



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 196 34 567 B4 2007.11.29**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **196 34 567.7**
 (22) Anmeldetag: **27.08.1996**
 (43) Offenlegungstag: **05.03.1998**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **29.11.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B60T 13/66 (2006.01)**
B60T 13/74 (2006.01)
B60T 8/32 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Maisch, Wolfgang, Dr., 71701 Schwieberdingen, DE;
Otterbein, Stefan, Dr., 70469 Stuttgart, DE;
Blessing, Peter, Prof., 74078 Heilbronn, DE

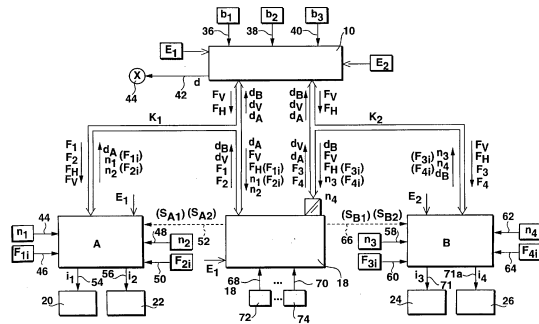
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 196 29 936 C1
DE 195 48 392 A1
WO 95/13 946 A1

(54) Bezeichnung: **Elektrisches Bremssystem**

(57) Hauptanspruch: Elektrisches Bremssystem für ein Fahrzeug, mit folgenden Elementen:

- Steuermodule (A, B) zur Einstellung der Bremskraft an den Rädern des Fahrzeugs,
 - ein Steuermodul (Pedaleinheit 10), welches wenigstens den Fahrerbremswunsch ermittelt,
 - wenigstens ein Kommunikationssystem (K1, K2), welches die Module miteinander verbindet,
- wobei zur Energieversorgung der Elemente wenigstens zwei voneinander unabhängige Bordnetze (E1, E2) vorgesehen sind, wobei wenigstens eines der Elemente gegenüber den anderen an ein anderes Bordnetz angeschlossen ist,

dadurch gekennzeichnet, dass die Steuermodule (A, B) Gruppen von Radbremsen betätigen, wobei jeweils ein Steuermodul (A, B) über getrennte Kommunikationssysteme mit dem Steuermodul (10) und einer Verarbeitungseinheit (18) verbunden ist.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein elektrisches Bremssystem gemäß dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs.

[0002] Ein elektrisches Bremssystem ist beispielsweise aus der WO-A 95/13946 bekannt. Das dort beschriebene elektrische Bremssystem besteht aus einem Zentralmodul und Bremskreisen oder Radgruppen zugeordnete Bremsmodule, die über ein Kommunikationssystem Daten miteinander austauschen. Durch Einzelmaßnahmen wird die Verfügbarkeit des Bremssystems bei Ausfall einzelner Komponenten sichergestellt. Die dabei berücksichtigten Fehlerarten betreffen den Ausfall eines Radmoduls, den Ausfall des Kommunikationssystems, den Ausfall des Zentralmoduls und den Ausfall der Pedalsensoreinheit.

[0003] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein dezentrales elektrisches Bremssystem, insbesondere für eine Bremsanlage mit elektromotorischer Zuspaltung, mit Blick auf Verfügbarkeit und Fehlertoleranz weiter zu optimieren.

[0004] Diese wird durch die kennzeichnenden Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs erreicht.

Vorteile der Erfindung

[0005] Das erfindungsgemäße Bremssystem stellt die Verfügbarkeit und Fehlertoleranz einer Bremsanlage auf hohem Niveau sicher. Besonders vorteilhaft ist dabei der Einsatz dieses Bremssystems bei einer Bremsanlage mit elektromotorischer Zuspaltung, bei der erhebliche Vorteile bezüglich Verfügbarkeit und Fehlertoleranz erreicht werden.

[0006] Besonders vorteilhaft ist, daß zwei voneinander unabhängige elektrische Bordnetze eingesetzt werden, so daß die Bremsanlage auch bei Ausfall eines Bordnetzes zumindest teilweise betriebsfähig bleibt. Dabei weisen beide Bordnetze vorzugsweise den gleichen Spannungswert (z. B. 12V, 24V oder 48V) auf.

[0007] Ferner ist vorteilhaft, daß wenigstens zwei unabhängige Informationspfade zwischen den einzelnen Steuerelementen vorgesehen sind, so daß die Bremsanlage auch bei Ausfall eines Informationspfades zumindest teilweise betriebsbereit bleibt.

[0008] Besonders vorteilhaft ist ferner, daß zur Bestimmung des Fahrerbremswunsches eine fehlertolerante Pedaleinheit vorgesehen ist, die zur Bestimmung von achsspezifischen Werten für die Bremskräfte bzw. Bremsmomente und zur Einleitung von

Rückfallstrategien im Fehlerfall, z. B. bei Ausfall eines Stellelements durch Reduktion der Bremskraft des diagonal angeordneten Rades, dient.

[0009] Besonders vorteilhaft ist, daß modulare, übergeordnete Funktionen der Bremssteuerung Bestandteil des Bremssystems sind. Bei Ausfall dieser übergeordneten Funktionen bleibt ein geregelter Bremsbetrieb zumindest mit achsspezifischen Führungsgrößen erhalten.

[0010] Besonders vorteilhaft ist, daß das elektronische Bremssystem anpassungsfähig an verschiedene Fahrzeugtypen und Bremsanlagentypen ist, wobei die vorgesehenen Radpaareinheiten den Rädern einer Diagonale oder einer Achse zugeordnet werden können.

[0011] Durch die dezentrale Aufteilung des Bremssystems wird in vorteilhafter Weise auch bei Auftreten von statischen und dynamischen Fehlern die Bremsfunktionalität in hohem Maße aufrechterhalten, die Betriebssicherheit der Bremsanlage sichergestellt und Fehlerzustände für Servicezwecke abgespeichert und ggf. signalisiert.

[0012] Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen bzw. aus den abhängigen Patentansprüchen.

Zeichnung

[0013] Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsformen näher erläutert. Das erfindungsgemäße elektronische Bremssystem wird in vier Ausführungsbeispielen dargestellt, die sich im wesentlichen durch unterschiedliche Integration der Teilfunktionen und damit auch durch unterschiedliche Rückfallebenen und Fehlermodi, die zu einer Rückfallebene führen, unterscheiden. Dabei wird in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) eine erste Ausführungsform der Erfindung in zwei Varianten dargestellt. In den [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) wird ein zweites Ausführungsbeispiel mit zwei Varianten beschrieben. [Fig. 9](#) zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel, während in den [Fig. 10](#) bis [Fig. 12](#) ein viertes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Bremssystems dargestellt ist.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0014] [Fig. 1](#) zeigt das elektronische Bremssystem im Rahmen eines ersten Ausführungsbeispiels als Übersichtsschaltbild. Dieses Ausführungsbeispiel ist durch eine dezentrale Struktur charakterisiert, die sich aus den Einheiten Pedaleinheit **10**, Radpaareinheit A, Radpaareinheit B und Verarbeitungseinheit **18** ergibt. Die elektrischen Aktoren **20**, **22**, **24** und **26** wirken im bevorzugten Ausführungsbeispiel über geeignete Getriebestufen auf die Zuspaltungsweg von Schei-

ben- bzw. Trommelbremsen ohne eine hydraulische Zwischenstufe. Das gezeigte Bremssystem regelt die radindividuellen Bremskräfte oder Bremsmomente. Seine elektrische Energieversorgung erfolgt über die beiden unabhängigen Bordnetze E1 und E2, die vorzugsweise den gleichen Spannungswert (z. B. 12V, 24V oder 48V) liefern. Der Datenaustausch zwischen den einzelnen Einheiten wird durch zwei unabhängige Kommunikationseinrichtungen K1 und K2 bewerkstelligt. Diese sind in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel als serielle Bussysteme (z.B. CAN) realisiert. Die Kommunikationssysteme werden von unterschiedlichen Bordnetzen gespeist, K1 von E1, K2 von E2. Das Kommunikationssystem K1 verbindet dabei Pedaleinheit **10**, Verarbeitungseinheit **18** und eine der Radpaareinheiten, während das Kommunikationssystem K2 Pedaleinheit, Verarbeitungseinheit und die andere Radpaareinheit miteinander verbindet. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Verarbeitungseinheit **18** vom Bordnetz E1 versorgt, so daß das Kommunikationssystem K2 gegenüber dieser Einheit potentialgetrennt ist.

[0015] Neben den Kommunikationssystemen K1 und K2 werden der Pedaleinheit **10** über Eingangsleitungen **36**, **38** und **40** von entsprechenden Meßeinrichtungen Meßgrößen b1, b2 und b3 zugeführt, die das Ausmaß der Betätigung des Bremspedals repräsentieren. Diese Meßeinrichtungen sind dabei Wegsensoren, Kraftsensoren, Drucksensoren, etc. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel sind wenigstens zwei dieser Meßeinrichtungen von unterschiedlichem Typ. Ferner ist an die Pedaleinheit eine Ausgangsleitung **42** angeschlossen, über die die Pedaleinheit mit einer Warnlampe **44** und/oder einem nicht dargestellten Fehlerspeicher verbunden ist und ein Fehlersignal d absetzt. Über das Kommunikationssystem K1 setzt die Pedaleinheit **10** Führungsgrößen für Teilbremskräfte FV (bzw. Teilbremsmomente) für die Räder der Vorderachse und FH für die Hinterachse ab. Über das Kommunikationssystem K1 empfängt die Pedaleinheit **10** Fehlersignale dB, dA und dV der Radpaareinheiten A und B sowie der Verarbeitungseinheit **18**. Die entsprechenden Signale sendet und empfängt die Pedaleinheit **10** über das Kommunikationssystem K2. Da die Pedaleinheit **10** fehlertolerant aufgebaut ist, ist sie an beide Bordnetze E1 und E2 angeschlossen.

[0016] Die Radpaareinheit A ist an das erste Bordnetz E1 angeschlossen. Ihr werden über Eingangsleitungen **44**, **46**, **48** und **50** Meßgrößen bzgl. der Radgeschwindigkeiten n1 und n2 der zugeordneten Räder sowie Meßgrößen bzgl. des Istwertes F1i und F2i der Radbremskraft bzw. des jeweiligen Radbremsmoments zugeführt. Diese Istwerte werden entweder über entsprechend Sensoren erfaßt oder auf der Basis von anderen Betriebsgrößen (z.B. der Ansteuersignalgröße) errechnet. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel (vgl. strichlierte Darstellung

in [Fig. 1](#)) empfängt die Radpaareinheit A ferner über eine Eingangsleitung **52** von der Verarbeitungseinheit Signalgrößen sA1 und sA2 zur Steuerung der Energieversorgung. Über Ausgangsleitungen **54** und **56** gibt die Radpaareinheit A Ansteuergrößen i1 und i2 für die elektrischen Aktoren **20** und **22** ab. Diese Ansteuergrößen sind beispielsweise pulsweitenmodulierte Spannungssignale, die ein Maß für das von den Aktoren einzustellende Bremsmoment oder die einzustellende Bremskraft repräsentieren. Die Radpaareinheit A ist ferner an das Kommunikationssystem K1 angeschlossen. Über das Kommunikationssystem sendet die Radpaareinheit A die ggf. aufbereiteten Meßgrößen bzgl. der Radgeschwindigkeiten n1 und n2 und ein Fehlersignal dA. In einem weiteren Ausführungsbeispiel übermittelt die Radpaareinheit A über das Kommunikationssystem K1 ferner die Istwerte F1i und F2i für die Radbremskräfte oder Radbremsmomente. Über das Kommunikationssystem K1 empfängt die Radpaareinheit A die Führungsgrößen FV und FH für die Vorder- und Hinterachse sowie von der Verarbeitungseinheit Führungsgrößen F1 und F2 für die radindividuelle Bremskraft oder das radindividuelle Bremsmoment.

