



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

(10) **DE 100 53 335 B4 2006.09.07**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 53 335.3**  
 (22) Anmeldetag: **27.10.2000**  
 (43) Offenlegungstag: **16.05.2002**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **07.09.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B62D 5/04 (2006.01)**  
*B62D 113/00 (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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE; ZF Lenksysteme GmbH, 73527 Schwäbisch Gmünd, DE**

(74) Vertreter:  
**Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188 Stuttgart**

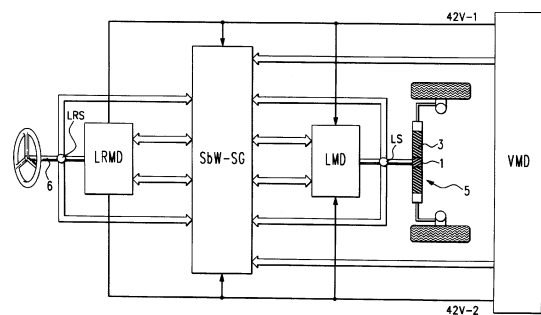
(72) Erfinder:  
**Ahner, Peter, 71032 Böblingen, DE; Lohner, Herbert, 71292 Frieolzhelm, DE; Dominke, Peter, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE; Cao, Chi-Thuan, Dr., 70825 Korntal-Münchingen, DE; Pfeiffer, Wolfgang, 71723 Großbottwar, DE; Yuan, Bo, Dr., 71254 Ditzingen, DE; Müller, Bernd, Dr., 71229 Leonberg, DE; Harter, Werner, 75428 Illingen, DE; Blessing, Peter, Prof., 74078 Heilbronn, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:  
**DE 197 34 598 C1**  
**DE 195 40 956 C1**  
**DE 199 47 265 A1**  
**DE 199 46 073 A1**  
**DE 199 15 253 A1**  
**DE 198 34 870 A1**  
**DE 198 34 868 A1**  
**DE 198 33 460 A1**  
**DE 42 32 256 A1**

(54) Bezeichnung: **SbW-Lenkanlage für Kraftfahrzeuge**

(57) Hauptanspruch: SbW-Lenkanlage für Fahrzeuge, mit einem auf die Stellung der gelenkten Räder des Fahrzeugs wirkenden Lenkmodul (LMD), mit einem die Stellung der gelenkten Räder erfassenden Lenkdrehwinkelsensor (LS), mit einem Rückwirkungen von der Straße auf das Fahrzeug an den Fahrer übermittelnden Lenkradmodul (LRMD), mit einem den Fahrerlenkwunsch erfassenden Lenkraddrehwinkelsensor (LRS), mit einem Versorgungsmodul (VMD) zur Versorgung der SbW-Lenkanlage mit elektrischer Energie und mit einer Rückfallebene, wobei Lenkmodul (LMD), Lenkdrehwinkelsensor (LS), Lenkradmodul (LRMD), Lenkraddrehwinkelsensor (LRS) und Versorgungsmodul (VMD) über Signalleitungen miteinander verbunden sind und wobei Lenkmodul (LMD), Lenkdrehwinkelsensor (LS), Lenkradmodul (LRMD) und Lenkraddrehwinkelsensor (LRS) vom Versorgungsmodul (VMD) über elektrische Versorgungsleitungen mit elektrischer Energie versorgt werden, wobei Lenkmodul (LMD), Lenkdrehwinkelsensor (LS) und Lenkraddrehwinkelsensor (LRS) redundant aufgebaut sind, und wobei die Signalleitungen (DB1, DB2, DS-11, DS-12, DS-21, DS-22, AS-11, AS-12, AS-21, AS-22) und Versorgungsleitungen (42V, 14V, 42V-1, 42V-2, 14V-1, 14V-2) redundant vorhanden sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Lenkradmodul (LRMD) redundant aufgebaut

ist, dass das Lenkmodul...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Steer-by-Wire-(SbW)-Lenkanlage für Fahrzeuge gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

### Stand der Technik

**[0002]** Eine derartige SbW-Lenkanlage mit zwei Rechnermodulen ist aus der DE 42 32 256 A1 bekannt, bei der die Rechnermodule in regelmäßigen Abständen eine Selbstdiagnose durchführen. Initiiert wird diese Selbstdiagnose von separaten Überwachungsmodulen.

**[0003]** Aus der DE 195 40 956 C1 ist eine SbW-Lenkanlage bekannt bei der sich die starre mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und den gelenkten Rädern des Fahrzeugs durch Öffnen einer Kupplung auftrennen lässt. Bei geöffneter Kupplung ist das Lenkrad lediglich mittelbar durch einen von einem elektronischen Steuergerät angesteuerten Lenksteller mit den gelenkten Rädern gekoppelt. Solche Lenkanlagen werden im Folgenden als Steer-by-Wire-(SbW)-Lenkanlagen bezeichnet. Bei einer Fehlfunktion der SbW-Lenkanlage wird durch Schließen der Kupplung eine starre mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und den gelenkten Rädern wieder hergestellt. Diese zweite Back-Up-Lenkanlage wird nachfolgend als Rückfallebene bezeichnet.

**[0004]** Weiterhin sind SbW-Lenkanlagen mit einer hydraulischen Rückfallebene bekannt. Diese schalten beim Ausfall der elektronisch geregelten SbW-Lenkung auf eine hydraulische Notlenkung um. Der Vorteil dabei ist, dass bei auftretenden Fehlern elektronischer Komponenten auf ein diversitäres System, d.h. ein auf einer anderen Physik und einem anderen Medium beruhendes System umgeschaltet wird und damit auch im Fehlerfall eine hohe Sicherheit erreicht wird. Allerdings haben diese bekannten hydraulischen Rückfallebenen Nachteile, da die hydraulischen Komponenten, wie Ventile und Leitungen, bei der Fahrzeugherstellung nach der Installation der Hydraulikkomponenten mit einem Hydraulikfluid befüllt werden müssen. Dies bedeutet auch, dass das Steer-by-Wire-Modul vom Zulieferer nicht vorkonfektioniert angeliefert werden kann. Außerdem muss beim Betrieb des Fahrzeugs die Funktionsfähigkeit der hydraulischen Rückfallebene laufend überwacht werden, damit z.B. eine undichte Stelle im Hydrauliksystem erkannt wird. Ferner müssen bei der Fahrzeugentsorgung das Hydrauliköl und gegebenenfalls die damit noch befüllten Hydraulikkomponenten getrennt entsorgt werden.

### Aufgabenstellung

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde,

eine Steer-by-Wire-Lenkanlage bereitzustellen, welche die genannten Nachteile der bekannten Rückfallebenen vermeidet und trotzdem eine hohe Sicherheit bei Funktionsstörungen gewährleistet.

**[0006]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine SbW-Lenkanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

### Vorteile der Erfindung

**[0007]** Die erfindungsgemäße Lenkanlage hat eine elektrische Rückfallebene, so dass die oben angeführten Nachteile von SbW-Lenkanlagen mit hydraulischer Rückfallebene vermieden werden. Die sicherheitsrelevanten Module der SbW-Lenkanlage sind aus redundanten Komponenten aufgebaut, so dass bei Ausfall einer Komponente die Funktion dieser Komponente von der redundant vorhandenen anderen Komponente übernommen werden kann.

**[0008]** Bei weiteren Ergänzungen der Erfindung ist vorgesehen, dass das Lenkmodul mindestens zwei Rechnermodule, mindestens zwei Lenkmotoren oder einen Lenkmotor mit zweifacher Wicklung und mindestens zwei Endstufen zum Ansteuern der Lenkmotoren aufweist, und/oder dass das Lenkmodul mindestens einen Rotorlagegeber je Lenkmotor aufweist und/oder, dass das Lenkmodul ein zusätzliches Rechnermodul aufweist und dass das zusätzliche Rechnermodul zur Überwachung des Lenkmoduls oder anderer Module der SbW-Lenkanlage eingesetzt wird, so dass unabhängig davon welches der Module oder Lenkmotoren ausfällt stets ein gleichwertiger Ersatz verfügbar ist und somit die Funktionsfähigkeit der SbW-Lenkanlage bei Ausfall eines oder mehreren Komponenten in vollem Umfang erhalten bleibt.

**[0009]** Bei weiteren Ausgestaltungen der Erfindung ist vorgesehen, dass das Lenkradmodul mindestens zwei Rechnermodule, mindestens einen Lenkradmotor und mindestens eine Endstufe zum Ansteuern des Lenkradmotors aufweist, und/oder dass am Lenkradmotor mindestens ein Rotorlagegeber angeordnet ist und/oder, dass das Lenkradmodul ein zusätzliches Rechnermodul aufweist und dass das zusätzliche Rechnermodul zur Überwachung des Lenkradmoduls oder anderer Module der SbW-Lenkanlage eingesetzt wird, so dass auch bei Ausfall von Einzelkomponenten des Lenkradmoduls dessen Funktionsfähigkeit im vollen Umfang gewährleistet ist. Wenn der Lenkradmotor nur einfach vorhanden ist, so bleibt die erfindungsgemäße SbW-Lenkanlage bei dessen Ausfall trotzdem funktionsfähig, allerdings erfolgen keine Rückmeldungen an den Fahrer über den Zustand der Straße mehr. Durch die Überwachung des Lenkmoduls und des Lenkradmoduls durch zusätzliche Rechnermodule oder andere Module der SbW-Lenkanlage ist es möglich, Fehler in der Lenk-

anlage zu erkennen und einzelnen Modulen bzw. deren Komponenten zuzuordnen, so dass mit den verbliebenen funktionsfähigen Komponenten und Modulen eine größtmögliche Funktionsfähigkeit der Lenkanlage bei gleichzeitig größtmöglicher Betriebssicherheit hergestellt werden kann.

**[0010]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind Funktionen der Rechnermodule des Lenkradmoduls und/oder des Lenkmoduls in einem Steer-by-Wire-Steuergerät zusammengefasst, so dass der Aufbau des Steer-by-Wire-Steuergeräts optimal an die geforderten Funktionalitäten angepasst werden kann.

**[0011]** Bei einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein übergeordnetes Fahrzeugbewegungssteuergerät vorhanden ist und dass das Fahrzeugbewegungssteuergerät Lenkeingriffe für die Fahrdynamikregelung koordiniert und/oder berechnet und entsprechende Steuersignale an das Lenkmodul und/oder das Lenkradmodul übermittelt, so dass die Fahrstabilität eines mit einer erfindungsgemäßen SbW-Lenkanlage ausgerüsteten Fahrzeugs durch die Lenkeingriffe des Fahrzeugbewegungssteuergeräts erhöht wird. Außerdem kann eine Spurführung des Fahrzeugs ohne Änderungen der Struktur der Lenkanlage erfolgen.

**[0012]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kontrollieren sich die Rechnermodule von Lenkradmodul, Lenkmodul, das Fahrzeugbewegungssteuergerät und ggf. das SbW-Steuergerät gegenseitig, so dass die Betriebssicherheit der erfindungsgemäßen Lenkanlage weiter erhöht wird und die Möglichkeit, auftretende Fehler zu lokalisieren weiter verbessert wird.

**[0013]** Bei einer anderen Ausgestaltung der Erfindung weist das Versorgungsmodul mindestens zwei Spannungsquellen auf und werden die redundanten Versorgungsleitungen bei Ausfall mindestens einer Spannungsquelle von mindestens einer anderen Spannungsquelle mit elektrischer Energie versorgt, so dass auch bei Ausfall einer Spannungsquelle eine sichere Energieversorgung der erfindungsgemäßen SbW-Lenkanlage gewährleistet ist. Als Spannungsquellen kommen ein oder mehrere Generatoren, Batterien, Dynamos, welche bevorzugt mittelbar oder unmittelbar von einem Rad des Fahrzeugs angetrieben werden, und/oder Brennstoffzellen in Frage, so dass auf Grund der Zahl und der Diversität der Spannungsquellen eine höchstmögliche Versorgungssicherheit erreicht wird.

**[0014]** In weiteren Ergänzungen der Erfindung ist vorgesehen, dass die Versorgungsleitungen zwei unterschiedliche Versorgungsspannungen, bevorzugt 14 Volt und 42 Volt, aufweisen, dass das Versorgungsmodul einen DC-DC-Konverter zur Anpassung

der Klemmenspannungen der Spannungsquellen aufweisen und/oder dass die Spannungsquellen elektrisch voneinander getrennt sind, so dass stets die richtige Versorgungsspannung zur Verfügung steht und außerdem der Ausfall einer Spannungsquelle keine negativen Auswirkungen auf die Funktion und Klemmenspannung der anderen Spannungsquellen hat.

**[0015]** Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass das Versorgungsmodul eine Überwachungsschaltung aufweist und dass die Überwachungsschaltung die Funktionsfähigkeit der Spannungsquellen überwacht, die Versorgung der SbW-Lenkanlage mit elektrischer Energie sicherstellt und die Funktionsfähigkeit der Spannungsquellen an die SbW-Lenkanlage übermittelt, so dass bspw. die altersbedingte Kapazitätsverringering einer Batterie rechtzeitig erkannt wird, auf eine andere Spannungsquelle zur Versorgung der SbW-Lenkanlage umgeschaltet wird und die Informationen über den Zustand der Spannungsquellen bzw. des Versorgungsmoduls in der SbW-Lenkanlage verfügbar sind. Selbstverständlich können alle Informationen, welche in der SbW-Lenkanlage verfügbar sind, auch in geeigneter Weise dem Fahrer des Fahrzeugs mitgeteilt werden.

**[0016]** Andere Ausgestaltungen der Erfindung zeichnen sich dadurch aus, dass die redundanten Signalleitungen zur Übertragung analoger oder digitaler Signale bevorzugt mittels eines Datenbusses und besonders bevorzugt durch einen CAN-, LIN- oder TTCAM-Datenbus, geeignet sind, so dass die Signalübertragung zwischen den einzelnen Modulen und Komponenten der Lenkanlage einfach und störungsfrei erfolgt.

**[0017]** In weiterer Ergänzung der Erfindung weisen das Lenkradmodul, das Lenkmodul, das Versorgungsmodul, das Fahrzeugbewegungssteuergerät, der Lenkdrehwinkelsensor, der Lenkraddrehwinkelsensor und das Steer-by-Wire-Steuergerät je zwei Schnittstellen, bevorzugt Datenbus-Schnittstellen, auf, so dass die Störungsfreiheit des Datenaustausches weiter erhöht wird.

**[0018]** Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Zeichnung und deren Beschreibung entnehmbar.

Ausführungsbeispiel

Zeichnung

**[0019]** Es zeigen die [Fig. 1](#) bis [Fig. 17](#) verschiedene erfindungsgemäße Ausführungsbeispiele von Steer-by-Wire-Lenkanlagen.

