



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112671428 B

(45) 授权公告日 2021.09.07

(21) 申请号 202110278454.5

H04B 1/16 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.16

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

EP 0539760 A3, 1994.01.12

申请公布号 CN 112671428 A

CN 103985965 A, 2014.08.13

CN 112152622 A, 2020.12.29

(43) 申请公布日 2021.04.16

审查员 高宇腾

(73) 专利权人 成都华兴大地科技有限公司

地址 610000 四川省成都市天府新区正兴街道顺圣路172号

(72) 发明人 龙飞 王洪全 李俊美

(74) 专利代理机构 成都点睛专利代理事务所

(普通合伙) 51232

代理人 葛启函

(51) Int. Cl.

H04B 1/401 (2015.01)

H04B 1/04 (2006.01)

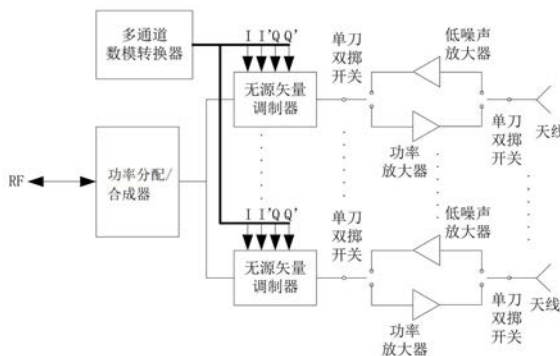
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种多通道射频信号收发幅相控制装置

(57) 摘要

一种多通道射频信号收发幅相控制装置,利用多通道数模转换器将数字控制信号转换为L条通道的幅相控制信号,各通道的无源矢量调制器根据对应通道的幅相控制信号对输入其中的射频信号进行幅相调整;当处于射频信号发送模式时,功率分配/合成器将第一射频信号分为L路第二射频信号送入L条通道;每条通道的无源矢量调制器将第二射频信号进行幅相调整后产生第三射频信号并在开关单元的控制下经过第一放大器后由天线单元发送;当处于射频信号接收模式时,每条通道的天线单元接收第四射频信号并在开关单元的控制下经过第二放大器后送入无源矢量调制器中进行幅相调整产生第五射频信号,功率分配/合成器将L个第五射频信号合成为一路。



1. 一种多通道射频信号收发幅相控制装置,其特征在於,包括功率分配/合成器、多通道数模转换器和L条通道,L为大于1的正整数,每条通道包括无源矢量调制器、开关单元、第一放大器、第二放大器和天线单元;所述多通道数模转换器用于将数字控制信号进行转换得到L条通道的幅相控制信号,各条通道的所述无源矢量调制器根据所述多通道数模转换器产生的对应通道的幅相控制信号对输入其中的射频信号进行幅度和相位的调整;

当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号发送模式时,所述功率分配/合成器将第一射频信号分为L路功率相等的第二射频信号后分别送入所述L条通道;每条通道中,由所述无源矢量调制器将所述第二射频信号进行幅度和相位的调整后产生第三射频信号,在所述开关单元的控制下将所述第三射频信号经过第一放大器进行放大后由所述天线单元发送;

当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号接收模式时,每条通道中,所述天线单元接收第四射频信号,在所述开关单元的控制下将所述第四射频信号经过第二放大器进行放大后送入所述无源矢量调制器中进行幅度和相位的调整并产生第五射频信号;所述功率分配/合成器将L条通道产生的L个第五射频信号合成为一路;

每条通道内,所述开关单元包括第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关,所述第一单刀双掷开关的第一连接端连接所述无源矢量调制器的第一连接端,其第二连接端连接所述第一放大器的输入端,其第三连接端连接所述第二放大器的输出端;所述第二单刀双掷开关的第一连接端连接所述天线单元的第一连接端,其第二连接端连接所述第一放大器的输出端,其第三连接端连接所述第二放大器的输入端;

当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号发送模式时,所述无源矢量调制器的第二连接端连接所述第二射频信号,其第一连接端输出所述第三射频信号;所述第一单刀双掷开关的第一连接端和第二连接端接通,所述第二单刀双掷开关的第一连接端和第二连接端接通,所述第一放大器工作;所述天线单元的第二连接端发射所述第三射频信号经过所述第一放大器进行放大后的信号;

