



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **198 55 245.9**
(22) Anmeldetag: **30.11.1998**
(43) Offenlegungstag: **10.06.1999**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **12.08.2010**

(51) Int Cl.⁸: **B60R 16/03** (2006.01)
H02J 9/00 (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. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:
197 53 367.1 **02.12.1997**

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

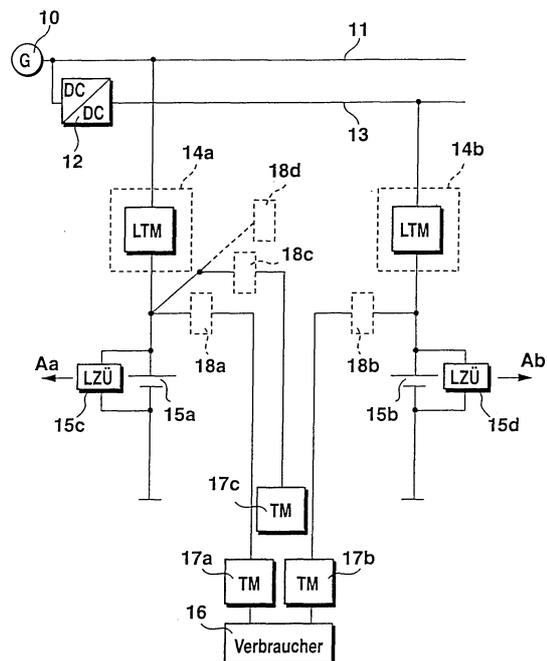
(72) Erfinder:
Dittmer, Bernd, 71640 Ludwigsburg, DE; Decker, Christel, 70435 Stuttgart, DE; Schoettle, Richard, 75248 Ölbronn-Dürrn, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 35 02 100 C2
EP 03 63 356 B1

(54) Bezeichnung: **Redundante Spannungsversorgung für elektrische Verbraucher**

(57) **Hauptanspruch:** Redundante Spannungsversorgung für elektrische Verbraucher in einem Fahrzeugbordnetz, mit einem Generator, der zwei getrennte Spannungszweige versorgt, die jeweils mit einem eigenen Spannungsspeicher in Verbindung stehen und mit den elektrischen Verbrauchern verbindbar sind, wobei zwischen jedem Spannungsspeicher und dem zugehörigen Spannungszweig erste Schaltmittel (14a, 14b) liegen und zwischen jedem Spannungsspeicher und den Verbrauchern zweite Schaltmittel (17a, 17b) liegen, wobei beide zweite Schaltmittel (17a und 17b) im Normalfall in leitendem Zustand sind, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten und zweiten Schaltmittel (14a, 17a), die mit einem ersten (15a) der beiden Spannungsspeicher (15a, 15b) in Verbindung stehen, und/oder die ersten und zweiten Schaltmittel (14b, 17b), die mit einem zweiten (15b) der beiden Spannungsspeicher (15a, 15b) in Verbindung stehen, in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind, das eine Steckbuchse aufweist, die direkt auf einen Spannungsspeicheranschluß aufgesteckt ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine redundante Spannungsversorgung für elektrische Verbraucher in einem Fahrzeugbordnetz, insbesondere für elektrische Bremsen nach der Gattung des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Die Spannungsversorgung in einem Kraftfahrzeug wird üblicherweise mit Hilfe eines Generators sichergestellt, der eine, in aufwendigeren Bordnetzen auch zwei Batterien, lädt. An diese Batterien sind die elektrischen Verbraucher des Bordnetzes angeschlossen, wobei gegebenenfalls zusätzliche Spannungswandler vorhanden sind, mit deren Hilfe eine Anpassung der Versorgungsspannung an die Erfordernisse realisiert wird.

[0003] Sicherheitsrelevante elektrische Verbraucher, beispielsweise der elektronische Regelkreis eines Bremssystems werden mit einer redundanten Spannungsversorgung versehen. Eine solche redundante Spannungsversorgung ist beispielsweise aus der EP-B1 0 363 356 bekannt. Bei dieser redundanten Spannungsversorgung liegen die sicherheitsrelevanten Verbraucher über einen Spannungswandler an der Fahrzeugbatterie, parallel zu jedem Verbraucher liegt eine eigene Stützbatterie. Zusätzlich ist eine Sicherung vorhanden, die jedoch vor dem Spannungsanschluß des Verbrauchers liegt, so daß bei ihrem Ansprechen sowohl die Spannungsversorgung aus der Bordnetz-batterie als auch die Spannungsversorgung aus der Hilfsbatterie unterbrochen wird.

