

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 3 月 23 日 (23.03.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/040201 A1

- (51) 国际专利分类号:
H03F 1/56 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/078358
- (22) 国际申请日: 2022 年 2 月 28 日 (28.02.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202111088952.X 2021年9月16日 (16.09.2021) CN
- (71) 申请人: 深圳飞骧科技股份有限公司 (LANSUS TECHNOLOGIES INC.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南光路 286 号水木一方大厦 A 座 16F, Guangdong 518052 (CN)。
- (72) 发明人: 谢志远 (XIE, Zhiyuan); 中国广东省深圳市南山区南光路 286 号水木一方大厦 A 座

16F, Guangdong 518052 (CN)。 赵宇霆 (ZHAO, Yuting); 中国广东省深圳市南山区南光路 286 号水木一方大厦 A 座 16F, Guangdong 518052 (CN)。 郭嘉帅 (GUO, Jiashuai); 中国广东省深圳市南山区南光路 286 号水木一方大厦 A 座 16F, Guangdong 518052 (CN)。

(74) 代理人: 深圳君信诚知识产权代理事务所 (普通合伙) (SHENZHEN JUNXINCHENG INTELLECTUAL PROPERTY FIRM (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市宝安区西乡街道桃源社区航城工业区智汇创新中心 D 栋 617, Guangdong 518000 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) Title: RADIO-FREQUENCY POWER AMPLIFIER BASED ON TRANSFORMER MATCHING NETWORK

(54) 发明名称: 一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器

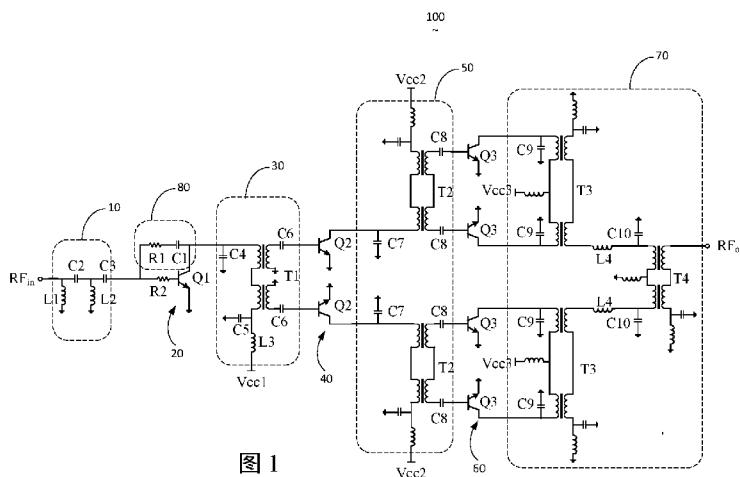


图 1

(57) Abstract: Disclosed in the embodiments of the present invention is a radio-frequency power amplifier based on a transformer matching network. The radio-frequency power amplifier comprises an input matching network, a first-stage one-way amplification circuit, a first inter-stage matching network, a second-stage two-way amplification circuit, a second inter-stage matching network, a third-stage four-way amplification circuit and an output matching network, which are connected in sequence, wherein the first inter-stage matching network comprises a first transformer T1, the second inter-stage matching network comprises two second transformers T2, and the output matching network comprises two third transformers T3 and a fourth transformer T4. Transformer matching is utilized

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

in both inter-stage matching and output matching, such that the layout area is effectively reduced, and no extra insertion loss is brought about; and the effect of optimizing the gain and the output return loss is significantly improved.

(57) 摘要: 本发明实施例公开了一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器, 包括依次连接的输入匹配网络、第一级单路放大电路、第一级间匹配网络、第二级双路放大电路、第二级间匹配网络、第三级四路放大电路以及输出匹配网络; 所述第一级间匹配网络包括一个第一变压器T1, 所述第二级间匹配网络包括两个第二变压器T2, 所述输出匹配网络包括两个第三变压器T3和一个第四变压器T4; 通过在级间匹配和输出匹配都采用变压器匹配, 有效的缩小了版图面积, 同时没有带来额外的插损, 对增益和输出回波损耗的优化的效果有显著提升。

一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器

技术领域

本发明涉及功率放大器技术领域，尤其涉及一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器。

背景技术

射频功率放大器做为发射机重要的组成部分，位于发射机的末级，其主要功能是对前级的射频信号进行无失真放大，并且从天线端将放大之后的信号发出。针对应用场景的不同，功率放大器需要达到不同的输出功率、线性度、效率等，并以此保证信号可在适当的距离被安全、有效、可靠的接收。现有的传统阻抗匹配网络可以由集总参数的电抗元件（如电容、电感）构成，也可以由分布参数原件（如微带线、带状线）构成。典型的匹配网络拓扑结构由集总元件构成的“L”型、“ Π ”型和“T”型匹配网络，还有分布式的传输线匹配网络。

在 5G 移动通信通信技术的 N77（3.3GHz—4.2GHz）频段内，因为高频下的各个元器件均会产生不同程度的寄生效应，并且在输出功率很大的情况需要更大的晶体管发射极总面积，意味着需要多个晶体管并联才可达到设计所需的输出功率。而多个晶体管并联将导致其输入端和输出端的阻抗值非常小，在设计匹配时将非常困难，无论是“L”型、“ Π ”型还是“T”型匹配网络，均要多个拓扑结构级联或增加电抗元件，才能进行匹配。然而，增加级联拓扑结构或电抗元件，不仅会使得版图面积增大，增加了流片的成本；每多引入一个拓扑结构或电抗元件，还将导致匹配结构的插损增大，将对整体电路的增益和输出功率带来较大影响。

发明内容

本发明实施例提供一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器，能够有效的缩小了版图面积，同时没有带来额外的插损，对增益和输出回波损耗的优化的效果有显著提升。

为了解决上述技术问题，本发明一方面提供一种基于变压器匹配网络的射

频功率放大器，包括依次连接的输入匹配网络、第一级单路放大电路、第一级间匹配网络、第二级双路放大电路、第二级间匹配网络、第三级四路放大电路以及输出匹配网络；

所述第一级间匹配网络包括一个第一变压器 T1，所述第二级间匹配网络包
5 括两个第二变压器 T2，所述输出匹配网络包括两个第三变压器 T3 和一个第四变压器 T4；

