

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. März 2003 (06.03.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/019889 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04L 25/03**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/08294

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. Juli 2002 (25.07.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 41 597.4 24. August 2001 (24.08.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-
Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GAZSI, Lajos**
[DE/DE]; Fauna Str. 23, 40239 Düsseldorf (DE). **GRE-
GORIUS, Peter** [DE/DE]; Forstenrieder Allee 134, 81476
München (DE).

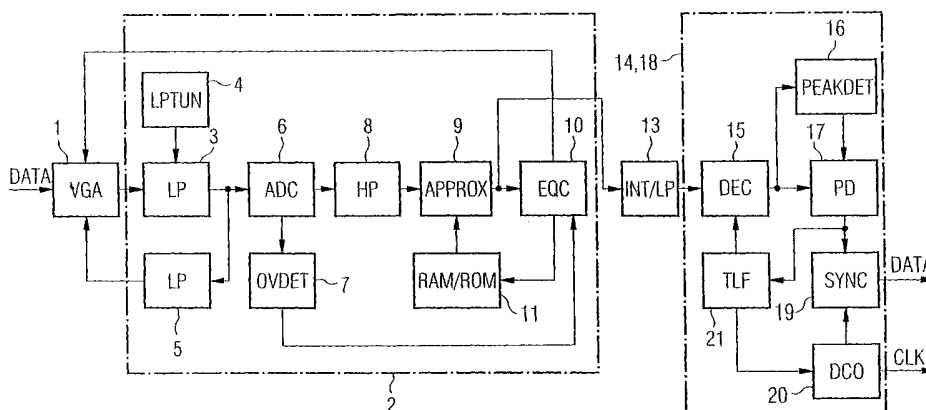
(74) Anwalt: **BANZER, Hans-Jörg**; Kraus & Weisert,
Thomas-Wimmer-Ring 15, 80539 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR RESTORING DATA TRANSMITTED VIA A TRANSMISSION LINE IN A RECEIVER AND COR-
RESPONDING DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM REKONSTRUIEREN VON ÜBER EINE ÜBERTRAGUNGSSTRECKE ÜBERTRAGENE-
N DATEN IN EINEM EMPFÄNGER UND ENTSPRECHENDE VORRICHTUNG



(57) Abstract: The aim of the invention is to restore data transmitted via a transmission line, especially a cable. To this end, the corresponding signal received by the receiver is amplified, and the amplified signal is then discretised by means of an analog-digital converter (6) in order to obtain a corresponding digital signal. The amplified signal is then sampled at a relatively low scanning rate, said scanning rate being in the Nyquist frequency range, or even lower than the same. The signal which is discretised in the above manner is then filtered by means of a digital high pass filter (8) and is equalised by means of a digital cable approximation filter (9) in order to compensate the distortion occurring during the transmission via the transmission line. A regenerated clock pulse is obtained from the digital signal processed in this way, by means of a phase-locked loop (14, 18), and the originally transmitted data (DATA) is recovered synchronously with said clock pulse.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/019889 A2



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Zum Rekonstruieren von über eine Übertragungsstrecke, beispielsweise ein Kabel, übertragenen Daten wird das entsprechende von dem Empfänger empfangene Signal zunächst verstärkt und anschließend mit Hilfe eines Analog/Digital-Wandlers (6) diskretisiert, um ein entsprechendes digitales Signal zu erhalten, wobei hierzu das verstärkte Signal mit einer relativ geringen Abtastrate, welche im Bereich der Nyquistfrequenz liegen oder sogar kleiner als die Nyquistfrequenz sein kann, abgetastet wird. Anschließend wird das auf diese Weise diskretisierte Signal mit Hilfe eines digitalen Hochpass-Filters (8) gefiltert und mit Hilfe eines digitalen Kabelapproximations-Filters (9) zur Kompensation der während der Übertragung über die Übertragungsstrecke auftretenden Verzerrung entzerrt. Aus diesem derart aufbereiteten digitalen Signal wird mit Hilfe eines Phasenregelkreises (14, 18) ein regenerierter Takt (CLK) und synchron zu diesem Takt die ursprünglich übertragenen Daten (DATA) gewonnen.

Beschreibung

Verfahren zum Rekonstruieren von über eine Übertragungs-
strecke übertragenen Daten in einem Empfänger und entspre-
5 chende Vorrichtung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Rekon-
struieren von über eine Übertragungsstrecke übertragenen Da-
ten, insbesondere von nichtgescrambelten Daten, in einem Emp-
10 fänger, wobei die Daten aus einem analogen Signal gewonnen
werden, welches durch die Übertragung über die Übertragungs-
strecke verzerrt und gedämpft worden ist. Darüber hinaus be-
trifft die vorliegende Erfindung eine entsprechend ausgestal-
tete Vorrichtung.

15

Bei digitalen Festnetz-Übertragungssystemen werden digitale
Daten in Form von rechteck- oder trapezförmigen Impulsen in
ein Übertragungskabel, üblicherweise ein Kupferkabel oder ein
Glasfaserkabel, eingespeist und am anderen Ende des Kabels
20 mit einem Empfänger empfangen. Dabei wird das Datensignal in-
folge der Übertragung bezüglich der Amplitude gedämpft sowie
bezüglich der Phasenlage und der Gruppenlaufzeit verzerrt,
wobei es zusätzlich durch nieder- und hochfrequente Störer
überlagert werden kann. Das am Empfänger ankommende verzerrte
25 Signal muss demzufolge in dem Empfänger verstärkt und ent-
zerrt werden, ehe ein Rekonstruieren bzw. eine Rückgewinnung
der in Form des Signals übertragenen Daten möglich ist. Hier-
zu umfassen bekannte Empfänger einen eingangsseitigen Ver-
stärker, einen dem Verstärker nachgeschalteten Entzerrer
30 ("Equalizer"), einen Taktrückgewinnungsschaltkreis zum Rege-
nerieren des Takts der gesendeten Daten und einen Datenrück-
gewinnungsschaltkreis zum Rückgewinnen der ursprünglich über-
tragenen Daten, wobei von dem Datenrückgewinnungsschaltkreis
ein zu dem regenerierten Takt synchroner Datenstrom geliefert
35 wird.

