

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H02J 3/18 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02152793.8

[45] 授权公告日 2007 年 6 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 1320719C

[22] 申请日 2002.11.28 [21] 申请号 02152793.8

[30] 优先权

[32] 2001.11.28 [33] SE [31] 0103985-8

[73] 专利权人 ABB 股份有限公司

地址 瑞典韦斯特罗斯

[72] 发明人 L·维尔纳松

[56] 参考文献

JP7-236230A 1995.9.5

EP0260504B1 1992.2.19

JP7-15875A 1995.1.17

EP0847612B1 2001.4.18

审查员 宋雪梅

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王岳 张志醒

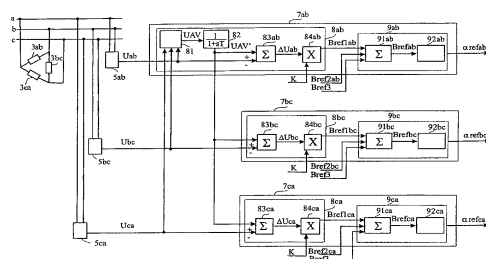
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 4 页

[54] 发明名称

用于补偿工业负载无功功率消耗的方法和装置

[57] 摘要

一种用于补偿负载无功功率消耗的装置包括用于可控无功功率消耗的第一补偿装置(3)和用于产生无功功率的第二补偿装置(4)，两个补偿装置都同负载并联到交流电网。第一补偿装置包括用于交流电网每一相的晶闸管控制电抗(31、32)。检测到的电压和电流幅值的测量值被提供给控制装置(7)。该控制装置包括用于形成作为检测到的电压幅值的平均值(UAV、UAV')的装置(81、82)，用于形成每个晶闸管控制电抗的作为电压平均值和与晶闸管控制电抗关联幅值的差值的幅值偏差(ΔU_{ab} 、 ΔU_{bc} 、 ΔU_{ca})的装置(83)，及用于根据各晶闸管控制电抗的幅值偏差为每个晶闸管控制电抗形成单独控制命令的装置(84、91、92)。



1. 一种用于补偿从三相(a、b、c)交流电网(1)供电的工业负载(2)的无功功率消耗的方法,其中用于可控无功功率消耗的第一补偿装置(3、3ab、3bc、3ca)和用于产生无功功率的第二补偿装置(4)都同负载并联连接到交流电网,第一补偿装置包括用于交流电网每一相的晶闸管控制电抗(31、32),通过上述结构确定负载的瞬时无功功率消耗,并根据该无功功率消耗形成一个用于晶闸管控制电抗的相角控制的控制命令,其特征在于,

对于每个晶闸管控制电抗,都检测电压的幅值,该电压表示所述电抗两端的电压,

作为所述幅值的平均值形成电压平均值,

对于每个晶闸管控制电抗,作为电压平均值和同晶闸管控制电抗关联的幅值的差值形成幅值偏差,及

对于每个晶闸管控制电抗,根据各晶闸管控制电抗的幅值偏差形成一个单独的控制命令。

2. 根据权利要求1的方法,特征在于所述晶闸管控制电抗是以三角形接法相互连接的。

3. 根据权利要求1或2的方法,特征在于各个控制命令还是根据负载的瞬时有功功率消耗形成的。

4. 根据权利要求1的方法,特征在于确定所述负载和第二补偿装置的全部无功功率消耗,并根据其形成各个控制命令。

5. 根据权利要求1的方法,特征在于所述工业负载是电弧炉或用于轧制金属材料的工厂。

6. 一种用于补偿从三相(a、b、c)交流电网(1)供电的工业负载(2)的无功功率消耗的装置,包括用于可控无功功率消耗的第一补偿装置(3、3ab、3bc、3ca)和用于产生无功功率的第二补偿装置(4),所述两个补偿装置都同负载并联到交流电网,第一补偿装置包括用于交流电网每一相的晶闸管控制电抗(31、32),对每个晶闸管控制电抗,用于检

测表示对应的电抗两端电压的电压幅值的电压测量装置(5、5ab、5bc、5ca)，以及用于检测负载的各相电流的电流测量装置(6)，被提供检测到的电压和电流幅值测量值的控制装置(7、7ab、7bc、7ca)，该控制装置包括用于确定负载瞬时无功功率消耗的装置(101)，及根据负载瞬时无功功率消耗形成一个用于晶闸管控制电抗相角控制的控制命令并提供该控制命令的控制装置(9)，特征在于该控制装置包括

用于形成作为所述电压幅值平均值的电压平均值的装置(81、82)，

用于为每个晶闸管控制电抗形成作为电压平均值和同晶闸管控制电抗关联幅值的差值的幅值偏差的装置(83ab、83bc、83ca)，及

用于根据各晶闸管控制电抗的幅值偏差为每个晶闸管控制电抗形成一个单独的控制命令的装置(84ab、84bc、84ca、91、91ab、91bc、91ca、92、92ab、92bc、92ca)。

