

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410062193.X

H04L 27/00 (2006.01)

H04B 1/707 (2006.01)

H04B 1/38 (2006.01)

H03B 5/32 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 11 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100438519C

[22] 申请日 2000.10.12

[21] 申请号 200410062193.X

分案原申请号 00815554.2

[30] 优先权

[32] 1999.10.15 [33] US [31] 09/419,824

[73] 专利权人 射频波有限责任公司

地址 以色列赖阿南纳

[72] 发明人 戴维·本·巴萨特 摩西·勒纳

[56] 参考文献

CN1072549A 1993.5.26

CN1197515A 1998.10.28

审查员 刘 真

[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 谷惠敏 袁炳泽

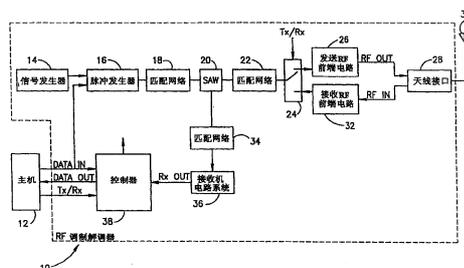
权利要求书 11 页 说明书 41 页 附图 23 页

[54] 发明名称

采用表面声波谐振器和脉冲整形方法的扩频调制解调器

[57] 摘要

本发明披露了一种双向直接序列扩频半双工 RF 调制解调器。该调制解调器在发射机和接收机引入了用于实现扩频和解扩功能的基于表面声波的相关器。在同一个单片衬底上制造的表面声波谐振器作为该振荡器的频率源。上变频器/下变频器将频率变换到要求频带。采用脉冲选通过程和询问脉冲整形过程来降低发送扩频脉冲的边频带。RF 调制解调器作为模拟或数字脉冲发射机和接收机运行。它可以通用于许多不同类型的数据通信系统中，例如：OOK、PWM 以及 PPM。RF 调制解调器可以用作分层通信系统如 ISO OSI 通信堆栈内的物理层 (PHY)。在另一种可供选择的实施例中，通过利用多个分别利用与所有其它相关函数正交的唯一相关函数(即：代码)配置的相关器，可以提高发送速率。



1. 一种直接序列扩频射频调制解调器，该调制解调器包括：
 - 脉冲发生器，用于根据 IF 频率的中频振荡信号产生脉冲，所述脉冲发生器包括用于整形所述脉冲的轮廓以生成整形脉冲的第一脉冲整形电路；
 - 脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频所述整形脉冲以产生扩频脉冲；
 - 发射机电路，包括将所述扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡信号混合在一起以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；
 - 接收机电路，包括将接收信号与所述本机振荡信号混合在一起以产生所述 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；
 - 相关器，用于根据所述扩频码序列解扩所述接收扩频脉冲以产生相关信号；以及
 - 检波器，用于根据所述相关信号产生输出信号。

2. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，适于采用一个频率源的振荡电路产生所述中频振荡信号和所述本机振荡信号。

3. 根据权利要求 2 所述的调制解调器，其特征在于，所述频率源包括表面声波谐振器。

4. 根据权利要求 2 所述的调制解调器，其特征在于，所述频率源包括被调谐到 488 MHz 的表面声波谐振器。

5. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，
 - 利用一个表面声波谐振器产生所述中频振荡信号和所述本机振荡信号；
 - 所述脉冲扩频器和所述相关器共享同一个适合用于进行半双工发

送和接收的表面声波相关器；以及

在同一个单片衬底上构造所述表面声波谐振器和所述表面声波相关器。

6. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述 IF 频率为 488 MHz。

7. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述 LO 频率为 1952 MHz。

8. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所采用的所述 RF 频率位于 2.4 GHz 的工业、科学以及医学频带内。

9. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述脉冲发生器包括根据待发送的输入数据选通所述中频振荡信号的选通机构。

10. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，该调制解调器进一步包括以互相倒相关系选通所述脉冲发生器的输出和所述脉冲扩频器的输出的开关机构，从而在激活所述脉冲发生器时，不激活所述脉冲扩频器，反之亦然。

11. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述脉冲扩频器包括使所述扩频脉冲过渡平滑的询问脉冲整形装置。

12. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述第一脉冲整形电路用于产生所述整形脉冲，所述整形脉冲包括：第一部分，由低到高线性倾斜所述脉冲的振幅值；以及第二部分，由高到低线性倾斜所述脉冲的振幅值。

13. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述脉冲

扩频器包括表面声波匹配滤波器。

14. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述扩频码序列包括 Barker 码串行序列。

15. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述扩频码序列包括 13 比特 Barker 码序列 {1、1、1、1、1、-1、-1、1、1、-1、1、-1、1}。

16. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述发射机电路包括：

IF 放大器，用于放大所述扩频脉冲；

所述上变频器，用于混合所述扩频脉冲与本机振荡信号；

RF 功率放大器，用于放大所述扩频发送信号；以及

天线，与所述 RF 功率放大器的输出相连。

17. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述接收机电路包括：

天线，适于接收 RF 信号；

第一低噪声放大器，与所述天线相连；

所述下变频器，用于混合所述接收信号与所述本机振荡信号；以

及

第二低噪声放大器，用于放大所述下变频器的输出。

18. 根据权利要求 1 所述的调制解调器，其特征在于，所述相关器包括表面声波匹配滤波器/匹配相关器。

19. 根据权利要求 18 所述的调制解调器，其特征在于，利用 Barker 码串行序列配置所述表面声波匹配滤波器/匹配相关器。

20. 根据权利要求 19 所述的调制解调器,其特征在于,所述 Barker 码串行序列包括 13 比特 Barker 码序列{1、1、1、1、1、-1、-1、1、1、-1、1、-1、1}。

21. 根据权利要求 1 所述的调制解调器,其特征在于,所述脉冲扩频器和所述相关器共享适合用于进行半双工发送和接收的表面声波相关器。

22. 根据权利要求 1 所述的调制解调器,其特征在于,所述检波器包括:

低速峰值检波器,根据所述相关信号,产生慢变基准信号;

快速峰值检波器,用于跟踪所述相关信号的包络并由此产生检波信号;以及

判决电路,通过将所述检波信号与所述基准信号进行比较,产生所述输出信号。

23. 一种对直接序列扩频信号进行调制和解调的方法,所述方法包括步骤:

根据 IF 频率的中频振荡信号产生脉冲,其中对所述脉冲的轮廓进行整形以生成整形脉冲;

利用扩频码序列波形,扩频所述整形脉冲并由此产生扩频脉冲;

将所述扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡信号混合在一起并由此产生 RF 频率的扩频发送信号;

将接收信号与所述本机振荡信号混合在一起并由此产生所述 IF 频率的接收扩频脉冲;

根据所述扩频码序列,解扩所接收的扩频脉冲并由此产生相关信号;以及

响应所述相关信号,检波输出信号。

24. 根据权利要求 23 所述的方法,其特征在于,利用一个频率源

产生所述中频振荡信号和所述本机振荡信号。

25. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 所述 IF 频率为 488 MHz。

26. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 所述 LO 频率为 1952 MHz。

27. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 所采用的所述 RF 频率位于 2.4 GHz 的工业、科学以及医学频带内。

28. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 产生脉冲的所述步骤包括根据待发送的输入数据选通所述中频振荡信号的步骤。

29. 根据权利要求 23 所述的方法, 该方法进一步包括以互相倒相关系选通所述整形脉冲和所述扩频脉冲的步骤, 从而在产生所述整形脉冲时, 不产生所述扩频脉冲, 反之亦然。

30. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 所述扩频步骤包括使所述扩频脉冲过渡平滑从而减少所述扩频脉冲的频率含量的步骤。

31. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 整形所述脉冲的所述步骤包括以这样的方式整形所述脉冲, 以致所述脉冲的振幅在第一部分为由低到高的线性斜坡, 以及在第二部分为由高到低的线性斜坡。

32. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于, 所述扩频码序列包括 Barker 码串行序列。

33. 根据权利要求 23 所述的方法，其特征在于，所述扩频码序列包括 13 比特 Barker 码序列 {1、1、1、1、1、-1、-1、1、1、-1、1、-1、1}。

34. 根据权利要求 23 所述的方法，其特征在于，进行扩频和解扩的所述步骤共用同一个适合用于进行半双工发送和接收的表面声波相关器。

35. 根据权利要求 23 所述的方法，其特征在于，检波输出信号的所述步骤包括步骤：

根据所述相关信号产生慢变基准信号；

跟踪所述相关信号的包络并由此产生检波信号；以及

通过比较所述检波信号与所述基准信号，产生所述输出信号。

36. 一种开关键控直接序列扩频射频收发信机，该射频收发信机包括：

输入电路，根据待发送的输入数据产生固定时长数据输入信号；

以及 RF 调制解调器，该 RF 调制解调器包括：

脉冲发生器，根据由 IF 频率的中频振荡信号获得的所述数据输入信号，产生脉冲，所述脉冲发生器包括对所述脉冲的轮廓进行整形以生成整形脉冲的第一脉冲整形电路；

脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频所述整形脉冲，从而产生扩频脉冲；

发射机电路，包括将所述扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；

接收机电路，包括将接收信号与所述本机振荡信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；

相关器，根据所述扩频码序列解扩所接收的扩频脉冲以产生相关信号；以及

检波器，根据所述相关信号，产生数据输出信号。

37. 一种脉宽调制直接序列扩频射频收发信机，该射频收发信机包括：

输入电路，根据待发送的模拟输入信号，产生脉宽调制数据输入信号；

RF 调制解调器，该 RF 调制解调器包括：

脉冲发生器，根据由 IF 频率的中频振荡信号获得的所述数据输入信号，产生脉冲，所述脉冲发生器包括对所述脉冲的轮廓进行整形以生成整形脉冲的第一脉冲整形电路；

脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频所述整形脉冲，从而产生扩频脉冲；

发射机电路，包括将所述扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；

接收机电路，包括将接收信号与所述本机振荡信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；

相关器，根据所述扩频码序列解扩所接收的扩频脉冲以产生相关信号；

检波器，根据所述相关信号产生输出信号；以及

输出电路，将所述输出信号集成在一起以由此产生模拟输出信号。

38. 一种脉冲位置调制直接序列扩频射频收发信机，该射频收发信机包括：

输入电路，根据待发送的模拟输入信号，产生脉冲位置调制数据输入信号；

RF 调制解调器，该 RF 调制解调器包括：

脉冲发生器，根据由 IF 频率的中频振荡信号获得的所述数据输入信号，产生脉冲，所述脉冲发生器包括对所述脉冲的轮廓进行整形以生成整形脉冲的第一脉冲整形电路；

脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频所述整形脉冲，从而产生扩频脉冲；

发射机电路，包括将所述扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；

接收机电路，包括将接收信号与所述本机振荡信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；

相关器，根据所述扩频码序列解扩所接收的扩频脉冲以产生相关信号；

检波器，根据所述相关信号产生输出信号；以及

输出电路，根据斜坡函数限制所述输出信号以由此产生模拟输出信号。

39. 一种直接序列扩频射频调制解调器，该射频调制解调器包括：

振荡器，用于产生中频振荡信号和本机振荡信号；

多个 N 发送/接收电路，每个所述发送/接收电路包括：

脉冲发生器，根据所述中频振荡信号产生脉冲，所述脉冲发生器包括用于整形所述脉冲的轮廓以生成整形脉冲的第一脉冲整形电路；

脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频所述整形脉冲以产生扩频脉冲；

相关器，根据所述扩频码序列解扩所述扩频脉冲信号以产生相关信号；

检波器，根据所述相关信号产生输出信号；

其中利用与其它相关器中的函数正交的唯一函数配置各发送/接收电路内的相关器；

装置，用于合成并发送所述多个 N 发送/接收电路产生的 N 个扩频脉冲信号作为合成发送信号；

发射机电路，包括将所述扩频脉冲与所述本机振荡信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；

装置，用于接收所述合成发送信号并将它划分为 N 个接收信号；

接收机电路，包括将接收信号与所述本机振荡信号混合以产生所述中频振荡信号的中频的接收扩频脉冲的下变频器；以及

其中 N 是正整数。

40. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述振荡器包括表面声波谐振器。

41. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述振荡器包括被调谐到 488 MHz 的谐振器。

42. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，
一个表面声波谐振器用于产生所述中频振荡信号和所述本机振荡信号；

所述脉冲扩频器和所述相关器共用同一个适合用于进行半双工发送和接收的表面声波相关器；以及

在同一个单片衬底上构造所述表面声波谐振器和所述表面声波相关器。

43. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述 IF 频率为 488 MHz。

44. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述本机振荡信号的频率为 1952 MHz。

45. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所采用的所述 RF 频率位于 2.4 GHz 的工业、科学以及医学频带内。

46. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述脉冲发生器包括根据待发送的输入数据选通所述中频振荡信号的选通机构。

47. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，该调制解调器进一步包括以互相倒相关系选通所述脉冲发生器的输出和所述脉冲扩频器的输

出的开关机构，从而在激活所述脉冲发生器时，不激活所述脉冲扩频器，反之亦然。

48. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述脉冲扩频器包括使所述扩频脉冲过渡平滑的询问脉冲整形装置。

49. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述第一脉冲整形电路用于产生脉冲轮廓，所述脉冲轮廓包括：第一部分，由低到高线性倾斜所述脉冲的振幅值；以及第二部分，由高到低线性倾斜所述脉冲的振幅值。

50. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述脉冲扩频器包括表面声波匹配滤波器。

51. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述扩频码序列包括 Barker 码串行序列。

52. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述发射机电路包括：

IF 放大器，用于放大所述扩频脉冲；

所述上变频器，用于混合所述扩频脉冲与本机振荡信号；

RF 功率放大器，用于放大所述扩频发送信号；以及

天线，与所述 RF 功率放大器的输出相连。

53. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述接收机电路包括：

天线，用于接收 RF 信号；

第一低噪声放大器，与所述天线相连；

所述下变频器，用于混合所述接收信号与所述本机振荡信号；以及

第二低噪声放大器，用于放大所述下变频器的输出。

54. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述相关器包括表面声波匹配滤波器/匹配相关器。

55. 根据权利要求 54 所述的调制解调器，其特征在于，利用 Barker 码串行序列配置所述表面声波匹配滤波器/匹配相关器。

56. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述脉冲扩频器和所述相关器共享适合用于进行半双工发送和接收的表面声波相关器。

57. 根据权利要求 39 所述的调制解调器，其特征在于，所述检波器包括：

低速峰值检波器，根据所述相关信号，产生慢变基准信号；

快速峰值检波器，用于跟踪所述相关信号的包络并由此产生检波信号；以及

判决电路，通过将所述检波信号与所述基准信号进行比较，产生所述输出信号。

采用表面声波谐振器和脉冲整形方法的扩频调制解调器

技术领域

本发明一般地涉及射频（RF）调制解调器，更具体地说，本发明涉及引入上变换电路和脉冲整形电路以限制发送信号的频率输出的基于表面声波的扩频 RF 调制解调器。

背景技术

随着计算机使用量的高速增长，对通过无线连接连接的外围设备和系统的需求量也在不断增加。当前，在诸如安全报警、联网、数据通信、电话技术以及计算机安全的领域内，无线应用的数量在高速增长。

当前，无线通信可以采用的方式有多种，例如：超声波、IR 和 RF。在 RF 无线通信中通常使用的通信技术是扩频技术。扩频通信是通过比发送被发送信息所需最小带宽宽得多的频带扩频发送信号的通信技术。通过进行信号扩频，扩频系统降低了对干涉和干扰的敏感度，从而实现高度数据完整性和高度数据安全性。此外，由于信号扩频过程通过宽带宽扩展发送功率，所以可以显著降低带宽内任何给定频率的功率电平，从而降低了对其它无线电设备的干扰。

扩频通信系统通常为直接序列（DS）类型、跳频（FH）类型，或者为将 DS 与 FH 组合在一起后两者的混合。在直接序列扩频通信中，利用伪随机片码调制数据信号，从而产生其频率频谱被通过宽带宽扩频的发送信号。发送信号具有低频谱密度，并且对于没有该代码序列的接收机，它表现为噪声。因此，扩频通信提高了发送数据的安全性并降低了对在同一个环境内运行的其它发射机和接收机的干扰。

扩频通信系统中发射机的作用是根据待发送的数据扩频信号，将待发送的每个位或每个位组转换为多个比原始数据的带宽宽的片码。根据对该系统选择的代码序列进行扩频。

接收机的作用是对扩频信号进行解扩以恢复原始数据信号。在直接序列扩频中，通过使接收信号与匹配发射机发送该信息所使用的伪噪声码的基准代码相关，对该信号实现解扩。通过对该信号进行解扩，还可以对任何干扰信号进行扩频。干扰信号通常包括伪随机噪声，而不包括容易消灭的循环噪声。

一种扩频相关技术是在将接收信号输入到数字匹配滤波器之前，将它转换为数字形式。其他的扩频相关技术是利用表面声波（SAW）器件来对接收扩频信号实现相关。在厚度为 0.5 mm 的石英圆片上建立的表面声波器件允许在自由表面传播声波。表面声波器件用于将电信号转换为声信号，然后再通过压电式变换器转换回电信号。

表面声波器件在包括扩频相关器在内的许多应用中都很有用，因为它们通常在宽频带内运行。表面声波相关器是为了利用射频信号内的相移相关识别特定片码序列构造的无源部件（在操作上类似于数字匹配滤波器相关器）。在模拟方面，表面声波器件起到延迟线匹配滤波器的作用。它包括许多其延迟周期分别等于发送代码时钟周期的延迟单元，以便在任何时间，每个延迟单元均对应于接收信号的一个片码。

随着接收信号向表面声波器件的下游传播，与传播波同相或异相附加各延迟单元的相位结构。将所有延迟单元的输出累加在一起以达到最大总相关值。当所有延迟单元的相移结构匹配传播波的相移时，则可以实现最大和数，即相关。

由于表面声波器件本身是固定器件，所以通常在制造时对表面声波相关器进行编程以匹配一个预定片码序列。在构造时通过设置在各延迟单元内的变换器对表面声波器件的相移结构进行编程以产生基本相位匹配，并且一旦制造好，就不能再改变，从而与单个代码序列相关。

因此，最好具有一种采用直接序列扩频技术、成本低、尺寸小的 RF 调制解调器。这种 RF 调制解调器最好对发射机谐振器、相关器以及接收机相关器采用表面声波器件。

发明内容

本发明涉及双向直接序列扩频半双工 RF 调制解调器。RF 调制解调器可以应用于发送和接收多种模拟和数字脉冲调制。由于 RF 调制解调器适于在多个频率范围内运行，所以在此说明的第一个例子运行于 902 至 928MHz 的工业、科学及医学 (ISM) 频带，在此构造的第二个例子运行于 2400 至 2483.5 MHz 的 ISM 频带内。此外，这两个例子采用本发明的 RF 调制解调器构造各种类型的数据通信系统。

本发明所述的调制解调器，还适于采用一个频率源的振荡电路产生所述 IF 振荡信号和所述 LO 信号。

本发明所述的调制解调器，进一步包括以互相倒相关系选通所述脉冲发生器的输出和所述脉冲扩频器的输出的开关机构，从而在激活所述脉冲发生器时，不激活所述脉冲扩频器，反之亦然。

本发明所述的调制解调器，其特征还在于，所述第一脉冲整形电路用于产生所述脉冲轮廓，所述脉冲轮廓包括：第一部分，由低到高线性倾斜所述脉冲的振幅值；以及第二部分，由高到低线性倾斜所述脉冲的振幅值。

本发明的主要特征在于,在 RF 调制解调器内引入两个在一个单片衬底上制造的不同表面声波 (SAW) 器件。第一表面声波器件用作发射机振荡器部分内的谐振器,而第二表面声波器件构成调制解调器的发送部分和接收部分使用的相关器。本发明的另一个主要特征在于,该调制解调器的功耗非常低。

所构造的 RF 调制解调器作为脉冲发射机和接收机工作。从可以用于许多不同类型的数据通信系统的意义上说,它具有通用性,下面将举几个例子进行说明。RF 调制解调器可以用作分层通信系统如 ISO OSI 通信堆栈内的物理层 (PHY)。例如,脉冲发射机 RF 调制解调器可以用于提供各种调制方法,包括但并不局限于:开关键控 (OOK)、脉宽调制 (PWM)、脉冲位置调制 (PPW) 或者任何其它类型的模拟或数字脉冲调制。