单端射频输入信号 RFin 依次经过所述输入匹配网络和所述第一级单路放大电路后，经由所述第一变压器 T1 变为两路差分信号分别输出给所述第二级双路放大电路的两个输入端，所述两路差分信号经由所述第二级双路放大电路
10 放大后分别输出给所述两个第二变压器 T2，经由所述两个第二变压器 T2 变为四路差分信号分别输出给所述第三级四路放大电路的四个输入端，所述四路差分信号经由所述第三级四路放大电路放大后分别输出给所述两个第三变压器 T3，经由所述第三变压器 T3 变为两路差分信号并分别输出给所述第四变压器 T4 的两个输入端，由所述第四变压器 T4 将两路差分信号合成为一路射频输出
15 信号 RFout 进行输出。

更进一步地，所述第三级四路放大电路的四个输入端两两为一组，每组的两个输入端分别对应的两个输出端为一组输出端；

所述第一变压器 T1 的两个输入端分别与所述第一级单路放大电路的输出端和电源信号 Vcc1 连接，所述第一变压器 T1 的两个输出端分别与所述第二级
20 双路放大电路的两个输入端连接；所述两个第二变压器 T2 分别与所述第二级双路放大电路的两个输出端一一对应，每个所述第二变压器 T2 的一个输入端与所述第二级双路放大电路对应的输出端连接，所述第二变压器 T2 的另一个输入端与电源信号 Vcc2 连接，每个所述第二变压器 T2 的两个输出端分别与所述第三级四路放大电路同一组的两个输入端连接；每个所述第三变压器 T3 的
25 两个输入端分别与所述第三级四路放大电路同一组的两个输出端连接，每个所述第三变压器 T3 的两个输出端分别与所述第四变压器 T4 的一个输入端和地端连接，所述第四变压器 T4 的一个输出端用于输出射频输出信号 RFout，另一个输出端接地。

更进一步地，所述第一级单路放大电路包括一个第一晶体管 Q1，所述第二

级双路放大电路包括两个第二晶体管 Q2 ,所述第三级四路放大电路包括四个第三晶体管 Q3 ,所述第一晶体管 Q1 的基极和集电极对应为所述第一级单路放大电路的输入端和输出端,两个所述第二晶体管 Q2 的基极对应为所述第二级双路放大电路的两个输入端,两个所述第二晶体管 Q2 的集电极对应为所述第二级双路放大电路的两个输出端,四个所述第三晶体管 Q3 的基极对应为所述第三级四路放大电路的四个输入端,四个所述第三晶体管 Q3 的集电极对应为所述第三级四路放大电路的四个输出端,所述第一晶体管 Q1、第二晶体管 Q2 和第三晶体管 Q3 的发射极均接地。

更进一步地,所述射频功率放大器还包括连接在所述第一晶体管 Q1 的基极和集电极之间的负反馈网络,所述负反馈网络包括串联的第一电阻 R1 和第一电容 C1 ;

所述射频功率放大器还包括第二电阻 R2 ,所述第二电阻 R2 串联在所述输入匹配网络和所述第一晶体管 Q1 的基极之间,并与所述负反馈网络并联。

更进一步地,所述输入匹配网络包括电感 L1、L2 和电容 C2、C3 ,所述电容 C2 的一端与所述电感 L1 的一端并联并用于输入单端射频输入信号 RFin ,所述电容 C2 的另一端与电容 C3 的一端连接,所述电容 C3 的另一端和所述第一晶体管 Q1 的基极连接,所述电感 L1 的另一端接地,所述电感 L2 的一端连接在所述电容 C2 和 C3 之间,所述电感 L2 的另一端接地。

更进一步地,所述第一变压器 T1 和所述第二变压器 T2 为对称互绕变压器,第三变压器 T3 和所述第四变压器 T4 为叠层升压变压器,所述对称互绕变压器和所述叠层升压变压器的初级线圈和次级线圈的匝数比都为 2:1~1:1 之间。

更进一步地,所述叠层升压变压器包括依次层叠的第一至第三层金属层,每层所述金属层具有两个连接端,相邻两层金属层之间设置有绝缘层,所述绝缘层上具有通孔,其中第一层金属层和第三层金属层为次级线圈,并且第一金属层的一端通过所述通孔与第三金属层的一端连接,第二层金属层为初级线圈。

更进一步地,每层所述金属层呈环状,从而限定出由所述金属层环绕的中间区域,所述通孔位于所述中间区域上,所述第一金属层的一端和所述第三金属层的一端弯折延伸至所述中间区域,以通过位于中间区域的所述通孔连接。

更进一步地,所述第一金属层一端的弯折部和所述第三金属层一端的弯折

部在层叠方向上重合。

更进一步地，所述第一金属层一端的弯折部和所述第三金属层一端的弯折部在层叠方向上的投影在一条直线上。

有益效果：本发明的基于变压器匹配网络的射频功率放大器，包括输入匹配网络、第一级放大电路、第一级间匹配网络、第二级放大电路、第二级间匹配网络、第三级放大电路以及输出匹配网络；所述第一级放大电路包括一个第一放大器，所述第二级放大电路包括两个第二放大器，所述第三级放大器包括四个第三放大器，所述四个第三放大器分为两两一组，所述第一级间匹配网络包括一个第一变压器 T1，所述第二级间匹配网络包括两个第二变压器 T2，所述输出匹配网络包括两个第三变压器 T3 和一个第四变压器 T4；单端射频输入信号 RFin 依次经过所述输入匹配网络 and 第一级放大器，经由所述第一变压器 T1 变为两路差分信号分别输入至两个所述第二放大器，所述两个第二变压器 T2 分别与两个所述第二放大器一一对应连接，每个所述第二变压器 T2 将来自对应的第二放大器的单端信号变为两路差分信号并分别输入至同一组的两个所述第三放大器中，所述两个第三变压器 T3 分别与两组所述第三放大器连接，每个所述第三变压器 T3 将来自同一组的两个所述第三放大器的差分信号合成为单端信号并输出至所述第四变压器 T4，所述第四变压器 T4 将来自两个所述第三变压器 T3 的单端信号合成为一路射频输出信号 RFout 进行输出，因此，本方案中，通过在级间匹配和输出匹配都采用变压器匹配，相比于现有多个匹配拓扑结构级联，有效的缩小了版图面积，同时没有带来额外的插损，对增益和输出回波损耗的优化的效果有显著提升；最后通过末级放大电路的 4 路功率合成，在不影响和恶化其他指标的同时获得了较高的输出功率。

