

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97115306. X

[45] 授权公告日 2002 年 8 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 1089502C

[22] 申请日 1997. 7. 25

[21] 申请号 97115306. X

[30] 优先权

[32] 1996. 7. 26 [33] DE [31] 19630284. 6

[73] 专利权人 戴姆勒格雷斯勒公司

地址 德国斯图加特

[72] 发明人 M·斯坦纳 H·雷恩

[56] 参考文献

CH682435A5 1990. 11. 19 H02M1/100

JP58179163 1983. 10. 20 H02M7/60

JP7 - 135779 1995. 5. 23 H02M7/48

US4841426 1989. 6. 20 H02M5/458

US5121315 1992. 6. 9 H02M7/44

审查员 袁 泉

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

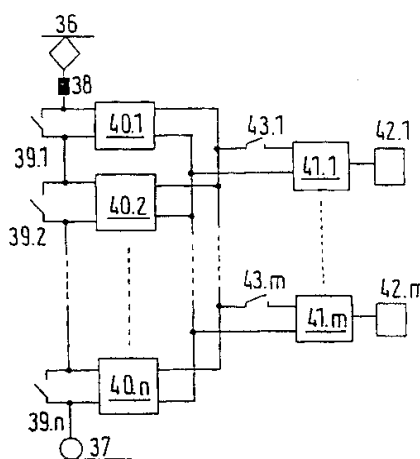
代理人 马铁良 萧掬昌

权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图页数 2 页

[54] 发明名称 铁路机车的驱动系统及其控制方法

[57] 摘要

一种铁路机车的驱动系统,包括多个分变换器系统,它们通过至少一个电感器串联连接在一个接触线/集流器系统和车轮/轨道系统之间。每个分变换器系统包含至少一个一次侧四象限变换器、至少一个一次侧中间电路电容器、至少一个一次侧逆变器 and 至少一个变压器。与变压器二次侧并联连接的分变换器系统在二次侧形成一公共的交流中间电路。此外,该分变换器电路可在二次侧增加一四象限变换器,使在二次侧并联连接的分变换器系统在二次侧上形成一公共的直流中间电路。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

- 1、一种铁路机车驱动系统，包括多个分变换器系统（40.1 - 40.n），它们通过至少一个电感器（38）串联连接到接触线/集流器（36）和车轮/轨道系统（37）之间的一个交流电压系统上，每个分变换器系统包含至少一个一次侧四象限变换器（1）、至少一个一次侧中间电路电容器（3，12/13）、至少一个一次侧逆变器（5，14/15，34）和至少一个变压器（6，16/17，22/23，35），不同分变换器系统的各变压器呈磁性耦合，并且在二次侧并联连接的各分变换器系统在二次侧形成一个公共的交流中间电路。
- 2、一种铁路机车驱动系统，包括多个分变换器系统（40.1 - 40.n），它们通过至少一个电感器（38）串联连接到接触线/集流器（36）和车轮/轨道系统（37）之间的一个交流电压系统上，每个分变换器系统包含至少一个一次侧四象限变换器（1）、至少一个一次侧中间电路电容器（3，12/13）、至少一个一次侧逆变器（5，14/15，34）和至少一个变压器（6，16/17，22/23，35），以及至少一个二次侧四象限变换器（7，18/19，33），不同分变换器系统的各变压器呈磁性耦合，并且在二次侧并联连接的各分变换器系统在二次侧形成一个公共的直流中间电路。
- 3、根据权利要求1或2的驱动系统，其特征在于，每个分变换器系统（40.1 - 40.n）在变压器（6，16/17，22/23，35）的一次侧或二次侧具有至少一个与该变压器串联连接的交流电容器（ C_{A1} ， C_{A2} ）。
- 4、根据权利要求1或2的驱动系统，其特征在于，每个分变换器系统（40.1 - 40.n）在变压器（6，16/17，22/23，35）的一次侧和二次侧具有至少一个与该变压器串联连接的交流电容器（ C_{A1} ， C_{A2} ）。
- 5、根据权利要求2至4之一的驱动系统，其特征在于，每个分变换器系统（40.1 - 40.n）具有至少一个二次侧中间电路电容器（8，20/21）。
- 6、根据权利要求2至4之一的驱动系统，其特征在于，所述公共的二次侧直流中间电路具有一个公共的中间电路电容器。
- 7、根据权利要求1至6之一的驱动系统，其特征在于，每个分变换器系统具有一个串联谐振电路（2），它与一次侧或二次侧中间电路电容器（3，8，12/13，20/21）相并联连接。
- 8、根据权利要求2至6之一的驱动系统，其特征在于，所述公共的二次侧直流中间电路包括一个公共的串联谐振电路。



