

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

H02M 5/45

H02M 7/515

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99109717.3

[43]公开日 2000年2月16日

[11]公开号 CN 1244745A

[22]申请日 1999.5.21 [21]申请号 99109717.3

[30]优先权

[32]1998.5.21 [33]US [31]082,888

[71]申请人 罗比康公司

地址 美国宾西法尼亚

[72]发明人 皮特·W·哈蒙德

马克 R·艾耶罗

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

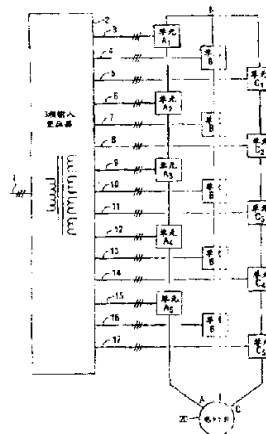
代理人 王茂华

权利要求书 5 页 说明书 23 页 附图页数 14 页

[54]发明名称 在故障模式下具有高输出的驱动器

[57]摘要

在每个支路中具有多个单元的电源中保持一个高输出电平。旁路任何支路中出故障的单元,提供通过各个支路的电流通路。在保持各相间幅值相等和线间输出电压的平衡相位关系的同时使用所有的无故障单元。本发明可以和用来降低峰值电压的电路和一个旁路开关协同工作。



ISSN 1008-4274

权利要求书

1. 一种操作多相电源的方法, 电源的多个支路中各自具有串联连接的多个转换器单元, 每个上述支路被连接在一个节点和各自的线路之间, 在这一电源的成对的上述支路之间具有线间的电压输出, 其特征是包括:

(a) 检测任何上述支路中的故障单元;

(b) 在每个上述故障单元周围提供旁路, 在任何具有至少一个故障单元的上述支路中形成一个电流通路; 以及

(c) 控制上述电源的支路中的单元, 使上述线间电压输出变成最大, 并且保持所有线间电压输出的幅值大体上相等。

2. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是进一步包括维持线间的相位大体上平衡。

3. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是进一步包括通过调整支路间的相位关系而维持线间电压的幅值大体上相等。

4. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是进一步包括在支路之间降低需要的峰值电压。

5. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是进一步包括产生用来降低峰值电压的电压指令, 并且在检测到至少一个故障单元时修改上述指令。

6. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是进一步包括用一个指令信号对上述转换单元进行脉宽调制。

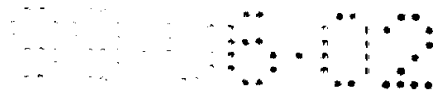
7. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是进一步包括在具有至少一个故障单元的支路中增大每个没有被旁路的上述转换器单元的指令信号。

8. 按照权利要求 7 的方法, 其特征是对上述指令信号的上述增大量大体上等于上述支路中的单元总数与上述支路中没有被旁路的单元数量的比值。

9. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是, 在每个具有至少一个故障单元的上述支路中, 在没有被旁路的单元的一部分周期期间, 上述控制进一步包括增大输出的幅值。

10. 按照权利要求 1 的方法, 其特征是, 在每个没有故障单元的上述支路中, 在没有被旁路的单元的一部分周期期间, 上述控制进一步包括增大输出的幅值。

11. 按照权利要求 10 的方法, 其特征是, 在每个具有至少一个故障单元的上



述支路中,在没有被旁路的单元的一部分周期期间,上述控制进一步包括增大输出的幅值。

12. 按照权利要求 3 的方法,其特征是对支路到支路的相位角进行的上述调整是根据基于每个上述支路中的故障单元数的预定角度进行的。

13. 按照权利要求 12 的方法,其特征是上述预定角度是从数值表中获得的。

14. 按照权利要求 3 的方法,其特征是上述调整中包括计算支路到支路的相位角,从而产生大体上平衡的线间电压。

15. 按照权利要求 5 的方法,其特征是上述修改进一步包括将上述指令的数值增加大体上等于一个上述支路中的单元总数与上述一个支路中没有被旁路的单元数量的比值。

16. 一种操作多相电源的方法,电源的多个支路中各自具有串联连接的多个转换器单元,每个上述支路被连接在一个节点和各自的线路之间,在这一电源的成对上述支路之间具有线间的电压输出,其特征是包括:

(a) 检测任何上述支路中的故障单元;

(b) 为每个上述故障单元的输入和输出的至少一个提供一个变换器,在任何具有至少一个故障单元的上述支路中形成一个电流通路;以及

(c) 控制上述电源的支路中的单元,使上述线间电压输出变成最大,并且保持所有线间电压输出的幅值大体上相等。

17. 按照权利要求 16 的方法,其特征是进一步包括维持线间的相位大体上平衡。

18. 按照权利要求 16 的方法,其特征是进一步包括通过调整支路间的相位关系而维持线间电压的幅值大体上相等。

19. 按照权利要求 16 的方法,其特征是进一步包括在支路之间降低需要的峰值电压。

20. 按照权利要求 16 的方法,其特征是进一步包括产生用来降低峰值电压的电压指令,并且在检测到至少一个故障单元时修改上述指令。

21. 按照权利要求 16 的方法,其特征是进一步包括用一个指令信号对上述转换单元进行脉宽调制。

22. 按照权利要求 16 的方法,其特征是进一步包括在具有至少一个故障单元的支路中增大每个没有被旁路的上述转换器单元的指令信号。



23. 按照权利要求 22 的方法,其特征是对上述指令信号的上述增大量大体上等于上述支路中的单元总数与上述支路中没有被旁路的单元数量的比值。

24. 按照权利要求 16 的方法,其特征是,在每个具有至少一个故障单元的上述支路中,在没有被旁路的单元的一部分周期期间,上述控制进一步包括增大输出的幅值。

25. 按照权利要求 16 的方法,其特征是,在每个没有故障单元的上述支路中,在没有被旁路的单元的一部分周期期间,上述控制进一步包括增大输出的幅值。

26. 按照权利要求 25 的方法,其特征是,在每个具有至少一个故障单元的上述支路中,在没有被旁路的单元的一部分周期期间,上述控制进一步包括增大输出的幅值。

27. 按照权利要求 18 的方法,其特征是对支路到支路的相位角进行的上述调整是根据基于每个上述支路中的故障单元数的预定角度进行的。

28. 按照权利要求 27 的方法,其特征是上述预定角度是从数值表中获得的。

29. 按照权利要求 18 的方法,其特征是上述调整中包括计算支路到支路的相位角,从而产生大体上平衡的线间电压。

30. 按照权利要求 20 的方法,其特征是上述修改进一步包括将上述指令的数值增加大体上等于一个上述支路中的单元总数与上述一个支路中没有被旁路的单元数的比值的量。

31. 按照权利要求 16 的方法,其特征是上述变换器是气动操作的。

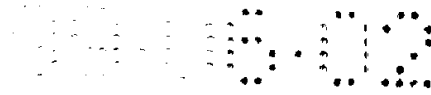
32. 按照权利要求 31 的方法,其特征是上述变换器是通过操作一个 SPDT 变换开关来工作的。

33. 按照权利要求 32 的方法,其特征是上述变换器开关的上述操作是通过位于上述 SPDT 开关触点远方的加压流体源和一条气动连接的不导电的导管来执行的。

34. 按照权利要求 33 的方法,其特征是上述加压流体源是用一个电信号起动的。

35. 按照权利要求 34 的方法,其特征是进一步包括用一个电驱动的压缩机产生上述的源。

36. 具有线间电压输出的一种多相电源,其特征是包括:



(a) 多个支路的每一个具有串联连接的多个转换器单元, 每个支路被连接在一个节点和各自的线路之间;

(b) 用来控制每个上述支路的输出电压的控制器, 在成对的上述支路之间提供上述线间的电压;

(c) 用上述控制器检测任何上述支路中的故障单元, 并且相应地从上述串联结构中去掉上述故障单元;

(d) 用上述控制器控制上述单元的输出, 使上述线间的电压输出达到最大, 并且保持所有线间电压输出的幅值大体上相等。

37. 按照权利要求 36 的多相电源, 其特征是上述控制器通过控制工作单元的输出来保持线间的相位大体上平衡。

38. 按照权利要求 36 的多相电源, 其特征是上述控制器通过调整支路间的相位关系而保持线间电压的幅值大体上相等。

39. 按照权利要求 36 的多相电源, 其特征是用上述控制器操作上述单元降低其峰值电压要求。

40. 按照权利要求 39 的多相电源, 其特征是进一步包括用上述控制器产生用来降低峰值电压的电压指令, 并且根据检测到的至少一个故障单元相应地修改这种指令。

41. 按照权利要求 36 的多相电源, 其特征是上述控制器根据每个上述支路中故障单元的数量按照一个预定角度的表来调整支路间的相位角。

42. 按照权利要求 36 的多相电源, 其特征是, 在没有故障单元的每个上述支路的工作单元的一部分周期中, 用上述控制器增大单元输出的幅值。

43. 按照权利要求 36 的多相电源, 其特征是上述控制器操作一个旁路装置, 从上述串联结构中去掉上述故障单元。

44. 按照权利要求 36 的多相电源, 其特征是上述控制器操作一个变换开关, 从上述串联结构中去掉上述故障单元。

45. 按照权利要求 44 的多相电源, 其特征是上述变换开关是用流体操作的。

46. 按照权利要求 45 的多相电源, 其特征是上述变换开关是通过一个远离靠近上述变换开关的高电压的一个流体源气动操作的。

47. 按照权利要求 45 的多相电源, 其特征是上述流体源包括一个压缩机, 通过一个不导电的管道将气动压力传送给上述变换开关。



48. 在一个多相电源的输出端用来连接多个单元的一种变换开关, 上述变换开关包括:

- (a) 具有一个可动开关臂的一个双极单掷开关组件;
- (b) 一个动力部件, 强迫上述开关臂进入第一开关位置;
- (c) 一个闭锁部件, 将上述开关臂保持在第二开关位置; 以及
- (d) 一个气动操作的闭锁释放器, 在上述开关臂处在上述第二位置时用气动的流体起动上述变换开关将上述闭锁释放, 并且允许上述动力部件将上述开关臂变换到上述第一位置。

49. 按照权利要求 48 的变换开关, 其特征是进一步包括:

- (e) 远离上述开关组件的一个加压流体源; 以及
- (f) 用一个不导电材料制成的管道将上述加压流体源连接到上述闭锁释放器。

50. 按照权利要求 49 的变换开关, 其特征是进一步包括:

- (g) 用于人工移动上述开关臂的装置, 抵抗上述动力部件的力, 使上述开关臂从上述第一位置移动到上述第二位置。



说 明 书

在故障模式下具有高输出的驱动器

本发明涉及一种驱动器,特别涉及一种驱动器和用来操作诸如变速电动机驱动系统的一种可变驱动器的方法。

可变输出的驱动器在传统的工业中被用来为 AC 电动机提供可变的电功率。同样的驱动器也可以用于不具体涉及到电动机但是需要可变的输出电压或是频率的其他用途。典型的驱动器具有一个 AC 输入电源和通常采用固体器件的某种类型的转换装置,用来将固定的 AC 输入电压转换成可变电电压和/或可变频率的输出。在本文引入作为参考的美国专利 US5625545 号中公开了一种此类的驱动器。该项专利提出了一种被用作驱动器的电源,它可以利用多个功率单元产生一个三相的 AC 输出。与仅仅使用一个功率单元的情况相比,串联的多个这种功率单元可以提供较高的电压输出。然而,串联结构中的某些功率单元在工作中有可能发生故障,使电流通路形成开路,影响到整个驱动器不能工作。在许多情况下,特别是采用变速驱动器的工业应用中,都要求能够在单个功率单元出故障时在降压模式下连续工作。实现降压工作的一种方法是将损坏或是故障的功率单元短路。这样会造成不平衡的输出,因为具有短路功率单元的支路必须在小于全电压的条件下工作。这种工作方式会产生不平衡线路状态并且对负载元件有害。因此,当串联结构中的功率单元发生故障时,通常需要通过在每个其他支路中短路同等数量的功率单元,以便能够在降压或是降低速度的状态下工作。尽管来自各个支路中具有短路功率单元的这种驱动器的输出被降低了,但是仍然允许驱动器在降压或是降低速度的条件下工作。这种降压工作方式往往是非常必要的,以便能在驱动器的控制下连续地工作,一直持续到关机维修。另外,为了维持产生所需的最小电平,有可能希望使驱动器在降压的状态下工作。通常,如果具有串联连接的多个转换器的一个驱动器发生了故障,就按照一个给定支路中没有故障的功率单元数量与这一支路中功率单元的总数之比成比例地降低其有效输出电压和功率。以上述专利为例,如果有一个功率单元例如功率单元 A1 发生了故障,通常就需要通过适当的旁路电路将功率单元 A1, B1 和 C1 短路。在 US5625545 号专利的图 9 中表示了这种电路。如果在这种旁路状态下工作,用 22, 25 和 24 表示的三相驱动器的输出就被成比例地降低



三分之一。在这种工作状态下,提供给电动机的输出电压仅有全电压的 66%。在这种情况下,电动机仅仅能够达到其额定速度的大约三分之二。按照多数情况下的要求,在功率单元故障模式下至少应该能够达到额定速度的 66%。然而,输出速度和来自驱动器的有效功率还是会出现明显的下降。如果使用了多个串联的功率单元或是转换器,提供给负载的总功率在正常情况下是由所有的功率单元均等地提供的。例如在上述的例子中,当九个功率单元中有一个发生故障时,仍然能够提供额定功率的 89%。如果将此例中的两个可以工作的功率单元 B1 和 C1 短路或是旁路,这些功率单元就不能继续为负载提供有效的输出功率。因而就非常需要在功率单元故障状态下对提供给负载的输出电压和功率进行优化。本发明所提供的装置和方法可以在故障模式下利用可以工作的所有功率单元或是转换器产生输出功率。

本发明涉及到操作一种多相电源的方法,电源的多个支路中各自具有串联连接的多个功率单元或是转换器。按照这种连接方式,每个支路的支路电压等于这一支路中连接的功率单元的总和。另外,该电源在每一对支路端部的端子之间还具有一个线电压输出。本发明适用于没有连接到公共支路节点而是仅仅连接到支路端点上的负载,因此,出现在负载上的仅仅是线电压输出。在任意支路中的一个或多个功率单元出现故障的故障状态下,线电压输出达到最大。这可通过检测任何支路中出故障的功率单元,并且通过电路旁路绕着出故障的功率单元形成一条电流通路而实现。因此,在原先连接的支路内部不包括来自故障功率单元的电压分量。对无故障功率单元的输出加以控制,使电源输出中的线电压达到最大,让线电压的幅值大体上相等。通过对输出进行这样的调整,可以使电源输出的线间的相电压达到平衡。在一个没有故障功率单元的三相输出电源中,平衡的电压被维持在各支路输出电压之间具有 120° 的相位关系。在检测到出故障的功率单元时,通过在各个支路之间调整支路间的相位关系,就可以恢复线间的相位平衡。用一种电路来实现这种方法,降低支路之间要求的峰值电压。可以通过产生一个电压指令信号来降低峰值电压,并且可以对信号进行修改,以便补偿检测到的出故障的功率单元。可以使用增益按照增益控制来进行修改,该增益与支路中的功率单元总数(包括出故障的功率单元)除以支路中(没有被旁路的)的有效功率单元数量的比例成正比。本发明特别适合每个支路中的脉宽调制的串联转换器。其作用可以使电源的线电压输出达到平衡,并且在系统中充分利用每一个无故障的功率单元。

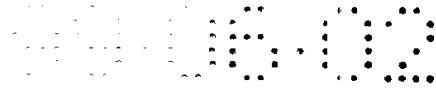


图 1a 是一个实施例的电源电路图,它是一个三相驱动器,每个支路中具有五个功率单元;

图 1b 是一个示意图,表示诸如图 1a 所示的一个功率单元的转换电路的实施例;

图 1c 是控制信号方案的一个实施例的示意图,可以用来控制如图 1a 所示的每个支路中有五个功率单元的驱动器;

图 1d 表示功率单元旁路的四种不同实施例;

图 2 是在三相输出的每个支路中串联连接的一种五个功率单元的典型结构的电压示意图;

图 3 是在一个类似于图 2 所示的结构中的电压示意图,但是支路 A 中有两个出故障的功率单元;

图 4(现有技术)是一个电压图形,表示在支路 A 中有两个故障功率单元并且分别从支路 B 和 C 中去掉两个功率单元的现有技术的操作方法;

图 5a 是用来操作没有支路 A 中的两个故障功率单元但是利用了支路 B 和 C 中所有五个功率单元的一种结构的电压图形;

图 5b 是用来操作损失了 B 相的一个功率单元和 C 相的两个功率单元之后的一种结构的电压图形;

图 5c 是用来操作损失了 B 相的两个功率单元和 C 相的三个功率单元之后的一种结构的电压图形;

图 6 是用来降低三相电源峰值电压指令的一种现有技术控制功能的示意图;

图 7 表示一个用来降低峰值电压,并且在操作出故障的转换器功率单元时优化输出电压的控制功能方框图;

图 8a, b, c 和 d 是用来表示各种操作状态下的控制信号波形的示意图;

图 9a, b, c 和 d 是一些实施例的信号波形图;

图 10a, b, c 和 d 是一些实施例的控制波形图;

图 11 是图 7 所示实施例的电路示意图;

图 12 表示用来降低峰值电压,并且在操作出故障的转换器功率单元时优化输出电压的第二种改进的控制功能方框图;

图 13 是一个气动转换开关的示意图;

图 14 是使用弹簧负荷触点的一个转换开关的示意图;

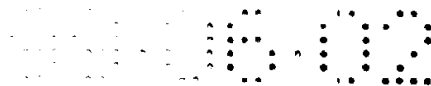
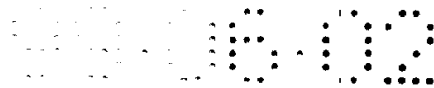