[0017] Vergleichbar aufgebaut ist die Radpaareinheit B. Diese ist an das Kommunikationssystem K2 angeschlossen und empfängt von Pedaleinheit bzw. Verarbeitungseinheit die Führungsgrößen FV und FH für die Teilbremskraft bzw. Teilbremsmoment der Hinterachse und Vorderachse sowie die Führungsgrößen F3 und F4 für die radindividuelle Bremskräfte oder Radbremsmomente. Über das Kommunikationssystem gibt die Radpaareinheit B Radgeschwindigkeitssignale der zugeordneten Räder n3 und n4 sowie ein Fehlersignal dB ab. Ferner wird in einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel über das Kommunikationssystem K2 die Istgrößen F3i und F4i für die eingestellten Bremskräfte bzw. Bremsmomente an den zugeordneten Rädern gesendet. Die Radpaareinheit B ist an das zweite Bordnetz E2 angeschlossen. Über Eingangsleitungen **58**, **60**, **62** und **64** empfängt sie von Meßeinrichtungen Radgeschwindigkeitswerte n3 und n4 und Istwerte F3i und F4i für die eingestellten Bremskräfte bzw. Bremsmomente an den zugeordneten Rädern. In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird über eine Eingangsleitung **66** die Steuersignale sB1 und sB2 für die Energieversorgung aus der Verarbeitungseinheit zugeführt. Über Ausgangsleitungen **71** und **71a** gibt die Radpaareinheit B Stellgrößen i3 und i4 an die elektrischen Aktuatoren **24** und **26** ab.

[0018] Die Verarbeitungseinheit **18** ist an das Bordnetz E1 sowie an beide Kommunikationssysteme K1 und K2 angeschlossen. Über beide Kommunikationssysteme werden der Verarbeitungseinheit **18** von der Pedaleinheit die Führungsgrößen FV und FH bzgl. der Vorder- und Hinterachse zugeführt. Über das Kommunikationssystem K1 werden von der Radpaar-

reinheit A das Fehlersignal dA, die Radgeschwindigkeiten n_1 und n_2 sowie in einem weiteren Ausführungsbeispiel die Istwerte F_{1i} und F_{2i} zugeführt. Über das Kommunikationssystem K2 werden der Verarbeitungseinheit 18 von der Radpaareinheit B die Geschwindigkeitssignale n_3 und n_4 , das Fehlersignal dB sowie in einem weiteren Ausführungsbeispiel die Istwerte F_{3i} und F_{4i} zugeführt. Über das Kommunikationssystem K1 sendet die Verarbeitungseinheit 18. Entsprechend sendet sie über das Kommunikationssystem K2 an die Pedaleinheit 10 das Fehlersignal dA der Radpaareinheit A und ihr eigenes Fehlersignal dV, an die Radpaareinheit B die radindividuelle Sollwerte F_3 und F_4 . Ferner werden der Verarbeitungseinheit 18 über Leitungen 68 bis 70 von Meßeinrichtungen 72 bis 74 die zur Durchführung einer Fahrdynamikregelung erforderlichen Betriebsgrößen wie Lenkwinkel, Querschleunigung, Giergeschwindigkeit, etc. zugeführt. In einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Verarbeitungseinheit 18 ferner die Ausgangsleitungen 52 und 66 auf.

[0019] In den [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) sind Pedaleinheit, Radpaareinheiten und Verarbeitungseinheit detaillierter dargestellt. Anhand dieser Figuren wird auch die Funktionsweise des Bremssystems dargestellt.

[0020] [Fig. 2](#) zeigt ein Übersichtsschaltbild der Pedaleinheit 10. Diese besteht im wesentlichen aus zwei Mikrocomputern P1 und P2, die über ein Kommunikationssystem 100 miteinander verbunden sind. Dabei ist das Kommunikationssystem 100 gegenüber einem der Mikrocomputer potentialgetrennt (in [Fig. 2](#) P2), da die beiden Mikrocomputern von unterschiedlichen Bordnetzen versorgt werden (P1 von E1, P2 von E2). Der Mikrocomputer P1 ist an das Kommunikationssystem K1 angeschlossen und weist die Ausgangsleitung 42 auf. Ferner werden ihm die Eingangsleitungen 36, 38 und 40 und somit die Signale b_1 , b_2 und b_3 , die den Fahrerbremswunsch repräsentieren, zugeführt. Die Sensoren S1, S2 und S3, die die den Fahrerbremswunsch repräsentierenden Signale erfassen, sind im bevorzugten Ausführungsbeispielen an verschiedene Bordnetze angeschlossen. So ist beispielsweise S1 an das Bordnetz E1, S3 an das Bordnetz E2 und S2 an die Bordnetze E1 und/oder E2 angeschlossen. Der Mikrocomputer P2 ist an das Kommunikationssystem K2 sowie an das Bordnetz E2 angeschlossen. Auch ihm werden alle Fahrerwunschsignale b_1 , b_2 und b_3 über Leitungen 102, 104 und 106 zugeführt. Über die Kommunikationssysteme K1 und K2 senden und empfangen die beiden Mikrocomputer die jeweils in [Fig. 1](#) dargestellten Größen.

[0021] Die Pedaleinheit 10 dient zur Erfassung des Bremswunsches des Fahrers. Die Bremspedalbetätigung wird durch die unabhängigen S1, S2 und S3 erfaßt, die wie oben erwähnt vorzugsweise in einer diversitären Realisierung den Bremspedalwinkel bzw.

die auf das Bremspedal ausgeübte Kraft ermitteln. Zur Verbesserung der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit des Systems werden die Sensoren durch unterschiedliche Energieversorgungen gespeist. Die Pedaleinheit 10 selbst ist fehlertolerant aufgebaut durch eine Realisierung mittels eines redundanten Mikrocomputersystems, wobei die zwei Mikrocomputer an verschiedene Bordnetze angeschlossen sind. Die Mikrocomputer enthalten ferner die erforderlichen Peripherie-, Speicher- und Watchdogbaugruppen, die in [Fig. 2](#) aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt sind. In das Mikrocomputersystem sind wenigstens drei unabhängige Programme Prog1, Prog2 und Prog3 eingebunden, die durch Majoritätsauswahl, z. B. durch eine zwei aus drei Entscheidung, aus den erfaßten Meßgrößen über eine abgespeicherte Pedalcharakteristik die Sollgröße für die von Fahrer über die Pedalbetätigung gewünschte Gesamtbremskraft (bzw. Gesamtbremsmoment) FRES berechnen. Dazu werden von jedem der Programme die drei Meßgrößen parallel eingelesen, aus diesen drei Meßgrößen anhand einer Pedalkennlinie die gewünschte (Einzel)Bremskraft (bzw. -moment) ermittelt. Die ermittelten Bremskräfte werden in jedem Programm miteinander verglichen, um festzustellen, ob eine fehlerhafte Berechnung vorliegt. Dann wird aus den korrekten Meßgrößen von jedem Programm eine resultierende Gesamtbremskraft ermittelt, beispielsweise durch Maximalauswahl oder Mittelwertbildung. Die berechnete Gesamtbremskraft wird über das Kommunikationssystem 100 jeweils den anderen Programmen zur Verfügung gestellt, die im Rahmen einer zwei aus drei Auswahl die korrekte Gesamtbremskraft bestimmen. In einer alternativen Ausführung wird auch das gewünschte Gesamtbremsmoment anstelle der Gesamtbremskraft berechnet. Die Gesamtbremskraft wird dann im Sinne einer vorgegebenen geeigneten Bremskraftaufteilung auf die Achsen des Fahrzeugs in die gewünschten Bremskräfte bzw. Bremsmomente für die Räder der Vorderachse FV und die Räder der Hinterachse(n) (FH) in jedem Mikrocomputer umgesetzt. Diese Werte werden über die Kommunikationssystem K1 und K2 an die weiteren Einheiten des Bremssystems abgegeben. Dabei wird vom Mikrocomputer P1 die ermittelten Größen eines der Programme (Maximalwertauswahl) oder ein Mittelwert der Größen aus beiden Programmen ausgegeben.

[0022] Die Pedaleinheit 10 ist fehlertolerant aufgebaut. Bei Ausfall eines Mikrocomputers, eines Kommunikationssystems, eines Sensors, eines Bordnetzes, etc. wird von den noch funktionsfähigen Teilen der Fahrerbremswunsch ermittelt und dem Bremssystem, zumindest Teilen davon, zur Verfügung gestellt.

[0023] In der Pedaleinheit werden ferner die internen Fehlerzustände und Fehlersignalsbotschaften dA, dB und dV der angeschlossenen Einheiten erfaßt,

abgespeichert und ausgewertet. Bei eingelesenen Fehlerzuständen, auf jeden Fall bei sicherheitsrelevanten Fehlern, erfolgt eine Signalisierung für den Fahrer mittels des Fehlersignals d. Aus den Fehlersignalsbotschaften dA, dB und dV wird der Gesamtzustand des Bremssystems analysiert und, sofern die sichere Funktion beeinträchtigt ist, der Übergang in eine Rückfallebene mit reduzierter Funktionalität initiiert. Dazu werden gegebenenfalls von der Pedaleinheit über die Kommunikationssysteme K1 und K2 an alle angeschlossenen Einheiten (in den Bildern nicht dargestellte) Rückfallbotschaften ausgesandt, die an diesen Einheiten einen Übergang zu anderen Software-Modulen mit reduzierter Funktion auslösen.

[0024] **Fig. 3** zeigt die Struktur der Verarbeitungseinheit **18**. Auch diese besteht aus zwei Mikrocomputern RV1 und RV2, die über einen Kommunikationsbus **200** miteinander verbunden sind. Die beiden Mikrocomputer sind dabei an das Bordnetz E1 angeschlossen. Der Mikrocomputer RV1 ist potentialgetrennt am Kommunikationssystem K2 des Bremssystems, der Mikrocomputer RV2 am Kommunikationssystem K1 angeschlossen. Die Mikrocomputer RV1 und RV2 lesen parallel über die Eingangsleitungen **68** bis **70** bzw. **202** bis **204** Meßsignale von Meßgrößen ein, die die Fahrdynamik des Fahrzeugs betreffen. Derartige Meßgrößen sind beispielsweise Lenkwinkel, Drehrate, Querschleunigung, Achslasten, etc. Die Mikrocomputer empfangen und senden über die Kommunikationssysteme K1 und K2 die anhand von **Fig. 1** beschriebenen Größen. Dabei werden die Fehlersignale dA und dB der Radpaareinheiten vom empfangenden Mikrocomputer über das Kommunikationssystem **200** zum aussendenden Mikrocomputer geführt. Dies dient in erster Linie dazu, daß beide Mikrocomputer über Fehlerzustände in einer Radpaareinheit informiert sind. Die in Klammern angegebenen Istwerte $F1_i$, $F2_i$, $F3_i$ und $F4_i$ für die Bremskräfte bzw. Bremsmomente werden in einem alternativen Ausführungsbeispiel von der Verarbeitungseinheit **18** ergänzend eingelesen. In diesem Ausführungsbeispiel verfügen die Mikrocomputer RV1 bzw. RV2 über die Ausgangsleitungen **206** und **208** bzw. **210** und **212**, über die sie im Fehlerfall auf die Energieversorgung der Radpaareinheit B bzw. A eingreifen.