附图说明

下面结合附图，通过对本发明的具体实施方式详细描述，将使本发明的技术方案及其有益效果显而易见。

图 1 是本发明实施例提供的射频功率放大器的电路图；

图 2 是本发明实施例提供的对称互绕变压器的原理图；

图 3 是本发明实施例提供的对称互绕变压器的版图；

图 4 是本发明实施例提供的第三变压器和第四变压器为叠层升压变压器时

两者的连接结构示意图；

图 5 是图 4 所示的叠层升压变压器的分解示意图；

图 6 是本发明实施例提供的叠层升压变压器的另一结构示意图；

图 7 是图 6 所示的叠层升压变压器的截面图；

5 图 8 是图 6 所示的的叠层升压变压器的相位仿真波形图；

图 9 是图 6 所示的叠层升压变压器的插损和幅度仿真波形图；

图 10 是图 6 所示的叠层升压变压器的驻波仿真波形图。

具体实施方式

10 请参照图式，其中相同的组件符号代表相同的组件，本发明的原理是以实施在一适当的运算环境中来举例说明。以下的说明是基于所例示的本发明具体实施例，其不应被视为限制本发明未在此详述的其它具体实施例。

参阅图 1，本发明实施例提供的一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器 100，具体包括依次连接的输入匹配网络 10、第一级单路放大电路 20、第一级间匹配网络 30、第二级双路放大电路 40、第二级间匹配网络 50、第三级四路放大电路 60 以及输出网络匹配 70。

其中，所述第一级间匹配网络 30 包括一个第一变压器 T1，所述第二级间匹配网络 50 包括两个第二变压器 T2，所述输出匹配网络 70 包括两个第三变压器 T3 和一个第四变压器 T4。

20 单端射频输入信号 RFin 依次经过所述输入匹配网络 10 和所述第一级单路放大电路 20 后，经由所述第一变压器 T1 变为两路差分信号分别输出给所述第二级双路放大电路 40 的两个输入端，所述两路差分信号经由所述第二级双路放大电路 40 放大后分别输出给所述两个第二变压器 T2，经由所述两个第二变压器 T2 变为四路差分信号分别输出给所述第三级四路放大电路 60 的四个输入端，所述四路差分信号经由所述第三级四路放大电路 60 放大后分别输出给所述
25 两个第三变压器 T3，经由所述第三变压器 T3 变为两路差分信号并分别输出给所述第四变压器 T4 的两个输入端，由所述第四变压器 T4 将两路差分信号合成一路射频输出信号 RFout 进行输出。

由此，通过本发明的级间匹配网络和输出匹配网络，可以实现将输入的单端信号先变为两路差分信号，之后两路差分信号变为四路差分信号，再通过将

四路差分信号合成为两路差分信号，最后再合成为一个单端信号输出，在不影响和恶化其他指标的同时获得了较高的输出功率；此外，级间匹配网络和输出匹配网络都是通过变压器实现，相比于现有多个匹配拓扑结构级联，有效的缩小了版图面积，同时没有带来额外的插损，对增益和输出回波损耗的优化的效果有显著提升。

在一些实施例中，第一至第三级放大电路可均采用 HBT 晶体管实现，具体如图 1 所示，第一级单路放大电路 20 包括一个第一晶体管 Q1，第二级双路放大电路 40 包括两个第二晶体管 Q2，第三级四路放大电路 60 包括四个第三晶体管 Q3。其中，所述第一晶体管 Q1 的基极和集电极对应为所述第一级单路放大电路 20 的输入端和输出端，两个所述第二晶体管 Q2 的基极对应为所述第二级双路放大电路 40 的两个输入端，两个所述第二晶体管 Q2 的集电极对应为所述第二级双路放大电路 40 的两个输出端，四个所述第三晶体管 Q3 的基极对应为所述第三级四路放大电路 60 的四个输入端，四个所述第三晶体管 Q3 的集电极对应为所述第三级四路放大电路 60 的四个输出端。其中，所述第三级四路放大电路 60 的四个输入端两两为一组，每组的两个输入端分别对应的两个输出端为一组输出端，也就是两个第三晶体管 Q3 为一组。

在具体的实施方式中，第一变压器 T1 的两个输入端分别与第一晶体管 Q1 的集电极和电源信号 Vcc1 连接，第一变压器 T1 的两个输出端分别与两个第二晶体管 Q2 的基极连接，所述两个第二变压器 T2 分别与所述第二级双路放大电路 40 的两个输出端一一对应，即两个第二变压器 T2 分别与两个第二晶体管 Q2 一一对应，每个第二变压器 T2 的两个输入端分别与对应的第二晶体管 Q2 的集电极和电源信号 Vcc2 连接，一个第二变压器 T2 的两个输出端分别与同一组的两个第三晶体管 Q3 的基极连接，另一个第二变压器 T2 的两个输出端分别与另一组的两个第三晶体管 Q3 连接。一个第三变压器 T3 的两个输入端分别与同一组的两个第三晶体管 Q3 的集电极连接，另一个第三变压器 T3 的两个输入端分别与另一组的两个第三晶体管 Q3 的集电极连接。此外，两个第三变压器 T3 的其中一个输出端都是接地，两个第三变压器 T3 的另一个输出端分别连接第四变压器 T4 的两个输入端，第四变压器 T4 的一个输出端接地，另一个输出端用于输出射频输出信号 RFout。

对于第三级四路放大电路 60，本实施例采用的是两路 2 个晶体管并联，有利于增大晶体管基极输入端阻抗值，可有效降低级间匹配难度，并完成阻抗变换。并且，对于第一级间匹配网络 30，通过采用变压器来实现，将单端信号变为两路差分信号分别输入至第二级双路放大电路 40 的两个晶体管 Q2，可有效降低级间匹配难度，并且第二晶体管 Q2 不需串联基极电阻，因此对其增益、输出功率和输出功率的线性度都有很大提升。