9、根据权利要求 2 至 8 之一的驱动系统，其特征在于，在所述分变换器系统（40.1 - 40.n）中，总是具有由两个感性耦合的变压器（16, 17）构成的装置，其一次侧各连接一个专用逆变器（14, 15），其二次侧各连接一个专用的四象限变换器（18, 19），这些逆变器和四象限变换器的直流端子各连接到一个专用的中间电路电容器（12, 13; 20, 21），而这些中间电路电容器分别串联连接。

10、根据权利要求 2 至 8 之一的驱动系统，其特征在于，在所述分变换器系统（40.1 - 40.n）中，总是具有由两个变压器构成的装置，其一次线圈与逆变器（5）串联连接，其二次线圈与一个四象限变换器（7）并联连接。

11、根据权利要求 2 至 8 之一的驱动系统，其特征在于，在所述分变换器系统（40.1 - 40.n）中，总是具有一个三相变压器（35），其一次线圈与一个三相逆变器（34）相连接，其二次线圈与一个三相脉冲整流器（33）相连接。

12、根据权利要求 1 至 13 之一的驱动系统，其特征在于，所述四象限变换器和逆变器的每个半导体开关（11）是作为带有反并联二极管（45）的 IGBT 半导体（44）构成的。

13、一种控制权利要求 1 至 12 之一的驱动系统的变压器侧的变换器中的半导体开关的方法，其特征在于，这些半导体开关的开关频率 f_s 应大致满足以下条件之一：

$$f_s = \frac{1}{\pi\sqrt{L_s \cdot C_E}} \text{ 或 } f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \cdot C_E}}$$

其中： L_s 是变压器的漏电感之和， C_E 表示在一次侧和二次侧的子系统中等效电容：

$$C_E = \frac{C_{DC1} \cdot C_{DC2}}{C_{DC1} + C_{DC2}}$$

C_{DC1} 表示一次侧子系统中的直流电容， C_{DC2} 表示二次侧子系统中的直流电容。

14、根据权利要求 13 的方法，其特征在于，等效电容 C_E 由下式计算：

$$C_E = \frac{1}{\frac{1}{C_{DC1}} + \frac{1}{C_{DC2}} + \frac{1}{C_{AC1}} + \frac{1}{C_{AC2}}} \text{ 或 } C_E = \frac{1}{\frac{1}{C_{DC1}} + \frac{1}{C_{DC2}} + \frac{1}{C_{AC1}}} \text{ 或 } C_E = \frac{1}{\frac{1}{C_{DC1}} + \frac{1}{C_{DC2}} + \frac{1}{C_{AC2}}}$$

C_{AC1} 、 C_{AC2} 表示交流电容器的电容。

说明书

铁路机车的驱动系统及其控制方法

本发明涉及一种铁路机车的驱动系统及其控制方法。

5 由皇家技术协会电机和动力电子学部门 (Trita-EMK-9201) 的 Stefan Ostlund 先生署名的题为“牵引用一次转换的变换器系统” (特别是第 7 页上的图 2.2.1) 的文章中公开了这样一种铁路机车的驱动系统, 其中的变压器的一次侧通过一个直接变换器 (direct converter) 连接到交流电源系统, 其二次侧通过一个带有串联的谐振电路和中间电路电容器及逆变器
10 的四象限变换器向铁路机车上的驱动电机供电。在这种情况下, 变换器的工作频率为几百 Hz。所述的直接变换器需要对称同步定位的半导体阀。

本发明的目的是提供一种铁路机车驱动系统, 其功率变换器能够与常规的耐阻塞电压的半导体开关配合工作。还进一步给出了相应的控制
15 方法。

上述发明目的是通过如下系统实现的, 铁路机车的驱动系统, 包括多个通过至少一个电感器串联连接在接触导线/集流器和车轮/轨道系统之间的分变换器系统, 每个分变换器系统具有至少一个一次侧四象限变换器, 至少一个一次侧中间电路电容器, 至少一个一次侧逆变器和至少
20 一个变压器, 而且分变换器系统并联连接在二次侧上, 在二次侧形成一个公共的交流中间电路。