7. 根据权利要求6的装置，特征在于晶闸管控制电抗是以三角形接法相互连接的。

8. 根据权利要求6或7的装置，特征在于控制装置包括用于确定负载瞬时有功功率消耗的装置(101)，及用于根据负载瞬时有功功率消耗形成各个控制命令的装置(102-105、91、91ab、91bc、91ca)。

9. 根据权利要求6的装置，特征在于它包括用于检测流到由负载和第二补偿装置构成的并联连接的电流的电流测量装置，而且控制装置包括用于确定负载和第二补偿装置共同消耗的无功功率的装置(101)，该控制装置根据该共同消耗的无功功率形成各个控制命令。

10. 根据权利要求6的装置，特征在于所述工业负载是电弧炉或用于轧制金属材料的设备。

用于补偿工业负载无功功率消耗的方法和装置

技术领域

本发明涉及一种用于补偿从三相交流电网供电的工业负载，优选地是电弧炉或轧制金属材料的工厂，消耗的无功功率的方法，其中用于可控无功功率消耗的第一补偿装置，包括用于该交流电网中每一相的晶闸管控制的电抗，以及用于产生无功功率的第二补偿设备都连接到该交流电网，与负载及执行该方法的装置并联。

该装置包括用于确定负载瞬时无功功率消耗，及根据该负载瞬时无功功率消耗形成用于晶闸管控制电抗的控制命令并提供该控制命令到晶闸管的控制装置。

背景技术

连接到交流电网的工业负载，尤其是电弧炉，以及例如轧钢机，最重要的是由于工作中变化很大的无功功率消耗影响着交流电网的电压。尤其是在电力照明由该交流电网供电的情况下，当功率消耗的变化位于典型的0-20Hz 频率间隔内时，相应的电压变化，即所谓的闪烁，是可见的而且会对人眼造成干扰。

关于上述类型的工业负载，公知得是将它与交流电网、用于补偿该负载无功功率消耗的静态补偿器并联，即旁路。这些补偿器的一种类型通常包括用于产生无功功率的装置及在本领域通称为晶闸管控制电抗（TCR）的用于可控无功功率消耗的装置。用于产生无功功率的装置通常包括一个或多个相互并联的滤波器，每一个滤波器基本上都包括一个同容性元件串联的电感元件。滤波器被调谐到交流电网额定频率的选定倍数，例如调整到三次、四次和五次谐波，有时甚至调谐到二次和七次谐波。用于可控无功功率消耗的装置包括一个电感元件、一个同可控半导体阀串联的电抗。该可控半导体电子管包括两个反并联的可控半导体，通常是晶闸管。通过对

半导体的相角控制，即，通过控制它们相对于交流电网电压相位的导通角，装置的电纳，及由此其无功功率消耗就可以得到控制。

关于对晶闸管控制电抗的总体描述，参考 Stockholm, 1990 年 6 月 Ake Ekstrom 所写的 High Power Electronics HVDC and SVC，尤其是参考 1-32 页到 1-33 页和 10-8 页到 10-12 页。

补偿器产生无功功率，该无功功率等于用于产生无功功率的装置产生、由晶闸管控制的电抗中的消耗而减少的无功功率。通过确定负载的瞬时无功功率消耗，然后将晶闸管控制的电抗的功率消耗控制在一个加上负载消耗后与由产生无功功率的装置产生的无功功率相对应的值，则负载与交流电网的无功功率交换为零。

欧洲专利说明书 EP 0 260 504 描述了一种用于补偿无功功率的电路，包括上述类型的一个补偿器和负载。此外，这种电路还包括一个自换向变换器，根据在控制部件中产生的控制信号被脉宽调制控制，并同负载和晶闸管控制电抗并联，连接到交流电网。该变换器向交流电网提供用于补偿由负载和晶闸管控制电抗消耗/产生的有功和无功功率的无功电流。在正交两相系统中，根据检测到的三相电流和三相电压，控制部件计算由负载和晶闸管控制电抗一起消耗/产生的有功和无功功率瞬时值。

在上述专利说明书中，说明交流电网中的电压变化基本上是由负载无功功率消耗中的变化确定的，而有功功率消耗对电压的影响可以忽略。因此，对变换器的控制信号只根据负载无功功率消耗中的变化形成。

在专利说明书 EP 0 260 504 中所使用的用于确定正交两相系统中负载瞬时有功和无功功率的方法对于控制晶闸管控制电抗也是适用的。但是，事实证明，利用上述专利说明书中所述的方法形成控制信号，要满足越来越严格的关于允许交流电网操作人员施加干扰的要求是很难的，而且在某些情况下是不可能的。

欧洲专利说明书 EP 0 847 612 描述了一种用于上述类型工业负载中无功功率补偿的装置。该装置包括用于可控无功功率消耗的晶闸管控制电抗形式的第一补偿装置，及利用电容性元件产生无功功率的第二补偿装置。在正交两相系统中，控制部件利用检测到的三相电流和三相电压计算负载

