



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 695 30 276 T2 2004.03.25

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 724 338 B1

(51) Int Cl.⁷: H04B 3/46

(21) Deutsches Aktenzeichen: 695 30 276.0

(96) Europäisches Aktenzeichen: 95 308 172.6

(96) Europäischer Anmeldetag: 15.11.1995

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 31.07.1996

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 09.04.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 25.03.2004

(30) Unionspriorität:

379230 27.01.1995 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:

Fluke Corp., Everett, Wash., US

(72) Erfinder:

Bottman, Jeffrey S., Seattle, WA 98115, US

(74) Vertreter:

Strehl, Schübel-Hopf & Partner, 80538 München

(54) Bezeichnung: **Pulsbasiertes Übersprechmessgerät mit Steckverbinderübersprechkompenstation**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Querverweis auf eine verwandte Anmeldung

[0001] Diese Anmeldung ist verwandt mit der am 30. März 1994 eingereichten US-Patentanmeldung mit der laufenden Nummer 08/220 068 mit dem Titel "Cable Crosstalk Measurement System", die EP-A-O 675 607 entspricht.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Diese Erfindung betrifft allgemein das Testen elektrischer Kabel und die Fehlersuche bei diesen und insbesondere das Messen der Übersprecheigenschaften von Lokalnetzwerk-Kabeln.

[0003] Lokale Netzwerke (LANs) verbinden heutzutage eine große Anzahl von Personalcomputern, Arbeitsstationen, Druckern und Fileservern in modernen Büros. Ein LAN-System wird typischerweise implementiert, indem alle diese Vorrichtungen mit Kupferleiter aufweisenden LAN-Kabeln mit verdrillten Paaren physikalisch verbunden werden, wobei es sich beim gebräuchlichsten um ein LAN-Kabel mit nicht abgeschirmten verdrillten Paaren ("UTP-LAN-Kabel") handelt, das ein 8-Draht-Kabel ist, welches als 4 verdrillte Paare konfiguriert ist. Jedes der vier verdrillten Paare wirkt als eine Übertragungsleitung, die ein Datensignal über das LAN-Kabel überträgt. Jedes Ende des LAN-Kabels ist mit einem Industrienormanschluß abgeschlossen, wobei der gebräuchlichste der "RJ-45"-Anschluß ist. Bei einer typischen Installation können LAN-Kabel durch Wände, Fußböden und Decken des Gebäudes geführt werden. LAN-Kabelsysteme erfordern eine ständige Wartung, Aktualisierungen und Fehlersuchen, weil LAN-Kabel und die Anschlüsse brechen können, weil Büros und Einrichtungen bewegt werden müssen und weil neue Ausrüstungen hinzugefügt werden.

[0004] Die Aufgaben des Installierens, Austauschens oder Neuverlegens von Kabeln kommen typischerweise einem professionellen Kabelinstallateur oder einer im Haus tätigen Netzwerkwartungsperson zu. Während der Installationsphase wird jedes Kabel durch das Gebäude verlegt, und ein Anschluß wird an jedem Ende des neuen Kabels angebracht. Jeder Draht in dem Kabel muß mit seiner richtigen jeweiligen elektrischen Verbindung an beiden Enden des Kabels verbunden werden, damit die LAN-Verbindung funktioniert. Ein LAN-Kabelsystem, das nicht richtig eingerichtet wurde oder fehlerhafte Kabel oder Anschlüsse aufweist, kann zu Datenübertragungsfehlern führen. Daher muß das LAN-Kabelsystem getestet werden, um eine geeignete Arbeitsweise und die Leistungsfähigkeit zu überprüfen.

[0005] Die relative Geschwindigkeit der Datenübertragung über LAN-Kabelsysteme hat ständig zugenommen. 100 Megabits je Sekunde sind eine zunehmend übliche Datenrate. Kupferdraht-LAN-Kabelsysteme, die in enger Verwandtschaft zu traditionellen Mehrleiter-Telefonkabelsystemen stehen, welche gemeinhin in Geschäftsgebäuden angetroffen werden, wurden vorangetrieben, um diesen höheren Datenraten Rechnung zu tragen. Kupferdraht-LAN-Kabelsysteme haben gegenüber ihren Gegenstücken in Gestalt optischer Fasern den Vorteil, daß sie erheblich kostengünstiger und vielseitiger sind. Der zunehmende Bedarf an Netzwerkgeschwindigkeit und zugeordneter Bandbreite war jedoch mit zunehmenden Belastungen des Netzwerkspezialisten verbunden, die Netzwerkzuverlässigkeit angesichts ausgefallener Probleme, die bei höheren Datenraten auftreten, aufrechtzuerhalten.

[0006] Es ist nicht mehr ausreichend, lediglich geeignete elektrische Verbindungen über eine bestimmte Netzwerkstrecke zu erhalten. Es können subtilere Probleme auftreten, die die Netzwerkleistungsfähigkeit bei höheren Datenraten kumulativ zerstören können. Aus diesem Grunde werden LAN-Kabel nun auf der Grundlage ihrer Fähigkeit, einen schnellen Datenverkehr zu behandeln, in verschiedene Leistungsfähigkeitsniveaus eingestuft. Der Netzwerkspezialist muß das geeignete minimale Niveau nun sorgfältig auswählen. Beispielsweise kann das versehentliche Aufnehmen eines Kabels mit Telefonqualität, das LAN-Kabeln mit höherer Leistungsfähigkeit physikalisch ähnlich ist, jedoch unannehbare Bandbreiten- und Übersprecheigenschaften aufweist, in einen Abschnitt des Netzwerks zu einer nicht funktionsfähigen Netzwerkverbindung führen. Weiterhin muß die Gesamtzahl der LAN-Kabelanschlüsse, die, wie herausgefunden wurde, erheblich zu Leistungsfähigkeitsbeeinträchtigungen eines LAN-Kabelsystems beitragen, in einem gegebenen Signalweg minimal gehalten werden, weil sonst die kumulative Verschlechterung der Netzwerkleistungsfähigkeit zu groß wird. Kritische Netzwerkparameter, die der Netzwerkspezialist kennen sollte, umfassen die Netzwerkbandbreite (durch die Signalabschwächung in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen) und das Nahes-Ende-Übersprechen (gemeinhin als "NEXT" bezeichnet) zwischen verdrillten Paaren in einem Kabel, das sich auch als Funktion der Frequenz ändert. Die Begriffe NEXT und Übersprechen werden austauschend verwendet, weil die Übersprechmessungen in diesem Zusammenhang am nahen Ende des LAN-Kabels auftreten.

[0007] Das Übersprechen ist ein Maß für das Isolationsniveau zwischen zwei beliebigen verdrillten Paaren innerhalb eines LAN-Kabelsystems. Das Aufrechterhalten eines spezifizierten minimalen Niveaus der Übersprechisolation ist wichtig, um eine Interferenz zwischen benachbarten verdrillten Paaren zu verhindern, um die Netzwerkzuverlässigkeit aufrechtzuerhalten. Das National Institute of Standards and Technology (NIST)

und die Industriearbeitsgruppe Telecommunications Industry Association (TIA) haben eine Norm für das Übersprechen herausgegeben, welche ein minimales Niveau für die Übersprechisolation über einen Frequenzbereich von 0,1 bis 100 Megahertz spezifiziert. Die Übersprechnorm ist im wesentlichen eine Annehmbarkeit-Nicht-Annehmbarkeit-Grenzlinie. LAN-Kabelnetzwerke, bei denen bei einer gegebenen Frequenz ein Übersprechen oberhalb der Grenzlinie auftritt, werden als nicht annehmbar angesehen. Beim Unterhalten eines Netzwerks, das mit der TIA-Norm übereinstimmt, kann der Netzwerkspezialist ziemlich sicher sein, daß die volle Netzwerkleistungsfähigkeit ohne erhebliche Fehlerbeiträge von einem Übersprechen zwischen verdrillten Paaren gegeben ist.

[0008] Testinstrumenthersteller streben danach, Testinstrumente zu bauen, die den Netzwerkspezialisten dabei unterstützen, LAN-Kabelsysteme unter Einschluß des Übersprechverhaltens generell vollständig zu testen. Damit ein LAN-Kabelsystem den von der TIA spezifizierten Grenzwert erfüllt, muß das Übersprechverhalten des LAN-Kabelnetzwerks den spezifizierten Grenzwert innerhalb des spezifizierten Bereichs bei allen Frequenzen überschreiten. Der von der TIA spezifizierte Übersprechtest legt Testinstrumententwicklern jedoch mehrere erhebliche Belastungen auf. Erstens muß die Übersprechmessung über einen ganzen Bereich von Frequenzen ausgeführt werden, wodurch eine Reihe von Messungen erforderlich ist, welche den Frequenzbereich angemessen abdecken, während eine annehmbare Gesamttestzeit und eine annehmbare Genauigkeit für den Benutzer aufrechterhalten werden. Zweitens schließt die Übersprechmessung die Leistungsfähigkeit aller Anschlüsse in dem System nur im zusammengesteckten Zustand ein. Die Folge dieser Regel besteht darin, daß ein Anschluß am nahen Ende des LAN-Kabels, der mit dem Testinstrument zusammengesteckt ist, Teil des Testinstrumentanschlusses wird und nicht in die Messung des LAN-Kabelnetzwerks aufgenommen werden darf. Die Übersprechmessung muß daher den Beitrag des Nahes-Ende-Anschlusses ausschließen oder minimieren, um eine Übersprechmessung zu erhalten, die mit der TIA-Spezifikation in Einklang ist. Weil der Nahes-Ende-Anschluß typischerweise den größten Beitrag zum Übersprechen stellt, wie es vom Testinstrument gesehen wird, müssen Schritte unternommen werden, um seine Wirkungen zu minimieren, weil das Testinstrument ansonsten dadurch in gewissem Maße "geblendet" wird, daß der Nahes-Ende-Anschluß das Ansprechen des restlichen LAN-Kabelsystems überdeckt, woraus sich eine mangelhafte Meßgenauigkeit ergibt. Demgemäß müssen die Wirkungen des Nahes-Ende-Anschlusses minimiert werden, um die Meßgenauigkeit zu erhöhen und die Möglichkeiten des Auftretens einer falschen Angabe einer Annehmbarkeit oder einer Nichtannehmbarkeit für Übersprechmessungen in der Nähe der Spezifikationsgrenze zu verringern.

[0009] LAN-Kabeltestinstrumente aus dem Stand der Technik, die das Übersprechverhalten messen, haben den Anforderungen der TIA-Spezifikation nicht voll entsprochen. Kostengünstige LAN-Kabeltestinstrumente beurteilen das Übersprechverhalten typischerweise bei nur einer Frequenz, beispielsweise 10 Megahertz, und sie liefern dadurch eine schnelle, jedoch unvollständige Angabe des Übersprechverhaltens des LAN-Kabelsystems. Ein solches Instrument arbeitet durch Einspeisen eines Hochfrequenzsignals in ein ausgewähltes verdrilltes Drahtpaar und durch Überwachen des an einem anderen verdrillten Drahtpaar mit einem Empfänger und Pegeldetektor empfangenen relativen Pegels. Auf diese Weise können Gesamtverdrahtungsfehler in dem LAN-Kabelsystem, wie Verdrahtungsfehler gekreuzter Paare, erfaßt werden.

[0010] Höherentwickeltere LAN-Kabeltestinstrumente versuchen, Übersprechmessungen über den spezifizierten Frequenzbereich von 0,1 bis 100 Megahertz bereitzustellen. Wie bei den kostengünstigen LAN-Kabeltestinstrumenten wird die Messung im wesentlichen analog ausgeführt, wobei ein Empfänger und ein Pegeldetektor die Signalfrequenz einer Testsignalquelle verfolgen und den relativen Pegel des empfangenen Testsignals messen. Die Testsignalquelle kann eine Reihe von Testfrequenzen entweder in Form einer kontinuierlich gewobbelten Sinusfrequenz oder als eine Ansammlung in einer Folge erzeugter vorbestimmter diskreter Frequenzen erzeugen. Jede Übersprechmessung wird dann mit der Spezifikationsgrenze für diese Frequenz verglichen, um zu bestimmen, ob sie annehmbar ist oder nicht. Die Nichtannehmbarkeit einer Übersprechmessung führt zu der Schlußfolgerung, daß das Übersprechverhalten des LAN-Kabelnetzwerks fehlerhaft ist. Diese Meßtechnik ist gewöhnlich verhältnismäßig langsam, weil zwischen den jeweiligen Messungen eine ausreichende Einschwingzeit zugelassen werden muß und es notwendigerweise einen Kompromiß zwischen der Gesamtmeßzeit und der Anzahl der getesteten Frequenzen gibt.

[0011] Weiterhin können solche Instrumente, welche die Amplitude, jedoch nicht die Phase messen, die Wirkungen des Nahes-Ende-Anschlusses nicht entfernen oder steuern. Die Lösung dieses Nahes-Ende-Anschluß-Übersprechproblems bestand darin, am Instrumentenende einen anderen Anschlußtyp austauschend zu verwenden, typischerweise einen Industrienorm-DB-15-Anschluß und einen passenden Stecker, der optimiert ist, um nur einen Nennbetrag an Übersprechen in das Instrument zurückzuführen. Der DB-15-Anschluß wird mit einem LAN-Kabel hoher Qualität verbunden, das als ein Verbindungskabel zu dem getesteten LAN-Kabelsystem wirkt.

[0012] Ein Nachteil tritt auf, wenn das Benutzer-Verbindungskabel als Teil des LAN-Kabelsystems angesehen wird. Solche Verbindungskabel weisen an jedem Ende stets RJ-45-Industrienormanschlüsse mit einem hohen Übersprechen auf. Weil ein DB-15-Anschluß demgemäß nicht direkt mit einem RJ-45-Anschluß zusammen gesteckt wird, ist ein DB-15-zu-RJ-45-Adapter mit einem unvermeidbar hohen Übersprechen erforderlich und

wird nach der TIA-Spezifikation Teil des Testinstruments. In der üblichen Situation, in der der Netzwerkspezialist das Benutzer-Verbindungskabel als Teil des LAN-Kabelsystems aufnehmen will, um das LAN-Kabelsystem vollständig zu testen, wird die Meßgenauigkeit folglich durch die vom RJ-45-Anschluß beigetragene Unsicherheit beeinträchtigt. Ein weiterer Nachteil dieser Technik besteht darin, daß die Übersprecheffekte des DB-15-Anschlusses verringert sind, jedoch nicht vollkommen kontrolliert werden können und auch nicht aus der Messung entfernt werden können, wodurch die Meßgenauigkeit des Instruments beeinträchtigt wird. Die Genauigkeit der Übersprechmessung hängt demgemäß stark von der Qualität des Verbindungskabels und des Anschlusses ab, wodurch ein unbekannter Fehlerbeitrag erzeugt wird.

[0013] Es wäre demgemäß wünschenswert, ein LAN-Kabeltestinstrument bereitzustellen, welches die Übersprechantwort eines LAN-Kabelsystems über einen gewünschten Frequenzbereich von 0,1 bis 100 Megahertz schnell mißt und welches die Wirkungen des Nahes-Ende-Netzwerkanschlusses automatisch kompensiert und elektronisch entfernt, um eine verbesserte Übersprech-Meßgenauigkeit zu erreichen und einen speziellen Instrumentenanschluß, ein Verbindungskabel und Adapter überflüssig zu machen.

[0014] In GB-A-2 065 312 ist eine Vorrichtung zum Lokalisieren von Übersprechfehlern in Telekommunikationskabeln offenbart. Ein Stufenfunktionssignal wird an ein Kabelpaar angelegt, und das in einem nahegelegenen Kabelpaar erzeugte Übersprechsignal wird unter Verwendung eines Analog-Digital-Wandlers erfaßt, der gesteuert wird, um die empfangene Wellenform in aufeinanderfolgend verschiedenen Zeitintervallen anhand der Impulsübertragung abzutasten. Ein Mikroprozessor speichert Werte von Wellenformen, die auf der Grundlage von jenen berechnet werden, welche anhand verschiedener Fehlerstellenabstände erwartet werden. Abtastwerte der empfangenen und berechneten Wellenformen werden korreliert, um den Ort des Fehlers zu bestimmen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0015] Aspekte der vorliegenden Erfindung sind in den anliegenden Ansprüchen dargelegt.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform legt ein Kabeltestinstrument ein Testsignal in Form schmaler Impulse an eine ausgewählte Übertragungsleitung eines LAN-Kabels an, während die in einer anderen Übertragungsleitung im selben LAN-Kabel induzierte Übersprechantwort gemessen und als eine Zeitaufzeichnung im Digitalspeicher gespeichert wird. Das Instrument ist mit dem nahen Ende des LAN-Kabels verbunden, während eine ferne Einheit einen geeigneten Abschluß am fernen Ende bereitstellt, um unerwünschte Reflexionen des Testsignals zu verhindern. In einem LAN-Kabel mit nicht abgeschirmten verdrillten Paaren ("UTP-LAN-Kabel") besteht jede Übertragungsleitung aus einem verdrillten Drahtpaar. Eine Zeitaufzeichnung wird unter Verwendung einer sequentiellen Abtasttechnik über eine Reihe von Messungen eingerichtet, um die wirksame Zeitauflösung der Messung zu verbessern. Das LAN-Kabeltestinstrument analysiert die Übersprechantwort durch Ausführen einer diskreten Fourier-Transformation an der Zeitaufzeichnung, um Informationen des Übersprechens in bezug auf die Frequenz bereitzustellen. Das gemessene Übersprechen kann dann mit einer Spezifikationsgrenzlinie verglichen werden, um eine Entscheidung hinsichtlich der Annehmbarkeit bzw. der Nichtannehmbarkeit zu erreichen, die dem Instrumentenbenutzer übermittelt wird.

[0017] Eine verbesserte Genauigkeit der Übersprechmessung unter Verwendung einer impulsbasierten Meßtechnik wird auf zweierlei Arten erhalten. Erstens wird ein ausgewählter Satz von Impulsen mit unterschiedlichen Impulsdauern, welche einer optimalen Signalenergie in gewünschten Frequenzbereichen entsprechen, so ausgewählt, daß eine zusammengesetzte Frequenzantwort unter Verwendung von Messungen, die auf jedem der Impulse des Satzes beruhen, erzeugt werden kann. Die Ausführung von Messungen auf der Grundlage von Impulsen unterschiedlicher Breite nutzt eine als Bandbreite-Zeit-Invarianz bezeichnete wohlbekannte Eigenschaft aus, bei der schmalere Impulse ihre Energie über ein breiteres Frequenzspektrum, jedoch bei einer entsprechend kleineren Amplitude, ausbreiten. Umgekehrt können breitere Impulse verwendet werden, um zusätzliche Energie für Messungen in niedrigeren Frequenzbereichen bereitzustellen, um eine verbesserte Meßgenauigkeit zu erzielen.

