



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106936397 A

(43)申请公布日 2017. 07. 07

(21)申请号 201710148420.8

(22)申请日 2017.03.14

(71)申请人 中国电子科技集团公司第二十四研究所

地址 400060 重庆市南岸区南坪花园路14号

(72)发明人 刘成鹏 蒲颜 王国强 邹伟

(74)专利代理机构 重庆乐泰知识产权代理事务所(普通合伙) 50221

代理人 刘佳

(51)Int. Cl.

H03F 1/56(2006.01)

H03F 3/19(2006.01)

H03F 3/24(2006.01)

H03F 3/68(2006.01)

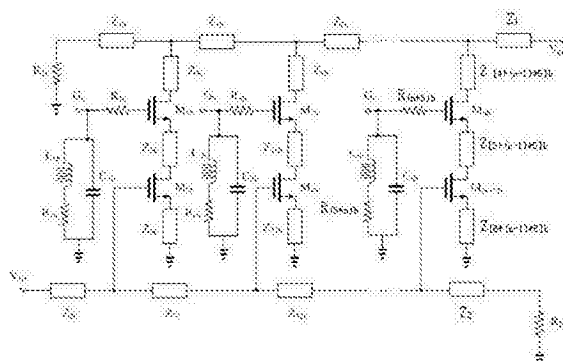
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

高平坦度宽带放大器

(57)摘要

本发明提供一种高平坦度宽带放大器,包括分布式放大器和反馈补偿电路,所述反馈补偿电路中各个反馈补偿支路的一端分别连接所述分布式放大器中对应晶体管的控制端,另一端接地,所述反馈补偿支路将对应大小的阻抗接入对应晶体管的控制端,以使所述晶体管的寄生参数为可变参数,所述寄生参数影响人工传输线的截止频率随输入信号频率的变化而变化,从而对所述分布式放大器的平坦度进行优化。



1. 一种高平坦度宽带放大器,其特征在于,包括分布式放大器和反馈补偿电路,所述反馈补偿电路中各个反馈补偿支路的一端分别连接所述分布式放大器中对应晶体管的控制端,另一端接地,所述反馈补偿支路将对应大小的阻抗接入对应晶体管的控制端,以使所述晶体管的寄生参数为可变参数,所述寄生参数影响人工传输线的截止频率随输入信号频率的变化而变化,从而对所述分布式放大器的平坦度进行优化。

2. 根据权利要求1所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,每个反馈补偿支路都包括第一电阻、第一电感和第一电容,所述第一电阻与第一电感串联后与所述第一电容并联,其中一个并联节点连接所述分布式放大器中对应晶体管的控制端,另一个并联节点接地。

3. 根据权利要求2所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,所述第一电阻为在区间 $500\ \Omega \sim 5000\ \Omega$ 取值的高值电阻,所述第一电感为在区间 $0.05\text{nH} \sim 0.5\text{nH}$ 取值的低值电感,所述第一电容为在区间 $0.5\text{pF} \sim 3\text{pF}$ 取值的低值电容。

4. 根据权利要求1所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,所述分布式放大器包括多个放大级电路、第一微带线和第二微带线,每个放大级电路都包括输入微带线、输出微带线、第三微带线、第四微带线、第五微带线、第一晶体管和第二晶体管,针对每个放大级电路,其第一晶体管的控制端连接对应反馈补偿支路并用于接收射频信号,第一端通过所述第三微带线连接其输出微带线的第二端,其第一晶体的第二端通过所述第四微带线连接第二晶体的第一端,所述第二晶体的第二端通过所述第五微带线接地,所述第二晶体的控制端连接其输入微带线的第二端;

其中针对首个放大级电路,其输出微带线的第一端接地,第二端连接下一放大级电路中输出微带线的第一端,输入微带线的第一端用于接收输入信号,第二端连接下一放大级电路中输入微带线的第一端;针对末尾放大级电路,其输出微带线的第一端连接上一放大级电路中输出微带线的第二端,第二端通过所述第一微带线输出信号,其输入微带线的第一端连接上一放大级电路中第二微带线的第二端,第二端通过所述第二微带线接地。

5. 根据权利要求4所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,针对中间放大级电路,其输出微带线的第一端连接上一放大级电路中输出微带线的第二端,第二端连接下一放大级电路中输出微带线的第一端,其输入微带线的第一端连接上一放大级电路中输入微带线的第二端,第二端连接下一放大级电路中输入微带线的第一端。

6. 根据权利要求4所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,所述分布式放大器还包括第一匹配电阻,针对首个放大级电路,其输出微带线的第一端通过所述第一匹配电阻接地。

7. 根据权利要求4或6所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,所述分布式放大器还包括第二匹配电阻,针对末尾放大级电路,其输入微带线的第二端通过所述第二微带线和第二匹配电阻接地。

8. 根据权利要求1所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,所述反馈补偿电路中对对应反馈补偿支路的一端与所述分布式放大器中晶体管的控制端之间设置有稳定电阻。

9. 根据权利要求2所述的高平坦度宽带放大器,其特征在于,各个反馈补偿支路的结构特性相同,其中各个反馈补偿支路中第一电感、第一电容和第一电阻的结构特性分别相同。

10. 根据权利要求5所述的高平坦度宽度放大器,其特征在于,各个放大级电路中第一晶体管和第二晶体的结构特性都相同,各个放大级电路中第三微带线、第四微带线和第五微带线的结构特性分别相同,中间放大级电路和末尾放大级电路中输入微带线和输出微

带线分别相同。

高平坦度宽带放大器

技术领域

[0001] 本发明属于宽带放大器领域,具体涉及一种可直接应用于微波单片机中的高平坦度宽带放大器。

背景技术

[0002] 宽带放大器可以在宽频带内对射频信号进行放大,作为收发机的关键性部件,宽带放大器的性能好坏对微波系统的性能有着决定性影响。宽带放大器的应用,可以大大减少系统体积和功耗,满足了现代通讯及工程领域对多倍频程宽带放大部件的需求,在电信、卫星通信、微波测量仪器、电子监视系统以及航天航空、电子对抗系统中得到了广泛的应用。

