

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H03F 1/32

H03F 3/20



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410004393. X

[43] 公开日 2004年8月25日

[11] 公开号 CN 1523751A

[22] 申请日 2004. 2. 17

[21] 申请号 200410004393. X

[30] 优先权

[32] 2003. 2. 21 [33] JP [31] 044199/2003

[71] 申请人 日本电气株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 足立贵宏 川合雅浩

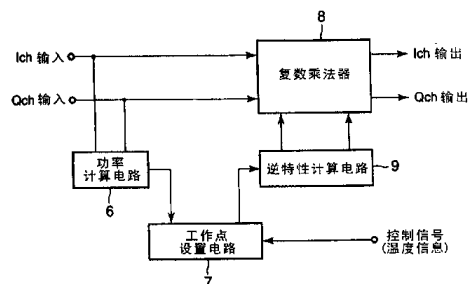
[74] 专利代理机构 北京东方亿思专利代理有限责
任公司
代理人 王 怡

权利要求书2页 说明书9页 附图4页

[54] 发明名称 用于补偿功率放大器的非线性失真的电路和方法

[57] 摘要

本发明提供了一种非线性失真补偿电路，用于补偿功率放大器所引起的非线性失真，包括：功率计算器，计算输入信号的功率值；工作点设置单元，基于预先提供给该工作点设置单元的一种关系，即功率放大器的输入/输出特性和功率放大器的温度之间的关系，从提供自外部源的温度信息和所述功率计算器所计算的功率值来计算表观功率值，所述温度信息表示功率放大器的测量温度；逆特性计算器，从预先提供给逆特性计算器的逆特性数据和所述工作点设置单元所计算的表观功率值来计算非线性失真的逆成分，所述逆特性数据与所述功率放大器所引起的非线性失真有关；以及复数乘法器，将所述逆特性计算器所计算的逆成分叠加到所述输入信号上。



1. 一种非线性失真补偿电路，包括：

功率计算器，用于计算输入信号的功率值；

5 工作点设置单元，用于基于预先提供给该工作点设置单元的一种关系，即用于放大所述输入信号的功率放大器的输入/输出特性和该功率放大器的温度之间的关系，从提供自外部源的温度信息和所述功率计算器所计算的功率值来计算表观功率值，所述温度信息表示所述功率放大器的测量温度；

10 逆特性计算器，用于从逆特性数据和所述工作点设置单元所计算的表观功率值来计算由所述功率放大器引起的非线性失真的逆成份，所述逆特性数据被预先提供给所述逆特性计算器，并且与所述功率放大器所引起的非线性失真有关；和

15 复数乘法器，用于将所述逆特性计算器所计算的逆成份叠加到所述输入信号上。

2. 如权利要求 1 所述的非线性失真补偿电路，其中，所述输入信号包括调制信号，该调制信号是通过对包括一串实数值的第一基带信号和包括一串虚数值的第二基带信号进行正交幅度调制而产生的，并且其中，所述功率计算器从所述第一和第二基带信号计算所述功率值，所述逆特性计算器将所述非线性失真的逆成份的实部和虚部提供给所述复数乘法器，并且所述复数乘法器对所述第一和第二基带信号以及从所述逆特性计算器提供的实部和虚部执行复数乘法。

3. 一种发射电路，包括：

如权利要求 1 所述的非线性失真补偿电路；

25 调制器，用于调制从所述非线性失真补偿电路输出的信号；

功率放大器，用于放大从所述调制器输出的调制信号；和

温度计，用于测量所述功率放大器的温度，并将表示所述测量温度的温度信息提供给所述非线性失真补偿电路。

4. 如权利要求 3 所述的发射电路，其中，所述调制器包括用于执行正

交幅度调制格式的调制器。

5. 一种用于补偿非线性失真的方法，包括以下步骤：

(a) 计算输入信号的功率值；

(b) 测量用于放大所述输入信号的功率放大器的温度；

5 (c) 基于预先给出的一种关系，即所述功率放大器的输入/输出特性和所述功率放大器的温度之间的关系，从步骤 (a) 中所计算的功率值和步骤 (b) 中所测量的温度来计算表观功率值；

(d) 从预先给出的逆特性数据和在步骤 (c) 中所计算的表观功率值来计算所述功率放大器所引起的非线性失真的逆成份，所述逆特性数据与
10 所述功率放大器所引起的非线性失真有关；以及

