[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H04Q 7/30
H03F 1/32

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02150326.5

[45] 授权公告日 2005 年 8 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 1215727C

[22] 申请日 2002.11.4 [21] 申请号 02150326.5

[30] 优先权

[32] 2001.11.6 [33] JP [31] 340534/2001

[71] 专利权人 株式会社 NTT 都科摩

地址 日本东京

[72] 发明人 铃木恭宜 野岛俊雄

审查员 李 阳

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

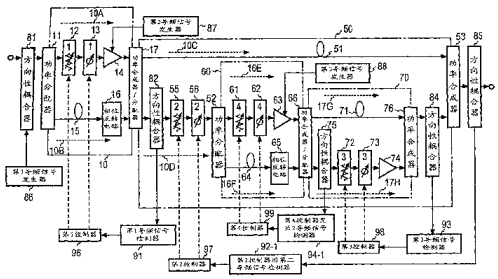
代理人 马 莹 邵亚丽

权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 7 页

[54] 发明名称 具有双重环路的前馈放大器

[57] 摘要

提供一种前馈放大器，具有将失真除去电路(50)的失真注入路径形成为第 1 辅助放大器用失真检测电路(60)和第 1 辅助放大器用失真除去电路(70)的前馈结构的双重环路，通过在失真检测电路(60)的前级插入第 2 可变衰减器(55)和第 2 可变相位器(56)，用方向性耦合器(85)检测向主放大器(14)的级间注入的第 2 导频信号，并由第 2 控制器(97)控制第 2 可变衰减器(55)和第 2 可变相位器(56)来使其电平达到最小，从而具有可同时实现失真除去电路和第 1 辅助放大器用失真检测电路的平衡的双重环路。



ISSN1008-4274

知识产权出版社出版

1.一种前馈放大器，包括：失真检测电路（10），该失真检测电路包括放大输入信号的主放大器（14），检测所述主放大器的非线性失真；以及

失真除去电路（50），该失真除去电路包括放大所述失真检测电路（10）检测出的失真分量的第1辅助放大器（63），通过将放大的失真分量再次注入到所述主放大器（14）的输出中来抵消失真分量；

所述失真除去电路（50）构成双重环路，具有：检测所述第1辅助放大器（63）的非线性失真的第1辅助放大器用失真检测电路（60）；以及具有放大由该第1辅助放大器用失真检测电路（60）检测出的失真分量的第2辅助放大器（74），并通过将放大的失真分量再次注入到所述第1辅助放大器（63）的输出中来进行第1辅助放大器（63）的失真分量的抵消的第1辅助放大器用失真除去电路（70）；

所述失真检测电路（10）包括插入到所述主放大器（14）的输入路径中的第1对可变衰减部件（12）和可变相位部件（13）；

所述失真除去电路（50）包括插入到所述第1辅助放大器用失真检测电路（60）的输入路径中的第2对可变衰减部件（55）和可变相位部件（56）；

所述第1辅助放大器用失真除去电路（70）包括插入到所述第2辅助放大器（74）的输入路径中的第3对可变衰减部件（72）和可变相位部件（73）；

所述第1辅助放大器用失真检测电路（60）包括第4对可变衰减部件（61）和可变相位部件（62）；

所述前馈放大器还包括：插入到所述失真检测电路（10）的输入路径中的第1导频信号注入部件（81，86），用于在其中注入第1导频信号；插入到所述第1辅助放大器用失真检测电路中的第1导频信号提取部件（82，91），用于提取所述第1导频信号；以及控制部件（96，97，98，99），控制所述第1对可变衰减器（12）和可变相位器（13）、所述第2对可变衰减器（55）和可变相位器（56）、所述第3对可变衰减器（72）和可变相位器（73）、以及所述第4对可变衰减器（61）和可变相位器（62），以控制所述失真检测电路（10）、所述失真除去电路（50）、所述第1辅助放大器用失真检测电路（60）、以及所述第1辅助放大器用失真除去电路（70）的平衡；

所述控制部件（96，97，98，99）控制所述第1对可变衰减器（12）和可变相位器（13），使得被所述第1导频信号提取部件（82，91）提取的所述

第1导频信号的电平在预先确定的第1基准值以下;

其特征在于,

所述第4对可变衰减器(61)和可变相位器(62)被插入到所述第1辅助放大器(63)的输入路径中;

所述控制部件(96,97,98,99)按照第1、第4、第3、第2对可变衰减器和可变相位器的顺序对它们进行控制。

2.如权利要求1的前馈放大器,其中,还包括向所述主放大器(14)的级间注入第2导频信号的第2导频信号注入部件(87)、以及插入到所述失真除去电路(50)的输出路径中并提取所述第2导频信号的第2导频信号提取部件(85,92-1,92-2);

所述控制部件(96,97,98,99)控制所述第2对可变衰减器(55)和可变相位器(56),使得被所述第2导频信号提取部件(85,92-1,92-2)提取的所述第2导频信号的电平在预先确定的第2基准值以下。

3.如权利要求2的前馈放大器,其中,还包括向所述第1辅助放大器(63)的级间注入第3导频信号的第3导频信号注入部件(88)、以及插入到所述第1辅助放大器用失真除去电路(70)的输出路径中并提取所述第3导频信号的第3导频信号提取部件(84,93);

所述控制部件(96,97,98,99)控制所述第3对可变衰减器(72)和可变相位器(73),使得被所述第3导频信号提取部件(84,93)提取的所述第3导频信号的电平在预先确定的第3基准值以下。

4.如权利要求1的前馈放大器,其中,还包括插入到所述第2辅助放大器(74)的输入路径中并提取所述第2导频信号的第2导频信号提取部件(75,94-1);

所述控制部件(96,97,98,99)控制所述第4对可变衰减器(61)和可变相位器(62),使得被所述第2导频信号提取部件(75,94-1)提取的所述第2导频信号的电平在预先确定的第2基准值以下。

5.如权利要求1的前馈放大器,其中,还包括插入到所述第1辅助放大器用失真检测电路(60)的输入路径中并注入第4导频信号的第4导频信号注入部件(83,89)、以及插入到所述第2辅助放大器(74)的输入路径中并提取所述第4导频信号的第4导频信号提取部件(75,94-2);

所述控制部件(96,97,98,99)控制所述第4对可变衰减器和可变相位器,使得被所述第4导频信号提取部件提取的所述第4导频信号的电平在

预先确定的第 4 基准值以下。

6.如权利要求 1 的前馈放大器，其中，还包括插入到所述失真除去电路（50）的输出路径中并从其中提取第 1 信号的第 1 信号提取部件（85）、以及对所述第 1 信号提取部件（85）提取的所述第 1 信号进行解调并生成第 1 校正信号的解调部件（100）;

所述控制部件（96，97，99）根据所述第 1 校正信号来控制所述第 2 对可变衰减器（55）和可变相位器（56）。

7.如权利要求 6 的前馈放大器，其中，还包括插入到所述第 1 辅助放大器用失真除去电路（70）的输出路径中并从其中提取第 2 信号的第 2 信号提取部件（84）、以及对所述第 2 信号提取部件（84）提取的所述第 2 信号进行解调并生成第 2 校正信号的解调部件（100）;

所述控制部件（96，98，99）根据所述第 2 校正信号来控制所述第 3 对可变衰减器（72）和可变相位器（73）。

8.如权利要求 1 至 7 任何一项的前馈放大器，其中，所述控制部件（96，97，98，99）包括：控制所述第 1 对可变衰减器（12）和可变相位器（13）的第 1 控制器（96）；控制所述第 2 对可变衰减器（55）和可变相位器（56）的第 2 控制器（97）；控制所述第 3 对可变衰减器（72）和可变相位器（73）的第 3 控制器（98）；以及控制所述第 4 对可变衰减器（61）和可变相位器（62）的第 4 控制器（99）。

9. 如权利要求 1 至 7 任何一项的前馈放大器，其中，所述控制部件（96，97，98，99）以分级方式交替对各对可变衰减器和可变相位器进行控制。

10. 如权利要求 8 的前馈放大器，其中，所述控制部件（96，97，98，99）以分级方式交替对各对可变衰减器和可变相位器进行控制。

具有双重环路的前馈放大器

技术领域

本发明涉及前馈放大器，主要用于高频带的线性放大器，该前馈放大器包括：检测主放大器的失真的失真检测电路；以及在使用第 1 辅助放大器放大该检测出的失真分量后，通过再次注入到主放大器的输出中来抵消失真分量的失真除去电路；失真除去电路具有由第 1 辅助放大器用失真检测电路和第 1 辅助放大器用失真除去电路构成的双重环路，第 1 辅助放大器用失真检测电路检测第 1 辅助放大器产生的失真分量，而第 1 辅助放大器用失真除去电路通过将第 1 辅助放大器产生的失真分量再次注入到第 1 辅助放大器的输出中来抵消失真分量。