图 15 是采用转换开关的一种三功率单元结构的示意图。

图 1a 表示一个 AC 驱动器的电源电路图。在这种典型的结构中可以采用本发明,然而,其他的驱动器和电源也可以采用本发明的装置和方法。三相输入线路 1 馈送到一个功率变压器 2。如图所示,功率变压器 2 可以采用任意的结构,在某些实施例中采用了诸如 US5625545 中所示的多绕组三相隔离变压器。这种变压器的原边绕组是星形或是网形连接的,受到来自三相输入线路 1 的激励。变压器可以激励许多单相或是多相的副边绕组。在本文的实施例中有许多副边绕组,每个绕组对应着驱动器中的一个转换器或是功率单元。按照上述专利中的提示,可以为这些绕组预先选定某一电气相位角。在采用其他变压器结构的某些应用中则完全不需要使用输入隔离变压器。如图 1a 所示,输入变压器或是其他 AC 电源向独立的功率转换器供电。在图 1a 中使用了 15 个功率单元或是转换器。在这种电路结构中,输出线路有三个支路,每个支路中有五个功率转换器。支路 A 具有转换器 A1 到 A5。支路 B 包含功率转换器 B1 到 B5,而支路 C 包含功率转换器 C1 到 C5。任一支路中的有效电压是支路中各个功率单元的电压总和,例如支路 A 的输出电压是功率转换器 A1 到 A5 的总和。同样,支路 B 的输出电压是它的转换器 B1 到 B5 的总和,而支路 C 的输出电压是串联连接的五个转换器 C1 到 C5 的总和。驱动器向电动机 20 馈送三相功率,电动机可以是任何形式的负载,但是在图中用普通的感应电动机来表示。本发明的目的是产生一种变速的 AC 驱动。因此,它可以控制过程电动机,风扇,泵或是其他的设备。在起动或是过程运行期间经常需要保持变速操作。因而需要通过控制驱动器来改变从端子 A, B 和 C 上提供给电动机的电压。电动机 20 在端子 A-B 之间承受的电压是支路 A 和支路 B 中的各个功率转换器的电压总和。因此,在电动机的端子 A-B 上的有效电压等于功率单元(A1+A2+A3+A4+A5-B1-B2-B3-B4-B5)的总和。各个其他端子上的电压也是连接在这些端子之间的电压总和。因此,端子 B 和 C 之间的电压就是功率单元(B1+B2+B3+B4+B5-C1-C2-C3-C4-C5)的总和。按照相同的方式,来自端子 C 到 A 的电压是转换器电压(C1+C2+C3+C4+C5-A1-A2-A3-A4-A5)的总和。图示驱动器的每个支路被连接成星形,具有一个公共的中性点 N,对于本例的电动机 20,该点没有连接到负载。来自各个支路的输出电压分量是由从中性点到电动机端子的各个支路中的功率单元总和构成的。支路 A 的输出电压是在端子 A 和 N 之间测量的,N 是转换器装置的中性点。这其中包括了转换器 A1 到 A5 的电压总和。从图中可见,如果转换器功率单元 A1 出现了

故障,从A到N测量的提供给负载也就是本例中的电动机20的有效电压就会降低,因为支路中已经少了一个功率单元。如果需要在已经有一个功率单元例如是功率单元A1出故障的模式下操作驱动器,可以将该功率单元短路或是旁路。为了平衡输出,通常还需要将每个其他支路中的另一个功率单元旁路。例如,当功率单元A1出故障时,通常的做法是将功率单元A1,B1和C1旁路这样就能维持至电动机端子A,B和C的输出有效电压的平衡。然而,有效输出电压和输出功率会相应地降低,因为在电路中可供使用的有效功率单元数量已经减少了。然而,在本发明的实践中,如果功率单元A1出故障,可以将其旁路,而功率单元B1和C1可以维持工作,从而将输出电压和功率维持在一个比较高的最大电平。

图1b表示一个典型的功率单元或是转换器,诸如图1a中所示的A1-5,B1-5和C1-5。然而,在本发明的实践中还可以采用其他的功率单元或是功率转换器。图1b中所示的功率单元和控制器与US5625545中所示的情况相似。然而,用主控制器控制单个的功率单元,在故障模式下可以产生较高的输出。图中的功率单元50是一个功率转换器,利用由二极管51a-51c和52a-52c构成的整流器可以将三相输入功率转换成DC分量。整流器的输出跨接在电容器53a和53b上,用来存储和平滑DC输出。电容器53a和53b是用电容器组来表示的,实际所需的电容量取决于具体的应用。利用脉宽调制(PWM)方法可以将转换器的DC功率有选择地提供给转换器输出54和55。脉宽调制是通过由半导体开关Q1-4构成的桥式转换器来实现的。也可以使用可以接受的任何类型的开关元件;并且根据功率等级选择各种固体元件。如图中所示,转换器输出采用了四个晶体管56,57,58和59。在这种脉宽调制操作中,开关在工作期间可以完全导通或是完全关断。图1b所示的电路中还使用了四个分别跨接在一个固体开关装置上的二极管60-63。在大多数场合下,总是希望在多转换器结构中使用的功率单元或是转换器是相同的,并且构成这样一种形式,以便限制附件的数量并且允许在同一个驱动器内部对转换器进行交换。图1b中所示的转换器50可以被用作图1a中的所有15个转换器。在图1b中还表示出功率转换器的一部分是旁路69。这种旁路还可以在一个驱动器装置中与转换器组件构成一个整体。在其他情况下,也可以单独安装旁路69。旁路69可以是机械或是电气的固体元件。本发明的实施例中使用的旁路装置是固体元件,与美国专利US5625545的图9中所示的结构相似。在使用旁路69时,可以在转换器的各个输出线54和55之



间形成一条分路。因此, 电流就可以通过旁路 69 而不是转换器。如果在开路模式下出现故障的故障转换器没有被旁路, 通过支路的电流就会变成零。因而就需要在各个转换器输出上都有一个这种旁路电路 69。已知并且可供使用的用来监视和检测故障功率单元的方法有很多。一种简单的方法就是将功率单元输出电压与指令输出相比较。其他的方法还包括检查或是识别功率单元元件或是使用诊断程序。尽管本发明是针对仅有一个故障功率单元的情况来说明的, 本发明显然也包括了那些用来在一或多个给定支路中有一个或更多功率单元出现故障时实现连续工作的方法和装置。因此, 本发明不仅能够例如在图 1a 中的单个功率单元 A1 出故障时继续工作, 在例如功率单元 A1, B2, B3 和 C4 等多个功率单元出故障时也可以实现高效率的工作。

如图 1b 所示, 利用由标号 65 表示的本地控制器来控制转换器。同时还希望将本地控制器与单个的功率单元或是转换器相联并包含在其中。这样就能控制具体的转换器, 例如采用脉宽调制技术或是其他控制技术。不仅可以通过转换器的操作来控制输出电压, 还可以用来控制具体要求的波形。本地控制器的操作可以参照前述的被引用专利中所述的方式。如果本地控制器是装在单个转换器上, 就需要通过诸如光纤控制线路 66 一类的光纤系统从主控制器 67 将控制信号传送给本地控制器。为了具体地实现本发明, 可以在主控制器中为某些控制功能编组, 这样就不需要本地控制器了, 除了采用上述的光纤系统之外也可以使用其他的手段例如普通的线路来传送信号。

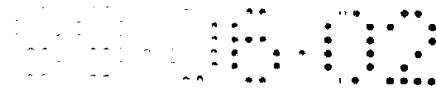
在本地控制器被包含在单个功率单元组件内的例子中, 提供给组件的信号是由一个主控制器产生的。图 1c 表示一个主控制器 70, 可用来产生不同的信号 V_A^* , V_B^* 和 V_C^* , 这些信号 V_A^* , V_B^* 和 V_C^* 是指令, 或者是对支路 A, 支路 B 和支路 C 的各个转换器要求的电压输出的复制品。主控制器 70 分别向 A 支路的转换器 A1 到 A5 提供控制信号 V_A^* 。同样, 主控制器可以向控制器 B1 到 B5 提供控制信号 V_B^* 。主控制器还可以向第三支路 C 的转换器 C1 到 C5 提供信号 V_C^* 。可以用一个 PWM 调制器将各个电压指令转换成用于图 1b 的晶体管 56, 57, 58 和 59 的可变占空比的开关图形。应该认识到, 图 1c 所示的控制方案仅仅是可以用来实现本发明的众多控制方案之一。

以往对功率单元故障的响应是在所有三相中短路相等数量的功率单元, 不管这些功率单元是否还可以使用, 而本发明是采用了这样一种方法, 让所有有效的功率单元都能够用于平衡的输出电压。

图 1d 表示其他可以用来旁路故障功率单元的一些实施例。图 1d 中的选择方案 i 表示用一个继电器或是接触器的触点来旁路功率转换器功率单元的情况。当图中所示处在打开位置的触点受到电磁线圈的激励时，在功率单元输出端子之间就形成短路。也可以采用 ii 所示的另一种旁路方式。在这种选择方案中，脱扣释放装置促使一个弹簧负荷触点在功率单元输出端子之间形成短路。脱扣释放装置可以用电或是机械来操作，并且在某些实施例中可以用来作为开路检测装置。iii 表示一个功率转换器，在它的输出端上跨接着利用具有相反极性的两个可控硅整流器的旁通电路。通过接通两个 SCR 在功率单元输出端子之间形成短路。根据成本和具体的用途，采用串联的晶体管也可以构成类似的旁路，例如变化 iv 中所示。

图 2 表示串联连接的功率单元的一种典型的阵列，用来表示来自每个支路的电压和支路间的相位移。每个功率单元能够产生的 AC 输出电压例如是 480 伏。用一个圆圈代表一个功率单元，在每个支路的中性点 N 和各自的点 A, B, C 之间连接着五个功率单元。如图所示，在这种阵列中，从点 N 到各个点 A, B, C 产生的电压大约能达到 2400 伏。如果通过控制能使这三相电压幅值相等并且彼此相位偏移 120° ，这种阵列就能产生平衡的三相 AC 输出电压。在这种情况下，来自图 2 所示阵列的线间最大有效输出电压可以达到 4160 伏。如果有一或多个功率单元出现故障，可以将功率单元的输出端子短路，在降压的情况下继续工作。可以将无效的功率单元旁路，例如图 1b 所讨论的情况。

图 3 表示在功率单元 A4 和 A5 被旁路之后的有效电压。因此它们已经被旁路，在图 3 的电压图中没有表示这些单元，因为它们对阵列中的总电压不起作用。被旁路的功率单元 A4 和 A5 在支路 A 中，从 N 到点 A 延伸。如图 3 所示，在从 N 到 A 的支路中仅仅剩下了三个单元 A1, A2 和 A3。这是因为没有来自被旁路功率单元的剩余电压分量。因此，来自支路 A (点 N 和 A 之间) 的最大有效电压降低了大约 40%，大约是 1440 伏。如图所示，在从 N 到 C 和从 N 到 B 的其他支路中，全电压仍然有效。如果继续维持彼此间隔 120° 的相位角控制，输出电压就会出现不平衡，因为电压 VCB 将会远远大于电压 VAC 和 VBA。这种不平衡输出电压无法用来驱动诸如标准的 AC 感应电动机一类的负载。为了避免这种不应有的状态，并且仍然维持负载的工作，现有技术的做法是在一或多个功率单元发生故障后在所有的三相中旁路相等数量的单元。尽管这些单元中有一些完全可以使用，对平衡负载输出电压的要求已经超过了希望使用所有有效单元的要

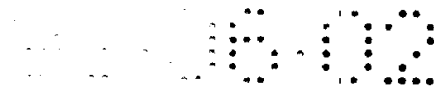


求。在这种状态下,整个阵列的最大输出电压被限制在出故障的功率单元最多的那一相支路的容量。为了维持平衡的输出而被旁路的有效功率单元的额外功率容量没有得到利用。图4表示从图3中旁路了出故障的单元A4和A5之后的阵列,另外,有效的单元B4,B5,C4和C5也被旁路了。该图中的最大线间平衡电压是额定电压的60%,或者说是2494伏。此处需要强调的是,从转换器或是单元的阵列到电动机端子的连接通常都是由三条导线构成的。阵列的中性点N通常不用连接到电动机的中线上。因此,对于电动机来说,从点N到点A,B,和C的支路电压幅值是否相等以及相位差是不是 120° 并没有什么关系。电动机仅仅要求线间电压 V_{AC} , V_{BA} 和 V_{CB} 具有相等的幅值和彼此间 120° 的相位差。尽管图4的电路提供了平衡的输出电压和 120° 的相位差,但是没有充分利用驱动器中有效单元的全部容量。

图5a表示在单元A4和A5发生故障之后是如何构成图1所示的阵列的。在图中假设单元A4和A5因为故障已经被旁路,因此,这些单元对从N到A的支路A中的总电压不起作用。操作驱动器获得图5的电压图形,将B,C两相之间的相位角从 120° 减少到 95° 。A,C两相和B,A两相之间的相位角则从 120° 增大到 132.5° 。这样的角度可以使线间电压 V_{AC} , V_{BA} 和 V_{CB} 具有相等的幅值。另外,在图5a中, V_{AC} , V_{CB} 和 V_{BA} 之间的相互相位偏移是 120° 。如图5所示,此时可供使用的最大平衡线间电压是额定电压的85%,也就是3542伏。由于电动机仍然可以接受到平衡的三相电压,它可以继续吸收平衡的三相电流,电流的相互相位偏移是 120° 。然而,由于单元电压不再具有 120° 的相互相位偏移,单元电压和单元电流之间的相位角有可能发生变化。在轻负载条件下,电动机电流比电动机电压滞后大约 90° ,某些单元中出现的单元电流有可能比单元电压滞后 90° 以上。这样就会造成这些单元吸收能量,使能量不能消耗或是再生。因此就需要在轻负载条件下避免按照这种方式工作。在需要采用本发明来驱动轻负载时可以采用适当的电流或是负载检测。

图5b表示另一个实施例,其中的B支路有一个故障单元(B5),而C支路中有两个故障单元(C4和C5)。A,B之间的角度已经被减少到 96.9° ,而A,C之间的角度已经被减少到 113.1° 。这样就重新获得了3249伏的平衡的线间电压,它是额定值的78%。

图5c表示另一个例子,其中的B4,B5,C3,C4和C5都被旁路了。通过调整仍然可以获得51%的电压,也就是2121伏。



所需的控制角度取决于每一相中剩下的有效单元数量。在检测到故障状态时可以在控制器中计算出相位关系的具体值。在其他的例子中可能希望用预定的相位角代表具体的故障状态。图 3, 5a 和 5c 表示具体的故障状态。所有例子中的每一相都使用了五个单元。显然, 在每相五个单元的结构中还可能出现其他的故障状态。另外, 本发明实际上可以利用每一相中的任意数量的单元。在具体的应用场合, 如果每一相的工作单元数量是已知的, 例如每个支路五个单元, 就可以确定故障的情况, 并且能计算出适当的支路间的相位角。为了计算出支路间的相位角可能需要将某些故障状态在系统中编程。它们可以是针对具体故障状态的预定值。在实现本发明时可以采用查表的方式。以下的表 1-7 给出了每个支路中采用二到八个单元的电源装置中的支路间相位关系的一般数值。在这些表中, 假设支路是一种具有支路 A, B 和 C 的三相 Y 形结构。在表中仅仅给定了相同的值, 与给定支路中的哪一个单元出现故障无关。另外, 由于电源装置中的故障状态会导致相同的相位关系, 与支路中发生的故障数量无关, 因此, 具备 A=5, B=3, C=5 的电源装置与有效单元为 A=5, B=5, C=3 的电源装置是相同的。因此, 这种表提供了一种简易的缩减形式, 可以覆盖所有的组合方式。在这种表中列出的 A 单元永远具有最多的有效单元, B 具有其次多的有效单元, C 具有最少的有效单元。表 1-7 可供一个微处理器通过查表来确定一个具有故障单元的电源装置中的正确的相位关系。在这种表中, A cells、B cells、C cells 分别表示 A 单元、B 单元和 C 单元, 项目 Vmax% 被用来表示在故障状态下可以达到的正常线电压百分数的最大电压。所有相位角都是相对于无故障单元的电源装置中的正常 A 矢量的关系。例如, A ϕ 是处在故障模式的 A 支路与非故障模式的 A 支路之间的相位角。所有的角度都是相对于非故障模式的 A 支路矢量给出的。由于在预先给定的例子中每个支路具有五个单元, 从表 4 中可以看到这些例子。

表 1

原始单元数=2

A cells=1	B cells=1	C cells=0	Vmax%= 28.9	A ϕ = 30.0	B ϕ = 90.0	C ϕ =272.3
A cells=1	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 50.0	A ϕ = 0.0	B ϕ =120.0	C ϕ =240.0
A cells=2	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 50.0	A ϕ = 0.0	B ϕ = 60.0	C ϕ =300.0
A cells=2	B cells=2	C cells=0	Vmax%= 57.7	A ϕ = 30.0	B ϕ = 90.0	C ϕ =272.3
A cells=2	B cells=2	C cells=1	Vmax%= 80.9	A ϕ = 15.5	B ϕ =104.5	C ϕ =240.0
A cells=2	B cells=2	C cells=2	Vmax%=100.0	A ϕ = 0.0	B ϕ =120.0	C ϕ =240.0

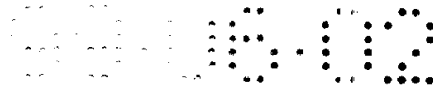


表 2

原始单元数=3

A cells=1	B cells=1	C cells=0	Vmax%= 19.2	A σ = 30.0	B σ = 90.0	C σ =272.3
A cells=1	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 33.3	A σ = 0.0	B σ =120.0	C σ =240.0
A cells=2	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 33.3	A σ = 0.0	B σ = 60.0	C σ =300.0
A cells=2	B cells=2	C cells=0	Vmax%= 38.5	A σ = 30.0	B σ = 90.0	C σ =272.3
A cells=2	B cells=2	C cells=1	Vmax%= 53.9	A σ = 15.5	B σ =104.5	C σ =240.0
A cells=2	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 66.7	A σ = 0.0	B σ =120.0	C σ =240.0
A cells=3	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 75.5	A σ = 0.0	B σ =101.4	C σ =258.6
A cells=3	B cells=3	C cells=0	Vmax%= 57.7	A σ = 30.0	B σ = 90.0	C σ =272.3
A cells=3	B cells=3	C cells=1	Vmax%= 73.6	A σ = 20.4	B σ = 99.6	C σ =240.0
A cells=3	B cells=3	C cells=2	Vmax%= 87.8	A σ = 10.5	B σ =109.5	C σ =240.0
A cells=3	B cells=3	C cells=3	Vmax%=100.0	A σ = 0.0	B σ =120.0	C σ =240.0

