

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H03F 3/66

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96191227.8

[45] 授权公告日 2001 年 7 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1069004C

[22] 申请日 1996.8.20 [24] 颁证日 2001.5.9

[21] 申请号 96191227.8

[30] 优先权

[32] 1995.10.17 [33] US [31] 08/544,221

[86] 国际申请 PCT/US96/13484 1996.8.20

[87] 国际公布 WO97/15113 英 1997.4.24

[85] 进入国家阶段日期 1997.6.17

[73] 专利权人 摩托罗拉公司

地址 美国伊利诺伊

[72] 发明人 杰姆斯·E·米茨拉夫

[56] 参考文献

US 5307022 1994.4.26 H03F3/06

WO 93/19524 1993.9.30 H03F3/06

审查员 段成云

[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

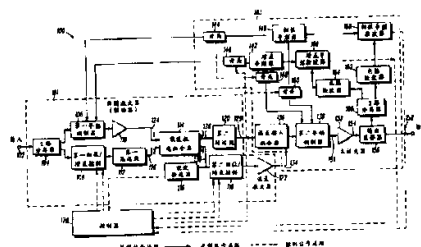
代理人 陆立英

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图页数 4 页

[54] 发明名称 射频系统中进行误差校正放大的装置和
方法

[57] 摘要

提出了一种用于射频系统中的误差校正放大器电路。该误差校正放大器电路包括第一导频调制级和第二导频调制级。第一导频调制级产生第一已放大信号，该信号具有一个误差分量和代表该误差分量的第一误差信号。第二导频调制级接收第一已放大信号和误差信号，并产生一个误差削减放大信号。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 射频系统中所使用的误差校正放大器电路, 包括:

第一导频调制级, 产生具有误差分量和表示该误差分量的误差信号的第一已放大信号; 该第一导频调制级包括:

信号分离器, 用于接收输入信号并产生第一和第二输入信号;

第一导频调制器, 该第一导频调制器与上述信号分离器相连, 并接收第一输入信号;

与上述信号分离器相连并接收第二输入信号的相位和增益控制电路;

放大器, 该放大器响应该第一导频调制器;

与相位和增益控制电路相连接来用于延迟相位与增益控制电路的输出信号的第一延迟线;

载波抵消组合器, 该载波抵消组合器与该放大器相连接并与第一延迟线相连接, 用于产生第一和第二输出信号, 该第二输出信号具有误差分量, 误差信号从该误差分量获得; 以及

与该载波抵消组合器相连接的第二延迟线, 用于对第一输出信号进行延迟, 从而产生第一放大信号; 以及

第二导频调制级, 用于接收第一已放大信号和误差信号, 并产生误差削减已放大信号; 该第二导频调制级包括:

误差插入耦合器, 该误差插入耦合器用于接收第一输出信号和误差信号从而产生组合信号;

与增益导频源相连接并与相位导频源相连接的第二导频调制器, 用于调制组合信号从而产生导频调制输出信号;

增益导频源;

相位导频源;

与该第二导频调制器相连接的主放大器, 用于放大导频调制输出信号从而产生输出放大信号;

与相位导频检测器相连接并与输出放大信号相连接的包络检测

器，用于提供控制信号；以及
相位导频检测器。

2.权利要求 1 中的放大器电路，其特征是，上述第一导频调制级还包括与上述载波抵消组合器进行通信的第二增益和相位控制电路，以及一个与第二增益和相位控制电路相连接并产生上述误差信号的误差放大器。

3.权利要求 1 中的放大器电路，其特征是，上述相位和增益控制电路与一个可编程控制器通信。

4.权利要求 1 中的放大器电路，其特征是，上述射频系统包括蜂窝式系统和一个微波系统中的一个。

5.权利要求 1 中的放大器电路，还包括第二通/断开关，该开关连接着导频调制器和增益导频源。

6.调整射频系统中所用的误差校正放大器电路的方法，包括以下步骤：

提供具有固有失真特性的第一放大器；

提供具有实际上与第一放大器相类似的失真特性的第二放大器；

根据由响应第一放大器的载波检波器检测出的功率电平来设定第一相位和增益控制电路；以及

根据响应第二放大器的导频检波器的输出来设定第二相位和增益控制电路，目的是从第一放大器的输出中产生相位不同步的误差信号。

射频系统中进行误差校正放大的装置和方法

本发明一般涉及用于射频(RF)系统的放大器,特别是涉及用于射频系统中的误差校正放大器。

在射频(RF)系统应用中,例如蜂窝式和微波通信系统应用中,在多载波输入信号被馈给到 RF 功率放大器的地方,在较高的功率电平下,放大器固有的非线性特性通常使放大器的输出中包含不需要的中间调制(IM)产物。这些 IM 产物可能在放大器工作频段上引起讨厌的干扰和串音。另外,IM 产物可能超过 RF 设备的发射标准。