[0003] 实现宽带放大器的电路拓扑一般包括分布式放大器、双输入共栅共源放大器、反馈式达林顿放大器、平衡放大器、有损匹配放大器等,由于分布式拓扑结构具有工作频带宽、电压驻波系数小、平坦度好。易于单片集成等特点,被越来越广泛的应用于宽带放大器设计中。

[0004] 平坦度作为宽带放大器的关键性指标,直接决定了宽带放大器性能和应用,为了在整个工作频带内得到较好的平坦度,可以采用适当降低放大器增益等宽带设计技术,对平坦度进行折中处理。但经申请人研究发现,随着电路工作频率接近人工传输线(即宽带放大器中晶体管上对应传输线)的截止频率,由于受到宽带放大器中晶体管寄生参数的影响,宽带放大器的平坦度不可避免会出现恶化。另一种方法是采用更小的工艺线宽,通过工艺的进步带来更好的高频特性,但工艺线宽变小也会带来功率容限下降,电路成本上升等不可回避的问题。

发明内容

[0005] 本发明提供一种高平坦度宽带放大器,以解决目前宽带放大器存在的平坦度较差的问题。

[0006] 根据本发明实施例的第一方面,提供一种高平坦度宽带放大器,包括分布式放大器和反馈补偿电路,所述反馈补偿电路中各个反馈补偿支路的一端分别连接所述分布式放大器中对应晶体的控制端,另一端接地,所述反馈补偿支路将对应大小的阻抗接入对应晶体的控制端,以使所述晶体的寄生参数为可变参数,所述寄生参数影响人工传输线的截止频率随输入信号频率的变化而变化,从而对所述分布式放大器的平坦度进行优化。

[0007] 在一种可选的实现方式中,每个反馈补偿支路都包括第一电阻、第一电感和第一电容,所述第一电阻与第一电感串联后与所述第一电容并联,其中一个并联节点连接所述分布式放大器中对应晶体的控制端,另一个并联节点接地。

[0008] 在另一种可选的实现方式中,所述第一电阻为在区间 $500\ \Omega \sim 5000\ \Omega$ 取值的高值电阻,所述第一电感为在区间 $0.05\text{nH} \sim 0.5\text{nH}$ 取值的低值电感,所述第一电容为在区间 $0.5\text{pF} \sim 3\text{pF}$ 取值的低值电容。

[0009] 在另一种可选的实现方式中,所述分布式放大器包括多个放大级电路、第一微带线和第二微带线,每个放大级电路都包括输入微带线、输出微带线、第三微带线、第四微带线、第五微带线、第一晶体管和第二晶体管,针对每个放大级电路,其第一晶体管的控制端连接对应反馈补偿支路并用于接收射频信号,第一端通过所述第三微带线连接其输出微带线的第二端,其第一晶体管的第二端通过所述第四微带线连接第二晶体管的第一端,所述第二晶体管的第二端通过所述第五微带线接地,所述第二晶体管的控制端连接其输入微带线的第二端;

[0010] 其中针对首个放大级电路,其输出微带线的第一端接地,第二端连接下一放大级电路中输出微带线的第一端,输入微带线的第一端用于接收输入信号,第二端连接下一放大级电路中输入微带线的第一端;针对末尾放大级电路,其输出微带线的第一端连接上一放大级电路中输出微带线的第二端,第二端通过所述第一微带线输出信号,其输入微带线的第一端连接上一放大级电路中第二微带线的第二端,第二端通过所述第二微带线接地。

[0011] 在另一种可选的实现方式中,针对中间放大级电路,其输出微带线的第一端连接上一放大级电路中输出微带线的第二端,第二端连接下一放大级电路中输出微带线的第一端,其输入微带线的第一端连接上一放大级电路中输入微带线的第二端,第二端连接下一放大级电路中输入微带线的第一端。

[0012] 在另一种可选的实现方式中,所述分布式放大器还包括第一匹配电阻,针对首个放大级电路,其输出微带线的第一端通过所述第一匹配电阻接地。

[0013] 在另一种可选的实现方式中,所述分布式放大器还包括第二匹配电阻,针对末尾放大级电路,其输入微带线的第二端通过所述第二微带线和第二匹配电阻接地。

[0014] 在另一种可选的实现方式中,所述反馈补偿电路中对对应反馈补偿支路的一端与所述分布式放大器中晶体管的控制端之间设置有稳定电阻。

[0015] 在另一种可选的实现方式中,各个反馈补偿支路的结构特性相同,其中各个反馈补偿支路中第一电感、第一电容和第一电阻的结构特性分别相同。

[0016] 在另一种可选的实现方式中,各个放大级电路中第一晶体管和第二晶体管的结构特性都相同,各个放大级电路中第三微带线、第四微带线和第五微带线的结构特性分别相同,中间放大级电路和末尾放大级电路中输入微带线和输出微带线分别相同。

[0017] 本发明的有益效果是:

[0018] 1、本发明通过向宽带放大器中晶体管的控制端接入对应大小的阻抗,使得宽带放大器中晶体管的寄生参数为可变参数,使寄生参数影响的人工传输线的截止频率随输入信号频率的变化而变化,实现对分布式放大器平坦度的优化;

[0019] 2、本发明通过向各个放大级电路中共栅晶体管的栅极分别接入对应的反馈补偿支路,并使反馈补偿支路包括电感、电容和电阻,可以使共栅晶体管的栅极寄生参数不再是一个固定参量,而是随着输入信号频率变化而变化的阻抗负载,从而可以使人工传输线的截止频率随输入信号的变化而变化,实现对分布式放大器平坦度的优化;