表 3

原始单元数=4

A cells=1	B cells=1	C cells=0	Vmax%= 14.4	A σ = 30.0	B σ = 90.0	C σ =272.3
A cells=1	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 25.0	A σ = 0.0	B σ =120.0	C σ =240.0
A cells=2	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 25.0	A σ = 0.0	B σ = 60.0	C σ =300.0
A cells=2	B cells=2	C cells=0	Vmax%= 28.9	A σ = 30.0	B σ = 90.0	C σ =272.3
A cells=2	B cells=2	C cells=1	Vmax%= 40.5	A σ = 15.5	B σ =104.5	C σ =240.0
A cells=2	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 50.0	A σ = 0.0	B σ =120.0	C σ =240.0
A cells=3	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 56.6	A σ = 0.0	B σ =101.4	C σ =258.6
A cells=3	B cells=3	C cells=0	Vmax%= 43.3	A σ = 30.0	B σ = 90.0	C σ =272.3
A cells=3	B cells=3	C cells=1	Vmax%= 55.2	A σ = 20.4	B σ = 99.6	C σ =240.0
A cells=3	B cells=3	C cells=2	Vmax%= 65.8	A σ = 10.5	B σ =109.5	C σ =240.0
A cells=3	B cells=3	C cells=3	Vmax%= 75.0	A σ = 0.0	B σ =120.0	C σ =240.0
A cells=4	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 50.0	A σ = 0.0	B σ = 60.0	C σ =300.0
A cells=4	B cells=3	C cells=1	Vmax%= 52.1	A σ = 16.1	B σ = 76.2	C σ =315.8
A cells=4	B cells=3	C cells=2	Vmax%= 71.5	A σ = 7.2	B σ = 96.2	C σ =260.7
A cells=4	B cells=3	C cells=3	Vmax%= 82.3	A σ = 0.0	B σ =108.2	C σ =251.8
A cells=4	B cells=4	C cells=0	Vmax%= 57.7	A σ = 30.0	B σ = 90.0	C σ =272.3
A cells=4	B cells=4	C cells=1	Vmax%= 69.8	A σ = 22.8	B σ = 97.2	C σ =240.0
A cells=4	B cells=4	C cells=2	Vmax%= 80.9	A σ = 15.5	B σ =104.5	C σ =240.0
A cells=4	B cells=4	C cells=3	Vmax%= 91.0	A σ = 8.0	B σ =112.0	C σ =240.0
A cells=4	B cells=4	C cells=4	Vmax%=100.0	A σ = 0.0	B σ =120.0	C σ =240.0



表 4

原始单元数=5

A cells=1	B cells=1	C cells=0	Vmax%= 11.5	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=1	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 20.0	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=2	B cells=1	C cells=1	Vmax%= 20.0	Aσ= 0.0	Bσ= 60.0	Cσ=300.0
A cells=2	B cells=2	C cells=0	Vmax%= 23.1	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=2	B cells=2	C cells=1	Vmax%= 32.4	Aσ= 15.5	Bσ=104.5	Cσ=240.0
A cells=2	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 40.0	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=3	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 45.3	Aσ= 0.0	Bσ=101.4	Cσ=258.6
A cells=3	B cells=3	C cells=0	Vmax%= 34.6	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=3	B cells=3	C cells=1	Vmax%= 44.2	Aσ= 20.4	Bσ= 99.6	Cσ=240.0
A cells=3	B cells=3	C cells=2	Vmax%= 52.7	Aσ= 10.5	Bσ=109.5	Cσ=240.0
A cells=3	B cells=3	C cells=3	Vmax%= 60.0	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=4	B cells=2	C cells=2	Vmax%= 40.0	Aσ= 0.0	Bσ= 60.0	Cσ=300.0
A cells=4	B cells=3	C cells=1	Vmax%= 41.7	Aσ= 16.1	Bσ= 76.2	Cσ=315.8
A cells=4	B cells=3	C cells=2	Vmax%= 57.2	Aσ= 7.2	Bσ= 96.2	Cσ=260.7
A cells=4	B cells=3	C cells=3	Vmax%= 65.8	Aσ= 0.0	Bσ=108.2	Cσ=251.8
A cells=4	B cells=4	C cells=0	Vmax%= 46.2	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=4	B cells=4	C cells=1	Vmax%= 55.8	Aσ= 22.8	Bσ= 97.2	Cσ=240.0
A cells=4	B cells=4	C cells=2	Vmax%= 64.7	Aσ= 15.5	Bσ=104.5	Cσ=240.0
A cells=4	B cells=4	C cells=3	Vmax%= 72.8	Aσ= 8.0	Bσ=112.0	Cσ=240.0
A cells=4	B cells=4	C cells=4	Vmax%= 80.0	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=5	B cells=3	C cells=2	Vmax%= 51.0	Aσ= 6.5	Bσ= 67.6	Cσ=304.9
A cells=5	B cells=3	C cells=3	Vmax%= 69.1	Aσ= 0.0	Bσ= 93.6	Cσ=266.4
A cells=5	B cells=4	C cells=1	Vmax%= 53.4	Aσ= 18.9	Bσ= 79.6	Cσ=316.1
A cells=5	B cells=4	C cells=2	Vmax%= 69.0	Aσ= 11.6	Bσ= 93.9	Cσ=262.1
A cells=5	B cells=4	C cells=3	Vmax%= 78.1	Aσ= 5.9	Bσ=102.8	Cσ=252.8
A cells=5	B cells=4	C cells=4	Vmax%= 86.1	Aσ= 0.0	Bσ=111.3	Cσ=248.7
A cells=5	B cells=5	C cells=0	Vmax%= 57.7	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=5	B cells=5	C cells=1	Vmax%= 67.4	Aσ= 24.3	Bσ= 95.7	Cσ=240.0
A cells=5	B cells=5	C cells=2	Vmax%= 76.6	Aσ= 18.5	Bσ=101.5	Cσ=240.0
A cells=5	B cells=5	C cells=3	Vmax%= 85.1	Aσ= 12.5	Bσ=107.5	Cσ=240.0
A cells=5	B cells=5	C cells=4	Vmax%= 92.9	Aσ= 6.4	Bσ=113.6	Cσ=240.0
A cells=5	B cells=5	C cells=5	Vmax%=100.0	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0

表 5

原始单元数=6

A cells=1 B cells=1 C cells=0 Vmax%= 9.6 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=1 B cells=1 C cells=1 Vmax%= 16.7 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=2 B cells=1 C cells=1 Vmax%= 16.7 Aσ= 0.0 Bσ= 60.0 Cσ=300.0
A cells=2 B cells=2 C cells=0 Vmax%= 19.2 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=2 B cells=2 C cells=1 Vmax%= 27.0 Aσ= 15.5 Bσ=104.5 Cσ=240.0
A cells=2 B cells=2 C cells=2 Vmax%= 33.3 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=3 B cells=2 C cells=2 Vmax%= 37.7 Aσ= 0.0 Bσ=101.4 Cσ=258.6
A cells=3 B cells=3 C cells=0 Vmax%= 28.9 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=3 B cells=3 C cells=1 Vmax%= 36.8 Aσ= 20.4 Bσ= 99.6 Cσ=240.0
A cells=3 B cells=3 C cells=2 Vmax%= 43.9 Aσ= 10.5 Bσ=109.5 Cσ=240.0
A cells=3 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 50.0 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=2 C cells=2 Vmax%= 33.3 Aσ= 0.0 Bσ= 60.0 Cσ=300.0
A cells=4 B cells=3 C cells=1 Vmax%= 34.7 Aσ= 16.1 Bσ= 76.2 Cσ=315.8
A cells=4 B cells=3 C cells=2 Vmax%= 47.7 Aσ= 7.2 Bσ= 96.2 Cσ=260.7
A cells=4 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 54.9 Aσ= 0.0 Bσ=108.2 Cσ=251.8
A cells=4 B cells=4 C cells=0 Vmax%= 38.5 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=4 B cells=4 C cells=1 Vmax%= 46.5 Aσ= 22.8 Bσ= 97.2 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=2 Vmax%= 53.9 Aσ= 15.5 Bσ=104.5 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 60.7 Aσ= 8.0 Bσ=112.0 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 66.7 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=3 C cells=2 Vmax%= 42.5 Aσ= 6.5 Bσ= 67.6 Cσ=304.9
A cells=5 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 57.6 Aσ= 0.0 Bσ= 93.6 Cσ=266.4
A cells=5 B cells=4 C cells=1 Vmax%= 44.5 Aσ= 18.9 Bσ= 79.6 Cσ=316.1
A cells=5 B cells=4 C cells=2 Vmax%= 57.5 Aσ= 11.6 Bσ= 93.9 Cσ=262.1
A cells=5 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 65.1 Aσ= 5.9 Bσ=102.8 Cσ=252.8
A cells=5 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 71.7 Aσ= 0.0 Bσ=111.3 Cσ=248.7
A cells=5 B cells=5 C cells=0 Vmax%= 48.1 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=5 B cells=5 C cells=1 Vmax%= 56.2 Aσ= 24.3 Bσ= 95.7 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=2 Vmax%= 63.8 Aσ= 18.5 Bσ=101.5 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=3 Vmax%= 70.9 Aσ= 12.5 Bσ=107.5 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=4 Vmax%= 77.4 Aσ= 6.4 Bσ=113.6 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=5 Vmax%= 83.3 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 50.0 Aσ= 0.0 Bσ= 60.0 Cσ=300.0
A cells=6 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 67.3 Aσ= 4.8 Bσ= 91.2 Cσ=268.4
A cells=6 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 75.5 Aσ= 0.0 Bσ=101.4 Cσ=258.6
A cells=6 B cells=5 C cells=1 Vmax%= 55.1 Aσ= 20.5 Bσ= 82.4 Cσ=311.3
A cells=6 B cells=5 C cells=2 Vmax%= 67.2 Aσ= 14.5 Bσ= 92.7 Cσ=263.2
A cells=6 B cells=5 C cells=3 Vmax%= 75.1 Aσ= 9.8 Bσ= 99.8 Cσ=253.6
A cells=6 B cells=5 C cells=4 Vmax%= 82.1 Aσ= 5.0 Bσ=106.5 Cσ=249.3
A cells=6 B cells=5 C cells=5 Vmax%= 88.5 Aσ= 0.0 Bσ=113.1 Cσ=246.9
A cells=6 B cells=6 C cells=0 Vmax%= 57.7 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=6 B cells=6 C cells=1 Vmax%= 65.9 Aσ= 25.2 Bσ= 94.8 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=2 Vmax%= 73.6 Aσ= 20.4 Bσ= 99.6 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=3 Vmax%= 80.9 Aσ= 15.5 Bσ=104.5 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=4 Vmax%= 87.8 Aσ= 10.5 Bσ=109.5 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=5 Vmax%= 94.1 Aσ= 5.4 Bσ=114.6 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=6 Vmax%=100.0 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0

表 6
原始单元数=7

A cells=1 B cells=1 C cells=0 Vmax%= 8.2 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=1 B cells=1 C cells=1 Vmax%= 14.3 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=2 B cells=1 C cells=1 Vmax%= 14.3 Aσ= 0.0 Bσ= 60.0 Cσ=300.0
A cells=2 B cells=2 C cells=0 Vmax%= 16.5 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=2 B cells=2 C cells=1 Vmax%= 23.1 Aσ= 15.5 Bσ=104.5 Cσ=240.0
A cells=2 B cells=2 C cells=2 Vmax%= 28.6 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=3 B cells=2 C cells=2 Vmax%= 32.3 Aσ= 0.0 Bσ=101.4 Cσ=258.6
A cells=3 B cells=3 C cells=0 Vmax%= 24.7 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=3 B cells=3 C cells=1 Vmax%= 31.5 Aσ= 20.4 Bσ= 99.6 Cσ=240.0
A cells=3 B cells=3 C cells=2 Vmax%= 37.6 Aσ= 10.5 Bσ=109.5 Cσ=240.0
A cells=3 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 42.9 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=2 C cells=2 Vmax%= 28.6 Aσ= 0.0 Bσ= 60.0 Cσ=300.0
A cells=4 B cells=3 C cells=1 Vmax%= 29.8 Aσ= 16.1 Bσ= 76.2 Cσ=315.8
A cells=4 B cells=3 C cells=2 Vmax%= 40.9 Aσ= 7.2 Bσ= 96.2 Cσ=260.7
A cells=4 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 47.0 Aσ= 0.0 Bσ=108.2 Cσ=251.8
A cells=4 B cells=4 C cells=0 Vmax%= 33.0 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=4 B cells=4 C cells=1 Vmax%= 39.9 Aσ= 22.8 Bσ= 97.2 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=2 Vmax%= 46.2 Aσ= 15.5 Bσ=104.5 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 52.0 Aσ= 8.0 Bσ=112.0 Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 57.1 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=3 C cells=2 Vmax%= 36.4 Aσ= 6.5 Bσ= 67.6 Cσ=304.9
A cells=5 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 49.4 Aσ= 0.0 Bσ= 93.6 Cσ=266.4
A cells=5 B cells=4 C cells=1 Vmax%= 38.2 Aσ= 18.9 Bσ= 79.6 Cσ=316.1
A cells=5 B cells=4 C cells=2 Vmax%= 49.3 Aσ= 11.6 Bσ= 93.9 Cσ=262.1
A cells=5 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 55.8 Aσ= 5.9 Bσ=102.8 Cσ=252.8
A cells=5 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 61.5 Aσ= 0.0 Bσ=111.3 Cσ=248.7
A cells=5 B cells=5 C cells=0 Vmax%= 41.2 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=5 B cells=5 C cells=1 Vmax%= 48.2 Aσ= 24.3 Bσ= 95.7 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=2 Vmax%= 54.7 Aσ= 18.5 Bσ=101.5 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=3 Vmax%= 60.8 Aσ= 12.5 Bσ=107.5 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=4 Vmax%= 66.3 Aσ= 6.4 Bσ=113.6 Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=5 Vmax%= 71.4 Aσ= 0.0 Bσ=120.0 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=3 C cells=3 Vmax%= 42.9 Aσ= 0.0 Bσ= 60.0 Cσ=300.0
A cells=6 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 57.7 Aσ= 4.8 Bσ= 91.2 Cσ=268.4
A cells=6 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 64.7 Aσ= 0.0 Bσ=101.4 Cσ=258.6
A cells=6 B cells=5 C cells=1 Vmax%= 47.2 Aσ= 20.5 Bσ= 82.4 Cσ=311.3
A cells=6 B cells=5 C cells=2 Vmax%= 57.6 Aσ= 14.5 Bσ= 92.7 Cσ=263.2
A cells=6 B cells=5 C cells=3 Vmax%= 64.4 Aσ= 9.8 Bσ= 99.8 Cσ=253.6
A cells=6 B cells=5 C cells=4 Vmax%= 70.4 Aσ= 5.0 Bσ=106.5 Cσ=249.3
A cells=6 B cells=5 C cells=5 Vmax%= 75.9 Aσ= 0.0 Bσ=113.1 Cσ=246.9
A cells=6 B cells=6 C cells=0 Vmax%= 49.5 Aσ= 30.0 Bσ= 90.0 Cσ=272.3
A cells=6 B cells=6 C cells=1 Vmax%= 56.5 Aσ= 25.2 Bσ= 94.8 Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=2 Vmax%= 63.1 Aσ= 20.4 Bσ= 99.6 Cσ=240.0

A cells=6 B cells=6 C cells=3 Vmax%= 69.3 A σ = 15.5 B σ =104.5 C σ =240.0
 A cells=6 B cells=6 C cells=4 Vmax%= 75.2 A σ = 10.5 B σ =109.5 C σ =240.0
 A cells=6 B cells=6 C cells=5 Vmax%= 80.7 A σ = 5.4 B σ =114.6 C σ =240.0
 A cells=6 B cells=6 C cells=6 Vmax%= 85.7 A σ = 0.0 B σ =120.0 C σ =240.0
 A cells=7 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 52.2 A σ = 4.6 B σ = 68.0 C σ =299.9
 A cells=7 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 66.0 A σ = 0.0 B σ = 89.0 C σ =271.0
 A cells=7 B cells=5 C cells=3 Vmax%= 66.0 A σ = 8.2 B σ = 90.0 C σ =270.0
 A cells=7 B cells=5 C cells=4 Vmax%= 73.3 A σ = 4.1 B σ = 98.2 C σ =259.7
 A cells=7 B cells=5 C cells=5 Vmax%= 79.5 A σ = 0.0 B σ =105.6 C σ =254.4
 A cells=7 B cells=6 C cells=1 Vmax%= 54.8 A σ = 22.1 B σ = 83.0 C σ =317.0
 A cells=7 B cells=6 C cells=2 Vmax%= 65.9 A σ = 16.6 B σ = 92.0 C σ =264.0
 A cells=7 B cells=6 C cells=3 Vmax%= 72.8 A σ = 12.6 B σ = 97.8 C σ =254.2
 A cells=7 B cells=6 C cells=4 Vmax%= 79.1 A σ = 8.6 B σ =103.3 C σ =249.8
 A cells=7 B cells=6 C cells=5 Vmax%= 84.9 A σ = 4.4 B σ =108.8 C σ =247.3

 A cells=7 B cells=6 C cells=6 Vmax%= 90.2 A σ = 0.0 B σ =114.3 C σ =245.7
 A cells=7 B cells=7 C cells=0 Vmax%= 57.7 A σ = 30.0 B σ = 90.0 C σ =272.3
 A cells=7 B cells=7 C cells=1 Vmax%= 64.7 A σ = 25.9 B σ = 94.1 C σ =240.0
 A cells=7 B cells=7 C cells=2 Vmax%= 71.4 A σ = 21.8 B σ = 98.2 C σ =240.0
 A cells=7 B cells=7 C cells=3 Vmax%= 77.8 A σ = 17.6 B σ =102.4 C σ =240.0
 A cells=7 B cells=7 C cells=4 Vmax%= 83.9 A σ = 13.4 B σ =106.6 C σ =240.0
 A cells=7 B cells=7 C cells=5 Vmax%= 89.6 A σ = 9.1 B σ =110.9 C σ =240.0
 A cells=7 B cells=7 C cells=6 Vmax%= 95.0 A σ = 4.6 B σ =115.4 C σ =240.0
 A cells=7 B cells=7 C cells=7 Vmax%=100.0 A σ = 0.0 B σ =120.0 C σ =240.0



