



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 101 57 680 B4 2004.05.06**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 57 680.3**  
 (22) Anmeldetag: **24.11.2001**  
 (43) Offenlegungstag: **12.06.2003**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **06.05.2004**

(51) Int Cl.7: **H04L 12/40**  
**G08C 15/00, B60R 16/02**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

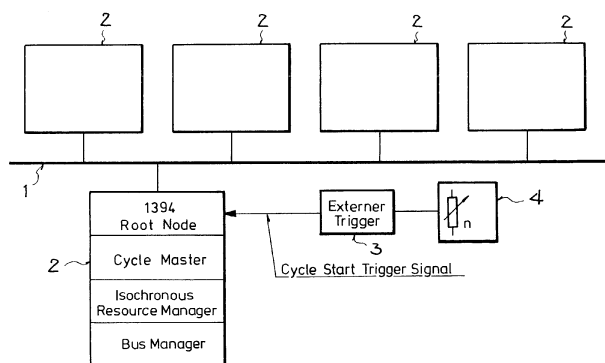
(71) Patentinhaber:  
**DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Winter, Werner, 89077 Ulm, DE; Schmitzfranz,  
 Bernd-Heinrich, Dipl.-Ing., 73733 Esslingen, DE;  
 Seefried, Volker, Dipl.-Ing., 73732 Esslingen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 100 00 302 A1**  
**US 50 52 029**

(54) Bezeichnung: **Winkelsynchrones Bussystem, insbesondere für Kraftfahrzeuge**

(57) Hauptanspruch: Bussystem zur Steuerung von Anwendungen im Bereich von rotierenden Systemen mit variabler Drehzahl, wobei über eine Datenbusleitung (1) mehrere Kommunikationseinheiten (2) miteinander verbunden sind, jede Kommunikationseinheit (2) einen Physical-Layer für den Anschluss an eine Datenbusleitung (1) und zur Steuerung des Buszugriffs entsprechend der im Physical-Layer implementierten Arbitrierung aufweist, und wobei das Bussystem einen Cycle-Master umfasst, der aus einer Triggerquelle ein auf die rotierende Welle mit variabler Drehzahl synchronisiertes Cycle-Start-Trigger-Signal erhält und aufgrund des Cycle-Start-Trigger-Signals durch Versenden von Cycle-Start-Paketen einen neuen Übertragungszyklus startet, in dem die Datenpakete der einzelnen Kommunikationseinheiten (2) über die Datenbusleitung (1) übertragbar sind, dass die Triggerquelle (3) eingangsseitig mit einem Drehzahlsensor (4) verbunden ist und die Cycle-Start-Trigger-Signale winkelsynchron zu dem vom Drehzahlsensor gemessenen Winkel erfolgen und dass die Zykluszeit entsprechend der Drehzahl der Welle variabel ist, dass eine der Kommunikationseinheiten (2) ein Kanalzuweisungsregister für die Festlegung des sequentiellen, kanalgebundenen Buszugriffs aufweist, wodurch jeder angeschlossenen Kommunikationseinheit (2) ein...



**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Erzeugnis mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs.

## Stand der Technik

[0002] Unter der Bezeichnung IEEE 1394 ist ein Standard für ein gemischtes zeitsynchrones/asynchrones Bussystem bekannt. Dieser Standard wird von Apple Computer unter der Markenbezeichnung FireWire und von der Sony Corp. unter der Markenbezeichnung i.Link angeboten. Eine Einführung in dieses Bussystem findet sich im Internet unter der Adresse <http://public.rz.fh-wolfenbuettel.de/~bermbach/research/firewire/> in dem Artikel „Grundlagen zum Thema "FireWire" (in Englisch)" von John Canosa.

[0003] Entsprechend dem IEEE 1394-Protokoll wird nach jedem Einschalten des Bussystems und nach jeder Veränderung des Bussystems eine Selbstidentifikation des Bussystems und seiner angeschlossenen Geräte ausgelöst und durchgeführt. Während der Selbstidentifikation werden die physikalischen Adressen der Kommunikationseinheiten sowie deren Einordnung in der Bushierarchie festgelegt. Die Einordnung in die Bushierarchie umfasst hierbei auch die Zuordnung der Kommunikationskanäle an die isochronen Kommunikationseinheiten. Dadurch, dass diese Selbstidentifikation auch bei jedem Neuanschluss einer weiteren oder einer ausgetauschten Kommunikationseinheit selbsttätig via IEEE 1394-Protokoll durchgeführt wird, ist das Bussystem hotplug-fähig.

[0004] Die Arbitrierung zur Regelung des Buszugriffs der angeschlossenen Kommunikationseinheiten ist entsprechend des IEEE 1394-Standards hardwaremäßig im sogenannten Physical-Layer einer jeden Kommunikationseinheit implementiert.

[0005] Nach der Selbstidentifikationsphase werden ausgewählten Knoten, also ausgewählten Kommunikationseinheiten, in der Bushierarchie die Funktionen Cycle-Master, Isochronous-Resource-Manager und Bus-Manager zugewiesen, mit denen die Kommunikation auf dem Bus gesteuert wird.

[0006] Der Cycle Master initiiert die Standard-gemäßen 125  $\mu$ s Zykluszeit. Der Root-Knoten in der Bushierarchie muss immer der Cycle-Master sein. Der Cycle-Master versendet in der Regel alle 125  $\mu$ s ein sogenanntes Cycle-Start-Paket mit dem der Zugriff der Kommunikationseinheiten auf den Bus synchronisiert wird. Dieses Cycle-Start-Paket kann Standard-gemäß durch einen asynchronen Buszugriff einer asynchronen Kommunikationseinheit verzögert werden.