## Beschreibung der Ausführungsbeispiele

**[0020]** [Fig. 1](#) zeigt ein erstes erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer SbW-Lenkanlage mit einem Lenkradmodul LRMD, einem Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG, einem Versorgungsmodul VMD sowie einem als Lenkmodul LMD bezeichneten Lenksteller. Das SbW-Steuergerät kann Funktionen des Lenkradmoduls LRMD und des Lenkmoduls LMD übernehmen. Das Lenkmodul LMD betätigt über ein Ritzel **1** eine Zahnstange **3** eines Lenkgetriebes **5**. Ein Lenkraddrehwinkelsensor LRS, der an einer Lenksäule **6** des Fahrzeugs montiert ist, erfasst den Lenkraddrehwinkel. Ein mit dem Lenkmodul LMD verbundener Lenkdrehwinkelsensor LS erfasst den Lenkwinkel des Lenkmoduls LMD, bzw. der gelenkten Räder des Fahrzeugs.

**[0021]** Die redundante Verbindung von Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG und den anderen Modulen LRMD, LMD und Sensoren LRS und LS wird über als Doppel-Linien dargestellte Datenbusse hergestellt.

**[0022]** In [Fig. 1a](#) ist die Struktur der Schnittstellen etwas detaillierter dargestellt. Das Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG weist zwei redundante Rechnermodule RMD1 und RMD2 auf, die jeweils ein eigenes Überwachungsmodul ÜMD1 und ÜMD2 haben. Beide Rechnermodule RMD1 und RMD2 kommunizieren durch ein internes Bussystem miteinander. Die Module LRMD und LMD sind mit dem Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG über je zwei digitale bidirektionale Leitungssysteme DS-11, DS-12, DS-21 und DS-22 verbunden.

**[0023]** Zwischen dem Lenkraddrehwinkelsensor LRS und dem Lenkdrehwinkelsensor LS sowie dem Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG bestehen zwei analoge oder digitale unidirektionale Schnittstellen AS-11 und AS-12 bzw. AS-21 und AS-22. Über diese Leitungssysteme werden Sensorsignale zum Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG übertragen.

**[0024]** Zwischen dem Versorgungsmodul VMD und dem Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG verlaufen zwei unidirektionale digitale Schnittstellen DS-31 und DS-32, über die der Zustand des Versorgungsmoduls VMD zum Steer-by-Wire-Steuergerät SbW-SG übertragen wird.

**[0025]** Das Lenkradmodul LRMD besteht im wesentlichen aus einer Endstufe E, einem Lenkradmotor und einem Lenkradgetriebe LRG. Das Lenkradmodul LRMD dient dazu, Rückwirkungen der Fahrbahn auf die gelenkten Räder auf das Lenkrad zu übertragen. Die Endstufe E für den Lenkradmotor LRM ist nicht vollständig redundant ausgeführt. Sie kann aber von beiden Rechnermodulen RMD1 und RMD2 redundant angesteuert werden. Auf diese

Weise können auch bei Ausfall eines Teils des Steer-by-Wire-Steuergeräts SbW-SG weiterhin über das Lenkradmodul LRMD Rückmeldungen an das Lenkrad gegeben werden können.

**[0026]** Die redundant ausgeführten Lenkmodule LMD1 und LMD2 bestehen im wesentlichen aus Endstufen E1 bzw. E2 und einem Lenkmotor LM1 bzw. LM2. Die redundanten Lenkmodule LMD1 und LMD2 sind über ein Lenkgetriebe L5 miteinander verbunden und wirken auf das Ritzel **1** der Zahnstange **3** und damit auf die gelenkten Räder des Fahrzeugs.

**[0027]** Das Versorgungsmodul VMD versorgt die anderen Module und die Sensoren redundant über zwei Versorgungsleitungen 42V-1 und 42V-2 mit Strom. Das Bordnetz des Kraftfahrzeugs kann eine Netzspannung von 42 V oder 14 V haben. Eine in [Fig. 1a](#) nicht dargestellte redundante Spannungsversorgung im Versorgungsmodul VMD, wie z.B. eine Batterie, kann eine dementsprechende Klemmenspannung haben oder über einen ebenfalls nicht dargestellten Konverter umgewandelt werden.

**[0028]** In [Fig. 2](#) ist eine SbW-Lenkanlage bestehend aus einem Lenkradmodul LRMD und einem Lenkmodul LMD dargestellt. Das Lenkmodul LMD betätigt über das Ritzel **1** die Zahnstange **3** des Lenkgetriebes **5**.

**[0029]** Die Funktionen des SbW-Steuergerätes SbW-SG aus [Fig. 1](#) werden bei diesem Ausführungsbeispiel vom Lenkradmodul LRMD und Lenkmodul LMD übernommen. Die Module LRMD, LMD und VMD sind mit über einen ersten Datenbus DB1 und einen zweiten Datenbus DB2 redundant verbunden.

**[0030]** Die beiden Datenbusse DB1 und DB2 sind mit einem in [Fig. 2](#) nicht dargestellten übergeordneten Fahrzeugbewegungs-Steuergerät FZ-SG verbunden, das z.B. Lenkeingriffe der SbW-Lenkanlage für die Fahrdynamikregelung koordiniert oder Spurführungseingriffe für die SbW-Lenkanlage vorgibt. Die beiden Datenbusse DB1 und DB2 sind beispielsweise mit einem CAN-Bus realisiert. Die Zeitsynchronisierung der über die Datenbusse DB1 und DB2 übertragenen Daten ist Aufgabe des Gesamtsystems und jedes an die beiden Datenbusse DB1 und DB2 angeschlossenen Moduls. Dies gilt sowohl für den Fall, dass beide Datenbusse DB1 und DB2 fehlerfrei arbeiten als auch für den Fall, dass ein Datenbus fehlerbehaftet ist.

**[0031]** Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#) ist jedes Modul, bzw. jeder Sensor der SbW-Lenkanlage einmal an jeden Datenbus DB1 und DB2 angeschlossen.

**[0032]** Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 3](#) ist jedes Modul, bzw. jeder Sensor der SbW-Lenkan-

lage zweimal an jeden Datenbus DB1 und DB2 angeschlossen. Unabhängig davon, ob ein oder zwei Anschlüsse zu jedem Datenbus DB1 und DB2 bestehen, ist darauf zu achten, dass die Busanschlüsse jeweils von verschiedenen redundanten Schaltungsteilen des Moduls, bzw. des Sensors erfolgen.

**[0033]** Das Lenkradmodul LRMD und das Lenkmodul LMD sind bezüglich Busankopplung, Sensoreingängen, Endstufenansteuerung und Reglerprogramm redundant aufgebaut; d.h. es werden je Modul mindestens zwei Rechner eingesetzt. Um eine Mehrheitsentscheidung bei Ausfall eines Rechners zu ermöglichen, kann jeweils ein dritter Rechner pro Modul eingesetzt werden. Alternativ kann auch ein Rechner des Lenkradmoduls LRMD Aufgaben des Lenkmoduls LMD und umgekehrt übernehmen.

**[0034]** Das Versorgungsmodul VMD enthält in [Fig. 3](#) nicht dargestellte redundante Spannungsquellen und eine Überwachungsschaltung. Das Versorgungsmodul VMD ist an die beiden Busse DB1 und DB2 mindestens als Sender angeschlossen, um den Zustand der Komponenten und Spannungen mitzuteilen. Es ist auch möglich, dass das Versorgungsmodul VMD zusätzlich als Empfänger von Botschaften der angeschlossenen Busteilnehmer fungiert. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn das Versorgungsmodul VMD Schaltelemente enthält, die die Energiequellen auch auf Anforderung von außen, je nach Zustand und Ressourcen des Gesamtsystems, neu verschalten können.

**[0035]** Der Lenkraddrehwinkelsensor LRDS und der Lenkdrehwinkelsensor LS sind direkt an das Lenkradmodul LRMD bzw. an das Lenkmodul LMD über analoge oder digitale Schnittstellen oder durch Busverbindungen angeschlossen und in [Fig. 3](#) nicht dargestellt.

**[0036]** Alternativ können die Sensoren LRDS und LS auch direkt an die beiden Datenbusse DB1 und DB2 angeschlossen werden, was aber Mehraufwand bei den Sensoren für die Busankopplung bedingt.

**[0037]** Vorteile dieser Ausführungsform bestehen darin, dass weniger Komponenten und Verbindungsleitungen benötigt werden. Außerdem ist diese Ausführungsform modular aufgebaut und kann schon beim Hersteller getestet werden.

**[0038]** Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#) sind Lenkradmodul LRMD, Lenkmodul LMD und Versorgungsmodul VMD bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 3](#) an die beiden Datenbusse DB1 und DB2 so angekoppelt, daß die beiden Bus-Interfaceschaltungen jedes Moduls zweifach ausgeführt sind und an beide Datenbusse DB1 und DB2 angeschlossen sind.

**[0039]** Bei Ausfall eines Datenbusses erhalten beide Rechner weiterhin von dem anderen Datenbus die notwendigen Informationen. Bei Ausfall eines der zwei Bussanschlüsse eines Rechners erhalten beide Rechner weiterhin von beiden Datenbussen die Informationen.

**[0040]** Diese Busverschaltung kann ebenfalls mit CAN durchgeführt werden. Sie ist aber besonders für zeitsynchrone Busse wie TTP oder TTCAN geeignet, weil hier die Informationen zeitsynchron auf zwei redundanten Bussen übertragen werden und somit die redundanten Rechner in jedem Modul ohne zusätzlichen Synchronisierungsaufwand über gültige Informationen verfügen. Das gilt sowohl für den Fall, dass beide Busse fehlerfrei sind als auch für den Fall, dass ein Bus fehlerbehaftet ist.

**[0041]** In [Fig. 3](#) ist ein übergeordnetes Fahrzeugbewegungs-Steuergerät FZ-SG dargestellt, welches z.B. Lenkeingriffe des SbW-Lenkanlages für die Fahrdynamikregelung koordiniert oder Spurführungseingriffe für das SbW-Lenkanlage vorgibt. Das Fahrzeugbewegungs-Steuergerät Fz-SG hat Zugriff auf die SbW-Lenkanlage, das bevorzugt als Brake-by-Wire ausgeführte, nicht dargestellte Bremssystem und das Antriebssystem (Motor, Getriebe) des Fahrzeugs. Es kann auf Fehler in der SbW-Lenkanlage reagieren, indem es z.B. die Geschwindigkeit des Fahrzeugs reduziert und indem es den Fahrer entsprechend informiert.

**[0042]** In [Fig. 4](#) ist eine Variante des Ausführungsbeispiels eines SbW-Lenkanlages gemäß [Fig. 2](#) dargestellt. Lenkradmodul LRMD und Lenkmodul LMD sind symmetrisch aufgebaut und enthalten jeweils drei Rechner R1, R2 und R3. Die Rechner R1 und R2 sorgen für die Busankopplung und berechnen aus den Eingangssignalen redundant die Ansteuersignale für die beiden Endstufen E1 und E2 des Lenkradmotors LRM bzw. des Lenkmotors LM.

**[0043]** Der Rechner R3 enthält ebenfalls alle Eingangssignale, er steuert aber keine Endstufen an, sondern gibt wie R1 und R2 ein Enable-Signal für die Endstufen E1 und E2 aus. Jede Endstufe E1 und E2 trifft eine "2-von-3"-Entscheidung. Wenn mindestens zwei Enable-Signale auf Low stehen, schaltet sie sich ab.

**[0044]** Mit den beiden Endstufen E1 und E2 werden entweder 2 redundante Lenkradmotoren LRM bzw. Lenkmotoren LM1 und LM2 oder zwei redundante Motorwicklungen derselben angesteuert; so dass auch bei Fehlern in einem Ansteuerpfad ein ausreichendes Motormoment verfügbar ist.

**[0045]** Bei Verwendung jeweils eines Lenkradmotors LRM sind mindestens ein Lenkraddrehwinkelsensor LRS 1 oder LRS 2 und ein Rotorlagegeber

Rola1 oder Rola2 im Lenkradmodul LRMD erforderlich. Dies gilt entsprechend auch für das Lenkmodul LMD. Dadurch ist es möglich, dass bei Ausfall eines Sensors oder Rotorlagegebers durch Vergleich mit den Sensoren und Rotorlagegebern des anderen Moduls entschieden werden kann, welcher Sensor noch korrekt arbeitet. Hierbei können auch Winkelunterschiede zwischen Lenkradwinkel und Lenkwinkel berücksichtigt werden, die durch die aktuelle Lenkübersetzung bzw. durch Fahrtdynamik-Lenkeingriffe hervorgerufen werden.

**[0046]** Das Versorgungsmodul VMD in [Fig. 4](#) besteht aus einem 42V-Bordnetz mit einem Generator G, einem Regler **7** und einer ersten Batterie **9** mit 36 V Klemmenspannung. Dieses System speist eine erste Versorgungsleitung 42V des SbW-Lenkanlages. Die erste Batterie **9** kann auch das Bordnetz des Fahrzeugs versorgen.

**[0047]** Die zweite Versorgungsleitung 14V wird über eine zweite Batterie **11** mit 12 V Klemmenspannung gespeist. Die zweite Batterie **11** wird über einen DC/DC-Konverter **13** vom Generator G oder der ersten Batterie **9** geladen.

**[0048]** Anhand der [Fig. 5](#) bis [Fig. 14](#) werden weitere Ausführungsbeispiele von Versorgungsmodulen VMD dargestellt und erläutert.

**[0049]** Das Versorgungsmodul in [Fig. 5](#) besteht aus dem üblichen 14V-Bordnetz mit Generator G, 14V-Spannungsregler **7** und erster Batterie **9** mit 12 V Klemmenspannung. Dieses System speist die erste Versorgungsleitung 14V-1 der SbW-Lenkanlage. Die erste Batterie **9** kann auch das Bordnetz des Fahrzeugs versorgen.

**[0050]** Die zweite Versorgungsleitung 14V-2 wird über eine Batteriemangement-Schaltung BMS entweder von 14V-1 oder aus einer zweiten Batterie **11** mit 12 V Klemmenspannung gespeist. Die zweite Batterie **11** kann entweder ausschließlich zur Versorgung der SbW-Lenkanlage vorgesehen sein, oder zusätzlich Teile des Bordnetzes versorgen.

**[0051]** Wenn die Spannungsversorgung durch das Bordnetz gewährleistet ist, sind während eines relativ langen ersten Zeitintervalls die Schalter S1 und S2 der Batteriemangement-Schaltung BMS geschlossen; d. h. die zweite Batterie **11** wird bis zu einer vorgegebenen oberen Spannungsschwelle geladen, der 14V-2-Strang des SbW-Lenkanlages wird von der ersten Batterie **9** versorgt.

**[0052]** Während eines relativ kurzen zweiten Zeitintervalls ist der Schalter S1 geöffnet und der Schalter S2 geschlossen. Damit ist die zweite Batterie **11** mit dem 14V-2-Strang verbunden und wird bis zu einer vorgegebenen unteren Spannungsschwelle entla-

den.

**[0053]** Das zyklische Aufeinanderfolgen der Zeitintervalle 1 und 2 erlaubt es, durch Auswertung der zeitlichen Strom- und Spannungsverläufe an der zweiten Batterie **11** und mit Hilfe eines mathematischen Modells der zweiten Batterie **11**, auf deren verfügbare Kapazität und die Funktionsfähigkeit zu schließen.