背景技术

有用于移动通信无线基站的发送功率放大器的前馈放大器。前馈放大器基本上由两个信号抵消电路来构成。其中一个电路是由主放大器的信号传送路径和线性信号传送路径构成的的失真检测电路，另一个电路是由主信号传送路径和失真注入路径构成的失真除去电路。主放大器的信号传送路径由可变衰减器和可变相位器及主放大器构成。线性信号传送路径由延迟线和相位反转电路构成。主信号传送路径由延迟线构成。而失真注入路径由可变衰减器和可变相位器及辅助放大器构成。

前馈放大器的输入信号由功率分配电路分配给主放大器的信号传送路径和线性信号传送路径。前馈放大器的输出由合成主信号传送路径和失真注入路径的功率合成器来获得。通过这样构成的前馈放大器，由失真检测电路来检测主放大器产生的非线性失真分量，通过将该检测出的失真分量以相反相位、等振幅、等延迟注入到主放大器输出路径来除去该检测出的失真分量。

随着移动通信的迅速普及，需要小型、消耗功率低的基站用无线装置。基站无线装置由调制解调装置、发送功率放大器、天线等构成。就实现该基站用无线装置的小型化、低消耗功率化而言，发送功率放大器的低消耗功率化是有效的。为了实现发送功率放大器的低消耗功率化，需要前馈放大器的

高效率化。就前馈放大器的高效率化来说，需要主放大器及辅助放大器的高效率化。通过放大电路的高效率化，可以实现放大器整体的低消耗功率化。由此，可以使放大器的散热板小型化，其结果可以实现发送功率放大器的低消耗功率化和小型化。

主放大器的高效率化可通过B级偏置条件的推挽电路等的高效率放大电路来实现。一般地，如果在B级偏置条件下使放大电路的半导体放大元件工作，则与A级偏置条件相比线性差。但是，前馈放大器的主放大器中因采用B级偏置而生成的非线性失真分量可以由如上所述的现有的前馈放大器除去。

相反，为了提高插入在前馈放大器的失真注入路径中的辅助放大器的功率效率，一般需要以所谓的B级或C级偏置条件来使辅助放大器的半导体放大元件工作。但是，在上述的现有的前馈放大器结构中，不能除去由辅助放大器产生的非线性失真分量。因此，作为解决该问题的前馈放大器结构，有对辅助放大器的某个失真注入路径实现前馈化结构的方法。

具体地说，将辅助放大器看作主放大器，并将辅助放大器作为采用对于辅助放大器的失真检测电路和失真除去电路的失真注入路径。辅助放大器产生的非线性失真分量由辅助放大器用失真检测电路来检测，可以除去由辅助放大器用失真除去电路检测出的失真分量。由此，可以对辅助放大器的半导体放大元件使用A级偏置条件以外的可高效率放大的偏置条件。

图1表示日本专利公开2000-286645（对应美国专利No.6320461）中公开的现有的前馈放大器的方框图。图1的前馈放大器由检测主放大器14产生的失真分量的失真检测电路10、以及除去该检测出的失真分量的失真除去电路50构成。

失真检测电路10由主放大器14的信号传送路径10A和线性信号传送路径10B构成。输入到前馈放大器的输入端子8的输入信号通过功率分配器11分配给包括可变衰减器12、可变相位器13及主放大器14的主放大器用信号路径10A和由延迟线路15及相位反转电路16构成的线性信号传送路径10B。这两个路径10A、10B的输出由功率合成器/分配器17进行合成及分配。分配的信号被输入到构成失真除去电路50的主信号传送路径10C和失真注入路径10D。

主信号传送路径10C由延迟线路51构成。失真注入路径10D由第1辅

助放大器用失真检测电路60和第1辅助放大器用失真除去电路70构成，第1辅助放大器用失真检测电路60检测如上所述的第1辅助放大器63产生的失真分量，而第1辅助放大器用失真除去电路70通过相反相位、等振幅、等延迟来将第1辅助放大器用失真检测电路60检测出的失真分量注入到第1辅助放大器输出中。

第1辅助放大器用失真检测电路60由包括可变衰减器61和可变相位器62及第1辅助放大器63的第1辅助放大器用信号传送路径16E、以及包括延迟线路64和相位反转电路65的第1辅助放大器用线性信号传送路径16F构成。这两个路径16E、16F的输出由功率合成器/分配器66进行合成并分配。

第1辅助放大器用失真除去电路70由以延迟线路71构成的第1辅助放大器用主信号传送路径17G、以及包括可变衰减器72和可变相位器73及第2辅助放大器74的第1辅助放大器用失真注入路径17H构成。这两个路径17G、17H的输出由功率合成器76进行合成。失真除去电路50通过由功率合成器53对主信号传送路径10C和失真注入路径10D的输出进行功率合成来除去主放大器14产生的失真分量，而合成信号作为前馈放大器的输出提供给输出端子9。

将失真注入路径10D的辅助放大器进行前馈化的前馈放大器需要实现四个环路的各自的平衡。第1需要实现失真检测电路10的环路的平衡，第2需要实现第1辅助放大器用失真检测电路60的环路的平衡，第3需要实现第1辅助放大器用失真除去电路70的环路的平衡，第4需要实现失真除去电路50的环路的平衡。

需要分别控制各个环路的可变衰减器和可变相位器的组（12、31）、（61、62）、（72、73），使得上述四个各自的环路的放大器信号传送路径的输出信号和线性信号传送路径的输出信号成为等振幅、等延迟、相反相位，或是主信号传送路径的输出信号和失真注入路径的输出信号变成等振幅、等延迟、相反相位。一般地，前馈放大器的非线性失真改善量受这些可变衰减器和可变相位器的调整产生的环路平衡所左右。该调整等的精度披露于日本专利公告7-77330号公报‘前馈放大器的自动调整电路’。例如，为了获得30dB以上的失真压缩量的相位及振幅偏差分别在±2度以内及±0.3dB以内，对于失真检测电路10及失真除去电路50的传输特性的平衡度及调整的完全性来说，可以说需要严格的条件。实际上，完全保持失真检测电路10及失真除去电路50

的各自电路的平衡是不容易的。而且，即使假设初始设定是完全的，放大器的特性也因环境温度、电源等的变动而发生变化，因而非常难以使放大器的特性稳定而不随时间变化并维持良好的平衡。

例如，上述日本专利公告 7-77330 号公报披露了使用导频信号的自动调整方法作为高精度地保持该前馈放大器的失真检测电路和失真除去电路的完全平衡的方法，作为将其实用化的装置，已知有野島俊雄、楢橋祥一的'移動通信用超低歪多周共通増幅器…自己调整フィードフォワード増幅器(SAFF-A)…'(電子情報通信学会、無線通信システム研究会、RCS90-4、1990)。

在图 1 所示的现有的前馈放大器中，提高稳定化及失真补偿能力的前馈放大器披露于例如日本专利公开 2000-353923 公报。该前馈放大器在图 1 所示的现有的前馈放大器中，如图 2 所示，切换第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的可变衰减器 61 和可变相位器 62 及延迟线路 64，而且在第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的前级插入可变衰减器 55 和可变相位器 56，在前馈放大器的输出（功率合成器 53 的输出）中通过方向性耦合器来提取注入到主放大器 14 的级间的导频信号，用导频信号检测器检测该导频信号，由控制器 97 进行控制而使得该检测电平最小。

在图 1 中，第 1 辅助放大器 63 的输入侧的可变衰减器 61 和可变相位器 62 共有失真除去电路 50 和第 1 辅助放大器用失真检测电路 60。因此，存在即使由可变衰减器 61 和可变相位器 62 来实现第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的平衡也不能实现失真除去电路 50 的平衡的问题。此外，存在如果实现失真除去电路 50 的平衡，则不能实现第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的平衡的问题。

此外，图 2 所示的变形的前馈放大器在产生失真时控制器中的控制幅度使实际的失真幅度的第 1 辅助放大器 63 的放大率为 1，存在不能以高灵敏度进行稳定的控制的问题。