[0007] Der Isochronous-Resource-Manager implementiert und verwaltet das

- Bus-Manager ID-Register, in dem die physikalischen Busadressen der Kommunikationseinheiten abgelegt sind,

- das Bus-Bandbreitenzuweisungsregister, in dem den vergebenen Kommunikationskanälen jeweils eine Bandbreite zugewiesen ist.

[0008] Isochrone Kommunikationseinheiten können im Bandbreitenzuweisungsregister entsprechend den jeweiligen Anforderungen Bandbreite reservieren und eintragen. Standard gemäß stehen eine maximale Bandbreite von 6144 Zuweisungseinheiten auf dem Bus zur Verfügung. Eine Zuweisungseinheit ist definiert als diejenige Zeit, die benötigt wird, um ein Datenquadlet mit 1600 Mbps zu übertragen. Wenn neben den isochronen Kommunikationseinheiten auch noch asynchrone Kommunikationseinheiten Buszugriff haben, werden gemäß Standard 20% der Bandbreite für den asynchronen Datentransfer reserviert, so dass dann für den isochronen Datentransfer eine maximale Bandbreite von 4915 Zuweisungseinheiten zur Verfügung steht, die auf die Kommunikationskanäle aufgeteilt werden kann.

[0009] Der Bus-Manager übernimmt verschiedene Funktionen, die der Optimierung des Bus-Verkehrs dienen. In einer Topology-Map speichert er die Bus-topologie entsprechend den Festlegungen in der Selbstidentifikationsphase. Zusätzlich speichert er in einer speed map die maximalen Übertragungsgeschwindigkeiten der angeschlossenen Kommunikationseinheiten. Der Bus-Manager überprüft außerdem, ob der Root-Knoten fähig ist, die Funktionen eines Cycle-Masters zu übernehmen. Falls an dem Bus keine Kommunikationseinheit angeschlossen ist, die die Funktionen eines Bus-Managers übernehmen kann, übernimmt der Isochronous-Resource-Manager die Funktion des Bus-Managers.

[0010] Das oben beschriebene Bussystem ist in der US 5,052,029 offenbart. Die US 5,052,029 ist das Ursprungspatent der Firma Apple Computer zu dem späteren IEEE 1394-Standard. In diesem Patent sind auch die Einzelheiten zum Ablauf der Kommunikation auf dem IEEE 1394-Bus beschrieben. In anderen Worten ist das IEEE 1394-Bussystem ein gemischtes isochrones/asynchrones System. Die Synchronisation erfolgt durch den Cycle-Master, der zu definierten Zeiten, die er von seiner internen Uhr ableitet, in der Regel alle 125  $\mu$ s ein sogenanntes Cycle-Start-Paket versendet. In den dadurch definierten 125  $\mu$ s-Zyklen können während der ersten 100  $\mu$ s auf reservierbaren isochronen Kanälen Daten versendet werden, während in den verbleibenden 25  $\mu$ s asynchrone Buszugriffe möglich sind.

[0011] Bei Steuerungs- oder regelungstechnischen Anwendungen im Bereich rotierender Systeme mit variabler Drehzahl, insbesondere Kurbelwellen von Verbrennungsmotoren oder Rotoren von Elektromotoren, müssen die Steuerungs- und oder Stellsignale oftmals in Abhängigkeit der aktuellen Winkelposition der jeweiligen Drehachse erfasst werden. Wird ein zeitproportionales, lineares Timing verwendet, so fällt bei der Verarbeitung der Steuerungs-, oder Stellsignale regelmäßig ein zusätzlicher Aufwand für die

Transformation der zeitabhängigen Information in die winkelabhängige Information an. Auf diese zusätzliche Transformation möchte man gerne verzichten.

[0012] Aus der DE 100 00 302 A1 ist ein Bussystem bekannt, welches bspw. zur winkelsynchronen Verarbeitung von Messwerten in der Motorsteuerung geeignet ist. Das Bussystem vernetzt mehrere Kommunikationseinheiten, wobei jede einen Physical-Layer aufweist, um an die Datenleitung des Datenbusses angeschlossen zu werden. Ein Cycle-Master versendet zyklisch ein Cycle-Start-Paket, welches den Beginn eines Basiszyklus angibt. Das Datenbussystem wird als TTCAN bezeichnet und ermöglicht eine ereignisabhängige Datenübertragung auf der Basis des asynchronen CAN-Protokolls.

[0013] Will man in vernetzten Systemen, insbesondere in einem Kraftfahrzeug mit einem Antriebsmotor und mehreren untereinander vernetzten Sensoren und Aktoren, die jeweils auf die Drehzahl des Motors winkelsynchron abgestimmt werden müssen, eine winkelsynchrone Datenübertragung mit garantiertem Buszugriff für die angeschlossenen Einheiten realisieren, so ist dies mit den bisher bekannten Bussystemen unmöglich. Typische heutige Bussysteme sind entweder asynchron, d.h. Übertragung ist zu jeder Zeit erlaubt, jedoch ist die Übertragung nicht garantiert, da ein Buszugriff zum erforderlichen Zeitpunkt nicht garantiert ist, isochron mit festem Takt oder Mischungen davon.

