

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102022000010544
Data Deposito	20/05/2022
Data Pubblicazione	20/11/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	B	11	08

Titolo

DATA TRANSMISSION CABLE

CAVO DI TRASMISSIONE DATI

CONTESTO

[001] Campo tecnico

[002] La presente divulgazione riguarda i cavi di trasmissione dati, come ad esempio
5 i cavi Ethernet.

[003] Descrizione dell'arte correlata

[004] I cavi Ethernet conosciuti sono progettati con coppie bilanciate ritorte (ad esempio, quattro coppie ritorte) e sono classificati in categorie basate principalmente sulla larghezza di banda (misurata in MHz), sulla velocità massima di trasmissione dei
10 dati (misurata in megabit al secondo) e sulla schermatura/non schermatura.

[005] Ad esempio, un cavo di categoria 5 (Cat5) ha una velocità di trasmissione dati fino a 100 Mbps. Il cavo Cat5 è utilizzato per le reti standard 10BaseT e 100BaseT (fast ethernet) e può distribuire dati, video e segnali telefonici a distanze fino a 100 metri.

15 [006] Rispetto al cavo Cat5, il cavo Cat6 offre una maggiore larghezza di banda e velocità di trasferimento dati fino a 1 Gbps su 100 m. Tuttavia, a distanze inferiori, fino a 37 m, il Cat6 è in grado di raggiungere velocità di 10 Gbps grazie alla migliore schermatura e alla maggiore larghezza di banda. Il Cat6 può spesso includere un separatore fisico chiamato "spline" tra le quattro coppie per ridurre la diafonia e una
20 schermatura a lamina per ridurre le interferenze elettromagnetiche.

[007] Con una larghezza di banda fino a 2 GHz e una velocità di trasmissione dati fino a 40 Gbs, i cavi di categoria 8 (Cat8) sono utilizzati per le comunicazioni da switch a switch in una rete a 25GBase T o 40GBase T. Si osservi che i cavi Cat8 hanno una portata massima (30 m) notevolmente ridotta rispetto ai cavi di categoria inferiore.

25 [008] Il documento US6288340 rivela un cavo conduttore elettrico per la trasmissione

di informazioni che comprende un insieme di conduttori o coppie di conduttori isolati l'uno dall'altro e almeno due nastri flessibili longitudinali metallizzati che separano i conduttori o le coppie e che sono applicati intorno a ciascun conduttore o coppia in virtù della torsione del cavo.

- 5 [009] Il documento US10347397 riguarda un cavo per la trasmissione di segnali elettrici che comprende un involucro esterno in materiale elettricamente isolante e almeno due linee disposte all'interno dell'involucro esterno, dove ogni linea è costituita da almeno un filo in materiale elettricamente conduttivo. I dielettrici dei fili di una
10 rispettivi fili che differisce di una quantità compresa tra 0,01 e 2,0 rispetto ai fili di una linea diversa. Ciò comporta velocità di propagazione diverse per i segnali elettrici su queste linee con diversi dielettrici intorno ai fili. Il cavo è un cavo quadruplo a stella, in cui i quattro fili delle due linee (due fili per linea) sono ritorti tra loro in modo cruciforme.
- 15 [0010] Il documento US5424491 descrive un cavo per telecomunicazioni avente una pluralità di coppie di conduttori ritorti e isolati singolarmente, con una lunghezza di attorcigliamento di almeno alcune coppie di conduttori diversa da quella di altre e uno spessore di isolamento dei conduttori di almeno alcune coppie diverso da quello di altre coppie.
- 20 [0011] Attualmente, la maggior parte, se non tutti, i cavi Ethernet in commercio utilizzano linee bilanciate (o coppie di segnali) costituite ciascuna da due conduttori dello stesso tipo, ognuno dei quali ha impedenze uguali lungo la loro lunghezza e impedenze uguali verso terra e verso altri circuiti per ridurre il più possibile il rumore e le interferenze. Si veda, ad esempio, https://en.wikipedia.org/wiki/Balanced_line e
25 C.R. Paul, Analysis of Multiconductor Transmission Lines, 2nd Ed. IEEE Press, 2008,

cap. 1.5.2.

[0012] I parametri di modo comune sono stati considerati per migliorare i parametri di trasmissione. Si veda, ad esempio, Kaden, H.: "*Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichten-technik*"; Springer-Verlag, capitolo E-2., 1959, e Pfeiler, C.; Molin, D.:

- 5 Calculation of common mode parameters of cables for high data rate digital communications; Proceeding of the 64th IWCS; p. 505-508. Tuttavia, il Richiedente ha notato che i cavi Cat8 presentano tipicamente effetti di distorsione dei parametri di trasmissione che non consentono di utilizzare il modo comune, oltre al modo differenziale, per la trasmissione di dati ad alta velocità.

10 [0013] SINTESI DELL'INVENZIONE

[0014] Il Richiedente osserva che nei cavi di trasmissione dati è auspicabile un ulteriore aumento della velocità di trasmissione, rispetto ai valori ottenibili con i cavi noti (ad esempio i cavi Cat8), evitando però un'ulteriore diminuzione della portata massima.

- 15 [0015] Il Richiedente ha scoperto che un cavo di trasmissione dati che comprende almeno due coppie di conduttori isolati, con i conduttori isolati di una coppia non ritorti tra loro, e che include uno schermo metallico avvolto attorno a ciascun conduttore isolato, ha una maggiore velocità di trasmissione dati e limitati effetti di diafonia. Il cavo di trasmissione dati consente di operare in modo efficiente in modalità comune
20 oltre che in modalità bilanciata (ovvero differenziale).

[0016] Pertanto, la presente divulgazione riguarda un cavo per la trasmissione di dati che comprende:

- una prima coppia di cavi bilanciati non ritorti, comprendente un primo conduttore isolato, circondato da un primo strato isolante, e un secondo conduttore isolato,
25 circondato da un secondo strato isolante;

- almeno una seconda coppia di cavi bilanciati non ritorti che comprende un terzo conduttore isolato che comprende un terzo conduttore circondato da un terzo strato isolante e un quarto conduttore isolato che comprende un quarto conduttore circondato da un quarto strato isolante;

5 in cui:

inoltre il cavo comprende uno schermo metallico che separa e circonda almeno parzialmente ciascuno di detti primo, secondo, terzo e quarto conduttore isolato; e la prima coppia di cavi bilanciati non ritorti è configurata per essere sbilanciata rispetto alla seconda coppia di cavi bilanciati non ritorti.

