[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[7]
H02M 5/40

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95116777.4

[45]授权公告日 2000 年 11 月 15 日

[11]授权公告号 CN 1058587C

[22]申请日 1995.10.13 [24]颁证日 2000.8.12
[21]申请号 95116777.4
[30]优先权
[32]1994.10.13 [33]SE [31]9403486
[73]专利权人 瑞典通用电器勃朗勃威力公司
地址 瑞典韦斯特罗斯
[72]发明人 P·-E·比约隆德 T·扬森
L·-E·尤林
[56]参考文献
运用直流电的电力传输 1975. 1. 1 Erich Ulmann 著 Springer Verlag 出版社
审查员 陈钰生

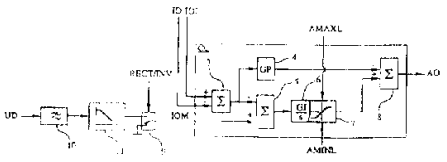
[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 董江雄 王忠忠

权利要求书 4 页 说明书 13 页 附图页数 4 页

[54]发明名称 传输高压直流装置的控制方法和设备

[57]摘要

传输高压直流电的装置包括第一和第二换流器，每个换流器受一独立的控制设 备的控制。每件控制设备包括电流控制器。第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值和电流裕量。第二换流器的控制设备包括函数形成部件，它根据 直流电压的所加测量值这样形成电流裕量，使得当直流电压超过第一预先选择 的电压值时，第一值被指定为电流裕量，和当直流电压低于第一电压值时，第 二值被指定为电流裕量，第二值的幅度大于第一值的幅度。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1.传输高压直流电的装置的一种控制方法，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器(分别为SR1，SR2)，二个换流器通过公共dc连线(L1，L2) 互相连接，每一换流器受一独立的控制设备(分别为CE1，CE2) 控制和每一换流器与一独立的交流电压网(分别为N1，N2) 相连，每一件控制设备包括电流控制器(CC)，其上加有对于dc连线中电流(Id) 的电流参考值(分别为IOL1，IOL2)，第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值(IOL1)，和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值(IOL2)，除此以外还加有电流裕量(IOM)，其特征在于：当在第二换流器的直流电压超过第一预先选择的电压值(Udf) 时第一值(IOMf) 被指定为电流裕量，和当所述直流电压低于第一电压值的幅度时，第二值(IOMs) 被指定为电流裕量、所述第二值的幅度大于第一值的幅度。

2.依照权利要求1的一种方法，其特征在于：当第二换流器的直流电压低于第一电压值但超过第二预先选择的电压值(Uds) 时，当所述直流电压从第一电压值变化至第二电压值时，电流裕量从其第一值单调地变化至其第二值。

3.依照权利要求1或2的一种方法，其中每件控制设备还包括限制部件(1)，其上加有对换流器为公共的电流指令值(IO)，根据在各换流器的直流电压(分别为Ud1，Ud2) 所加测量值(UD)，通过对电流指令值的限制分别表成第一和第二电流参考值，当所述直流电压小于第一限制电压(Udlim1) 时所述限制发挥作用，其特征在于：选择第一电压值高于限制部件的第一限制电压。

4.依照以上任一项权利要求的一种方法，其特征在于：电流裕量的第二值在幅度上大于电流指令值受限制的最小值(IOLmin)。

5.传输高压直流电的装置的一种控制装置，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器（分别为SR1，SR2），二个换流器通过公共dc连线（L1，L2）互相连接，每一换流器受一独立的控制设备（分别为CE1，CE2）控制和每一换流器与一独立的交流电压网（分别为N1，N2）相连，每一件控制设备包括电流控制器（CC），其上加有对于dc连线中电流（Id）的电流参考值（分别为IOL1，IOL2），第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值（IOL1），和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值（IOL2），除此以外还加有电流裕量（IOM），其特征在于：至少第二换流器的控制设备还包括函数形成部件（11），它根据在第二换流器的直流电压的所加测量值（UD），这样地形成电流裕量，当所述直流电压超过第一预先选择的电压值（Udf）时第一值（IOMf）被指定为电流裕量，和当所述直流电压低于第一电压值时第二值（IOMs）被指定为电流裕量，第二值的幅度大于第一值的幅度。

6.依照权利要求5的一种装置，其特征在于：当第二换流器的直流电压低于第一电压值但超过第二预先选择的电压值（Uds）时，该函数形成部件这样地形成电流裕量，使得当所述直流电压从第一电压值变化至第二电压值时电流裕量从其第一值单调地变化至其第二值。

7.依照权利要求5或6的一种装置，其中每件控制设备还包括限制部件（1），其上加有对换流器为公共的电流指令值（IO），根据在各换流器的直流电压（分别为Ud1，Ud2）的所加测量值（UD），通过对电流指令值的限制分别形成第一和第二电流参考值。当所述直流电压小于第一限制电压（Udlim1）时所述限制发挥作用，其特征在于：第一电压值高于限制部件的第一限制电压。

8.依照以上任一权利要求的一种装置，其特征在于：函数形成部件这样形成电流裕量的第二值，使得电流裕量的第二值在幅度上大于

限制部件限制电流指令值的最小值(IOLmin) 。

9.传输高压直流电的装置的一种控制方法，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器(分别为SR1，SR2) ，二个换流器通过公共dc连线(L1，L2) 相互连接，每一换流器受一独立的控制设备(分别为CE1，CE2) 控制和每一换流器与一独立的交流电压网(分别为N1，N2) 相连，每一件控制设备包括电流控制器(CC) ，其上加有对于dc连线中电流(Id) 的电流参考值(分别为IOL1，IOL2) ，第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值(IOL1) ，和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值(IOL2) ，除此以外还加有电流裕量(IOM) ，每件控制设备还包括限制部件(11) ，其上加有对换流器为公共的电流指令值(IO) ，根据加在各自换流器上的直流电压(分别为Ud1，Ud2) 的测量值(UD) ，通过对电流指令值的限制分别形成第一和第二电流参考值，当所述直流电压小于第一限制电压(Udlim1) 时所述限制发挥作用，其特征在于：当在第二换流器的直流电压超过第一预先选择的电压值(Udf) 时第一值(IOMf) 被指定为电流裕量，和所述直流电压低于第一电压值时，第二值(IOMs) 被指定为电流裕量，所述第二值的幅度大于第一值的幅度，和选择第一电压值高于限制部件的第一限制电压。