#### Aufgabenstellung

[0014] Ausgehend von dem vorbeschriebenen Stand der Technik stellt sich die erfindungsgemäße Aufgabe ein Bussystem mit variablem ereignisabhängigen Zeittakt anzugeben, mit dessen Hilfe es möglich ist Sensor- oder Aktordaten an einem Antriebsmotor winkelsynchron, abgestimmt auf die jeweils aktuelle Drehzahl des Antriebsmotors auf dem Bussystem zu übertragen.

[0015] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen enthalten. Die Lösung gelingt im wesentlichen dadurch, die feste Zykluszeit des IEEE 1394-Bussystems von 125  $\mu$ s aufzuheben und das Aussenden der Cycle-Start-Pakete an ein ereignisabhängiges, externes Triggersignal, z.B. von einem Drehwinkelsensor an der Antriebswelle eines Motors zu koppeln. Dies ist eine Abänderung des IEEE 1394-Standards. Durch die Kopplung der Versendezeiten der Cycle-Start-Pakete mit einem äußeren Ereignis, z.B. mit der Winkelgeschwindigkeit der Antriebswelle, werden die vormals isochronen Kanäle des IEEE 1394-Bussystems ereignissynchron oder z.B. winkelsynchron und erlauben dementsprechend eine garantierte ereignissynchrone bzw. winkelsynchrone Übertragung.

[0016] Mit der Erfindung werden hauptsächlich die folgenden Vorteile erzielt:

[0017] Bussysteme werden in Bordnetzen von Fahrzeugen bereits eingesetzt. Diese bekannten Bussysteme sind jedoch für die Übertragung von zeitkritischen, drehzahlabhängigen Steuerungsdaten untauglich. In heutigen Kraftfahrzeugen werden deshalb neben den Bussystemen unabhängige Signal- und Steuerungsnetze eingesetzt, mit denen z.B. das Motorsteuergerät die Kraftstoffeinspritzung oder die Kraftstoffzündung in Abhängigkeit der Kurbelwellenstellung steuert. Das erfindungsgemäße Bussystem ermöglicht nun auch die zeitgerechte, winkelsynchrone Übertragung drehzahlabhängiger Steuerdaten z.B. des Kurbelwellensensors an das Motorsteuergerät, sowie die zeitgerechte winkelsynchrone Übertragung der Steuerbefehle vom Motorsteuergerät zu den angeschlossenen, drehzahlabhängigen Baugruppen am Kraftfahrzeugmotor. Der Kraftfahrzeugmotor kann hierbei ein Verbrennungsmotor oder auch ein elektrischer Antriebsmotor sein. Bei einem elektrischen Wechselstrommotor steuert das Motorsteuergerät an Stelle des Verbrennungsvorgangs im Zylinder, das Auf- und Abkommutieren der einzelnen Antriebsstränge des Elektromotors sowie die Leistungsregelung in den einzelnen Antriebssträngen. Punkt-zu-Punkt-Signalnetze und Punkt-zu-Punkt-Steueretze können mit der Erfindung durch ein Bussystem ersetzt werden. Dadurch reduziert sich bei mehreren Kommunikationsteilnehmern, also bei mehreren Sensoren und bei mehreren Steuergeräten sowie mehreren Aktoren der Verkabelungsaufwand im Falle einer winkelsynchronen Datenübertragung erheblich.

[0018] Dadurch, dass lediglich die Versendezeiten der Cycle-Start-Pakete mit der Drehzahl der Antriebswelle eines Motors synchronisiert werden, bleiben bei der Erfindung in der Ausführungsform nach Anspruch 1 die vorteilhaften Eigenschaften des IEEE 1394-Standards, insbesondere die Fähigkeit zur Selbstkonfiguration erhalten. Angewandt in einem Kraftfahrzeug erhöht sich dadurch die Reparaturfreundlichkeit des Fahrzeuges deutlich. Einzelne Busteilnehmer können bei Störungen nämlich problemlos ausgetauscht werden. Auch Erweiterung durch den nachträglichen Einbau von zunächst nicht vorgesehenen Busteilnehmern, wie z. B. zusätzliche Steuergeräte, an das Bussystem ist möglich.

[0019] Das winkelsynchrone Bussystem als Ersatz bestehender Punkt-zu-Punkt-Steuerleitungen und Punkt-zu-Punkt-Signalleitungen für das Motormanagement erlaubt im Rahmen einer Gleichteilestrategie ein modellübergreifendes Bussystem, das von den eingesetzten Motormodellen und damit von den eingesetzten Sensoren und Aktoren unabhängig ist. Insbesondere ist das Bussystem unabhängig von der Anzahl der Verbrennungszyylinder. Diese Unabhängigkeit war bisher bei zeitkritischen, winkelsynchronen Signal- und Steueretzarchitekturen auf der Basis von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen nicht gegeben.

[0020] Das erfindungsgemäße Bussystem sieht in

einer alternativen Ausführungsform eine Begrenzung der maximalen Größe von asynchronen Datenpaketen vor. Die Übertragungsdauer der einzelnen asynchronen Datenpakete darf den maximal zulässigen Cycle-Start-Jitter, also den maximalen Toleranzbereich für die Verzögerung des Cycle-Start nicht übersteigen.

