



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETA' INDUSTRIALE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

# UIBM

<b>DOMANDA NUMERO</b>	<b>101997900613100</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>23/07/1997</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>23/01/1999</b>

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	R		

Titolo

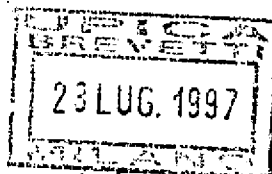
SISTEMA DI MISURA DELLA RESISTENZA EQUIVALENTE SERIE IN CORRENTE ALTERNATA  
DI UN CONDUTTORE

M

Descrizione dell'invenzione dal titolo:

**"Sistema di misura della resistenza equivalente serie in corrente alternata di un conduttore"**

a nome di PIRELLI CAVI S.p.A.



5 La presente invenzione riguarda un sistema e un metodo di misura della resistenza equivalente serie in corrente alternata di un conduttore ed in particolare in regime di trasporto di elevata corrente, cioè dell'ordine di alcune migliaia di Ampere (circa 3000 A).

MI 97 A 1740

10 Il conduttore al passaggio della corrente elettrica alternata, ad esempio alla frequenza di 50 Hz, presenterà una impedenza avente una componente reale o attiva ed una componente immaginaria o reattiva. La misura della resistenza in corrente alternata si riferisce al valore, per unità di lunghezza ( $\Omega/m$ ), della componente reale dell'impedenza del conduttore.

15 Il rapido aumento della potenza richiesta dai sistemi elettrici ha portato oggi a realizzare cavi per alta tensione con conduttori di sezione superiore a 1000 mm<sup>2</sup>. Per poter valutare le prestazioni di un cavo di tale genere e per quantificare l'entità delle perdite di potenza è importante conoscere il valore della resistenza equivalente serie in corrente alternata di un conduttore.

20 Con conduttori di tali dimensioni la distribuzione disuniforme di corrente all'interno della sezione provoca un notevole incremento della resistenza equivalente serie in corrente alternata. Tale fenomeno, come è noto è dovuto principalmente a due effetti denominati effetto pelle ed effetto prossimità.

L'effetto pelle corrisponde alla tendenza della corrente alternata a fluire vicino alla superficie di un conduttore, riducendo in questo modo la sezione utile al  
25 passaggio della corrente, aumentandone la resistenza.

L'effetto prossimità comporta una redistribuzione della corrente nel conduttore dovuta alla vicinanza di un altro conduttore.

Considerata la difficoltà di applicare i metodi tradizionali di calcolo della resistenza, come quelli riportati negli articoli di seguito elencati e dalla norma  
5 CEI 287, ai conduttori usati nella pratica, formati da un grandissimo numero di fili, più o meno isolati tra di loro, l'unico mezzo per valutare la resistenza equivalente serie in corrente alternata è quello sperimentale.

Gli articoli relativi ai metodi di calcolo sono: "Eddy current losses in single-conductor paper insulated lead covered unarmoured cables of single-phase  
10 system", A. H. Arnold, Vol. 89, Part. II, J. IEE, P.636, 1942; e "Proximity effect in solid and hollow round conductors", A. H. Arnold, Vol. 88, Part. II, J. IEE, P.354, 1941.

La misura della resistenza in corrente alternata è di notevole interesse sia in sede di ricerca, dove è utilizzata per migliorare il progetto del conduttore, sia in  
15 sede industriale, per il collaudo del prodotto finito.

In particolare, il metodo utilizzato deve garantire la ripetibilità e la precisione tipiche dei metodi impiegati in sede di ricerca, ma deve essere sufficientemente semplice da poter essere applicato industrialmente.

La misura della resistenza in corrente alternata va eseguita considerando la  
20 temperatura del cavo, la frequenza della corrente circolante, e la vicinanza di altri conduttori.

La resistenza in corrente alternata per cavi di sezione di  $1000 \text{ mm}^2$  è dell'ordine di  $10^{-4} - 10^{-5} \Omega/\text{m}$  e la precisione della misura deve essere almeno dello 0,1%.

Una tecnica di misura della resistenza in corrente alternata fa uso di reti del tipo  
25 a ponte per via della loro semplicità e per l'assenza di calibrazioni iniziali.

Una rete a ponte è costituita da un quadrilatero di impedenze di cui una è incognita. Su una delle diagonali è inserito un indicatore di zero (costituito normalmente da un galvanometro), sull'altra l'alimentazione. Modificando il valore di uno o più lati, di valore noto, fino ad azzerare l'indicatore di zero, si  
5 ricava il valore dell'impedenza incognita dal valore delle altre impedenze. La precisione di un sistema a ponte dipende direttamente dalla precisione delle impedenze note.

Ad esempio, con impedenze aventi una precisione dello 0,1% si riesce ad ottenere una precisione delle misure di circa 0,2%. Precisioni migliori sono  
10 ottenibili solo con particolari calibrazioni preliminari.

Inoltre se sono presenti nella corrente circolante nel conduttore, come normalmente accade, contributi armonici a frequenze superiori a quella di lavoro, la misura con il ponte potrebbe far sovrastimare il valore della resistenza.

L'articolo di F. Castelli, L. Maciotta-Rolandin, P. Riner dal titolo "A new method  
15 for measuring the AC resistance of large cable conductors", pubblicato in Marzo-Aprile 1977 su IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-96, no.2 p.414-22, descrive un ponte di misura per la resistenza in corrente alternata basato su quello denominato di Maxwell che in un lato fa uso di un trasformatore in modo che il ponte di misura non sia percorso dalla alta corrente  
20 del conduttore.

La misura della resistenza in corrente alternata è ricavabile dal rapporto tra la componente reale della tensione prelevata in una lunghezza predeterminata del conduttore e la corrente circolante nel conduttore stesso. Nota la corrente circolante nel conduttore, la misura della tensione può essere eseguita con uno  
25 strumento in grado di discriminare e misurare la componente reale da quella

immaginaria. Uno strumento di tale tipo è quello denominato amplificatore lock-in, come ad esempio quello commercializzato da Stanford Research Systems, 1290-D Reamwood Ave., Sunnyvale, CA, modello SR-830.

5 Tale amplificatore presenta una precisione (gain accuracy) della misura pari al 1%, ritenuta non sufficiente per la misura della resistenza in corrente alternata.

La Richiedente ha trovato che la precisione della misura può essere grandemente aumentata, oltre il limite di precisione dello strumento disponibile, misurando con esso anzichè il valore della grandezza da misurare, la differenza tra detta grandezza ed una grandezza nota e regolabile. In tal modo l'errore di  
10 misura dello strumento, proporzionale al valore della misura stessa, può essere ridotto facendo tendere a zero detta differenza, o comunque portando detta differenza ad un valore tale che il relativo errore di misura sia inferiore ad un valore prefissato.