'10.传输高压直流电的装置的一种控制装置，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器(分别为SR1，SR2) ，二个换流器通过公共dc连线(L1，L2) 相互连接，每一换流器受一独立的控制设备(分别为CE1，CE2) 控制和每一换流器与一独立的交流电压网(分别为N1，N2) 相连，每一件控制设备包括电流控制器(CC) ，其上加有对于dc连接中电流(Id) 的电流参考值(分别为IOL1，IOL2) ，第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值(IOL1) ，和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值(IOL2) ，除此以外还加有电流裕量(

IOM)，每件控制设备还包括限制部件(11)，其上加有对换流器为公共的电流指令值(IO)，根据加在各自换流器上的直流电压(分别为Ud1，Ud2)的测量值(UD)，通过对电流指令值的限制分别形成第一和第二电流参考值，当所述直流电压小于第一限制电压(Udlim1)时所述限制发挥作用，其特征在于：至少第二换流器的控制设备还包括函数形成部件(11)，它根据在第二换流器的直流电压的所加测量值(UD)，这样地形成电流裕量，当所述直流电压超过第一预先选择的电压值(Udf)时第一值(IOMf)被指定为电流裕量，和当所述直流电压低于第一电压值时第二值(IOMs)被指定为电流裕量，所述第二值的幅度大于第一值的幅度，和第二电压值高于限制部件的第一限制电压。

说　明　书

传输高压直流装置
的控制方法和设备

本发明涉及传输高压直流电的装置的一种控制方法和实现该方法的一种装置。

在二个交流电压网之间传输高压直流电的装置包括二个换流器站和公共的 dc 连线，每个换流器在其 ac 侧与单独的其中一个交流电压网相连。dc 连线可以是以架空线和／或电缆的形式，也可以不用金属导线，而是由大地或水构成的一些部件。每个换流器站包括一换流器，通常至少一个换流器变压器，以将换流器连接至交流电压网以及并联滤波器，用于产生无功功率和滤去谐波。换流器通常为线换流（line-commutated）的电流源换流器，对此应理解在换流器开关装置（valve）之间电流换向借助于在交流电压网中发生的电压实现的，和从换流器角度看，dc 连线作为一强（stiff）电流源。

在正常运行时，其中一个换流器（下文称之为整流器）运行于整流方式，而另一个换流器（下文称为之逆变器）运行于逆变方式。各个换流器的控制设备产生与控制角 α 对应的控制信号，控制信号的触发脉冲加在换流器的开关装置上。为了使换流器损耗的无功功率减至最小，降低在换流器站中的元件上的应力（stress），若用最小可能的控制角 α 控制整流器，和用这样一个控制角控制逆变器，此控制角导致最小可能的熄灭角 γ（换流裕量），而又不影响受控制的运行，则是有益的。

因此，该装置的控制系统通常如此设计，考虑对于换流故障（commutating error），交流网络上电压变化和其他可能发生的从

正常运行的偏离要留有安全裕量，逆变器被控制在对于装置的运行条件适当的最大直流电压，而整流器被控制在电流控制。电流控制的电流参考值根据电流指令值（current order）形成，而电流指令值又根据功率指令值和主要（prevailing）值流电压以这样方式形成，使得直流电流和因而传输的有功功率保持在要求值。整流器的控制角在静态运行时选择为尽可能地小，同时要考虑对于为保持可靠运行所需要的最小允许的控制角，电流控制需要一定的控制裕量。

通常，整流器和逆变器的控制设备的相同方式设计，因而在整流器中电流控制器被启动，逆变器中用于控制旨在保持熄灭角在一预选的最小值，但不小于该最小值的控制设备被启动。达到这一点是通过将根据对整流器的电流指令值形成的电流参考值加至整流器和逆变器两者的电流控制器，而在逆变器的电流控制器上还加有其值不为零的电流裕量，电流裕量的符号使得该电流控制器努力减小由整流器控制的直流电流。整流器的电流裕量被给予等于零的值。对于整流器和逆变器的电流指令值和电流裕量通过远程通信线路协调。

在整流器的交流电压网中电压下降可能导致整流器不能保持指令的电流。当电流跌落的量正好对应逆变器的电流裕量时，逆变器接管电流控制，并将电流控制在等于电流指令值减去电流裕量的值。这样在 dc 连线中传输的有功功率也与电压下降和电流裕量的量有关地跌落。过渡过程通常也与电流瞬时减少大于电流裕量的值相联系。

为了一般地说明传输高压直流电的技术，参考 Erich Uhlmann 所著的《运用直流电的电力传输》中 125-140 页（Springer Verlag. Berlin Heidelberg New York 1975 年）。

为了克服在上述情况下传输功率的减小，已建议使用一电流控制器，当已确定逆变器已接管电流控制时，该电流控制器通过反馈控制电路将逆变器的电流参考值增加与电流裕量相对应的值。然而，这

引起控制设备的复杂化和往往难以调节控制器的动态运行情况。

这样，为了减小所传输功率的瞬变和损失。希望减小电流裕量。电流裕量通常已定为典型的 0.1 单位的值，其中由于整流器和逆变器之间电流指令值的协调的需要，这种协调已往往通过普通的电话通信实现。运用更快和自动运行的远程通信线路，电流裕量可以减小至典型的 0.02 单位幅度的数量级。这意味对逆变器的电流控制的不可避免的转变是以较小的电流减小和过渡过程中更小的瞬变被实现。

