電力ケーブルの故障点探査における信号処理による精度改善

正 員 犬塚 博 (静岡大学)

学生員 井上 剛 (静岡大学)

学生員 仲山正樹 (静岡大学)

正 員 松本隆宇 (静岡大学)

Accuracy Improvement Using by Signal Processing in the Fault Location for Underground Cable System

Hiroshi Inuzuka, Tsuyoshi Inoue, Masaki Nakayama, and Takaie Matsumoto
(Shizuoka University)

Abstract

In a fault location system by the current surge detection, the difference time of arrival on the fault current surge is measured at two positions on either side of the fault point. However, a rounding of the wave caused by a frequency characteristic of the power cable degrades the accuracy of the fault location. To improve the accuracy, we use some signal processing method, a frequency compensation, a decision algorithm of a pulse arrival timing from the rounded pulse, and estimation of the surge velocity in the power cable with high accuracy. In the frequency compensation, a digital filter with the inverse of frequency characteristics of this power cable is designed. The rounded surge at the measured point is sharpened by this inverse filter. The velocity of the surge in the power cable is estimated from the measurement of the phase characteristics of the cable. The velocity estimated as mean value of the phase characteristics slope weighted by the frequency spectrum of the surge.

A 1/10 scaled model of 275kV cross bonded cable system was built for the test of real time fault location system. The relative location errors defined by the ratio of error distance and the location base length are measured at seven artificial fault points, and results of the accuracy estimated from each algorithms. As a result of signal processing the accuracy of the fault location had been improved with the location error within 0.5%.

キーワード：故障点探査、周波数特性、伝搬特性、信号処理、サージ

1. はじめに

近年、各家庭の電力需要は年々大きくなり、それを担う電力の輸送は我々の生活にとって必要不可欠なものとなっている。そのような電力輸送手段として、地中電力ケーブルは益々重要性を増しており、長距離化も進んできている。このような長距離線路は一般的に重要線路である場合が多く、事故に際して迅速に事故点検出を行い早期復旧を行うことができるフォールトトレランスが極めて重要視される。

電力ケーブルの事故としては絶縁破壊が最大の問題

であるが、これはケーブルの絶縁体中のボイド・異物・突起等を起点として、電界・熱・機械力・環境（水の供給）等の劣化要因が単独または複合して加わり、部分放電・電気トリリー・水トリリーのように実際の局所的な劣化形態が現れ、これらの局所的劣化が更に進展すると多くの場合トリリーング(treeing)を経て絶縁破壊に至る。そして、ひとたび絶縁破壊に至ると電力の輸送が断絶する事態になってしまう。

このようなケーブル線路の事故時には、健全ケーブルと異なる特性インピーダンスを持つ事故点からの反射

図1 サージ電流受信型事故点検出の原理

Fig. 1 Principal of the fault location by receiving surge-current.

パルスを検出するパルスレーダ法や、ホイットストーンブリッジの応用であるマーレーン法といった手法で事故点検出が行われるが^{(1), (2)}、これらの手法では事故点の検出までに多くの手間と時間を要してしまう点が問題であった。

そこで、ケーブル線路に常設した装置により自動的に事故点が検出できれば、迅速且つ適切な処理を施すことが出来るという考えを基に、現在、地絡時に発生する急峻な地絡電流波形の到来時間差を複数点で測定し故障点の検出を行う電流サージ検出方式が検討されている^{(3), (4)}。

この方式では、観測点におけるサージ電流の到来時間をいかに精度良く測定するかが故障点の検出精度に直結するが、事故点では急峻な波形もケーブル中を伝搬していくうちにケーブル自身の周波数特性のために鈍り⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾、到来時間の決定が困難となってしまうため、事故点の検出精度が悪化してしまう⁽³⁾。

そこで本研究では、ケーブルの周波数特性を測定し、それを基にサージの変位の仕方をすることで、鈍った波形にどのような信号処理を施せばより精度良く事故点を求めることが出来るかを検討することを目的とする。

論文の構成は以下のようなものである。

まず第2章で、本手法による故障点探査法の原理と鈍ったパルスの到来時刻を決定するいくつかのアルゴリズムについて述べる。次に第3章ではケーブルの周波数特性をキャンセルするデジタルフィルタを用いて到来波形の鈍りを補正し波形の到来点を明確にすることにより故障点位置検出精度向上を図る手法を紹介する。第4章では模擬地絡を用いて実際にを行った電流サージ検出方式による事故点検出実験の結果を示すと共に、上記信号処理の効果を検討する。第5章では、その結果問題となったケーブル中のパルスの伝搬速度の決定法についての考察を述べる。最後に第6章で結論を述べる。