表 7

原始单元数=8

A cells=1 B cells=1 C cells=0	Vmax%= 7.2	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=1 B cells=1 C cells=1	Vmax%= 12.5	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=2 B cells=1 C cells=1	Vmax%= 12.5	Aσ= 0.0	Bσ= 60.0	Cσ=300.0
A cells=2 B cells=2 C cells=0	Vmax%= 14.4	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=2 B cells=2 C cells=1	Vmax%= 20.2	Aσ= 15.5	Bσ=104.5	Cσ=240.0
A cells=2 B cells=2 C cells=2	Vmax%= 25.0	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=3 B cells=2 C cells=2	Vmax%= 28.3	Aσ= 0.0	Bσ=101.4	Cσ=258.6
A cells=3 B cells=3 C cells=0	Vmax%= 21.7	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=3 B cells=3 C cells=1	Vmax%= 27.6	Aσ= 20.4	Bσ= 99.6	Cσ=240.0
A cells=3 B cells=3 C cells=2	Vmax%= 32.9	Aσ= 10.5	Bσ=109.5	Cσ=240.0
A cells=3 B cells=3 C cells=3	Vmax%= 37.5	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=4 B cells=2 C cells=2	Vmax%= 25.0	Aσ= 0.0	Bσ= 60.0	Cσ=300.0
A cells=4 B cells=3 C cells=1	Vmax%= 26.1	Aσ= 16.1	Bσ= 76.2	Cσ=315.8
A cells=4 B cells=3 C cells=2	Vmax%= 35.8	Aσ= 7.2	Bσ= 96.2	Cσ=260.7
A cells=4 B cells=3 C cells=3	Vmax%= 41.1	Aσ= 0.0	Bσ=108.2	Cσ=251.8
A cells=4 B cells=4 C cells=0	Vmax%= 28.9	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=4 B cells=4 C cells=1	Vmax%= 34.9	Aσ= 22.8	Bσ= 97.2	Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=2	Vmax%= 40.5	Aσ= 15.5	Bσ=104.5	Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=3	Vmax%= 45.5	Aσ= 8.0	Bσ=112.0	Cσ=240.0
A cells=4 B cells=4 C cells=4	Vmax%= 50.0	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=5 B cells=3 C cells=2	Vmax%= 31.9	Aσ= 6.5	Bσ= 67.6	Cσ=304.9
A cells=5 B cells=3 C cells=3	Vmax%= 43.2	Aσ= 0.0	Bσ= 93.6	Cσ=266.4
A cells=5 B cells=4 C cells=1	Vmax%= 33.4	Aσ= 18.9	Bσ= 79.6	Cσ=316.1
A cells=5 B cells=4 C cells=2	Vmax%= 43.1	Aσ= 11.6	Bσ= 93.9	Cσ=262.1
A cells=5 B cells=4 C cells=3	Vmax%= 48.8	Aσ= 5.9	Bσ=102.8	Cσ=252.8
A cells=5 B cells=4 C cells=4	Vmax%= 53.8	Aσ= 0.0	Bσ=111.3	Cσ=248.7
A cells=5 B cells=5 C cells=0	Vmax%= 36.1	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=5 B cells=5 C cells=1	Vmax%= 42.2	Aσ= 24.3	Bσ= 95.7	Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=2	Vmax%= 47.9	Aσ= 18.5	Bσ=101.5	Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=3	Vmax%= 53.2	Aσ= 12.5	Bσ=107.5	Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=4	Vmax%= 58.0	Aσ= 6.4	Bσ=113.6	Cσ=240.0
A cells=5 B cells=5 C cells=5	Vmax%= 62.5	Aσ= 0.0	Bσ=120.0	Cσ=240.0
A cells=6 B cells=3 C cells=3	Vmax%= 37.5	Aσ= 0.0	Bσ= 60.0	Cσ=300.0
A cells=6 B cells=4 C cells=3	Vmax%= 50.5	Aσ= 4.8	Bσ= 91.2	Cσ=268.4
A cells=6 B cells=4 C cells=4	Vmax%= 56.6	Aσ= 0.0	Bσ=101.4	Cσ=258.6
A cells=6 B cells=5 C cells=1	Vmax%= 41.3	Aσ= 20.5	Bσ= 82.4	Cσ=311.3
A cells=6 B cells=5 C cells=2	Vmax%= 50.4	Aσ= 14.5	Bσ= 92.7	Cσ=263.2
A cells=6 B cells=5 C cells=3	Vmax%= 56.3	Aσ= 9.8	Bσ= 99.8	Cσ=253.6
A cells=6 B cells=5 C cells=4	Vmax%= 61.6	Aσ= 5.0	Bσ=106.5	Cσ=249.3
A cells=6 B cells=5 C cells=5	Vmax%= 66.4	Aσ= 0.0	Bσ=113.1	Cσ=246.9
A cells=6 B cells=6 C cells=0	Vmax%= 43.3	Aσ= 30.0	Bσ= 90.0	Cσ=272.3
A cells=6 B cells=6 C cells=1	Vmax%= 49.4	Aσ= 25.2	Bσ= 94.8	Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=2	Vmax%= 55.2	Aσ= 20.4	Bσ= 99.6	Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=3	Vmax%= 60.7	Aσ= 15.5	Bσ=104.5	Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=4	Vmax%= 65.8	Aσ= 10.5	Bσ=109.5	Cσ=240.0
A cells=6 B cells=6 C cells=5	Vmax%= 70.6	Aσ= 5.4	Bσ=114.6	Cσ=240.0



A cells=6 B cells=6 C cells=6 Vmax%= 75.0 A σ = 0.0 B σ =120.0 C σ =240.0
A cells=7 B cells=4 C cells=3 Vmax%= 45.6 A σ = 4.6 B σ = 68.0 C σ =299.9
A cells=7 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 57.7 A σ = 0.0 B σ = 89.0 C σ =271.0
A cells=7 B cells=5 C cells=3 Vmax%= 57.7 A σ = 8.2 B σ = 90.0 C σ =270.0
A cells=7 B cells=5 C cells=4 Vmax%= 64.1 A σ = 4.1 B σ = 98.2 C σ =259.7
A cells=7 B cells=5 C cells=5 Vmax%= 69.5 A σ = 0.0 B σ =105.6 C σ =254.4
A cells=7 B cells=6 C cells=1 Vmax%= 47.9 A σ = 22.1 B σ = 83.0 C σ =317.0
A cells=7 B cells=6 C cells=2 Vmax%= 57.6 A σ = 16.6 B σ = 92.0 C σ =264.0
A cells=7 B cells=6 C cells=3 Vmax%= 63.7 A σ = 12.6 B σ = 97.8 C σ =254.2
A cells=7 B cells=6 C cells=4 Vmax%= 69.2 A σ = 8.6 B σ =103.3 C σ =249.8
A cells=7 B cells=6 C cells=5 Vmax%= 74.3 A σ = 4.4 B σ =108.8 C σ =247.3
A cells=7 B cells=6 C cells=6 Vmax%= 78.9 A σ = 0.0 B σ =114.3 C σ =245.7
A cells=7 B cells=7 C cells=0 Vmax%= 50.5 A σ = 30.0 B σ = 90.0 C σ =272.3
A cells=7 B cells=7 C cells=1 Vmax%= 56.6 A σ = 25.9 B σ = 94.1 C σ =240.0
A cells=7 B cells=7 C cells=2 Vmax%= 62.5 A σ = 21.8 B σ = 98.2 C σ =240.0
A cells=7 B cells=7 C cells=3 Vmax%= 68.1 A σ = 17.6 B σ =102.4 C σ =240.0
A cells=7 B cells=7 C cells=4 Vmax%= 73.4 A σ = 13.4 B σ =106.6 C σ =240.0
A cells=7 B cells=7 C cells=5 Vmax%= 78.4 A σ = 9.1 B σ =110.9 C σ =240.0
A cells=7 B cells=7 C cells=6 Vmax%= 83.1 A σ = 4.6 B σ =115.4 C σ =240.0
A cells=7 B cells=7 C cells=7 Vmax%= 87.5 A σ = 0.0 B σ =120.0 C σ =240.0
A cells=8 B cells=4 C cells=4 Vmax%= 50.0 A σ = 0.0 B σ = 60.0 C σ =300.0
A cells=8 B cells=5 C cells=3 Vmax%= 50.7 A σ = 8.2 B σ = 68.4 C σ =307.8
A cells=8 B cells=5 C cells=4 Vmax%= 64.9 A σ = 3.6 B σ = 87.7 C σ =272.8
A cells=8 B cells=6 C cells=2 Vmax%= 52.1 A σ = 16.1 B σ = 76.2 C σ =315.8
A cells=8 B cells=6 C cells=3 Vmax%= 64.9 A σ = 10.8 B σ = 89.4 C σ =271.2
A cells=8 B cells=6 C cells=4 Vmax%= 71.5 A σ = 7.2 B σ = 96.2 C σ =260.7
A cells=8 B cells=6 C cells=5 Vmax%= 77.2 A σ = 3.7 B σ =102.3 C σ =255.2
A cells=8 B cells=6 C cells=6 Vmax%= 82.3 A σ = 0.0 B σ =108.2 C σ =251.8
A cells=8 B cells=7 C cells=1 Vmax%= 55.4 A σ = 23.1 B σ = 84.2 C σ =315.3
A cells=8 B cells=7 C cells=2 Vmax%= 64.9 A σ = 18.2 B σ = 91.5 C σ =264.7
A cells=8 B cells=7 C cells=3 Vmax%= 71.1 A σ = 14.7 B σ = 96.5 C σ =254.7
A cells=8 B cells=7 C cells=4 Vmax%= 76.7 A σ = 11.2 B σ =101.2 C σ =250.2
A cells=8 B cells=7 C cells=5 Vmax%= 82.0 A σ = 7.6 B σ =105.8 C σ =247.6
A cells=8 B cells=7 C cells=6 Vmax%= 86.9 A σ = 3.9 B σ =110.4 C σ =246.0
A cells=8 B cells=7 C cells=7 Vmax%= 91.5 A σ = 0.0 B σ =115.2 C σ =244.9
A cells=8 B cells=8 C cells=0 Vmax%= 57.7 A σ = 30.0 B σ = 90.0 C σ =272.3
A cells=8 B cells=8 C cells=2 Vmax%= 69.8 A σ = 22.8 B σ = 97.2 C σ =240.0
A cells=8 B cells=8 C cells=3 Vmax%= 75.5 A σ = 19.2 B σ =100.8 C σ =240.0
A cells=8 B cells=8 C cells=4 Vmax%= 80.9 A σ = 15.5 B σ =104.5 C σ =240.0
A cells=8 B cells=8 C cells=5 Vmax%= 86.1 A σ = 11.8 B σ =108.2 C σ =240.0
A cells=8 B cells=8 C cells=6 Vmax%= 91.0 A σ = 8.0 B σ =112.0 C σ =240.0
A cells=8 B cells=8 C cells=7 Vmax%= 95.7 A σ = 4.1 B σ =115.9 C σ =240.0
A cells=8 B cells=8 C cells=8 Vmax%=100.0 A σ = 0.0 B σ =120.0 C σ =240.0

表 1-7 中给定的角度给出了最佳的结果,但是这种角度的计算是很困难的,特别是在所有三相中的有效单元数量都不同的情况下。然而,采用本发明的其他技术则不需要计算这些角度。可以对现存的控制结构进行修改,用来执行平衡的旁路控制,其效果与表 1-7 几乎一样。每个支路中单个单元的输出电压是通过脉宽调制来控制的。这种调制是按照图 1c 所示通过将每一相或是支路的指令波形与一组三角载波波形相比较而完成的。载波波形按照各单元指定的开关频率振荡。为了消除单元之间的谐波,这些载波波形具有各种相位角。指令波形直接依赖于从点 N 到点 A, B 和 C 也就是各个支路 A, B 和 C 需要输出的电压。在用单元阵列来驱动一个诸如电动机的负载时,需要的线间输出电压通常是一种正弦波。然而,如果采用正弦波指令信号,最大有效输出电压就会被限制在正弦波幅值等于载波幅值的数值上。对于三相正弦波来说,当一相达到最高电压时,其他两相仅能达到反极性最高电压的一半。这样的容量是不能接受的。为了改进最高电压限制,通常是采用图 6 所示的控制方法。在图 6 的框图中对原始正弦波指令 V_{A*} , V_{B*} , V_{C*} 进行处理。然后将处理结果的输出传送给脉宽调制器。

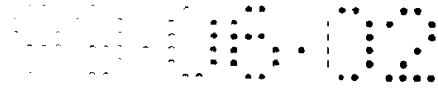
如图 6(现有技术)所示,标为 SELECT MAXIMUM 的框产生一个信号,它在任何时候都等于三个电压指令中最正的一个。标为 SELECT MINIMUM 的一个类似的框产生一个信号,它在任何时候都等于三个电压指令中最负的一个。将这两个信号相加,并且将和除以 2。然后从每个原始电压指令中减去所得的信号,产生新的一组电压指令,然后将其传送给脉宽调制器。传送给 PWM 控制器的修改的电压指令 E_{A*} , E_{B*} 和 E_{C*} 是一种降低了峰值的指令。例如,如果最正电压指令的幅值等于最负电压指令的幅值,输出之和就是零。然而,如果最正电压指令的幅值大于最负电压指令的幅值,输出之和就会是正值。如果从所有三个指令中减去这一差值的一半,所得的新的指令组 E_{A*} , E_{B*} 和 E_{C*} 就会具有大小相等的最正和最负值。如图 6 所示,降低峰值电压的方法是从所有三个指令中减去相同的信号。这一信号被称为“公共模式信号”。相减结果的极性总是让具有最高幅值的指令降低,而其他一或两个指令的幅值增大。实际上是让具有最大容量的各相“帮助”负担最大的一相。对于正弦波的情况,这种方法可以使有效的线间电压提高 20%。本发明还可以用一种简单的方式将故障的单元旁路。

图 6 的降低幅值电压的方法经过修改还可以实现本发明的新的旁路方法。在图 7 中表示了一种简单的修改。对图 6 的唯一的变更是对正弦输入指令

VA*, VB*和 VC*引入了可调整的增益 KA, KB 和 KC。如果没有单元被旁路, 这些新的增益就是一。因此, 它们对输出值 EA*, EB*和 EC*没有影响。然而, 如果有一或多个单元被旁路, 对于有效单元数量已经减少了的任何一相来说, 这些增益的值就按照正常单元数除以实际的无故障单元数的比例增大。其结果是将指令增大到为了维持原始输出电压而所需的剩余单元的量。用增益功能框 KA, KB 和 KC 完成这种功能。由于这一新的指令比单元损失较少或是没有损失的其他相的指令要大, 就产生一个公共模式信号, 减少剩余单元负担, 并且让其他相的单元“帮助”具有故障单元的支路或是相位提供电压。

图 8, 9 和 10 表示图 7 产生的波形, 分别有零个, 两个和四个单元被旁路。如图 8 所示, 由于没有故障的单元, 各个支路的增益 KA, KB 和 KC 都等于一。在图 7 中标有 VA*, VB*和 VC*的信号是控制器的其他部分发出的平衡的正弦电压指令。分别将这些信号乘以增益 KA, KB 和 KC 而产生信号 UA*, UB*和 UC*。图 8 表示的情况是在图 2 中没有单元被旁路(因此, KA=1, kB=1, KC=1); 因此, 在图 8a 中, UA*, UB*和 UC*也是平衡的正弦电压。在 UB*达到其正向峰值的瞬时, UA*和 UC*都是负值, 但是仅有 UB*幅值的一半。图 8b 表示来自 SELECT MAXIMUM 框的信号 UMAX, 以及来自 SELECT MINIMUM 框的信号 UMIN。在图 8b 中为了清楚而仅仅表示了 UB*; UA*和 UC*都被省略了。显然, 信号 UA*, UB*或是 UC*当中的 UMAX 是最正的, 而信号 UA*, UB*或是 UC*当中的 UMIN 是最负的。图 8c 与图 8b 相同, 只是增加了信号 UCOM。UCOM 是信号 UMAX 和 UMIN 相加后除以 2 获得的结果。UCOM 是需要从三个信号 UA*, UB*和 UC*当中减去的公共模式信号。图 8d 表示了相减的结果, 其中的 EA*=UA*-UCOM, EB*=UB*-UCOM, EC*=UC*-UCOM。这三个信号的峰值小于 UB*(或是小于没有示出的 UA*或 UC*)。在 UB*达到其正向峰值的瞬时, EB*的正值比较小; 而 EA*和 EC*在此时都是幅值等于 EB*的负值。在使用 EA*, EB*和 EC*来控制单元的 PWM 调制时; 在这一瞬时的效果是通过增大 A 相和 C 相单元的幅值而降低 B 相的峰值电压。

然而, 在图 9 中, 单元 B4 和 B5 已经被旁路。图 9 的波形对应着单元 B4 和 B5 已经被旁路时图 7 的输出。在 B 相的两个单元被旁路(图 3)的情况下, 图 9 表示的信号与图 8 相同。信号 VA*, VB*和 VC*仍然是平衡的, 但是增益 KB 已经被增大到等于正常单元数除以剩下的没有被旁路的单元数的比例, 也就是 $5/3=1.67$ 。其他的增益不受影响, 因此, KA=1, KB=1.67, KC=1。因此, 图 9a 中的 UA*和 UC*是平衡的正弦电压, 但是 UB*比较大。图 9b 表示在这种状态下(为了



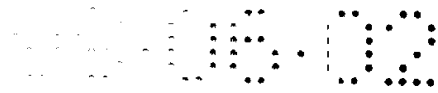
清楚而省去了 UA*和 UC*) 来自 SELECT MAXIMUM 框的信号 UMAX 和来自 SELECT MINIMUM 框的 UMIN。图 9c 与图 9b 相同, 只是增加了信号 UCOM。由于不平衡, 此时的 UCOM 包含明显的 UB*信号分量。图 9d 表示从 UA*, UB*和 UC*中减去 UCOM 后获得的 EA*, EB*和 EC*的结果。注意到这三个信号的峰值比 UB*低, 并且在各自周期内的不同时刻具有相同的峰值。在 UB*达到其正的峰值时, EB*具有明显降低的正值; 而 EA*和 EC*是幅值与 EB*相同的负值。在使用 EA*, EB*和 EC*来控制单元的 PWM 调制时; 即使是 B 相的五个单元损失了两个, 仍可以达到使剩下的所有单元产生相同峰值电压的效果。如果驱动器输出电压逐渐增加, 所有 13 个剩下的单元就会同时达到其电压限制。在所有十五个单元都能工作时, 电压限制出现在有效电压的大约 85%。然而, 如果每个支路中已经有两个单元被旁路 (如图 4 所示), 最高有效电压就只能达到 60%。

在图 5 中表示了这种旁路结构的电源电路的电源图形。因此, 在本例中, 支路 B 中有两个单元被旁路, 常数 KA 从先前的数值 1 增大到当前值 1.67。该值可以用以下的公式来计算:

$$K_x = \frac{\text{支路 X 中单元的总数}}{\text{支路 X 中没有被旁路的单元数}}$$

支路中的单元总数包括那些被旁路的和没有被旁路的单元。如本例中所示, KA=5/3 或是 1.67。

图 10 表示来自图 7 的波形, 将指令 EA*, EB*和 EC*输出到脉宽调制控制器。在本例中, 单元 A2, A3, A4 和 A5 已经被旁路了。图 10 是在 A 相的四个单元被旁路的情况下表示与图 8 相同的信号。信号 VA*, VB*和 VC*仍然是平衡的, 但是增益 KB 已经被增大到等于正常单元数除以剩下的没有被旁路的单元数之后的比例, 也就是 5/1=5。其他的增益不受影响, 因此, KA=5, KB=1, KC=1。因此, 图 10a 中的 UB*和 UC*是平衡的正弦电压, 但是 UA*要大得多。图 10b 表示在这种状态下 (为了清楚而省去了 UB*和 UC*) 来自 SELECT MAXIMUM 框的信号 UMAX 和来自 SELECT MINIMUM 框的 UMIN。图 10c 与图 10b 相同, 只是增加了信号 UCOM。由于不平衡, 此时的 UCOM 包含明显的 UA*信号分量。图 10d 表示从 UA*, UB*和 UC*中减去 UCOM 后获得的 EA*, EB*和 EC*的结果。注意到这三个信号的峰值比 UAB*低, 并且在各自周期内的不同时刻具有相同的峰值。在 UA*达到其正的峰值时, UA*具有明显降低的正值; 而 EB*和 EC*是幅值与 EA*相同的负值。在使用