串联补偿的换流器站是指其换流器电桥通过串联电容，可能还通过中间变压器连接到各自的交流电压网。在串联补偿的换流器站中被传送到逆变器的电流控制的风险增加。这理由是在串联补偿换流器站中整流器可以正常地运行与交流电压网的电压的相位位置有关的额定控制角，这控制角小于非串联补偿的换流器站中整流器的控制角，典型的控制角约为 5°，而不是约为 15°。当整流器的电压作为控制角 α 的函数，基本上正比于 $\cos\alpha$ 时，对于串联补偿换流器站在额定控制角下直流电压将对控制角有更平坦的依赖关系，这需要减小电流裕量。

在整流器的交流器电压网的大电压减小，一般为大于 0.1 单位的情况下，例如由交流电压网故障引起的，或者假如这网络是弱的但当连接一大负载时，在整流器和逆变器的电流指令值之间的协调可能引起一些问题。换流器的控制设备通常包括根据在各自换流器的直流电压对电流指令值的限制，它这样设计，使得电流指令值随减小的直流电压被限制在随电压减小的一个值，和在更低电压值时限制在一常数值。在换流器的控制设备的电流控制器上加有这样限制的电流指令值作为电流参考值。然而，电流指令值在这限制之前通过整流器和逆变器之间远程通信线路协调。可能发生与上述大电压减小相联系的，对电流指令值的依赖于电压的限制成为有效的。然而，因为整流器的

直流电压尤其在故障的情况下可能明显地偏离逆变器的直流电压，对整流器和逆变器的电流指令值的分别限制可能使逆变器的电流控制器上所加的电流参考值大于在整流器的电流控制器上所加的电流参考值。假如这二电流参考值之间差超过电流裕量，那么逆变器的电流控制器倾向于增加电流，这只有通过进一步减小逆变器的直流电压才能发生。那么，在这样情况下逆变器的控制设备相对于逆变器的直流电压在针对其控制的方向相反的方向上努力，显然这种情况引起的风险随减小的电流裕量而增大。

如上所述，与整流器的交流电压网中电压减小相联系可能发生的现象也可能与逆变器的交流电压网中电压增加相联系地类似地发生。因为在 dc 传输中的故障，逆变器的交流电压网中电压增加可能在（尤其假如这网络是弱的）所传输的有功功率减小的情况中发生。

本发明的目的是提供序言中所说明的这种方法，这种方法容许与在正常运行时发生电压变化相联系的低电流裕量，和在大电压减小的情况下这种方法能确保逆变器的控制设备继续以所要求的方式运行，即努力增加电压至对装置的运行条件适当的最大电压。本发明的目的还在于提供采用这种方法的装置。

本发明提供了传输高压直流电的装置的一种控制方法，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器，二个换流器通过公共 dc 连线互相连接，每一换流器受一独立的控制设备控制和每一换流器与一独立的交流电压网相连，每一件控制设备包括电流控制器，其上加有对于 dc 连线中电流的电流参考值，第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值，和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值，除此以外还加有电流裕量，当在第二换流器的直流电压超过第一预先选择的电压值时第一值被指定为电流裕量，和当所述直流电压低于第一电压值的幅度时，第二值被指定为电流裕量、所述第二值的幅度大于

第一值的幅度。

本发明还提供了传输高压直流电的装置的一种控制方法，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器，二个换流器通过公共 dc 连线相互连接，每一换流器受一独立的控制设备控制和每一换流器与一独立的交流电压网相连，每一件控制设备包括电流控制器，其上加有对于 dc 连线中电流的电流参考值，第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值，和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值，除此以外还加有电流裕量，每件控制设备还包括限制部件，其上加有对换流器为公共的电流指令值，根据加在各自换流器上的直流电压的测量值，通过对电流指令值的限制分别形成第一和第二电流参考值，当所述直流电压小于第一限制电压时所述限制发挥作用，当在第二换流器的直流电压超过第一预先选择的电压值时第一值被指定为电流裕量，和所述直流电压低于第一电压值时，第二值被指定为电流裕量，所述第二值的幅度大于第一值的幅度，和选择第一电压值高于限制部件的第一限制电压。

本发明还提供了传输高压直流电的装置的一种控制装置，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器，二个换流器通过公共 dc 连线互相连接，每一换流器受一独立的控制设备控制和每一换流器与一独立的交流电压网相连，每一件控制设备包括电流控制器，其上加有对于 dc 连线中电流的电流参考值，第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值，和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值，除此以外还加有电流裕量，至少第二换流器的控制设备还包括函数形成部件，它根据在第二换流器的直流电压的所加测量值，这样地形成电流裕量，当所述直流电压超过第一预先选择的电压值时第一值被指定为电流裕量，和当所述直流电压低于第一电压值时第二值被指定为电流裕量，第二值的幅度大于第一值的幅度。

本发明还提供了传输高压直流电的装置的一种控制装置，该装置包括第一和第二串联补偿的换流器，二个换流器通过公共 dc 连线相互连接，每一换流器受一独立的控制设备控制和每一换流器与一独立的交流电压网相连，每一件控制设备包括电流控制器，其上加有对于 dc 连接中电流的电流参考值，第一换流器的电流控制器上加有第一电流参考值，和第二换流器的电流控制器上加有第二电流参考值，除此以外还加有电流裕量，每件控制设备还包括限制部件，其上加有对换流器为公共的电流指令值，根据加在各自换流器上的直流电压的测量值，通过对电流指令值的限制分别形成第一和第二电流参考值，当所述直流电压小于第一限制电压时所述限制发挥作用，至少第二换流器的控制设备还包括函数形成部件，它根据在第二换流器的直流电压的所加测量值，这样地形成电流裕量，当所述直流电压超过第一预先选择的电压值时第一值被指定为电流裕量，和当所述直流电压低于第一电压值时第二值被指定为电流裕量，所述第二值的幅度大于第一值的幅度，和第二电压值高于限制部件的第一限制电压。

