

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00808871.3

[43] 公开日 2002 年 6 月 26 日

[11] 公开号 CN 1355954A

[22] 申请日 2000.5.12 [21] 申请号 00808871.3

[30] 优先权

[32] 1999.5.14 [33] US [31] 09/312,354

[86] 国际申请 PCT/US00/13008 2000.5.12

[87] 国际公布 WO00/70749 英 2000.11.23

[85] 进入国家阶段日期 2001.12.12

[71] 申请人 哈里公司

地址 美国佛罗里达

[72] 发明人 埃德温·R·特维切尔

罗伯特·普劳卡

[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

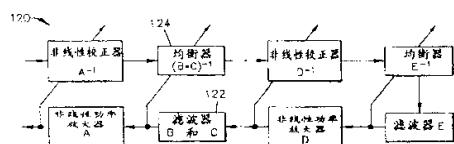
代理人 冯庆宣

权利要求书 4 页 说明书 13 页 附图页数 4 页

[54] 发明名称 带有分布式校正的广播发射系统

[57] 摘要

发射系统(14)广播一个信息信号。在系统(14)内，当该信号 经过处理并朝广播天线传送时，几个部件(如 20 - 24)会对该信息信 号造成失真。引起失真的部件集(20 - 24)表示为第一组，沿朝天线方 向的信号路径(12)顺序排列。第一组部件(20 - 24)执行包括放大等 多种功能，但其中每个部件都会使信息信号偏离预期值 产生失真。第二组部件(如 28 - 32)用来修正信息信号 以对第一组部件(20 - 24)引 起的偏离失真进行补偿。第二组部件(28 - 32)位于第一组部件(20 - 24) 的 上 游。第二组部件(28 - 32)顺序排列以修正信息信号，按 与失真产 生相反的次序进行失真补偿。



权 利 要 求 书

1. 一种用于广播信息信号的发射系统，所述系统包括：顺序排列的第一组部件，其中至少包括一个放大器，所述第一组部件中的每个部件对信号执行一种功能，并且每一个部件使信息信号偏离预期值产生失真；以及第二组部件，用于修正信息信号以对所述第一组部件引起的偏离失真进行补偿，所述第二组部件位于第一组部件的上游，所述第二组部件顺序排列以修正信息信号，按与失真产生相反的次序进行失真补偿。

2. 根据权利要求 1 所述的一种系统，其中，所述第一组部件中包括有引起线性失真的第一部件和引起非线性失真的第二部件，并且所述第一组部件的部件数量与所述第二组部件的部件数量相等。

3. 一种用于广播信息信号的发射系统，所述系统包括：顺序排列的第一组部件，其中每一个部件对信息信号执行一种功能，所述第一组部件中的第一部件使信息信号产生偏离预期值的线性失真，所述第一组部件中的第二部件使信息信号产生偏离预期值的非线性失真；以及位于第一组部件上游的第二组部件，用于修正信息信号，以对所述第一组部件引起的偏离失真进行补偿，所述第二组部件中的第一部件修正信息信号以补偿线性失真，所述第二组部件中的第二部件修正信息信号以补偿非线性失真，所述第二组部件中的所述第一及第二部件顺序排列以修正信号，按与失真产生相反的次序进行失真补偿。

4. 根据权利要求 3 所述的系统，其中，所述第一组部件中的所述第一部件位于所述第一组部件中所述第二部件的上游，而所述第二组部件中的所述第二部件位于所述第二组部件中所述第一部件的上游。

5. 根据权利要求 3 所述的系统，其中，所述第一组部件中第三部件使信息信号产生偏离预期值的线性失真，所述第二组部件中的第三部件修正信息信号，以对所述第一组部件中所述第三部件引起的线性失真进行补偿，所述第一组部件中的所述第三部件位于所述第一组

部件中所述第二部件的下游，而所述第二组部件中的所述第二部件位于所述第二组部件中所述第三部件的下游。

6. 根据权利要求 3 所述的系统，其中，所述第一组部件中的所述第二部件位于所述第一组部件中所述第一部件的上游，而所述第二组部件中的所述第一部件位于所述第二组部件中所述第二部件的上游，所述第一组部件的部件数量与所述第二组部件的部件数量相等。

7. 一种用于广播信息信号的发射系统，该系统具有一信号路径，沿该路径信号朝天线方向往前，所述系统包括：位于信号路径上的第一部件，用于对信息信号执行一种功能，所述第一部件使信息信号产生偏离预期值的非线性失真；位于信号路径上的第二部件，用于对信息信号执行一种功能，所述第二部件使信息信号产生偏离预期值的线性失真；位于信号路径上的第三部件，用于对信息信号执行一种功能，所述第三部件使信息信号产生偏离预期值的线性失真，所述第二及第三部件组合在一起，沿信号路径位于所述第一部件的上游或下游；位于信号路径上的第四部件，用于修正信息信号以补偿由所述第一部件引起的非线性失真；位于信号路径上的第五部件，用于修正信息信号以补偿由所述第二部件引起的线性失真；以及位于信号路径上的第六部件，用于修正信息信号以补偿由所述第三部件引起的线性失真，所述第五及第六部件组合在一起，沿信号路径位于所述第四部件的上游或下游，所述第五及第六部件相对于所述第四部件的上游/下游位置与所述第二及第三部件相对于所述第一部件的上游/下游位置相反。

8. 根据权利要求 7 所述的系统，其中，所述第二部件位于所述第三部件的上游，所述第五部件位于所述第六部件的下游；或者所述第二部件位于所述第三部件的下游，所述第五部件位于所述第六部件的上游；最好是将所述第五及第六部件合并在一起，以便同时补偿由所述第二及第三部件造成的线性失真。

9. 一种适用于射频发射机系统的失真补偿装置，其中该射频发射机系统包括：一个用于对要发射的数字信号进行处理的输入电路；一个用于将数字信号转换为模拟形式的数-模转换器；一个用于对模拟

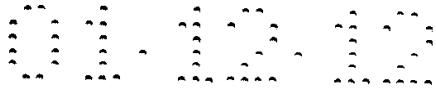
信号进行射频载波调制的上变换器；至少一个射频滤波器电路和至少一个射频放大器电路，其中滤波器和放大器电路使调制过的射频载波产生线性及非线性失真，该失真补偿装置包括在输入电路与数-模转换器之间连接的自适应数字信号失真补偿电路，用于对要送到数-模转换器上的数字信号进行处理，所述自适应数字信号失真补偿电路响应来自射频滤波器和放大器电路的输出信号，对数字信号进行修正，以对该数字信号提供线性及非线性补偿，对数字信号进行补偿的次序与滤波器和放大器电路连接的次序相反。