能实现本发明目的的又一铁路机车驱动系统包括多个通过至少一个电感器串联连接在接触导线/集流器和车轮/轨道系统之间的分交换器系统, 每个分交换器系统带有至少一个一次侧四象限变换器, 至少一个一
25 次侧中间电路电容器, 至少一个一次侧逆变器和至少一个变压器, 还包括至少一个二次侧四象限变换器, 而且分变换器系统并联连接在二次侧上, 在二次侧形成一个公共的直流中间电路。

此目的通过根据本发明的控制功率变换器的半导体开关的方法解决, 这些开关位于变压器侧上, 在该驱动系统中, 这些半导体开关的开关
30 频率 f_s 应大致满足下列条件:

$$f_s = \frac{1}{\pi\sqrt{L_s \cdot C_E}} \text{ 或 } f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \cdot C_E}}$$

5 式中:

L_s 是指变换器的漏电感的总和,

C_E 是指一次侧和二次侧子系统中的等效电容,

$$C_E = \frac{C_{DC1} \cdot C_{DC2}}{C_{DC1} + C_{DC2}}$$

10 式中:

C_{DC1} 表示在一次侧的子系统中的直流电容,

C_{DC2} 表示在二次侧的子系统中的直流电容。

15 本发明的优点包括: 在接触线/集流器系统和车轮/轨道系统之间的较高的交流电压被分压, 其与分变换器系统的数量 $40.1 - 40.n$ 有关, 这样, 分变换器系统中的每个四象限变换器或逆变器可以用常规的耐阻塞电压的半导体开关控制操作。在二次侧上并联连接的分变换器系统的数目与所需的驱动电机数相一致。

20 工作在较高频率的变压器在满足交流电源系统和驱动电机之间的电气绝缘要求的情况下, 无需须具有高的重量, 也无须要求大的空间。将本发明与一般用在铁路机车输入电路中的变压器相比较, 除了重量和空间外, 还可大大减少变压器的功率损耗, 变压器工作在较高频率下。由于这两个子系统属于很硬的耦合, 可以考虑:

1、在第一或第二分变换器系统中或在这两个分变换器系统中连接一个串联谐振电路, 或

25 2、通过加大总电容完全放弃该串联谐振电路。

后一种情况当系统加载时是不可能实现的, 原因在于限制了最大的中间电路短路电流。本发明的驱动系统并不存在这一限制, 因为电容分布存在于各分变换器系统中。省略串联谐振电路的电感元件可进一步减小重量。

30 采用本发明的合理的控制方法, 可将与变压器连接的半导体开关的

开关损耗大大减小。

本发明的优选实施例体现在从属权利要求的内容中。

下面将依照附图中的实施例说明本发明：

图 1 是驱动电路的单级基本式电路图，

5 图 2 是图 1 的驱动电路的变型电路，

图 3 是驱动电路的双级基本式电路图，

图 4 和图 5 是进一步变型的电路，

图 6 是铁路牵引装置的驱动方式示意图，包含多个在线路侧的串联连接的分变换器系统，

10 图 7 是采用的半导体开关的结构，

图 8 是附加的交流电容器示意图。

图 1 中表示一种单级基本式驱动电路。包括四象限变换器 1（整流器），串联谐振电路 2 和中间电路电容器 3（直流中间电路）。在交流侧，四象限变换器 1 通过一个输入电感器系统 4 与交流电源相连接。中间电
15 路包括逆变器 5，它的交流侧与变压器 6 的一次线圈相连接，与变压器 6 二次线圈相连接的是四象限变换器 7（整流器），后者的直流侧通过一中间电路电容器 8（直流中间电路）连接到一逆变器 9（机械转换器）。铁路机车的驱动电机 10 连接到逆变器 9 作为负载。变压器最好使用漏电感极小的变压器。

20 这个驱动系统的基本特性在于，功率变换器的半导体开关 11 的时钟频率高，其频率范围为 8-20KHz，也就是说，逆变器 5 和四象限变换器 7 都连接到变压器上，并且都影响直流变换。其优点是能降低变压器的重量和缩小其所占空间，以及减小人耳能听到的噪声程度。四象限变换器 1 的半导体开关 11 和逆变器 9 的半导体开关 11 的变换频率较低，其频率
25 大约为 500Hz。

