

(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
2016 年 1 月 28 日 (28.01.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/011973 A1

- (51) 国际专利分类号:
H03F 3/189 (2006.01) *G01R 33/34* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/085022
- (22) 国际申请日: 2015 年 7 月 24 日 (24.07.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201410359319.3 2014 年 7 月 25 日 (25.07.2014) CN
- (71) 申请人: 通用电气公司 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) [US/US]; 美国纽约州斯克内克塔迪县河滨路 1 号, New York 12345 (US)。
- (72) 发明人: 及
- (71) 申请人 (仅对伯利兹): 蒋鑫 (JIANG, Xin) [CN/CN]; 中国上海市浦东区秀沿路 1028-2, Shanghai 201315 (CN)。 宋婷婷 (SONG, Tingting) [CN/CN]; 中国上海市浦东区成山路 1728 号 47 栋 701 室, Shanghai

201125 (CN)。 陈基锋 (CHEN, Jifeng) [CN/CN]; 中国上海市张江高科技园区蔡伦路 1800 号, Shanghai 201203 (CN)。

(74) 代理人: 中国专利代理(香港)有限公司 (CHINA PATENT AGENT (H.K.) LTD.); 中国香港特别行政区湾仔港湾道 23 号鹰君中心 22 字楼, Hong Kong (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) Title: MAGNETIC RESONANCE IMAGING APPARATUS, RADIO-FREQUENCY AMPLIFICATION SYSTEM AND METHOD

(54) 发明名称: 磁共振成像装置、射频放大系统及方法

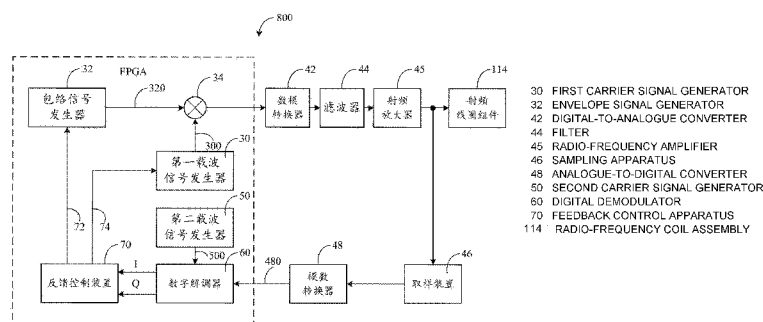


图 2 / FIG. 2

(57) Abstract: A radio-frequency amplification method, comprising modulating a first digital carrier signal (300) by means of a digital envelope signal (320) to generate a digital radio-frequency pulse signal having a first frequency, converting the digital radio-frequency pulse signal into an analogue radio-frequency pulse signal, amplifying the analogue radio-frequency pulse signal to generate a radio-frequency output signal, and converting an analogue feedback signal sampled from the radio-frequency output signal into a digital feedback signal (480); and demodulating the digital feedback signal (480) by means of a second digital carrier signal (500) to generate an I signal and a Q signal, and generating an amplitude setting signal (72) and a phase setting signal (74) according to the I signal and the Q signal, wherein the amplitude setting signal (72) is used for adjusting an amplitude of the digital envelope signal (320), and the phase setting signal (74) is used for adjusting a phase of the first digital carrier signal (300). The second digital carrier signal (500) has a predetermined frequency deviation with respect to the first digital carrier signal (300), and the second digital carrier signal (500) has a predetermined phase deviation with respect to the first digital carrier signal (300). Also provided are a radio-frequency amplification system and a magnetic resonance imaging apparatus.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/011973 A1



(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))。

一种射频放大方法, 其包括使用数字包络信号 (320) 对第一数字载波信号 (300) 进行调制以产生具有第一频率的数字射频脉冲信号, 将数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号, 对模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号, 将取自射频输出信号的模拟反馈信号转换成数字反馈信号 (480); 使用第二数字载波信号 (500) 解调数字反馈信号 (480) 以产生 I 信号和 Q 信号, 根据 I 信号和 Q 信号产生幅度设置信号 (72) 及相位设置信号 (74), 幅度设置信号 (72) 用于调节数字包络信号 (320) 的幅度, 相位设置信号 (74) 用于调节第一数字载波信号 (300) 的相位。第二数字载波信号 (500) 相对于第一数字载波信号 (300) 具有预定的频率偏移, 第二数字载波信号 (500) 相对于第一数字载波信号 (300) 具有预定的相位偏移。还提供一种射频放大系统及磁共振成像装置。

磁共振成像装置、射频放大系统及方法

技术领域

本发明涉及射频技术领域，特别涉及一种磁共振成像装置、射频放大系统及方法。

背景技术

很多形式的无线通信采用射频发射。可对射频载波信号进行调制以传载信息。经调制的射频载波信号可以被放大和发射。为了防止所述经调制的射频载波信号所载信息失真，一般地，需要保持所述放大过程的相对线性。

比如，磁共振成像（MRI）装置一般具有射频放大系统，该射频放大系统利用射频放大器来驱动位于其主要磁结构内的射频线圈。该射频放大器接收由外部的射频源产生的一系列脉冲作为其输入信号，产生功率增强的一系列脉冲作为其输出信号，该输出信号被发射并用来驱动所述射频线圈。然而在射频放大过程中，可能会将射频放大器的增益和相位的非线性引入系统中，导致 MRI 图像失真。为了避免这样的情况，该射频放大系统利用反馈装置来产生反馈信号以校正在射频放大过程中引入的非线性因素来保持线性。

然而，在传统的射频放大系统中，存在电子元器件较多，电路设计复杂等技术问题。因此，需要提出一种新的射频放大系统及方法。

发明内容

现在归纳本发明的一个或多个方面以便于本发明的基本理解，其中该归纳并不是本发明的扩展性纵览，且并非旨在标识本发明的某些要素，也并非旨在划出其范围。相反，该归纳的主要目的是在下文呈现更详细的描述之前用简化形式呈现本发明的一些概念。

本发明的一个方面，在于提供一种射频放大系统。该射频放大系统包括第一数字调制器、数模转换器、射频放大器、模数转换器、数字解调器及反馈控制装置。第一数字调制器用于使用数字包络信号调制第一数字载波信号以产生具有第一频率的数字射频脉冲信号。数模转换器用于将数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号。射频放大器用于对模拟射频脉冲信号进行放

大以产生射频输出信号。模数转换器用于将取样自射频输出信号的模拟反馈信号转换成数字反馈信号。数字解调器用于使用第二数字载波信号解调数字反馈信号以产生 I 信号及 Q 信号。反馈控制装置用于根据 I 信号及 Q 信号产生幅度设置信号及相位设置信号，该幅度设置信号用于调节数字包络信号的幅度，该相位设置信号用于调节第一数字载波信号的相位。第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的频率偏移，第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的相位偏移。

