

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H03F 1/26 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03815000. X

[45] 授权公告日 2009年3月25日

[11] 授权公告号 CN 100472948C

[22] 申请日 2003.6.25 [21] 申请号 03815000. X

[30] 优先权

[32] 2002. 6. 25 [33] US [31] 60/391,084

[86] 国际申请 PCT/US2003/019849 2003. 6. 25

[87] 国际公布 WO2004/001956 英 2003. 12. 31

[85] 进入国家阶段日期 2004. 12. 27

[73] 专利权人 索马网络公司

地址 加拿大安大略

[72] 发明人 詹姆士·R·布洛德盖特

[56] 参考文献

US6211733B1 2001.4.3

US6091297A 2000.7.18

CN1289177A 2001.3.28

US5963091A 1999.10.5

CN1336722A 2002.2.20

审查员 苏 斐

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 钟 强 谷惠敏

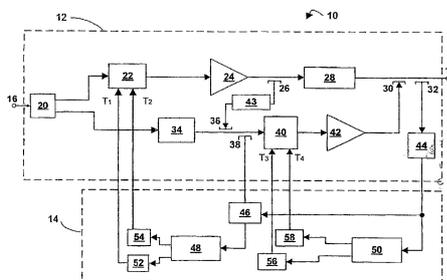
权利要求书5页 说明书11页 附图1页

[54] 发明名称

前馈放大器和操作方法

[57] 摘要

一种用于操作前馈放大器的设备和方法，其中，在最初归零信号取消环路和互调取消环路之后，操作前馈放大器使得控制两个环路从而最小化在该前馈放大器的输出处的互调。



1. 一种前馈放大器，包含：

放大器部分，其包括主信号路径、前馈信号路径、信号取消环路、和互调取消环路；

检测器-控制器部分，其包括信号功率检测器/处理器；和开关，

其中，所述开关被操作用来 (i) 在启动时将所述信号功率检测器/处理器耦合到所述信号取消环路，从而平衡所述信号取消环路以便最小化前馈信号路径中的信号功率，以及 (ii) 之后将所述信号功率检测器/处理器耦合到所述互调取消环路下游的主信号路径，从而将所述信号取消环路操作作为最小化所述互调取消环路下游的主信号路径的互调。

2. 权利要求 1 的前馈放大器，其中主信号路径包括：

输入端口；

输出端口；

第一主路径分路器，其输入连接至输入端口，使得当输入信号施加于输入端口时，其由第一主路径分路器分路成主信号和前馈信号；

主信号路径增益和相位调整器，其输入连接至第一主路径分路器的第一输出，主信号路径增益和相位调整器具有增益控制输入抽头(T_1)和相位控制输入抽头(T_2)，它们被配置成使得抽头上的电压电平控制主信号的增益和相位；

主放大器，其输入连接至主信号路径增益和相位调整器的输出；

第二主路径分路器，其输入连接至主放大器的输出；

主信号路径延迟元件，其输入连接至第二主路径分路器的第一输出；

第一主路径耦合器，其输入连接至主信号路径延迟元件的输出；

第三主路径分路器，其输入连接至第一主路径耦合器的输出并且其第一输出连接至输出端口，并且其第二输出连接到互调接收器的输

入；

该前馈信号路径包括：

前馈信号路径延迟元件，其输入连接至第一主路径分路器的第二输出，由前馈信号路径延迟元件所施加的延迟被选择为近似匹配由主放大器引起的主信号中的延迟；

前馈路径耦合器，其第一输入连接至前馈信号路径延迟元件的输出，并且其第二输入连接到衰减器，该衰减器连接到第二主路径分路器的第二输出，选择该衰减使得提供给前馈路径耦合器的主信号的未失真部分由该前馈信号近似抵偿；

前馈路径分路器，其输入连接至前馈路径耦合器的输出；

前馈信号路径增益和相位调整器，其输入连接至前馈路径分路器的第一输出，该前馈信号路径增益和相位调整器具有增益控制输入抽头（ T_3 ）和相位控制输入抽头（ T_4 ）；