In un primo aspetto la presente invenzione riguarda un metodo per la misura  
15 della resistenza serie di un conduttore percorso da una corrente alternata comprendente le fasi di:

- misurare almeno una componente reale di una caduta di tensione in una lunghezza predeterminata di detto conduttore;
- ricavare una corrente di misura da detto conduttore, detta corrente di misura  
20 avente solo una componente reale e avente una relazione predeterminata con detta corrente alternata; caratterizzato dal fatto di
- convertire detta corrente di misura in una corrispondente tensione di misura avente un rapporto di conversione prefissato con detta corrente di misura;
- prelevare una porzione regolabile di tensione da detta tensione di misura;
- 25 - confrontare detta porzione regolabile di tensione con detta caduta di tensione;

- regolare detta porzione regolabile di tensione in modo da bilanciare detta caduta di tensione;

- misurare detta porzione regolabile di tensione che bilancia detta caduta di tensione;

5 - misurare detta corrente alternata;

- determinare la resistenza come funzione del valore di detta porzione regolabile di tensione che bilancia detta caduta di tensione e del valore di detta corrente alternata.

Ai fini della presente invenzione, per bilanciare una caduta di tensione si intende  
10 generare una corrispondente tensione di valore tale che la differenza tra detta tensione generata e detta caduta di tensione sia sostanzialmente prossima a zero (a meno di un valore correlato con il grado di precisione di misura voluto).

Preferibilmente la fase di misurare detta corrente alternata comprende le fasi di:  
misurare detta tensione di misura;

15 determinare il valore di detta corrente alternata come funzione di detta tensione di misura misurata, di detto rapporto di conversione prefissato e di detta relazione predeterminata.

Preferibilmente comprende ulteriormente la fase di eliminare la componente immaginaria di detta caduta di tensione.

20 In particolare la fase di eliminare la componente immaginaria di detta caduta di tensione comprende le fasi di:

misurare una componente immaginaria di detta caduta di tensione;

prelevare una ulteriore tensione regolabile da detto conduttore, avente solo una componente immaginaria;

25 confrontare detta ulteriore tensione con la componente immaginaria di detta

caduta di tensione;

regolare detta ulteriore tensione in modo da bilanciare detta componente immaginaria di detta caduta di tensione.

Preferibilmente la fase di ricavare una corrente di misura da detto conduttore  
5 comprende associare un trasformatore di misura a detto conduttore, atto a generare detta corrente di misura in correlazione a detta corrente alternata.

Preferibilmente detta relazione predeterminata è funzione del rapporto di trasformazione di detto trasformatore.

In una forma preferita la fase di convertire detta corrente di misura comprende  
10 far passare detta corrente di misura attraverso una resistenza di valore prefissato.

In particolare detta relazione predeterminata è funzione del valore prefissato di detta resistenza.

In particolare detta fase di prelevare una porzione regolabile di tensione  
15 comprende collegare un partitore di tensione in parallelo a detta resistenza.

In particolare detta fase di confrontare comprende alimentare detta caduta tensione e detta porzione regolabile di tensione ad un indicatore di zero.

In un ulteriore aspetto la presente invenzione riguarda un metodo per la misura della resistenza serie di un conduttore percorso da una corrente alternata  
20 comprendente le fasi di:

– misurare almeno una componente reale di una caduta di tensione in una lunghezza predeterminata di detto conduttore;

– ricavare una corrente di misura da detto conduttore, detta corrente di misura avente solo una componente reale e avente una relazione predeterminata

25 con detta corrente alternata; caratterizzato dal fatto di

- convertire detta corrente di misura in una corrispondente tensione di misura avente un rapporto di conversione prefissato con detta corrente di misura;
- prelevare una porzione di tensione da detta tensione di misura;
- confrontare detta porzione di tensione con detta caduta di tensione;
- 5 - misurare la differenza tra detta porzione di tensione e detta caduta di tensione;
- selezionare detta porzione di tensione ad un valore noto tale che detta differenza sia minore di un valore prefissato;
- misurare detta corrente alternata;
- 10 - determinare la resistenza come funzione del valore di detto valore noto di detta porzione di tensione, di detta differenza e del valore di detta corrente alternata.

In un ulteriore aspetto la presente invenzione riguarda un sistema per la misura della resistenza serie di un conduttore alimentato da una corrente alternata  
15 comprendente:

- un sensore di tensione applicato in una lunghezza predeterminata di detto conduttore atto a fornire una tensione misurata avente almeno una componente reale;
- un sensore di corrente applicato a detto conduttore atto a fornire una corrente  
20 di misura, avente solo una componente reale, avente una relazione predeterminata con detta corrente alternata;
- un convertitore corrente/tensione per convertire detta corrente di misura in una tensione corrispondente, avente un rapporto di conversione prefissato con detta corrente di misura;
- 25 - un partitore di tensione in grado di fornire una partizione regolabile di detta

tensione corrispondente;

– un indicatore di zero ricevente detta tensione misurata e detta partizione regolabile, atto a indicare il bilanciamento tra le componenti reali di detta tensione misurata e di detta partizione regolabile;

5 – un misuratore di tensione atto a fornire il valore di detta partizione regolabile ed il valore di detta tensione corrispondente;

– mezzi di calcolo atti a determinare il valore della resistenza come funzione del valore di detta partizione regolabile, del valore di detta tensione corrispondente, di detta relazione predeterminata e di detto rapporto di

10 conversione prefissato.

Preferibilmente comprende ulteriormente una mutua induttanza variabile associata a detto conduttore, atta a fornire una tensione variabile avente solo una componente immaginaria e un indicatore di zero atto a indicare il bilanciamento tra la componente immaginaria di detta tensione misurata e detta

15 tensione variabile fornita da detta mutua induttanza variabile.

Preferibilmente detto indicatore di zero è costituito da un voltmetro vettoriale.

Più preferibilmente detto indicatore di zero è costituito da un amplificatore lock-in.

In particolare detto misuratore di tensione è un misuratore avente una precisione

20 maggiore di 0,1%.

Preferibilmente detto convertitore corrente/tensione comprende una resistenza in cui circola detta corrente di misura; detta resistenza ha un valore di induttanza minore di 1  $\mu\text{H}$ .

In particolare detto partitore di tensione comprende un potenziometro variabile

25 connesso in parallelo a detta resistenza; detto potenziometro ha un valore di

induttanza minore di 1  $\mu$ H.

In particolare detta resistenza ha una precisione maggiore di 0,1%.

Preferibilmente detto sensore di corrente comprende un trasformatore connesso operativamente con detto conduttore.

5 Maggiori dettagli potranno essere rilevati dalla seguente descrizione, con riferimento ai disegni allegati in cui si mostra:

in figura 1 uno schema del banco di misura della resistenza in corrente alternata secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione;

10 in figura 2 uno schema del banco di misura della resistenza in corrente alternata secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione.