2

In bekannten Empfängern wird zum Rekonstruieren von Daten aus einem analogen Signal, welches durch die Übertragung über eine Übertragungsstrecke verzerrt und gedämpft worden ist, herkömmlicherweise überwiegend analoge Schaltungstechnik eingesetzt. Ein entsprechendes Beispiel für einen derartigen auf analoger Schaltungstechnik basierenden Empfänger ist in Figur 3 dargestellt.

Der Empfänger umfasst einen einstellbaren bzw. programmierbaren Verstärker 1 ("Variable Gain Amplifier", VGA), der ein ihm zugeführtes Datensignal DATA verstärkt. Dem Verstärker 1 ist ein Entzerrer 2 nachgeschaltet. Der Entzerrer 2 umfasst ein analoges Antialiasing-Tiefpass-Filter ("Low Pass Filter", LP), welches gleichzeitig zum Unterdrücken von Nebensprechen ("Crosstalk") sowie von Rauschanteilen verwendet werden kann. Der Ausgang dieses Antialiasing-Tiefpass-Filters 3 ist über ein weiteres analoges Tiefpass-Filter 5 zur Offsetunterdrückung rückgekoppelt, wobei die Verstärkung des Verstärkers 1 in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal dieses weiteren Tiefpass-Filters 5 eingestellt wird. Des weiteren umfasst der Entzerrer 2 ein analoges Kabelapproximations-Filter 9 ("APPROX") zur Kompensation der auf dem jeweiligen Übertragungskanal bzw. der jeweiligen Übertragungsstrecke auftretenden Verzerrung. Das von dem Kabelapproximations-Filter 9 gelieferte Ausgangssignal wird von einem Pegel- oder Level-Detektor 23 ("LEVDET") hinsichtlich seiner Amplitude bewertet und davon abhängig eine Entzerrer-Steuereinheit 10 ("Equalizer Control", EQC) angesteuert, um die Koeffizienten des Kabelapproximations-Filters 9 in diskreten Schritten an die Übertragungsfunktion der jeweiligen Übertragungsstrecke bestmöglich anzupassen und im Empfängerpfad des in Figur 3 dargestellten Empfängers die inverse Übertragungsfunktion der Übertragungsstrecke möglichst genau nachzubilden. Von einem weiteren Schaltungsblock 22 ("Analog Loss", ALOSS) wird die Amplitude des von dem Kabelapproximations-Filter 9 ausgegebenen analogen Signals überprüft und für den Fall, dass ein vorgegebener Amplitudengrenzwert nicht überstiegen wird, er-

kannt, dass kein für eine zuverlässige Datenrückgewinnung bzw. Datenrekonstruktion ausreichender analoger Signalpegel vorhanden ist. Die Daten- und Taktrückgewinnung erfolgt durch eine als "Clock and Data Recovery Unit" (CDR) bezeichnete
5 Einheit 18 in Kombination mit einem Phasenregelkreis ("Phase Locked Loop", PLL) 14. Von der Einheit 18 wird der Takt CLK des ursprünglich gesendeten Signals wiedergewonnen bzw. regeneriert und ein zu diesem Takt CLK synchroner Datenstrom DATA ausgegeben.

10 Bei der Ausgestaltung des Empfängers müssen verschiedene Kriterien berücksichtigt werden, welche sich aus dem jeweils angewendeten Übertragungsstandard ergeben. So muss die Takt-
rückgewinnung auch bei Datenfolgen funktionieren, welche lange
15 Nullfolgen aufweisen, wie z.B. PRBS-Sequenzen ("Pseudo Random Binary Sequence") mit bis zu 14 aufeinanderfolgenden Nullen. Ebenso muss die jeweils vorgegebene Jittertoleranz erfüllt werden. Schließlich sollte der Empfänger auch derart
ausgelegt sein, dass nichtgescrambelte Daten, d.h. rein stochastische Daten, rekonstruiert werden können (beim Scrambling wird ein Datenstrom nach einem festgelegten mathematischen Polynom verwürfelt, wobei diese Technik der Vermeidung
20 von gleichbleibenden Signalmustern dient und für eine gleichmäßigere Verteilung der Signalenergie über den gesamten Frequenzbereich sorgt).

Ein Nachteil der in Figur 3 gezeigten herkömmlichen analogen Realisierung ist insbesondere, dass die eingestellten Pol- und Nullstellen des verwendeten Tiefpass-Filters 3 und des
30 Kabelapproximations-Filters 9 von parasitären Pol- und Nullstellen beeinflusst werden, wodurch sich die ideale Adaptionsfunktion des Empfängers entsprechend verfälscht.

Weiterhin ist eine derartige analoge Realisierung zur Entzerrung und Rekonstruktion von Daten anfällig gegenüber Fertigungstoleranzen und applikativen Varianten des Übertragungskanals. Zusätzlich können Temperaturgradienten und mechani-

sche Gradienten die empfindlichen Schaltungen im Empfänger in ihrer Funktionsgüte einschränken und somit eine fehlerfreie Rückerkennung der gedämpften und verzerrten Signale beeinträchtigen.

5

Bei analogen Realisierungen ist darüber hinaus die Anzahl der Koeffizientensätze für das Kabelapproximations-Filter 9 beschränkt, womit auch die Güte der Kabelapproximation begrenzt ist. Die aus einer Systemsimulation ermittelten Koeffizienten des Kabelapproximations-Filter 9 sind nur für einen bestimmten Kabeltyp bei einer gegebenen Applikationsbedingung ideal. Varianten in den Applikationsbedingungen, wie z.B. verschiedene Kabellängen und unterschiedliche Temperaturen etc., führen oftmals zu einer fehlerhaften Datenerkennung und somit zu höheren Bitfehlerraten.

