[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H04B 1/04 (2006.01)
H03G 3/20 (2006.01)
H03F 1/32 (2006.01)

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510129671.9

[43] 公开日 2006 年 6 月 21 日

[11] 公开号 CN 1790920A

[22] 申请日 2005.12.16
[21] 申请号 200510129671.9
[30] 优先权
[32] 2004.12.17 [33] US [31] 11/016,508
[71] 申请人 安德鲁公司
地址 美国伊利诺斯
[72] 发明人 彼得·布莱克伯勒·凯宁顿

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 韩 宏

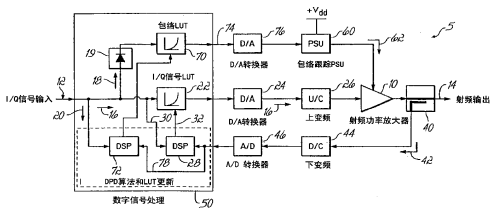
权利要求书 7 页 说明书 11 页 附图 7 页

[54] 发明名称

具有利用信号包络的数字预失真的包络跟踪功率放大器的发射机

[57] 摘要

一种发射机，包括用于接收输入信号并放大该输入信号以产生输出信号的放大器。 电源耦合到所述放大器，用于向所述放大器提供功率，所述电源用于跟踪所述输入信号，并且响应于输入信号的变化来改变提供给放大器的功率电平。 预失真电路耦合到所述电源，所述预失真电路用于接收所述输入信号并对到电源的输入信号进行预失真，以解决所述电源的输入信号跟踪能力的问题。



1．一种发射机，包括：

放大器，用于接收输入信号并放大该输入信号以产生输出信号；

电源，耦合到所述放大器，用于向该放大器提供功率，所述电源用于跟踪所述输入信号并响应于该输入信号的变化来改变提供给所述放大器的功率电平；

预失真电路，耦合到所述电源，该预失真电路用于接收所述输入信号并对到所述电源的该输入信号进行预失真，用于解决所述电源的输入信号跟踪能力的问题。

2．根据权利要求1所述的发射机，其中，所述电源用于跟踪所述输入信号的包络。

3．根据权利要求2所述的发射机，其中，所述预失真电路用于对所述输入信号的包络进行预失真。

4．根据权利要求1所述的发射机，其中，所述预失真电路用于对所述输入信号进行预失真以解决所述电源的非线性和转换速率限制中的至少一个问题。

5．根据权利要求1所述的发射机，其中，所述预失真电路是数字预失真电路。

6．根据权利要求5所述的发射机，其中，所述数字预失真电路包括查找表电路或基于多项式的电路中的至少一个。

7．根据权利要求1所述的发射机，其中，所述预失真电路是模拟预失真电路。

8. 根据权利要求 7 所述的发射机，其中，所述模拟预失真电路包括二极管、三极管或放大器中的至少一个。

9. 根据权利要求 1 所述的发射机，其中，所述预失真电路用于对所述输入信号进行预失真，以使由所述电源提供给所述放大器的功率电平中产生过补偿，从而保证适当的放大。

10. 根据权利要求 9 所述的发射机，其中，由所述预失真产生的过补偿与输入信号的包络的电平相关。

11. 根据权利要求 1 所述的发射机，其中，所述预失真电路为自适应的，用于基于放大器、电源或预失真电路中的至少一个的电路元件的操作参数的变化，来改变所述输入信号的预失真以维持适当的放大。

12. 根据权利要求 1 所述的发射机，其中，所述电源通过改变所述放大器的漏极电压，来改变向该放大器提供的功率电平，所述预失真电路用于对所述输入信号进行预失真，以使向所述放大器提供的功率电平满足或超过所需的漏极电压。

13. 根据权利要求 1 所述的发射机，其中，所述预失真电路是自适应的，并且还包括耦合到所述预失真电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和输出信号中的至少一个来修改所述预失真电路。

14. 根据权利要求 1 所述的发射机，其中，所述预失真电路是自适应的，并且还包括耦合到所述预失真电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和所述电源的跟踪输出信号中的至少一个，来修改所述预失真电路。

15．一种发射机，包括：

放大电路，用于放大输入信号以产生输出信号；

电源，用于响应于输入该电源的输入信号包络的变化，来改变向所述放大器提供的功率电平；

预失真电路，用于在所述输入信号包络被输入所述电源之前，接收并预失真所述输入信号包络，以解决所述电源的包络跟踪能力的问题。

16．根据权利要求15所述的发射机，其中，所述预失真电路用于对所述输入信号包络进行预失真，以解决所述电源的非线性或者转换速率限制中的至少一个问题。

17．根据权利要求15所述的发射机，其中，所述预失真电路是数字预失真电路。

18．根据权利要求17所述的发射机，其中，所述数字预失真电路包括查找表电路或基于多项式的电路中的至少一个。

19．根据权利要求15所述的发射机，其中，所述预失真电路是模拟预失真电路。

20．根据权利要求15所述的发射机，其中，所述预失真电路用于对所述输入信号包络进行预失真，以使由所述电源提供给所述放大器的功率电平中产生过补偿，从而保证适当的放大。

21．根据权利要求15所述的发射机，其中，所述预失真电路为自适应的，用于基于放大器、电源或预失真电路中的至少一个的电路元件的操作参数的变化，来改变所述输入信号的预失真以维持适当的放大。

22. 根据权利要求 15 所述的发射机，其中，所述预失真电路为自适应的，并且还包括耦合到所述预失真电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和输出信号中的至少一个来修改所述预失真电路。

23. 根据权利要求 15 所述的发射机，其中，所述预失真电路为自适应的，并且还包括耦合到所述预失真电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和所述电源的跟踪输出信号中的至少一个来修改所述预失真电路。

24. 一种具有包络跟踪电源的功率放大器，所述包络跟踪电源跟踪所述放大器的输入信号的包络，并响应于所述输入信号包络的变化来改变向所述放大器提供的功率电平，所述放大器包括：

耦合到所述电源的预失真电路，所述预失真电路用于接收并预失真输入到该电源的所述输入信号的包络，以解决所述电源的输入信号包络跟踪能力的问题。

25. 根据权利要求 24 所述的功率放大器，其中，所述预失真电路用于对所述输入信号包络进行预失真，以解决所述电源的包络跟踪中的非线性。

26. 根据权利要求 24 所述的功率放大器，其中，所述预失真电路是数字预失真电路。

27. 根据权利要求 24 所述的功率放大器，其中，所述预失真电路是模拟预失真电路。

28. 根据权利要求 24 所述的功率放大器，其中，所述预失真电路用于对所述输入信号包络进行预失真，以使由所述电源提供给所述放大器的功率电平中产生过补偿，从而保证适当的放大。

29. 根据权利要求 24 所述的功率放大器，其中，所述预失真电路为自适应的，用于基于放大器、电源或预失真电路中的至少一个的电路元件的操作参数的变化，来改变所述输入信号包络的预失真以维持适当的放大。

30. 根据权利要求 24 所述的功率放大器，其中，所述预失真电路为自适应的，并且还包括耦合到所述预失真电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和所述放大器的输出信号中的至少一个来修改所述预失真电路。

31. 根据权利要求 24 所述的功率放大器，其中，所述预失真电路是自适应的，并且还包括耦合到所述预失真电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和所述电源的跟踪输出信号中的至少一个来修改所述预失真电路。