[0004] Aus der DE 35 02 100 C2 ist eine redundante Spannungsversorgung für elektrische Verbraucher in einem Fahrzeugbordnetz bekannt, bei der beispielsweise elektrisch betätigbare Bremsen über zwei getrennte Spannungs-zweige versorgt werden. Die elektrische Energie wird von einem Generator erzeugt, der die beiden Spannungs-zweige versorgt. Jedem der beiden Spannungs-zweige ist dabei ein eigener Spannungsspeicher zugeordnet. Zwischen den Spannungsspeichern und den beiden Spannungs-zweigen mit den Verbrauchern liegen Schaltmittel, die im Normalfall in leitendem Zustand sind.

[0005] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin ausgehend von der bekannten redundanten Spannungsversorgung eine Spannungsversorgung darzustellen, bei der die Schaltmittel in besonderer Weise zusammengefasst sind.

Vorteile der Erfindung

[0006] Die erfindungsgemäße redundante Spannungsversorgung für elektrische Verbraucher hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass sie besonders zuverlässig ist und auch bei Auftreten ei-

nes Fehlers in einem der Versorgungszweige noch eine Spannungsversorgung für den Verbraucher aufrechterhalten werden kann, wobei eine vorteilhafte Anordnung der einzelnen Schaltungsteile vorgesehen ist.

[0007] Erzielt wird der Vorteil durch eine Redundante Spannungsversorgung mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Dazu ist der oder sind die elektrischen Verbraucher über wenigstens zwei Trennmodule mit je einem Spannungsspeicher verbindbar, wobei im Normalfall beide Trennmodule eine leitende Verbindung zwischen beiden Spannungsspeichern und den Verbrauchern herstellen. Zusätzlich sind die beiden Spannungsspeicher bzw. Batterien über je ein Lade-Trennmodul mit zwei voneinander getrennten Spannungs-zweigen verbindbar, von denen einer direkt mit dem Generator in Verbindung steht, während der zweite über einen Spannungswandler mit dem Generator verbunden ist. Sowohl die Lade-Trennmodule als auch die Trennmodule können in vorteilhafter Weise in einer räumlich geschlossenen Anordnung in der Nähe des Batteriepol oder in besonders vorteilhafter Weise direkt als Batteriestecker realisiert werden.

[0008] Weitere Vorteile der Erfindung werden durch die in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen erzielt. Vorteilhaft ist beispielsweise, daß die eingesetzten Trennmodule eine Abschaltfunktion aufweisen, die falls erforderlich, die Verbindung im Fehlerfall selbständig unterbricht. Weiterhin ist vorteilhaft, daß die Trennmodule infolge ihrer Diodenfunktion einen Stromfluß nur in Richtung des Verbrauchers zulassen. In vorteilhafter Weise umfassen die Trennmodule einen Transistor der selbständig bei zu hoher Strombelastung öffnet und eine Diode, die den Stromfluß nur in eine Richtung zuläßt. Die eingesetzten Ladetrennmodule, die zwischen dem Generator und den Batterien liegen, ermöglichen ein Öffnen der Verbindungen, falls generatorseitig ein Kurzschluß auftritt. Mit Hilfe weiterer Schaltmittel lassen sich weitere geeignete Auftrennmöglichkeiten im Fehlerfall realisieren.

[0009] Falls ein Lade-Trennmodul oder ein Trennmodul einen Stromfluß in beiden Richtungen erlauben soll, läßt es sich auch in vorteilhafter Weise als Transmission-Gate realisieren. In Verbindung mit einem Bordnetzmanagementsystem mit einer Steuerungseinrichtung, die die erforderlichen Informationen erhält und Ansteuersignale abgibt, kann das Öffnen oder Schließen der einzelnen Schaltmittel durch Ansteuersignale von diesem Steuergerät ausgelöst werden.

Zeichnung

[0010] Die Erfindung wird in den Figuren dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläu-

tert. Im einzelnen zeigt [Fig. 1](#) die wesentlichen Bestandteile des Spannungsversorgungssystems, [Fig. 2](#) zeigt ein Beispiel für die Ausgestaltung eines Trennmoduls und [Fig. 3](#) ein Beispiel für den Zusammenbau von Trennmodul und Lade-Trennmodul in einem gemeinsamen Stecker. In [Fig. 4](#) ist dieser Stecker als Batteriestecker dargestellt und [Fig. 5](#) zeigt eine Ausgestaltung des Steckers. In [Fig. 6](#) ist eine mögliche elektrische Ausgestaltung des Steckers dargestellt und [Fig. 7](#) zeigt die Schaltung eines bidirektionalen Transmission-Gates, das Bestandteil eines Batteriesteckers sein kann.