发明内容

本发明的目的在于提供容易进行具有形成前馈结构的辅助放大器的失真注入路径的平衡控制的前馈放大器。

本发明的具有双重环路的前馈放大器包括：失真检测电路 10，该失真检

测电路包括放大输入信号的主放大器 14，检测所述主放大器的非线性失真；以及

失真除去电路 50，该失真除去电路包括放大所述失真检测电路 10 检测出的失真分量的第 1 辅助放大器 63，通过将放大的失真分量再次注入到所述主放大器 14 的输出中来抵消失真分量；

所述失真除去电路 50 构成双重环路，具有：检测所述第 1 辅助放大器 63 的非线性失真的第 1 辅助放大器用失真检测电路 60；以及具有放大由该第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 检测出的失真分量的第 2 辅助放大器 74，并通过将放大的失真分量再次注入到所述第 1 辅助放大器 63 的输出中来进行第 1 辅助放大器 63 的失真分量的抵消的第 1 辅助放大器用失真除去电路（70）；

所述失真检测电路 10 包括插入到所述主放大器 14 的输入路径中的第 1 对可变衰减部件 12 和可变相位部件 13；

所述失真除去电路 50 包括插入到所述第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的输入路径中的第 2 对可变衰减部件 55 和可变相位部件 56；

所述第 1 辅助放大器用失真除去电路 70 包括插入到所述第 2 辅助放大器 74 的输入路径中的第 3 对可变衰减部件 72 和可变相位部件 73；

所述第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 包括第 4 对可变衰减部件 61 和可变相位部件 62；

所述前馈放大器还包括：插入到所述失真检测电路 10 的输入路径中的第 1 导频信号注入部件 81，86，用于在其中注入第 1 导频信号；插入到所述第 1 辅助放大器用失真检测电路中的第 1 导频信号提取部件 82，91，用于提取所述第 1 导频信号；以及控制部件 96，97，98，99，控制所述第 1 对可变衰减器 12 和可变相位器 13、所述第 2 对可变衰减器 55 和可变相位器 56、所述第 3 对可变衰减器 72 和可变相位器 73、以及所述第 4 对可变衰减器 61 和可变相位器 62，以控制所述失真检测电路 10、所述失真除去电路 50、所述第 1 辅助放大器用失真检测电路 60、以及所述第 1 辅助放大器用失真除去电路 70 的平衡；

所述控制部件 96，97，98，99 控制所述第 1 对可变衰减器 12 和可变相位器 13，使得被所述第 1 导频信号提取部件 82，91 提取的所述第 1 导频信号的电平在预先确定的第 1 基准值以下；

其特征在于，

所述第 4 对可变衰减器 61 和可变相位器 62 被插入到所述第 1 辅助放大

器 63 的输入路径中；

所述控制部件 96，97，98，99 按照第 1、第 4、第 3、第 2 对可变衰减器和可变相位器的顺序对它们进行控制。

根据本发明，在具有双重环路的前馈放大器中，通过插入在第 1 辅助放大器的输入路径中的可变衰减器和可变相位器来控制第 1 辅助放大器用失真检测电路的环路的平衡，通过插入到第 1 辅助放大器用失真检测电路的输入路径中的可变衰减器和可变相位器来控制失真除去电路的环路的平衡。由此，可以实现失真除去电路的平衡而不对第 1 辅助放大器用失真检测电路的平衡产生影响，可以补偿主放大器产生的失真分量和补偿第 1 辅助放大器产生的失真分量。

附图说明

图 1 是现有的前馈放大器的方框图。

图 2 是图 1 的前馈放大器的变形例的主要部分方框图。

图 3 是本发明第 1 实施例的前馈放大器的方框图。

图 4 是本发明第 2 实施例的前馈放大器的方框图。

图 5A 是说明可变衰减器的一般特性的图。

图 5B 是说明可变相位器的一般特性的图。

图 6 是说明可变衰减器和可变相位器的平衡控制的图。

图 7 是表示根据 IQ 解调输出来进行环路的平衡控制的结构的主要部分的方框图。

图 8A 是说明 IQ 解调的误差信号检测的图。

图 8B 是说明由误差信号生成的校正信号的图。

具体实施方式

图 3 以方框图来表示本发明的前馈放大器的实施例。本实施例的前馈放大器使用三个导频信号和四个控制部件。

图 3 的前馈放大器与图 1 的前馈放大器同样，包括失真检测电路 10 和失真除去电路 50，通过在失真注入路径 10D 上设置第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 和第 1 辅助放大器用失真除去电路 70 来消除失真除去电路 50 的第 1 辅助放大器 63 生成的失真，从而对第 1 辅助放大器 63 进行前馈化。失真检测电路 10 包括：将输入到前馈放大器输入端子 8 的输入信号分配给主放大器信号路径 10A 和线性信号传送路径 10B 的功率分配器 11；插入在主放大器信号路径 10A 中的第 1 可变衰减器 12 和第 1 可变相位器 13；主放大器 14；形成线性信号传送路径 10B 的延迟线路 15 和相位反转电路 16；将这两个路径 10A、10B 的输出进行功率合成，并分配给两路径的功率合成器/分配器 17。

功率合成器/分配器 17 分配的信号被输入到失真除去电路 50 中的构成主信号传送路径 10C 的延迟线路 51 和失真注入路径 10D。在本实施例中，在失真注入路径 10D 中插入方向性耦合器 82、第 2 可变衰减器 55、第 2 可变相位器 56、第 1 辅助放大器用失真检测电路 60、第 1 辅助放大器用失真除去电路 70、以及方向性耦合器 84。

第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 包括：将第 2 可变相位器 56 的输出分配给第 1 辅助放大器信号传送路径 16E 和第 1 辅助放大器用线性信号传送

路径 16F 的功率分配器 52；插入在第 1 辅助放大器信号传送路径 16E 中的第 4 可变衰减器 61；第 4 可变相位器 62；第 1 辅助放大器 63；构成第 1 辅助放大器用线性信号传送路径 16F 的延迟线路 64；相位反转电路 65；将这两个路径 16E、16F 的输出进行功率合成，并分配给两路径的功率合成器/分配器 66。

第 1 辅助放大器用失真除去电路 70 包括：由输入功率合成器/分配器 66 分配的一个信号的延迟线路 71 构成的第 1 辅助放大器主信号路径 17G；输入分配的另一个信号，由方向性耦合器 75、第 3 可变衰减器 72、第 3 可变相位器 73 构成的第 1 辅助放大器失真注入路径 17H；以及将这些路径 17G、17H 的输出进行功率合成，通过方向性耦合器 84 提供给功率合成器 53 的功率合成器 76。

作为调整各环路的平衡的部件，设有：产生第 1 导频信号的第 1 导频信号发生器 86；插入到功率分配器 11 的输入侧，注入第 1 导频信号的方向性耦合器 81；产生第 2 导频信号并注入到主放大器 14 的级间的第 2 导频信号发生器 87；以及产生第 3 导频信号，并注入到第 1 辅助放大器 63 的级间的第 3 导频信号发生器 88。

还设有：检测通过方向性耦合器 82 提取的第 1 导频信号的电平的第 1 导频信号检测器 91；以及输入该检测出的电平，以使该电平最小来控制第 1 可变衰减器 12 和第 1 可变相位器 13 的第 1 控制器 96。

而且，还设有：检测通过方向性耦合器 75 提取的第 2 导频信号的电平的第 4 控制器用第 2 导频信号检测器 94-1；以及以使该检测出的电平最小来控制第 4 可变衰减器 61 和第 4 可变相位器 62 的第 4 控制器 99。此外，还设有：检测通过方向性耦合器 84 提取的第 3 导频信号的电平的第 3 导频信号检测器 93；以及以使该检测出的电平最小来控制第 3 可变衰减器和第 3 可变相位器的第 3 控制器 98。而且，还设有：检测通过方向性耦合器 85 提取的第 2 导频信号的电平的第 2 控制器用第 2 导频信号检测器 92-1；以及以使该检测出的电平最小来控制第 2 可变衰减器 55 和第 2 可变相位器 56 的第 2 控制器 97。

于是，根据本发明，在失真除去电路 50 的失真注入路径 10D 的第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的输入路径中串联地插入可变衰减器 55 和可变相位器 56，所以通过控制它们，可以进行失真除去电路 50 的环路的平衡控制，而不对第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的环路的平衡产生影响。而且，第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的环路的平衡调整通过插入到第 1 辅助放