[0018] Zweitens werden die Übersprechwirkungen des direkt mit dem Testinstrument gekoppelten Nahes-Ende-Anschlusses, getrennt vom restlichen LAN-Kabelsystem gemessen und mathematisch von der Übersprechmessung subtrahiert. Bei dieser Technik wird die Tatsache ausgenutzt, daß, wenngleich das Übersprechverhalten eines gegebenen Anschlusses unbekannt ist, sein physikalischer Ort und der entsprechende Ort in der Zeitaufzeichnung bekannt sind, wodurch die Wirkungen des Nahes-Ende-Anschlusses getrennt gemessen werden können. Im Laufe einer Übersprechmessung werden die Wirkungen des mit dem Testinstrument gekoppelten Nahes-Ende-Netzwerkanschlusses mathematisch von der zusammengesetzten Messung subtrahiert, welche sowohl den Nahes-Ende-Anschluß als auch den Rest des LAN-Kabelsystems enthält, so daß nur die Antwort des LAN-Kabelsystems übrigbleibt.

[0019] Eine Anordnung gemäß der Erfindung wird nun beispielhaft mit Bezug auf die anliegende Zeichnung beschrieben.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

- [0020] **Fig.** 1 ist eine Darstellung eines LAN-Kabeltestinstruments und einer fernen Einheit, die mit dem nahen Ende bzw. dem fernen Ende eines LAN-Kabelsystems gekoppelt sind,
- [0021] **Fig.** 2 ist ein schematisches Diagramm eines mit dem LAN-Kabeltestinstrument getesteten LAN-Kabels,
- [0022] **Fig.** 3 ist ein schematisches Diagramm, welches ein LAN-Kabelsystem definiert,
- [0023] **Fig.** 4 ist ein Diagramm, in dem ein LAN-Kabeltestinstrument und eine das LAN-Kabelsystem testende ferne Einheit mit einem speziellen Instrumenten-Verbindungskabel gemäß dem Stand der Technik dargestellt sind,
- [0024] **Fig.** 5 ist ein Diagramm, in dem ein LAN-Kabeltestinstrument und eine das LAN-Kabelsystem testende ferne Einheit mit einem Benutzer-Verbindungskabel und einem speziellen Instrumenten-Verbindungskabel gemäß dem Stand der Technik dargestellt sind,
- [0025] **Fig.** 6 ist ein Diagramm, in dem ein LAN-Kabeltestinstrument und eine das LAN-Kabelsystem testende ferne Einheit gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt sind,
- [0026] **Fig.** 7 ist ein vereinfachtes Blockdiagramm des LAN-Kabeltestinstruments gemäß der vorliegenden Erfindung,
- [0027] **Fig.** 8, die aus den **Fig.** 8A, 8B und 8C besteht, ist ein Flußdiagramm des Gesamtmeßprozesses, der vom LAN-Kabeltestinstrument gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird,
- [0028] **Fig.** 9 ist eine Graphik, in der die Impulsantwort eines typischen LAN-Kabelsystems als eine Zeitaufzeichnung im LAN-Kabeltestinstrument dargestellt ist,
- [0029] **Fig.** 10 ist eine Graphik, in der die Frequenzdomänendarstellung der Zeitaufzeichnung aus **Fig.** 9 verglichen mit einer vorbestimmten Annehmbarkeit-Nicht-Annehmbarkeit-Grenzlinie dargestellt ist,
- [0030] **Fig.** 11 ist eine Graphik, in der die tatsächliche Impulsantwort eines typischen Nahes-Ende-Anschlusses unter Verwendung von Punkten von einem vorbestimmten Abschnitt der Zeitaufzeichnung und eine abgerundete Schätzung der tatsächlichen Impulsantwort dargestellt sind,
- [0031] **Fig.** 12 ist eine Graphik, in der eine Frequenzdomänendarstellung der restlichen Übersprechantwort dargestellt ist, worin die Übersprecheffekte des Nahes-Ende-Anschlusses auf die Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems mit und ohne Kompensation gemäß der vorliegenden Erfindung verglichen werden,
- [0032] **Fig.** 13 ist eine Graphik, in der die Beziehung zwischen der Impulsbreite in der Zeitdomäne und der Verteilung der Impulsenergie in der Frequenzdomäne dargestellt ist, und
- [0033] **Fig.** 14 ist eine Graphik, in der der Prozeß des Verkettens der Frequenzdarstellung der in **Fig.** 13 dargestellten Impulsbreiten dargestellt ist, um eine erhöhte Impulsenergie bei ausgewählten Frequenzbereichen zu erhalten und eine verbesserte Meßgenauigkeit gemäß der vorliegenden Erfindung zu erhalten.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

- [0034] **Fig.** 1 ist eine Darstellung eines LAN-Kabeltestinstruments und einer mit dem nahen Ende bzw. dem fernen Ende eines typischen LAN-Kabelsystems gekoppelten fernen Einheit. Die Begriffe nahes Ende und fernes Ende bedeuten nach Konvention die jeweiligen Enden einer LAN-Kabelverbindung, wobei das nahe Ende am Testinstrument **10** liegt und das ferne Ende das entgegengesetzte Ende ist. Ein Testinstrument **10** ist über einen Nahes-Ende-Anschluß **12** und ein Verbindungskabel **14** mit einem Anschluß **16** gekoppelt. Das Testinstrument **10** wird typischerweise in einem Benutzerbereich **18** verwendet, in dem sich die gewünschten Peripheriegeräte, wie Computer-Arbeitsstationen und Drucker in einer typischen Büroumgebung befinden. Der Anschluß **16** ist mit einem LAN-Kabel **20** gekoppelt, das sich in einer Kabelbahn **22** befindet. Die Kabelbahn **22** ist der Weg des LAN-Kabels **20** durch die physikalische Einrichtung, und sie kann unter Fußböden, durch Wände, über Decken und anderen Räumen innerhalb der Einrichtung verlaufen. Die Länge des LAN-Kabels **20** ist typischerweise auf 100 Meter begrenzt, und es können sich innerhalb seiner Reichweite zahlreiche LAN-Kabelanschlüsse befinden, wie es für Verstärkungserweiterungen oder Reparaturunterbrechungen erforderlich ist. Das LAN-Kabel **20** ist mit einem Anschluß **24** gekoppelt, der an einem Telekommunikationsschrank **26** auftritt, welcher typischerweise einen zentralen Empfangspunkt für mehrere Benutzerbereiche **18** aufweist und LAN-Netzwerk-Verteileinrichtungen enthält, die beispielsweise "Hubs", "Router" und "Brücken" einschließen, welche auf dem Datenkommunikationsgebiet wohlbekannt sind und Netzwerk-Kommunikationsfunktionen erleichtern. Ein Verbindungskabel **28**, das mit einem Fernes-Ende-Anschluß **30** gekoppelt ist, vervollständigt die LAN-Verbindung. Zum ermöglichen des Testens der Verbindung über das LAN-Kabel ist eine ferne Einheit **32** mit dem Fernes-Ende-Anschluß **30** gekoppelt, um einen geeigneten Anschluß der vom Testinstrument **10** erzeugten Testsignale bereitzustellen.

- [0035] **Fig.** 2 ist ein schematisches Diagramm eines typischen UTP-Kupferdraht-LAN-Kabels **40** mit acht Leitern, das gemäß der vorliegenden Erfindung getestet wird. Drahtpaare **42a-d** sind innerhalb des LAN-Kabels **40** miteinander verdrillt, um die Signalisolierung oder das Übersprechen zwischen zwei jeweiligen Drahtpaaren

zu maximieren. An beiden Enden des LAN-Kabels **40** befinden sich LAN-Kabelanschlüsse **44** und **44'**, die zu anderen LAN-Kabelanschlüssen passen, um die gewünschten elektrischen Verbindungen entsprechend der Industrienorm zu bilden. Die Drahtpaare **42a-d** sind mit einem vorbestimmten Verbindungssatz innerhalb der Anschlüsse **44** und **44'** gekoppelt, um jeweilige Paare 1-2, 3-6, 4-5 bzw. 7-8 zu bilden, welche als die vier getrennten, unabhängigen Übertragungsleitungen funktionieren. Die Anschlüsse **44** und **44'** werden als RJ-45-Anschlüsse bezeichnet, welche von der Telefonindustrie übernommen wurden. Mehrere LAN-Kabel **40** sind durch Zusammenstecken der Anschlüsse **44** und **44'** gekoppelt, um vollständige Verbindungen zu bilden. Das LAN-Kabel **40** und die LAN-Kabelanschlüsse **44** und **44'** bilden auf diese Weise den grundlegenden Baublock eines LAN-Kabelsystems, das aus einer beliebigen Anzahl solcher Baublöcke bestehen kann.

[0036] Der Schlüssel zum Erreichen eines gewünschten Niveaus des Übersprechverhaltens besteht im Aufrechterhalten einer ausgeglichenen Kapazität zwischen beliebigen zwei verdrillten Paaren im LAN-Kabel **40**, so daß Signalspannungen in einem verdrillten Paar keine Spannungen im anderen verdrillten Paar induzieren. Dieser Kapazitätsausgleich ist zunehmend kritisch geworden, weil die Frequenz der Signalspannung infolge der über das LAN-Kabel **40** gesendeten höheren Datenraten zugenommen hat. Das LAN-Kabel **40** ist im Handel bei sortierten Datenqualitäten erhältlich, welche sein Leistungsfähigkeitsniveau über den gewünschten Frequenzbereich definieren. Dieses Leistungsfähigkeitsniveau ist eine direkte Funktion der physikalischen Konsistenz des Verdrillens der Drahtpaare **42a-d** entlang einer gegebenen Reichweite des LAN-Kabels. Wegen ständiger Verbesserungen bei der Herstellung des LAN-Kabels **40**, wodurch seine relative Datenqualität verbessert wurde, sind die zusammengesteckten Anschlüsse **44** und **44'** häufig die Hauptursacher des Gesamt-Kapazitätsungleichgewichts zwischen beliebigen zwei Drahtpaaren. Die Anzahl dieser zusammengesteckten Verbindungen in einem LAN-Kabelsystem wird häufig beim Aufrechterhalten der Leistungsfähigkeit eines Netzwerks bei höheren Datenraten zu einem Problem.

[0037] **Fig. 3** ist ein schematisches Diagramm, in dem ein LAN-Kabelsystem **50** für die Zwecke eines Übersprech-Meßstandards definiert ist. Wegen der Unsicherheiten, denen sich der Netzwerkspezialist hinsichtlich der Datenqualitäten aller die Segmente zwischen dem nahen Ende und dem fernen Ende einer LAN-Kabelverbindung bildenden LAN-Kabel, der relativen Längen jedes Segments und der Zahl der LAN-Kabelanschlüsse zwischen dem nahen Ende und dem fernen Ende gegenüber sieht, wird das Übersprechniveau über das ganze Verbindungsnetzwerk kritisch.

[0038] Gleichzeitig erforderte der Bedarf an einem standardisierten Verfahren zum Messen des Übersprechens eine universelle Definition davon, was ein LAN-Kabelsystem **10** ausmacht. Die Telecommunications Industry Association (TIA) gelangte zu einer Definition, nach der ein LAN-Kabelsystem alle zusammengesteckten Verbindungen zwischen dem nahen Ende und dem fernen Ende unter Ausschluß der Nahes-Ende-Anschlüsse und der Fernes-Ende-Anschlüsse selbst umfaßt. Der Nahes-Ende-Anschluß **12** ist in eine Arbeitsstation **52** eingesteckt und wird dadurch Teil der Arbeitsstation und ist nicht Teil des LAN-Kabelsystems **50**. In ähnlicher Weise ist der Fernes-Ende-Anschluß **30** in eine LAN-Einrichtung **54** eingesteckt, die ein Hub, eine Brücke, einen Router oder eine Verbindungsplatte umfassen kann, und er wird daher Teil der LAN-Einrichtung **54**. Das LAN-Kabelsystem **50** umfaßt das Verbindungskabel **14** (in **Fig. 1** dargestellt), den LAN-Kabelanschluß **16**, das LAN-Kabel **20**, den LAN-Kabelanschluß **24** und das Verbindungskabel **28**. Ausgeschlossen sind die Beiträge des Nahes-Ende-Anschlusses **12** und des Fernes-Ende-Anschlusses **30** zum Übersprechen, weil sie in die Arbeitsstation **52** bzw. die LAN-Einrichtung **54** eingesteckt sind, welche nicht Teil des LAN-Kabelsystems **50** sind. Nach dieser Definition muß daher das Testinstrument **10** (in **Fig. 1** dargestellt.), das mit dem Nahes-Ende-Anschluß **12** zusammengesteckt ist, versuchen, den Beitrag des Nahes-Ende-Anschlusses **12** und des Fernes-Ende-Anschlusses **30** auszuschließen, um eine Übersprechmessung zu erhalten, die mit der Industriedefinition vollkommen übereinstimmt.

[0039] **Fig. 4** ist ein Diagramm, in dem ein LAN-Kabeltestinstrument und eine das LAN-Kabelsystem gemäß dem Stand der Technik testende ferne Einheit dargestellt sind. Das Instrument **10** (in **Fig. 1** dargestellt) ist über den Anschluß **12** über ein spezielles Verbindungskabel **15**, welches das Benutzer-Verbindungskabel **14** aus **Fig. 3** für die Übersprechmessung ersetzt, mit dem LAN-Kabelsystem **50** gekoppelt.

[0040] Das Instrument **10** ist mit dem Nahes-Ende-Anschluß **12** gekoppelt, der wiederum mit dem Verbindungskabel **15** gekoppelt ist. Um eine möglichst weitgehende Übereinstimmung mit der TIA-Definition eines LAN-Kabelsystems zu erzielen, müssen die Beiträge des Nahes-Ende-Anschlusses **12** zum Übersprechen minimiert werden. Weil die Messung analog erfolgt, wird der Übersprechbeitrag des Nahes-Ende-Anschlusses **12** durch die Verwendung eines speziellen Anschlusses in der Art von DB-15, der einen besseren Kapazitätsausgleich hat als der Industrienorm-RJ-45-Anschluß, mechanisch minimiert. Die Verwendung eines speziellen Anschlusses für den Nahes-Ende-Anschluß **12** erfordert das spezielle Verbindungskabel **15**, das für das Testinstrument **10** einzigartig ist. Das Verbindungskabel **15** ist mit dem LAN-Kabelanschluß **16** gekoppelt und wird als Teil des LAN-Kabelsystems **50** gemessen. Der Beitrag zur Übersprechmessung des Nahes-Ende-Anschlusses **12** kann unter dieser Anordnung nicht gesteuert werden, wenngleich er als niedrig angenommen wird. Weiterhin wird das Benutzer-Verbindungskabel **14**, das normalerweise mit der Arbeitsstation **52** verbunden ist, nicht getestet, weil es durch das Instrumenten-Verbindungskabel **15** ersetzt worden ist.

[0041] Übersprechmessungen werden durch Einfügen eines Testsignals in ein verdrilltes Paar des LAN-Kabelsystems **50** (in **Fig. 3** dargestellt) und Messen der relativen Signalpegels, der in einem anderen verdrillten Paar induziert wird, wie am nahen Ende durch das Instrument **10** gemessen wird, ausgeführt. Im Stand der Technik ist das Testsignal ein Analogsignal mit einem bekannten Pegel und wird das Testsignal durch einen analogen Empfänger innerhalb des Instruments **10** überwacht, der als ein Pegeldetektor wirkt. Beispielsweise kann eine 10-Megahertz-Übersprechmessung durch Einspeisen einer Sinuswelle mit einer Frequenz von 10 Megahertz in das verdrillte Paar 1–2 und Messen des induzierten Signalpegels in den verdrillten Paaren 3–6, 4–5 oder 7–8 vorgenommen werden. Das Verhältnis zwischen dem induzierten Signalpegel und dem eingespeisten Signalpegel kann in Dezibel (dB) ausgedrückt werden, um das Niveau der Übersprechisolation zwischen jeweiligen zwei verdrillten Paaren auszudrücken.

[0042] Weil sich eine Übersprechmessung typischerweise nicht glatt als Funktion der Frequenz ändert, muß die Übersprechmessung über zahlreiche Frequenzen ausgeführt werden und mit einer Spezifikationsgrenze verglichen werden. Es ist erwünscht, das Übersprechverhalten bei einer erheblichen Anzahl von Frequenzen innerhalb des interessierenden Bereichs zu prüfen, um eine fehlerhafte Übersprechmessung zu vermeiden, die zwischen anderen Meßfrequenzen liegen kann.

[0043] Das Ausführen von weiteren Übersprechmessungen bei einem zunehmend feinen Frequenzabstand geht auf Kosten der zunehmenden Gesamtmeßzeit, und die Frequenzauflösung wird daher durch die Wahrscheinlichkeit erkauft, daß eine fehlerhafte Übersprechmessung verpaßt wird. Im Stand der Technik wird die Gesamtmeßzeit durch Hinzufügen von Meßfrequenzen direkt erhöht, weil jede Messung bis zum Abschluß einen festen Zeitbetrag erfordert. Gemäß der vorliegenden Erfindung hat die Verwendung der schnellen Fourier-Transformation zum Erreichen einer Frequenzdarstellung einer digitalisierten Zeitaufzeichnung verglichen mit dem Stand der Technik zu erheblichen Gewinnen der Meßgeschwindigkeit für eine gegebene Frequenzauflösung geführt. Übersprechmessungen bei Frequenzinkrementen von 150 Kilohertz über einen Frequenzbereich von 1 bis 100 Megahertz werden im allgemeinen als angemessen angesehen, um den schlimmsten Fall bis zur Spezifikationsgrenzlinie auf der Grundlage empirischer Ergebnisse genau zu messen.