Beschreibung

[0011] In [Fig. 1](#) ist ein Ausführungsbeispiel für eine redundante Spannungs- bzw. Stromversorgung für elektrische Verbraucher in einem Fahrzeugbordnetz dargestellt. Dabei umfaßt die Spannungsversorgung einen Generator **10**, beispielsweise einen Drehstromgenerator, der mit einem ersten Spannungszweig **11** in Verbindung steht und über einen Spannungswandler **12** auf einen zweiten Spannungszweig **13** führt. An den Spannungszweig **11** ist ein Lade-Trennmodul **14a** angeschlossen, über das ein Spannungsspeicher, bzw. eine Batterie **15a** ladbar ist. An den Spannungszweig **13** ist ein zweites Lade-Trennmodul **14b** angeschlossen, über das der Spannungsspeicher, bzw. die Batterie **15b** geladen wird. Die Ladezustandsüberwachung der Batterien **15a**, **15b** erfolgt über zugeordnete Ladezustandsüberwachungen **15c**, **15d**, die bei Unterschreitung einer Mindestladung eine Anzeige Aa bzw. Ab auslösen.

[0012] Der Verbraucher **16** wird über ein Trennmodul **17a** sowie gegebenenfalls einen Schalter **18a** aus der Batterie **15a** mit Spannung versorgt. Weiterhin wird der Verbraucher **16** über das Trennmodul **17b** sowie gegebenenfalls einen Schalter **18b** aus der Batterie **15b** mit Spannung versorgt. Über ein Trennmodul **17c** kann derselbe Verbraucher **16** zusätzlich oder weitere Verbraucher an die Batterie **15a** angeschlossen werden, wobei zusätzlich weitere Schalter, beispielsweise der Schalter **18c** vorhanden sein können.

[0013] Die Lade- Trennmodule **14a**, **14b** werden im folgenden auch als erste Schaltmittel bezeichnet, und die Trennmodule **17a**, **17b** als zweite Schaltmittel.

[0014] Mit der in [Fig. 1](#) dargestellten Spannungsversorgung wird der Verbraucher **16** gleichzeitig mit einem Energiespeicher (Batterie) **15a** und einem Energiespeicher (Batterie) **15b** verbunden. Die Trennmodule **17a** und **17b** verhindern im Fall eines Fehlers einen Ausfall des Gesamtsystems bzw. eine Rückwirkung auf den jeweils anderen funktionsfähigen Energiespeicher. Die Trennmodule **17a**, **17b** sowie

gegebenenfalls **17c** müssen dazu eine Diodenfunktion aufweisen, die den Stromfluß nur in Richtung zum Verbraucher hin, zuläßt. Weiterhin sollten die Trennmodule **17a**, **17b** eine Abschaltfunktion aufweisen, die im Fall zu hoher Ströme auslöst. Die Stromstärke, bei der die Auslösung erfolgen soll, kann an die zu erwartenden Gegebenheiten angepaßt werden.

[0015] In der [Fig. 2a](#) ist die Schaltungsanordnung eines Trennmoduls **17a**, **17b** dargestellt. Sie umfaßt einen Transistor **19**, der selbständig bei zu hoher Strombelastung öffnet, der jedoch auch extern angesteuert werden kann, beispielsweise über ein logisches Element **20**. Weiterhin ist eine Diode **21** vorhanden, die den Stromfluß nur in Richtung Verbraucher zuläßt. Die Diode **21** ist dem Transistor **19** nachgeschaltet, damit im Fall eines Kurzschlusses im Bereich zwischen der Diode **21** und dem Transistor **19** der Transistor auslösen, das heißt öffnen kann und somit den Spannungsspeicher **15a** oder **15b** vor der Zerstörung bewahrt. [Fig. 2b](#) zeigt eine Ausgestaltung mit einer zusätzlichen Stromerfassung.

[0016] Die Trennmodule **17a** und **17b**, die die Schaltung nach [Fig. 2](#) enthalten, werden vorteilhafterweise räumlich voneinander getrennt angeordnet. Weiterhin können zusätzliche Schalter **18a** und **18b** eingesetzt werden, die bei einem Kurzschluß zwischen dem Lade-Trennmodul und dem Trennmodul auslösen und damit den betreffenden Ladungsspeicher absichern. Durch die Lade-Trennmodule **14a** und **14b** werden die Spannungszweige **11** und **13** geschützt, falls in den den Lade-Trennmodulen nachgeschalteten Leitungen ein Fehler auftritt. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn es sich bei den beiden Ladungsspeichern **15a** und **15b** nicht um die eigentlich Bordnetz-batterie handelt, sondern diese zusätzlich an einem der Spannungszweige **11** oder **13** angeschlossen ist.