所述的频率上限与当前应用的半导体开关的特性有关。一旦选用的组件工作在较高的频率，较高的时钟频率也能被选择。

这个驱动系统的又一主要特性是通过变压器耦合的两个子系统属于很硬的耦合。由于硬耦合（hard coupling），一个子系统的容性分量直接
30 地、很强地作用到另一个子系统。其结果是，中间电压电路的电容可以在两个子系统之间按选择的比例分配。中间电路电容器 3、8 就象两个并联连接的电容器。此外，当中间电路发生短路的情况时，产生在一对功

率变换器支臂上的短路电流可减小。这一点对于串联连接的半导体开关未连接限流电感器的情况尤为重要。其优点还在于减小了运行中产生的功率损耗，这是由于串联谐振电路 2 的强耦合有效地作用于四象限变换器 1 和 7。因此，串联谐振电路 2 也可布置在第二子系统的中间电路内，
 5 如图 2 所示的改型的电路图可看到，或者当总的中间电路电容加大时，可完全省略串联谐振电路。

图 3 表示一种双级基本式驱动电路。在这种双级基本式中，输入电感器系统 4，四象限变换器 1，串联谐振电路 2 和逆变器 9 与图 1 中的基本式的电路中的同类组件是相同的，然而在第一子系统中，由两个串联
 10 连接的中间电路电容器 12、13 构成的装置与两个逆变器 14、15 相连接，后者的交流侧分别连接到四绕组变压器的两个绕组上，图 3 中所示的是双磁耦合变压器 16，17。专用的四象限变换器 18，19 连接到变压器 16，17 的两个二次侧绕组上。第二子系统的这些四象限变换器 18，19 通过两个串联连接的中间电路电容器 20，21 为第二子系统的公共中间电路提供
 15 功率。采用四绕组变压器可实现分压的中间电路电压的平衡。

与单级基本式驱动电路相比，双级基本式电路的优越性在于：可采用带有降低的电压强度的半导体开关 11，因此可工作在较高的时钟频率。

图 4 是又一种驱动电路，包括两个磁耦合变压器 22、23，它们的一次
 20 绕组与逆变器 5 串联连接。而变压器 22、23 的二次绕组与四象限变换器 7 并联连接。在这个驱动电路中，变压器的变比为 1: 1，中间电路电容 8 两端的直流电压 U_{dc2} 只为中间电路电容 3 两端的直流电压 U_{dc1} 的一半。

图 5 是又一种驱动电路，采用一个三相变压器 35，其一次侧与一个
 25 三相逆变器 34 相连接，其二次侧与三相脉冲整流器 33 相连接，三相变压器 35 如图所示，采用双星形接法，但也可采用星-角接法或角-星接法，或其它的变压器通用接法。电压比为 $U_{dc1}: U_{dc2}$ ，这取决于变压器所采用的电路。

一般来说，图 4 和图 5 的电路方案能够降低与电压 U_{dc1} 相关的电压
 30 U_{dc2} 。如果所馈电的交流电源系统的电压可按要求降低，将对供给驱动电机的三相电压起到有益的改善作用。

图 6 是铁路机车的驱动方案示意图。在线路侧上带有多个串联连接

的分变换器系统，这些分变换器系统 40.1...40.n (n = 1, 2, 3...) 可以串联连接在铁路机车的接触导线/集流器系统 36 和车轮/轨道系统 37 之间。每个分变换器系统可通过分离开关 39.1...39.n 分流桥式连接。在接触线/集流器系统 36 和第一分变换器系统 40.1 之间装有一个主输入电感器 38，专门用于限制过压，各分变换器系统 40.1...40.n 的输出端并联连接。分变换器系统 41.1...41.m (m = 1, 2, 3...) 可通过开关 43.1...43.m 连接到前面所述的输出端上，每个分变换器系统 41.1...41.m 分别与驱动电机 42.1...42.m 相连接。

在接触线/集流器 36 和车轮/轨道系统 37 之间的较高的交流电压根据图 6 所示的设计方案被分压，所述分压与分变换器系统 40.1...40.n 的数量 n 有关，使得分变换器系统的每个四象限变换器或第一子系统的逆变器可以由半导体开关 11 控制工作在常规的阻塞电压强度条件下。所需的分变换器系统 41.1...41.m 的数量 m 取决于所需的驱动电机 42.1...42.m 的数量。