2. 電流サージ検出方式

2.1 電流サージ検出方式の原理

図1に電流サージ検出方式による故障点探査法の原理図を示す。ケーブルが絶縁破壊等により短絡事故を起こした場合、故障点では図2に示すような急峻な地絡電流波形が生じる。これは人工欠陥を作成した22kV級CVケーブルの地絡実験で得られた波形である。この波形は事故点から等速度で線路中を両側へ伝搬するので、このサージ電流を複数の点に設置された電流センサCT1, CT2で捕らえる。各々の電流センサで検出されたサージの到来時間差 t と、既知の値である線路長 L 、ケーブル中のサージの伝搬速度 v を用いてセンサから事故点までの距離 x を、次式を用いて求めることが出来る。

$$x = \frac{L - vt}{2} \quad (1)$$

図2 故障点で発生した地絡電流波形

Fig. 2 Current waveform at fault point.

図3 電力ケーブル中を125m伝搬した波形

Fig. 3 Current waveform passed 125m in XLPE (cross-linked polyethylene) cable.

2. 2 到来時刻の決定法

故障点で発生した地絡電流波形は、模擬実験を行った結果（図2）、立ち上がり時間が200ns～300nsの非常に急峻なものであると考えられるが、ケーブル中を伝搬していくうちにケーブル自身の周波数特性の影響を受け、観測点では鈍った波形となってしまう（図3）。このため、到来波形の時間差から故障点を特定する本手法では、検出されたサージ波形のどの位置を到来時刻と定義するかで故障点の位置測定精度に大きな影響を与える。そこで、いくつかの到来波形からの到来時刻決定法を考案し、どの手法が最も精度良く決定できるかを調べた。

2. 2. 1 微分方式

これは、波形の変化量が最大となる点をサージ波形の起点とする手法である。デジタル信号に対しては、隣り合う2点の差分をとることによりこれが実現できるため、単純なアルゴリズムで実現が可能となる。

2. 2. 2 クロス点方式

これは、サージ波形があるしきい値を超えた点を到来点とする方式である。今回、しきい値としては波形が到来する以前のノイズの最大値の2倍の値を用いた。

2. 2. 3 2点直線方式

これは、波形上の2点を直線で結び、その直線が時間軸と交わる点を到来点とする方式である。しかし、波形上のどの2点を用いるかという問題が生じる。

そこで今回は、到来サージ波形のピーク値の10%から90%までの点を10%間隔で求め、2点が共にピーク値の50%を超えるケースを除いた全ての組み合わせで到来時刻を計算して度数分布を調べ、最も頻度の高い階級の中央値を採用した。

2. 2. 4 最小2乗直線方式

この方式は2点直線方式と同様に、サージ波形からある直線を決定し、その直線が時間軸と交わる時刻を到来時刻とする方式である。ただ、直線の決定法としては少しでも多くの波形の情報を用いるように、サージ波形のある区間内のデータを用いて最小2乗法で直線近似を行った。このデータ区間としては2点直線方式と同様の方法を用い、得られた複数の到来時刻より、2点直線方式で採用した方法と同じ統計的処理を行い到来時刻を決定した。

3. 周波数特性補正による事故点測定精度向上

本方式では、故障点と観測点の距離が長くなるほど、ケーブルの周波数特性の影響を受け、観測点でのサージ波形の立ち上がり部分が鈍ってしまうため、到来時刻の

決定が難しくなり、故障点測定精度が悪化してしまう。

そこで、ケーブルの周波数特性による鈍りに対する補正を行い、サージ波形の立ち上がり部分を急峻化することで到来時刻をより明確にし、故障点測定精度を向上する事が可能かどうか検討を行った。

3. 1 波形急峻化の原理

故障点で発生した急峻な地絡電流波形はケーブルの周波数特性の影響を受けて、観測点では鈍った波形となってしまう。すなわち、故障点での地絡電流波形のスペクトルを $S_i(\omega)$ 、故障点から観測点までのケーブルの周波数特性を $H(\omega)$ 、観測点での電流波形のスペクトルを $S_o(\omega)$ とすると、

$$S_o(\omega) = S_i(\omega) \times H(\omega) \quad (2)$$

で表される。一般的にケーブルの周波数特性は高周波が減衰する低域通過フィルタ型の周波数特性であるので、ケーブルを伝搬する距離が長いほど、電流波形中の高周波成分が失われ、高周波成分が多く含まれるパルスの立ち上がり部分が失われ波形が鈍る。そこで、このケーブルの逆特性を持つデジタルフィルタを設計し観測波形を通す。

$$S_i(\omega) = S_o(\omega) \times H^{-1}(\omega) \quad (3)$$

ここで $H^{-1}(\omega)$ はケーブルの周波数特性の逆特性を表す。もしも理想的な逆特性が得られれば、(3)式に示される

図4 周波数特性の補正

Fig. 4 Frequency compensation of a pulse passed through a cable.