[0044] **Fig. 5** ist ein Diagramm, in dem ein LAN-Kabeltestinstrument und eine ferne Einheit dargestellt sind, welche das LAN-Kabelsystem einschließlich eines Benutzer-Verbindungskabels und eines speziellen Verbindungskabels aus dem Stand der Technik testen. Das Instrument **10** ist mit dem Anschluß **12** und dem Instrumenten-Verbindungskabel **15** verbunden, wie in **Fig. 4** dargestellt ist. Das Benutzer-Verbindungskabel **14** verbindet die Instrumentenverbindung **15** mit dem Anschluß **16**. Diese Situation würde auftreten, wenn der Netzwerkspezialist das gesamte LAN-Kabelsystem **50** einschließlich des Benutzer-Verbindungskabels **14** testen möchte. Der Nachteil dieser Technik besteht darin, daß der Anschluß **16** nun Teil dieses Testinstruments **10** ist und seine Übersprechbeiträge zu einer Fehlerquelle für die Gesamt-Übersprechmessung werden. Demgemäß wird die Übersprechmessung wegen der unerwünschten Aufnahme des Anschlusses **16** in die Übersprechantwort gegenüber ihrem tatsächlichen Niveau verschlechtert. Der Anschluß **16** ist notwendigerweise in den meisten Fällen ein RJ-45-Anschluß, um in geeigneter Weise mit dem entsprechenden Anschluß des LAN-Kabelsystems **50** zusammengesteckt werden zu können, und er trägt dadurch erheblich zum Betrag des Übersprechens bei.

[0045] **Fig. 6** ist ein Diagramm, in dem ein LAN-Kabelinstrument und eine ferne Einheit dargestellt sind, die das LAN-Kabelsystem gemäß der vorliegenden Erfindung testen. Das Instrument **10** (in **Fig. 1** dargestellt) ist mit dem Nahes-Ende-Anschluß **12** gekoppelt, der wiederum, ähnlich dem Diagramm aus **Fig. 4**, mit dem Verbindungskabel **14** gekoppelt ist, wobei der Unterschied jedoch darin besteht, daß das Instrument **10** gemäß der vorliegenden Erfindung mit dem Nahes-Ende-Anschluß **12** in Form eines Industrienorm-RJ-45-Anschlusses verbunden werden kann.

[0046] Das LAN-Kabelsystem einschließlich des gleichen Verbindungskabels **14**, das die Arbeitsstation **52** (in **Fig. 3** dargestellt) mit dem LAN-Kabelanschluß **16** koppelt, kann einfach durch Entfernen des Nahes-Ende-Anschlusses **12** von der Arbeitsstation **52** und des Koppeln von diesem mit dem Instrument **10** getestet werden, ohne daß ein spezielles Verbindungskabel ersetzt werden müßte. Auf diese Weise stimmt die Übersprechmessung des LAN-Kabelsystems **50** durch das Instrument **10** besser mit dem Übersprechniveau überein, das im Normalbetrieb tatsächlich von der Arbeitsstation **52** vorgefunden wird. Die ferne Einheit **32** ist mit dem Fernes-Ende-Anschluß gekoppelt und bietet den geeigneten Anschluß für das LAN-Kabelsystem, wie in **Fig. 4** dargestellt ist.

[0047] Unter Verwendung einer Reihe schmaler Impulse als das Testsignal mißt das Instrument **10** gemäß der vorliegenden Erfindung elektronisch das Übersprechen des Nahes-Ende-Anschlusses **12** und entfernt seinen Übersprechbeitrag mathematisch aus der Übersprechmessung des LAN-Kabelsystems **50**. Das Instrument **10** hängt auf diese Weise nicht von dem relativen Übersprechverhalten eines bestimmten Nahes-Ende-Anschlusses **12** ab. Das Benutzer-Verbindungskabel **14** kann verwendet werden, falls seine Länge wenigstens 2 Meter beträgt, so daß die Übersprecheffekte des Anschlusses **12** gemessen und entfernt werden können. Die Messung erfolgt auch nach der TIA-“Kanaldefinition”, die die Benutzerverbindung **14** spezifisch einschließt, jedoch den Anschluß **12** ausschließt. Das Verfahren zum Messen und mathematischen Entfernen des

Übersprechbeitrags des Nahes-Ende-Anschlusses **12** wird nachstehend vollständiger erklärt.

[0048] **Fig. 7** ist ein vereinfachtes Blockdiagramms des Testinstruments **10** (in **Fig. 1** dargestellt) gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Nahes-Ende-Anschluß **12** ist mit den im LAN-Kabelsystem **52** enthaltenen Drahtpaaren **42a-d** (in **Fig. 2** dargestellt) gekoppelt. Die Drahtpaare **42a-d** sind weiterhin mit einer Schaltmatrix **70** gekoppelt, die eines der Drahtpaare **42a-d** selektiv mit einem Ausgang eines Impulsgenerators **72** koppelt und ein anderes der Drahtpaare **42a-d** selektiv mit einem Eingang einer Sample-and-Hold-Schaltung (S/H) **74** koppelt, welche beim Empfang eines Signals an einem Steuereingang den am Eingang vorhandenen Spannungspegel erfaßt. Jedes Drahtpaar ist im wesentlichen eine abgeglichene Übertragungsleitung. Der Ausgang des Impulsgenerators **72** und der Eingang der S/H **74** sind gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung nicht abgeglichen oder auf Masse bezogen, weshalb das Hinzufügen von Transformatoren (nicht dargestellt) für jedes Drahtpaar erforderlich ist, um von einer abgeglichenen zu einer nicht abgeglichenen Übertragungsleitung zu wechseln. Die Drahtpaare **42a-d** sind als Einzelleitungen gezeichnet, weil jedes Paar eine einzelne Übertragungsleitung bildet. Der Impulsgenerator **72** sendet bei Empfang eines Signals an einem Steuereingang einen Impuls. Ein Ausgang der Sample-and-Hold-Schaltung ist mit einem Eingang eines Analog-Digital-Wandlers (ADC) **76** gekoppelt, der den beim Empfang eines Signals an einem Steuereingang von der S/H **74** empfangenen Spannungspegel digitalisiert. Ein Ausgang des ADC **76** ist mit einem Erfassungsspeicher **78** gekoppelt, der bei Empfang eines Signals an einem Steuereingang die digitalen Messungen als eine digitale Zeitaufzeichnung speichert. Eine Erfassungszeit-Steuereinrichtung **80** ist mit dem Steuereingang der S/H **74**, dem ADC **76** und dem Impulsgenerator **72** gekoppelt, um einen wiederholten digitalen Abtastprozeß zu ermöglichen, der eine hohe äquivalente Abtastrate mit einem Minimum an Zeitfehlern durch die koordinierte Erzeugung der Steuersignale zu den richtigen Zeiten an den jeweiligen Steuereingängen der S/H **74**, des ADC **76** und des Impulsgenerators **72** erreicht. Die S/H **74**, der ADC **76**, die Erfassungszeit-Steuereinrichtung **80** und der Erfassungsspeicher **78** bilden zusammen einen Digitalisierer **79**, der die empfangenen Impulsantworten unter Verwendung einer wiederholten sequentiellen Abtastung digitalisiert, um eine höhere äquivalente Abtastrate zu erhalten, als sie mit Echtzeit-Abtasttechniken leicht erhalten werden kann.

[0049] Gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beträgt die äquivalente Abtastrate des Digitalisierers **79** 500 Mega-Abtastwerte je Sekunde, oder die zeitliche Auflösung beträgt umgekehrt 2 Nanosekunden je Punkt. Beim Meßprozeß wird dann eine Zeitaufzeichnung von 4096 Punkten Abtastwert für Abtastwert mit einer Auflösung von 2 Nanosekunden im Erfassungsspeicher **78** mit einer tatsächlichen Abtastrate von etwa 4 Megahertz zusammengestellt. Eine diskrete Fourier-Transformation mit 4096 Punkten wird dann berechnet, um die Frequenzdomänendarstellung der Zeitaufzeichnung zu erhalten.

[0050] Ein Mikroprozessor **82** steuert den gesamten Meßprozeß und ist mit einem Steuereingang der Schaltmatrix **70**, um die jeweiligen Drahtpaare zum Messen auszuwählen, und einem Steuereingang der Erfassungszeit-Steuereinrichtung **80** zur Steuerung des Erfassungsprozesses gekoppelt. Der Mikroprozessor **82** ist weiterhin mit einer Anzeige **86**, einem Tastenfeld bzw. Knopf **88**, einem Instrumentenspeicher **90** und einem digitalen Signalprozessor (DSP) **92** über einen Instrumentenbus **84** gekoppelt. Der Instrumentenbus **84** enthält parallele Daten- und Adressenleitungen, um die Kommunikation zwischen den Vorrichtungen in einer auf dem Gebiet der Elektronik wohlbekannten Weise zu ermöglichen. Eine im Erfassungsspeicher **78** aufgenommene Zeitaufzeichnung wird zum Instrumentenspeicher **90** übertragen, um sie zu speichern oder daran eine weitere digitale Manipulation in der Art einer diskreten Fourier-Transformation auszuführen. Der DSP **92**, eine Signalverarbeitungsschaltung für einen speziellen Zweck, kann an Stelle des Mikroprozessors **82** verwendet werden, um eine Zeitaufzeichnung unter Verwendung einer diskreten Fourier-Transformationsfunktion in eine Frequenzdomänendarstellung umzuwandeln. Der DSP **92** ist ein im Handel erhältlicher integrierter Signalprozessor-Schaltkreis, der schnelle Fourier-Transformationen typischerweise schneller ausführt als ein Vielzweck-Mikroprozessor bei entsprechenden Taktgeschwindigkeiten. Das Tastenfeld bzw. der Knopf **88** und die Anzeige **86** bilden die Benutzerschnittstelle des Instruments **10**. Der Speicher **90** wird zum Speichern digitaler Zeitaufzeichnungen, von Frequenzdomänendarstellungen und von Instrumentenkalibrierungsdaten verwendet und kann aus einer einzigen integrierten Schaltung oder aus mehreren integrierten Schaltungen bestehen, wobei auf dem Gebiet der Elektronik wohlbekannte Technologien verwendet werden.

[0051] **Fig. 8**, die aus den **Fig. 8A**, **8B** und **8C** besteht, ist ein Flußdiagramm eines vom LAN-Kabeltestinstrument gemäß der vorliegenden Erfindung verwendeten Gesamt-Meßprozesses. **Fig. 8A** betrifft den Prozeß des Messens von 5-, 16- und 64-Nanosekunden-Kalibrationsimpulsantworten durch Verbinden der Empfangs- und der Sendekanäle mit einer im wesentlichen verlustfreien 0-Decibel-Referenzverbindung, um nachfolgende Messungen in Bezug auf diese direkte Messung zu normieren. **Fig. 8B** betrifft den Prozeß des Messens der Impulsantwort des LAN-Kabelsystems **50** (in **Fig. 3** dargestellt) unter Verwendung von 5-Nanosekunden-, 16-Nanosekunden- und 64-Nanosekunden-Impulsbreiten, des Entfernens der Übersprechwirkungen des Nahes-Ende-Anschlusses **12** und des Berechnens der Frequenzdomänen-Übersprechfunktion für jede Impulsantwort. **Fig. 8C** betrifft den Prozeß des Zusammenstellens der zusammengesetzten Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems **50** anhand der drei Übersprechfunktionen, des Vergleichens der zusammengesetzten Antwort mit einer Spezifikationsgrenze und des Bereitstellens von Meßergebnissen für den Benutzer.

[0052] Um zu einer zusammengesetzten Übersprechantwort zu gelangen, sind ein erhebliches Maß an Datenspeicher und erhebliche mathematische Manipulationen erforderlich. Gemäß der vorliegenden Erfindung werden zwei Primärtypen von Datenaufzeichnungen verwendet, nämlich Zeitdomänenaufzeichnungen und Frequenzdomänenaufzeichnungen. Frequenzdomänenaufzeichnungen stehen über die Fourier-Transformati-on in Verbindung mit ihren äquivalenten Zeitdomänenaufzeichnungen, und die Daten liegen in Form komplexer Zahlen mit realen und imaginären Komponenten vor. Zeitdomänenaufzeichnungen enthalten nur reale Daten ohne imaginäre Komponenten. Nach Konvention werden Zeitdomänenaufzeichnungen Namen in Kleinbuch-staben zugewiesen und werden den äquivalenten Frequenzdomänenaufzeichnungen die gleichen Namen, je-doch in Großbuchstaben zugewiesen.

[0053] In der folgenden Tabelle sind alle Variablen zusammengefaßt, die für den in den **Fig. 8A-C** erklärten Meßprozeß relevant sind.

norm64 – die Zeitaufzeichnung der 64-Nanosekunden-Impulsantwort, wenn die Sende- und Empfangskanäle miteinander verbunden sind, wobei sich "norm" auf Normierungsdaten bezieht.

[0054] Jede der Variablen stellt eine Reihe von als eine Felddatenstruktur gespeicherten Daten dar, wobei individuelle Datenpunkte durch die Verwendung von Indizes in einer auf dem Computergebiet wohlbekannten Weise normal zugänglich sind.

NORM64 – die Frequenzdomänendarstellung von norm64, welche den 0-dB-Referenzpegel zum Normieren von Übersprechmessungen unter Verwendung von 64-Nanosekunden-Impulsen darstellt, wobei sich "NORM" auf Normierungsdaten bezieht.

norm16 – die Zeitaufzeichnung der 16-Nanosekunden-Impulsantwort, wenn die Sende- und Empfangskanäle miteinander verbunden sind, wobei sich "norm" auf Normierungsdaten bezieht.

NORM16 – die Frequenzdomänendarstellung von norm16, welche den 0-dB-Referenzpegel zum Normieren von Übersprechmessungen unter Verwendung von 16-Nanosekunden-Impulsen darstellt, wobei sich "NORM" auf Normierungsdaten bezieht.

norm5 – die Zeitaufzeichnung der 5-Nanosekunden-Impulsantwort, wenn die Sende- und Empfangskanäle mit-einander verbunden sind, wobei sich "norm" auf Normierungsdaten bezieht.

NORM5 – die Frequenzdomänendarstellung von norm5, welche den 0-dB-Referenzpegel zum Normieren von Übersprechmessungen unter Verwendung von 5-Nanosekunden-Impulsen darstellt, wobei sich "NORM" auf Normierungsdaten bezieht.

cut5 – die Zeitaufzeichnung der 5-Nanosekunden-Impulsantwort des LAN-Kabelsystems, wobei der Sendekanal mit einer Übertragungsleitung gekoppelt ist und der Empfangskanal mit einer anderen Übertragungsleitung gekoppelt ist, wobei sich "cut" auf das getestete Kabel bezieht.

CUT5 – die Frequenzdomänendarstellung von cut5, wobei sich "CUT" auf das getestete Kabel bezieht.

cut16 – die Zeitaufzeichnung der 16-Nanosekunden-Impulsantwort des LAN-Kabelsystems, wobei der Sendekanal mit einer Übertragungsleitung gekoppelt ist und der Empfangskanal mit einer anderen Übertragungslei-tung gekoppelt ist, wobei sich "cut" auf das getestete Kabel bezieht.

CUT16 – die Frequenzdomänendarstellung von cut16, wobei sich "CUT" auf das getestete Kabel bezieht.

cut64 – die Zeitaufzeichnung der 64-Nanosekunden-Impulsantwort des LAN-Kabelsystems, wobei der Sendekanal mit einer Übertragungsleitung gekoppelt ist und der Empfangskanal mit einer anderen Übertragungslei-tung gekoppelt ist, wobei sich "cut" auf das getestete Kabel bezieht.

CUT64 – die Frequenzdomänendarstellung von cut64, wobei sich "CUT" auf das getestete Kabel bezieht.

necc – die Zeitaufzeichnung der anhand Daten, die in cut5 enthalten sind, aufgebauten Nahes-Ende-An-schluß-Impulsantwort, wobei sich "necc" auf Übersprechen im Nahes-Ende-Anschluß bezieht.

NECC – die Frequenzdomänendarstellung von necc, wobei sich "NECC" auf Übersprechen im Nahes-Ende-Anschluß bezieht.

NEXT5 – die Frequenzdomänendarstellung der Nahes-Ende-Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems unter Verwendung der 5-Nanosekunden-Impulsantwort des LAN-Kabelsystems, welche durch Teilen von CUT5 durch NORMS (Normierung) und Subtrahieren von NECC (Nahes-Ende-Kompensation) berechnet wird.

NEXT16 – die Frequenzdomänendarstellung der Nahes-Ende-Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems unter Verwendung der 16-Nanosekunden-Impulsantwort des LAN-Kabelsystems, welche durch Teilen von CUT16 durch NORM16 (Normierung) und Subtrahieren von NECC (Nahes-Ende-Kompensation) berechnet wird.

NEXT64 – die Frequenzdomänendarstellung der Nahes-Ende-Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems unter Verwendung der 64-Nanosekunden-Impulsantwort des LAN-Kabelsystems, welche durch Teilen von CUT64 durch NORM64 (Normierung) und Subtrahieren von NECC (Nahes-Ende-Kompensation) berechnet wird.

COMP_NEXT – die Frequenzdomänendarstellung der Nahes-Ende-Übersprechantwort des LAN-Kabelsys-tems unter Verwendung ausgewählter Abschnitte von NEXT5, NEXT16 und NEXT64, die miteinander verkettet sind.

[0055] Mit Bezug auf **Fig. 8A** sei bemerkt, daß der Meßprozeß mit einem mit ANFANG bezeichneten Prozeß

100 beginnt, in dem das Testinstrument **10** (in **Fig. 1** dargestellt) zunächst hochgefahren und initialisiert werden kann. Der mit EINSPEISEN EINES 0-dB-KALIBRIERUNGSSARTEFAKTS bezeichnete Prozeß **102** ist ein Instrumentenkalibrierungsprozeß, bei dem vom Impulsgenerator **72** erzeugte 5, 16 und 64 Nanosekunden breite Impulse über die Übertragungsleitung (in **Fig. 7** dargestellt) mittels einer kurzen Verbindung **104** in die Empfangsleitung und die S/H **74** gekoppelt werden. Der Anschluß **12** hat eine im wesentlichen verlustfreie 0-Decibel-Referenzverbindung, welche zwischen einer ausgewählten Kombination von Drahtpaaren, die so gewählt sind, daß sie der Einstellung der Schaltmatrix **70** entsprechen, einen elektrischen Kurzschluß **104** aufweist. Der Anschluß **12** ist wiederum zu Kalibrierzwecken mit dem Instrument **10** gekoppelt.