[0021] In einer alternativen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen winkelsynchronen Bussystems kann auf die volle Funktionalität des IEEE 1394-Standards verzichtet werden. In einer abgestriipten Version der Erfindung wird auf die Standard-Funktionen des Isochronous-Resource-Managers und des Bus-Managers verzichtet. Eine variable Verwaltung der Netzwerkressourcen-Kommunikationsbandbreite und -Kommunikationskanäle ist dann nicht mehr möglich, da mit dem Wegfall des Isochronous-Resource-Managers auch das Bandbreitenzuweisungsregister und das Bus-Manager ID-Register entfallen. An die Stelle der Funktionalität des Isochronous-Resource-Managers tritt in der abgestriipten Version der Erfindung eine feste Zuordnung der Kommunikationskanäle an spezifische Kommunikationseinheiten und eine feste Zuordnung von maximal erlaubter Kommunikationsbandbreite für jede ausgewählte Kommunikationseinheit. Die festen Zuordnungen müssen von einem Netzwerkprogrammierer entsprechend den technischen Anforderungen im konkreten Anwendungsfall festgelegt und festgehalten werden. Die Abspeicherung der einmal festgelegten Zuordnungen erfolgt dann auch wieder in hardwaremäßigen Speicherregistern. Allerdings werden die Kanalzuordnungen und die maximal erlaubten Bandbreiten für jeden Kanal in diesem hier als Kanalzuweisungsregister bezeichneten elektronischen Speicher fest als Konstanten einprogrammiert und sind deshalb nicht wie im ursprünglichen Standard variabel. Dies hat zwar den Nachteil, dass sich das Netzwerk nicht mehr selbst konfigurieren kann und dadurch die Hotplug-Fähigkeit verloren geht, in Anwendungen im Automobilbau kann dies jedoch durchaus erwünscht und von Vorteil sein.

[0022] Bei der Verwendung des erfindungsgemäßen winkelsynchronen Bussystem zur Ansteuerung von Zündmodulen oder Einspritzventilen an einem Verbrennungsmotor, kann die Selbstkonfiguration eines standardgemäßen herkömmlichen IEEE 1394-Bussystem zu Problemen führen, wenn etwa durch einen nachträglichen Einbau eines weiteren zusätzlichen Busteilnehmers die sequentielle Abfolge der Kanäle durch die Selbstkonfiguration verändert wird. Zwar wäre weiterhin eine Kommunikation gewährleistet und die Versendung der Cycle-Start-Pakete würde auch weiterhin durch einen externen Trigger gegebenenfalls winkelsynchron erfolgen, jedoch könnte bei einer Veränderung der sequentiellen Abfolge der Kommunikationskanäle der richtige Zündzeitpunkt für jeden Zylinder nicht mehr garantiert werden. Hier ist die feste Zuordnung der sequentiellen Abfolge der Kommunikationskanäle an

angeschlossene Zündmodule oder Einspritzmodule von Vorteil.

[0023] Der bisherige IEEE 1394-Standard mit seiner Zykluszeit von 125  $\mu$ s, also mit einer Zyklusfrequenz von 8 kHz, ist für die hier beschriebene erfindungsgemäße Erweiterung besonders geeignet. Angewandt auf eine winkelsynchrone Adaption entspricht eine Normfrequenz von 8 kHz im Bereich eines Kraftfahrzeuges nämlich einer Drehzahl von 480000 U/min. Dies lässt genügend Raum um innerhalb eines Vollwinkels von 360° für eine Umdrehung einer Antriebswelle mehrer Winkelmessung durchzuführen. Bei einer typischen Drehzahl von 4800 U/min können z.B. innerhalb eines Vollwinkels 100 Bussynchronisationen durchgeführt werden, ohne die ursprüngliche standardgemäße Zykluszeit des IEEE 1394-Bussystem zu unterschreiten. Bei 100 Bussynchronisationen pro Vollwinkel, ist eine Winkelauflösung von 3,6° möglich.

[0024] Beim Einsatz des winkelsynchronen Bussystems in Verbrennungsmotoren ist zur Optimierung der Steuerzeiten für Zündung, Einspritzaggregate, elektromagnetischer Ventilsteuerungen ein Triggersignal zur Versendung des Cycle-Start-Paketes pro 1° Kurbelwellenwinkel verlangt. Dies wird mit 360 Bussynchronisationen pro einer Umdrehung der Kurbelwelle realisiert. In dieser alternativen Ausführung des winkelsynchronen Bussystems können im üblichen Drehzahlbereich eines Kraftfahrzeugsverbrennungsmotors die Zykluszeit von 125  $\mu$ s aus der ursprünglichen Norm nicht mehr eingehalten werden. Die Verkürzung der Zykluszeit bleibt jedoch technologisch in einem Bereich, der in Bezug auf Kraftfahrzeuganwendungen zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung der Übertragungsgeschwindigkeiten führt. Bei einer maximalen Drehzahl von 6000 U/min an der Kurbelwelle und einer Auflösung des Kurbelwellenwinkel von 1° ergibt sich eine Busfrequenz von 36 kHz des winkelsynchronen Bussystems gegenüber 8 kHz des Standard gemäßen IEEE 1394-Bussystem. Die reduzierte Zykluszeit wird vom Isochronous-Resource-Manager im Bandbreitenzuweisungsregister für die Zuweisung der Kommunikations-Bandbreiten auf die einzelnen Übertragungskanäle berücksichtigt. Die für die einzelnen Kanäle zur Verfügung stehenden Bandbreiten werden von dem Isochronous-Resource-Manager auf der Grundlage der anwendungsspezifischen minimalen Zykluszeit berechnet und auf die einzelnen Kanäle im Bandbreitenzuweisungsregister verteilt. Für die isochrone Datenübertragung stehen beim winkelsynchronen Bussystem 80% der minimalen Zykluszeit zur Verfügung, die auf die einzelnen Übertragungskanäle aufgeteilt werden kann.