大器 63 和同样插入到信号传送路径 16E 中的第 4 可变衰减器 61 和第 4 可变相位器 62 来进行，所以不需要图 2 情况下的可变衰减器 61 和可变相位器 62 所要求的那样大的可变范围。

图 3 实施例的前馈放大器使用三个导频信号，来实现失真检测电路 10、第 1 辅助放大器用失真检测电路 60、第 1 辅助放大器用失真除去电路 70、失真除去电路 50 的平衡。即，失真检测电路 10 的环路的平衡使用第 1 导频信号通过第 1 可变衰减器 12 和第 1 可变相位器 13 来实现，第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的环路的平衡使用第 2 导频信号通过第 4 可变衰减器 61 和第 4 可变相位器 62 来实现。失真除去电路 50 的环路的平衡在实现第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的环路的平衡后，使用第 2 导频信号通过第 2 可变衰减器 55 和第 2 可变相位器 56 来实现。第 1 辅助放大器用失真除去电路 70 的环路的平衡使用第 3 导频信号通过第 3 可变衰减器 72 和第 3 可变相位器 73 来实现。由此，实现失真除去电路和第 1 辅助放大器用失真检测电路的各自环路的平衡。在第 1 辅助放大器用失真除去电路 70 中，对注入到信号合成器 53 中的失真消除信号的振幅和相位产生影响的原因被认为仅是延迟线路 71，所以第 3 可变衰减器 72 和第 3 可变相位器 73 的调整相对于其他环路的平衡调整在哪一级进行都可以。

图 4 表示本发明的第 2 实施例。图 4 的前馈放大器为使用四个导频信号和四个控制部件的结构。与图 3 的实施例不同的方面在于，在图 3 中第 2 导频信号共用于第 2 可变衰减器 55 和第 2 可变相位器 56 的调整、以及第 4 可变衰减器 61 和第 4 可变相位器 62 的调整，而在图 4 中产生专用的第 4 导频信号来用于第 4 可变衰减器 61 和第 4 可变相位器 62 的调整，并注入到第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的输入侧。

即，在图 4 的前馈放大器中，在第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的输入侧中，在失真注入路径 10D 中插入方向性耦合器 83，将第 4 导频信号发生器 89 产生的第 4 导频信号通过方向性耦合器 83 输入到第 1 辅助放大器用失真检测电路 60。此外，通过第 1 辅助放大器用失真除去电路 70 的方向性耦合器 75 来提取第 4 导频信号，由第 4 导频信号检测器 94-1 检测该第 4 导频信号的电平，根据检测出的电平，由第 4 控制器 99 控制第 4 可变衰减器 61 和第 4 可变相位器 62。其他的结构与图 3 的实施例相同，所以省略说明。

图 3 及图 4 的实施例中的可变衰减器及可变相位器如图 5A 及图 5B 所示，

一般具有随着控制电压 V_{Att}、V_{Ph}的增大衰减量及相位量单调增加的特性。对于这些可变衰减器和可变相位器的控制电压 V_{Att}、V_{Ph}和由导频信号检测器检测出的导频信号的电平 V_L 的关系如图 6 所示，如果在三个垂直坐标上表示 V_{Att}、V_{Ph}、V_L，则将与 V_L 轴平行的直线作为中心并将其表示在旋转大致近似于抛物线的曲线而形成的旋转面（以下，称为旋转抛物面）上。

在数字处理器的环路平衡控制中，例如将相位量控制电压 V_{Ph} 固定为任意的值，在由垂直于通过该值的 V_{Ph} 轴的平面来切断形成旋转抛物面的抛物线上，使衰减量控制电压 V_{Att} 向检测导频信号电平 V_L 减少的方向变化并固定，在由垂直于通过该固定值的 V_{Att} 轴的平面来切断形成旋转抛物面的抛物线上，使相位量控制电压 V_{Ph} 向检测导频信号电平 V_L 减少的方向变化，以下重复进行同样的步骤，在检测导频信号电平 V_L 变为基准值以下的时刻停止平衡控制。

在模拟控制电路的环路的平衡控制中，将发送信号中的失真分量为预先确定的设计值以下的检测导频信号电平作为基准电压 V_R，在控制电路中将检测导频信号电平 V_L 和基准电压 V_R 的电压差 V_L-V_R 分别作为衰减量控制电压 V_{Att} 及相位量控制电压 V_{Ph} 分别提供给可变衰减器和可变相位器以单独进行反馈控制，并固定为各个电压差 V_L-V_R 为 0 时刻的控制电压。

在从各导频信号检测出的电平为最小（或在基准值以下）的方面，可以共用控制算法，所以也可用时分进行各可变衰减器和各可变相位器的控制的一个控制器来实现图 3 和图 4 的实施例中的第 1~第 4 控制器。由此，可以将控制器共用化，可以削减控制器的消耗功率。就控制算法来说，可以采用以往实用化的扰动法、最小平方估计等自适应算法。一般地，前馈放大器的环路的平衡因电源电压的变动、装置温度的变化等而变动。其变动的时间率比较慢。因此，即使是收敛至最合适值所需要的时间的控制算法，也可以充分应对具有本发明的双重环路的前馈放大器的控制。

可以将分别被设定为不同频率的无调制波或调制波的各导频信号设定为同一频率、但各自扩频码不同，检测使用无调制波的导频信号的导频信号检测器由窄频带的电平检测器构成。例如，由限制检测信号的带通滤波器、以及由二极管等的电平检测器来构成。检测使用调制波的导频信号的导频信号检测器由将导频信号的频带变频为基带的变频器、以及对变频后的基带信号进行解调的解调器构成。与基于无调制波的导频信号相比，基于调制波的导

频信号对导频信号进行解调，所以可以采用对各种干扰、噪声等的均衡处理、差错校正处理等。因此，可以用更少的导频信号功率来实现各环路的平衡。检测使用扩频码的导频信号的导频信号检测器由将导频信号的频带变频为基带的变频器、对变频后的基带信号进行解扩处理的解扩器、以及对该信号进行解调的解调器构成。于是，本发明的前馈放大器的自动调整方法可应用于各种导频信号。有关可以采用本发明的前馈放大器的各种导频信号发生器及导频信号检测器，披露于例如美国专利No.6208204。

在上述图3及图4的实施例中，示出了在四个环路的平衡调整中分别使用导频信号的情况，但也可以不使用导频信号来进行环路的平衡调整。例如，也可以不使用第2和/或第3导频信号来调整失真除去电路（50和/或70）的环路的平衡。在图3及图4的实施例中，图7示出仅在不使用第2导频信号情况下的结构的主要部分。如图7所示，不设置图3及图4中的第2导频信号发生器87，而设置误差信号检测电路100来代替第2导频信号检测器92-2，第2控制器97根据检测出的误差信号来控制第2可变衰减器55和第2可变相位器56。

误差检测电路100在本例中例如由正交解调器101、输入其解调输出的I、Q信号的低通滤波器102、103、模拟数字变换器104、105、以及误差信号检测器106构成。

由方向性耦合器85提取包含失真分量的发送信号，并提供给正交调制器101。正交调制器101对发送信号和主放大器14的非线性特性产生的失真分量同时进行检波，输出I信号和Q信号。低通滤波器102、103从对模拟数字变换器104、105的输入信号分量中除去高次谐波分量。模拟数字变换器104、105对频带受限制的I信号及Q信号进行数字化。在本实施例中，示出了使用模拟数字变换器104、105来通过数字信号处理进行误差信号检测的例子，但在用模拟信号进行误差信号检测的情况下，不需要模拟数字变换器104、105。

误差信号检测器106判定包含非线性分量的发送信号，例如在发送信号是QPSK调制的信号的情况下，如图8A所示，将正确的发送信号点P_S和解调的信号点P_R之差作为表示发送信号中的失真分量的误差信号ES来检测，生成图8B所示的与该检测出的误差信号E_S方向相反而绝对值相等的矢量的校正信号C_S，将该校正信号C_S作为I、Q分量I（C_S）、Q（C_S）提供给控制

器97。控制器97对校正信号进行振幅/相位变换，并生成作为可变衰减器55的控制电压的振幅控制信号V_{Att}、以及作为可变相位器56的控制电压的相位控制信号V_{Ph}。在控制器97中，振幅控制信号V_{Att}通过作为误差信号检测器106的输出的I（C_S）信号及Q（C_S）信号的各自平方的和的平方根（I（C_S）^{2}+Q（C_S）^{2}））$^{1/2}$来求出。相位控制信号V_{Ph}从作为误差信号检测器106的输出的信号I（C_S）及Q（C_S）中通过$\tan^{-1}$（Q（C_S）I（C_S））来求出。