EA*, EB*和 EC*来控制单元的 PWM 调制时;即使是 A 相的五个单元损失了四个,仍可以达到使剩下的所有单元产生相同峰值电压的效果。如果驱动器输出电压逐渐增加,所有 11 个剩下的单元就会同时达到其电压限制。在所有十五个单元都能工作时,电压限制出现在有效电压的大约 67%。然而,如果每个支路中已经有四个单元被旁路(如图 4 所示),最高有效电压就只能达到 20%。

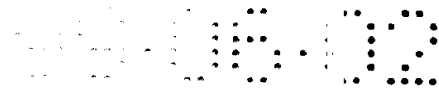
这样就会向图 7 输入新的增益常数。这些新的常数是 $K_A=5$, $K_B=1$, $K_C=1$ 。如上文所述,由于支路 B 或是支路 C 中没有故障,其常数是 1。这是通过用每个支路中的单元总数除以没有被旁路的工作单元的数量而获得的。对于支路 B 和 C 来说,增益值是 5/5。然而,由于支路 A 中的单元 A2, A3, A4 和 A5 被旁路了, K_A 的值等于 5;也就是支路中的单元总数除以能够工作的单元数 1。其结果是常数 $K_A=5$ 。改变这些值 K_A , K_B 和 K_C 就可以让图 1 的电路在一个支路中有四个单元发生故障的情况下继续工作,并且仍然在电动机端子 A, B, C 上维持平衡的输出电压。73%的工作单元或是转换器也就是 A1, B1-5 和 C1-5 仍然可以向电动机供电。在这种工作状态下,如果采用在实际上短路或是旁路同等数量工作单元的方式,电动机端子之间的最高输出电压就只能达到 20%。然而,如果采用本发明,在单个支路中具有四个故障单元的系统,电动机端子之间的输出电压可以达到 67%。

图 11 表示可以用来提供修改的脉宽调制信号 EA*, EB*, 和 EC*的电路图。通过代表着单元故障常数 K_A , K_B , K_C 的增益控制器 81-83 来提供输入 VA", VB" 和 VC"。选择最小-选择最大电路通过二极管 84, 86 和 88 组成的二极管桥式电路提供选择的最大值。同样,用二极管 85, 87 和 89 向选择最小的功能提供电压。分压电路利用电阻 94 和 95 提供除以 2 的功能。然后将除以 2 的电压和各自的经过修改的控制信号值一同提供给加法器 90, 91 和 92。

图 7 或 11 的方法与使用表 1-7 计算角度所获得的输出电压基本上是相同的,但是产生的信号畸变比较小,通常是可以接受的。由于图 7 的方法比较简单,不需要反馈环,在某些情况下可能是最佳的方案。

图 12 表示用来降低峰值电压指令的另一种控制方式的框图,也能够实现本发明的新技术,它要比图 7 更加复杂,但是效果比较好。该方法需要有一个带积分的内部反馈环,但是避免了图 7 的畸变,并且所获得的输出电压更加接近用表 7 的角度计算出的结果。

图 7 与图 12 之间在原理上的区别是在采用可调节增益 K_A , K_B 和 K_C 之前从



正弦指令 VA^* , VB^* 和 VC^* 中减去公共模式信号 $UCOM$ 。在加法器 201, 202 和 203 中完成减法运算, 在框 204, 205 和 206 中提供增益。和图 7 一样, 框 207 SELECT MAXIMUM 产生的信号 $UMAX$ 等于最正的输入信号, 但是这些输入信号是输出 UA^* , UB^* 和 UC^* 。同样, 框 208 SELECT MINIMUM 产生的信号 $UMIN$ 等于最负的输入信号, 但是这些输入信号也是输出 UA^* , UB^* 和 UC^* 。

信号 $UMAX$ 和 $UMIN$ 在加法器 209 中相加, 并且在框 210 中除以 2。在框 210 中还要将信号除以 K_{max} , 它等于三个增益 K_A , K_B 或是 K_C 当中的最大值。为了在具有采样的数字方式下稳定的要求而需要除以 K_{max} , 但是在模拟方式下没有必要。在功能框 211 中对框 210 的输出相对于时间积分, 从中产生信号 $UCOM$ 。

在按照图 12 的方法工作时, 假设最正的信号 $UMAX$ 超过了最负信号 $UMIN$ 的幅值; 因此, 从框 209 输出一个小的正残余, 通过增益框 210 驱动积分器 211。这样就会使积分器输出的 $UCOM$ 在整个时间段内变得更正。如果在框 201, 202 和 203 中从 VA^* , VB^* 和 VC^* 中减去更正的信号 $UCOM$, 就会使信号 UA^* , UB^* 和 UC^* 变得更负。这一过程一直持续到 $UMAX$ 和 $UMIN$ 彼此相等且极性相反, 从而使合成的输出 209 变成零。按照要求, 最正和最负的信号在此时彼此相等且极性相反。

图 12 的方法稍稍优于图 7, 因为它不会出现畸变, 并且输出电压比较高。然而, 由于采用了带有积分器的反馈路径而比较复杂。反馈是必要的, 因为公共模式信号 $UCOM$ 是在使用该信号的那一点的下游产生的。因此, 在许多情况下还是采用图 7 的方法为好。

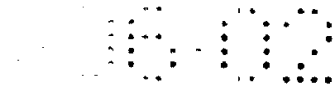
尽管上文中说明了利用诸如图 1D 所示的旁路功能的各种实施例, 仍可以采用其他结构来变换各个工作单元的输出。图 13 表示了一个这样的变换开关。在该图中示意性地表示了一个可以通过开关臂 303 连接到输出 304 的一个正常的输入 301。在另一个位置上, 303 可以将输出 304 连接到另一个输入 302。这一 SPDT 开关结构对电气领域的技术人员是公知的。如图所示, 开关臂 33 是用一个通过管子 36 来操作的流体操作活塞 305 来驱动的。在最佳的实施例中, 流体可以是空气, 而管子 306 是塑性的不导电材料。这种材料是容易获得的。308 表示一个加压气源。它可以是一个收集容器, 压缩机, 或者是其他的加压流体源。电动的电磁阀 307 可以使开关臂 303 移动。在这种结构中用一个变换开关来代替图 1d 中的旁路接触器。这种结构的优点之一就是可以在高压连接区域旁边安装机械接触器, 并且用不导电的管子 306 来保持电气绝缘。因此, 所有高

电压都被限制在高压区域内。电动的电磁阀 307 是一个双位置阀门，在一个位置上将来自 308 的流体通到活塞 305，在另一个位置上将来自工作活塞 305 的流体排放到大气中并且关闭气源 308。

在有些单元发生故障时用一个单极双掷变换开关完成驱动连续性。另外，使用单极双掷变换开关可以省掉在单掷旁路方案中需要的旁路熔断器。即使是在主 IGBT 的故障阻断了来自母线的电压时，在必须起动单元旁路时有可能需要这种熔断器。在 SPDT 的实施例中，“先断后通”的动作排除了旁路一个故障桥的可能性，因而就可以阻止导电等离子流的形成，否则会导致来自故障单元的总能量在熔断器或是故障的 IGBT 上放电。这种情况有可能造成其他电源电路的故障。

图 14 表示采用弹簧负荷触点的一个变换开关。在这种情况下将一个气动的行程释放装置 311 连接到屏蔽板 312 上。一个不导电的行程杆 313 将行程释放机构连接到释放杆 318 上。开关臂 318 按照单极双掷方式在正常输出电源 316 和 317 之间变换。弹簧 315 将控制臂偏置到两个位置之一上。在本实施例中，弹簧 315 被向下推到开关臂 318 上。然而，开关臂 318 向下的运动会受到行程杆 314 的限制。在这一位置上，318 的电路被连接到正常电源 316。行程释放装置也可以是气动的，类似于图 13 所示的情况。当行程释放装置被驱动时，318 的闭锁机构与 314 分离。这样就可以移动开关臂 318，使其在电路上连接到另一个电源 317。图示的装置采用了安装在屏蔽板 312 旁边的行程释放装置，行程释放装置 311 也可以安装在靠近高压变换开关机构的位置上。在这种情况下就可以使用塑料管道并且通过远程操作图 13 的电动电磁阀来控制变换开关。在图 14 中还表示了一个辅助触点 310。辅助触点是可以被用来通过电路确定变换开关是否已经动作。图 14 的变换开关是通过一个电信号用电驱动设备来释放的，可以用信号直接或是通过气动的线路来操作行程释放装置 311。311 例如可以是一个流体操作活塞。当装置的动作从其正常电源位置移动到另一电源的位置时，变换开关会保持在这一位置，直到开关臂 318 的机械动作使得闭锁和杆 314，318 重新啮合。在正常状态下，变换和复位操作都是在零电流状态下完成的。图 14 的变换开关是一个弹簧操作的释放装置，也可以在 SPDT 开关装置的两极之间用机械或是气动的方式操作这种变换开关。

图 15 表示有三个单元 A1, A2 和 A3 在正常状态下串联工作。正常的输入 324 例如是一种 WYE 结构的节点。在运行过程中，任何一个单元 A1, A2, A3 都可能发



生故障,操作适当的变换开关 321, 322 或是 323 首先从电路中切断故障的功率单元。当变换开关 321, 322 和 323 各自的开关臂移动到其他位置时,就形成了剩余的工作单元之间的串联结构。

尽管在上文中已经说明了采用降低峰值电压的技术的一些用途,在其他实施例中显然也可以利用本发明中不采用“降低峰值电压的方法”来平衡各相之间的输出电压,例如可以使用表 1-7 的角度。另外,虽然本文中的一些电路是用模拟技术实现的,显然也可以用适当的软件程序来实现本发明。可以用数字方法便利地替代本文的电路。另外,尽管说明书中使用的例子采用了脉宽调制技术,其他的控制技术显然也可以等效地用来实现本发明。