[0017] In einer speziellen Ausführungsform sind die Lade-Trennmodule **14a**, **14b** bzw. das jeweils zugehörige Trennmodul **17a**, **17b** innerhalb eines gemeinsamen Gehäuses angeordnet, beispielsweise in Form eines geschlossenen Batteriesteckers, der eine Steckbuchse aufweist und direkt auf eine Batterieklemme aufgesteckt wird. [Fig. 3](#) bzw. [Fig. 4](#) zeigt entsprechende Ausgestaltungen, bei denen das Gehäuse **22** direkt auf der Batterie **15a** sitzt. In diesem Fall können die zusätzlichen Schalter **18a** bzw. **18b** selbstverständlich entfallen.

[0018] Ein Batteriestecker mit erweiterter Funktion, der aber vom Prinzip der in [Fig. 3](#) dargestellten Anordnung entspricht, ist in [Fig. 5](#) dargestellt. Dieser Batteriestecker **22a** ist von einem Gehäuse **22** umgeben. Eine auf den Batterieanschluß passende Vertiefung **23** (Steckbuchse) ermöglicht eine sichere Befestigung auf der Batterie.

[0019] Der Batteriestecker **22a** umfaßt im einzelnen eine elektrische Entkopplung **24** mit Anschlüssen **25** und **26**, die zum Bordnetz bzw. zu den Verbrauchern führen. Durch diese elektrische Entkopplung wird sichergestellt, daß ein Fehler im Bordnetz sich nicht auf den Batterie-Verbraucher-Kreis auswirkt und umgekehrt. Die elektrische Entkopplung kann beispielsweise als DC/DC-Wandler oder in Form eines Transmission-Gates, wie es in [Fig. 7](#) dargestellt ist, realisiert werden. Weiterhin sind Mittel zur Strommessung **27**, beispielsweise als Shunt realisiert oder Mittel zur Spannungsmessung **28** möglich. Die Ansteuerung kann beispielsweise mit Hilfe eines eigenen intelligenten Chips **29** erfolgen, der die Meßsignale verarbeitet und im Fehlerfall die Entkopplung öffnet, also beispielsweise das Transmission-Gate schaltet. Über eine Schnittstelle nach außen läßt sich prinzipiell auch eine Ansteuerung über eine externe elektronische Recheneinheit, z. B. das Steuergerät des Fahrzeuges ermöglichen.

[0020] Eine mögliche schaltungstechnische Ausgestaltung ist in [Fig. 6](#) dargestellt. Dabei wird über die Verbindung **25** der DC/DC-Wandler **30** mit dem Bordnetz oder dem Generator verbunden. An den DC/DC-Wandler **30** sind Verbraucher **31** angeschlossen. Diese Verbraucher **31** stehen außerdem mit der Batterie **32** in Verbindung, wobei in diese Verbindung eine Vorrichtung zur Strommessung **27** integriert ist. Die Vorrichtung zur Spannungsmessung **28** liegt parallel zur Batterie **32**. Ein solcher Batteriestecker läßt sich im Prinzip in Verbindung mit jeder Fahrzeugbatterie einsetzen.

[0021] In [Fig. 7](#) ist schließlich ein Beispiel für eine elektrische Entkopplung in Form eines Transmission-Gates dargestellt. Dieses Transmission-Gate umfaßt zwei n-Kanal-Feldeffekttransistoren **33**, **34**, die jeweils am Drain-Anschluß D miteinander verbunden sind. Die Dioden **35** und **36** liegen jeweils zwischen Source S und Drain D, es wäre auch möglich, die Schaltung so auszugestalten, daß die Anoden der Dioden **35** und **36** mit einem gemeinsamen Source-Anschluß verbunden wären. Geschaltet wird durch Ansteuerung der Gate-Elektroden G.

[0022] Mit einem solchen verschleißfreien Schalter lassen sich bei einer Spannungsversorgungseinrichtung nach [Fig. 1](#) im Fehlerfall schnelle Umschaltungen realisieren. Es läßt sich also bei einem auftretenden Kurzschluß der entsprechende Spannungszweig schnell vom Verbraucher trennen. Über eine intelligente Überwachung mittels eines eigenen Mikroprozessors oder mittels eines anschließbaren Mikroprozessors können Zu- oder Abschaltungen je nach Betriebszustand und Bedarf erfolgen, durch die Erfassung und Auswertung von Strom und Spannung kann auch eine Ladezustandsüberwachung realisiert werden. Falls die Ladezustandsüberwachung erkennen läßt, daß eine der beiden dem Verbraucher **16** zuge-

ordneten Batterien einen nicht akzeptablen Ladezustand aufweist, kann eine Anzeigefunktion ausgelöst werden. Die Spannungsversorgung wird dann von der anderen Batterie gesichert.