15

Schließlich ist auch zu bemerken, dass in einem kabelgebundenen Übertragungssystem insbesondere bei großen Kabellängen bzw. allgemein bei hoher Kabeldämpfung durch die sogenannte \sqrt{f} -Charakteristik, d.h. durch die Abhängigkeit der Kabeldämpfung von der Frequenz und der Kabellänge, der Abstand von einem Stützpunkt und somit von einem Koeffizientensatz zum nächsten Stützpunkt und somit zum nächsten Koeffizientensatz entscheidend für die Bitfehlerrate ist. Ist der Abstand zwischen zwei Stützpunkten in der jeweils gewählten Übertragungsstrecke bei hoher Kabeldämpfung zu groß, steigt die Bitfehlerrate für Zwischenwerte zu den beiden benachbarten Stützpunkten überproportional an. Um dieser Eigenschaft entgegenzuwirken, muss der Abstand zwischen zwei benachbarten Stützpunkten in der Übertragungsstrecke und somit der Abstand zwischen den Koeffizientensätzen der beiden benachbarten Stützpunkte zu hohen Kabeldämpfungen hin verringert und demzufolge die Anzahl der Stützpunkte erhöht werden. Aufgrund der zuvor erläuterten parasitären Einflüsse und Eigenschaften von analogen Realisierungen zur Entzerrung eines über die jeweilige Übertragungsstrecke empfangenen und dabei gedämpften

30

35

und verzerrten Signals ist dies bei analogen Realisierungen nur unzureichend realisierbar.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Rekonstruieren von über eine Übertragungsstrecke übertragenen Daten bereitzustellen, womit die Qualität der Entzerrung und Datenrekonstruktion mit geringem Aufwand verbessert werden kann. Dabei soll mit Hilfe der vorliegenden Erfindung insbesondere die Rekonstruktion von nichtgescrambelten Daten möglich sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 21 gelöst. Die Unteransprüche definieren jeweils bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

Erfindungsgemäß wird das von dem Empfänger empfangene und über die jeweilige Übertragungsstrecke übertragene Signal zunächst mit einem vorzugsweise programmierbaren bzw. einstellbaren Verstärker verstärkt und anschließend mit Hilfe eines Analog/Digital-Wandlers diskretisiert, um ein entsprechendes digitales Signal zu erhalten. Anschließend wird dieses digitale Signal mit Hilfe eines digitalen Hochpass-Filters zur Unterdrückung von Rauschanteilen unterhalb des niedrigsten spektralen Anteils des Nutzsignals (sowie gegebenenfalls zur Offset- und Gleichanteilunterdrückung) gefiltert und einem digitalen Kabelapproximations-Filter zugeführt, welches als FIR- oder IIR-Filter realisiert sein kann und zur Kompensation der auf der jeweiligen Übertragungsstrecke (beispielsweise durch das Übertragungskabel oder einen senderseitigen Transformator etc.) auftretenden Kanalverzerrung dient. Von diesem digitalen Kabelapproximations-Filter wird somit ein entzerrtes digitales Signal bereitgestellt, aus dem die ursprünglich über die Übertragungsstrecke übertragenen Daten rückgewonnen werden können.

Vor der Analog/Digital-Umsetzung kann das verstärkte Empfangssignal einer analogen Tiefpass-Filterung unterzogen werden, wobei das entsprechende analoge Tiefpass-Filter einerseits als Antialiasing-Filter dient und andererseits gleichzeitig Nebensprechen ("Crosstalk") und Rauschanteile unterdrücken kann. Der Analog/Digital-Wandler wird vorzugsweise mit einer relativ geringen Überabtastrate betrieben, wobei das von dem einstellbaren Verstärker verstärkte Empfangssignal mit einer Frequenz im Bereich der Nyquistfrequenz (entsprechend der doppelten Datenrate) oder sogar einer niedrigeren Frequenz abgetastet werden kann. Zur Einstellung der Bandbegrenzung des zu diskretisierenden Signals wird für den eingangsseitigen analogen Tiefpass-Filter eine Filtertuning zur Polstabilisierung durchgeführt, wobei die Filtertuning bzw. die Pollage des analogen Tiefpass-Filters mit der Daten- bzw. Symbolrate in Abhängigkeit von dem jeweils verwendeten Übertragungsstandard automatisch mitgeführt wird.

Das Ausgangssignal des digitalen Kabelapproximations-Filters kann von einer Entzerrer-Steuereinheit ausgewertet werden, welche davon abhängig die für eine bestmögliche Kompensation der Kanalverzerrung geeigneten Filterkoeffizienten für das digitale Kabelapproximations-Filter auswählt sowie die Verstärkung des eingangsseitigen Verstärkers einstellt.

Das von dem digitalen Kabelapproximations-Filter bereitgestellte digitale Signal wird vorzugsweise einer linearen Interpolation unterzogen, um die Datenrate zur Verbesserung der nachfolgenden Taktrückgewinnung zu erhöhen. Vorzugsweise ist diese lineare Interpolation mit einer Tiefpass-Filterung kombiniert, um durch die Interpolation entstehende Frequenzanteile oberhalb der Nutzfrequenz auszufiltern. Aus dem auf diese Weise aufbereiteten digitalen Signal wird mit Hilfe eines Phasenregelkreises durch Verwendung eines digital gesteuerten Oszillators der Takt des ursprünglichen Sendesignals regeneriert und mit Hilfe einer Ausgangsdatensynchronisation

ein Datenstrom mit den ursprünglich übertragenen Daten synchron zu diesem regenerierten Takt ausgegeben.

5 Zwischen dem digitalen Hochpass-Filter und dem digitalen Kabelapproximations-Filter kann ein zusätzliches digitales Tiefpass-Filter zur Bandbegrenzung des Eingangssignals und zum Unterdrücken von Nebensprechen und von Rauschanteilen vorgesehen sein. Das digitale Hochpass-Filter ist hingegen insbesondere unmittelbar nach dem Analog/Digital-Wandler vorgesehen, ohne dass zwischen dem Analog/Digital-Wandler und dem digitalen Hochpass-Filter beispielsweise eine Tiefpass-Filterung oder Dezimation durchgeführt wird.

15 Hinsichtlich des Analog/Digital-Wandlers kann eine Übersteuerung am Eingang dieses Analog/Digital-Wandlers erfasst werden, um über die zuvor genannte Entzerrer-Steuereinheit entsprechend die Verstärkung des eingangsseitigen einstellbaren Verstärkers zu steuern, wodurch zusätzlich die Bitfehlerrate verbessert werden kann.