32. 根据权利要求 28 所述的功率放大器，其中，所述由预失真所产生的过补偿与所述输入信号包络的电平相关。

33. 一种用于放大信号的方法，包括：

利用放大器来放大输入信号以产生输出信号；

利用耦合到所述放大器的电源来跟踪所述输入信号，并响应于所述输入信号的变化来改变由所述电源提供给所述放大器的功率电平；

在所述电源之前对被跟踪的输入信号进行预失真，以解决所述电源的输入信号跟踪能力的问题。

34. 根据权利要求 33 所述的方法，还包括跟踪输入信号包络，以及对所述输入信号包络进行预失真。

35. 根据权利要求 33 所述的方法，其中，所述对被跟踪的输入信号的预失真解决了所述电源的非线性和转换速率限制中的至少一

个问题。

36. 根据权利要求 33 所述的方法，还包括利用数字预失真电路对所述输入信号进行预失真。

37. 根据权利要求 33 所述的方法，还包括利用模拟预失真电路对所述输入信号进行预失真。

38. 根据权利要求 33 所述的方法，还包括对所述输入信号进行预失真，以使由所述电源提供给所述放大器的功率电平中产生过补偿，以保证适当的放大。

39. 根据权利要求 33 所述的方法，还包括基于放大器、电源或预失真电路中的至少一个的电路元件的操作参数的变化，来改变所述输入信号的预失真以维持适当的放大。

40. 根据权利要求 33 所述的方法，还包括基于所述输入信号和所述输出信号中的至少一个来修改所述输入信号的预失真。

41. 根据权利要求 33 所述的方法，还包括基于所述输入信号和所述电源的输出信号中的至少一个来修改所述输入信号的预失真。

42. 一种用于耦合到放大器的包络跟踪电源的预失真电路，该预失真电路包括：

用于接收经检波的输入信号的包络的电路，该电路用于对所述输入信号包络进行预失真并产生输出信号；

所述输出信号用于输入到所述电源，以影响供给放大器的功率。

43. 根据权利要求 42 所述的预失真电路，其中，所述电路用于对所述输入信号进行预失真以解决所述电源的非线性和转换速率限

制中的至少一个问题。

44. 根据权利要求 42 所述的预失真电路，其中，所述电路是数字预失真电路。

45. 根据权利要求 44 所述的预失真电路，其中，所述数字预失真电路包括查找表电路或基于多项式的电路中的至少一个。

46. 根据权利要求 42 所述的预失真电路，其中，所述电路是模拟预失真电路。

47. 根据权利要求 42 所述的预失真电路，其中，所述模拟预失真电路包括二极管、三极管或放大器中的至少一个。

48. 根据权利要求 42 所述的预失真电路，其中，所述电路用于对所述输入信号包络进行预失真，以使提供给所述放大器的功率中产生过补偿。

49. 根据权利要求 42 所述的预失真电路，其中，所述电路为自适应的，并且还包括耦合到该电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和放大器的输出中的至少一个来修改该电路。

50. 根据权利要求 42 所述的预失真电路，其中，所述电路为自适应的，并且还包括耦合到该电路的信号处理电路，用于基于所述输入信号和所述电源的输出信号中的至少一个来修改该电路。

具有利用信号包络的数字预失真的包络跟踪功率放大器的发射机

背景技术

在无线通信应用中，例如蜂窝电话服务或其他无线服务，放大器被用于为特定无线应用提供所需的信号覆盖范围。例如，射频（RF）功率放大器用于将信号在发射前提高射频信号的电平。射频功率放大技术，尤其是应用在无线应用中的射频功率放大技术，有着使行业继续将其努力集中于此的固有缺陷。具体而言，在射频发射系统的发展中，更多关注的是放大器的效率和被放大的信号的信号失真。

放大器效率通常被定义为，与输入到整个放大处理中的功率相比较，输出信号所能达到的射频功率电平，在无线应用领域中，放大器效率通常偏低。因此，功率放大器产业将大量的注意力致力于提高功率放大器效率的方法上。放大器效率的微小增加将给无线系统带来巨大的利益，并能减少运行系统时必需的全部成本。

射频功率放大必须解决并且在提高效率的方法中必须考虑的另一个缺陷就是信号失真。射频功率放大器，或多或少的对被放大的射频信号产生了失真的影响。放大器的非线性和其他因素造成了失真。必须控制这些失真以保证射频发射机满足有关射频干扰的各种标准。

为了解决放大器效率的问题，一个目前的技术包括使用到放大器的输入信号的包络跟踪和使用检波后的包络来改变放大器的操作。在包络跟踪系统中，可变的电源被用来向所述放大器提供功率。所述输入信号的包络功率被监测，并且，提供给功率放大器或者典型地提供给功率放大器末级的功率是基于所监测的包络的电平而变化的。更明确的说，提供给放大器的功率被改变，从而恰能满足在给定时刻放大器所需的再生功率电平。因此，在低包络功率电平时，向放大器提供低供给电压，而全供给电压仅仅在需要最大包络功率，也就是包络蜂值时才提供。

但是，在包络跟踪技术提高效率的同时，各种目前的包络跟踪技

术的实现存在着各种缺陷。这些缺陷都和系统响应于信号包络的能力有关。更明确地说，在目前的包络跟踪的实现中，检波后的输入信号包络被直接馈送到电源的跟踪输入。但是，由于在电源的跟踪行为中存在不完全性或非线性，所以由电源得到的输出电压只是功率放大器实际所需的包络电平的粗略近似值。如果对于一个特定的包络蜂值，电源输出不满足放大器的需要，则放大器产生的失真将大大增加，甚至考虑了对输入信号的预失真以解决功率放大器中的其它固有非线性之后，亦是如此。

因此，在发射机系统中，需要提高射频功率放大器的效率和线性。尤其需要通过包络跟踪电源的方法来提高功率放大器的效率。

附图说明

与说明书结合并组成本说明书一部分的附图，图解说明了本发明的实施例，并且与下面所给出的本发明的全面描述一起用于解释本发明的原理。

图 1 显示了在包络跟踪功率放大器中利用包络信号的预失真(predistortion)的本发明的实施例；

图 2 显示了利用替换的反馈信号的图 1 的电路的替换实施例；

图 3 显示了利用基于多项式的包络预失真的本发明的替换实施例；

图 4 是利用替换的反馈（AF）的图 3 的电路的替换实施例；

图 5 是利用用于主要信号通道和包络的基于多项式的预失真的本发明的替换实施例；

图 6 是利用用于主要信号通道和包络的不同预失真技术的本发明的替换实施例；

图 7 是利用输入信号包络的模拟预失真的本发明的替换实施例。

具体实施方式

本发明解决了现有技术中的上述缺陷，特别是解决了功率放大器系统中利用包络跟踪的电源的非线性和其他特性。具体而言，本发明

通过对提供给跟踪电源的包络信号进行预失真来解决在电源的跟踪行为中的缺陷，以保证在给定时刻提供给跟踪电源的包络信号正确地反映所述输入信号包络的真实情况。例如，在包络跟踪功率放大器中对包络信号的预失真被用于解决跟踪电源中的各种非线性和转换速率限制，该跟踪电源向主射频（RF）放大器设备的一个漏极或多个漏极供电。

本发明的另一方面，预失真提供包络特性的过补偿，从而在提供给放大器电路的功率中有意地创建小量的“峰值储备(head room)”，以保证在任意给定的时间，功率放大器的一个漏极或多个漏极具有足够的电压来再生所需要的放大的射频波形。

在另一实施例中，预失真是自适应的，从而使得包络跟踪预失真能够被修改，从而保证达到并且维持功率放大器的所需性能，来解决应用于功率放大器的各种元件和系统中的诸如元件老化、功率电平变化和温度变化等因素。

图 1 显示了用于改进性能的本发明的一个实施例，具体而言改进了放大器的效率。例如，参见图 1，全部发射机系统，或发射机 5，包括放大装置或放大器 10，例如射频功率放大器，其接收输入信号 12 并产生射频输出 14。功率放大器 10 可以为射频功率放大器的适当的变型的单级或多级放大器。在图 1 所示的发射机电路中，通常输入信号 12 将采取各种通路通过发射机 5 以达到发射机 5 所需的性能增强。输入信号 12 主要沿主信号通路（MSP）16 前进以被放大器 10 放大。输入信号 12 也耦合到包络跟踪通路 18 和信号处理通路 20。沿主信号通路（MSP）16，输入信号 12 前进到放大器 10 的输入端，在这里输入信号 12 被放大并产生输出 14。沿该通路，可以进一步处理以改善射频功率放大器的操作。例如，如图 1 所示，根据众所周知的原理，可以对 MSP 中的信号以数字的或模拟的方式进行预失真，来解决功率放大器 10 的非线性问题。当然，也可以沿 MSP 利用其它的线性化技术来解决功率放大器 10 的非线性问题。为了说明本发明，附图中公开了沿 MSP16 的输入信号的预失真，作为数字预失真，并且针对 MSP16 在图 1-6 中说明了各种数字预失真技术。但是，本领