10. 根据权利要求 9 所述的失真补偿装置，其中：射频放大器电路耦合到一个输出电路上，输出信号从输出电路送到所述自适应数字信号失真补偿电路，以针对输出电路引入的失真修正数字信号；针对输出电路引入的失真对数字信号进行的这种修正，是由所述自适应数字信号失真补偿电路进行序列补偿中的第一个；所述自适应数字信号失真补偿电路中包括多个串连的补偿电路，用于按顺序修正数字信号；所述补偿电路中包括线性及非线性补偿电路，它们的连接次序与由滤波器、放大器及输出电路引入的线性及非线性失真的次序相反；并且射频发射机最好包括一系列顺序相连的第一滤波器、第一放大器、第二滤波器、第二放大器的组合，其中滤波器电路引入线性失真，而放大器引入非线性失真；所述自适应数字信号失真补偿电路包括一系列顺序相连的补偿电路组合，即响应第二放大器输出的第一非线性补偿电路、响应第二滤波器输出的第一线性补偿电路、响应第一放大器输出的第二非线性补偿电路以及响应第一滤波器输出的第二线性补偿电路。

11. 一种数字电视射频发射机系统，其中包含：一个用于对要发射的数字电视信号进行处理的输入电路；一个用于将数字电视信号转换为模拟形式的数-模转换器；一个用于对电视模拟信号进行射频载波调制的上变换器；至少一个射频滤波器电路和至少一个射频放大器电路，其中所述滤波器和放大器电路使调制过的射频载波电视信号产生线性及非线性失真；一个用于接收来自所述滤波器和放大器电路的输

出射频载波电视信号、并对这些输出信号进行下变换的下变换器；一个用于将来自所述滤波器和放大器电路并经过下变换的模拟电视信号转换为数字形式的模-数转换器；以及连接在所述输入电路与所述数-模转换器之间的自适应数字信号失真补偿电路，用于对要送到所述数-模转换器上的数字信号进行处理，所述自适应数字信号失真补偿电路响应来自所述模-数转换器的、对应于所述滤波器和放大器电路的输出的数字信号，对数字电视信号进行修正，以对该数字电视信号提供线性及非线性补偿，应用于数字电视信号的补偿就是按这样的次序进行的。

12. 根据权利要求 11 所述的数字电视射频发射机，其中，所述自适应数字信号失真补偿电路中包括多个串连的补偿电路，用于顺序修正数字电视信号，所述补偿电路中包括线性及非线性补偿电路，它们的连接次序与由所述滤波器及放大器电路引起的线性及非线性失真的次序相反；所述放大器电路耦合到一个输出电路上，输出信号从所述输出电路送到所述自适应数字信号失真补偿电路，以针对所述输出电路引入的失真修正数字电视信号；针对输出电路引入的失真对数字电视信号进行的这种修正，是由所述信号分布式补偿电路进行序列补偿中的第一个；最好采用包括第一及第二滤波器电路的至少一个滤波器电路，以及包括第一及第二放大器电路的至少一个放大器电路，所述滤波器及放大器电路为一系列顺序相连的所述第一滤波器电路、所述第一放大器电路、所述第二滤波器电路及所述第二放大器电路的组合，其中所述滤波器电路引入线性失真，而所述放大器电路引入非线性失真；所述自适应数字信号失真补偿电路中包括一系列顺序相连的补偿电路组合，即响应所述第二放大器电路输出的第一非线性补偿电路、响应所述第二滤波器电路输出的第一线性补偿电路、响应所述第一放大器电路输出的第二非线性补偿电路以及响应所述第一滤波器电路输出的第二线性补偿电路。



说 明 书

带有分布式校正的广播发射系统

本发明有关广播发射系统，特别是针对诸如数字电视（DTV）发射系统这样的数字发射系统中的失真补偿。

在诸如 DTV 广播系统的高速广播发射系统中，有的部件会使信息信号偏离预期值而失真。尤其是这种系统中的功率放大器在放大信号时会使信号产生非线性失真。此外，广播发射系统中还包含诸如带限滤波器这样的滤波器，在信号滤波时会使信号产生线性失真。

发射系统中产生这些失真会导致幅度和相位突变（AM/AM，AM/PM），以及幅度和相变随频率变动（频响和群时延）。在相位-幅度调制系统中，为达到最佳的系统性能，必须保持幅度及相位的完整性。

电视系统中通常采用模拟方式的预失真均衡器与静态（非自适应）校正器来实现均衡。这样的均衡器和校正器要求厂家调校以提供预期的预失真量（预均衡）。均衡器与校正器的老化，以及温度的变化会使均衡器及校正器施加的预失真量发生漂移，因而有时需要进行现场调校。

数字信号处理技术可以提高信息信号预失真的性能。特别是，数字信号处理可用于自适应校正和均衡方法中。这种自适应方法可以不需要厂家及现场调校。

众所周知，在送往天线的信号流中要进行信号自适应校正。然而，在相对较快的数据系统中，这种校正需要在短时间内进行相对大量的数据处理。在一种公知的技术中，对所有失真（线性的与非线性的）在单个步骤中进行校正。

在另一种技术中，沿到天线方向逐个地对部件系统内的失真进行校正。尤其是对于每个部件，对从该部件输出的信号进行监测，以确定该部件造成的失真量，然后针对该部件进行校正。接着，下一个部

件被监测以对其进行失真校正。然而，这种技术比较费时，通常不适合于高速数据流。此外，在这样的系统中幅度或群时延随频率变动可能会被误认为幅度与相位的突变。

因此，需要一种对数字广播发射系统中的线性及非线性失真进行自适应校正的高速技术。

本发明包含一种用于广播信息信号的发射系统，所述系统包括：顺序排列的第一组部件，其中至少包括一个放大器，所述第一组部件中的每个部件对信息信号执行一种功能，并且每一个部件使信息信号偏离预期值产生失真；第二组部件，用于修正信息信号以对所述第一组部件引起的偏离失真进行补偿，所述第二组部件位于第一组部件的上游，其中各部件顺序排列来修正信息信号，按与失真产生相反的次序进行失真补偿。本发明可方便地提供一种广播信息信号的发射系统。该系统中包括顺序排列的第一组部件，其中至少包括一个放大器。第一组部件中的每个部件对信息信号执行一种功能，并且与第一组部件中的每个部件使信号偏离预期值产生失真。该系统中还包括第二组部件，用于修正信号以对第一组部件引起的偏离失真进行补偿。第二组部件位于第一组部件的上游。第二组部件顺序排列以修正信号，按与失真产生相反的次序进行失真补偿。