本发明的另一个方面，在于提供一种射频放大方法。该射频放大方法包括使用数字包络信号对第一数字载波信号进行调制以产生具有第一频率的数字射频脉冲信号，将数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号，对模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号，将取样自射频输出信号的模拟反馈信号转换成数字反馈信号；使用第二数字载波信号解调数字反馈信号以产生 I 信号和 Q 信号，根据 I 信号和 Q 信号产生幅度设置信号及相位设置信号，幅度设置信号用于调节数字包络信号的幅度，相位设置信号用于调节第一数字载波信号的相位。第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的频率偏移，第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的相位偏移。

本发明的另一个方面，在于提供一种磁共振成像装置。该磁共振成像装置包括射频线圈组件及射频放大系统。该射频放大系统包括第一数字调制器、数模转换器、射频放大器、模数转换器、数字解调器及反馈控制装置。第一数字调制器用于使用数字包络信号调制第一数字载波信号以产生具有第一频率的数字射频脉冲信号。数模转换器用于将数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号。射频放大器用于对模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号，该射频输出信号用于激励射频线圈组件发射射频信号。模数转换器用于将取样自射频输出信号的模拟反馈信号转换成数字反馈信号。数字解调器用于使用第二数字载波信号解调数字反馈信号以产生 I 信号及 Q 信号。反馈控制装置用于根据 I 信号及 Q 信号产生幅度设置信号及相位设置信号，该幅度设置信号用于调节数字包络信号的幅度，该相位设置信号用于调节第一数字载波信号的相位。第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的频率偏移，第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的相位偏移。

本发明提供的磁共振成像装置、射频放大系统及方法，具有结构简单、电子元器件较少、电路设计简单等有益技术效果。

附图说明

通过结合附图对于本发明的实施方式进行了描述，可以更好地理解本发明，在附图中：

图 1 为一种实施方式的磁共振成像装置的示意图。

图 2 为第一种实施方式的射频放大系统的功能模块图。

图 3 为图 2 所示数字解调器及反馈控制装置之一种实施方式的功能模块图。

图 4 为图 2 所示第一及第二载波信号发生器之一种实施方式的功能模块图。

图 5 为第二种实施方式的射频放大系统的功能模块图。

具体实施方式

以下将描述本发明的具体实施方式，需要指出的是，在这些实施方式的具体描述过程中，为了进行简明扼要的描述，本说明书不可能对实际的实施方式的所有特征均作详尽的描述。应当可以理解的是，在任意一种实施方式的实际实施过程中，正如在任意一个工程项目或者设计项目的过程中，为了实现开发者的具体目标，为了满足系统相关的或者商业相关的限制，常常会做出各种各样的具体决策，而这也会从一种实施方式到另一种实施方式之间发生改变。此外，还可以理解的是，虽然这种开发过程中所作出的努力可能是复杂并且冗长的，然而对于与本发明公开的内容相关的本领域的普通技术人员而言，在本公开揭露的技术内容的基础上进行的一些设计，制造或者生产等变更只是常规的技术手段，不应当理解为本公开的内容不充分。

除非另作定义，权利要求书和说明书中使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属技术领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本发明专利申请说明书以及权利要求书中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的组成部分。“一个”或者“一”等类似词语并不表示数量限制，而是表示存在至少一个。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现在“包括”或者“包含”前面的元件或者物件涵盖出现在“包括”或者“包含”后面列举的元件或者物件及其等同元件，并不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接，而是可以包括电气的连接，不管是直接的还是间接的。

请参阅图 1，其为磁共振成像（MRI）装置 10 的示意图。MRI 装置 10

包括磁系统 11、支架 (cradle) 12、梯度磁场驱动电路 13、射频放大系统 14、磁共振信号接收电路 15、控制单元 16 以及操作员控制台 17。

磁系统 11 包括实际上为横向圆柱形内部空间 (孔) 111, 如图 1 所示, 以及其上放置有对象 20 (例如病人) 的支架 12, 支撑在垫子 (cushion) 上, 通过输送机构 (未示出) 移动至孔 111 中。

在磁系统 11 中, 在孔 111 的磁中心 (扫描中心位置) 附近, 放置有静磁场发生器 112、梯度线圈组件 113 和射频线圈组件 114。

静磁场发生器 112 在孔 111 中形成静磁场。静磁场的方向为, 例如与对象 20 的轴方向平行。然而, 静磁场的方向也可与对象 20 的轴方向垂直。

梯度线圈组件 113 产生梯度磁场以倾斜 (slope) 由静磁场发生器 112 形成的静磁场的强度。这样射频线圈组件 114 所接收的磁共振信号即可提供三维位置信息。梯度线圈组件 113 所产生的梯度磁场有三种类型: 用于薄片 (slice) 选择的梯度磁场、用于频率编码的梯度磁场, 用于相位编码的梯度磁场。为提供这三种类型的梯度磁场, 梯度线圈组件 113 包括三个梯度磁场线圈系统。

射频线圈组件 114 发射射频脉冲以激励由静磁场发生器 112 所形成的静磁场的空间中的对象 20 体内的质子自旋 (spin), 由此产生磁共振信号。与此同时, 射频线圈组件 114 接收由对象 20 产生的磁共振信号。射频线圈组件 114 可构造成分别具有发射射频线圈单元和接收射频线圈单元, 或者构造成由同一个射频线圈单元执行射频脉冲发射及磁共振信号接收。

基于控制单元 16 发出的命令, 梯度磁场驱动电路 13 向梯度线圈组件 113 提供驱动信号 DR 以产生梯度磁场。梯度磁场驱动电路 13 包括三个驱动电路系统, 其未示出, 对应于梯度线圈组件 113 的三个梯度磁场线圈系统。

射频放大系统 14 包括射频脉冲频率合成器, 其将在随后描述, 并使用射频脉冲频率合成器产生模拟射频脉冲信号。向射频线圈组件 114 施加模拟射频脉冲信号, 射频线圈组件 114 发射射频信号。

磁共振信号接收电路 15, 获取射频线圈组件 114 所接收的模拟磁共振信号, 将模拟磁共振信号转换为基带数字磁共振信号, 并将基带数字磁共振信号输出至操作员控制台 17 内的数据处理单元 171。

控制单元 16 根据预定脉冲序列控制梯度磁场驱动电路 13 和射频放大系统 14 以产生驱动信号 DR 和模拟射频脉冲信号。此外, 控制单元 16 控制磁共振信号接收电路 15。

操作员控制台 17 包括数据处理单元 171、图像数据库 172、操作单元 173 和显示单元 174，如图 1 所示，数据处理单元 171 整体控制磁共振成像装置 10、图像再现处理等等。控制单元 16 连接到数据处理单元 171，数据处理单元 171 控制着控制单元 16 的运行。此外，图像数据库 172、操作单元 173 和显示单元 174 连接到数据处理单元 171。图像数据库 172 包括，例如能够记录/能够重现（recordable/reproducible）的硬盘设备或类似设备以记录再现的图像数据等。操作单元 173 包括键盘、鼠标等，并且显示单元 174 包括图形显示器或类似设备。