域普通技术人员也知道各种其它的线性化技术，数字或模拟技术可以沿 MSP16 应用，来解决放大器的非线性和失真以及提高功率放大器 10 的性能。因此，本发明并不局限于所显示的 MSP 的线性化技术或预失真技术。

再次参见图 1，沿主通路 16 的输入信号 12 被输入预失真电路 22，如数字预失真查找表电路（LUT），该输入信号 12 显示为数字形式的正交 I/Q 信号。预失真电路 22 按传统方式对输入信号 12 进行预失真，于是，预失真后的输入信号被 D/A 转换器 24 转换为模拟信号，由上变频电路 26 从基带上变频到射频，然后由射频功率放大器 10 放大以产生模拟射频输出信号 14。图 1 中所示的可以是查找表电路（LUT）的数字预失真电路 22 通常包含附加的数字信号处理（DSP）电路 28，该数字信号处理（DSP）电路 28 包含有足够的信号处理电路来实施所述数字预失真的算法，以及预失真电路的任何自适应。例如，电路 22 的 LUT 需要被自适应增加和更新，这些可以由 DSP 28 来处理。此外，任何对 LUT 预失真的修正或更新都是由 DSP 28 处理的。

通常，根据已知的 LUT 预失真原理，I/Q 输入信号 12 经由通路 30 被输入 DSP 28 并且被用于驱动预失真产生处理。具体而言，DSP 28 经由通路 32 利用 I/Q 输入信号的值在各 LUT 中检索并查找相应的预失真 I/Q 值。LUT 输出系数是根据输入信号 12 的大小被检索的。这些系数通过复杂的乘法，用于对 I/Q 输入信号进行失真。DSP 28 也可被用来自适应更新预失真电路 22 中的 LUT 的值，或者根据公知的数字预失真技术，通过预失真电路 22 提供附加的修正算法。

参见图 1，耦合器 40 可以被用来通过通路 42 并通过适当的下变频电路 44 和 A/D 转换电路 46 将模拟输出 14 耦合到 DSP 28。DSP 28 利用通路 42 上的耦合的输出信号，基于输出 42 所提供的预失真的性能的认知来修改电路 22 中的 LUT。通常，数字预失真电路 22 和支持 DSP 28 通常被合并成如图 1 中标号 50 所指的更大的整个 DSP 电路。但是，也可以使用分开的模块或电路。因此，本发明不局限于处理预失真和/或预失真的自适应的 DSP 模块的特定的设计或位置。

在本发明中，包络跟踪电源 60 被使用并与功率放大器 10 连接，

用于经由通路 62 向放大器提供功率。如前所述，在包络跟踪电源中，电源 60 用于跟踪来自输入信号 18 的输入信号包络，并且响应于所述输入信号包络的变化来改变向放大器提供的功率电平。更具体而言，在标准包络跟踪电源中，经由电源 60 提供给放大器 10 的功率是变化的，从而在给定时刻足以在放大器输出端 14 再生所需的功率电平。因此，在低的包络功率电平时，提供给放大器 10 低的供给电压。满额供给电压仅当需要最大包络功率时才提供，例如，在输入信号的包络蜂值。

如上所述，在这种包络跟踪技术的当前实现中，输入信号包络被直接供给包络跟踪电源 60 的跟踪输入。但是，由于电源的传输特性中的非线性，来自电源的输出功率，具体为输出电压并不是特定输入信号包络所需的功率电平的精确近似。本发明通过对包络跟踪电源 60 所提供的包络信号 18 进行预失真，从而保证电源 60 的输出能够在任何给定时刻正确地反映包络的状态，以得到适当的电源效率和所放大的信号的微小失真或无失真，解决了电源的输入信号跟踪能力的不足，特别是电源传输特性的非线性。

最后，本发明的发射机 5 的数字信号处理电路 50 包含用于对包络信号 18 进行预失真的预失真电路 70。例如，预失真电路可以是数字预失真电路，如图 1 中的 LUT 电路或是基于多项式的预失真器(见图 3)。这里主要讨论的是用于包络的数字预失真电路 70，如图 7 中所示的模拟预失真电路也可用于对输入信号包络进行预失真。

输入信号 12 可以从 MSP 16 连接到通路 18，并在这里被连接到预失真电路 70。因为输入信号包络用于包络跟踪电源，所以数字信号处理电路 50 通常利用包络检波器 19，检波器 19 可以作为数字信号处理电路 50 的一部分，也可以作为包络预失真电路 70 的一部分或者单独分开。包络检波的概念实质上是提取输入信号的幅值信息，这对于本领域普通技术人员是公知的。例如，一种包络检波器可记为：

$$env = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

预失真电路 70 利用检波后的包络，在输入信号没有到达电源 60 之前对输入信号进行预失真。电路 70 和支持 DSP72 被配置用来使对

通路 18 上的输入信号包络进行的预失真是足够的，从而解决电源的输入信号跟踪能力并且特别解决了与电源有关的非线性及其包络跟踪能力。尽管电源 60 存在非线性，电源 60 仍利用预失真后的包络信号 74 来满足功率放大器 10 的功率需求。

预失真电路 70 可以提供任何数量的各种适当的预失真技术来对信号 18 进行预失真，例如包括如图 1 中的包络 LUT。与用于 MSP 上的信号预失真的 LUT 类似，预失真电路 70 可以由 DSP 72 支持，DSP 72 被用来执行用于包络的预失真算法，以及增加和/或更新电路 70 的 LUT，并且根据功率放大器 10 所能达到的输出提供预失真电路 70 及其操作的完全自适应。最后，DSP 72 利用通道 20 上的输入信号 12 来实现预失真算法，例如在 LUT 预失真器的实例中检索和选择 LUT 值。类似地，在通路 42 上反馈的放大器输出 14 也被 DSP 72 用来对预失真电路 70 进行更新、修正以及自适应。和其它的预失真电路与 DSP 电路一样，这里提出的各种元件可以组合成一个更大的整个信号处理电路模块 50，或者可以作为独立的元件或电路实现。

与预失真电路 70 联合工作的 DSP 电路 72，也可在相应的输入线路 20 中实现包络检波器（未示出）从而利用检波后的包络来驱动预失真生成处理。

对于包络预失真，与线路 18 有关的检波后的包络用于驱动电路 70 的预失真处理。根据已知的 LUT 技术，若利用 LUT 预失真，则包络的数字采样流被供给 DSP 72，使得通过检索并选择相应的采样流分别形成 I 和 Q 路修正信号。之后，修正信号用于例如通过矢量调制器来修正包络信号。线路 74 上修正后的信号之后由 D/A 转换器 76 转换为适当的模拟信号，用于包络跟踪电源 60。具体而言，预失真后的包络信号供给包络跟踪电源 60 的包络调制输入，以保证线路 62 上的输出电压足以跟踪线路 18 上的输入信号。预失真电路 70 被配置为用于对输入信号包络进行预失真，从而解决电源的输入信号跟踪能力的问题。所述预失真解决了电源 60 的操作参数的问题，如电源的传输函数中的非线性，并且解决了电源 60 在跟踪行为中的其他缺陷，例如转换速率限制。

可以配置预失真电路 70 以提供包络信号 18 的任何所需的预失真，来弥补电源 60 的效果。在本发明的一个方面中，预失真将是来自普通 MSP 预失真的变型。例如，在 MSP 预失真中，偶次分量通常被置零以修正由放大器传输特性中奇次分量所引起的互调失真（IMD）。但是，对于包络预失真器，偶次分量也是被利用和考虑的。例如，使用图 1 中所示的 LUT 预失真器进行包络预失真，奇次与偶次分量都产生了。如果使用下面讨论的包络的多项式预失真，也同样适用。