10 [0017] In una forma di attuazione, la prima coppia di cavi non ritorti bilanciati è associata a un primo gruppo di parametri strutturali e la seconda coppia di cavi bilanciati è associata a un secondo gruppo di parametri strutturali diversi dal primo gruppo di parametri strutturali per almeno un valore.

[0018] In una forma di attuazione, il primo gruppo di parametri include: un primo
15 diametro esterno del primo e del secondo conduttore isolato; un primo diametro interno del primo e del secondo conduttore isolato e una prima costante dielettrica del primo e del secondo strato isolante. Il secondo gruppo di parametri comprende: un secondo diametro esterno del terzo e quarto conduttore isolato; un secondo diametro interno del terzo e quarto conduttore isolato e una seconda costante dielettrica del terzo e quarto
20 strato isolante.

[0019] Il primo gruppo di parametri, il secondo gruppo di parametri e lo schermo metallico sono adatti a ridurre la diafonia tra la prima coppia di cavi e almeno una seconda coppia di cavi.

[0020] In una forma di attuazione, i conduttori isolati del presente cavo di trasmissione
25 dati, pur essendo non ritorti tra loro in una coppia, sono ritorti insieme. Ad esempio, il

primo e il secondo conduttore isolato, pur essendo non ritorti tra loro, sono ritorti con il terzo e il quarto conduttore isolato.

[0021] Il cavo di trasmissione dati della presente divulgazione comprende anche una guaina esterna che circonda la prima coppia, l'almeno una seconda coppia e lo schermo
5 metallico.

[0022] In una forma di attuazione, lo schermo metallico può comprendere almeno una lamina metallica. Quando lo schermo metallico comprende due o più lamine metalliche, queste possono essere parzialmente sovrapposte radialmente.

[0023] In una forma di attuazione, la lamina o le lamine dello schermo metallico sono
10 realizzate in un materiale selezionato tra rame, alluminio o loro leghe.

[0024] In una forma di attuazione, tra lo schermo metallico e la guaina esterna può essere presente un ulteriore schermo metallico.

[0025] In una forma di attuazione, il cavo di trasmissione dati della presente divulgazione è configurato per funzionare secondo un protocollo Ethernet. Il cavo di
15 trasmissione dati della presente divulgazione può essere configurato per operare secondo protocolli ad alta velocità di trasmissione dati, ad esempio superiore a 10 Gbit/s o superiore a 40 Gbit/s.

[0026] La presente divulgazione riguarda anche un sistema di trasmissione dati che comprende

- 20 - un cavo di trasmissione dati comprendente
- una prima coppia di cavi bilanciati non ritorti comprendente un primo conduttore isolato, circondato da un primo strato isolante, e un secondo conduttore isolato, circondato da un secondo strato isolante;
- almeno una seconda coppia di cavi bilanciati non ritorti che comprende un terzo
25 conduttore isolato che comprende un terzo conduttore circondato da un terzo strato

isolante e un quarto conduttore isolato che comprende un quarto conduttore circondato da un quarto strato isolante;

in cui:

il cavo comprende anche uno schermo metallico che separa e circonda almeno
5 parzialmente ciascuno di detti primo, secondo, terzo e quarto conduttore isolato; e

la prima coppia di cavi bilanciati è configurata per essere sbilanciata rispetto alla seconda coppia di cavi bilanciati; e

- un dispositivo di comunicazione collegato a detto cavo di trasmissione dati per generare e trasmettere simultaneamente lungo il cavo di trasmissione dati segnali di
10 dati sia in modalità comune sia in modalità differenziale.

[0027] Nella presente descrizione e nelle rivendicazioni i termini "isolante", "isolato" e simili, e "conduttore", "conduttrice" e simili si riferiscono a entità elettricamente isolanti ed elettricamente conduttrici.

[0028] BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

15 [0029] Ulteriori caratteristiche e vantaggi risulteranno più evidenti dalla seguente descrizione delle varie forme di attuazione, fornita a titolo esemplificativo con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

[0030] La figura 1 mostra schematicamente una forma di attuazione di un cavo per la trasmissione di dati secondo la presente divulgazione e comprendente due coppie di
20 cavi;

[0031] La Figura 2 mostra schematicamente un esempio di sistema di trasmissione dati comprendente un cavo di trasmissione dati secondo la presente divulgazione;

[0032] La Figura 3 mostra due andamenti esemplari dell'ampiezza e della fase di un'impedenza di trasferimento tra parti dello schermo metallico attorno ai conduttori
25 isolati di un cavo di trasmissione dati secondo la presente divulgazione;

[0033] La Figura 4 mostra un comportamento esemplificativo dell'Attenuation Crosstalk Ratio Far-end (ACR-F; in ascissa) rispetto alla frequenza (in MHz; in ordinata) in un cavo di trasmissione dati secondo la presente divulgazione.

[0034] DESCRIZIONE DETTAGLIATA

5 [0035] La Figura 1 mostra schematicamente un esempio di cavo di trasmissione dati 300 comprendente una prima coppia di cavi 100 e almeno una seconda coppia di cavi 200. La prima coppia di cavi 100 (di seguito denominata anche "prima coppia", per brevità) ha un primo conduttore isolato 1 e un secondo conduttore isolato 4. In una forma di attuazione, i conduttori isolati sono divisi in due parti. In una forma di
10 attuazione, i conduttori isolati di ciascuna coppia sono circonferenzialmente adiacenti, quindi diversi dalle coppie di un cavo quadruplo a stella.

[0036] Il primo conduttore isolato 1 comprende un primo conduttore 5 (ad esempio, un tondino metallico o fili metallici) circondato da un primo strato isolante 6. Al primo conduttore isolato 1 è associato un primo gruppo di parametri che comprende: un
15 primo diametro esterno DI (cioè il diametro del primo conduttore isolato 1, un primo diametro interno d_1 (cioè il diametro esterno del primo conduttore 5) e una prima costante dielettrica 1 (cioè la costante dielettrica del primo strato isolante 6). Il secondo conduttore isolato 4 comprende un secondo conduttore 14 (ad esempio, una barra metallica o fili metallici) circondato da un secondo strato isolante 15.

20 [0037] Il primo conduttore isolato 1 e il secondo conduttore isolato 4 formano una coppia bilanciata non ritorta (untwisted), poiché hanno impedenze sostanzialmente identiche lungo la loro lunghezza e impedenze sostanzialmente identiche verso terra e verso altri circuiti. Il secondo conduttore isolato 4 della prima coppia 100 ha un
25 rispettivo gruppo di parametri con valori sostanzialmente identici a quelli del primo gruppo di parametri del primo conduttore isolato 1 (DI, d_1, ϵ_1).