[0056] Der mit MESSEN VON IMPULSANTWORTAUFPUNKTEN – 5-NS-, 16-NS- UND 64-NS-IMPULSBREITEN bezeichnete Prozeß **106** ist eine Messung der vom Impulsgenerator **72** (in **Fig. 7** dargestellt) erzeugten Impulse, so daß die folgenden Impulsantwortmessungen in Bezug auf diese direkte Messung normiert werden können. Die Impulsantwort wird durch das Testinstrument **10** gemessen, und Zeitaufzeichnungen, die die 4096 Punkte aufweisenden, mit norm5, norm16 und norm64 bezeichneten gemessenen Impulsantwortaufzeichnungen enthalten, werden erzeugt und im Speicher **90** gespeichert. Die Namen norm5, norm16 und norm64 sind eine symbolische Darstellung der als Zeitaufzeichnung gespeicherten Amplitudendaten, die üblicherweise in Form einer Felddatenstruktur gespeichert werden, wobei einzelne Datenpunkte innerhalb des Felds über einen Index zugänglich sind.

[0057] In dem mit BERECHNEN VON 0-dB-NORMIERUNGSDATEN bezeichneten Prozeß **108** werden Frequenzdarstellungen von norm5, norm16 und norm64 unter Verwendung einer schnellen Fourier-Transformation in einer auf dem Gebiet der Elektronik wohlbekannten Weise unter Verwendung des DSP **92** (in **Fig. 6** dargestellt) berechnet. Gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die gewählte Länge von norm5, norm16 und norm64 4096 Punkte, wobei es sich um eine Potenz von 2 handelt, um eine schnelle Fourier-Transformation (FFT), eine wirksame Implementation des vom DSP **92** verwendeten diskreten Fourier-Transformationsalgorithmus, zu erleichtern.

NORMS = FFT (norm5)

NORM16 = FFT (norm16)

NORM64 = FFT (norm64)

[0058] NORM5, NORM16 und NORM64, in Großbuchstaben, sind die Frequenzdomänendarstellungen der Zeitaufzeichnungen norm5, norm16 und norm64, welche die Normierungsdaten bilden, die die Kalibrierungsdaten des Instruments **10** darstellen. Die in NORM5, NORM16 und NORM64 enthaltenen Daten sind komplexe Werte als Funktion der Frequenz. Ein Satz von Normierungsdaten NORM5, NORM16 und NORM64 wird gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung für jede Kombination verdrillter Paare erfaßt und im Speicher **90** gespeichert.

[0059] In dem mit SPEICHERN VON 0-dB-NORMIERUNGSDATEN IM SPEICHER bezeichneten Prozeß **110** werden die Normierungsdaten im Speicher **90** gespeichert (in **Fig. 7** dargestellt). Der DSP **92** erzeugt komplexe Zahlen, die reale und imaginäre Komponenten aufweisen, enthaltene Datendateien, die als Felddatenstrukturen NORM5, NORM16 und NORM64 im Speicher **90** gespeichert werden. Die Prozesse **102**, **106** und **108** zum Erhalten von Normierungsdaten werden typischerweise als eine Kalibrierung des Instruments **10** durch die Herstellerfirma ausgeführt, und die NORM5-, NORM16- und NORM64-Daten werden bis zur nächsten Instrumentkalibrierung auf einer halbpermanenten Basis im Speicher **90** gespeichert. Ein typischer Zeitraum zwischen Kalibrierungen durch die Herstellerfirma beträgt gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung **12** Monate.

[0060] Mit Bezug auf **Fig. 8B** sei erwähnt, daß der Meßprozeß mit einem als MESSEN DES GETESTETEN LAN-KABELSYSTEMS – 5 NS, 16 NS, 64 NS bezeichneten Prozeß **112** fortgesetzt wird. Die gleichen ausgewählten Drahtpaare **40a** und **40d**, die den in den Prozessen **108** und **110** (in **Fig. 8A** dargestellt) für die 0-dB-Kalibrierungsmessung gewählten Drahtpaaren entsprechen, werden für die Messung im Prozeß **112** gewählt. Im Prozeß **112** wird das LAN-Kabelsystem **50** durch wiederholtes Eingeben eines Stroms von Impulsen mit einer ausgewählten Impulsbreite in das Drahtpaar **40a** gemessen. Die Antwort jedes Impulses in einem ausgewählten Zeitintervall wird dann gemessen und an der geeigneten Stelle in der Zeitaufzeichnung im Erfassungsspeicher **78** (in **Fig. 6** dargestellt) gespeichert. Vollständige Impulsantwortzeitaufzeichnungen des LAN-Kabelsystems **50** bei Impulsbreiten von 5, 16 und 64 Nanosekunden werden dann im Speicher **90** als cut5, cut16 und cut64 als Felddatenstrukturen gespeichert.

[0061] In dem mit EINRICHTEN EINER ZEITAUFZEICHNUNG DES NAHES-ENDE-ANSCHLUSSES bezeichneten Prozeß **114** wird die Übersprechantwort des Anschlusses **12** anhand der in cut5 enthaltenen Impulsantwortdaten eingerichtet, um eine Unerwünschte-Antwortzeit-Aufzeichnung zu bilden. Es wurden die 5-Nanosekunden-Impulsantwortdaten gewählt, weil sie die höchste Auflösung ermöglichen, die zum Trennen der Impulsantwort des Anschlusses **12** von der Impulsantwort des benachbarten Anschlusses **16** (in **Fig. 1** dargestellt) erforderlich ist. Die Übersprechantwort des Anschlusses **12** kann leicht den Daten entnommen werden, die in cut5 enthalten sind, weil ihre Stelle entlang dem Paar der durch die Drahtpaare **40a** und **40d** darstellten Übertragungsleitungen bekannt ist und konstant bleibt. Diese Stelle wird unter Verwendung des In-

dex des in cut5 gespeicherten Datenfelds und der in ein mit conn bezeichnetes anderes Datenfeld kopierten Daten ausgewählt. Weil zwischen den Impulsantworten der Anschlüsse **12** und **16** eine gewisse Überlappung auftritt, wird der überlappende Abschnitt ignoriert, woraus sich eine abgerundete Schätzung der unerwünschten Impulsantwort des Anschlusses **12** ergibt. Auf diese Weise wird die Unerwünschte-Antwortzeit-Aufzeichnung conn so eingerichtet, daß sie nur die Impulsantwort des Anschlusses **12** enthält. Dieser Prozeß des Einrichtens der Impulsantwortaufzeichnung des Anschlusses **12** wird nachstehend vollständiger erklärt.

[0062] In dem mit BERECHNEN DER FREQUENZDARSTELLUNG VON ZEITAUFZEICHNUNGEN bezeichneten Prozeß **116** wird die Frequenzdomäendarstellung der Zeitaufzeichnungen conn, cut5, cut16 und cut64, die wie vorstehend erklärt erhalten wurden, unter Verwendung des DSP **92** (in **Fig. 7** dargestellt) berechnet. Die Längen von conn, cut5, cut16 und cut64 sind alle 4096 Punkte, wobei es sich um eine Potenz von 2 handelt, um die Schnelle-Fourier-Berechnung zu erleichtern.

CONN = FFT (conn)

CUT5 = FFT (cut5)

CUT16 = FFT (cut16)

CUT64 = FFT (cut64)

[0063] Die Ergebnisse jeder Berechnung werden im Speicher **90** als CNN, CUT5, CUT16 bzw. CUT64 gespeichert. Die Frequenzauflösung der Punkte in den Datendateien CONN, CUT5, CUT16 und CUT64 wird unter Verwendung der folgenden Formel abgeleitet:

Frequenzauflösung (Hertz) = (effektive Abtastrate/Länge der Zeitaufzeichnung) = 500 Megahertz/4096 Punkte = 122,07 Kilohertz je Punkt

[0064] In dem mit BERECHNEN DER NEXT-SCHÄTZUNG DES NAHES-ENDE-ANSCHLUSSES bezeichneten Prozeß **118** wird die durch NECC dargestellte normierte Übersprechantwort berechnet. NECC = CONN/NORM5

[0065] NORM5 sind die Normierungsdaten für den in den Prozessen **102** und **106** erhaltenen 5-Nanosekunden-Impuls. CONN ist die Frequenzdarstellung der Übersprechantwort des Anschlusses **12**, die anhand der in cut5 enthaltenen 5-Nanosekunden-Impulsantwortdaten erhalten wurde. Durch Normieren der Antwort CONN durch die Stimulation NORM5 wird die tatsächliche Übersprechfunktion NECC des Anschlusses **12** abgeleitet.

[0066] In dem mit BERECHNEN DES KOMPENSIERTEN NEXT-WERTS DES NAHES-ENDE-ANSCHLUSSES – 5 NS, 16 NS, 64 NS bezeichneten Prozeß **120** wird die Übersprechfunktion des LAN-Kabelsystems **50** (in **Fig. 3** dargestellt) für jede der Impulsbreiten, einschließlich 5, 16 und 64 Nanosekunden, berechnet, wobei die Übersprecheffekte des Anschlusses **12** entfernt wurden. Weil das Übersprechen im allgemeinen als ein Verhältnis des Ansprechens gegenüber einer Stimulation verstanden wird, ist es geeignet, den Betrag des Verhältnisses zu erhalten und ihn in Dezibel (dB) auszudrücken.

$$\begin{aligned} \text{NEXT5} &= 20 \log \left| \frac{\text{CUT5}}{\text{NORM5}} - \text{NECC} \right| \\ \text{NEXT16} &= 20 \log \left| \frac{\text{CUT16}}{\text{NORM16}} - \text{NECC} \right| \\ \text{NEXT64} &= 20 \log \left| \frac{\text{CUT64}}{\text{NORM64}} - \text{NECC} \right| \end{aligned}$$

[0067] Mit Bezug auf **Fig. 8C** sei bemerkt, daß in einem mit ERZEUGEN DER ZUSAMMENGESETZTEN NEXT-ANTWORT bezeichneten Prozeß **124** eine zusammengesetzte Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems **50** (in **Fig. 3** dargestellt) anhand der Abschnitte von NEXT5, NEXT16 und NEXT64 zusammengestellt wird. Drei Impulsbreiten wurden verwendet, um die Signalenergie bei verschiedenen Frequenzbereichen in ei-

ner nachstehend vollständiger beschriebenen Weise zu maximieren. Die zusammengesetzte Übersprechantwort, nämlich COMP NEXT, wird unter Verwendung von NEXT64 von 0,1 bis 10 Megahertz, von NEXT16 von 10 bis 40 Megahertz und von NEXT5(m) von 40 Megahertz bis 150 Megahertz erzeugt. Auf diese Weise behält COMP NEXT über alle interessierenden Frequenzen von 0,1 bis 100 Megahertz ein optimales Signal-Rausch-Verhältnis.

[0068] In dem mit VERGLEICHEN DER ZUSAMMENGESETZTEN NEXT-ANTWORT MIT DER SPEZIFIKATIONSGRENZE bezeichneten Prozeß 126 wird COMP_NEXT mit einer von der Telecommunications Industry Association gelieferten Spezifikationsgrenzlinie als die angenommene Annehmbarkeit-Nicht-Annehmbarkeit-Grenze verglichen. Eine Annehmbarkeit-Nicht-Annehmbarkeit-Entscheidung wird dann ansprechend auf die Vergleichsergebnisse vorgenommen. Falls irgendwelche der Punkte innerhalb von COMP_NEXT oberhalb der entsprechenden Spezifikationsgrenze liegt, wird das getestete LAN-Kabelsystem 50 als "nicht annehmbar" angesehen. Ansonsten besteht das LAN-Kabelsystem 50 den Übersprechtest.

[0069] In dem mit MITTEILEN DER ANNEHMBAR/NICHT-ANNEHMBAR-INFORMATIONEN AN DEN BENUTZER bezeichneten Prozeß 128 werden die Ergebnisse der Annehmbar/Nicht-Annehmbar-Entscheidung des Prozesses 126 dem Benutzer über die Anzeige 86 (in Fig. 7 dargestellt) des Instruments 10 mitgeteilt. Eine Graphikanzeige der Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems 50, wobei die in COMP_NEXT enthaltenen Daten verwendet werden, kann auch ebenso wie eine einfache Annehmbarkeits- oder Nicht-Annehmbarkeits-Angabe dargestellt werden.

[0070] In dem mit ENDE bezeichneten Prozeß 130 endet der Meßprozeß. Der Meßprozeß kann unter der Instrumentensteuerung automatisch zum Anfangsprozeß 100 (in Fig. 8A dargestellt) oder zu einem Zwischenmeßprozeß zurückkehren, um die Messung kontinuierlich zu wiederholen.

[0071] In Fig. 9 ist eine Graphik dargestellt, die eine als Zeitaufzeichnung im Speicher 90 (in Fig. 7 dargestellt) im Testinstrument 10 gespeicherte 5-Nanosekunden-Impulsantwort eines typischen LAN-Kabelsystems 50 (in Fig. 3 dargestellt) zeigt. Diese Graphik zeigt den typischen Inhalt der Datendateien cut5, cutl6 und cut64, die wie vorstehend beschrieben erhalten werden können.

[0072] In Fig. 9 zeigt die untere Spur den Inhalt von cut5, der durch Messen des LAN-Kabelsystems 50 erhalten wurde, welches ein 2 Meter langes Verbindungskabel, ein 67 Meter langes Kabel, ein erstes ein Meter langes Verbindungskabel, ein 33 Meter langes Kabel, ein zweites ein Meter langes Verbindungskabel, ein 17 Meter langes Kabel, gefolgt von einem dritten ein Meter langen Verbindungskabel und einem von der fernen Einheit 32 (in Fig. 1 dargestellt) bereitgestellten Abschluß (nicht dargestellt) aufweist. Es sei bemerkt, daß die Graphik aus Klarheitsgründen so gezeichnet wurde, daß sie nur den Absolutbetrag der Impulsantwortdaten mit einem Gewichtungsfaktor, der die Amplitude der Impulsantwort mit zunehmendem Abstand vergrößert, um Verluste in dem Kabel zu kompensieren, zeigt. Die Spitzen der Graphik entsprechen den LAN-Kabelanschlüssen im LAN-Kabelsystem 50, welche die beschriebenen verschiedenen Verbindungsstücke koppeln. Eine Spalte 140, entspricht dem Nahes-Ende-Anschluß 12. Eine Spalte 142 entspricht dem LAN-Kabelanschluß 16 (in Fig. 3 dargestellt) am anderen Ende des Verbindungskabels 14. Spitzen 144 und 146 entsprechen LAN-Kabelanschlüssen an beiden Enden des 1 Meter langen Verbindungskabels. Spitzen 148 und 150 entsprechen LAN-Kabelanschlüssen an beiden Enden des zweiten 1 Meter langen Verbindungskabels. Spitzen 152 und 154 entsprechen LAN-Kabelanschlüssen an beiden Enden des dritten 1 Meter langen Verbindungskabels.

[0073] Die Spalte 140, die dem Übersprechen des Nahes-Ende-Anschlusses 12 entspricht, ist erheblich höher als die anderen Spitzen in diesem Fall. Wie vorstehend erklärt wurde, weist die Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems 50 die Antwort des Nahes-Ende-Anschlusses 12 nach der TIA-Spezifikation nicht auf, und die vorliegende Erfindung sieht ihre Entfernung vor. Falls nur die Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems 50 unter Verwendung 5 Nanosekunden breiter Impulse erwünscht wäre, wäre es einfach, den Abschnitt der cut5-Antwort, der sich auf die Spalte 140 in der Zeitaufzeichnung bezieht, "herauszuheben" und dadurch eine gültige Übersprechantwort gemäß der Industriedefinition zu erhalten. 16-Nanosekunden- und 64-Nanosekunden-breite-Impulsmessungen werden jedoch auch für verbesserte Signal-Rausch-Verhältnisse bei gewünschten Frequenzbereichen verwendet, wofür eine Normierung und eine Subtraktion in der Frequenzdomäne erforderlich sind, wie es im Prozeß 120 (in Fig. 8B dargestellt) erfolgt.

[0074] In Fig. 10 ist eine Graphik dargestellt, die die zusammengesetzte Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems 50 verglichen mit einer vorbestimmten NEXT-Annehmbarkeit-Nicht-Annehmbarkeit-Grenzlinie zeigt. Die vertikale Skala ist der NEXT-Verlust in Dezibel, und die horizontale Skala ist die Frequenz in Megahertz. Ein negativerer NEXT-Verlust ist wünschenswerter. Um das Beispiel aus Fig. 9 fortzusetzen, sei bemerkt, daß ein als Beispiel dienendes LAN-Kabelsystem 50 aus einem 2 Meter langen Verbindungskabel, einem 67 Meter langen Kabel, einem ersten einen Meter langen Verbindungskabel, einem 33 Meter langen Kabel, einem zweiten einen Meter langen Verbindungskabel, einem 17 Meter langen Kabel, gefolgt von einem dritten einen Meter langen Verbindungskabel und einem von der fernen Einheit 32 (in Fig. 1 dargestellt) bereitgestellten Abschluß besteht. Die in Fig. 10 dargestellte Übersprechantwort ist eine Zusammensetzung von NEXT64 von 0,1 bis 10 Megahertz, von NEXT16 von 10 bis 40 Megahertz und von NEXT5 von 40 Megahertz bis 155 Megahertz, wie sie in dem Prozeß 124 (in Fig. 8C dargestellt) auftritt.

[0075] Eine Spur **160** entspricht der Annehmbarkeit-Nicht-Annehmbarkeit-Grenzlinie. Eine Spur **162** entspricht der berechneten zusammengesetzten Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems **50**. Wie dargestellt, liegt jeder Punkt der Spur **162** unterhalb der Spur **160**. Das Testinstrument **10** würde demgemäß entsprechend dieser Übersprechantwort im Prozeß **126** in Fig. 8C eine "Annehmbarkeitsentscheidung" zurückgeben.