当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号接收模式时,所述天线单元的第二连接端接收所述第四射频信号,所述第一单刀双掷开关的第一连接端和第三连接端接通,所述第二单刀双掷开关的第一连接端和第三连接端接通,所述第二放大器工作;所述无源矢量调制器的第一连接端接收所述第四射频信号经过所述第二放大器进行放大后信号,其第二连接端输出所述第五射频信号;

所述无源矢量调制器包括耦合器、双相调制器、衰减器和同相合路器,所述耦合器用于将所述无源矢量调制器的输入射频信号分为等幅正交的两路信号,所述双相调制器和所述衰减器根据所述多通道数模转换器产生的本通道的幅相控制信号将所述耦合器输出的两路信号进行转换得到四路相位分别相差 $90^\circ$ 且幅度经过调整的信号,所述同相合路器用于将所述四路相位分别相差 $90^\circ$ 且幅度经过调整的信号进行矢量相加得到幅度和相位连续可调的所述无源矢量调制器的输出射频信号;

所述多通道数模转换器包括数字信号接收处理模块、电平转换模块、校准模块和数字-模拟转换模块;

所述数字信号接收处理模块用于接收M位二进制的所述数字控制信号,并将M位二进制的所述数字控制信号进行译码获得N个译码数字信号,M和N均为大于1的正整数,且 $N>M$ ;

所述电平转换模块用于接收内部参考电压和所述N个译码数字信号,并根据所述N个译码数字信号将所述内部参考电压转换成N个子参考电平;

所述数字-模拟转换模块包括N个DAC数据寄存器、N个R-2R电阻网络和N个电流-电压转换单元;

所述数字信号接收处理模块每次接收所述数字控制信号后存入一个所述DAC数据寄存器中,N个所述DAC数据寄存器分别存储所述数字信号接收处理模块N次接收的所述数字控制信号;

N个所述DAC数据寄存器分别将其存储的所述数字控制信号输出给N个所述R-2R电阻网络;每个所述R-2R电阻网络用于根据所述数字控制信号将一个所述子参考电平转换为对应的输出电流,则N个所述R-2R电阻网络分别将N个所述子参考电平转换为对应的输出电流;

所述N个电流-电压转换单元分别用于将N个所述R-2R电阻网络的输出电流转换为对应的输出电压,所述N个电流-电压转换单元共产生4L个输出电压作为所述L条通道的幅相控制信号;

所述校准模块用于对所述多通道数模转换器进行校准,包括增益校准和失调校准。

2. 根据权利要求1所述的多通道射频信号收发幅相控制装置,其特征在于,所述电流-电压转换单元包括跨阻放大器,所述跨阻放大器的输入端连接所述R-2R电阻网络的输出电流,其输出端产生对应的输出电压;当所述R-2R电阻网络产生多个输出电流时,所述电流-电压转换单元设置对应个数的跨阻放大器,将所述R-2R电阻网络产生的每一个输出电流都转换为对应的输出电压。

3. 根据权利要求1所述的多通道射频信号收发幅相控制装置,其特征在于,所述功率分配/合成器、无源矢量调制器、开关单元、第一放大器和第二放大器均采用GaAs pHEMT工艺单片集成电路,所述天线单元采用PCB贴片天线,所述多通道数模转换器采用CMOS工艺。

4. 根据权利要求3所述的多通道射频信号收发幅相控制装置,其特征在于,将所述功率分配/合成器、多通道数模转换器以及L条通道中的无源矢量调制器、开关单元、第一放大器、第二放大器和天线单元均使用裸芯片形式粘接在多层微波板上,并通过微组装工艺利用金丝将各个裸芯片和微波板进行连接,采用金属腔体和盖板将所有裸芯片和微波板进行封装。

## 一种多通道射频信号收发幅相控制装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于射频信号收发、集成电路设计技术领域,涉及一种多通道射频信号收发幅相控制装置。

### 背景技术

[0002] 多通道射频信号收发组件常用于无线通讯或雷达系统,通过控制收发组件的幅度和相位,可调整射频信号的发射功率和角度。目前大多采用多款集成电路实现多通道射频信号收发组件的幅相控制功能,主要缺点是体积大、收发切换速度慢(us级)、精度低(小于6位)、功耗大、效率低,使得该类组件在某些特定应用场景下受限。