[0038] Nella presente descrizione e nelle rivendicazioni il termine "sostanzialmente identico" (e il simbolo $\approx$ che lo indica) si riferisce al fatto che il valore di un parametro di un conduttore isolato è uguale al valore del rispettivo parametro di un altro conduttore isolato o differisce di un'entità non superiore alle tolleranze tipiche di
5 fabbricazione o standard.

[0039] La seconda coppia di cavi 200 (di seguito chiamata anche "seconda coppia") ha un terzo conduttore isolato 3 e un quarto conduttore isolato 2. Il terzo conduttore isolato 3 comprende un conduttore isolato 2 e un conduttore isolato 3. Il terzo conduttore isolato 3 comprende un terzo conduttore 9 (ad esempio, un tondino
10 metallico o fili metallici) circondato da un terzo strato isolante 10. Il terzo conduttore isolato 3 è circondato da un terzo strato isolante. Al terzo conduttore isolato 3 è associato un secondo gruppo di parametri che comprende: un secondo diametro esterno $D3$ (cioè il diametro del terzo conduttore isolato 3, un secondo diametro interno $d3$ (cioè il diametro esterno del terzo conduttore 9) e una seconda costante dielettrica
15 3 (cioè la costante dielettrica del terzo strato isolante 10). Il quarto conduttore isolato 2 comprende un terzo conduttore 7 (ad esempio, una barra metallica o fili metallici) circondato da un terzo strato isolante 8.

[0040] Il terzo conduttore isolato 3 e il quarto conduttore isolato 2 formano una coppia bilanciata non ritorta (untwisted). Il quarto conduttore isolato 2, che ha un rispettivo
20 gruppo di parametri con valori sostanzialmente identici a quelli del secondo gruppo di parametri del terzo conduttore isolato 3 ($D3$, $d3$, ϵ_3).

[0041] La prima coppia 100 e la seconda coppia 200 sono sbilanciate tra loro, nel senso che ogni conduttore isolato 1, 4 della prima coppia 100 è sbilanciato rispetto a ogni conduttore isolato 3, 2 della seconda coppia 200. Pertanto, ogni conduttore isolato 1-4
25 ha impedenze rispetto alla terra sostanzialmente identiche alle impedenze del

conduttore isolato 3-2, ma velocità di propagazione del segnale diverse. Si osserva che lo stato di reciproco sbilanciamento della prima coppia 100 e della seconda coppia 200 consente di disaccoppiare la prima coppia 100 dalla seconda coppia 200 con velocità di propagazione diverse.

5 [0042] Il primo gruppo di parametri $D1$, $d1$, ε_1 associati al primo conduttore isolato 1 e al secondo conduttore isolato 4 ha almeno un valore diverso dal rispettivo valore del secondo gruppo di parametri $D3$, $d3$, ε_3 associati al terzo conduttore isolato 3 e al quarto conduttore isolato 2. Ad esempio, almeno il primo diametro interno d_1 del primo gruppo ha un valore diverso dal secondo diametro interno d_3 del secondo gruppo.

10 [0043] Ciascun conduttore isolato della prima coppia di cavi 100 e della seconda coppia di cavi 200 è separato dagli altri conduttori isolati da uno schermo metallico 11. Lo schermo metallico 11 disaccoppia elettromagneticamente ogni conduttore isolato 1-4 dagli altri. Lo schermo metallico 11 avvolge ogni conduttore isolato 1-4. Lo schermo metallico può essere costituito da un'unica lamina metallica o da una
15 pluralità di lamine metalliche, ad esempio di rame, alluminio o da un laminato di rame/ o alluminio/polimero.

[0044] In una forma di attuazione, lo schermo metallico 11 comprende una singola lamina metallica 12 disposta longitudinalmente, tramite giri e pieghe, in due strati che avvolgono almeno in parte i conduttori isolati 1-4. Ciascuno fra il primo 1, il secondo
20 2, il terzo 3 e il quarto 4 conduttore isolato è almeno parzialmente circondato dai due strati della lamina metallica 12, che isola ciascun conduttore isolato 1-4 dagli altri.

[0045] In un'altra forma di realizzazione non illustrata, lo schermo metallico può essere costituito da due o più lamine metalliche disposte longitudinalmente, mediante giri e pieghe, in due o più strati che avvolgono almeno parzialmente i conduttori isolati 1-4.
25 Una disposizione simile è illustrata, ad esempio, in US6288340.

[0046] In una forma di attuazione, lo schermo metallico è costituito da almeno una lamina metallica di spessore compreso tra 3 e 100 μm , ad esempio tra 9 e 50 μm .

[0047] Mentre i conduttori isolati che formano ciascuna coppia 100, 200 non sono ritorti tra loro (il primo conduttore isolato 1 non è ritorto con il secondo conduttore isolato 4, e lo stesso vale per il terzo 3 e il quarto 2), i conduttori isolati 1, 4, 3 e 2 sono complessivamente ritorti.

[0048] Il cavo per la trasmissione dei dati 300 comprende anche una guaina esterna 13 che circonda la prima coppia 100, la seconda coppia 200 e la lamina metallica 12. La guaina 13 può essere costituita da un materiale polimerico, ad esempio il polietilene, che a scelta può essere un materiale privo di alogeni e ritardante di fiamma (HFFR).

[0049] La Figura 2 mostra schematicamente un esempio di sistema di trasmissione dati 400 comprendente il cavo di trasmissione dati 300 sopra descritto. Il sistema di trasmissione dati 400 (di seguito, "sistema di trasmissione") è configurato in modo tale che ogni prima e seconda coppia di cavi 100, 200 funzioni simultaneamente secondo il modo differenziale e il modo comune. La costruzione dei conduttori isolati delle coppie consente di tenere sotto controllo i parametri di entrambe le modalità e di limitare la diafonia tra le coppie.

[0050] Il sistema di trasmissione 400 comprende un dispositivo di comunicazione 500 collegato al cavo di trasmissione dati 300 e configurato per eseguire l'elaborazione (ad esempio: modulazione, demodulazione, incapsulamento dei pacchetti, ecc. In particolare, il sistema di trasmissione 400 può funzionare secondo il protocollo Ethernet.

[0051] Secondo un esempio (Figura 2), il dispositivo di comunicazione 500 comprende un primo generatore di segnale G1 associato a un'impedenza Z che, nel presente esempio, è simile all'impedenza nominale del conduttore isolato schermato 1. Il

generatore di segnale G1 è collegato al conduttore isolato schermato 1 all'estremità vicina del cavo 300 dove la posizione $x=0$. Un secondo generatore di segnale G4 è anch'esso associato a un'impedenza Z ed è collegato al secondo conduttore isolato schermato 4 all'estremità vicina del cavo 300.