[0020] 3、本发明通过使第一电阻为在区间 $500\ \Omega \sim 5000\ \Omega$ 取值的高值电阻,第一电感为在区间 $0.05\text{nH} \sim 0.5\text{nH}$ 取值的低值电感,第一电容为在区间 $0.5\text{pF} \sim 3\text{pF}$ 取值的低值电容,可以进一步方便对宽带放大器的平坦度特性进行优化;

[0021] 4、本发明通过设置第一匹配电阻,可以对反向传输的电流进行吸收并耗散;

[0022] 5、本发明通过设置第二匹配电阻,可以与第二微带线结合,为宽带放大器输入端提供阻抗匹配;

[0023] 6、本发明在对应反馈补偿支路的一端与所述分布式放大器中晶体管的控制端之间设置有稳定电阻,由此可以提高整体电路的稳定性;

[0024] 7、本发明通过对各个反馈补偿支路和放大级电路中组件结构特征进行设计,可以保证各个放大级电路输入/输出传输线传播相位一致,这样就能使微波信号被各级放大单元逐次放大,并在输出传输线上同相叠加。

附图说明

[0025] 图1为本发明高平坦度宽带放大器的一个实施例电路方框图;

[0026] 图2为本发明高平坦度宽带放大器的一个实施例电路图;

[0027] 图3为本发明与传统高平坦度宽带放大器的平坦度对比示意图。

具体实施方式

[0028] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明实施例中的技术方案,并使本发明实施例的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本发明实施例中技术方案作进一步详细的说明。

[0029] 在本发明的描述中,除非另有规定和限定,需要说明的是,术语“连接”应做广义理解,例如,可以是机械连接或电连接,也可以是两个元件内部的连通,可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0030] 参见图1,为本发明高平坦度宽带放大器的一个电路图。该高平坦度宽带放大器可以包括分布式放大器110和反馈补偿电路120,所述反馈补偿电路120中各个反馈补偿支路121的一端分别连接所述分布式放大器110中对应晶体管的控制端,另一端接地,所述反馈补偿支路121将对应大小的阻抗接入对应晶体管的控制端,以使所述晶体管的寄生参数为可变参数,所述寄生参数影响人工传输线的截止频率随输入信号频率的变化而变化,从而对所述分布式放大器的平坦度进行优化。

[0031] 本实施例中,经申请人研究发现,随着宽带放大器输入信号的频率接近人工传输线的截止频率,受到宽带放大器中晶体管寄生参数的影响,宽带放大器的平坦度不可避免地会出现恶化;另外,经申请人研究发现,宽带放大器中晶体管寄生参数会影响人工传输线截止频率的变化。基于上述研究发现,本发明通过向宽带放大器中晶体管的控制端接入对应大小的阻抗,使得宽带放大器中晶体管的寄生参数为可变参数,使寄生参数影响的人工传输线的截止频率随输入信号频率的变化而变化,实现对分布式放大器平坦度的优化。

[0032] 参见图2,为本发明高平坦度宽带放大器的一个实施例电路图。图2与图1所示高平坦度宽带放大器的区别在于,每个反馈补偿支路121都可以包括第一电阻、第一电感和第一电容,所述第一电阻与第一电感串联后与所述第一电容并联,其中一个并联节点连接所述分布式放大器110中对应晶体管的控制端,另一个并联节点接地。

[0033] 图2与图1所示高平坦度宽带放大器的区别还在于,所述分布式放大器包括多个放大级电路、第一匹配电阻、第二匹配电阻、第一微带线和第二微带线,每个放大级电路都包

括输入微带线、输出微带线、第三微带线、第四微带线、第五微带线、第一晶体管和第二晶体管,针对每个放大级电路,其第一晶体管的控制端连接对应反馈补偿支路并用于接收射频信号,第一端通过所述第三微带线连接其输出微带线的第二端,其第一晶体管的第二端通过所述第四微带线连接第二晶体管的第一端,所述第二晶体管的第二端通过所述第五微带线接地,所述第二晶体管的控制端连接其输入微带线的第二端;

[0034] 其中针对首个放大级电路,其输出微带线的第一端通过所述第一匹配电阻接地,第二端连接下一放大级电路中输出微带线的第一端,输入微带线的第一端用于接收输入信号,第二端连接下一放大级电路中输入微带线的第一端;针对末尾放大级电路,其输出微带线的第一端连接上一放大级电路中输出微带线的第二端,第二端通过所述第一微带线输出信号,其输入微带线的第一端连接上一放大级电路中第二微带线的第二端,第二端通过所述第二微带线和第二匹配电阻接地;

[0035] 针对中间放大级电路,其输出微带线的第一端连接上一放大级电路中输出微带线的第二端,第二端连接下一放大级电路中输出微带线的第一端,其输入微带线的第一端连接上一放大级电路中输入微带线的第二端,第二端连接下一放大级电路中输入微带线的第一端。

[0036] 本实施例中,以分布式放大器中晶体管为HEMT(High Electron Mobility Transistor,高电子迁移率晶体管)管为例。该分布式放大器的首个放大级电路可以包括HEMT管 M_{1b} 、HEMT管 M_{2b} 、输入微带线 Z_{2b} 、输出微带线 Z_{1b} 、第三微带线 Z_{4b} 、第四微带线 Z_{5b} 和第五微带线 Z_{6b} ,其中HEMT管 M_{1b} 的栅极连接对应反馈补偿支路并用于接收射频信号,漏极通过第三微带线 Z_{4b} 连接输出微带线 Z_{1b} 的第二端,源极通过第四微带线 Z_{5b} 连接HEMT管 M_{2b} 的漏极,HEMT管 M_{2b} 的源极通过第五微带线 Z_{6b} 接地,栅极连接输入微带线 Z_{2b} 的第二端,输出微带线 Z_{1b} 的第一端通过第一匹配电阻 R_{1b} 接地,第二端连接下一放大级电路中输出微带线 Z_{3b} 的第一端,输入微带线 Z_{2b} 的第一端用于接收输入信号 V_{in} ,第二端连接下一放大级电路中输入微带线 Z_{7b} 的第一端。