射频线圈组件 114 是本发明中包括的射频线圈组件的实例，射频放大系统 14 是本发明中包括的射频放大系统的实例。

本发明实施例提供了一种射频放大系统，其包括射频放大器和反馈控制装置，该反馈控制装置可在不同的负载下实现高线性和高稳定性，获得恒定的增益（是指输出信号和输入信号之间的量级比例）。反馈控制装置包括相互独立的幅度控制回路和相位控制回路，用来相互独立地控制幅度和相位，使得幅度和相位的反应可独立地进行优化，从而获得高带宽，比如，满足 MRI 系统要求的高带宽。这样，射频放大器可在不同的负载情况下以很快的反应速度获得补偿从而达到稳定。通过使用不同反馈信号，比如，射频放大器的输出功率或电流，来进行反馈控制，可获得稳定的功率增益或稳定的电流源。更具体地，在本文所描述的系统或方法中，射频放大器的输出功率或输出电流都可以用作反馈信号来进行反馈控制，当以输出功率为反馈信号进行控制时，可获得稳定的功率增益；当以输出电流为反馈信号进行控制时，可获得稳定的电流源。

请参阅图 2，其为第一种实施方式的射频放大系统 800 的功能模块图。射频放大系统 800 包括第一载波信号发生器 30、包络信号发生器 32、第一数字调制器 34、数模转换器 42、滤波器 44、射频放大器 45、取样装置 46、模数转换器 48、数字解调器 60 及反馈控制装置 70。

在非限定的示例中，射频放大系统 800 可以不包括第一载波信号发生器 30、第二载波信号发生器 50 及取样装置 46。在非限定的示例中，射频放大系统 800 可以不包括滤波器 44。

第一载波信号发生器 30 用于产生第一数字载波信号 300。

包络信号发生器 32 用于产生数字包络信号 320。

第一数字调制器 34 使用数字包络信号 320 调制第一数字载波信号 300 以

产生具有第一频率的数字射频脉冲信号。在非限定的示例中，第一数字调制器 34 为数字混频器。

数模转换器 42 用于将该第一频率的数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号。

滤波器 44 用于滤除模拟射频脉冲信号中的高次谐波分量。在非限定的示例中，滤波器 44 为带通滤波器。

射频放大器 45 用于对经过滤波的模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号。在非限定的示例中，该射频输出信号用于激励磁共振成像装置中的射频线圈组件 114 发射射频信号；可以理解的是，该射频输出信号可以被提供给其他的负载，例如不是应用于磁共振成像装置中的普通线圈。

数字射频脉冲信号的第一频率依赖于静磁场的强度来确定。例如，在具有 1.5T（特斯拉）的静磁场强度的装置中，数字射频脉冲信号的第一频率约为 64MHz。数模转换器 42 的采样频率 f_s 必须大于或等于尼奎斯特（Nyquist）频率。在图 2 中，例如采样频率为 200MHz。

再例如，在具有 3.0T（特斯拉）的静磁场强度的装置中，数字射频脉冲信号的第一频率约为 128.1MHz。数模转换器 42 的采样频率 f_s 必须大于采样频率 f_s 必须大于或等于尼奎斯特（Nyquist）频率。在图 2 中，例如采样频率 f_s 为 480MHz 或 640MHz。

取样装置 46 用于对该射频输出信号进行取样以产生模拟反馈信号。取样装置 46 可以是一种用来获得功率反馈信号的耦合器（例如定向耦合器，英文名为 directional coupler），或是一种用来获得电流反馈信号的传感器（例如电流传感器）。

模数转换器 48 用于将模拟反馈信号转换成数字反馈信号 480。

第二载波信号发生器 50 用于产生第二数字载波信号 500。

数字解调器 60 用于使用第二数字载波信号对数字反馈信号进行正交解调以产生 I 信号及 Q 信号。具体解调方式将在后续图 3 中描述。

反馈控制装置 70 用于根据该 I 信号及 Q 信号产生幅度设置信号 72 及相位设置信号 74。幅度设置信号 72 被提供给包络信号发生器 32，以用于调节数字包络信号 320 的幅度。相位设置信号 74 被提供给第一载波信号发生器 30，以用于调节第一数字载波信号 300 的相位。

在非限定的示例中，第一载波信号发生器 30、包络信号发生器 32、第二载波信号发生器 50、数字解调器 60 及反馈控制装置 70 可以集成于 FPGA 的

内部。换句话说，第一载波信号发生器 30、包络信号发生器 32、第二载波信号发生器 50、数字解调器 60 及反馈控制装置 70 为 FPGA 的内部逻辑功能模块。

其中，第二数字载波信号 500 相对于第一数字载波信号 300 具有预定的频率偏移，第二数字载波信号 500 相对于第一数字载波信号 300 具有预定的相位偏移。

由此可知，作为第一种非限定的示例，第二数字载波信号 500 的频率为 f_3 ，第一数字载波信号 300 的频率为 f_1 ，其中 $f_3=f_1$ ，也即第二数字载波信号 500 与第一数字载波信号 300 之间的频率差异为 0。

作为第二种非限定的示例，第二数字载波信号 500 的频率为 f_3 ，第一数字载波信号 300 的频率为 f_1 。其中 $f_3=f_s-f_1$ ，也即第二数字载波信号 500 与第一数字载波信号 300 之间的频率差异为 f_s-2f_1 ，其中 f_s 为模数转换器 48 的采样频率。

在非限定的示例中，第二数字载波信号 500 与第一数字载波信号 300 之间的相位差异为 0。

请一并参阅图 3，其为图 2 所示数字解调器 60 及反馈控制装置 70 之一实施方式的功能模块图。数字解调器 60 利用第二数字载波信号 500、数字调制器 62、64 以及 90 度移相器 65，或者还可再包括两个滤波器 66、68（例如低通滤波器），来将数字反馈信号 480 的矢量转换成正交标量以产生载波在零频的 I 信号和 Q 信号。其中，I 信号和 Q 信号分别为数字反馈信号 480 的同相和正交分量。

反馈控制装置 70 包括幅度反馈回路及相位反馈回路。

幅度反馈回路用于实现幅度调节。幅度反馈回路包括幅度函数 702、比较器 704 及控制器 706。幅度函数 702 用于从 I 信号和 Q 信号中得到反馈幅度 $\sqrt{I^2+Q^2}$ 。比较器 704 用于将反馈幅度与参考幅度进行比较以产生幅度误差信号。控制器 706 用于根据幅度误差信号产生上述幅度设置信号 72。

相位反馈回路用于实现相位调节。在非限定的示例中，相位反馈回路包括比较器 712、积分器 714 及移相器 716。比较器 712 用于将 I 信号与 Q 信号进行比较以产生相位误差信号。若 I 等于 Q，则判定不存在相位误差；若 I 不等于 Q，则判定存在相位误差。积分器 714 及移相器 716 分别用于累积相位误差以及响应相位误差来产生上述相位设置信号 74。

请一并参阅图 4，其为图 2 所示第一载波信号发生器 30 及第二载波信号

发生器 50 之一种实施方式的功能模块图。第一载波信号发生器 30 包括第一相存储器 302、第一相累积器 304 以及第一波形表 306。第一相存储器 302 用于存储第一相位增量。第一相累积器 304 用于在其初始化时设定第一相位的初始值并且通过对每个时钟周期增加所述第一相位增量来计算第一累积相位。第一波形表 306 用于存储该第一数字载波信号，当向第一波形表 306 输入上述第一累积相位时，该第一波形表 306 输出与所述第一累积相位对应的第一数字载波信号。