ようにケーブル伝搬によるスペクトルの減衰分が相殺され波形の鈍りは完全に補正され、事故点で発生したサージ波形が再現される(図4)。しかし、ケーブルの周波数特性は一般に周波数が高いほど減衰が大きくなるので、それを補正する逆特性は一種の微分特性を持った増幅器となり、雑音増幅器となるおそれがある。そこで、適当な周波数で補正を打ち切ることが必要である。なお、このような任意の周波数特性を持った逆フィルタは周波数サンプリング法で設計されたデジタルフィルタにより実現可能である。

又、デジタルフィルタを設計するためには、伝搬してきた距離に対応するケーブルの周波数特性 $H(\omega)$ が必要となるが、その周波数特性はケーブルの伝搬距離に依存するため、伝搬してきた距離を求めるために行う補正にも距離情報が必要になるという矛盾が生じる。

そこで、任意の距離を伝搬したサージ波形をシミュレーションにより予め求めておき、その波形から任意の距離における立ち上がり時間を調べた。こうして得られた伝搬距離と立ち上がり時間との関係を用いて、観測されたサージ波形の立ち上がり時間からおおよその伝搬距離を求め補正に用いる距離情報を得た。

3. 2 到来サージ波形の補正

補正を行うにあたって、予め伝搬距離とサージの立ち上がり時間の関係を調べておく必要がある。そこで、シミュレーションを使って各伝搬距離での波形を模擬し、その立ち上がり時間から、サージ波形の立ち上がり時間と距離のおおよその関係を求めた。長さ 85.3m の電力ケーブルの周波数特性をネットワークアナライザ(HP8751A)で測定し、その結果を用いて伝搬波形のシミュレーションを行い、伝搬距離と立ち上がり時間の関係を調べた。但し、立ち上がり時間としては、到達波形のピーク値の 10% から 50% に達するまでの時間とした。これは、50% を超える部分には、ケーブルの接続部等か

図5 伝搬距離とサージ波形の立ち上がり時間の関係

Fig.5 Dependence of the rise time of the surge to the propagation distance in the cable.

図6 周波数特性を補正した波形の一例

Fig. 6 A waveform after the frequency compensation.

らの反射波の影響をうけている場合があるからである。その結果、図5に示すように立ち上がり時間と距離はおおよそ直線の関係があることがわかった。

R.L.Wigington らの研究では、ケーブルを伝搬するパルスの立ち上がり時間は伝搬距離の2乗に比例することが示されている⁽⁵⁾。しかし、Wigington らは観測点では観測できない入力波形の振幅を使って立ち上がり時間を定義している。我々は上述のように観測点での観測波形のみで立ち上がり時間を定義しており、その場合は図5のようにおおよそ比例の関係となることが示される⁽⁶⁾。これは上記の定義の立ち上がり時間を用いる場合にケーブルに一般的に成立する関係である。

この立ち上がり時間と距離の関係式を用いておおよその伝搬距離を推定し、その距離に対応するケーブルの周波数特性の逆特性を掛け合わせ、到来サージ波形の補正を行う。

以上のような方式で設計されたデジタルフィルタを用い、到来サージ波形の補正を行い急峻化した結果の一例を図6に示す。補正フィルタには測定された周波数特性に基づき、周波数サンプリング法で設計された2047次のFIR (Finite Impulse Response) デジタルフィルタを用いた。ただし、前述のようにケーブルの周波数特性の完全な逆特性ではなく、ケーブルの振幅特性が-20dBの範囲まで補正を行った。それ以上はS/N比が低いので補正は行わず、限定した範囲のみ補正することで雑音の影響を最小限に抑えた。補正の結果、波形の最大変化率は37.5[A/μs]から80.6[A/μs]へと2倍以上改善されている。

なお、以上の理論は独立した1本のケーブルしか存在しないとした単純化されたモデルである。現実的には電力ケーブルは3相クロスボンド方式等で敷設され、心線とシース間以外にも他のケーブルや大地との結合により多数のモードが存在する。それぞれのモード毎に周波数特性や伝搬速度は異なり、一般に到達波形は非常に

NJ : Normal Joint

CT : PEASON 110A

NNJ : Non-grounded Normal Joint

E/O : Tektronix A69T03

IJ : Insulating Joint

O/E : Tektronix A69R03

図 7 事故点評点実験の構成図

Fig. 7 Experimental setup.