[0037] 该分布式放大器的中间放大级电路可以包括HEMT管 M_{3b} 、HEMT管 M_{4b} 、输入微带线 Z_{7b} 、输出微带线 Z_{3b} 、第三微带线 Z_{9b} 、第四微带线 Z_{10b} 和第五微带线 Z_{11b} ,其中HEMT管 M_{3b} 的栅极连接对应反馈补偿支路并用于接收射频信号,漏极通过第三微带线 Z_{9b} 连接输出微带线 Z_{3b} 的第二端,源极通过第四微带线 Z_{10b} 连接HEMT管 M_{4b} 的漏极,HEMT管 M_{4b} 的源极通过第五微带线 Z_{11b} 接地,栅极连接输入微带线 Z_{7b} 的第二端,输出微带线 Z_{3b} 的第一端连接上一放大级电路中输出微带线 Z_{1b} 的第二端,第二端连接下一放大级电路中输出微带线 Z_{8b} 的第一端,输入微带线 Z_{7b} 的第一端连接上一放大级电路中输入微带线 Z_{2b} 的第二端,第二端连接下一放大级电路中输入微带线 Z_{12b} 的第一端。

[0038] 该分布式放大器的末尾放大级电路可以包括HEMT管 M_{nb} 、HEMT管 $M_{(n+1)b}$ 、输入微带线(图中未示出)、输出微带线(图中未示出)、第三微带线 $Z_{[4+(n-1)*5]b}$ 、第四微带线 $Z_{[5+(n-1)*5]b}$ 和第五微带线 $Z_{[6+(n-1)*5]b}$ 。其中HEMT管 M_{nb} 的栅极连接对应反馈补偿支路并用于接收射频信号,漏极通过第三微带线 $Z_{[4+(n-1)*5]b}$ 连接其输出微带线的第二端,源极通过第四微带线 $Z_{[5+(n-1)*5]b}$ 连接HEMT管 $M_{(n+1)b}$ 的漏极,HEMT管 $M_{(n+1)b}$ 的源极通过第五微带线 $Z_{[6+(n-1)*5]b}$ 接地,栅极连接其输入微带线的第二端,输出微带线的第一端连接上一放大级电路的输出微带线的第二端,第二端通过第一微带线 Z_1 输出信号,输入微带线的第一端连接上一放大级电路

的输入微带线的第二端,第二端通过第二微带线 Z_2 、第二匹配电阻 R_{2b} 接地。

[0039] 另外,与分布式放大器的首个放大级电路对应的反馈补偿支路可以包括第一电感 L_{1b} 、第一电容 C_{1b} 和第一电阻 R_{3b} ,其中第一电阻 R_{3b} 与第一电感 L_{1b} 串联后与第一电容 C_{1b} 并联,其中一个并联节点连接首个放大级电路中HEMT管 M_{1b} 的栅极,另一个并联节点接地。与分布式放大器的中间放大级电路对应的反馈补偿支路可以包括第一电感 L_{2b} 、第一电容 C_{2b} 和第一电阻 R_{6b} ,其中第一电阻 R_{6b} 与第一电感 L_{2b} 串联后与第一电容 C_{2b} 并联,其中一个并联节点连接中间放大级电路中HEMT管 M_{3b} 的栅极,另一个并联节点接地。与分布式放大器的末尾放大级电路对应的反馈补偿支路可以包括第一电感 L_{nb} 、第一电容 C_{nb} 和第一电阻 $R_{(3*n)b}$,其中第一电阻 $R_{(3*n)b}$ 与第一电感 L_{nb} 串联后与第一电容 C_{nb} 并联,其中一个并联节点连接末尾放大级电路中HEMT管 M_{nb} 的栅极,另一个并联节点接地。反馈补偿支路的数量根据分布式放大器中放大级电路的个数 n 来确定。

[0040] 由上述实施例可见,分布式放大器中晶体管采用共源共栅结构,此时可以将共源共栅结构中的栅极传输线和漏极传输线称为人工传输线。通常在电路的交流信号拓扑中,共栅晶体管的栅极通过旁路电容直接接地。但是经申请人研究发现,若将共栅晶体管的栅极只通过旁路电容直接接地,则由工艺特性带来的晶体管寄生参数仍然是不可变的。本发明通过向各个放大级电路中共栅晶体管的栅极分别接入对应的反馈补偿支路,并使反馈补偿支路包括电感、电容和电阻,可以使共栅晶体管的栅极寄生参数不再是一个固定参量,而是随着输入信号频率变化而变化的阻抗负载。由于共栅晶体管寄生参数会影响人工传输线截止频率的变化,因此本发明在引入反馈补偿电路后,人工传输线的截止频率也会随着输入信号的变化而变化。因为反馈补偿电路中电感值、电容值和电阻值的大小决定了宽带放大器的反馈频率特性和反馈深度,在折中宽带放大器的增益和平坦度指标后,通过在各反馈补偿回路中,合理设置反馈补偿支路中电感值、电容值和电阻值,可以在接近原人工传输线截止频率时,继续提高宽带放大器平坦度5%~10%。