在这种情况下，一个分变换器系统 40.1...40.n 例如包括一个输入电感器系统 4，一个四象限变换器 1，一个中间电路电容器 3，一个串联谐振电路 2 (如果需要的话)，一个逆变器 5 和一个变压器 6。相应的分变换器系统 41.1...41.m 包括一个四象限变换器 7，一个中间电路电容器 8 和一个逆变器 9。当然也可以采用图 2 至 5 所示的电路。

在另一个实施例中，每个分变换器系统 40.1...40.n 还可在二次侧上附加一个四象限变换器 7 和一个中间电路电容器 8，而分变换器系统 41.1...41.m 仅包含二次侧逆变器 9。

当整个系统分成多个串联连接的分变换器系统 40.1 至 40.n 时，位于交流电压系统侧的半导体开关最好以一种起步时差式的时钟方式工作。分变换器系统的各输入电感器系统优选采用电流补偿式电感器，从而使在各分变换器系统之间的寄生补偿电流得以衰减。

图 7 表示一种半导体开关 11 的设计，适用于上述所有的四象限变换器和逆变器。半导体开关 11 包括一个 IGBT 功率半导体 44，带有一个逆平行反向布置的二极管 45。这样布置的优点在于在必须使用直接变换器的情况下，可以采用合适的非对称半导体和不对称阻塞的半导体。

图 8 所示的交流电容器 C_{AC1} 布置在变压器的一次线圈侧，并且与该线圈串联，图中的交流电容器 C_{AC2} 则与变压器的二次线圈相串联。另一

种可能性是也可以只采用其中一个交流电容器，即 C_{AC1} 或 C_{AC2} 。

本文所描述的驱动系统也可以扩展形成一种多系统电路，它可以由不同系统的各个组件重新组合而成，例如具有不同交流电压和频率的不同的直流电压和交流电压系统的直流电压系统。

5 如上所述，半导体开关 11 的工作频率范围为 8-20KHz，为了使其开关损耗降至最小，最好采用谐振电路，该电路由变压器的漏电感和两个子系统电容所构成，并且以协调的方式连接这些半导体开关，使电流流过半导体开关时其功率损耗明显变小。因此，这些半导体开关的开关频率 f_s 应满足下列等式：

10
$$f_s = \frac{1}{\pi\sqrt{L_s \cdot C_E}} \text{ 或 } f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \cdot C_E}}$$

式中： L_s 是变压器的漏电感， C_E 表示两个子系统电容中的等效电容，其中：

$$C_E = \frac{C_{DC1} \cdot C_{DC2}}{C_{DC1} + C_{DC2}}$$

15 C_{DC1} 表示第一子系统的电容， C_{DC2} 表示第二子系统的电容。在这种情况下，通过非对称地分配电容 C_{DC1} 和 C_{DC2} ，可以使总电容 C_E 相对较小。如上所述，这种电容的分配是可以实现的，原因在于子系统之间的耦合属于硬耦合。

20 当如图 8 所示采用两个交流电容 C_{AC1} 和 C_{AC2} ，等效电容 C_E 按下式计算：

$$C_E = \frac{1}{\frac{1}{C_{DC1}} + \frac{1}{C_{DC2}} + \frac{1}{C_{AC1}} + \frac{1}{C_{AC2}}}$$