[0025] Die Aufteilung der zur Verfügung stehenden Bandbreite für die asynchrone Datenübertragung wird bei dem winkelsynchronen Bussystem mit einem Anteil von 20% der winkelabhängigen minimalen Zykluszeit folgend auf die isochrone Datenübertragung beibehalten. Um eine Winkelauflösung von 1° Kur-

belwellenwinkel durch eine asynchrone Datenübertragung nicht zu gefährden, wird vom Isochronous-Resource-Manager auch die Paketlänge für eine asynchrone Datenübertragung auf 20% der minimalen Zykluszeit beschränkt.

#### Ausführungsbeispiel

[0026] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand von Zeichnungen dargestellt und näher erläutert. Es zeigen:

[0027] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines winkelsynchronen Bussystems,

[0028] **Fig. 2** eine schematische Darstellung der variablen Zykluszeit in Abhängigkeit externer Cycle-Start-Trigger-Signale,

[0029] **Fig. 3** eine mögliche Anwendung des winkelsynchronen Bussystem zur Steuerung eines Verbrennungsmotors.

[0030] **Fig. 1** zeigt eine vereinfachte Darstellung eines winkelsynchronen Bussystems auf der Basis eines IEEE 1394-Bussystems, das um eine Triggerquelle **3** ergänzt wurde. An eine Busleitung **1** sind mehrere Kommunikationseinheiten **2** angeschlossen. Eine dieser Kommunikationseinheiten übernimmt entsprechend den Ergebnissen der Selbstidentifikationsphase die Rolle des Root-Knoten (root node). Zu den Funktionen des Root-Knoten können entsprechend des bisherigen IEEE 1394-Standards die Funktionen des Cycle-Master, des Isochronous-Resource-Manager und des Bus-Manager gehören. Diese **3** Funktionen wurden in der Beschreibungseinleitung für das IEEE 1394-Bussystem bereits beschrieben und werden auch hier bei der Erfindung übernommen. Allerdings wird das Aussenden der Cycle-Start-Pakete bei der Erfindung von dem Cycle-Master nicht durch Ableiten der Zykluszeit von seiner inneren Uhr veranlasst, sondern durch ein Cycle-Start-Trigger-Signal, das von einer externen Triggerquelle geliefert wird. Das Versenden der Cycle-Start-Pakete wird daher vom Cycle-Master immer dann veranlasst, wenn er ein Cycle-Start-Trigger-Signal erhält. Die Entkopplung der Versendezeiten für die Cycle-Start-Pakete von der inneren Uhr des Cycle-Masters, ermöglicht es, das erfindungsgemäße Bussystem ereignissynchron bzw. winkelsynchron zu machen. Hierzu muss die Triggerquelle ereignissynchrone bzw. winkelsynchrone Triggersignale liefern, die sie zum Beispiel aus dem winkelabhängigen und drehzahlabhängigen Messsignal eines Drehratensensors **4** ableitet. Die Verteilung der auf dem Bussystem zur Verfügung stehenden Bandbreiten auf die isochronen Kanäle und die asynchronen Kommunikationsvorgänge werden vom Isochronous-Resource-Manager mit Hilfe eines Bandbreitenzuweisungsregisters in der vorbeschriebenen Weise vorgenommen. Der Isochronous-Resource-Manager oder der Bus-Manager regelt den Buszugriff in der aus dem IEEE 1394-Standard bekannten Art. Ebenso bleiben die Aufgaben des Bus-Managers wie z.B. die Opti-

mierung der Übertragungsgeschwindigkeiten, wie sie auch bereits im IEEE 1394-Standard festgelegt sind, erhalten.

[0031] **Fig. 2** veranschaulicht die Wirkung einer externen Trigger-Quelle auf die Zykluszeit des erfindungsgemäßen Bussystems. Der Cycle-Master koppelt das Versenden der Cycle-Start-Pakete an das externe Cycle-Start-Trigger-Signal der externen Triggerquelle. Die externe Triggerquelle ist ihrerseits mit einem Sensor gekoppelt, dessen Messsignal ereignisabhängig bei Überschreiten eines Schwellwertes die Triggerquelle aktiviert und ein Cycle-Start-Trigger-Signal auslöst. Da die Cycle-Start-Trigger-Signale in Abhängigkeit des Messsignals eines Sensors ausgelöst werden, ergibt sich für das Bussystem eine ereignissynchrone, variable Zykluszeit. Der zeitliche Abstand der auf dem Bus versendeten gemischt isochron/asynchronen Datenpakete ändert sich dadurch. Für die Anwendung in Kraftfahrzeugen ist eine Synchronisation der Cycle-Start-Pakete mit dem aktuellen Kurbelwellenwinkel vorteilhaft. Hierzu ist bei Anwendungen im Kraftfahrzeug die externe Triggerquelle mit dem Kurbelwellensensor verbunden. Der Kurbelwellensensor erfasst sowohl den aktuellen Kurbelwellenwinkel als auch die aktuelle Drehzahl der Kurbelwelle. Die variable Zykluszeit des erfindungsgemäßen Bussystem erlaubt hier mit Vorteil die Synchronisation der Buszyklen mit dem Kurbelwellenwinkel über den ganzen Drehzahlbereich eines Kraftfahrzeugmotors hinweg. Um kollidierende Buszugriffe zu vermeiden, wird hierbei die für die Kommunikation zur Verfügung stehende Bandbreite und damit die maximale zeitliche Länge der Datenpakete nach der minimalen Zykluszeit, also nach der maximalen Drehzahl des Motors ausgelegt.