[0025] In der Verarbeitungseinheit **18** werden die übergeordneten Funktionen des Bremssystems berechnet, insbesondere die radindividuellen Führungsgrößen. In bekannter Weise werden bei diesen Berechnungen das radspezifische Drehzahlverhalten im Sinne eines Antiblockierreglers und/oder eines Antriebschlupfreglers und/oder ferner zur Vermeidung von Schleuderzuständen unter Einbeziehung weiterer Größen wie Lenkradwinkel, Querschleunigung und Drehrate im Sinne eines Fahrdynamikreglers einbezogen. Im Teilbremsungsbereich wird bei der Umsetzung der achsspezifischen Führungs-

größen FV und FH der radindividuelle Bremsbelagverschleiß mit dem Ziel eines gleichmäßigen Bremsbelagverschleißes bei der Bildung der radspezifischen Führungsgrößen $F1$, $F2$, $F3$ und $F4$ berücksichtigt. Ferner wird von der Verarbeitungseinheit **18** eine sog. Hillholder-Funktion realisiert. Ebenso wird zur Erzielung einer optimalen Bremskraftaufteilung auf Vorder- und Hinterachse der Beladungszustand des Fahrzeugs berücksichtigt. Darüber hinaus ergreift die Verarbeitungseinheit auch Maßnahmen bei Ausfall eines Bremskanals (einer Radpaareinheit oder Teile davon). Bei Vorliegen eines entsprechenden Fehlersignals dA oder dB modifiziert wenigstens einer der Mikrocomputer die Führungsgrößen für die einzelnen Bremskräfte derart, daß der Ausfall der einen Radbremse berücksichtigt ist. Beispielsweise wird in diesem Fall die Führungsgröße für die andere Radbremse derselben Achse aus Stabilitätsgründen auf Null reduziert.

[0026] Die zur Durchführung dieser Funktionen notwendigen Berechnungen werden auch im Fehlerfall einer Radpaareinheit unabhängig voneinander in beiden Mikrocomputern durchgeführt, die Ergebnisse über das Kommunikationssystem miteinander verglichen. Bei inkonsistenten Ergebnissen wird die Verarbeitungseinheit abgeschaltet. Vom Mikrocomputer RV1 wird dann über das Kommunikationssystem K2 ein Fehlersignal dV abgesandt. Die übergeordneten Funktionen werden daher bei einem Fehlerfall der Verarbeitungseinheit nicht mehr durchgeführt. Ein Bremsbetrieb ist dennoch sichergestellt, da die Pedaleinheit direkt den Radpaareinheiten die achsspezifischen Führungsgrößen zuführt. Die in einem alternativen Ausführungsbeispiel zugeführten Istgrößen dienen zur Realisierung einer analytischen Redundanz der Radpaareinheiten in der Verarbeitungseinheit **18** wie nachfolgend beschrieben.

[0027] Die Struktur einer Radpaareinheit für das bevorzugte Ausführungsbeispiel ist gemäß **Fig. 4** dargestellt. Die Darstellung der Struktur der Radpaareinheit wird am Beispiel der Radpaareinheit A vorgenommen. Die Radpaareinheit B ist entsprechend aufgebaut, wobei anstelle der mit der Radpaareinheit A im Zusammenhang stehenden Größen die aus **Fig. 1** bekannten Größen in bezug auf die Radpaareinheit entsprechend einzusetzen sind.

[0028] Die Radpaareinheit A ist an das Kommunikationssystem K1 angeschlossen. Über dieses empfängt und sendet sie die in **Fig. 1** beschriebenen Größen. Die Radpaareinheit umfaßt im wesentlichen zwei Mikrocomputer RA1 und RA2, die an das Bordnetz E1 angeschlossen sind und über ein Kommunikationssystem **300** Daten austauschen. Von den zugeordneten Rädern werden beiden Mikrorechner parallel zueinander über entsprechende Eingangsleitungen (**44**, **46**, **48** und **50**) Meßsignale bzgl. der Radgeschwindigkeiten $n1$ und $n2$ und der Istgrößen für

die Bremskraft bzw. das Bremsmoment F_{1i} und F_{2i} zugeführt. Vom Mikrocomputer RA1 führt eine Leitung **302**, über die eine Stellgröße i_{1s} übermittelt wird, auf eine Leistungselektronik LE1. Die Ausgangsleitung der Leistungselektronik ist die Ausgangsleitung **54**, die auf den ersten Aktor **20** zur Betätigung der Radbremse führt. Von der Leitung **54** kann eine Leitung **306** zum Mikrocomputer RA1 zurückgeführt werden. Entsprechend weist der Mikrocomputer RA2 eine Ausgangsleitung **308** auf, über die eine Stellgröße i_{2s} zur zweiten Leistungselektronik LE2 führt. Ausgangsleitung dieser Leistungselektronik ist die Leitung **56**, die auf den zweiten Aktor **22** führt. Auch von der Leitung **56** kann eine Leitung **312** zum Mikrocomputer RA2 zurückgeführt werden. Die Leistungselektroniken **304** und **310** werden von Bordnetz E1 über die Versorgungsleitungen **314** und **316** mit Strom versorgt. In diese Versorgungsleitungen sind Schaltelemente **318** und **320** eingefügt, die von den Mikrocomputern RA1 und RA2 mittels der Signale s_{A1} und s_{A2} über entsprechende Leitungen **322** und **324** betätigbar sind.

[0029] Innerhalb der Radpaareinheiten werden die Regelungen der radindividuellen Bremskräfte bzw. Bremsmomente realisiert. Über die Kommunikationssysteme werden dazu die Führungsgrößen bereitgestellt. Befindet sich die Verarbeitungseinheit im Normalbetrieb, so werden den Radpaareinheiten die radindividuellen Führungsgrößen F_1 bis F_4 zugeführt. Bei Ausfall der Verarbeitungseinheit stehen von der Pedaleinheit die Ersatzwerte, die achsindividuellen Führungsgrößen F_V und F_H zur Verfügung. Die Mikrocomputer der Radpaareinheiten, die je einer Radbremse zugeordnet sind, bilden die Strom- bzw. Spannungsstellgrößen für die Leistungselektroniken der elektrischen Aktoren auf der Basis der gemessenen Istgrößen für die Bremskraft bzw. das Bremsmoment an jeder Radbremse und den entsprechenden Führungsgrößen. Vorzugsweise erfolgt die Berechnung der Stellgrößen im Rahmen von entsprechenden Regelkreisen. In einem weiteren Ausführungsbeispiel können auch die Istwerte der Strom- bzw. Spannungsstellgrößen berücksichtigt werden, d. h. die über die Leitungen **306** und **312** zurückgeführten, durch die Aktoren fließenden Stromwerte. In diesem Fall kann dem Bremskraft- bzw. Bremsmomentenregelkreis ein Stromregelkreis unterlagert sein. Neben den Stromwerten können als Istwerte alternativ oder zusätzlich zur Verbesserung des Regelverhaltens bzw. zur Überwachung der Ansteuerung Drehwinkel oder Hub des elektrischen Aktors erfaßt und den Mikrocomputern zur Verfügung gestellt werden.

[0030] Die Radpaareinheiten A und B werden von verschiedenen Energiequellen gespeist. Zudem sind sie mit verschiedenen Kommunikationsverbindungen mit Verarbeitungseinheit und Pedaleinheit verbunden. Die den Radpaareinheiten zugeordneten Rädern können je nach Fahrzeugtyp einer Achse oder

einer Fahrzeugdiagonale zugeordnet sein. Zur Fehlererkennung tauschen die beiden Mikrocomputer über die Kommunikationsverbindung **300** die Ergebnisse der Stellgrößenberechnung aus. Sie vergleichen diese Ergebnisse und steuern die Leistungselektroniken an, wenn die Berechnungsergebnisse innerhalb eines vorgebbaren Toleranzbereichs übereinstimmen. Als Beispiel für ein Ansteuersignal sei ein pulsweitenmoduliertes Spannungssignal genannt. Führt ein Fehler in einer Leistungselektronik zur Ansteuerung eines Aktors, so kann dies durch Vergleich der Stell- und Regelgröße erkannt werden. Bei einem unzulässigen Zusammenhang zwischen Stell- und Regelgröße in einem Radbremskanal schaltet der entsprechende Mikrocomputer über die Steuersignale s_{A1} bzw. s_{A2} bzw. s_{B1} und s_{B2} über die Schalter **318** und **320** die Leistungselektronik ab. Im Fehlerfall wird eine Fehlerbotschaft d_A bzw. d_B an die Verarbeitung- bzw. Pedaleinheit abgesetzt, die vorzugsweise auch eine Information über die Art des Fehlers bzw. das Ausmaß der Abschaltmaßnahmen enthält, so daß dies von der Verarbeitungseinheit bei der Bestimmung der Sollwerte berücksichtigt werden kann.

[0031] Eine zweite vorteilhafte Ausführungsform der Radpaareinheiten ist in **Fig. 5** dargestellt. Im Unterschied zur Ausführungsvariante nach **Fig. 4** ist dabei jede der Einheit einkanalig realisiert, d. h. die Stellgröße jedes Aktors wird von einem zugeordneten Mikrocomputer berechnet. Im Gegensatz zur Ausführungsvariante nach **Fig. 4** wird auf die gegenseitige Übermittlung der Berechnungsergebnisse sowie aus der parallelen Berechnung der Stellgrößen in beiden Mikrocomputern mit anschließenden Vergleich zur Fehlererkennung verzichtet. Daher werden die Drehzahl- und Istwertgrößen jedes Rades auch nur dem zugehörigen Mikrocomputer zugeführt. Zur Sicherstellung der Betriebssicherheit und der Verfügbarkeit dieses Systems wird die Fehlerüberprüfung durch jeden Mikrocomputer selbst und zusätzlich von der Verarbeitungseinheit durchgeführt. Der Mikrocomputer selbst führt die Fehlerüberwachung anhand von Plausibilitätsvergleichen zwischen Stell- und Regelgrößen (Bremskräfte, Bremsmomente, Ströme, etc.) durch. Stellt der Mikrocomputer fehlerhafte Zustände in seiner Leistungselektronik oder im Verbindungssystem fest, übermittelt er entsprechende Fehlerbotschaften an die Verarbeitungseinheit. Da in diesem Ausführungsbeispiel der Verarbeitungseinheit die erfaßten Istgrößen für die Bremskraft bzw. das Bremsmoment zur Verfügung gestellt werden, wird ein Fehlverhalten innerhalb des Mikrocomputers, das zu einer unzuverlässigen Stellgröße bzw. Regelgröße führt, innerhalb der Verarbeitungseinheit durch die analytischen Redundanz der Funktion der Radpaareinheit erkannt. Dies erfolgt beispielsweise durch Plausibilitätsvergleich der radindividuellen Führungsgrößen und der Regelgrößen (Bremskraft, Bremsmoment) unter Einbeziehung eines dynamischen Modells der

Regelstrecke, der Drehzahlen der anderen Räder und des aktuellen Betriebszustandes der übergeordneten Funktionen (z. B. Rad im ABS/ASR-Betrieb). Im Fehlerfall wird durch Betätigen des entsprechenden Steuersignals (sA1 bis sB2) von der Verarbeitungseinheit die Stromversorgung zur entsprechenden Leistungselektronik über die Schalter **318** oder **320** unterbrochen.

[0032] Ein weiteres vorteilhaftes Ausführungsbeispiel ergibt sich durch die Zusammenfassung der Funktionen der Mikrocomputer RA1 und RA2 in einer Rechereinheit, die dann in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp die Funktionen für eine Fahrzeugdiagonale bzw. -achse übernimmt.