无功和有功功率消耗的瞬时值。该控制部件包括一个在对闪烁有关的频率范围内具有相位超前特征的信号处理部件，将一个对应于所述有功功率消耗的信号提供给该信号处理部件。用于第一补偿装置的控制命令是根据负载的无功功率消耗及来自信号处理部件的输出信号形成的。

考虑到费用，除其它特征外，期望能够将晶闸管控制电抗用于补偿在说明书介绍部分所提到的应用中的无功功率消耗，但是公认为还需要进一步提高它们对负载功率消耗中的变化进行快速补偿的能力。

发明内容

本发明的目的是提供一种在说明书介绍部分中描述的类型的方法，通过这种方法所谓闪烁的减少得到改善，还提供一种执行这种方法的装置。

根据本发明，该目的是通过以下措施实现的：对交流电网每一相，检测表示用于相应相的晶闸管控制电抗两端的电压的电压瞬时幅值；从所述幅值形成电压平均值；对于交流电网每一相，形成作为所述电压平均值和所述各瞬时幅值之间差值的幅值偏差；及根据对应晶闸管控制电抗的幅值偏差为各晶闸管控制电抗形成单独的控制命令。

从以下描述和权利要求，本发明有利的更多进步将变得清晰。

利用本发明，除其它方面外，相对于现有技术获得以下优点。根据现有技术，为了获得对无功功率消耗的测量，需要将在两个独立测量时刻获得的检测到的电流和电压测量值提供给控制装置。根据本发明，通过同样根据上述电压中的幅值偏差来形成控制命令，可以获得对晶闸管控制电抗电纳的影响，而无需以先前已知的方式等待确定电压变化对无功功率消耗的影响。此外，功率消耗的变化呈现显著的相位不平衡是所述类型工业负载，尤其在电弧炉情况下，的特征。因此，还是根据本发明，通过为每个晶闸管控制电抗形成属于相应相的单独控制命令，对交流电网的影响可以进一步减小。

附图说明

通过参考相应附图对实施例的描述，将对本发明进行更加具体的描

述, 其中:

附图 1A 示意性地示出了带工业负载的交流电网的单线图, 及根据本发明一种实施例的用于补偿负载无功功率消耗的一部分控制装置的方框图形式,

附图 1B 示意性地示出了带工业负载的交流电网的单线图, 及根据本发明另一种实施例的用于补偿负载无功功率消耗的一部分控制装置的方框图形式,

图 2 示出了根据图 1A 和 1B 的控制装置的一部分的实施例, 及

图 3 示出了根据图 1A 和 1B 的控制装置的一部分中的计算部件的一种已知实施例。

具体实施方式

以下描述涉及方法和装置。装置包括在附图中示为方框图的计算部件。该方框图既可以理解为信号流程图, 也可以理解为描述用于该装置的一部分控制装置的方框图。由该方框图中所示的一个块执行的功能可以在适当部件中利用模拟和/或数字技术来实现, 但最好是作为微处理器中的程序来执行。应当理解当图中所示的块在物理实施例中是指隔膜、滤波器、装置等等时, 它们应当理解为实现期望功能的装置, 尤其当功能是作为微处理器中的软件来实现的时候。相应地, 就象在本申请中可能的一样, 术语“信号”也可以解释为由计算机程序产生的值, 而且还可以只以这种形式出现。由于以下提到的这些功能可以由本领域技术人员以本身已知的方式实现, 所以对这些块只给出了功能性描述。

为了不给本领域的技术人员增加对他来说是不言自明的负担, 基本上用相同的标识表示补偿装置和负载中出现的量, 对应于上述量的提供给下述控制装置并在其中处理的量的测量值和信号/计算值也用同样的标识表示。在下面的描述中, 当描述的量或描述的部件表示各相中的每一相时, 量或部件由下标 xy 表示, 其中 xy 分别代表 ab、bc 和 ca。

图 1A 示出了带母线 11 的三相交流电网 1 的单线图。电弧炉形式的工业负载 2 通过变压器 12 连接到母线 11。用于可控无功功率消耗的第一补偿

装置 3 和用于产生无功功率的第二补偿装置 4 在母线 14 上同电弧炉并联。此外,通用负载 13 也连接到母线 11,该负载可以包括例如住宅或办公室中的照明网络。

对于交流电网三相中每一相,第一补偿装置包括晶闸管控制电抗,在附图中示为电抗 31,和与其串联的包括两个反并联晶闸管的可控半导体连接 32。补偿装置的电纳,及由此其无功功率的消耗都可以以一种本身已知的方式,通过晶闸管的相角控制,即通过控制它们相对于交流电网电压相位的导通角来进行控制。