Nella figura 1 è rappresentato schematicamente un banco di misura della resistenza in corrente alternata secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione.

15 Il banco di misura comprende un conduttore alimentato 1 e un sistema di misura 2.

Il conduttore alimentato 1 comprende un alimentatore 3 di tensione alternata, connesso all'ingresso di un trasformatore 4; l'uscita del trasformatore 4 alimenta un conduttore 5 di cui si vuole misurare la resistenza in corrente alternata.

20 Il sistema di misura 2 comprende un trasformatore di corrente di precisione 6 avente una relazione predeterminata, equivalente al rapporto di trasformazione, con la corrente del conduttore 5, ed alimenta una corrente trasformata ad una resistenza 7. In parallelo alla resistenza 7 è connesso un potenziometro variabile 8. Una tensione regolabile è prelevata dal potenziometro 8 e fornita ad un voltmetro di precisione 10. Regolando il potenziometro ad un suo estremo, il  
25 voltmetro di precisione 10 è in grado di misurare anche la tensione ai capi della

resistenza 7.

La stessa tensione regolabile prelevata dal potenziometro 8 è anche fornita ad un ingresso A di un amplificatore lock-in 9.

Due sensori di tensione 11 e 12 sono applicati, ad una distanza prefissata tra loro, sul conduttore 5. Il sensore 11 ed il sensore 12 sono collegati ad un ingresso B dell'amplificatore lock-in 10.

Nella figura 2 è rappresentato schematicamente un banco di misura della resistenza in corrente alternata secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione.

Questa forma di realizzazione differisce da quella di figura 1 dalla presenza di una mutua induttanza variabile 13. Il sensore 11 è collegato ad un terminale dell'induttanza 13, l'altro terminale dell'induttanza 13 ed il sensore 12 sono collegati all'ingresso B dell'amplificatore lock-in 10.

Riferendosi alla prima forma di realizzazione di figura 1 il principio di misura della resistenza è il seguente.

Ai capi della resistenza campione 7 si avrà una tensione  $U_a$  proporzionale alla corrente  $I_s$  fluente nel conduttore 5. La resistenza 7 si comporta come un convertitore corrente/tensione avente un rapporto di conversione che è dato dal valore della resistenza stessa. Se la resistenza campione 7 è una pura resistenza, e se il trasformatore 6 ha un errore d'angolo trascurabile, il valore della tensione  $U_a$  avrà praticamente solo la componente reale. Questa tensione  $U_a$  sarà funzione del rapporto di trasformazione  $n$  del trasformatore di corrente di precisione 6 e del valore  $R$  della resistenza campione 7, e cioè  $U_a = I_s/n * R$ .

Tale tensione  $U_a$  è applicata al potenziometro 8, dal quale è possibile prelevarne una partizione regolabile  $\eta U_a$ , misurata dal voltmetro di precisione

10 e applicata all'ingresso A dell'amplificatore lock-in 9. L'amplificatore lock-in 9 verrà posto nella funzione "A" (funzione operativa sull'ingresso A) e quindi esso utilizzerà la frequenza di questa tensione come frequenza di riferimento per la misura. Effettuerà, cioè, la funzione denominata di "autofase" per sincronizzare  
5 con questo segnale il suo riferimento interno di fase.

La tensione  $U_{rc} + U_{xc}$  prelevata dai sensori 11 e 12, è connessa all'ingresso B del amplificatore lock-in 9. Tale tensione avrà una componente resistiva  $U_{rc}$  ed una componente reattiva  $U_{xc}$ .

Posto l'amplificatore lock-in 9 nella funzione "A-B" (funzione operativa sulla  
10 differenza tra l'ingresso A e l'ingresso B), si opererà quindi sul potenziometro variabile 8, fornendo la tensione  $\eta U_{ta}$  in modo da bilanciare la componente resistiva  $U_{rc}$  della tensione presente all'ingresso B dell'amplificatore lock-in 9. Il raggiungimento della condizione di bilanciamento sarà visualizzato dall'amplificatore lock-in 9, come azzeramento della lettura del canale  
15 "componente reale" che visualizza la componente reale della tensione.

Al raggiungimento del bilanciamento (annullamento) tra le tensioni  $\eta U_{ta}$  e  $U_{rc}$ , cioè quando l'entità della tensione  $\eta U_{ta}$  sarà pari alla tensione  $U_{rc}$ , si leggerà il valore della tensione  $\eta U_{ta}$  mediante il voltmetro 10.

Mediante il voltmetro 10 si misurerà la tensione  $U_{ta}$ , cioè la tensione a capi della  
20 resistenza 7, ad esempio portando il cursore del potenziometro all'estremo superiore, quindi si calcolerà il valore della resistenza  $R_{ac}$  in corrente alternata del conduttore che sarà  $R_{ac} = \eta U_{ta} R / (\eta U_{ta}) = \eta R / n$ , cioè sarà data dal rapporto tra due misure moltiplicate per R e divise per n.

Il valore  $R_{ac}$  così trovato, per avere un valore di resistenza per unità di  
25 lunghezza ( $\Omega/m$ ), dovrà essere diviso per la distanza prefissata tra il sensore 11

ed il sensore 12.

Riferendosi ora alla seconda forma di realizzazione di figura 2 si dovrà operare, oltre che sul potenziometro 8, anche sulla mutua induttanza variabile 13, che fornisce una tensione reattiva  $U_{xl}$  in modo da bilanciare la componente reattiva

5  $U_{xc}$  della tensione presente all'ingresso B dell'amplificatore lock-in 9. Il raggiungimento della condizione di bilanciamento sarà ancora visualizzato dall'amplificatore lock-in 9, come azzeramento della lettura del canale "componente immaginaria" che visualizza la componente immaginaria della tensione. Il bilanciamento della componente reattiva della tensione permette di  
10 aumentare la sensibilità dell'amplificatore lock-in 9. Annullando la componente reattiva della tensione, che è normalmente di valore inferiore alla rispettiva componente attiva, è possibile migliorare la sensibilità dello strumento (diminuire il fondo scala) e quindi le prestazioni del metodo di misura.

Viene descritto ora un esempio di realizzazione del banco di misura della  
15 resistenza in corrente alternata secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione.

Per ottenere una precisione come quella richiesta per questa misura e cioè migliore dello 0,1%, l'alimentatore 3 deve avere ad esempio le seguenti caratteristiche: fornire una corrente da 100 A a 3500 A, con una stabilità  
20 dell'ampiezza maggiore dello 0,05% in un ora, una stabilità in frequenza maggiore di 0,01 Hz in un ora, ed una distorsione minore dello 0,2%.

L'alimentatore 3, è in particolare quello fornito dalla ditta Audio Equipment, Rue Bechevelin 22, 69007 Lione, Francia, costituito da un generatore di segnale collegato ad un gruppo di 6 amplificatori opportunamente collegati in modo da  
25 erogare 5000 W. L'uscita degli amplificatori è connessa al trasformatore 4.