本发明还包括一个数字电视射频发射机系统，该系统包含：一个用于对要发射的数字电视信号进行处理的输入电路；一个用于将数字电视信号转换为模拟形式的数-模转换器；一个用于对电视模拟信号进行射频载波调制的上变换器；至少一个射频滤波器电路；至少一个射频放大器电路，其中所述滤波器和放大器电路使调制过的射频载波电视信号产生线性及非线性失真；一个用于接收从所述滤波器和放大器电路的输出的射频载波电视信号，并对这些输出信号进行下变换的下变换器；一个用于将来自所述滤波器和放大器电路并经过下变换的模拟电视信号转换为数字形式的模-数转换器；以及连接在所述输入电路与所述数-模转换器之间的自适应数字信号失真补偿电路，用于对要送到所述数-模转换器上的数字信号进行处理，所述自适应数字信号失真补

偿电路响应来自所述模-数转换器的、对应于所述滤波器和放大器电路的输出的数字信号，对数字电视信号进行修正，以对该数字电视信号提供线性及非线性补偿。应用于该数字电视信号的补偿就是按这样的次序进行的。本发明可方便地提供一种包括按顺序排列的第一组部件的发射系统。第一组部件中的每一个对信息信号执行一种功能。第一组部件中的第一个部件使信息信号产生偏离预期值的线性失真。第一组部件中的第二个部件使信号产生偏离预期值的非线性失真。该系统还包括位于第一组部件上游的第二组部件。第二组部件修正信息信号，以对第一组部件引起的偏离失真进行补偿。第二组部件中的第一个部件修正信息信号以补偿线性失真。第二组部件中的第二个部件修正信息信号以补偿非线性失真。第二组部件中的第一及第二部件顺序排列以修正信号，按与失真产生相反的次序进行失真补偿。

另一方面，本发明提供了一种用于广播信息信号的发射系统，该系统具有一信号路径，沿该路径信息信号朝天线方向传送。在该系统中，第一个部件位于该信号路径上，对信息信号执行一种功能。第一个部件使信息信号产生偏离预期值的非线性失真。第二个部件位于该信号路径上，对信息信号执行一种功能。第二个部件使信息信号产生偏离预期值的线性失真。第三个部件位于该信号路径上，对信息信号执行一种功能。第三个部件使信号产生偏离预期值的线性失真。第二与第三部件组合在一起，沿信号路径位于第一部件的上游或下游。第四个部件位于该信号路径上，并且修正信息信号以补偿由第一部件引起的非线性失真。第五个部件位于该信号路径上，并且修正信息信号以补偿由第二部件引起的线性失真。第六个部件位于该信号路径上，并且修正信息信号以补偿由第三部件引起的线性失真。第五与第六部件组合在一起，沿信号路径位于第四部件的上游或下游。第五与第六部件相对于第四部件的上游/下游位置与第二与第三部件相对于第一部件的上游/下游位置相反。

再一个方面，本发明提供一种适用于射频发射机系统的失真补偿装置。该系统包括：一个用于对要发射的数字信号进行处理的输入电

路；一个用于将数字信号转换为模拟形式的数-模转换器；一个用于对模拟信号进行射频载波调制的上变换器。该系统中还包括至少一个射频滤波器电路和至少一个射频放大器电路。滤波器和放大器电路使调制过的射频载波信号产生线性及非线性失真。在这种装置中，在输入电路与数-模转换器之间连接有自适应数字信号失真补偿电路，用于对要送到数字-到-模拟转换器上的数字信号进行处理。该自适应数字信号失真补偿电路响应射频滤波器和放大器电路的输出信号，对数字信号进行修正，以对该数字信号提供线性及非线性补偿。对数字信号进行补偿的次序与滤波器和放大器电路连接的次序相反。

另一个方面，本发明提供一种数字电视射频发射机系统。一个输入电路对要发射的数字电视信号进行处理。一个数-模转换器将数字电视信号转换为模拟形式。一个上变换器对电视模拟信号进行射频载波调制。该系统中包括至少一个射频滤波器电路和至少一个射频放大器电路。滤波器和放大器电路使调制过的射频载波电视信号产生线性及非线性失真。一个下变换器接收来自滤波器和放大器电路的输出的射频载波电视信号，并对这些输出信号进行下变换。一个模-数字转换器将来自滤波器和放大器电路并经过下变换的模拟电视信号转换为数字方式。自适应数字信号失真补偿电路连接在输入电路与数-模转换器之间，用于对要送到数-模转换器上的数字信号进行处理。该自适应数字信号失真补偿电路响应来自模-数转换器的、对应于滤波器和放大器电路输出的数字信号，对数字电视信号进行修正，以对该数字电视信号提供线性及非线性补偿。对数字电视信号进行补偿的次序与滤波器和放大器电路连接的次序相反。

下面参照附图通过示例的方式说明本发明，其中：

图 1 为根据本发明的顺序排列的各部件的功能方框图；

图 2 为应用本发明的一种实例设备的方框图；

图 3 为放大器转换曲线图；

图 4 为用于使放大器输出线性化的校正图；

图 5 为图 2 所示设备中的一部分的方框图，其详细示出了根据本

发明的装置；

图 6 为根据本发明的另一实施例的功能方框图；

图 7 为根据本发明的再一实施例的功能方框图；

图 8 为根据本发明的另一实施例的功能方框图；

图 9-12 为级联式系统的数学模型图。

本发明的一个实例为图 1 中以功能方框图的形式所示的装置 10，表示为沿数据流路径 12 顺序排列的多个部件。数据流 12 用于以相对高的速率发射的信息数据信号。此外，该数据信号一般有相对宽的频带（如 18MHz）。

高数据率和带宽与配有装置 10 所处的系统环境有关。尤其是，装置 10 最好是如图 2 所示的高清晰度（“HD”）数字电视（“DTV”）系统 14 的一部分。DTV 最好在天线频率范围内广播信号。在一个实施例中，广播信号位于超高频范围内（300-3000MHz），并且最好在 470-860MHz 范围内。DTV 系统 14 在有关部分包括有一个 8VSB 激励器 16 和一个发射机 18。

图 1 所示装置 10 的各部件位于图 2 所示的 8VSB 激励器 16 和发射机 18 内。特别是，发射机 18（图 1）包括有功率放大器 20、位于该放大器上游的放大前滤波器（pre-amplification filter）22 被称为输入滤波器，而放大后滤波器 24 被称为大功率滤波器。发射机 18 中还可包括其它部件。

功率放大器 20 将信息信号放大到适合 RF 信号广播发射的功率水平。在一个实例中，放大后的功率达到 50 千瓦。功率放大器 20 也可由一系列放大设备组成。若功率放大器 20 内包含多个放大设备，在大功率滤波器 24 的旁边需配置一个合成器设备，对放大器设备的输出进行合成。应当理解，可以采用各种放大器配置，并且大功率滤波器中可包含适合的附加部件，如合成器电路。