同样，如图7中括弧内所示的参考标号所示，在图3和图4中的第1辅助放大器用失真除去电路70中也不使用第3导频信号，而形成以下结构：由方向性耦合器84提取包含第1辅助放大器63生成的失真分量的失真注入路径10D的失真消除信号，由误差信号检测电路100进行正交解调来生成校正信号I（Cs）、Q（Cs）后提供给控制器98，根据该信号来控制第3可变衰减器72及第3可变相位器74。而且，失真除去电路50和第1辅助放大器用失真除去电路70的两者也可以都采用图7的正交解调的结构。

在图3、图4及图7的各实施例中，各控制器96~99以检测出的导频信号电平或IQ解调的失真分量最小来控制可变衰减器和可变相位器的各组，但实际上，在各个控制器中比较预先确定的基准电平和检测出的导频信号电平，分级控制可变衰减器和可变相位器，直至导频信号电平变为基准电平以下。作为这样的控制的算法，可采用以往进行的扰动法、最小平方估计法等。

各控制器96~99可以由使用微处理器的数字运算处理装置构成，也可以由模拟运算电路构成。无论哪种情况，就高效率地进行环路的平衡处理来说，最好是在失真除去电路50的环路的平衡处理前进行第1辅助放大器用失真检测电路60的环路的平衡处理，而其他环路（失真检测电路10及第1辅助放大器用失真除去电路70的环路）也可以按任意的分级来进行。由此，平衡处理的效率多少有些下降，但可以使各个控制器96~99相互独立地进行平衡处理。

以上说明的本发明的第1实施例的前馈放大器包括：失真检测电路，检测主放大器的非线性失真；以及失真除去电路，使用第1辅助放大器来放大该检测出的失真分量后，通过再次注入到所述主放大器的输出中来抵消失真分量；还具有通过检测所述失真除去电路的所述第1辅助放大器的非线性失真的第1辅助放大器用失真检测电路，以及用第2辅助放大器来放大该第1辅助放大器用失真检测电路检测出的失真分量，并再次注入到所述第1辅助

放大器的输出中来进行所述第 1 辅助放大器的失真分量的抵消的第 1 辅助放大器用失真除去电路，来构成所述失真除去电路的双重环路；其中，该前馈放大器包括：

注入插入到所述失真检测电路的输入路径中的第 1 导频信号的部件；

插入到所述失真检测电路的主放大器输入路径中的第 1 电可变衰减部件和第 1 电可变相位部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真检测电路的输入路径中的第 1 导频信号检测部件；

输入所述第 1 导频信号检测部件输出信号，控制所述第 1 电可变衰减器和所述第 1 电可变相位器的第 1 控制器；

注入插入到所述主放大器级间的第 2 导频信号的部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真检测电路的输入路径中的第 2 电可变衰减部件和第 2 电可变相位部件；

插入到所述失真除去电路的输出路径中的第 2 控制器用第 2 导频信号检测部件；

输入所述第 2 控制器用第 2 导频信号检测部件的输出信号，并控制所述第 2 电可变衰减器和所述第 2 可变相位器的第 2 控制器；

注入插入到所述第 1 辅助放大器的级间的第 3 导频信号的部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真除去电路的所述第 2 辅助放大器的输入路径的第 3 电可变衰减部件和第 3 电可变相位部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真除去电路的输出路径中的第 3 导频信号检测部件；

输入所述第 3 导频信号检测部件输出，并控制所述第 3 电可变衰减部件和所述第 3 电可变相位部件的第 3 控制器；

插入到所述第 1 辅助放大器的输入路径中的第 4 电可变衰减部件和第 4 电可变相位部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真除去电路的第 2 辅助放大器的输入路径中的第 4 控制器用第 2 导频信号检测部件；

输入所述第 4 控制器用第 2 导频信号检测部件的输出，并控制所述第 4 电可变衰减部件和所述第 4 电可变相位部件的第 4 控制器；以及

控制部件，用所述第 1 控制器分级控制所述第 1 电可变衰减部件和所述

第 1 电可变相位部件，使得所述第 1 导频信号检测部件检测出的第 1 导频信号检测电平最小，用所述第 4 控制器分级控制所述第 4 电可变衰减部件和所述第 4 电可变相位部件，使得所述第 4 控制器用第 2 导频信号检测部件检测出的所述第 2 导频信号的检测电平最小，用所述第 3 控制器分级控制所述第 3 电可变衰减部件和所述第 3 电可变相位部件，使得所述第 3 导频信号检测部件检测出的所述第 3 导频信号的检测电平最小，并且用所述第 2 控制器分级控制所述第 2 电可变衰减部件和所述第 2 电可变相位部件，使得所述第 2 控制器用第 2 导频信号检测部件检测出的所述第 2 导频信号的检测电平最小。

此外，本发明的第 2 实施例的前馈放大器包括：失真检测电路，检测主放大器的非线性失真；以及失真除去电路，使用第 1 辅助放大器来放大该检测出的失真分量后，通过再次注入到所述主放大器的输出中来抵消失真分量；还具有通过检测所述失真除去电路的所述第 1 辅助放大器的非线性失真的第 1 辅助放大器用失真检测电路，以及用第 2 辅助放大器来放大该第 1 辅助放大器用失真检测电路检测出的失真分量，并再次注入到所述第 1 辅助放大器的输出中来进行所述第 1 辅助放大器的失真分量的抵消的第 1 辅助放大器用失真除去电路，来构成所述失真除去电路的双重环路；其中，该前馈放大器包括：

注入插入到所述失真检测电路的输入路径中的第 1 导频信号的部件；

插入到所述失真检测电路的主放大器输入路径中的第 1 电可变衰减部件和第 1 电可变相位部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真检测电路的输入路径中的第 1 导频信号检测部件；

输入所述第 1 导频信号检测部件的输出信号，并控制所述第 1 电可变衰减器和所述第 1 电可变相位器的第 1 控制器；

注入插入到所述主放大器级间的第 2 导频信号的部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真检测电路的输入路径中的第 2 电可变衰减部件和第 2 电可变相位部件；

插入到所述失真除去电路的输出路径中的第 2 导频信号检测部件；

输入所述第 2 导频信号检测部件的输出，并控制所述第 2 电可变衰减器和所述第 2 可变相位器的第 2 控制器；

注入插入到所述第 1 辅助放大器的级间的第 3 导频信号的部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真除去电路的所述第 2 辅助放大器的输入路径的第 3 电可变衰减部件和第 3 电可变相位部件；

注入插入到所述第 1 辅助放大器用失真检测电路的输入路径中的第 4 导频信号的部件；

插入到所述第 1 辅助放大器的输入路径中的第 4 电可变衰减部件和第 4 电可变相位部件；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真除去电路的输出路径中的第 3 导频信号检测部件；

输入所述第 3 导频信号检测部件的输出，并控制所述第 3 电可变衰减部件和所述第 3 电可变相位部件的第 3 控制器；

插入到所述第 1 辅助放大器用失真除去电路的第 2 辅助放大器输入路径中的第 4 导频信号检测部件；

输入所述第 4 导频信号检测部件的输出，并控制所述第 4 电可变衰减部件和所述第 4 电可变相位部件的第 4 控制器；以及

控制部件，用所述第 1 控制器分级控制所述第 1 电可变衰减部件和所述第 1 电可变相位部件，使得所述第 1 导频信号检测部件检测出的第 1 导频信号检测电平最小，用所述第 2 控制器分级控制所述第 2 电可变衰减部件和所述第 2 电可变相位部件，使得第 2 导频信号检测部件检测出的所述第 2 导频信号的检测电平最小，用所述第 3 控制器分级控制所述第 3 电可变衰减部件和所述第 3 电可变相位部件，使得第 3 导频信号检测部件检测出的第 3 导频信号的检测电平最小，并且用所述第 4 控制器分级控制所述第 4 电可变衰减部件和所述第 4 电可变相位部件，使得第 4 导频信号检测部件检测出的所述第 4 导频信号的检测电平最小。