[0076] In Fig. 11 ist eine Graphik dargestellt, die die tatsächliche Impulsantwort eines typischen Nahes-Ende-LAN-Kabelanschlusses **12** unter Verwendung von Punkten von einem vorbestimmten Abschnitt der Zeitaufzeichnung und von einer abgerundeten Schätzung der tatsächlichen Impulsantwort, die in der Zeitaufzeichnung conn gespeichert ist, zeigt. Die vertikale Achse stellt die Amplitude dar, während die horizontale Achse Speicherstellen in conn darstellt. Die Impulsantwort des Nahes-Ende-Anschlusses **12** wird zusammen mit dem getesteten LAN-Kabelsystem **50** im Prozeß **112** gemessen, und die Ergebnisse werden in der Datendatei cut5 gespeichert. Das Trennen der Impulsantwort eines Nahes-Ende-Anschlusses **12** von derjenigen des LAN-Kabelanschlusses **16** am anderen Ende des Verbindungskabels ist kritisch. Falls die zwei Impulsantworten nicht getrennt werden können, kann die Impulsantwort des Nahes-Ende-Anschlusses **12** nicht genau gemessen werden und dann mathematisch von den nachfolgenden Impulsantwortmessungen subtrahiert werden. Die Spur **170** im oberen Abschnitt der Graphik zeigt die tatsächliche Impulsantwort des Nahes-Ende-Anschlusses **12** (in Fig. 1 dargestellt) mit 100-Ohm-Abschlußwiderständen, die das LAN-Kabelsystem (in Fig. 3 dargestellt) ersetzen. Der oberen Spur ist die Impulsantwort eines LAN-Kabelanschlusses **16** überlagert, welche abtrennbar sein muß, um eine genaue Übersprechantwortmessung des Nahes-Ende-Anschlusses **12** zu erhalten.

[0077] Es ist zum Gewährleisten dieser Trennung erforderlich, daß drei kritische Parameter berücksichtigt werden und ein Kompromiß zwischen ihnen gebildet wird. Diese Parameter umfassen (a) die minimale Länge des Verbindungskabels **14** (in Fig. 1 dargestellt), (b) die Impulsbreite des Testsignals und (c) die Länge der abgerundeten Schätzung der tatsächlichen Impulsantwort des Nahes-Ende-Anschlusses **12**.

[0078] Die Länge des Verbindungskabels ist der erste kritische Parameter, dem Rechnung getragen werden muß. Ein kürzeres Verbindungskabel verringert die Trennung zwischen den zwei Impulsantworten. Ein Entwurfsziel für das Testinstrument **10** bestand darin, daß ein Verbindungskabel **14** vorhanden ist, das keine zu große minimale Länge benötigt. Gemäß der vorliegenden Erfindung muß das Testinstrument **10** ein Verbindungskabel mit einer minimalen Länge von 2 Metern aufweisen, um zu gewährleisten, daß die Impulsantworten der Anschlüsse **12** und **16** tatsächlich trennbar sind.

[0079] Die 5-Nanosekunden-Impulsbreite, die geringste Impulsbreite, die gemäß der vorliegenden Erfindung verfügbar ist, wurde gewählt, um die Impulsantwort des Nahes-Ende-Anschlusses **12** zu messen, weil sie die höchste Auflösung der drei verfügbaren Impulsbreiten beim Unterscheiden individueller Impulsantworten in einer Zeitaufzeichnung bereitstellt. Ein schmälerer Impuls erzeugt eine schmalere Impulsantwort, die leichter trennbar ist.

[0080] Die Länge der abgerundeten Schätzung der tatsächlichen Impulsantwort des Nahes-Ende-Anschlusses **12** wurde so gewählt, daß sie so viel von der Nahes-Ende-Anschluß-Impulsantwort wie möglich enthält, wobei sie kurz vor dem Punkt endet, an dem die Impulsantwort des Anschlusses **16** zu überlappen beginnt. Die abgerundete Schätzung ist im unteren Teil der Graphik als eine Spur **174** dargestellt. Gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wurde die abgerundete Schätzung in der Datendatei conn(m) von m = 120 bis 148 gewählt. Alle anderen Werte mit Ausnahme von m = 149 in der Datendatei sind auf 0 gelegt.

[0081] Beim Formulieren der abgerundeten Schätzung in der Datendatei conn wird am Punkt **149** ein Offset-Wert eingegeben, um den Gesamtdurchschnitt der Datenaufzeichnung auf Null zu zwingen.

$$\text{Offset} = (-1) * \sum_{m=120}^{148} \text{Daten}(m)$$

conn(149) = Offset

conn(1 : 119) = 0

conn(150 : 4096) = 0

[0082] Die Übersprechantwort des Nahes-Ende-Anschlusses beruht auf der kapazitiven Kopplung, die notwendigerweise in ihrer Impulsantwort keinen Gleichspannungswert aufweist. Demgemäß wird dadurch, daß der Durchschnittswert auf Null gezwungen wird, gewährleistet, daß es in der Frequenzdarstellung der in der Datendatei conn enthaltenen abgerundeten Zeitaufzeichnung keinen erheblichen Gleichstromwert gibt, wenn die schnelle Fourier-Transformation ausgeführt wird. CONN = FFT (conn)

[0083] In Fig. 12 ist eine Graphik dargestellt, die eine Frequenzdomänendarstellung einer restlichen Übersprechantwort zeigt, worin die Wirkungen des Nahes-Ende-Anschlusses auf die Übersprechantwort des LAN-Kabelsystems mit und ohne Ausgleich für den Nahes-Ende-Anschluß **12** (wie in Fig. 1 dargestellt ist) gemäß der vorliegenden Erfindung verglichen sind. Die vertikale Achse ist der Übersprechverlust in Dezibel (dB), und die horizontale Achse ist die Frequenz in Megahertz. Die restliche Übersprechantwort wird gemessen, wobei der Nahes-Ende-Anschluß **12** mit 100-Ohm-Widerständen an jedem Ende der Drahtpaare **42a-d** abge-

schlossen ist, so daß die Impulsantwort des Nahes-Ende-Anschlusses **12** nur in der Zeitaufzeichnung vorhanden ist. Die obere Spur **160** ist die Spezifikationsgrenze aus **Fig. 10**.

[0084] Eine Spur **190** zeigt die restliche Übersprechantwort ohne Kompensation zu Vergleichszwecken. Mit anderen Worten subtrahiert die Übersprechberechnung in dem Prozeß **120** aus **Fig. 8B** nicht die Wirkung des Nahes-Ende-Anschlusses **12**, die als NECC auftritt. Demgemäß liegt ein theoretisch perfektes LAN-Kabelsystem **50** ohne Impulsantwort nur 12 dB unterhalb der Spezifikationsgrenze, wie durch die Differenz zwischen der Spur **160** und der Spur **190** dargestellt ist. Diese verhältnismäßig kleine Differenz führt, gekoppelt mit einem LAN-Kabelsystem **50**, das eine Übersprechantwort hat, die nahe der Spezifikationsgrenze liegt, zu einer hohen Wahrscheinlichkeit, daß dem Benutzer eine falsche Annehmbarkeits- oder Nicht-Annehmbarkeits-Angabe gegeben wird.

[0085] Eine Spur **192** zeigt die restliche Übersprechantwort mit Kompensation gemäß der vorliegenden Erfindung. Nun würde ein theoretisch perfektes LAN-Kabelsystem **50** ohne Übersprech-Impulsantwort über 30 dB unter der Spezifikationsgrenze gemessen werden, wie durch die Differenz zwischen der Spur **160** und der Spur **190** dargestellt ist. Durch die Aufnahme einer Kompensation für den Nahes-Ende-Anschluß **12** werden auf diese Weise eine erhebliche Verbesserung der Meßgenauigkeit und eine Verringerung von Fehlern beim Zurückgeben einer falschen Annehmbarkeits- oder Nicht-Annehmbarkeits-Angabe an den Benutzer bereitgestellt.

[0086] In **Fig. 13** ist eine Graphik dargestellt, in der die Beziehung zwischen der Impulsbreite in der Zeitdomäne und der Verteilung der Impulsenergie in der Frequenzdomäne dargestellt ist. Der linke Abschnitt der Graphik ist die Zeitdomänendarstellung eines Rechteckimpulses **200** mit einer Breite von 64 Nanosekunden, eines Rechteckimpulses **202** mit einer Breite von 16 Nanosekunden und eines Rechteckimpulses **204** mit einer Breite von 5 Nanosekunden, welche gemeinsam einen Satz von Impulsbreiten aufweisen. Die vertikale Achse ist die relative Amplitude, und die horizontale Achse ist die Impulsbreite in Nanosekunden. Die Impulse **200**, **202** und **204** haben in der Graphik die gleiche relative Amplitude. Jeder der Impulse **200**, **202** und **204** hat eine äquivalente Frequenzdomänendarstellung, wie im rechten Abschnitt der Graphik dargestellt ist. Eine Spur **206** ist die Frequenzdomänendarstellung des 64-Nanosekunden-Impulses **200**. Die Spur **206** weist in 15,625-Megahertz-Intervallen erhebliche Abfälle der relativen Energie auf, welche Messungen in der Nähe dieser Frequenzen unbrauchbar machen würden. In ähnlicher Weise ist eine Spur **208** die Frequenzdomänendarstellung des 16-Nanosekunden-Impulses **202**, welche in 62,5-Megahertz-Intervallen erhebliche Abfälle der relativen Energie aufweist. Eine Spur **210** ist die Frequenzdomänendarstellung des 5-Nanosekunden-Impulses **204**, welche ihren ersten erheblichen Abfall der relativen Energie bei 200 Megahertz hat, was außerhalb des gemäß der vorliegenden Erfindung interessierenden Frequenzbereichs liegt.

[0087] In **Fig. 14** ist eine Graphik dargestellt, in der der Prozeß der Verwendung unterschiedlicher Impulsbreiten zum Erhalten einer erhöhten Impulsenergie bei ausgewählten Frequenzbereichen gezeigt ist, um eine verbesserte Meßgenauigkeit gemäß der vorliegenden Erfindung zu erhalten. Wenngleich die Spuren **206**, **208** und **210** (in **Fig. 13** dargestellt) jeweils erhebliche Energieabfälle bei verschiedenen Frequenzen aufweisen, kann eine als Bandbreite-Zeit-Invarianz bezeichnete wohlbekannte Eigenschaft verwendet werden, um ausgewählte Frequenzbereiche auszunutzen, bei denen die relative Impulsenergie höher ist. Gemäß der Bandbreite-Zeit-Invarianz breiten schmalere Impulse ihre Energie über ein breiteres Frequenzspektrum, jedoch bei einer entsprechend niedrigeren Amplitude aus. Umgekehrt können breitere Impulse verwendet werden, um zusätzliche Energie für Messungen bei niedrigeren Frequenzbereichen bereitzustellen, um eine verbesserte Meßgenauigkeit zu erzielen.

[0088] In der Graphik wurden die Spuren **206**, **208** und **210** verkettet, um eine zusammengesetzte Frequenzantwort zu bilden, wie durch die fett gezeichnete Linie dargestellt ist. Die zusammengesetzte Frequenzantwort behält am unteren Ende der Frequenz von 0,1 bis 10 Megahertz einen verhältnismäßig hohen Energiebetrag, wo diese Energie am meisten erforderlich ist. Bei 0,1 Megahertz ist die relative Impulsenergie des 64-Nanosekunden-Impulses beispielsweise 22 dB höher als diejenige des 5-Nanosekunden-Impulses. Zwischen 10 Megahertz und 40 Megahertz wird die 16-Nanosekunden-Impulsenergie verwendet, um eine zusätzliche Impulsenergie oberhalb derjenigen des 5-Nanosekunden-Impulses bereitzustellen, während die "Energieausfälle" des 64-Nanosekunden-Impulses vermieden werden. Oberhalb von 40 Megahertz wird bei allen anderen Frequenzen im interessierenden Bereich unterhalb von 150 Megahertz unter Verwendung des 5-Nanosekunden-Impulses eine angemessene Impulsenergie aufrechterhalten.

[0089] Die spezielle Kombination von Impulsbreiten, die gemäß der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gewählt wurde, wurde gewählt, um eine optimale Meßgenauigkeit über den interessierenden Frequenzbereich zwischen 0,1 Megahertz und 100 Megahertz bereitzustellen. Die Meßgenauigkeit ist am kritischsten für Messungen, die in unmittelbarer Nähe der Spezifikationsgrenzlinie liegen. Die Spezifikationsgrenzlinie, die graphisch als die Spur **160** in **Fig. 10** erscheint, ändert sich als Funktion der Frequenz.

$$\text{Grenzlinie} = -27 + 15 * \log_{10}\left(\frac{f}{100}\right)$$

f = Frequenz in Megahertz

[0090] Bei niedrigen Frequenzen, beispielsweise bei 1 Megahertz, liegt die Grenzlinie bei -57 dB, so daß das für die Messung zurückgegebene Impulsantwortsignal verhältnismäßig klein ist. Das Testinstrument hat einen "Rauschuntergrund", der ein Niveau minimaler Empfindlichkeit ist, das über den Frequenzbereich verhältnismäßig konstant ist. Das Signal-Rausch-Verhältnis bestimmt die Meßgenauigkeit direkt. Zum Aufrechterhalten einer angemessenen Meßgenauigkeit bei niedrigen Frequenzen, wo sich das Signal-Rausch-Verhältnis zu verschlechtern beginnt, verwendet die vorliegende Erfindung eine größere Impulsbreite zum Bereitstellen einer größeren Signalenergie. Umgekehrt werden bei höheren Frequenzen geringere Impulsbreiten verwendet, um eine angemessene Bandbreite zu erhalten und den interessierenden Frequenzbereich abzudecken.

[0091] Es wird Durchschnittsfachleuten offensichtlich sein, daß an den Einzelheiten der vorstehend beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung zahlreiche Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Grundgedanken der Erfindung abzuweichen. Beispielsweise kann die vorliegende Erfindung verwendet werden, um, beschränkt durch die Wirkungen der dazwischenliegenden Übertragungsleitung, unerwünschte Übersprechantworten von einer beliebigen Anzahl ausgewählter Stellen entlang eines Paares von Übertragungsleitungen zu entfernen, wobei die unerwünschten Impulsantworten mit einer ausreichenden Genauigkeit, um ihr Entfernen zu bewirken, und einer ausreichenden Auflösung, um die unerwünschten Übersprechantworten von den gewünschten Antworten zu trennen, geschätzt werden. Weiterhin können unterschiedliche Impulsbreiten verwendet werden, um eine vergrößerte Energie bei anderen interessierenden Frequenzbereichen zu erhalten. Die Frequenzantworten der unterschiedlichen Impulsbreiten können in jeder beliebigen gewünschten Kombination verkettet werden, um eine nach Bedarf geformte zusammengesetzte Antwort zu erhalten. Daher soll der Schutzmfang der vorliegenden Erfindung durch die folgenden Ansprüche bestimmt sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte an wenigstens einer ausgewählten Stelle längs eines Paares (**42a**, **42b**) von Übertragungsleitungen, wobei:

(a) Stimulationssignale an einer Leitung (**42a**) des Übertragungsleitungspaares erzeugt werden; und
(b) Übersprechsignale von der anderen Leitung (**42b**) des Übertragungsleitungspaares empfangen und die Übersprechsignale als eine Puls-Antwortzeit-Aufzeichnung digitalisiert werden, wobei die Übersprechsignale in Reaktion auf die Stimulationssignale erzeugt werden;

dadurch gekennzeichnet, daß

(c) aus der Puls-Antwortzeit-Aufzeichnung eine Unerwünschte-Antwortzeit-Aufzeichnung gebildet wird, die nur die den ausgewählten Stellen entsprechenden Übersprecheffekte enthält;
(d) eine erste Frequenzdomainendarstellung der Puls-Antwortzeitaufzeichnung und eine zweite Frequenzdomainendarstellung der Unerwünschte-Antwortzeit-Aufzeichnung berechnet werden; und
(e) die Übersprechantwort durch Subtraktion der zweiten Frequenzdomainendarstellung von der ersten Frequenzdomainendarstellung berechnet wird.

2. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte gemäß Anspruch 1, wobei ferner:

(a) die Übersprechantwort mit einer Spezifikationsgrenzwertlinie verglichen wird;
(b) eine Entscheidung "bestanden" oder "nicht-bestanden" zurückgegeben wird, wobei "bestanden" zurückgegeben wird, wenn die Übersprechantwort kleiner ist als die Spezifikationsgrenzwertlinie, und "nicht-bestanden" zurückgegeben wird, wenn die Übersprechantwort größer ist als der Spezifikationsgrenzwert; und
(c) die Entscheidung an einen Benutzer des Instruments übertragen wird.

3. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die ausgewählte Stelle eine Stelle aufweist, die einem Nahes-Ende-Anschluß (**12**) entspricht, der mit einem Instrument zum Messen einer Übersprechantwort in einem Übertragungsleitungspaar verbunden ist.

4. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Stimulationssignal eine Reihe von Rechteckpulsen enthält.

5. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte gemäß Anspruch 4, wobei die Rechteckpulse unterschiedliche Pulsbreiten aufweisen, die zum Bereitstellen von Pulsennergie in einer Reihe von Frequenzbereichen ausgewählt werden.

6. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte gemäß Anspruch 5, wobei die Pulsbreiten **5**, **16** oder **64** Nanosekunden betragen.

7. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte gemäß Anspruch 5 oder 6, wobei ferner:

- (a) die Übersprechsignale als eine Reihe von Zeitaufzeichnungen digitalisiert werden, wobei jede Zeitaufzeichnung einer der Reihe von Pulsbreiten entspricht;
- (b) entsprechend jeder der Reihe der Zeitaufzeichnungen eine Reihe von Übersprechantworten berechnet wird; und
- (c) Bereiche der Übersprechantworten, die den ausgewählten Frequenzbereichen entsprechen, zum Bilden der ersten Frequenzdomainendarstellung zusammengehängt werden.

8. Verfahren zum Entfernen unerwünschter Übersprecheffekte gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste und die zweite Frequenzdomainendarstellung durch Verwenden einer diskreten Fouriertransformation berechnet werden.