[0033] Zusammenfassend zeigt das in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) dargestellte Ausführungsbeispiel neben einer fehlertoleranten Pedaleinheit eine Verarbeitungseinheit, die die Bearbeitung der übergeordneten Bremsfunktionen übernimmt. Im Fehlerfall wird diese Verarbeitungseinheit abgeschaltet (fail-stop-Verhalten). In der zweiten Ausführungsvariante besitzt diese Verarbeitungseinheit eine analytische Redundanz zur Überüfung der Funktion der Radpaareinheiten bzw. jedes Mikrocomputers der Radpaareinheiten. Im Fehlerfall wird in dieser Ausführungsvariante ein getrennter Abschaltpfad zu einer Leistungselektronik wirksam, so daß die Radpaareinheiten einkanalig realisiert werden können. Bei der erstgenannten Ausführungsvariante sind die Radpaareinheiten unabhängige Systemkomponenten, die im Fehlerfall abgeschaltet werden. Sie verfügen über jeweils zwei voneinander unabhängige Abschaltpfade (über die Stellgröße und über die Energieversorgung) der Aktorstuerung.

[0034] Eine zweite Ausführungsform des elektronischen Bremssystems ist in den [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel ist gegenüber dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 1](#) auf die Verarbeitungseinheit verzichtet worden und nur ein Kommunikationssystem K2 vorhanden. Die anhand des Ausführungsbeispiels der [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) beschriebenen Funktionen der Verarbeitungseinheit sind innerhalb der Pedaleinheit realisiert. Die Kommunikation zwischen der Pedaleinheit und den beiden Radpaareinheiten erfolgt im fehlerfreien Betrieb ausschließlich über das Kommunikationssystem K2. Bei Ausfall des Kommunikationssystems oder bei Fehlern innerhalb der Mikrocomputersysteme der Radpaareinheiten wird über die Ersatzgrößen i1r, i2r, i3r und/oder i4r ein gesteuerter Betrieb durch direkten Zugriff von der Pedaleinheit aus auf die Leitungselektronik der gestörten Einheit aufrechterhalten.

[0035] Wie in [Fig. 6](#) dargestellt werden der Pedaleinheit neben den aus [Fig. 1](#) bekannten Größen (z.B. b1, b2 und b3) Eingangsleitungen **400** bis **402** von den Meßeinrichtungen zur Erfassung von Be-

triebsgrößen hinsichtlich der Fahrdynamik zugeführt. Ferner werden der Pedaleinheit über das Kommunikationssystem K2 die Fehlergrößen der Radpaareinheiten dA und dB, die Radgeschwindigkeiten n1 bis n4 der Räder sowie in einem alternativen Ausführungsbeispiel die Istwerte F1i bis F4i (vgl. Klammerausdrücke in [Fig. 6](#)) der Bremskräfte bzw. Bremsmomente zugeführt. Über die vom Kommunikationssystem K2 unabhängigen Leitungen **404**, **406**, **408** und **410** übermittelt die Pedaleinheit an die Radpaareinheiten A und B im Fehlerfall Ersatzwerte zur Ansteuerung der Aktoren im Fehlerfall (i1r, i2r, i3r bzw. i4r). Im alternativen Ausführungsbeispiel sind ferner die ebenfalls vom Kommunikationssystem K2 unabhängigen Leitungen **412**, **414**, **416** und **418** vorgesehen, über die die Pedaleinheit an die Radpaareinheiten Steuersignale sA1, sA2, sB1 und sB2 zur Steuerung der Energieversorgung der Leistungselektronik der Radpaareinheiten übermitteln kann. Die Radpaareinheiten selbst entsprechen im wesentlichen den aus dem erstem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#). Sie sind an das Kommunikationssystem K2 angebunden, eine der Radpaareinheiten vorzugsweise potentialgetrennt. Sie empfangen von der Pedaleinheit die Führungsgrößen sowohl achs- als auch radindividuell (FH, FV, F1 bis F4) und übermitteln auf dem Kommunikationssystem an die Pedaleinheit Radgeschwindigkeiten n1 bis n4, Fehlersignale dA und dB, sowie im alternativen Ausführungsbeispiel die Istwerte der Bremskräfte bzw. Bremsmomente F1i bis F4i. Die Radpaareinheiten sind an unterschiedliche Bordnetze angeschlossen und erfassen wie im Ausführungsbeispiel nach [Fig. 1](#) die Radgeschwindigkeiten der zugeordneten Räder sowie die Istwerte der Bremskräfte. Ferner wird den Radpaareinheiten die Ersatzsteuergrößen von der Pedaleinheit sowie im alternativen Ausführungsbeispiel die Steuersignale für die Energieversorgung zugeführt. Über die bereits aus [Fig. 1](#) bekannten Leitungen steuern die Radpaareinheiten die Aktoren der zugeordneten Radbremsen an.

[0036] Die Struktur der gegenüber dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 2](#) modifizierten Pedaleinheit **10** ist in [Fig. 7](#) dargestellt. Im Gegensatz zu der Darstellung nach [Fig. 2](#) werden beiden Mikrocomputern P1 und P2 jeweils zusätzlich die zur Durchführung der in der Verarbeitungseinheit nach [Fig. 1](#) durchgeführten übergeordneten Funktionen notwendigen Meßgrößen zugeführt. Diese übergeordneten Funktionen, die vorstehend anhand der Verarbeitungseinheit beschrieben sind, werden redundant in beiden Mikrocomputern der Pedaleinheit berechnet. Die Ergebnisse werden von den Mikrocomputern ausgetauscht und verglichen, um Fehler festzustellen. Bei Nichtkonsistenz der Ergebnisse bzw. der Teilergebnisse werden die achsbezogenen Führungsgrößen FV bzw. FH den Radareinheiten zur Verarbeitung zugeführt. Im gegenteiligen Fall bei konsistenten Ergebnissen werden die radindividuellen Führungsgrö-

ßen F1 bis F4 über das Kommunikationssystem K2 den Radpaareinheiten A und B zur Verfügung gestellt. Das Kommunikationssystem K2 ist nur an einen Mikrocomputer angebunden (z.B. an P2). Dies hat den Vorteil, daß bei Ausfall dieses Kommunikationssystems die Pedaleinheit über den anderen Mikrocomputer auf den redundanten Kommunikationswegen die Bremsensteuerung aufrechterhalten kann. Bei Ausfall des Kommunikationssystems K2 werden von beiden Mikrocomputern Ersatzgrößen $i1r$ bis $i4r$ berechnet, die im Fehlerfall als Ersatzführungsgrößen für die Bremskraft- bzw. Bremsmomentenregelung dienen. Diese werden unabhängig vom Kommunikationssystem von den Mikrocomputern jeweils einer Radpaareinheit zugeführt. Sie werden gebildet auf der Basis des Fahrerbremswunsches und stehen in direktem Zusammenhang zu den Teilbremskräften für die Vorder- bzw. Hinterachse. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel stellen diese Signale die Stellgrößen für die Leistungselektronik der Radmodule dar und sind als pulsweitenmoduliertes Spannungssignal gestaltet. Sind die beiden Aktoren der Radpaareinheiten zu einer Fahrzeugsachse zugeordnet, sind die Ersatzgrößen für die Radpaareinheit identisch und können in einem Signalpfad zusammengefaßt werden. Bei Fehlern innerhalb der Mikrocomputer einer Radpaareinheit oder bei Ausfall einer Radpaareinheit sind die Ersatzgrößen Ersatzstellgrößen für die Leistungselektronik der durch die Fehlfunktion betroffenen Aktoren. Im Fehlerfall des Kommunikationssystems bzw. einer Radpaareinheit wird somit von der Pedaleinheit ausgehend im Rahmen einer Notsteuerung die Betriebsfähigkeit der Bremsanlage aufrecht erhalten. Wie vorstehend beschrieben werden die in der Pedaleinheit implementierten Funktionen parallel in den unabhängigen Programmen Prog1 bis Prog3 der Mikrocomputer P1 und P2 berechnet und die Ergebnisse zur Fehlererkennung und zur Auswahl des korrekten Ergebnissen in den beiden Mikrocomputern miteinander verglichen.

[0037] Im Rahmen einer alternativen Ausführung wird die analytische Redundanz zur Prüfung der Korrektheit der Stellgrößenberechnung der Radpaareinheiten in der Pedaleinheit realisiert, analog zum entsprechenden Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#), bei dem die analytische Redundanz in der Verarbeitungseinheit hergestellt wurde. Zu diesen Zweck werden der Pedaleinheit über K2 die Istgrößen F1i bis F4i von den Radpaareinheiten A und B zugeführt. In Fehlerfall werden die Schaltsignale für die Energieversorgung von der Pedaleinheit erzeugt und über die Leitungen **412** bis **418** an die betroffene Radpaareinheit übertragen.

[0038] Die Struktur der Radpaareinheiten in diesem Ausführungsbeispiel ist in [Fig. 8](#) skizziert. Die Radpaareinheiten A und B sind dabei nahezu identisch aufgebaut. Da die Radpaareinheit B von einem anderen Bordnetz versorgt wird, und das Kommunikati-

onssystem ebenfalls von diesem Bordnetz versorgt wird, enthält die Radpaareinheit A gemäß [Fig. 8](#) Potentialtrennungen zum Kommunikationssystem K2 hin. Die Struktur der Radpaareinheiten entspricht dabei im wesentlichen der in [Fig. 4](#) beschriebenen. Neu dabei ist, daß in die Leitung **302** bzw. **308** ein Schaltelement **500** bzw. **502** eingefügt ist. Dieses Schaltelement trennt durch Ansteuerung vom zugeordneten Mikrocomputer über die Leitung **504** bzw. **506** die Verbindung vom Mikrocomputer zur Leistungselektronik jeweils auf und verbindet die Leistungselektronik mit der Leitung **404** bzw. **406**. Ferner wird die Ersatzsteuergröße auf der Leitung **404** bzw. **406** über die Leitung **508** bzw. **510** von den Mikrocomputern eingelesen. Die Radpaareinheiten enthalten somit redundante Mikrocomputersysteme sowie eine redundante Ankopplung des Kommunikationssystems und der peripheren Eingangsbaugruppen (Radgeschwindigkeiten, Istgrößen). Die Korrektheit der berechneten Stellgrößen wird auch hier durch Vergleich der Ergebnisse in beiden Rechnersystemen wie anhand [Fig. 4](#) beschrieben sichergestellt. Bei Inkonsistenz der Ergebnisse einer Regelfunktion wie auch bei Ausbleiben des Triggersignals einer Watchdogeinheit wird durch das dem betroffenen Mikrocomputer zugeordnete Steuersignal ($rA1$ bis $rB2$) auf die Ersatzgröße der betroffenen Einheit umgeschaltet. Alle Ersatzgrößen werden im fehlerfreien Betrieb durch die Mikrocomputereinheiten periodisch erfaßt. Ihre Korrektheit wird dann wegen des proportionalen Zusammenhangs zu den Führungsgrößen FV bzw. FH durch Vergleichsoperationen überprüft. Wird wegen eines Fehlers in einer Leistungselektronik ein Aktor angesteuert, wird dies wie oben dargestellt durch Plausibilitätsprüfung des Zusammenhangs zwischen Stell- und Regelgröße erkannt. Bei einem unzulässigen Zusammenhang wird die Energieversorgung der betroffenen Leistungselektronik über eines der Steuersignale $sA1$ bis $sB2$ unterbrochen. Dies erfolgt im bevorzugten Ausführungsbeispiel von den Mikrocomputern der Radpaareinheiten selbst.

[0039] In einer alternativen, nicht dargestellten Ausführungsform sind Kommunikationssystem und Eingangsbaugruppen einkanalig an einem Mikrocomputersystem wie gemäß [Fig. 5](#) oder mit geeigneter Verteilung auf beide Mikrocomputersysteme aufgeschaltet. Der Signaltausch zwischen den Mikrocomputersystemen wird dann über eine Rechnerschnittstelle realisiert. In diesem Fall stammen die Energieschalt-signale von der Pedaleinheit, zu der zur Herstellung der analytischen Redundanz die Istgrößen übertragen werden.