第二补偿装置包括多个相互并联的滤波器,每个都以一种本身已知的方式调谐到与交流电网额定频率的某个倍数,即谐波,例如其三次、四次或五次谐波共振。为了清晰,附图中只示出了两个滤波器 41 和 42,但是应当理解第二补偿装置可以包括一个或多个这种类型的滤波器。每个滤波器基本上都包括同电容性元件串联的电感元件,这个电容性元件产生一定的无功功率。关于无功功率,电弧炉和所述补偿装置以这样一种方式来设计,即第二补偿装置至少在正常工作期间产生超过电弧炉无功功率消耗的功率,而第一补偿装置被控制来消耗一定的功率,该功率与同负载消耗相对应于第二补偿装置产生的无功功率。从变压器 12 看进去,母线 14 上的无功功率消耗等于零。如果滤波器中产生的无功功率不够,第二补偿装置还可以包括电容器组 43。

包括在第一补偿装置中的晶闸管控制电抗通常是以三角形接法相互连接的。出于这个原因,在以下描述中母线 14 上的电压表示为主电压。如果将交流电网的三相标识为 a、b 和 c,则在母线 14 中这三相的电压幅值,优选地是它们的均方根值,分别标识为 U_{ab} 、 U_{bc} 和 U_{ca} 。这些还表示各晶闸管控制电抗两端的电压的电压利用电压测量装置 5 以某种本身已知的方式进行检测。流到负载 2 的电流分别标识为 I_a 、 I_b 和 I_c ,并利用电流测量装置 6 以某种本身已知的方式进行检测。检测到的电流和电压值作为测量值提供给控制装置 7,它根据这些值形成提供给半导体连接 32 的控制命令 α_{refxy} 。

如上所述,对第一补偿装置的控制是通过控制其电纳,在此标识为 B,

来执行的。如果晶闸管的导通角 α 是相对于电抗两端的 ac 电压的过零相位定义的, 则对于 $\alpha = 90^\circ$ 获得最大值 (带负号) 电纳, 从而获得通过电抗的最大电流, 而对于 $\alpha = 180^\circ$ 获得最小电纳 (即等于零)。这样, 最大值电纳就等于 $B = -1/\omega L$, 其中 L 表示电抗的电感, 而 ω 是交流电网的角频率。

在电纳 B 和导通角 α 之间, 主要是以下众所周知的关系

$$B(\alpha) = -[2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] / \pi \omega L \quad (1)$$

应当理解控制装置 7 同交流电网中三相的每一相关联, 而且以下描述代表每一相。

以一种已知的方式, 控制装置 7 包括第一计算部件 8、第二计算部件 10、控制器 15 及包括求和部件 91 和函数形成部件 92 的控制部件 9。

求和部件 91 形成第一参考值 $Bref1xy$ 、第二参考值 $Bref2xy$ 和第三参考值 $Bref3xy$ 的电纳参考 $Brefxy$ 。

将电纳参考 $Brefxy$ 提供给函数形成部件 92 并根据公式 (1) 形成控制命令 $\alpha refxy$ 。借助于对无功功率消耗的控制命令 $\alpha refxy$ 对第一补偿装置进行控制, 该无功功率消耗同电弧炉的消耗一起平衡由第二补偿装置产生的功率。

图 2 示出了本发明的一种优选实施例。第一补偿装置包括用于交流电网三相中每一相的晶闸管控制电抗 3ab、3bc 和 3ca。该晶闸管控制电抗是以三角形接法进行连接的。

为了以一种将在下面更加具体描述的方式形成控制命令 $\alpha refab$, 控制装置 7ab 同晶闸管控制电抗 3ab 关联。控制装置 7ab 包括根据向其提供的值形成用于电纳参考的参考值 $Bref1ab$ 的计算部件 8ab 和根据该参考值形成控制命令 $\alpha refab$ 的控制部件 9ab。

计算部件 8ab 包括平均值形成部件 81、具有低通特征的滤波器部件 82、差值形成部件 83ab 和放大部件 84ab。如图所示, 滤波器部件 82 可以设计为例如具有简单的时间常量, 一般是大约 1 秒。

根据本发明的这种实施例, 用于电纳的第一参考值 $Bref1ab$ 是如下形成的。

上述负载电压的幅值 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 是分别利用电压测量装置 5ab、5bc、5ca 以某种已知的方式连续检测到的。将幅值 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 提供给平均值形成部件 81，根据该幅值形成计算电压平均值 U_{av} ，作为向其提供幅值的平均值。将部件 81 的输出信号 U_{av} 提供给滤波器部件 82，它形成作为输出信号的滤波后的电压平均值 U_{av}' 。

将滤波后的电压平均值 U_{av}' 和幅值 U_{ab} 提供给差值形成部件 83ab，形成向其提供的电压值的差值 ΔU_{ab} ，作为输出信号，该差值构成了电压平均值和幅值之间的幅度偏差。