在第一实施例中,调制解调器的发送部分包括采用表面声波谐振器的振荡器。根据待发送的数据,接通和断开振荡器的输出。脉冲输入到表面声波相关器,表面声波相关器用于输出包括代码序列的扩频波形。事实上,表面声波相关器被用作 BPSK 调制器。所使用的代码序列是 13 位 Barker 码, Barker 码适于具有高自相关特性。对扩频序列进行放大并通过天线发送。

接收机首先利用带通滤波器对接收信号进行滤波,然后利用低噪声放大器 (LNA) 进行放大。将放大信号输入到匹配滤波器/匹配相关器,匹配滤波器/匹配相关器检测是否与 Barker 代码序列匹配。如果检测到匹配,则输出代表原始脉冲的解扩脉冲。将该相关器的输出输入到峰值检波器,峰值检波器以线性和非线性方式检波接收信号的包络。产生动态基准信号并用于偏置用于产生二进制输出数据信号的阈值。

本发明的 RF 调制解调器的输出功率 P_T 约为 10 dBm。处理增益约为 11 dB。根据 FCC 的要求,利用直接序列扩频技术实现的至少 10 dB

的处理增益允许使用 30 dBm 的更高输出功率电平。同时，有效输出功率 P_{TEFF} 为 20 dBm 数量级。这相当于在自由空间内、假定为 0 dBi 天线约 1000 米的最远通信距离（根据实际情况）。利用根据本发明在此说明的该 RF 调制解调器例子可以实现的最高脉冲速率接近 1.5 Mpps。

在第二实施例中，上变频器/下变频器用于将扩频脉冲变换为高频带，或者由高频带变换扩频脉冲。此外，有几种技术可以使发送脉冲的频谱变窄。询问脉冲整形电路或者第一脉冲整形电路用于使输入表面声波器件的询问脉冲的轮廓光滑。此外，表面声波滤波器的结构适于使扩频波形的过渡和断续平滑。不仅如此，脉冲选通电路用于减少表面声波滤波器产生的 RF 泄漏。

在第三实施例中，通过使用多个分别利用与所有其它函数正交的唯一函数（即：代码）配置的相关器（即：它们之间接近零交互作用），可以提高传输位速率。主机适于提供 N 条数据输入线数据输出线。每个相关器具有各自的数据输入线和数据输出线。所有相关器通用的振荡电路产生振荡信号。RF 功率分配器/功率合成器用于将 N 个发送信号合成为合成发送信号并将接收的合成信号分割为多个馈送到各相关器的接收信号。

根据本发明的 RF 调制解调器具有实现成本低的优势，因为：（1）所要求的硅的大小以及表面声波谐振器和表面声波相关器的大小较小，所以降低了生产费用，提高了产量；（2）因为提高了产量并简化了器件，所以简化了部件的测试过程；以及（3）结果芯片的大小可以实现标准、廉价封装。

采用直接序列扩频技术具有许多优势，包括：（1）调制解调器适于发送和接收非常窄的脉冲，非常窄的脉冲特别合乎于脉冲的收发；（2）由于存在扩频处理增益，所以每个脉冲的有效传输功率提高了 10

dB; (3) 对干扰具有固有抗扰性; (4) 对带外噪声的固有滤波; (5) 对带内噪声的固有扩频; (6) 对通信有效的高动态范围; 以及 (7) 因为具有快速振荡器唤醒时间, 所以节省能源。

此外, 利用上变频器/下变频器, 本发明的 RF 调制解调器可以在任何要求频带运行, 并且该 RF 调制解调器包括显著降低带外 RF 能量的电路系统。

根据本发明, 提供了一种直接序列扩频射频 (RF) 调制解调器, 该 RF 调制解调器包括: 脉冲发生器, 根据具有 IF 频率的中频 (IF) 振荡器信号产生脉冲, 该脉冲发生器包括用于整形脉冲轮廓的第一脉冲整形电路; 脉冲扩频器, 用于利用扩频码序列波形扩频整形脉冲, 从而产生扩频脉冲; 发射机电路, 包括将扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡 (LO) 信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器; 接收机电路, 包括将接收信号与 LO 信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器; 相关器, 根据代码序列解扩接收扩频脉冲以产生相关信号; 以及检波器, 用于响应相关信号产生输出信号。

此外, 根据本发明还提供了一种对直接序列扩频信号进行调制和解调的方法, 该方法包括步骤: 根据 IF 频率的中频 (IF) 振荡信号产生脉冲, 其中对脉冲轮廓进行整形; 利用扩频码序列波形对整形脉冲进行扩频以及由此产生扩频脉冲; 将扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡器 (LO) 信号混合并由此产生 RF 频率的扩频发送信号; 将接收信号与 LO 信号混合并由此产生 IF 频率的接收扩频脉冲; 根据代码序列解扩扩频发送信号, 并由此产生相关信号; 以及响应相关信号检波输出信号。

根据本发明所述的方法, 可以利用一个频率源产生所述 IF 振荡信号和所述 LO 信号。

根据本发明所述的方法进一步包括以互相倒相关系选通所述脉冲

发生器的输出和所述脉冲扩频器的输出的步骤，从而在产生所述脉冲时，不产生所述扩频脉冲，反之亦然。

根据本发明所述的方法，所述扩频步骤包括使所述扩频脉冲过渡平滑从而减少所述扩频脉冲的频率含量的步骤。

根据本发明所述的方法，整形所述脉冲的所述步骤包括以这样的方式整形所述脉冲，以致所述脉冲的振幅在第一部分为由低到高的线性斜坡，以及在第二部分为由高到低的线性斜坡。

根据本发明还提供了一种开关键控（OOK）直接序列扩频射频（RF）收发信机，该 RF 收发信机包括：输入电路，根据待发送的输入数据产生固定时长数据输入信号；以及 RF 调制解调器，该 RF 调制解调器包括：脉冲发生器，响应由 IF 频率的中频（IF）振荡信号获得的数据输入信号，产生脉冲，该脉冲发生器包括对脉冲轮廓进行整形的第一脉冲整形电路；脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频整形脉冲，从而产生扩频脉冲；发射机电路，包括将扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡（LO）信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；接收机电路，包括将接收信号与 LO 信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；相关器，根据代码序列解扩扩频发送信号以产生相关信号；以及检波器，用于响应相关信号产生数据输出信号。

此外，根据本发明还提供了一种脉宽调制（PWM）直接序列扩频射频（RF）收发信机，该 RF 收发信机包括：输入电路，根据待发送的模拟输入信号，产生脉宽调制数据输入信号；RF 调制解调器，该 RF 调制解调器包括：脉冲发生器，响应由 IF 频率的中频（IF）振荡信号获得的数据输入信号，产生脉冲，该脉冲发生器包括对脉冲轮廓进行整形的第一脉冲整形电路；脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频整形脉冲，从而产生扩频脉冲；发射机电路，包括将扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡（LO）信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上

变频器；接收机电路，包括将接收信号与 LO 信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；相关器，根据代码序列解扩扩频发送信号以产生相关信号；检波器，用于响应相关信号产生输出信号；以及输出电路，将输出信号集成在一起以由此产生模拟输出信号。

此外，根据本发明又提供了一种脉冲位置调制（PPM）直接序列扩频射频（RF）收发信机，该 RF 收发信机包括：输入电路，根据待发送的模拟输入信号，产生脉冲位置调制数据输入信号；RF 调制解调器，该 RF 调制解调器包括：脉冲发生器，响应由 IF 频率的中频（IF）振荡信号获得的数据输入信号，产生脉冲，该脉冲发生器包括对脉冲轮廓进行整形的第一脉冲整形电路；脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频整形脉冲，从而产生扩频脉冲；发射机电路，包括将扩频脉冲与 LO 频率的本机振荡（LO）信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；接收机电路，包括将接收信号与 LO 信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；相关器，根据代码序列解扩扩频发送信号以产生相关信号；检波器，用于响应相关信号产生输出信号；以及输出电路，根据斜坡函数限制输出信号以由此产生模拟输出信号。

此外，根据本发明还提供了一种直接序列扩频射频（RF）调制解调器，该 RF 调制解调器包括：振荡器，用于产生中频（IF）振荡信号和本机振荡（LO）信号；多个 N 发送/接收电路，每个发送/接收电路均包括：脉冲发生器，根据中频（IF）振荡信号产生脉冲，该脉冲发生器包括对脉冲轮廓进行整形的第一脉冲整形电路；脉冲扩频器，用于利用扩频码序列波形扩频整形脉冲以产生扩频脉冲；相关器，根据代码序列解扩扩频脉冲信号以产生相关信号；检波器，用于响应相关信号产生输出信号，其中利用与其它相关器内的函数大致正交的唯一函数，对每个发送/接收电路内的相关器进行配置；装置，用于合成并发送由 N 发送/接收电路产生的 N 个扩频脉冲信号作为合成发送信号；发射机电路，包括将扩频脉冲与 LO 信号混合以产生 RF 频率的扩频发送信号的上变频器；装置，用于接收合成发送信号并将它分割为 N 个接

收信号；接收机电路，包括将接收信号与 LO 信号混合以产生 IF 频率的接收扩频脉冲的下变频器；其中 N 为正整数。

根据上文所述的调制解调器，该调制解调器进一步包括以互相倒相关系选通所述脉冲发生器的输出和所述脉冲扩频器的输出的开关机构，从而在激活所述脉冲发生器时，不激活所述脉冲扩频器，反之亦然。

根据上文所述的调制解调器，其特征在于，所述第一脉冲整形电路用于产生所述脉冲轮廓，所述脉冲轮廓包括：第一部分，由低到高线性倾斜所述脉冲的振幅值；以及第二部分，由高到低线性倾斜所述脉冲的振幅值。

附图说明

在此，将参考附图，仅利用例子说明本发明，附图包括：

图 1 示出根据本发明构造的 RF 调制解调器的第一实施例的方框图；

图 2 示出 RF 调制解调器的信号发生器电路的更详细方框图；

图 3 示出 RF 调制解调器的脉冲发生器电路的更详细方框图；

图 4 示出脉冲发生器电路的各信号的波形扫迹图；

图 5 示出根据本发明的 RF 调制解调器的谐振器、振荡器以及 RF 开关部分的实施例例子的原理方框图；

图 6 示出包括表面声波谐振器和表面声波相关器在内的表面声波器件的结构图；

图 7 示出表面声波谐振器的输出脉冲响应曲线图；

图 8 示出在 RF 调制解调器内使用的表面声波器件的频率响应幅值曲线图；

图 9 示出表面声波相关器的自相关曲线；

图 10 示出线性 FM 表面声波相关器的自相关曲线图；

图 11 示出响应询问脉冲表面声波谐振器的输出曲线图；

图 12 示出 RF 调制解调器的发送 RF 前端电路的更详细方框图；

图 13 示出发送 RF 前端电路的各信号的波形扫迹图；

图 14 示出 RF 调制解调器的接收 RF 前端电路的更详细方框图；

图 15 示出包括峰值检波器和判决电路在内的 RF 调制解调器的接收机电路的更详细方框图；

图 16 示出本发明的 RF 调制解调器的通用状态机的运行过程状态图；

图 17 示出通用状态机的发送状态机部分的运行过程的更详细状态图；

图 18 示出通用状态机的接收状态机部分的运行过程的更详细状态图；

图 19 示出 RF 调制解调器第二实施例的信号发生器电路的更详细方框图；

图 20 示出 RF 调制解调器第二实施例的发送 RF 前端电路的更详细方框图；

图 21 示出 RF 调制解调器第二实施例的接收 RF 前端电路的更详细方框图；

图 22 示出采用本发明 RF 调制解调器构造的 OOK 通信系统的方框图；

图 23 示出采用本发明 RF 调制解调器构造的 PWM 通信系统的方框图；

图 24 示出 PWM 收发信机的几个信号波形的示意图；

图 25 示出采用本发明 RF 调制解调器构造的 PPM 通信系统的方框图；

图 26 示出 PPM 收发信机的几个信号波形的示意图；

图 27 示出具有不止一个相关器的根据本发明 RF 调制解调器的第四实施例的方框图；以及

图 28 示出图 27 所示 RF 调制解调器的发送/接收电路的更详细方框图。

本发明的详细说明

本说明书使用的符号

以下是本说明书中使用的符号。

| 术语 | 定义 |
|--------|----------------|
| BPF | 带通滤波器 |
| BPSK | 二进制相移键控 |
| CMOS | 互补金属氧化物半导体 |
| CNR | 载波噪声比 |
| DC | 直流 |
| DS | 直接序列 |
| FCC | 联邦通信委员会 |
| FET | 场效应晶体管 |
| FH | 跳频 |
| FM | 调频 |
| IF | 中频 |
| IL | 介入损耗 |
| IR | 红外线 |
| ISI | 符号间干扰 |
| ISM | 工业、科学及医学频带 |
| ISO | 国际标准化组织 |
| LNA | 低噪声放大器 |
| LO | 本机振荡器 |
| MOSFET | 金属氧化物半导体场效应晶体管 |
| NF | 噪声系数 |
| OOK | 开关键控 |
| OSI | 开放系统互连 |
| PC | 个人计算机 |
| PPM | 脉冲位置调制 |
| PWM | 脉宽调制 |
| RF | 射频 |
| S/H | 取样和保持 |
| SAW | 表面声波 |
| SNR | 信噪比 |

本发明的详细说明

本发明涉及双向直接序列扩频半双工 RF 调制解调器。RF 调制解

调器可以应用于发送和接收多种类型的模拟和数字脉冲调制。所说明的第一实施例包括核心 RF 调制解调器电路系统，该核心 RF 调制解调器电路系统以 902 MHz 至 928 MHz 的工业、科学及医学（ISM）频带内的 RF 频率运行。所说明的第二实施例包括用于将所产生扩频脉冲转换到要求频带的上变频器/下变频器。尽管在此说明的第二实施例的例子在 2.4 GHz ISM 频带内运行，但是 RF 调制解调器可以在许多频率范围内运行。然而，本发明并不局限于在此说明的这些例子的实现过程，本技术领域内的熟练技术人员还可以将本发明原理应用于构造其它运行频率的 RF 调制解调器。

为了提高数据速率，所说明的第三实施例采用多个脉冲扩频器（即相关器）组合在一起。此外，提供了几个采用根据本发明 RF 调制解调器构造各种类型数据通信系统的例子，例如：OOK 通信系统、PWM 通信系统以及 PPM 通信系统。

本发明的 RF 调制解调器的几个主要特征在于：（1）在 RF 调制解调器内引入两个在一个单片衬底上制造的不同表面声波（SAW）器件，其中第一表面声波器件用于构成调制解调器发射机部分内的谐振器，而第二表面声波器件用于构成调制解调器的发射机和接收机部分内的相关器；（2）该调制解调器的功耗非常低；（3）运行期间可以接收非常窄的脉冲，因此可以提高 SNR；以及（4）发送每位的有效能量为 10 dB，高于发射机能量，因为调制解调器具有处理增益。

此外，RF 调制解调器引入用于降低发送要求频带之外脉冲的 RF 能量的电路系统。采用询问脉冲整形电路或者第一脉冲整形电路使输入到表面声波器件的询问脉冲的轮廓平滑。此外，表面声波相关器的结构适于使扩频波形的过渡和断续平滑。不仅如此，脉冲选通电路可以降低表面声波相关器产生的 RF 泄漏。

RF 调制解调器的第一实施例

图 1 示出根据本发明第一实施例构造的 RF 调制解调器的方框图。通常用参考编号 10 表示的 RF 调制解调器包括发送电路系统和接收电路系统。一部分调制解调器，即表面声波相关器被发射机和接收机所共享。

所构造的 RF 调制解调器 10 作为脉冲发射机和脉冲接收机运行。从可以通用于许多不同类型的数据通信系统的意义上说，它具有通用性，以下将对其几个例子进行说明。RF 调制解调器可以用作分层通信系统如 ISO OSI 通信堆栈内的物理层（PHY）。

例如，脉冲收发信机 RF 调制解调器 10 可以用于构造不同类型通信系统，例如：开关键控（OOK）、脉宽调制（PWM）、脉冲位置调制（PPM）或其它类型的脉冲调制。请注意，本技术领域内的熟练技术人员还可以将根据本发明的 RF 调制解调器应用于构造基于其它类型的脉冲调制的通信系统。以下将首先说明 RF 调制解调器的发送路径，然后说明接收路径。

主机 12 提供有待通过调制解调器发送的数据并将它输入到控制器 38。控制器 38 包括用于产生调制解调器使用的定时信号和控制信号的电路系统。该控制器还设置到主机设备的接口。在此说明的调制解调器例子中，控制器是作为状态机实现的。然而，请注意，在本发明范围内，本技术领域内的熟练技术人员还可以以许多其它方式构造此控制器。

主机包括任何适当数字数据源，例如：微控制器、微处理器、微型计算机、个人计算机或其它数据计算装置。主机输出的数据速率可以是发射机支持的任何速率。在在此说明的调制解调器例子中，主机输出的数据速率最高为 1.5 Mbps。这样就承受 20 Mcps 或 50 ns/片码的相关器片码速率。利用 13 片码扩频码序列对脉冲进行扩频会产生 $13 \times 50 = 650$ ns/脉冲。因此，调制解调器的最大脉冲速率为

$$\frac{1}{650ns} \cong 1.5Mbps。$$

信号发生器 14 用于产生调制解调器使用的、包括射频 (RF) 信号在内的振荡信号和时钟信号。在此所示的 RF 调制解调器例子中, 选择 RF 以在 900 MHz ISM 频带内产生 RF 等于 915 MHz 的发送脉冲。

脉冲发生器 16 用于根据待发送的输入数据选通 RF 信号。表面声波器件 20 是一个三端口器件并且用作扩频与解扩单元。匹配网络 18、22、34 用于将表面声波器件分别电连接到脉冲发生器 16、Tx/Rx 前端电路 26、32 以及接收机电路 36。

在发送方向, 通过 Tx/Rx 开关 24, 将脉冲发生器的输出输入到发送 RF 前端 26。发送 RF 前端对该脉冲进行放大, 并通过天线接口 28 将它输出到天线 30。

在接收方向, 接收 RF 前端电路 32 对天线 30 发送的信号进行放大, 然后通过 Tx/Rx 开关 24 将它输入到表面声波相关器 20。将结果解扩信号输入到接收机电路系统 36, 接收机电路系统 36 用于恢复接收数据。

图 2 示出 RF 调制解调器的信号发生器电路的更详细方框图。RF 调制解调器 10 作为脉冲发射机/接收机运行, 其中 RF 开关以开关方式对振荡器输出的信号进行调制。信号发生器提供产生 RF 振荡信号的信源, 用于产生询问脉冲, 将该询问脉冲送到表面声波相关器, 该信号发生器还用于对控制器内的状态机提供基本时钟信号。频率源 40 与振荡电路 42 相连。频率源包括任何适当器件, 例如: 石英晶体、陶瓷谐振器、表面声波谐振器等。在此例中, 信号发生器 14 是基于表面声波谐振器的振荡器。在同一个衬底上实现所使用的表面声波谐振器 190 (参考结合图 6 所述) 和表面声波相关器。请注意, 该振荡器可以包括负阻振荡器。另一方面, 本发明还可以采用其它类型的振荡器。请注意, 振荡器的唤醒时间主要依赖于要求的数据速率。例如, 为了实

现 1 Mbps 的数据速率，要求唤醒时间低于 10 微秒。

振荡器的输出包括 RF 振荡信号（例如：在 900 MHz ISM 频带内使用的 915 MHz）。请注意，由于信号发生器电路产生的信号同时被发射机和接收机使用，所以该电路消耗的电流最少。

请注意，基于表面声波的谐振器可以在大小、成本以及性能之间提供良好折衷方案。在此实施例的例子中，表面声波谐振器的中心频率优先为精度为 $\Delta f = \pm 0.1$ MHz 的 915 MHz。此频率位于 902 至 928 MHz ISM 频带的中间。请注意，本技术领域内的熟练技术人员还可以将本发明应用于其它频带内，例如：2.4 GHz ISM 频带。品质因数（Q）优先是这样的，即谐振器 3 dB 带宽为 $\Delta f < 10$ MHz。在中心频率，介入损耗（IL）优先为 $IL < 3$ dB，而中心频率的阻抗 Z_0 小于 50 欧姆。