校正放大器，其输入连接至前馈信号路径增益和相位调整器的输出，并且其输出连接至第一主路径耦合器的第二输入，其中该校正放大器中的延迟近似等于由主信号路径延迟元件所添加的延迟；

该检测器-控制器部分包括：

所述开关，所述开关包括 SPDT 开关，其第一位置连接至互调接收器的输出，并且其第二位置连接至前馈信号路径分路器的第二输出；

信号-功率检测器/处理器，其输入连接至 SPDT 开关的极，该信号-功率检测器/处理器被配置成用以提取并处理来自出现在其输入处的信号的数据，该信号指示如何操纵增益控制输入抽头（ T_1 ）和相位控制输入抽头（ T_2 ），以最小化出现在其输入处的信号；

信号-功率增益控制器，其输入连接至信号-功率检测器/处理器的第一输出，该信号-功率增益控制器被配置成用以响应于由信号-功率检测器/处理器提供的数据来操纵增益控制输入抽头（ T_1 ），以在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至前馈路径分路器的第二输出时最小化在该前馈路径分路器处的信号功率，并且用以在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至互调接收器的输出时最小化由互调接收器接收的互调；

信号功率相位控制器,其输入连接至信号-功率检测器/处理器的第二输出,该信号功率相位控制器被配置成用以响应于由信号-功率检测器/处理器提供的数据来操纵相位控制输入抽头(T_2),以在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至前馈路径分路器的第二输出时最小化在前馈路径分路器处的信号功率,并且用以在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至互调接收器的输出时最小化由互调接收器接收的互调;

互调检测器/处理器,其输入连接至互调接收器的输出,该互调检测器/处理器被配置成用以提取并处理来自出现在其输入处的信号的数据,该信号指示如何操纵增益控制输入抽头(T_3)和相位控制输入抽头(T_4)以最小化出现在其输入处的信号;

互调增益控制器,其输入连接至互调检测器/处理器的第一输出,并且其响应于由互调检测器/处理器提供的数据操纵增益控制输入抽头(T_3),以最小化由互调接收器接收的互调;和

互调相位控制器,其输入连接至互调检测器/处理器的第二输出,并且其响应于由互调检测器/处理器提供的数据操纵相位控制输入抽头(T_4),以最小化互调接收器接收的互调,

其中,在前馈放大器的启动阶段,SPDT 开关被设置成用以将前馈路径分路器连接至信号-功率检测器/处理器,直到前馈路径中的总功率和由互调接收器接收的互调最小,并且然后被设置成使得将互调接收器连接至信号-功率检测器/处理器。

3. 一种用于操作具有信号取消环路和互调取消环路的前馈放大器的方法,包含:

在启动时,操作前馈放大器使得信号取消环路被平衡,从而最小化前馈放大器的前馈路径中的信号功率,而互调取消环路被操作为使得最小化前馈放大器的输出处的互调;并且

然后,当前馈路径中的信号功率和前馈放大器的输出处的互调都已经被最小化时,操作信号取消环路,使得最小化前馈放大器的输出处的互调,同时继续操作互调取消环路,从而最小化前馈放大器的输

出处的互调。

4. 一种用于操作前馈放大器的方法，该前馈放大器具有信号取消环路和互调取消环路，其中该信号取消环路包括第一增益和相位调整器、和形成前馈放大器的主信号路径一部分的主放大器；且该互调取消环路包括第二增益和相位调整器、校正放大器、和用于耦合校正放大器输出至主放大器的主信号路径下游的校正耦合器，该方法包含：