L'alimentatore 3 può anche essere costituito da uno stabilizzatore di tensione il cui ingresso è connesso alla rete elettrica e la cui uscita è connessa ad un autotrasformatore ad esempio da 0-400 V, 150 A, e quindi al trasformatore 4 che alimenta il conduttore 5.

- 5 Il trasformatore di corrente 4 è della ditta BC Transformateurs, Allee des Justices, 85200 Fontenay Le Comte, Francia, con tensione e corrente sul primario di 400 V e 150 A max, (60 KVA), e la capacità di erogare fino a 4000 A sul secondario, (1500 V/40 A, 10 V/4000 A, 20 V/4000 A, 30 V/4000 A).

10 Il conduttore 5 è costituito da due barre di rame elettrolitico trafilato a freddo di sezione circolare, lunghe 15 m, con un diametro di 20 mm, utilizzato in una prova, oppure di 40 mm utilizzato in una ulteriore prova. E' stato usato un conduttore avente questa semplice struttura geometrica per poter confrontare le misure effettuate con valori calcolati teoricamente come successivamente descritto.

- 15 La presenza di eventuali materiali magnetici o ferromagnetici disposti vicino al banco di misura può provocare un aumento del valore di resistenza equivalente misurato, a causa delle perdite per correnti parassite e/o per isteresi dovute al campo generato dall'elevata corrente di prova. Al fine di evitare ciò, il conduttore 5 è posto su di un telaio, alto 1,5 m, in resina (fibra di vetro e poliestere) di  
20 dimensioni adeguate. Questo telaio è ricoperto per tutta la sua lunghezza da un elemento di chiusura, in materiale dielettrico, alto 0,5 m, aperto alle estremità minori, in modo da rendere possibile una eventuale ventilazione forzata.

Come trasformatore di corrente di precisione 6 è stato utilizzato in particolare quello commercializzato dalla ditta TETTEX, BernaStrasse 90 8953, Dietikon,  
25 Zurigo, Svizzera, avente un rapporto di trasformazione di 3500 A/5 A ed un

errore d'angolo  $\Phi = 0,5$  min.

La resistenza campione 7 ha, nell'esempio qui descritto, il valore di  $0,1 \Omega \pm 0,01\%$  della già citata ditta TETTEX, ma valori differenti possono essere utilizzati in funzione del valore del valore della resistenza  $R_{ac}$  che si deve misurare.

- 5 Infatti, dalle relazioni sopra riportate si ricava che deve essere  $R > n R_{ac}$  e  $R < (R_{ac} n) / \eta_{min}$ , dove  $\eta_{min}$  corrisponde alla porzione minima discriminabile dal potenziometro 8.

- 10 La precisione della resistenza campione 7 deve essere uguale o preferibilmente superiore alla precisione globale richiesta (uguale o migliore di 0,1%) in quanto essa viene utilizzata nella misura della corrente circolante nel conduttore.

Preferibilmente questa resistenza 7 deve essere una pura resistenza, cioè preferibilmente con una induttanza minore di  $1 \mu H$ , in quanto essa serve per derivare la tensione utilizzata per compensare la componente reale della tensione.

- 15 Il potenziometro variabile 8 ha il valore di  $10 k\Omega$  del tipo a multigiri cermet. Preferibilmente deve essere una pura resistenza, cioè preferibilmente con una induttanza minore di  $1 \mu H$ . Il valore del potenziometro 8 è preferibilmente minore dell'impedenza tipica dell'amplificatore lock-in 9 (circa  $100 M\Omega$ ), e maggiore della resistenza 7, per evitare influenze su tali elementi del circuito di misura.

- 20 L'induttanza variabile 13 è stata costruita dalla Richiedente e nel seguito descritta.

Riferiamoci ora alla figura 3, dove è riportata una schematizzazione della mutua induttanza variabile 13. Per semplicità esemplificativa è stata rappresentata solo la struttura relativa ad un avvolgimento della induttanza 13. Preferibilmente

- 25 l'induttanza 13 comprende 6 avvolgimenti, connessi in serie tra loro, posti in

modo da essere perpendicolari al flusso indotto dal conduttore 5 per ottenere il massimo accoppiamento. Tali avvolgimenti sono posti anche in modo simmetrico tra di loro in modo da eliminare gli eventuali disturbi indotti in essi dall'ambiente circostante.

- 5 La struttura della mutua induttanza variabile 13 è costituita da un primo tubo di polietilene che riveste il conduttore 5; una estremità 20 del primo tubo è fissata al conduttore 5.

Questo primo tubo presenta 6 fenditure per quasi tutta la sua estensione, a partire dall'estremità non fissata al conduttore 5.

- 10 I 6 avvolgimenti sono alloggiati su 6 strutture 22 di bakelite, radiali rispetto al conduttore 5 e connesse a delle guide 21 facenti parte del primo tubo .

Un secondo tubo 23 di polietilene, avente una forma conica, riveste il conduttore 5 ed è posto in modo che possa essere spostato in direzione del primo tubo, ed in particolare verso l'interno del primo tubo, il quale solleverà le strutture 22, facendo allontanare gli avvolgimenti rispetto all'asse del conduttore 5.

- 15 Spostando il secondo tubo 23 in direzione contraria, gli avvolgimenti si avvicineranno al conduttore 5. Per regolare la posizione tra il primo tubo ed il secondo tubo 23 si fa uso di un blocco 24 posto sulla guida 21.

- 20 Variando la posizione relativa tra il primo tubo ed il secondo tubo 23 è così possibile variare il valore dell'induttanza 13.

Ogni avvolgimento è formato da 20 spire con prese intermedie ad esempio a 2 e a 7 spire, per poter prelevare valori di tensione più appropriati per le successive operazioni.

- 25 In particolare questa induttanza 13 deve essere una pura induttanza in quanto deve fornire una tensione in grado di compensare la componente immaginaria

della tensione misurata sul conduttore 5.

L'amplificatore lock-in 9 è il modello SR-830 commercializzato da Stanford Research Systems, 1290-D Reamwood Ave., Sunnyvale, CA. Tale amplificatore presenta una precisione (gain accuracy) della misura pari al 1%; il canale di riferimento ha un errore di fase assoluto di  $1^\circ$  e un errore di fase relativo minore di  $0,001^\circ$ , una ortogonalità di  $90^\circ \pm 0,001^\circ$ ; l'oscillatore interno ha una accuratezza di  $25 \text{ ppm} + 30 \mu \text{ Hz}$  ed una distorsione pari a  $-80 \text{ dBc}$ .

Può essere anche utilizzato un amplificatore lock-in diverso come ad esempio il modello 5210 commercializzato da EG&G Instruments, Princeton Applied Research P.O. Box 2565, Princeton, NJ 08543-2565, USA, anche tale amplificatore presenta una precisione (gain accuracy) della misura pari al 1%.