**[0054]** Bei ungenügender Kapazität und/oder Funktionsfähigkeit wird das in [Fig. 5](#) nicht dargestellte Fahrzeugbewegungs-Steuergerät Fz-SG durch eine Überwachungsschaltung VMD-ÜS des Versorgungsmoduls VMD über die beiden Datenbusse DB1 und DB2 informiert.

**[0055]** Daraufhin wird der Schalter S1 geöffnet, während der Schalter S2 geschlossen wird. Dadurch wird die zweite Batterie **11** von der ersten Batterie **9** getrennt und versorgt den 14V-2-Strang der SbW-Lenkanlage bis zur Beendigung von Fahrtdynamiklenkeingriffen. Für diese Zeit bleibt die SbW-Lenkanlage funktionsfähig. Es muss in dieser Zeit durch das übergeordnete Fahrzeugbewegungs-Steuergerät Fz-SG durch Fahrerinformation, Herabsetzung der Geschwindigkeit und eventuell durch Bremseneingriff dafür gesorgt werden, dass das Fahrzeug in einen sicheren Zustand überführt wird.

**[0056]** Die Überwachungsschaltung VMD-ÜS überwacht über Messleitungen M1 bis M6 die Komponenten und Spannungen des Versorgungsmoduls VMD und teilt den Status des Versorgungsmoduls VMD über die beiden Datenbusse DB1 und DB2 den angeschlossenen Busteilnehmern mit. Dies sind mindestens die Steuergeräte für Lenkradmodul LRMD und Lenkmodul LMD sowie das Fahrzeugbewegungs-Steuergerät Fz-SG.

**[0057]** In [Fig. 6](#) ist das Versorgungsmodul VMD des SbW-Lenkanlage als redundantes Zweipannungs-Bordnetz (42V/14V) ausgeführt. An dessen 42V-Klemme ist die erste Versorgungsleitung und an dessen 14V-Klemme ist die zweite Versorgungsleitung der SbW-Lenkanlage angeschlossen.

**[0058]** Eine zweite Batterie **11** mit 12V Klemmenspannung ist über ein Lade-Trenn-Element LTE an die 42V-Spannung angeschlossen, wodurch sie einerseits auf 12 V geladen wird und andererseits gegen Entladung durch Fehler im primären 42V-Spannungsteil geschützt wird. Die Überwachungsschaltung VMD-ÜS überwacht die Zustände der Komponenten und die Spannungen des Versorgungsmoduls VMD mit den Signalen M1 bis M5.

**[0059]** Bei Absinken einer Spannung oder Ausfall einer Komponente wird der Status des Versorgungs-

moduls VMD an die angeschlossenen Busteilnehmer übertragen. Je nach Art des Ausfalls wird der laufende Fahrzyklus noch zu Ende geführt, es wird die verbleibende Fahrdauer auf eine bestimmte Zeit begrenzt oder das Fahrzeug wird innerhalb einer Toleranzzeit durch Fahrerinformation, Geschwindigkeitsreduzierung und Bremsengriff in einen sicheren Zustand überführt.

**[0060]** Das Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 7](#) entspricht weitgehend dem in [Fig. 6](#) dargestellten. Ein Unterschied besteht darin, dass die zweite Batterie **11** eine Klemmenspannung von 36 V aufweist und die zweite Versorgungsleitung des SbW-Lenkanlages mit dieser Spannung versorgt wird.

**[0061]** Die zweite Batterie **11** kann entweder standardmäßig für das 42V/42V-Bordnetz im Fahrzeug oder ausschließlich für die SbW-Lenkanlage vorgesehen sein. Die zweite Batterie **11** ist über ein Lade-Trenn-Element LTE mit dem 42V-Regler **7** verbunden, wodurch sie einerseits auf 42 V geladen wird und andererseits gegen Entladung durch Fehler im primären 42V-Spannungsteil geschützt wird.

**[0062]** Das Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 8](#) entspricht weitgehend dem in [Fig. 6](#) dargestellten. Ein Unterschied besteht darin, dass die zweite Batterie **11** eine Klemmenspannung von 12 V aufweist und die zweite Versorgungsleitung 42V-2 der SbW-Lenkanlage mit 42 V versorgt wird. Zwischen zweiter Batterie **11** und zweiter Versorgungsleitung 42V-2 ist ein DC/DC-Konverter **13** geschaltet, der die Spannung anpasst.

**[0063]** In [Fig. 9](#) ist eine Kombination der Ausführungsbeispiele gemäß [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) dargestellt. Das Bordnetz ist als Zwei-Spannungsbordnetz (42V/14V) gemäß [Fig. 6](#) ausgeführt. Die erste Versorgungsleitung 42V-1 der SbW-Lenkanlage ist an den 42V-Regler **9** des Versorgungsmoduls VMD angeschlossen. Die zweite Versorgungsleitung 42V-2 der SbW-Lenkanlage wird redundant sowohl aus einer separaten dritten 36V-Batterie **15** als auch durch einen DC/DC-Konverter **13** aus der zweiten Batterie **11** mit 12 V Klemmenspannung versorgt. Beide Spannungsquellen sind durch Dioden D1 und D2 entkoppelt, so dass bei Absinken der einen Spannung die andere Spannung nicht beeinflusst wird.

**[0064]** Das Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 10](#) baut ebenfalls auf dem Zweispannungs-Bordnetz nach [Fig. 6](#) auf. Die erste Versorgungsleitung 42V-1 des SbW-Lenkanlages wird wiederum von dessen 42V-Regler **7** und der ersten Batterie **9** versorgt.

**[0065]** Die zweite Versorgungsleitung 42V-2 der SbW-Lenkanlage mit 14 V Netzspannung hängt zunächst über die Diode D1 an der 14V-Versorgung des Zweispannungs-Bordnetzes und zusätzlich über die

Diode D2 an einem 14V-Dynamo D. Der Dynamo D ist so in den Antriebsstrang oder in das Getriebe des Fahrzeugs integriert, so dass er Spannung erzeugt, solange sich das Fahrzeug bewegt. Er kann auch von einem der nicht angetriebenen Räder des Fahrzeugs angetrieben werden. Die zweite Batterie **11** mit 12V Klemmenspannung versorgt zusätzlich noch das Bordnetz des Fahrzeugs. Zweite Batterie **11** und Dynamo D sind durch die Dioden D1 und D2 entkoppelt, so dass sich die beiden Spannungsquellen bei Fehlern nicht beeinträchtigen.

**[0066]** Um den Energiebedarf des leerlaufenden Dynamos D zu verringern, ist eine weitere nicht dargestellte Variation möglich, bei der der Dynamo D durch eine elektrische Kupplung erst dann eingeschaltet wird, wenn der von der zweiten Batterie **11** gelieferte Strom unter einen Mindestwert absinkt. Hierzu kann der Strom aus der zweiten Batterie **11** durch die Wicklung der elektrischen Kupplung geleitet werden, so dass beim Unterschreiten einer Mindeststromstärke die Kupplung durch die Gegenkraft einer Feder eingerückt wird.

**[0067]** Bei Verwendung einer Kupplung kann auch an Stelle des zusätzlichen Dynamos D eine im Fahrzeug vorhandene Starter/Generator-Kombination verwendet werden, die in [Fig. 10](#) nicht dargestellt ist und die im Bedarfsfall an den Antriebsstrang angekoppelt wird.

**[0068]** In [Fig. 11](#) ist das Ausführungsbeispiel aus [Fig. 7](#) mit einem 42V-Dynamo kombiniert. Die zweite Versorgungsleitung 42V-2 der SbW-Lenkanlage wird sowohl aus einer zweiten Batterie **11** mit 36V Klemmenspannung als auch durch einen 42V-Dynamo D versorgt. Jede der beiden Spannungsquellen **11** und D der zweiten Versorgungsleitung 42V-2 ist wiederum durch Dioden D und D2 gegen einen Spannungseinbruch oder einen Kurzschluß der anderen Spannungsquelle geschützt. Die zweite 36V-Batterie **11** gehört entweder schon zum 42V-Bordnetz des Fahrzeugs oder wird speziell für die SbW-Lenkanlage hinzugefügt.

**[0069]** In [Fig. 12](#) ist eine weitere Ausgestaltung des Ausführungsbeispiels von [Fig. 10](#) dargestellt. Anstatt eines Zweispannungs-Bordnetzes 42V/14V werden zwei 42V-Versorgungsspannungen erzeugt. Die zweite Versorgungsleitung 42V-2 der SbW-Lenkanlage wird aus einem DC/DC-Konverter **13** gespeist, der die mit einem Dynamo D erzeugten 14V auf 42V umsetzt.

**[0070]** In [Fig. 13](#) ist eine weitere Ausgestaltung des Ausführungsbeispiels von [Fig. 6](#) dargestellt. Das Fahrzeug hat ein 42V/14V-Zweispannungs-Bordnetz mit einer ersten 36V-Batterie **9** und einer zweiten 12V-Batterie **11** und sieht für die zweite 42V-Versorgungsleitung 42V-2 der SbW-Lenkanlage drei redundan-

dante Spannungsquellen vor. Die zweite Versorgungsleitung 42V-2 wird über die Dioden D1, D2 und D3 versorgt von

- einer dritten Batterie **15** mit 36V Klemmenspannung, die ausschließlich der Versorgung der SbW-Lenkanlage dient. Die dritte Batterie **15** ist über das Lade-Trenn-Element LTE mit dem 42V-Regler **7** verbunden,
- einem DC/DC-Konverter **13**, der mit der zweiten Batterie **11** des 42V/14V-Bordnetzes verbunden ist und/oder
- einem 42V-Dynamo D im Antriebsstrang, der elektrische Energie liefert, solange sich das Fahrzeug bewegt.

**[0071]** [Fig. 14](#) zeigt eine erfindungsgemäße Ausführung einer SbW-Lenkanlage, bei der alle Module und Sensoren jeweils bidirektional oder unidirektional über zwei Busse verbunden sind (z.B. ein CAN-BUS oder ein TTPC-BUS). Der innere Aufbau, d.h. die redundante Struktur der Module wurde bereits anhand der vorhergehenden Figuren, insbesondere [Fig. 1a](#), beschrieben.

**[0072]** Wenn ein Bus und/oder ein Teil der redundant ausgeführten Teile des Lenkradmoduls LRMD, des Steer-by-Wire-Steuergeräts SbW-SG, des Lenkmoduls LMD und/oder des Versorgungsmoduls VMD ausfällt, ist über den anderen Bus und das funktionierende Teil der redundant ausgeführten Module ein Betrieb weiterhin möglich. Durch Kommunikation mit den beiden Rechnermodulen RMD1, RMD2 des Steuergeräts (siehe [Fig. 1a](#)) wird jeweils festgestellt, welche Konfiguration funktionsfähig ist und der Betrieb mit dieser Konfiguration weitergeführt. Die beiden Rechnermodule RMD1, RMD2 des Steuergeräts SbW-SG sind beide an ein nicht dargestelltes FahrerinFORMATIONssystem angeschlossen, an dem Information über die verfügbare Systemkonfiguration und Warnsignale ausgegeben werden können. Das Versorgungsmodul VMD versorgt auch hier die Module in redundanter Weise über die beiden Versorgungsleitungen 42 V-1 und 42 V-2.

**[0073]** [Fig. 15](#) zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel bei dem das Versorgungsmodul VMD eine Brennstoffzelle BZ mit einer Klemmenspannung von 42 Volt aufweist. Die Brennstoffzelle BZ versorgt eine erste Batterie **9** des Versorgungsmoduls VMD. Das Versorgungsmodul VMD speist in eine erste Versorgungsleitung 42 V-1 und in eine zweite Versorgungsleitung 42 V-2.

**[0074]** In [Fig. 16](#) ist ein weiteres erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel dargestellt. Das Versorgungsmodul weist zusätzlich zum Generator G und der ersten Fahrzeugbatterie **9**, welche eine erste Versorgungsleitung 42 V-1 v versorgen und einer zweiten Batterie **11**, welche über eine Ladetrenneinheit LTI vom Generator G geladen wird und welche die zweite

Versorgungsleitung 42 V-2 versorgt, eine Brennstoffzelle BZ auf. Die Brennstoffzelle BZ kann ebenfalls die zweite Versorgungsleitung 42 V-2 mit elektrischer Energie versorgen.

**[0075]** In [Fig. 17](#) ist ein drittes Ausführungsbeispiel mit Brennstoffzelle BZ dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Komponenten des Versorgungsmoduls VMD räumlich getrennt angeordnet. So sind der Generator G, der Regler **7** und die erste Batterie **9**, welche die erste Versorgungsleitung 42 V-1 versorgen, zu einer Einheit zusammengefasst. Die Brennstoffzelle BZ ist mit einer separaten Brennstoffzellen-Überwachungsschaltung BZ-ÜS zu einer zweiten Baueinheit zusammengefasst. Durch die räumliche Trennung der Komponenten des Versorgungsmoduls VMD kann die Versorgungssicherheit der erfindungsgemäßen Steer-by-wire-Lenkanlage weiter erhöht werden. Die Brennstoffzelle BZ ist bei allen Ausführungsbeispielen über eine Leitung mit dem Kraftstofftank T des Fahrzeugs verbunden.

**[0076]** Das Versorgungsmodul VMD kann bei allen Ausführungsbeispielen zusätzlich zur Steer-by-wire-Lenkanlage noch das Bordnetz des Fahrzeugs versorgen. Die Brennstoffzelle BZ kann, entsprechende Auslegung vorausgesetzt, auch die elektrischen Antriebsmotoren eines Fahrzeugs mit elektrischer Energie versorgen. In diesem Fall handelt es sich um ein Brennstoffzellenfahrzeug mit Steer-by-wire-Lenkanlage.

**[0077]** Eine erfindungsgemäße SbW-Lenkanlage bleibt bei Einfachausfällen folgender Komponenten weiterhin voll funktionsfähig:

- ein Rechner RMD1 des Lenkmoduls LMD, des Lenkradmoduls LRMD und/oder des Steer-by-Wire-Steuergeräts SbW-SG;
- eine Endstufe E1 oder E2 des Lenkmotors;
- ein Lenkmotor LM;
- eine 42 V-Versorgungsleitung 42 V-1 oder 42 V-2;
- ein Lenkraddrehwinkelsensor LRS;
- ein Lenkdrehwinkelsensor LS.

**[0078]** Die erfindungsgemäße SbW-Lenkanlage hat eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit bei folgenden Einzelausfällen:

- Endstufe E des Lenkradmotors LRM;
- Lenkradmotor LRM;
- beide Lenkdrehwinkelsensoren (Betrieb als Servolenkung mit Momentensensor am Lenkrad).