具体地，第一载波信号发生器 30 所产生的第一数字载波信号的相位通过设置第一相位的初始值来调节。

第二载波信号发生器 50 包括第二相存储器 502、第二相累积器 504 及第二波形表 506。第二相存储器 502 用于存储第二相位增量。第二相累积器 504 用于在其初始化时设定第二相位的初始值并且通过对每个时钟周期增加所述第二相位增量来计算第二累积相位。第二波形表 506 用于存储该第二数字载波信号；当向第二波形表 506 输入上述第二累积相位时，该第二波形表 506 输出与所述第二累积相位对应的第二数字载波信号。具体地，该第二数字载波信号与第一数字载波信号之间的预定频率偏移通过调节第二相位增量来设定，该第二数字载波信号与第一数字载波信号之间的预定相位偏移通过调节第二相位的初始值来设定。

请一并参阅图 5，其为第二种实施方式的射频放大系统 900 的功能模块图。第二种实施方式的射频放大系统 900 与第一种实施方式的射频放大系统 800 的区别是：射频放大系统 900 进一步包括中间级载波信号发生器 36 及第二数字调制器 38。

中间级载波信号发生器 36 用于产生第三数字载波信号 360。

第二数字调制器 38 用于使用第三数字载波信号 360 调制第一数字调制器 34 产生的具有第一频率的数字射频脉冲信号以产生具有第二频率的数字射频脉冲信号；该第二频率大于第一频率。从而数模转换器 42 将该第二频率的数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号，射频放大器 45 用于对经过滤波器 44 滤波的模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号。最终使得射频放大系统 900 中的数模转换器 42 产生的模拟射频脉冲信号的频率大于射频放大系统 800 中的数模转换器 42 产生的模拟射频脉冲信号的频率。

数字射频脉冲信号的第二频率依赖于静磁场的强度来确定。例如，在具有 3.0T（特斯拉）的静磁场强度的装置中，数字射频脉冲信号的第一频率约

为 128.1MHz。数模转换器 42 的采样频率 f_s 必须大于采样频率 f_s 必须大于或等于尼奎斯特 (Nyquist) 频率。在图 2 中, 例如采样频率 f_s 为 480MHz 或 640MHz。

在非限定的示例中, 第二数字载波信号 500 的频率为 f_3 , 第一数字载波信号 300 的频率为 f_1 , 第三数字载波信号 360 的频率为 f_2 。其中 $f_3=f_1+f_2$, 也即第二数字载波信号 500 与第一数字载波信号 300 之间的频率差异为 f_2 。

在非限定的示例中, 第二数字载波信号 500 与第一数字载波信号 300 之间的相位差异为零。

在一种实施方式中, 中间级载波信号发生器 36 及第二数字调制器 38 集成于数模转换器 42 的内部。因此, 本发明所示射频放大系统 900 可以达到电子元器件较少, 电路设计较为简单的有益技术效果。

虽然结合特定的实施方式对本发明进行了说明, 但本领域的技术人员可以理解, 对本发明可以作出许多修改和变型。因此, 要认识到, 权利要求书的意图在于覆盖在本发明真正构思和范围内的所有这些修改和变型。

权 利 要 求 书

1. 一种射频放大系统，其包括：

第一数字调制器，用于利用数字包络信号调制第一数字载波信号以产生具有第一频率的数字射频脉冲信号；

数模转换器，用于将数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号；

射频放大器，用于对模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号；

模数转换器，用于将取自射频输出信号的模拟反馈信号转换成数字反馈信号；

数字解调器，用于使用第二数字载波信号对数字反馈信号进行正交解调以产生 I 信号及 Q 信号；及

反馈控制装置，用于根据 I 信号及 Q 信号产生幅度设置信号及相位设置信号，该幅度设置信号用于调节数字包络信号的幅度，该相位设置信号用于调节第一数字载波信号的相位；

其中，该第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的频率偏移，该第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的相位偏移。

2. 如权利要求 1 所述的射频放大系统，其特征在于：该射频放大系统还包括：

中间级载波信号发生器，用于产生第三数字载波信号；及

第二数字调制器，用于使用第三数字载波信号调制该具有第一频率的数字射频脉冲信号以产生具有第二频率的数字射频脉冲信号；该第二频率大于第一频率。

3. 如权利要求 2 所述的射频放大系统，其特征在于：该第三载波信号发生器及第二数字调制器集成于该数模转换器的内部。

4. 如权利要求 2 所述的射频放大系统，其特征在于：该第二数字载波信号的频率等于 $f_1 + f_2$ ，其中， f_1 为第一数字载波信号的频率， f_2 为第三数字载波信号的频率。

5. 如权利要求 1 所述的射频放大系统，其特征在于：该射频放大系统还包括用于产生该第一数字载波信号的第一载波信号发生器，该第一载波信号发生器包括：

第一相存储器，用于存储第一相位增量；

第一相累积器，用于在其初始化时设定第一相位的初始值并且通过对每

个时钟周期增加所述第一相位增量来计算第一累积相位；及

第一波形表，用于存储该第一数字载波信号；当向第一波形表输入所述第一累积相位时，该第一波形表输出与所述第一累积相位对应的第一数字载波信号；

该第一数字载波信号的相位通过设置第一相位的初始值来调节。

6. 如权利要求 5 所述的射频放大系统，其特征在于：该射频放大系统还包括用于产生该第二数字载波信号的第二载波信号发生器，该第二载波信号发生器包括：

第二相存储器，用于存储第二相位增量；

第二相累积器，用于在其初始化时设定第二相位的初始值并且通过对每个时钟周期增加所述第二相位增量来计算第二累积相位；及

第二波形表，用于存储该第二数字载波信号；当向第二波形表输入所述第二累积相位时，该第二波形表输出与所述第二累积相位对应的第二数字载波信号；

其中，该预定的频率偏移通过调节第二相位增量来设定，该预定的相位偏移通过调节第二相位的初始值来设定。

7. 如权利要求 1 所述的射频放大系统，其特征在于，该反馈控制装置包括：

幅度反馈回路，用于根据 I 信号及 Q 信号来计算幅度值，并根据该幅度值与幅度参考值的比较来产生该幅度设置信号；及

相位反馈回路，用于根据 I 信号与 Q 信号的比较来产生该相位设置信号。

8. 一种射频放大方法，其包括：

使用数字包络信号对第一数字载波信号进行调制以产生具有第一频率的数字射频脉冲信号；

将该数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号；

对该模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号；

将取样自射频输出信号的模拟反馈信号转换成数字反馈信号；

使用第二数字载波信号解调该数字反馈信号以产生 I 信号和 Q 信号；

根据 I 信号和 Q 信号产生幅度设置信号及相位设置信号，该幅度设置信号用于调节数字包络信号的幅度，该相位设置信号用于调节第一数字载波信号的相位；

其中，该第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的频率偏

移, 该第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的相位偏移。

9. 如权利要求 8 所述的射频放大方法, 其特征在于, 该射频放大方法还包括:

利用中间级载波信号发生器产生第三数字载波信号;

使用第三数字载波信号对该具有第一频率的数字射频脉冲信号进行调制以产生具有第二频率的数字射频脉冲信号; 该第二频率大于第一频率。

10. 如权利要求 8 所述的射频放大方法, 其特征在于, 该射频放大方法还包括:

存储第一相位增量于第一相存储器;

在第一相累积器初始化时设定第一相位的初始值并且通过对每个时钟周期增加该第一相位增量来计算第一累积相位; 及

存储该第一数字载波信号于第一波形表; 当向第一波形表输入所述第一累积相位时, 该第一波形表输出与该第一累积相位对应的第一数字载波信号;

其中, 该第一数字载波信号的相位通过设置第一相位的初始值来调节。

11. 如权利要求 10 所述的射频放大方法, 其特征在于, 该射频放大方法还包括:

存储第二相位增量于第二相存储器;

在第二相累积器初始化时设定第二相位的初始值并且通过对每个时钟周期增加所述第二相位增量来计算第二累积相位; 及

存储该第二数字载波信号于第二波形表; 当向第二波形表输入所述第二累积相位时, 该第二波形表输出与所述第二累积相位对应的第二数字载波信号;

其中, 该预定的频率偏移通过调节第二相位增量来设定, 该预定的相位偏移通过调节第二相位的初始值来设定。

12. 一种磁共振成像装置, 其包括:

射频线圈组件; 及

射频放大系统, 其包括:

第一数字调制器, 用于使用数字包络信号调制第一数字载波信号以产生具有第一频率的数字射频脉冲信号;

数模转换器, 用于将数字射频脉冲信号转换成模拟射频脉冲信号;

射频放大器, 用于对模拟射频脉冲信号进行放大以产生射频输出信号, 该射频输出信号用于激励射频线圈组件发射射频信号;

模数转换器，用于将取样自射频输出信号的模拟反馈信号转换成数字反馈信号；

数字解调器，用于使用第二数字载波信号解调数字反馈信号以产生 I 信号及 Q 信号；及

反馈控制装置，用于根据 I 信号及 Q 信号产生幅度设置信号及相位设置信号，该幅度设置信号用于调节数字包络信号的幅度，该相位设置信号用于调节第一数字载波信号的相位；

其中，该第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的频率偏移，该第二数字载波信号相对于第一数字载波信号具有预定的相位偏移。