如以上说明，本发明的具有双重环路的前馈放大器将可变衰减器 55 和可变相位器 56 串联插入到失真除去电路 50 的失真注入路径 10D 的第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的输入路径中，所以通过对它们进行控制，可以进行失真除去电路 50 的环路的平衡控制，而不对第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的环路的平衡产生影响。而且，第 1 辅助放大器用失真检测电路 60 的环路的平衡调整由插入到第 1 辅助放大器 63、也同样插入到信号传送路径 16E 中的第 4 可变衰减器 61 和第 4 可变相位器 62 来进行，所以不需要图 2 情况下的可变衰减器 61 和可变相位器 62 所要求的那样大的可变范围。

根据本发明，有以下效果。

(1)可以提供具有可进行高效率放大的双重环路的前馈放大器的自动调整方法。

(2) 可以提供稳定的失真补偿能力。

(3) 根据上述 (1) 和 (2)，可以实现前馈放大器的低消耗功率化，可以提供小型、具有经济性的装置。

(4) 通过在第 1 辅助放大器的输入路径中设置可变衰减器和可变相位器，控制幅度可以用实际的失真幅度来控制，在环路的平衡自动调整中，可以用更高精度来进行稳定的控制。

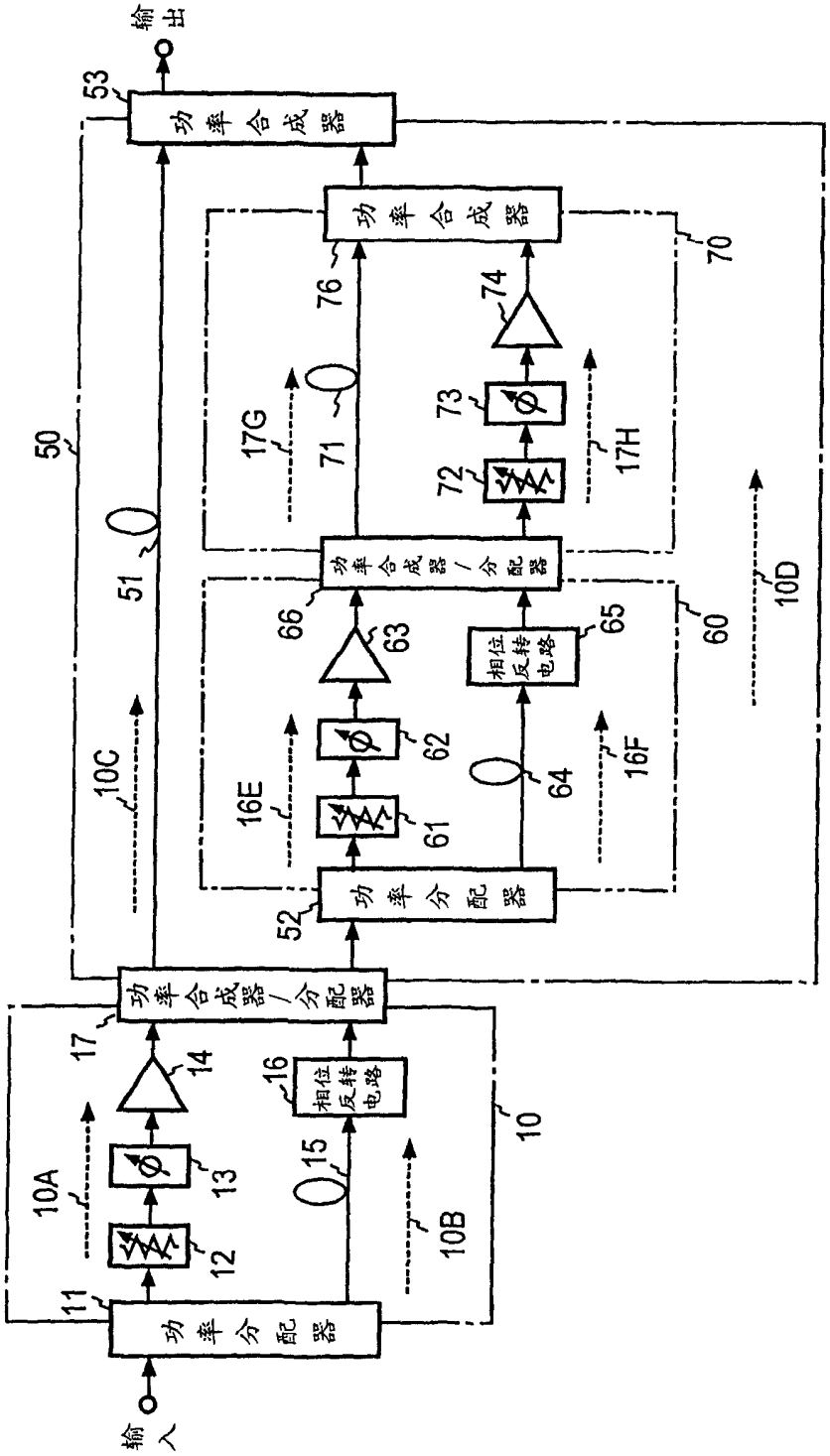

输入
输出
功率分配器
功率合成器/分配器
相位反转电路
10
10A
10B
10C
10D
11
12
13
14
15
16
17
50
51
52
53
60
61
62
63
64
65
66
70
71
72
73
74
76
16E
16F
17G
17H

图 1

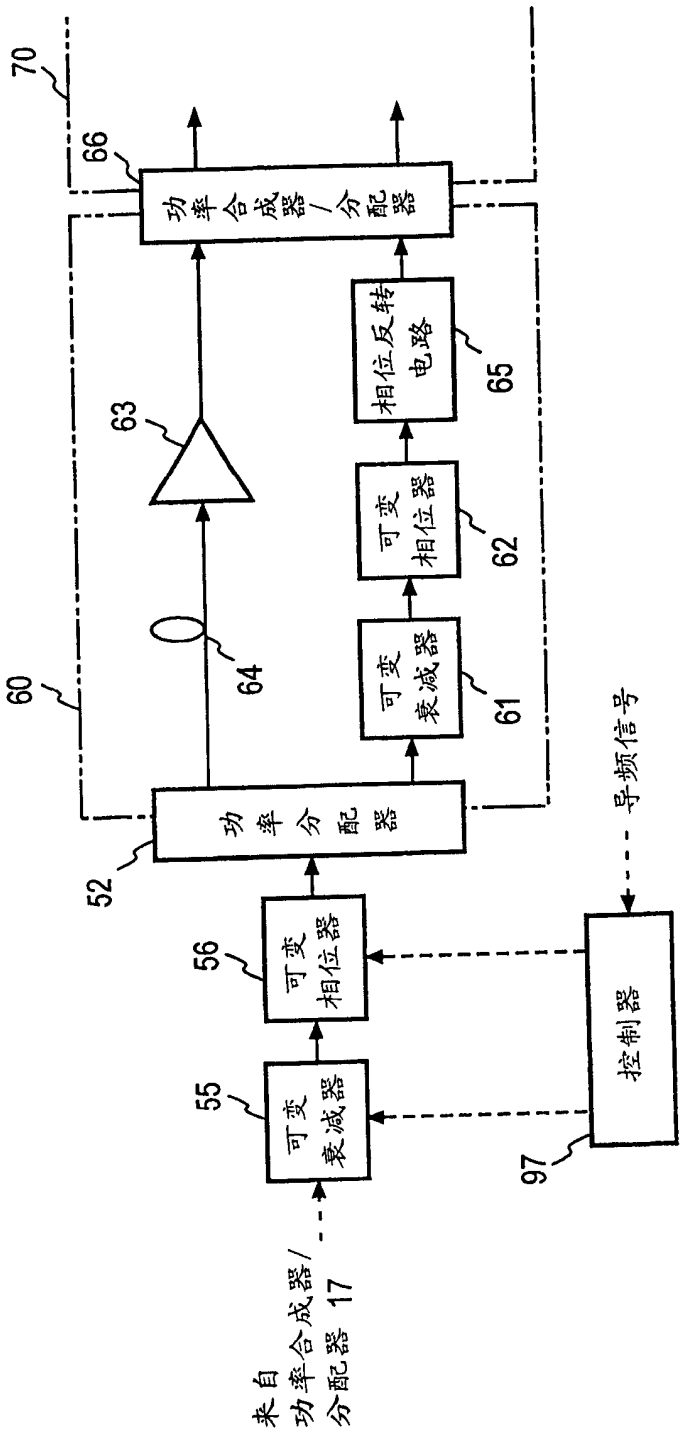

70
66
功率合成器/分配器
63
相位反转电路
65
可变相位器
62
可变衰减器
61
64
60
功率分配器
52
56
可变相位器
55
可变衰减器
来自功率合成器/分配器 17
导频信号
控制器
97

