



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112019192 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 04

(21) 申请号 202010873528.5

(22) 申请日 2020.08.26

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112019192 A

(43) 申请公布日 2020.12.01

(73) 专利权人 东南大学  
地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

专利权人 上海表象信息科技有限公司  
南京展芯通讯科技有限公司

(72) 发明人 张有明 唐旭升 黄风义 高语萱  
袁灿然 魏震楠 姜楠

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司  
32206

专利代理师 杜静静

(51) Int. Cl.

H03K 3/013 (2006.01)

H03K 3/02 (2006.01)

H03K 3/28 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111277223 A, 2020.06.12

DE 102006014780 A1, 2007.10.18

US 2016336810 A1, 2016.11.17

审查员 王苏

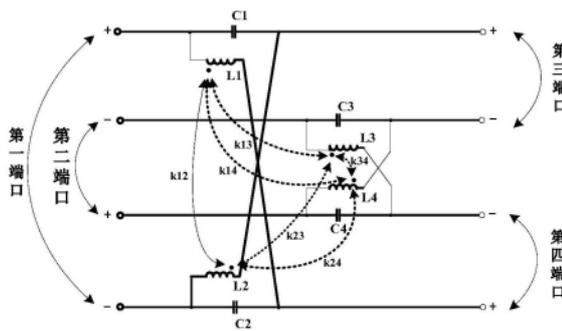
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路及其应用

(57) 摘要

本发明涉及一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,所述正交信号产生电路由电感、电容以及电感间的耦合效应实现,所述正交信号产生电路包含一个基于变压器的高阶耦合网络,其中基于变压器的高阶耦合网络为四端口网络,作为正交信号产生电路使用时,可提供较好的耦合端口隔离度,并有效抑制输出信号之间幅度、相位的不平衡问题;所述基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路可用于接收机、发射机以及移相器模块中,或可用于混频器的本振端口等电路中。



基于变压器的高阶耦合网络

1. 一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,其特征在于,所述正交信号产生电路包含一个基于变压器的高阶耦合网络;其中基于变压器的高阶耦合网络由电感、电容以及电感之间的耦合实现,构成四端口网络,每个端口连接两组电感、电容,且每组电感、电容有且仅有一端是相连的;

基于变压器的高阶耦合网络为四端口网络:包括第一端口、第二端口、第三端口和第四端口;第一端口正端包括第一支路和第二支路,第一支路包括电容C1,第二支路包括电感L1;第一端口的负端包括第三支路和第四支路,第三支路包括电容C2,第四支路包括电感L2;第二端口负端包括第五支路和第六支路,第五支路包括电容C3,第六支路包括电感L3;第二端口正端包括第七支路和第八支路,第七支路包括电容C4,第八支路包括电感L4;所述高阶耦合网络中电容C1的正端与电感L1的正端相连,电容C1的负端与电感L2的正端相连,电容C2正端与电感L2的负端相连,电容C2负端与电感L1负端相连,电容C3正端与电感L3的正端相连,电容C3负端与电感L4正端相连,电容C4正端与电感L4的负端相连,电容C4负端与电感L3负端相连;所述电感L1、L2、L3及L4之间均存在耦合;

基于变压器的高阶耦合网络作为正交信号产生电路时,第一端口的正端和第二端口的负端作为输入端,接差分信号,第一端口的负端和第二端口的正端交流接地;第三端口和第四端口作为输出端口,输出两路正交的差分信号;所述高阶耦合网络作为一端口差分输入,两端口差分输出的三端口网络使用。

2. 根据权利要求1所述的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,其特征在于,正交信号产生电路在基于变压器的高阶耦合网络的基础上还包含共源极晶体管级电路;共源极晶体管M1,M2的漏极连接到高阶耦合网络的第一端口正端和第二端口的负端,栅极作为正交信号产生电路的输入一端口和二端口,输入差分信号,M1,M2的源极接地;共源极晶体管M3,M4漏极连接到高阶耦合网络的第一端口负端和第二端口正端,栅极接电容交流接地,源极接地。

3. 根据权利要求2所述的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,其特征在于,电路中的晶体管采用CMOS射频工艺实现,电路中的电感采用片上电感和电感间的耦合实现,电容采用片上电容、片上可变电容器或电感的寄生电容实现。