13. 如权利要求 12 所述的磁共振成像装置，其特征在于：该射频放大系统还包括：

中间级载波信号发生器，用于产生第三数字载波信号；及

第二数字调制器，用于使用第三数字载波信号调制该具有第一频率的数字射频脉冲信号以产生具有第二频率的数字射频脉冲信号；该第二频率大于第一频率。

14. 如权利要求 12 所述的磁共振成像装置，其特征在于：该射频放大系统还包括用于产生该第一数字载波信号的第一载波信号发生器，该第一载波信号发生器包括：

第一相存储器，用于存储第一相位增量；

第一相累积器，用于在其初始化时设定第一相位的初始值并且通过对每个时钟周期增加所述第一相位增量来计算第一累积相位；及

第一波形表，用于存储该第一数字载波信号；当向第一波形表输入所述第一累积相位时，该第一波形表输出与所述第一累积相位对应的第一数字载波信号；

该第一数字载波信号的相位通过设置第一相位的初始值来调节。

15. 如权利要求 14 所述的磁共振成像装置，其特征在于，该射频放大系统还包括用于产生该第二数字载波信号的第二载波信号发生器，该第二载波信号发生器包括：

第二相存储器，用于存储第二相位增量；

第二相累积器，用于在其初始化时设定第二相位的初始值并且通过对每个时钟周期增加所述第二相位增量来计算第二累积相位；及

第二波形表，用于存储该第二数字载波信号；当向第二波形表输入所述

第二累积相位时，该第二波形表输出与所述第二累积相位对应的第二数字载波信号；

其中，该预定的频率偏移通过调节第二相位增量来设定，该预定的相位偏移通过调节第二相位的初始值来设定。

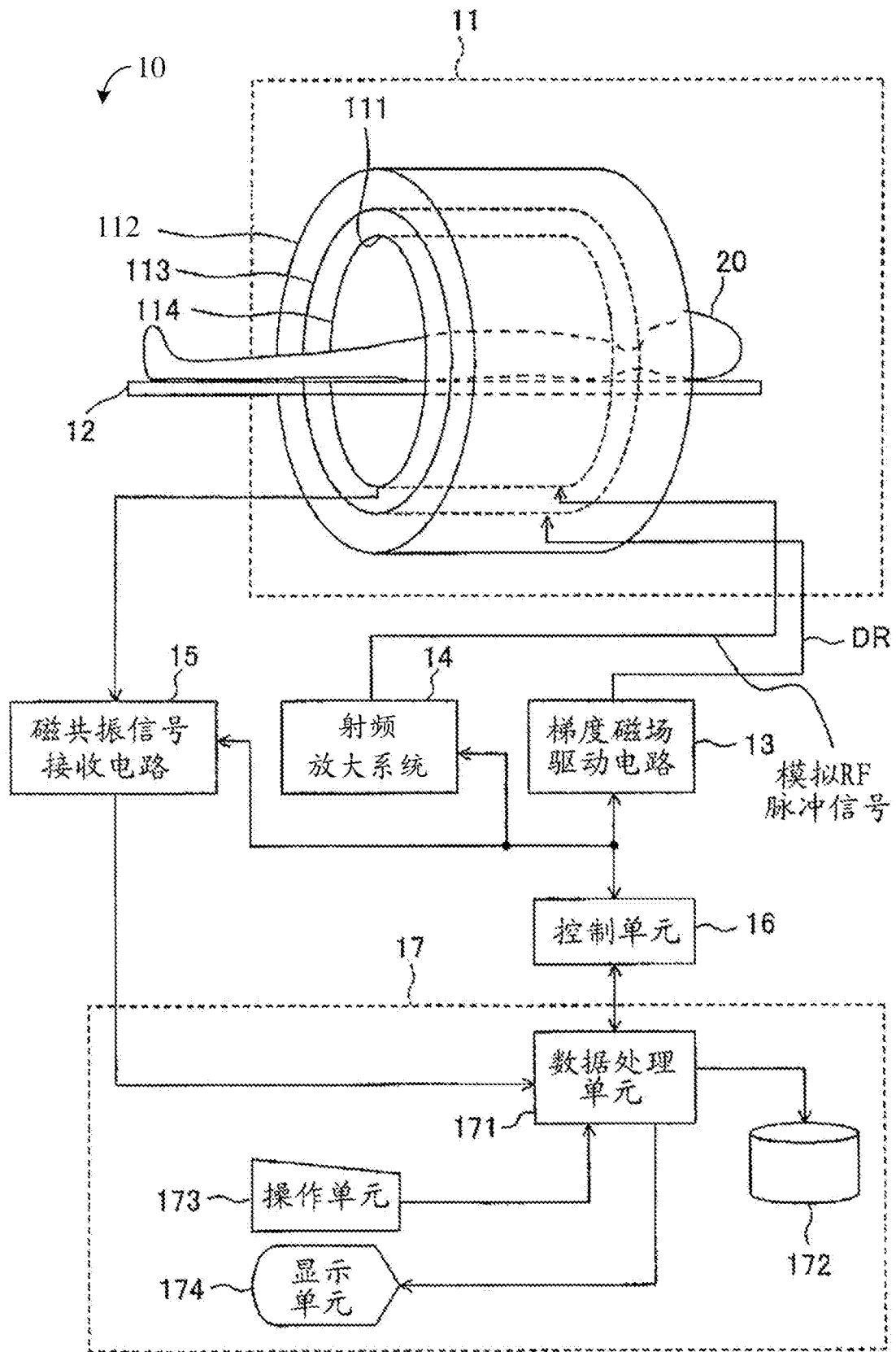


图 1

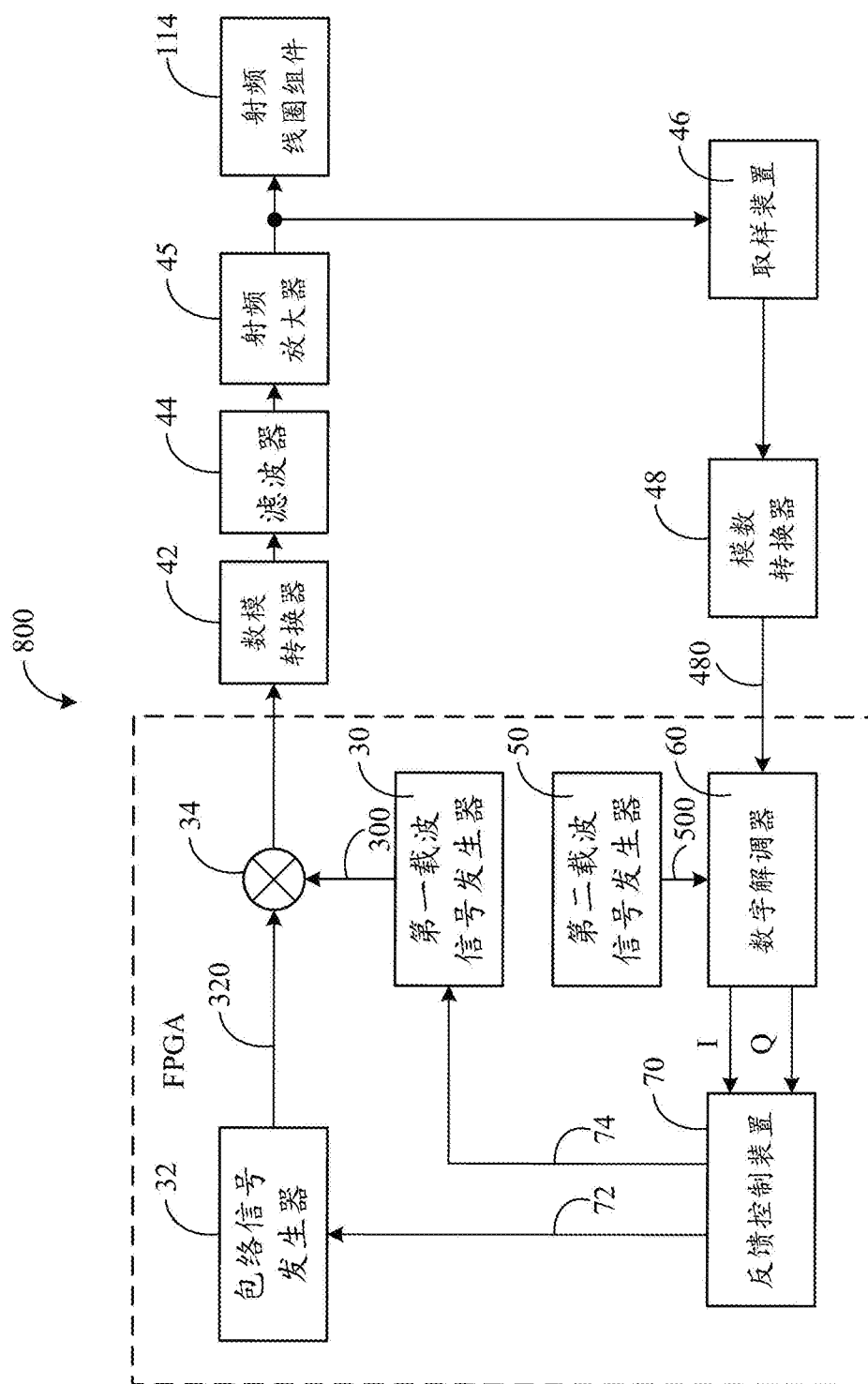


图 2

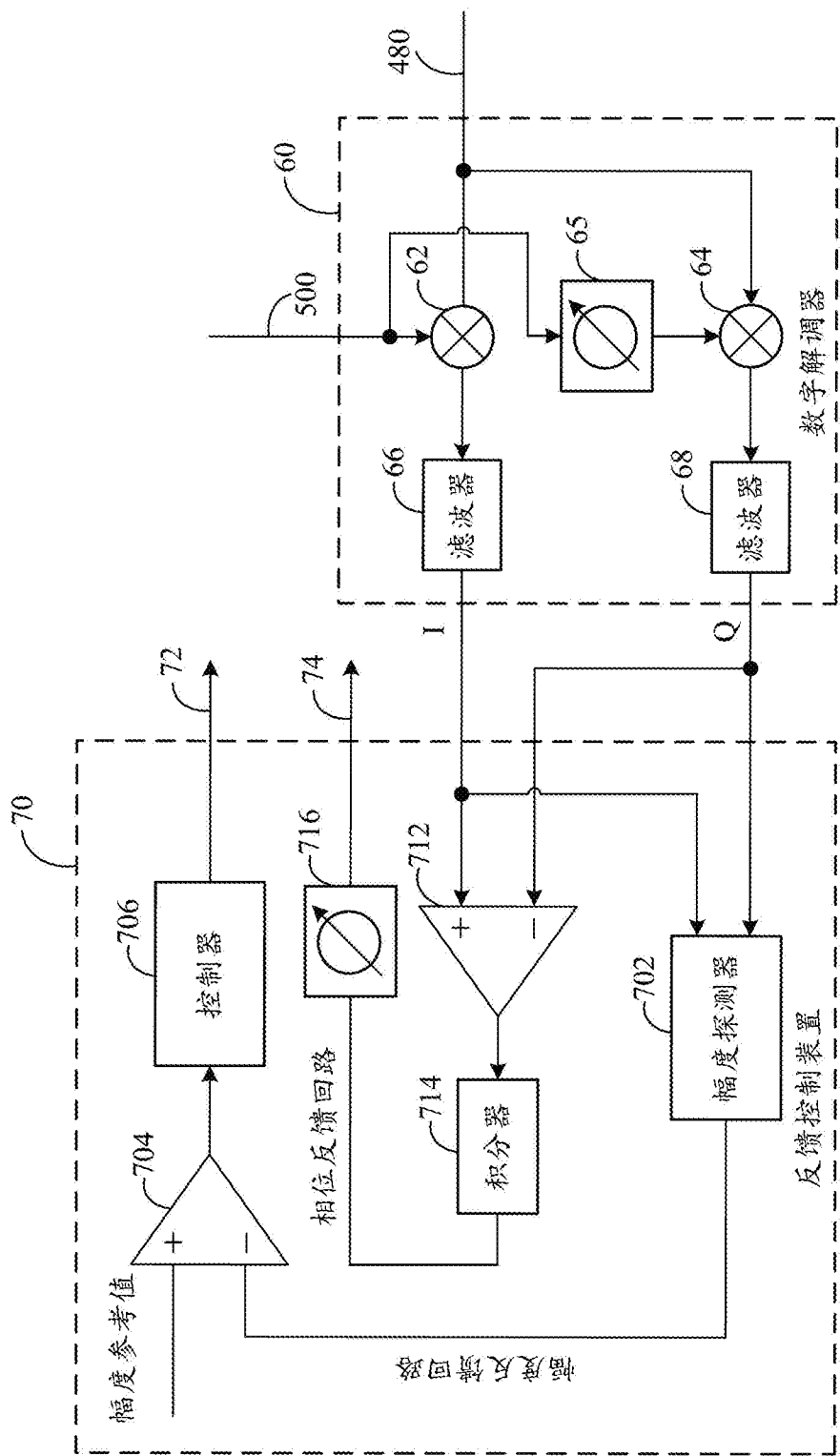


图 3

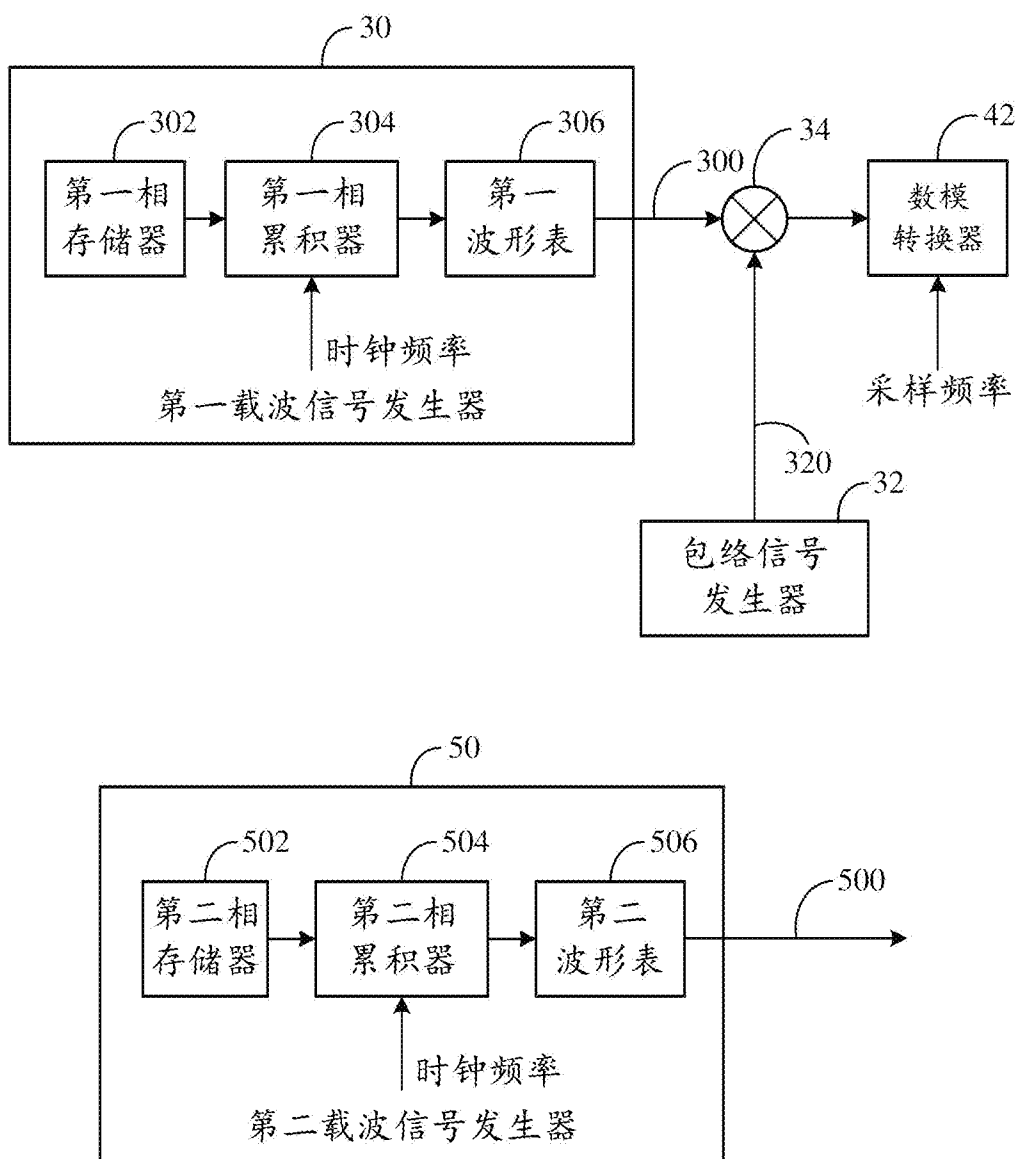


图 4

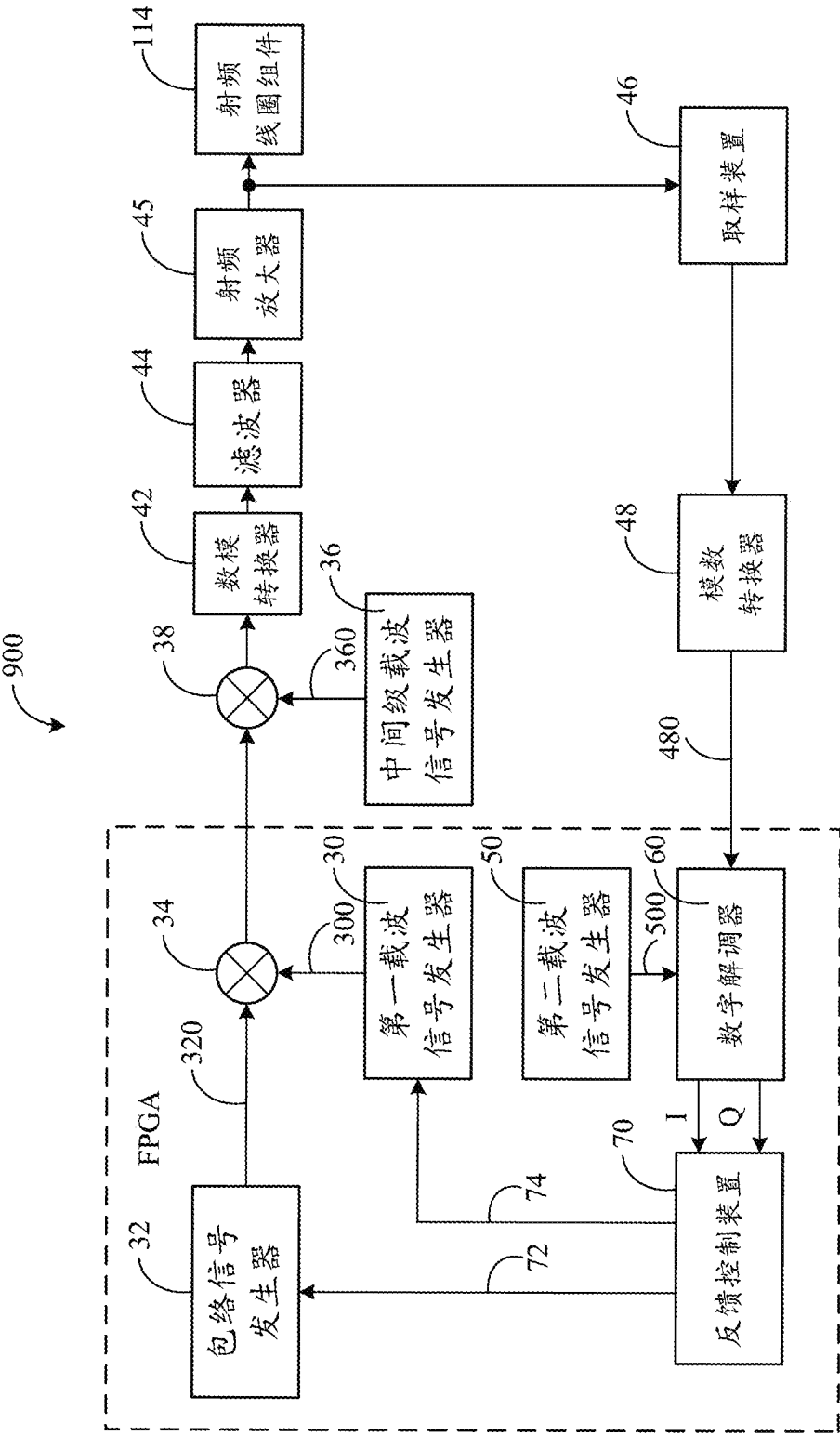


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/085022

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03F 3/189 (2006.01) i; G01R 33/34 (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, G01R 33

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)

CNKI, CNABS, CNTXT, VEN: coil, phase, amplitude, magnetic resonance, radio frequenc+, RF, amplif+, magnif+, envelope, modulat+, carrier wave, demodulat+, feedback+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101473529 A (TELEFON AB L.M. ERICSSON), 01 July 2009 (01.07.2009), description, pages 4-7, and figure 1	1-15
A	CN 1384602 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.), 11 December 2002 (11.12.2002), the whole document	1-15
A	US 7409004 B2 (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.), 05 August 2008 (05.08.2008), the whole document	1-15