**[0079]** Die erfindungsgemäße SbW-Lenkanlage gewährleistet volle Funktionsfähigkeit für folgende Mehrfachausfälle:

- alle Schnittstellen eines der Rechnermodule RMD1, RMD2 des Lenkmoduls LMD, des Lenkradmoduls LRMD und/oder des Steer-by-Wire-Steuergeräts SbW-SG;



- Ausfall verschiedener Schnittstellen bzw. Leitungssysteme, solange pro redundant ausgeführter Schnittstelle jeweils noch eine Schnittstelle, bzw. ein Leitungssystem funktioniert;
- zweite Batterie **11**, Dynamo D und Brennstoffzelle BZ.

**[0080]** Die erfindungsgemäße SbW-Lenkanlage gewährleistet eine zeitlich eingeschränkte Funktion für folgende Mehrfachausfälle:

- erste Batterie **9**, zweite Batterie **11** und dritte Batterie **15**;
- erste Batterie **9**, zweite Batterie **11** und Dynamo D;
- erste Batterie **9**, zweite Batterie **11** und Brennstoffzelle BZ;

**[0081]** Die vorstehende Aufzählung ist nicht abschließend.

**[0082]** Generell ist für eine SbW-Lenkanlage mit elektrischer Rückfallebene überwachte Redundanz vorzusehen, damit zunächst Fehler durch Vergleich erkannt und wenn erforderlich durch Mehrheitsentscheidungen lokalisiert werden können. Dies gilt für Eingabefunktionen (Sensoren), Verarbeitungsfunktionen (Rechner), Ausgabefunktionen (Endstufen, Motoren), Energieversorgung, Verbindungsfunktionen (Leitungen, Busse) und das übergeordnete Fahrzeugbewegungs-System gleichermaßen.

**[0083]** Nach Erkennen eines Fehlers wird die SbW-Lenkanlage durch Abschalten der fehlerhaften Teile und eventueller Neukonfiguration der funktionierenden Komponenten weiter betrieben. Dadurch wird zumindest für eine bestimmte Zeit die größtmögliche Funktionsfähigkeit aufrechterhalten, die dann -je nach verfügbaren Ressourcen der Steer-by-Wire-Lenkanlage und im Fahrzeug, im Verbund mit dem Fahrzeugbewegungs-Steuergerät schrittweise reduziert wird.

### Patentansprüche

1. SbW-Lenkanlage für Fahrzeuge, mit einem auf die Stellung der gelenkten Räder des Fahrzeugs wirkenden Lenkmodul (LMD), mit einem die Stellung der gelenkten Räder erfassenden Lenkdrehwinkelsensor (LS), mit einem Rückwirkungen von der Straße auf das Fahrzeug an den Fahrer übermittelnden Lenkradmodul (LRMD), mit einem den Fahrerlenkwunsch erfassenden Lenkraddrehwinkelsensor (LRS), mit einem Versorgungsmodul (VMD) zur Versorgung der SbW-Lenkanlage mit elektrischer Energie und mit einer Rückfallebene, wobei Lenkmodul (LMD), Lenkdrehwinkelsensor (LS), Lenkradmodul (LRMD), Lenkraddrehwinkelsensor (LRS) und Versorgungsmodul (VMD) über Signalleitungen miteinander verbunden sind und wobei Lenkmodul (LMD), Lenkdrehwinkelsensor (LS), Lenkradmodul (LRMD) und Lenk-

raddrehwinkelsensor (LRS) vom Versorgungsmodul (VMD) über elektrische Versorgungsleitungen mit elektrischer Energie versorgt werden, wobei Lenkmodul (LMD), Lenkdrehwinkelsensor (LS) und Lenkraddrehwinkelsensor (LRS) redundant aufgebaut sind, und wobei die Signalleitungen (DB1, DB2, DS-11, DS-12, DS-21, DS-22, AS-11, AS-12, AS-21, AS-22) und Versorgungsleitungen (42V, 14V, 42V-1, 42V-2, 14V-1, 14V-2) redundant vorhanden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Lenkradmodul (LRMD) redundant aufgebaut ist, dass das Lenkmodul (LMD) und das Lenkradmodul (LRMD) mindestens zwei Rechnermodule (RMD1, RMD2) aufweisen, und dass die Funktion der mindestens zwei Rechnermodule (RMD1, RMD2) von je einem Überwachungsmodul (ÜMD1 und ÜMD2) überwacht wird.

2. SbW-Lenkanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Lenkmodul (LMD) mindestens zwei Lenkmotoren (LM1, LM2) oder einen Lenkmotor (LM) mit zweifacher Wicklung und mindestens zwei Endstufen (E1, E2) zum Ansteuern der Lenkmotoren (LM1, LM2, LM) aufweist.

3. SbW-Lenkanlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Lenkmodul (LMD) mindestens einen Rotorlagegeber (Rola1, Rola2) je Lenkmotor (LM1, LM2) aufweist.

4. SbW-Lenkanlage nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Lenkmodul (LMD) ein zusätzliches Rechnermodul (RMD3) aufweist, und dass das zusätzliche Rechnermodul (RMD3) zur Überwachung des Lenkmoduls (LMD) oder anderer Module (LRMD, VMD) der SbW-Lenkanlage eingesetzt wird.

5. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lenkradmodul (LRMD) mindestens einen Lenkradmotor (LRM) und mindestens eine Endstufe (E, E1, E2) zum Ansteuern des Lenkradmotors (LRM) aufweist.

6. SbW-Lenkanlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass am Lenkradmotor (LRM) mindestens ein Rotorlagegeber (Rola1, Rola2) angeordnet ist.

7. SbW-Lenkanlage nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Lenkradmodul (LMD) ein zusätzliches Rechnermodul (RMD3) aufweist, und dass das zusätzliche Rechnermodul (RMD3) zur Überwachung des Lenkradmoduls (LRMD) oder anderer Module (LMD, VMD, SbW-SG) der SbW-Lenkanlage eingesetzt wird.

8. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Funktionen der Rechnermodule (RMD1, RMD2,

RMD3) des Lenkradmoduls (LRMD) und/oder des Lenkmoduls (LMD) von einem redundant aufgebauten Steer-by-Wire-Steuergerät (SbW-SG) übernommen werden.

9. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein übergeordnetes Fahrzeugbewegungs-Steuergerät (Fz-SG) vorhanden ist, und dass das Fahrzeugbewegungs-Steuergerät (Fz-SG) Lenkeingriffe für die Fahrdynamik- und/oder Spurführungsregelung koordiniert und/oder berechnet und entsprechende Steuersignale an das Lenkmodul (LMD) und/oder das Lenkradmodul (LRMD) übermittelt.

10. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rechnermodule (RMD1, RMD2, RMD3) von Lenkradmodul (LRM), Lenkmodul (LMD), das Fahrzeugbewegungs-Steuergerät (Fz-SG) und ggf. das Steer-by-Wire-Steuergerät (SbW-SG) sich gegenseitig kontrollieren.

11. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Versorgungsmodul (VMD) mindestens zwei Spannungsquellen (G, **9**, **11**, **15**, D, BZ) aufweist, und dass die redundanten Versorgungsleitungen (42V, 14V, 42V-1, 42V-2, 14V-1, 14V-2) bei Ausfall mindestens einer Spannungsquelle (G, **9**) von mindestens einer anderen Spannungsquelle (**11**, **15**, D, BZ) mit elektrischer Energie versorgt werden, und dass das Versorgungsmodul (VMD) eine Überwachungsschaltung (VMD-ÜS, BZ-ÜS) aufweist, und dass die Überwachungsschaltung (VMD-ÜS, BZ-ÜS) die Funktionsfähigkeit der Spannungsquellen (G, **9**, **11**, **15**, D, BZ) überwacht, die Versorgung der SbW-Lenkanlage mit elektrischer Energie sicherstellt und die Funktionsfähigkeit der Spannungsquellen an die SbW-Lenkanlage übermittelt.

12. SbW-Lenkanlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquellen ein Generator (G), eine erste Batterie (**9**), eine zweite Batterie (**11**), eine dritte Batterie (**15**), ein Dynamo (D) und/oder eine Brennstoffzelle (BZ) sind.

13. SbW-Lenkanlage nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Dynamo (D) mittelbar oder unmittelbar von einem Rad des Fahrzeugs angetrieben wird.

14. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungsleitungen zwei unterschiedliche Versorgungsspannungen, bevorzugt 14V und 42V, aufweisen, und dass das Versorgungsmodul (VMD) einen DC/DC-Konverter (**13**) zur Anpassung der Klemmenspannungen der Spannungsquellen (G, **9**, **11**, **15**, D, BZ) aufweist.

15. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquellen (G, **9**, **11**, **15**, D, BZ) elektrisch voneinander getrennt sind (LTE, D1, D2).

16. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Versorgungsmodul (VMD) auch das Bordnetz des Fahrzeugs mit elektrischer Energie versorgt.

17. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Komponenten (G, **9**, **11**, **15**, D, BZ, LTE, D1, D2, VMD-ÜS, BZ-ÜS) des Versorgungsmoduls (VMD) räumlich getrennt angeordnet sind.

18. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die redundanten Signalleitungen (DB1, DB2, DS-11, DS-12, DS-21, DS-22, AS-11, AS-12, AS-21, AS-22) zur Übertragung analoger oder digitaler Signale, bevorzugt mittels eines Datenbusses und besonders bevorzugt durch einen CAN-, TTP- oder TTCAN-Datenbus, geeignet sind.

19. SbW-Lenkanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lenkradmodul (LRMD), das Lenkmodul (LMD), das Versorgungsmodul (VMD), das Fahrzeugbewegungs-Steuergerät (Fz-SG), der Lenkdrehwinkelsensor (LS), der Lenkraddrehwinkelsensor (LRS) und das Steer-by-Wire-Steuergerät (SbW-SG) je zwei Schnittstellen, bevorzugt Datenbus-Schnittstellen, aufweisen.