从图 1 可以看出，本发明实施例中，第一级单路放大电路 20 采用第一晶体管 Q1 实现一路放大电路，在其他实施例中，第一晶体管 Q1 的数量不限于是一个，可以采用多个并联的第一晶体管 Q1 实现第一级单路放大电路 20，多个第一晶体管 Q1 实现并联的方式为多个第一晶体管 Q1 的基极各自串联一个第二电阻 R2 后并联在一起，第一晶体管 Q1 的集电极并联在一起作为第一级单路放大电路 20 的输出端，第一晶体管 Q1 的发射极均接地。同理地，图 1 所示的实施例中，第二级双路放大电路 40 采用两个第二晶体管 Q2 分别实现两路放大电路，在其他实时方式中，第二级双路放大电路 40 的每一路放大电路可以采用多个并联的第二晶体管 Q2 实现，每一路中多个并联的第二晶体管 Q2 的基极并联在一起，集电极并联在一起，发射极接地。此外，图 1 所示的实施例中，第三级四路放大电路 60 采用四个第三晶体管 Q3 分别实现四路放大电路，在其他实时方式中，第三级四路放大电路 60 的每一路放大电路可以采用多个并联的第三晶体管 Q3 实现，每一路中多个并联的第三晶体管 Q3 的基极并联在一起，集电极并联在一起，发射极均接地。通过多个晶体管并联的方式实现放大，可以提高放大电路的性能。

可以理解的是，本发明实施例的放大电路并不局限于采用 HBT 晶体管实现，也可以采用 COMS 管实现，或者还可以是晶体管的组合来实现，只要实现功率放大即可。

继续参阅图 1，本发明实施例中，射频功率放大器 100 还包括连接在所述第一晶体管 Q1 的基极和集电极之间的负反馈网络 80。负反馈网络 80 包括串联的第一电阻 R1 和第一电容 C1。所述射频功率放大器 100 还包括第二电阻 R2，所述第二电阻 R2 串联在所述输入匹配网络 10 和所述第一晶体管 Q1 的基极之间，并与所述负反馈网络 80 并联。

通过第二电阻 R2 的作用，可以进一步提高第一级放大电路 20 的稳定性和优化输入回波损耗。而通过在第一晶体管 Q1 集电极与基极之间增加负反馈网络 80，负反馈网络 80 中的第一电阻 R1 可调节反馈深度，增加稳定性的同时使第一级放大电路 20 的增益和输出功率有所降低。

5 本发明实施例中，输入匹配网络 10 采用两阶 LC 匹配实现，如图 1 所示，所述输入匹配网络 10 包括电感 L1、L2 和电容 C2、C3，所述电容 C2 的一端与所述电感 L1 的一端并联并用于输入单端射频输入信号 RFin，所述电容 C2 的另一端与电容 C3 的一端连接，所述电容 C3 的另一端和所述第一晶体管 Q1 的基极连接，所述电感 L1 的另一端接地，所述电感 L2 的一端连接在所述电容 C2 和 C3 之间，所述电感 L2 的另一端接地。通过采用两阶 LC 匹配实现输入匹配，
10 有利于优化整体电路的输入回波损耗。

其中，第一级间匹配网络 30 还包括电容值相同的滤波电容 C4 和 C5、两个隔直电容 C6 以及扼流电感 L3，两个滤波电容 C4 和 C5 的一端分别与第一变压器 T1 的两个输入端连接，两个滤波电容 C4 和 C5 的另一端分别接地，两个
15 隔直电容 C6 分别串联在第一变压器 T1 的两个输出端和对应连接的第二晶体管 Q2 的基极之间。扼流电感 L3 串联在电源信号 Vcc1 和与该电源信号 Vcc1 连接的第一变压器 T1 的输入端之间。

第二级间匹配网络 50 还包括两个滤波电容 C7 和四个隔直电容 C8，其中一个滤波电容 C7 串联在一个第二晶体管 Q2 的集电极和与其连接的第二变压器
20 T2 的输入端之间，另一个滤波电容 C7 串联在另一个第二晶体管 Q2 的集电极和与其连接的另一个第二晶体管 Q2 的输入端之间，每个第二变压器 T2 的每个输出端和与其连接的第三晶体管 Q3 的基极之间都串联有一个所述隔直电容 C8。

此外，输出匹配网络 70 还包括四个第一滤波电容 C9、两个第二滤波电容
25 C10 以及两个电感 L4，四个第一滤波电容 C9 的一端与四个第三晶体管 Q3 的集电极一一对应连接，四个第一滤波电容 C9 的另一端分别接地，两个第二滤波电容 C10 的一端分别与第四变压器 T4 的两个输入端连接，两个第二滤波电容 C10 的另一端方分别接地，并且第四变压器 T4 的输入端和对应连接的第三变压器 T3 的输出端之间串联有所述电感 L4。

本发明的实施例中，所述第一变压器 T1 和所述第二变压器 T2 为对称互绕变压器，第三变压器 T3 和所述第四变压器 T4 为叠层升压变压器，所述对称互绕变压器和所述叠层升压变压器的初级线圈和次级线圈的匝数比都为 2:1~1:1 之间。

5 参阅图 3，本发明实施例的对称互绕变压器为轴对称结构，接地点在对称轴上，由此在输出信号相位转换时可确保相位足够精确，在传输差分信号方面有较大优势。此外，对称互绕变压器有较大的互感，因此其耦合系数 K 值较大为 0.7~0.9，K 值越大，变压器越接近理想状态，其带宽较宽、插入损耗较小。并且该变压器的初级线圈和次级线圈的端口在变压器两端，因此十分适合用于
10 前后级电路的级联。例如，以第二变压器 T2 为例，变压器的 E、F 端分别连接第二晶体管 Q2 的输出端与隔离端（即直流供电端 Vcc2），E、F 端及其连接线圈为初级线圈，M、N 端连接第三级放大电路的两路差分信号的输入端，M、N 及其连接线圈为次级线圈，初、次级线圈匝数比在 2:1 与 1:1 之间。