5 [0052] I due conduttori isolati schermati 1 e 4 lavorano insieme come una coppia 100, in quanto i generatori di segnale G1 e G4 operano in modo da eccitare simultaneamente entrambi i modi della coppia 100. Entrambe le modalità vengono utilizzate contemporaneamente per la trasmissione dei dati, che possono essere trasmessi sia in avanti che all'indietro (full duplex). Gli schermi metallici 11 (ad esempio, realizzati
10 come descritto nella Figura 1) dei conduttori isolati 1 e 2 4 sono collegati a terra.

[0053] Inoltre, il dispositivo di comunicazione 500 include, nel presente esempio, due ulteriori generatori di segnale G3 e G2, ciascuno associato a un'impedenza Z , che sono collegati ai conduttori isolati schermati 3 e 2 all'estremità vicina del cavo 300. Questi conduttori isolati lavorano insieme come coppia 200. Gli schermi metallici 11 (ad
15 esempio, realizzati come descritto nella Figura 1) dei conduttori isolati 3 e 2 sono collegati a terra. Inoltre, i generatori di segnale G3 e G2 eseguono uno schema di trasmissione dei dati simile a quello descritto in precedenza per i conduttori isolati 1 e 4. Nella Figura 2, gli strati isolanti 6, 15 della prima coppia di cavi 100 e gli strati isolanti 8, 10 della seconda coppia di cavi 200 non sono mostrati per motivi di
20 chiarezza dei disegni.

[0054] A titolo di esempio, ogni conduttore isolato 1- 4 ha un'impedenza Z di circa 50Ω per ottenere un'impedenza bilanciata di circa 100 per la prima coppia di cavi 100 che funziona come coppia differenziale. Secondo questo esempio, l'impedenza di modo comune è di circa 25Ω .

25 [0055] Si osservi che il cavo di trasmissione dati della presente divulgazione può

essere configurato per avere una velocità di trasmissione dati superiore a quella del cavo ethernet di categoria 8 senza alcuna ulteriore diminuzione della portata massima. Infatti, la prima e la seconda coppia di cavi che operano sia in modalità differenziale con una velocità di trasferimento dati fino a 40 Gbps, in una gamma di frequenza fino a 2 GHz, sia in modalità comune con una velocità di trasferimento dati fino a 80 Gbps, in una gamma di frequenza fino a 2 GHz, possono avere una portata di trasmissione superiore a 30 m anche per 80 Gbps. In questo modo, la velocità di trasmissione dei dati può essere raddoppiata senza un'ulteriore diminuzione della lunghezza massima di trasmissione.

[0056] Si osservi che nel cavo di trasmissione dati della presente divulgazione, i due conduttori isolati che formano una coppia di cavi possono essere adiacenti circonferenzialmente come descritto sopra o, secondo un'altra forma di attuazione, possono essere adiacenti radialmente (ad esempio il primo conduttore isolato 1 e il quarto conduttore isolato 2).

[0057] Con riferimento al numero di coppie di cavi, si noti che, secondo un'altra forma di attuazione del cavo di trasmissione dati della presente divulgazione, possono essere impiegate più di due coppie di cavi. Ad esempio, il cavo di trasmissione dati può avere quattro coppie di cavi, ciascuna delle quali può differire dalla prima coppia di cavi 100 e/o dalla seconda coppia di cavi 200. In questo caso, ogni coppia di cavi ha un rispettivo gruppo di parametri (D_i , d_i , ϵ_{li}) diverso da quello delle altre coppie di cavi e conduttori isolati disposti circonferenzialmente tra loro.

[0058] Nei paragrafi che seguono vengono discussi gli aspetti della diafonia nel cavo di trasmissione dati 300 delle figure 1 e 2. Si noti che la teoria della diafonia tra conduttori nelle linee di trasmissione è descritta nei documenti citati Ref. 1: e Ref. 2.

[0059] Diafonia tra i conduttori isolati 1-4

[0060] La diafonia tra il primo conduttore isolato 1 della prima coppia 100 e il terzo conduttore isolato 3 della seconda coppia 200 è discussa di seguito.

[0061] Considerando una tensione U_0 che pilota il primo conduttore isolato 1 all'inizio della linea ($x=0$), le tensioni alle estremità opposte ($x=0$ e $x=l$) del terzo conduttore isolato 3 possono essere calcolate secondo le seguenti equazioni:

$$U_3(0) = -\frac{R_k}{2Z} \frac{1-e^{-(\gamma_1+\gamma_3)l}}{\gamma_1+\gamma_3} U_0 \quad (1)$$

$$U_3(l) = \frac{R_k}{2Z} \frac{e^{-\gamma_1 l} - e^{-\gamma_3 l}}{\gamma_3 - \gamma_1} U_0 \quad (2)$$

Dove:

- Z è l'impedenza del singolo conduttore isolato (primo conduttore isolato 1 o terzo conduttore isolato 3);
- R_k è l'impedenza di trasferimento effettiva tra i singoli conduttori isolati;
- γ_1, γ_3 sono le costanti di propagazione dei conduttori isolati 1 e 3, rispettivamente.

[0062] L'impedenza di trasferimento efficace è introdotta secondo Kaden, H.: "*Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichten-technik*"; Springer-Verlag, capitolo L-4., 1959. Il confronto tra i dati simulati e quelli misurati, discussi nel già citato Pfeiler, C., et al. mostra che l'uso dell'impedenza di trasferimento di un singolo conduttore isolato è efficace per calcolare una buona approssimazione dell'impedenza di trasferimento effettiva.

[0063] Si è osservato che i conduttori isolati 1, 4 della prima coppia 100 sono configurati in modo da presentare valori simili delle costanti di propagazione, cioè sostanzialmente identici a un primo valore γ_1 , e i conduttori isolati 3, 2 della seconda

coppia 200 presentano valori simili delle costanti di propagazione, cioè sostanzialmente identici a un secondo valore γ_3 differente dal primo valore γ_1 . Questa scelta contribuisce a ridurre la diafonia.

[0064] Inoltre, si noti che la lamina metallica 12 dello schermo metallico 11 che
 5 circonda almeno parzialmente ogni conduttore isolato 1-4 come sopra descritto contribuisce a ridurre l'impedenza di trasferimento effettiva R_k e quindi l'effetto di diafonia.