表面声波谐振器与其中心频率 f_c 为准确度为 $\Delta f = \pm 0.1$ MHz 的 915 MHz 的振荡电路相连。振荡器的“唤醒时间”优先是这样的，即从对其施加电压（例如：3 V）的时间开始，在 10 μ s 内，振荡器的输出变得稳定（根据中心频率和输出功率）。振荡器输出信号的功率较低，例如：-30 dB，因此必须进行放大。

根据在此说明的实施例例子的频率范围，要求振荡器在 905 MHz 至 925 MHz 的频率范围内振荡。此频率范围接近相关器的带宽。因此，这意味着，谐振器要求 $Q \approx 20/900 \approx 2.2\%$ 。此 Q 较低，但是是所要求的 Q，因为它允许振荡器具有很短的“唤醒时间”。采用具有短唤醒时间的低 Q 谐振器和宽带相关器，可以显著节省能量。

图 3 示出 RF 调制解调器的脉冲发生器电路的更详细方框图。脉冲发生器 16 用于产生接近 100 ns 的 RF 脉冲，利用该 RF 脉冲询问表面声波相关器。脉冲发生器电路系统是正边缘触发的，即线路中由低到高过渡的数据启动顺序产生脉冲。它可以作为状态机实现，该状态机

包括接通并断开产生脉冲的模拟单元的定时机构。所示的脉冲发生器不是利用状态机实现的，而是利用硬件单元构造的另一种实施方式。

主机输出的输入数据触发两个单触发器件 142、144（即：单稳态多谐振荡器）。第一不可再触发单触发器件 142 产生时长为 t_{D1} 的信号 SW_CONT。第二不可再触发单触发器件 144 产生时长为 t_{D2} 的脉冲，该脉冲随后触发第三不可再触发单触发器件 146。被表示为 PULSE_OUT 的输出脉冲具有高时长 t_{D3} 。单触发器件 144 对表面声波放大器 154 提供实现稳定的建立时间。

通过“与”门 152，单触发器件 146 产生的 PULSE_OUT 信号与 RF 振荡信号选通。将结果选通询问脉冲输入到非差动功率放大器 154，所匹配的非差动功率放大器 154 将最大功率送到表面声波相关器的输入端。放大器 154 的输出被表示为 SAW_IN，将它输入到表面声波相关器。

根据本发明，对询问脉冲的轮廓进行整形以降低边频带频率的频谱密度。功率整形电路 150 对输入到放大器 154 的功率进行控制，从而为询问脉冲提供上坡和下坡包络。利用单触发器件 142 输出的 SW_CONT 信号对从 V_{CC} 到整形电路的功率进行控制。

图 4 示出脉冲发生器电路 16 的各信号的波形扫迹图。结果询问脉冲 SAW_IN 包括 3 部分。在此说明的调制解调器例子中，上坡和下坡部分的时长约为 30 ns，而内部固定部分的时长约为 115 ns（即：56 个 RF 周期）。

另一方面，还可以利用 RF 开关产生询问脉冲以建立 RF 信号短脉冲。脉冲时长约在 0.5 至 2 片码范围内（即：25 ns 至 100 ns）。当不处于“接通”状态时，优先采用 RF 开关在输入与输出之间设置至少 50 dB 的强隔离。其输入阻抗优先不低于 10K 欧姆，并且不高于 5 pF。

其输出阻抗优先为 50 欧姆。Data In 信号的控制输入到的正输入会使开关处于接通状态或导通状态。另一方面，在把负信号或 0 信号输入到控制输入时，该开关适于接通。

因此，响应 Data In 信号，该开关适于输出低功率脉冲载波信号，即询问脉冲，其宽度在约 0.5 片码至 2 片码（即：25 ns 至 100 ns）范围内。然后，利用开关放大器放大该信号。该放大器适于将开关输出的一 30 dBm 的弱输入信号放大到接近 10 dBm 至 15 dBm 的输出功率。放大器运行的中心频率为 915 MHz，其带宽至少为 50 MHz。输出阻抗优先为 50 欧姆。该放大器的唤醒时间优先为 100 ns，即根据规定，在 100 ns 内，该放大器稳定。要求该放大器具有高增益以补偿表面声波相关器产生的、高达 15 dB 至 20 dB 的介入损耗。

图 5 示出谐振器、振荡器以及 RF 开关的实施例例子的原理方框图。通常用参考编号 50 表示的电路包括与晶体管 64 的基极相连的频率源 56（即：表面声波谐振器）。通过电阻器 58，偏压电阻器 54 与 V_{CC} 相连。集电极连接到 RF 扼流圈 60，然后通过电容器 62 连接到地线。RF 扼流圈和电容器有助于将 RF 能量与电源隔离开。晶体管 64 的发射极与并联的电阻器 66 和电容器 68 相连。固定电容器 68 与和集电极并联的可变电容器 70 串联。谐振器和晶体管适于构成负阻抗振荡器，其输出就是集电极信号。对该晶体管进行配置以用作该电路内的正反馈单元。

谐振器 56 可以包括任意适当谐振器，但优先为其中心频率确定振荡器的振荡频率的表面声波谐振器。以下将更详细说明表面声波谐振器的结构。通过电容器 72，振荡器的输出连接到由 FET 晶体管 78 构成的第一开关，FET 晶体管 78 的控制极通过电阻器 76 连接到地线，并且通过电阻器 74 连接到 Data In 信号。通过由电阻器 80、82 构成的分压器，其源极端连接到 V_{CC} ，电阻器 80、82 与由电阻器 84 和电容器 86 构成的 RC 电路相连。

通过耦合电容器 92, FET 78 的输出连接到由 FET 晶体管 98 构成的第二开关, FET 晶体管 98 的控制极通过电阻器 9 连接到地线, 并通过电阻器 94 连接到 Data In 信号。通过由电阻器 88、82 构成的分压器, 源极端连接到 V_{CC} , 电阻器 88、82 与由电阻器 110 和电容器 114 构成的 RC 电路相连。串联使用两个级联开关以在开关断开时提供高反向隔离电平。在一个开关不能提供足够隔离的情况下, 两个开关可以有效地使隔离翻倍。这种串联组合可以在输入与输出之间提供 50 dB 数量级的隔离。此外, 该开关还适于快速 (即 2 ns 数量级时间) 断开。

通过电容器 90, 将第二开关的输出输入到双控制极 n 沟道增强型 MOSFET 106 的一个控制极, 电容器 90 通过电阻器 120 连接到地线。其另一个控制极通过电容器 100 连接到地线, 并且连接到由与 V_{CC} 相连的固定电阻器 102 和与地线相连的可变电阻器 120 构成的分压器。对晶体管 106 进行配置以放大振荡信号。该晶体管的源极端通过 FET 开关 118 和 RF 扼流圈 108 连接到 V_{CC} (通过电容器 116 与地线相连)。对于 RF 频率, RF 扼流圈有助于将晶体管 106 与电源隔离开。FET 开关 118 的控制极与通过电阻器 122、124 连接在 Data In 信号与地线之间的分压器相连。FET 开关 118 用于控制输入到晶体管 106 的 DC 功率。对该开关进行配置以仅在 Data In 线上的数据为高时 (即: “1”) 导通, 从而降低了该放大器的功耗。

通过耦合电容器 112, 将晶体管 106 的输出连接到输出 FET 开关 130。开关 130 的控制极与通过电阻器 126、128 连接在 Data In 信号与地线之间的分压器相连。通过耦合电容器 132, 将该开关的输出连接到放大级。

本发明的 RF 调制解调器的一个主要特征是: 对发送过程和接收过程采用一个表面声波相关器 20。当调制解调器处于发送状态时, 将询问脉冲输入到调谐/阻抗匹配网络 18。匹配电路 18 用于使脉冲发生器

16 的输出端的阻抗这样与表面声波器件匹配，即表面声波器件承受 50 欧姆的输入阻抗。

表面声波相关器输出其波形基于表面声波器件的特性的信号。如下更详细说明的那样，所构造的表面声波相关器输出的扩频信号波形即 13 位 Barker 码。然而，还可以采用其它扩频码构造该调制解调器。响应匹配电路 18 输入的询问脉冲，表面声波器件输出例如 500 ns 至 700 ns 的时长更宽的扩频波形。将表面声波器件 20 的输出输入到第二调谐/阻抗匹配网络 22，第二调谐/阻抗匹配网络 22 提供 50 欧姆的输出阻抗。表面声波相关器的介入损耗高达 15 dB 至 20 dB。

表面声波谐振器和表面声波相关器

以下将更详细说明本发明的表面声波谐振器和表面声波相关器。图 6 示出包括表面声波谐振器和表面声波相关器在内的表面声波器件的结构图。在一个优先由石英晶体、ST 切片制成的压电衬底上构造表面声波器件 20。也可以采用石英之外的材料制造该衬底，只要所使用的材料具有可接受的温度稳定性即可。表面声波器件 20 包括两个表面声波部件，即：谐振器 190 和相关器 160。相关器是无源单元，它用作直接序列扩频的扩频与解扩单元。以下将首先从谐振器开始对它们进行详细说明。请注意，表面声波谐振器和表面声波相关器适于设置到约 1.5 mm^2 大小的芯片上。

谐振器 190 是一个两端器件，它与振荡电路 42（如图 2 所示）相连，更详细地说，它与晶体管 64（如图 5 所示）的基极相连。谐振器 190 包括与信号电极 194、198、202 相连的输入端 192。信号电极 194、198、202 分别具有梳状结构 196、200、204，它们用于将电信号转换为表面声波。请注意，不同于电极 200，侧向电极 196、204 横跨整个间隔。互相分离开预定距离的两组信号电极将表面声波转换为电信号。利用众所周知的光刻技术，将两组信号电极成型在石英晶体衬底上，并且可以利用具有低电阻率的任何适当导体材料（例如：铝（Al）、

金 (Au)、银 (Ag)、铜 (Cu) 等) 来制造这两组信号电极。优先采用铝 (Al), 因为它具有低成本、易刻蚀的优势。

相关器 160 是一个六端器件, 它适于用作横向 13 位 Barker 码 BPSK 相关器 (即: 匹配滤波器)。在第一实施例中, 相关器的中心频率 f 为精度为 $\Delta f = \pm 0.1$ MHz 的 915 MHz。相关器的位速率 (即: 片码速率) 至少为 20 Mbps。相关器的输入阻抗和输出阻抗均适于接近 50 欧姆。

重要的是应该注意, 具有不同代码、不同速率、不同运行频率并采用不同调制技术的相关器在本技术领域内众所周知, 并且可以用于本发明的 RF 调制解调器。

相关器 160 包括与输入信号电极 164 相连的输入端 162。输入电极包括具有梳状结构的叉指式变换器 166, 叉指式变换器 166 构成输入变换器。设置导体表面 168 与输入变换器串联并用于吸收 RF 能量, 以有助于避免 RF 能量从输入端泄漏到输出端。设置信号电极 172 与吸收表面 168 串联。

将输出信号电极连接到与 Tx/Rx 开关相连的输出端 174。输出信号电极包括具有梳状结构、用于将电信号变换为表面声波的叉指式变换器 170, 它构成输出变换器。

设置导体表面 176 与输出变换器串联。与导体表面 176 串联的 Rx 变换器包括信号电极 180 和叉指式变换器 182。

在发送方向, 询问脉冲通过相关器输入端进入表面声波器件, 并被输出变换器扩频。互相分离开预定距离的、叉指式变换器的输入信号电极和输出信号电极用于将表面声波转换为电信号。通过 Tx/Rx 开关, 将在输出端 174 之间产生的结果电扩频脉冲输入到发送 RF 前端电路。

利用众所周知的光刻技术在石英晶体衬底上形成信号电极和吸收表面，并且该信号电极和吸收表面由具有低电阻率的任意适当导体材料（例如：铝（Al）、金（Au）、银（Ag）、铜（Cu）等）制成。优先采用铝（Al），因为它具有成本低、易刻蚀的优势。

在接收方向，通过现在用作输入变换器而非用作输出变换器的Tx/Rx开关，将从天线接收的扩频脉冲输入到中心变换器。输入变换器用于解扩脉冲，Rx变换器182将结果解扩脉冲输出到接收电路。

在压电衬底上形成所有变换器，用作表面声波相关器或匹配滤波器。形成中心变换器内的梳状电极对在发送期间提供用作扩频波形的Barker码序列，而在接收期间提供用作解扩波形的Barker码序列。以对应于片码速率的间隔形成中心变换器内的梳状电极对。在此说明的RF调制解调器例子中，相关器包括13个梳状单元170。每个梳状单元分别用于倒置相位或不倒置相位。

请注意，本发明的表面声波相关器是一个双向器件。该相关器的输出依赖于信号流的方向。图7示出表面声波谐振器的脉冲响应曲线图。此曲线图示出表面声波相关器根据 δ 函数产生的脉冲响应。曲线图示出了相对振幅与时间的关系。沿着曲线图的顶端是相位倒置的表示（即：“+”或“-”），正如13个梳状单元所执行的那样。“+”表示没有进行相位倒置，而“-”表示180度的相位倒置。对13个梳状单元进行配置以产生13位Barker码（+、+、+、+、+、-、-、+、+、-、+、-、+），RF调制解调器使用这13位Barker码。例如，在第五梳状单元与第六梳状单元之间发生相位倒置（即：+到-）。假定片码速率为20 Mcps（即：50 ns/片码），则可以在650 ns内发送13个扩频码。

利用多个信元实现输出变换器的各位。利用具有交变极性{-1, 1}的电极以及被隔离或短接的电极的组合实现每个信元。构成各位的

电极的数量有 150 到 250 个。利用电极位置的周期及其极性的交变过程，确定相关器的运行中心频率 f_0 （例如：915 MHz）。请注意，如果 V 是表面声波的有效速度，则数值 $L = \frac{V}{f_0}$ 是谐振波长。辐射的表面声波具有离散值 S_e 的谐振，离散值 S_e 是在一个周期 L 内置换的电极数。 S_e 值可等于 2、3、4、3/2、4/3 等。

用 $h_0(t)$ 表示表面声波相关器的 13 位编码输出脉冲特性。以分别表示输出变换器和输入变换器的脉冲响应的 $h_1(t)$ 和 $h_2(t)$ 的卷积 $[h_1(t)*h_2(t)]$ 来计算要求的 $H(t)$ 。可以这样使用这两个变换器，即 $h_1(t)$ 等同于 13 位代码 [+、+、+、+、+、-、-、+、+、-、+、-、+]，而 $h_2(t)$ 为短时均匀信号。 $h_2(t)$ 的延迟必须比 $h_1(t)$ 少 1 位。

扩频码序列

实际用于配置表面声波相关器 20 的代码对于系统运行很重要。然而，优先选择扩频码序列以使一个或多个要求的特性最高，这些特性包括但并不局限于：自相关、抗扰性、发送频谱、以及低符号间干扰（ISI）。在美国，为了在 ISM 频带内进行发送，FCC 要求代码序列包括 10 个或更多个片码，并且还要求系统具有处理高于或等于 10 dB 处理增益的能力。因此，本发明采用接近 FCC 最低要求的短代码序列。

尽管本发明可以使用多种不同的扩频码序列以及诸如线性 FM 的其它功能，但是扩频码是从众所周知的 Barker 码中选择的。这些代码的特性在于具有良好自相关特性。采用 {1111100110101} 的专用 Barker 码呈现良好频谱平顶性并且具有低非相关值。请注意，该代码序列的长度为 13 个片码，因此可以提供超过 FCC 最小值 3 个片码的余量。

匹配滤波器/匹配相关器

对于各 1，相关系数为 +1，对于各 0，相关系数为 -1，13 个扩频码会产生以下用于构造表面声波相关器的系数：+1、+1、+1、+1、+1、-1、-1、+1、+1、-1、+1、-1、+1。图 8 示出 RF 调制解调器使用的表面声波器件的频率响应曲线图。图 8 示出以 dB 为单

位的功率与频率的关系。该频率响应适于覆盖 ISM 频带（即：902 MHz 至 928 MHz）。用 $h(t)$ 表示的频率响应的时间表达式用于计算自相关函数 $a(t)$ ，它是 $h(t)$ 和 $h(-t)$ 的卷积，即 $a(t)=h(t)*h(-t)$ 。图 9 示出表面声波相关器的自相关曲线图。自相关的各波瓣宽度分别为约 50 ns。处理增益比至少为 11 dB= $10*\log_{10}(13)$ 。请注意，13 个峰或波瓣（其中有 12 个小峰，中间有一个大峰）对应于在相关器内配置的 13 位 Barker 码。

重要的是请注意，本发明并不局限于使用 BPSK 表面声波相关器。通常，在该调制解调器内可以使用任何类型的脉冲压缩器。更具体地说，可以利用诸如 BPSK、线性 FM 以及非线性 FM 等任何适当扩频表面声波技术实现本发明。

如果采用线性 FM 脉冲压缩技术，则可以用等式 1 表示该信号：

$$V(t)=\sin[2\pi f(t)t] \quad (1)$$

其中频率函数 $f(t)=a \cdot t$ 是随时间上升的线性函数。图 10 示出线性 FM 表面声波相关器例子的自相关曲线图。请注意，该线性 FM 自相关函数形状与 BPSK 自相关函数形状的不同之处在于，线性 FM 函数的包络是逐渐下降的。

如果采用线性 FM 脉冲压缩技术，则利用上述等式 1 表示该信号，但是其中频率函数 $f(t)=a \cdot t^2$ 为随时间上升的非线性函数。请注意，还可以采用其它频率函数。

图 11 示出发送期间表面声波谐振器的输出响应曲线图。此曲线图示出在发送期间产生的表面声波相关器的输出响应。该曲线图示出了相对振幅与时间的关系。沿着曲线图的顶端是相位倒置的表示（即：“+”或“-”），正如 13 个梳状单元所执行的那样。“+”表示没有进行相位倒置，而“-”表示 180 度的相位倒置。对 13 个梳状单元

进行配置以产生 13 位 Barker 码{+, +, +, +, +, -, -, +, +, -, +, -, +}, RF 调制解调器使用这 13 位 Barker 码。

显然, 该相关器产生的扩频脉冲包括平滑过渡。电学领域众所周知, 以这样的方式构造叉指式变换器, 即显著降低所产生的扩频脉冲的边频带。

产生扩频脉冲之后, 该相关器产生由表面声波器件内的 RF 耦合引起的不希望 RF 泄漏脉冲 210。根据本发明, 脉冲选通电路用于消除该相关器输出中的 RF 泄漏脉冲。该脉冲选通电路包括设置在表面声波相关器之前和之后的开关装置 (即: RF 开关、FET 开关等)。控制器以反向方式操作各开关, 因此当第一开关断开时, 第二开关闭合, 反之亦然。因此, 在操作过程中, 控制器断开第一开关, 而闭合第二开关以允许询问脉冲进入该相关器, 同时避免输出 RF 泄漏脉冲。在某个周期之后, 第一开关闭合, 而第二开关断开, 从而使扩频脉冲输出到发送电路系统。

将匹配网络 22 的输出输入到 Tx/Rx 开关 24, Tx/Rx 开关 24 受控于主机或其它控制装置/配置装置产生的 Tx/Rx 控制信号。在开关 24 处于 Tx 状态时, 将阻抗匹配网络 24 的输出输入到发送 RF 前端电路 26。

图 12 示出 RF 调制解调器的发送 RF 前端电路的更详细方框图。发送 RF 前端电路 26 提供最后一级放大级并馈送到天线。该电路包括具有差动输出的 RF 放大器 220。根据控制器输出的 Tx_PWR, 开关 222 对送到该放大器的 V_{CC} 进行控制。此外, 还利用该控制器输出的 Tx_GAIN_CTRL 信号设置该放大器的增益。该放大器的输入是该相关器以 RF 频率 (例如: 915 MHz) 输出的扩频脉冲 (即: 13 位 BPSK 序列)。

输出放大器 220 具有约 40 dB 的增益。为了将表面声波相关器的衰减输出（例如：-30 dB 至 -20 dB）放大到接近 15 dBm 量级，需要此量级的增益。该放大器的输入阻抗优先为 50 欧姆。请注意，在一个实施例中，优先将该信号放大两倍，即：利用位于表面声波相关器之前的第一放大器放大到 10 dB，然后利用表面声波相关器之后的第二放大器放大到 30 dB，而非采用具有较大增益的单个放大器。然而，由于表面声波相关器 20 的延迟线的影响，为了避免在该电路中发生振荡，不同时接通这两个放大器。请注意，开关时间在 10 ns 至 20 ns 数量级的放大器足以。