将该幅度偏差和放大因数 K 提供给放大部件 84ab，作为输出信号，它形成作为向其提供的幅度偏差值和放大因子值之乘积的第一参考值 $Bref1ab$ 。

将第一参考值 $Bref1ab$ ，同第二参考值 $Bref2ab$ 和第三参考值 $Bref3ab$ 一起，提供给包括在控制部件 9ab 中的求和部件 91ab，作为输出信号，求和部件 91ab 形成作为向其提供的参考值之和的用于晶闸管控制电抗 3ab 的电纳参考 $Brefab$ 。将该电纳参考提供给包括在控制部件 9ab 中的函数形成部件 92ab，根据该电纳参考，由上面的表达式 (1) 形成用于晶闸管控制电抗 3ab 的控制命令 $\alpha refab$ 。

以一种对应的方式，控制装置 7bc 和 7ca 分别同晶闸管控制电抗 3bc 和 3ca 关联。这些控制装置同控制装置 7ab 是同一类型的，因此分别包括计算部件 8bc 和 8ca，及分别形成用于各晶闸管控制电抗 3bc 和 3ca 的控制命令 $\alpha refbc$ 和 $\alpha refca$ 的控制部件 9bc 和 9ca。

如果对带下标的信号和部件，将下标 ab 分别用下标 bc 和下标 ca 代替，那么以上关于控制装置 7ab 的描述对控制装置 7bc 和 7ca 也是有效的。但是，在本发明的这种实施例中，部分控制装置 7bc 和 7ca 不包括对应于上述平均值形成部件 81 和滤波器部件 82 的任何平均值形成部件或任何滤波器部件。如图所示，来自滤波器部件 82 的滤波后的电压平均值 U_{av}' 分别提供给差值形成部件 83bc 和 83ca。

对所有三个控制装置 7ab、7bc、7ca 都通用的常量 K 的值是根据在电网中负载连接点处交流电网短路功率 S_{sc} 的已知数据及根据用于第一补偿装

置的额定功率 Q_{TCR} 进行选择的。可以显示出理论上 K 的最优值是由关系 $K = S_{sc}/Q_{TCR}$ 给出的；但在实际中，为了确保稳定工作，有利地选择一个较小的值。

在图 1B 中示出的装置只在电流测量方面区别于上述和图 1A 中所示的装置。参考图 1A 描述的装置测量由工业负载消耗的电流。图 1B 所示的装置测量由工业负载和第二补偿装置共同消耗的电流。

用于第一补偿装置电纳的第二参考值 $Bref2xy$ 是根据工业负载，即在本实施例是电弧炉，的无功功率消耗以一种已知的方式形成的。如图 1 所示，电流和电压值是由电压测量装置 5 和电流测量装置 6 检测的，并提供给计算部件 10。计算部件 10 根据检测到的电压和电流，以一种已知的方式，根据以下用于从其相位由 a、b 和 c 标识的三相系统变换到其相位由 d 和 q 标识的正交两相系统的已知等式，形成有功和无功功率的计算值。

$$U_d + jU_q = \bar{U} = 2/3 [U_a + U_b * e^{j2\pi/3} + U_c * e^{-j2\pi/3}] \quad (2)$$

$$I_d + jI_q = \bar{I} = 2/3 [I_a + I_b * e^{j2\pi/3} + I_c * e^{-j2\pi/3}] \quad (3)$$

$$Q(t) = 3/2 \text{Im}[\bar{U} * \bar{I}^*] = -3/2 [U_a * I_q - U_q * I_d] \quad (4)$$

$$P(t) = 3/2 \text{Re}[\bar{U} * \bar{I}^*] = 3/2 [U_d * I_d + U_q * I_q] \quad (5)$$

其中 $\bar{I}^*$ 表示电流向量 $\bar{I}$ 的共轭，而 Re 和 Im 分别表示复数视在功率 $[\bar{U} * \bar{I}^*]$ 的实部和虚部。

在由晶闸管控制电抗消耗的功率 Q 及其电纳 B 之间，存在以下关系：

$$Q_r = -3/2 * B * |\bar{U}| \quad (6)$$

其中， $|\bar{U}|$ 标识电压向量 $\bar{U} = U_d + jU_q$ 的大小。

控制器 15 也以一种已知的方式根据检测到的工厂功率因数和参考值的差值形成第三参考值 $Bref3$ 。这个参考值 $Bref3$ 对每一相都是相等的。第二和第三参考值同第一参考值 $Bref1xy$ 一起提供给求和部件 91，求和部件 91 的输出信号 $Brefxy$ 构成用于第一补偿装置电纳的电纳参考。

如图 1A 所示，用于变压器、负载和补偿装置的功率因数 Pf 是以某种已知的方式利用在变压器 12 原边侧的测量部件 151 进行检测的，并提供给控制器 15。如上所述，该控制器根据功率因数的检测值和规定参考值 $Pfref$ 之间的比较结果形成第三参考值 $Bref3$ 。控制器 15 的目的是根据与电源提供者的协议，为所连接的装置保持平均功率因数。这个平均值通常是在 10