### 发明内容

[0003] 针对传统采用集成电路实现多通道射频信号收发组件的幅相控制方案在体积、速度、精度、功耗和效率等方面的不足之处,本发明提出一种多通道射频信号收发幅相控制装置,能够集成在芯片内,使得组件能够实现小型化,另外本发明还具有高速、高精度、低功耗和高效率的幅相控制技术效果。

[0004] 为实现上述发明目的,采用的技术方案是:

[0005] 一种多通道射频信号收发幅相控制装置,包括功率分配/合成器、多通道数模转换器和L条通道,L为大于1的正整数,每条通道包括无源矢量调制器、开关单元、第一放大器、第二放大器和天线单元;所述多通道数模转换器用于将数字控制信号进行转换得到L条通道的幅相控制信号,各条通道的所述无源矢量调制器根据所述多通道数模转换器产生的对应通道的幅相控制信号对输入其中的射频信号进行幅度和相位的调整;

[0006] 当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号发送模式时,所述功率分配/合成器将第一射频信号分为L路功率相等的第二射频信号后分别送入所述L条通道;每条通道中,由所述无源矢量调制器将所述第二射频信号进行幅度和相位的调整后产生第三射频信号,在所述开关单元的控制下将所述第三射频信号经过第一放大器进行放大后由所述天线单元发送;

[0007] 当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号接收模式时,每条通道中,所述天线单元接收第四射频信号,在所述开关单元的控制下将所述第四射频信号经过第二放大器进行放大后送入所述无源矢量调制器中进行幅度和相位的调整并产生第五射频信号;所述功率分配/合成器将L条通道产生的L个第五射频信号合成为一路。

[0008] 具体的,每条通道内,所述开关单元包括第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关,所述第一单刀双掷开关的第一连接端连接所述无源矢量调制器的第一连接端,其第二连接端连接所述第一放大器的输入端,其第三连接端连接所述第二放大器的输出端;所述第二单刀双掷开关的第一连接端连接所述天线单元的第一连接端,其第二连接端连接所述第一放大器的输出端,其第三连接端连接所述第二放大器的输入端;

[0009] 当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号发送模式时,所述无源矢

量调制器的第二连接端连接所述第二射频信号,其第一连接端输出所述第三射频信号;所述第一单刀双掷开关的第一连接端和第二连接端接通,所述第二单刀双掷开关的第一连接端和第二连接端接通,所述第一放大器工作;所述天线单元的第二连接端发射所述第三射频信号经过所述第一放大器进行放大后的信号;

[0010] 当所述多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号接收模式时,所述天线单元的第二连接端接收所述第四射频信号,所述第一单刀双掷开关的第一连接端和第三连接端接通,所述第二单刀双掷开关的第一连接端和第三连接端接通,所述第二放大器工作;所述无源矢量调制器的第一连接端接收所述第四射频信号经过所述第二放大器进行放大后信号,其第二连接端输出所述第五射频信号。

[0011] 具体的,所述无源矢量调制器包括耦合器、双相调制器、衰减器和同相合路器,所述耦合器用于将所述无源矢量调制器的输入射频信号分为等幅正交的两路信号,所述双相调制器和所述衰减器根据所述多通道数模转换器产生的本通道的幅相控制信号将所述耦合器输出的两路信号进行转换得到四路相位分别相差 $90^\circ$ 且幅度经过调整的信号,所述同相合路器用于将所述四路相位分别相差 $90^\circ$ 且幅度经过调整的信号进行矢量相加得到幅度和相位连续可调的所述无源矢量调制器的输出射频信号。

[0012] 具体的,所述多通道数模转换器包括数字信号接收处理模块、电平转换模块、校准模块和数字-模拟转换模块;

[0013] 所述数字信号接收处理模块用于接收M位二进制的所述数字控制信号,并将M位二进制的所述数字控制信号进行译码获得N个译码数字信号,M和N均为大于1的正整数,且 $N > M$ ;

[0014] 所述电平转换模块用于接收内部参考电压和所述N个译码数字信号,并根据所述N个译码数字信号将所述内部参考电压转换成N个子参考电平;