[0023] Als Erweiterung der beschriebenen Funktion der Ladetrennmodule und Trennmodule in dem Batteriestecker können noch weitere Funktionen definiert werden. Diese Funktionen sind:

Funktionen:

- Strommessung
- Spannungsmessung
- Temperaturmessung
- CAN-Schnittstelle
- Schaltfunktion:
Versorgung sicherheitskritischer Verbraucher (sicherer Knoten)
Entkopplung redundanter Versorgungszweige
Batterie-Sicherung
zentraler Verpolschutz.

[0024] In [Fig. 8](#) ist die Schaltungsanordnung der intelligenten Batterieklemme dargestellt. Die Schalter (Transmission Gates) zur Batterie (LTM Ladetrennmodul) und zu den Einzelverbrauchern (TM Trennmodul) mit der zugehörigen Ansteuerlogik bzw. Auswertung sind identisch mit denen in [Fig. 1](#), sie weisen auch die gleichen Bezugszeichen auf.

[0025] Neben der Funktion der Strom- und Spannungsmessung kann auch die Batterietemperaturmessung in die Batterieklemme integriert werden. Die Übertragung der Meßdaten, die Einschaltsignale der einzelnen Versorgungszweige, die Schaltzustandssignale bzw. Diagnoseregister der einzelnen Transmission Gates kann vorzugsweise über den CAN-Bus an ein übergeordnetes Steuergerät übermittelt werden.

[0026] Weitere Schaltfunktionen, wie die Entkopplung redundanter Versorgungszweige, zentraler Verpolschutz und Batteriesicherung (Abtrennung im Kurzschluß bzw. Crash-Fall/Brandgefahr) können zusätzlich realisiert bzw. abgedeckt werden. Die integrierte Ansteuer- und Auswertelogik (Stromüberwachung, Kurzschluß, Spannungspegel und Spannungsrichtung) steuert die einzelnen Schalter an.

Patentansprüche

1. Redundante Spannungsversorgung für elektrische Verbraucher in einem Fahrzeugbordnetz, mit einem Generator, der zwei getrennte Spannungszweige versorgt, die jeweils mit einem eigenen Spannungsspeicher in Verbindung stehen und mit den elektrischen Verbrauchern verbindbar sind, wobei zwischen jedem Spannungsspeicher und dem zugehörigen Spannungszweig erste Schaltmittel (**14a**,

14b) liegen und zwischen jedem Spannungsspeicher und den Verbrauchern zweite Schaltmittel (**17a, 17b**) liegen, wobei beide zweite Schaltmittel (**17a** und **17b**) im Normalfall in leitendem Zustand sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten und zweiten Schaltmittel (**14a, 17a**), die mit einem ersten (**15a**) der beiden Spannungsspeicher (**15a, 15b**) in Verbindung stehen, und/oder die ersten und zweiten Schaltmittel (**14b, 17b**), die mit einem zweiten (**15b**) der beiden Spannungsspeicher (**15a, 15b**) in Verbindung stehen, in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind, das eine Steckbuchse aufweist, die direkt auf einen Spannungsspeicheranschluß aufgesteckt ist.

2. Redundante Spannungsversorgung für elektrische Verbraucher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Schaltmittel (**14a, 14b**) Lade-Trennmodule sind, über die die Ladung der Spannungsspeicher (**15, 15b**) erfolgt und die zweiten Schaltmittel (**17a, 17b**) Trennmodule sind, die die nachfolgenden Verbraucher im Fehlerfall abtrennen.

3. Redundante Spannungsversorgung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden getrennten Spannungszweige voneinander über einen Gleichspannungswandler (**12**) galvanisch entkoppelt sind.

4. Redundante Spannungsversorgung nach Anspruch 2 oder Anspruch 3 in Verbindung mit Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsspeicher (**15a, 15b**) Batterien sind, die eigene Ladezustandsüberwachungen umfassen, wobei falls eine Ladezustandsüberwachung erkennen läßt, dass eine der beiden dem Verbraucher zugeordneten Batterien einen Mindestladezustand unterschreitet, eine Anzeigefunktion auslöst und ein entsprechendes Signal abgibt, zur Öffnung der Trennmodule und/oder zur Anzeige.