(e) 将在步骤 (d) 中所计算的逆成份叠加到所述输入信号上。

6. 如权利要求 5 所述的方法，其中，所述输入信号包括调制信号，该调制信号是通过对包括一串实数值的第一基带信号和包括一串虚数值的第二基带信号进行正交幅度调制而产生的，并且其中，所述步骤 (a) 包括
15 从所述第一和第二基带信号计算所述功率值的步骤，所述步骤 (d) 包括计算所述非线性失真的逆成份的实部和虚部的步骤，并且所述步骤 (e) 包括对所述第一和第二基带信号以及在所述步骤 (d) 中所计算的实部和虚部执行复数乘法的步骤。

用于补偿功率放大器的非线性失真的电路和方法

5 技术领域

本发明涉及用于补偿功率放大器的非线性失真的电路和方法，更具体地说，本发明涉及具有非线性失真补偿电路的发射电路。

背景技术

10 从频率利用效率的角度出发，数字微波无线电通信系统一般采用正交幅度调制格式，例如多电平正交幅度调制。根据正交幅度调制格式，因为用于放大发射信号的功率放大器只使用其输入/输出特性的线性区域，因此期望具有足够大的补偿（backoff）（所述补偿表示一个工作点，并且一般作为最大输出幅度电平和饱和输出功率电平之间的差值而给出）。然而，
15 如果补偿很大，则不能获得足够大的发射功率量。因此，实际上必须减小功率放大器的补偿以使用其输入/输出特性的非线性区域。结果就出现了一个问题，即当功率放大器使用非线性区域时引起的非线性失真被叠加到发射信号上。

为了解决上述问题，人们已经设计了一种处理，用于通过下述方法来
20 补偿发射信号被放大时产生的非线性失真：使用称为前置补偿器（predistorter）的电路，将依赖于输入信号功率的非线性失真的逆成份（inversion）叠加到发射信号上。迄今为止，这种前置补偿器包括用于 RF 频带的模拟电路。然而，传统的前置补偿器因其元件的变化而在其补偿精确度上受到限制，并且难于调整。近年来，数字信号处理技术的发展已经
25 导致出现了被构造为基带数字电路的前置补偿器。

使用数字前置补偿器的发射电路一般被分为两种类型，即开环发射电路和闭环发射电路。附图中的图 1 示出了典型的开环发射电路的设置（参见专利文献 1（日本在先专利公开 No.2001-53627）），而附图中的图 2 示出了典型的闭环发射电路的设置（参见专利文献 2（日本在先专利公开

No.2000-228643))。

图 1 所示的开环发射电路包括串联的 FIR 滤波器 10、前置补偿器 11、调制器 12 和功率放大器 13。输入基带数字信号 (Ich 数据、Qch 数据) 通过 FIR 滤波器 10 和前置补偿器 11 被提供给调制器 12，调制器 12 对信号进行正交幅度调制。调制信号然后被功率放大器 13 放大。功率放大器 13 的非线性失真的逆特性 (inverse characteristics) 被预先确定，并保存在前置补偿器 11 中，以确定针对于输入信号的功率电平的补偿值。图 1 所示的电路设置的优点在于简单而廉价。然而，由于保存在前置补偿器 11 中的逆特性具有固定的属性，因此，如果保存在前置补偿器 11 中的逆特性和实际的逆特性由于某种原因而彼此不同，则该开环发射电路就不能提供足够的非线性失真补偿能力。

图 2 所示的闭环发射电路与图 1 所示的开环发射电路的不同之处在于它具有自适应前置补偿器 14，取代了图 1 所示的前置补偿器 11，并且还比较/控制电路 15 和解调器 16。在工作时，由功率放大器 13 放大的调制信号被解调器 16 解调。比较/控制电路 15 将 FIR 滤波器 10 所输出的基带数字信号 (Ich 数据、Qch 数据) 与来自解调器 16 的解调信号相互进行比较，并且自适应地改变自适应前置补偿器 14 中的补偿量，以使得基带数字信号和解调信号彼此均衡。自适应前置补偿器 14 因此总是可以最优地补偿非线性失真。

如通常所知地，功率放大器的输入/输出特性随其工作温度而变化。利用所述开环设置，如上所述，由于只是基于输入信号的功率来确定补偿量，因此，如果功率放大器的温度变化了，则补偿量和实际逆特性就变得彼此不相同，导致不充分的非线性失真补偿能力。所述闭环设置没有上述缺点，因为由于功率放大器的温度改变而产生的特性改变得到了自适应补偿。然而，比起所述开环发射电路来说，所述闭环发射电路在电路设置上要复杂和昂贵得多，因为该闭环发射电路需要解调器。因此，从更简单和更廉价的电路设置的角度出发，人们期望能够在开环发射电路中实现温度补偿。