操纵第一增益和相位调整器从而最小化前馈放大器的前馈信号路径输出处的信号功率，并操纵第二增益和相位调整器从而最小化校正耦合器下游的互调；

并且然后，当前馈信号路径中的信号功率和校正耦合器的互调下游都达到最小时，操纵这两个增益和相位调整器从而最小化校正耦合器下游的互调。

5. 权利要求 1 的前馈放大器，其中放大器部分具有输入端口和输出端口，并且放大器部分包括：

主信号路径，将输入端口连接到输出端口，并且包括增益和相位调整器、主放大器、和主放大器和增益和相位调整器的延迟元件下游；以及

前馈信号路径，具有连接到输入端口的输入，在延迟元件和输出端口之间的耦合器耦合到主信号路径的输出、延迟元件、增益和相位调整器、和校正放大器；

互调接收器，在前馈信号路径的输出和输出端口处的耦合器之间的路径分路器处，耦合到主信号路径；以及

衰减器，在主放大器和增益和相位调整器的下游和延迟元件的上游的路径分路器处，耦合到主信号路径，并且在延迟元件的下游和增益和相位调整器和校正放大器的上游的耦合器处，耦合到前馈信号路径；

并且检测器-控制器部分包括：

信号-功率检测器/处理器，其输出连接到主信号路径中的增益和相

位调整器，从而信号-功率检测器/处理器控制在主信号路径中放大的主信号的相位；以及

互调检测器/处理器，其输入连接到互调接收器，其输出连接到前馈信号路径中的增益和相位调整器，从而互调检测器/处理器控制前馈信号的增益和相位，以便最小化前馈放大器的输出端口处的互调；

其中检测器-控制器部分还包括一开关，所述开关在前馈放大器的启动阶段将信号-功率检测器/处理器的输入在衰减器的耦合器的分路器下游连接到前馈信号路径到前馈信号路径和增益和相位调整器和校正放大器的上游，从而信号-功率检测器/处理控制主信号的增益和相位，以便最小化前馈信号路径中的信号功率，并且然后，在前馈信号路径中的信号功率和输出端口处的互调都被最小化之后，从前馈信号路径断开信号-功率检测器/处理器的输入，并且连接信号-功率检测器/处理器的输入到互调接收器，从而信号-功率检测器/处理器控制主信号的增益和相位，以便最小化前馈放大器的输出端口处的互调。

前馈放大器和操作方法

技术领域

本发明涉及前馈放大器。更为具体的说，本发明涉及用于控制前馈放大器中的增益和相位调整的设备和方法。

背景技术

放大器的一种公知形式是前馈放大器。为了实现前馈放大器的线性化，需要小心地控制放大器电路。具体的说，在前馈放大器中，通常采用两个或多个增益和相位调整器并且小心地操纵这些调整器的每一个的抽头，以实现通过放大器的线性化。

在前馈放大器的领域中，公知使用检测器-控制器电路，每一该电路用于一个增益和相位调整器。在前馈放大器中，每一检测器-控制器电路是操作用于操纵其各自的增益和相位调整器的抽头，使得主放大器和校正放大器可以适当地协同工作以减少由主放大器引起的错误。

用在前馈放大器中的检测器-控制器电路使用多种不同技术以控制信号和互调取消环路中的相位和增益调整。典型地，通过测量在取消节点处的总功率并适应性地最小化该总功率来使信号取消环路归零。因为从复合信号中移去了（取消了）未失真的输入信号，因此这是有意义的。当该取消达到最大时，总功率将最小。可以使用多种技术，包括导频音、互调检测器、向量信号分析和很多其他技术来归零互调取消环路。

前馈放大器的第一命令或规范分析将提议由校正放大器仅放大不需要的失真产物。在实际情况中，这既不可能，也不需要。在校正放

大器信号中总是存在原始未失真信号的一些残留物。这时因为（1）在加和节点处的信号取消不完美，以及（2）在信号取消环路的主放大器被特性化地驱动成为信号峰值上的非线性，造成环路不平衡。仅在完美线性系统中可以实现完美取消。

现有的方法是，在给出所使用的信号的动态范围的情况下，调整信号取消环路以能够产生最好的总取消。再一次，通过最小化在加和节点处的总功率来特性化地实现，虽然通过诸如导频音归零的其他技术也可以实现。