[0041] 另外,当分布式放大器中共栅晶体管漏极与栅极之间的电容形成一个负反馈回路时,整体电路的带内稳定性将因此而下降,电路容易产生自激现象。为此,本发明在对应反馈补偿支路的一端与所述分布式放大器中晶体管的控制端之间设置有稳定电阻,由此可以提高整体电路的稳定性。参见图2,针对分布式放大器的首个放大级电路,HEMT管 M_{1b} 的栅极与对应反馈补偿支路中之间设置有稳定电压 R_{4b} ,针对分布式放大器的中间放大级电路,HEMT管 M_{3b} 的栅极与对应反馈补偿支路中之间设置有稳定电压 R_{5b} ,针对分布式放大器的末尾放大级电路,HEMT管 M_{nb} 的栅极与对应反馈补偿支路中之间设置有稳定电压 $R_{(n+3)b}$ 。

[0042] 为了进一步方便对宽带放大器的平坦度特性进行优化,所述第一电阻为在区间 $500\ \Omega \sim 5000\ \Omega$ 取值的高值电阻,所述第一电感为在区间 $0.05\text{nH} \sim 0.5\text{nH}$ 取值的低值电感,所述第一电容为在区间 $0.5\text{pF} \sim 3\text{pF}$ 取值的低值电容。此外,反馈补偿支路在接地时可以采用MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit,单片机微波集成电路)电路中的通孔技术。

[0043] 本发明的工作原理如下:分布式放大器是通过微带传输线为一组并联的有源器件提供输入信号,当射频信号在栅极线上传输时,每级晶体管都被电压波所激励,信号通过具有增益特点的跨导转移到漏极线上,由于两条传输线的每段时延相同,且每条传输线终端均接有与之匹配的负载,则输出线上向右传输的信号就可以同相叠加,而反向电流波则被

匹配负载所吸收。每一级放大级提供一定的增益并且增益分布在一个很宽的频带范围内，放大器总的增益不同于一般级联式放大器总增益等于各级增益乘积，而是各级并联放大器增益之和，因此分布式放大器在实现高增益时需要更多的级数。此时栅极和漏极传输线可以看作是一种特殊的传输线，人们通常称其为人工传输线。栅极和漏极传输线分别包含了场效应晶体管的栅极电容、漏极电容和栅极电阻、漏极电阻。由于场效应晶体管的部分寄生参数已经成为人工传输线的一部分，而不再是放大器增益带宽积的限制因素，因此这种特殊的传输线不仅具有较高的截止频率，还消除了寄生电容的影响。

[0044] 在提供适当的直流偏置后，本发明的高平坦度宽带放大器处于工作状态，此时射频信号通过 V_{IN} 端口进入放大器，利用共源共栅放大单元之级间的微带线长度使输入/输出传输线传播相位一致，这样就能使微波信号被各级放大单元逐次放大，并在输出传输线上同相叠加，最后放大后的射频信号从 V_{OUT} 端口输出。电阻 R_{1b} 为输出端匹配电阻，这是因为漏极输出的电流在漏极人工传输线上是朝正反两个方向传输的。正向传输的电流相互叠加从分布式放大器的输出端输出，而要得到良好的电压驻波系数，需要第一匹配电阻 R_{1b} 对反向传输的电流进行吸收并耗散掉。第二匹配电阻 R_{2b} 为输入端匹配电阻，通过与微带线 Z_2 的结合为输入端提供阻抗匹配。

[0045] 根据分布式放大器的工作原理，在本发明的高平坦度宽带放大器中，各个反馈补偿支路的结构特性相同，其中各个反馈补偿支路中第一电感、第一电容和第一电阻的结构特性分别相同。各个放大级电路中第一晶体管和第二晶体管的结构特性都相同，各个放大级电路中第三微带线、第四微带线和第五微带线的结构特性分别相同，中间放大级电路和末尾放大级电路中输入微带线和输出微带线分别相同，各个稳定电阻的结构特性相同。其中如图2所示，HEMT管 M_{1b} 、HEMT管 M_{2b} ，HEMT管 M_{3b} ，HEMT管 M_{4b} ，HEMT管 M_{nb} ，HEMT管 $M_{(n+1)b}$ 为同样尺寸的晶体管；微带线 Z_{3b} 和微带线 Z_{8b} 尺寸一致；微带线 Z_{7b} 和微带线 Z_{12b} 尺寸一致；微带线 Z_{4b} 、微带线 Z_{9b} 直至微带线 $Z_{[4+(n-1)*5]b}$ 尺寸一致；微带线 Z_{5b} 、微带线 Z_{10b} 直至微带线 $Z_{[5+(n-1)*5]b}$ 尺寸一致；微带线 Z_{6b} 、微带线 Z_{11b} 直至微带线 $Z_{[6+(n-1)*5]b}$ 尺寸一致；电阻 R_{4b} 、电阻 R_{5b} 直至电阻 $R_{(n+3)b}$ 尺寸一致；电阻 R_{3b} 、电阻 R_{6b} 直至电阻 $R_{(3*n)b}$ 尺寸一致；电感 L_{1b} 、电阻 L_{2b} 直至电阻 L_{nb} 尺寸一致；电容 C_{1b} 、电容 C_{2b} 直至电容 C_{nb} 尺寸一致。

[0046] L_g 和 L_d 分别表示栅极传输线和漏极传输线上单位元长度的电感； C_g 和 C_d 分别表示栅极传输线和漏极传输线上单位元长度的电容； l_g 表示输入微带线上放大器级间微带线的长度； l_d 表示输入微带线上放大器级间微带线的长度； C_{gs} 表示共源共栅单元的输入电容； C_{ds} 表示共源共栅单元的输入电容；则栅极传输线和漏极传输线的特性阻抗可以表示为：

$$[0047] \quad Z_g \approx \sqrt{\frac{L_g}{C_g + \frac{C_{gs}}{l_g}}} \quad (1)$$

$$[0048] \quad Z_d \approx \sqrt{\frac{L_d}{C_d + \frac{C_{ds}}{l_d}}} \quad (2)$$