20

Die meisten Elemente des erfindungsgemäßen Empfängers sind in digitaler Schaltungstechnik implementiert. Durch die damit einhergehende Reduzierung der analogen Komponenten kann eine weitgehende Unabhängigkeit von Fertigungstoleranzen und eine leichte Übertragbarkeit auf andere Technologien erzielt werden. Die Filterkoeffizienten des digitalen Kabelapproximations-Filters können in einem Speicher, beispielsweise einem ROM- oder RAM-Speicher, abgelegt werden, so dass das digitale Kabelapproximations-Filter auch nachträglich im Betrieb an unterschiedliche Charakteristiken der Übertragungsstrecke bzw. des Übertragungskabels angepasst werden kann, was bei analogen Lösungen grundsätzlich nicht möglich ist. Aufgrund der Anwendung digitaler Schaltungstechnik ist allgemein eine weitgehende Parametrisierbarkeit und damit eine leichte Anpassung auch während des laufenden Betriebs dieser digitalen Schaltungskomponenten gegeben. Dies betrifft neben dem zuvor erwähnten Kabelapproximations-Filter beispielsweise auch die

25
30
35

in dem Empfänger vorgesehenen Signaldetektoren, die Entzerrer-Steuereinheit sowie allgemein die in dem Empfänger verwendeten digitalen Filter. Darüber hinaus kann mit Hilfe der vorliegenden Erfindung die Verträglichkeit des Empfängers gegenüber Eingangs-Jitter verbessert werden. Zur internen Signalverarbeitung sind keine hohen Taktraten erforderlich. Die Überabtastung des Empfangssignals durch den Analog/Digital-Wandler kann somit bis auf eine Überabtastrate von z.B. 1,6 reduziert werden.

Durch eine zusätzliche Dezimation des dem Kabelapproximations-Filter zugeführten und hochpassgefilterten digitalen Signals kann der Schaltungsaufwand hinsichtlich benötigter Schaltungsfläche und Stromverbrauch für dieses digitale Kabelapproximations-Filter deutlich reduziert werden. Durch die zuvor beschriebene Reihenfolge und Kombination der Schaltungsblöcke (Analog/Digital-Wandler, digitales Hochpass-Filter, digitales Tiefpass-Filter, digitales Kabelapproximations-Filter und Interpolator) kann sowohl die Anforderung einer hohen zeitlichen Auflösung bei der Datenrückgewinnung als auch die Anforderung eines minimalen Schaltungsaufwandes für das digitale Kabelapproximations-Filter erfüllt werden. Die vorgeschlagene weitgehend digitale Realisierung des Empfängers stellt somit eine Optimierung der Anforderungen einer hohen zeitlichen Auflösung in der als "Clock and Data Recovery Unit" bezeichneten Einheit zur Daten- und Taktrückgewinnung sowie der Anforderung eines minimalen Schaltungsaufwandes dar. Zudem können mit Hilfe der vorliegenden Erfindung nichtgescrambelte Daten verarbeitet werden. Bekannte Verfahren der digitalen Signalverarbeitung, welche gescrambelte Daten voraussetzen (wie z.B. bei DSL-Übertragungssystemen ("Digital Subscriber Line")) konnten bei der Lösung der eingangsgestellten Aufgabe nicht eingesetzt werden, da aufgabengemäß insbesondere eine Rekonstruktion von nichtgescrambelten Daten durch die vorliegende Erfindung möglich sein soll. Darüber hinaus konnten bekannte Verfahren der digitalen Signalverarbeitung, welche Einfluss auf die zu sendenden Daten nehmen,

bei der Lösung der eingangs gestellten Aufgabe nicht eingesetzt werden, da dies aufgrund der Anforderungen einiger Datenübertragungsstandards (z.B. E1-/T1-/J1-/E3-/STS1-Standard) nicht möglich ist.

5

Die vorliegende Erfindung kann allgemein zum Rekonstruieren von über eine beliebige Übertragungsstrecke übertragene Daten in einem Empfänger eingesetzt werden. Vorzugsweise wird jedoch die vorliegende Erfindung zum Rekonstruieren von über
10 eine kabelgebundene Übertragungsstrecke, beispielsweise ein Kupfer- oder Glasfaserkabel, übertragenen Daten eingesetzt.

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend näher unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele erläutert.
15

Figur 1 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild eines vorwiegend digital realisierten Empfängers gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,
20

Figur 2 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild eines vorwiegend digital realisierten Empfängers gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, und

25 Figur 3 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild eines weitgehend analog realisierten Empfängers gemäß dem Stand der Technik.

Der in Figur 1 gezeigte Empfänger weist einen einstellbaren bzw. programmierbaren Verstärker 1 auf, dem das über die jeweilige Übertragungsstrecke bzw. das jeweilige Übertragungskabel empfangene Datensignal DATA zugeführt ist, um dieses zur Kompensation der Kabeldämpfung zu verstärken.
30

35 An den einstellbaren Verstärker 1 schließt sich ein Entzerrer 2 an, welcher eingangsseitig ein analoges Tiefpass-Filter 3 als Antialiasing-Filter aufweist, welches gleichzeitig als

Rauschfilter und zur Unterdrückung von Nebensprechen ("Cross-talk") verwendet wird. Ein Schaltungsblock 4 ("LPTUN") dient zum Filtertuning für das analoge Tiefpass-Filter 3, um eine Polstabilisierung des analogen Tiefpass-Filters 3 zu gewährleisten. Dabei wird das Filtertuning bzw. die Pollage des analogen Tiefpass-Filters 3 je nach Übertragungsstandard mit der Datenrate mitgeführt. Ein weiteres analoges Tiefpass-Filter 5 dient zur Offset-Unterdrückung und ist in einem Rückkopplungspfad, welcher den Ausgang des analogen Tiefpass-Filters 3 mit einem Steuereingang des einstellbaren Verstärkers 1 verbindet, angeordnet. In Abhängigkeit von dem Ausgangssignal des analogen Tiefpass-Filters 5 wird auf die Verstärkung des einstellbaren Verstärkers 1 eingewirkt.

Das von dem analogen Tiefpass-Filter tiefpassgefilterte analoge Datensignal wird einem Analog/Digital-Wandler 6 ("Analog/Digital Converter", ADC) zugeführt. Dieser Analog/Digital-Wandler 6 tastet das ihm zugeführte analoge Datensignal mit einer relativ geringen Überabtastrate ab, so dass das analoge Datensignal diskretisiert und ein entsprechendes digitales Datensignal erhalten wird. Die Abtastrate bzw. Abtastfrequenz des Analog/Digital-Wandlers 6 kann dabei vorzugsweise relativ gering gehalten werden und sich im Bereich der sogenannten Nyquistfrequenz befinden oder sogar geringer sein. So ist beispielsweise eine Überabtastung mit der 1,6- bis 2-fachen Signalfrequenz möglich. Der Analog/Digital-Wandler 6 kann in Form eines Sigma-Delta-Analog/Digital-Wandlers ausgestaltet sein, wobei die Abtastrate unter anderem von der zu implementierenden Ordnungszahl und dem Filtertyp des analogen Tiefpass-Filters 3 abhängig ist. Das analoge Tiefpass-Filter 3 kann beispielsweise als Butterworth- oder Besselfilter ausgestaltet sein, wobei ein Butterworthfilter gegenüber einem Besselfilter den Vorteil aufweist, dass bei gleicher Ordnung ein steilerer Verlauf des Frequenzgangs erzielt werden kann, wobei jedoch Butterworthfilter gegenüber Besselfilter eine nichtkonstante Gruppenlaufzeit und somit eine unsymmetrische Impulsantwort aufweisen.