[0040] Zusammenfassend ist festzustellen, daß in dem anhand der Figuren nach [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) beschriebenen Ausführungsbeispiel übergeordnete Bremsfunktionen in der Pedaleinheit ausgeführt werden und dadurch nahezu gleichartige Realisierungen der Radpaareinheiten möglich sind. Rechnersystem

und Peripheriebaugruppen sind darin redundant realisiert. Im Fehlerfall ist nur noch ein gesteuerter Betrieb über die Ersatzgröße möglich. In einem alternativen Ausführungsbeispiel sind beide Radpaareinheiten einkanlig realisiert und eine analytische Redundanz zusätzlich in der Pedaleinheit implementiert. Auch hier ist im Fehlerfall ein gesteuerter Betrieb über die Ersatzgröße möglich. Eine reduzierte Ausführung, in der die Ersatzgrößen nur auf die Aktoren der Vorderachse wirken, ist vorteilhaft. Ebenso können die Funktionen der beiden Mikrocomputern einer Radpaareinheit in einem Computersystem zusammengefaßt werden.

[0041] Eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Bremssystems ist anhand der [Fig. 9](#) dargestellt, die die Struktur des Gesamtsystems zeigt. Wesentlicher Unterschied zum Ausführungsbeispiel nach [Fig. 6](#) ist, daß das zusätzliche Kommunikationssystem K1 von der Pedaleinheit zur Radpaareinheit A führt, während das Kommunikationssystem K2 nur die Verbindung zwischen Pedaleinheit und Radpaareinheit B herstellt. Dadurch ergeben sich in den Einheiten Änderungen, die darin bestehen, daß der Mikrocomputer P1 der Pedaleinheit zusätzlich an das Kommunikationssystem K1 angeschlossen ist, und in den Radpaareinheiten durch Einführen des Kommunikationssystems K1, das durch die Energiequelle E1 gespeist wird, die Potentialtrennung in einer der Radpaareinheiten entfällt. Die Funktionsweise ergibt sich aus dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel.

[0042] Auch hier werden die übergeordneten Bremsfunktionen in der Pedaleinheit ausgeführt. Da zudem die Kommunikationssysteme symmetrisch realisiert sind, ist eine gleichartige Realisierung der Radpaareinheiten möglich. Rechnersystem und Peripheriebaugruppen in beiden Radpaareinheiten sind redundant realisiert. Im Fehlerfall ist wie im zweiten Ausführungsbeispiel nach [Fig. 6](#) nur noch ein gesteuerter Betrieb über die Ersatzgröße möglich. Wird eine einkanlige Realisierung der Radpaareinheiten gewählt, so ist eine analytische Redundanz in der Pedaleinheit zu realisieren. Auch hier ist das Bremssystem bzgl. der Radpaareinheiten symmetrisch aufgebaut. Jede Radpaareinheit besitzt dann zwei unabhängige Rechner, die jeweils völlig getrennt einen Aktor ansteuern.

[0043] Eine vierte Ausführungsform ist in den [Fig. 10](#) bis [Fig. 12](#) beschrieben. Dabei wird als wesentlicher Unterschied zur Struktur des Bremssystems nach [Fig. 1](#) die Funktionen der Verarbeitungseinheit in die Radpaareinheit A eingebunden.

[0044] Die Pedaleinheit **10** weist neben den Eingängen zur Stromversorgung und den zur Fahrerwunscherfassung einen Anschluß an das Kommunikationssystem K2 auf, über den es die Fehlersignale dA

und dB der Radpaareinheiten empfängt und abhängig vom Fahrerwunsch gebildeten Führungsgrößen bzgl. der Fahrzeugachsen FV und FH aussendet. Ferner weist die Pedaleinheit in einer Ergänzung die Ausgangsleitungen **600** und **602** auf, über die Ersatzgrößen i1r und i2r an die Radpaareinheit A, die die Funktionen der Verarbeitungseinheit durchführt, übermittelt werden. In einer zweiten Ergänzung weist die Pedaleinheit Ausgangsleitungen **604** und **606** auf, über die Ersatzsteuergrößen i3r und i4r an die Radpaareinheit B übermittelt werden. Die Radpaareinheit A ist potentialgetrennt an das Kommunikationssystem K2 angebunden, da sie ist im Gegensatz zum Kommunikationssystem K2 an das Bordnetz E1 angeschlossen ist. Sie empfängt die achsspezifischen Führungsgrößen von der Pedaleinheit sowie die Geschwindigkeitssignale n3 und n4 und gemäß einem alternativen Ausführung die Istwerte F3i und F4i von der Radpaareinheit B. Die Radpaareinheit A sendet über das Kommunikationssystem ihr Fehlersignal dA sowie die radindividuellen Führungsgrößen F3 und F4 für die Radpaareinheit B. Ferner liest die Radpaareinheit A die für die übergeordneten Funktionen notwendigen Größen sowie die Meßgrößen der zugeordneten Räder ein. Sie steuert in oben geschilderter Weise die Aktoren 1 und 2 der zugeordneten Radbremsen an. Die Radpaareinheit B ist an das Bordnetz E2 angeschlossen ist. Sie empfängt über das Kommunikationssystem achsspezifische und radindividuelle Führungsgrößen (FV, FH, F3, F4) und sendet über das Kommunikationssystem ihr Fehlersignal dB, die Geschwindigkeitssignale n3 und n4 der zugeordneten Räder, und ggf. Istwerte F3i und F4i bzgl. der eingestellten Bremskräfte bzw. Bremsmomente. In einem alternativen Ausführungsbeispiel verbinden ergänzend Leitungen **608** und **610** die Radpaareinheit A mit der Radpaareinheit B. Über diese Leitungen sendet die Radpaareinheit A ggf. Steuersignale sB1 und sB2 zur Unterbrechung der Energieversorgung der Radpaareinheit B. Ferner erfaßt die Radpaareinheit B die relevanten Größen der zugeordneten Räder und Radbremsen und steuert die Aktoren der zugeordneten Radbremsen entsprechend der vorstehenden Beschreibung.

[0045] In [Fig. 11](#) ist die Pedaleinheit dargestellt. Sie unterscheidet sich von der Pedaleinheit gemäß [Fig. 2](#) dadurch, daß an den Mikrocomputer P1 kein Kommunikationssystem, sondern die Ein- bzw. Zweidrahtverbindung **600** und **602** zur Übermittlung der Ersatzgrößen angeschlossen ist. In einer Ergänzung sind an den Mikrorechner P2 die Leitungen **604** und **606** angeschlossen, die die Ersatzgrößen an die Radpaareinheit B übermitteln. Neben den anhand [Fig. 2](#) dargestellten Funktionen zur Berechnung der Führungsgrößen FV und FH werden abhängig vom Bremswunsch Ersatzgrößen i1r und i2r berechnet, die im Fehlerfall wirken. Bei Ausfall des Kommunikationssystems dienen diese Signale als Ersatzführungsgrößen für die Bremskraft- bzw. Bremsmomen-

tenregelung. Bei Fehlern innerhalb der Mikrocomputer der Radpaareinheit A sind $i1r$ und $i2r$ Ersatzstellgrößen für die Leistungselektronik der durch die Fehlfunktion betroffenen Aktoren. Die Signale $i1r$ und $i2r$ werden nach der anhand [Fig. 7](#) beschriebenen Vorgehensweise gebildet. Bei der Ergänzung bildet die Pedaleinheit auch entsprechende Ersatzgrößen $i3r$ und $i4r$ für die Radpaareinheit B, die ihr im Fehlerfall zugeführt werden. Diese Ersatzgrößen werden in analoger Weise gebildet. Auch im Ausführungsbeispiel nach [Fig. 11](#) diesen unabhängige Programme der Mikrocomputer wie anhand [Fig. 2](#) beschrieben zur Bestimmung der Sollgrößen bzw. Ersatzgrößen sowie der Fehlererkennung.

[0046] [Fig. 12](#) zeigt die Struktur der Radpaareinheit A, in der die Funktionen der Verarbeitungseinheit integriert ist. Die Mikrocomputer RA1 und RA2 sind mit dem Bordnetz E1 verbunden, so daß zu dem vom Bordnetz E2 versorgten Kommunikationssystem K2 Potentialtrennung notwendig ist. Ferner lesen die Mikrocomputer redundant die zugeordneten Rad- bzw. Bremsmeßgrößen sowie weitere Meßgrößen (Leitungen **68 bis 70**) ein. Ausgangsseitig ist die Gestaltung der Radpaareinheit A entsprechend [Fig. 8](#).

[0047] Die Radpaareinheit übernimmt zusätzlich die Funktionen der Verarbeitungseinheit. Sie wird durch die Energiequelle E1 versorgt und ist durch ein redundantes Mikrocomputersystem realisiert. Die individuellen Drehzahlen $n1$ und $n2$, die Bremskräfte bzw. Bremsmomente sowie die zur Durchführung der übergeordneten Funktionen notwendigen Meßgrößen werden ebenfalls redundant aufgeschaltet. In einer vereinfachten Ausführungsform werden sowohl das Kommunikationssystem K2 als auch die Meßgrößen entsprechend der Ausführung nach [Fig. 5](#) nur einkanalig erfaßt. Die Berechnungen für die übergeordneten Funktionen wie auch für die Bremskraft- bzw. Bremsmomentenregelungen werden in beiden Mikrocomputern durchgeführt. Die Ergebnisse werden über den Kommunikationskanal ausgetauscht und bei Nichtübereinstimmung eine Fehlerbotschaft abgesetzt. Bei Inkonsistenz der Ergebnisse einer Regelfunktion wie auch Ausbleiben des Triggersignals einer Watchdog-Einheit wird durch die Signale $ra1$ bzw. $ra2$ auf die Ersatzgröße der betroffenen Einheit $i1r$ bzw. $i2r$ umgeschaltet. Beide Ersatzgrößen werden im fehlerfreien Betrieb durch die Mikrocomputer RA1 bzw. RA2 periodisch erfaßt, während ihres proportionalen Zusammenhangs mit den achsspezifischen Führungsgrößen wird die Korrektheit durch Vergleich mit diesen Führungsgrößen überprüft. Führt ein Fehler in einer Leistungselektronik zu einer ungewollten Ansteuerung eines Aktors, so kann dies mittels einer Plausibilitätsprüfung zwischen Stell- und Regelgröße erkannt werden. In diesem Fall wird die Energieversorgung der Leistungselektronik vom entsprechenden Mikrocomputer über eines der Steuerungssignale $sa1$ bzw. $sa2$ unterbrochen. Zusätzlich dazu

übernimmt die Radpaareinheit A die analytische Redundanz für die Funktionen der Radpaareinheit B, falls diese einkanalig ausgeführt ist (vgl. [Fig. 5](#)). Dazu werden zusätzlich die Istmeßgrößen der Bremskräfte bzw. Bremsmomente verarbeitet. Bei nicht konsistenten Ergebnissen erfolgt eine Abschaltung der Energieversorgung innerhalb der Radpaareinheit B vom Mikrorechner RA2 über die Signale $sB1$ bzw. $sB2$ aus.

[0048] Die Radpaareinheit B ist in zweikanaliger Ausführung entsprechend [Fig. 4](#) gestaltet. In einkanaliger Ausführung entspricht die Struktur der Radpaareinheit B der [Fig. 5](#).

[0049] Ferner ist eine Ausführungsform vorteilhaft, in der der Radpaareinheit B von der Pedaleinheit ebenfalls Ersatzsteuergrößen zugeführt wird. Entsprechend wird im Fehlerfall mittels der von der Radpaareinheit A gebildeten Steuersignale $sB1$ bzw. $sB2$ nicht die Energieversorgung der Leistungselektronik abgeschaltet, sondern auf die Ersatzgrößensteuerung umgeschaltet. Die Radpaareinheit weist dann ausgangsseitig die in [Fig. 8](#) dargestellte Ausführung auf.

