



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114397635 A

(43) 申请公布日 2022.04.26

(21) 申请号 202210048792.4

(22) 申请日 2022.01.17

(71) 申请人 中国电子科技集团公司第二十六研究所

地址 400060 重庆市南岸区南坪花园路14号

(72) 发明人 董浩 穆晓华 杨清福 李庆洪

(74) 专利代理机构 上海光华专利事务所(普通合伙) 31219

代理人 张双凤

(51) Int.Cl.

G01S 7/40 (2006.01)

H03L 7/18 (2006.01)

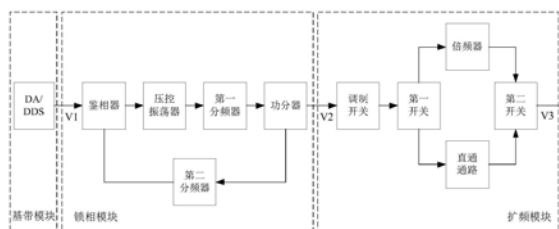
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

超宽带波形产生电路及方法、雷达信号模拟
器

(57) 摘要

本发明提供了一种超宽带波形产生电路及方法、雷达信号模拟器,超宽带波形产生电路包括:基带模块,产生输出基带信号;锁相模块,接收基带信号,对基带信号进行锁相倍频处理,输出第一倍频信号;扩频模块,接收第一倍频信号,对第一倍频信号进行扩频处理,输出第二倍频信号。通过锁相模块对基带模块产生输出的基带信号的锁相倍频处理,可快速有效地将其频率扩展到超宽带频率上,得到超宽带的第二倍频信号,再通过扩频模块对第二倍频信号的扩频处理,得到频带更宽的第二倍频信号,快速高效地实现了超宽带波形产生,可在全频段内实现连续波、常规脉冲、重频抖动、重频参差、双频脉冲等雷达常用波形的产生,且对应设计结构简单、成本低廉。



1. 一种超宽带波形产生电路,其特征在于,包括:
基带模块,产生输出基带信号;
锁相模块,接收所述基带信号,对所述基带信号进行锁相倍频处理,输出第一倍频信号;
扩频模块,接收所述第一倍频信号,对所述第一倍频信号进行扩频处理,输出第二倍频信号。
2. 根据权利要求1所述的超宽带波形产生电路,其特征在于,所述基带模块包括直接数字式频率合成器或者数模转换器。
3. 根据权利要求2所述的超宽带波形产生电路,其特征在于,所述锁相模块包括鉴相器、压控振荡器、第一分频器、功分器及第二分频器,所述鉴相器的输入端接所述基带模块的输出端,所述鉴相器的输出端接所述压控振荡器的输入端,所述压控振荡器的输出端接所述第一分频器的输入端,所述第一分频器的输出端接所述功分器的输入端,所述功分器的第一输出端输出所述第一倍频信号,所述功分器的第二输出端接所述第二分频器的输入端,所述第二分频器的输出端接所述鉴相器的反馈端。
4. 根据权利要求3所述的超宽带波形产生电路,其特征在于,所述第一分频器包括可变分频器。
5. 根据权利要求4所述的超宽带波形产生电路,其特征在于,所述扩频模块包括调制开关、倍频器、直通过路、第一开关及第二开关,所述调制开关的输入端接所述功分器的第一输出端,所述调制开关的输出端接所述第一开关的输入端,所述第一开关的第一输出端接所述倍频器的输入端,所述倍频器的输出端接所述第二开关的第一输入端,所述第一开关的第二输出端经所述直通过路后接所述第二开关的第二输入端,所述第二开关的输出端输出所述第二倍频信号。
6. 一种超宽带波形产生方法,其特征在于,包括:
提供基带信号;
通过锁相环电路对所述基带信号进行倍频处理,得到第一倍频信号;
通过扩频电路对所述第一倍频信号进行扩频处理,得到第二倍频信号。
7. 根据权利要求6所述的超宽带波形产生方法,其特征在于,通过所述锁相环电路对所述基带信号进行至少一次倍频处理,得到所述第一倍频信号。
8. 根据权利要求7所述的超宽带波形产生方法,其特征在于,在提供所述基带信号之后,在通过所述锁相环电路对所述基带信号进行倍频处理之前,所述超宽带波形产生方法还包括:
对所述基带信号进行频率及相位调制,按照所述倍频处理的次数,对所述基带信号进行频率预失真处理及相位预失真处理。
9. 根据权利要求8所述的超宽带波形产生方法,其特征在于,在通过所述锁相环电路对所述基带信号进行倍频处理之后,在通过所述扩频电路对所述第一倍频信号进行扩频处理之前,所述超宽带波形产生方法还包括:
通过调制开关对所述第一倍频信号进行调制,使得输入到所述扩频电路中的所述第一倍频信号始终保持在有信号输入状态。
10. 一种雷达信号模拟器,其特征在于,包括如权利要求1-5中任一项所述的超宽带波