4. 根据权利要求1-3任意一项所述的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,其特征在于,所述正交信号产生电路包含一个基于变压器的高阶耦合网络;所述正交信号产生电路用于接收机、发射机的电路中来提供两路互相正交的差分信号。

5. 权利要求1-3任意一项所述的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的装置,其特征在于,高阶耦合正交信号产生电路的频率1GHz~100GHz。

6. 一种应用权利要求1-3任意一项基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的移相器,其特征在于,在移相器中,移相器电路包含输入、输出匹配网络、增益调节单元、矢量合成单元以及正交信号产生电路;所述正交信号产生电路、增益调节单元、矢量合成单元设置在输入匹配网络和输出匹配网络之间;一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路在移相器电路中,位于矢量合成单元之前,将一路差分信号转换为两路相互正交的差分信号,作为后级矢量合成电路的对象。

7. 根据权利要求6所述的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的移相器,其特征在于,所述移相器输入、输出匹配网络采用L型、 $\pi$ 型或变压器匹配电路,实现功率的最大传

输;增益调节单元采用差分共源共栅放大器结构;矢量合成单元能够利用传输线完成矢量合成。

8.应用权利要求1-3任意一项基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的的混频器电路,其特征在于,混频器电路包含混频单元及功率放大单元;一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路位于混频单元的本振端口,为混频单元的本振端提供一组正交信号。

## 一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路及其应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,特别是射频/微波/毫米波集成电路领域,属于电路与系统技术领域。

### 背景技术

[0002] 正交信号产生电路在现代无线通信系统中有着重要作用,它能够将单端信号或一对差分信号转换为两路相互正交的差分信号输出。众多电路模块以及系统架构都要求高质量的正交信号,包括对正交信号的幅度和相位平衡度,带宽等均提出较高的要求。作为定向耦合器中的特例,正交信号产生电路通常使用谐振四分之一波长传输线制造。但由于谐振元件体积较大,不利于集成,因此在现代半导体电路中多采用集总元件。

[0003] 文献“Yan-Yu Huang, Hamhee Jeon, et al. An Ultra-Compact, Linearly-Controlled Variable Phase Shifter Designed With a Novel RC Poly-Phase Filter [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2012, VOL. 60, NO. 2”采用多相滤波器产生正交信号。该电路对后级寄生电容的变化相对不敏感,但每一级滤波器都会因为极点和负载效应而引入损耗,导致系统噪声性能不理想,且浪费带内功率,功耗较大。

[0004] 为了获得更好的噪声系数和低损耗,文献“Domenico Pepe, Domenico Zito. Two mm-Wave Vector Modulator Active Phase Shifters With Novel IQ Generator in 28nm FDSOI CMOS [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2017, VOL. 52, NO. 2”采用了一种单端输入差分输出的正交信号产生电路,通过调整晶体管M1和M2的尺寸及偏置电压,可以获得更低的噪声和更高的增益。但是单端输入结构对于输入信号的共模干扰抑制能力较弱,信号精度难以提高。

[0005] 综上所述,传统的射频/毫米波正交信号产生电路面临着损耗大、抗共模干扰能力弱、正交信号平衡度差等问题,而现代接收机、发射机系统中处理的多为差分信号,使用单端输入的正交信号产生电路还将引入单端转差分的模块,增加了系统的复杂程度,因此,迫切的需要一种新的方案解决上述技术问题。

### 发明内容

[0006] 本发明正是针对现有技术中存在的问题,提供一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,该方案解决了传统正交信号产生电路单端输入、信号平衡度差、带宽窄的问题,并提供具有该基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路在接收机、发射机的移相器电路或混频器电路模块中的应用,以解决传统用于射频/毫米波频段正交信号产生电路会降低系统增益、恶化噪声系数的问题。

[0007] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下,一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,所述正交信号产生电路包含一个基于变压器的高阶耦合网络;其中基于变压器的高阶耦合网络由电感、电容以及电感之间的耦合实现,构成四端口网络,每个端口连接