複雑なものとなる。しかし、その様な場合でも電流の三相和を用いると比較的単純な波形が得られる⁽³⁾。又、周波数特性の逆特性もおおよそその距離情報から見積もれる様にそれ程高い精度は補正には要求されない。したがって、パルスの伝搬速度の情報を予め取得しておけば、現実的なシステムに対しても本方式は適用可能と考えられる。それでも、クロスボンドの接続点での反射の影響・アレスタ等の非線形部品の影響等、現実的なシステムでは本方式での位置測定精度に影響を与える要因が数多く存在する。そこで、実際に現実的な電力ケーブルシステムを模擬した模擬線路を敷設し、それを使って本方式の測定精度がどの程度になるのかを実験的に調べた。

4. 模擬地絡を用いた電流サージ検出方式による事故点標定実験

4. 1. 実験方法

これらの到来時刻決定法及び周波数特性補正の信号処理の特長を実際に調べるため、AC6.0kV の電圧を印加し模擬事故点標定実験を行った。その実験配置図を図7に示す。

全長 315m、検出区間 230m の 6.6KV 級 22mm² の電力用 CV ケーブルを 3 相クロスボンド方式で敷設し、事故による地絡を模擬するため、事故相にのみ AC6.0kV を印加し、気中ギャップを用いて模擬地絡を行った。各絶縁接続部には酸化亜鉛形避雷器（アレスタ）が橋絡非接地方式で取り付けられている。図中の NJ と NNJ はそれぞれ大地に接地されたクロスボンドの接続部と非接地の接続部であり、IJ は絶縁接続部である。模擬地絡は AC 電圧のほぼピーク時に発生するように調節し、この時生じたサージ電流を IJ1 と IJ4 の地点において、各ケーブルのクロスボンド接続線とアレスタに流れる電流として電流センサ PEASON2877 を用いてそれぞれ観

測した。信号処理にはそれら三相の電流の和を計算したものを用いた。三相和を用いるのは大地帰路モード等の影響をできるだけ軽減するためである⁽³⁾。模擬事故点は位置を変え 7 箇所で行った。一例として、IJ3 を事故点として IJ1 と IJ4 の地点で観測された到来サージと、その周波数特性の補正を行った結果を図8に示す。二つのサージの到来時間差より(1)式で事故点の位置を推定する。

4. 2 各到来時刻決定法による位置標定誤差

複数地点の模擬地絡実験で得られた各部電流波形に 4 つの到来時刻決定法を用いて事故点標定を行い、IJ1 から事故点までの距離と事故点標定誤差の関係を求めた。各事故点での標定結果と正しい位置との間の標定誤差を測定した 7 箇所について求め、二乗平均して平均二乗誤差とし、検出区間である 230m で割って求めた相対誤差の比較を行った結果を図9に示す。クロスボンド接続線電流とアレスタ流入電流及び両者の和のどの電流を測定すべきかという点に関しては、クロスボンド

図 8 実験で観測された到来サージの一例

Fig.8 A wave form of the arrived surge in the experiment

図9 各種到来時刻決定法による誤差の違い

Fig. 9 Averaged square error of each method.

接続線電流を用いた結果が最も精度が良くなった。これはアレスタに流れる電流波形がクロスバンドを流れる電流よりも鈍りが大きいことの影響である。又、どの方式でも3%以内の精度で事故点を求めることができたが、最も良かったのは2点直線方式と最小二乗直線方式であった。

4. 3 周波数特性の補正を行った場合の位置標定誤差

さらに、サージ波形に対し前記の補正を行い波形を急峻化した波形に、各到来時刻決定法を用いて事故点標定を行った。

図10 補正を行った場合の各種到来時刻決定法による誤差の違い

Fig. 10 Averaged square error of each method with the frequency compensation.