本发明的优点在于：在正常运行时发生电压变化的情况下，该装置能以低电流裕量运行，在对逆变器的电流控制的不可避免的过渡时，这意味这些过渡的发生对运行的扰动很小和所传输功率的较低的减小，而同时在大电压减小情况下，一般为大于 0.1 单位，逆变器的控制设备继续以所要求的方式运行，即对于该装置的运行条件努力增加电压至适当的最大电压。

以下结合附图说明实施例，更详细地阐述本发明，附图如下：

图 1 示意性地图示具有串联补偿换流器站的传输高压直流电的装置，

图 2 以方块图形式表示依照图 1 的换流器站的控制设备的部件，

图 3 以方块图形式表示依照本发明的一个实施例中依照图 2 的

控制设备的电流控制器的一个实施例，

图 4 表示依照图 2 的控制设备中用于限制电流指令值的限制部件的已知种类的电压和电流参考值之间的关系，

图 5 表示与公共 dc 连线相连整流器和逆变器的已知种类的电流／电压特性曲线，

图 6 表示在本发明一个实施例中电压和电流裕量之间的关系，以及

图 7 表示与公共 dc 连线相连的整流器和逆变器的依照本发明一个实施例修改的电流／电压特性曲线。

以下说明既涉及本方法，又涉及本装置，因而附图既可看为信号流向图，又可看为装置方块图。

图 1 表示在二个三相交流电压网 N1 和 N2 之间传输高压直流电的一个装置，仅粗略地画出。

第一换流器 SR1 通过串联电容 SC1 和变压器 T1 与电网 N1 的交流电压端相连，和第二换流器 SR2 通过串联电容 SC2 和变压器 T2 与电网 N2 的交流电压端相连。每个变压器分别装备有抽头变换器 TC1，TC2，在图中用箭头标志。dc（直流）连线 L1，L2 使换流器 SR1 的直流电压端与换流器 SR2 的对应直流电压端相连。dc 连线的阻抗分别用 Z1，Z2 表示。用于产生无功功率和滤去谐波的并联滤波器（图中未示出）与各自的交流电压网相连。

为说明本实施例起见，假定在正常运行时有功功率以从换流器 SR1 至换流器 SR2 的方向被传输，即换流器 SR1 运行为整流器，而换流器 SR2 运行为逆变器。然而，二个换流器均适应于能以已知方式运行为整流器和逆变器。

整流器的直流电压 UD1 和逆变器的直流电压 UD2 分别由电压测量装置 UM1，UM2 测量，装置 UM1，UM2 分别传送测量值 UD1 和 UD2。

通过 dc 连线的电流 Id 分别由电流测量装置 IM1，IM2 测量，装置 IM1，IM2 分别传送测量值 ID1 和 ID2。交流电压网的各电压 Un1 和 Un2 分别由电压测装置 UMN1 和 UMN2 测量，装置 UMN1 和 UMN2 分别传送测量值 UN1 和 UN2。

每个换流器分别有一件控制设备 CE1，CE2，该装置运行参数的上述测量值送至控制设备 CE1，CE2，即整流器的控制设备上加有交流电压网电压，整流器直流电压和 dc 连线的直流电流的测量值，和逆变器的控制设备上的加有与逆变器有关的对应的测量值。此外，第二件控制设备上加有（其方式在图中没有表示，但本身众所周知）有关抽头变换器的位置的信息的输入信号和电力方向信号 RECT／INV，电力方向信号 RECT／INV 分别指示整流器运行和逆变器运行，和取决于该装置的操作人员请求的电力方向而决定。

整流器和逆变器的这二件控制设备根据所加至的测量值和输入信号，分别产生控制脉冲 CP1 和 CP2，用于控制在换流器中以已知方式安排的开关装置，并将控制脉冲 CP1 和 CP2 加至各个开关装置（下文简称开关）。

每件控制设备包括控制角单元 CAC，单元 CFC 和 CPG，控制角单元 CAC 形成控制角 α 的一个指令值，用于控制各自换流器的开关，这单元在下文还要详细说明；单元 CFC 以已知方式设计，用于根据控制角 α 的指令值决定各个开关的导通瞬间；单元 CPG 用于分别产生控制脉冲 CP1 和 CP2。以本身已众所周知的方式形成的 dc 连线中直流电流的参考值从电力控制单元 POC 加至控制角单元 CAC。控制角单元也可以加有来自其它（superordinate）控制系统的其它参考值（图中未示出），例如用于控制与交流电压网无功功率交换的参考值。

这二件控制设备以本身已众所周知的方式通过通讯线路 TL 相互通讯，双向传输有关换流器的运行参数的信息。

图 2 表示在本发明的一个实施例中依据图 1 的换流器站中一件控制设备的诸部件。这些控制设备通常对于整流器和逆变器是完全相同设计的，因而在以下图 2 和继后的图 3 中，为指示与整流器和逆变器有关的数字分别为下标 1 和 2 均不标明。

功率控制单元 POC 包括计算部件 IOCAL，用于计算 dc 连线中所传输有功功率的功率指令值 PO 和整流器中直流电压 Ud 的测量值 UD 之间的商作为电流指令值 IO。电流指令值送至限制部件 1，用于按照对该装置预先选择的关系，根据加至上述限制部件的直流电压 Ud 的测量值 UD 限制电流指令值。此后从限制部件 1 的输出信号 IOL 加至包含在控制角单元 CAC 中的电流控制器 CC，作为此控制器的电流参考值，因而整流器的电流控制器加有第一电流参考值 IOL1 和逆变器的电流控制器加有第二电流参考值 IOL2。