请注意，在另一种可供选择的实施例中，所构造的调制解调器可以具有两个或多个运行模式，例如：高数据速率、小范围模式和低数据速率、大范围模式。在高数据速率模式下，将放大器的增益设置为低增益以利用放大器的好线性。在低数据速率模式下，将放大器的增益设置为高增益，这样降低了线性，但是提高了有效范围。由放大器输出的 Tx_GAIN_CTRL 信号确定这两种增益状态。

在低数据速率运行模式下，利用间隔的足够远的脉冲来询问相关器，以使得从相关器输出的脉冲相互之间不重叠。换句话说，不产生符号间干扰（ISI）。随着询问脉冲间隔的越来越小，从相关器输出的脉冲开始发生重叠，从而产生 ISI。使询问脉冲间隔靠近，可以实现高数据速率。

基于表面声波的扩频收发信机可以处理这些高数据速率，因为该表面声波相关器是线性的。即使对于高数据速率，线性表面声波相关器仍可以实现同样的解扩过程，只要位于该相关器之前的放大器保持线性即可。因此，为了通过有意识地产生 ISI 来实现高数据速率要求在接收机前端电路内使用线性非常好的放大器。然而，请注意，在以高位速率（例如：从 1 Mbps 到 4 Mbps）运行时，该收发信机更易受到干扰和信道损伤。

将功率放大器的 RF 输出输入到天线接口 28，天线接口 28 将天线 30 连接到发送 RF 前端电路和接收 RF 前端电路。例如，天线接口可以包括任意适当的 RF 开关。当处于 Tx 状态时，该开关将放大器的输出到连接到天线。天线可以包括任意适当配置，包括但并不局限于：具有平衡馈给的印刷偶极子、没有非平衡馈给的印刷同轴偶极子、具有非平衡馈给的印刷单极子、具有非平衡馈给的单极螺旋线、具有非平衡馈给的印刷凹槽、具有非平衡馈给的印刷螺旋线、印刷半环路、通过通路或小型环路连接到地线的印刷插线。

图 13 示出发送 RF 前端电路的各信号的波形扫迹图。控制器可以产生发送电路需要的定时与控制信号。可以作为状态机实现控制器的发送控制部分。在这种情况下，正边缘触发该状态机以在数据每次由低过渡到高时顺序激活放大器。

响应线路内的数据，状态机产生 Tx_PWR 信号。在接通该放大器之前，采用 t_{SU} 的选通时间延迟。如上所述，采用脉冲选通可以避免相关器输出 RF 泄漏。在扩频脉冲期间，即在约 800 ns 的时间内，保持该放大器接通。

请注意，利用两个串联的单触发器件可以实现发送状态机的功能。两个单触发器件均可以被再触发。第一单触发器件所具有的时长等于脉冲选通延迟 t_{SU} 。第二单触发器件所具有的时长等于扩频脉冲宽度，约为 800 ns。

图 14 示出 RF 调制解调器的接收 RF 前端电路的更详细方框图。在接收通路中，通过天线接口 28，将从天线 30 接收的信号输入到接收 RF 前端电路 32。接收电路包括低噪声放大器 (LNA1) 230。然后，将 RF 信号输出到表面声波相关器。利用控制器输出的 Rx_PWR 信号，开关 232 对送到 LNA 的 V_{CC} 进行控制。

请注意，还可以构造接收电路使其具有两种运行模式：高位速率、小范围模式和低位速率、大范围模式。高位速率模式具有高载波-噪声比（CNR）和小信道多径效应从而实现高位速率运行过程。此模式下的主要问题是处理 ISI 的影响。低位速率模式具有低 CNR 和严重信道多径效应和衰落效应，因此要求低位速率运行过程。此模式下的主要问题是处理弱接收信号和多径效应。

请注意，不同于典型现有技术电路，除了简单 LC 滤波器之外，在天线与 LNA1 之间不需要复杂 RF 滤波器，从而在大动态范围内发送信号和接收信号。这样就需要接收 RF 前端电路具有非常大的动态范围。

将接收机前端电路的输出输入到不仅用作相关器而且用作滤除带外信号的锐截止滤波器的表面声波相关器。此外，LAN1 优先具有高增益，因为表面声波器件是有损耗部件。

通过匹配网络 22，将接收 RF 前端电路的输出的信号输入到表面声波相关器。该相关器用于将接收信号从原始代码序列解扩为较窄脉冲，例如从 650 ns 的宽脉冲解扩为约 50 ns 宽度的脉冲。

图 15 示出包括峰值检波器和判决电路在内的 RF 调制解调器的接收机电路的更详细方框图。将表面声波相关器的输出输入到接收机电路系统 36。接收机电路系统包括 LNA 240（LNA3）、快速峰值检波器 246、低速峰值检波器 248 以及判决电路 254。

请注意，可以根据峰值检波器利用合理抗扰性检波的信号电平，选择 LNA3。LNA3 的作用在于补偿表面声波相关器的损耗。将表面声波的自相关结果输入到 LNA3。请注意，根据本发明，表面声波器件起到累积接收扩频信号的能量，同时又对所有其它信号进行滤波（滤除）

的双重作用。

接收机电路对相关器的输出进行处理以确定是否存在脉冲。LNA3 优先具有良好线性和大动态范围，因为所使用的 ASK 调制过程对振幅敏感。

峰值检波器位于 LNA3 之后并且用于检波将 RF 信号转换到基带的信号的包络。优先这样构造峰值检波器，即具有大动态范围以匹配输入信号。根据本发明，使用两个并联的峰值检波器：快速峰波检波器 246 和低速峰值检波器 248。这两个峰值检波器之间的差别在于它们的输出带宽不同。快速峰值检波器优先具有 10 MHz 的带宽（根据要求的数据速率），而低速峰值检波器的带宽由用户通过外部电容器/电阻器设置。此外，为了提供大动态范围，使用对数峰值检波器。

利用本技术领域内的熟练技术人员众所周知的技术构造这两种峰值检波器。快速峰值检波器利用较小平均值跟踪输入信号的峰值。另一方面，低速峰值检波器适于计算输入信号的平均值以产生慢变基准信号。

判决级是接收路径的最后一级。该级的输出是表示是否检测到有效信号的数字脉冲。判决机包括比较器 486（例如：施密特触发比较器），其输出 RX_OUT 被输入到控制器。该控制器实现状态机以产生到主机的数据输出线。

将快速峰值检波器的输出输入到施密特触发比较器 254 的不倒相输入端，而将低速峰值检波器输出的基准信号输入到该比较器的倒相输入端。该比较器的输出即 Rx Out 信号，将该信号输入到控制器进行处理并在最后输出到主机以进行高层处理，例如：链路层通信处理或更高层通信处理。根据要求的调制与通信方法，控制器对数据进行一项或多项判决。

根据本发明的 RF 调制解调器，不需要线性检波器，因为所要求的只是检波接收脉冲。因此，尽管也可以使用线性检波器，但是非线性检波器可以构造结构简单、电流损耗低的廉价峰值检波器。根据本申请书，既可以利用线性检波器，也可以利用非线性检波器检波接收信号的包络。与比较器结合的快速检波器和低速检波器对接收信号设定阈值并输出数字二进制数据。

请注意，该比较器的输出是由主机处理的数字脉冲。可以对主机进行配置（例如：进行编程）以实现多种通信方案，例如：OOK、PWM 等。以下将提供一些通信方案的例子。

为了提供两种运行模式，从低速峰值检波器的输出 V_{SPK} 内减去偏置电压 V_{OFF} 。在输入到比较器 254 的倒相输入端之前，将信号 V_{SPK} 输入到加法器 252。将快速峰值检波器的输出 V_{FPK} 输入到比较器的非倒相输入端。模拟 mux 250 利用将从低速峰值检波器的输出中减去的偏置电压进行选择。对于高数据速率模式，使用低于检波峰值 3dB 的阈值（即： 3α 偏置），而对于低数据速率，使用低于检波峰值 6dB 的阈值（即： 6α 偏置），用等式 2 表示如下：

$$\begin{aligned} \{\text{模式 1}\}: V_{REF} &= V_{SPK} - 3\alpha \\ \{\text{模式 2}\}: V_{REF} &= V_{SPK} - 6\alpha \end{aligned} \quad (2)$$

控制器输出的 OFF_SEL 信号确定接收机所运行的两种模式。此外，控制器输出的 Rx_PWR 信号控制通过开关 256、244、242 送到 LNA3、快速峰值检波器、低速峰值检波器以及比较器的 V_{CC} 。

通用状态机、发送状态机以及接收状态机

如上所述，控制器对 RF 调制解调器实现定时、控制以及数据处理的所有过程。它还可以由例如包括：状态机的任意适当方式实现。状

态机的输入包括：Data In、Mode、Tx/Rx、Shutdown 以及 Clock。状态机的输出包括：Data Out、Rx_PWR、Tx_PWR、OFF_SEL 以及 Tx_GAIN_CTRL。

图 16 示出本发明的 RF 调制解调器的通用状态机的运行过程状态图。通常用参考编号 260 表示的状态机包括作为调制解调器的初始状态的起始状态 262。在对调制解调器通电（即：接收 V_{CC}）并且 Shutdown=1 时，调制解调器进入此状态。在此状态下，调制解调器消耗很少的电流。设置 Shutdown=0 可以使调制解调器进入启动振荡器状态 264。由任何一个状态重新设置 Shutdown=1 均会导致调制解调器返回起始状态。

启动振荡器状态为唤醒状态，其中振荡器需要 10 微秒达到稳定。下一个状态依赖于 Tx/Rx 输入控制线。当 Tx/Rx 输入控制线升高时，进入数据 I/O 输入模式状态 268。在发送模式（Tx/Rx=1）下，将 SW_CONT、PULSE_OUT、Tx_PWR 以及 Rx_PWR 全部设置为 0。当 Data In 输入线由低到高（Data In=1）时，初始化 Tx 状态机 272。

Tx/Rx 线的状态对发送模式状态 266 与接收模式状态 268 之间的过渡进行控制。Shutdown 线对从发送和接收模式状态过渡到起始状态进行控制。

图 17 示出通用状态机的发送状态机部分的运行过程的更详细状态图。Tx 状态机 272 的运行过程从起始状态 280 开始。从此状态开始并行执行两条运行路径。一条路径产生询问脉冲，另一条路径激活发射机 RF 前端电路。

首先，通过进入启动脉冲状态 282，产生询问脉冲，其中将 SW_CONT 信号设置为高，从而激活脉冲整形电路 150 和输出放大器 154（如图 3 所示）。在时间延迟状态 284，延迟 50 ns 至 150 ns 直到

达到稳定。在产生脉冲状态 286，将 PULSE_OUT 信号设置为高以激活询问脉冲。同时在时间延迟状态 288，将询问脉冲激活 RF 信号的 56 个周期（即：约为 115 ns）。此时间延迟之后，在禁止脉冲状态 290，断开该信号。具体地说，关闭 PULSE_OUT 信号，并将 SW_CONT 设置为低。

请注意，询问脉冲的产生过程是不可再触发的，这意味着如果 Data In 线出现由低到高的过渡，则可以忽略。

首先通过进入时间延迟状态 292 激活放大器，在时间延迟状态 292，在将电源电压施加到发送 RF 前端电路内的放大器之前，即将 Tx_PWR 设置为高之前，施加时间延迟。时间延迟的时长约为表面声波器件的延迟减去功率放大器接通时间减去询问脉冲时长。在下一个状态 294，该放大器接通时间延迟状态 296 施加的约为 800 ns（即：390 个 RF 信号周期）的时长。在下一个状态 298，断开放大器，即将 Tx_PWR 设置为低。

请注意，将电源电压施加到发送 RF 前端电路的电路系统可以被再触发，这意味着，如果在 Data In 线上出现由低到高的过渡，则重新开始 390 个周期的时间延迟。

请参考图 16，在 Tx/Rx 输入控制线变成低时，进入数据 I/O 输出模式状态 266。在接收模式（Tx/Rx=0），将 SW_CONT、PULSE_OUT 以及 Tx_PWM 全部设置为 0，将 Rx_PWR 设置为 1。当判决电路内比较器的输出变成高（RX_OUT=1）时，初始化 Rx 状态机 270。

图 18 示出通用状态机的接收状态机部分的运行过程的更详细状态图。在比较器的输出从低过渡到高后，设置 Data Out 线（状态 300）。在约 100 ns 的时间延迟之后（状态 302），Data Out 线变低（状态 304）并且控制过程返回状态 266。

RF 调制解调器的第二实施例

在 RF 调制解调器的第二实施例中，上变频器/下变频器将扩频脉冲转换为高频，或者将高频转换为扩频脉冲。除了信号发生器 14、发送 RF 前端电路 26 以及接收 RF 前端电路 32 之外，调制解调器电路系统的主体没有发生变化。必要的调整涉及振荡信号产生过程和进行上/下变换所需的混合器电路系统。

在第二实施例的调制解调器中，信号发生器 14 用于产生调制解调器使用的中频 (IF) 信号和本机振荡 (LO) 信号。在此说明的 RF 调制解调器例子中，选择 IF 为 488 MHz 中频信号和 LO 为 1952 MHz 的本机振荡信号产生位于 2.4GHz ISM 频带内的发送脉冲。所希望的 RF 产生的总频率为 2.4 GHz。

在发送方向，通过 Tx/Rx 开关 24，将脉冲发生器的输出输入到发送 RF 前端电路 26。发送 RF 前端电路将该脉冲放大并上变换到要求频带（例如：2.4 GHz）。通过天线接口 28，对结果信号进行放大并输出到天线 30。

在接收方向，在通过 Tx/Rx 开关 24，输入到表面声波相关器 20 之前，从天线 30 接收的信号混合下变换为 IF。将结果解扩信号输入到接收机电路系统 36，接收机电路系统 36 恢复接收信号。

图 19 示出 RF 调制解调器第二实施例的信号发生器电路的方框图。信号发生器起到如下作用：（1）对控制器内的状态机提供基本时钟，（2）用作产生送到表面声波相关器的询问脉冲的脉冲源以及（3）用作发送和接收前端上变换电路系统/下变换电路系统的信源。频率源 310 与振荡电路 312 相连。频率源可以包括诸如石英晶体、陶瓷谐振器、表面声波谐振器等的任何适当器件。在与表面声波相关器相同的衬底上实现并使用表面声波谐振器。

振荡器的输出包括 IF 振荡信号，将 IF 振荡信号乘以 4 以产生要求的上变换 LO 频率（例如：1952 MHz）。请注意，如果要求快速唤醒时间，则使用 PLL 电路不能实现倍频。在这种情况下，优先使用基于四倍自混合的部件 314、316。此外，此电路优先充分抑制谐波，而非抑制 LO 频率（例如：1952 MHz）。

图 20 示出 RF 调制解调器第二实施例的发送 RF 前端电路的方框图。发送 RF 前端电路 26 在最后一级放大之前提供上变换并馈送到天线。该电路包括：IF 放大器 320，具有非差动输入；混合器 322；以及 RF 功率放大器 324，具有差动输出。根据控制器输出的 Tx_PWR 信号，利用开关 328、326 对送到放大器的 V_{CC} 进行控制。此外，还利用控制器输出的 Tx_GAIN_CTRL 信号设置该放大器的增益。

IF 放大器的输入是相关器以 IF 频率（例如：488 MHz）输出的扩频脉冲（即：13 位 BPSK 序列）。利用 1952 MHz 的 LO 信号，混合器 322 将该信号上变换到要求频带，例如：2.44 GHz。优先采用至少具有 30 dB 镜频抑制的镜频抑制混合器。发送 RF 前端电路的信号具有图 13 所述的波形。

图 21 示出 RF 调制解调器的接收 RF 前端电路的更详细方框图。在接收路径中，通过天线接口 28，将从天线 30 接收的信号输入到接收 RF 前端电路 32。接收电路包括单级下变换电路。将从天线接收的 RF 输入到第一低噪声放大器（LNA1）330。利用混合器 332 将该输出与 1952 MHz 的 LO 信号混合以产生 IF 信号。然后，在输出到表面声波相关器之前，利用第二 LNA 334（LNA2）对该 IF 信号进行放大。根据控制器输出的 Rx_PWR 信号，利用开关 338、336 控制送到这两个 LNA 的 V_{CC} 。

本发明的应用

如上所述，通常，RF 调制解调器是作为用于任何类型的调制方法和通信方案物理层的基础实现的。具体地说，RF 调制解调器适于实现任何类型的数字脉冲调制过程。现在，将对数字脉冲调制的 3 个例子进行说明。3 种调制类型包括：OOK 调制、PWM 调制以及 PPM 调制。请注意，可以利用在此说明的 3 种 RF 调制解调器实施例的任何之一来构造下述所有应用例子。

OOK 调制

图 22 示出采用本发明 RF 调制解调器构造的 OOK 通信系统的方框图。该系统包括两个 OOK 收发信机 340，分别标号为 OOK 收发信机 #1 和 #2，它们适于利用 RF 进行半双工通信。OOK 收发信机 #1 包括单触发器件 344、RF 调制解调器 346、有标号的 RF 调制解调器 #1 以及天线 348。OOK 收发信机 #2 具有类似结构，它包括主机 #2、单触发器件、RF 调制解调器 #2 以及天线。连接第一主机 342，即有标号主机 #1 以将数据发送到 OOK 收发信机 #1 并从 OOK 收发信机 #1 接收数据。第二主机 #2 适于将数据发送到 OOK 收发信机 #2 并从 OOK 收发信机 #2 接收数据。两个主机均适于驱动与调制解调器相连的 Tx/Rx 控制线。

在运行过程中，通过将数据输出到 RF 调制解调器 #1，主机发送数据。例如，该数据包括脉冲以表示“1”，没有脉冲以表示“0”。根据本发明构造的 RF 调制解调器适于接收 50 ns 数量级的脉冲。如果主机不能产生这样短的脉冲，则可以使用单触发器件 344。然后，如上所述，利用表面声波相关器将该脉冲扩频为扩频序列，通过天线 348 进行发送。

OOK 收发信机 #2 的天线接收信号并输入到 RF 调制解调器 #2。RF 调制解调器对该信号进行解扩并将 50 ns 的脉冲输出到主机 #2 以进一步进行处理。如果主机 #2 的速度不足以输入 50 ns 的脉冲，则在 RF 调制解调器与主机之间使用第二单触发器件或锁存器（未示出）。

PWM 调制

图 23 示出采用本发明 RF 调制解调器构造的 PWM 通信系统的方框图。该系统包括两个 PWM 收发信机 350，分别标号为 PWM 收发信机 #1 和 #2，它们适于利用 RF 进行半双工通信。PWM 收发信机 #1 包括取样和保持 (S/H) 电路 354、364、锯齿波 (斜坡) 信号发生器 366、比较器 356、积分器 362、RF 调制解调器 358、有标号 RF 调制解调器 #1 以及天线 360。PWM 收发信机 #2 具有类似结构，它包括 S/H 电路、斜坡函数发生器、比较器、RF 调制解调器 #2、积分器以及天线。连接第一主机 352，即有标号的主机 #1 以将数据发送到 PWM 收发信机 #1 并从 PWM 收发信机 #1 接收数据。第二主机 #2 适于将数据发送到 PWM 收发信机 #2 并适于从 PWM 收发信机 #2 接收数据。两个主机均适于驱动与调制解调器相连的 Tx/Rx 控制线。

参考图 23 和图 24，在运行过程中，通过将信号 Analog In 输出到 S/H 电路 354，主机发送数据。请注意，该数据既可以是数字的，又可以是模拟的，并且可以由主机之外的其它装置提供。在在此说明的例子中，采用收发信机发送和接收模拟信号，但是本技术领域内的熟练技术人员可以利用该收发信机发送和接收数字信号。利用 S/H 电路采样模拟信号 V_{IN} 370，并将它输入到比较器 356 的非倒相输入端。将锯齿波信号发生器或斜坡函数发生器的输出输入到比较器的倒相输入端。斜坡函数信号的周期优先不大于 150 ns 以避免产生与限制 Barker 码有关的问题。比较器的输出 374 为高，直到斜坡的幅值超过输入信号时，输出才变成低。

将 Data In 脉冲输入到 RF 调制解调器，并通过天线 360 将它发送到 PWM 收发信机 #2。发送扩频波形的脉冲宽度随输入信号的脉冲宽度发生变化。例如，20 ns 脉冲宽度的输入脉冲产生其峰值脉冲宽度约为 20 ns 的接收信号。100 ns 脉冲宽度的输入脉冲产生其峰值脉冲宽度约为 100 ns 的接收信号。然而，请注意，Barker 码扩频序列的加宽是