尽管本发明是参照具体的实施例来说明的,其他人在本发明的权利要求书所覆盖的范围内显然还可以提出其他的实施例。

说明书附图

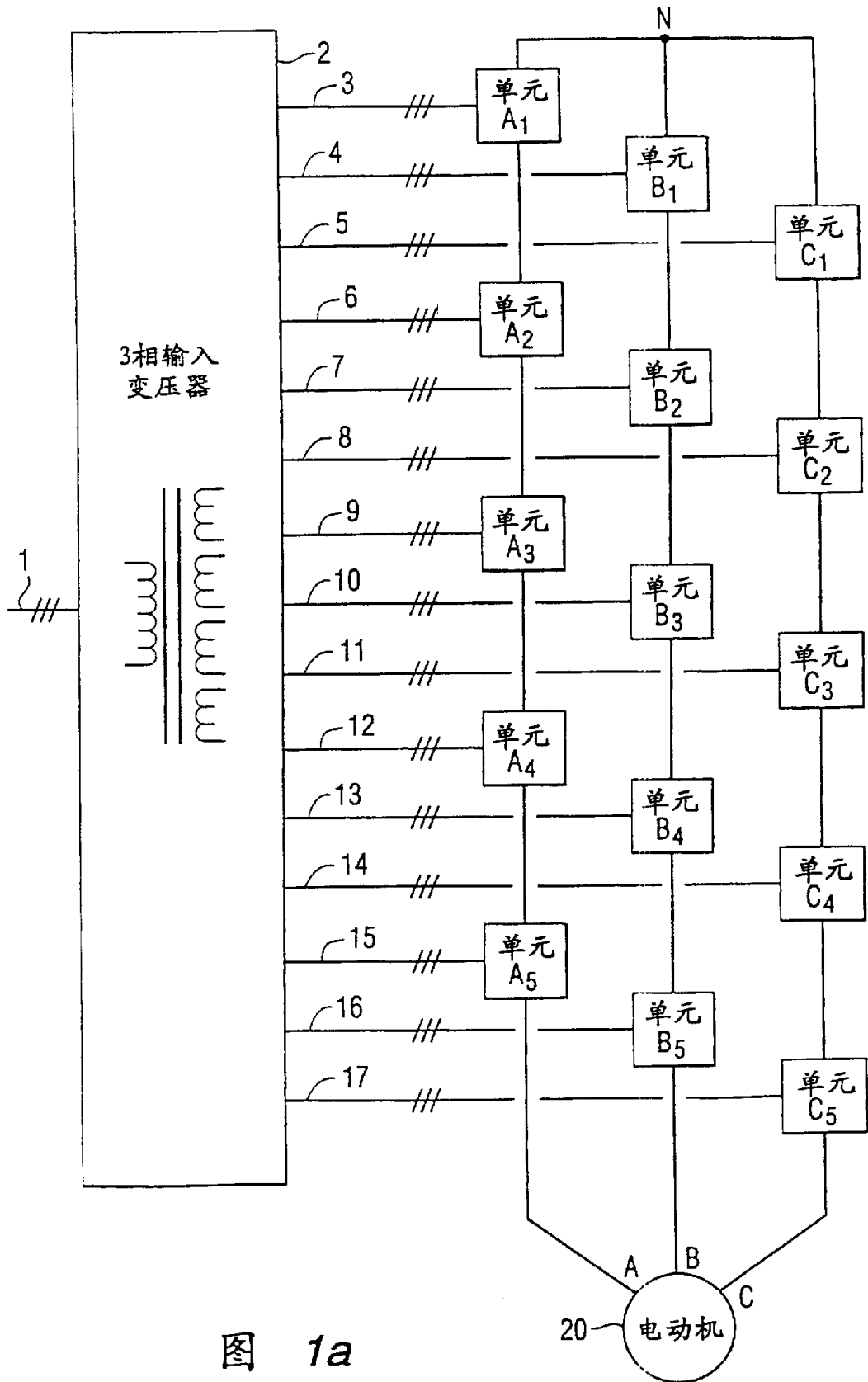


图 1a

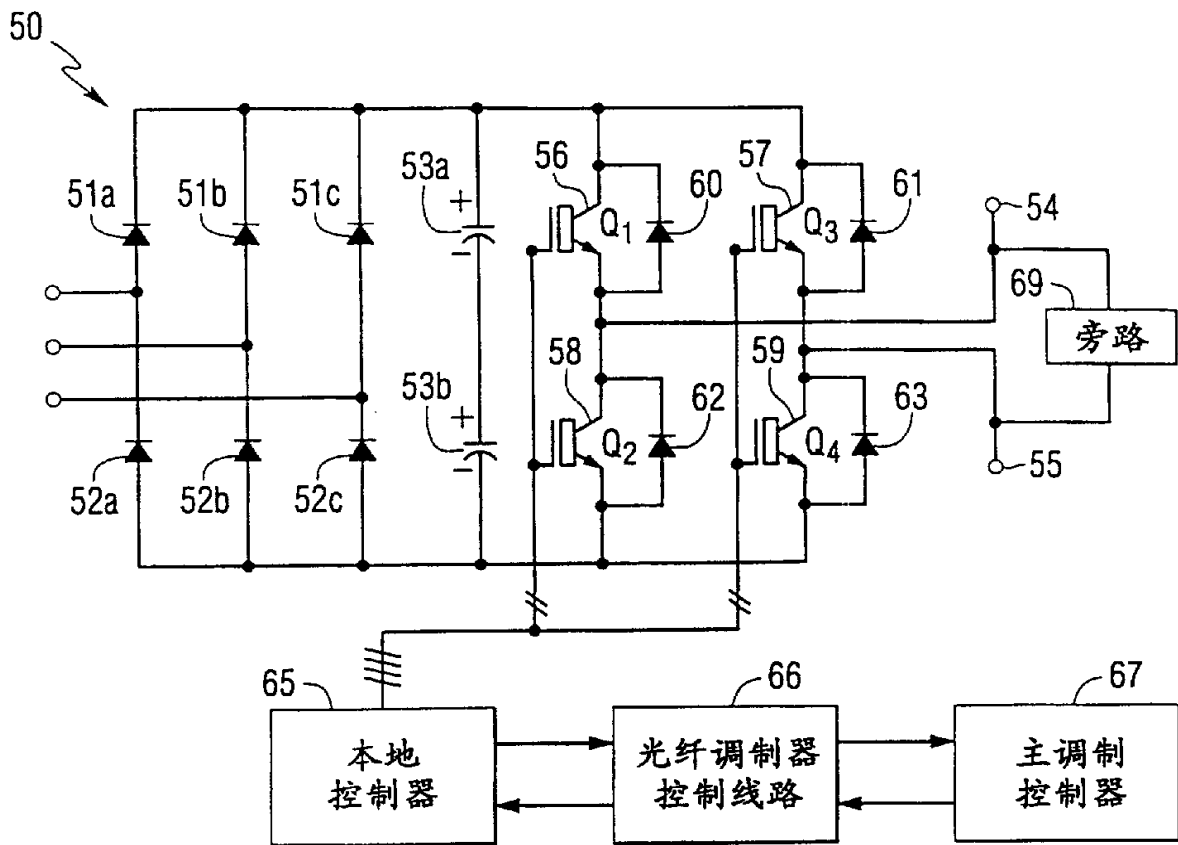


图 1b

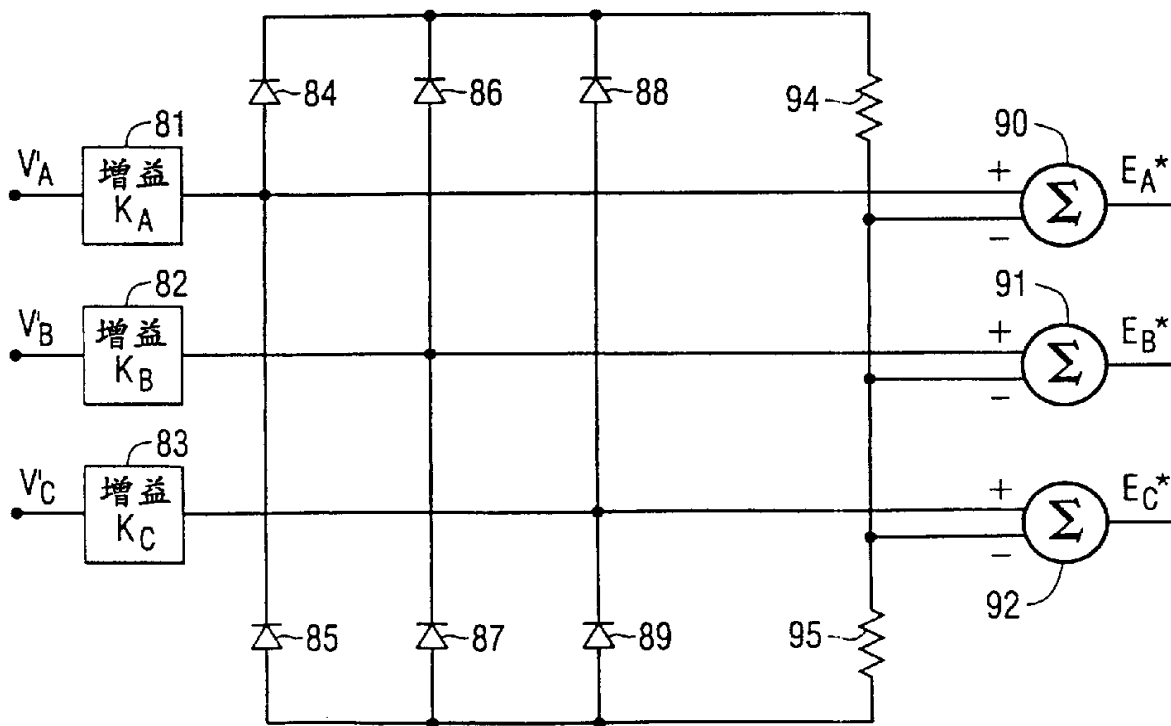


图 11

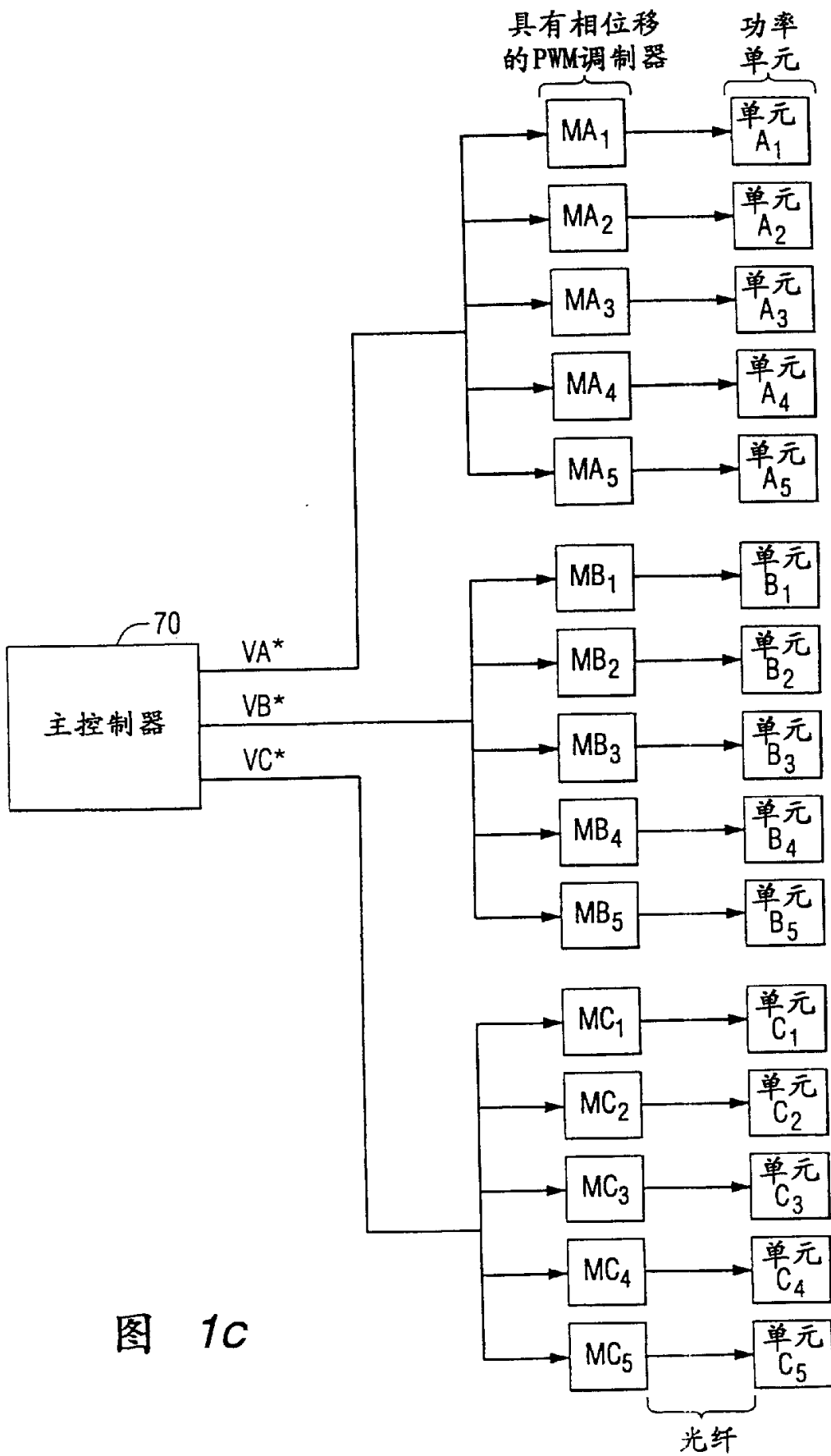
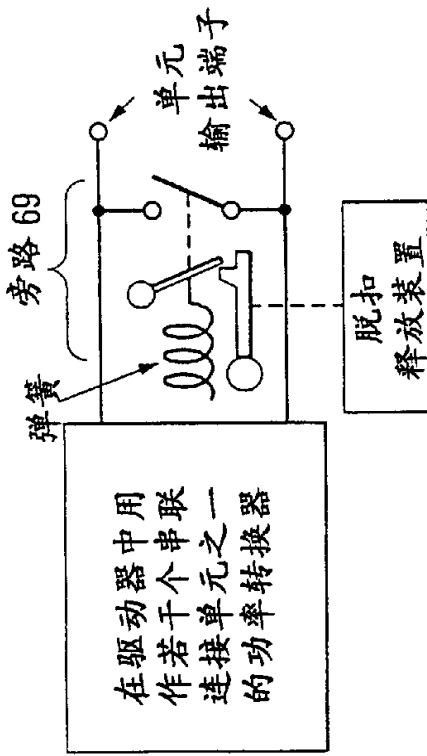
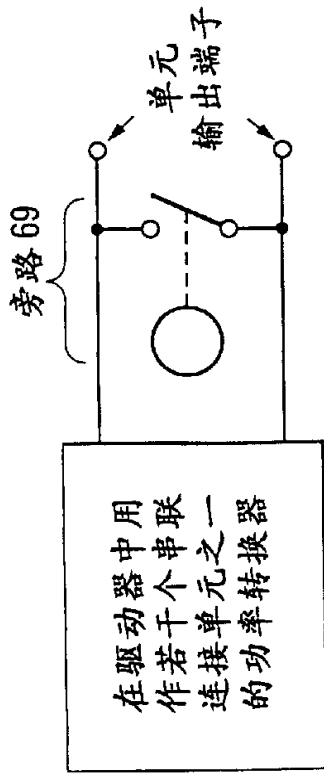


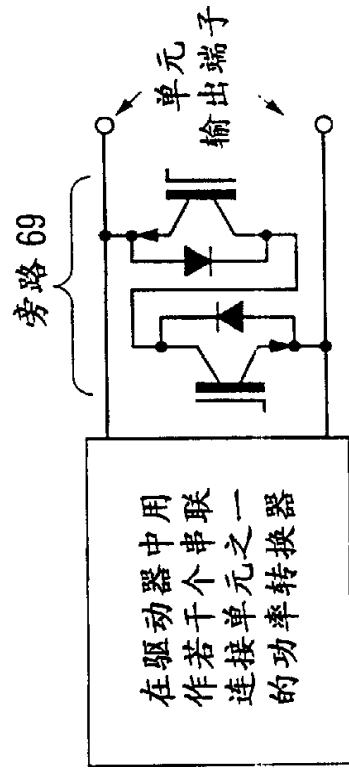
图 1c



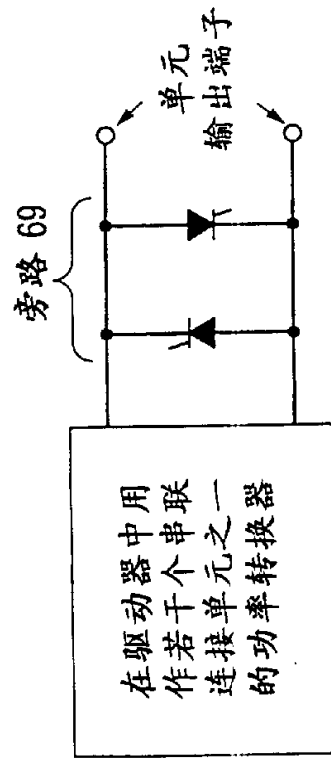
(i) 用磁力接触器改变旁路装置



(ii) 用弹簧负荷触点改变旁路装置



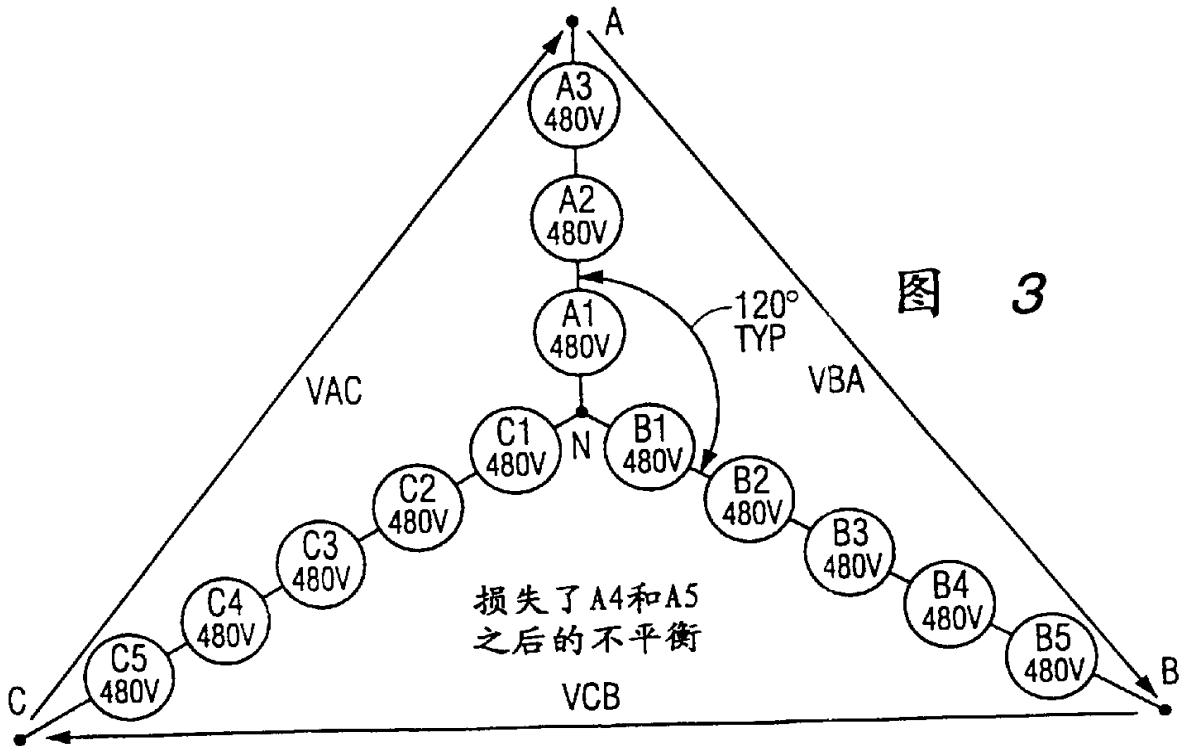
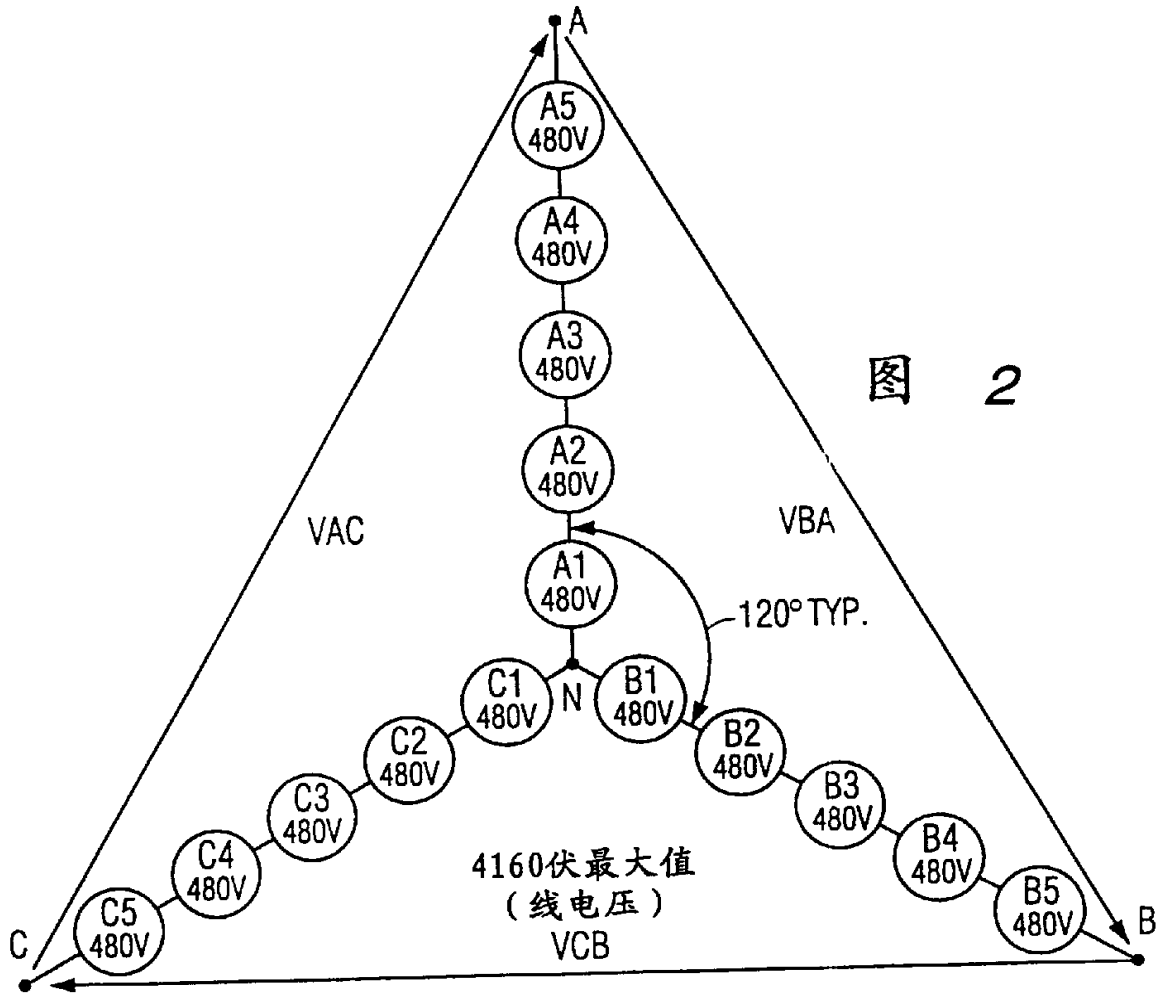
(iii) 用反并联SCR改变旁路装置



(iv) 用串联晶体管改变旁路装置

用来实现旁路功能的一些选择方案

图 1d



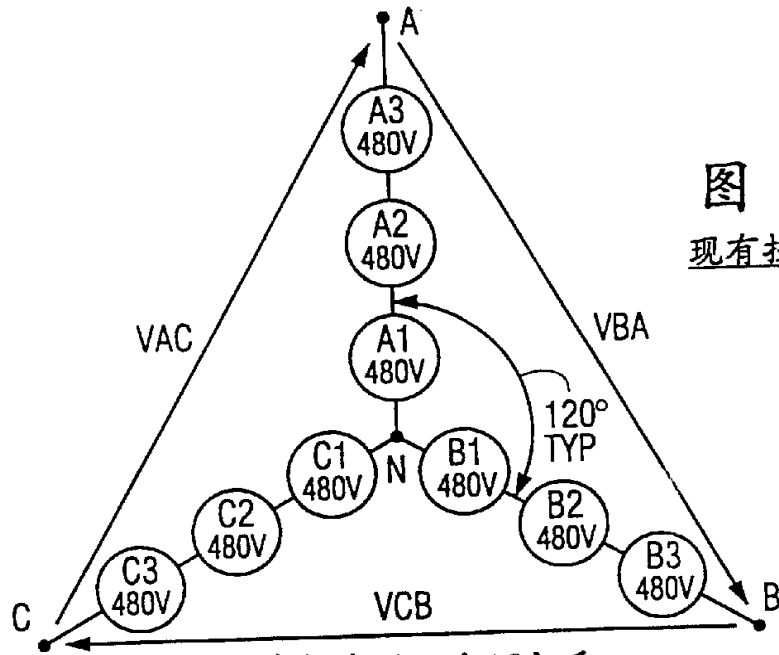


图 4
现有技术

在损失了A4和A5之后
通过禁止B4, B5, C4
和C5而恢复平衡,
最高电压=2494 (60%)