5. Redundante Spannungsversorgung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Schaltmittel (**14a, 14b**) eine Diodenfunktion aufweisen, die einen Stromfluß nur in Richtung vom Generator zu den Verbrauchern zuläßt und eine Abschaltfunktion auslösen, die bei zu hohen Strömen auslöst.

6. Redundante Spannungsversorgung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Schaltmittel (**14a, 14b**) einen Transistor umfassen, dessen Schaltstrecke zwischen dem Generator und dem jeweils zugehörigen Spannungsspeicher liegt und der über eine Logik ansteuerbar ist und zusätzlich eine Diode vorhanden ist, die zwischen dem Transistor und dem Spannungsspeicher liegt.

7. Redundante Spannungsversorgung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Gehäuse der Schaltmittel eine

Schaltungsanordnung zur elektrischen Entkopplung enthalten ist, über die die Verbindung zwischen dem Generator oder dem Bordnetz und den Verbrauchern auftrennbar ist, wobei zusätzliche Mittel zur Strommessung und zur Spannungsmessung zwischen dem Spannungsspeicheranschluß und der Schaltung zur elektrischen Entkopplung vorhanden sind.

8. Redundante Spannungsversorgung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltung zur elektrischen Entkopplung als Gleichspannungswandler oder in Form eines Transmissions-Gates realisiert ist, mit jeweils zwei miteinander in Serie geschalteten Feldeffekttransistoren und zwei Dioden, deren Kathoden oder Anoden mit dem gemeinsamen Drain- oder Source-Anschluß der Feldeffekttransistoren in Verbindung stehen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

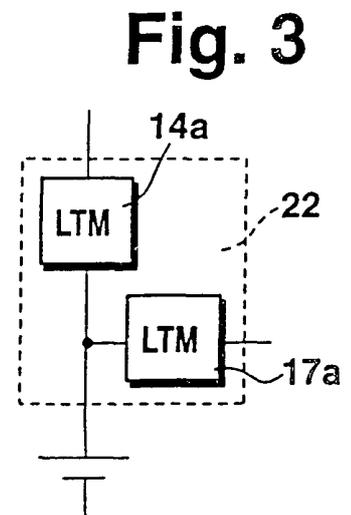
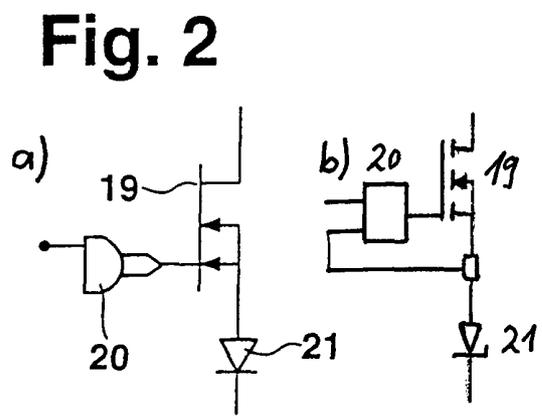
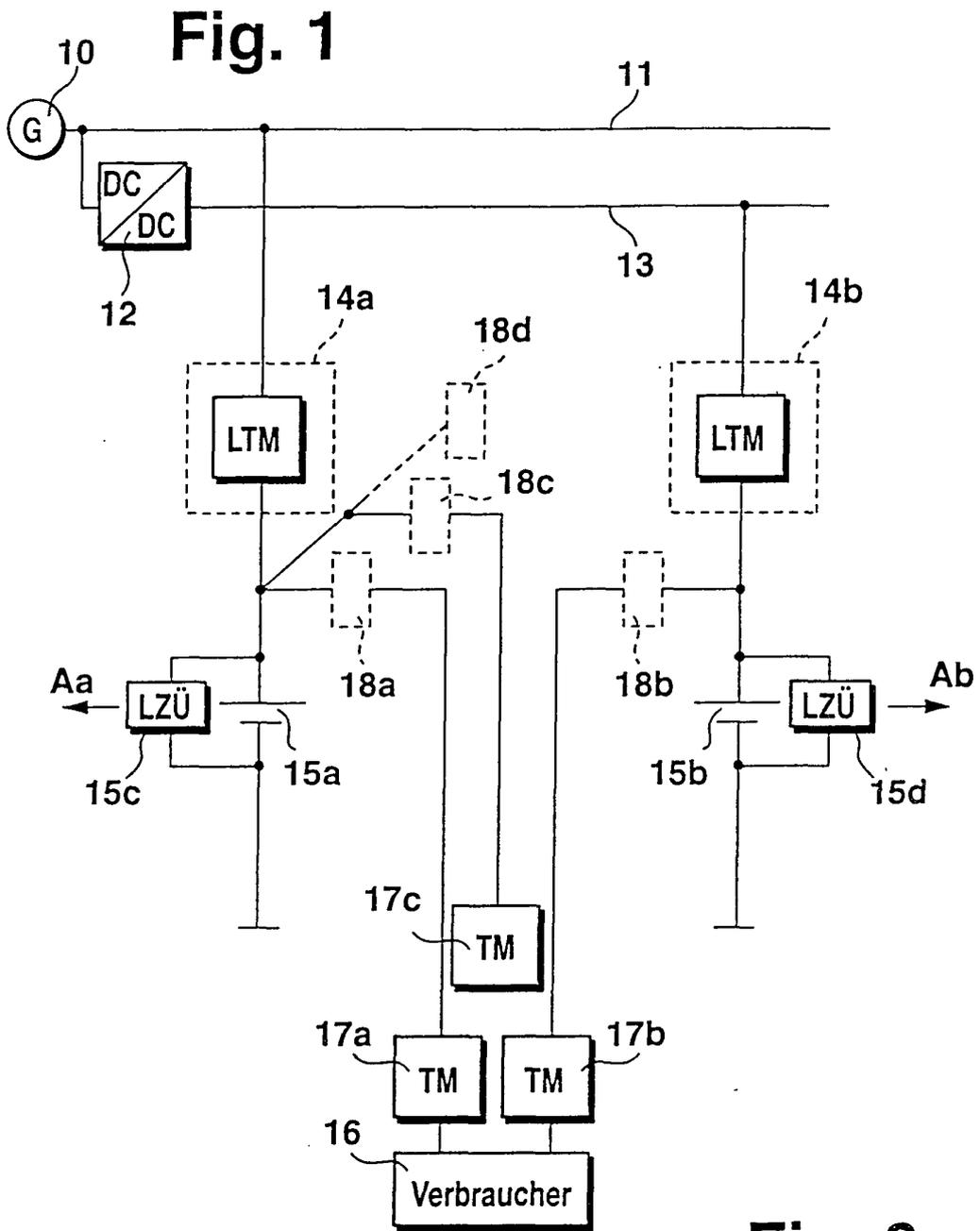


