text{km}]$

$R'_e = (R'_1 + R'_2)/l$ で、 R'_1, R'_2 : しゃへいケーブルの両端の接地抵抗 $[\Omega]$

$\Delta r + j\Delta x$: 付加インピーダンス $[\Omega/\text{km}]$ と呼ばれ、しゃへい層の磁性材料による磁束の増加分によるもの。

jX_e : 外部インピーダンス $[\Omega/\text{km}]$ で、Carson-Pollaczek の式より求める^{5),6)}。

ところで、導体配置の関係から、

$$z_{PC} = z_{PM} = z_{PS}, z_{MC} = z_{MS}$$

が成立するので、(3)式は次のように表わすことができる。

$$\lambda = \frac{(z_s - z_{sc})\{(z_M + R_e) - z_{MC}\}}{(z_M + R_e)z_s - z_{MC}^2} \dots\dots\dots(6)$$

この式で、 z_M, R_e, z_{MC} は第2章でも述べたように簡単に求められる。一方、 z_s と z_{sc} は、(4)(5)式より求めるのであるが、付加インピーダンス $\Delta r + j\Delta x$ は磁

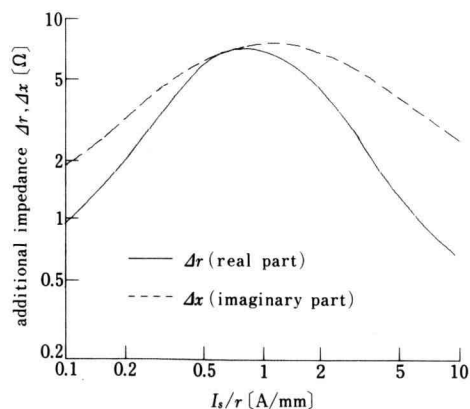


Fig. 4. Characteristic of additional impedance of shielded cable.

性体による非線形性のため電流に依存して変化する。そこで、電磁軟鉄テープ2重巻きで、半径 $r=17.5\text{ mm}$ のしゃへいケーブルの付加インピーダンス特性の実測例を示したものが図4である。実際の計算は、メッセンジャワイヤとしゃへい層の電流分布を求め、図4の特性を用いて数値解析をおこなった上で(6)式のしゃへい係数を決定する必要がある^{3),4)}。

3.2 しゃへい係数の計算結果

しゃへいケーブルの接地抵抗 R'_e に対するしゃへい係数の特性を図5に示す。メッセンジャワイヤの接地抵抗 R_e が③の $2\Omega/\text{km}$ より大きくなると、 $R_e \gg z_M$ となる、AS70でもAS100でもしゃへい係数はほとんど一致する結果となっている。しゃへい係数を小さくするためには、 z_M を小さくする(メッセンジャワイヤを太くする)ことも考えられるが、接地抵抗 R_e, R'_e を小さくすることがより重要であることが明らかとなっている。そこで、誘導電圧予測計算値が 2000 V (所要しゃへい係数 $430/2000=0.215$) を想定して、必要とする接地抵抗の値を求めたものが図6である。同

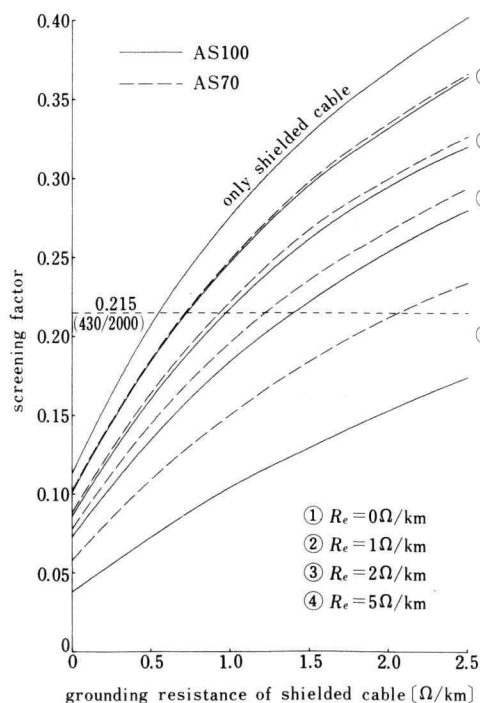


Fig. 5. Screening factor of shielded cable with a messenger wire.