根据在开环发射电路中实现温度补偿的一种传统处理，在表格中存储

了对应于多个温度的多个补偿值，并且前置补偿器根据功率放大器的工作温度从该表格中获取补偿值（参见专利文献 3（日本在先专利公开 No.2001-274851））。

5 利用上述专利文献 3 中所公开的设置，必须在表格中以很小的间隔存储温度，以提供在从该表格中检索的补偿值和实际工作温度下在功率放大器中所产生的非线性失真量之间的精确匹配。然而，在表格中以很小的间隔存储温度需要保存该表的存储器在电路规模上更大，并因此而更加昂贵。因此，专利文献 3 中所公开的设置必须在表格中以某个折衷的间隔来
10 存储温度。结果，即使对于专利文献 3 中所公开的设置，也难以获得所检索的补偿值和实际工作温度下所产生的非线性失真量之间的精确匹配并提供充分的温度补偿能力。

发明内容

因此，本发明的目的在于提供一种电路和方法，用于在功率放大器的
15 实际工作温度下精确地补偿功率放大器的非线性失真，而不会导致电路规模和成本的不合理增加。

本发明的另一个目的在于提供一种发射电路，其具有非线性失真补偿电路。

为了实现上述目的，根据本发明，提供了一种非线性失真补偿电路，
20 包括：功率计算器，用于计算输入信号的功率值；工作点设置单元，用于基于预先提供给该工作点设置单元的一种关系，即用于放大所述输入信号的功率放大器的输入/输出特性和所述功率放大器的温度之间的关系，从提供自外部源的温度信息和所述功率计算器所计算的功率值来计算表观
（apparent）功率值，所述温度信息表示所述功率放大器的测量温度；逆
25 特性计算器，用于从逆特性数据和所述工作点设置单元所计算的表观功率值来计算所述功率放大器所引起的非线性失真的逆成份，所述逆特性数据被预先提供给所述逆特性计算器，并且与所述功率放大器所引起的非线性失真有关；以及复数乘法器，用于将所述逆特性计算器所计算的逆成份叠
加到所述输入信号上。

根据本发明的非线性失真补偿电路基于以下事实，即功率放大器的输入/输出特性基本上随其温度的改变而平移。基于功率放大器的输入/输出特性的温度相关性，工作点设置单元从输入信号的功率值 P_{in} 和功率放大器的温度信息来唯一地计算表观功率值 P_{in}' 。逆特性计算器计算由功率放大器引起的非线性失真的逆成份，其对应于从工作点设置单元输入的表观功率值 P_{in}' ，而复数乘法器将逆特性计算器所计算的逆成份叠加到输入信号上。这样所叠加的逆成份（补偿量）与功率放大器所引起的实际非线性失真精确地一致。

根据本发明的发射电路包括：上述非线性失真补偿电路；调制器，用于调制从所述非线性失真补偿电路输出的信号；功率放大器，用于放大从所述调制器输出的调制信号；以及温度计，用于测量所述功率放大器的温度，并将表示所述测量温度的温度信息提供给所述非线性失真补偿电路。这样设置的发射电路能够执行上述非线性失真补偿电路的功能。

根据本发明，用于补偿非线性失真的方法包括步骤（a）计算输入信号的功率值，（b）测量用于放大所述输入信号的功率放大器的温度，（c）基于一种预先给定的关系，即所述功率放大器的输入/输出特性和所述功率放大器的温度之间的关系，从步骤（a）中所计算的功率值和步骤（b）中所测量的温度来计算表观功率值，（d）从预先提供的逆特性数据以及在步骤（c）中所计算的表观功率值来计算所述功率放大器所引起的非线性失真的逆成份，所述逆特性数据与所述功率放大器所引起的非线性失真有关，以及（e）将在步骤（d）中所计算的逆成份叠加到所述输入信号上。所述方法还能够执行上述非线性失真补偿电路的功能。

根据本发明，不需要像传统前置补偿器中所使用的表格那样具有各种温度下的不同补偿值的表格。因此，所述非线性失真补偿电路可以减少电路规模和成本。

当功率放大器的温度改变时，叠加到输入信号上的逆成份（补偿量）与功率放大器的实际非线性失真精确地一致。因此，可以比以前更精确地补偿非线性失真。

附图说明

参考图示了本发明示例的附图，从下面的描述中，本发明的上述和其他目的、特征和优点将更加清楚，在附图中：

图 1 是典型的开环发射电路的框图；

5 图 2 是典型的闭环发射电路的框图；

图 3 是根据本发明具有温度补偿功能的数字前置补偿器的示意性设置的框图；

图 4 是包含图 3 所示的具有温度补偿功能的数字前置补偿器的发射电路的示意性设置的框图；

10 图 5 示出了在功率放大器的输入/输出特性中，功率放大器的工作点是如何因其温度的改变而改变的；以及

图 6 是具有图 3 所示的温度补偿功能和图 4 所示的调制器的数字前置补偿器的复数乘法器的设置的框图。

15 具体实施方式

下面将参考附图描述本发明的实施例。

图 3 以框图的形式示出了根据本发明具有温度补偿功能的数字前置补偿器的示意性设置，而图 4 以框图的形式示出了包含图 3 所示的具有温度补偿功能的数字前置补偿器的发射电路的示意性设置。