[0050] Im gezeigten Ausführungsbeispiel werden die übergeordneten Bremsfunktionen die Radpaareinheit A integriert, die im Fehlerfall abgeschaltet wird. Der Informationsfluß von der Pedaleinheit zu den weiteren Systemkomponenten erfolgt im Normalbetrieb über ein Kommunikationssystem. Beide Radpaareinheiten verfügen über je zwei unabhängige Abschaltpfade zur Aktoransteuerung (Energieversorgung und Ersatzgröße). Bei Ausfall des Kommunikationssystems ist weiterhin durch Verwendung von Ersatzgrößen ein geregelter Betrieb in der Radpaareinheit A möglich. Bei Fehlverhalten in der Radpaareinheit A kann ein gesteuerter Bremsbetrieb durch die gleichen Ersatzgrößen aufrecht erhalten werden. Die Radpaareinheit B besitzt durch einen redundanten Aufbau ein entsprechendes Fehlverhalten. Bei einkanaliger Realisierung der Radpaareinheit B wird das Fehlverhalten durch eine analytische Redundanz in der Radpaareinheit A sichergestellt. Ferner kann diese Ausführungsform dahingehend erweitert werden, daß im Fehlerfall auch bzgl. der Radpaareinheit B ein gesteuerter Bremseneingriff über die Ersatzgröße möglich ist.

[0051] Neben der Anwendung des erfindungsgemäßen elektronischen Bremssystems bei elektromotorischen Bremsen kann das Bremssystem auch bei elektrisch gesteuerten hydraulischen oder pneumatischen Bremsanlagen eingesetzt werden.

[0052] Die geschilderten Einheiten sind in einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel als einzelne Steuergeräte realisiert, die in der Nähe der entsprechenden Komponenten (Radbremse, Bremspedal, etc.)

angeordnet sind. In anderen Ausführungsbeispielen können die Einheiten auch in beliebiger Zusammensetzung in einem oder mehreren Steuergeräten zusammengefaßt werden.

Patentansprüche

1. Elektrisches Bremssystem für ein Fahrzeug, mit folgenden Elementen:

- Steuermodule (A, B) zur Einstellung der Bremskraft an den Rädern des Fahrzeugs,
- ein Steuermodul (Pedaleinheit **10**), welches wenigstens den Fahrerbremswunsch ermittelt,
- wenigstens ein Kommunikationssystem (K1, K2), welches die Module miteinander verbindet, wobei zur Energieversorgung der Elemente wenigstens zwei voneinander unabhängige Bordnetze (E1, E2) vorgesehen sind, wobei wenigstens eines der Elemente gegenüber den anderen an ein anderes Bordnetz angeschlossen ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Steuermodule (A, B) Gruppen von Radbremmen betätigen, wobei jeweils ein Steuermodul (A, B) über getrennte Kommunikationssysteme mit dem Steuermodul (**10**) und einer Verarbeitungseinheit (**18**) verbunden ist.

2. Bremssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuermodul (**10**) zur Bestimmung des Fahrerbremswunsches an zwei voneinander unabhängige Kommunikationssysteme (K1, K2) angeschlossen ist.

3. Bremssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungseinheit (**18**) die übergeordneten Funktionen wie Fahrdynamikregelung, Antiblockierschutz, Antriebsschlupfregelung, etc. durchführt.

4. Bremssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuermodule (A, B) elektromotorische Bremsensteller (Aktoren **20, 22, 24, 26**) ansteuern.

5. Bremssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Kommunikationssystem (K1, K2) die Pedaleinheit (**10**) mit den Steuermodulen (A, B) verbindet, wobei weitere, davon unabhängige Kommunikationsverbindungen vorgesehen sind, über die von der Pedaleinheit (**10**) zu den Steuermodulen (A, B) im Fehlerfall Ersatzgrößen übermittelt werden.

6. Bremssystem nach einem der Ansprüche 1, 2, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die übergeordneten Funktionen von der Pedaleinheit (**10**) durchgeführt werden.

7. Bremssystem nach einem der Ansprüche 1, 2, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß in einem der

Steuermodule die übergeordneten Funktionen gerechnet werden, dieses Steuermodul über ein Kommunikationssystem mit der Pedaleinheit und mit wenigstens einem anderen Steuermodul verbunden ist und im Fehlerfall von der Pedaleinheit über Leitungsverbindungen Ersatzwerte erhält.

8. Bremssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuermodule jeweils achsweisen oder diagonalen Bremsen zugeordnet sind.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