A	US 2006183454 A1 (INTELLEFLEX CORP.), 17 August 2006 (17.08.2006), the whole document	1-15

☐ 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

23 October 2015 (23.10.2015)

Date of mailing of the international search report

06 November 2015 (06.11.2015)

Name and mailing address of the ISA/CN:

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer

ZHOU, Yapei

Telephone No.: (86-10) **62085865**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/085022

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 101473529 A	01 July 2009	AT 529944 T	15 November 2011
		US 8432962 B2	30 April 2013
		EP 2378658 A1	19 October 2011
		ES 2374220 T3	14 February 2012
		US 2009238258 A1	24 September 2009
		EP 2033306 B1	19 October 2011
		TW 200822535 A	16 May 2008
		DK 2378658 T3	06 May 2013
		EP 2378658 B1	20 March 2013
		JP 2009543433 A	03 December 2009
		JP 4960449 B2	27 June 2012
		EP 2033306 A1	11 March 2009
		CN 101473529 B	19 June 2013
		TW I443965 B	01 July 2014
		WO 2008002225 A1	03 January 2008
		IN 200810377 P1	20 March 2009
CN 1384602 A	11 December 2002	CN 1166053 C	08 September 2004
US 7409004 B2	05 August 2008	US 2002196864 A1	26 December 2002
US 2006183454 A1	17 August 2006	US 2009156153 A1	18 June 2009
		US 7877074 B2	25 January 2011
		US 7526266 B2	28 April 2009
		WO 2006088583 A2	24 August 2006
		WO 2006088583 A3	29 November 2007

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/085022

A. 主题的分类

H03F 3/189(2006.01)i; G01R 33/34(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, G01R33

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))