形产生电路。

超宽带波形产生电路及方法、雷达信号模拟器

技术领域

[0001] 本发明涉及雷达信号模拟器技术领域,尤其是涉及一种超宽带波形产生电路及方法、雷达信号模拟器。

背景技术

[0002] 在当今社会,雷达具有不可或缺的作用,其不仅是军事上必不可少的电子装备,还广泛应用于社会经济发展(如气象预报、资源探测、环境监测、交通管制等方面)和科学研究(天体研究、大气物理、电离层结构研究等方面)。

[0003] 在各类雷达的研制过程中,雷达信号模拟器对于雷达性能的调试、测试起到了关键性的作用。而目前常规的雷达模拟器波形产生方案为采用DA(数模转换器)或者DDS(直接数字式频率合成器)产生带宽较窄的基带信号,然后通过多次混频的方式将频率搬移到雷达工作频段上,该方法具有较好的灵活性,但是由于基带信号带宽较窄,在实现宽带雷达模拟时往往需要通过多段频率拼接的方式实现带宽的扩展,其链路将变得非常复杂。而现代雷达的工作频率越来越高,工作带宽越来越宽,工作频率可覆盖几百MHz至几十GHz,传统的模拟器方案很难实现通用化,并且成本、功耗、尺寸均随着带宽的增加而增加。

[0004] 因此,目前急需一种带宽较宽且尺寸体积小、成本低的雷达模拟器波形产生方案。

发明内容

[0005] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种超宽带波形产生技术方案,用于解决上述技术问题。

[0006] 为实现上述目的及其它相关目的,本发明提供的技术方案如下。

[0007] 一种超宽带波形产生电路,包括:

[0008] 基带模块,产生输出基带信号;

[0009] 锁相模块,接收所述基带信号,对所述基带信号进行锁相倍频处理,输出第一倍频信号;

[0010] 扩频模块,接收所述第一倍频信号,对所述第一倍频信号进行扩频处理,输出第二倍频信号。

[0011] 可选地,所述基带模块包括直接数字式频率合成器或者数模转换器。

[0012] 可选地,所述锁相模块包括鉴相器、压控振荡器、第一分频器、功分器及第二分频器,所述鉴相器的输入端接所述基带模块的输出端,所述鉴相器的输出端接所述压控振荡器的输入端,所述压控振荡器的输出端接所述第一分频器的输入端,所述第一分频器的输出端接所述功分器的输入端,所述功分器的第一输出端输出所述第一倍频信号,所述功分器的第二输出端接所述第二分频器的输入端,所述第二分频器的输出端接所述鉴相器的反馈端。

[0013] 可选地,所述第一分频器包括可变分频器。

[0014] 可选地,所述扩频模块包括调制开关、倍频器、直通通路、第一开关及第二开关,所

述调制开关的输入端接所述功分器的第一输出端,所述调制开关的输出端接所述第一开关的输入端,所述第一开关的第一输出端接所述倍频器的输入端,所述倍频器的输出端接所述第二开关的第一输入端,所述第一开关的第二输出端经所述直通通路后接所述第二开关的第二输入端,所述第二开关的输出端输出所述第二倍频信号。

[0015] 一种超宽带波形产生方法,包括:

[0016] 提供基带信号;