电流控制器的输出信号 AO。在限制部件 2 中产分别受到限制信号 AMAXL 和 AMINL 的作用，被限制其最大值和最小值，限制信号 AMAXL 和 AMINL 以某种本身已众所周知的方式形成并能受到影响。从限制部分 2 的输出信号 AOL 形成控制角 α 的指令值，并被送至单元 CFC，用于决定各自开关的导通瞬间。

图 3 表示电流控制器 CC 的一个实施例。加法器 3 形成直流电流 Id 的电流参考值 IOL 和这电流的测量值 ID 之间的差值作为输出信号。这差值被加至具有增益 FP 的比例放大部件 4 和加法器 5。加法器 5 上也加有整流器和逆变器之间预选的电流裕量 IOM，因而获得电流裕量和来自加法器 3 的输出信号之间差值作为输出信号。加法器 5 的输出信号加至积分时间常数为 1／GT 的积分部件 6。积分部件包含限制部件 7，它分别根据限制信号 AMAXL 和 AMINL 限制积分部件输出信号的最大值和最小值。来自比例放大部件 4 和来自积分部件受到限制部件 7 限制的输出信号被加至加法器 8，加法器 8 获得积分部件输

出信号和比例放大部件输出信号之间差值作为输出信号 AO。

对于整流器和逆变器的电流指令值 IO 通过远程通信线路 TL 进行协调。

借助受电力方向信号 RECT / INV 控制的选择器 9，电流裕量 IOM 对整流器设置等于零，而对逆变器设置为不同于零的值，并具有这样符号，使得逆变器的控制设备努力减小受整流器控制的直流电流。

这样，至此就逆变器而言，在静态运行时，当直流电流的测量值 ID2 至少几乎等于电流参考值 IOL2 时，积分部件 6 的输入信号由电流裕量组成，这意味其输出信号将接受由限制信号 AMAXL 限制其最大值。从比例放大部件 4 输出的信号在上述条件下等于零或接近零，因此由逆变器指令的控制角 α 的值由上述限制信号所决定。

图 4 表示在各自换流器的直流电压 Ud 测量值 UD 和限部件 1 输出信号 IOL 之间一种已知种类的关系，信号 IOL 即为换流器的电流控制器的电流参考值。在垂直轴上以每单位表示输出信号 IOL，在水平轴上也以每单位表示直流电压的测量值 UD。点 C 和 C' 对应于第一限制电压 Udlim1，对应测量值 UDlim1，而点 D 对应于第二限制电压 Udlim2，该电压小于第一限制电压，对应测量值 Udlim2。对于小于 Udlim2 的电压，其最大输出信号 IOL 等于电流指令值受限制的最小值 IOLmin。点 E 对应于零电压。对于超过第一限制电压 Udlim1 的电压，限制装置的输出信号 IOL 对应于加至限制部件的电流指令值 IO。当电压从第一限制电压减至第二限制电压时， 限制发挥作用，和限制部件的最大输出信号随该电压线性地减小，如分别由曲线段 C-D 和 C' - D 所示。曲线 B-C-D-E 对应等于 1.0 单位的电流指令值，曲线 B' - C' - D - E 对应等于 0.5 单位的电流指令值，和曲线 B' - D - E 对应等于 0.3 单位的电流指令值。在这实施例中，第一限制电压等于 0.6 单位和第二限制电压等于 0.1 单位，和电流指令值受限制的最小值

IOLmin 限制等于 0.3 单位。

图 5 表示参照图 1 说明的装置的一种已知种类的静态电流／电压特性。在垂直轴上以每单位表示各自换流器的直流电压，和在水平轴上也以每单位表示 dc 连线中直流电流 Id。曲线 A-B-C-D-E 表示整流器，即第一换流器 SR1 和曲线 F'－F-G-H-I-K-L 表示逆变器，即第二换流器 SR2。当电流指令值等于 1.0 单位时，F 成为该装置的运行点。逆变器的电流裕量 IOM 具有值 0.1，和构成图 5 中垂直曲线段 B-C-D-E 和 G-H-I-K 之间水平距离。逆变器的曲线段 F-G 有正的斜率，以达到对在工作点下附近的振荡的阻尼。曲线段 B-C-D-E 反映上述的在各自换流器的直流电压 Ud 和限制部件 1 的输出信号 IOL 之间的关系。

根据本发明，现在电流裕量根据在各自换流器中直流电压 Ud 形成的。直流电压的测量值 UD 加至具有低通特性的滤波器 10（图 3），其输出信号又加至函数形成部件 11。函数形成部件 11 的输出信号加至选择器 9，并当选择器受电力方向信号 RECT／INV 控制，将上述输出信号连接至逆变器的电流控制器中加法器 5 时形成电流裕量 IOM。函数形成部件 11 的输出信号依照如图 6 所示的为该装置预先选择的关系，根据测量值 UD 形成的。

图 6 表示与图 5 所示相同种类的静态电流／电压特性，但为了阐明本发明，图 6 没有表示限制部件 1 的介入。对于超过对应于逆变器特性曲线上 M 点的第一电压值 Udf 并直至对应于 G 点的电压值的电压，电流裕量接受第一值 IOMf，对应于曲线段 B-B' 和 G-M 之间的水平距离。对于小于第一电压值 Udf 但超过对应于逆变器特性曲线上 N 点的第二电压值 Uds 的电压，电流裕量随减小的电压而单调地增加至第二值 IOMS，以本实施例中为线性地增加至第二值 IOMS，对应于曲线段 B-B' 和 N-N' 之间水平距离，第二值 IOMS 的幅度大于第一值的幅

度。对于小于第二电压值的电压。电流裕量保持不变并等于第二值IOMS。在这实施例中第一电压值Udf等于0.8单位，而第二电压值Uds等于0.6单位。电流裕量的第一值IOMf等于0.02单位，而第二值IOMS等于0.4单位。