根据本发明的另一方面，预失真电路 70 用于对所述输入信号包络进行预失真，以在提供给放大器 10 的功率电平上产生过补偿，以保证适当的效率和线性放大。也就是说，通过 DSP 72 和预失真电路 70 所提供的预失真算法，可以配置为在任意给定时刻产生所需的最小包络电平以上的一个小的余量，以保证包络跟踪处理为放大器 10 提供足够的功率从而不削弱放大器的互调失真（IMD）性能。通过这种方式，放大器 10 能够处理显著的包络蜂值。因此本发明可操作以实现电源输出 62 不需要精确地跟随输入波形就能达到本发明所需要的结果。或者说，电源 60 的输出仅仅需要“至少”跟随包络，或是略微高出包络。预失真电路 70 所提供的内置过补偿可能导致了整个发射机 5 在效率上很小的且几乎可以忽略的损失，它将确保适当的 IMD 性能而不大幅度增加整个系统的复杂性。通过分离并独立于本发明所提供的包络预失真的在 MSP16 上的传统的预失真电路，也能解决发射机 5 的 IMD 性能。

在本发明的替换实施例中，由预失真电路 70 所提供的过补偿可与输入信号包络的电平有关。在这种情况下，所述预失真将根据包络电平进行剪裁。例如，对于低的包络电平，可用预失真电路 70 对包络进行预失真，使得预失真后的包络 74 紧密跟踪所述输入信号包络 18。但是，对于高的包络电平，电路 70 的包络的预失真提供在包络内的过补偿，使得放大器能够解决较高的输入信号电平。在其他的可替换选择中，预失真电路可被配置为仅对超过特定门限电平的更高的包络进行预失真。

预失真电路 70 的自适应，即对输入信号的包络进行操作，如图 1 所示，利用了从功率放大器的输出 14 经由通路 42 耦合的输出反馈。如通路 78 所示，DSP 72 利用耦合的输出来增加和修改预失真电路 70 的 LUT，并对预失真算法提供必要的修正。图 2 显示了可替换地实施例，其中，独立的反馈通路被用来为修改预失真，如修改预失真电路 70 的包络 LUT，而提供线性信息。具体而言，发射机 5a 的预失真电路 70 和 DSP 72 利用来自包络跟踪电源 60 的直接来自线路 62 的输出的反馈信号。也就是，DSP 跟踪电源的输出信号 62。该信号通过适当的电阻元件 80 和模数（A/D）转换器 82 被引导，以向 DSP 72 提供数字反馈，用于修改和优化所述预失真电路 70。反馈回路由通路 84 标明。

如上所述，本发明所提供的包络的预失真一般不仅仅局限于数字预失真技术或者图 1 和图 2 中所示的基于 LUT 的预失真技术。图 3 显示了发明的附加的可替换实施例。DSP 模块 50 以及发射机 5b 的特定的预失真电路 70a 利用基于多项式的算法，如以下形式的多项式近似法：

$$y=ax+bx^2+cx^3+dx^4+ex^5+\cdots \qquad \text{公式 1}$$

其中 a、b、c、d、e 等是常数（并可以为负值）。

多项式近似法是公知的数字预失真技术，并且代替了图 1 和图 2 中所示的 LUT 方法所应用的“分段”近似法。多项式展开和近似的重要优势是其直接简单。这使得对于预失真电路 70a 和/或 DSP 72a 的存储需求大大缩减。例如，只有公式 1 中的系数 a、b、c 等需要存储并更新，而不是像 LUT 预失真情况所需要的上百或是有可能上千的点。基于多项式的预失真也常常被用于 MSP 中，用于对主信号进行预失真，如图 5 和图 6 所示。

这种基于多项式的预失真技术是公知的。但是，根据本发明的一个方面，基于多项式的包络预失真电路 70a 由来自上述普通 MSP 预失真的变型。具体而言，当多项式预失真应用于 MSP 时，偶次系数通常被置零，因为只有互调失真（IMD）被修正。这种互调失真是由放大器传输特性中的奇次分量造成的。但是，对于包络预失真，奇次

和偶次分量都是需要的，因为在线路 18 上被预失真和修正的是基带包络信号。因此，当利用多项式预失真时，用于包络电路 70a 的多项式近似要考虑偶次分量，预失真电路 72a、70a 为电源 60 提供经预失真的包络。

图 3 利用通路 42 上的对 DSP 72a 的自适应反馈，通路 42 由射频输出 14 的一部分耦合出来。图 4 显示了替换的实施例，其中与图 2 相似，对发射机 5c 的 DSP 72a 的自适应反馈直接在通路 62 上从包络跟踪电源的输出中得到。

如上所述，基于多项式的预失真和其他预失真技术一样，可以被用于 MSP16 或者是包络跟踪 18，或者同时用于两条通路。类似地，如图 1 所示，LUT 预失真也可以用于 MSP16 或者是包络跟踪通路，或者同时用于两条通路。例如，图 5 显示了根据本发明的放大器电路 5d，该电路具有在 MSP 中的基于多项式的预失真电路 22a 和的在包络跟踪通路中的基于多项式的包络预失真电路 70a。可替换地，图 6 显示了发射机 5e，该发射机对于包络通路 18 使用了与图 1 相似的基于 LUT 的预失真，同时在 MSP16 中使用了与图 5 相似的基于多项式的预失真。图 5 和图 6 都显示了耦合的射频输出 14 作为到 DSP 72、72a、28a 的反馈，也可以使用如图 2 和图 4 显示的直接来自包络跟踪电源 60 的输出的反馈回路。

根据本发明的另一方面，DSP 50 为 MSP 预失真和包络信号预失真所提供的自适应保证了发射机 5 的所要求的性能在超过与功率放大器的操作有关的各种操作参数和因素的范围时是适当的。明确的说，包络的预失真中的 DSP 模块 50 所提供的自适应解决了用于构建和实现所公开的发射机 5 如放大器 10、电源 60 或 DSP 50 的如元件老化、输入信号 12 的功率电平的变化以及各种元件和电路中的温度变化的问题。这种自适应可以由 DSP 模块 72、28 提供，所述 DSP 模块 72、28 接收输入信号和/或在实际预失真电路 22、70 中的输出反馈信号（通路 42、通路 84）。DSP 模块 50 的特定的设计和结构并不局限于本发明，而是可以通过各种方式进行设置以实现本发明。

本发明的显著优势之一是如这里讨论的包络信号的预失真不需

要精确跟随包络波形，从而在射频功率放大器 10 的操作中提供更高的效率。并且，本发明确保通过包络跟踪电源 60 满足或超过功率放大器 10 的功率需求和具体的在设备漏极所需要的电压。这是显著区别于在包络消除及再生（EE&R）技术中所需的包络再生的情况，后者中必须随时用到精确的包络波形以维持良好的信号保真度和频谱性能。本发明在该方面大大的减小了所需电路的复杂性，因为对包络的预失真能产生提供给电源 60 的信号 74，其不需要精确跟踪输入包络。同样的，如上面的讨论，在经预失真的包络信号中建立适当的余量以提供所需的包络跟踪处理。

关于基本的 LUT 的预失真和基于多项式的预失真的更多的信息可在美国专利序列号 10/386047、题为“信号采样获取技术（Signal Sample Acquisition Techniques）”和美国专利序列号 10/386291、题为“具有数字控制信号分辨率的统计增强的放大器控制系统（Amplifier Control System with Statistical Enhancement of Resolution of Digital Control Signals）”中找到。在此，将这两个申请的全部内容作为参考被包括进来。

虽然本发明前面提供了利用包络信号和/或 MSP 信号的数字预失真的各种图解，但是其它预失真技术，例如模拟预失真技术也可以使用。例如，各种不同的模拟预失真电路也可以在 MSP 预失真电路 22 中被使用。