[0017] 通过锁相环电路对所述基带信号进行倍频处理,得到第一倍频信号;

[0018] 通过扩频电路对所述第一倍频信号进行扩频处理,得到第二倍频信号。

[0019] 可选地,通过所述锁相环电路对所述基带信号进行至少一次倍频处理,得到所述第一倍频信号。

[0020] 可选地,在提供所述基带信号之后,在通过所述锁相环电路对所述基带信号进行倍频处理之前,所述超宽带波形产生方法还包括:

[0021] 对所述基带信号进行频率及相位调制,按照所述倍频处理的次数,对所述基带信号进行频率预失真处理及相位预失真处理。

[0022] 可选地,在通过所述锁相环电路对所述基带信号进行倍频处理之后,在通过所述扩频电路对所述第一倍频信号进行扩频处理之前,所述超宽带波形产生方法还包括:

[0023] 通过调制开关对所述第一倍频信号进行调制,使得输入到所述扩频电路中的所述第一倍频信号始终保持在有信号输入状态。

[0024] 一种雷达信号模拟器,包括上述任一项所述的超宽带波形产生电路。

[0025] 如上所述,本发明提供的超宽带波形产生电路及方法、雷达信号模拟器,至少具有以下有益效果:

[0026] 基带模块产生输出的基带信号经过锁相模块的锁相倍频处理,可快速有效地将其频率扩展到超宽带频率上,将其频率和相位同时传递到输出的第一倍频信号中,实现了超宽带波形产生;第一倍频信号经过扩频模块的扩频处理,得到频带更宽的第二倍频信号,强化了最终产生输出波形的带宽范围。

附图说明

[0027] 图1为现有技术中雷达信号模拟器的结构示意图。

[0028] 图2为本发明中超宽带波形产生电路的结构示意图。

[0029] 图3为本发明中超宽带波形产生方法的步骤示意图。

[0030] 附图标号说明

[0031] V1—基带信号,V2—第一倍频信号,V3—第二倍频信号。

具体实施方式

[0032] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。

[0033] 请参阅图1至图3。需要说明的是,本实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本

发明的基本构想,遂图示中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变,且其组件布局型态也可能更为复杂。本说明书所附图示所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

[0034] 在研究现有的如图1所示的雷达信号模拟器时,发明人研究发现:采用DA(数模转换器)或者DDS(直接数字式频率合成器)产生带宽较窄的基带信号后,通过多次混频的方式将频率搬移到雷达工作频段上,该方案的灵活性较好,但是基带信号的带宽较窄,在实现宽带雷达模拟时往往需要通过多段频率拼接的方式实现带宽的扩展,其链路将变得非常复杂,由于使用了多级混频对频段进行拼接,混频交调信号极易落到带内形成杂波信号,降低频谱纯度,大大增加了设计难度,同时,混频后需要采用大量滤波器对交调信号进行抑制,又极大的增加了设计成本和设计尺寸;因此,对工作带宽要求越来越高的现代雷达来说,传统的模拟器波形产生技术方案在带宽、成本、功耗及尺寸等各方面越来越不适用。

[0035] 基于此,本发明提供一种雷达模拟器波形产生技术方案:通过锁相环电路对基带信号进行至少一次倍频处理,扩展其带宽;再通过扩频电路进行扩频处理,进一步扩展带宽范围。

[0036] 详细地,如图2所示,本发明提供一种超宽带波形产生电路,其包括:

[0037] 基带模块,产生输出基带信号V1;

[0038] 锁相模块,接收基带信号V1,对基带信号V1进行锁相倍频处理,输出第一倍频信号V2;

[0039] 扩频模块,接收第一倍频信号V2,对第一倍频信号V2进行扩频处理,输出第二倍频信号V3。

[0040] 详细地,如图2所示,基带模块包括直接数字式频率合成器(DDS)或者数模转换器(DA),也就是说基带信号V1仍然通过直接数字式频率合成器(DDS)或者数模转换器(DA)产生输出,其详细结构原理可参见现有技术,在此不再赘述。