有限的。将增加的脉冲宽度限制在大约 2 个片码时长（假定片码速率为 20 Mcps，这相当于 150 ns）。

OOK 收发信机 #2 接收信号，并将该信号输入到 RF 调制解调器 #2。RF 调制解调器用于解扩该信号，并输出其宽度基于输入信号脉冲宽度的脉冲。将 RF 调制解调器的输出输入到积分器 362，积分器 362 对接收信号进行积分。利用 S/H 364 对积分器的输出信号 V_{OUT} 376 进行采样。S/H 电路的输出形成 Analog Out 信号，然后，将此信号输入到主机或其它装置以进行进一步处理。

重要的是要注意，使设置 S/H 电路 354、364 的斜坡函数发生器和时钟同步，以便斜坡函数由低到高的过渡对应于待发送数据（即：Analog Out 信号）的符号周期。

PPM 调制过程

图 25 示出采用本发明 RF 调制解调器构造的 PPM 通信系统的方框图。该系统包括两个 PPM 收发信机 380，分别标号为 PPM 收发信机 #1 和 #2，它们适于利用 RF 进行半双工通信。PPM 收发信机 #1 包括取样和保持（S/H）电路 384、396、锯齿波（斜坡）信号发生器 398、392、比较器 386、394、单触发器件 388、RF 调制解调器 390、有标号的 RF 调制解调器 #1 以及天线 399。PPM 收发信机 #2 具有类似结构，它包括 S/H 电路、比较器、斜坡函数发生器、单触发器件、RF 调制解调器 #2 以及天线。连接第一主机 382，即有标号主机 #1 以将数据发送到 PPM 收发信机 #1 并从 PPM 收发信机 #1 接收数据。第二主机 #2 适于将数据发送到 PPM 收发信机 #2 并适于从 PPM 收发信机 #2 接收数据。两个主机均适于驱动与调制解调器相连的 Tx/Rx 控制线。

参考图 25 和图 26，在运行过程中，通过将信号 Analog In 输出到 S/H 电路 384，主机发送数据。请注意，该数据既可以是数字的，又可以是模拟的，并且可以由主机之外的其它装置提供。在在此说明的例

子中，采用收发信机发送和接收模拟信号，但是本技术领域内的熟练技术人员也可以利用该收发信机发送和接收数字信号。利用 S/H 电路采样模拟信号 V_{IN400} ，并将它输入到比较器 386 的非倒相输入端。将锯齿波信号发生器或斜坡函数发生器的输出 402 输入到比较器的倒相输入端。比较器的输出为高，直到斜坡的幅值超过输入信号时，输出才变成低。将比较器的输出输入到单触发器件 388，比较器输出的下降边缘触发单触发器件 388。单触发器件产生宽度均匀（例如：50 ns）的脉冲 404，然后，将该脉冲输入到 RF 调制解调器以通过天线 180 发送到 PPM 收发信机 # 2。

所发送的扩频波形的脉冲位置随 DATA IN 信号的时间位置发生变化。OOK 收发信机#2 的天线接收该信号并将该信号输入到 RF 调制解调器 # 2。RF 调制解调器对该信号进行解扩，并输出其位置随输入信号的脉冲位置发生变化的脉冲。将 RF 调制解调器的输出输入到比较器 394。第二输入即斜坡函数发生器 392 的输出。

在运行过程中，利用 S/H 电路 396 采样斜坡信号输出，直到脉冲到达，并且 RF 调制解调器输出该斜坡信号作为 Data Out 信号。比较器的输出构成 S/H 电路的时钟信号。提高对 S/H 电路 396 的输入，直到 RF 调制解调器的输出超过斜坡信号。这对应于 RF 调制解调器在对应于从发射机接收脉冲的时间点输出脉冲。此时，对 S/H 进行计时，并将 S/H 输出的信号 V_{OUT} 406 设置为等于其输入。S/H 电路的输出形成 Analog Out 信号，然后，将 Analog Out 信号输入到主机或其它装置以进一步进行处理。重要的是请注意以这样的方式时斜坡函数发生器 392 和设置 S/H 电路 384 的时钟同步，以便斜坡函数由低到高的过渡对应于待发送的数据（即：Analog In 信号）的符号周期。利用本技术领域内众所周知的同步方法这样使斜坡信号与接收信号同步，以便可以接收该数据。

在 PPM 通信系统中，主要性能指标是如下等式 3 给出的、符号周

期与脉冲宽度之比 β 。

$$\beta = \frac{T}{\tau} \quad (3)$$

如下等式 4 给出信噪比 (SNR)。

$$SNR = \frac{\frac{\beta^2}{3} \cdot \frac{E_b}{N_o}}{1 + \frac{2}{3} \beta^2 (\beta - 1) \sqrt{\frac{E_b}{N_o \pi}} e^{-\frac{E_b}{4N_o}}} \quad (4)$$

其中 E_b 是每位的能量, N_o 是噪声电平。如果假定链路预算具有每位固定能量 E_b , 因此, 由 β 值表示性能。随着脉冲宽度窄, SNR 增加, 反之亦然。例如, 如果发送过程中使用的脉冲宽度 τ 约为 50 ns, 符号周期 T 为 1000 ns, 则会导致 β 为 20, E_b 等于 -70 dBm, N_o 等于 $-114 + 10 \cdot \log(20) = -100$ dBm, 链路的 SNR 接近 52 dB。

采用多个相关器 RF 的调制解调器的第三实施例

为了实现更高的通信位速率, 可以对上述第一和第二调制解调器实施例附加其它相关器和相关电路系统。通常, 可以附加任意数量的相关器, 其中用 $f_i(t)$ 表示的每个相关器的相关函数或代码与所有其它相关器的相关函数正交。在各相关器的相关函数 (即代码) 互相正交时, 每个相关器独立于其它相关器进行发送和接收。然而, 必须建立足够数量的、满足如下判据的相关函数。

$$\langle f_i(t), f_j(t) \rangle = 0, \text{ 当所有 } i \neq j \text{ 时} \quad (5)$$

换句话说, 所有代码互相之间的互相关必须非常低, 即: 约为 0。例如, 熟练技术人员可以容易地产生多个互相大致正交并且互相之间的互相关接近 0 的线性 FM 码。

为了有助于理解本发明，提供了一种包括 N 个相关器的调制解调器例子。可以利用任意数量的 N 个相关器构造调制解调器，只要满足上述判据即可。采用多个相关器的结果是可以提高有效通信位速率。通过以图 1 所示的位速率为 1.5 Mbps 的 RF 调制解调器为例进行研究，使用 N 个相关器可以实现 $N \times 1.5$ Mbps 的总位速率。

图 27 示出具有多个相关器的根据本发明 RF 调制解调器的第三实施例的方框图。除了现在具有“N”个表面声波相关器之外，通常用参考编号 410 表示的调制解调器与第一或第二调制解调器实施例具有相同结构。调制解调器 410 包括一个采用任意适当频率源（例如图 6 所示的表面声波谐振器）的单信号发生器 412。单信号发生器 412 的 IF 信号输出馈送到多个被标记为发送/接收电路 #1 至 #N 的发送/接收电路 416。

每个发送/接收电路均接收控制器 414 输出的 Data In 信号并将 Rx Out 信号输出到该控制器。通过被标记为 Data In#1 至 Data In #N 的独立 Data In 信号线，主机 430 将待发送的数据送到该控制器以及各发送/接收电路。同样，通过被标记为 Data Out#1 至 Data Out#N 的独立 Data Out 信号线，将控制器对每个发送/接收电路输出的数据输入到主机。该主机还将 Tx/Rx 信号送到用于产生调制解调器所需定时信号和控制信号的控制器。

将发送/接收电路输出的信号线连接到 RF 功率分配器/功率合成器 418。RF 功率分配器/功率合成器在发送方向作为合成器，而在接收方向作为分配器。将该功率分配器/功率合成器连接到 Tx/Rx 开关 420，Tx/Rx 开关 420 将信号划分为发送路径和接收路径。在发送过程中，对开关进行配置以将信号从发送/接收电路输入到发送 RF 前端电路 422。在接收过程中，对开关进行配置以将接收 RF 前端电路 424 的输出转向发送/接收电路。通过天线接口 426，将发送前端电路 422 输出的 RF Out 信号和接收前端电路 424 输出的 RF In 信号输入到天线 428。

图 28 示出图 27 所示 RF 调制解调器的发送/接收电路的更详细方框图。发送路径包括：脉冲发生器 440，用于从信号发生器接收 IF 振荡信号并从控制器接收 Data In 信号；匹配网络 442；表面声波相关器 444 以及匹配网络 446。将匹配网络 446 的输出输入到功率分配器/功率合成器 418（如图 27 所示）。

接收路径包括：匹配网络 446、表面声波相关器 444、匹配网络 448 以及接收电路 450。接收电路 450 的输出构成随后输入到控制器 414 的 Rx Out 信号。

请注意，包括发送/接收电路 416 的调制解调器 410 的各部件的功能类似于上述第一和第二实施例调制解调器的类似部件。在发送期间，控制器 414 通过相应 Data In 信号线把待发送数据分别提供给各发送/接收电路 416。每个电路均引入被配置具有唯一功能（或代码）从而避免在所产生信号之间发生干扰的相关器。利用 RF 功率分配器/功率合成器 418 合成所形成的多个 N 信号。然后，利用发送 RF 前端电路对该合成信号进行处理并通过天线 428 发送。

在被放大和输入到天线之前，利用与发送 RF 前端电路 26（如图 20 所示）的混合电路相似的混合电路选择性地上变换该合成信号。

在接收路径，通过天线接口 426，将接收信号从天线馈送到接收 RF 前端电路 424。同样在接收方向，在被输入到 Tx/Rx 开关 420 之前，利用与接收 RF 前端电路 32（如图 21 所示）的电路相似的电路，可以选择性地将从天线接收的信号下变换为 IF 频率。然后，RF 功率分配器/功率合成器 418 将该信号分割为 N 个信号。将该接收信号输入到各发送/接收电路内、根据所配置的相关函数输出脉冲的相关器。将该脉冲输入到各接收电路内的相应峰值检波器以产生“N”个 Rx Out 信号。将所形成的“N”个 Rx Out 信号输入到控制器，将该控制器产生的 Data

Out 信号送到主机。

所附权利要求试图覆盖属于本发明实质范围的所有本发明特征和优势。由于本技术领域内的熟练技术人员可以进行多种调整和变更，所以本发明并不局限于在此说明的几个实施例。因此应当意识到所有适当变更、调整及其等效物均属于本发明实质范围。