下面讨论一个理论上“理想”的系统，发射机所有的部件均为理想的。特别是，该系统的功率放大器是理想的，理想放大器的转换曲线为线性。图 3 中的虚线是这种理想转换曲线的一个示例。因此，在

这样的理想系统内，具有给定放大前功率的信息信号将由放大器放大到某个预定功率，这种放大仅根据表示放大量的线性关系即可。同样地，该理想系统内的滤波器也不会造成任何失真。

然而，装置 10 中实际的功率放大器 20 不是理想的，实际的放大器转换曲线不是线性的。在信息信号放大的过程中，功率放大器 20 会使信息信号产生非线性失真。特别是，非线性失真会导致幅度与相位突变。图 3 中的实线为实际的转换曲线的一个示例。因此，需要对信息信号进行校正以补偿功率放大器 20 所造成的失真。图 4 中的实线为一个校正示例。

此外，发射机 18 中的滤波器 22 和 24 使信息信号产生线性失真。输入滤波器 22 使信息信号产生第一线性失真，大功率滤波器 24 使信息信号产生第二线性失真。特别是，由大功率滤波器 24 造成的失真会导致群时延和幅度响应（即幅度随频率变化）。因此，对于发射机 18 中的几个部件 20-24 中的每一个，都需要对信息信号施加一定的校正或均衡量以进行补偿。

再回到理论上理想的系统，对信息信号进行的任何处理（即放大或滤波）都是时不变的。特别是，在该理想系统中，对信号进行的处理操作不会随时间变化。这样，对于给定的输入激励，该理想系统的输出总是相同的，而与激励发生的时间无关。

然而，发射机 18 实际上是时变的。特别是，对于给定的输入激励，发射机 18 的输出随时间变化。时变的原因之一就是发射机 18 内的热效应。这种热效应会引起由功率放大器 20、滤波器 22 及 24 造成的信号失真量的改变。因此，有必要对所有失真（包括线性和非线性的）进行补偿，适应失真的变化。

根据本发明的装置 10 在 8VSB 激励器 16 内提供三个校正器或均衡器部件 28-32，用于发射机 18 内的部件 20-24 引起的三次失真。特别是，自适应非线性校正器 28（例如预均衡电路）对信号施加一个预失真，以补偿由功率放大器 20 引起的非线性失真。自适应线性均衡器 30（例如预校正电路）对信息信号施加一个预失真，以补偿由输入滤

波器 22 引起的线性失真。自适应线性均衡器 32（例如预均衡电路）对信息信号施加一个预失真，以补偿由大功率滤波器 24 引起的线性失真。总体上，线性均衡器 32、非线性校正器 28 以及线性均衡器 30 用做自适应数字信号失真补偿电路。

线性均衡器 32、非线性校正器 28 以及线性均衡器 30 按照这样的顺序排列，即预失真（或预校正）施加的顺序与失真产生的顺序正好相反。特别是，由于大功率滤波器 24 所造成的线性失真最后才产生（即处于其它所有失真的下游位置），线性均衡器 32 就最先施加线性预失真。由非线性校正器 28 施加的非线性预失真第二个发生，因为由功率放大器 20 造成的非线性失真第二个发生。由线性均衡器 30 施加的线性预失真第三个发生（即位于来自线性均衡器 32 的预失真以及来自非线性校正器 28 的预失真的后面），因为由输入滤波器 22 造成的失真最先产生（即在由功率放大器 20 和大功率滤波器 24 造成的失真之前）。

根据本发明，采用反向预失真是基于几点考虑。第一，线性影响与非线性影响混合时不再具有叠加性（即它们不能相互转换）。第二，若不存在非线性影响，线性函数本身保持叠加性。第三，一个理想“系统”（考虑由一个或多个部件组成的“系统”）可任意与线性系统或非线性系统混合。也就是说，其它任何类型的系统与理想系统混合时都不会改变其叠加性能。为说明这几点，可采用数学方法。诸如功率放大器这样的非线性器件可表示为如下的数学模型：

$$y(t) = a_1x(t) + a_2x^2(t) + a^3(t) + \dots$$

令 $x(t)$ 为如下的随机调制信号：

$$x(t) = p(t) \cos(\omega + \theta)$$

其中： $p(t)$ 为基带调制信号；

ω 为载波频率；

θ 为固定相位偏移。

为简单起见，假定只有三阶系统，则：

$$y(t) = 1/2a_2p^2(t) + [a_1p(t) = a_3p^3(t)] \cos(\omega t + \theta) + 1/2a_2p^2(t) \cos[2(\omega t + \theta)] \\ + 1/2a_3p^3(t) \cos[3(\omega t + \theta)]$$

只有奇次阶积对基本幅度起作用。假定采用带通滤波器消除 DC 项及谐波项，一般系统可简化成如下的信号：

$$Y(t) = [\sum a_k p^k(t)] \cos(\omega t + \theta) \\ (k=1, 3, 5, \dots)$$

对于介于非线性到线性之间的系统， a_k 项趋于 0 比 $p^k(t)$ 项趋于无穷大的速度快。这对系统的阶次有限制。若是这样的模型，此类系统相当平直，需要相对较少的系数标识符。

一种级联式校正系统如图 9 所示。选取 $w(t)$ 为如下的二阶非线性系统：

$$w(t) = a_1x(t) + a_2x^2(t)$$

同样假设 $v(t)$ 为如下的任意阶非线性多项校正器：

$$v(t) = b_1x(t) + b_2x^2(t) + b_3x^3(t) + \dots$$

若想使级联系统的输出为输入的线性函数，即 $y(t) = Ax(t)$ ，其中 A 为某个数量值（假定统一简化），则系统转换函数为：

$$y(t) = x(t) = a_1v(t) + a_2v^2(t) \\ x(t) = a_1[b_1x(t) + b_2x^2(t) + b_3x^3(t) + \dots] + a_2[b_1x(t) + b_2x^2(t) + b_3x^3(t) \dots]^2 \\ x(t) = a_1b_1x(t) + [a_1b_2 + a_2b_1^2]x^2(t) + \dots$$

此方程无确定解，但对于确定阶次可给出近似值。二阶近似解为：

$$a_1 = 1/b_1 \\ a_2 = -b_2/b_1^2$$

尽管此近似解消除了二阶项，又产生了更高的阶次乘积项。通常，这种校正技术可补偿小于或等于预校正阶次的非线性失真。更高阶的失真产生，其中阶次最高的为预校正与非线性系统的和。只要更高阶的乘积不大，此近似解就可用。