[0015] 所述数字-模拟转换模块包括N个DAC数据寄存器、N个R-2R电阻网络和N个电流-电压转换单元;

[0016] 所述数字信号接收处理模块每次接收所述数字控制信号后存入一个所述DAC数据寄存器中,N个所述DAC数据寄存器分别存储所述数字信号接收处理模块N次接收的所述数字控制信号;

[0017] N个所述DAC数据寄存器分别将其存储的所述数字控制信号输出给N个所述R-2R电阻网络;每个所述R-2R电阻网络用于根据所述数字控制信号将一个所述子参考电平转换为对应的输出电流,则N个所述R-2R电阻网络分别将N个所述子参考电平转换为对应的输出电流;

[0018] 所述N个电流-电压转换单元分别用于将N个所述R-2R电阻网络的输出电流转换为对应的输出电压,所述N个电流-电压转换单元共产生4L个输出电压作为所述L条通道的幅相控制信号;

[0019] 所述校准模块用于对所述多通道数模转换器进行校准,包括增益校准和失调校准。

[0020] 具体的,所述电流-电压转换单元包括跨阻放大器,所述跨阻放大器的输入端连接所述R-2R电阻网络的输出电流,其输出端产生对应的输出电压;当所述R-2R电阻网络产生多个输出电流时,所述电流-电压转换单元设置对应个数的跨阻放大器,将所述R-2R电阻网

络产生的每一个输出电流都转换为对应的输出电压。

[0021] 具体的,所述功率分配/合成器、无源矢量调制器、开关单元、第一放大器和第二放大器均采用GaAs pHEMT工艺单片集成电路,所述天线单元采用PCB贴片天线,所述多通道数模转换器采用CMOS工艺。

[0022] 具体的,将所述功率分配/合成器、多通道数模转换器以及L条通道中的无源矢量调制器、开关单元、第一放大器、第二放大器和天线单元均使用裸芯片形式粘接在多层微波板上,并通过微组工艺利用金丝将各个裸芯片和微波板进行连接,采用金属腔体和盖板将所有裸芯片和微波板进行封装。

[0023] 本发明的有益效果是:本发明提出的多通道射频信号收发幅相控制装置,能够将多通道数模转换器 and 无源矢量调制器都采用单芯片方式实现,大大缩小了多通道射频信号收发组件的体积与功耗;能够实现多个通道的射频信号进行幅度和相位的控制;本发明使用的多通道数模转换器采用高速电路设计制造,其数模转换分辨率可高到12位,实现了幅相高分辨率控制,可实现射频信号收发功能以及波束指向的高速切换。

## 附图说明

[0024] 下面的附图有助于更好地理解下述对本发明不同实施例的描述,这些附图示意性地示出了本发明一些实施方式的主要特征。这些附图和实施例以非限制性、非穷举性的方式提供了本发明的一些实施例。为简明起见,不同附图中具有相同功能的相同或类似的组件或结构采用相同的附图标记。

[0025] 图1是本发明提出的一种多通道射频信号收发幅相控制装置的结构框图。

[0026] 图2是本发明提出的一种多通道射频信号收发幅相控制装置中多通道数模转换器采用的一种实现框图。

## 具体实施方式

[0027] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明进行详细地说明。显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 如图1所示,本发明提出的一种多通道射频信号收发幅相控制装置包括功率分配/合成器、多通道数模转换器和L条通道,L为大于1的正整数。其中多通道数模转换器用于将外部输入的数字控制信号进行转换得到L条通道的幅相控制信号,多通道数模转换器产生的L条通道各自的幅相控制信号可以是不同的,从而对L条通道内的射频信号进行不同的幅度和相位控制。每条通道都包括无源矢量调制器、开关单元、第一放大器、第二放大器和天线单元,多通道数模转换器产生的L条通道的幅相控制信号是通过各条通道内无源矢量调制器来实现对射频信号的幅度和相位调整。

[0029] 功率分配/合成器既可以作为功率分配器使用,将射频信号能量分成多路输出相等能量,也可以作为功率合成器使用,将多路射频信号能量合成一路输出,根据对应的工作模式确定;开关单元也用于根据不同的工作模式控制第一放大器或第二放大器工作。如图1所示,一些实施例中每条通道内的开关单元包括第一单刀双掷开关和第二单刀双掷开关,