Dem Analog/Digital-Wandler 6 ist unmittelbar ein digitales Hochpass-Filter 8 ("Highpass Filter", HP) nachgeschaltet, welches Rauschanteile bzw. Offset- und Gleichanteile unterhalb einer vorgegebenen unteren Grenzfrequenz, insbesondere unterhalb der kleinsten Spektralkomponente des Datensignals, unterdrückt.

Der Ausgang des digitalen Hochpass-Filters 8 ist mit einem weiteren digitalen Filter 9 verbunden, welches die während der Datenübertragung beispielsweise durch das Kabel oder einen senderseitigen Transformator etc. hervorgerufene Kanalverzerrung kompensiert und als FIR-Filter ("Finite Impulse Response") oder IIR-Filter ("Infinite Impulse Response") ausgestaltet sein kann. Das digitale Filter 9 kompensiert die Kanalverzerrung zur Nachbildung der inversen Übertragungsfunktion des Übertragungskanals und wird daher auch als Kabelapproximations-Filter bezeichnet.

Das digitale Ausgangssignal des digitalen Kabelapproximations-Filters 9 wird einer Entzerrer-Steuereinheit 10 zugeführt, welche in Abhängigkeit von der Signalamplitude die Verstärkung des einstellbaren Verstärkers 1 und die Filterkoeffizienten des digitalen Kabelapproximations-Filters 9 einstellt. Diese Filterkoeffizienten sind in einem Speicher 11, beispielsweise einem RAM- oder ROM-Speicher, hinterlegt und werden von der Entzerrer-Steuereinheit 10 zur möglichst optimalen Nachbildung der inversen Übertragungsfunktion des Übertragungskanals geeignet ausgewählt. Das von dem digitalen Kabelapproximations-Filter 9 ausgegebene entzerrte digitale Datensignal wird dazu verwendet, daraus die ursprüngliche Takt- und Rate sowie die ursprünglich gesendeten Daten wiederzugewinnen. Zu diesem Zweck wird bei dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel zur Verbesserung der nachfolgenden Takt- und Datenrückgewinnung die Datenrate des entzerrten Signals nach dem digitalen Kabelapproximations-Filter 9 durch eine Interpolationseinheit 13 erhöht. Dies ist notwendig, um zusätzli-

che Abtastwerte für das bereits entzerrte digitale Datensignal zu erzeugen und zusätzliche Phaseninformationen für die Daten- und Taktrückgewinnung zu erhalten. Die Interpolationsart (linear, quadratisch oder exponentiell) ist abhängig von der erwarteten Signalform zu wählen, während die Interpolationsanordnung in Abhängigkeit von den benötigten Abtastwerten und somit der minimal benötigten zusätzlichen Phaseninformation zu wählen ist. Die digitale Interpolationseinheit 13 ("INT") ist vorzugsweise um ein nachfolgendes digitales Tiefpass-Filter ergänzt, welche die durch die vorgeschaltete Interpolationseinheit entstandenen zusätzlichen Rauschkomponenten aus dem Nutz- bzw. Datensignal ausfiltert. Dieses digitale Tiefpass-Filter kann somit als Formfilter zur Unterdrückung von Quantisierungsrauschen aufgefasst werden, wobei sich die Ordnung dieses digitalen Tiefpass-Filters am Grad und an der Ordnung der Interpolation orientiert.

Von einer Einheit 7 (OVDET) wird eine Übersteuerung des Signaleingangs des Analog/Digital-Wandlers 6 erfasst und davon abhängig über die Entzerrer-Steuereinheit 10 auf den einstellbaren Verstärker 1 eingewirkt.

Das auf zuvor beschriebene Art und Weise aufbereitete und entzerrte Datensignal wird einem Schaltungsblock zugeführt, welcher die Funktion des in Figur 3 dargestellten Phasenregelkreises 14 sowie der in Figur 3 dargestellten Takt- und Datenrückgewinnungseinheit 18 wahrnimmt. Die Regelschleife des Phasenregelkreises umfasst einen gesteuerten Dezimierer 15 ("Decimator", DEC) bzw. Frequenzteiler, einen Phasendetektor 17 ("Phase Detector", PD) sowie eine Einrichtung zur Regelung des Takt- bzw. Phasenregelverhaltens mit einem sogenannten "Timing Loop"-Filter 21 (TLF) und einem digital gesteuerten Oszillator 20 ("Digitally Controlled Oscillator", DCO). Der Phasendetektor 17 ermittelt den Phasenfehler der detektierten Daten bezogen auf den rückgewonnenen Takt CLK und steuert davon abhängig das "Timing Loop"-Filter 21 an, welches wiederum zur Einstellung des Taktregelverhaltens den

Dezimierer 15 entsprechend ansteuert. Zudem ist bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ein Amplitudendetektor 16 ("Peak Detector", PEAKDET) zur Nachregelung eines in dem Phasendetektor 17 verwendeten Amplituden-Schwellenwerts vorgesehen. Der von dem "Timing Loop"-Filter 21 angesteuerte Oszillator 20 erzeugt den regenerierten Takt CLK, welcher auch einer Synchronisationseinheit 19 (SYNC) zur Durchführung einer Ausgangssdatensynchronisation zugeführt ist, wobei diese Synchronisationseinheit 19 synchron zu dem regenerierten Takt CLK des digital gesteuerten Oszillators 20 einen Datenstrom mit den rekonstruierten bzw. rückgewonnenen Daten DATA ausgibt.

Der Dezimierer 15 der zuvor beschriebenen Phasenregelschleife reduziert die Taktrate, was eine Verringerung des Flächenbedarfs und der Leistungsaufnahme der nachfolgenden Schaltungskomponenten zur Folge hat. Darüber hinaus kann die Tiefpass-Charakteristik des Dezimierers 15 zur zusätzlichen Unterdrückung von Rauschkomponenten ausgenutzt werden.