图7表示与图5所示相同种类的静态电流/电压特性，但具有限制部件1的介入和具有如参照图6所说明的随电压变化的电流裕量。图5中H点和图4中C点处于相同电压值，图5中H点和图6中N点在这实施例中处于相同电压。在流裕量对应于曲线段B-C-D-E和F-G-M-H,H-I'之间的水平距离。

优点在于如此选择电流裕量，使得其第二值在幅度上大于电流指令值IO受第一限制部件1限制的最小电流参考值IOLmin。尤其在dc传输故障之后重新开始供电时，这保证当整流器正增大直流电流时逆变器的控制设备将努力朝向最高的可能的直流电压，这意味可迅速达到指令的有功功率。在如上所示的实施例中，对于小于0.6单位的电压Ud，电流裕量已选择为0.4单位的值，它在幅度上大于最小限制值，等于0.3单位，限制部件1限制供给电流控制器的电流参考值IOL的最小限制值为0.3单位。

此外，优点在于选择函数形成部件11的第一电压值Udf要高于限制部件1的第一限制电压Udlim1。

图6中所示的电流裕量沿曲线段M-N具有正的斜率。这是本发明实施例的优点，当电压位于第一和第二电压值之间区域时，即Udf>Ud>Uds，导致从整流器至逆变器的电流控制的更平滑的不可避免的过渡。然而，为了达到本发明的主要目的，当电压小于预先选择值时增加电流裕量是足够的，例如当电压小于第一电压值，函数形成部件11形成等于0.4单位的电流裕量值。这在图6中对应于这种情况，与垂直轴平行的曲线段M-N在电压值为0.8单位处。

图 1 所示的装置包括串联补偿换流器站。然而，本发明要解决的问题也在非串联补偿的换流器站中发生，因此它也适用于这种装置。然而，在串联补偿换流器站中整流器运行在低额定控制角，和对逆变器的电流控制的跃变的风险远比对于非补偿换流器站来得大，因而本发明对于串联补偿换流器站尤为重要。

方块图中所示的限制部件和函数形成部件可以适用的部件设备为包括模拟和／或数字装置的模块，以供模块化，或被完全或部分地设计为借助硬件电路中模拟和／或数字技术的计算，或由微处理器中程序加以实现。

说　明　书　附　图

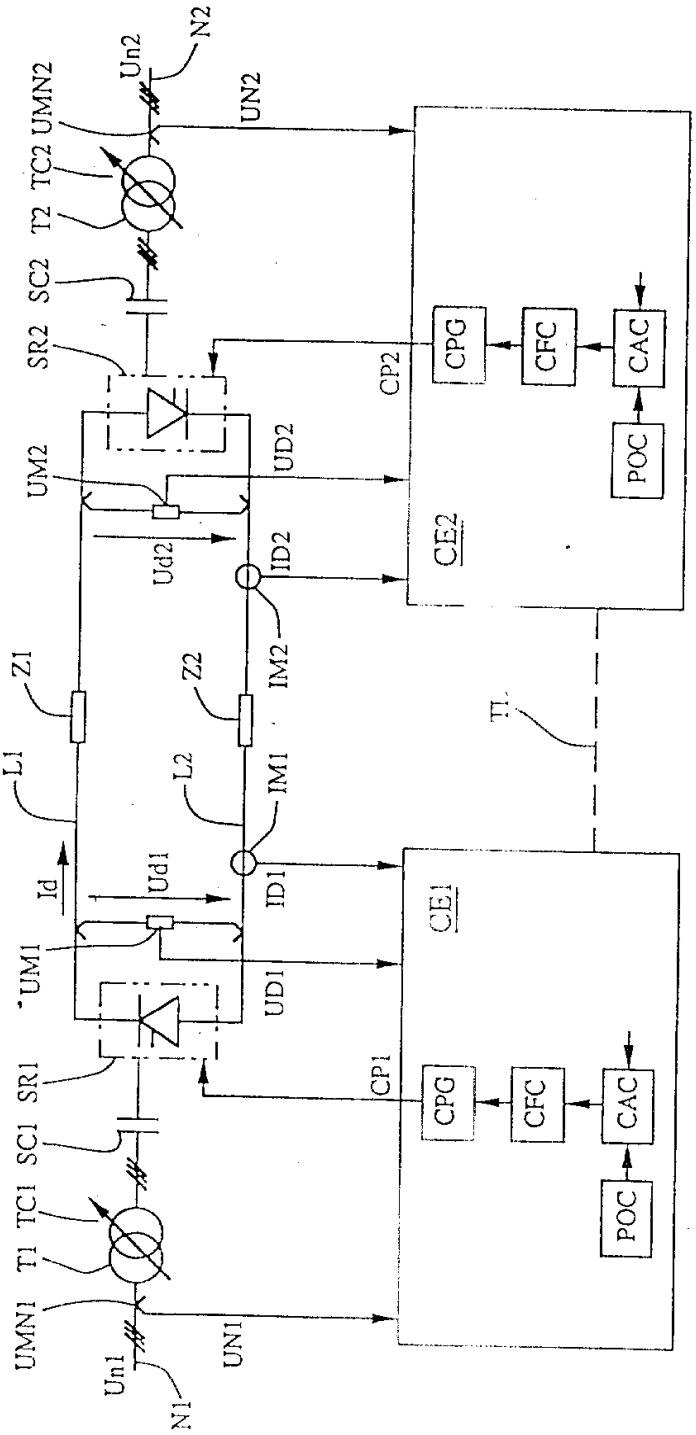

N2
Un2
UMN2
UN2
TC2
T2
SC2
SR2
CP2
CPG
CFC
CAC
POC
UM2
UD2
Ud2
ID2
CE2
IM2
Z1
Z2
T1
L1
L2
IM1
Id
Ud1
ID1
CE1
UM1
UD1
CP1
SR1
SC1
TC1
T1
UMN1
UN1
Un1
N1