第一单刀双掷开关的第一连接端连接无源矢量调制器的第一连接端,其第二连接端连接第一放大器的输入端,其第三连接端连接第二放大器的输出端;第二单刀双掷开关的第一连接端连接天线单元的第一连接端,其第二连接端连接第一放大器的输出端,其第三连接端连接第二放大器的输入端。通过单刀双掷开关的控制实现射频收发信号的分时导通路径切换,单刀双掷开关可采用吸收式单刀多掷开关芯片,开关通道数由后级天线单元数量决定,开关速度小于 $4L_s$ ,芯片采用GaAs pHEMT工艺制造,具有较大的输入P1dB功率。第一放大器可采用功率放大器芯片,用于为射频发射信号提供放大作用;第二放大器可采用低噪声的放大器芯片,用于为射频接收信号提供噪声系数很低的放大作用。天线单元用于为射频收发信号提供电和磁的变换,可采用微带传输线贴片形式印刷在电路板上,通过微带传输线与单刀双掷开关单元相连,将电信号转换成电磁波。

[0030] 当多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号发送模式时,射频信号在图1结构中的传输方向为从左边的功率分配/合成器输入,从右边的天线单元输出;首先由功率分配/合成器实现功率分配作用,将第一射频信号分为L路功率相等的第二射频信号后分别送入L条通道;然后在每条通道中,无源矢量调制器的第二连接端连接第二射频信号,由无源矢量调制器将第二射频信号进行幅度和相位的调整后产生第三射频信号并从无源矢量调制器的第一连接端输出,最后利用开关单元的控制,将第一单刀双掷开关的第一连接端和第二连接端接通,第二单刀双掷开关的第一连接端和第二连接端接通,使得第一放大器工作,第三射频信号被第一放大器放大并输出至天线单元的第一连接端,第三射频信号经过第一放大器进行放大后的信号从天线单元的第二连接端发送出去。

[0031] 当多通道射频信号收发幅相控制装置处于射频信号接收模式时,射频信号在图1结构中的传输方向为从右边的天线单元输入,从左边的功率分配/合成器输出;首先在每条通道中,由天线单元的第二连接端接收第四射频信号,然后利用开关单元的控制,将第一单刀双掷开关的第一连接端和第三连接端接通,第二单刀双掷开关的第一连接端和第三连接端接通,使得第二放大器工作,天线单元接收的第四射频信号从天线单元的第一连接端送入第二放大器放大,放大后射频信号连接到无源矢量调制器的第一连接端,在无源矢量调制器中进行幅度和相位的调整后产生第五射频信号并从无源矢量调制器的第二连接端输出;最后由功率分配/合成器实现功率合成作用,将L条通道产生的L个第五射频信号合成为一路。

[0032] 无源矢量调制器用于对输入其中的射频信号进行幅度和相位的控制,将输入其中的射频信号正交等分,经过调幅后同相合成得到调幅调相的射频输出信号,射频信号的调幅调相误差最小。一些实施例中无源矢量调制器采用I-Q调制原理,能够实现对任意输入其中的射频信号进行 $0-360^\circ$ 范围内的相位调整和大于30dB的幅度调整,包括耦合器、双相调制器、衰减器和同相合路器;耦合器可采用Lange耦合器,3dB正交的Lange耦合器将输入到无源矢量调制器中的射频信号分为等幅正交的I和Q两路信号,I和Q两路信号再分别经过双相调制器和衰减器进行转换得到I、I'、Q和Q'四路信号,根据本通道的幅相控制信号(该幅相控制信号包括I、I'、Q和Q'四路的幅相控制信号)得到相位分别相差 $90^\circ$ 且幅度经过调整的信号,最后利用同相合路器将四路相位分别相差 $90^\circ$ 且幅度经过调整的信号进行矢量相加得到幅度和相位连续可调的无源矢量调制器的输出射频信号。