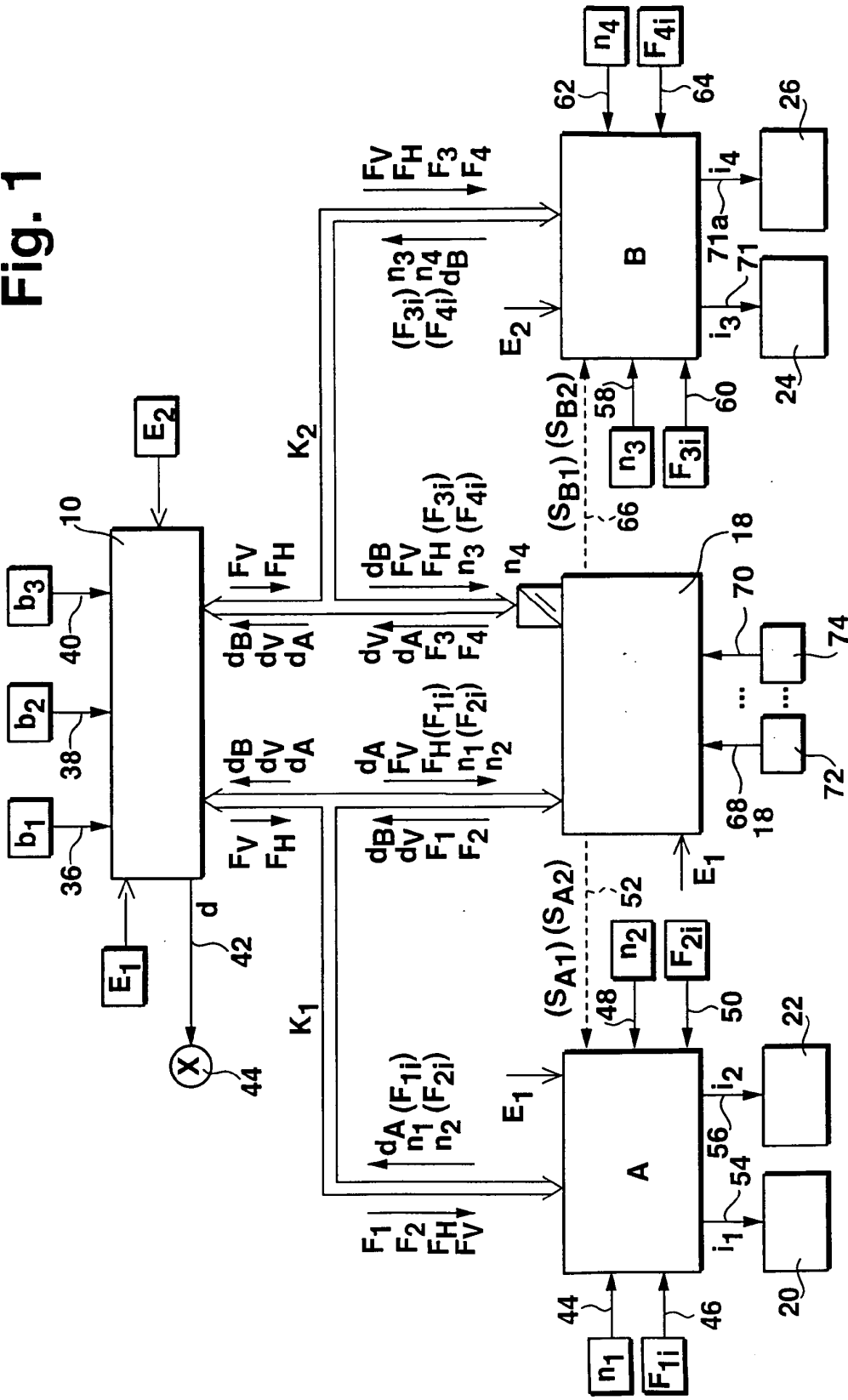


Fig. 2

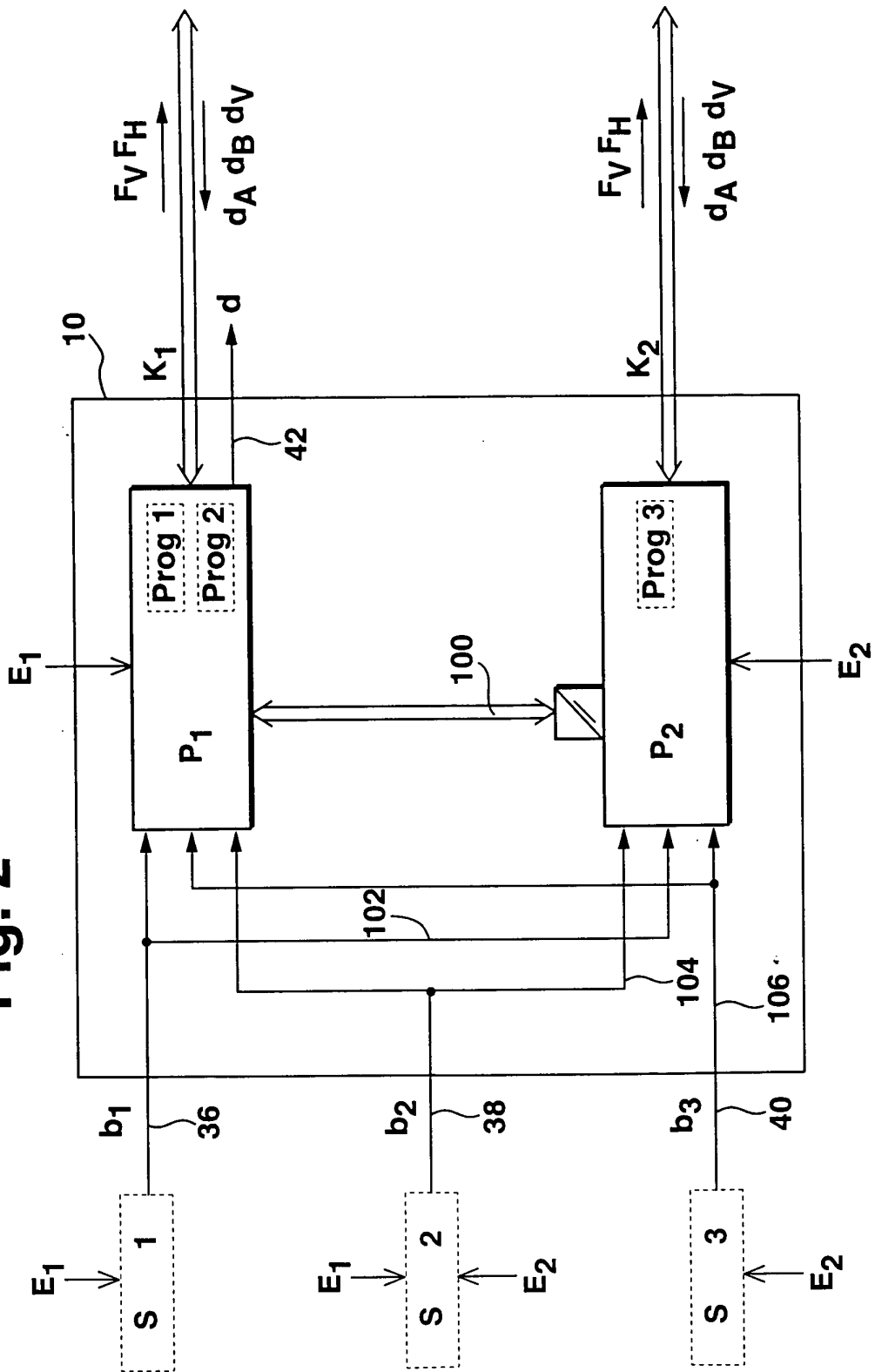


Fig. 3

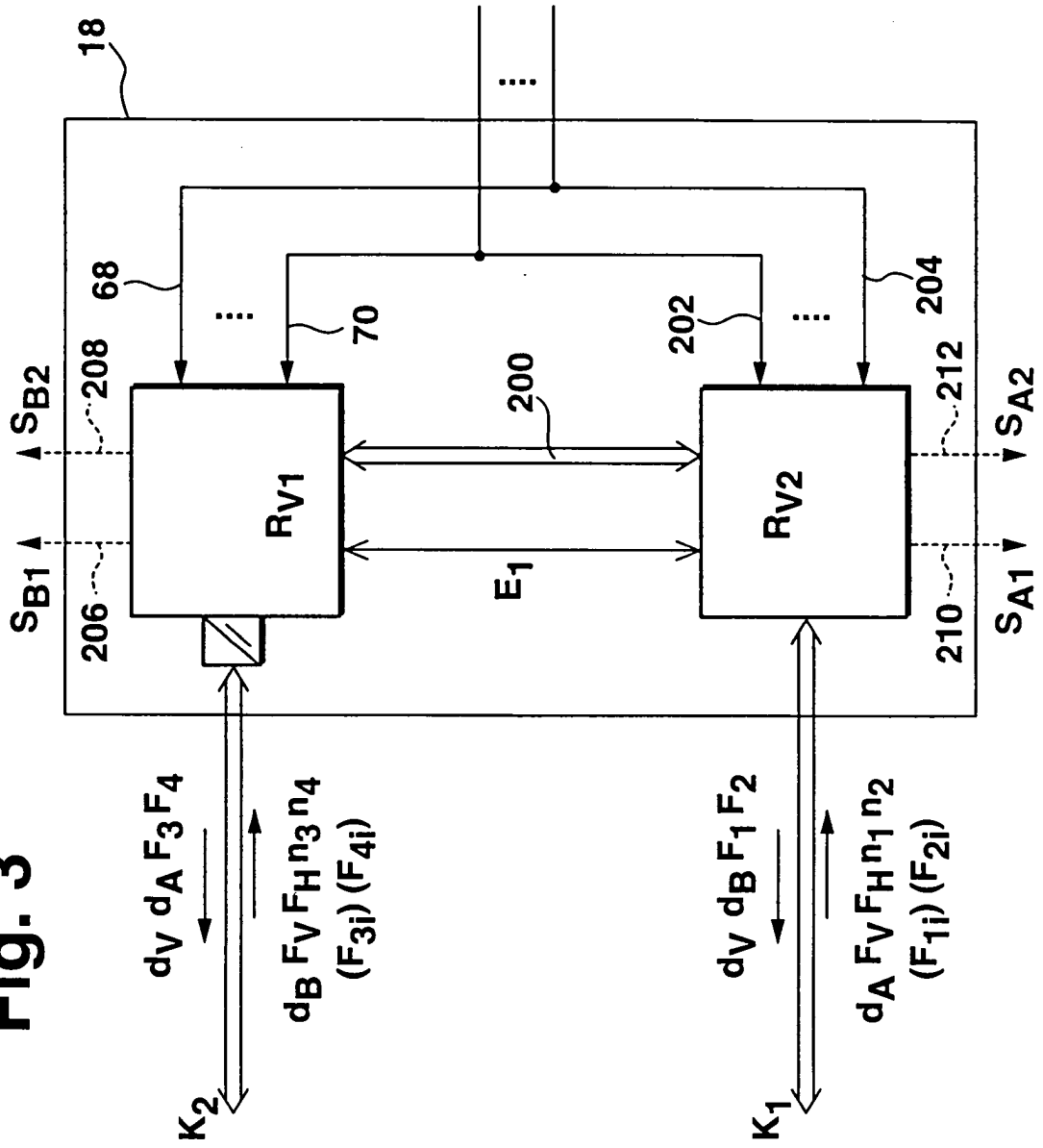
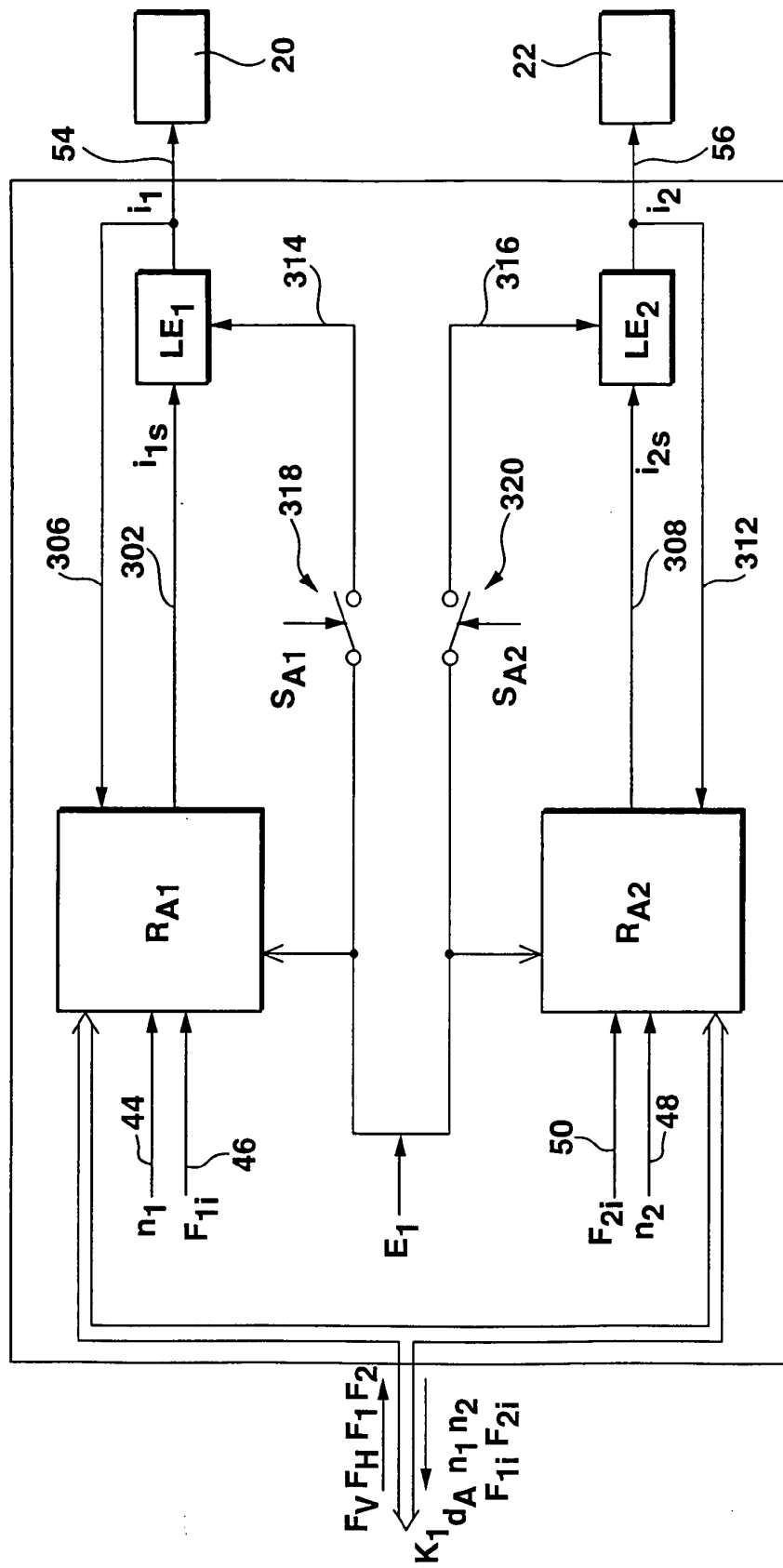