在数字 I/O 输入信号 12 被转化为适当的模拟信号后，才发生对包络信号的模拟预失真。现在参考图 7，其中，相同的标号表示相同的元件，如上所述，DSP 电路 50 的包络通路 18a 提供包络检波，如通过适当的包络检波器（未示出）进行包络检波。模块 50 和通路 18a 的经检波的包络信号 74 被输入到适当的 D/A 转换器 80。模拟信号然后被输入到模拟预失真电路 82。之后，预失真电路 82 的输出在线路 84 上供给适宜的包络跟踪电源 60 的包络调制输入。

模拟预失真电路可以采用各种不同的形式，并可以例如利用如二极管、三极管、运算放大器以及传统射频或中频放大器的模拟元件进行构造。例如，预失真电路 82 可以利用模拟预失真技术，诸如立方

（cubic）预失真、二极管预失真、三极管预失真和/或曲线拟合预失真等。根据本发明的原理，用于包络信号或 MSP 信号的这些和另外的各种不同可能的模拟预失真技术由本申请的发明人在 P.B.Kenington, Norwood, MA, USA : Artech House, 2000, Chapter 6 的高线性射频放大器设计（High Linearity RF Amplifier Design）中提出，并且其全部在这里结合作为参考。

模拟预失真电路 82 可在没有外部控制的情况下工作。但是，图 7 虚线显示了可替换的实施例，其中可为模拟预失真线路 82 提供控制。最后，DSP 模块 86 和具有适当的 D/A 电路 90 的控制线 88 可被用于控制电路 82。如前所述，DSP 模块 86 可以合并到更大的 DSP 模块 50 中，DSP 50 为 MSP 提供预失真以及自适应电路，以及与预失真控制电路 82 相关的数字处理功能。

前文提出了一些根据本发明用于对包络信号进行预失真的模拟预失真的实例。当然，这些罗列并不是毫无遗漏的。本领域的普通技术人员将认识到其它的预失真技术也可以适合于本发明以提供如上文讨论的包络信号所需的预失真，以保证包络跟踪电源 60 可以满足功率放大器的功率要求。

虽然利用各种实施例的描述对本发明进行了说明并且这些实施例都以大量细节进行描述，但是以任何方式将所附的权利要求书的范围限制为这些细节并不是申请者的意图。本领域的技术人员将很容易理解本发明的其他优点和修改。因此，本发明在更广泛的方面并没有限制为具体的细节、代表性的设备和方法，以及显示和描述的说明性实例。因此，可以根据这些细节，在不脱离申请者的基本发明概念的精神或范围的情况下作出修改。

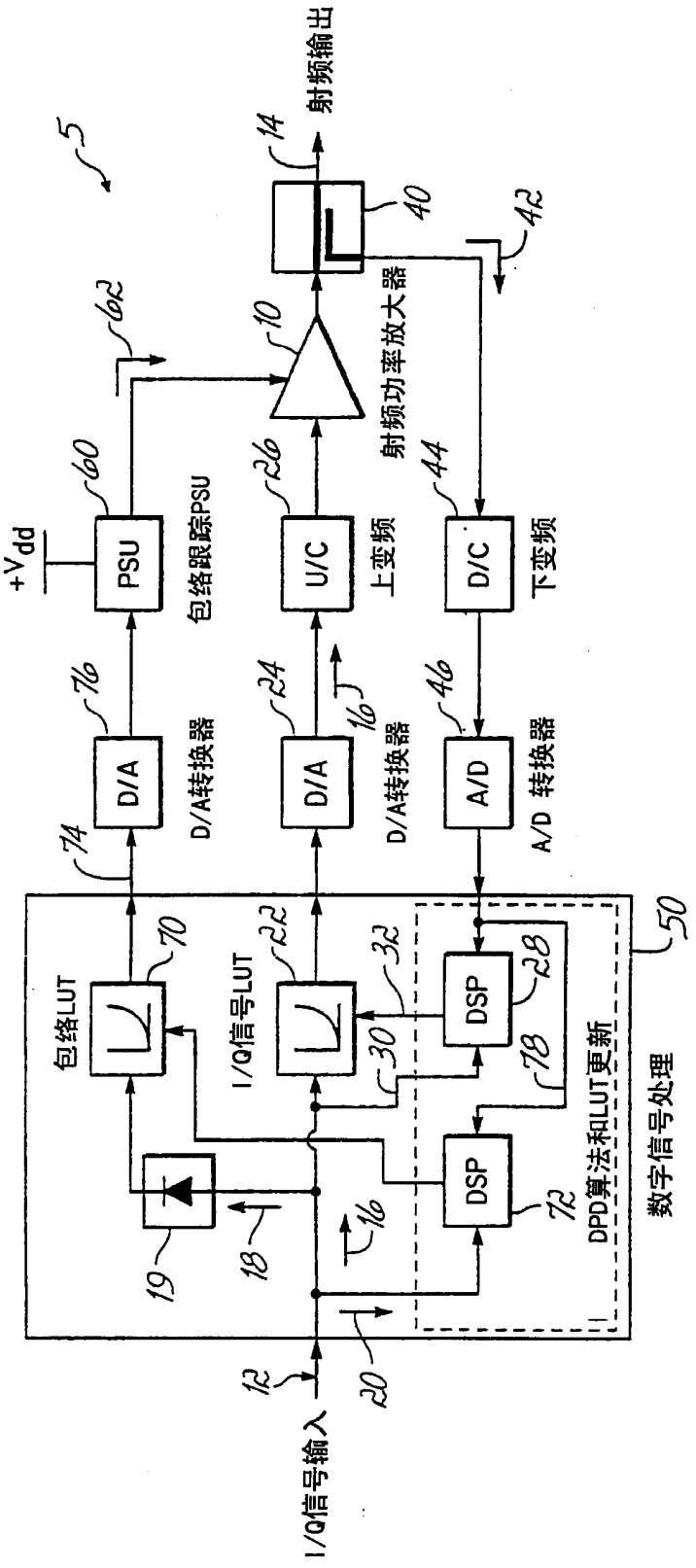

5
射频输出
14
40
42
62
10
射频功率放大器
+Vdd
60
PSU
包络跟踪PSU
26
U/C
上变频
44
D/C
下变频
76
D/A
D/A转换器
24
D/A
16
D/A转换器
46
A/D
A/D 转换器
74
包络LUT
70
I/Q信号LUT
22
32
30
DSP
28
78
DSP
72
DPD算法和LUT更新
50
数字信号处理
19
18
16
12
20
I/Q信号输入