典型地，校正放大器是相当大的放大器，其尺寸能够处理由校正信号施加在其上的峰值功率要求。在这里存在前馈放大器相对于其他方法的经常提到的缺点；即校正放大器的功率浪费和成本。

很多优良设计的前馈放大器在信号取消环路的主放大器的前面串联地使用增益和相位调整。这样做的重要原因在于面对主放大器由诸如温度变化和元件老化引起的漂移而保持前馈放大器的恒定增益。因为在信号取消环路中的延迟路径中的损耗通常不依赖于随着温度改变，将增益调整和放大器串联，并且保持恒定的信号取消，这将产生恒定的增益。从系统的观点来看这些非常有用的，尽管严格来说并不是必要的。

发明内容

本发明认为信号取消环路中的最大取消并非通常所需的。公开了一种设备和方法，其以最佳方式使信号取消环路不平衡，从而通过使用校正放大器改进性能，以提供某些增加的功率至前馈放大器的输出。

通过将增益和相位调整器设置成与主放大器串联，发明者发现可以通过使信号取消环路不平衡来增加前馈放大器的总输出功率。这样

做必然将改变主放大器的输出功率和互调产生的电平。然后问题是，如何使信号取消环路不平衡以提供信号和失真产物的最优组合至校正放大器且同时提供前馈放大器的最佳整体性能？起初看来，可以仅调整在该两个环路中的增益和相位调整器以产生最佳性能（最小互调）。但是，发明者发现应该使用现有技术首先归零信号取消环路（也就是，在加和节点处最小化总功率）。这样做存在两个原因。首先，在无其它因素的情况下，在输出最小的时候主放大器的互调将减到最小。因此，第一，从冷启动开始，信号取消环路的增益调整将被驱动到最小以最小化互调，这是一个不十分有用的结果。第二，需要取消的最小电平使得提供给校正放大器的信号不超过它并且驱动它至饱和。

本解决方案令人惊讶地直接了当。第一，应通过最小化加和节点处的总功率来平衡信号取消环路。第二，应使用互调检测器或用于平衡互调取消环路的其它现有装置来平衡互调取消环路。第三，应使用互调检测器进行过渡以平衡信号取消环路。注意到然后在一个测量（前馈放大器的输出处的互调）的基础上作出四个调整（两个环路中的增益和相位）。信号取消环路中的增益调整将不再被驱动至零以最小化来自于主放大器的互调，因为这样做将显著增加至校正放大器的信号，导致来自前馈放大器的更大的总互调。特征性地，主放大器的驱动将十分轻微地减小，在校正放大器的输入处产生所需信号分量，这在放大时会将同相添加至来自主放大器的信号。随着主放大器和校正放大器被驱动至最优的电平以产生最大所需信号和前馈放大器输出处的最小互调，然后优良的平衡效果得到实现。前馈放大器的增益中某些轻微的变化将由此平衡效果产生，但从系统角度来讲可以忽略。

根据本发明的一个方面，提供一种包括信号取消环路和互调取消环路的前馈放大器。该前馈放大器配置成进行操作以使得在开始阶段信号取消环路首先被平衡以最小化前馈路径中的信号功率，并且之后其进行操作以最小化前馈放大器输出处的互调。

根据本发明的另一方面，提供一种前馈放大器，其包括输入端口、输出端口、第一主路径分路器、主信号路径增益和相位调整器、主放大器、第二主路径分路器、主信号路径延迟元件、第一主路径耦合器、第三主路径分路器、互调接收器、前馈信号路径延迟元件、前馈路径耦合器、衰减器、前馈路径分路器、SPDT 开关、信号-功率检测器/处理器、信号-功率增益控制器、信号-功率相位控制器、前馈信号路径增益和相位调整器、校正放大器、互调检测器/处理器、互调增益控制器、和互调相位控制器。