Fig. 4

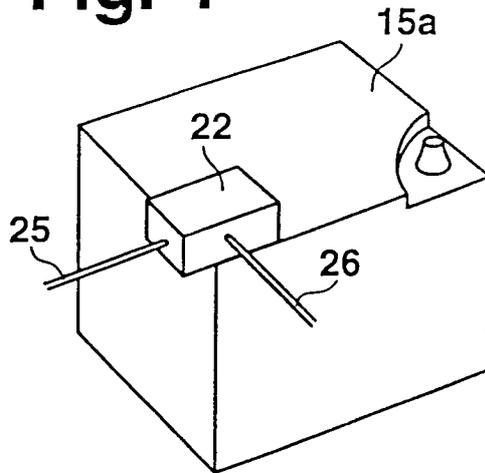


Fig. 5

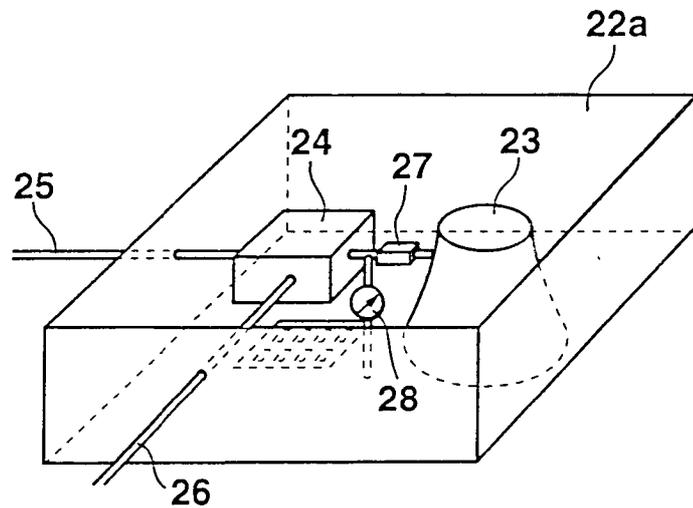


Fig. 6