如图 4 至图 5 所示，本发明实施例的叠层升压变压器包括依次层叠的第一
15 金属层 A、第二金属层 B 以及第三层金属层 C，每层所述金属层具有两个连接端，相邻两层金属层之间设置有绝缘层（图未示意），所述绝缘层上具有通孔 D。其中第一层金属层 A 和第三层金属层 C 为次级线圈，并且第一金属层 A 的一端通过所述通孔 D 与第三金属层 C 的一端连接，第二层金属层 B 为初级线圈。如图 4 所示，每层金属层呈环状，从而限定出由金属层环绕的中间区域，通孔
20 D 位于中间区域上，第一金属层 A 的一端和第三金属层 C 的一端弯折延伸至该中间区域，以通过中间区域的通孔 D 连接。其中，所述第一金属层 A 一端的弯折部 A1 和所述第三金属层 C 一端的弯折部 C1 在层叠方向上重合。其中，图 4 示意的是输出匹配网络 70 中的两个第三变压器 T3 和一个第四变压器 T4 的连接结构示意图，图中“IN-”、“IN+”表示的是输入端，“GND”表示接地，
25 GND 可保持两个输出信号的相位差为 180°；在第一、三金属层 A、C 与第二金属层 B 的耦合下，感应出信号，以此将两个信号合成为一个信号，两个第三变压器 T3 合成的信号输出后，进入第四变压器 T4 后信号再次合成，最终输出为一个 RFout 信号，达成四路合成的目的。

在另一些实施例中，如图 6 和图 7 所示，所述第一金属层 A 一端的弯折部

A1 和所述第三金属层 C 一端的弯折部 C1 在层叠方向上的投影也可以是大致在一条直线上，通过此种结构的变压器，如图 8 所示至图 10 所示，图 8 为图 6 所示的叠层升压变压器的相位仿真波形图，图 9 是图 6 所示的叠层升压变压器的插损和幅度仿真波形图，其中曲线 S(3,1)表示幅度曲线，S(3,2)表示插损曲线，图 10 是图 6 所示的叠层升压变压器的驻波仿真波形图，从图中可看出，变压器可在合成输出功率的同时，具有非常好的幅度、相位的一致性，并且有较小的插损和较好的驻波。

以上对本发明实施例所提供的一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器进行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种基于变压器匹配网络的射频功率放大器，其特征在于，包括依次连接的输入匹配网络、第一级单路放大电路、第一级间匹配网络、第二级双路放大电路、第二级间匹配网络、第三级四路放大电路以及输出匹配网络；

5 所述第一级间匹配网络包括一个第一变压器 T1，所述第二级间匹配网络包括两个第二变压器 T2，所述输出匹配网络包括两个第三变压器 T3 和一个第四变压器 T4；

单端射频输入信号 RFin 依次经过所述输入匹配网络和所述第一级单路放大电路后，经由所述第一变压器 T1 变为两路差分信号分别输出给所述第二级双路放大电路的两个输入端，所述两路差分信号经由所述第二级双路放大电路放大后分别输出给所述两个第二变压器 T2，经由所述两个第二变压器 T2 变为四路差分信号分别输出给所述第三级四路放大电路的四个输入端，所述四路差分信号经由所述第三级四路放大电路放大后分别输出给所述两个第三变压器 T3，经由所述第三变压器 T3 变为两路差分信号并分别输出给所述第四变压器 T4 的两个输入端，由所述第四变压器 T4 将两路差分信号合成为一路射频输出信号 RFout 进行输出。

2、根据权利要求 1 所述的射频功率放大器，其特征在于，所述第三级四路放大电路的四个输入端两两为一组，每组的两个输入端分别对应的两个输出端为一组输出端；

20 所述第一变压器 T1 的两个输入端分别与所述第一级单路放大电路的输出端和电源信号 Vcc1 连接，所述第一变压器 T1 的两个输出端分别与所述第二级双路放大电路的两个输入端连接；所述两个第二变压器 T2 分别与所述第二级双路放大电路的两个输出端一一对应，每个所述第二变压器 T2 的一个输入端与所述第二级双路放大电路对应的输出端连接，所述第二变压器 T2 的另一个输入端与电源信号 Vcc2 连接，每个所述第二变压器 T2 的两个输出端分别与所述第三级四路放大电路同一组的两个输入端连接；每个所述第三变压器 T3 的两个输入端分别与所述第三级四路放大电路同一组的两个输出端连接，每个所述第三变压器 T3 的两个输出端分别与所述第四变压器 T4 的一个输入端和地端连接，所述第四变压器 T4 的一个输出端用于输出射频输出信号 RFout，另一个

输出端接地。

3、根据权利要求2所述的射频功率放大器，其特征在于，所述第一级单路放大电路包括一个第一晶体管Q1，所述第二级双路放大电路包括两个第二晶体管Q2，所述第三级四路放大电路包括四个第三晶体管Q3，所述第一晶体管Q1的基极和集电极对应为所述第一级单路放大电路的输入端和输出端，两个所述第二晶体管Q2的基极对应为所述第二级双路放大电路的两个输入端，两个所述第二晶体管Q2的集电极对应为所述第二级双路放大电路的两个输出端，四个所述第三晶体管Q3的基极对应为所述第三级四路放大电路的四个输入端，四个所述第三晶体管Q3的集电极对应为所述第三级四路放大电路的四个输出端，所述第一晶体管Q1、第二晶体管Q2和第三晶体管Q3的发射极均接地。

4、根据权利要求3所述的射频功率放大器，其特征在于，所述射频功率放大器还包括连接在所述第一晶体管Q1的基极和集电极之间的负反馈网络，所述负反馈网络包括串联的第一电阻R1和第一电容C1；

所述射频功率放大器还包括第二电阻R2，所述第二电阻R2串联在所述输入匹配网络和所述第一晶体管Q1的基极之间，并与所述负反馈网络并联。

5、根据权利要求3所述的射频功率放大器，其特征在于，所述输入匹配网络包括电感L1、L2和电容C2、C3，所述电容C2的一端与所述电感L1的一端并联并用于输入单端射频输入信号RFin，所述电容C2的另一端与电容C3的一端连接，所述电容C3的另一端和所述第一晶体管Q1的基极连接，所述电感L1的另一端接地，所述电感L2的一端连接在所述电容C2和C3之间，所述电感L2的另一端接地。

6、根据权利要求1所述的射频功率放大器，其特征在于，所述第一变压器T1和所述第二变压器T2为对称互绕变压器，第三变压器T3和所述第四变压器T4为叠层升压变压器，所述对称互绕变压器和所述叠层升压变压器的初级线圈和次级线圈的匝数比都为2:1~1:1之间。