[0049] 令 G_m 为每级共源共栅放大单元的跨导， n 为并联共源共栅放大单元的级数（即放大级电路的个数），则放大器的增益可以约等于：

$$[0050] \quad G \approx \frac{G_m^2 \cdot n^2 \cdot Z_d \cdot Z_g}{4} \quad (2)$$

[0051] 令 α_g 和 α_d 分别表示栅极传输线和漏极传输线的衰减,每段传输线的衰减常数可以表示为:

$$[0052] \quad \alpha_g = \frac{X_g^2 \cdot K_g}{\sqrt{1 - X_g^2 \cdot (1 - K_g^2)}} \quad (3)$$

$$[0053] \quad \alpha_d = \frac{1}{K_d \cdot \sqrt{1 - X_d^2}} \quad (4)$$

[0054] 式中:

$$[0055] \quad X_g = \frac{w}{w_{cg}}, \quad K_g = \frac{W_{cg}}{w_g}, \quad X_d = \frac{w}{w_{cd}}, \quad K_d = \frac{W_{cd}}{w_d} \quad (5)$$

$$[0056] \quad w_{cg} = \frac{2}{\sqrt{L_g \cdot C_{gs}}}, \quad w_{cd} = \frac{2}{\sqrt{L_d \cdot C_{ds}}} \quad (5)$$

[0057] w_{cg} 和 w_{cd} 分别是栅极和漏极传输线的截止频率, w 表示输入信号的角速度, L_g 和 L_d 分别是栅极和漏极传输线的电感值。

[0058] 从式(3)和式(4)可以看出, α_d 的值基本不随频率的变化而变化,只有当频率接近漏极传输线的截止频率时, w_{cd} 和 α_d 的值才会增大。所以,在低频段,分布式放大器的增益主要受 α_d 的影响;在高频段,栅极输出传输线损耗 α_g 对放大器的影响比较明显。反馈补偿路的引入,使 w_{cg} 和 w_{cd} 值变为可变,从而使 α_g 和 α_d 不仅仅是频率的函数,为平坦度的优化增加了新的可变优化量。

[0059] 电阻 R_{4b} 、电阻 R_{5b} 直至电阻 $R_{(n+3)b}$ 分别与HEMT管 M_{1b} 、HEMT管 M_{2b} 直至HEMT管 M_{nb} 的栅极相连,阻值一般为 $20 \sim 100 \Omega$,主要是为提高电路的整体稳定性。

[0060] 电容 C_{1b} 、电阻 C_{2b} 直至 C_{nb} 为反馈电容,在高频段对共栅晶体管的栅极寄生参数进行优化,一般取值在 $0.5 \text{pF} \sim 3 \text{pF}$ 。

[0061] 电感 L_{1d} 、电感 L_{2d} 直至 L_{nd} 为反馈回路上的电感,一般选用低值电感,一般取值在 $0.05 \text{nH} \sim 0.5 \text{nH}$,当电感过小时,可选取微带线代替。

[0062] 电阻 R_{3b} 、电阻 R_{6b} 直至 $R_{(3*n)b}$ 为反馈回路上的电阻,一般选用高值电阻,一般取值在 $500 \sim 5000 \Omega$ 。

[0063] 当宽带放大器工作时,射频信号从 V_{OUT} 端口输出信号幅度与从 V_{IN} 端输入信号幅度的比值即为宽带放大器的功率增益;宽带放大器的增益平坦度主要是衡量放大器在工作带宽内的增益波动幅度。

[0064] 图3为本发明与传统宽带放大器平坦度对比,共源共栅放大单元的级数均设定为6级, \circ 为传统宽带放大器的增益与频率之间的关系曲线; \triangle 为本发明电路的增益与频率之间的关系曲线。

[0065] 本发明电路中的HEMT管、电阻、电容、电感的基本参数为:

[0066] HEMT管: $|V_{gs}|: 0 \sim 12 \text{V}$, $|V_{ds}|: 0 \sim 12 \text{V}$, $|V_{bs}|: 0 \sim 12 \text{V}$ 。

[0067] M_{1b} 、 M_{2b} 、 M_{3b} 、 $M_{4b} \cdots M_{nb}$ 、 $M_{(n+1)b}$ 的栅长 $0.25 \mu\text{m}$;

[0068] M_{1b} 、 M_{2b} 、 M_{3b} 、 $M_{4b} \cdots M_{nb}$ 、 $M_{(n+1)b}$ 的栅宽 $35 \mu\text{m}$;