图 2

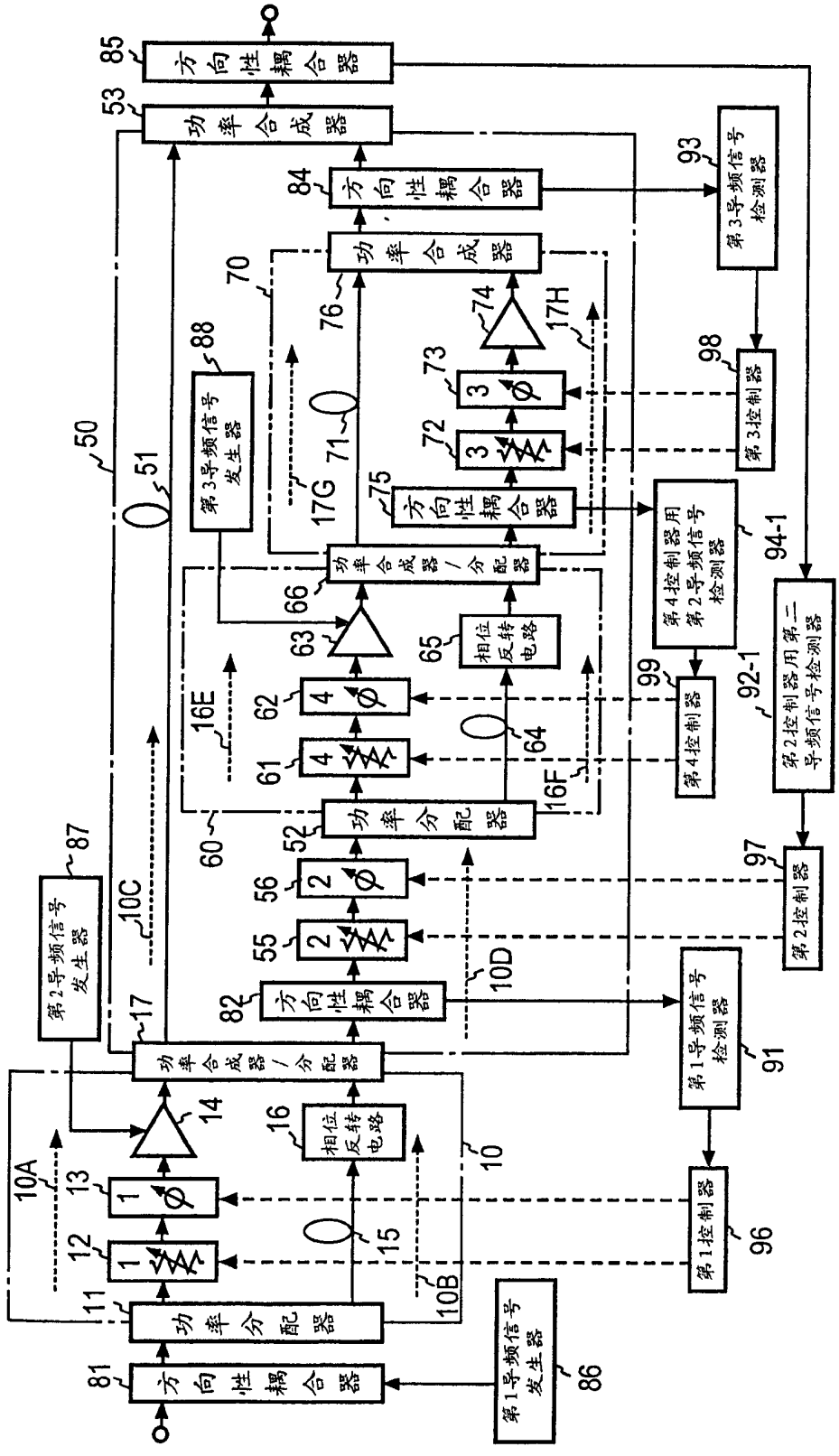

方向性耦合器
功率合成器
方向性耦合器
第3导频信号检测器
功率合成器
第3导频信号发生器
第3控制器
方向性耦合器
第4控制器用第2导频信号检测器
功率合成器/分配器
相位反转电路
第4控制器
第2控制器用第二导频信号检测器
功率分配器
方向性耦合器
第1导频信号检测器
第2导频信号发生器
功率合成器/分配器
第2控制器
相位反转电路
第1控制器
功率分配器
方向性耦合器
第1导频信号发生器

图 3

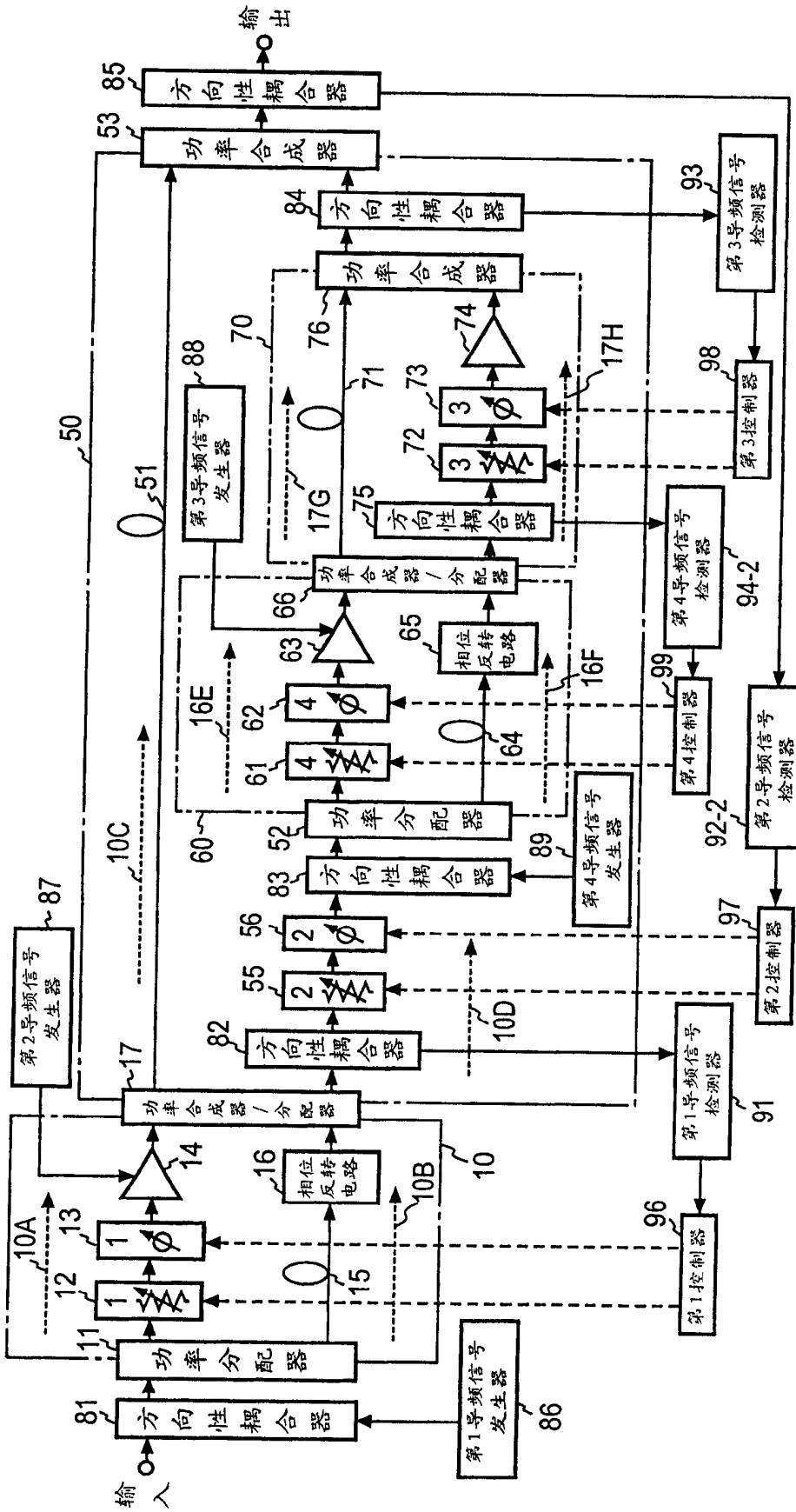

输入
输出
方向性耦合器
功率合成器
功率分配器
相位反转电路
功率合成器/分配器
第1号频信号发生器
第2号频信号发生器
第3号频信号发生器
第4号频信号发生器
第1号频信号检测器
第2号频信号检测器
第3号频信号检测器
第4号频信号检测器
第1控制器
第2控制器
第3控制器
第4控制器