一种减少 IM 产物的常规方法是采用“频谱分析”方法,在美国专利号 4,879,519 中描述了这种方法。“频谱分析”方法是通过采用调谐在候选 IM 产物的频率上来扫描放大器的输出。由扫描器(scanner)来读取候选 IM 产物的 IM 电平,并且调整线性化电路(linearizer)来减少 IM 产物。重复进行读取候选 IM 产物的电平以及通过调整来使之降低的步骤,直到每个 IM 产物的电平低于某一预定的可接受电平。

尽管这种常规方法减少了 IM 产物,然而该方法要求扫描器重复寻找 IM 产物,由于扫描和找到 IM 产物需要时间,因而有着较慢的收敛间隔。另外,这种方法需要复杂的频谱分析设备,明显增加了放大器的成本。

因此,需要一种方法和装置,用于以较快的收敛时间来放大多个载频输入信号并降低成本,同时还减少 RF 系统中的 IM 产物。

根据本发明的一个方面,提出了一种在射频系统中进行误差校正放大的方法和装置。该装置是一种误差校正放大器电路,包括第一导频调制级和第二导频调制级。第一导频调制级产生具有一个误差分量的第一放大信号和代表该误差分量的第一误差信号。第二导频调制级接收第一放大信号和误差信号,并产生误差削减的放大信号。

最佳情况下,第一导频调制级包括一个导频调制电路以及一个响应该导频调制电路的放大器。该导频调制电路最好包括一个相位和增益控制电路以及与该相位和增益控制电路相连的导频调制器。在最佳实施例中,由

相位导频源(phase pilot source)和增益导频源(gain pilot source)来驱动导频调制器。

第二导频调制级最好包括一个误差插入耦合器、响应该误差插入耦合器的第二导频调制器以及响应第二导频调制器的主放大器。误差插入耦合器接收第一放大后信号和误差信号，并且主放大器产生误差削减输出信号。

根据本发明的另一方面，误差校正放大器电路包括放大器、相位导频源、增益导频源、与该放大器相连的导频调制器以及第一通/断开关。该通/断开关有选择地连接导频调制器以及导频源中至少一个导频源。最佳情况下，第一通/断开关被用来完成直流(DC)偏移补偿。

进行误差校正放大的方法包括一种调整误差校正放大器电路的方法。根据最佳实施例，该方法包括以下步骤：提供具有固有失真特性的第一放大器；提供具有与第一放大器基本上相类似的失真特性的第二放大器；根据响应第一放大器的载波检波器检测出的功率电平来设定第一相位和增益控制电路，并根据响应第二放大器的导频检波器的输出来设定第二相位和增益控制电路，目的是从第一放大器的输出中产生相位不同步的误差信号。

参考下面带有附图的详细描述，将更好地理解本发明自身以及它打算有的优点。

图 1 是根据本发明图解说明一种误差校正放大器电路的最佳实施例的电路方框图。

图 2 是根据本发明图解说明一种误差校正放大器电路的第二个最佳实施例的电路方框图。

图 3 是图解说明一种误差校正放大器电路的第三个最佳实施例的电路方框图。

图 4 是图解说明一种误差校正放大器电路的第四个最佳实施例的电路方框图。

参照图 1，图解说明了一种误差校正放大器电路的一个最佳实施例。该误差校正放大器电路 100 包括第一导频调制级 101 和第二导频调制级 103。第一导频调制级 101 包括第一导频调制器 106、第一相位和增益控制

电路 108、附带放大器 110、第一延迟线 112、载波抵消组合器 114、载波检波器 116、第二相位和增益控制电路 118、第二延迟线 120 以及误差放大器 122。第一导频调制级 101 还包括一个 2 路分离器 104，该 2 路分离器从输入节点 102 接收输入信号。