- [0069] M_{1b} 、 M_{2b} 、 M_{3b} 、 M_{4b} … M_{nb} 、 $M_{(n+1)b}$ 栅指数:2;
- [0070] 电阻 R_{1b} 、 R_{2b} 、 R_{3b} 、 R_{4b} 、 R_{5b} 、 R_{6b} … $R_{(n+3)b}$ 、 $R_{(3*n)b}$ 为金属薄膜电阻;
- [0071] R_{1b} 的阻值为 $73\ \Omega$; R_{2b} 的阻值均为 $51\ \Omega$;
- [0072] R_{4b} 、 R_{5b} … $R_{(n+3)b}$ 的阻值均为 $42\ \Omega$;
- [0073] R_{3b} 、 R_{6b} … $R_{(3*n)b}$ 的阻值均为 $950\ \Omega$;
- [0074] 电感 L_{1b} 、 L_{2b} … L_{nb} 的感值均设置为: 0.8 nH ; 电容 C_{1b} 、 C_{2b} … C_{nb} 的容值均设置为: 1.8 pF ; 微带线 Z_{7b} 和微带线 Z_{12b} 尺寸一致; 微带线 Z_{4b} 、微带线 Z_{9b} 直至微带线 $Z_{[4+(n-1)*5]b}$ 尺寸一致; 微带线 Z_{5b} 、微带线 Z_{10b} 直至微带线 $Z_{[5+(n-1)*5]b}$ 尺寸一致; 微带线 Z_{6b} 、微带线 Z_{11b} 直至微带线 $Z_{[6+(n-1)*5]b}$ 尺寸一致; 电阻 R_{4b} 、电阻 R_{5b} 直至电阻 $R_{(n+3)b}$ 尺寸一致; 电阻 R_{3b} 、电阻 R_{6b} 直至电阻 $R_{(3*n)b}$ 尺寸一致。
- [0075] 微带线 Z_{3b} 、 Z_{8b} … 的宽度为 $18\ \mu\text{m}$;
- [0076] 微带线 Z_{3b} 、 Z_{8b} … 的长度为 $850\ \mu\text{m}$;
- [0077] 微带线 Z_{7b} 、 Z_{12b} … 的宽度为 $10\ \mu\text{m}$;
- [0078] 微带线 Z_{7b} 、 Z_{12b} … 的长度为 $560\ \mu\text{m}$;
- [0079] 微带线 Z_{4b} 、 Z_{9b} … $Z_{[4+(n-1)*5]b}$ 的宽度为 $8\ \mu\text{m}$;
- [0080] 微带线 Z_{4b} 、 Z_{9b} … $Z_{[4+(n-1)*5]b}$ 的长度为 $25\ \mu\text{m}$;
- [0081] 微带线 Z_{5b} 、 Z_{10b} … $Z_{[5+(n-1)*5]b}$ 的宽度为 $5\ \mu\text{m}$;
- [0082] 微带线 Z_{5b} 、 Z_{10b} … $Z_{[5+(n-1)*5]b}$ 的长度为 $315\ \mu\text{m}$;
- [0083] 微带线 Z_{6b} 、 Z_{11b} … $Z_{[6+(n-1)*5]b}$ 的宽度为 $17\ \mu\text{m}$;
- [0084] 微带线 Z_{6b} 、 Z_{11b} … $Z_{[6+(n-1)*5]b}$ 的长度为 $14\ \mu\text{m}$;
- [0085] 微带线 Z_{1b} 的宽度为 $18\ \mu\text{m}$, 长度为 $300\ \mu\text{m}$;
- [0086] 微带线 Z_{1b} 的宽度为 $10\ \mu\text{m}$, 长度为 $150\ \mu\text{m}$;
- [0087] 微带线 Z_1 的宽度为 $18\ \mu\text{m}$, 长度为 $170\ \mu\text{m}$;
- [0088] 微带线 Z_2 的宽度为 $10\ \mu\text{m}$, 长度为 $220\ \mu\text{m}$ 。
- [0089] 由于本发明电路中的反馈补偿单元在宽带放大器工作于较低频段时, 通过合理选取反馈回路中的器件值, 可以基本不影响宽带放大器在较低频率的频率特性。另外由于分布式放大器的输入/输出阻抗特性主要是由所构建的人工传输线决定的, 而这可以通过在早期电路设计优化时加以考虑, 而对于晶体管的功率增益基本无影响, 因此对宽带放大器增益等电特性影响较小, 避免了电压增益、输出 1 dB 压缩点、输入电压驻波系数、输出电压驻波系数严重恶化等问题。
- [0090] 本领域技术人员在考虑说明书及实践这里公开的发明后, 将容易想到本发明的其它实施方案。本申请旨在涵盖本发明的任何变型、用途或者适应性变化, 这些变型、用途或者适应性变化遵循本发明的一般性原理并包括本发明未公开的本技术领域中的公知常识或惯用技术手段。说明书和实施例仅被视为示例性的, 本发明的真正范围和精神由下面的权利要求指出。
- [0091] 应当理解的是, 本发明并不局限于上面已经描述并在附图中示出的精确结构, 并且可以在不脱离其范围进行各种修改和改变。本发明的范围仅由所附的权利要求来限制。