クロス点方式は、ノイズを増幅する性質を持つ逆フィルタの影響で測定不能となったが、他の三つの到来時刻決定法については、補正波形を用いることで測定精度が向上した結果が得られた。補正の結果、伝搬距離が伸び波形の鈍りが大きくなって、補正を行わない場合と異なりそれほど精度が悪化しない結果が得られた。それらについて平均2乗誤差を用いて比較した結果を図10に示す。この結果より、最も誤差が小さいのはクロスバンド線電流に補正波形を用いて2点直線方式または最小2乗直線方式で求めた場合であり、測定精度約0.5%が得られた。

5. サージ波形の伝搬速度に対する検討

本手法では、(1)式を使って事故点の位置を計算する。したがって、予めケーブルを伝搬するパルスの伝搬速度 v を求めておく必要がある。伝搬速度を求めるにもいくつかの手法があるが、我々は位相特性の傾きを利用して求めた。これは実験的に伝搬速度を求める手法が、前述の波形鈍りの影響で精度が悪いためである。雑音の影響が強く出る振幅特性が-60dBを超える点までの位相特性のデータを最小2乗法で直線近似し、その傾きより位相速度を求めているが、この速度は、位置測定精度に直結するのでその精度が問題となる。しかし、そうして計算された伝搬速度では、まだ不正確であるという結果が図11に示すように得られた。

図11は位相速度を光速に対する比である速度係数で表し、一例として、微分方式の場合の誤差が速度係数を変化させた場合にどのように変化するかを求めたものである。その結果、ある速度係数で極小値をとるのであるが、それは上記の位相特性の傾きより求めた速度係数0.509という値とは異なる0.47で極小値をとった。これは、前記の手法では位相速度を求めるのに速度は周波数によらず一定として求めたが、現実のケーブルの位相特性は直線ではなく、よく知られている様にその傾きの値

図11 平均二乗誤差の速度係数依存性

Fig. 11 Dependence of the velocity factor of the power cable to the frequency.

図 1 2 電力ケーブルの速度係数の周波数依存性

Fig. 12 Dependence of the averaged square error to the velocity factor

である速度も周波数によって変化するためである。そこで、本実験に用いた電力ケーブルの位相特性を各周波数毎に微分して、周波数に対する速度係数の依存性を求めたのが図 1 2 である。速度係数は特に周波数が低い所で大きく変化する。実際の波形も、この伝搬速度の周波数による違い（分散性）の影響を受けている。0.509 という値は単純に各周波数の算術平均をとることに対応する。

しかし、現実の到来するサージ波形は、前述のようにケーブルの周波数特性のため、伝搬の過程で高周波成分が失われ、1～10MHz 程度以下の低周波成分が主なものとなっている。実際に、120m 電力ケーブルを伝搬した波形を FFT (Fast Fourier Transform) でスペクトル解析した結果が図 1 3 である。このデータも図 7 の測定系と同じもので測定した。

周波数に対する算術平均では、到達波形中にはほとんど存在しない 1MHz 以上の成分の影響が相対的に大きくなるので、到達波形を構成しているスペクトル成分の大きさに基づき重み付けして速度係数を求めることと

図 1 3 到来サージ波形の周波数スペクトル

Fig.13 Frequency spectrum of surge waveform passed 120m in XLPE cable.

した。すなわち、到達波形のスペクトルを $s(\omega)$ 、各周波数での速度係数 $v(\omega)$ として、重み付け平均された速度係数 v_p を求めた。

$$v_p = \frac{\int v(\omega)s(\omega)d\omega}{\int s(\omega)d\omega} \quad (4)$$

実際にはケーブルは線形システムと考えられるので、各周波数成分がそれぞれの速度で伝搬し観測点でそれらが合成され波形が形成される。したがって、(4) 式は周波数成分の中で相対的に大きな成分がより多く全体としての速度に影響を与えるという仮定をしていることに対応する。その結果の重み付け平均された速度係数 v_p は 0.475 となり、図 1 1 と比較してもかなり妥当な速度係数の値を位相特性の測定結果より本実験の場合は見積もることができた。厳密には到来サージ波形のスペクトルにも伝搬距離依存性があるのだが、それほど大きなものではないので、実用的な伝搬距離の範囲内であれば目安の値として利用しうると考えられる。

以上は、単純化された同軸モードでの議論であるが、現実には速度の異なる多くのモードが存在すると共に、実際の伝搬速度はケーブルの敷設状況・付帯設備等によっても変化する。しかし、本実験の様に電流の三相和を用いる場合は、同軸モードが主な成分となり、この様な単純化されたモデルでの近似が比較的妥当なものとなる。なお、より定量的に厳密な議論をする為には、本研究はある一つのシステムについて実験的に検討した結果であるので、様々な異なった条件での実験を行うこと、実際に敷設された状況で位相特性を測定した結果と比較すること等、実際の状況でのさらなる実験・検証が必要と考えられる。