9. Instrument zum Messen einer Übersprechantwort in einem Übertragungsleitungspaar (**42a, 42b**) in einem Lokalnetzwerk-Kabel (**50**), während unerwünschte Übersprecheffekte an wenigstens einer ausgewählten Stelle längs des Übertragungsleitungspaares (**42a, 42b**) entfernt werden, mit:

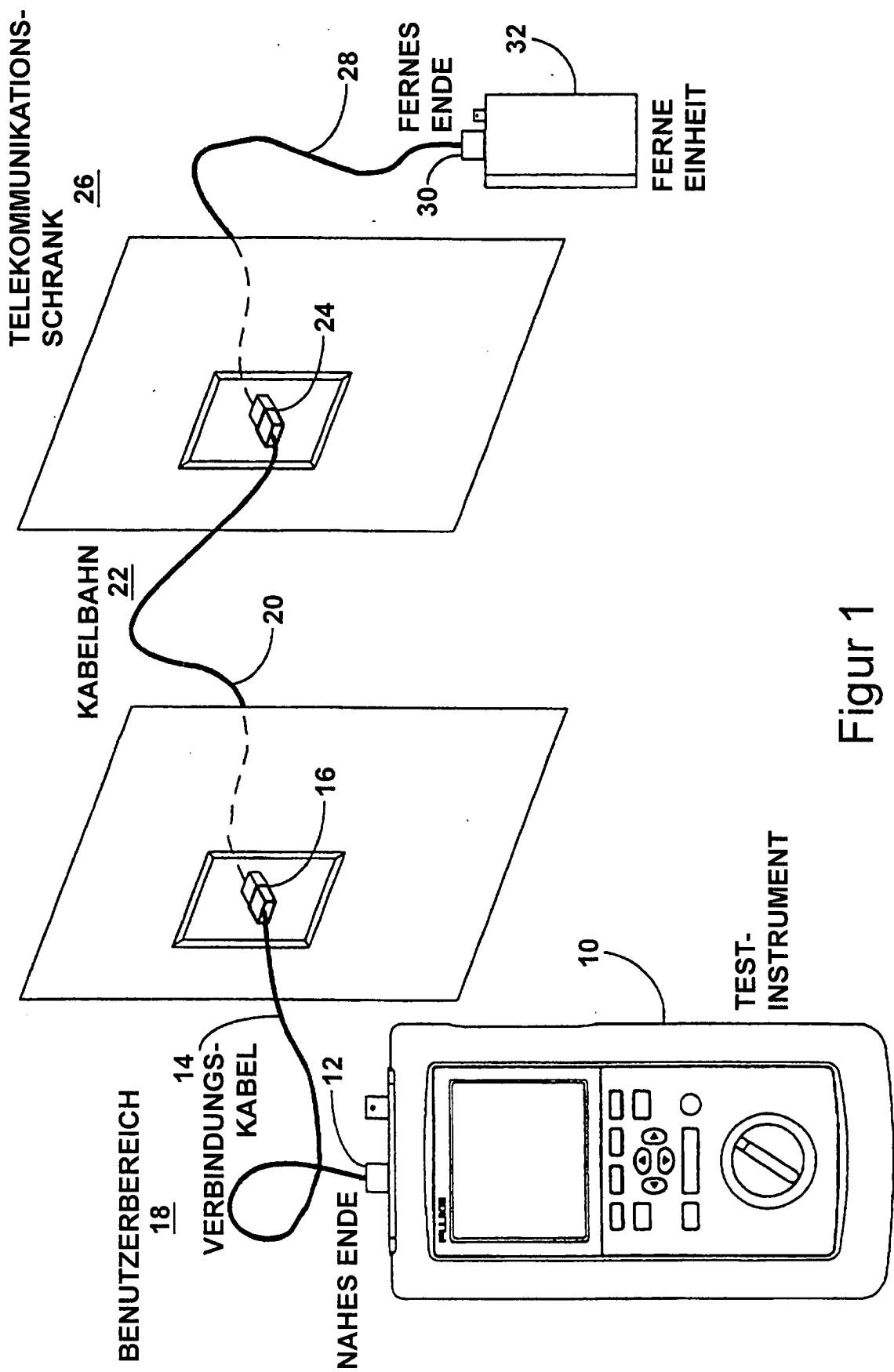
- (a) einem mit dem Übertragungsleitungspaar (**42a, 42b**) verbundenen Nahes-Ende-Verbindungsglied (**12**);
- (b) einem Pulsgenerator (**72**) zum Erzeugen von Stimulationspulsen in einer Leitung (**42a**) des Übertragungsleitungspaares;
- (c) einem mit dem Nahes-Ende-Verbindungsglied (**12**) verbundenen Digitalisierer (**76**) zum Empfangen von Übersprechsignalen von einer anderen Leitung (**42b**) des Übertragungsleitungspaares und zum Erzeugen einer Puls-Antwortzeit-Aufzeichnung der Übersprechsignale, wobei die Übersprechsignale in Reaktion auf die Stimulationspulse erzeugt werden; und
- (d) einem mit dem Digitalisierer (**76**) verbundenen Mikroprozessor (**82**) zum Empfangen der Zeitaufzeichnung, wobei der Mikroprozessor eine Übersprechantwort der Zeitaufzeichnung berechnet und die unerwünschten Übersprecheffekte mathematisch aus der Übersprechantwort entfernt.

10. Instrument gemäß Anspruch 9, wobei die Stimulationspulse mehrere Pulsbreiten aufweisen, die zum Bereitstellen ausreichender Energie in einer Reihe von den mehreren Pulsbreiten entsprechenden Frequenzbereichen ausgewählt sind.

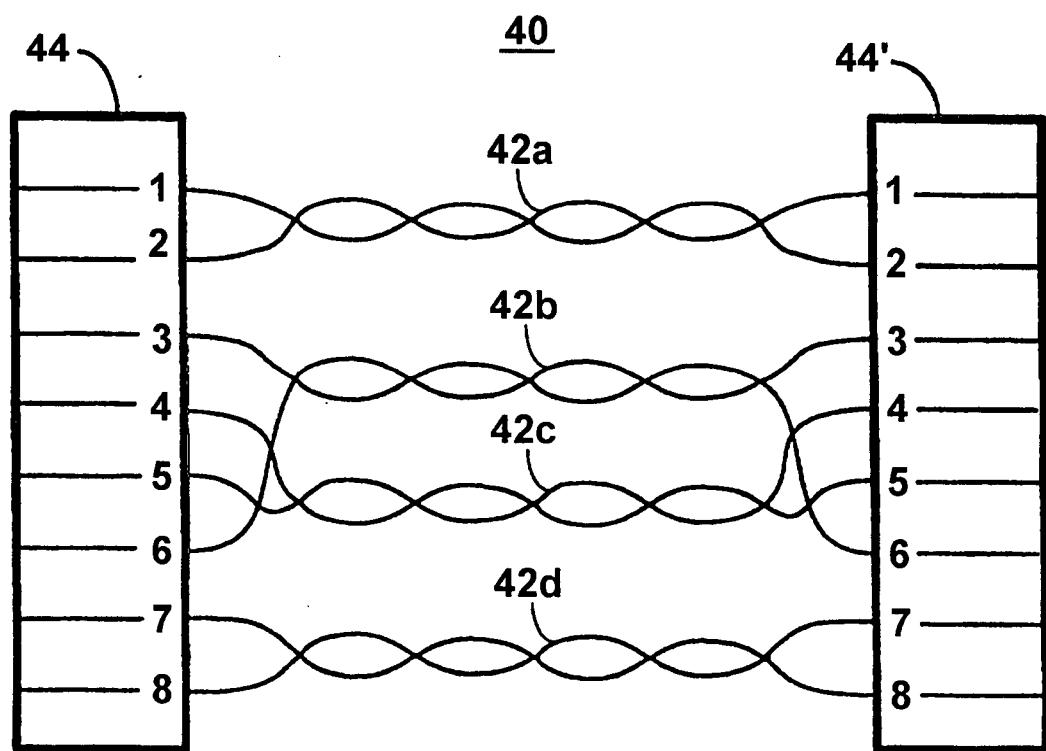
11. Instrument gemäß Anspruch 10, wobei die mehreren Pulsbreiten **5, 16 oder 64** Nanosekunden betragen.

12. Instrument gemäß Anspruch 10 oder 11, wobei der Mikroprozessor (**82**) ferner eine Reihe von Zeitaufzeichnungen empfängt, die jeweils einer der Reihe von Pulsbreiten entsprechen, eine Reihe von zu jeder der Reihe von Zeitaufzeichnungen entsprechenden Übersprechantworten berechnet und den ausgewählten Frequenzbereichen entsprechende Bereiche der Übersprechantworten zusammenhängt, um die Übersprechantwort zu bilden.

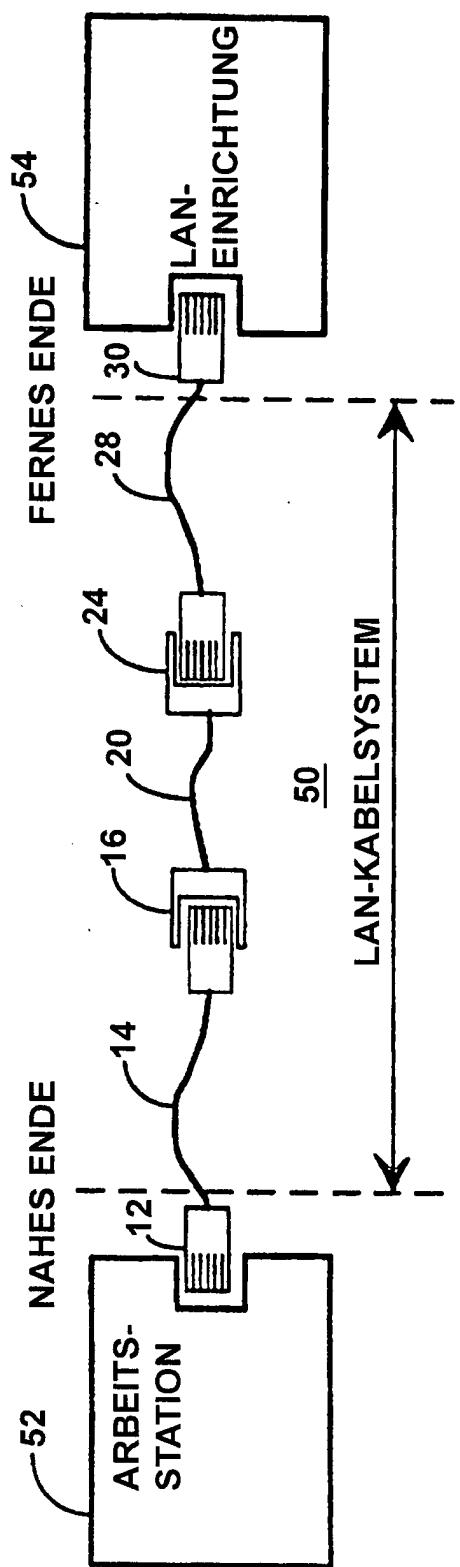
Es folgen 16 Blatt Zeichnungen



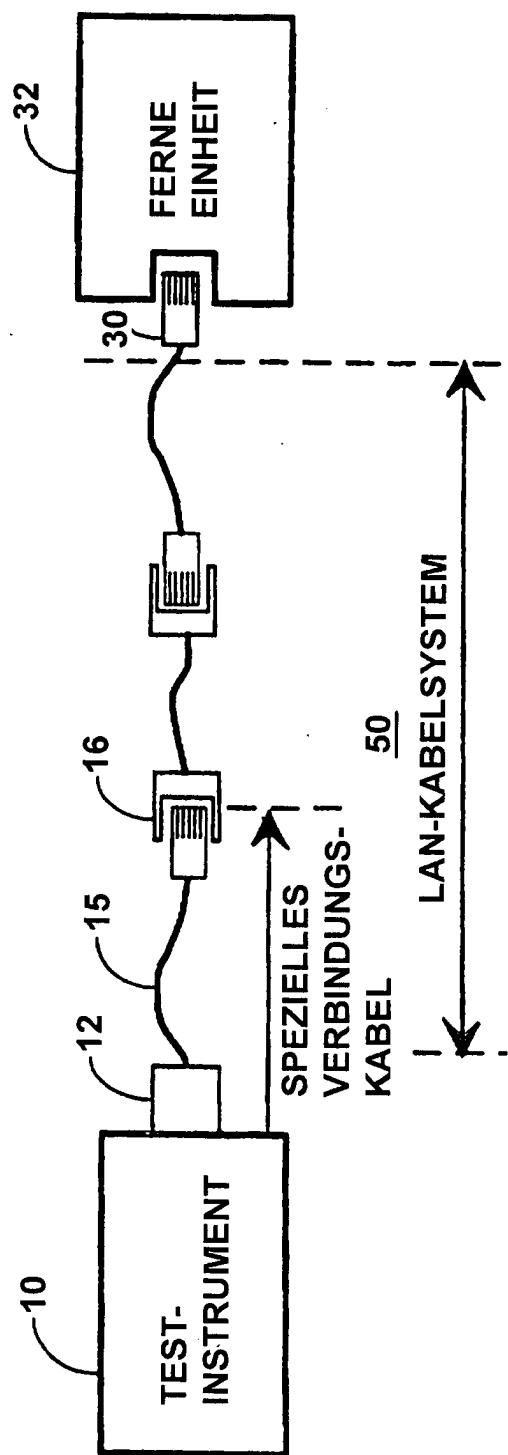
Figur 1



Figur 2

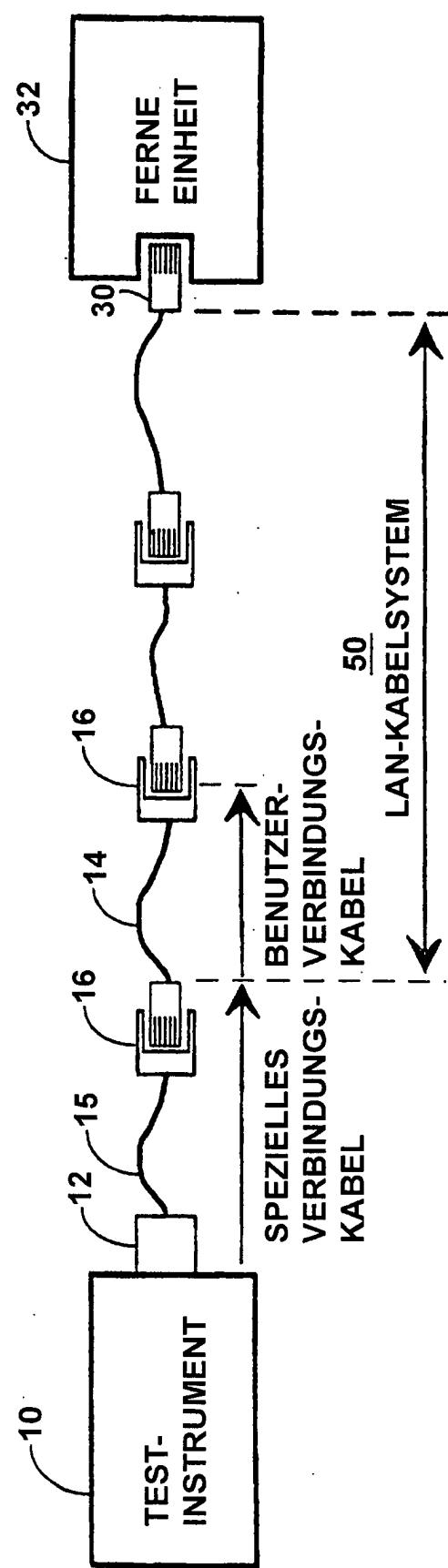


Figur 3



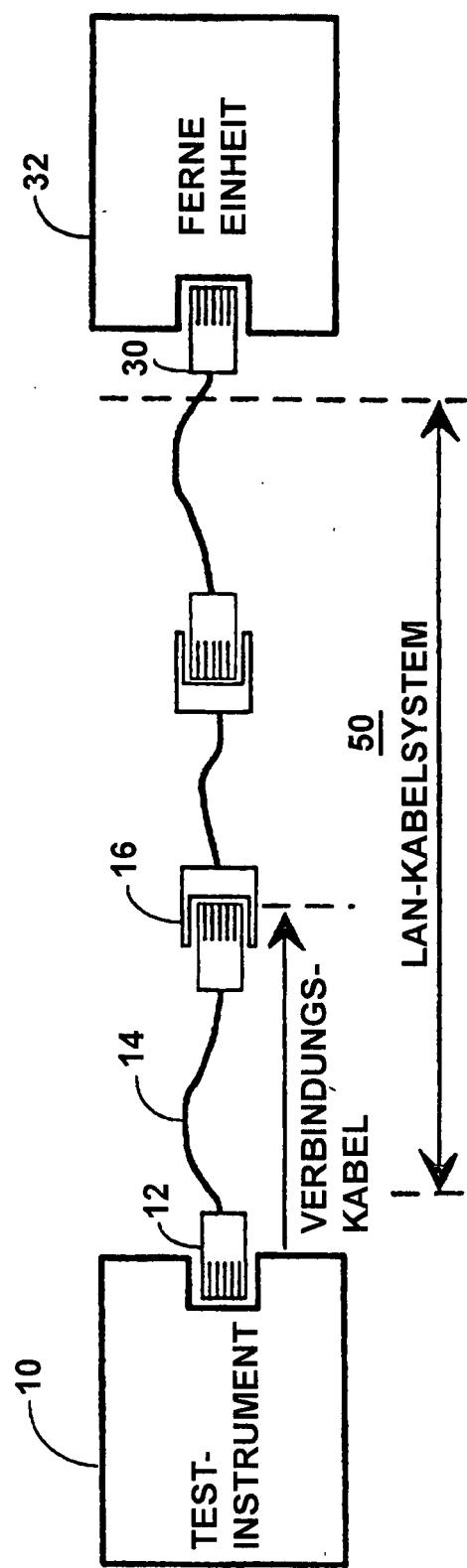
Figur 4

(STAND DER TECHNIK)