In Figur 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Empfängers dargestellt, wobei diejenigen Schaltungskomponenten, welche den bereits in Figur 1 gezeigten Schaltungskomponenten entsprechen, mit denselben Bezugszeichen versehen sind. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird bezüglich dieser Schaltungskomponenten auf die vorhergehende Beschreibung verwiesen.

Bei dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel wird das von dem digitalen Hochpass-Filter 8 ausgegebene und hochpassgefilterte digitale Signal nicht direkt dem digitalen Kabelapproximations-Filter 9, sondern über ein digitales Tiefpass-Filter 12 zugeführt. Dieses digitale Tiefpass-Filter 12 dient zur Unterdrückung von Nebensprechen und Rauschanteilen zur Bandbegrenzung des Eingangssignals. Ansonsten entspricht das in Figur 2 dargestellte Ausführungsbeispiel dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel, wobei allerdings in Figur 2

die in Figur 1 gezeigte Filtertuningeinheit 4 nicht gezeigt ist, um anzudeuten, dass der gewünschte Effekt nicht unbedingt einen separaten Schaltungsblock für ein aktives Filtertuning voraussetzt, sondern auch durch andere dem Fachmann
5 geläufige Maßnahmen erzielt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Rekonstruieren von über eine Übertragungs-
strecke übertragenen Daten in einem Empfänger,
5 umfassend die Schritte:
 - a) Verstärken eines von dem Empfänger über die Übertragungs-
strecke empfangenen und den übertragenen Daten entsprechenden
Signals,
 - b) Diskretisieren des im Schritt a) verstärkten Signals mit
10 Hilfe eines Analog/Digital-Wandlers (6), um ein entsprechen-
des digitales Signal zu erhalten,
 - c) Filtern des in Schritt b) erhaltenen digitalen Signals mit
Hilfe eines digitalen Hochpass-Filters (8),
 - d) Kompensieren einer durch die Übertragung über die Übertra-
15 gungsstrecke auftretenden Verzerrung des Signals mit Hilfe
eines digitalen Filters (9), dem das in Schritt c) hochpass-
gefilterte digitale Signal zugeführt wird, um ein entspre-
chendes entzerrtes digitales Signal zu erhalten, und
 - e) Rückgewinnen der ursprünglich über die Übertragungsstrecke
20 übertragenen Daten aus dem im Schritt d) erhaltenen entzerr-
ten digitalen Signal.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
25 dass im Schritt b) zum Diskretisieren des im Schritt a) ver-
stärkten Signals dieses mit einer Abtastfrequenz abgetastet
wird, welche kleiner als die Nyquistfrequenz dieses Signals
ist.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zwischen den Schritten a) und b) das verstärkte Signal
mit Hilfe eines analogen Tiefpass-Filters (3) gefiltert wird.
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das im Schritt a) verstärkte Signal mit Hilfe des analogen Tiefpass-Filters (3) zum Unterdrücken von Antialiasing gefiltert wird.

5 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass das von dem analogen Tiefpass-Filter (3) ausgegebene Signal zur Offset-Unterdrückung mit Hilfe eines weiteren analogen Tiefpass-Filters (5) gefiltert wird, wobei das von diesem
10 weiteren analogen Tiefpass-Filter (5) ausgegebene Signal zur Einstellung der Verstärkung, mit welcher das von dem Empfänger empfangene Signal im Schritt a) verstärkt wird, verwendet wird.

15 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3-5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Lage von Polen des analogen Tiefpass-Filters (3) kontinuierlich in Abhängigkeit von der Datenrate des von dem Empfänger empfangenen Signals eingestellt wird.

20 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass im Schritt b) als Analog/Digital-Wandler (6) ein Sigma-Delta-Analog/Digital-Wandler verwendet wird.

25 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass im Schritt c) das digitale Signal mit Hilfe des digitalen Hochpass-Filters (8) zur Unterdrückung von Rauschanteilen
30 unterhalb einer minimalen spektralen Komponente dieses digitalen Signals gefiltert wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
35 dass zwischen den Schritten c) und d) eine Tiefpass-Filterung des von dem digitalen Hochpass-Filter (8) ausgegebenen digi-

talen Signals mit Hilfe eines digitalen Tiefpass-Filters (12) zugeführt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Tiefpass-Filterung zur Unterdrückung von Nebensprechen und Rauschanteilen in dem von dem digitalen Hochpass-Filter (8) ausgegebenen digitalen Signal durchgeführt wird.

10 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verstärkung, mit welcher das von dem Empfänger empfangene Signal im Schritt a) verstärkt wird, sowie Filterkoeffizienten des im Schritt d) verwendeten digitalen Filters
15 (9) in Abhängigkeit von dem im Schritt d) erhaltenen entzerrten Signal eingestellt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
20 dass verschiedene Filterkoeffizientensätze für das im Schritt d) verwendete digitale Filter (9) gespeichert werden, wobei in Abhängigkeit von der Amplitude des im Schritt d) erhaltenen entzerrten digitalen Signals jeweils ein gültiger Filterkoeffizientensatz für das im Schritt d) verwendete digitale
25 Filter (9) ausgewählt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass eine Übersteuerung am Eingang des im Schritt b) verwendeten Analog/Digital-Wandlers (6) erfasst und davon abhängig
30 die Verstärkung, mit welcher im Schritt a) das von dem Empfänger empfangene Signals verstärkt wird, eingestellt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das im Schritt b) erhaltene digitale Signal des Analog/Digital-Wandlers (6) mit unveränderter Taktrate dem digitalen Hochpass-Filter (8) zugeführt wird.

- 5 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass das im Schritt d) erhaltene entzerrte digitale Signal
zur Erhöhung der Taktrate vor Durchführung des Schritts e)
interpoliert wird.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass das im Schritt d) erhaltene entzerrte digitale Signal
nach Durchführung der Interpolation und vor Durchführung des
15 Schritts e) mit Hilfe eines digitalen Tiefpass-Filters (13)
gefiltert wird.
- 20 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass im Schritt e) unter Verwendung eines Phasenregelkreises
(14) ein Signaltakt (CLK) regeneriert und synchron dazu die
rückgewonnenen Daten (DATA) ausgegeben werden.
- 25 18. Verfahren nach Anspruch 17 und Anspruch 15 oder 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass das interpolierte entzerrte digitale Signal in dem Pha-
senregelkreis zur Reduzierung der Taktrate dezimiert wird.
- 30 19. Verfahren nach Anspruch 18,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Dezimierung des interpolierten entzerrten digitalen
Signals über ein digitales Filter (21) des Phasenregelkreises
geregelt wird.
- 35 20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass der Phasenregelkreis einen Phasendetektor (17) aufweist, welcher in Abhängigkeit von der Amplitude des dezimierten und interpolierten entzerrten digitalen Signals nachgeregelt wird.