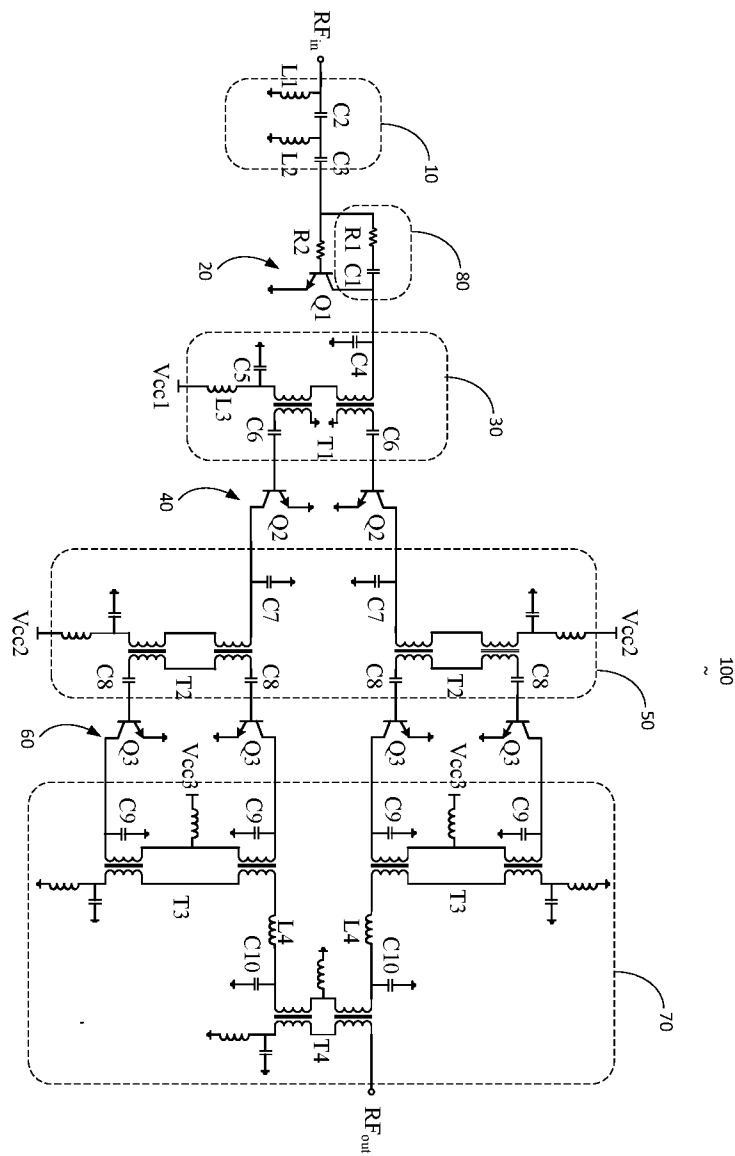
7、根据权利要求6所述的射频功率放大器，其特征在于，所述叠层升压变压器包括依次层叠的第一至第三层金属层，每层所述金属层具有两个连接端，相邻两层金属层之间设置有绝缘层，所述绝缘层上具有通孔，其中第一层金属层和第三层金属层为次级线圈，并且第一金属层的一端通过所述通孔与第三金

属层的一端连接，第二层金属层为初级线圈。

8、根据权利要求 7 所述的射频功率放大器，其特征在于，每层所述金属层呈环状，从而限定出由所述金属层环绕的中间区域，所述通孔位于所述中间区域上，所述第一金属层的一端和所述第三金属层的一端弯折延伸至所述中间区域，以通过位于中间区域的所述通孔连接。