In particolare l'amplificatore lock-in 9 deve preferibilmente presentare un errore di angolo fra canale reale e canale immaginario minore di  $0,1^\circ$ .

L'amplificatore lock-in 9 è un voltmetro molto sensibile in grado di fare l'analisi vettoriale di un segnale di tensione, ovvero di separarlo in una componente resistiva o reale ed in una componente reattiva o immaginaria, rispetto ad un segnale di riferimento al quale lo strumento si "aggancia".

Gli amplificatore lock-in sono usati per rilevare e misurare segnali alternati molto piccoli. Misure accurate possono essere eseguite anche quando i piccoli segnali sono oscurati dal rumore.

L'amplificatore lock-in usa una tecnica conosciuta come rivelatore sensibile alla fase (phase-sensitive detector), per individuare la componente del segnale ad una specifica frequenza e fase ed agganciarsi ad essa. Il rumore ed i segnali presenti a frequenze diverse da quella di riferimento sono eliminati in modo da non influenzare la misura.

In accordo all'invenzione possono essere utilizzati altri strumenti che permettono di ottenere i risultati sopra descritti.

Il voltmetro di precisione 10 usato nell'esperimento è un multimetro modello HP 3458A commercializzato dalla Hewlett-Packard S.A. P.O. Box 529, 1180 AM  
5 Amstelveen, The Netherlands. Tale strumento presenta una precisione nella portata da 100 mV - 10V pari a 0,007% della lettura + 0,002 % della portata.

Altri voltmetri, con precisione uguale o migliore di quella voluta per la misura della resistenza (0,1%), possono essere utilizzati.

La misura della componente reale della caduta di tensione sul conduttore  
10 potrebbe essere eseguita direttamente con l'amplificatore lock-in 9, ma la precisione nominale di questo strumento è pari a 1%, mentre si vorrebbe una precisione migliore di 0.1%. Se l'amplificatore lock-in 9 viene utilizzato solo come rivelatore di zero, esso viene utilizzato alla sua massima precisione, in quanto il suo errore è definito in percentuale, cosicché l'errore assoluto è minimo quanto  
15 più piccolo è il segnale da misurare. La tensione di bilanciamento utilizzata per il calcolo della resistenza viene misurata dal voltmetro 10 che ha una precisione maggiore di quella dell'amplificatore lock-in 9.

Ognuno dei sensori di tensione 11 e 12 è costituito da un filo di rame smaltato di diametro 1 mm saldato sul conduttore 5.

20 La distanza tra i sensori 11 e 12 deve essere tale da poter rivelare una tensione apprezzabile dagli strumenti utilizzati, nelle prove sono state utilizzate distanze di 5 m e 10 m.

Ad ogni sensore di tensione 11 e 12 è saldato un filo smaltato, dello stesso tipo del precedente, utilizzato per effettuare la connessione tra i sensori 11 e 12 con  
25 gli strumenti di misura.

Preferibilmente il filo smaltato connesso al sensore 12 è collocato lungo il conduttore 5 fino ad arrivare al sensore 11. Preferibilmente per circa metà della distanza tra il sensore 11 e 12 il filo smaltato è disposto sopra il conduttore 5, per l'altra metà il filo smaltato è disposto sotto il conduttore 5, in modo da

5 minimizzare i disturbi indotti nel filo da eventuali campi magnetici esterni. I due fili smaltati riuniti nel punto dove è posto il sensore 11 sono intrecciati tra di loro fino agli strumenti di misura.

Sono stati effettuati anche calcoli teorici per verificare i risultati ottenuti con questo metodo di misura. Tali calcoli sono stati effettuati mediante teorie

10 descritte dagli articoli già citati e dalla norma CEI 287.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle misure e dei calcoli effettuati alla frequenza di 50 Hz.

Secondo quanto riportato nei sopracitati articoli è stata calcolata la resistenza in corrente continua  $R_{dc}$ .

15 Si è calcolato anche il rapporto tra la resistenza in corrente alternata e la resistenza in corrente continua  $R_{ac}/R_{dc}$ . Il valore della resistenza in corrente continua  $R_{dc}$  dipende principalmente dalla composizione del materiale del conduttore e quindi corrisponde alla resistenza minima che ci si può aspettare dal conduttore. Il rapporto  $R_{ac}/R_{dc}$  è quindi rappresentativo delle caratteristiche

20 resistive del conduttore.

La temperatura del conduttore è stata misurata mediante l'utilizzo di una serie di termocoppie (ad esempio 6) disposte equispaziate lungo il conduttore. Il valore riportato è il valore medio delle misure delle termocoppie.

Nelle tre tabelle che seguono sono riportati i risultati dei calcoli e delle misure

25 effettuate per differenti diametri del conduttore, differente distanza tra i sensori

M

11 e 12 e differente distanza tra i cavi.

N	Temp. (°C)	Rac mis. ( $\Omega/m$ )	Rdc calc. ( $\Omega/m$ )	Rac/Rdc mis.	Rac calc. ( $\Omega/m$ )	Rac/Rdc calc.	Rac/Rdc errore %
1	20	1,8096E-5	1,3567E-5	1,3338	1,8081E-5	1,3327	0,08
2	21,5	1,8129E-5	1,3665E-5	1,3267	1,8048E-5	1,3298	0,23
3	49,3	1,9472E-5	1,5129E-5	1,2871	1,9383E-5	1,2811	0,46

Tabella 1 - Conduttore di diametro 40 mm, distanza tra i due cavi 1,5 m, distanza tra i sensori 11 e 12 pari a 5 m.

5

N	Temp. (°C)	Rac mis. ( $\Omega/m$ )	Rdc calc. ( $\Omega/m$ )	Rac/Rdc mis.	Rac calc. ( $\Omega/m$ )	Rac/Rdc calc.	Rac/Rdc errore %
1	86	2,1086E-5	1,7086E-5	1,2341	2,10789E-5	1,2335	0,033
2	86	2,1084E-5	1,7086E-5	1,2340	2,10789E-5	1,2335	0,024

Tabella 2 - Conduttore di diametro 40 mm, distanza tra i due cavi 0,2 m, distanza tra i sensori 11 e 12 pari a 5 m.

N	Temp. (°C)	Rac mis. ( $\Omega/m$ )	Rdc calc. ( $\Omega/m$ )	Rac/Rdc mis.	Rac calc. ( $\Omega/m$ )	Rac/Rdc calc.	Rac/Rdc errore %
1	23,2	5,7459E-5	5,5298E-5	1,0391	5,7375E-5	1,0375	0,15
2	23,9	5,6339E-5	5,5448E-5	1,0161	5,6900E-5	1,0261	0,99
3	23,9	5,7100E-5	5,5448E-5	1,0291	5,6958E-5	1,0272	0,19

Tabella 3 - Conduttore di diametro 20 mm, distanza tra i due cavi 1,5 m, distanza tra i sensori 11 e 12 pari a 10 m.