- 30 分钟的周期上规定的, 这样, 这个控制器就在比控制装置 7 的那些包括第一计算部件 10 和根据上面的本发明优选实施例的部件低得多的频率范围内有效。

本发明并不限于所示出的实施例; 毫无疑问, 本领域的技术人员可以在由权利要求定义的本发明范围之内以多种方式对其进行修改。这样, 例如, 可以将检测到的电压峰值或平均值提供给计算部件 81, 在这种情况下, 电压平均值是作为这些幅值的平均值形成的。此外, 本发明自然还可以应用到第一补偿装置包括星形接法晶闸管控制电抗的情况。

计算部件 10 还可以如图 3 所示来设计, 包括计算部件 101、具有带通特征的滤波器部件 102、两个加法器 103、104 及商形成部件 105。

在这种实施例中, 例如通过将检测到的电压和电流变换到如 EP 0 847 612 中所述的正交两相系统, 计算部件 101 以一种已知的方式计算电弧炉的瞬时有功功率消耗和电弧炉的瞬时无功功率消耗。将瞬时有功功率消耗的计算值提供给滤波器部件 102, 它的传递函数 $G(s)$ 使函数部件在对减少闪烁有效的频率间隔内有效。将该函数部件的输出信号和无功功率消耗的计算值提供给加法器 103, 加法器 103 根据这些值以一种已知的方式形成和 SQL。将和 SQL 及带相反符号、表示由第二补偿装置产生的无功功率的信号 SQF 提供给加法器 104。这样, 来自加法器 104 的输出信号 SQr 就包括所提供信号的差值, 并构成将由第一补偿装置消耗的无功功率的计算值。将输出信号 SQr 提供给商形成部件 105, 并以一种已知的方式形成第二参考值 $Bref2xy$ 。