图 1

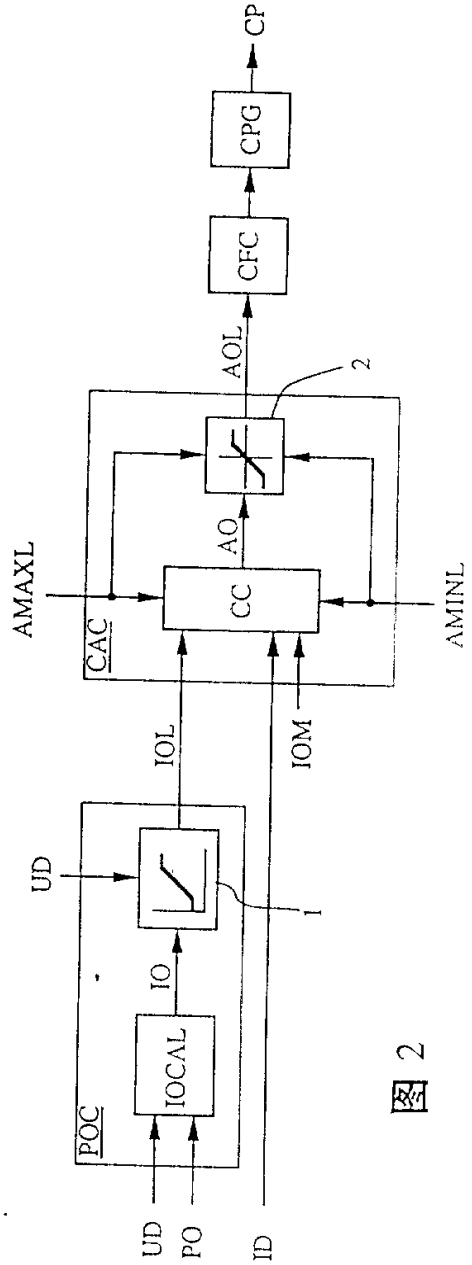

CP
CPG
CFC
AOL
2
AMAXL
CAC
CC
AO
AMINL
IOL
IOM
UD
1
IO
IOCAL
POC
UD
PO
ID

图 2

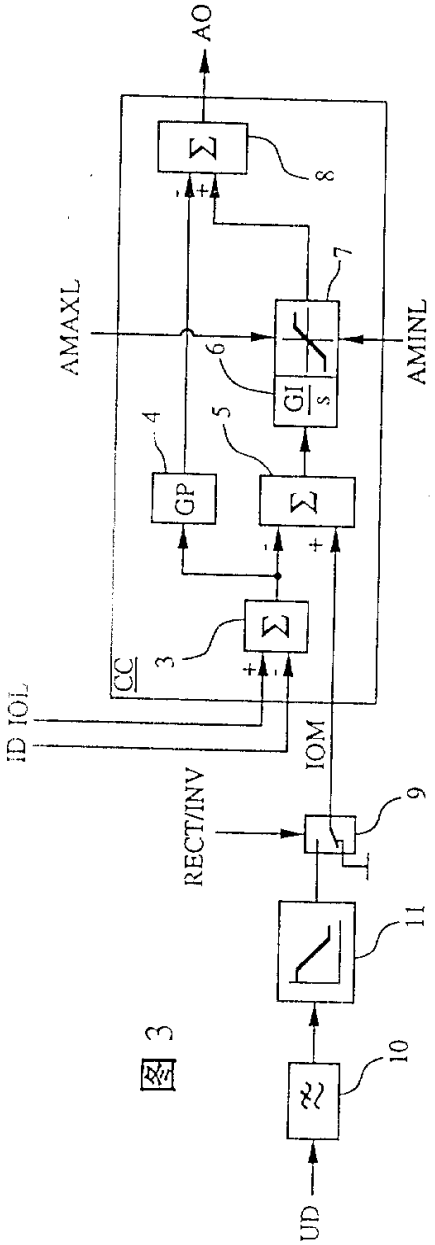

AO
8
AMAXL
7
6
GI/s
AMINL
4
5
GP
CC
3
ID IOL
IOM
RECT/INV
9
11
10
UD

图 3

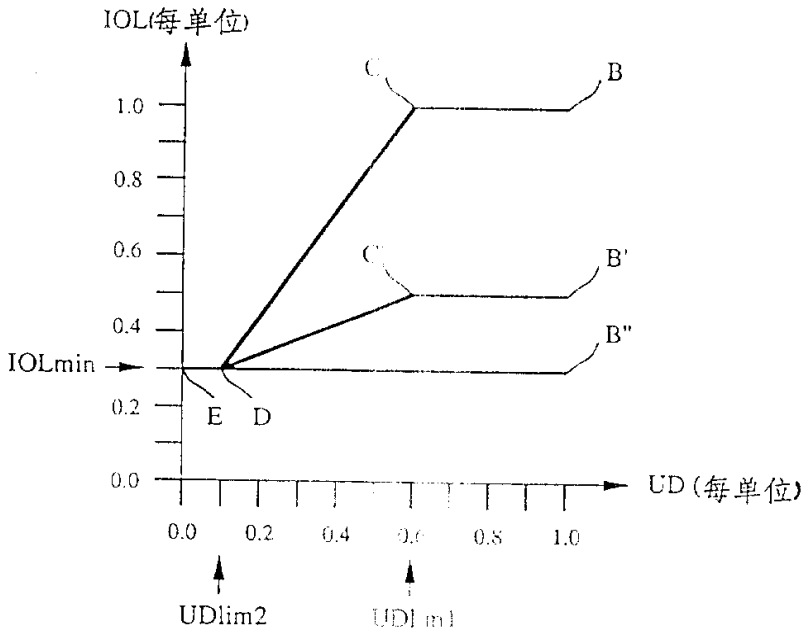

IOL(每单位)
1.0
0.8
0.6
0.4
IOLmin
0.2
0.0
C
B
C'
B'
B"
E
D
UD (每单位)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
UDlim2
UDlim1