10

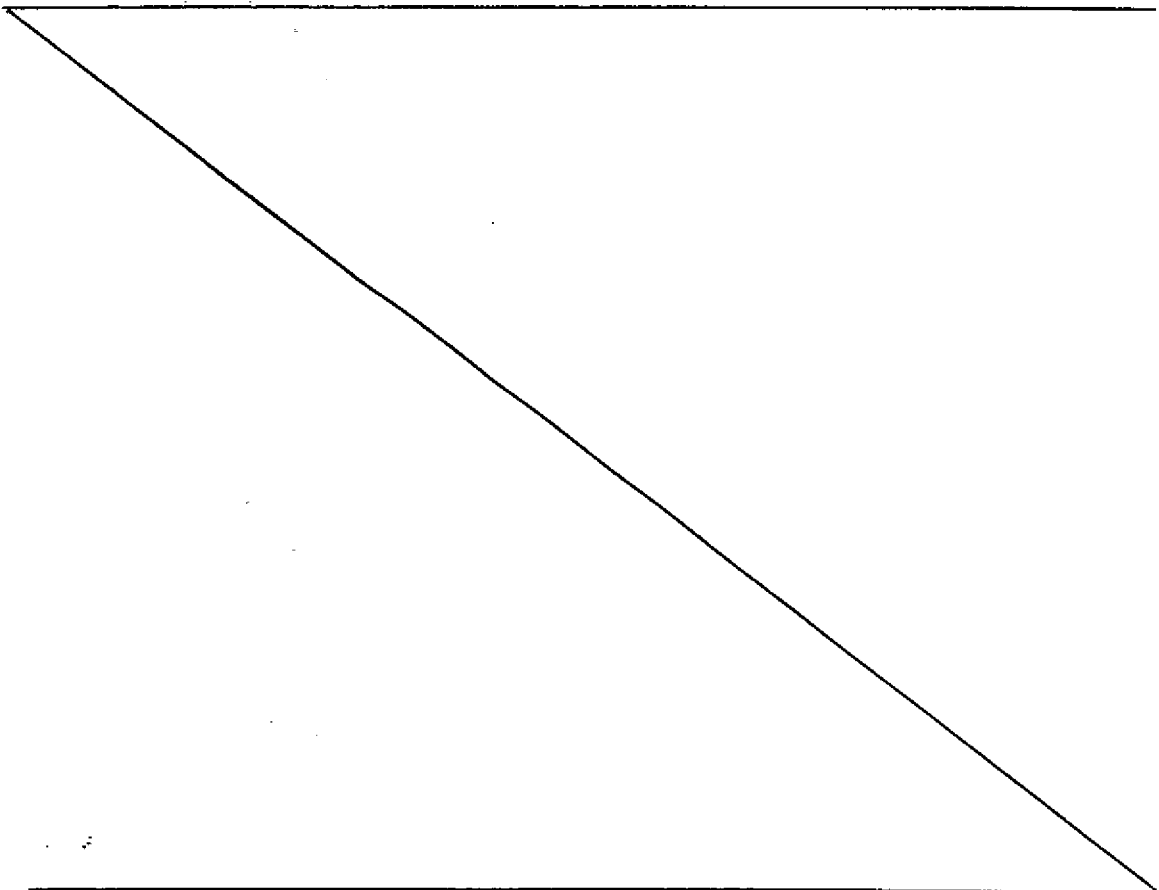


Si nota, dalle tabelle, un buon accordo di questo metodo di misura rispetto ai valori calcolati.

Si ritiene che piccole incertezze delle misure sono prevalentemente dovute alla  
5 scarsa precisione della misura della temperatura. Infatti ogni variazione di un grado centigrado introduce un errore di circa 0.4% nel valore della resistenza.

La precisione della misura dipende principalmente dalla precisione dello strumento di misura e cioè del voltmetro 10 e dal valore della resistenza 7 che è utilizzata per il calcolo della corrente circolante nel conduttore.

10 Non importa conoscere il valore preciso del potenziometro 8 e dell'induttanza 13, l'unico requisito è che siano, il più possibile, una pura resistenza e una pura induttanza.



## RIVENDICAZIONI

1) Metodo per la misura della resistenza serie di un conduttore percorso da una corrente alternata comprendente le fasi di:

5       – misurare almeno una componente reale di una caduta di tensione in una lunghezza predeterminata di detto conduttore;

– ricavare una corrente di misura da detto conduttore, detta corrente di misura avente solo una componente reale e avente una relazione predeterminata con detta corrente alternata; caratterizzato dal fatto di

10       – convertire detta corrente di misura in una corrispondente tensione di misura avente un rapporto di conversione prefissato con detta corrente di misura;

– prelevare una porzione regolabile di tensione da detta tensione di misura;

– confrontare detta porzione regolabile di tensione con detta caduta di tensione;

15       – regolare detta porzione regolabile di tensione in modo da bilanciare detta caduta di tensione;

– misurare detta porzione regolabile di tensione che bilancia detta caduta di tensione;

– misurare detta corrente alternata;

20       – determinare la resistenza come funzione del valore di detta porzione regolabile di tensione che bilancia detta caduta di tensione e del valore di detta corrente alternata.

2) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che la fase di misurare detta corrente alternata  
25       comprende le fasi di:

- misurare detta tensione di misura;
- determinare il valore di detta corrente alternata come funzione di detta tensione di misura misurata, di detto rapporto di conversione prefissato e di detta relazione predeterminata.

5 3) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che comprende ulteriormente la fase di eliminare la componente immaginaria di detta caduta di tensione.

4) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 3 caratterizzato dal fatto che la fase di eliminare la componente immaginaria di detta caduta di tensione comprende le fasi di:

- misurare una componente immaginaria di detta caduta di tensione;
- prelevare una ulteriore tensione regolabile da detto conduttore, avente solo una componente immaginaria;
- confrontare detta ulteriore tensione con la componente immaginaria di detta caduta di tensione;
- regolare detta ulteriore tensione in modo da bilanciare detta componente immaginaria di detta caduta di tensione.

5) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che detta fase di ricavare una corrente di misura da detto conduttore comprende associare un trasformatore di misura a detto conduttore, atto a generare detta corrente di misura in correlazione a detta corrente alternata.

6) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 5 caratterizzato dal fatto che detta relazione predeterminata è funzione del rapporto di trasformazione di detto trasformatore.