图 4

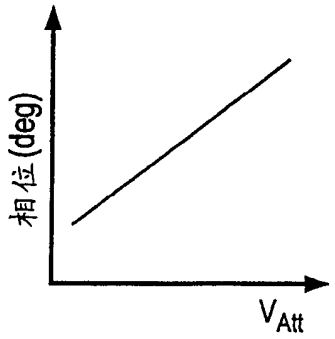


图 5A

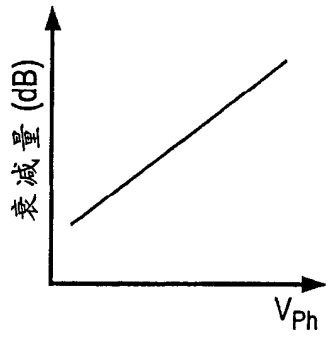


图 5B

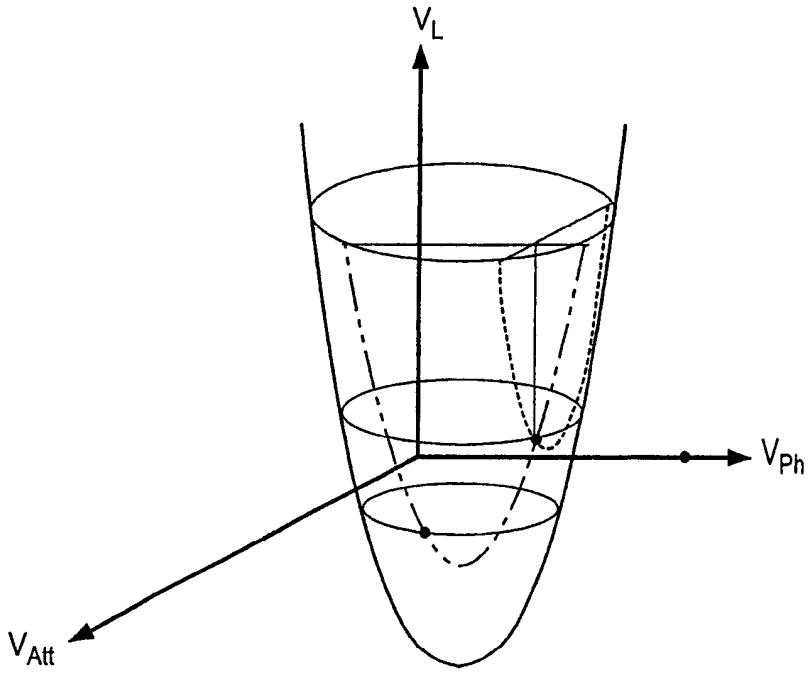


图 6

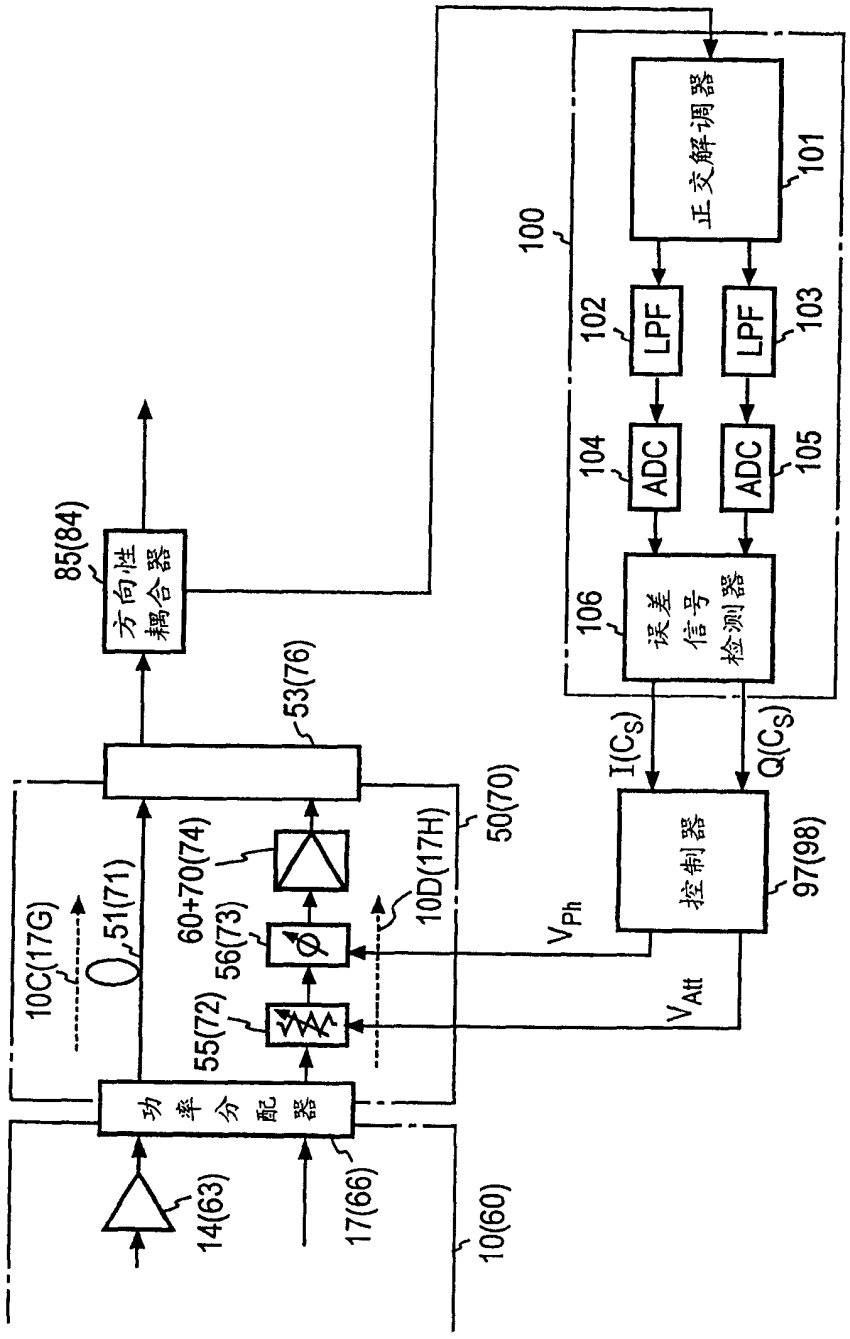

85(84)
方向性耦合器
53(76)
50(70)
10C(17G)
51(71)
60+70(74)
56(73)
55(72)
10D(17H)
功率分配器
14(63)
17(66)
10(60)
100
正交解调器
101
LPF
102
LPF
103
ADC
104
ADC
105
误差信号检测器
106
I(Cs)
Q(Cs)
控制器
97(98)
VPh
VAtt

图 7

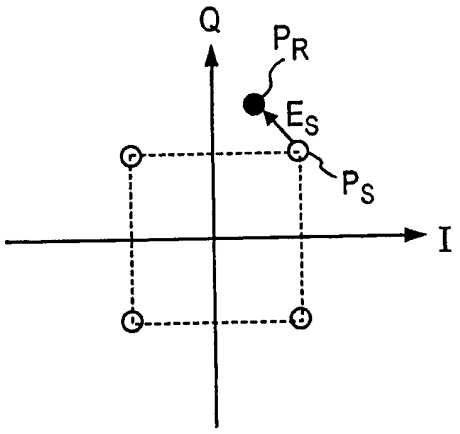


图 8A

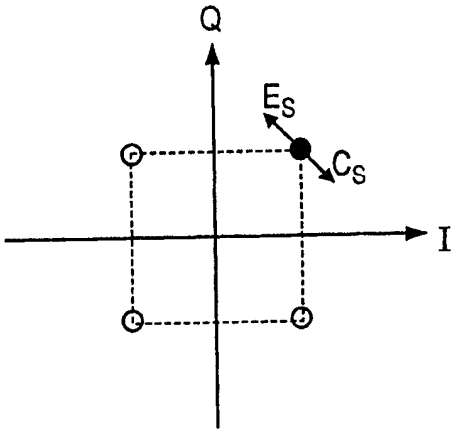


图 8B