5

21. Vorrichtung zum Rekonstruieren von über eine Übertragungsstrecke übertragenen Daten,

- a) mit einem Verstärker (1) zum Verstärken eines über die Übertragungsstrecke empfangenen und den übertragenen Daten
10 entsprechenden Signals (DATA),
b) mit einem Analog/Digital-Wandler (6) zum Diskretisieren des von dem Verstärker (1) verstärkten Signals, um ein entsprechendes digitales Signal zu erhalten,
c) mit einem dem Analog/Digital-Wandler (6) nachgeschalteten
15 digitalen Hochpass-Filter (8) zum Filtern des digitalen Signals,
d) mit einem dem digitalen Hochpass-Filter (8) nachgeschalteten weiteren digitalen Filter (9) zur Kompensation einer durch die Übertragung über die Übertragungsstrecke auftretenden Verzerrung des Signals, um ein entzerrtes digitales Signal zu erhalten, und
20 e) mit einer Datenrückgewinnungseinheit (14, 18) zum Rückgewinnen der ursprünglich über die Übertragungsstrecke übertragenen Daten aus dem von dem digitalen Filter (9) ausgegebenen
25 entzerrten digitalen Signal.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass der Analog/Digital-Wandler (6) das von dem Verstärker
30 (1) ausgegebene verstärkte Signal zum Diskretisieren mit einer Abtastfrequenz abtastet, welche kleiner als die Nyquistfrequenz dieses Signals ist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22,

35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zwischen dem Verstärker (1) und dem Analog/Digital-Wandler (6) ein analoges Tiefpass-Filter (3) angeordnet ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Verstärker (1) einstellbar ist, und
5 dass mit dem Ausgang des analogen Tiefpass-Filters (3) ein
weiteres analoges Tiefpass-Filter (5) verbunden ist, dessen
Ausgangssignal die Verstärkung des Verstärkers (1) einstellt.

25. Vorrichtung nach Anspruch 23 oder 24,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass Mittel (4) zum kontinuierlichen Einstellen der Lage von
Polen des analogen Tiefpass-Filters (3) in Abhängigkeit von
der Datenrate des dem Verstärker (1) zugeführten Signals vor-
gesehen sind.

15 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 - 25,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zwischen dem digitalen Hochpass-Filter (8) und dem zur
Kompensation einer Verzerrung des Signals vorgesehenen digi-
20 talen Filter (9) ein digitales Tiefpass-Filter (12) vorgese-
hen ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 - 26,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
25 dass der Verstärker (1) einstellbar ist, und
dass Steuermittel (10) zum Einstellen der Verstärkung des
Verstärkers (1) in Abhängigkeit von dem von dem digitalen
Filter (9) ausgegebenen entzerrten digitalen Signal vorgese-
hen sind.

30 28. Vorrichtung nach Anspruch 27,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass Speichermittel (11) zum Speichern mehrerer Filterkoeffi-
zientensätze für das digitale Filter (9) vorgesehen sind, und
35 dass die Steuermittel (10) derart ausgestaltet sind, dass sie
in Abhängigkeit von dem entzerrten digitalen Signal des digi-
talen Filters (9) einen gültigen Filterkoeffizientensatz aus

21

den Speichermitteln (11) für das digitale Filter (9) auswählen.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 - 28,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Verstärker (1) einstellbar ist, und
dass Mittel (7) zum Erfassen einer Übersteuerung am Eingang
des Analog/Digital-Wandlers (6) und zum Einstellen der Ver-
stärkung des Verstärkers (1) davon abhängig vorgesehen sind.

10

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 - 29,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zwischen dem digitalen Filter (9) und der Datenrückge-
winnungseinheit (14, 18) ein Interpolator (13) zum Interpo-
15 lieren des von dem digitalen Filter (9) ausgegebenen entzerr-
ten digitalen Signals zur Erhöhung der Taktrate vorgesehen
ist.

31. Vorrichtung nach Anspruch 30,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zwischen dem Interpolator und der Datenrückgewinnungs-
einheit (14, 18) ein digitales Tiefpass-Filter vorgesehen
ist.

25 32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 - 31,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Datenrückgewinnungseinheit einen Phasenregelkreis
(14) zur Erzeugung eines dem empfangenen Signal entsprechen-
den Takts (CLK) und zum Ausgeben der rückgewonnenen Daten
30 (DATA) synchron zu diesem Takt (CLK) aufweist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32 und Anspruch 30 oder 31,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Phasenregelkreis (14) einen Dezimierer (15) zur Re-
35 duzierung der Taktrate des von dem Interpolator (13) ausgege-
benen Signals aufweist.

34. Vorrichtung nach Anspruch 33,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Phasenregelkreis (14) einen Phasendetektor (17) und
ein digitales Filter (21), dem das Ausgangssignal des Phasen-
5 detektors (17) zugeführt ist, aufweist, und
dass ein Ausgangssignal dieses digitalen Filters (21) dem De-
zimierer (15) zur entsprechenden Steuerung des Dezimierers
zugeführt ist .

10 35. Vorrichtung nach Anspruch 34,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass Mittel (16) zur Nachregelung des Phasendetektors (17) in
Abhängigkeit von dem Ausgangssignal des Dezimierers (15) vor-
gesehen sind.