现在回到线性系统，任何线性系统都可通过一种通用的自动回归

移动平均过程形成数学模型：

$$G(z) = (\sum b_k z^{-k}) / (1 - \sum a_k z^{-k})$$

对这些系统进行校正需要采用其反函数，即：

$$H(z) = 1/G(z)$$

对于 $G(z)$ 给定的任意多项形式，总存在一个反函数 $H(z)$ 。然而，并不能保证该反函数是稳定的。通用的方法是采用逆系统的多极点 (all-pole) 近似值以保证稳定性。系统的阶次成为影响性能及处理方法的关键因素。

级联式线性及非线性系统的校正更困难一些。最难的问题是对系统校正器阶次的控制。这些类型的系统的阶次是相乘而不是相加。例如，对非线性和随频率变化的系统进行经典的 Volterra 级数展开，可给出如下的一般离散形式：

$$y(n) = \sum \sum \dots \sum h_k(\tau_1 \dots \tau_k) x(n-\tau_1) \dots x(n-\tau_k)$$

累加顺序为：

$$k=1 \dots \text{infinite};$$

$$\tau_1 = 0 \dots N_1$$

⋮

$$\tau_k = 0 \dots N_k$$

在诸如 HDTV 的高速系统中，上述类型的系统需要进行阶次高得多的、昂贵而复杂的建模。

图 12 中给出了一个级联式线性及非线性系统的示例，其中 $h(n)$ 为 $m+1$ 阶的线性系统。其传递函数可表示为：

$$u(n) = x(n) h_0 + x(n-1) h_1 + x(n-2) h_2 + \dots + x(n-m) h_m$$

$w(n)$ 假设为 $k+1$ 阶的非线性系统，其传递函数表示为：

$$w(n) = a_1 u(n) + a_2 u^2(n) + a_3 u^3(n) + \dots + a_k u^k(n)$$

因此在一般情况下，级联式系统的传递函数为：

$$\begin{aligned} y(n) = & a_{0,0}x(n) + a_{0,1}x(n-1) + a_{0,2}x(n-2) + \dots + a_{0,m}x(n-m) \\ & + a_{1,0}x(n) + a_{1,1}x(n-1) + a_{1,2}x(n-2) + \dots + a_{1,m}x(n-m) \\ & \dots \\ & + a_{k,0}x(n) + a_{k,1}x(n-1) + a_{k,2}x(n-2) + \dots + a_{k,m}x(n-m) \end{aligned}$$

系统的阶次为 $(k+1)(m+1)$ ，而不是 $k+m+2$ 。成本及复杂性限制着高速系统的高阶次。上述混合系统存在的问题可通过分布式系统校正在很大程度予以避免。

考查图 11 和 12 中所示的两个系统。图 11 中的系统采用单个模块用于线性及非线性系统的预校正。预校正 $V^{-1}[h(n), w(n)]$ 表示上述级联式线性及非线性系统方程的反函数。此校正所需的阶次如前所述，为 $(k+1)(m+1)$ 。图 12 中的系统分别采用线性模块 $h^{-1}(n)$ 和非线性模块 $w^{-1}(n)$ 进行分布校正。

$h^{-1}(n)$ 校正器仅需对 $h(n)$ 提供线性校正。尽管均衡器有很多种，为便于讨论，假定 $h^{-1}(n)$ 所用的阶次等于 $h(n)$ 的阶次。在此例中给定阶次为 m 。若 $h^{-1}(n)$ 已完全校正了 $h(n)$ ，系统剩余的失真就全是非线性的。这使得可采用阶次低得多的校正器。需要注意的是，所需均衡器的阶次取决于许多因素，包括滤波器类型、所需的性能、稳定性等等。另外，所需非线性校正器的阶次是更高阶影响 (a_1 趋于 0 的速率) 的一个函数。一种典型的经验法是取非线性系统阶次的两倍。对于高阶系统，本方法的好处显而易见。

根据本发明适用于系统 14 的装置 10 的一个更详细的实例如图 5 中所示。特别是，位于 8VSB 激励器 16 内的其它一些激励器部件 36 如图示给线性均衡器 32 提供信号。在一个实施例中，送入线性均衡器 30 的信息数据流由定义于一个相位幅度调制电信号内的 32 个字节组成。

线性均衡器 32 最好采用 FIR 数字滤波器，这种滤波器适合对信息信号进行预补偿或预均衡，以补偿由大功率滤波器 24 引起的线性失

真。线性均衡器 32 中可包含一个执行程序的微处理器，以及/或者可包含非连续的“硬连线”电路。还可以采用其它的滤波器类型（如 IIR、FIR 与 IIR 的结合，甚至模拟滤波器）。

信息信号经由线性均衡器 32 后送至非线性校正器 28。非线性校正器 28 可采用适合于对信号进行预失真（即预补偿或预均衡）以补偿由功率放大器 20 引起的非线性失真的任何结构。特别是，非线性校正器 28 可采用分段线性校正曲线，该曲线应用迭代法或经验法对存储器内的一组校正值进行更新。这样，该非线性校正器中可包含一个执行程序的微处理器，以及/或者可包含非连续的“硬连线”电路。

非线性校正器 28 的输出送给线性均衡器 30。线性均衡器 30 中可包含适合于对信号进行预失真以补偿由输入滤波器 22 引起的线性失真的任何部件。在一个实施例中，线性均衡器 30 的结构及功能与线性均衡器 32 的相似，只是施加的预失真不同。线性均衡器 30 的输出被送到数-模转换器（DAC）40。

信息信号通过 DAC 40 和上变换器 42，该变换器由一个内部振荡器 44 驱动，将信息信号变换为一个经过调制的射频信号。调制是通过 DAC 40 的输出来进行的。然后，信息信号依次经过输入滤波器 22、功率放大器 20 以及大功率滤波器 24。

系统 14 中包含有一个自适应测定功能块 46，用于选取信号的多个采样点，以使得均衡器 32、校正器 28 及均衡器 30 能够提供预校正。任何适当的适配功能都可应用于三个预失真部件 28-32 中的每一个。为进行适配，第一采样信号 50 与发射机 18 内输入滤波器 22 滤波后的信号耦合。第二采样信号 52 与发射机 18 内功率放大器 20 放大后的信号耦合。第三采样信号 54 与发射机 18 内大功率滤波器 24 滤波后的信号耦合。