- 7) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che detta fase di convertire detta corrente di misura comprende far passare detta corrente di misura attraverso una resistenza di valore prefissato.
- 5 8) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 7 caratterizzato dal fatto che detta relazione predeterminata è funzione del valore prefissato di detta resistenza.
- 9) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 7 caratterizzato dal fatto che detta fase di prelevare una porzione regolabile di  
10 tensione comprende collegare un partitore di tensione in parallelo a detta resistenza.
- 10) Metodo per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che detta fase di confrontare comprende alimentare detta caduta tensione e detta porzione regolabile di tensione ad un  
15 indicatore di zero.
- 11) Metodo per la misura della resistenza serie di un conduttore percorso da una corrente alternata comprendente le fasi di:
- misurare almeno una componente reale di una caduta di tensione in una lunghezza predeterminata di detto conduttore;
  - 20 – ricavare una corrente di misura da detto conduttore, detta corrente di misura avente solo una componente reale e avente una relazione predeterminata con detta corrente alternata;
  - caratterizzato dal fatto di
  - convertire detta corrente di misura in una corrispondente tensione di  
25 misura avente un rapporto di conversione prefissato con detta corrente di

misura;

- prelevare una porzione di tensione da detta tensione di misura;
- confrontare detta porzione di tensione con detta caduta di tensione;
- misurare la differenza tra detta porzione di tensione e detta caduta di

5

tensione;

- selezionare detta porzione di tensione ad un valore noto tale che detta differenza sia minore di un valore prefissato;
- misurare detta corrente alternata;

- determinare la resistenza come funzione del valore di detto valore noto di
- 10      detta porzione di tensione, di detta differenza e del valore di detta corrente alternata.

12) Sistema per la misura della resistenza serie di un conduttore percorso da una corrente alternata comprendente:

- un sensore di corrente connesso a detto conduttore atto a fornire una

15

corrente di misura avente solo una componente reale, e avente una relazione predeterminata con detta corrente alternata;

- un convertitore corrente/tensione connesso a detto sensore di corrente avente un rapporto di conversione prefissato con detta corrente di misura, per convertire detta corrente di misura in una tensione corrispondente;

20

- un partitore di tensione connesso a detto convertitore in grado di fornire una partizione regolabile di detta tensione corrispondente;

- un sensore di tensione applicato in una lunghezza predeterminata di detto conduttore atto a fornire una tensione misurata avente almeno una componente reale;

25

- un indicatore di zero ricevente detta tensione misurata e detta partizione

regolabile, atto a indicare il bilanciamento tra le componenti reali di detta tensione misurata e di detta partizione regolabile;

– un misuratore di tensione atto a fornire il valore di detta partizione regolabile e di detta tensione corrispondente.

5 13) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 12 caratterizzato dal fatto di comprendere ulteriormente una mutua induttanza variabile associata a detto conduttore, atta a fornire una tensione variabile avente solo una componente immaginaria e un indicatore di zero atto a indicare il bilanciamento tra la componente immaginaria di detta tensione  
10 misurata e detta tensione variabile fornita da detta mutua induttanza variabile.

14) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 12 o 13 caratterizzato dal fatto che detto indicatore di zero è costituito da un voltmetro vettoriale.

15 15) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 12 o 13 caratterizzato dal fatto che detto indicatore di zero è costituito da un amplificatore lock-in.

16) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 12 caratterizzato dal fatto che detto misuratore di tensione è un misuratore  
20 avente una precisione maggiore di 0,1%.

17) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 12 caratterizzato dal fatto che detto convertitore corrente/tensione comprende una resistenza in cui circola detta corrente di misura.

18) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 17  
25 caratterizzato dal fatto che detto partitore di tensione comprende un

potenziometro variabile connesso in parallelo a detta resistenza.

19) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 18 caratterizzato dal fatto che detta potenziometro variabile ha un valore di induttanza minore di 1  $\mu$ H.

5 20) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 17 caratterizzato dal fatto che detta resistenza ha una precisione maggiore di 0,1%.

10 21) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 17 caratterizzato dal fatto che detta resistenza ha un valore di induttanza minore di 1  $\mu$ H.

22) Sistema per la misura della resistenza serie in accordo alla rivendicazione 12 caratterizzato dal fatto che detto sensore di corrente comprende un trasformatore connesso operativamente con detto conduttore.

PIRELLI CAVI  
Società per Azioni

Brevetti

*Pier Giovanni Giannesi*  
(Pier Giovanni Giannesi)