25 当只采用一个交流电容器 C_{AC1} 时，等效电容 C_E 按下式计算：

$$C_E = \frac{1}{\frac{1}{C_{DC1}} + \frac{1}{C_{DC2}} + \frac{1}{C_{AC1}}}$$

当只采用交流电容器 C_{AC2} 时，等效电容 C_E 按下式计算：

$$C_E = \frac{1}{\frac{1}{C_{DC1}} + \frac{1}{C_{DC2}} + \frac{1}{C_{AC2}}}$$

说明书附图

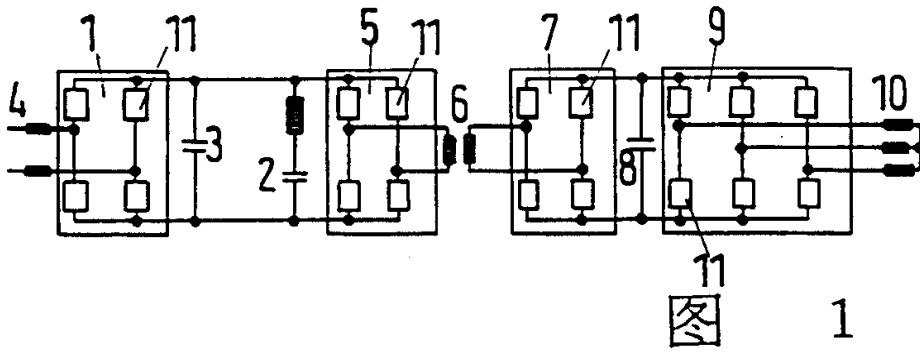


图 1