图1

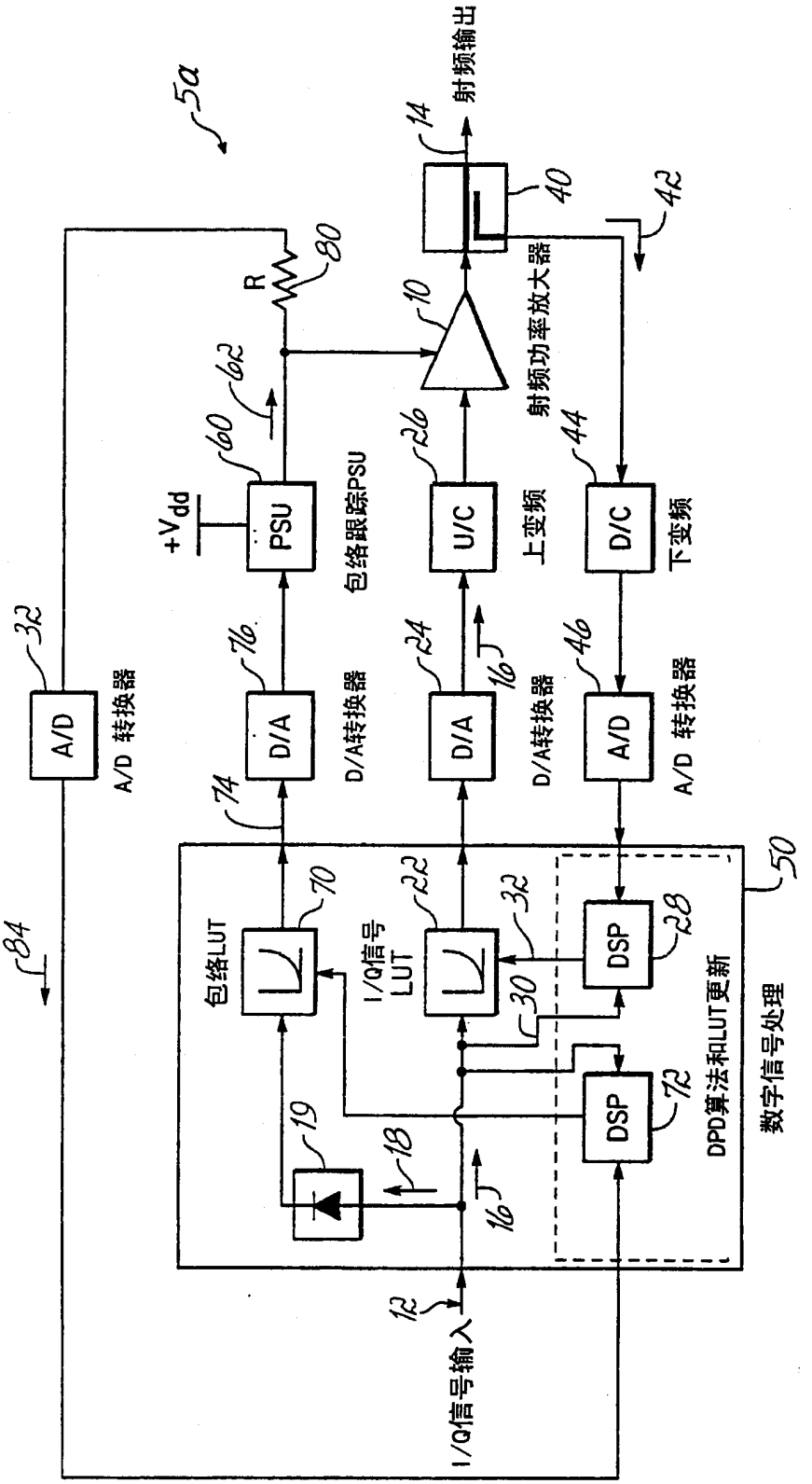

5a
射频输出
14
40
42
R
80
10
射频功率放大器
62
60
+Vdd
PSU
包络跟踪PSU
26
U/C
上变频
44
D/C
下变频
32
A/D
A/D 转换器
76
D/A
D/A转换器
24
D/A
D/A转换器
46
A/D
A/D 转换器
74
84
包络LUT
70
I/Q信号
LUT
22
32
DSP
28
30
DSP
72
DPD算法和LUT更新
数字信号处理
50
19
18
16
16
12
I/Q信号输入

图2

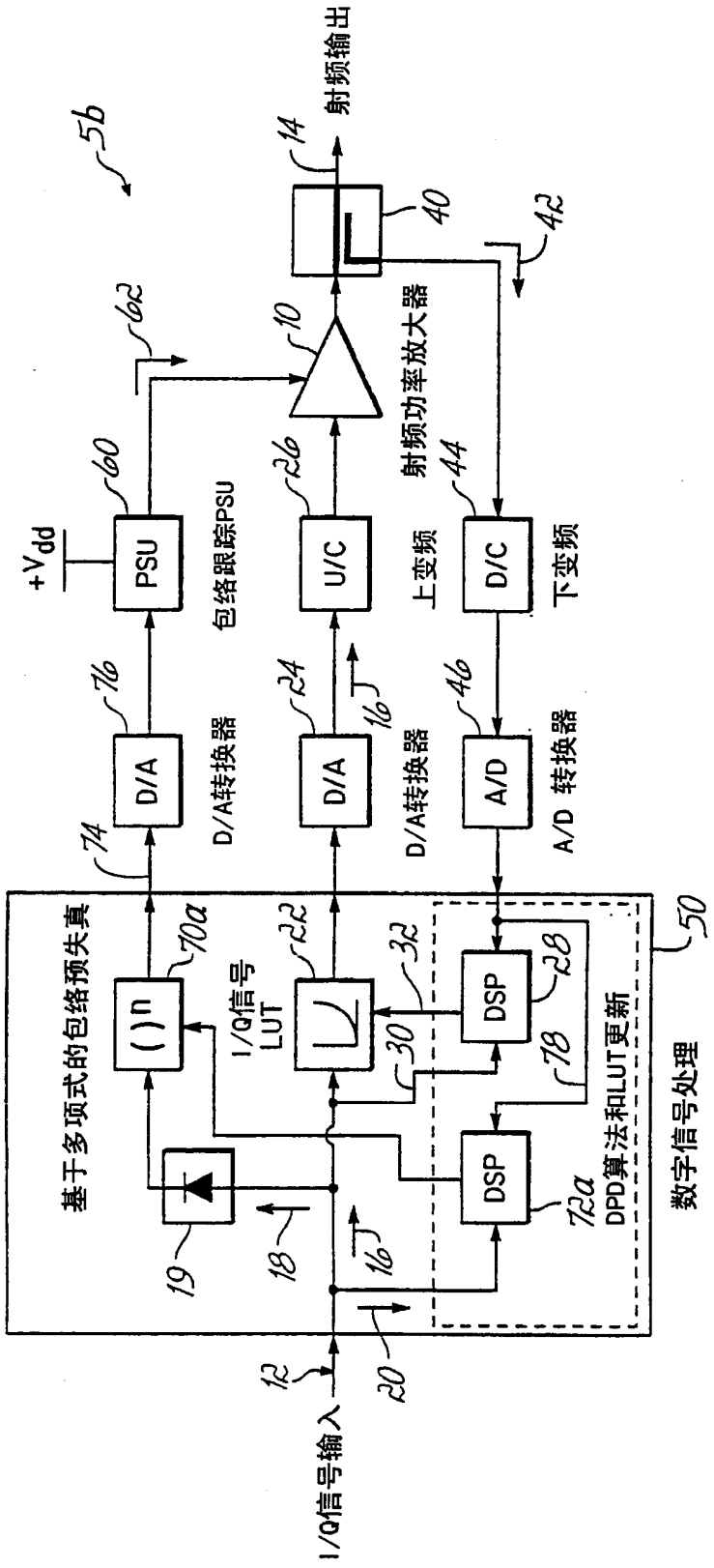

基于多项式的包络预失真
I/Q信号输入
I/Q信号 LUT
D/A转换器
D/A转换器
A/D 转换器
包络跟踪PSU
上变频
射频功率放大器
下变频
射频输出
DPD算法和LUT更新
数字信号处理
PSU
U/C
D/C
A/D
DSP
DSP
+Vdd
5b
10
12
14
16
18
19
20
22
24
26
28
30
32
40
42
44
46
50
60
62
70a
72a
74
76
78