[0065] Diafonia tra modi differenziali

[0066] La diafonia tra la prima coppia di cavi 100 e la seconda coppia di cavi 200 è
 10 discussa di seguito.

[0067] Per pilotare in modalità differenziale il primo conduttore isolato 1 e il secondo conduttore isolato 4 che formano una coppia bilanciata non ritorta 100, vengono applicate le seguenti tensioni rispettive U_1 e U_4 secondo una modalità differenziale:

$$15 \quad U_1(0) = \frac{1}{2} U_0 \quad (3)$$

$$U_4(0) = -\frac{1}{2} U_0 \quad (4)$$

[0068] Inoltre, i conduttori isolati 3 e 2, funzionanti secondo la modalità differenziale,
 20 formano la coppia bilanciata non ritorta a 200. Poiché le costanti di propagazione della prima coppia di cavi 100 sono sostanzialmente identiche ($\gamma_1 \approx \gamma_2$) e le costanti di propagazione della seconda coppia di cavi 200 sono sostanzialmente identiche ($\gamma_3 \approx \gamma_4$), la diafonia dai conduttori isolati 1 e 4 della prima coppia di cavi 100 ai conduttori isolati 3 e 2 della seconda coppia di cavi 200 si sovrappone in modo tale che $U_3 = 0$
 25 and $U_2 = 0$. Questo effetto è positivo per il cavo di trasmissione dati 300. Questo è un

effetto positivo per il cavo di trasmissione dati 300.

[0069] Diafonia tra modi comuni

[0070] La diafonia tra un modo comune che si propaga nel primo doppino 100 e il modo comune del secondo doppino 200 è discussa qui di seguito.

- 5 [0071] Il funzionamento della prima coppia 100 in modalità comune comporta le seguenti tensioni:

$$U_1(0) = U_0 \quad (5)$$

$$U_4(0) = U_0 \quad (6)$$

- [0072] Supponendo che $\gamma_1 \approx \gamma_2$ e $\gamma_3 \approx \gamma_4$, le tensioni di interferenza sui conduttori
10 isolati 3 e 2 si sommano come indicato nelle seguenti equazioni:

$$U_3(0) = U_2(0) = -\frac{R_k}{Z} \frac{1-e^{-(\gamma_1+\gamma_3)l}}{\gamma_1+\gamma_3} U_0 \quad (7)$$

$$U_3(l) = U_2(l) = \frac{R_k}{Z} \frac{e^{-\gamma_1 l} - e^{-\gamma_3 l}}{\gamma_3 - \gamma_1} U_0 \quad (8)$$

- [0073] Questo effetto viene ridotto scegliendo costanti di propagazione dei conduttori
15 isolati 1 e 4 diverse da quelle dei conduttori isolati 3 e 2 per limitare la diafonia di modo comune.

[0074] Inoltre, la lamina metallica 12 che circonda almeno parzialmente ciascun conduttore isolato 1-4 consente di ridurre questo tipo di diafonia.

[0075] Progettazione dei parametri dei conduttori isolati

- 20 [0076] I parametri di progettazione che possono influenzare l'impedenza caratteristica e le costanti di propagazione dei conduttori isolati 1-4 sono: il diametro interno d_i del cavo i -esimo, il diametro esterno D_i del cavo i -esimo e la costante dielettrica efficace ϵ_i , dello strato isolante i -esimo (nel presente esempio, con i compreso tra 1 e 4).

- [0077] Definendo la conduttività κ_i del materiale del conduttore (cioè il materiale dei
25 conduttori 5, 7, 9 e 14) e la conduttività κ_a del materiale dello schermo metallico 11,

la profondità della pelle δ_i del conduttore e la profondità della pelle δ_a dello schermo metallico 11 possono essere calcolate con le seguenti equazioni:

$$\delta_i = \frac{1+j}{\sqrt{j2\pi f \mu_0 \kappa_i}}, \quad \delta_a = \frac{1+j}{\sqrt{j2\pi f \mu_0 \kappa_a}} \quad (9)$$

5

Dove:

j è l'unità immaginaria,

f è la frequenza del segnale di tensione applicato e,

μ_0 è la costante di permeabilità.

[0078] Secondo Kaden, H.: "*Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik*"; Springer-Verlag, capitolo L-3c, 1959, la resistenza R_i del conduttore (uno dei conduttori 5, 7, 9 e 14) dipende dalla frequenza:

10

$$R_i = \frac{4}{\pi d \kappa_i} \left(\frac{d}{4\delta_i} + \frac{1}{4} + \frac{6}{32} \frac{\delta_i}{d} \right) \quad (10)$$

15

[0079] dove d è il diametro esterno del conduttore.

[0080] Per frequenze sufficientemente elevate (ad esempio, almeno 5 MHz) e utilizzando lo spessore s della lamina metallica 12, la resistenza dipendente dalla frequenza R_a di tale lamina metallica 12 è:

20

$$R_a = \frac{1}{\pi D d \kappa_i} \frac{s}{\delta_a} \quad (11)$$

Dove s è lo spessore della porzione di lamina metallica che circonda un conduttore isolato, che, in considerazione dello spessore della lamina metallica, è sostanzialmente simile al diametro esterno del conduttore isolato, e

25

D è il diametro esterno del conduttore isolato che può essere utilizzato come

approssimazione del diametro dello strato metallico del nastro schermante che è formato intorno al conduttore isolato. Si deve considerare solo lo strato metallico più vicino al conduttore isolato.

[0081] Per calcolare le costanti di propagazione, l'induttanza L_i e la capacità C_i

5 possono essere calcolate come:

$$L_i = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{D_i}{d_i} \right) \quad (12)$$

$$C_i = \frac{2\pi\epsilon_{ri}\epsilon_0}{\ln \left(\frac{D_i}{d_i} \right)} \quad (13)$$

10 Dove:

ϵ_0 è la costante di permittività;

ϵ_{ri} è la costante di permittività relativa del materiale dello strato isolante i -esimo, che può dipendere dal tasso di schiumatura nel caso si utilizzi un dielettrico schiumato;

15 d è il diametro esterno del conduttore; e

D è il diametro esterno del conduttore isolato.

[0082] Utilizzando questi parametri primari e assumendo che le perdite dielettriche possano essere trascurate, i parametri della linea di trasmissione secondaria (impedenza caratteristica Z e costante di propagazione γ) possono essere calcolati

20 come segue:

$$Z = \sqrt{\frac{R_i + R_a + j2\pi fL}{j2\pi fC}} \quad (14)$$

$$\gamma = \sqrt{(R_i + R_a + j2\pi fL)j2\pi fC} \quad (15)$$

25 [0083] I parametri d_i , D_i ed ϵ_i possono essere selezionati individualmente per ogni conduttore isolato 1-4. Come già discusso, si può ipotizzare che per i conduttori isolati

1-4 che formano una coppia bilanciata non ritorta, questi parametri siano identici.