FIG 1

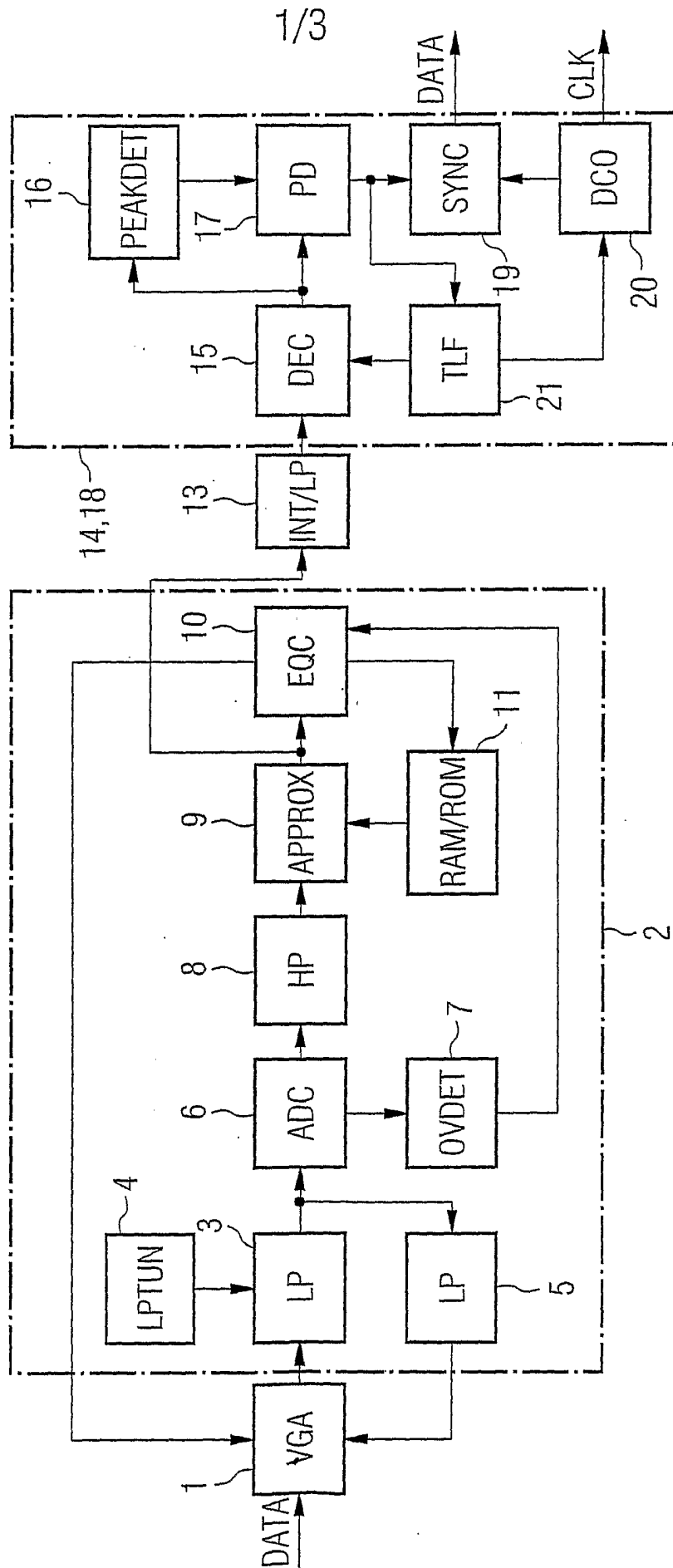


FIG 2

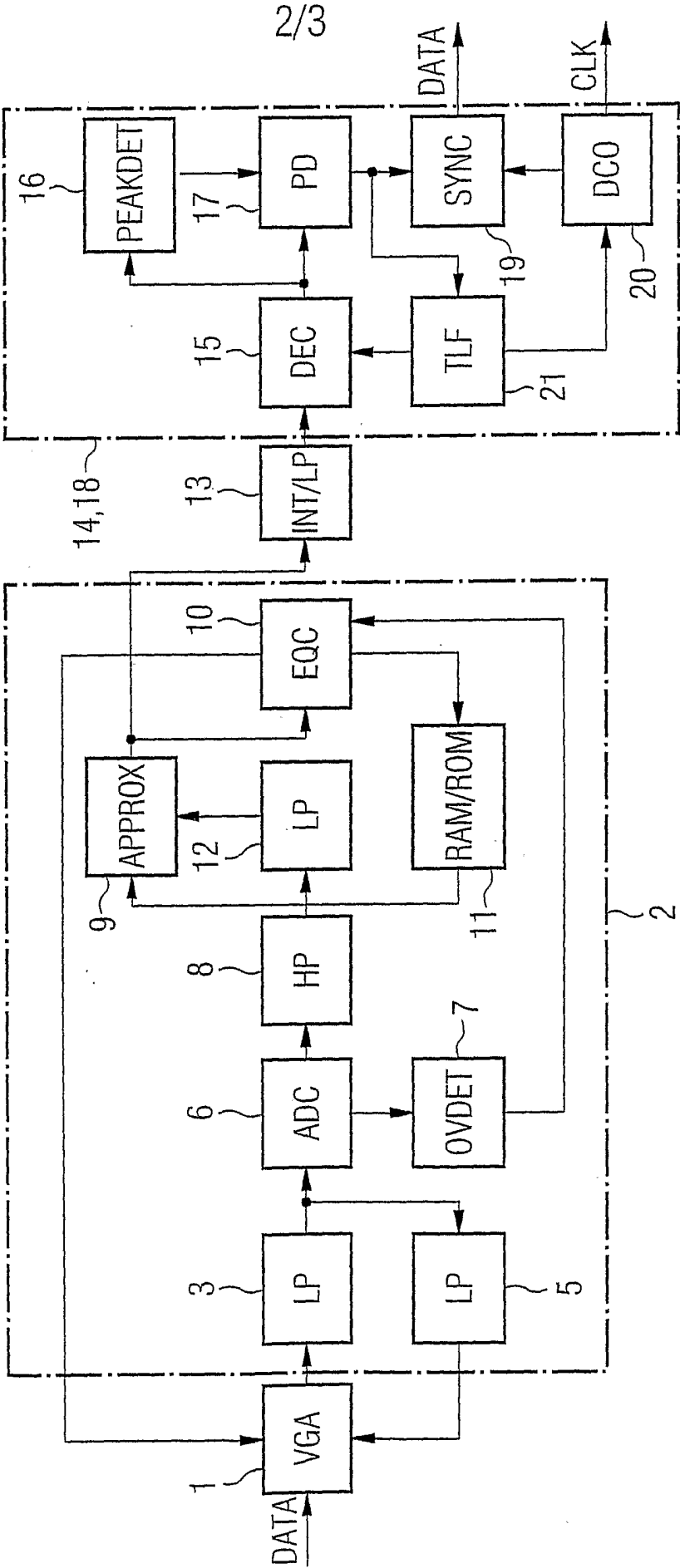


FIG 3

(Stand der Technik)