第二导频调制级 103 包括误差插入耦合器 136、第二导频调制器 138、主放大器 152、输出采样器 156 以及包络检波器 162 和 164。第二导频调制级 103 还包括增益导频检波器 166、相位导频检波器 168、相位导频源 140 以及增益导频源 142。第二导频调制级 103 最好还包括直流补偿通/断开关 144、146、148 和 150。除了第一和第二导频调制级以外，放大器电路 100 还包括与第一和第二导频调制级 101、103 相连的控制器 170。

在工作期间，在输入节点 102 处接收输入信号并把它传送到 2 路分离器 104。分离器 104 提供第一信号和第二信号，第一信号传送给第一导频调制器 106；第二信号实际上与第一信号相同，它被传送到第一相位和增益控制电路 108。第一导频调制器 106 由增益导频源 142 和相位导频源 140 来驱动。第一导频调制器 106 的输出被传送到伴随放大器(companion amplifier)110。

由伴随放大器 110 所产生的失真产物由载波抵消组合器 114 隔离，由误差放大器 122 放大，并由误差插入耦合器 136 重新插入，在这种情况下，在误差插入耦合器 136 的输出处的信号具有一些失真产物，这些失真产物在相关振幅上最好等于载波，但是，来自失真产物的相位失谐出现在伴随放大器 110 的输出中。最佳配置被设计为抵消由主放大器 152 产生的失真，假定主放大器的失真特性基本上等于伴随放大器 110 的失真特性。

第一相位和增益控制电路 108 受控制器 170 的控制，产生一个被第一延迟线 112 延迟的输出信号，然后该输出信号被传送到载波抵消组合器 114 的第二端口。伴随放大器 110 产生一个放大信号 124，该信号被轮流传送到组合器 114 的第一端口。组合器 114 在第三端口产生第一输出信号 128，并在第四端口产生第二输出信号 130。

第一输出信号 128 具有一个误差分量，该误差分量通常是由放大器 110 内来自放大信号的 IM 产物所造成的。第二输出信号 130 具有一个代表着由放大器 110 所产生的 IM 产物的误差分量以及一个剩余的载波信号分量。载波检波器 116 接收第二输出信号 130，并对输出

信号 130 中还没有被组合器 114 去掉的剩余载波信号分量进行检波。为了最大程度地减小这个剩余载波信号分量，由控制器 170 来调整第一相位和增益控制电路 108。

第二相位和增益控制电路 118 接收第二输出信号 130，并响应于来自控制器 170 的控制信号。第二相位和增益控制电路 118 根据来自控制器 170 的控制信息，产生一个表示第一输出信号 128 中的误差分量的信号 132。然后，由误差放大器 122 把信号 132 放大，来产生一个误差信号 134。

由第二延迟线 120 延迟输出信号 128，产生第一已放大信号 129。由于放大器 110 的失真特性，第一已放大信号 129 具有一个误差分量。误差插入耦合器 136 接收第一已放大信号 129 和误差信号 134，并产生一个组合信号。

在最佳实施例中，控制器 170 包括一个微处理器，例如 Motorola 68030 处理器，对该微处理器进行编程，来控制第二相位和增益控制电路 118，以便通过误差插入耦合器 136 之后，误差信号 134 具有 2 倍于第一已放大信号 129 中的误差分量的振幅那样大的振幅。另外，误差信号 134 是相位不同步的，最好与第一已放大信号 129 中的误差分量偏离 180° 相位。

第二导频调制器电路 138 从误差插入耦合器 136 接收组合信号，并利用来自相位导频源 140 和增益导频源 142 的导频调制信号，产生一个导频已调制输出信号 151。由主放大器 152 来放大来自第二导频调制器 138 的输出信号 151，产生一个输出已放大信号 154。由输出采样器 156 来对输出已放大信号 154 进行抽样，然后把它提供出来，作为误差校正放大器电路 100 的输出中的误差削减已放大信号 158。

2 路分离器 160 把来自输出采样器 156 的已抽样信号分为两路。第一路传送到包络检波器 162，第二路传送到包络检波器 164。第一路包括相位导频检波器 168，第二路包括增益导频检波器 166。相位导频检波器 168 和增益导频检波器 166 分别从相位和增益导频源 140 和 142 接收输入。相位和增益导频检波器 168 和 166 各自提供一个控制器 170 所用的包络检波后相位和增益导频信号信息的控制信号。控制器 170 根据从导频检波器 166 和 168 检波到的信号信息，通过调整第二相位/增益控制电路 118 来减少输出信号 158 中的 IM 产物。