6. まとめ

本論文では、事故点で発生する地絡電流波形の到来時間差を用いた事故点探査方式である電流サージ検出方式での測定精度改善のため、いくつかの信号処理を導入することを検討した。

電力ケーブルの周波数特性のため鈍ってしまった波形の到達時刻の決定法をいくつか検討し、波形上の 2 点を直線で結びその直線が時間軸と交わる点を到来点とする方式や、立ち上がりを最小二乗法で求めた直線で近似しその直線が時間軸と交わる点を到来点とする方式の精度が良好であることを確認した。

電力ケーブルの周波数特性の影響で鈍ってしまった波形を、デジタルフィルタを用いた逆フィルタによって補正することで、さらに測定精度が改善できることを明らかにした。

電流サージ検出方式では、事前に必要な情報である波形の伝搬速度が直接測定精度に直結するが、それをケーブルの位相特性から求める手法について検討した。

さらに、これら提案の手法が実際の条件でどれだけの精度改善につながるかを定量的に調べるため、実際に実機の1/10スケールの3相クロスボンド方式の模擬線路を敷設し、模擬的な事故点からのサージ伝搬の時間差から事故点標定を行い各手法の得失を調べた。

その結果、デジタルフィルタを用いた波形の補正及び鈍った波形の到来時刻決定法の改善、サージの伝搬速度の決定法についての改良等で、位置測定精度が改善できることを実験的に確認した。そして、それらの信号処理の導入により0.5%程度の位置測定精度が達成できる可能性を示した。

(平成12年02月28日受付, 平成12年06月21日再受付)

文 献

- (1) 速水敏幸:「CVケーブル」コロナ社(1986).
- (2) 飯塚喜一郎監修:「電力ケーブル技術ハンドブック」電気書院(1989).
- (3) T. Matsumoto, M. Yamada, H. Nakamura, H. Yasui, Y. Maruyama, T. Kawamoto and H. Inuzuka: "Real Time Fault Location System for Cross Bonded Cable System", Proc. 10th Int. Symp. on High Voltage Eng., 6, pp.352-355, (1997).
- (4) 中村秀人、吉田俊朗、丸山義雄、松本隆宇: "地中送電線路用事故点標定システム", 古河電工時報, 102, pp.93-98, (1998).
- (5) R.L. Wigington and N.S. Nahman: "Transient analysis of coaxial cables considering skin effect", Proc. IRE, 45, pp.166-174, (1957).
- (6) Ola Brein and Inge Johansen: "Attenuation of traveling waves in single-phase high-voltage cables", Proc. IEE, 118, pp.787-793, (1971).
- (7) 松本隆宇、河本映、犬塚博、坂本俊貴:「サージ検出方式故障点位置評定の位置精度に関する一考察」平7電気学会全大, No.1736, (1995).
- (8) 井上剛、仲山正樹、犬塚博、松本隆宇:「ケーブルを伝搬するパルスの立ち上がり時間の距離依存性」平10電気学会全大, No.1712, (1998)

犬塚 博

(正員) 1957年11月21日生まれ。1985年3月名古屋大学大学院博士課程修了、同年4月より同大学工学部助手、1990年4月より静岡大学工学部助教授、現在に至る。工学博士。電力ケーブルの測定法・プラズマ計測・非定常スペクトル解析等のデジタル信号処理を応用した計測法の研究に従事。

井上 剛

(非会員) 1972年4月24日生まれ。1998年3月静岡大学大学院博士前期課程修了、同年4月松下技研株式会社入社、現在、情報・ネットワーク研究所所属。在学中は電力ケーブルの故障点探査法の研究を行う。現在は音声信号処理の研究に従事。

仲山 正樹

(非会員) 1974年12月19日生まれ。1999年3月静岡大学大学院博士前期課程修了、同年4月日本電気移動通信株式会社入社、現在に至る。電力ケーブルの故障点探査法の研究に従事。

松本 隆宇

(正員) 1952年1月16日生まれ。1982年3月東京大学大学院博士課程修了。同年4月より茨城大学工学部助手、1984年4月より静岡大学工学部助教授、現在に至る。この間、1991年4月から1992年8月までスイス連邦工科大学客員教授。工学博士。主として、高電圧計測とその応用、放電現象の研究に従事