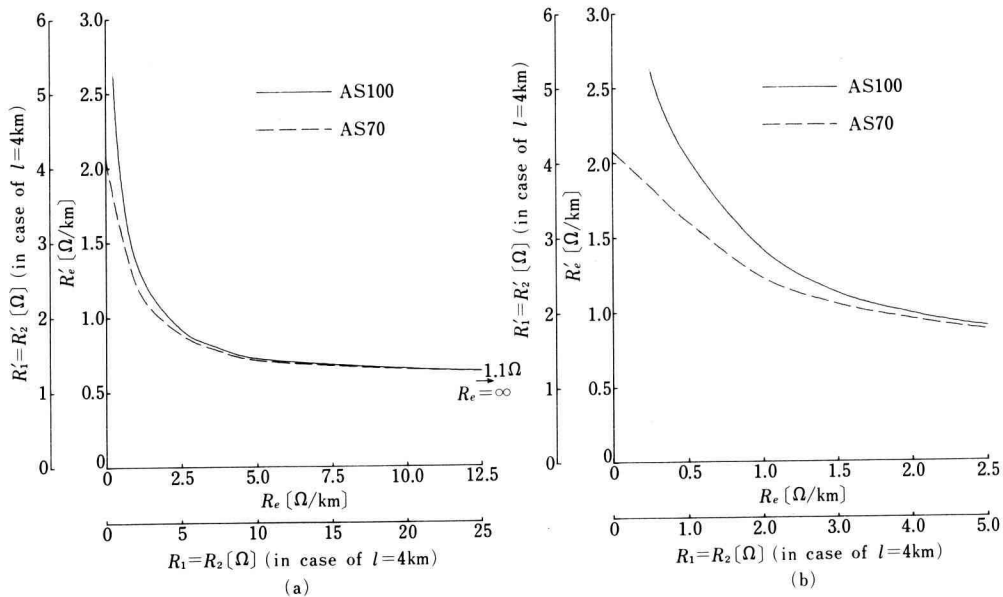


Fig. 6. Upper limit of the grounding resistances of shielded cable and messenger wire (induced voltage 2000 [V], limited value 430 [V]).

図(a)より, シャヘイケーブル単独では $R_e' = 0.55 \Omega/\text{km}$ の接地を必要とするが, メッセンジャワイヤの接地抵抗 R_e が $2.5 \Omega/\text{km}$ 以下であれば, シャヘイケーブルの接地が緩和されることが明らかとなっている。この部分を拡大したものが同図(b)である。これより, 所要のシャヘイ係数を得るのに必要な R_e と R_e' の関係を求め, 最も実現しやすい R_e と R_e' の値を決定すればよいことになる。

実際の適用にあたっては, 経済性も加味して十分検討する必要がある。

本研究を進めるに当たり, 貴重な御意見をいただきました電気学会・電子情報通信学会 誘導調査特別委員会第1WG主査 関根泰次東京大学教授, 日本電信電話株式会社 (NTT) ならびに東京電力株式会社の関係各位に深甚なる謝意を表します。

4. ま と め

通信線のメッセンジャワイヤに送電線の架空地線で使用されている AS や IACSR のような張力も確保できる上に導電率のよい導体を用いると, 両端の接地抵抗が低くとれる場合かなりのシャヘイ効果を期待できることが明らかとなった。このシャヘイ対策法は, 通信線側の仕様に関して若干の変更を必要とするが, 特に誘導電圧制限値を若干上回るケースに対しては極めて有効な方法となり得る点でメリットがあるものと思われる。また, シャヘイケーブルに対しても同じ考え方を適用することができ, かなりの効果を期待することも明らかとなった。ただし, シャヘイ層とメッセンジャワイヤの接地を別々にとらねばならないので,

文 献

- 1) 電気学会・電子情報通信学会 誘導調査特別委員会報告書: “電磁誘導に関する最新の動向と課題” p. 261-p. 291 (昭 54-3)
- 2) 同上委員会報告書 “情報化社会と省エネルギー時代の電磁誘導対策問題” p. 3-p. 43 (昭 58-7)
- 3) 森・大矢・井上: “高電磁誘導電圧が予測される通信線に対する一対策法とその対策効果の解析法” 電気学会論文誌 vol. 107-B, p. 333-p. 340 (昭 62-7)
- 4) 森・大矢: “高電磁誘導電圧の通信線に対する一対策法” 幾徳工業大学研究報告第 B-11 巻, p. 99-p. 106 (昭 62-3)

- 5) J.R. Carson: "Wave Propagation in Overhead wires with Ground Return" B.S.T.J. vol. 5, p. 539-p. 554 (1926-10)
- 6) F. Pollaczek: "Über das Feld einer unendlich langen wechselstromdurchflossenen Einfachleitung" E.N.T. Band 3 p. 339-p. 359 (1926-9)