20 下面将首先描述图 4 所示的发射电路。该发射电路是用于数字微波无线电通信系统中的电路，包括 FIR（有限冲激响应）滤波器 1、具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2、调制器 3、功率放大器 4 和温度计 5。假定向该发射电路提供了正交幅度调制格式如多电平正交幅度调制格式的输入信号。

25 FIR 滤波器 1 具有向其提供了基带数字信号（Ich 数据）的输入端和向其提供了基带数字信号（Qch 数据）的另一个输入端，并限制这些基带数字信号（I/Qch 数据）的频带。FIR 滤波器 1 的输出（I/Qch 数据）被提供给具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2。基带数字信号（Ich 数据）包括一串实部数值（对应于 I 轴），而基带数字信号（Qch 数据）包括一串虚

部数值（对应于 Q 轴）。

具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 将功率放大器 4 所引起的非线性失真的逆成份叠加到来自 FIR 滤波器 1 的输出基带数字信号（I/Qch 数据）上，以补偿非线性失真。基于从温度计 5 输入的温度信息，具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 可以根据功率放大器 4 的输入/输出特性的改变而改变补偿量。

从具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 向调制器 3 提供了基带数字信号（I/Qch 数据），所述信号已被补偿了非线性失真，并且调制器 3 输出通过对所提供的基带数字信号（I/Qch 数据）施加正交幅度调制而产生的调制信号（发射信号）。从调制器 3 输出的调制信号被提供给功率放大器 4。

功率放大器 4 用于放大从调制器 3 输入的调制信号，它能够自动控制输入信号的电平，以使得它的平均输出电平是恒定的。温度计 5 测量功率放大器 4 的工作温度，并将所测量的工作温度作为温度信息提供给具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2。

利用上述发射电路，即使功率放大器 4 的输入/输出特性由于温度的改变而改变了，具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 也能提供高度的非线性失真补偿能力。

下面将参考图 3 描述具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 的具体细节。

如图 3 所示，具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 包括功率计算电路 6、工作点设置电路 7、复数乘法器 8 和逆特性计算电路 9。功率计算电路 6 根据下面示出的等式来计算从 FIR 滤波器 1 输入的基带数字信号（I/Qch 数据）的功率 P，并将计算出的功率 P 提供给工作点设置电路 7。

$$P = I^2 + Q^2$$

已经向工作点设置电路 7 提供了有关功率放大器 4 的输入/输出特性和其温度之间的关系的数据。工作点设置电路 7 从输入自功率计算电路 6 的功率值 P 和来自温度计 5 的温度信息来计算表观功率值 P'，并将所计算出的功率值 P' 提供给逆特性计算电路 9。表观功率值 P' 根据功率放大器

4 的工作温度而改变。

逆特性计算电路 9 保存功率放大器 4 的非线性失真的逆特性数据。逆特性计算电路 9 从所述逆特性数据和输入自工作点设置电路 7 的表观功率值 P' 来计算对应于所述非线性失真的逆成份的相位旋转和增益，并将它们的实部和虚部分量提供给复数乘法器 8。

复数乘法器 8 对从 FIR 滤波器 1 输入的基带数字信号 (I/Qch 数据) 和从逆特性计算电路 9 输入的非线性失真的逆成份执行复数乘法。这样，功率放大器 4 的非线性失真的逆成份就被叠加到从 FIR 滤波器 1 输入的基带数字信号 (I/Qch 数据) 上。复数乘法器 8 将其输出提供给调制器 3。

下面将描述用于补偿非线性失真的具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 的工作原理。

一般地，功率放大器 4 的输入/输出特性根据其工作温度而改变。图 5 示意性地示出了功率放大器 4 的工作点是如何因其温度的改变而改变的。在图 5 中，输入/输出特性曲线 A 表示功率放大器 4 在某一温度下的输入/输出特性，其中在前置补偿器中为该温度保存了补偿量（逆特性），而输入/输出特性曲线 B 表示功率放大器 4 在实际温度下的输入/输出特性（由输入/输出特性 A 平移而来）。