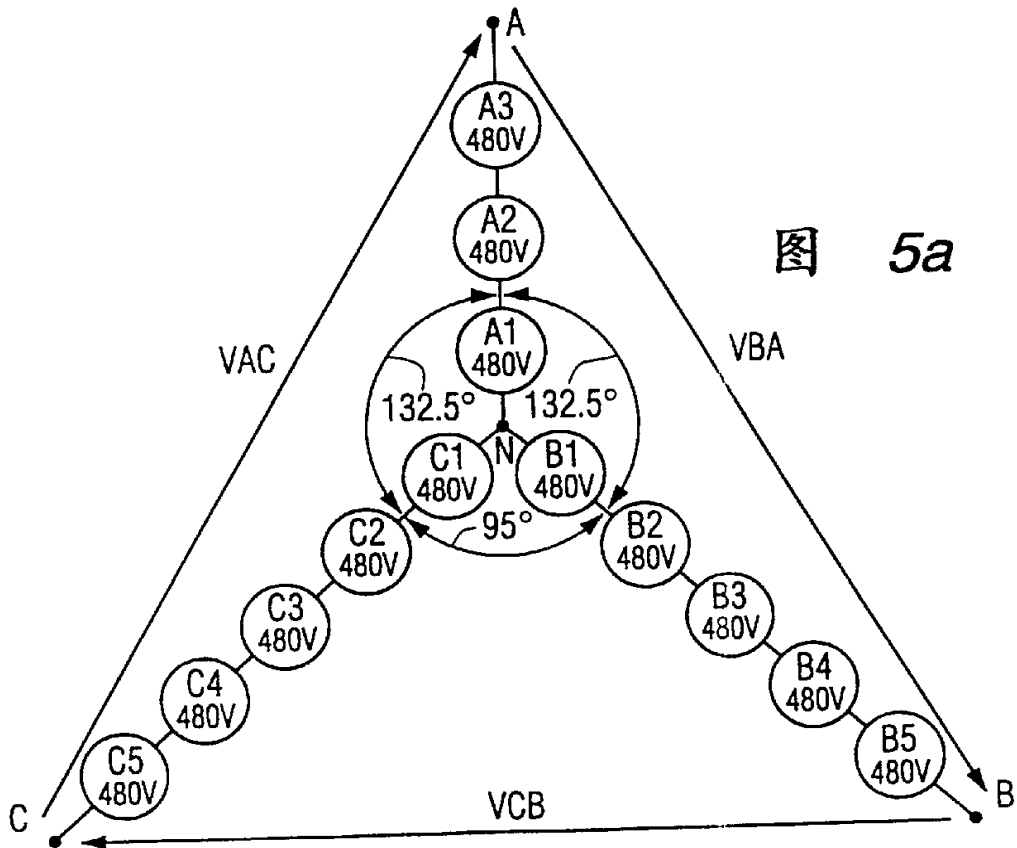
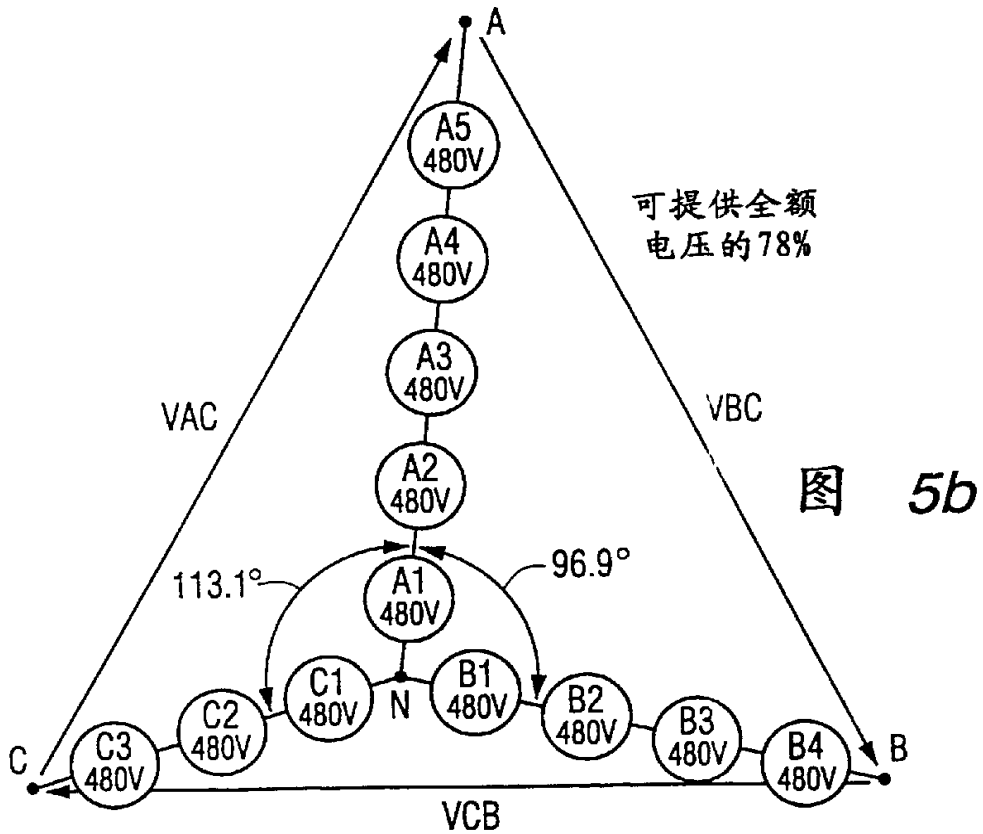
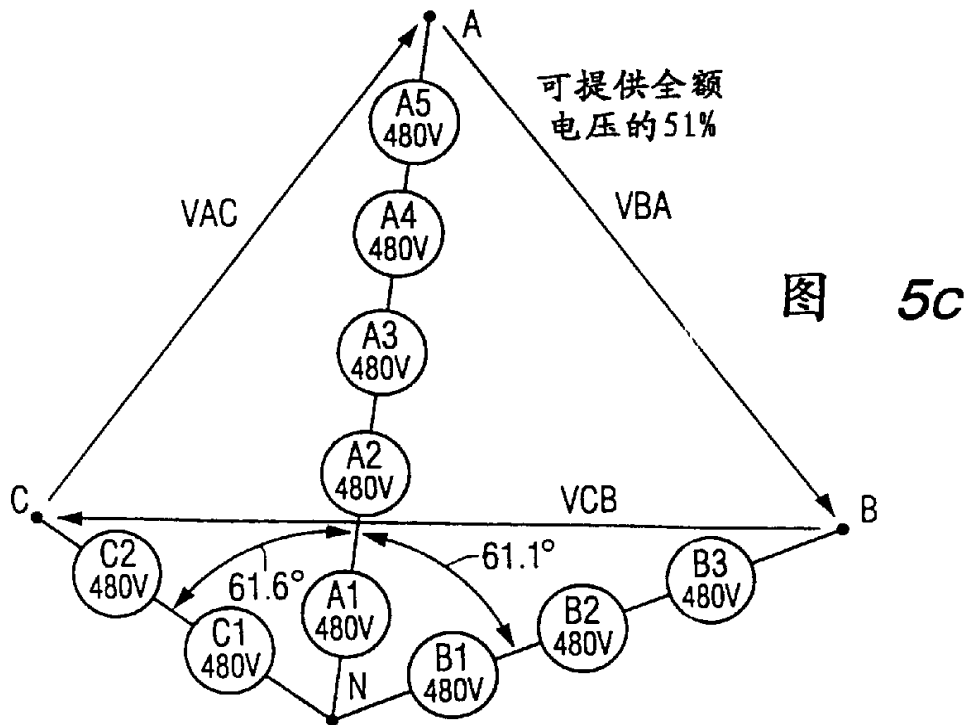


图 5a

在损失了A4和A5之后
通过调整角度而恢复平衡
最高电压=3542 (85%)



在损失了B相的1个单元和C相的2个单元之后恢复到每相有5个单元的平衡系统



在损失了B相的2个单元和C相的3个单元之后恢复到每相具有5个单元的平衡系统

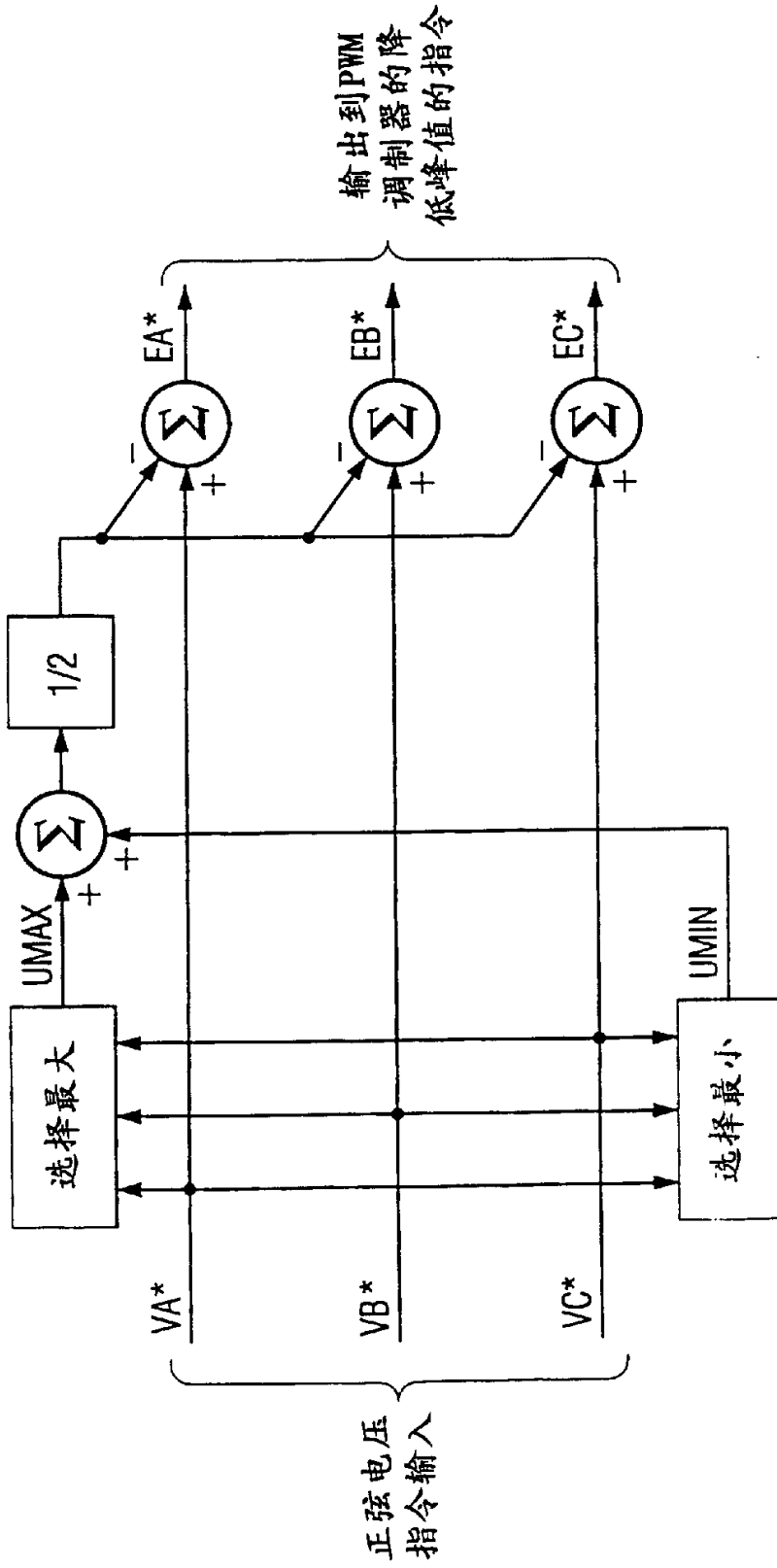
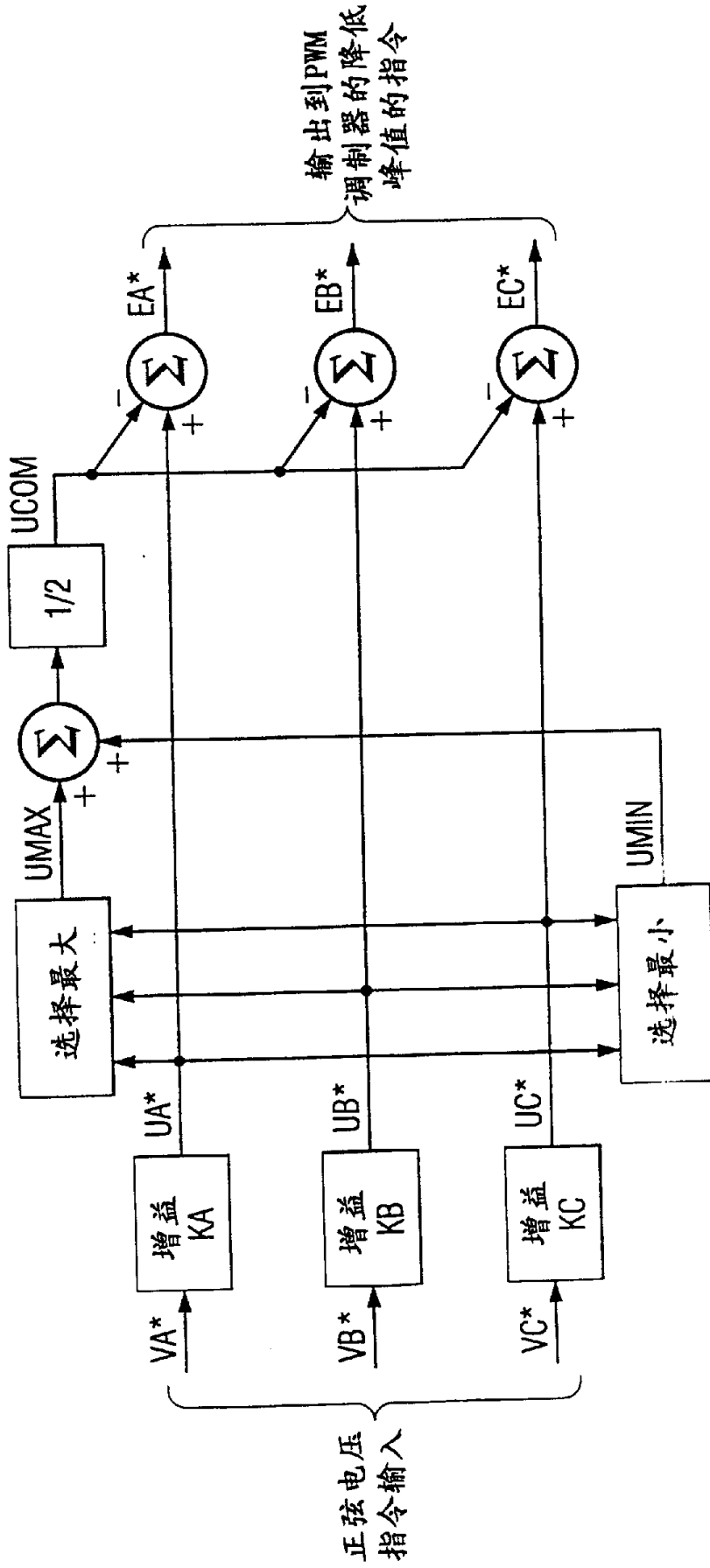
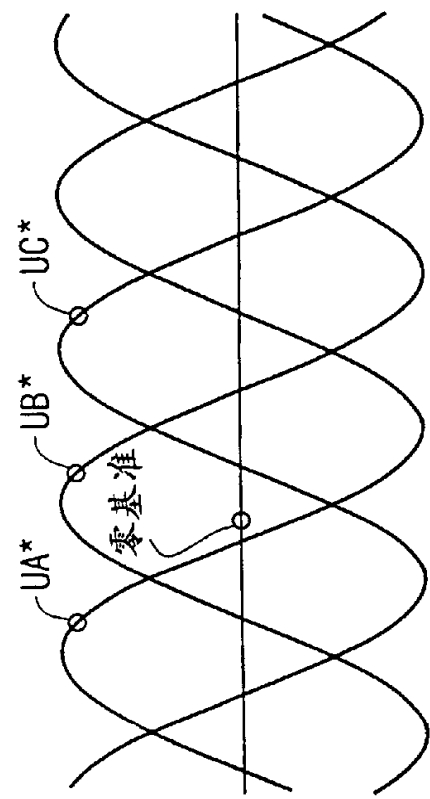


图 6
现有技术



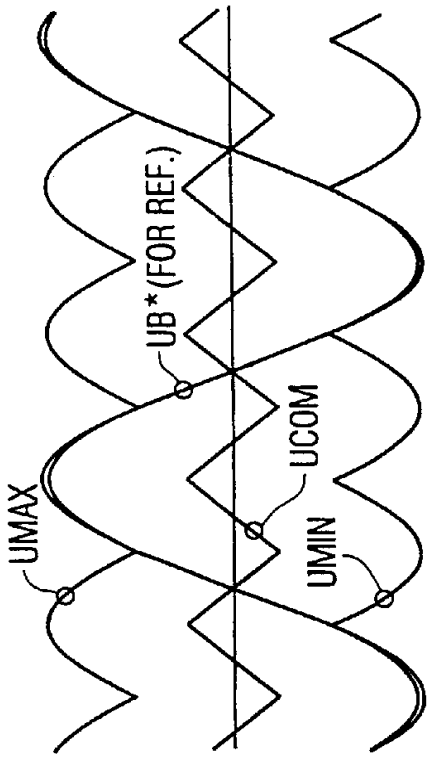
对图6的峰值降低方法的修改,也可以实现新的旁路控制

图 7



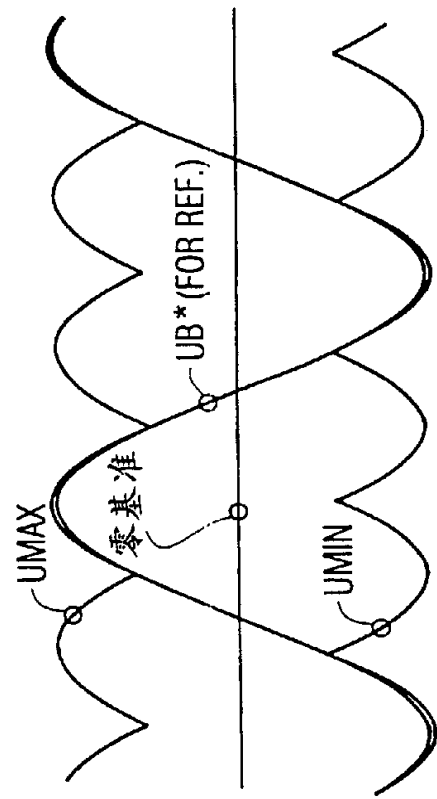
在没有单元被旁路时 (KA=1, KB=1, KC=1)
来自图7的正弦电压指令

图 8a



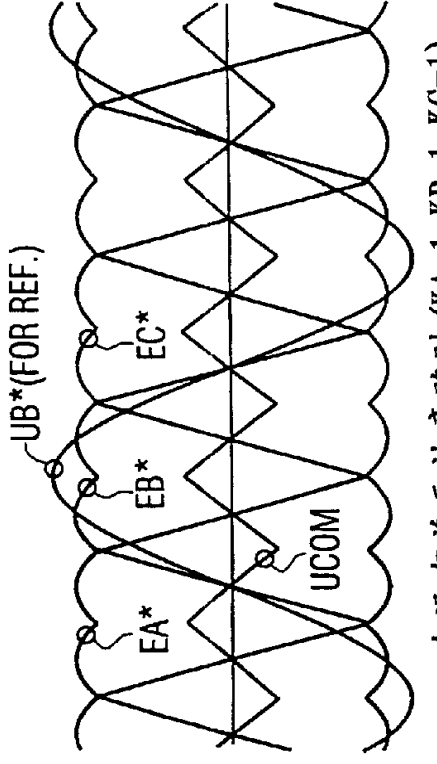
在没有单元被旁路时 (KA=1, KB=1, KC=1)
来自图7的 $UCOM = (UMAX + UMIN) / 2$