Es folgen 18 Blatt Zeichnungen

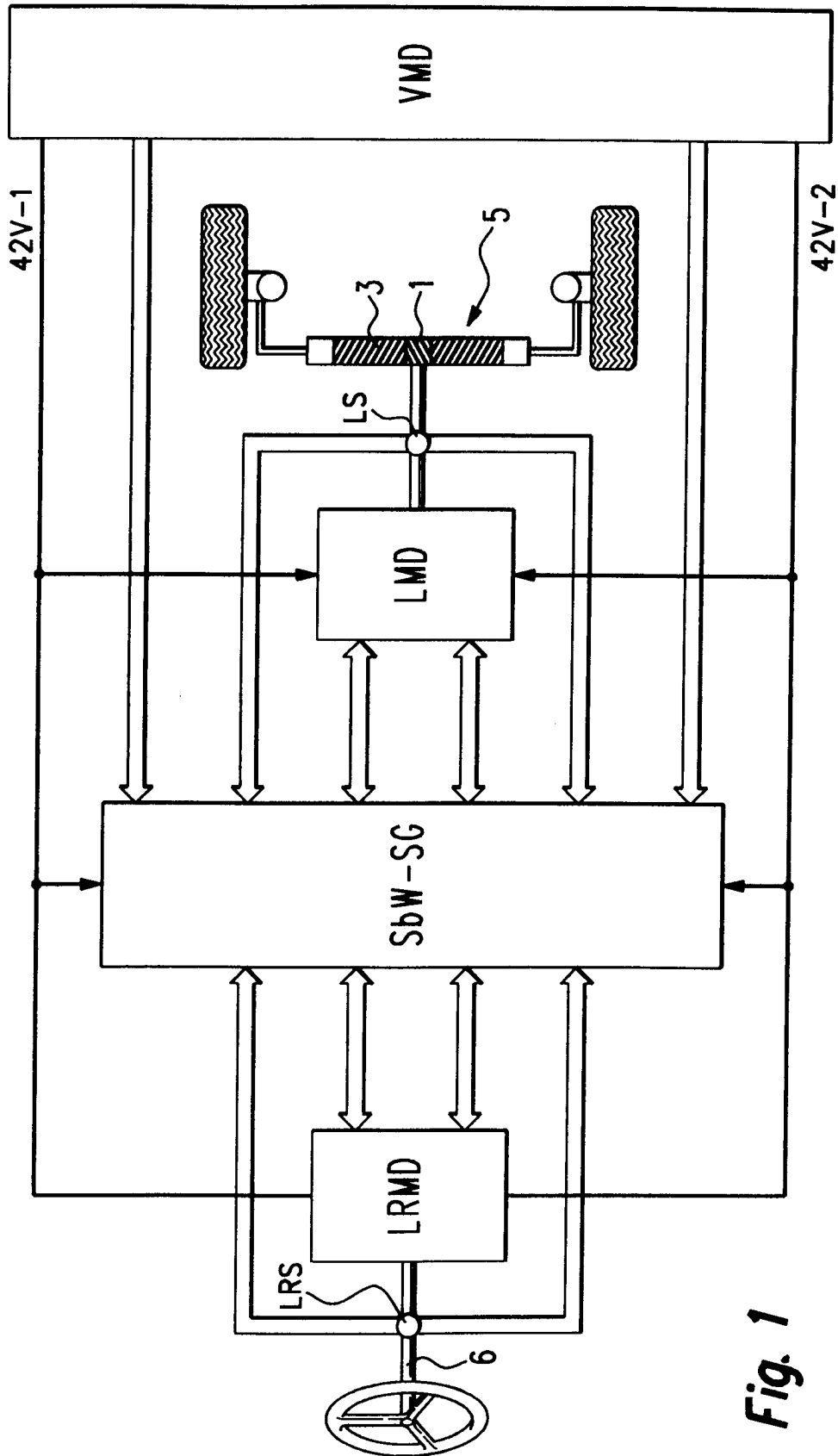


Fig. 1

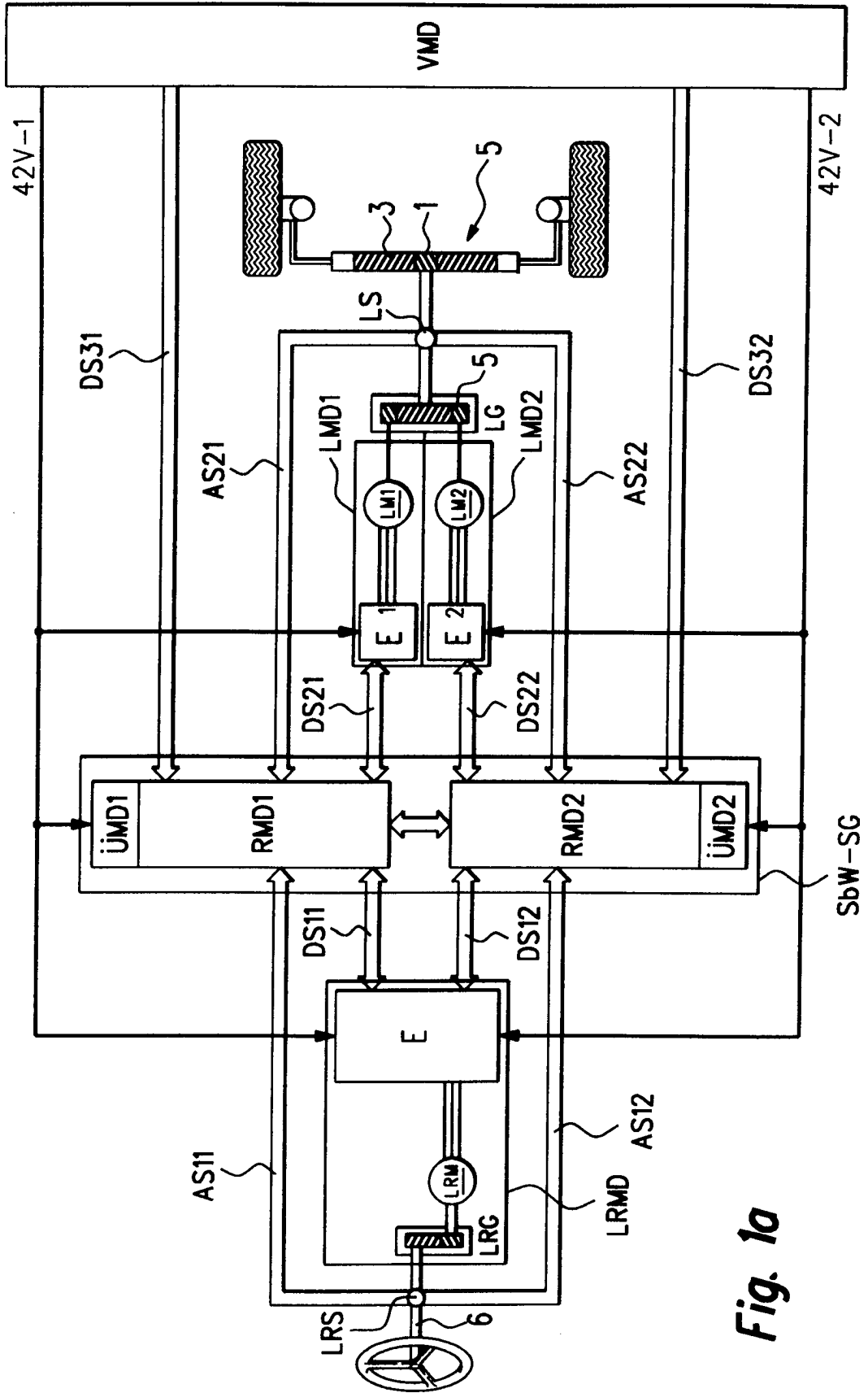
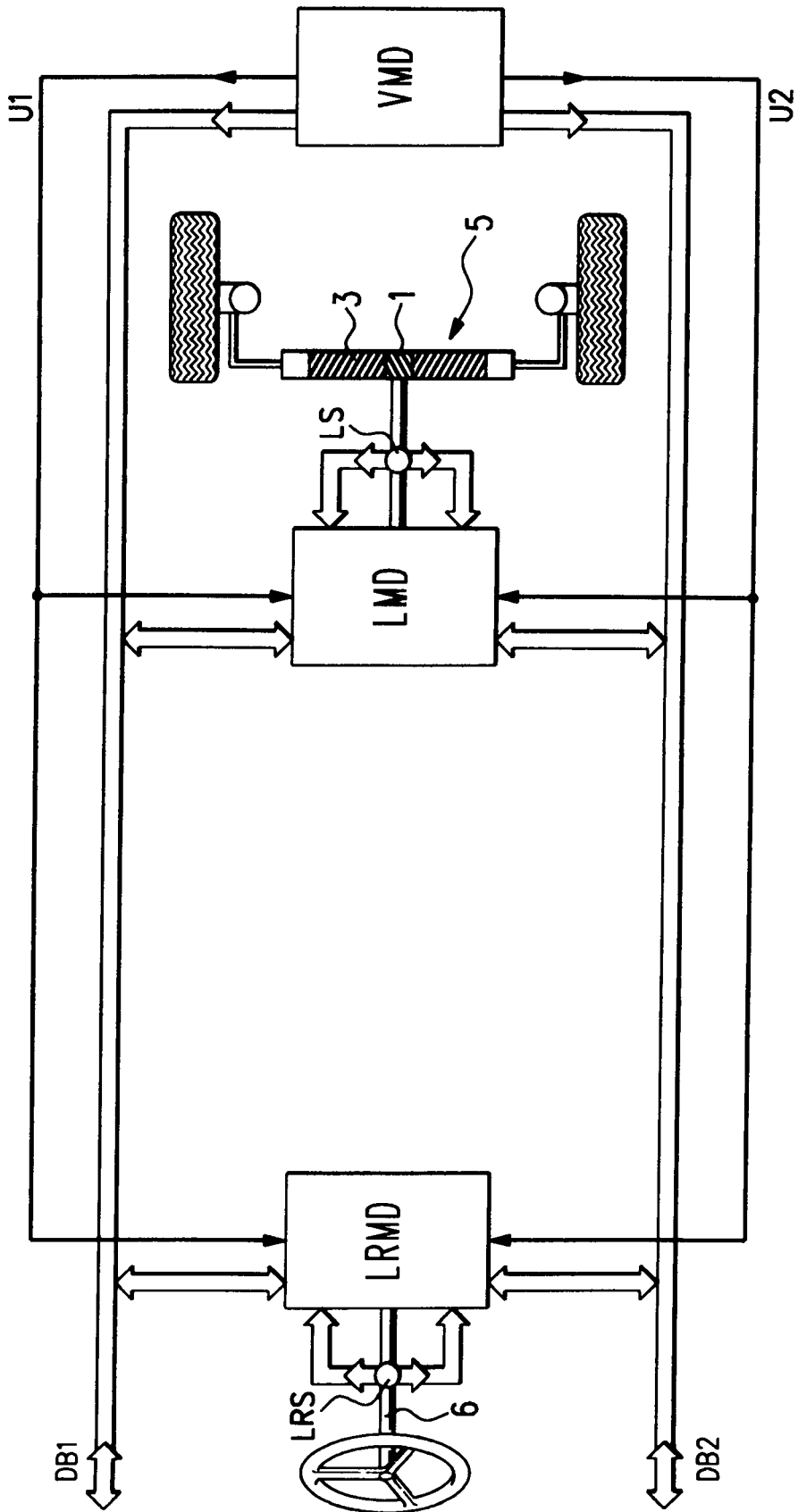
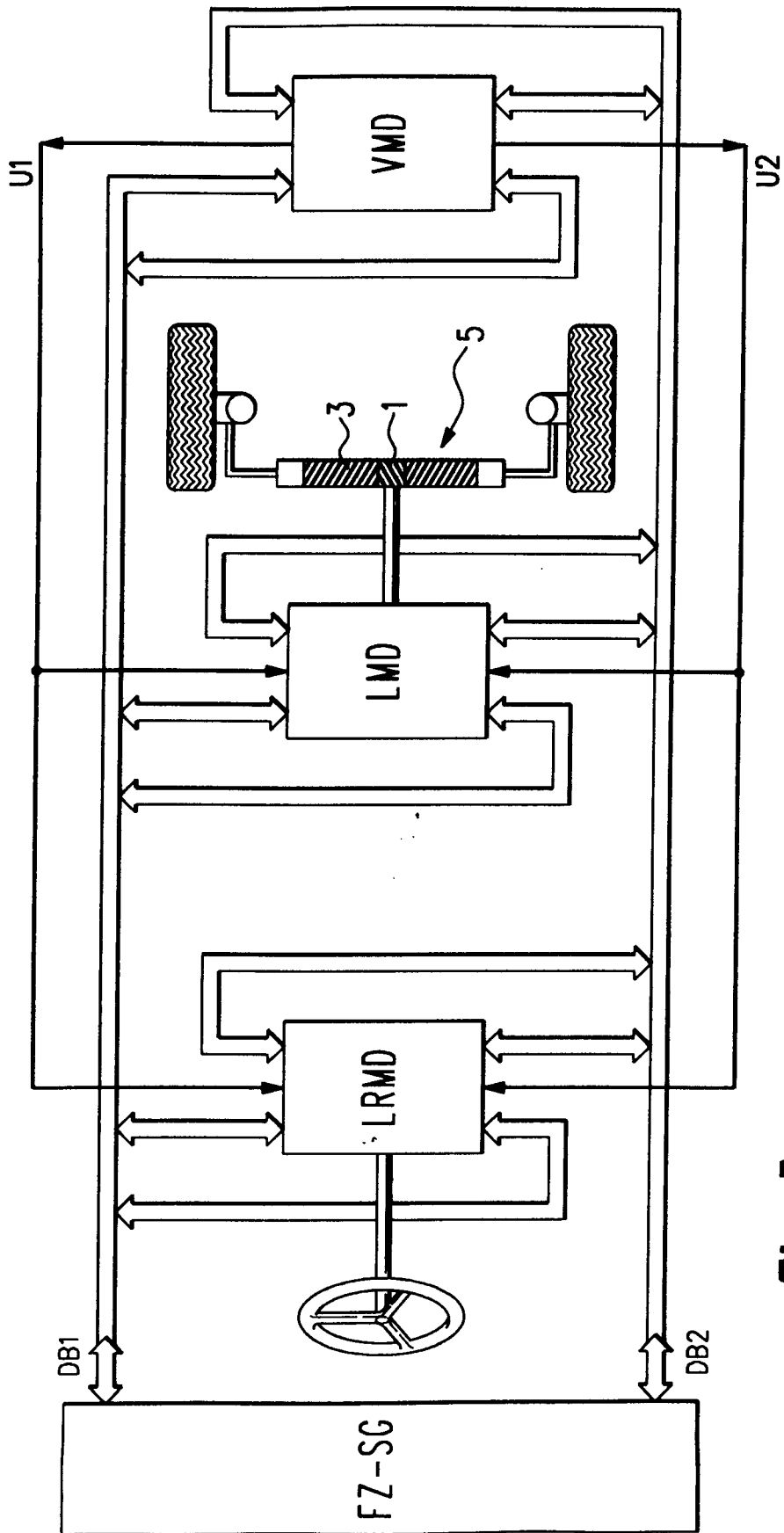