[0032] **Fig. 3** zeigt exemplarisch eine vorteilhafte Anwendung des erfindungsgemäßen Bussystems als winkelsynchrones Bussystem im Kraftfahrzeug, wobei die Busfrequenz mit Hilfe eines Kurbelwellensensors **4** auf den aktuellen Kurbelwellenwinkel und die Drehzahl der Kurbelwelle synchronisiert wird. Der Winkelgeber des Kurbelwellensensors ist in **Fig. 3** durch ein Zahnrad **6** stilisiert. Die Drehzahl des Motors kann beispielsweise durch Abzählen der die Kurbelwellensensor passierenden Zähne in Bezug auf die gemessene Zeit erfolgen. Das oder die Messsignale des Kurbelwellensensors werden mit Busleitungen **1** an ein Motorsteuergerät **7** übermittelt. Das Motorsteuergerät **7** ist weiterhin mit stilisierten, elektromagnetischen Ventiltrieben **8** und mit einer Zündvorrichtung **9** verbunden. Alle an das Bussystem angeschlossenen Geräte verfügen über IEEE 1394-Schnittstellen, die in **Fig. 3** nicht extra dargestellt sind. Ebenfalls nicht extra dargestellt ist die Cycle-Start-Triggerquelle, die in dem skizzierten Anwendungsfall zweckmäßiger Weise physikalisch in das Motorsteuergerät integriert ist. Das Motorsteuergerät übernimmt bei einer Anwendung im Kraftfahrzeug die Funktionen des Root-Knoten innerhalb des Bussystems, also gegebenenfalls auch die Funktio-

nen des Cycle-Masters, des Isochronous-Resource-Managers und des Bus-Managers. Das Motorsteuergerät ist in der Regel zur Spannungsversorgung mit einer Kraftfahrzeugbatterie **10** verbunden. Bei der in **Fig. 3** skizzierten Anwendung ergeben sich die Vorteile eines winkelsynchronen Bussystems mit garantierter Datenübertragung deutlich. Beim Verbrennungsprozess in einem Kraftfahrzeugmotor müssen zahlreiche Vorgänge und Funktionen auf die Stellung der Kolben in den Verbrennungszylindern und damit auf den Kurbelwellenwinkel abgestimmt werden. Die Stellung der Auslass- und Einlassventile und die Zündung des Kraftstoffgemisches im Zylinder sind in **Fig. 3** in dieser Hinsicht exemplarisch dargestellt. Wie in der allgemeinen Beschreibung der Erfindung dargelegt, lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Bussystem Winkelauflösungen an der Kurbelwelle von 1 Grad erzielen und das auch bei Höchstdrehzahl des Motors. Im einfachsten Fall verfügt der zahnradförmige Winkelgeber des Kurbelwellensensors hierfür über 360 Zähne, jeweils äquidistant über den Umfang verteilt. In anderen bekannten Lösungen verfügt der Winkelgeber über 60-2 Zähne, wobei die zwei fehlenden Zähne eine Referenzposition definieren und wobei mit rechnerischer Interpolation die Auflösung auf das erforderliche Maß erhöht wird. Wenn bei jeder Drehung um 1°-Kurbelwellenwinkel ein Cycle-Start-Trigger-Signal ausgelöst wird, ist mit dem erfindungsgemäßen Bussystem sichergestellt,

- dass die Cycle-Start-Pakete winkelsynchron auf den Bus gesendet werden,
- dass bei jeder Änderung des Kurbelwellenwinkel um 1 ° alle angeschlossenen isochronen Einheiten jeweils einen garantierten Buszugriff hatten und Daten untereinander und insbesondere mit dem Motorsteuergerät ausgetauscht werden konnten,
- dass asynchrone Kommunikationseinheiten entsprechend der Arbitrierung ebenfalls Buszugriff erhalten.

[0033] Hierdurch kann mit Vorteil auf eine bei herkömmlichen Bussystem ansonsten notwendige, aufwendige rechnerische und zeitliche Transformation gleichbleibender Buszyklen auf den jeweils aktuellen Kurbelwellenwinkel verzichtet werden. Ein weiterer Vorteil, insbesondere gegenüber herkömmlichen Punkt-zu-Punkt-Steuerleitungen zwischen Motorsteuergerät mit allen angeschlossenen Verbrauchern, ergibt sich durch den deutlich reduzierten Verkabelungsaufwand. In Bezug auf den reduzierten Verkabelungsaufwand zeigt sich das erfindungsgemäße Bussystem auch deshalb vorteilhaft, weil beim erfindungsgemäßen Bussystem analog zum IEEE 1394-Standard die Busleitungen aus 2 Paar twisted-pair-Signalleitungen bestehen und aus einem Leiterpaar zur Energieversorgung der an das Bussystem angeschlossenen Geräte. Extra Versorgungsleitungen für die Energieversorgung können

bei dem erfindungsgemäßen Bussystem deshalb mit Vorteil entfallen, was den Verkabelungsaufwand weiter reduziert.