[0041] 详细地,如图2所示,锁相模块包括鉴相器、压控振荡器、第一分频器、功分器及第二分频器,鉴相器的输入端接基带模块的输出端,鉴相器的输出端接压控振荡器的输入端,压控振荡器的输出端接第一分频器的输入端,第一分频器的输出端接功分器的输入端,功分器的第一输出端输出第一倍频信号V2,功分器的第二输出端接第二分频器的输入端,第二分频器的输出端接鉴相器的反馈端。

[0042] 其中,第一分频器包括可变分频器,如可编程分频器,通过数字控制信号使其可以进行1、2、4、8、16分频等各种分频操作。

[0043] 更详细地,如图2所示,依次连接的鉴相器、压控振荡器、第一分频器、功分器及第二分频器构成锁相模块(或者锁相环),该锁相模块通过锁相的方式对基带信号V1进行倍频处理,将基带信号V1的频率扩展到超宽带频率上,得到第一倍频信号V2,其工作原理如下:

[0044] 鉴相器接收基带信号V1,并输出控制电压,在控制电压的作用下,压控振荡器输出振荡信号,振荡信号的输出带宽由压控振荡器本身结构设计决定,振荡信号经过第一分频

器的分频处理,能有效扩展振荡信号的频率下限,扩大振荡信号的带宽范围,分频处理后振荡信号的一部分经过功分器和第二分频器反馈到鉴相器中,与基带信号V1进行鉴频鉴相,分频处理后振荡信号的另一部分经过功分器输出,得到第一倍频信号V2,基于鉴相器的鉴频鉴相,使得分频处理后振荡信号的相位及频率锁定到基带信号V1上,从而使基带信号V1的频率信息及相位信息传递到第一倍频信号V2中,实现了超宽带波形的产生。

[0045] 在本发明的一可选实施例中,通过锁相模块将基带信号V1的频率扩展到625MHz~20GHz的超宽带频率上,压控振荡器选择跨倍频程的10~20GHz,通过第一分频器进行除1~除16分频,将频率扩展到625MHz~20GHz,该频率反馈到鉴相器中,与基带信号V1进行鉴频鉴相,使输出的第一倍频信号V2的相位及频率锁定到基带信号V1上,从而使基带信号V1的频率信息及相位信息传递到第一倍频信号V2中,实现超宽带波形产生;由于后级电路采用锁相方案实现倍频,因此基带信号V1可以选取几十MHz的窄带信号,基带信号V1的载波频率也可以降低至500MHz以下,这大大降低了基带信号V1的设计压力。

[0046] 此外,由于基带信号V1经历了锁相模块的倍频处理,因此,需要对基带信号V1进行预失真处理,而基带信号V1的正弦波信号函数为:

[0047] $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$;

[0048] 其中,A为基带信号V1的幅度, ω 为基带信号V1的角速度, φ 为基带信号V1的初相;

[0049] 倍频为信号相乘,其表达式为:

[0050] $x(t) = A^2 (\sin(\omega t + \varphi))^2$;

[0051] 根据和差化积公式可得:

[0052]
$$\begin{aligned} (\sin(\omega t + \varphi))^2 &= -0.5 \times [\cos(\omega t + \varphi + \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \varphi - \omega t - \varphi)] \\ &= -0.5 \times [\cos(2\omega t + 2\varphi) - 1] ; \end{aligned}$$

[0053] 因此,进行N倍频时,N为偶数时, $x(t) = A^N (\sin(\omega t + \varphi))^N \approx A^N (-0.5)^{N-1} \times \cos(N\omega t + N\varphi)$,

N为奇数时, $x(t) = A^N (\sin(\omega t + \varphi))^N \approx A^N (-0.5)^{N-1} \times \sin(N\omega t + N\varphi)$ 。

[0054] 从以上计算可得,N次倍频后,第一倍频信号V2与基带信号V1的关系近似为:

[0055] $f_{\text{out}} \approx N * f_{\text{ref}}$;

[0056] $\varphi_{\text{out}} \approx N * \varphi_{\text{ref}}$;

[0057] 其中, f_{out} 为第一倍频信号V2的频率, f_{ref} 为基带信号V1的频率, φ_{out} 为第一倍频信号V2的相位, φ_{ref} 为基带信号V1的相位,N为倍频次数,N为大于等于1的整数。