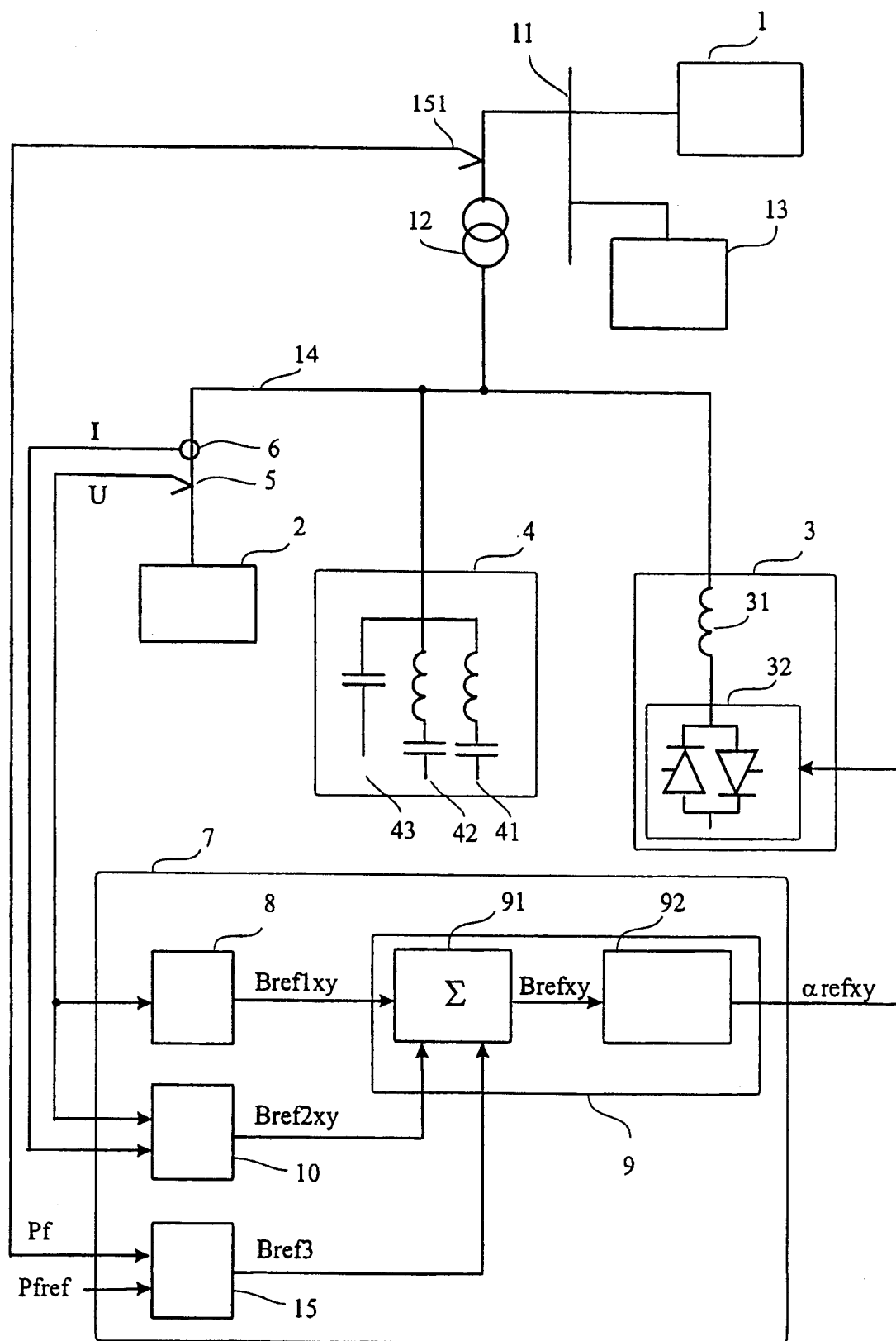


图 1A

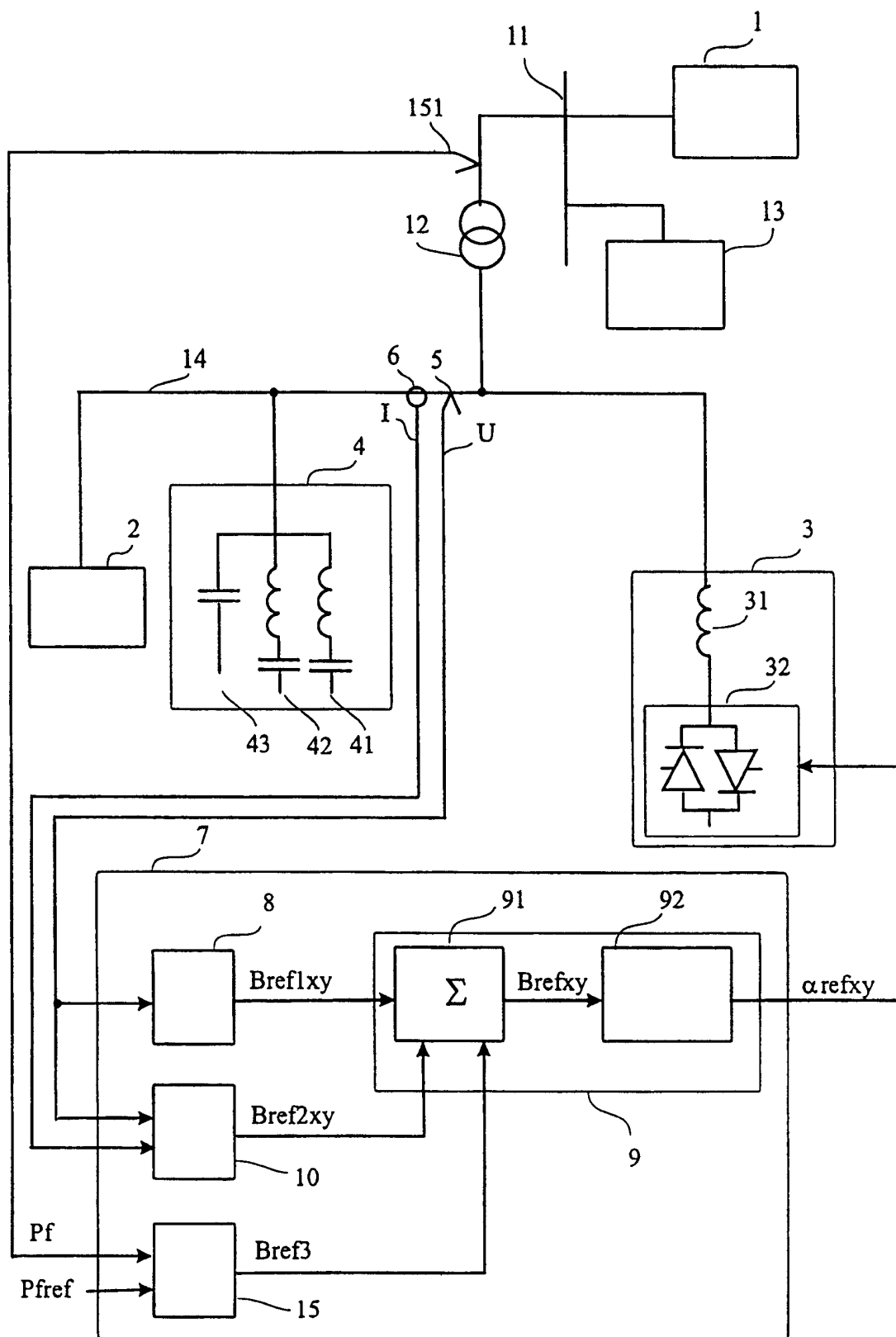


图 1B