电路 100 的另一个特点是在所有通往导频调制器 106、138 的导频信号线路中装备了控制器驱动通/断开关 144、146、148、150。当适当的通/断开关已经把进入导频调制器 106、138 的调制输入关闭时,控制器 170 具有通过对它们的输出进行采样,“清零(null out)”所有导频检波器 166、168 的直流偏移的能力。然后,当导频调制器再次开启时,控制器 170 从导频检波器输出中减去一个测得的剩余直流偏移信号。当然,通过把直流补偿开关 144、146、148、150 放在包络检波器输出和导频检波器输入之间的线路中,或者通过提供一种把与包络检波器输出相连的导频检波器输入“接地(ground)”的装置,也能够实现同样效果。

图 2 图解说明了带有前置放大器 208 的放大器电路 200 的另一个最佳实施例。与图 1 中的放大器电路 100 相比,已经略微修改了放大器电路 200,并且这里将仅描述差别。在图 1 中的输入 102 和 2 路分离器 104 之间,受到相位和增益导频源 140 和 142 的第一和第二导频控制线路 206 和 204 驱动的第三导频调制器 202 被连接到前置放大器 208。最好选择具有基本上类似于伴随放大器 110 的失真特性的前置放大器 208。在这种方式下,控制器 170 可以根据检波器 166 和 168 的输出,补偿第三放大器 208 中的失真,正如上文中参照图 1 所描述的那样。

普通技术人员将意识到并懂得:很多附加放大器可以被增加到图 1 所示的放大器电路中,例如图 2 中的前置放大器 208。尽管可以采用多个放大器,但是重要的是注意到每个放大器最好与导频调制器电路相连,例如图 2 中的导频调制器 202。另外,在最佳实施例中,每个放大器实际上有相同的失真特性。在每个放大器基本上具有相同失真特性的地方,控制器 170 可以更精确地确定插入到误差耦合器 136 中的误差信号 134 的正确的振幅和相位。但是,即使这些放大器具有不同的失真特性,也可以对控制器 170 进行编程,调整与每个放大器相连的各个相位和增益控制电路,以补偿这些变化。

本发明的另一方面提供了一种自动地调整相位和增益控制 108 和 118 的方法,以便误差信号 134 的振幅和相位抵消由主放大器 152 所产生的失真。在这种最佳调整方法中,第一相位和增益控制 108 被设置用来最大程度地降低出现在第二输出信号 130 中的载波功率。这可以是一个自动的、

自适应的过程，正如图 1 中所表示的那样，这里，为了最大程度地降低载波检波器 116 所检波的功率，控制器 170 连续地修改第一相位/增益控制 108 的设置。载波抵消也可以只是一种简单的、一次性的调整。在某些情况下，后一种方法可能是最佳的，这是因为如果误差放大器 122 是相当大的，足以处理最终的信号，而不引入它本身的任何明显的失真的话，这个系统允许第二输出信号 130 中的少量载波功率。

技术人员将懂得，调整第一相位和增益控制 108 的步骤主要被用来补偿伴随放大器 110 的增益和相位偏移中的漂移。如果这些问题不太严重，就可以省略这一步，而不会对系统性能造成消极影响。

然后，调整第二相位和增益控制 118 内的相位调整装置，来最大程度地减小相位导频检波器 168 的输出。同样，调整第二相位和增益控制 118 内的增益调整装置，来最大程度地减小增益导频检波器 166 的输出。然后，重复上述步骤，直到在导频抵消中看不到更进一步的改善。然后，把第二导频调制器 138 的输出设置为“仿真(simulate)”由主放大器 152 产生的失真。

第二导频调制器 138 允许电路 100 自我调整，以便由第一导频调制器 106 产生的调制边带(sidebands)在误差插入耦合器的输出处看上去具有与载波相同的振幅，而与第一导频调制器 106 的输出处呈现的调制边带相差 180° 相位。在第二导频调制器 138 的输出处，最好由在第二导频调制器 138 自身内部产生的调制边带来“抵消”这些调制边带。在最佳实施例中，选择导频调制器和放大器分量来适应下面理论上的理想条件：