图 1 示出了图 7 中系统的简化框图。可以看出该系统是一个可采用分布式校正方法的级联式线性及非线性系统。

图 6 中的功能框图示出了根据本发明的另一个实例装置 60。特别是，装置 60 中包括一个非线性校正器 A⁻¹ 62、一个线性均衡器 B⁻¹ 64、



一个线性均衡器 $C^{-1} 66$ 、一个非线性校正器 $D^{-1} 68$ 、一个线性均衡器 $E^{-1} 70$ 。这些部件 62-70 对输入的信息信号进行预失真处理，以补偿由滤波器 E 72、非线性功率放大器 D 74、滤波器 C 76、滤波器 B 78 及非线性功率放大器 A 80 等下游部件引起的失真。每一个失真部件（如滤波器 C 76）都对应有一个补偿部件（如线性均衡器 $C^{-1} 66$ ）。每个补偿部件具有与信息信号失真相反的作用。因此，这里以成对的字母标识符表示失真作用（如 A）及其反作用补偿（如 A^{-1} ）。

每个补偿部件的位置与相应的失真部件的位置“相反”。这样，预失真的次序与由滤波器 E 72、非线性功率放大器 D 74、滤波器 C 76、滤波器 B 78 及非线性功率放大器 A 80 等部件引起的失真次序相反。例如，第一个补偿部件（即非线性校正器 $A^{-1} 62$ ）对应于最后一个失真部件（即非线性功率放大器 A 80）。

图 7 中的功能框图示出了根据本发明的另一实例装置 90。装置 90 由图 6 中的装置 60 演变而来。图 7 中装置 90 说明预失真部件也可以按与失真产生次序不完全相反的次序排列，只要线性预失真的移动范围不超过任一非线性预失真的位置即可。

特别是，在图 7 所示实例中，非线性校正器 $A^{-1} 92$ 补偿由非线性功率放大器 A 94 引起的非线性失真，线性均衡器 $B^{-1} 96$ 补偿由滤波器 B 98 引起的线性失真，线性均衡器 $C^{-1} 100$ 补偿由滤波器 C 102 引起的线性失真，非线性校正器 $D^{-1} 104$ 补偿由非线性功率放大器 D 106 引起的非线性失真，线性均衡器 $E^{-1} 108$ 补偿由滤波器 E 110 引起的线性失真。

失真次序为 E-D-C-B-A，而预失真补偿次序为 $A^{-1}-C^{-1}-B^{-1}-D^{-1}-E^{-1}$ 。
线性均衡器 $C^{-1} 100$ 位于线性均衡器 $B^{-1} 96$ 上游（即前面）。
 $A^{-1}-C^{-1}-B^{-1}-D^{-1}-E^{-1}$ 这样的排列完全可进行失真补偿。对一段连续的线性失真进行补偿的一组部件的次序可重新排列，只要用于线性补偿的部件的挪动不超过用于非线性补偿的部件即可。在所示实例中，线性均衡器 $E^{-1} 108$ 不能与线性均衡器 $B^{-1} 96$ 或线性均衡器 $C^{-1} 100$ 互换位置，因为这样换位会越过非线性校正器 $D^{-1} 104$ 。

图 8 中的功能框图示出了根据本发明的装置 120。装置 120 由图 6 中的装置 60 演变而来，说明同类失真部件可当作一个整体来处理。在图 8 中，滤波器 B 和 C 合并到一个滤波器块 122。滤波器 B 和 C 仍会造成信息信号线性失真。不过，用来补偿滤波器 B 和 C 造成的线性失真的线性预失真合并到线性均衡器 $(B*C)^{-1}$ 124 内的一个步骤中。

这样的合并特别适用于自适应装置 120。装置 120 采用反馈方式计算/生成校正器和均衡器中使用的补偿量。这样，如图 8 所示，需要 4 个反馈环，而不是 5 个。与对滤波器 B 和 C 分别校正的情形相比，反馈数量的减少可使所需的硬件、计算及存储器减少。

发射系统 (14) 广播一个信息信号。在系统 (14) 内，当该信号经过处理并朝广播天线传送时，几个部件（如 20-24）会对该信号造成失真。特别是，引起失真的部件集 (20-24) 表示为第一组，沿朝天线方向的信号路径 (12) 顺序排列。第一组部件 (20-24) 执行包括放大等多种功能，但其中每个部件都会使信号偏离预期值产生失真。第二组部件（如 28-32）用来修正信息信号以对第一组部件 (20-24) 引起的偏离失真进行补偿。第二组部件 (28-32) 位于第一组部件 (20-24) 的上游。第二组部件 (28-32) 顺序排列以修正信号，按与失真产生相反的次序进行失真补偿。