[0058] 可见,经过锁相模块的倍频处理后,第一倍频信号V2的频率和相位,与基带信号V1的频率和相位,近似呈倍数关系,因此,在基带信号V1进行频率及相位调制时,需要按照倍频次数N,对基带信号V1进行频率及相位的预失真处理,从而保证第一倍频信号V2得到需要的调制信号。

[0059] 详细地,如图2所示,扩频模块包括调制开关、倍频器、直通通路、第一开关及第二开关,调制开关的输入端接功分器的第一输出端,调制开关的输出端接第一开关的输入端,第一开关的第一输出端接倍频器的输入端,倍频器的输出端接第二开关的第一输入端,第一开关的第二输出端经直通通路后接第二开关的第二输入端,第二开关的输出端输出第二倍频信号V3。

[0060] 更详细地,如图2所示,通过两端设置的第一开关和第二开关,扩频模块包括两路并行设置的通路,一路通路上串有倍频器,对输入的第一倍频信号V2进行倍频处理,另一路通路是直通通路,将输入的第一倍频信号V2直接对外输出,通过两路通路的选择叠加,进一步对第一倍频信号V2进行扩频处理,得到带宽范围更大的第二倍频信号V3。

[0061] 在本发明的一可选实施例中,通过扩频模块中串有倍频器的通路将625MHz~20GHz的第一倍频信号V2倍频,实现1.25~40GHz的输出,另一路直通通路直接输出625MHz~20GHz的第一倍频信号V2,最终合成带宽为625MHz~40GHz的第二倍频信号V3。

[0062] 更详细地,如图2所示,在雷达系统中使用的调制信号波形多为脉冲调制方式,在调制信号脉宽内,有信号输出,其余时间无输出信号,采用锁相模块(或者锁相环电路)作为倍频电路时,若对基带信号V1进行脉冲调制,则当基带信号V1无信号时会导致锁相模块失锁而产生不必要的杂散信号。因此,在本发明中,于锁相模块的输出处(或者扩频模块的输入处)增加一级调制开关,通过调制开关对第一倍频信号V2进行调制,使得输入到扩频模块中的第一倍频信号V1始终保持在有信号输入状态,避免锁相模块失锁产生的杂散信号对第一倍频信号V1的干扰。

[0063] 最终,如图2所示,基于基带模块、锁相模块和扩频模块设计了本发明的超宽带波形产生电路,其通过锁相模块对基带信号的锁相倍频处理,可快速有效地将其频率扩展到超宽带频率上,得到超宽带的第二倍频信号,再通过扩频模块对第二倍频信号的扩频处理,得到频带更宽的第二倍频信号,快速高效地实现了超宽带波形产生,且对应设计结构简单、成本低廉。

[0064] 目前国外主流仪器生产商如是德科技生产的M9384B,罗德与施瓦茨生产的SMW200A均可实现输出频率高达40GHz的波形产生,可用于雷达模拟器,然而其价格均在百万元以上,尺寸为标准机箱,约500mm*450mm*200mm。而采用本发明的超宽带波形产生电路输出频率覆盖625MHz~40GHz的波形产生器尺寸仅为135mm*80mm*24mm,可在全频段内实现连续波、常规脉冲、重频抖动、重频参差、双频脉冲、接变频信号、组变信号、二相编码和线性调频等雷达常用波形的产生,其生产成本仅十万元左右,大大降低了研制成本。

[0065] 同时,基于与上述超宽带波形产生电路相同的发明构思,本发明还提供一种超宽带波形产生方法,如图3所示,其包括:

[0066] S1、提供基带信号;

[0067] S2、通过锁相环电路对基带信号进行倍频处理,得到第一倍频信号;

[0068] S3、通过扩频电路对第一倍频信号进行扩频处理,得到第二倍频信号。

[0069] 详细地,在步骤S1中,通过直接数字频率合成技术或者数模转换技术,产生基带信号。

[0070] 可选地,在提供基带信号之后,在通过锁相环电路对基带信号进行倍频处理之前,所述超宽带波形产生方法还包括:

[0071] Stp1、对基带信号进行频率及相位调制,按照倍频处理的次数,对基带信号进行频率预失真处理及相位预失真处理,进而后续倍频处理后得到满足调制要求的第一倍频信号。

[0072] 详细地,在步骤S2中,通过锁相环电路对基带信号进行至少一次倍频处理,得到第一倍频信号。其中,出于得到的第一倍频信号带宽范围的考虑,基带信号不限于一次倍频处

理,可以进行两次或两次以上的倍频处理,在此不作限定。

[0073] 可选地,在通过锁相环电路对基带信号进行倍频处理之后,在通过扩频电路对第一倍频信号进行扩频处理之前,所述超宽带波形产生方法还包括:

[0074] Stp2、通过调制开关对第一倍频信号进行调制,使得输入到扩频电路中的第一倍频信号始终保持在有信号输入状态,以避免锁相环电路失锁产生的杂散信号对第一倍频信号的干扰。

[0075] 详细地,在步骤S3中,扩频电路包括两路或两路以上并行设置的通路,每路通路或者对第一倍频信号进行直通处理,或者对第一倍频信号进行N倍扩频处理,再将各路通路的输出信号叠加合成,完成对第一倍频信号的扩频处理,得到带宽范围更大的第二倍频信号。

[0076] 此外,基于上述超宽带波形产生电路,本发明还提供一种雷达信号模拟器,其包括上述超宽带波形产生电路,通过上述超宽带波形产生电路,其能产生带宽较宽的各种雷达常用波形,且对应的尺寸体积小、成本低。

[0077] 综上所述,在本发明提供的超宽带波形产生电路及方法、雷达信号模拟器中,通过锁相模块对基带模块产生输出的基带信号的锁相倍频处理,可快速有效地将其频率扩展到超宽带频率上,得到超宽带的第二倍频信号,再通过扩频模块对第二倍频信号的扩频处理,得到频带更宽的第二倍频信号,快速高效地实现了超宽带波形产生,可在全频段内实现连续波、常规脉冲、重频抖动、重频参差、双频脉冲、接变频信号、组变信号、二相编码和线性调频等雷达常用波形的产生,且对应设计结构简单、尺寸体积小、成本低廉。