图3

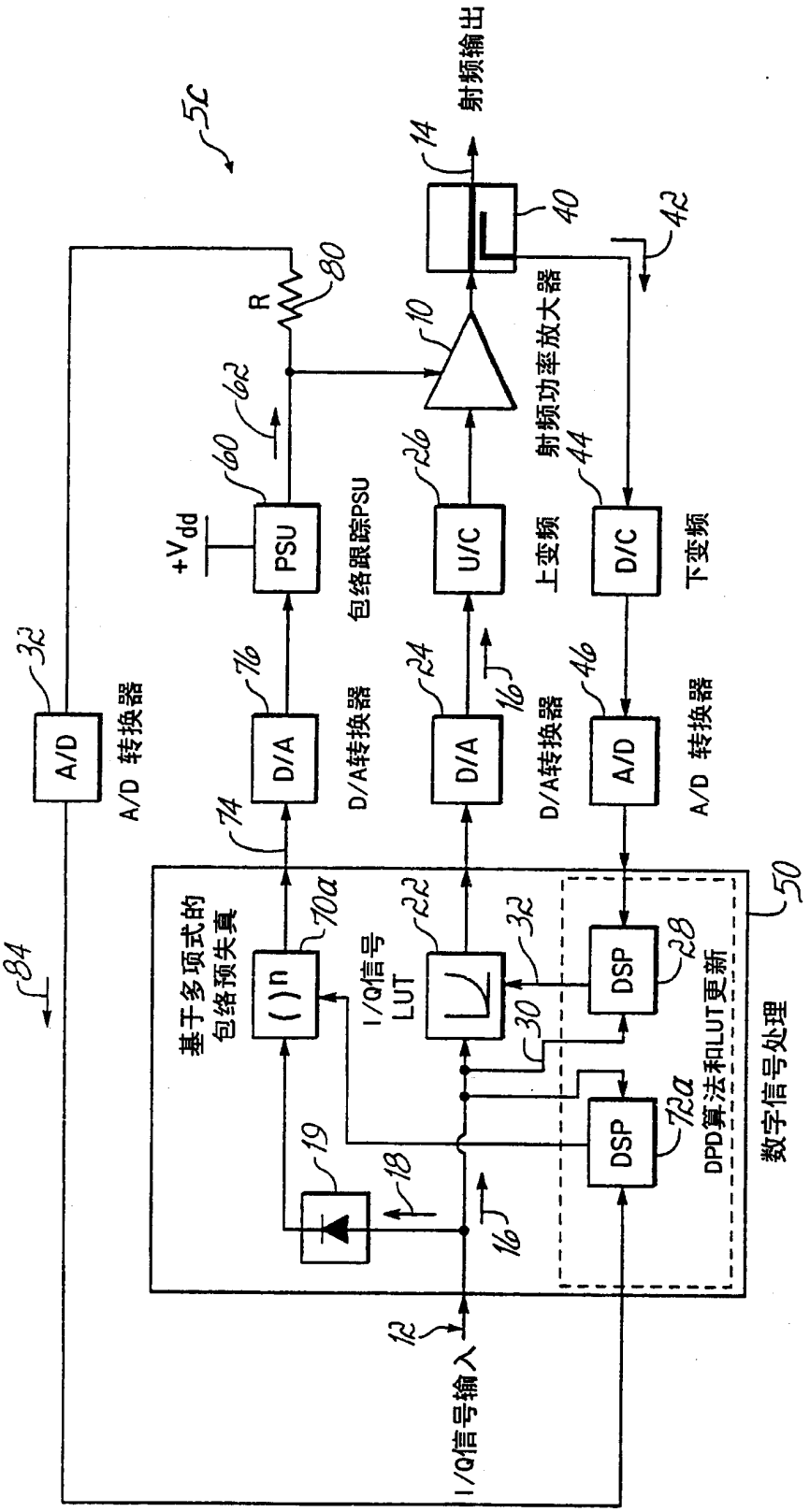

5C
射频输出
14
40
42
R
80
10
射频功率放大器
62
60
26
44
$+V_{dd}$
PSU
包络跟踪PSU
U/C
上变频
D/C
下变频
32
A/D
A/D 转换器
76
D/A
D/A转换器
24
D/A
D/A转换器
46
A/D
A/D 转换器
74
基于多项式的
包络预失真
70a
( )n
I/Q信号
LUT
22
32
30
DSP
28
DSP
72a
DPD算法和LUT更新
50
数字信号处理
34
19
18
16
12
I/Q信号输入

图4

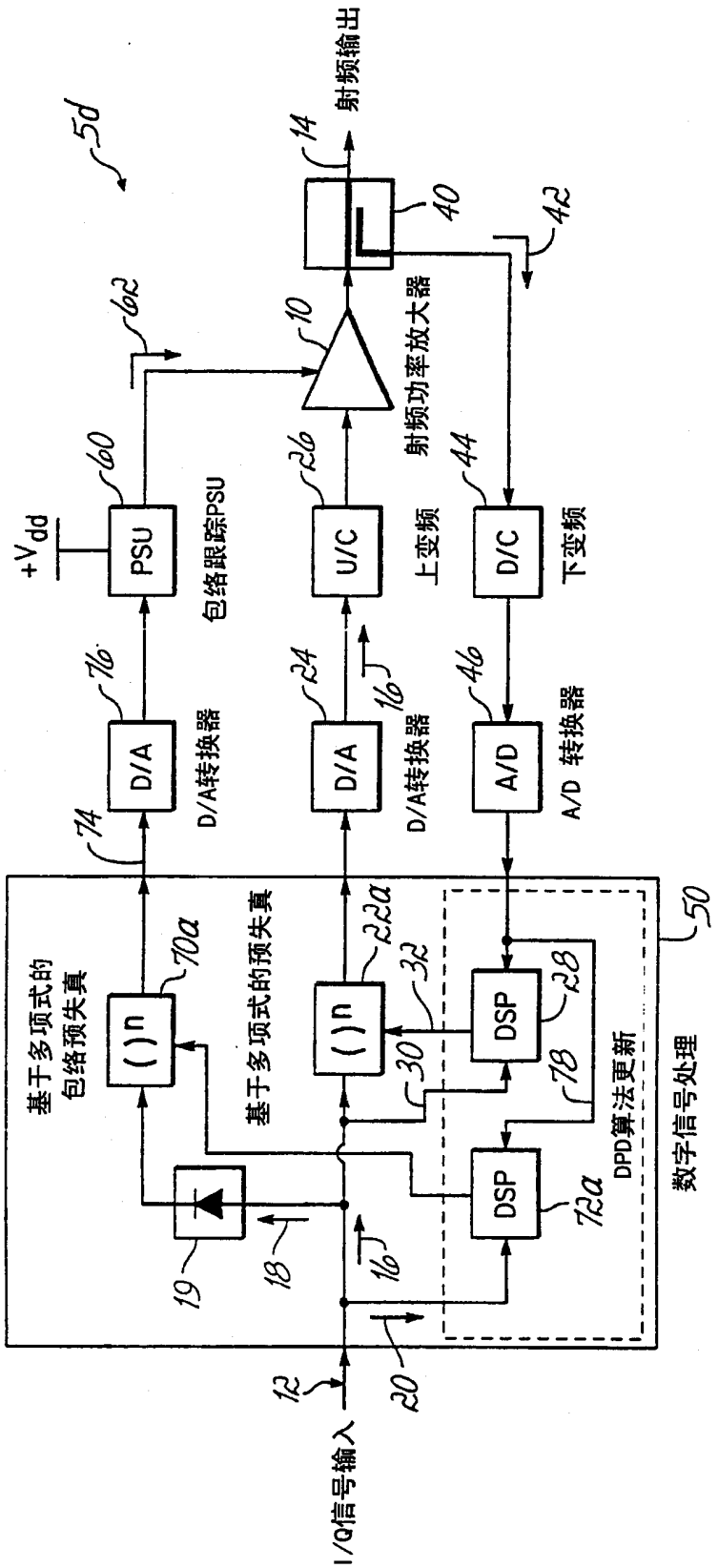

5d
射频输出
14
40
42
62
10
射频功率放大器
+Vdd
PSU
60
包络跟踪PSU
U/C
26
上变频
D/C
44
下变频
D/A
76
D/A转换器
D/A
24
16
D/A转换器
A/D
46
A/D 转换器
74
基于多项式的包络预失真
( )n
70a
基于多项式的预失真
( )n
22a
32
30
DSP
28
78
DSP
72a
DPD算法更新
数字信号处理
50
19
18
16
12
20
I/Q信号输入