[0084] Per le alte frequenze l'impedenza caratteristica può essere approssimata come

$Z = \sqrt{L/C}$. Per ottenere lo stesso livello di impedenza caratteristica per tutti i conduttori isolati 1-4 (che comprendono la lamina metallica 12 che li circonda almeno parzialmente), la capacità del conduttore isolato i deve essere impostata su $C_i = L_i(C_1/L_1)$ e può quindi essere derivata dai parametri geometrici d_i , D_i and ε_i .

[0085] Come descritto nel già citato Kaden, H., capitolo L.3.c, l'impedenza di trasferimento Z_T di ciascuna porzione di lamina metallica 12 che circonda un conduttore isolato 1-4 (dal punto di vista elettrico, la lamina 12 può essere considerata singolarmente) può essere calcolata dalla geometria. Questo valore dell'impedenza di trasferimento Z_T può essere utilizzato come approssimazione dell'impedenza di trasferimento effettiva R_k , secondo l'equazione 1:

$$R_k = R_a \left(\frac{1}{\sin^2 \alpha} + \frac{jDd}{\delta_a^2 \tan^2 \alpha} \right) \quad (16)$$

15 Dove:

- R_a è la resistenza in corrente continua della lamina 12;
- g è la lunghezza di posa della torsione dei quattro conduttori insieme (lunghezza del cavo in cui i conduttori ritorti compiono un giro intorno all'asse del cavo)
- $\alpha = \arctan(g/\pi D)$ è l'angolo di posa della torsione dei quattro conduttori,
- 20 - $r_i = d_i/2$, dove d è il diametro del conduttore isolato

[0086] A titolo di esempio, la figura 3 si riferisce all'equazione (16) e mostra l'andamento A che rappresenta l'ampiezza $|R_k|$ dell'impedenza di trasferimento R_k (misurata in $m\Omega/m$) rispetto alla frequenza f (espressa in MHz) e l'andamento B che rappresenta la fase $\arg(R_T)$ dell'impedenza di trasferimento R_k (espressa in gradi),
 25 rispetto alla frequenza f .

[0087] A titolo esemplificativo, dalla figura 3 si possono ricavare i seguenti parametri

P3282IT00

di una lamina schermante cilindrica 11:

$$D = 3,0 \text{ mm},$$

$$b = 15 \text{ mm},$$

$$s = 50 \text{ mm},$$

$$5 \quad d = 0,04 \text{ mm}$$

$$\kappa = 35,106 \text{ Sm/mm}^2 \text{ (conduttività dell'alluminio).}$$

[0088] Modello di calcolo

[0089] Utilizzando le equazioni sopra descritte, è possibile ottenere un modello per calcolare la diafonia tra i conduttori isolati 1-4 circondati dalla lamina 12. In particolare, è possibile valutare la diafonia di estremità secondo l'equazione (8). La diafonia di estremità (ACR-F) è tipicamente espressa in dB e si ottiene sottraendo la perdita di inserzione (attenuazione) della coppia disturbante dalla diafonia di estremità (FEXT) che questa coppia induce in una coppia adiacente. La Figura 4 mostra un esempio di risposta in frequenza dell'ACR-F calcolato. Attualmente, un valore preferito per l'ACR-F (il valore di plateau descritto) dei cavi Cat8 è di 20 dB alla frequenza centrale del segnale di trasmissione.

[0090] La differenza della velocità di propagazione (cioè lo skew) delle due coppie di cavi 100 e 200 può essere correlata all'ACR-F risultante. La Tabella 1 mostra i rispettivi valori quando si utilizza il valore di plateau dell'ACR-F indipendente dalla frequenza. In base alle esigenze del possibile schema di trasmissione, l'ACR-F necessario può essere realizzato scegliendo i rispettivi parametri geometrici.

[0091]

<i>Tabella 1: Valutazione del modello di calcolo per ACR-F rispetto allo skew</i>				
Skew [ns/100m]	1	3,5	7	16
ACR-F [dB]	15	25	30	40
d_1 [mm]	0,560	0,560	0,560	0,560
D_1 [mm]	1,60	1,60	1,60	1,60
ϵr_1	1,60	1,60	1,60	1,60
d_2 [mm]	0,559	0,555	0,555	0,555

D_2 [mm]	1,60	1,60	1,61	1,65
------------	------	------	------	------

I seguenti intervalli di parametri potrebbero essere adatti per un cavo di trasmissione efficace:

d: 0,40 mm to 0,67 mm

5 D: 1,0 mm to 1,8 mm

ϵ_{ri} : 1,4 to 2,3.

Il cavo e il sistema di trasmissione dati descritti consentono di aumentare la velocità di trasmissione dei dati utilizzando contemporaneamente la modalità comune e quella differenziale, senza ridurre la distanza massima del cavo, poiché gli effetti di diafonia

10 sono limitati grazie alla progettazione del cavo.

RIVENDICAZIONI

1. Cavo di trasmissione dati (300) comprendente

- una prima coppia di cavi bilanciati (100) comprendente un primo conduttore
5 isolato (1) comprendente un primo conduttore (5) circondato da un primo strato
isolante (6) e un secondo conduttore isolato (4) comprendente un secondo conduttore
(14) circondato da un secondo strato isolante (15);

- almeno una seconda coppia di cavi bilanciati non ritorti (200) comprendente
un terzo conduttore isolato (3) comprendente un terzo conduttore (9) circondato da un
10 terzo strato isolante (10) e un quarto conduttore isolato (2) comprendente un quarto
conduttore (7) circondato da un quarto strato isolante (8);

in cui:

il cavo inoltre comprende uno schermo metallico (11) che separa e circonda
almeno parzialmente ciascuno di detti primo, secondo, terzo e quarto conduttore
15 isolato (1, 4, 3, 2); e

la prima coppia di cavi non ritorti bilanciati (100) è configurata per essere
sbilanciata rispetto alla seconda coppia di cavi non ritorti bilanciati (200).

2. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 1, in cui:

- la prima coppia di cavi bilanciati non ritorti (100) è associata a un primo gruppo di
20 parametri strutturali (DI, d_I, ε_I); e

- la seconda coppia di cavi bilanciati non ritorti (200) è associata a un secondo gruppo
di parametri strutturali diversi dal primo gruppo di parametri strutturali (DI, d_I, ε_I) per
almeno un valore.

3. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 2, in cui:

25 il primo gruppo di parametri include: un primo diametro esterno (D_1) del primo
(1) e del secondo (4) conduttore isolato; un primo diametro interno (d_1) del primo (1)

P3282IT00

e del secondo (4) conduttore isolato e una prima costante dielettrica (ϵ_1) del primo (6) e del secondo (15) strato isolante; e

il secondo gruppo di parametri comprende: un secondo diametro esterno del terzo (3) e quarto (2) conduttore isolato; un secondo diametro interno del terzo (3) e quarto (2) conduttore isolato e una seconda costante dielettrica del terzo (10) e quarto (8) strato isolante.

4. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 1, in cui il primo conduttore isolato (1), il secondo conduttore isolato (4), il terzo conduttore isolato (3) e il quarto conduttore isolato (2) sono complessivamente a trefoli.

10 5. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 1, inoltre comprendente una guaina esterna (13) che circonda la prima coppia (100), almeno la seconda coppia (200) e lo schermo metallico (11).

6. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 1, in cui lo schermo metallico (11) comprende almeno una lamina metallica (12).

15 7. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 6, in cui lo schermo metallico (11) comprende due o più lamine metalliche (12), queste lamine (12) sono parzialmente sovrapposte radialmente.

8. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 6, in cui la lamina metallica (12) è fatta da un materiale selezionato tra rame, alluminio o loro leghe.

20 9. Cavo di trasmissione dati (300) secondo la rivendicazione 1, in cui il cavo di trasmissione dati (300) è configurato per funzionare secondo un protocollo ethernet.

10. Sistema di trasmissione dati (400) comprendente:

- un cavo di trasmissione dati (300) comprendente:

- una prima coppia di cavi bilanciati non ritorti (100) comprendente: un primo conduttore isolato (1) comprendente un primo conduttore (5) circondato da un primo strato isolante (6) e un secondo conduttore isolato (4) comprendente: un secondo

25

P3282IT00

conduttore (14) circondato da un secondo strato isolante (15);

- almeno una seconda coppia di cavi bilanciati non ritorti (200) comprendente: un terzo

conduttore isolato (3) comprendente un terzo conduttore (9) circondato da un terzo

strato isolante (10) e un quarto conduttore isolato (2) comprendente un quarto

5 conduttore (7) circondato da un quarto strato isolante (8);

in cui:

il cavo (300) comprende inoltre uno schermo metallico (11) che separa e circonda almeno parzialmente ciascuno dei suddetti primo, secondo, terzo e quarto conduttore isolato (1, 4, 3, 2);

10 la prima coppia di cavi bilanciati (100) è configurata per essere sbilanciata rispetto alla seconda coppia di cavi bilanciati (200); e

- un dispositivo di comunicazione (500) collegato a detto cavo di trasmissione dati (300) per generare e trasmettere simultaneamente lungo il cavo di trasmissione dati (300) segnali di dati sia in modalità comune sia in modalità differenziale.

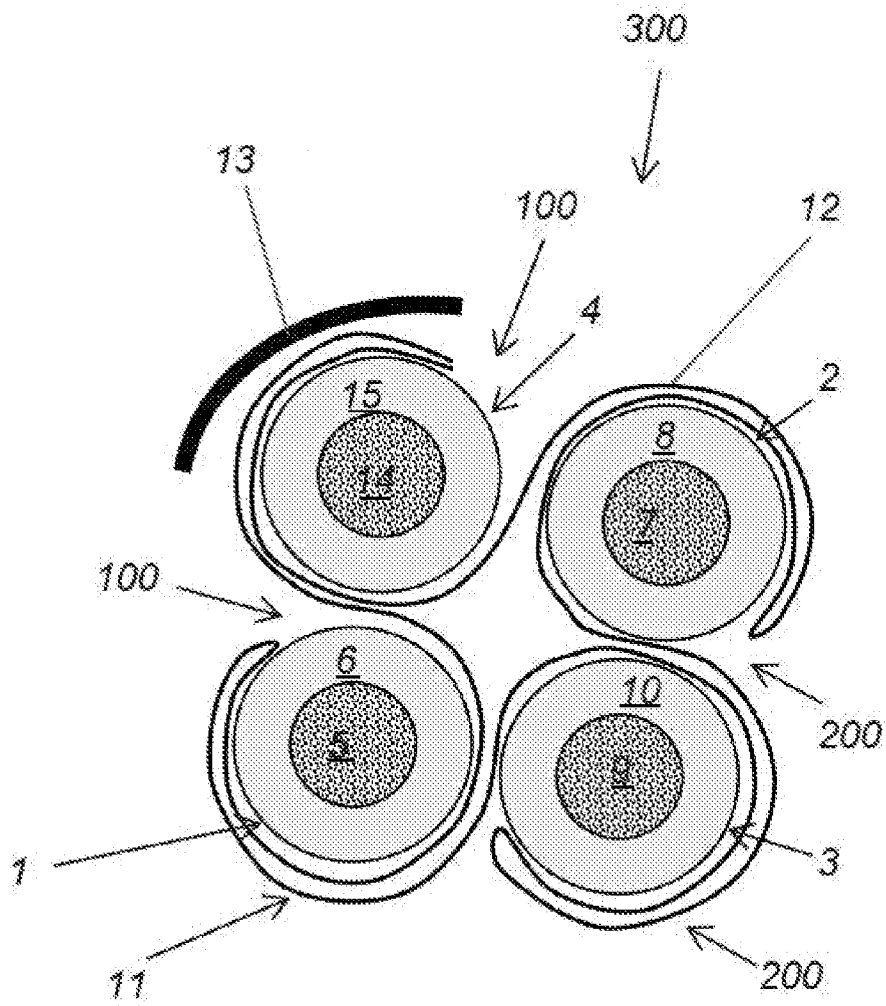
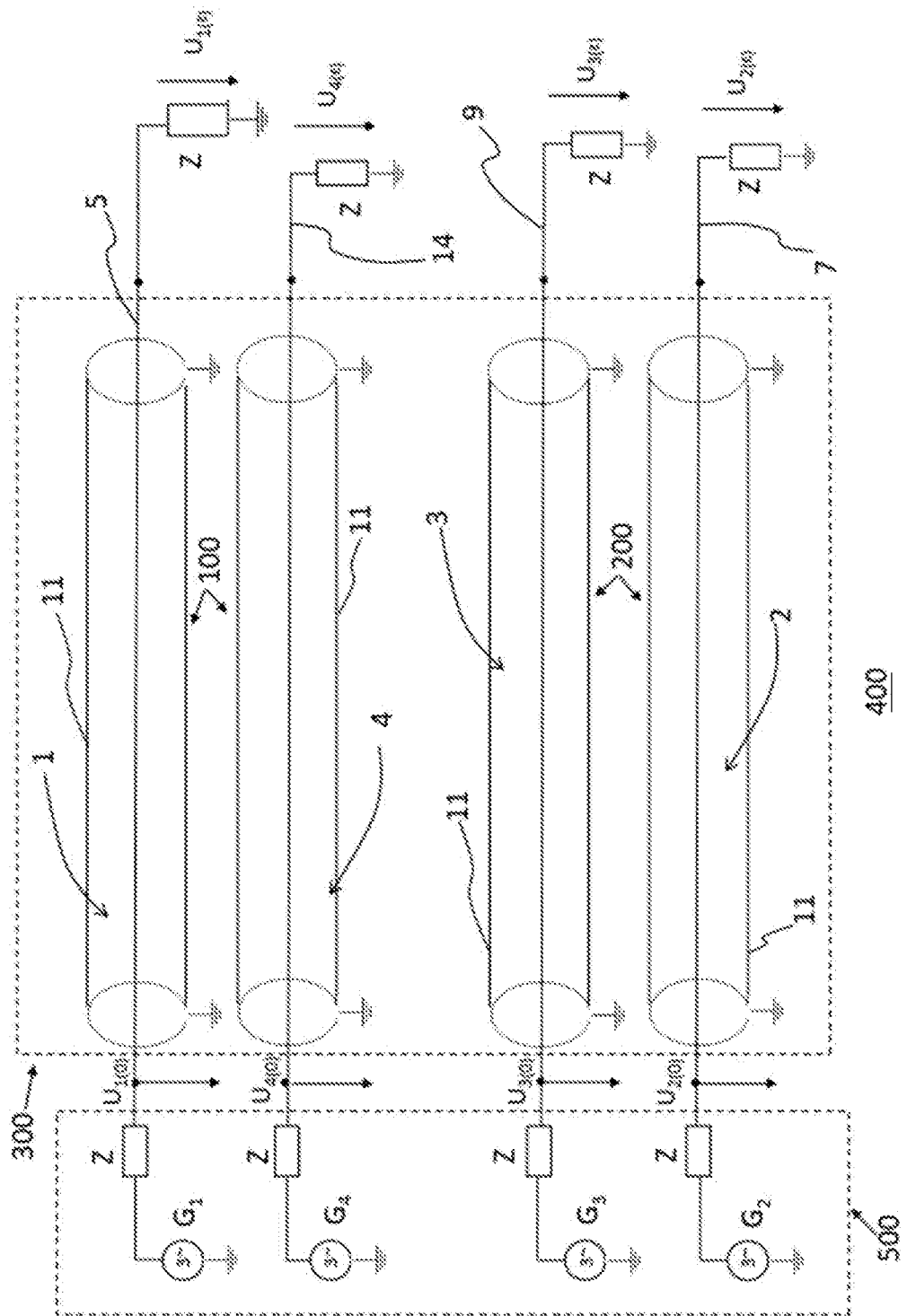