两组电感、电容,且每组电感、电容有且仅有一端是相连的。

[0008] 作为优选,基于变压器的高阶耦合网络为四端口网络:包括第一端口、第二端口、第三端口和第四端口;第一端口正端包括第一支路和第二支路,第一支路包括电容C1,第二支路包括电感L1;第一端口的负端包括第三支路和第四支路,第三支路包括电容C2,第四支路包括电感L2;第二端口负端包括第五支路和第六支路,第五支路包括电容C3,第六支路包括电感L3;第二端口正端包括第七支路和第八支路,第七支路包括电容C4,第八支路包括电感L4;所述高阶耦合网络中电容C1的正端与电感L1的正端相连,电容C1的负端与电感L2的正端相连,电容C2正端与电感L2的负端相连,电容C2负端与电感L1负端相连,电容C3正端与电感L3的正端相连,电容C3负端与电感L4正端相连,电容C4正端与电感L4的负端相连,电容C4负端与电感L3负端相连;所述电感L1、L2、L3及L4之间均存在耦合。

[0009] 作为优选,基于变压器的高阶耦合网络作为正交信号产生电路时,第一端口的正端和第二端口的负端接差分输入信号,第一端口的负端和第二端口的正端交流接地;差分信号经过所述基于变压器的高阶耦合网络中的电感、电容,分别产生了正负相移;第三端口和第四端口作为输出端口,输出两路相互正交的差分信号;所述四端口高阶耦合网络作为一端口差分输入,两端口差分输出的三端口网络使用。

[0010] 作为优选,正交信号产生电路在基于变压器的高阶耦合网络的基础上还包含共源极晶体管级电路;共源极晶体管M1,M2的漏极连接到高阶耦合网络的第一端口正端和第二端口的负端,栅极作为正交信号产生电路的输入一端口和二端口,输入差分信号,M1,M2的源极接地;共源极晶体管M3,M4漏极连接到高阶耦合网络的第一端口负端和第二端口正端,栅极接电容交流接地,源极接地;所述晶体管级电路可以在原有正交信号产生电路的基础上进一步提供增益。

[0011] 作为优选,电路中的晶体管采用CMOS射频工艺实现,电路中的电感采用片上电感和电感间的耦合实现,电容采用片上电容、片上可变电容或电感的寄生电容实现。

[0012] 作为优选,所述正交信号产生电路包含一个基于变压器的高阶耦合网络;所述正交信号产生电路用于接收机、发射机的电路中来提供两路互相正交的差分信号,或其他任何需要一组正交信号的应用场景中。

[0013] 一种应用基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的移相器,在移相器中,移相器电路包含输入、输出匹配网络、增益调节单元、矢量合成单元以及正交信号产生电路;所述正交信号产生电路、增益调节单元、矢量合成单元设置在输入匹配网络和输出匹配网络之间;一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路在移相器电路中,位于矢量合成单元之前,将一路差分信号转换为两路相互正交的差分信号,作为后级矢量合成电路的对象,为后级矢量合成提供一组平衡度良好的正交信号。

[0014] 应用基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的混频器电路,混频器电路包含混频单元及功率放大单元;一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路位于混频单元的本振端口,为混频单元的本振端提供一组正交信号。

[0015] 相对于现有技术,本发明具有如下优点,

[0016] 1) 该技术方案提供一种基于变压器的高阶耦合网络,输入实现差分形式,能够有效抑制共模干扰信号,解决了传统射频/毫米波频段抑制共模干扰能力不强的问题;

[0017] 2) 本发明一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,采用高阶耦合的方式,

能够获得更宽的工作带宽以及一组幅度、相位平衡度良好的正交信号,解决了传统射频/毫米波频段正交信号产生电路工作带宽窄,信号带内幅度、相位不平坦的问题;

[0018] 3) 本发明一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,能够提供较好的耦合端口隔离度,解决了传统射频/毫米波频段端口隔离度较差的问题;

[0019] 4) 本发明一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,包含共源极晶体管级电路,解决了传统用于射频/毫米波频段正交信号产生电路单元会恶化放大器的噪声系数、增益,增加直流功耗且增加系统复杂度的问题。

[0020] 5) 本发明一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,可广泛应用于移相器、混频器等电路模块或接收机、发射机中,实现两路相互正交的差分信号,具有新颖性和通用性。