将第一主路径分路器的输入连接至输入端口，使得当输入信号施加于该输入端口时其由第一主路径分路器分路成主信号和前馈信号。将主信号路径增益和相位调整器的输入连接至第一主路径分路器的第一输出，并且该信号-功率增益-控制输入抽头和信号-功率相位-控制输入抽头被配置成使得该抽头上的电压电平控制主信号的增益和相位。将主放大器的输入连接至主信号路径增益和相位调整器的输出。将第二主路径分路器的输入连接至主放大器的输出。将主信号路径延迟元件的输入连接至第二主路径分路器的第一输出。将第一主路径耦合器的第一输入连接至主信号路径延迟元件的输出。将第三主路径分路器的输入连接至第一主路径耦合器的输出，并且将第三主路径分路器的第一输出连接至输出端口。将互调接收器的输入连接至第三主路径分路器的第二输出。将前馈信号路径延迟元件的输入连接至第一主路径分路器的第二输出施加了选定为近似匹配由主放大器引起的主信号中延迟的延迟。前馈路径耦合器的第一输入连接至前馈信号路径延迟元件的输出。衰减器将第二主路径分路器的第二输出连接至前馈路径耦合器的第二输入。选择所提供的衰减使得提供给前馈路径耦合器的主信号的未失真部分由前馈信号近似地抵偿。将前馈路径分路器的输入连接至前馈路径耦合器的输出。将 SPDT 开关的第一位置连接至前馈路径分路器的第二输出，并且将第二位置连接至互调接收器的输出。将信号-功率检测器/处理器的输入连接至 SPDT 开关的极。该信号-功率检测器/处理器被配置成用以提取并处理来自出现在其输入的信号的

数据，该数据指示如何操纵信号-功率增益-控制输入抽头和信号-功率相位-控制输入抽头以最小化出现在其输入的信号。将信号-功率增益控制器的输入连接至信号-功率检测器/处理器的第一输出。该信号-功率增益控制器被配置成用以响应于由信号-功率检测器/控制器提供的数据来操纵信号-功率增益-控制输入抽头，以在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至前馈路径分路器的第二输出时最小化前馈路径分路器处的信号功率，并在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至互调接收器的输出时最小化由互调接收器接收的互调。将信号-功率相位控制器的输入连接至信号-功率检测器/处理器的第二输出。该信号-功率相位控制器被配置用以响应于由信号-功率检测器/处理器提供的数据来操纵信号-功率相位控制输入抽头，以在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至前馈路径分路器的第二输出时最小化前馈路径分路器处的信号功率，并且在 SPDT 开关设置为将信号-功率检测器/处理器的输入连接至互调接收器的输出时最小化由互调接收器接收的互调。将前馈信号路径增益和相位调整器的输入连接至前馈路径分路器的第一输出。该前馈信号路径增益和相位调整器具有增益控制输入抽头和相位控制输入抽头。将校正放大器的输入连接至前馈信号路径增益和相位调整器的输出。将该输出连接至第一主路径耦合器的第二输入。主信号路径延迟元件提供近似等于校正放大器中的延迟的延迟。将互调检测器/处理器的输入连接至互调接收器的输出。互调检测器/处理器被配置成用以提取和处理来自出现在其输入处的数据，该数据指示如何操纵互调增益-控制输入抽头和互调-相位控制输入抽头，以最小化出现在其输入处的信号。将互调增益控制器的输入连接至互调检测器/处理器的第一输出。互调增益控制器响应于互调检测器/处理器所提供的数据来操纵互调增益-控制输入抽头，以最小化互调接收器接收的互调。将互调相位控制器的输入连接至互调检测器/处理器的第一输出。互调相位控制器响应于由互调检测器/处理器所提供的数据来操纵互调相位-控制输入抽头，以最小化互调接收器接收的互调。在前馈放大器启动时，设置 SPDT 开关以使其将前馈路径分路器连接至信号-功率检测器/处