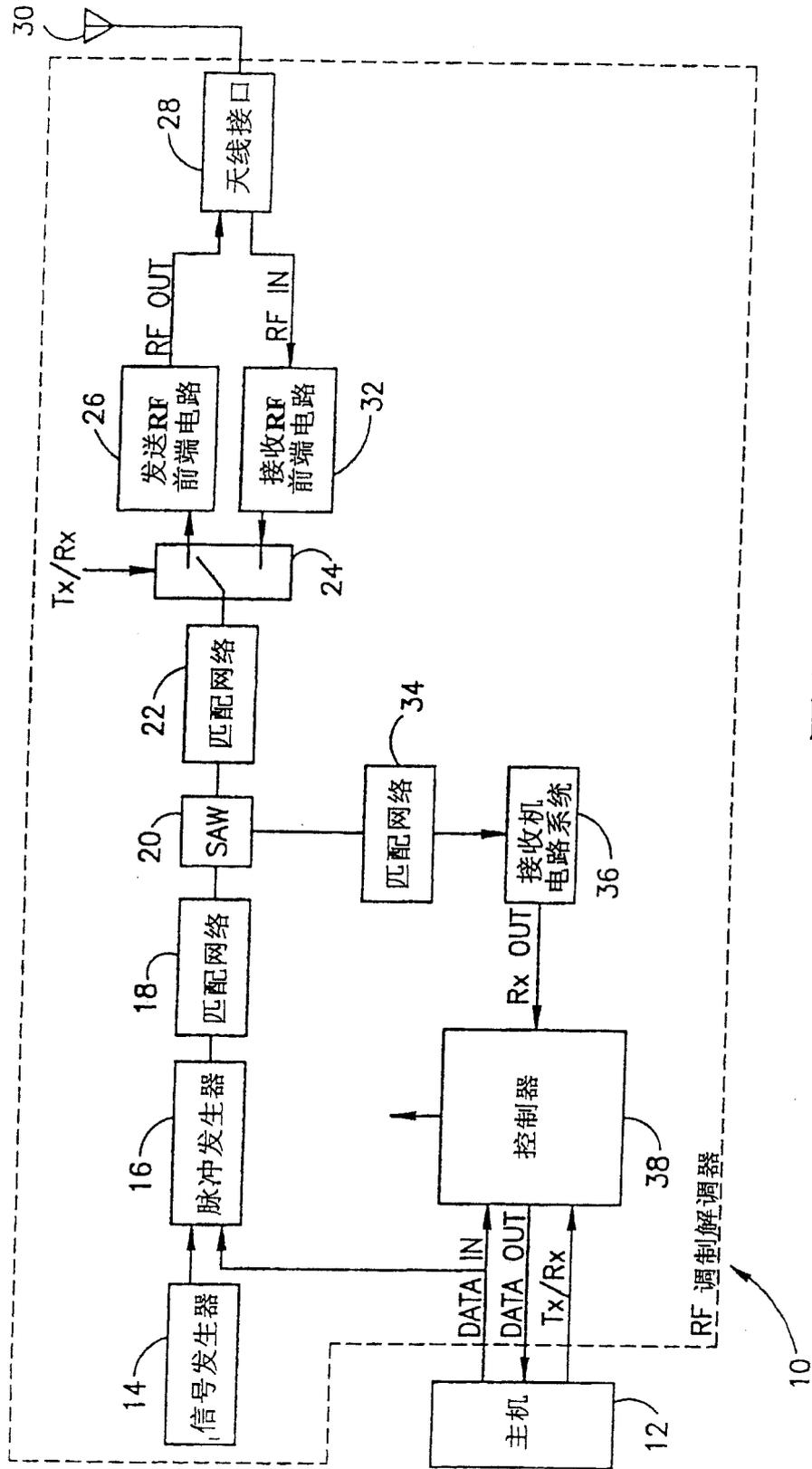


图1

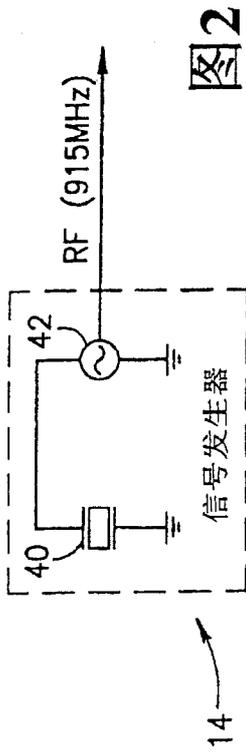


图2

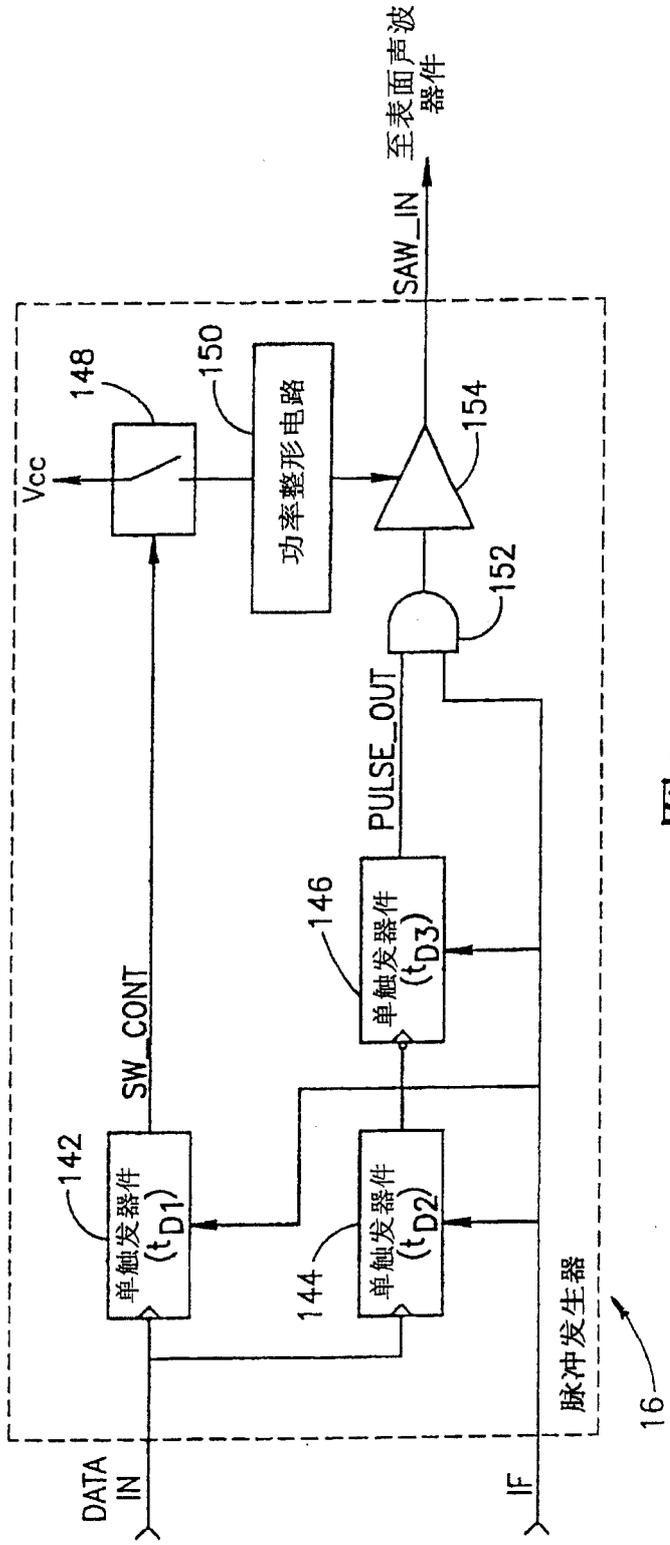


图3

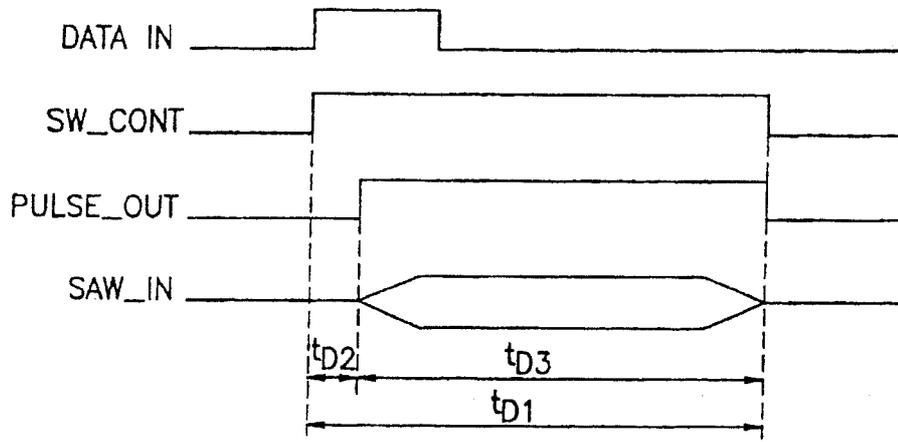


图4

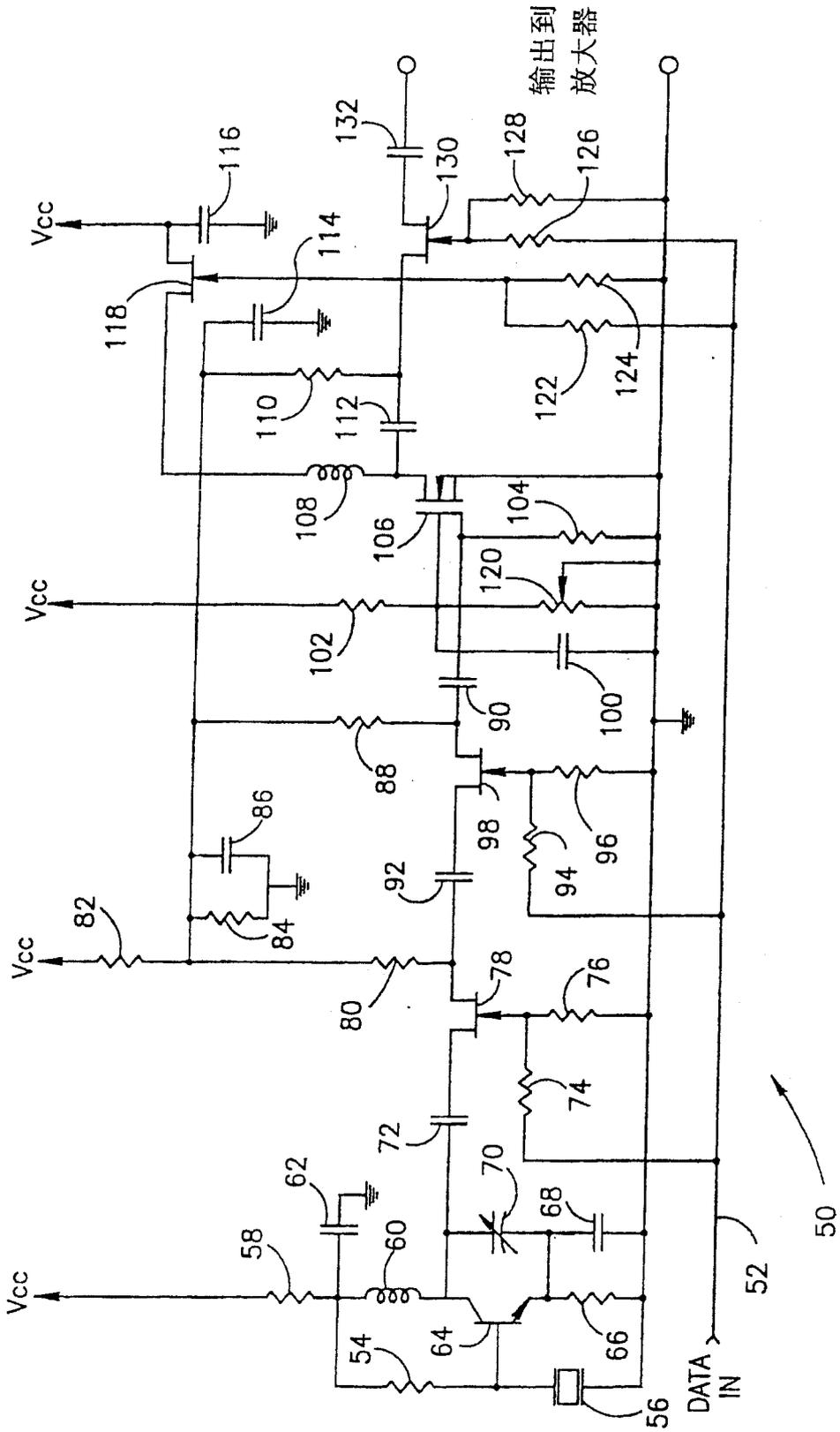


图5

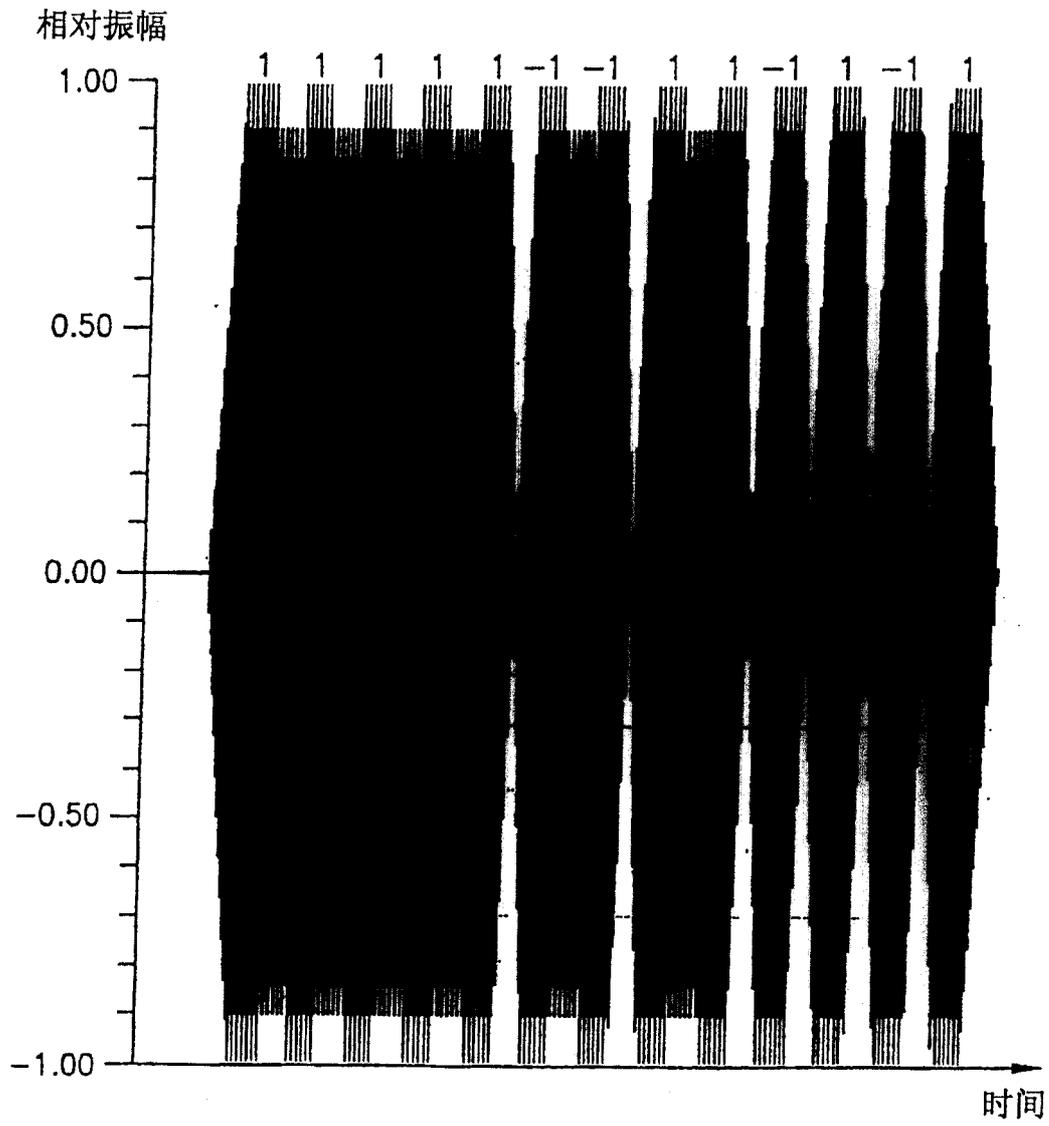


图7

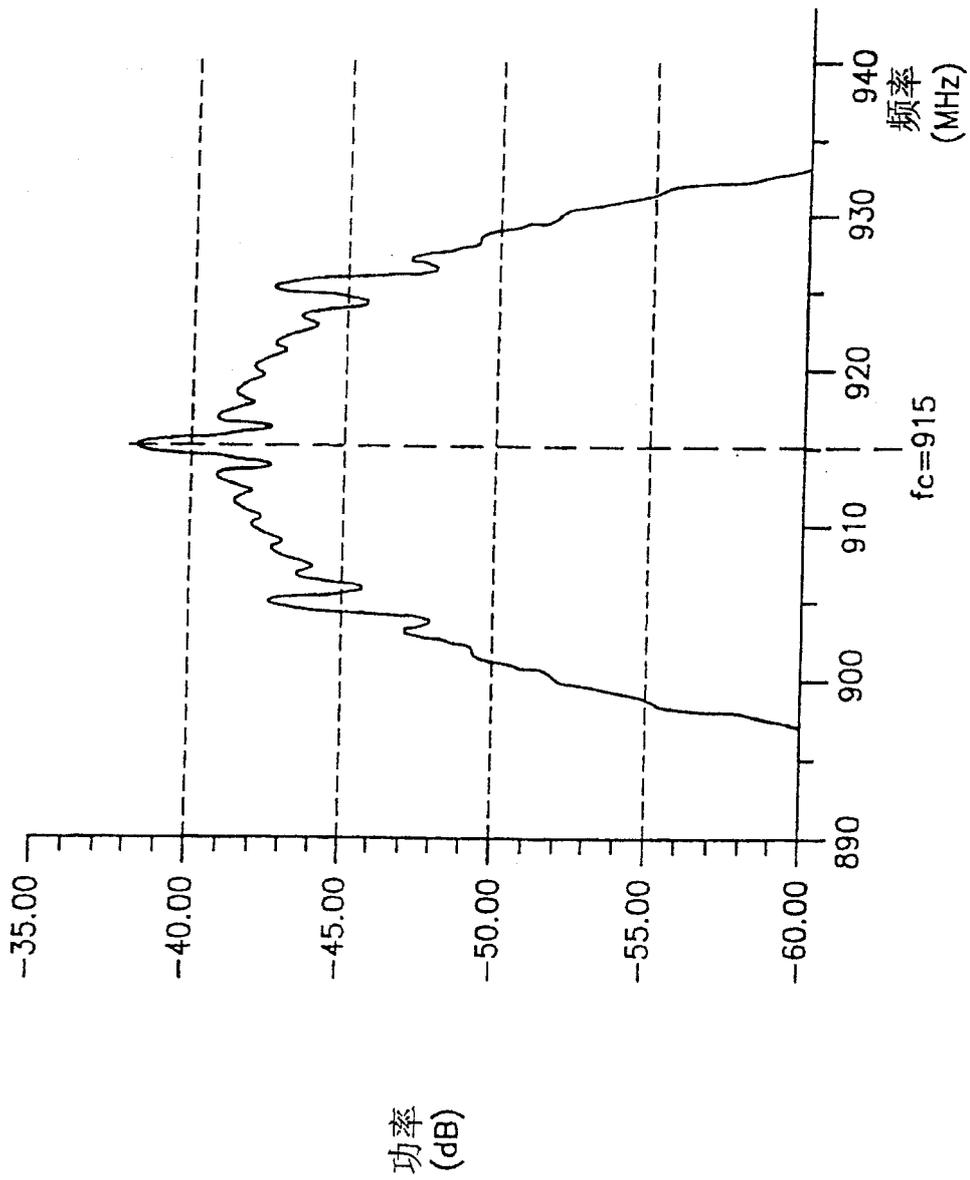
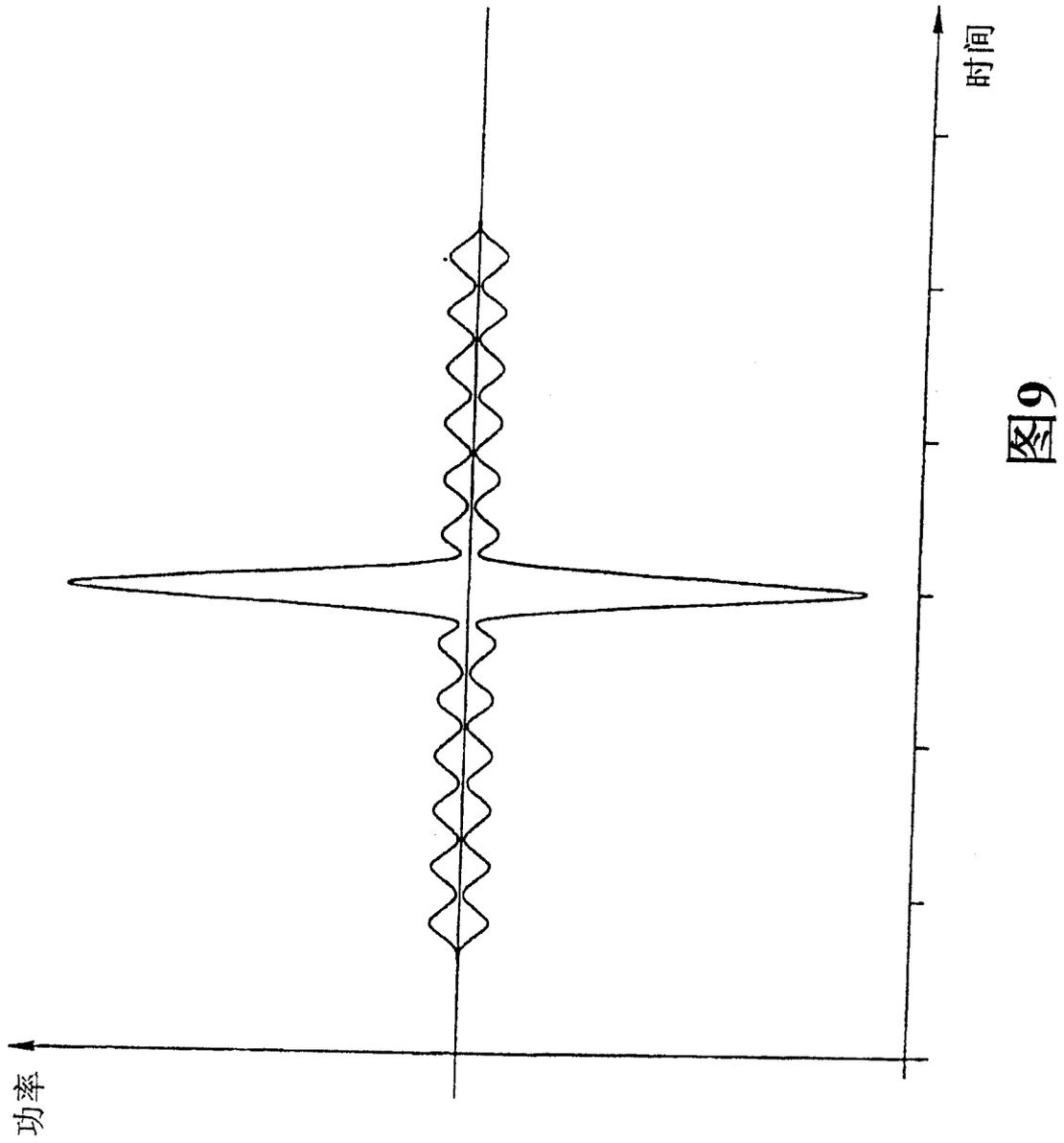