[0033] 多通道数模转换器用于根据外部输入的数字控制信号产生L条通道的幅相控制信

号,实施例中无源矢量调制器将输入其中的射频信号分为I、I'、Q和Q'四路,每一路都有各自对应的幅相控制信号,因此多通道数模转换器共需产生 $4L$ 个幅相控制信号。以 $L=4$ 为例,多通道数模转换器需要产生16个幅相控制信号,即多通道数模转换器至少需要有16个通道。

[0034] 如图2所示给出了多通道数模转换器的一种实现结构,包括数字信号接收处理模块、电平转换模块、校准模块和数字-模拟转换模块;其中数字信号接收处理模块用于接收M位二进制的数字控制信号,并将M位二进制的数字控制信号进行译码获得N个译码数字信号,数字控制信号的分辨率为K位,K、M和N均为大于1的正整数,且 $N>M$ 。

[0035] 一些实施例中,数字信号接收处理模块采用串行外设接口2(Serial Peripheral Interface,SPI接口)进行通信,串行外设接口2是高速全双工同步通信总线,采用4线接口进行通信,接收4位二进制的数字控制信号,从而可以节省系统体积,提高通信速率。本实施例提出的多通道数模转换器可为4个射频通道提供幅相控制功能,采用串行外设接口2可以节省系统内部的通信线数量,设置4位二进制的数字控制信号的分辨率为12位,即 $M=4$ , $K=12$ 。另外实施例中数字信号接收处理模块可采用译码器3将4位二进制的数字控制信号转换成16个译码数字信号, $N=16$ ,这16个译码数字信号是用于控制电平转换模块4将内部参考电压转换为16个子参考电平用于控制芯片内所有数字电路。数字信号接收处理模块获取数字控制信号是按帧长度,分多次获取。

[0036] 电平转换模块4用于接收内部参考电压和数字信号接收处理模块产生的N个译码数字信号,并根据N个译码数字信号将内部参考电压转换成N个子参考电平;如本实施例中译码器3将4位二进制的数字控制信号转换成16个译码数字信号,则电平转换模块4将内部参考电压对应转换为16个子参考电平,例如可将16个子参考电平均分布于 $0\sim 1.6V$ 之间;这16个子参考电平可以为后级增益校准电路6、R-2R电阻网络8和失调校准电路9提供所需的电平,从而进行增益、失调校准和数字-模拟转换。

[0037] 内部参考电压可以通过设置参考电压处理模块1来产生,参考电压处理模块1包括缓冲放大器,缓冲放大器的输入端连接外部输入参考电压,其输出端产生具有足够驱动能力且稳定的内部参考电压。一些实施例中,缓冲放大器可采用单位增益放大器的方式实现,能够起到较好隔离作用;缓冲放大器可以为两级结构,第一级采用共源级差分对折叠结构,第二级采用共源共栅结构提供较大增益。内部参考电压用于为芯片提供所有的参考电平,参考电压处理模块1可为内部参考电压提供足够大的驱动能力,并且在输入信号有干扰时能较好的保护内部信号,提高芯片抗干扰能力。

[0038] 数字-模拟转换模块(Digital to Analog Converter,数模转换)包括N个DAC数据寄存器7、N个R-2R电阻网络8和N个电流-电压转换单元11,电流-电压转换单元11结合DAC数据寄存器7、R-2R电阻网络8可实现波束的快速转换。

[0039] 其中DAC数据寄存器7用于存储数字信号接收处理模块接收的数字控制信号并输出给R-2R电阻网络,如本实施例中DAC数据寄存器7存储串行外设接口2接收的12位DAC的数字信号,串行外设接口2每接收一次就存入一个DAC数据寄存器7中,接收16次就存入16个DAC数据寄存器7中。

[0040] R-2R电阻网络8用于根据DAC数据寄存器7存储的数字控制信号将一个子参考电平转换为对应的输出电流,本实施例中将16个DAC数据寄存器7分别输出给16个R-2R电阻网络



8,16个R-2R电阻网络8分别将16个子参考电平转换为对应的输出电流。单个R-2R电阻网络8的工作过程是通过将一个子参考电平分成多个电位,如可以分成1024个电位,分布于0~1.6V之间,从1024个电位中选取一个或多个电位产生对应的输出电流。