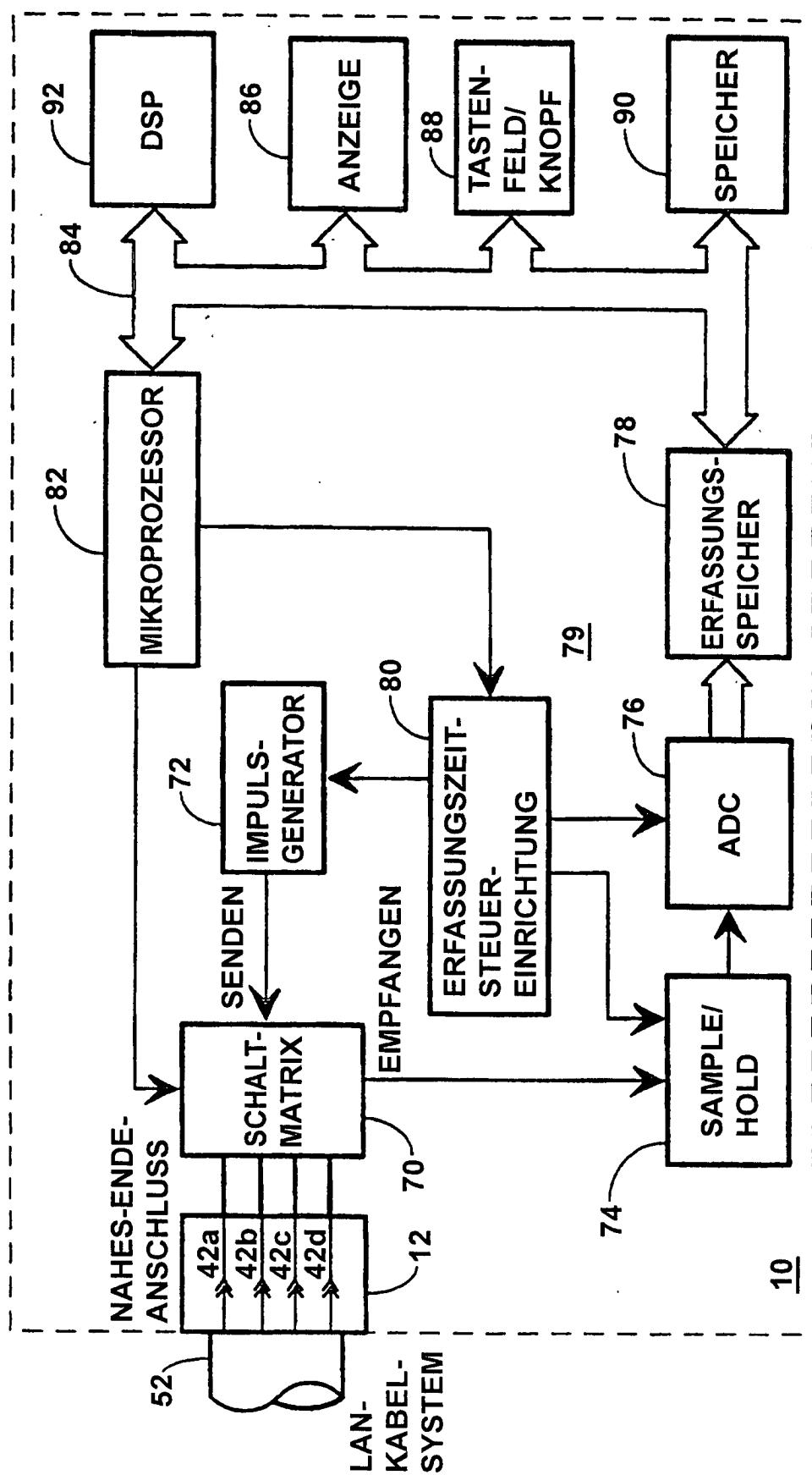


Figur 5

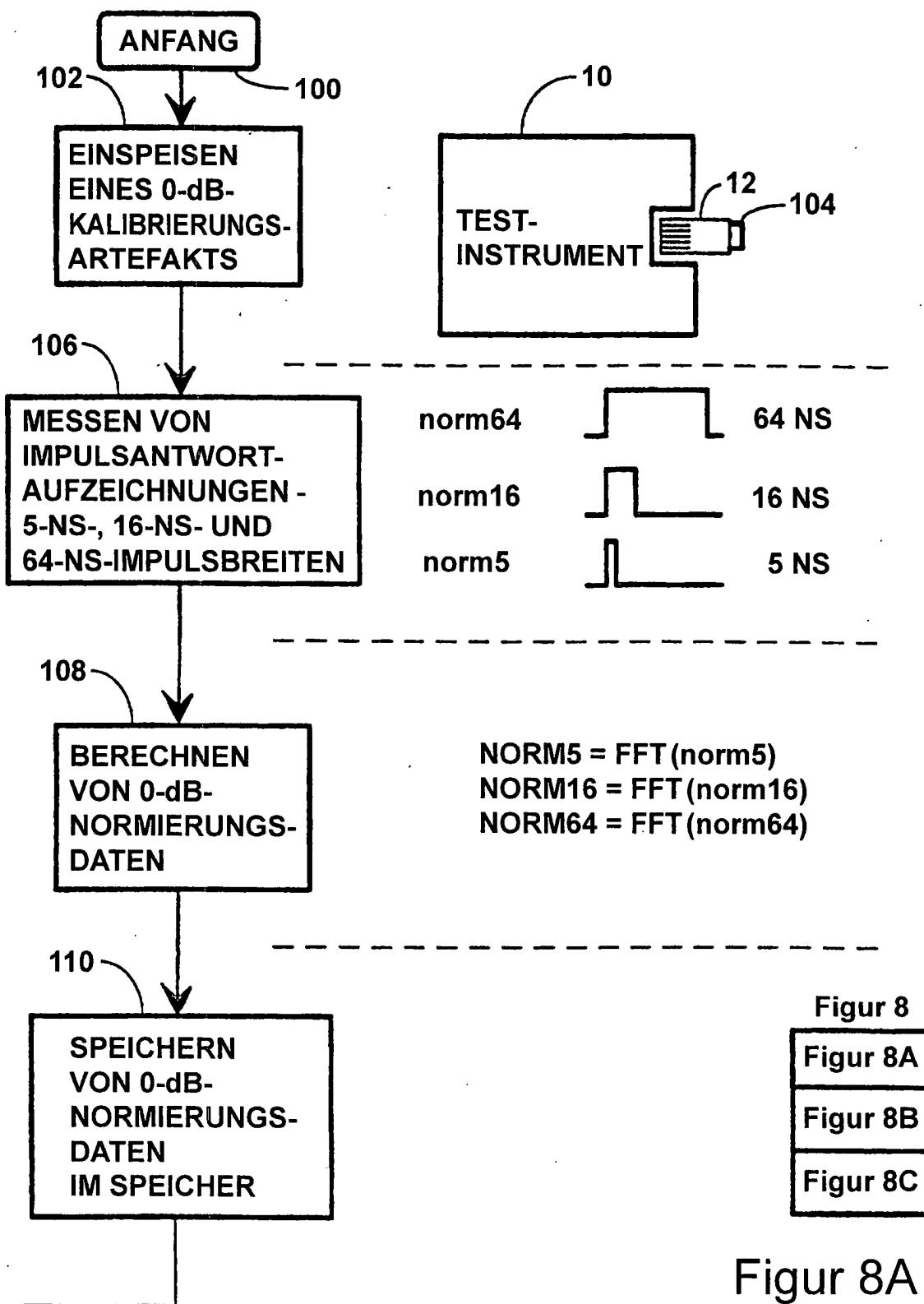
(STAND DER TECHNIK)