说 明 书 附 图

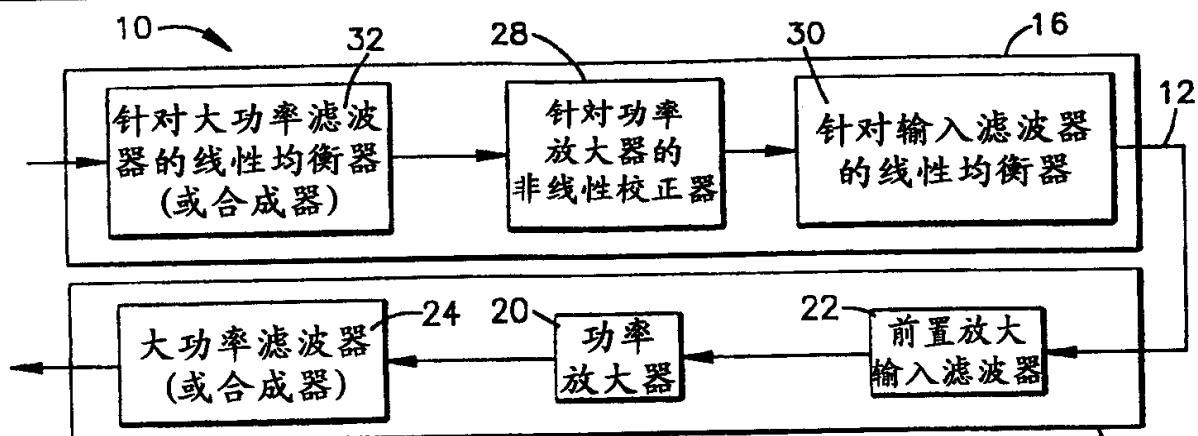


图1

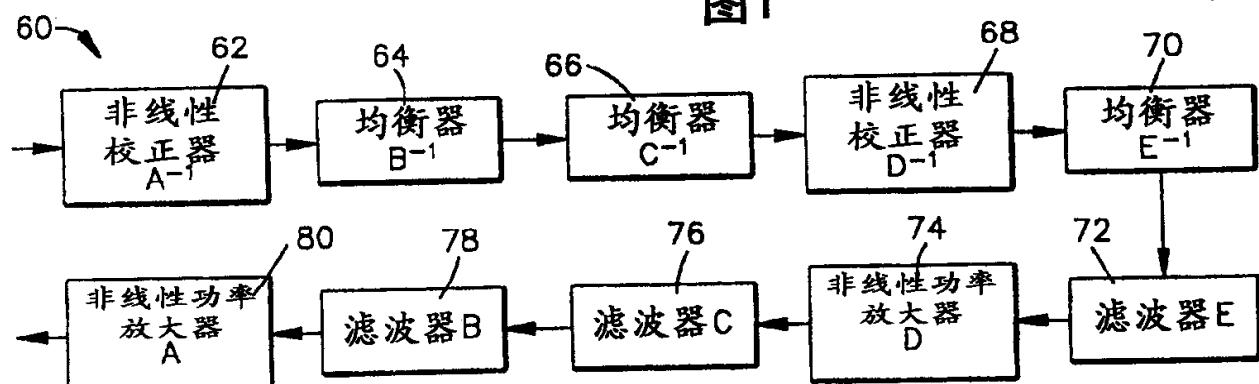


图6

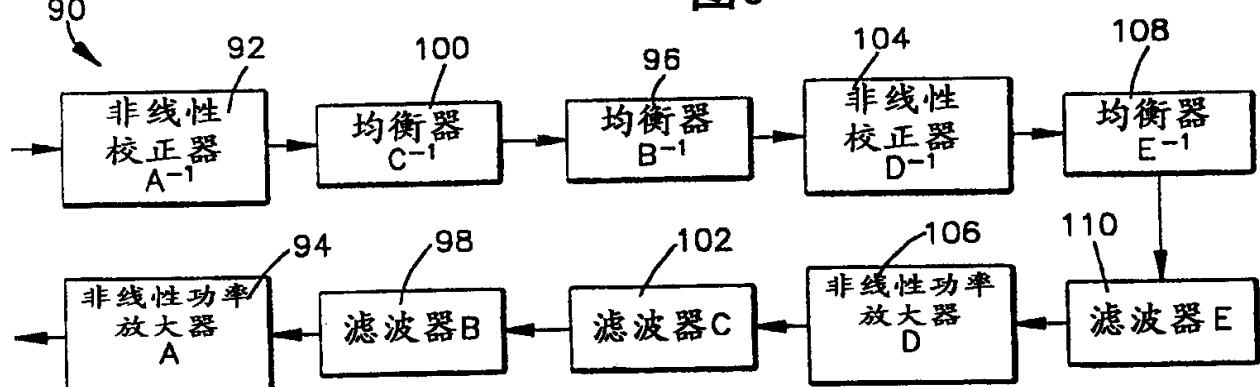


图7

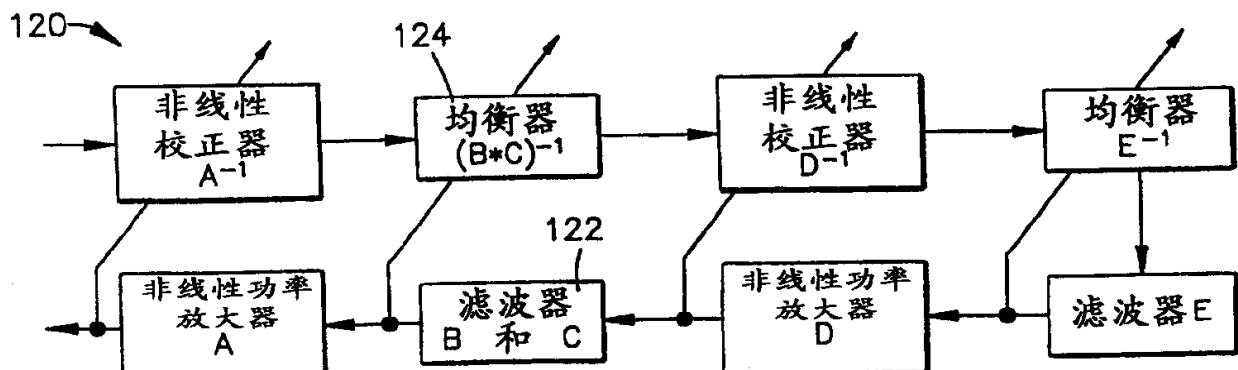
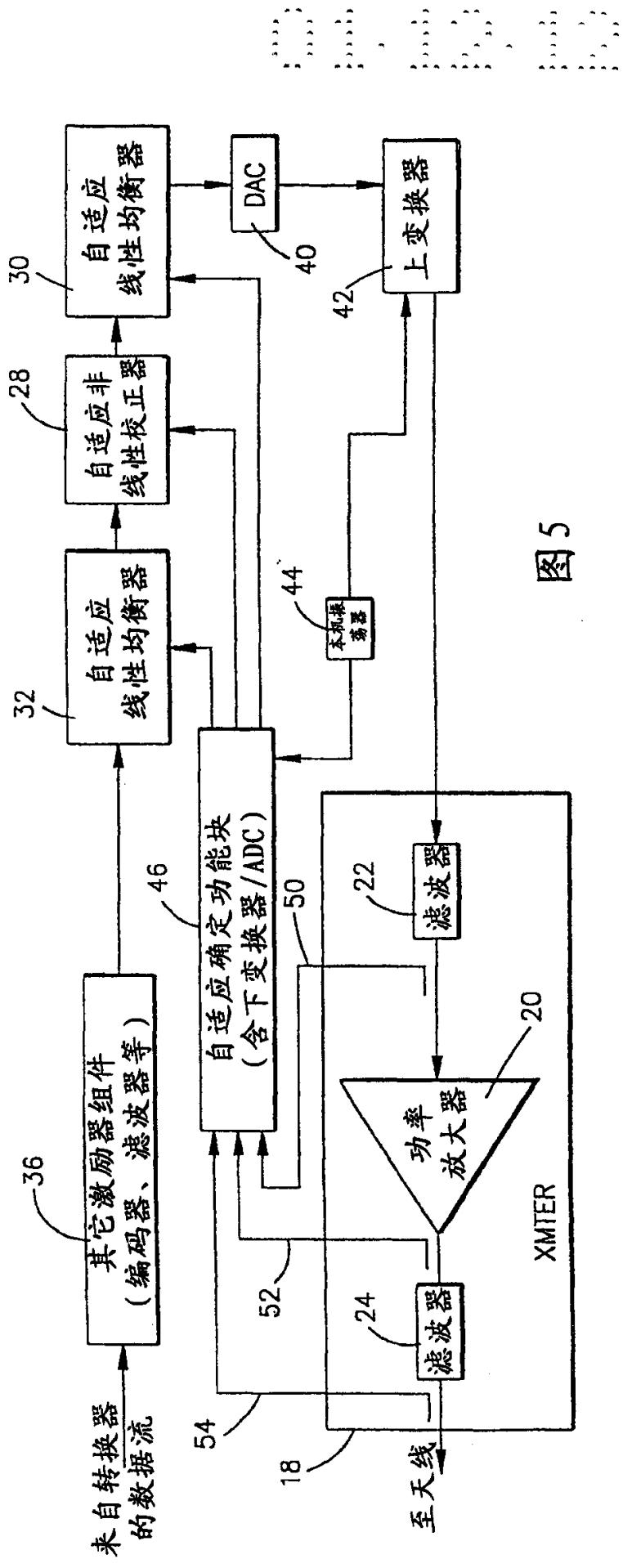
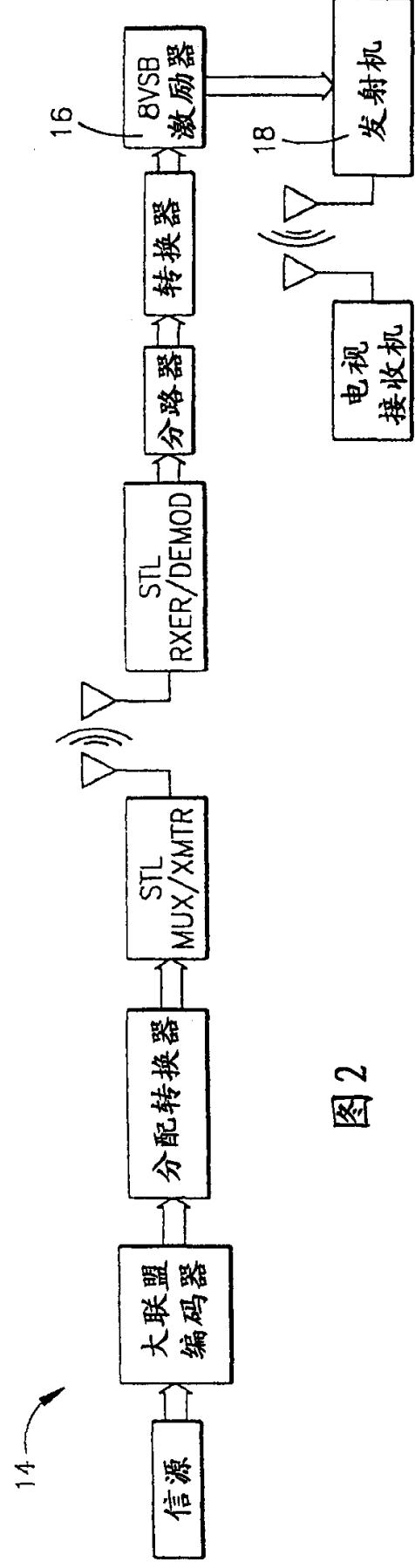