1. 所有导频调制器本身不产生 IMD。
2. 所有导频调制器具有相同的调制特性。
3. 所有导频调制器在信号通路上相邻地在它们各自的放大器之前。
4. 在每个调制器中，增益导频信号具有相同的振幅和相位。
5. 在每个调制器中，相位导频信号具有相同的振幅和相位。
6. 主放大器和伴随放大器两者有相同的失真特性。

上述理论上的条件强调了设计该系统的重点 — 每个导频调制器精确地仿真它的相关放大器的失真特性。

实际上，主放大器 152 和伴随放大器 110 两者将有相同的失真特性是

不可能的。但这不要紧，只要该差别是相当小的和可重复的(或至少不随时间和温度而变化)。在这种情况下，在被提供给每个导频调制器的导频调制信号中存在微小的差别，并且调整增益导频振幅以补偿两个放大器之间的增益压缩中的差别。例如，如果主放大器 152 比伴随放大器 110 具有更大的增益压缩，那么可以增加提供给第二导频调制器 138 的增益导频信号。同样，可以调整相位导频振幅来补偿相位-振幅调制转换中的差别。最好只进行一次导频振幅调整，或者作为放大器设计过程的一部分，或者作为每个放大器设计过程中所完成的最后的调整步骤的一部分，或者作为每个放大器生产过程中所完成的最后的调整步骤的一部分。

现在来看图 3，图 3 图解说明了另一个最佳实施例。这个最佳实施例在某些应用中比图 1 所示的系统好，例如，在伴随放大器将被驱动至与主放大器具有相同功率电平的应用中。因为同等功率电平的两个放大器能够具有比不同功率电平的两个放大器更紧密匹配的失真特性，所以这种方法能够给出比前面的两个实施例更好的误差抵消。但是，为了有效地工作，伴随放大器 110 的功率输出必须在相位上与主放大器 152 的输出进行求和，以便两个放大器对系统输出 258 起同等作用。

通过第一次增加 3 路分离器 302，建立第三输入信号通路，图 3 所示的系统提供了一种完成上述功率求和的装置，这里，第三输入信号通路包括驱动第二导频调制器 138 的第三延迟线 304 和第三增益和相位控制 306。误差插入耦合器 136 被沿着第三输入信号通路放置，并且被连接于第三相位和增益控制 306 与第二导频调制器 138 之间。第二延迟线 120 的输出 129 被馈送到输出组合器(output combiner) 308，以便能够把它加给主放大器输出 154。

在最初的系统设计期间，选择第三延迟线 304 的延迟，来使输入分离器 302 的延迟匹配于误差放大器 122 的输出。在调整过程中，为了最大程度地减小来自泄放端口检波器 310 的信号，调整第三相位和增益控制 306，从而最大程度地减小在与输出组合器 308 相连的泄放端口 312 处所浪费的功率。这迫使伴随放大器和主放大器 110、152 实际上工作在几乎处于同样的功率电平上同相 (in phase) (假如载波抵消组合器和第二延迟线中不存在功率损耗的话，这些功率电平将是真正相等的)。在第一 108 和第二

118 相位和增益控制中间，正常地进行第三相位和增益控制 306 的调整。

图 4 中提供了另一个最佳实施例。这个系统类似于图 3 中的系统，在伴随和主放大器两者几乎具有相同功率输出能力的场合使用它。主要的区别在于，图 4 摆脱了图 3 中的第二信号通路(误差放大器及相关模块)，但却以更复杂的调整过程为代价，正如下文所指出的那样。

1. 第一步是把该系统作为一个常规类型 2 前向反馈环路来预调整它。通过关闭第二导频调制器，然后按照申请中的美国专利申请系列号 08/282298 中概述的调整步骤来完成这一步。

2. 重新打开第二导频调制器。

3. 顺序地重复下述步骤：

3a. 同时并同方向地调整第一和第二增益控制，以对检测到的增益导频信号进行清零。

3b. 如果需要的话，调整第一相位控制，以对检测到的相位导频信号进行清零。

3c. 调整第二增益和相位控制，以最大程度地降低传递到泄放负载(dump load)的功率。

应该注意到，仅需要利用步骤 3b 来补偿放大器级中增益调整装置和振幅调制(AM)/相位调制(PM)转换中的附带相位偏移。如果这些问题不太严重，那么就可以省略步骤 3b，而不会影响最后的(校准后)系统性能。这是因为，理论上讲，增益平衡是直接类型 2 前向反馈回路和采用附加误差修正预失真的方法之间的唯一区别。