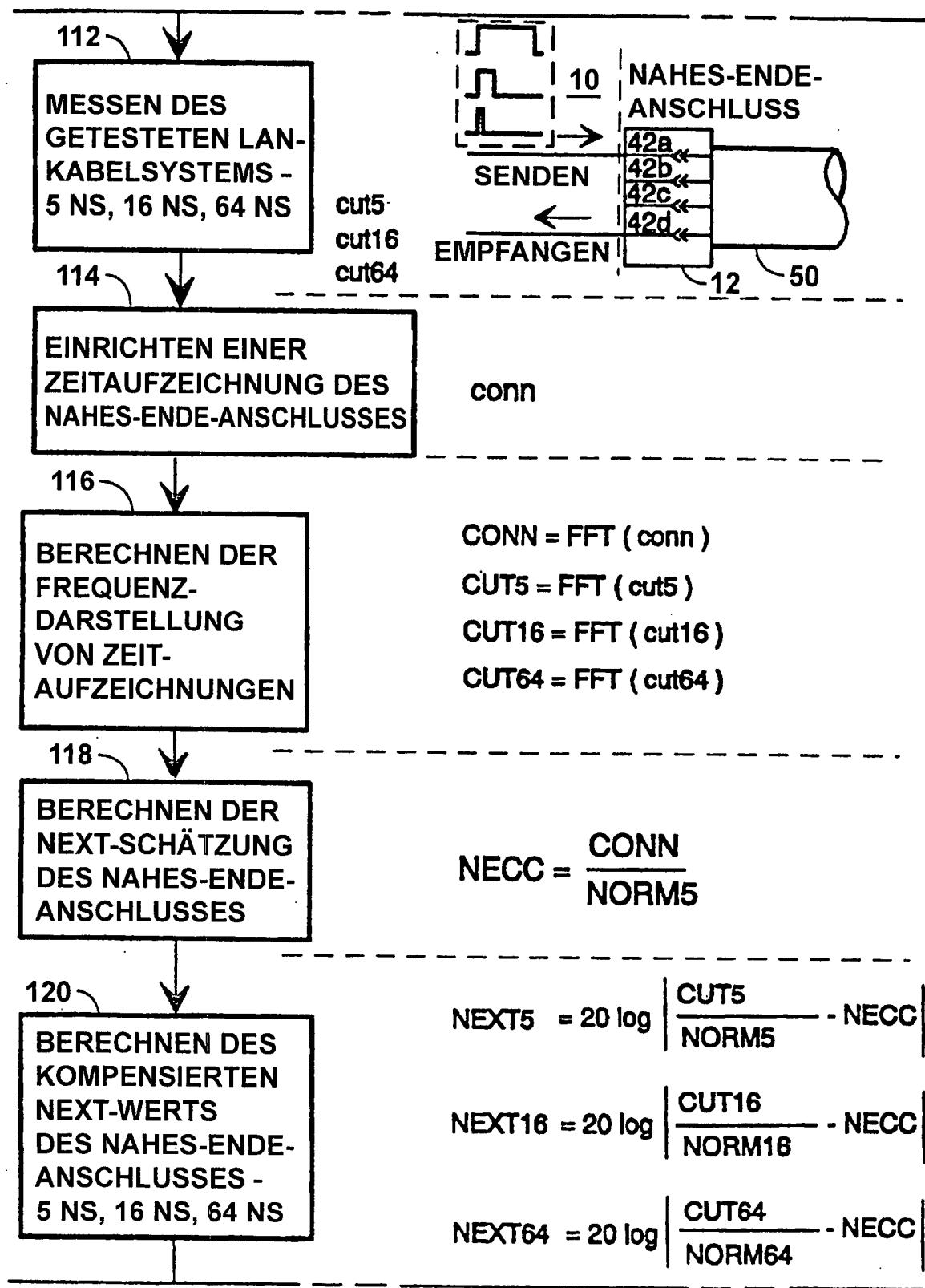


Figur 6

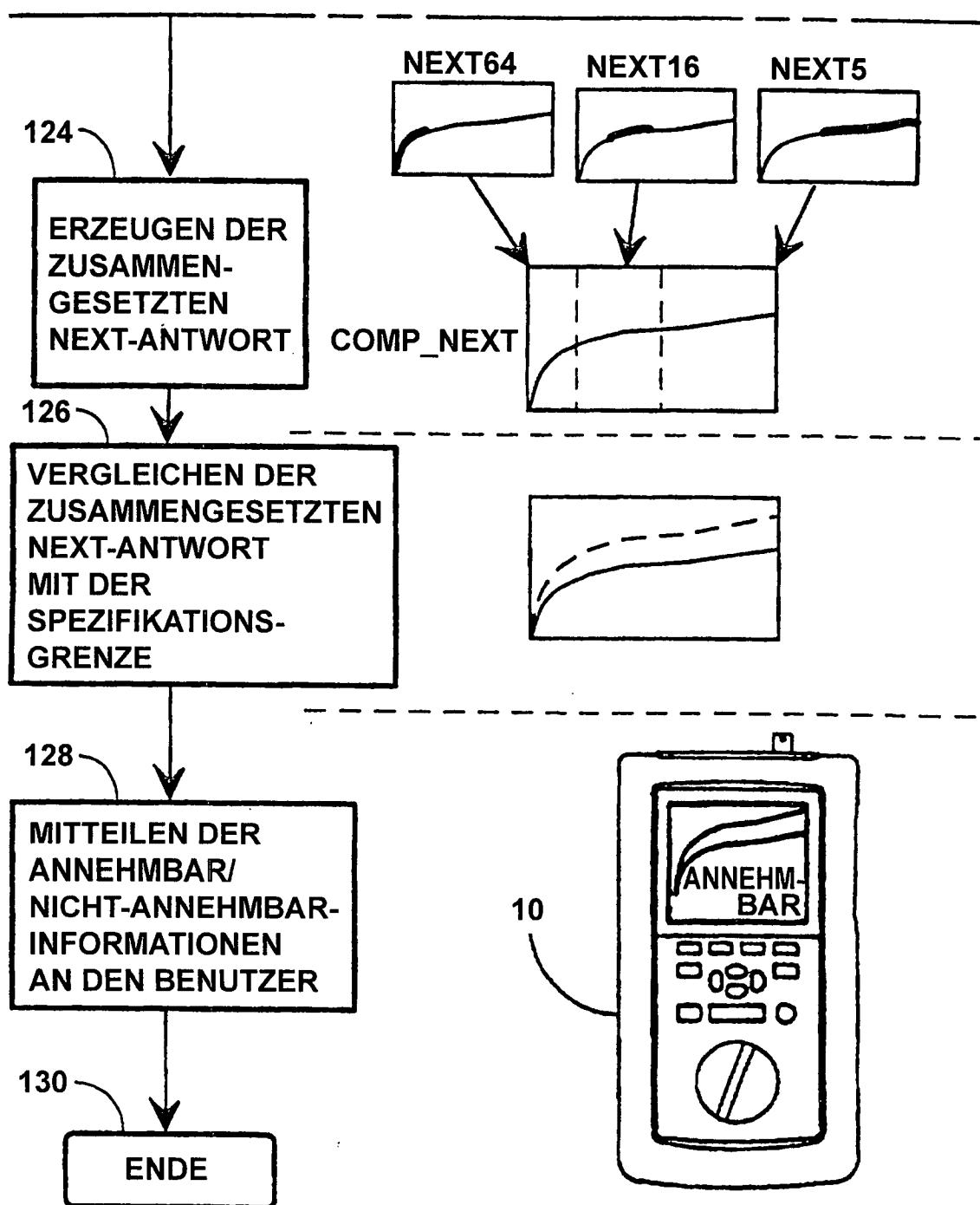


Figur 7

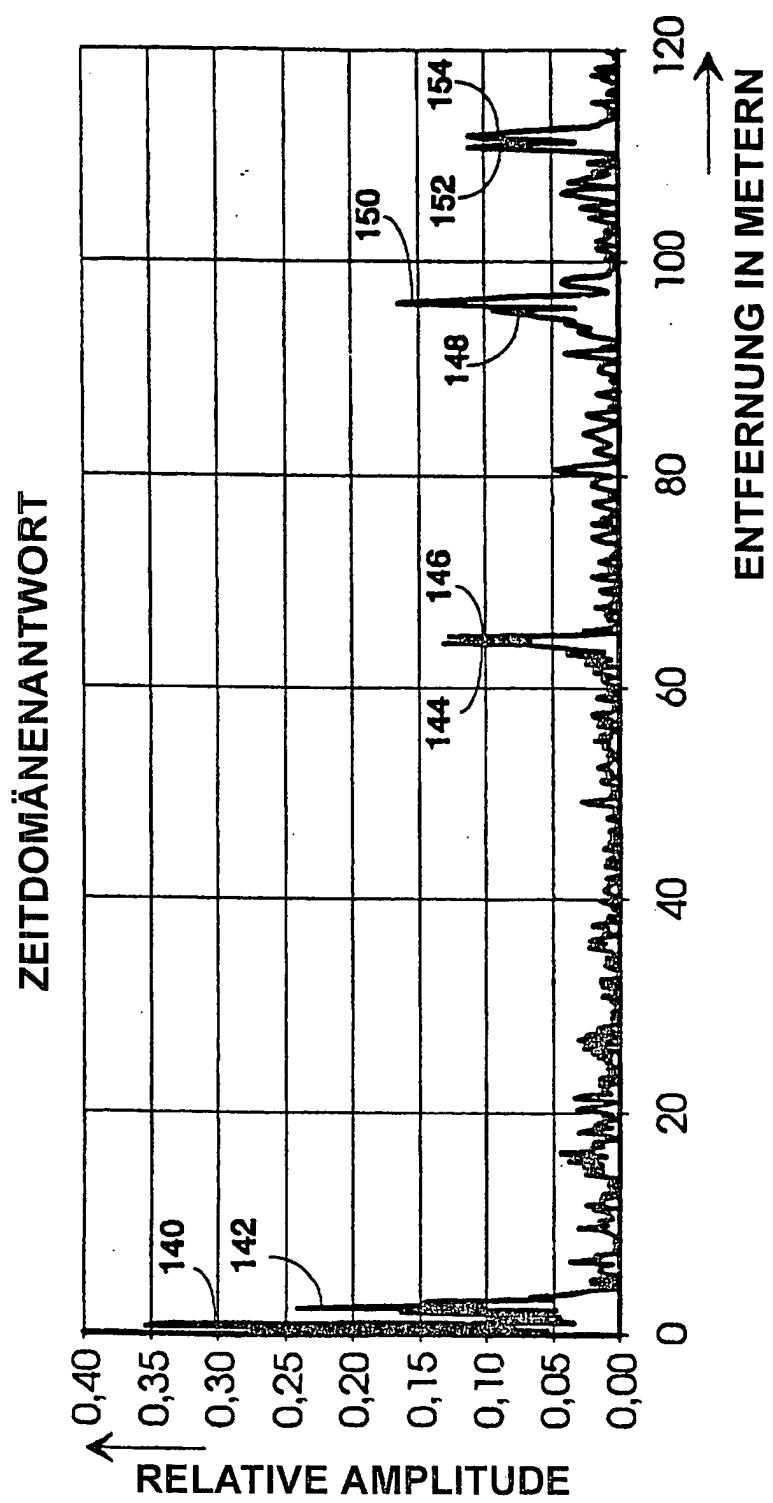




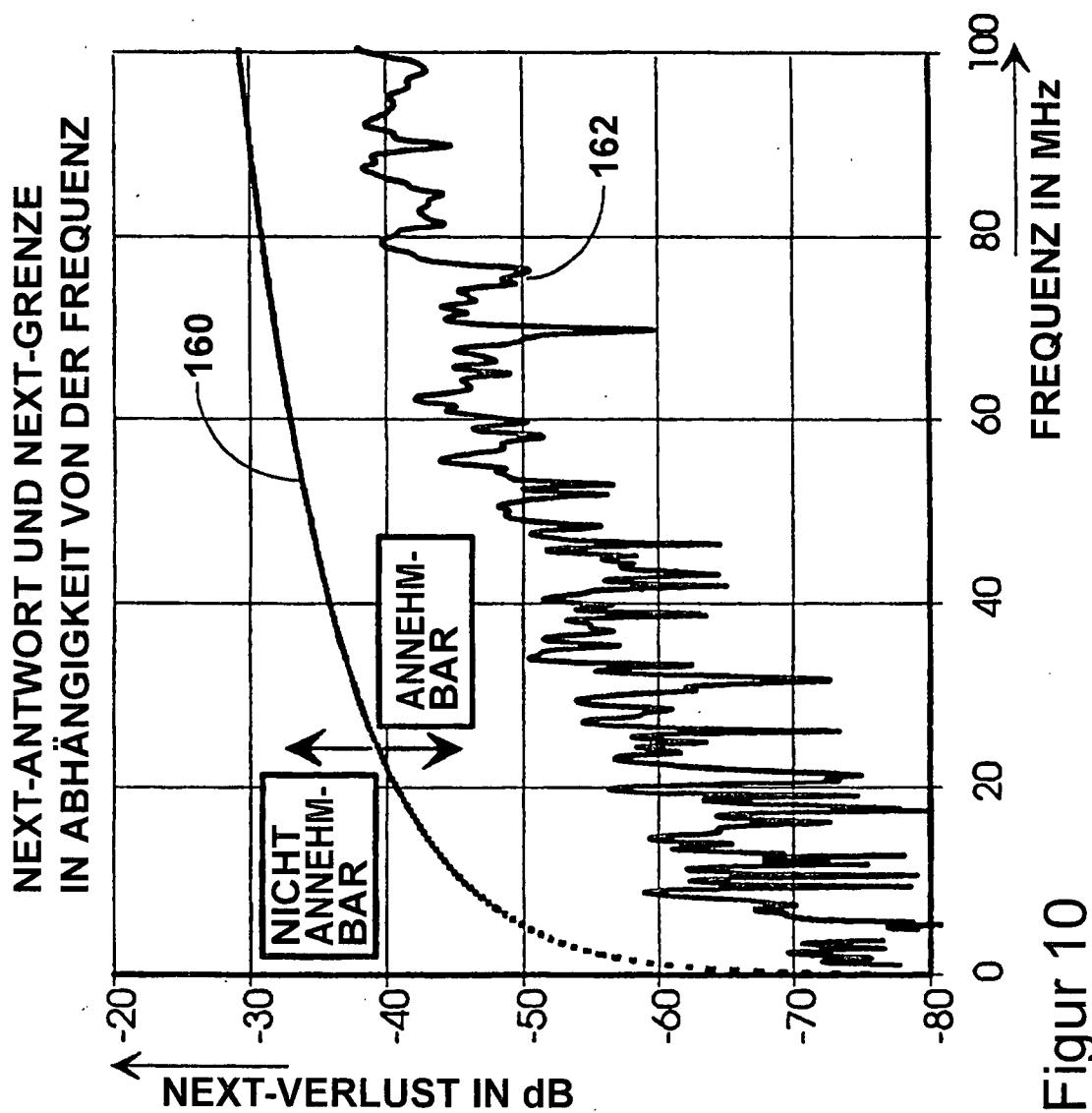
Figur 8B

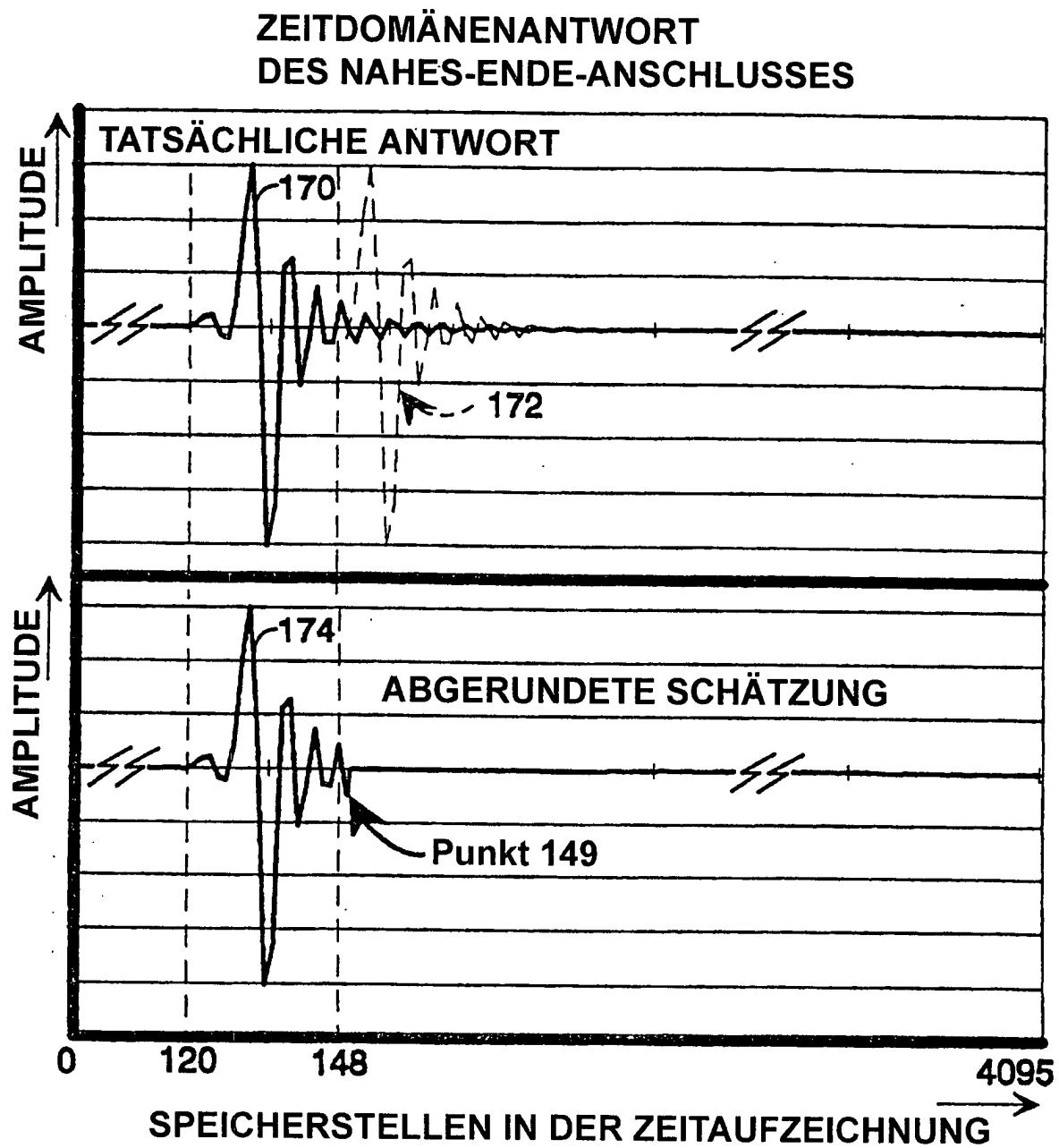


Figur 8C

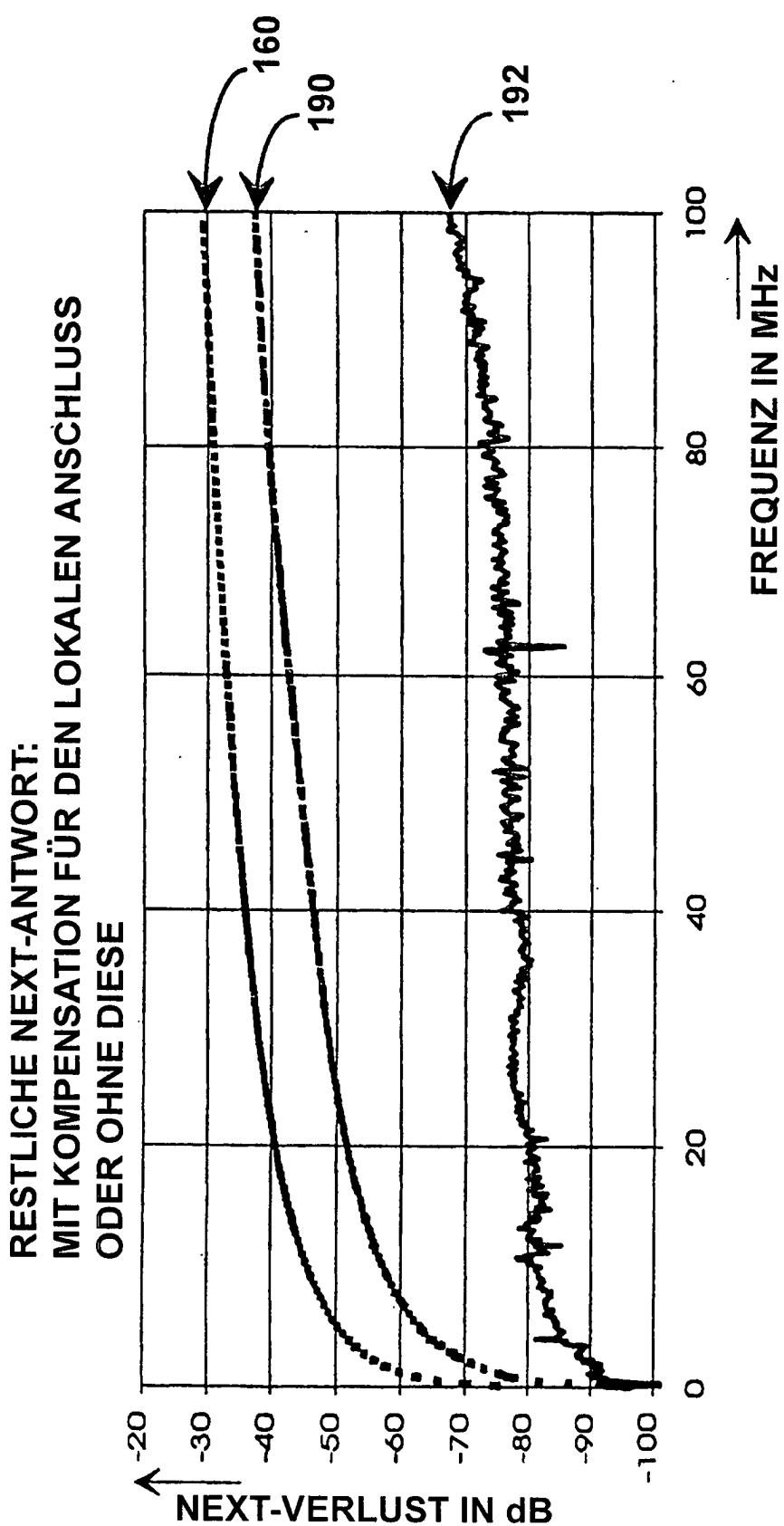


Figur 9

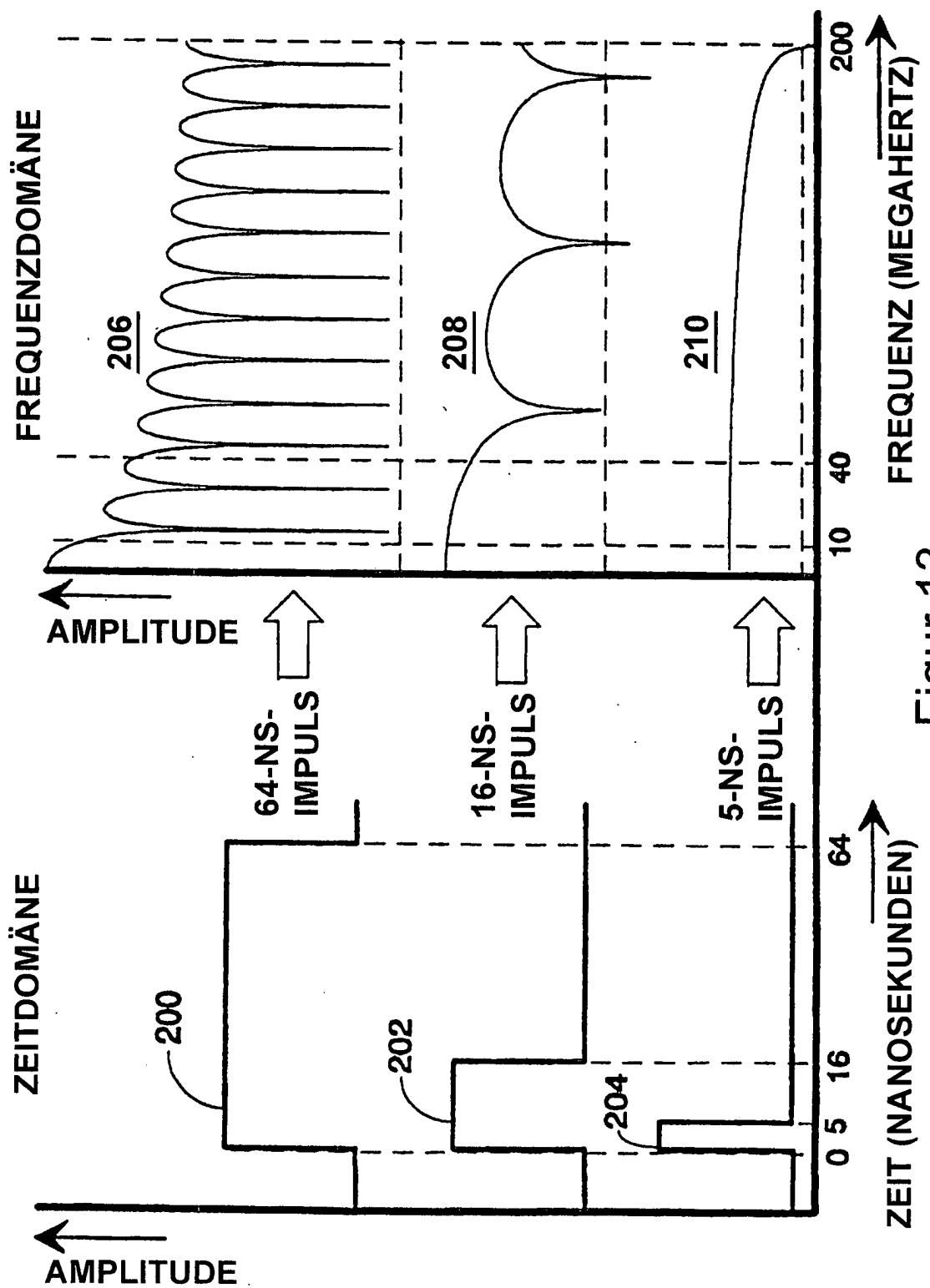




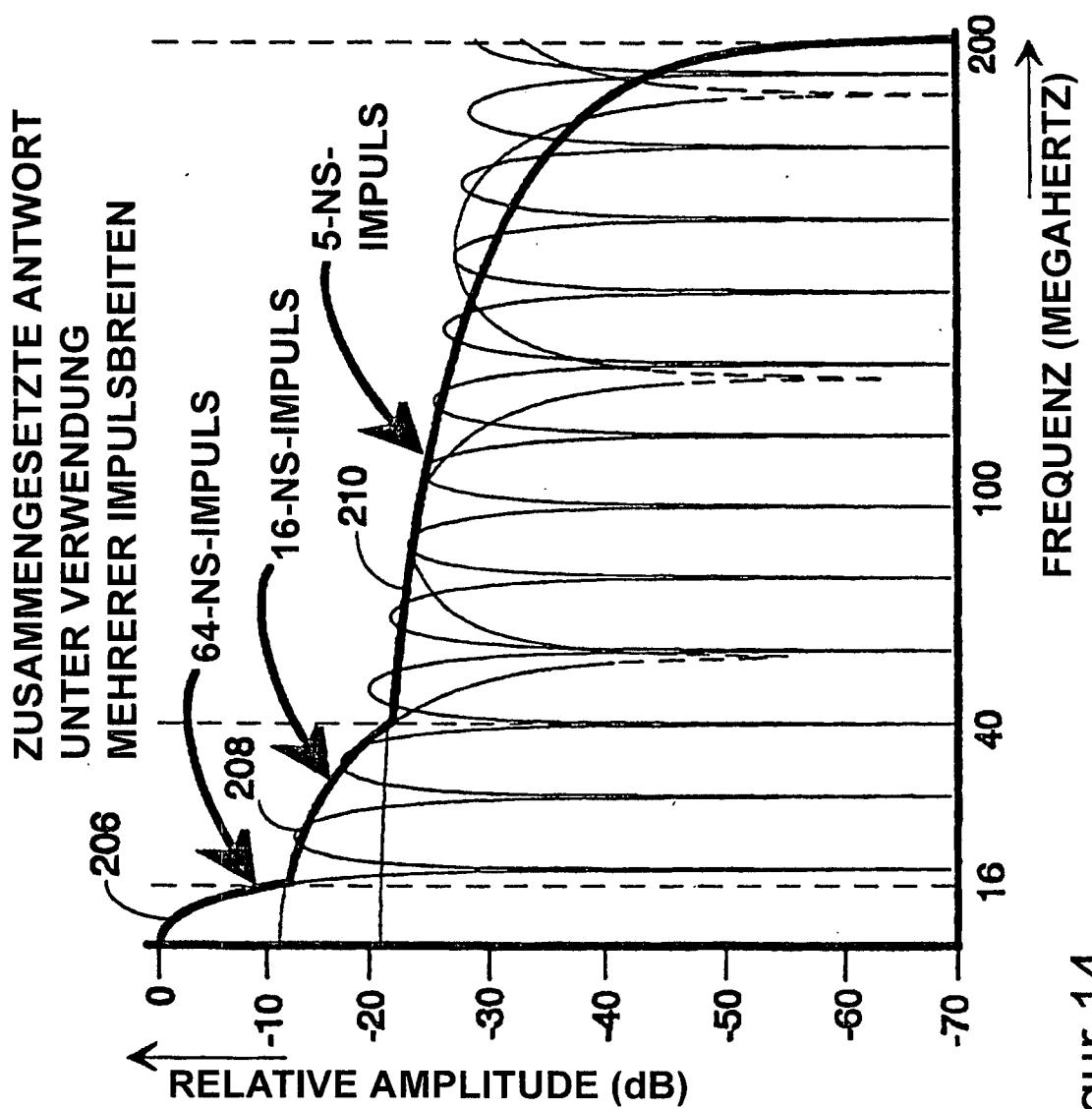
Figur 11



Figur 12



Figur 13



Figur 14