理器，直到前馈路径中的总功率被最小化并且互调接收器接收的互调被最小化，并且然后设置 SPDT 开关以使其将互调接收器连接至信号-功率检测器/处理器。

根据本发明的另一个方面，提供一种用于操作具有信号取消环路和互调取消环路的前馈放大器的方法。在启动时，操作前馈放大器使得该信号取消环路被平衡，从而最小化前馈路径中的信号功率。然后，操作前馈放大器以最小化前馈放大器输出处的互调。

根据本发明的另一个方面，提供一种用于操作前馈放大器的方法，该前馈放大器具有信号取消环路，其包括第一增益和相位调整器、形成主信号路径一部分的主放大器、和用于提供前馈信号的前馈信号路径输出，和连接至前馈信号路径输出的互调取消环路，其包括第二增益和相位调整器、校正放大器、和用于耦合校正放大器的输出至主放大器的主信号路径下游的校正耦合器。操纵第一增益和相位调整器以最小化前馈信号路径输出处的信号功率，并且操纵第二增益和相位调整器以最小化耦合器的互调下游。然后，当前馈信号路径输出处的信号功率和校正耦合器的互调下游达到最小时，操纵该两个增益和相位调整器以最小化校正耦合器的互调下游。

附图说明

现在将仅以实例的方式，通过参考所附附图描述本发明的优选实施例，参考附图，其中：

图 1 是根据本发明的实施例的前馈放大器的框图。

具体实施方式

参考图 1，根据本发明的实施例的前馈放大器一般由参考数字 10 指示。前馈放大器 10 包含放大器部分 12 和检测器-控制器部分 14。

放大器部分 12 具有输入端口 16 和输出端口 18。主信号路径延

伸于输入端口 16 和输出端口 18 之间并且由第一主路径分路器 20、主信号路径增益和相位调整器 22、主放大器 24、第二主路径分路器 26、主信号路径延迟元件 28、第一主路径耦合器 30、和第三主路径分路器 32 的串联连接组成。

第一主路径分路器 20 的一个输出沿主信号路径持续的同时，主信号路径分路器 20 的另一个输出沿前馈路径前进，该前馈路径包含前馈信号路径延迟元件 34、前馈路径耦合器 36、前馈路径分路器 38、前馈信号路径增益和相位调整器 40、和校正放大器 42。校正放大器 42 的输出通向第二主路径耦合器 30 的输入。由衰减器 43 将第二主路径分路器 26 的输出连接至前馈路径耦合器 36 的输入。

主信号路径增益和相位调整器 22 具有增益-控制输入抽头 T_1 和相位-控制输入抽头 T_2 。类似地，前馈信号路径增益和相位调整器 40 具有增益-控制输入抽头 T_3 和相位-控制输入抽头 T_4 。在各个情况中，可以操纵增益-控制输入抽头 T_1 、 T_3 以控制幅度并且可以操纵相位-控制输入抽头 T_2 、 T_4 以控制通过各自增益和相位调整器的信号的相位。如在此所使用的，术语“操纵”、“操纵的”和“操纵中”意图包含增益和相位调整器的抽头的调整或控制的所有适当的方法。

互调接收器 44 同样包括在放大器部分 12 中，其输入被连接至第三主路径分路器 32。

检测器-控制器部分 14 包括 SPDT 开关 46，将其一位置连接至前馈路径分路器 38 的输出并且将其另一位置连接至互调接收器 44 的输出。检测器-控制器部分 14 同样包括信号-功率检测器/处理器 48 和互调检测器/处理器 50，每个检测器/处理器具有输入和两个输出。将信号-功率检测器/处理器 48 的输入连接至 SPDT 开关 46 的极。将互调检测器/处理器 50 的输入连接至互调接收器 44 的输出。应注意到，信号-功率检测器/处理器 48 因而接收来自前馈路径分路器 38 的输出的

信号或者接收来自互调接收器 44 的输出的信号，取决于 SPDT 开关 46 的设置。进一步，在本发明的本实施例中，在数字信号处理器的固件中实现 SPDT 开关 46。互调检测器/处理器 50 当然总是接收互调接收器 44 的输出。