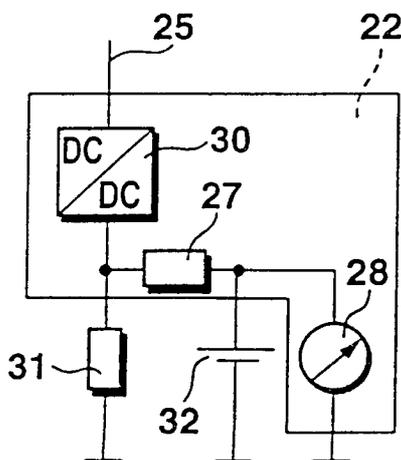
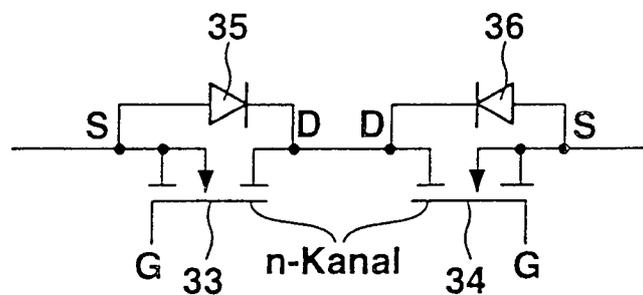


Fig. 7



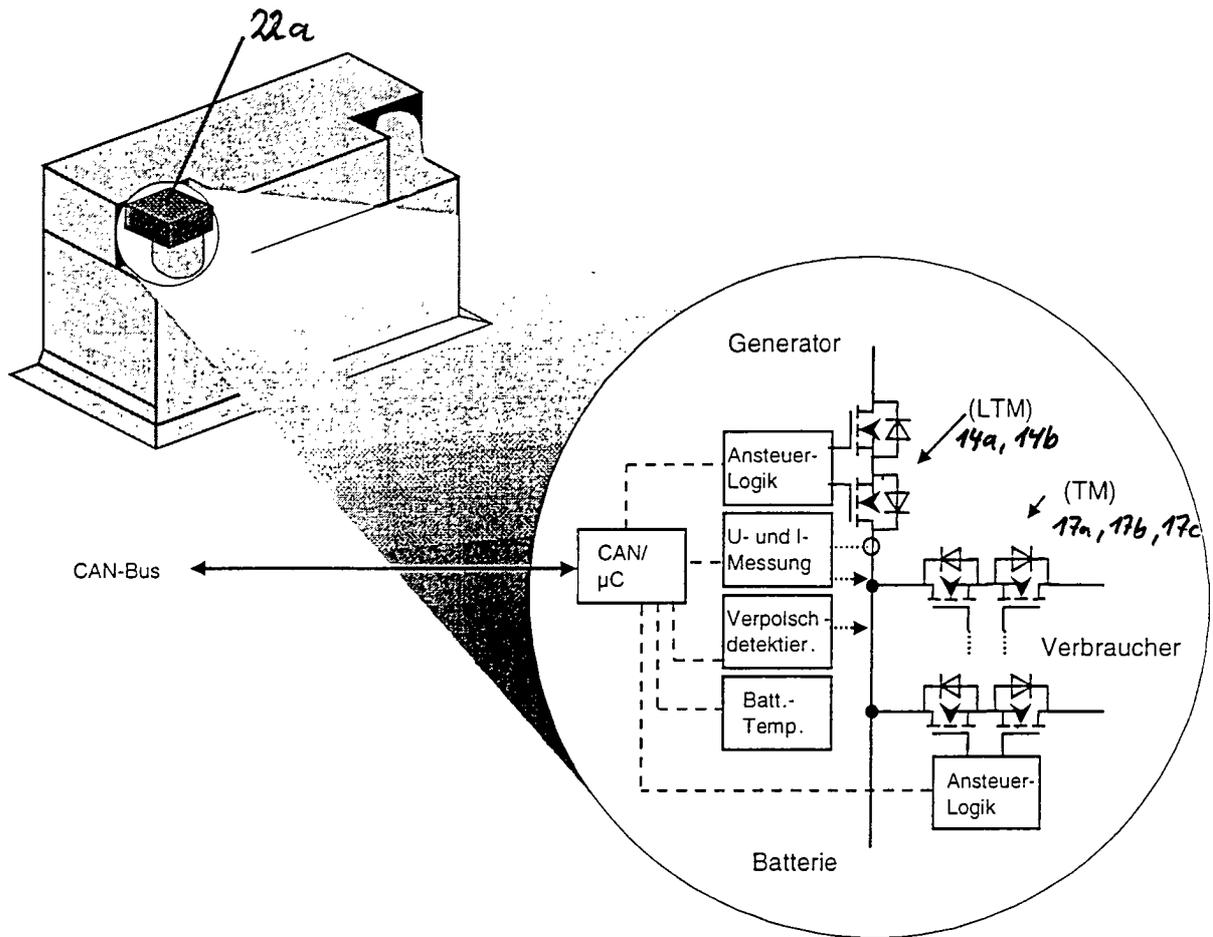


Fig. 8