### 附图说明

[0021] 图1是本发明基于变压器的高阶耦合网络的结构框图。

[0022] 图2是本发明一种具有共模干扰抑制的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的具体实施例电路原理图。

[0023] 图3是本发明一种具有增益的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的具体实施例电路原理图。

[0024] 图4是本发明一种基于高阶耦合正交信号产生电路的移相器的结构框图。

[0025] 图5是本发明一种基于高阶耦合正交信号产生电路的混频器的具体实施例原理图。

### 具体实施方式:

[0026] 为了加深对本发明的理解,下面结合附图对本实施例做详细的说明。

[0027] 实施例1:参见图1,本发明公开的一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路,由电感、电容以及电感之间的耦合效应实现,输入信号采用差分形式,输出为两路相互正交的差分信号;可以应用于移相器电路、混频器电路、放大器电路或接收机、发射机中,充当正交信号的产生器,能够抑制共模干扰并提供较好的端口隔离度。所述基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路及其应用,可以适用的频率大约为1GHz~100GHz。如图1所示,本发明实施例所述的基于变压器的高阶耦合网络,该网络为四端口网络:包括第一端口、第二端口、第三端口和第四端口。第一端口正端包括第一支路和第二支路,第一支路包括电容C1,第二支路包括电感L1;第一端口的负端包括第三支路和第四支路,第三支路包括电容C2,第四支路包括电感L2;第二端口负端包括第五支路和第六支路,第五支路包括电容C3,第六支路包括电感L3;第二端口正端包括第七支路和第八支路,第七支路包括电容C4,第八支路包括电感L4;所述高阶耦合网络中电容C1的正端与电感L1的正端相连,电容C1的负端与电感L2的正端相连,电容C2正端与电感L2的负端相连,电容C2负端与电感L1负端相连,电容C3正端与电感L3的正端相连,电容C3负端与电感L4正端相连,电容C4正端与电感L4的负端相连,电容C4负端与电感L3负端相连;所述电感L1、L2、L3及L4之间均存在耦合。

[0028] 如图2所示,是本发明实施例所述的正交信号产生电路的一种具体电路结构。基于变压器的高阶耦合网络作为正交信号产生电路时,第一端口的正端和第二端口的负端作为

输入端,接差分信号,第一端口的负端和第二端口的正端交流接地。第三端口和第四端口作为输出端口,输出两路正交的差分信号。

[0029] 如图3所示,是本发明实施例所述的正交信号产生电路的另一种具体电路结构。正交信号产生电路在基于变压器的高阶耦合网络的基础上还包含共源极晶体管级电路。共源极晶体管级电路输出接高阶耦合网络的输入。共源极晶体管M1和M2的漏极连接到高阶耦合网络输入一端口正端和输入二端口的负端,栅极作为正交信号产生电路的输入一端口和二端口,输入差分信号,源极接地;共源极晶体管M3和M4漏极连接到高阶耦合网络输入一端口负端和输入二端口正端,作为正交信号产生电路的输入三端口和四端口,栅极接电容交流接地,源极接地。

[0030] 基于变压器的高阶耦合网络由电容、电感以及电感之间的耦合效应实现,电感之间互相耦合形成变压器耦合结构,可以抑制共模干扰信号并提供较好的端口隔离度。基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路中的电感采用片上电感实现或键合线实现,电容采用片上电容或电感间的寄生电容实现。

[0031] 实施例2:本发明实施例所述的基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路可应用于移相器电路、混频器电路或接收机、发射机中,提供一组高质量的正交信号,并提供一定增益,抑制共模干扰信号。下面以移相器电路做具体说明。

[0032] 如图4所示,本发明实施例公开的一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的移相器电路,正交信号产生电路位于输入匹配网络和增益调节单元之间或者在增益调节单元和矢量合成网络之间。本发明实施例的移相器采用有源矢量合成的方式实现移相功能,包括输入、输出匹配网络、增益调节单元、矢量合成单元以及正交信号产生电路模块。所述移相器输入、输出匹配网络可采用L型、派型或变压器匹配电路,实现功率的最大传输;增益调节单元采用差分共源共栅放大器结构;矢量合成单元可利用传输线完成矢量合成。