图5

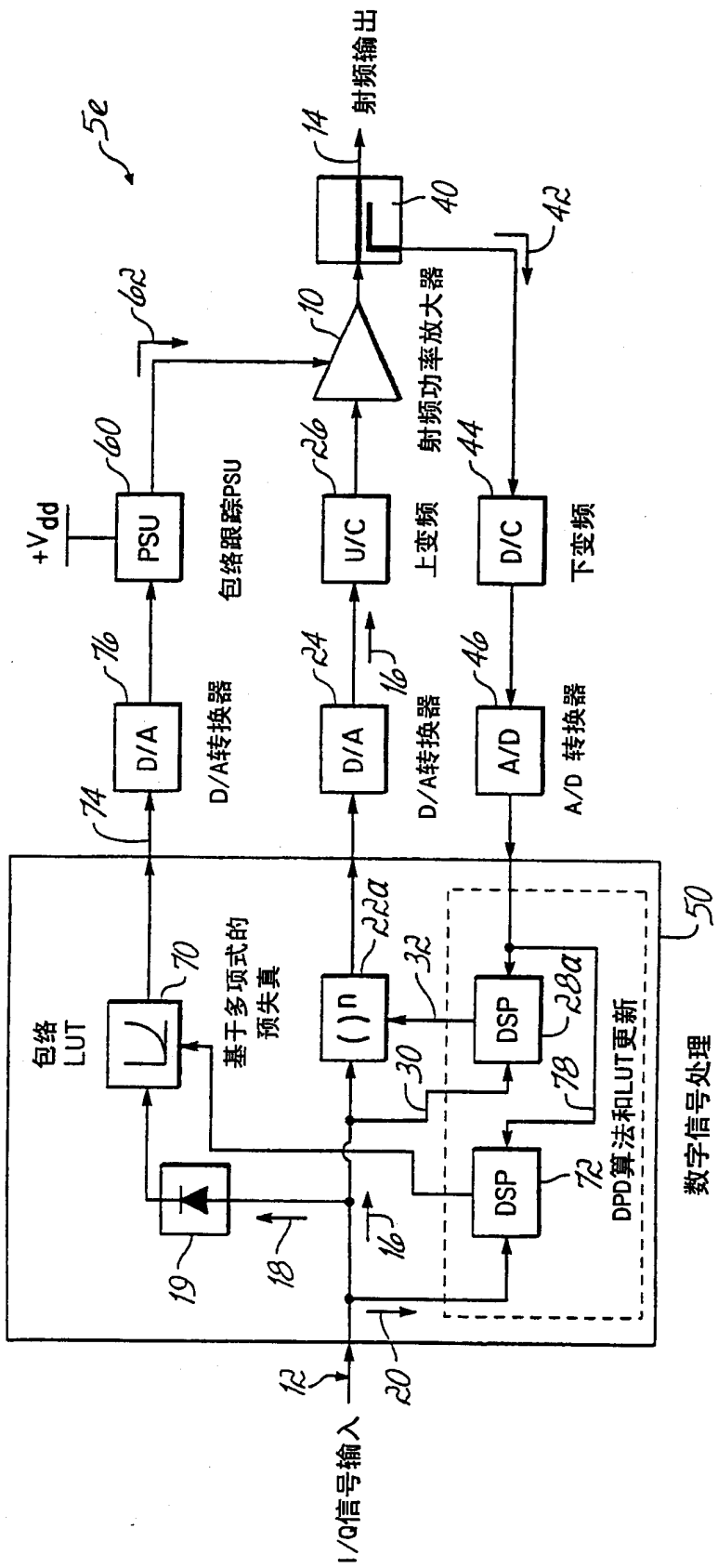

5e
射频输出
14
40
42
62
10
射频功率放大器
60
PSU
包络跟踪PSU
26
U/C
上变频
44
D/C
下变频
+Vdd
76
D/A
D/A转换器
24
D/A
D/A转换器
16
46
A/D
A/D 转换器
74
包络
LUT
70
基于多项式的
预失真
22a
32
( )n
30
DSP
28a
18
DSP
72
DPD算法和LUT更新
50
数字信号处理
19
18
16
12
20
I/Q信号输入

图6

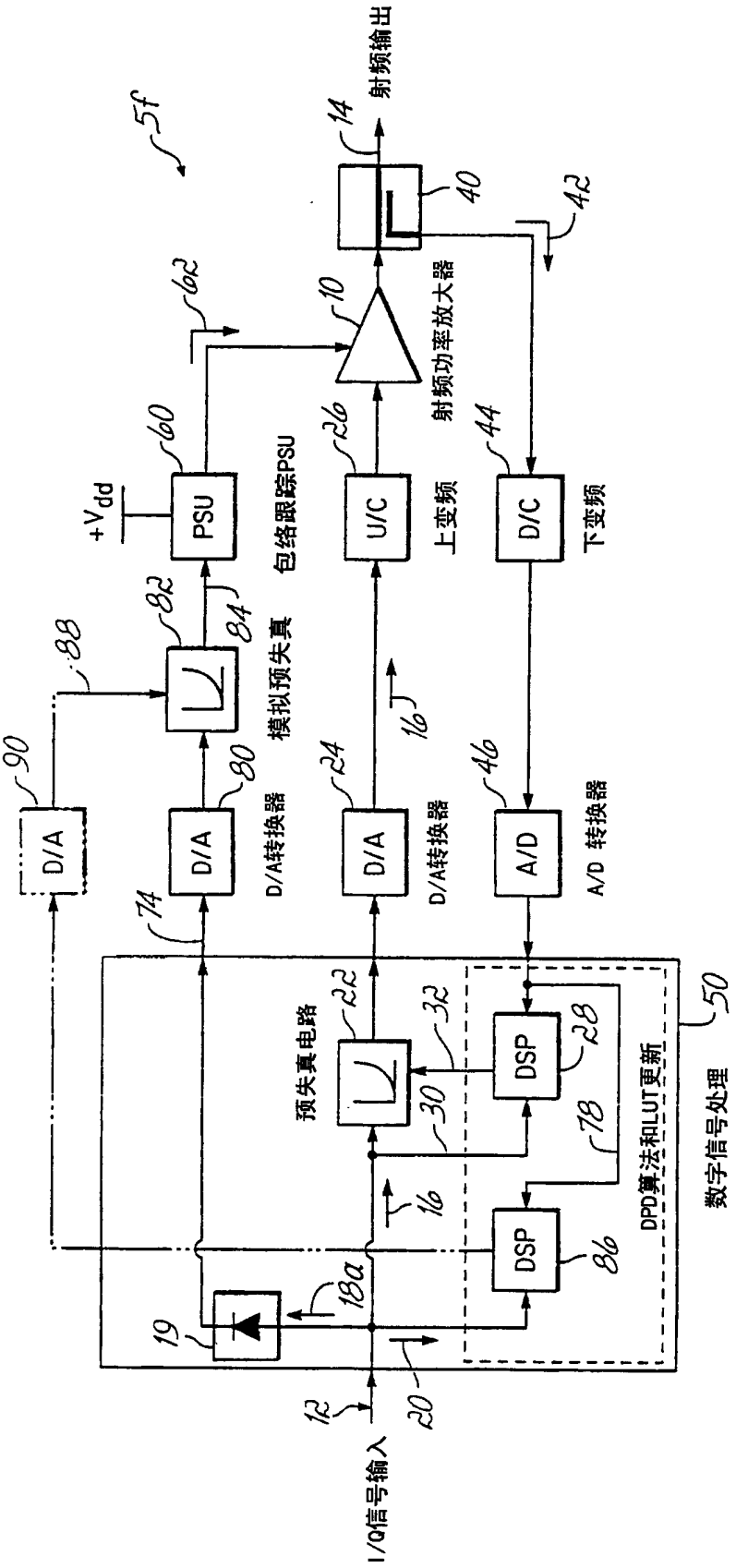

5f
射频输出
14
40
42
62
10
射频功率放大器
60
PSU
+Vdd
包络跟踪PSU
26
U/C
上变频
44
D/C
下变频
82
84
模拟预失真
88
90
D/A
D/A转换器
80
24
D/A
D/A转换器
16
46
A/D
A/D 转换器
74
预失真电路
22
32
30
DSP
28
78
DSP
86
DPD算法和LUT更新
50
数字信号处理
16
18a
19
12
20
I/Q信号输入

图7