将信号-功率检测器/处理器 48 的一个输出连接至信号-功率增益控制器 52 的输入并且另一个输出连接至信号-功率相位控制器 54 的输入。将信号-功率增益控制器 52 的输出连接至增益-控制输入抽头 T_1 并且将信号-功率相位控制器 54 的输出连接至相位-控制输入抽头 T_2 。类似地，将互调检测器/处理器 50 的输出分别连接至互调增益控制器 56 和互调相位控制器 58 的输入。将互调增益控制器 56 的输出还连接至增益-控制输入抽头 T_3 并将互调相位控制器 58 的输出连接至相位-控制输入抽头 T_4 。

本领域技术人员将认识到前馈放大器 10 不同于现有的前馈放大器之处主要在 SPDT 开关 46 的存在上。当 SPDT 开关 46 将信号-功率检测器/处理器 48 连接至前馈路径分路器 38 的输出时，前馈放大器 10 将在以下现有方式中操作。施加于输入端口 16 的输入信号由第一主路径分路器 20 分路成主信号路径和前馈路径。沿主信号路径行进的输入信号的部分穿过增益和相位调整器 22 并且然后由主放大器 24 放大。主放大器 24 中的非线性可能为所放大的信号增加失真。由第二主路径分路器 26 将从主放大器 24 发出的信号部分从主信号路径分路，由衰减器 43 衰减，并由前馈路径耦合器 36 耦合进前馈路径。其间，来自第一主路径分路器 20 的沿前馈路径行进的输入信号部分在进入前馈路径耦合器 36 之前已穿过前馈信号路径延迟元件 34。在前馈放大器 10 的设计中选择由前馈信号路径延迟元件 34 施加的延迟以近似匹配由主放大器 24 在主信号路径中所引起的延迟。进一步，选择由衰减器 43 提供的衰减使得由于输入信号引起的衰减信号部分近似地抵偿从前馈信号路径延迟元件 34 进入前馈路径耦合器 36 的信号。作为替代地，衰减器 43 提供的衰减可以提供在第二主路径分路

器 26 中，在这种情况下可以不需要衰减器 43。最终结果是前馈路径分路器 38 处的信号主要是由主放大器 24 引入的失真。但是，输入信号中的某些将一般地也出现在前馈路径分路器 38 处，除非精确地校正前馈信号路径延迟元件 34 所施加的延迟和衰减器 43 提供的衰减。即使最初恰当地选择该延迟和衰减，但由于温度改变、老化等原因主放大器 24 将不可避免地漂移。

公知的是，通过添加诸如主信号路径增益和相位调整器 22 的增益和相位调整器至主放大器 24 的主信号路径的上游，使得残留在前馈路径分路器 38 中的输入信号可以最小化，来在主放大器 24 中校正此类漂移。作为替代地，可以在前馈路径耦合器 36 的前馈路径上游或串联地添加增益和相位调整器或代替衰减器 43 以实现相同的效果。假设设置 SPDT 开关 46 以使其连接前馈路径分路器 38 和信号-功率检测器/处理器 48，出现在前馈路径分路器 38 处的信号会出现在信号-功率检测器/处理器 48 处。信号-功率检测器/处理器 48 测量施加于其的信号总功率并且指示信号-功率增益控制器 52 和信号-功率相位控制器 54 以操纵增益-控制输入抽头 T_1 和相位-控制输入抽头 T_2 从而最小化由信号-功率检测器/处理器 48 测量的总功率。结果将倾向于出现在前馈路径分路器 38 处的输入信号部分将被最小化。信号-功率增益控制器 52 和信号-功率相位控制器 54 如何确定如何操纵增益-控制输入抽头 T_1 和相位-控制输入抽头 T_a 的细节超出了本发明的范围；本领域的技术人员将知道这样做的很多算法。