CNKI, CNABS, CNTXT, VEN:磁共振, 射频, 线圈, 放大, 包络, 调制, 载波, 解调, 反馈, 相位, 幅度, 幅值, magnetic resonance, radio frequenc+, RF, amplif+, magnif+, envelope, modulat+, carrier wave, demodulat+, feedback+

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
A	CN 101473529 A (艾利森电话股份有限公司) 2009年 7月 1日 (2009 - 07 - 01) 说明书第4-7页, 图1	1-15
A	CN 1384602 A (华为技术有限公司) 2002年 12月 11日 (2002 - 12 - 11) 全文	1-15
A	US 7409004 B2 (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 2008年 8月 5日 (2008 - 08 - 05) 全文	1-15
A	US 2006183454 A1 (INTELLEFLEX CORP.) 2006年 8月 17日 (2006 - 08 - 17) 全文	1-15

☐ 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

2015年 10月 23日

国际检索报告邮寄日期

2015年 11月 6日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
北京市海淀区蓟门桥西土城路6号
100088 中国

传真号 (86-10)62019451

授权官员

周亚沛

电话号码 (86-10)62085865

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/085022

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	101473529	A	2009年 7月 1日	AT	529944	T	2011年 11月 15日
				US	8432962	B2	2013年 4月 30日
				EP	2378658	A1	2011年 10月 19日
				ES	2374220	T3	2012年 2月 14日
				US	2009238258	A1	2009年 9月 24日
				EP	2033306	B1	2011年 10月 19日
				TW	200822535	A	2008年 5月 16日
				DK	2378658	T3	2013年 5月 6日
				EP	2378658	B1	2013年 3月 20日
				JP	2009543433	A	2009年 12月 3日
				JP	4960449	B2	2012年 6月 27日
				EP	2033306	A1	2009年 3月 11日
				CN	101473529	B	2013年 6月 19日
				TW	I443965	B	2014年 7月 1日
				WO	2008002225	A1	2008年 1月 3日
				IN	200810377	P1	2009年 3月 20日
CN	1384602	A	2002年 12月 11日	CN	1166053	C	2004年 9月 8日
US	7409004	B2	2008年 8月 5日	US	2002196864	A1	2002年 12月 26日
US	2006183454	A1	2006年 8月 17日	US	2009156153	A1	2009年 6月 18日
				US	7877074	B2	2011年 1月 25日
				US	7526266	B2	2009年 4月 28日
				WO	2006088583	A2	2006年 8月 24日
				WO	2006088583	A3	2007年 11月 29日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)