FIG. 1

FIG. 2



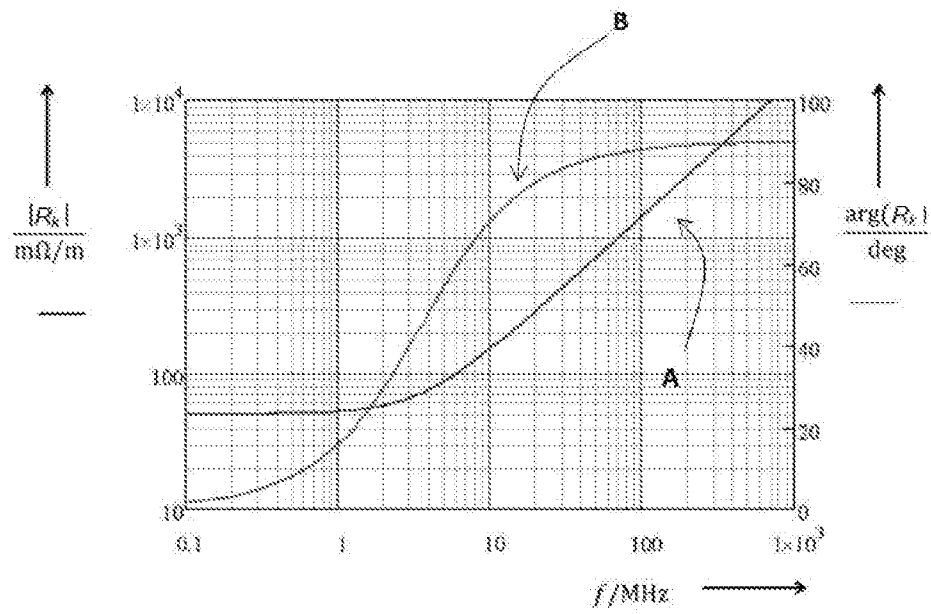


FIG. 3

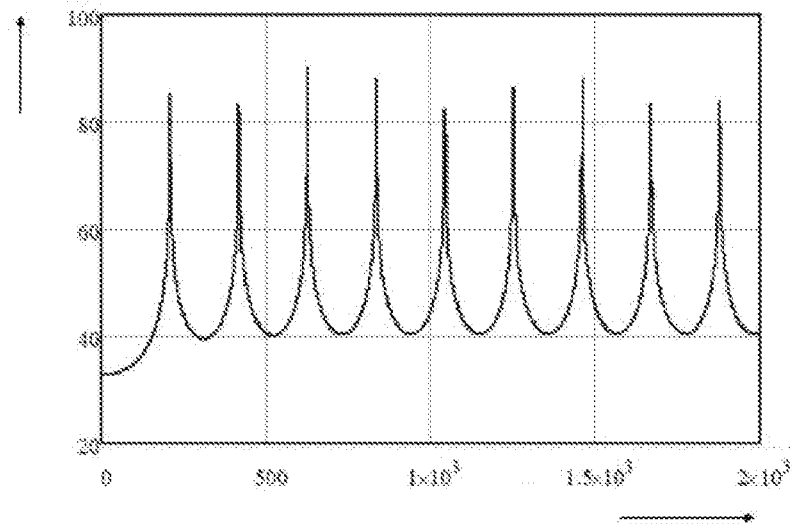


FIG. 4