## Patentansprüche

1. Bussystem zur Steuerung von Anwendungen im Bereich von rotierenden Systemen mit variabler Drehzahl, wobei über eine Datenbusleitung **(1)** mehrere Kommunikationseinheiten **(2)** miteinander verbunden sind, jede Kommunikationseinheit **(2)** einen Physical-Layer für den Anschluss an eine Datenbusleitung **(1)** und zur Steuerung des Buszugriffs entsprechend der im Physical-Layer implementierten Arbitrierung aufweist, und wobei das Bussystem einen Cycle-Master umfasst, der aus einer Triggerquelle ein auf die rotierende Welle mit variabler Drehzahl synchronisiertes Cycle-Start-Trigger-Signal erhält und aufgrund des Cycle-Start-Trigger-Signals durch Versenden von Cycle-Start-Paketen einen neuen Übertragungszyklus startet, in dem die Datenpakete der einzelnen Kommunikationseinheiten **(2)** über die Datenbusleitung **(1)** übertragbar sind, dass die Triggerquelle **(3)** eingangsseitig mit einem Drehzahlsensor **(4)** verbunden ist und die Cycle-Start-Trigger-Signale winkelsynchron zu dem vom Drehzahlsensor gemessenen Winkel erfolgen und dass die Zykluszeit entsprechend der Drehzahl der Welle variabel ist, dass eine der Kommunikationseinheiten **(2)** ein Kanalzuweisungsregister für die Festlegung des sequentiellen, kanalgebundenen Buszugriffs aufweist, wodurch jeder angeschlossenen Kommunikationseinheit **(2)** ein fester Kommunikationskanal und eine maximale Kommunikationszeit innerhalb eines Übertragungszyklus zugewiesen ist und dass ein Resource-Manager vorgesehen ist, um die maximale zeitliche Länge der Datenpakete aufgrund der minimalen Zykluszeit vorzugeben.

2. Bussystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Physical-Layer entsprechend dem IEEE 1394-Standard ausgeführt ist und der Cycle-Master entsprechend des IEEE 1394-Standard zur Versendung von Cycle-Start-Paketen vorgesehen ist.

3. Bussystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Triggerquelle mit einem Kurbelwellensensor **(4)** verbunden ist.

4. Bussystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuweisung der Bandbreiten im Bandbreitenzuweisungsregister auf die im Kanalzuweisungsregister festgelegten isochronen Kommunikationskanäle durch den Isochronous-Resource-Manager auf der Basis der minimalen Zykluszeit festgelegt ist.

5. Bussystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die minimale Zykluszeit umgekehrt proportional zu der von einem Drehzahlsensor über-

mittelten Drehrate ist.

6. Bussystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Triggerfrequenz in einem festen Verhältnis zur maximalen Drehzahl eines Verbrennungsmotors steht.

7. Bussystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass neben den isochronen Kommunikationseinheiten auch asynchrone Kommunikationseinheiten Buszugriff haben.

8. Bussystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Größe der asynchronen Datenpakete der asynchronen Kommunikationseinheiten im Bandbreitenzuweisungsregister festgelegt ist.

9. Bussystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale Größe der asynchronen Datenpakete in ihrer zeitlichen Länge der maximal zulässigen zeitlichen Verschiebung der Cycle-Start-Pakete (Cycle-Start-Jitter) entspricht.

10. Bussystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Kommunikationseinheit (2) ein Motorsteuergerät (7), ein elektromagnetischer Ventiltrieb (8) oder eine Zündvorrichtung (9) ist.

11. Bussystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Datenpakete in sequentiellen Kanälen über den Datenbus übertragen werden und die Abfolge der Kanäle durch Selbstkonfiguration des Datenbusses veränderbar sind.

12. Bussystem nach Anspruch 1, bei dem der Drehzahlsensor (4) eine Winkelauflösung für den Wellenwinkel von  $3,6^\circ$  oder ungefähr  $1^\circ$  hat und pro  $3,6^\circ$ - bzw. ungefähr  $1^\circ$  Winkeländerung des Wellenwinkels ein vollständiger Buszyklus abläuft oder bei dem der Winkelgeber 60-2 Zähne aufweist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