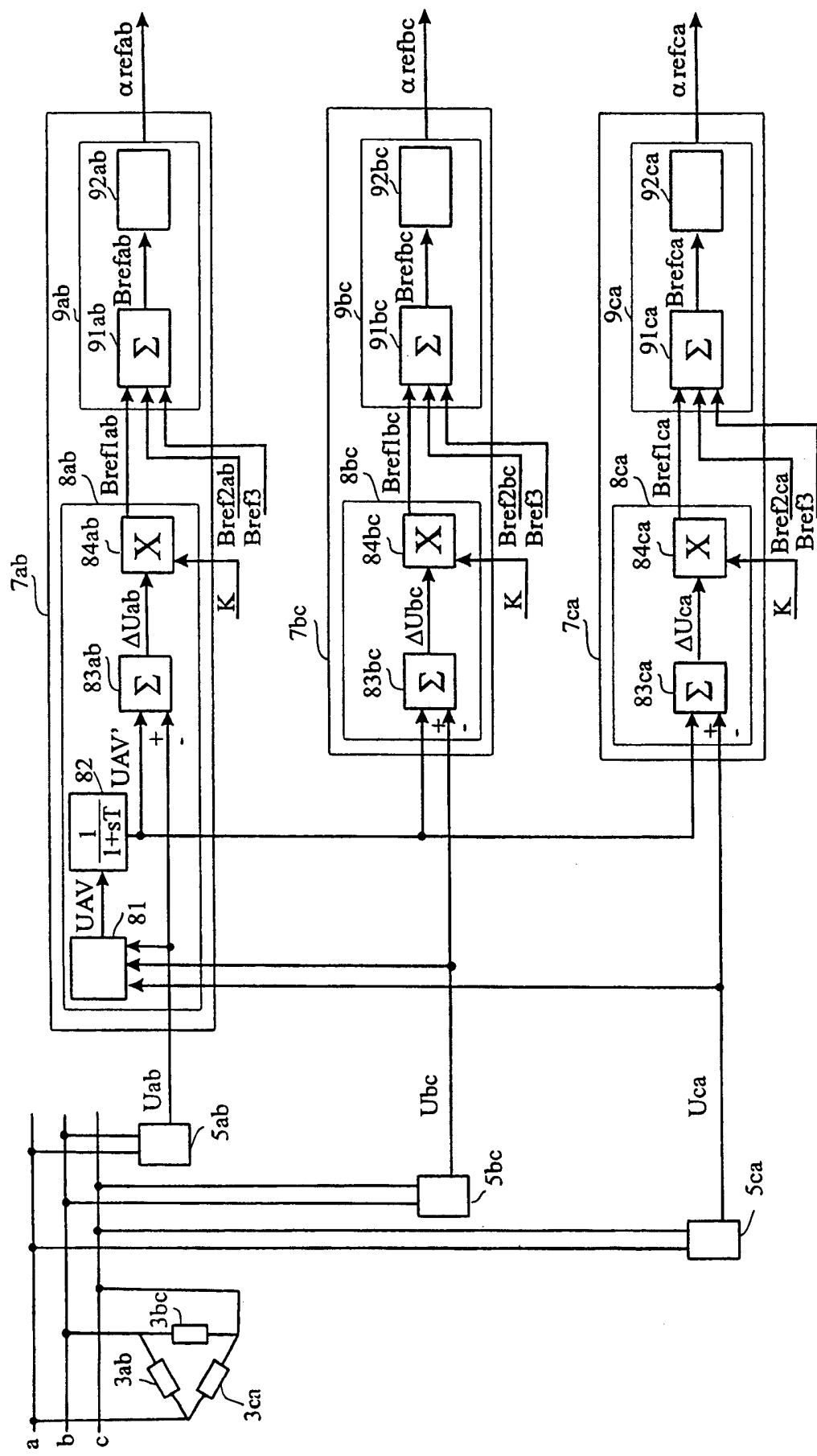


图 2

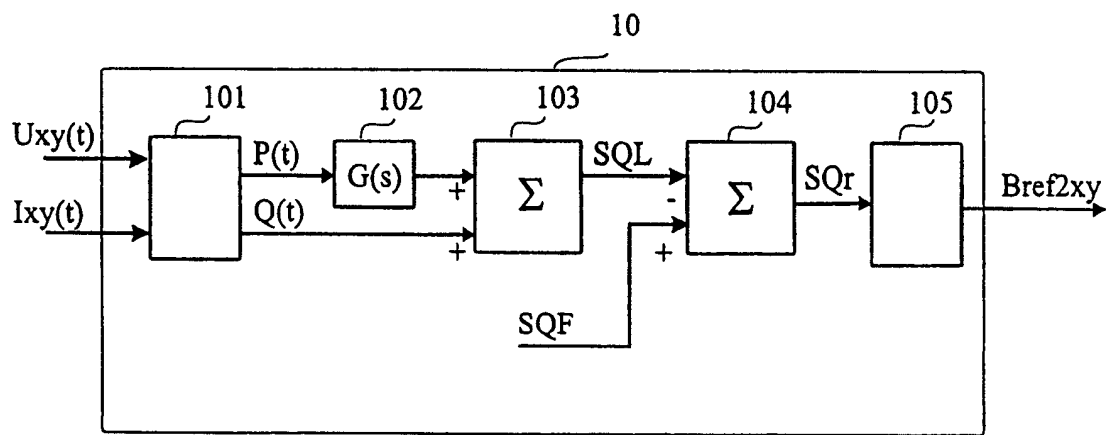


图 3