图8



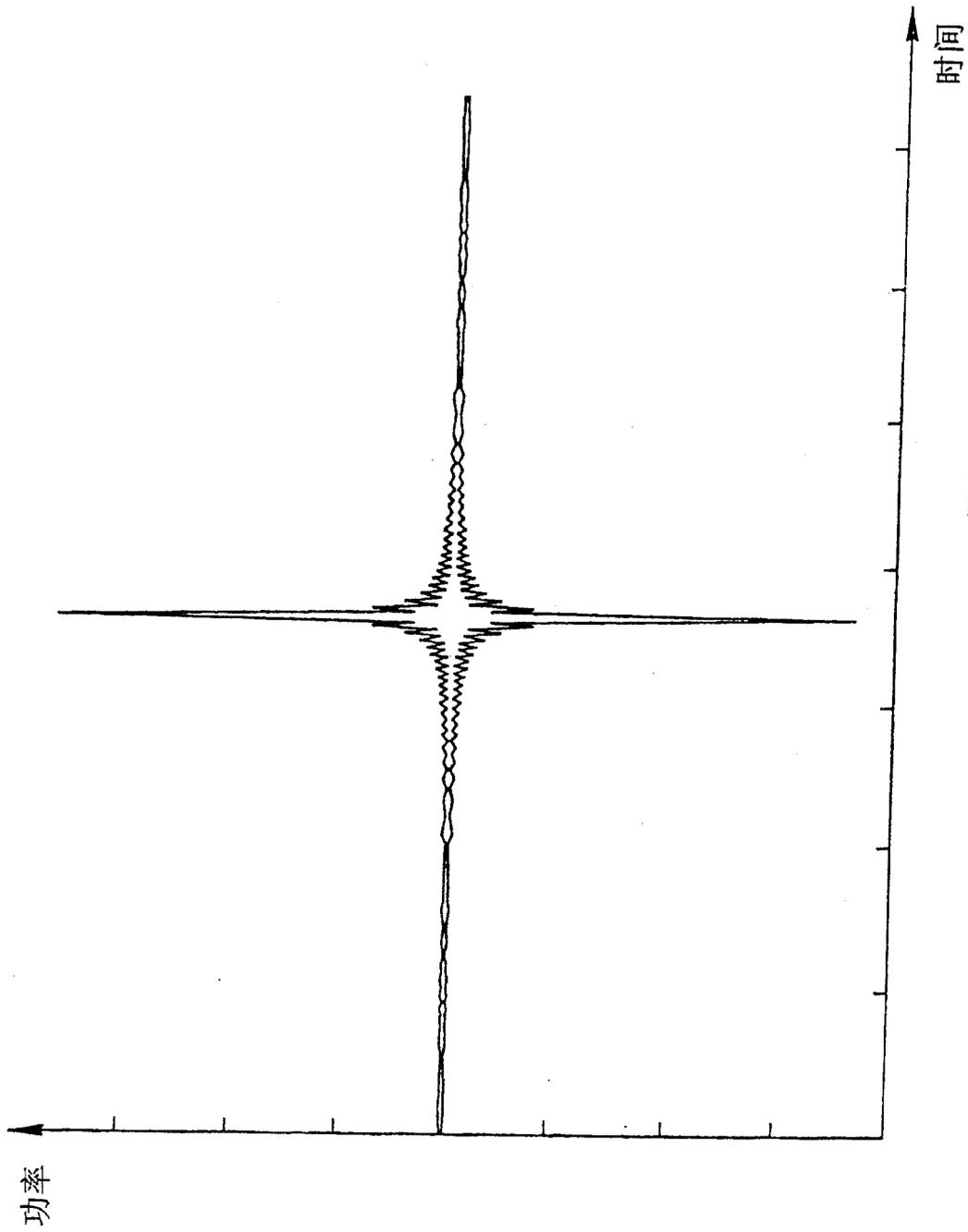


图10

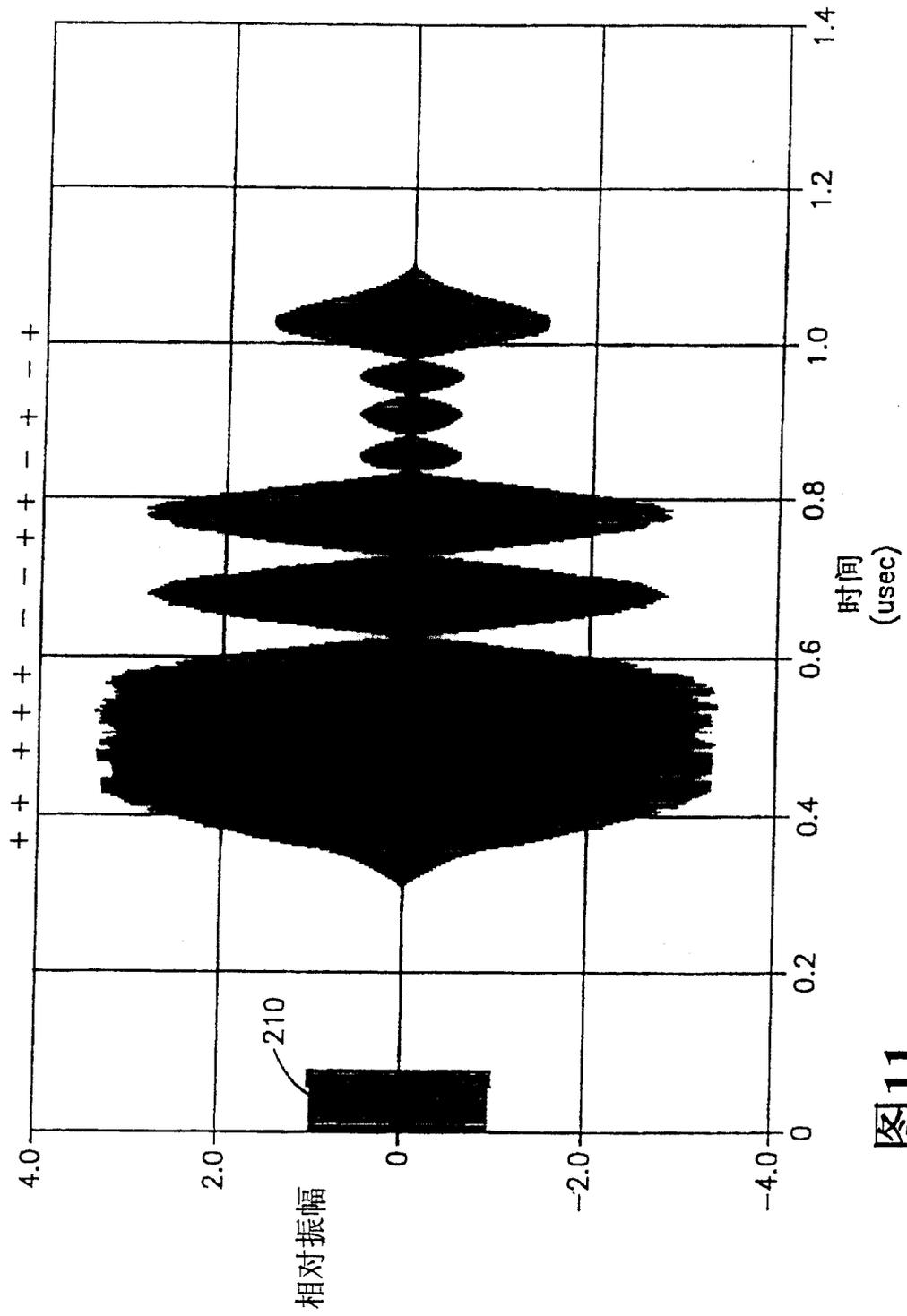
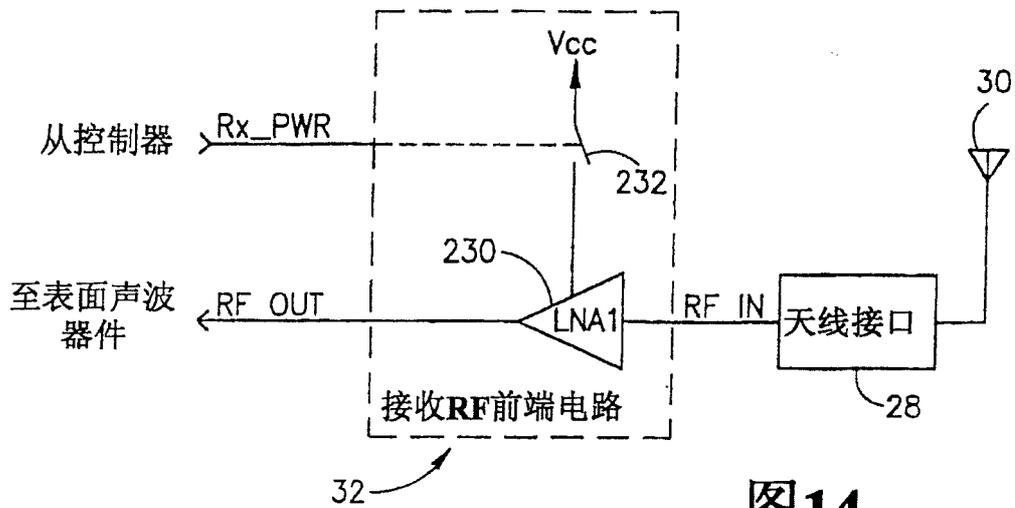
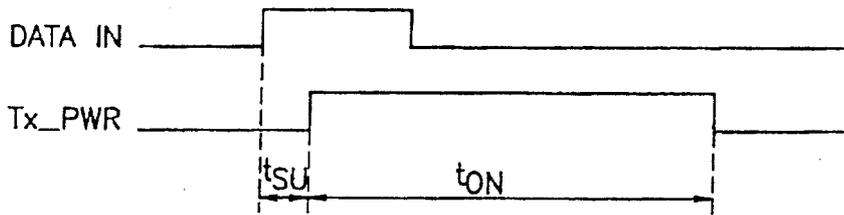
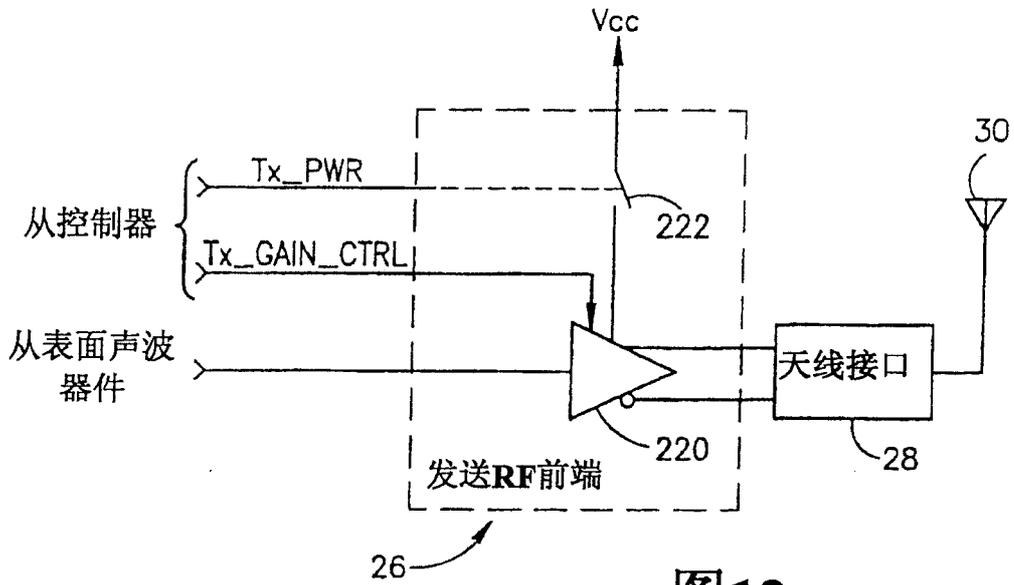