[0041] 电流-电压转换单元用于将R-2R电阻网络的输出电流转换为对应的输出电压并作为多通道数模转换器的模拟输出信号;由于R-2R电阻网络8将子参考电平成分布于0~1.6V之间的1024个电位,则电流-电压转换单元可实现0~1.6V内的模拟电压输出。

[0042] 当R-2R电阻网络8产生多个输出电流时,电流-电压转换单元11也设置对应个数的跨阻放大器,从而将R-2R电阻网络产生的每一个输出电流都转换为对应的输出电压,跨阻放大器的作用是将前级电流信号转换为电压信号,其转换速度较快,能在100Ls内完成转换。如图2所示,一个R-2R电阻网络产生2个输出电流,一个电流-电压转换单元包括两个跨阻放大器TIA-A和TIA-B分别将R-2R电阻网络的2个输出电流转换成2个输出电压VOUT\_A和VOUT\_B。当将本发明的多通道数模转换器用于4个射频通道的幅相控制时,4个射频通道共需要16个幅相控制信号,令N=8,8个R-2R电阻网络各产生两个输出电流,一个电流-电压转换单元设置两个跨阻放大器产生对应的两个输出电压VOUT\_A和VOUT\_B,设置输出电压VOUT\_A和VOUT\_B反相,则输出电压VOUT\_A和VOUT\_B可以用于I和I' 两路的幅相控制,或用于Q和Q' 两路的幅相控制。I、I'、Q、Q' 四路都包含了输入信号的幅度和相位信号控制,对无源矢量调制器输入射频信号的相位和幅度控制是靠这四个信号组合而成。

[0043] 校准模块用于对多通道数模转换器进行校准,包括增益校准和失调校准。如图2所示,校准模块的增益校准采用第二一次性可编程存储器单元5和增益校准电路6实现,本实施例中6位e-fuse单元(即第二一次性可编程存储器单元5)用于进行增益校准,增益误差调整范围为1.5~1.7V,6位e-fuse单元可一次性修调200mV内的64个电平。增益校准电路6利用前级不同的电平配合e-fuse选择,减小电路中因制造而带来的增益误差,最小增益误差调整范围是3mV。

[0044] 如图2所示,校准模块的失调校准采用第一一次性可编程存储器单元10和失调校准电路9实现,本实施例中5位e-fuse单元(即第一一次性可编程存储器单元10)用于进行失调校准,失调误差调整范围为-0.1~0.1V,可一次性修调200mV内的32个电平;失调校准电路9配合e-fuse可减小电路中的失调误差,最小失调误差调整范围是6.4mV。e-fuse单元能够将芯片制造时产生的误差修正到较小值。

[0045] 一些实施例中,多通道数模转换器还设置了用于监控内部状态的缓冲放大器12,缓冲放大器12的输入端连接电流-电压转换单元11产生的输出电压,其输出端产生表征内部状态的标志信号。例如实施例中设置两个缓冲放大器12,分别根据电流-电压转换单元11产生的两个输出电压VOUT\_A和VOUT\_B产生两个标志信号MOUT\_A和MOUT\_B,根据标志信号MOUT\_A和MOUT\_B可监控芯片的内部状态。

[0046] 本发明中功率分配/合成器、无源矢量调制器、开关单元、第一放大器和第二放大器均可采用GaAs pHEMT工艺单片集成电路,天线单元可采用PCB贴片天线,多通道数模转换器可采用CMOS工艺,多通道数模转换器芯片内集成多通道、高精度、高速、低功耗数模转换器。将上述所有单元均使用裸片形式粘接在多层微波板上,使用微组装工艺将25um直径的金丝连接裸片及微波板,最后采用金属腔体和盖板封装。一些实施例中,功率分配/合成器采用砷化镓工艺制造,使用Wilkinson结构,端口为50欧姆阻抗匹配,功率分配/合成器的通

道数由天线单元的个数决定,可以是2、4或8等,组成子阵方式,将1个射频信号等功率地分为多通道,或者将多个射频信号合成1个。

[0047] 综上所述,本发明自主设计了多通道数模转换器和无源矢量调制器作为射频信号收发幅相控制的核心结构,能够利用CMOS工艺设计和制造多通道高速数模转换芯片,利用GaAs工艺设计和制造毫米波无源矢量调制器芯片,使得组件能够实现小型化(芯片级封装实现小体积)、高速(Ls级,波束切换速度可小于100Ls)、高精度(调幅调相分辨率大于12位)、低功耗(小于30mW/通道)、高效率的幅相控制,可以满足5G通信、低轨卫星通信等领域应用。