9、根据权利要求 8 所述的射频功率放大器，其特征在于，所述第一金属层一端的弯折部和所述第三金属层一端的弯折部在层叠方向上重合。

10、根据权利要求 8 所述的射频功率放大器，其特征在于，所述第一金属层一端的弯折部和所述第三金属层一端的弯折部在层叠方向上的投影在一条直线上。



1

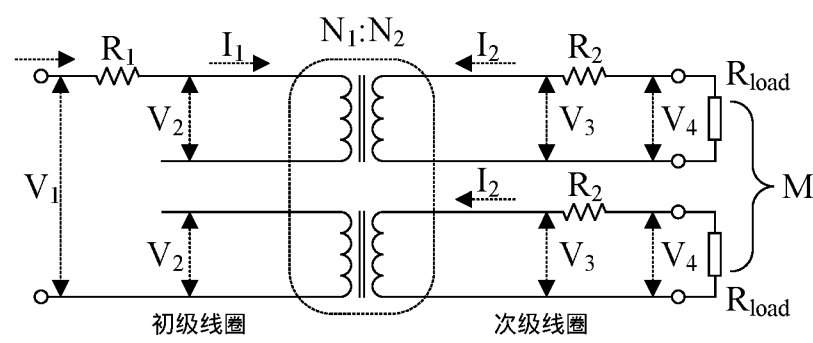


图 2

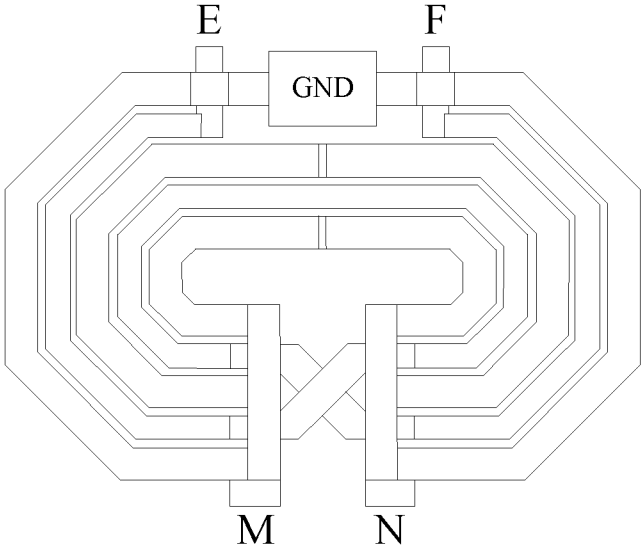


图 3

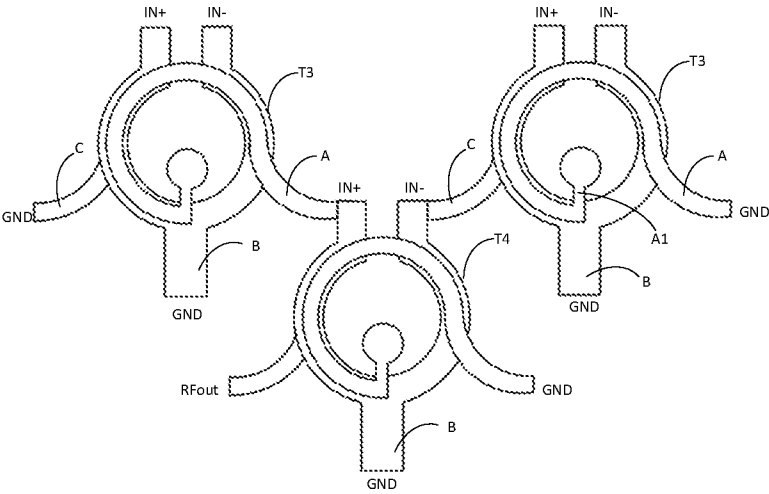


图 4

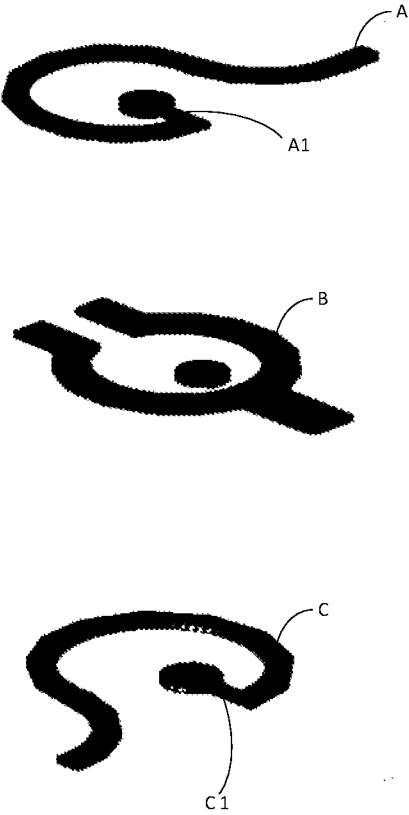


图 5

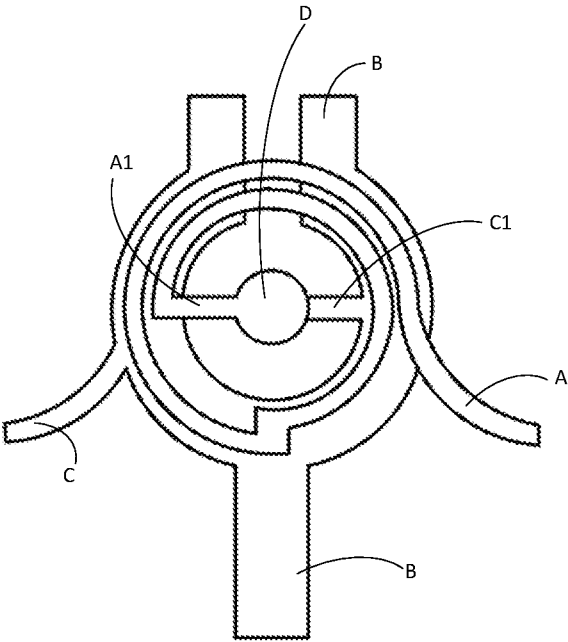


图 6

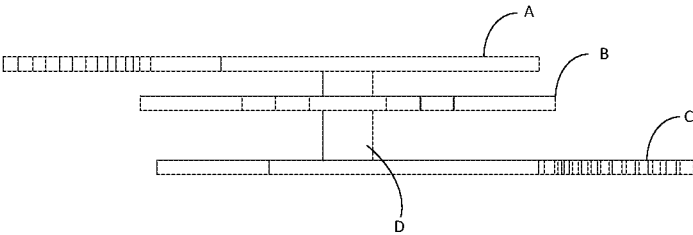


图 7

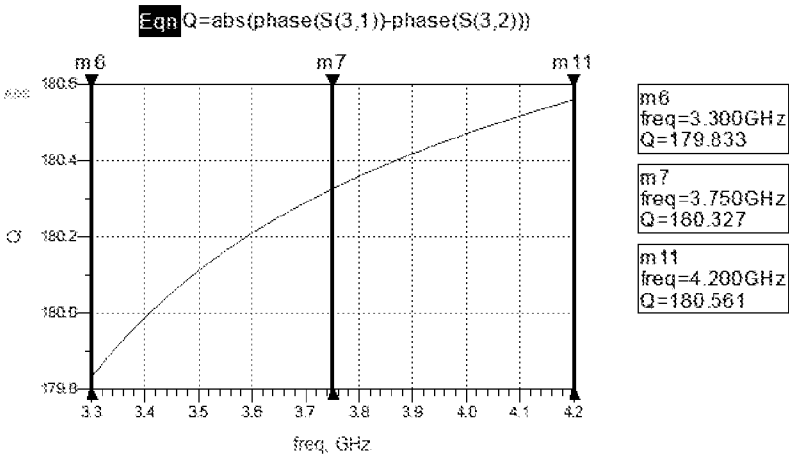


图 8

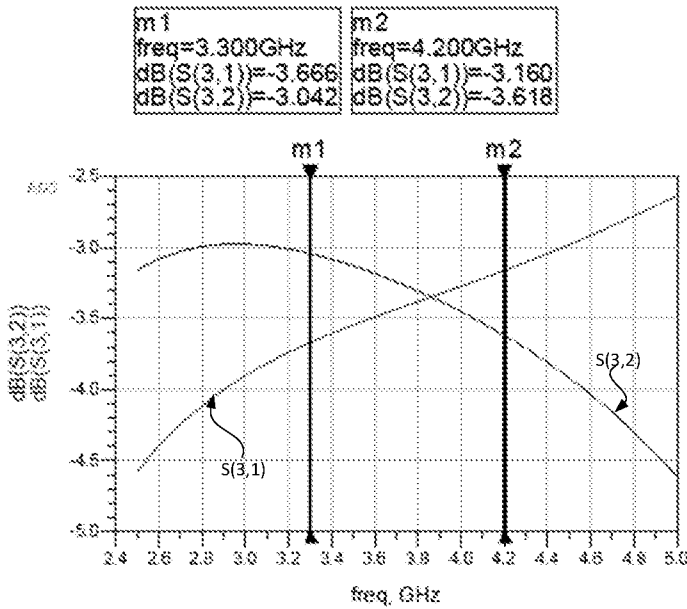


图 9

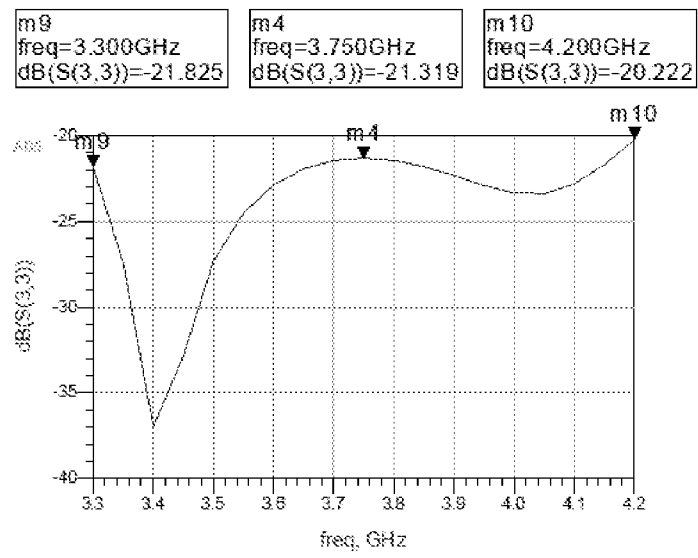


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/078358

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03F 1/56(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; WPABSC; ENTXT; VCN; WPABS; DWPI; VEN; CNKI; IEEE: 射频, 功率, 放大器, 匹配, 变压器, 差分, 输入, 输出, 晶体管, radio frequency, power, amplifier, match, transformer, differential, input, output, transistor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113556092 A (LANSUS TECHNOLOGIES INC.) 26 October 2021 (2021-10-26) description, paragraphs 1-38, and figures 1-10	1-10
X	ZHAO, Yi et al. "A 60GHz-band 20dBm Power Amplifier with 20% Peak PAE" <i>IEEE</i> , 05 July 2011 (2011-07-05), ISSN: 1529-2517, page 1, column 2, paragraph 5-page 4, column 1, paragraph 3	1-2, 6-10
Y	ZHAO, Yi et al. "A 60GHz-band 20dBm Power Amplifier with 20% Peak PAE" <i>IEEE</i> , 05 July 2011 (2011-07-05), ISSN: 1529-2517, page 1, column 2, paragraph 5-page 4, column 1, paragraph 3	3-5
X	CN 112953403 A (NO.38 RESEARCH INSTITUTE OF CETC) 11 June 2021 (2021-06-11) description, paragraphs 12-44, and figure 1	1-2, 6-10
Y	CN 112953403 A (NO.38 RESEARCH INSTITUTE OF CETC) 11 June 2021 (2021-06-11) description, paragraphs 12-44, and figure 1	3-5
Y	CN 106533374 A (RDA MICROELECTRONICS, INC.) 22 March 2017 (2017-03-22) description, paragraphs 33-63, and figures 1-4	3-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 May 2022

Date of mailing of the international search report

25 May 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/078358**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103095230 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 08 May 2013 (2013-05-08) entire document	1-10