图11



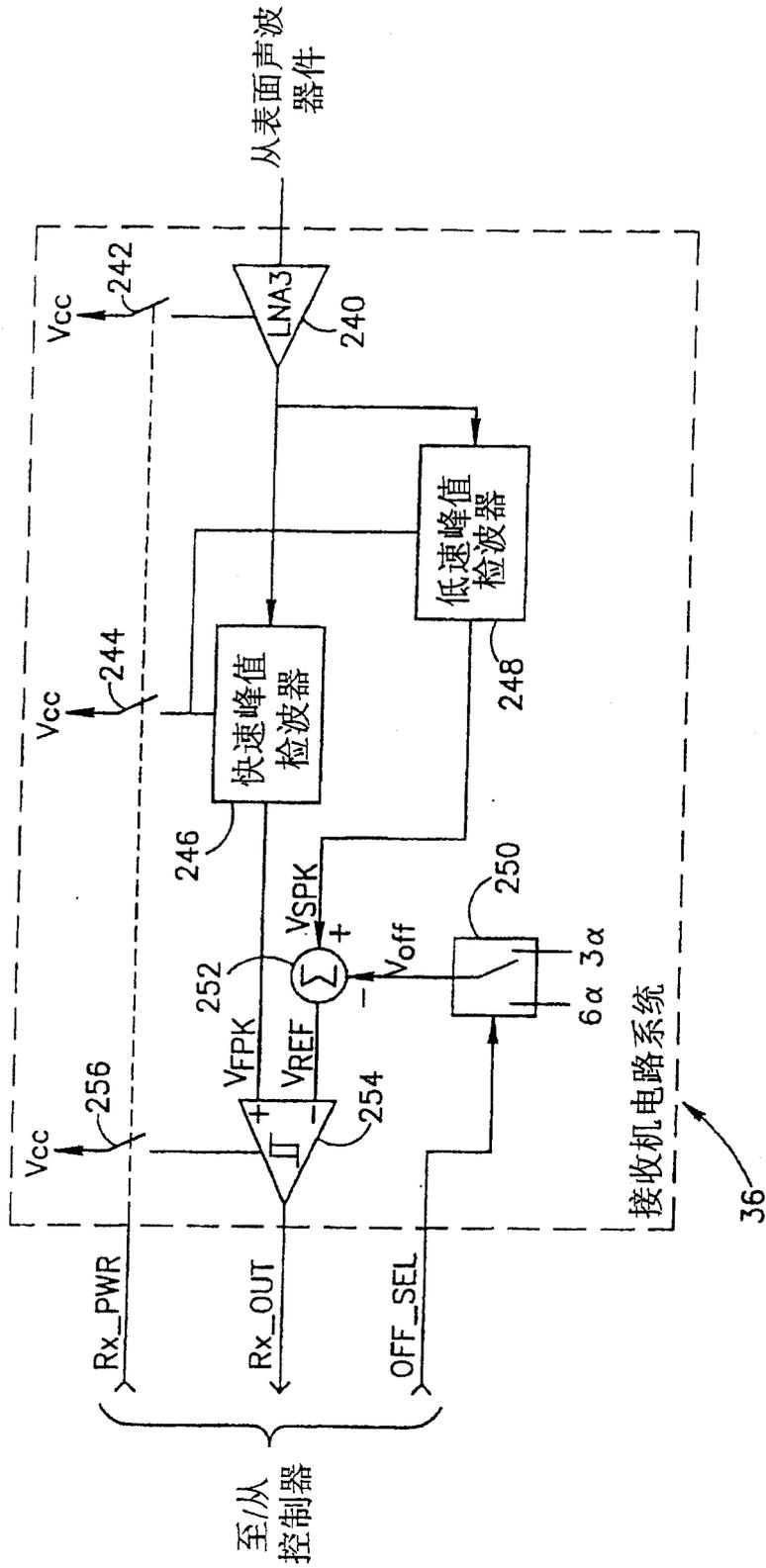


图15

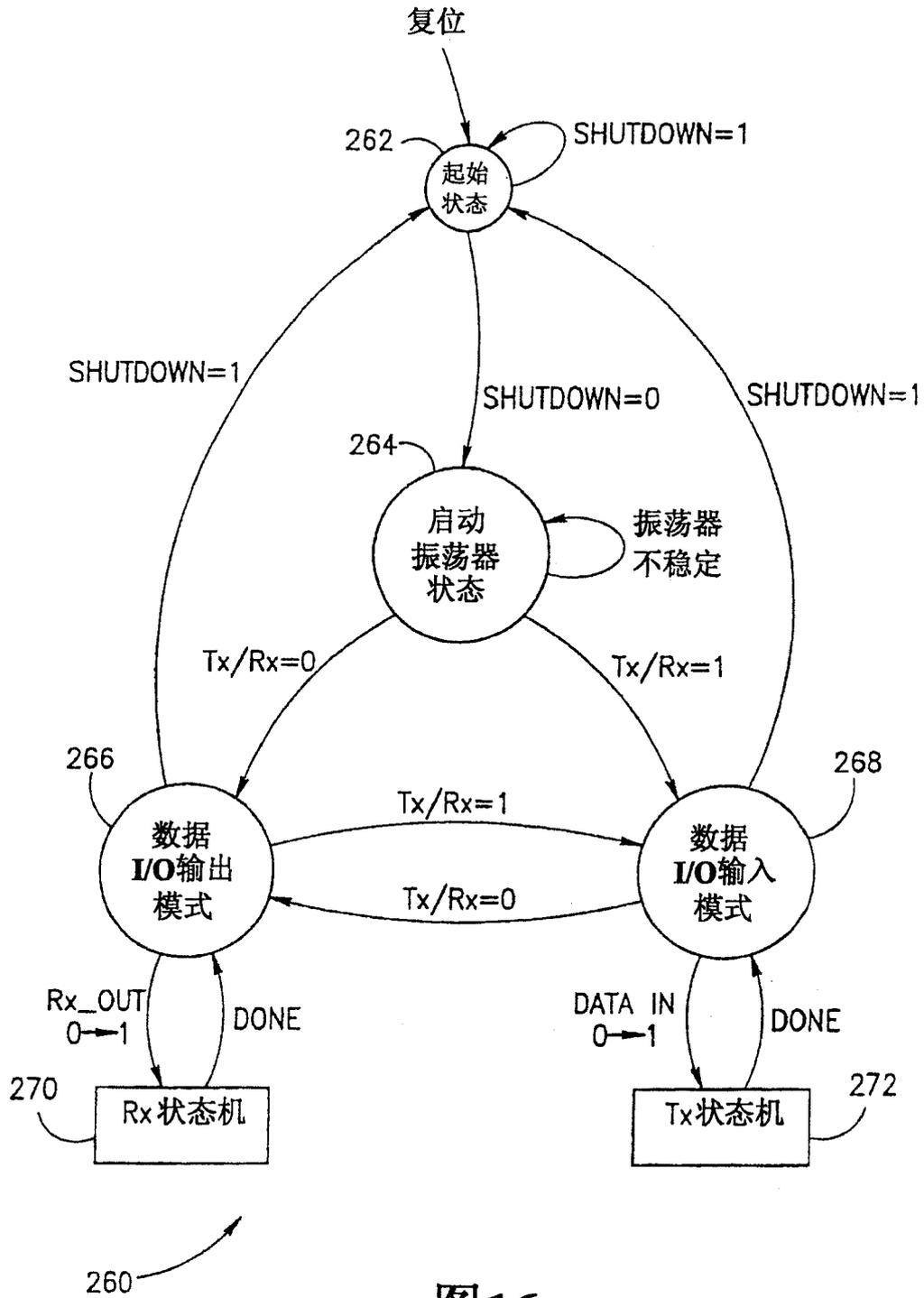


图16

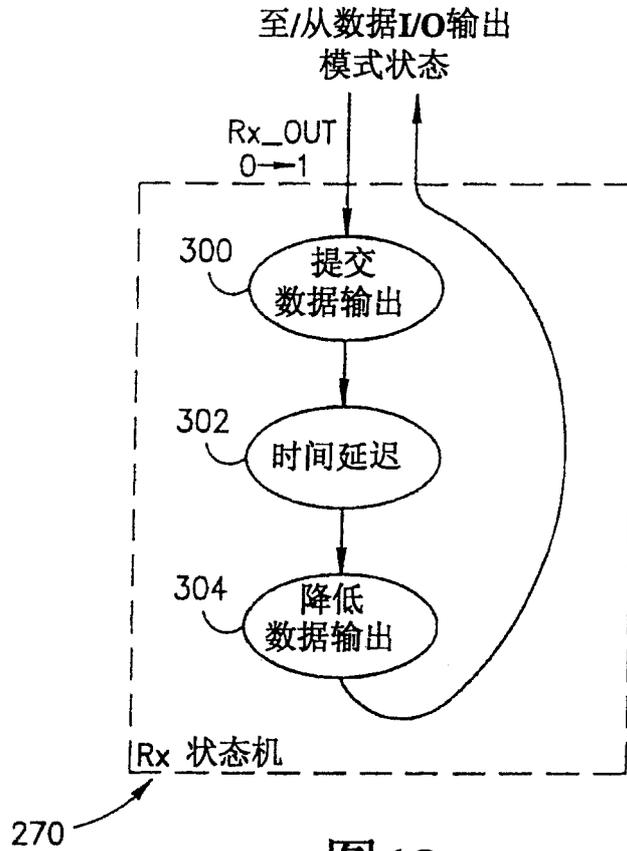


图18

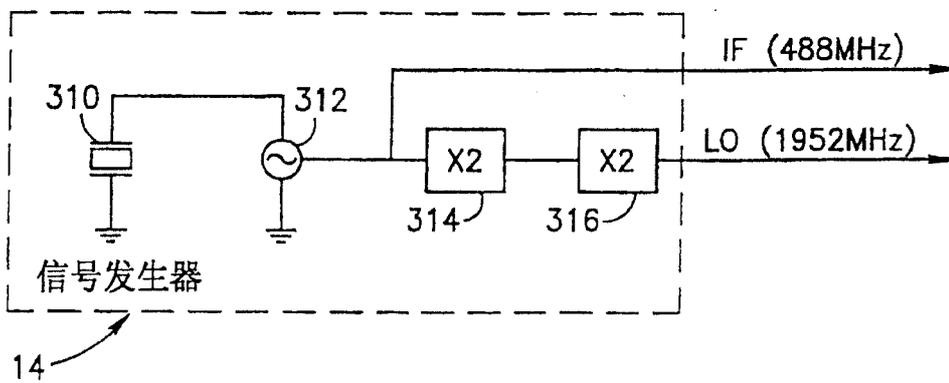


图19

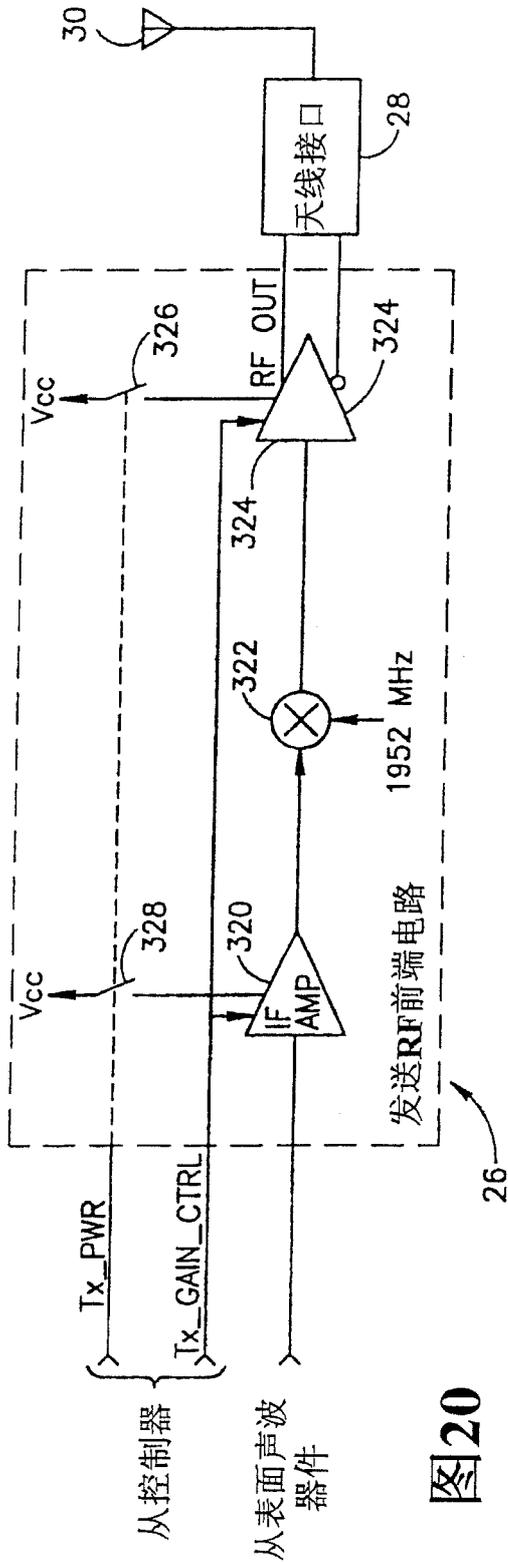


图20

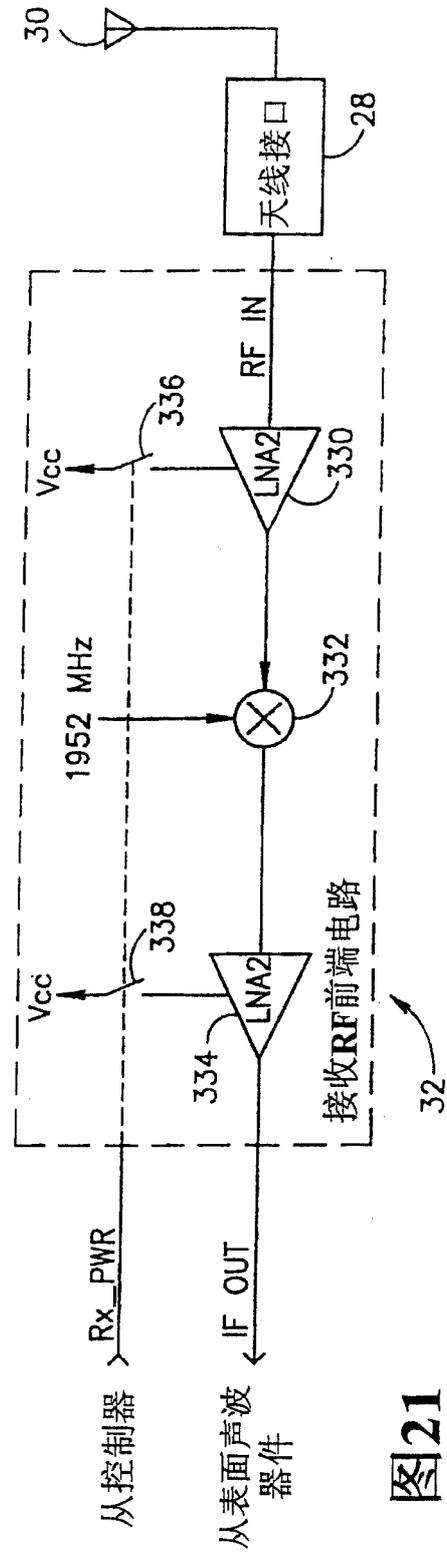


图21

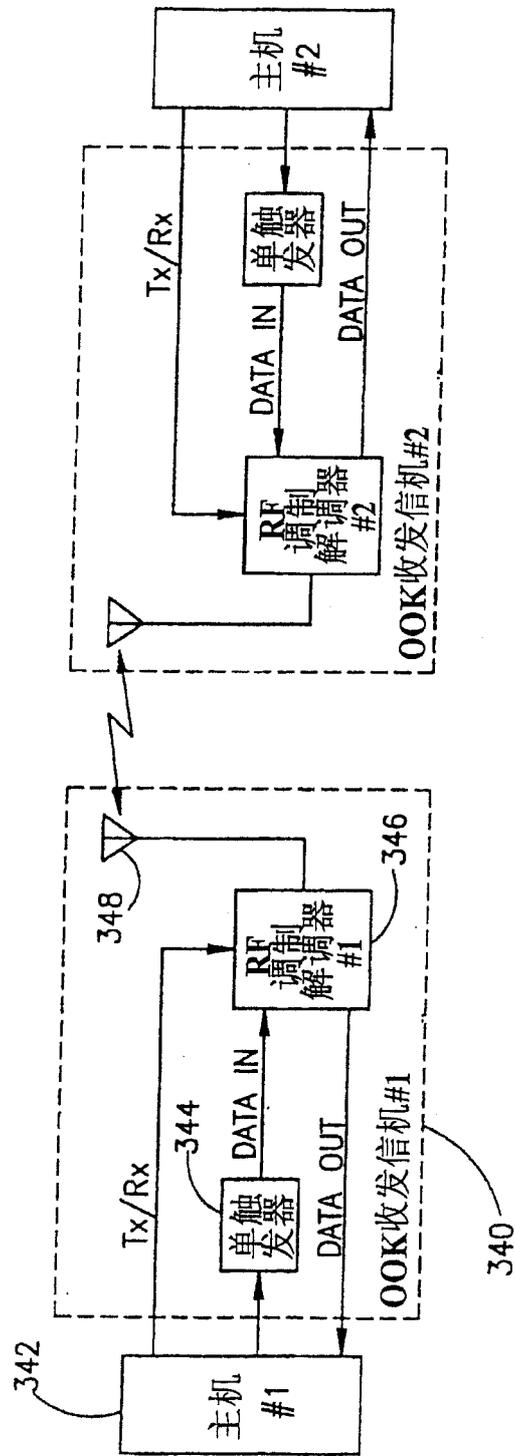


图22

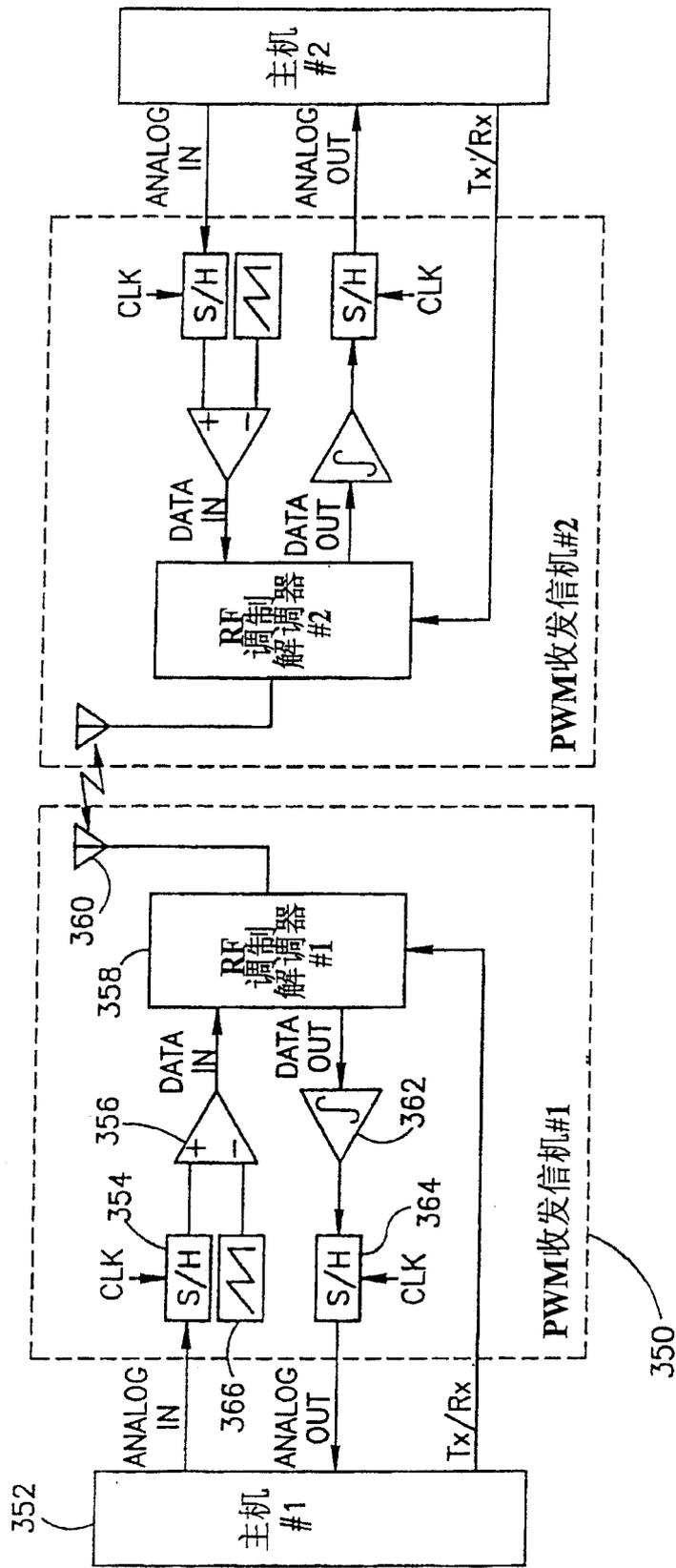


图23

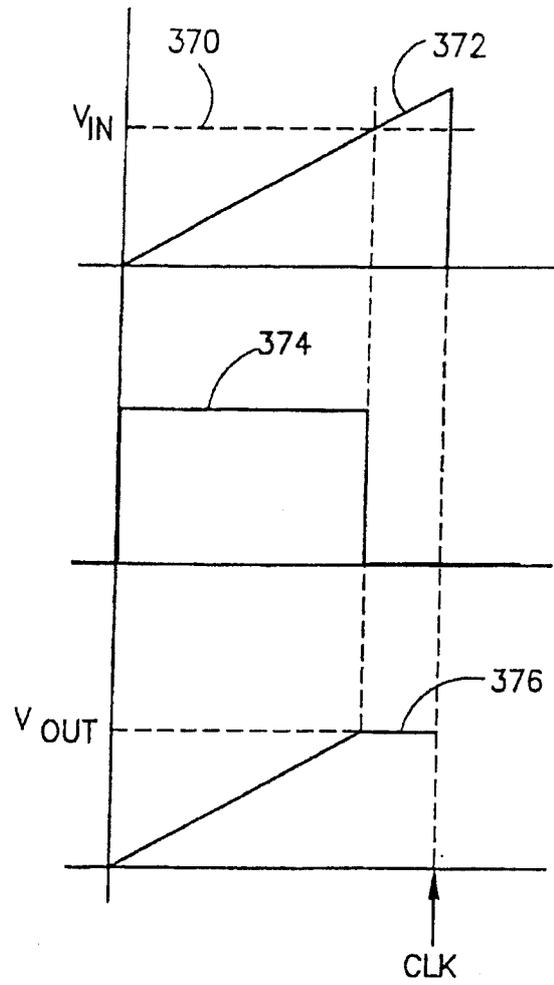


图24

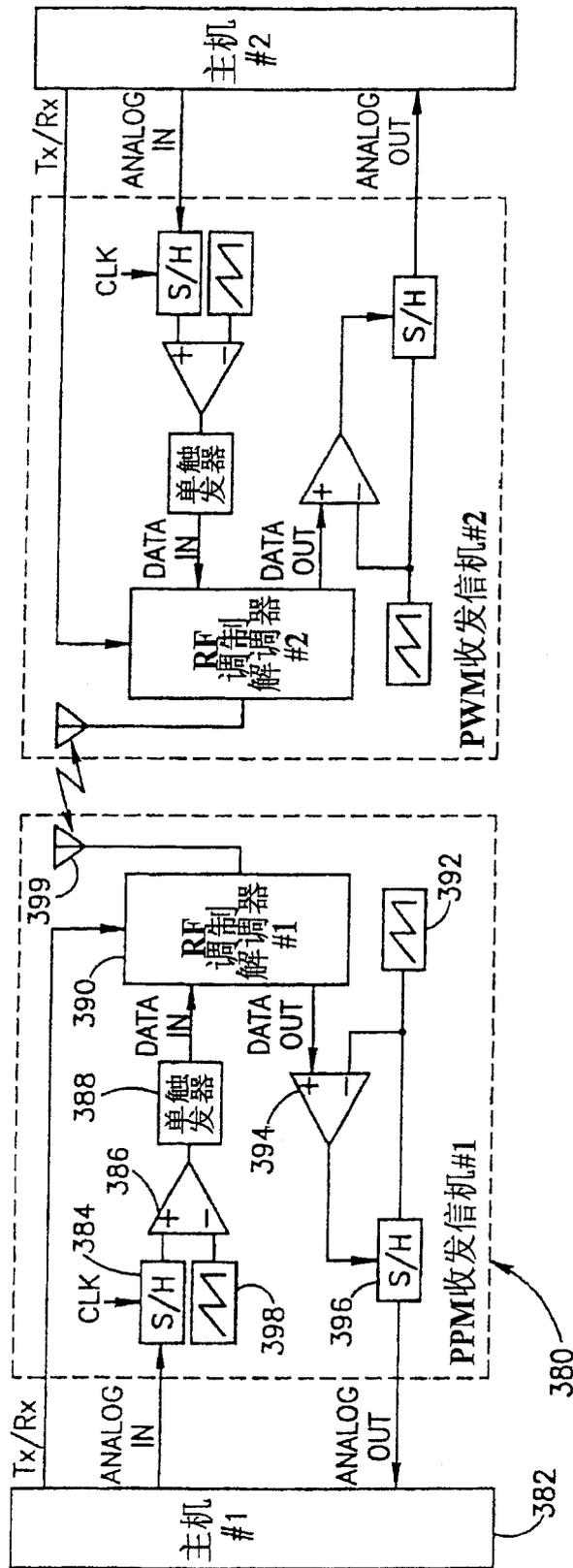


图25

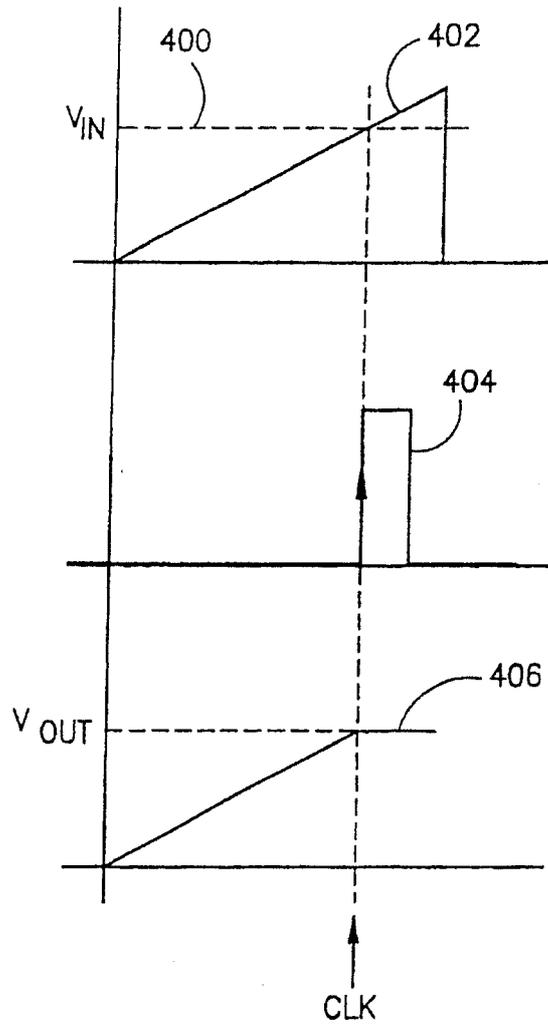


图26

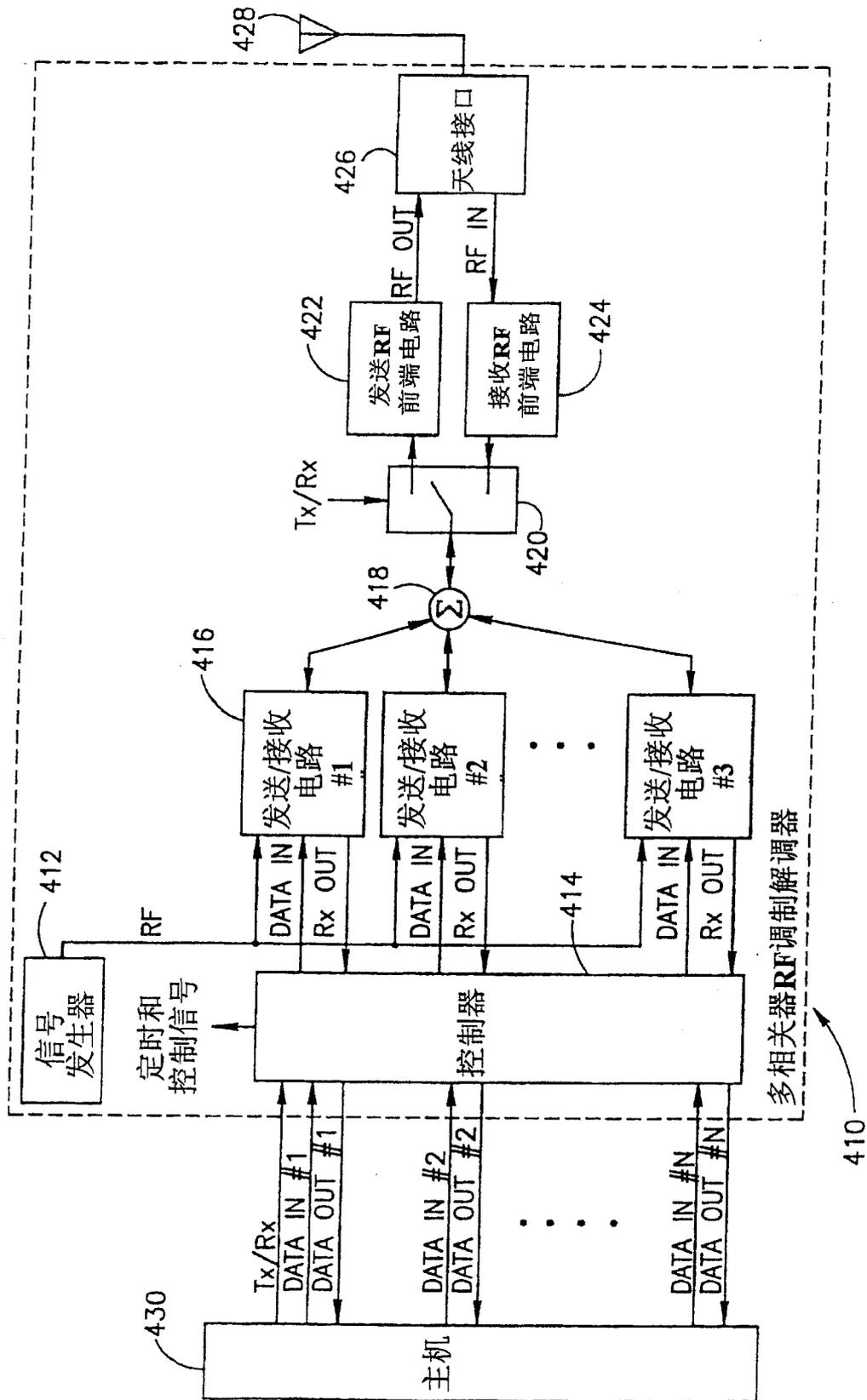


图27

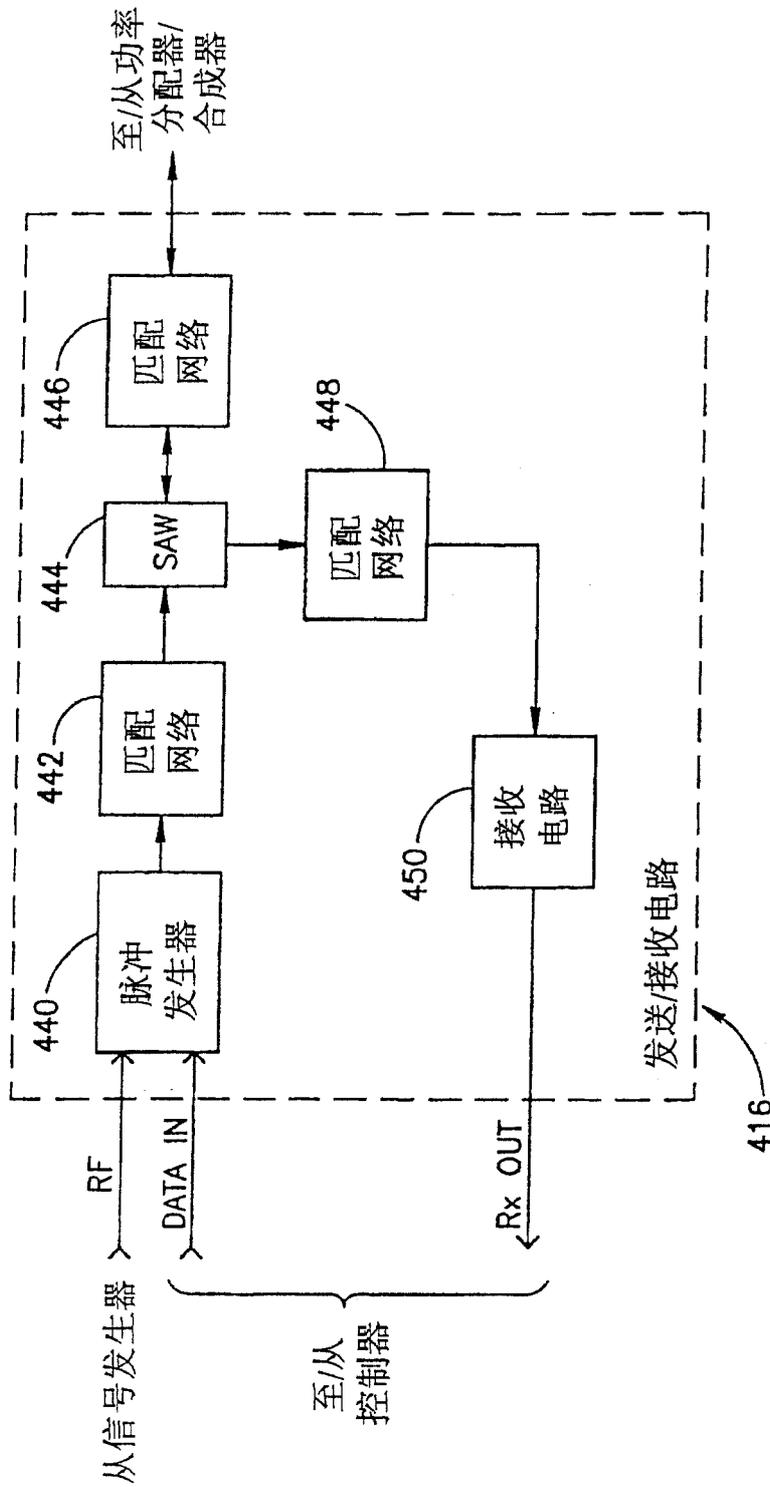


图28