[0078] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

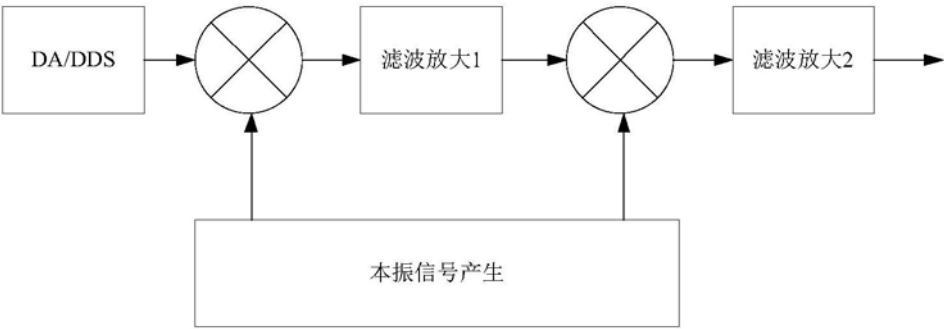


图1

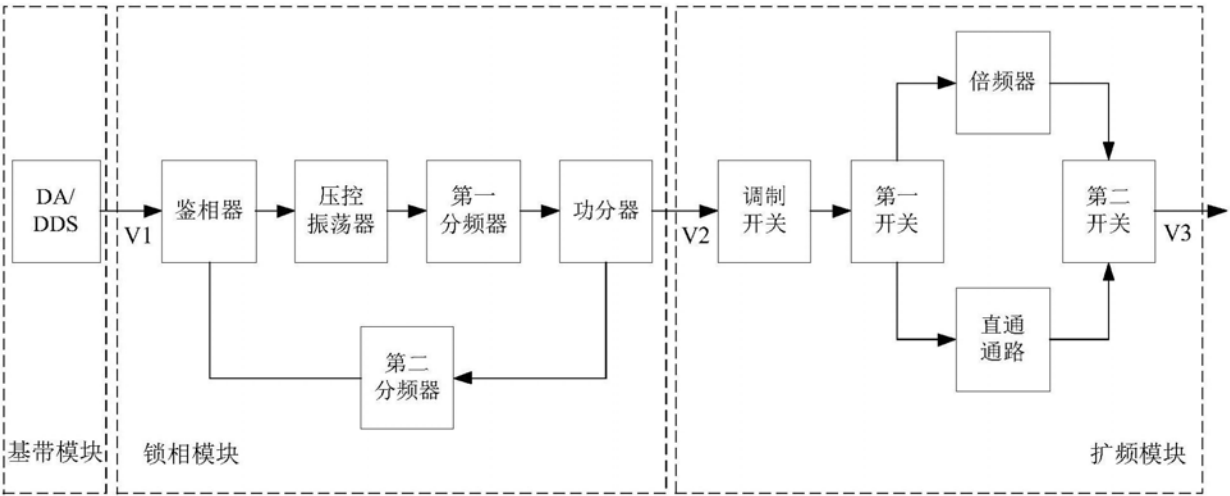


图2

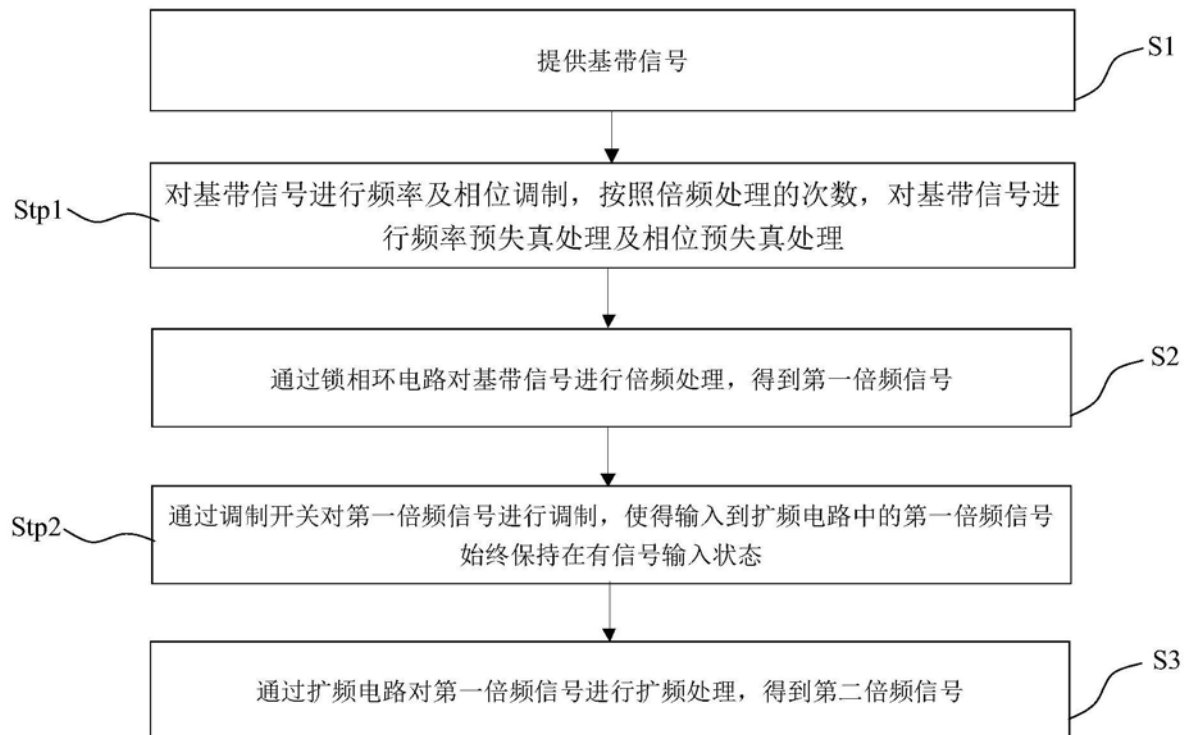


图3