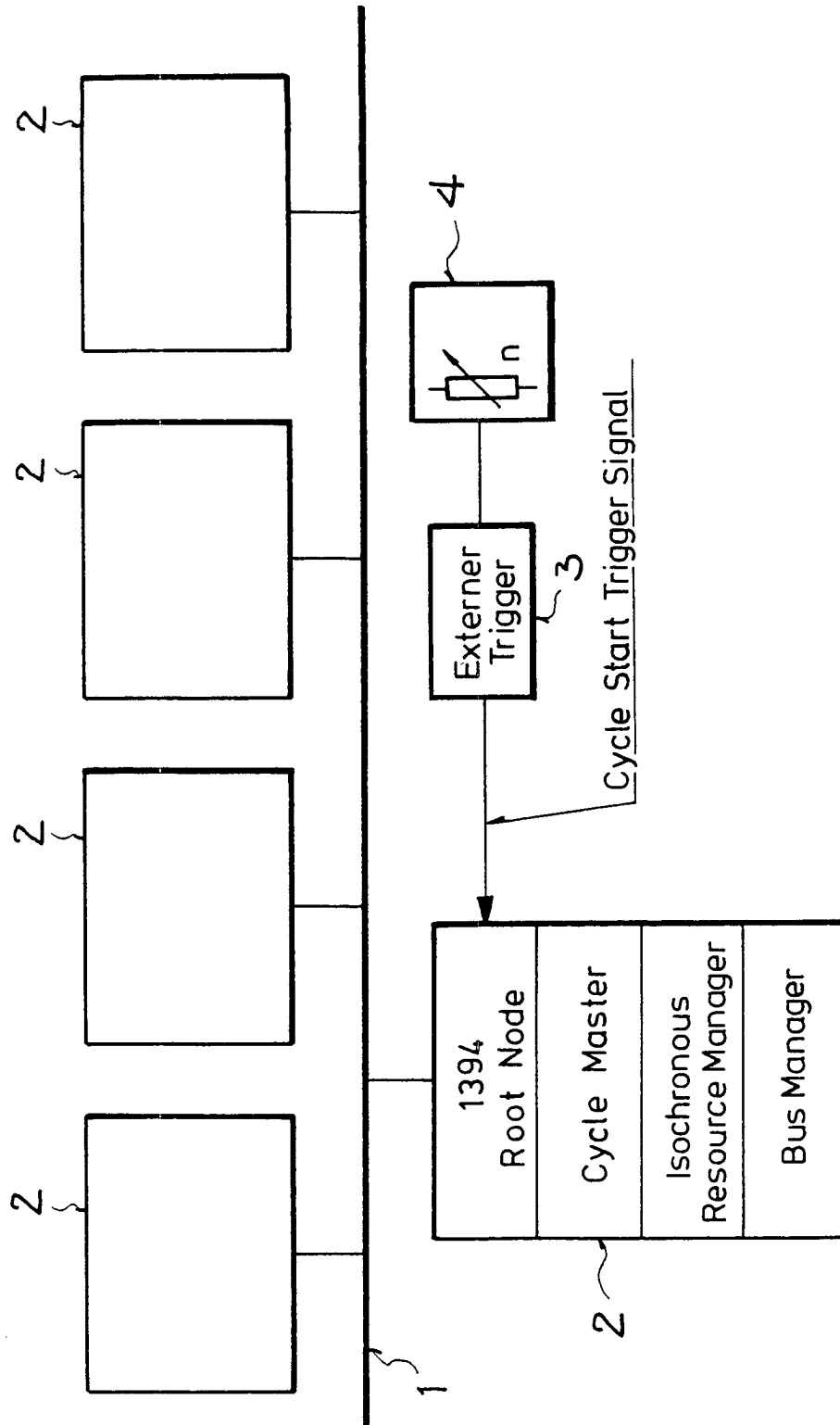


FIG. 1



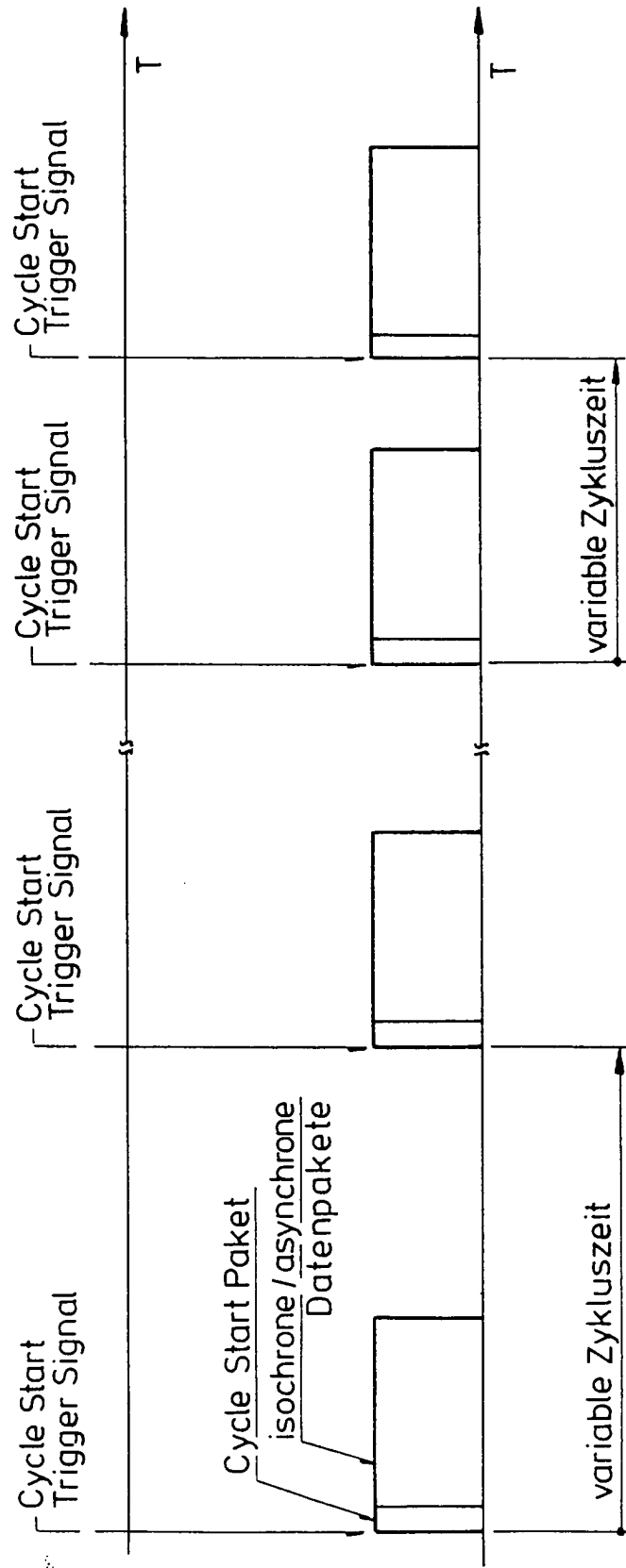


FIG. 2