[0033] 基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的移相器电路,输出的正交信号具有良好的平衡度,包括幅度和相位的平衡度。采用该正交信号产生电路,可以提供一组幅度、相位平衡度良好,且工作带宽宽的正交信号,同时因为可以提供一定增益,不会恶化移相器系统的噪声系数。

[0034] 实施例3:如图5所示,本发明实施例公开的一种基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路的混频器电路,包含混频器单元、功率放大器模块及正交信号产生电路;在混频器电路中,基于变压器的高阶耦合正交信号产生电路位于本振端口,用于产生一组幅度、相位平衡度良好的正交信号作为本振信号。

[0035] 需要说明的是上述实施例,并非用来限定本发明的保护范围,在上述技术方案的基础上所作出的等同变换或替代均落入本发明权利要求所保护的范围内。

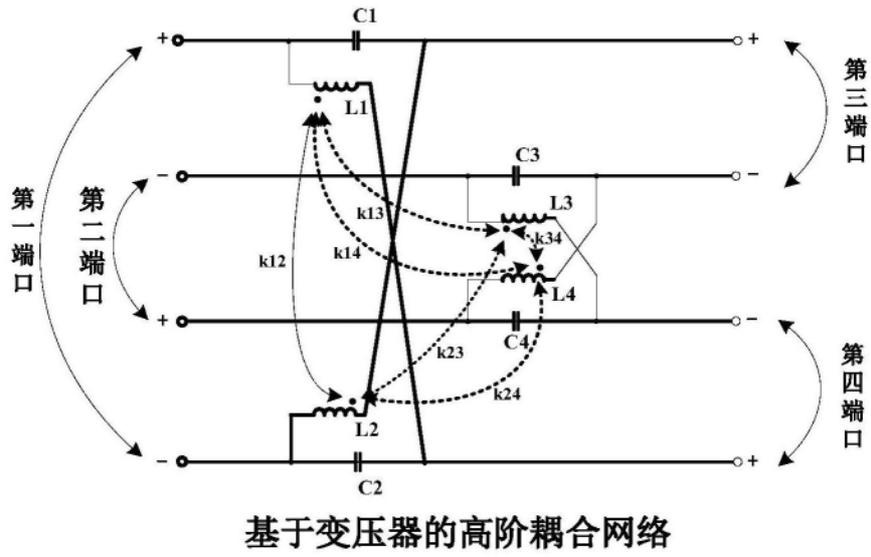


图1

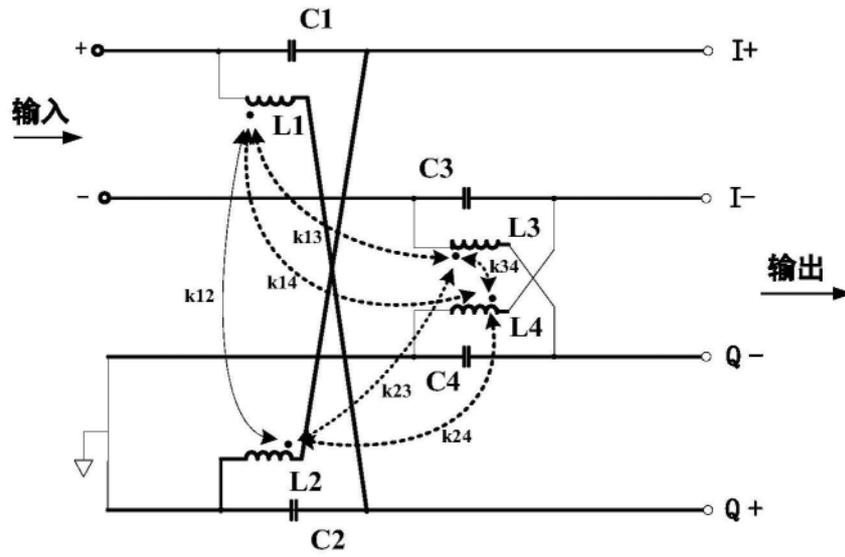


图2

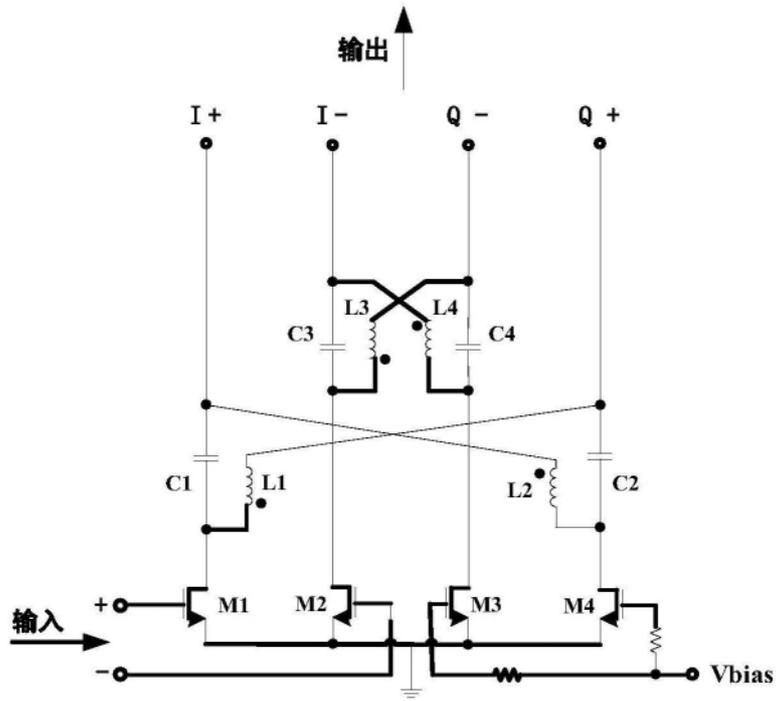


图3

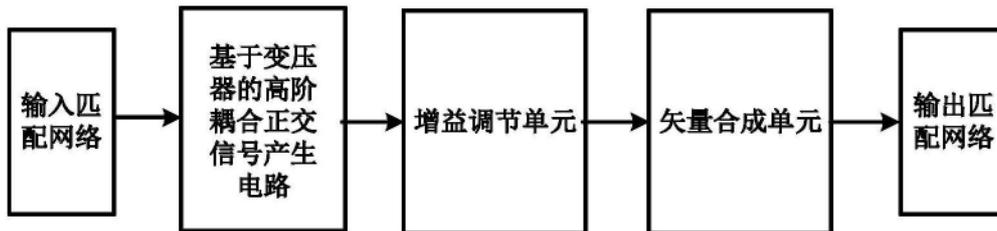
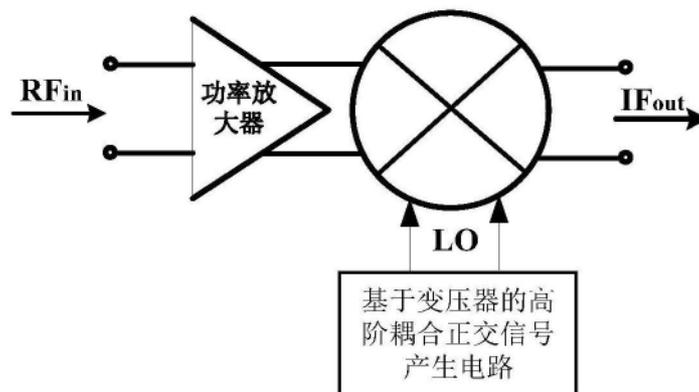


图4



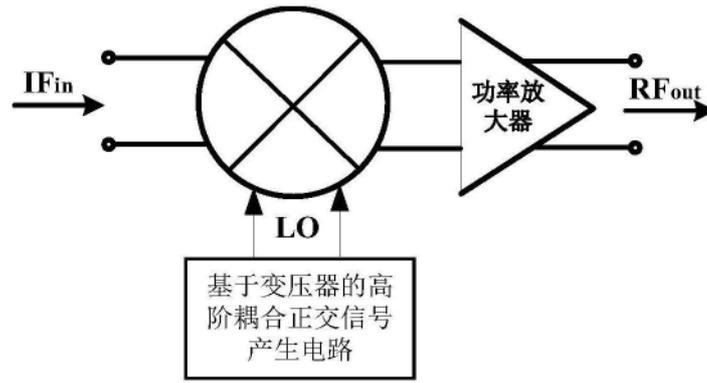


图5