Fig. 5



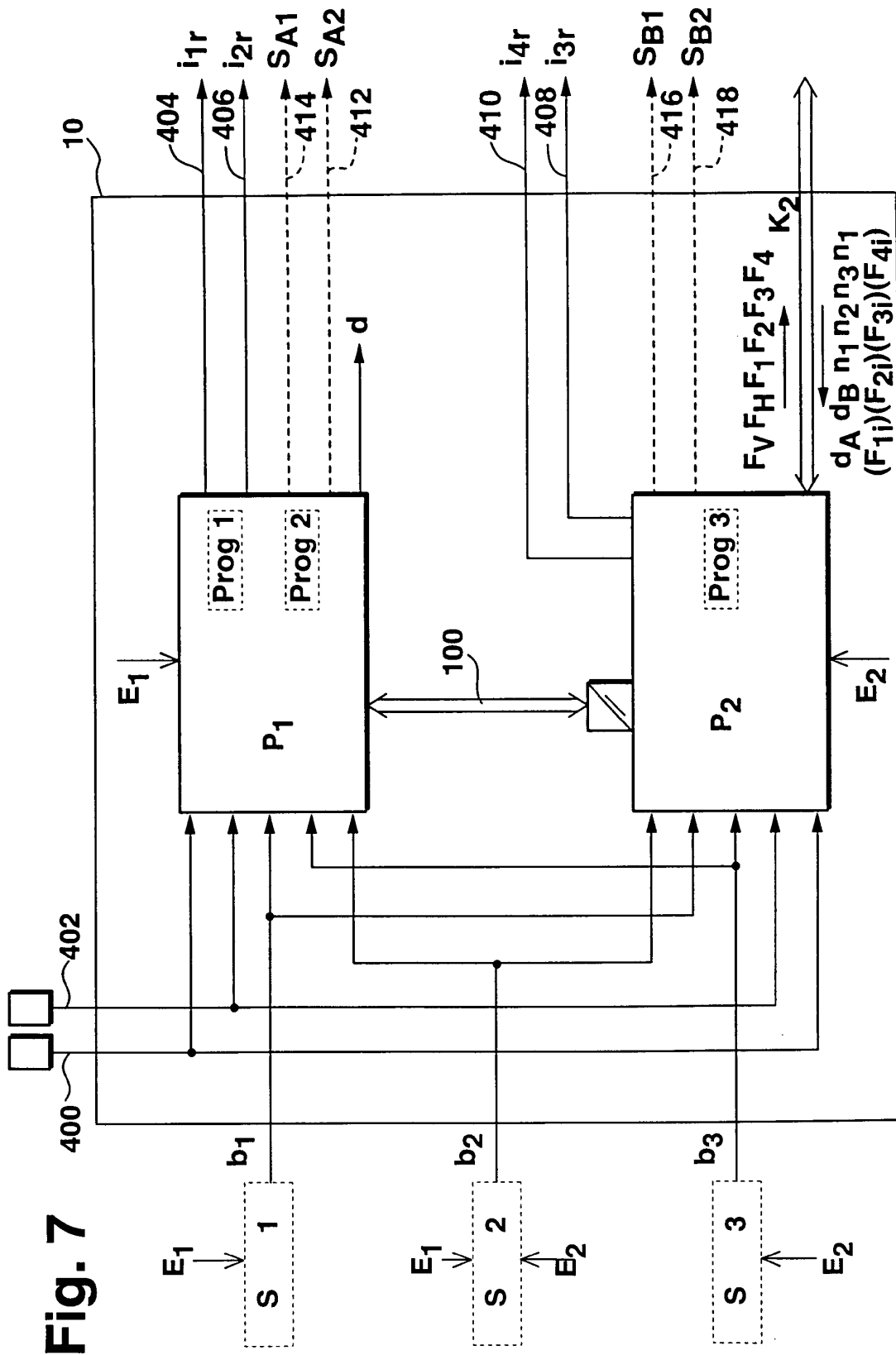


Fig. 8

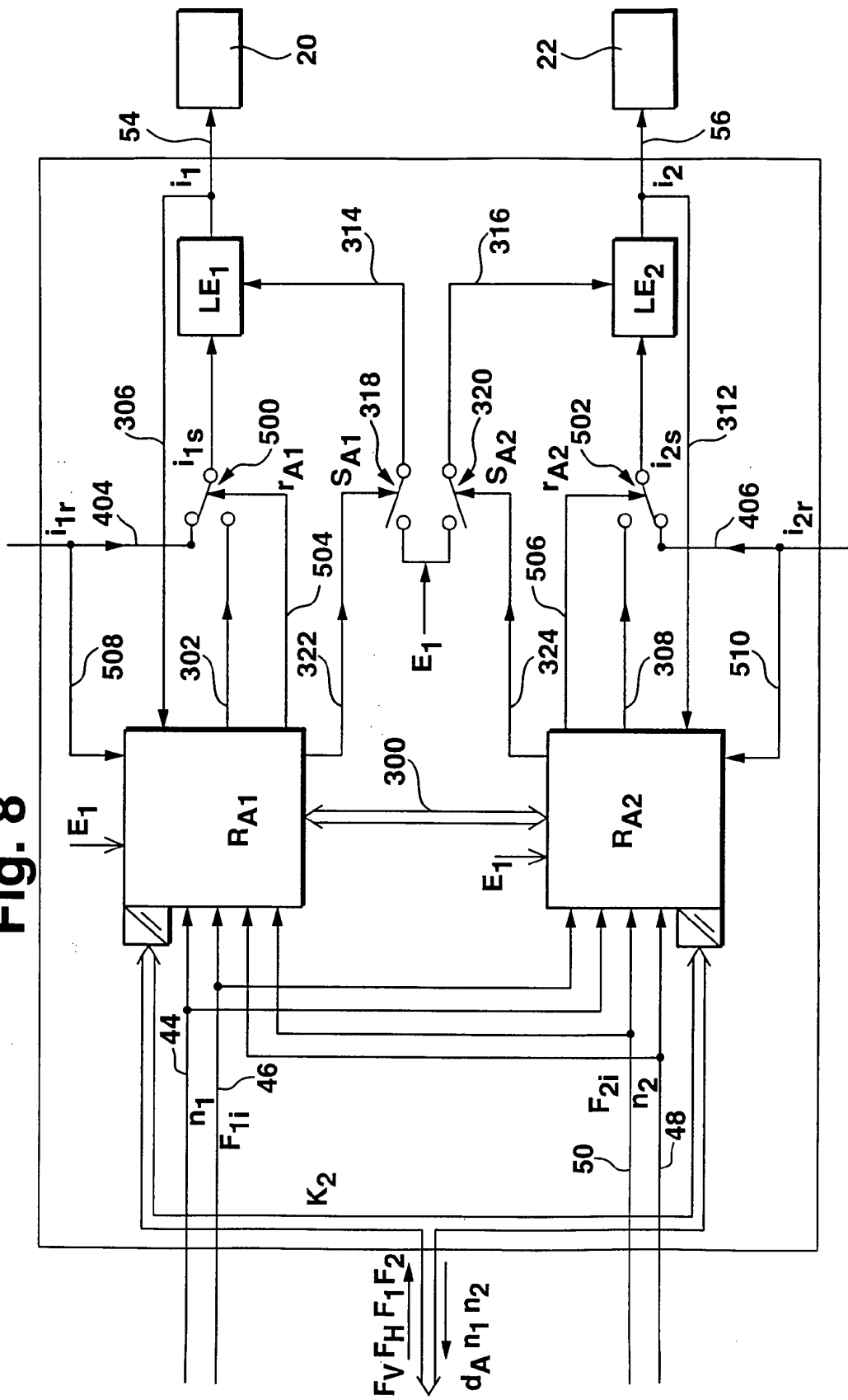


Fig. 9

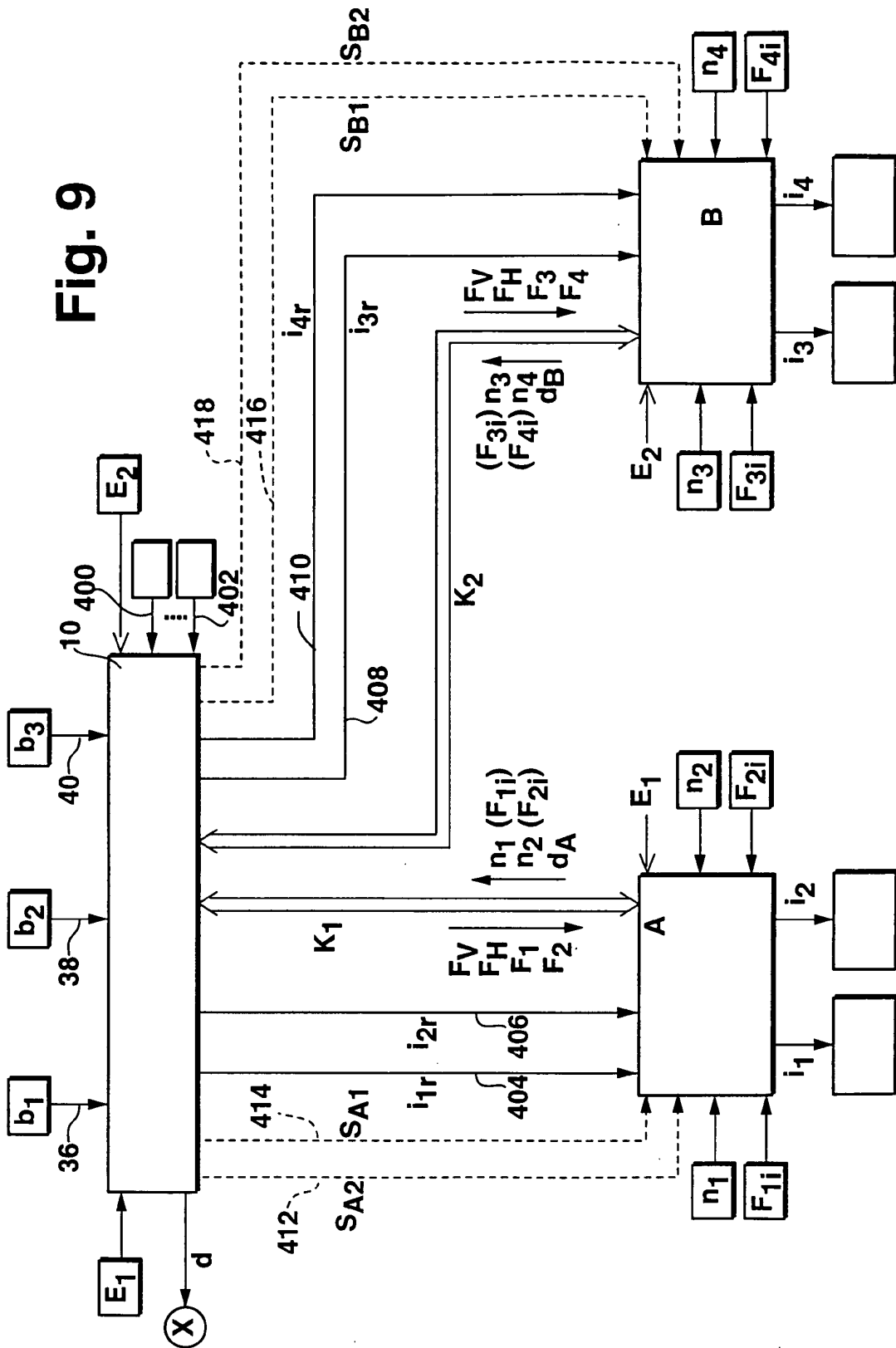


Fig. 10

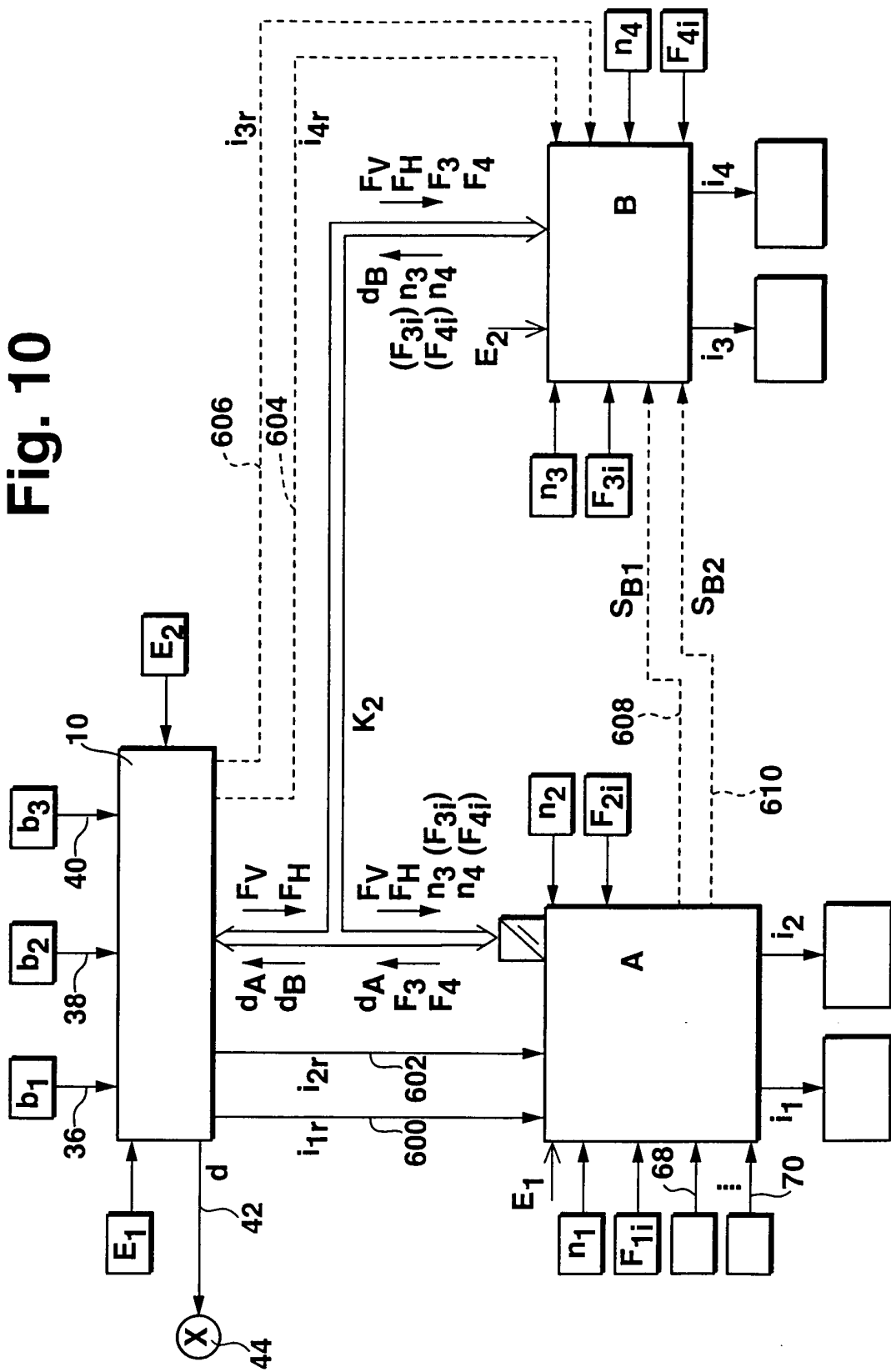


Fig. 11