图8



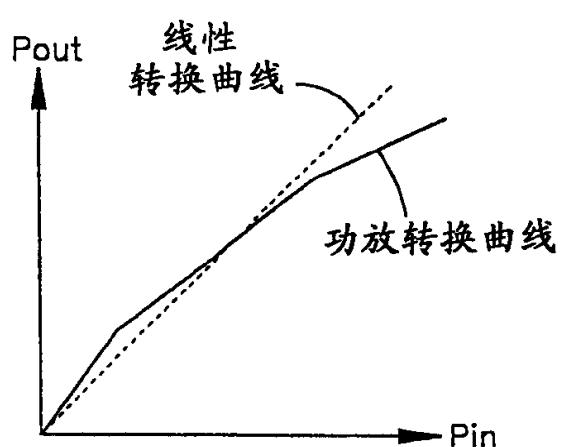


图3

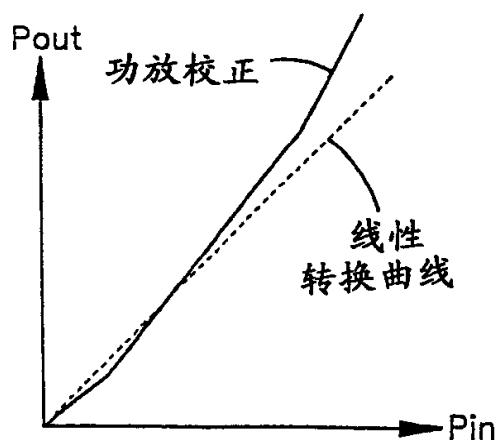


图4

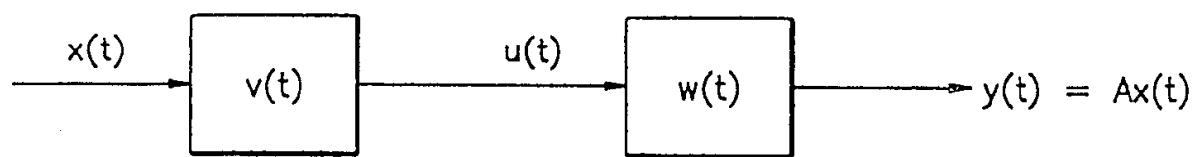


图9

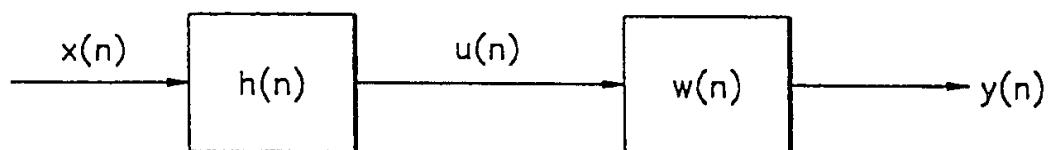


图10

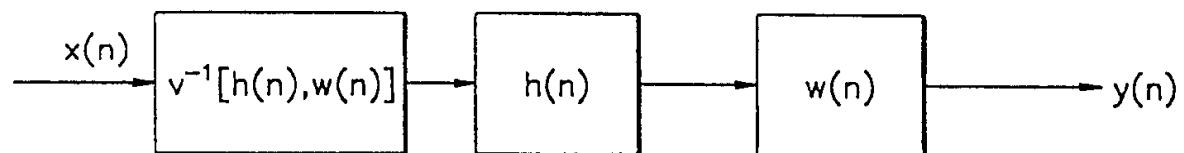


图11

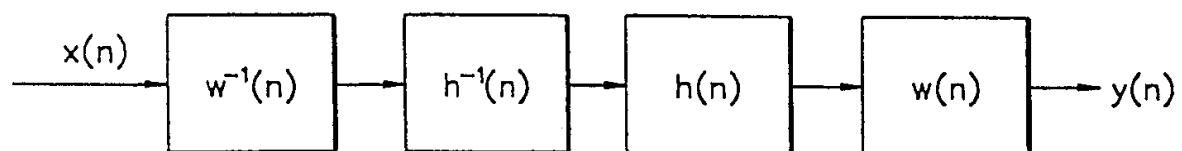


图12