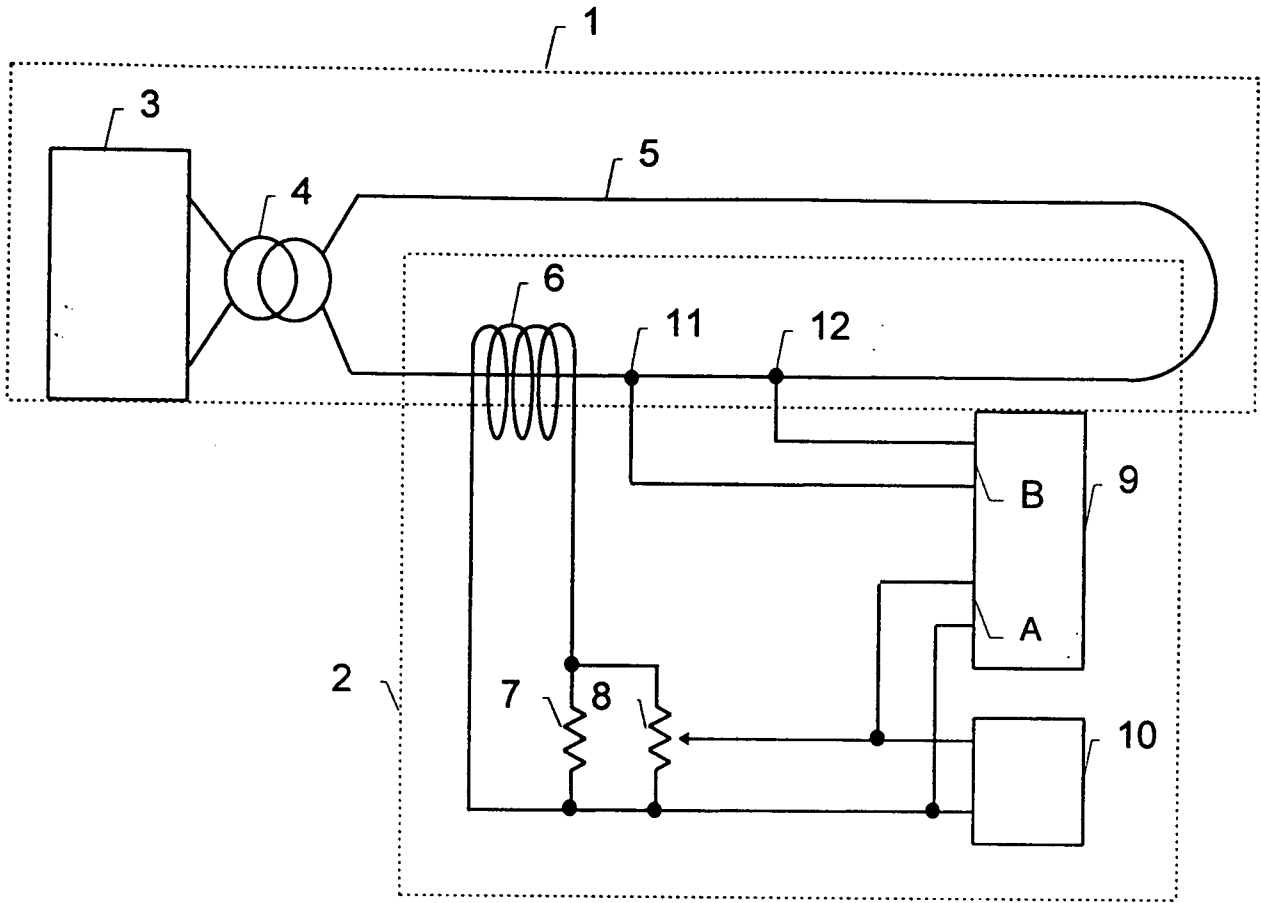


Fig. 1

MI 97 A 1740

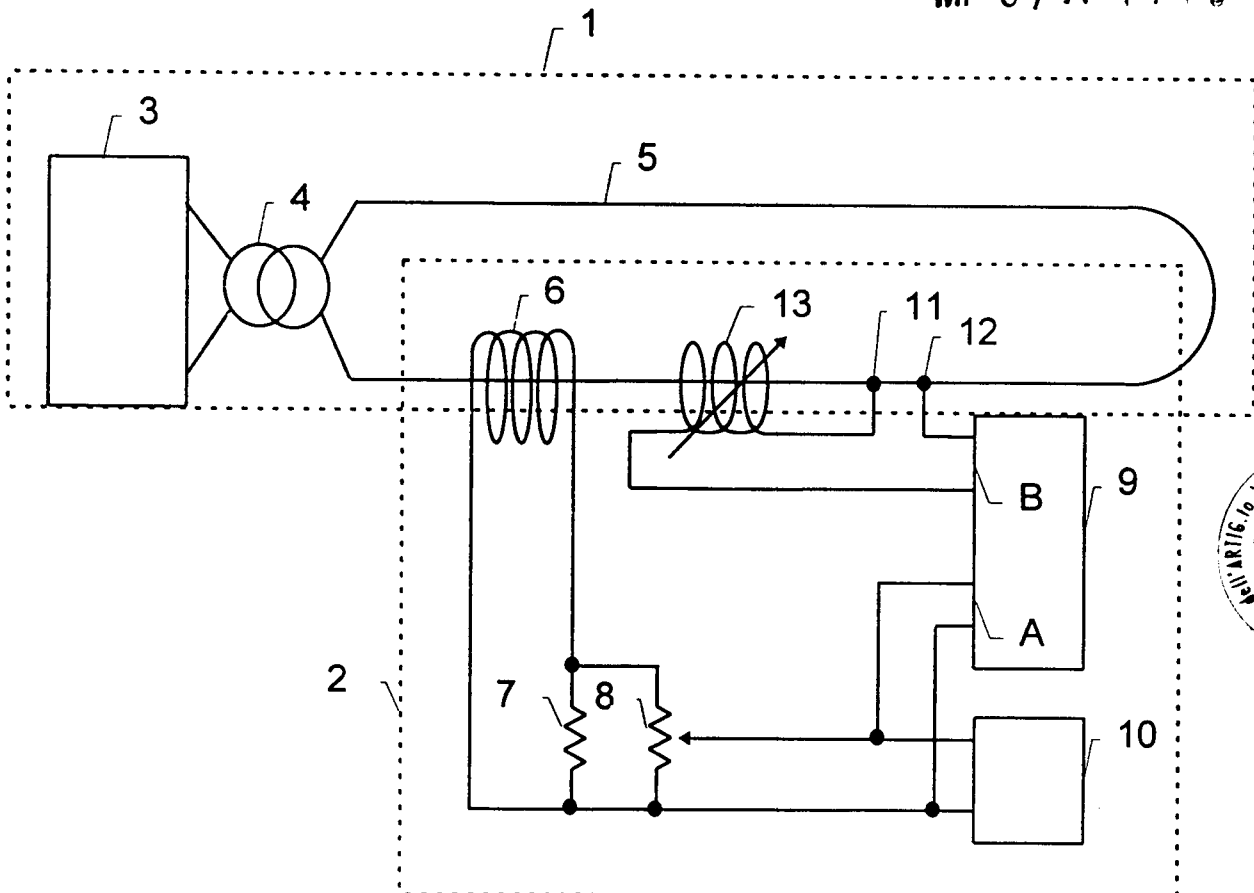


Fig. 2



PIRELLI CAVI  
Società per Azioni

*Pier Giovanni Giannesi*  
Brevetti  
(Pier Giovanni Giannesi)

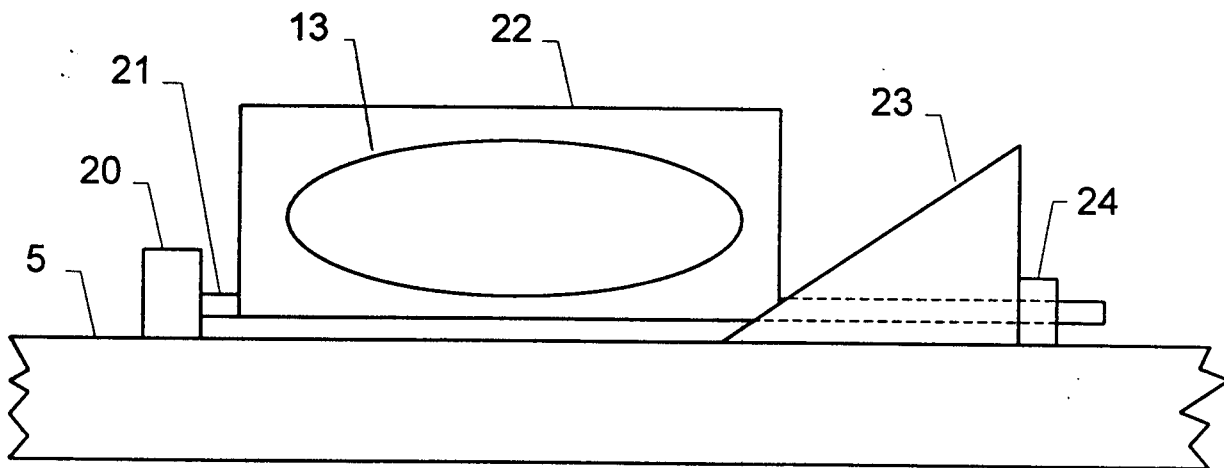


Fig. 3

MI 97 A 1740

PIRELLI CAVI  
Società per Azioni

*Brevetti*  
*Pier Giovanni Giannesi*  
(Pier Giovanni Giannesi)