A	US 10110177 B1 (SILICON LABORATORIES INC.) 23 October 2018 (2018-10-23) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/078358

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
CN	113556092	A	26 October 2021	CN	113556092	B	31 December 2021
CN	112953403	A	11 June 2021	CN	112953403	B	03 September 2021
				CN	214480486	U	22 October 2021
CN	106533374	A	22 March 2017	None			
CN	103095230	A	08 May 2013	None			
US	10110177	B1	23 October 2018	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/078358

A. 主题的分类

H03F 1/56 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H03F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNABS; CNTXT; WPABSC; ENTXT; VCN; WPABS; DWPI; VEN; CNKI; IEEE: 射频, 功率, 放大器, 匹配, 变压器, 差分, 输入, 输出, 晶体管, radio frequency, power, amplifier, match, transformer, differential, input, output, transistor

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 113556092 A (深圳飞骧科技股份有限公司) 2021年10月26日 (2021 - 10 - 26) 说明书第1-38段, 图1-10	1-10
X	Yi Zhao 等. "A 60GHz-band 20dBm Power Amplifier with 20% Peak PAE" IEEE, 2011年7月5日 (2011 - 07 - 05), ISSN: 1529-2517, 第1页第2栏第5段-第4页第1栏第3段	1-2, 6-10
Y	Yi Zhao 等. "A 60GHz-band 20dBm Power Amplifier with 20% Peak PAE" IEEE, 2011年7月5日 (2011 - 07 - 05), ISSN: 1529-2517, 第1页第2栏第5段-第4页第1栏第3段	3-5
X	CN 112953403 A (中国电子科技集团公司第三十八研究所) 2021年6月11日 (2021 - 06 - 11) 说明书第12-44段, 图1	1-2, 6-10
Y	CN 112953403 A (中国电子科技集团公司第三十八研究所) 2021年6月11日 (2021 - 06 - 11) 说明书第12-44段, 图1	3-5

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年5月11日

国际检索报告邮寄日期

2022年5月25日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

陈文达

电话号码 86-(20)-28950881

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 106533374 A (锐迪科微电子上海有限公司) 2017年3月22日 (2017 - 03 - 22) 说明书第33-63段，图1-4	3-5
A	CN 103095230 A (东南大学) 2013年5月8日 (2013 - 05 - 08) 全文	1-10
A	US 10110177 B1 (SILICON LAB INC) 2018年10月23日 (2018 - 10 - 23) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/078358

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	113556092	A	2021年10月26日	CN 113556092 B	2021年12月31日
CN	112953403	A	2021年6月11日	CN 112953403 B	2021年9月3日
				CN 214480486 U	2021年10月22日
CN	106533374	A	2017年3月22日	无	
CN	103095230	A	2013年5月8日	无	
US	10110177	B1	2018年10月23日	无	