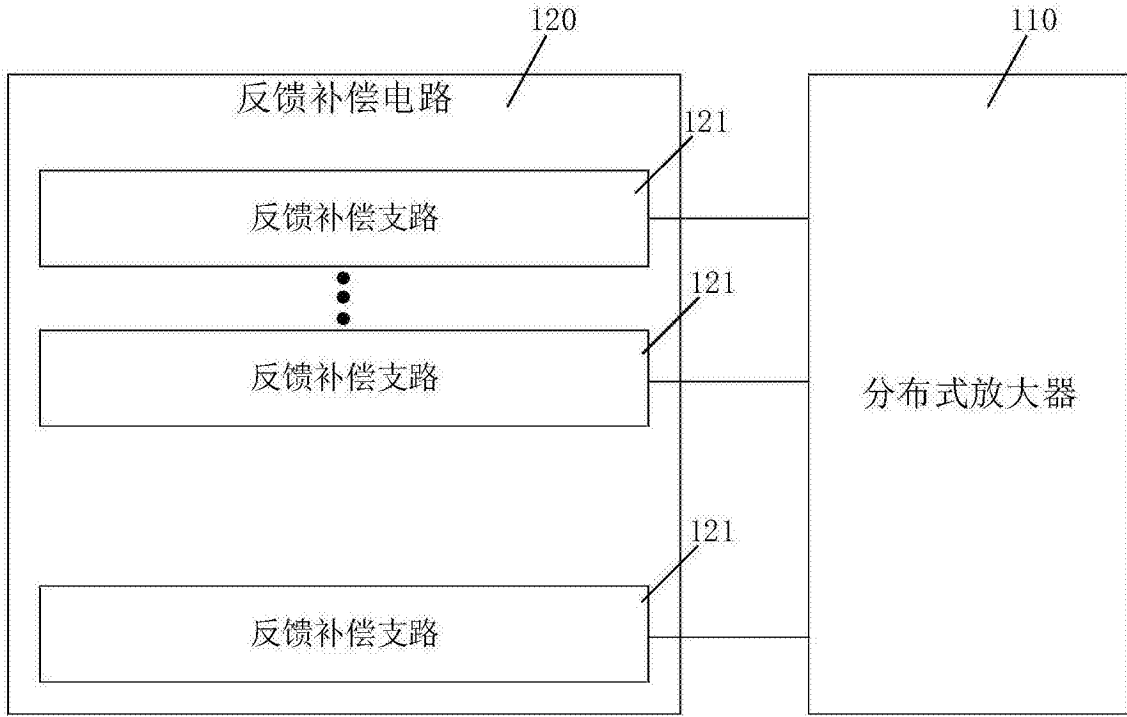


图1

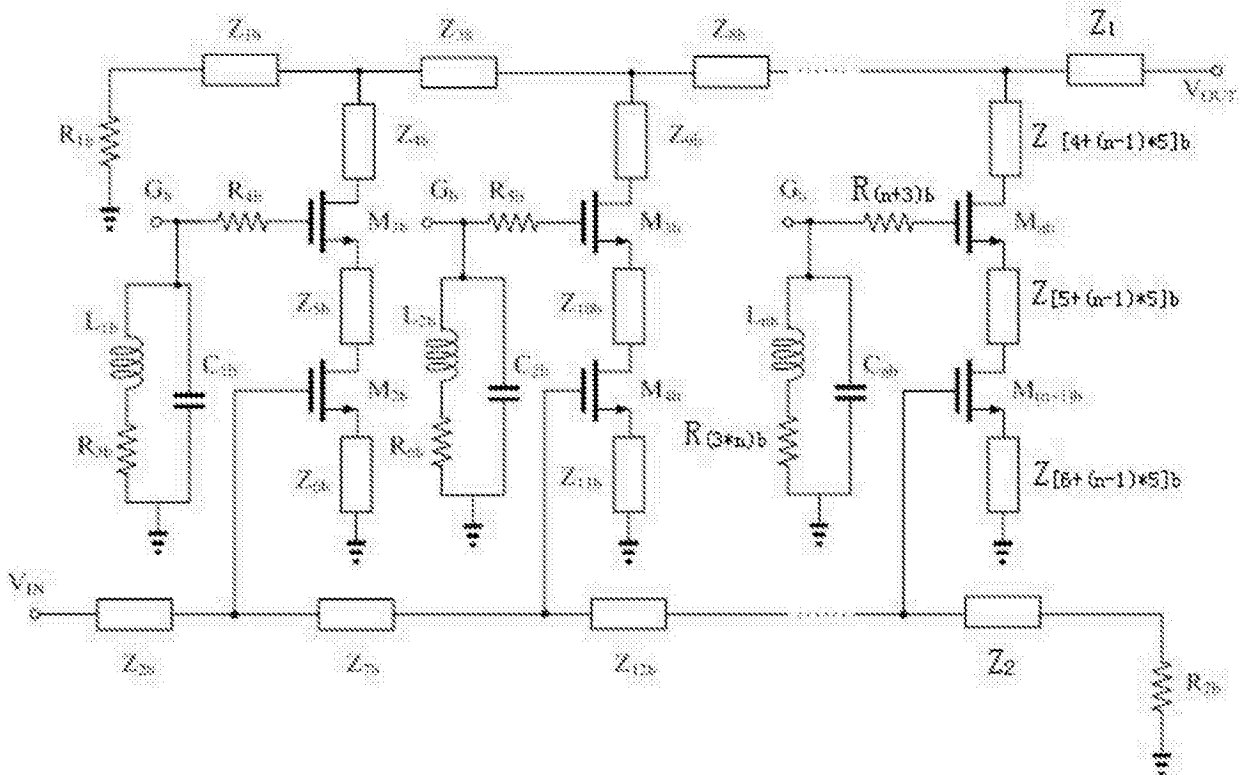


图2

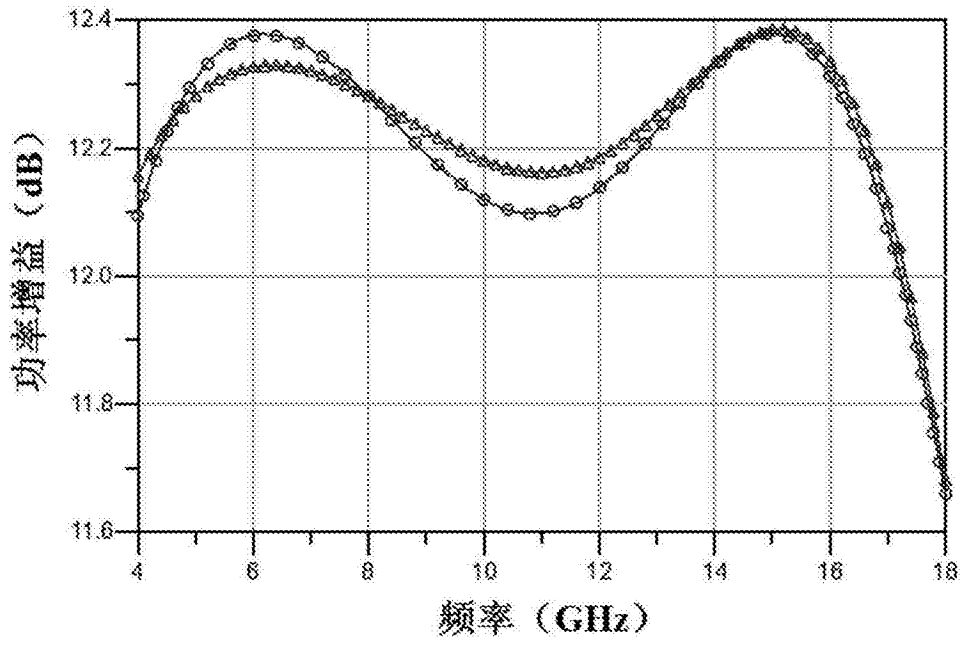


图3