图 8c



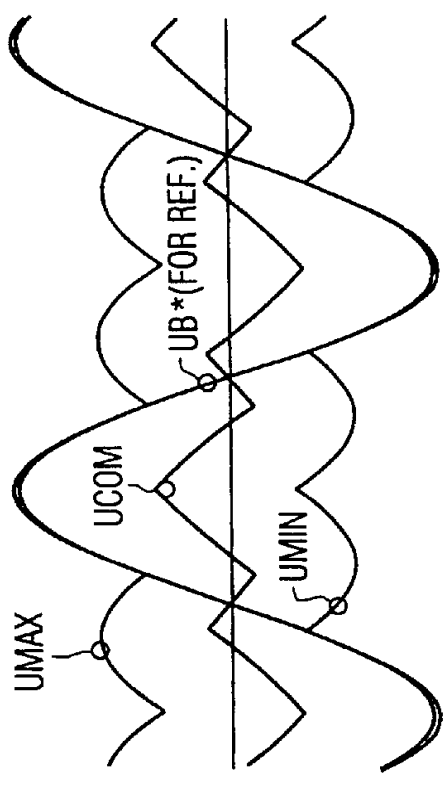
在没有单元被旁路时 (KA=1, KB=1, KC=1)
来自图7的 UMAX 和 UMIN

图 8b



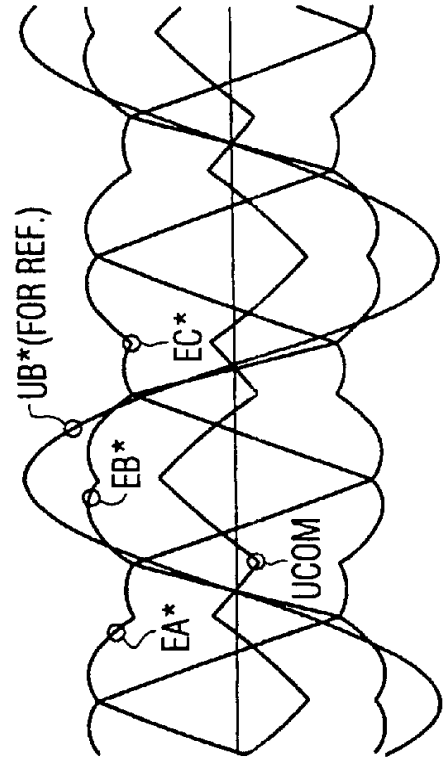
在没有单元被旁路时 (KA=1, KB=1, KC=1)
来自图7的 $EB^* = UB^* - U_{MOM}$, 峰值被降低了。

图 8d



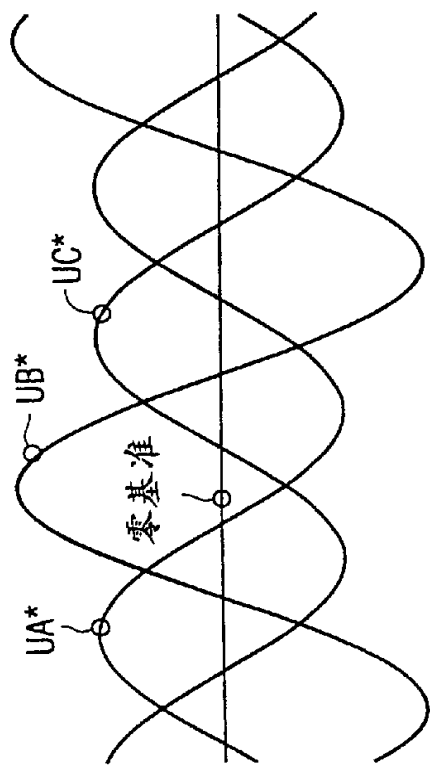
在单元B4和B5被旁路时 ($K_A=1, K_B=1.67, K_C=1$)
来自图7的 $UCOM = (UMAX + UMIN) / 2$

图 9c



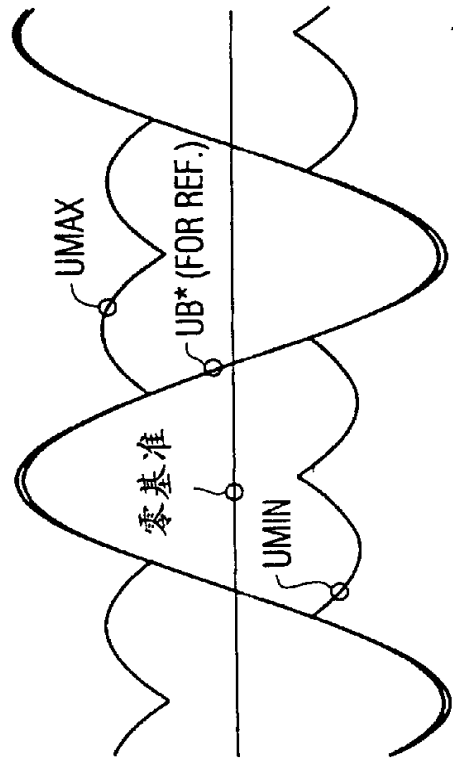
在单元B4和B5被旁路时 ($K_A=1, K_B=1.67, K_C=1$)
来自图7的 $EB^* = UB^* - UCOM$

图 9d



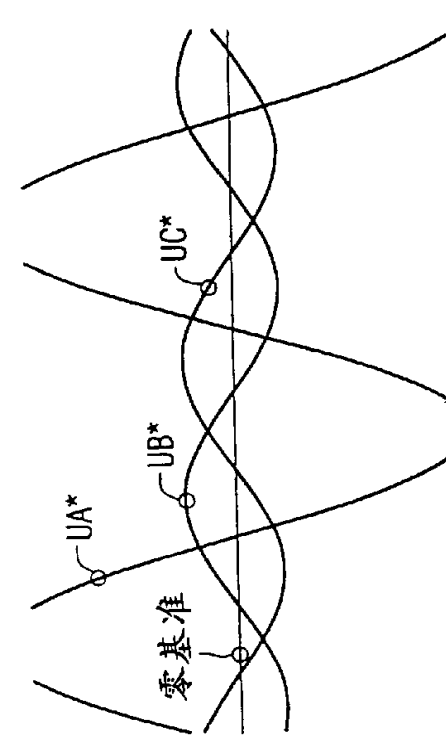
在单元B4和B5被旁路时 ($K_A=1, K_B=1.67, K_C=1$)
来自图7的正弦电压指令

图 9a



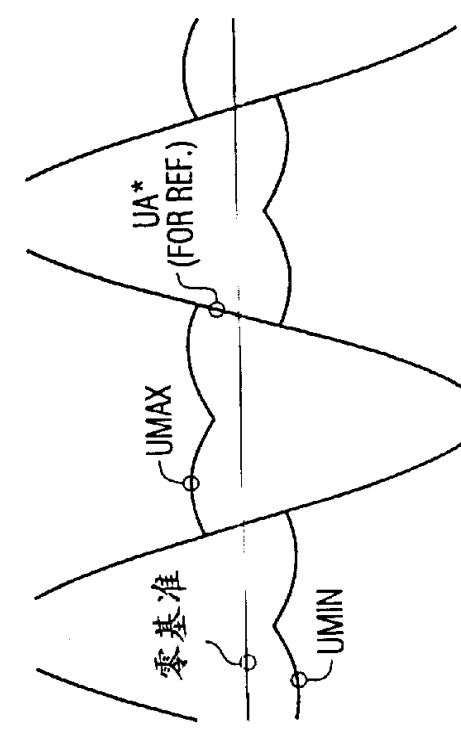
在单元B4和B5被旁路时 ($K_A=1, K_B=1.67, K_C=1$)
来自图7的 $UMAX$ 和 $UMIN$

图 9b



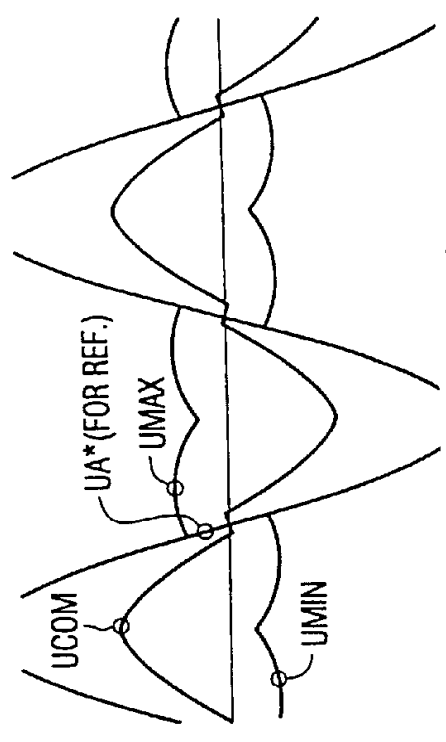
在单元A2, A3, A4和A5被旁路时
($K_A=5, K_B=1, K_C=1$)来自图7的正弦电压指令

图 10a



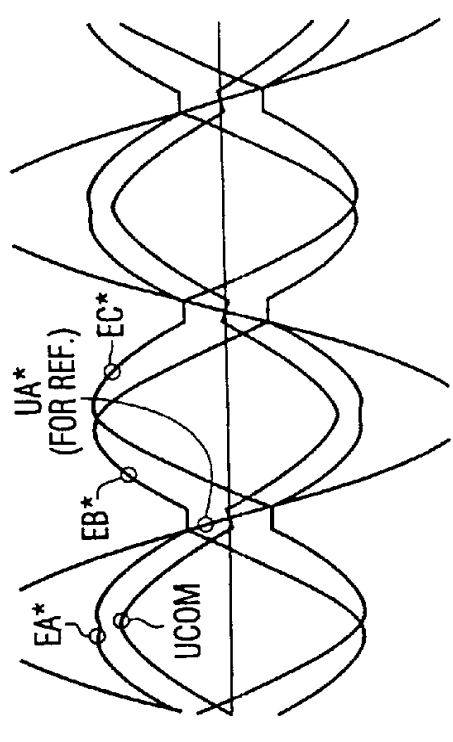
在单元A2, A3, A4和A5被旁路时 ($K_A=5, K_B=1, K_C=1$)
来自图7的UMAX和UMIN

图 10b



在单元A2, A3, A4和A5被旁路时 ($K_A=5, K_B=1, K_C=1$)来自图7的 $UCOM=(UMAX+UMIN)/2$

图 10c



在单元A2, A3, A4和A5被旁路时 ($K_A=5, K_B=1, K_C=1$)
来自图7的 $EA^*=UA^*-UCOM$

图 10d

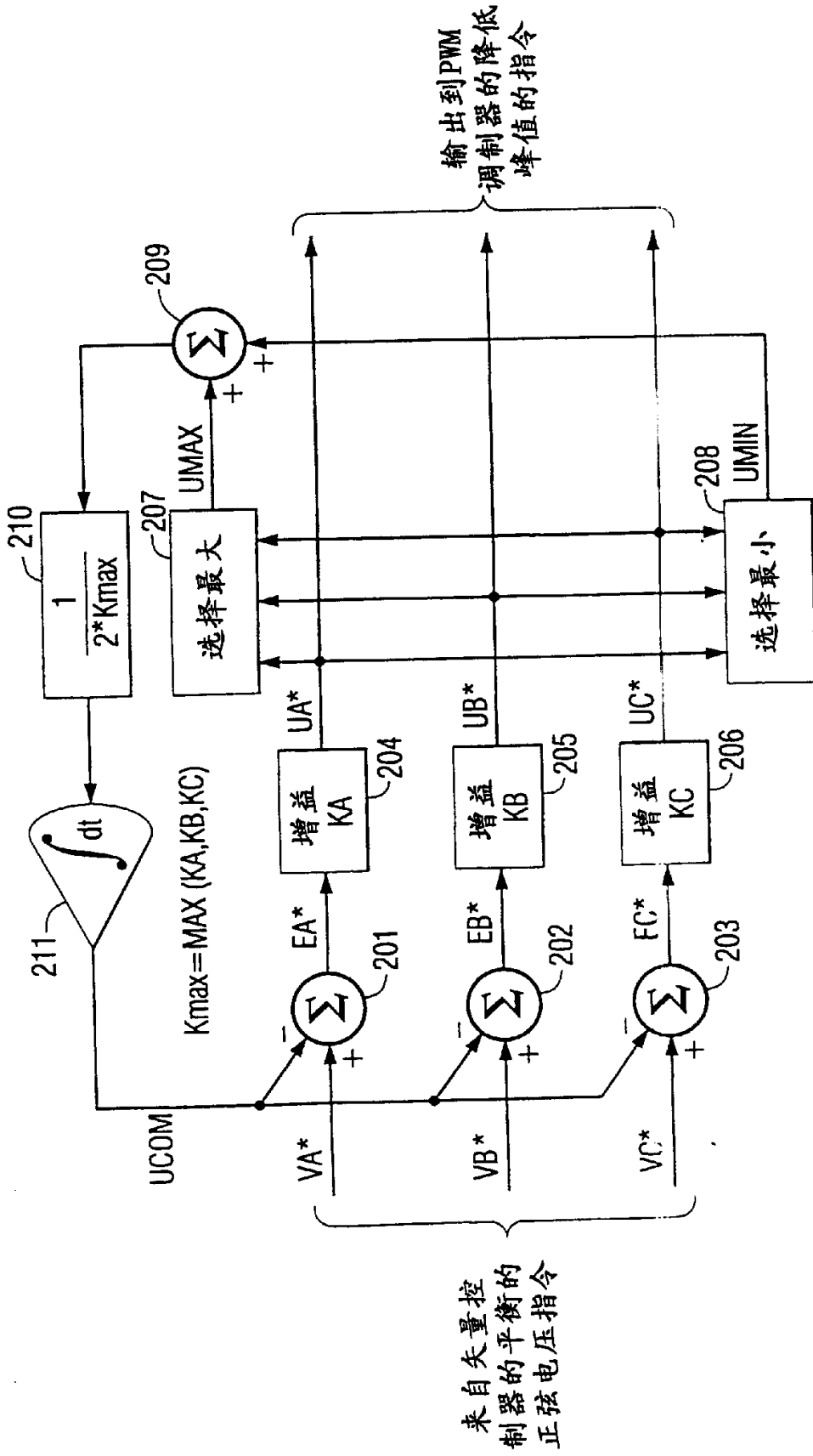


图 12

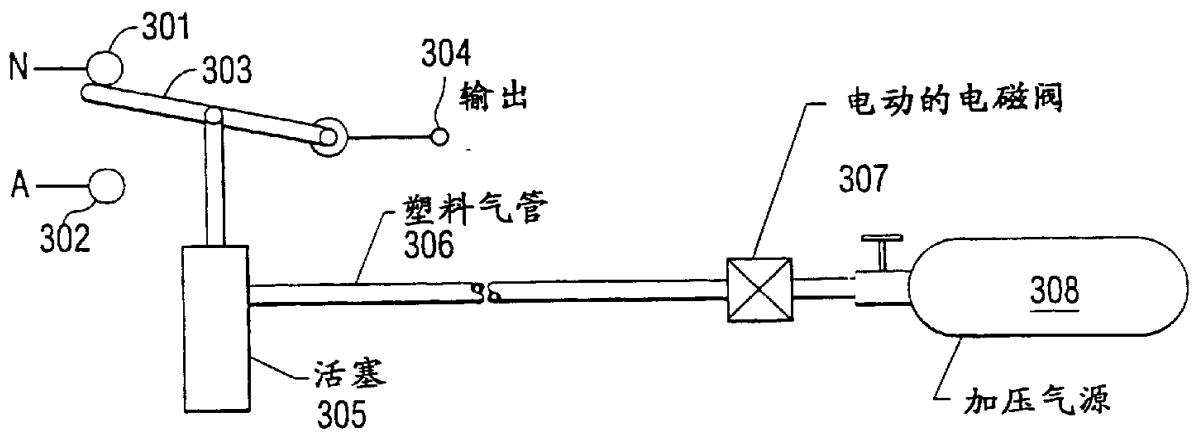


图 13

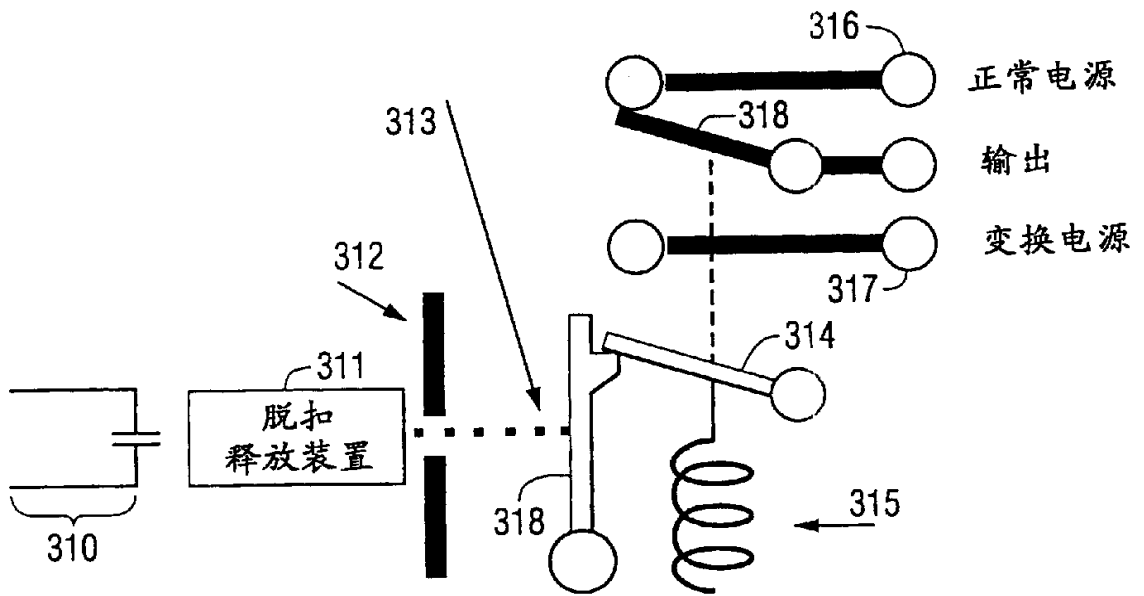


图 14

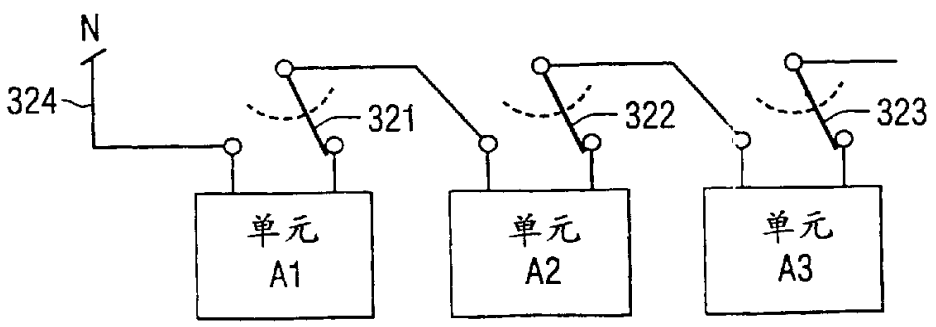


图 15