Fig. 1a



*Fig. 2*



**Fig. 3**

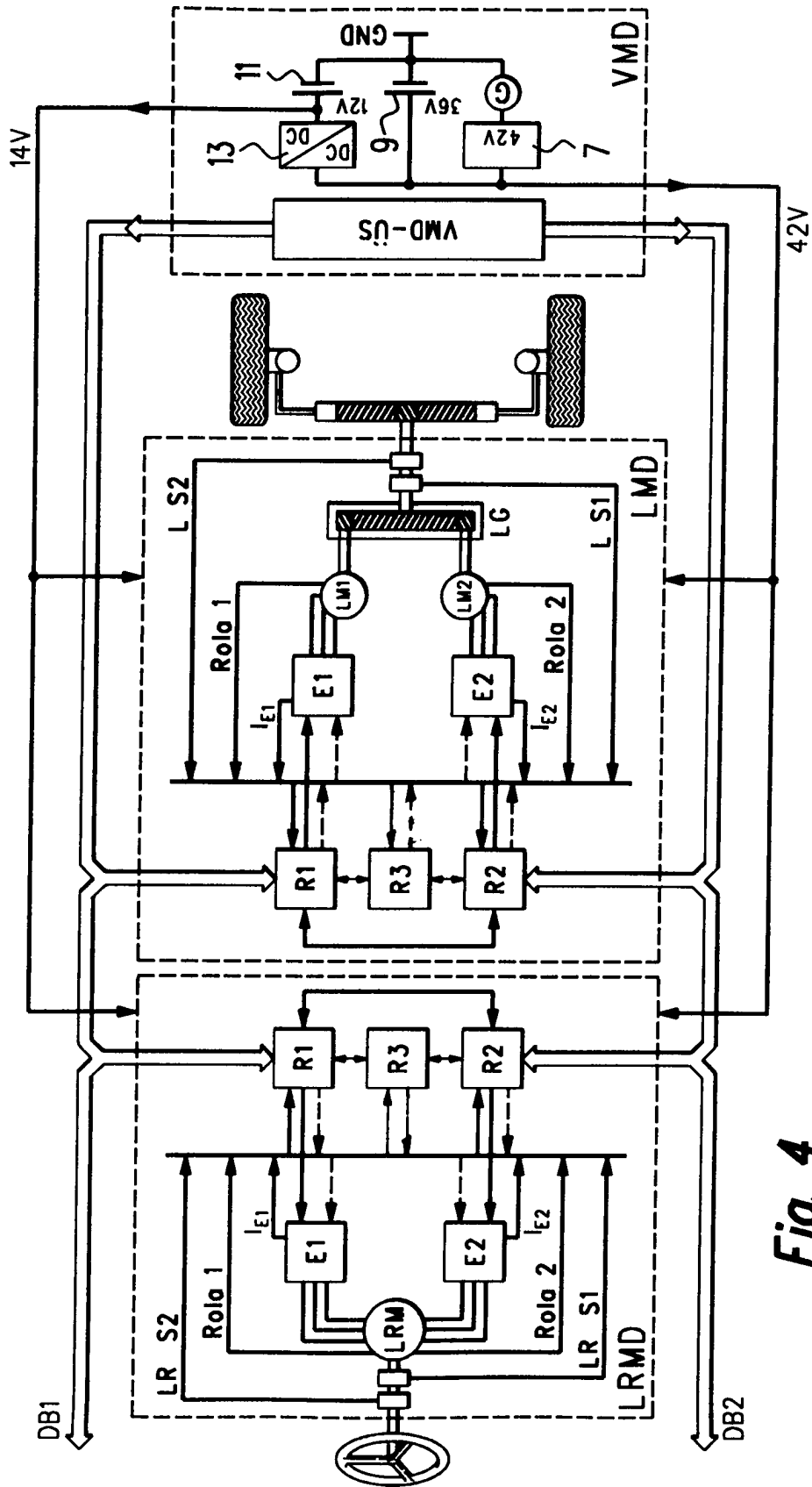


Fig. 4





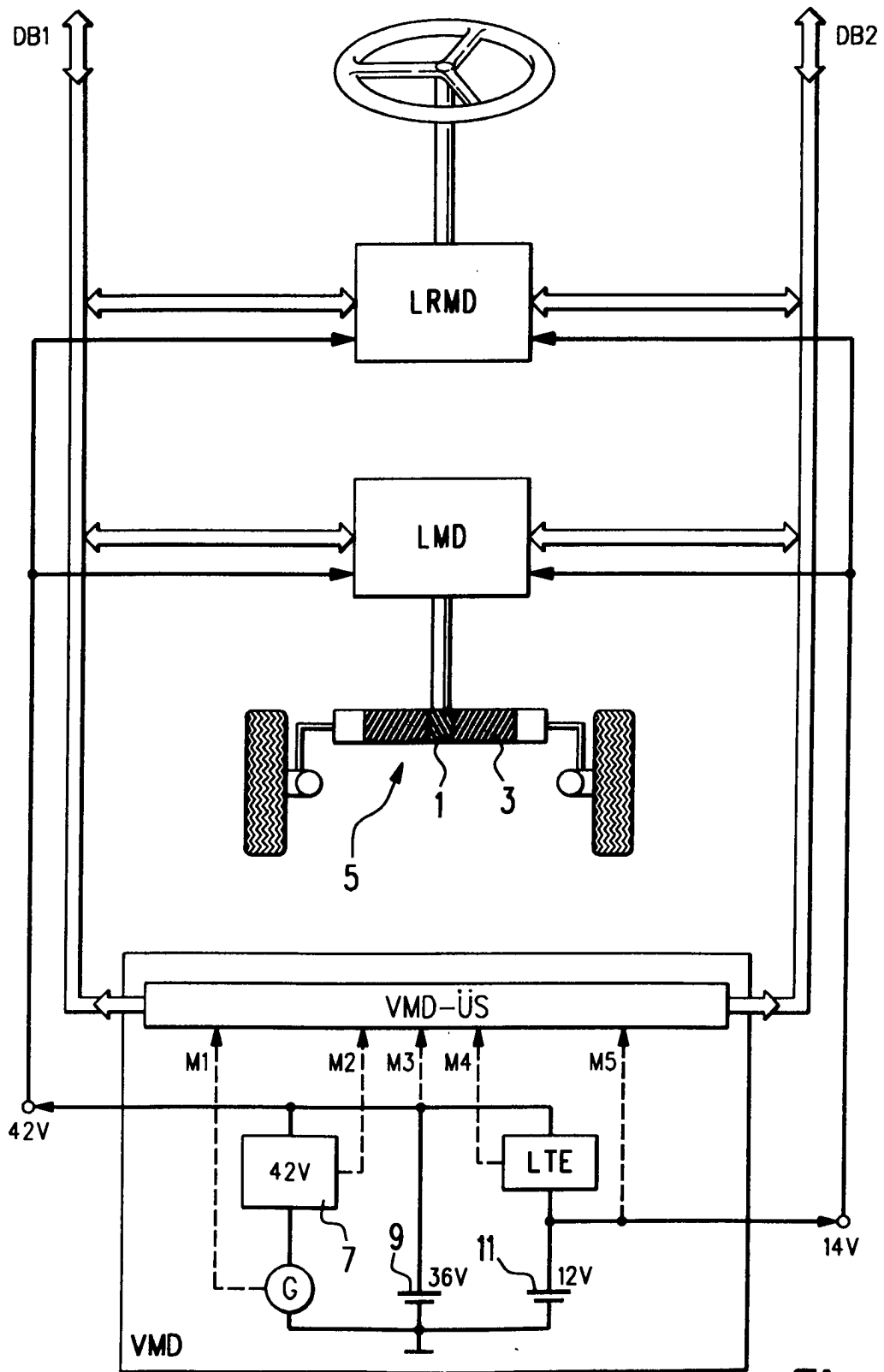
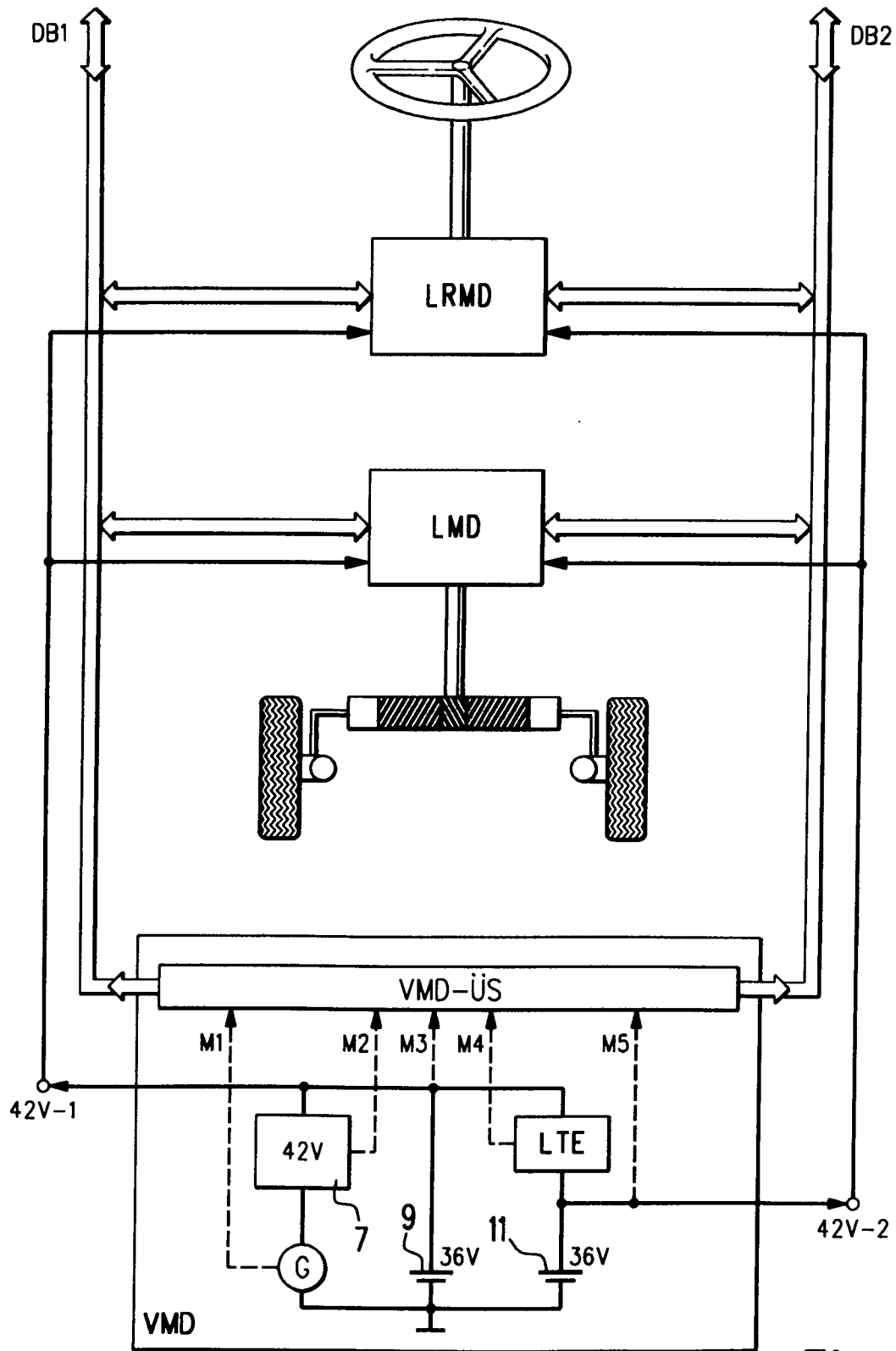


Fig. 6



**Fig. 7**

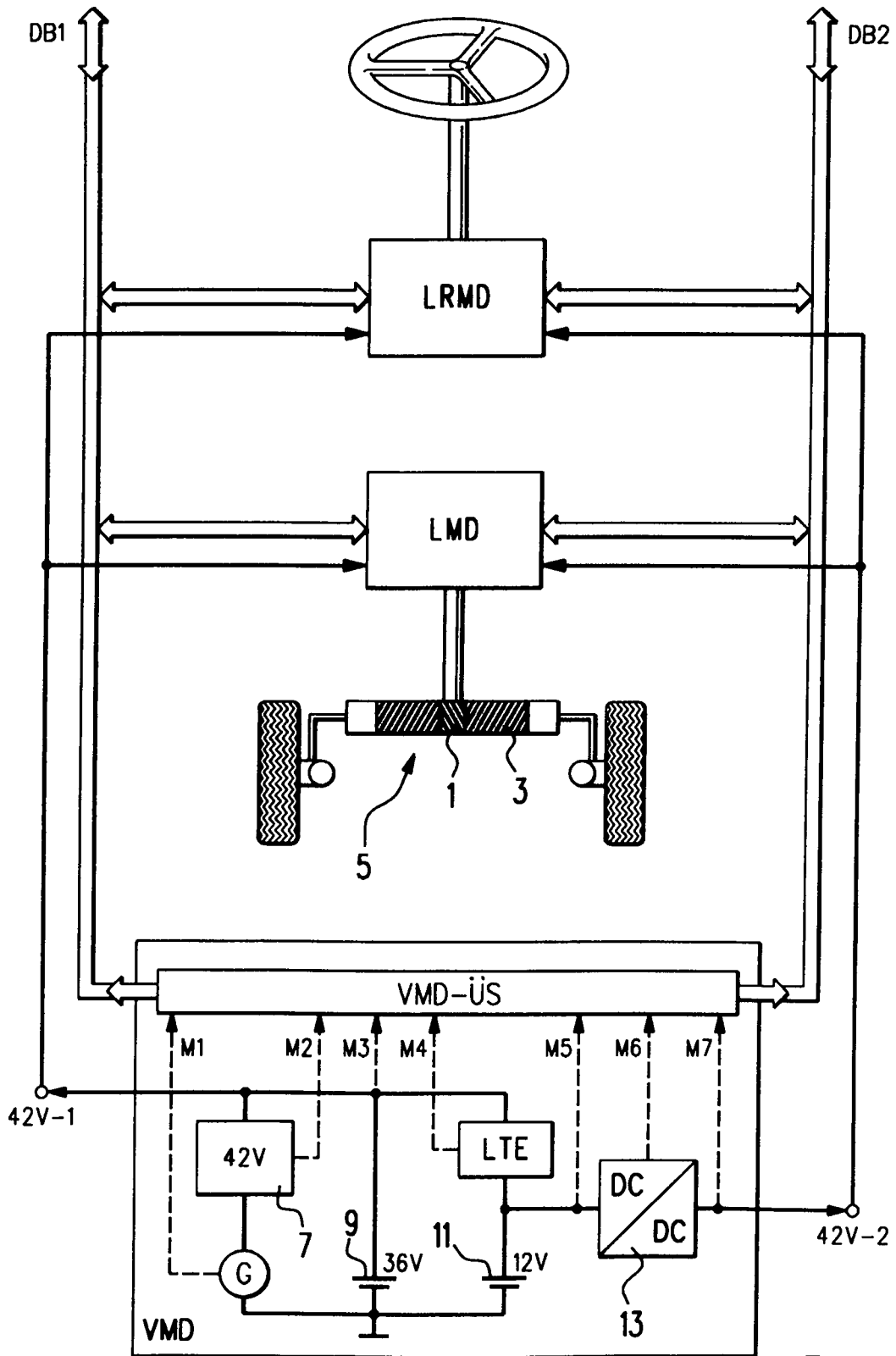
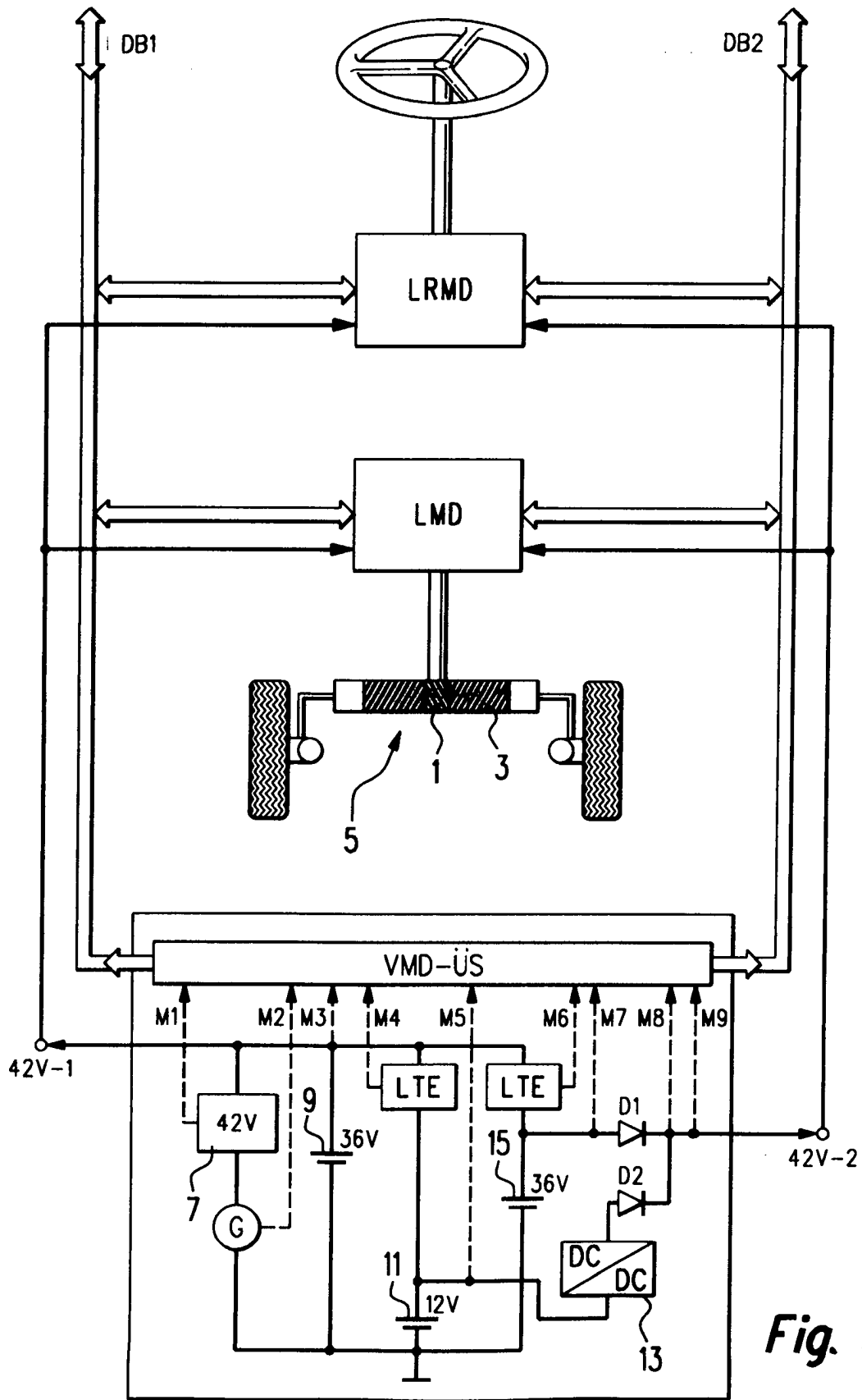
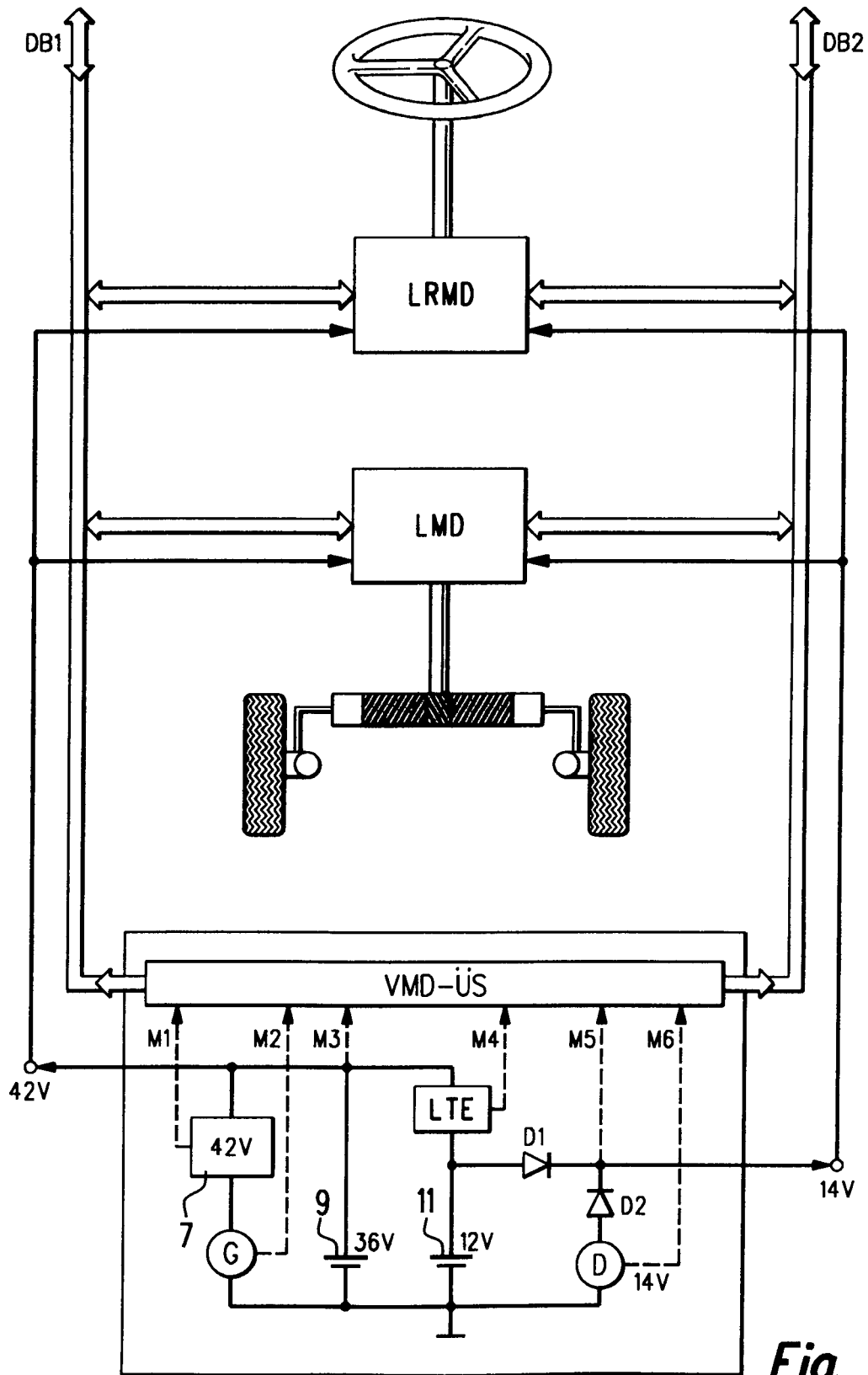