其间，前馈路径分路器 38 处的信号（其主要是由主放大器 24 引入的失真）穿过前馈信号路径增益和相位调整器 40，由校正放大器 42 放大，并且出现在第二主路径耦合器 30 的输入。来自前馈路径的信号将近似是由主放大器 24 引入的失真的极性相反的复本并且其将近似抵偿出现在主信号中的失真。为增加该取消，第三主路径分路器 32 分路第二主路径耦合器 30 的主信号下游并使该信号部分出现至互调接收器 44，该互调接收器 44 还提供出现在该信号中的互调失真给互

调检测器/处理器 50。互调检测器/处理器 50 指示互调增益控制器 56 和互调相位控制器 58 以操纵增益-控制输入抽头 T_3 和相位-控制输入抽头 T_4 ，以最小化由互调接收器 44 接收的互调。互调增益控制器 56 和互调相位控制器 58 如何确定如何操纵增益-控制输入抽头 T_3 和相位-控制输入抽头 T_4 的细节超出了本发明的范围；本领域的技术人员将知道这样做的很多算法。

上述的（假设 SPDT 开关 46 设置为将前馈路径分路器 38 连接到信号-功率检测器/处理器 48）是现有的前馈放大器 10 的操作。但是，发明者发现通过以下面的非现有方式操作前馈放大器 10，可以实现显著地更大的总增益。首先，应启动前馈放大器 10。由信号-功率检测器/处理器 48 测量的总功率和由互调检测器/处理器 50 测量的互调失真应按上述的现有方式最小化。但是，然后应操作 SPDT 开关 46 以将互调接收器 44 连接至信号-功率检测器/处理器 48。从此时起信号-功率检测器/处理器 48 将指示信号-功率增益控制器 52 和信号-功率相位控制器 54 以操纵增益-控制输入抽头 T_1 和相位-控制输入抽头 T_2 ，从而最小化由互调接收器 44 接收的互调而不是前馈路径分路器 38 处的总功率。应注意到互调检测器/处理器 50 将同时指示互调增益控制器 56 和互调相位控制器 58 以操纵增益-控制输入抽头 T_3 和相位-控制输入抽头 T_4 ，从而最小化互调接收器 44 接收的互调。

发明者发现，在 SPDT 开关 46 已经被切换从而将互调接收器 44 的输出路由至信号-功率检测器/处理器 48 之后，减少控制器 52、54、56、58 试图归零环路的快速程度以便保持稳定性是可取的。按照惯例，控制器 52、54、56、58 中使用的算法包括用于改变增益或相位的固定步幅大小。发明者建议，可以在 SPDT 开关 46 已经切换从而将互调接收器 44 的输出路由至信号-功率检测器/处理器 48 之后，减少在改变增益-控制输入抽头 T_1 、 T_3 和相位-控制输入抽头 T_2 、 T_4 的设置中增益控制器 52、56 和信号-功率相位控制器 54、58 使用的步幅大小。

已经发现本发明应用于前馈放大器 10 的结果为，在前馈路径分路器 38 处未发生完全的输入信号取消并且主放大器 24 的增益被轻微地减少了，引起出现在前馈路径分路器 38 处的输入信号部分少于来自前馈信号路径延迟元件 34 的前馈信号。结果，出现在输入端口 16 的信号部分进入校正放大器 42，并且被放大并被同相添加至在第一主路径耦合器 30 处的主路径信号。

与最小化在信号取消节点处的功率和放大器输出处的互调的前馈放大器相比，对于相同的互调失真，上述的本发明的实施例已经经过检验并发现能够提供高出大约 1dB 的输出功率。除去更高的输出功率，也改进了效率。本领域的技术人员将认识到，在给定获得十分之几 dB 所必须的长度和提供这些十分之几 dB 的费用的情况下，这些结果是显著的。

前馈放大器设计领域的技术人员也将了解本发明可适用于增加使用用于归零信号和互调取消环路的性能测量方法的其它类型前馈放大器的总增益。

本发明的上述实施例意在作为本发明的实例，并且可由本领域技术人员在不脱离由附加在此的权利要求唯一定义的本发明范围的情况下对其进行替代和修改。