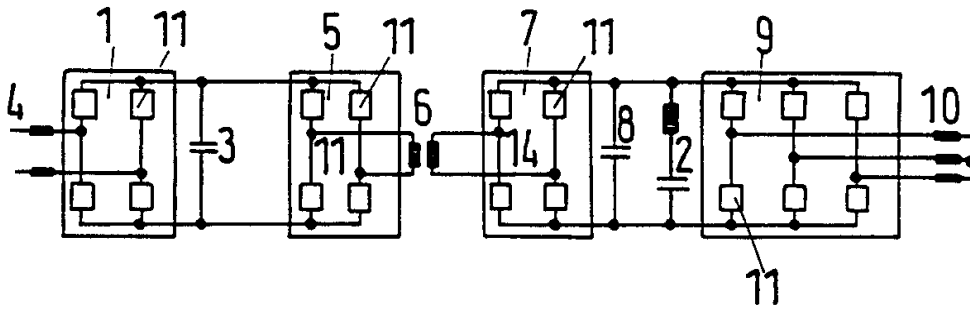


图 2

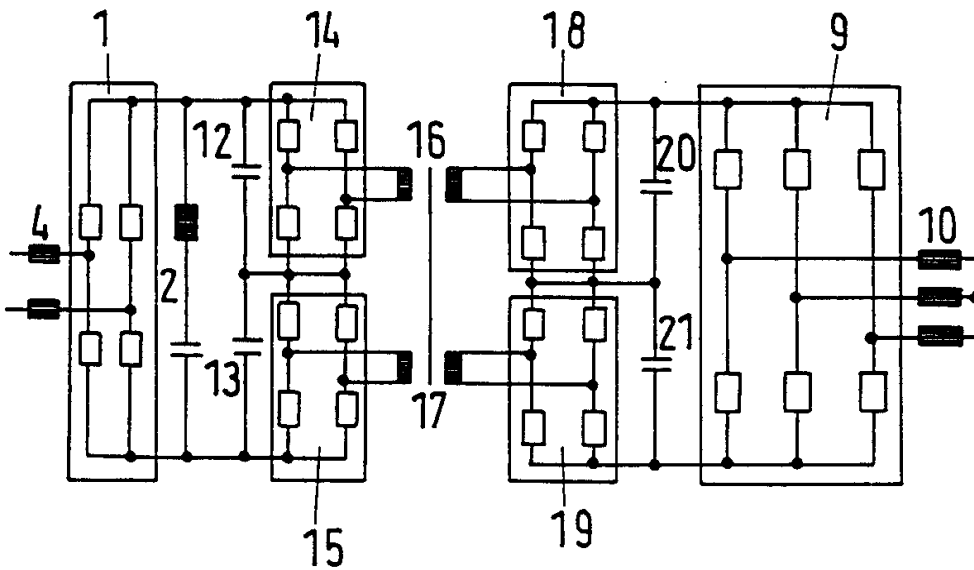


图 3

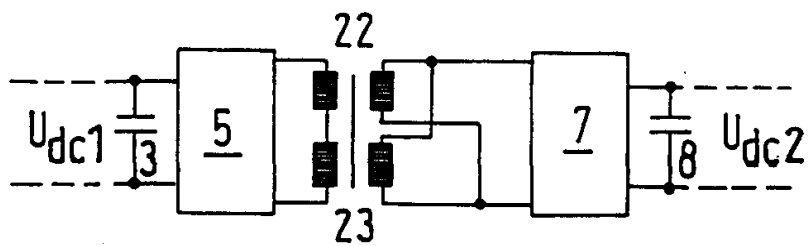


图 4

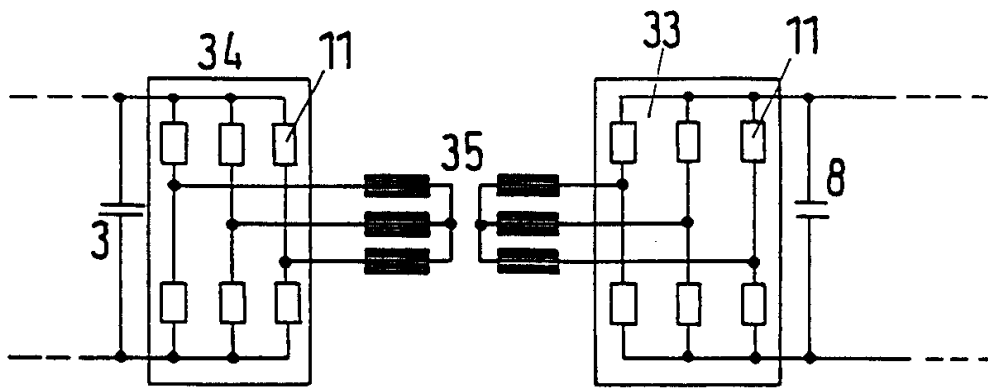


图 5

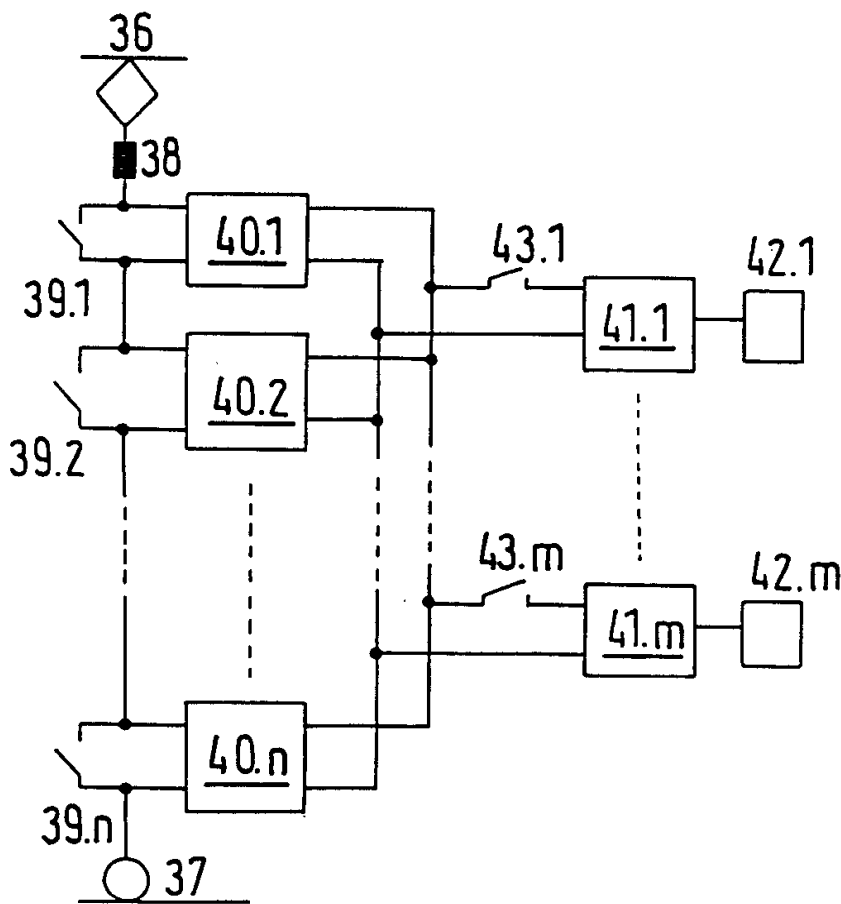


图 6

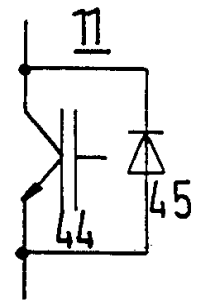


图 7

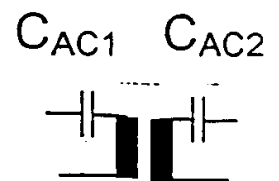


图 8