[0048] 上面结合附图对本发明的具体实施方式进行了详细说明,但本发明并不限于上述实施方式,在不脱离本申请的权利要求的精神和范围情况下,本领域的技术人员可以做出各种修改和优化。

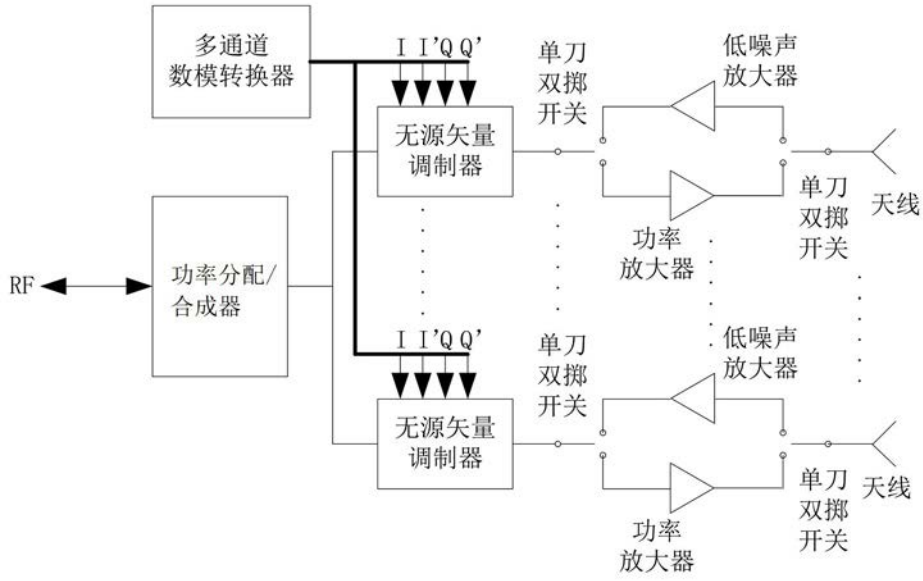


图1

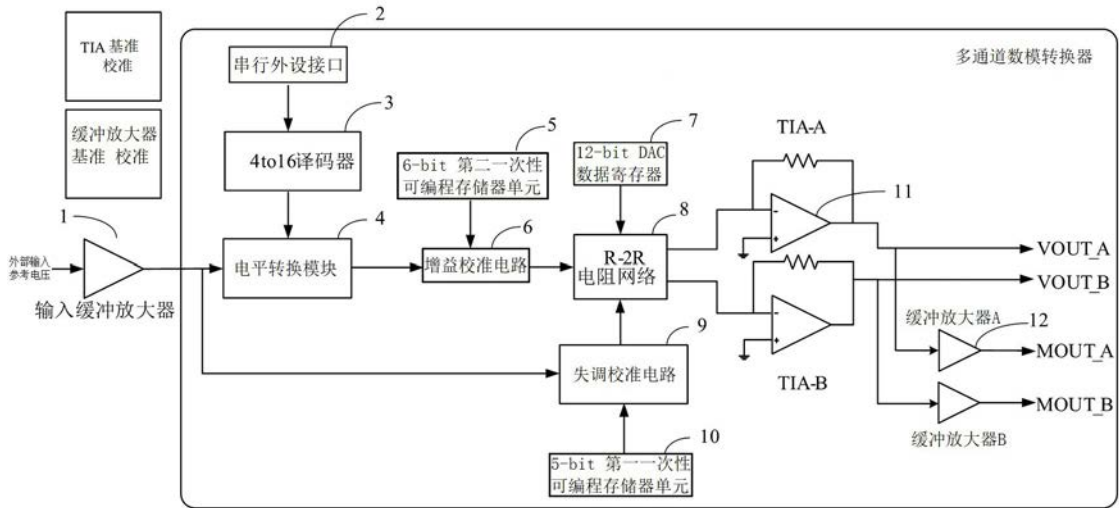


图2