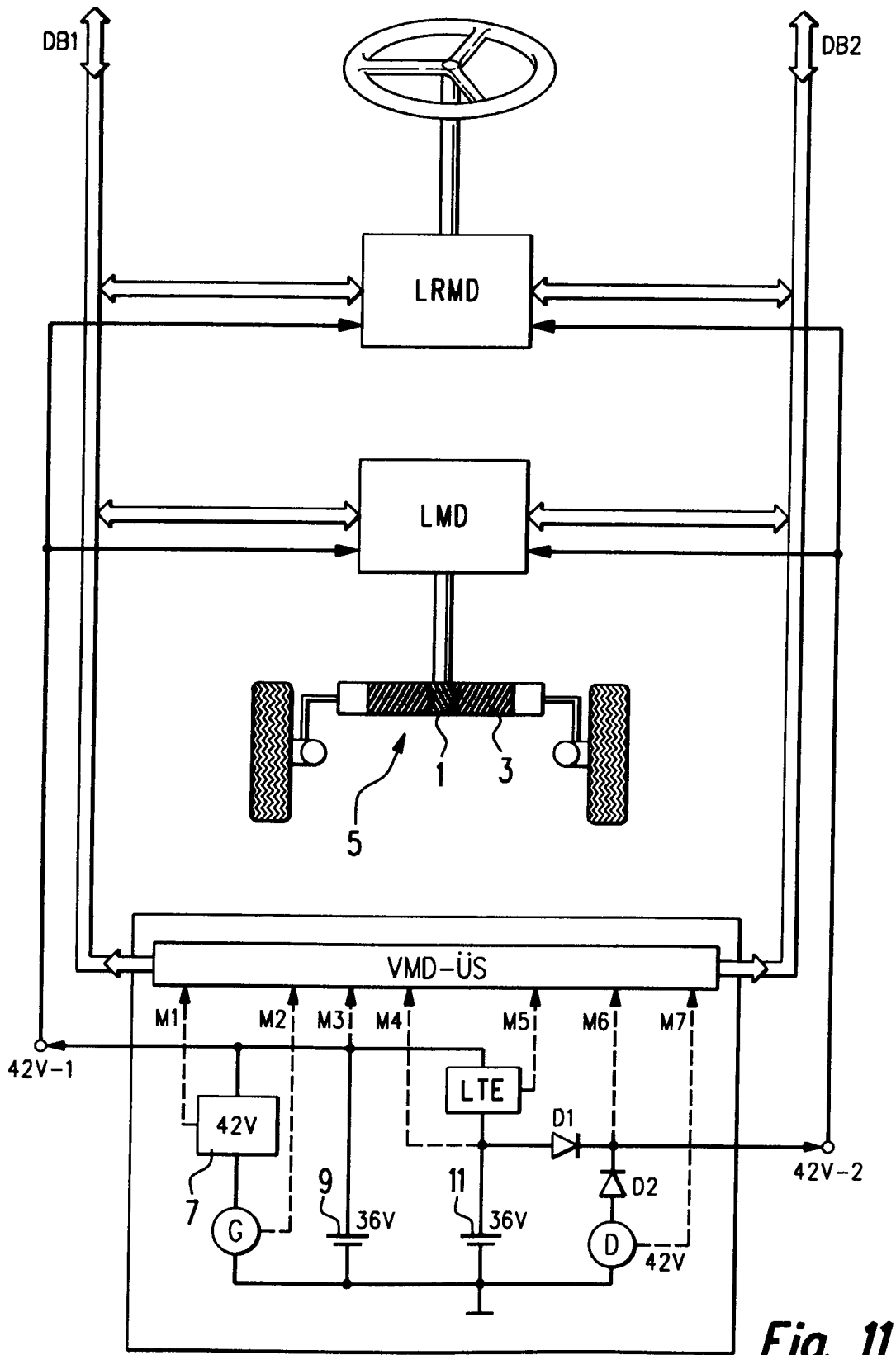
Fig. 8



**Fig. 9**



**Fig. 10**



**Fig. 11**

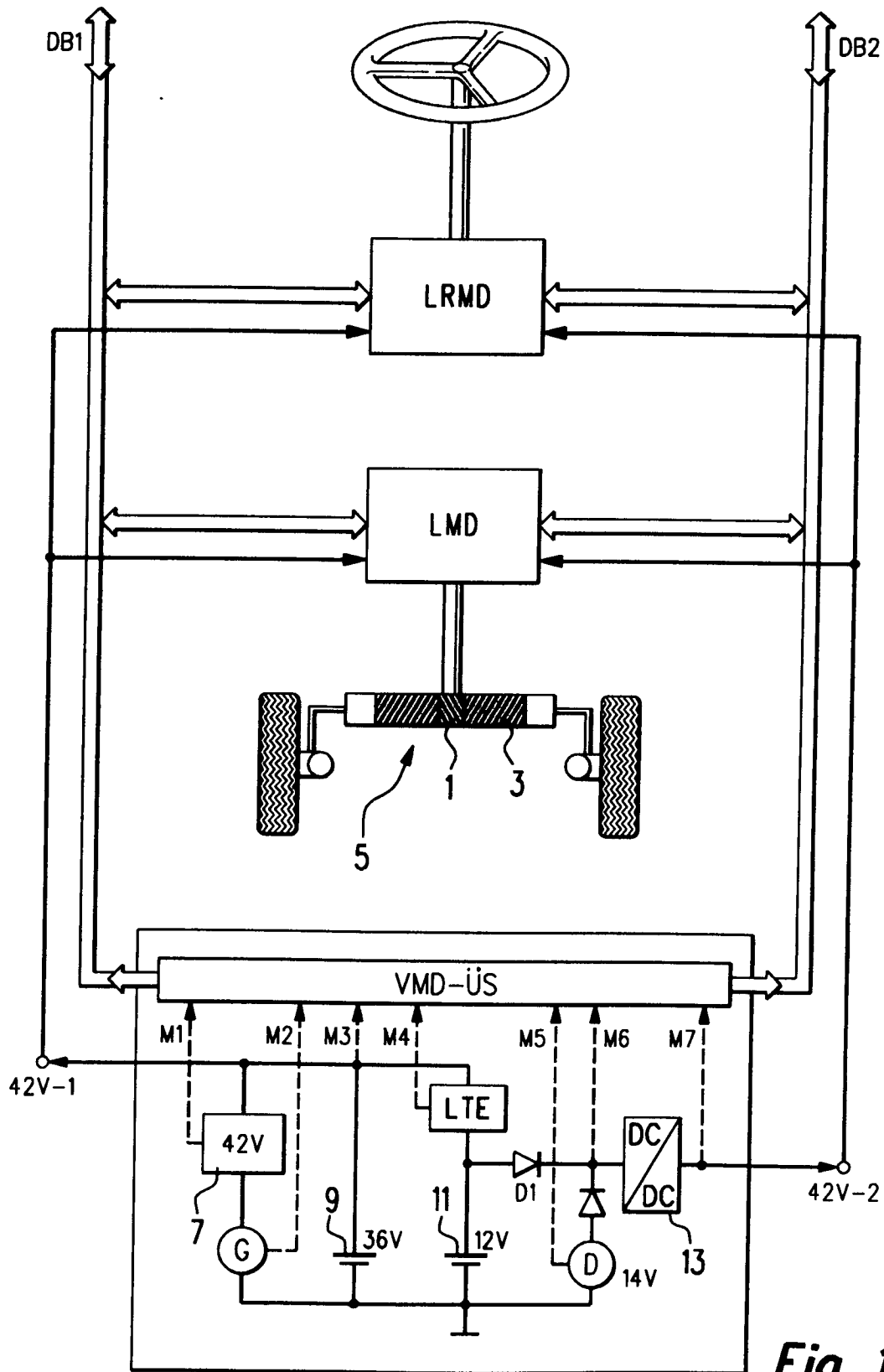
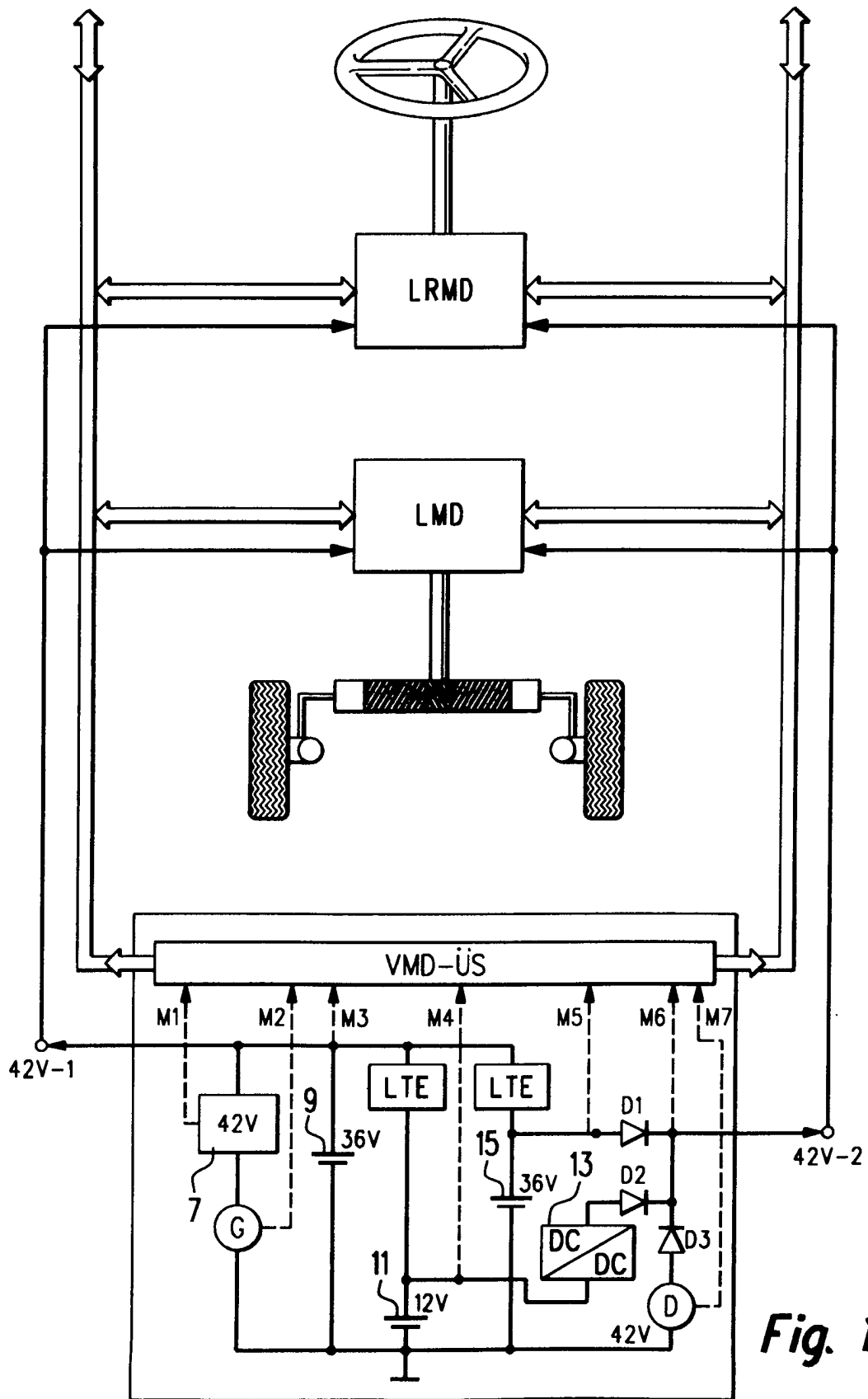