技术人员应该懂得，上文描述的方法和装置适用于放大多载波输入信号，来产生放大的输出，并减少 IM 产物。另外，本最佳实施例有助于实现这种理想的功能，而不需要采用昂贵的频谱分析设备，并且不需要缓慢的收敛迭代过程。

技术人员将很容易发现上文所描述的装置和方法的其它优点和修改。就其广义性而言，本发明因而不局限于特定的细节、代表性的装置和上文所图示和描述的图解性的实施例。在不背离本发明的范围和主旨的情况下，可以作出各种修改和变化，并且如果这些修改和变化进入下面的权利要求及与其相当的范围之内，本发明打算覆盖所有这样的修改和变化。

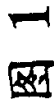


图 2

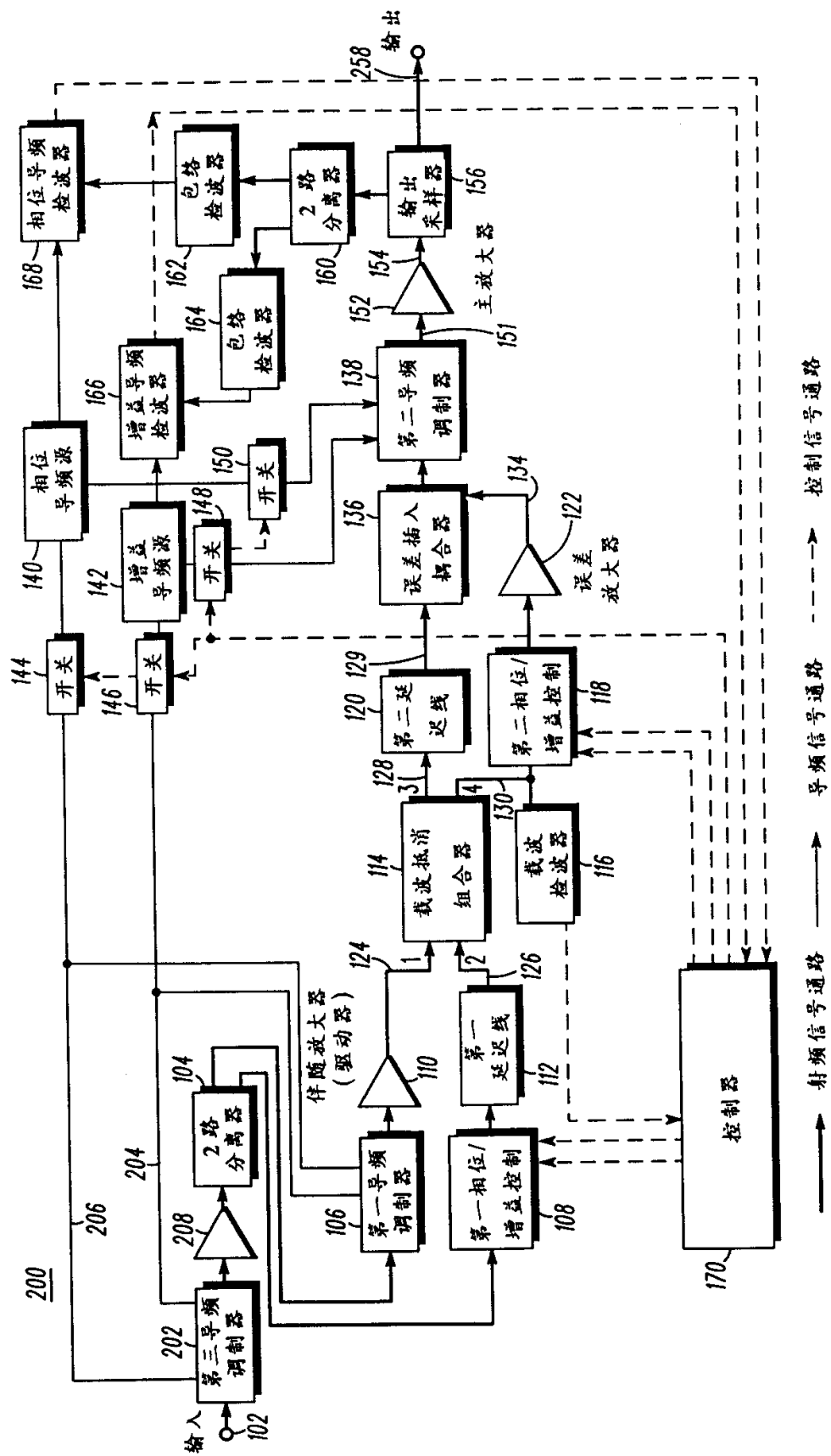


图 3

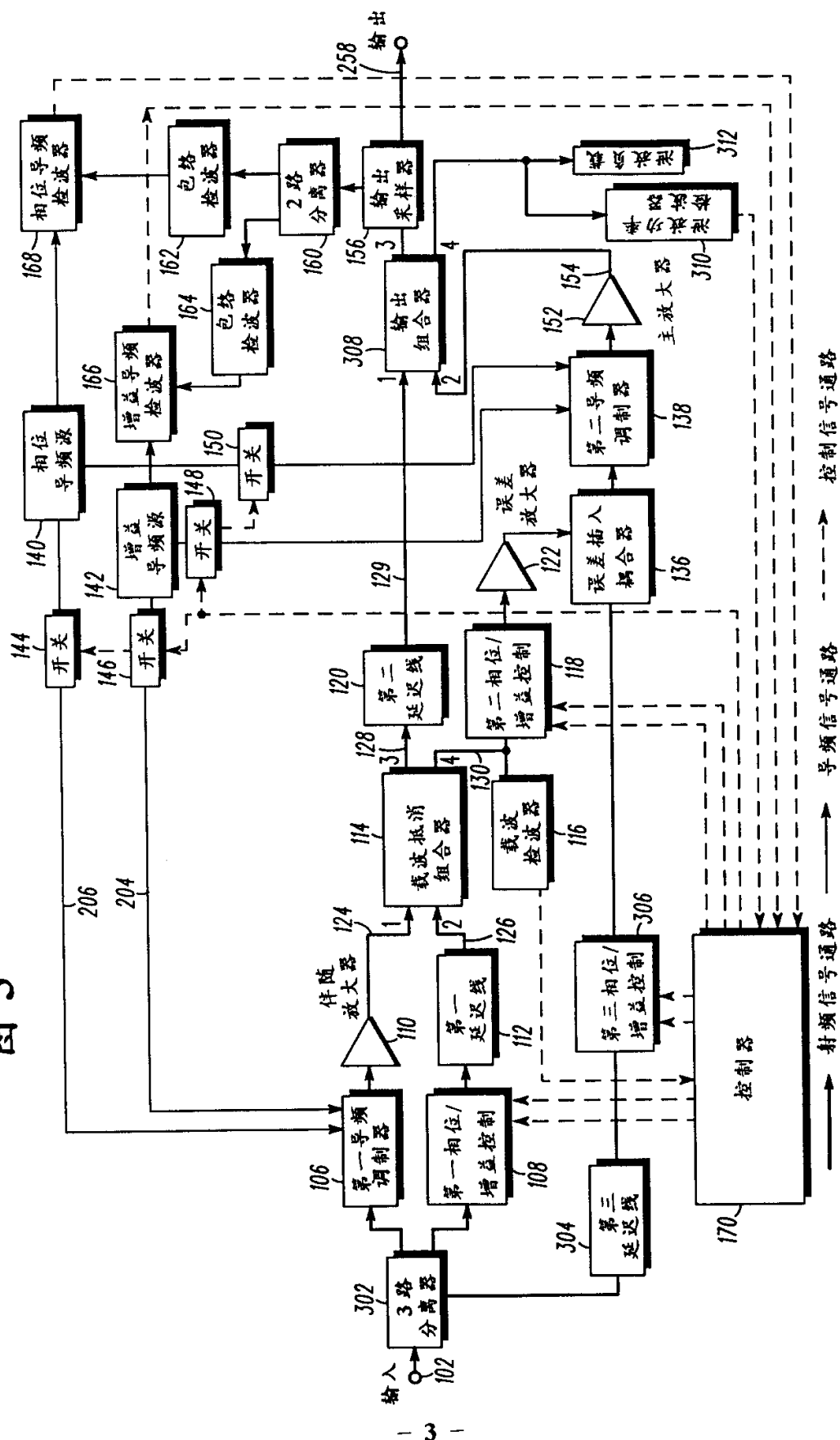


图 4