图 4

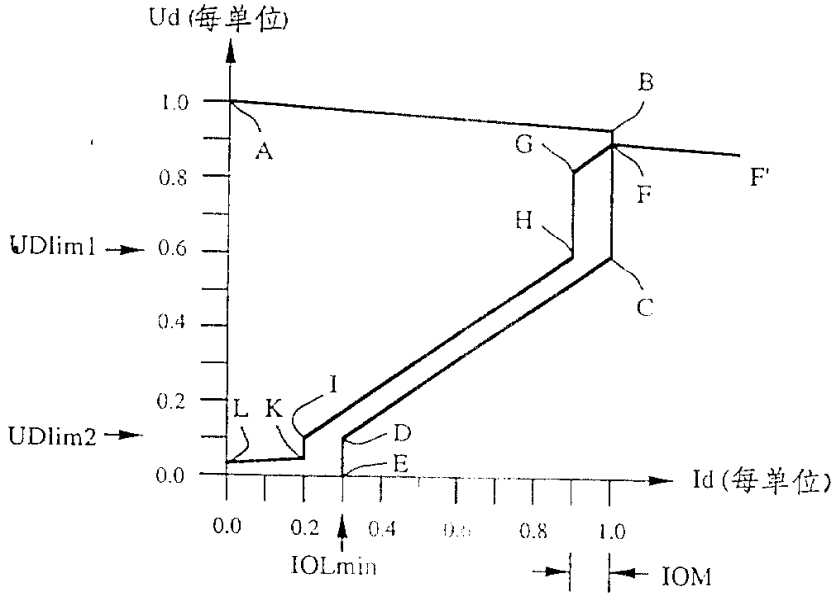

Ud (每单位)
1.0
0.8
UDlim1
0.6
0.4
0.2
UDlim2
0.0
A
B
G
F
F'
H
C
I
L
K
D
E
Id (每单位)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
IOLmin
IOM

图 5

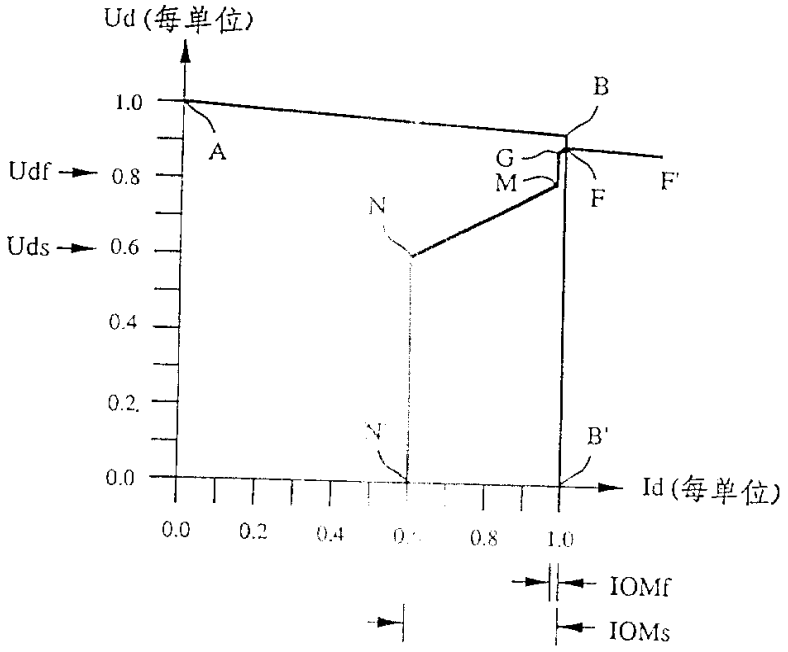

Ud (每单位)
1.0
Udf
0.8
Uds
0.6
0.4
0.2
0.0
A
B
G
M
F
F'
N
N
B'
Id (每单位)
0.0
0.2
0.4
0.8
1.0
IOMf
IOMs

图 6

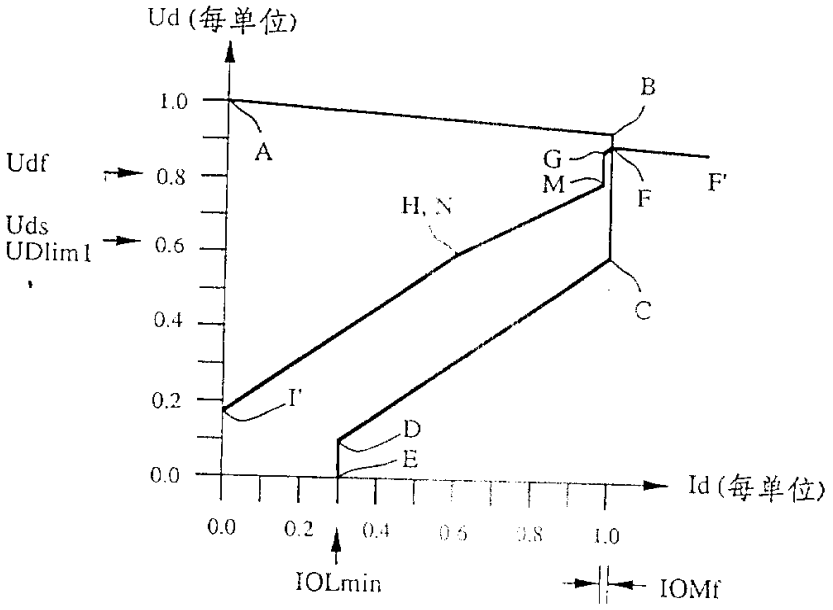

Ud (每单位)
1.0
Udf
0.8
Uds
UDlim I
0.6
0.4
0.2
0.0
A
B
G
M
F
F'
H, N
C
I'
D
E
Id (每单位)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
IOLmin
IOMf

图 7