Fig. 12



**Fig. 13**



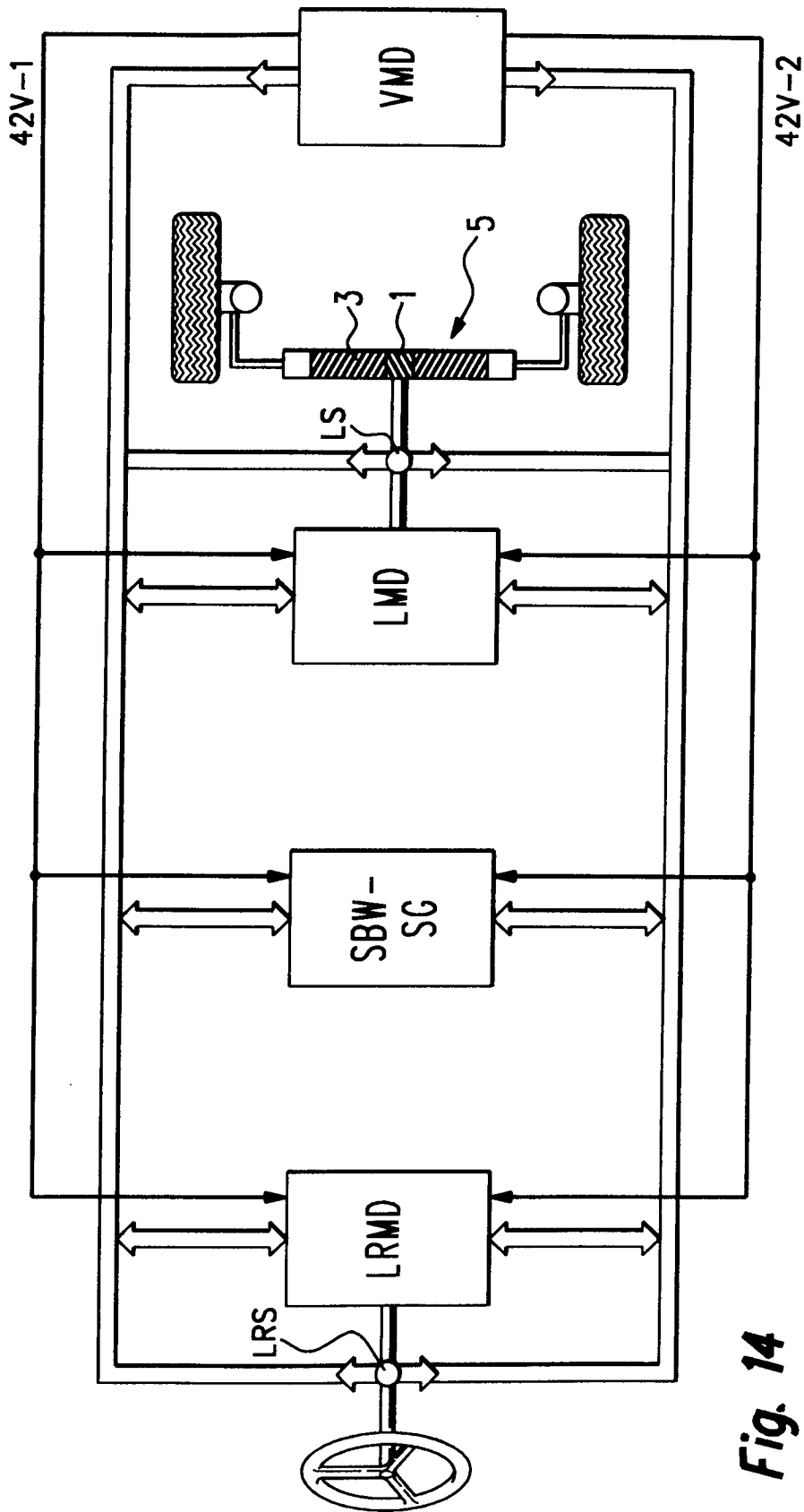


Fig. 14

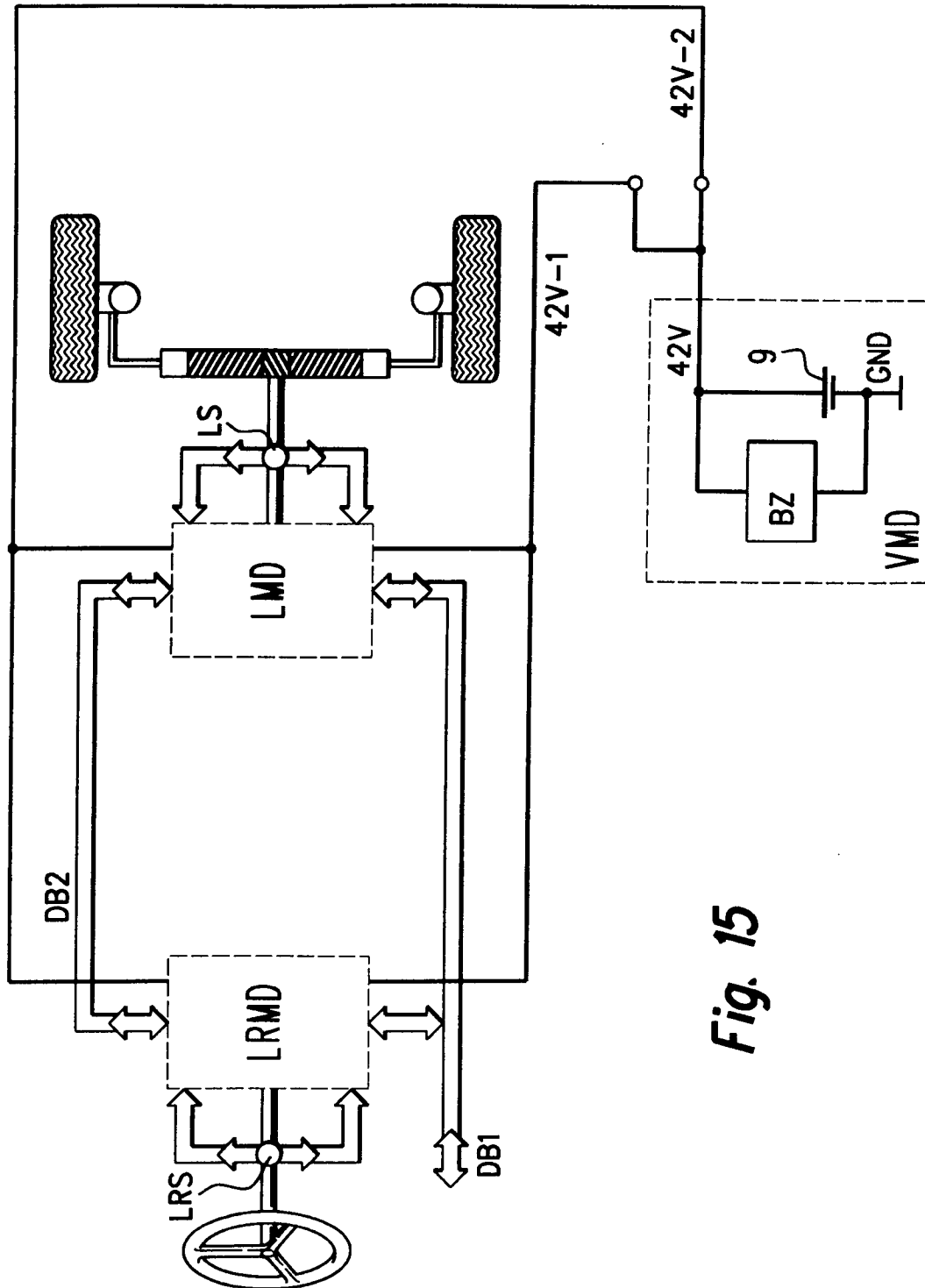


Fig. 15

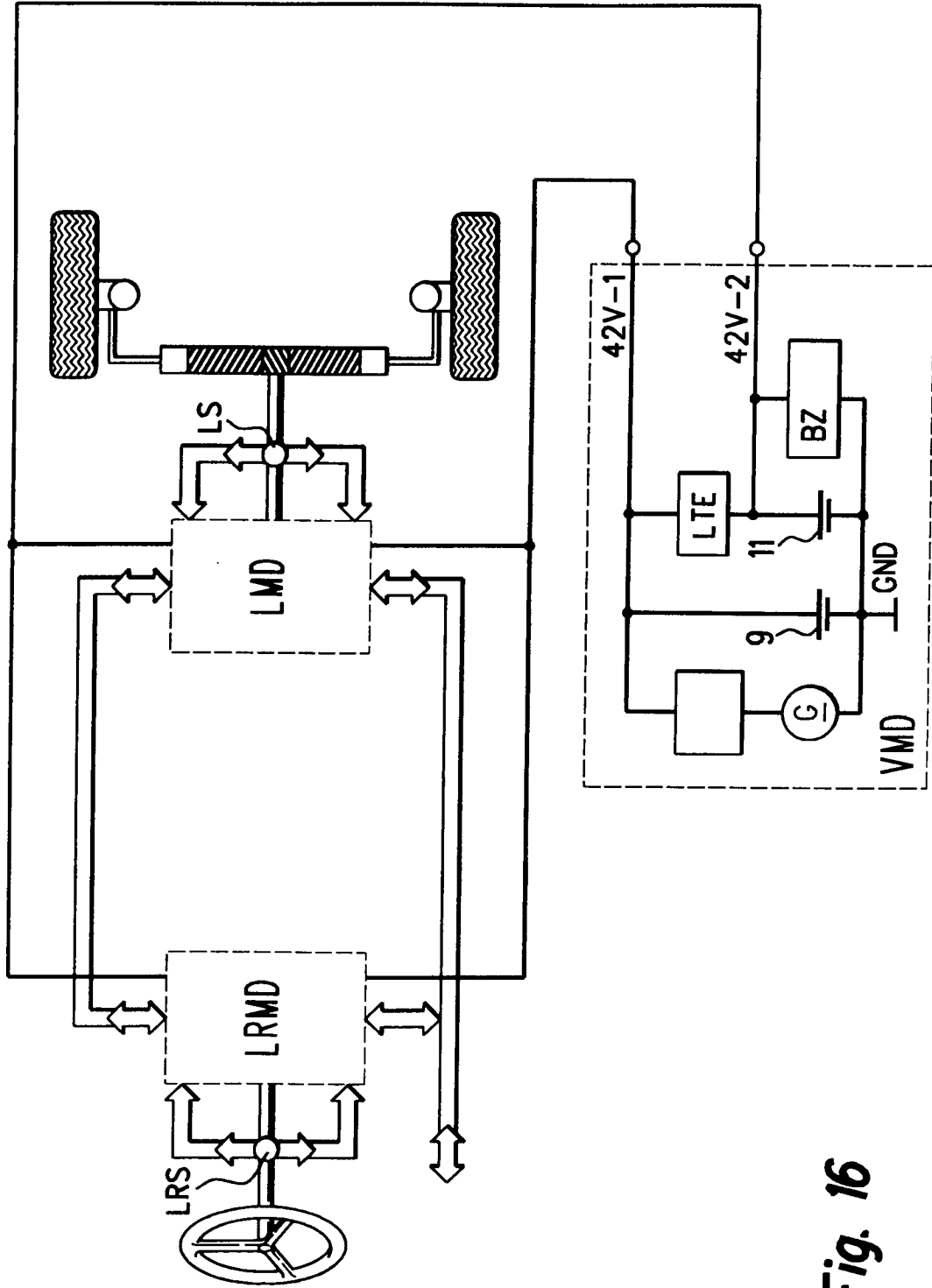


Fig. 16

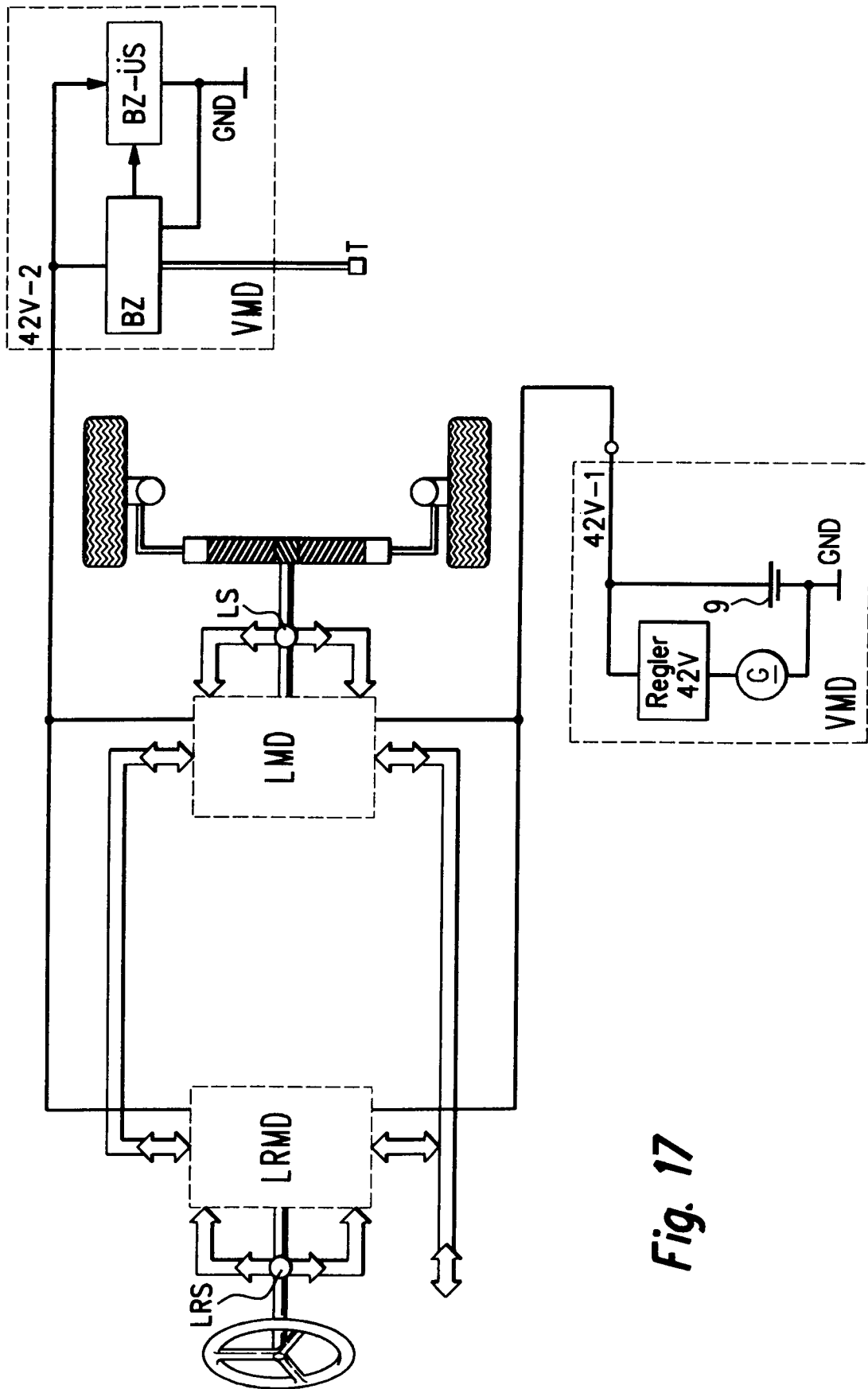


Fig. 17