根据输入/输出特性 B，当输入电平是 P_{in} 时，输出电平是 P_{out}' 。功率放大器 4 具有保持输出电平 P_{out} 恒定的功能，并将输入信号衰减到 P_{in}' ，以产生输出电平 P_{out} 。这意味着功率放大器 4 的实际工作点是输入电平 P_{in}' 和输入/输出特性 B 彼此相交的点。在功率放大器 4 的这种操作中，当前置补偿器将用于输入电平 P_{in} 的补偿量直接叠加到功率放大器 4 的输入信号上时，就会出现一个问题，即所述补偿量和由功率放大器 4 引起的非线性失真的实际量彼此不相同。根据下述补偿处理，根据本发明具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 解决了上述问题：

从图 5 中可看出，功率放大器 4 的输入/输出特性基本上随其温度的改变而平移。当功率放大器 4 的工作温度改变时，工作点设置电路 7 可以基于功率放大器 4 的输入/输出特性的温度相关性，从输入信号的功率值 P_{in} 和来自温度计 5 的温度信息，唯一地计算表观功率值 P_{in}' 。逆特性计算

电路 9 保存了功率放大器 4 的非线性失真的逆特性数据，它可以根据从工作点设置电路 7 输入的表观功率值 P_{in}' 来计算相位旋转和增益，其对应于功率放大器 4 所引起的非线性失真的逆成份。

5 利用具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2，如上所述，逆特性计算电路 9 不计算功率电平 P_{in} 的补偿量，而是计算功率电平 P_{in}' 的补偿量。因此，数字前置补偿器 2 能够根据功率放大器 4 的实际工作点来补偿非线性失真。由于数字前置补偿器 2 不需要像传统前置补偿器中所使用的温度数据表来计算补偿量，因此数字前置补偿器 2 的电路规模的增加很小。

10 利用图 4 所示的发射电路，具有温度补偿功能的数字前置补偿器 2 通过下述方式来补偿功率放大器 4 的输出的非线性失真：将功率放大器 4 所引起的非线性失真的逆成份叠加到被输入到调制器 3 中的基带数字信号上。从数字前置补偿器 2 输出的信号被提供给调制器 3，调制器 3 对该信号执行正交幅度调制。调制信号然后被提供给功率放大器 4，其放大该调制信号。因为依赖于功率放大器 4 的工作温度的逆特性已经被叠加到调制信号上，因此功率放大器 4 可以产生没有非线性失真的输出信号。

下面将参考图 6 来描述复数乘法器 8 和调制器 3 的具体细节。如图 6 所示，复数乘法器 8 包括 4 个乘法器 80a 到 80d，以及 2 个加法器 81a、81b。乘法器 80a、80c 的输入端分别提供有对应于来自 FIR 滤波器 1 的基带数字信号（Ich 数据）的信号 $I(t)$ ，而乘法器 80b、80d 的输入端分别提供有对应于来自 FIR 滤波器 1 的基带数字信号（Qch 数据）的信号 $Q(t)$ 。

20 乘法器 80a、80d 分别具有另外的输入端，从逆特性计算电路 9 向其提供了依赖于表观功率值的补偿值的实部 α ，而乘法器 80b、80c 分别具有另外的输入端，从逆特性计算电路 9 向其提供了依赖于表观功率值的补偿值的虚部 β 。加法器 81a 具有向其提供来自乘法器 80a 的输出的输入端 A（“+”端）和向其提供来自乘法器 80b 的输出的另一个输入端 B（“-”端），

25 并将所提供的输入的和（ $A-B$ ）输出到调制器 3。加法器 81b 具有向其提供来自乘法器 80c 的输出的输入端 A 和向其提供来自乘法器 80d 的输出的另一个输入端 B，并将所提供的输入的和（ $A+B$ ）输出到调制器 3。

如图 6 所示，调制器 3 是正交调制器，包括 2 个乘法器 30a、30b 和 1

个加法器 31。乘法器 30a 具有向其提供来自加法器 81a 的输出的输入端和向其提供载波信号 $\cos(2\pi ft)$ 的另一个输入端，并将所提供的输入相乘。乘法器 30b 具有向其提供来自加法器 81b 的输出的输入端和向其提供将载波信号 $\cos(2\pi ft)$ 延迟 $\pi/2$ 的载波信号的另一个输入端，并将所提供的输入相乘。加法器 31a 具有向其提供来自乘法器 30a 的输出的输入端 A (“+”端) 和向其提供来自乘法器 30b 的输出的另一个输入端 B (“-”端)，并将所提供的信号的和 (A-B) 输出到功率放大器 4。

在上述实施例中，输入信号具有正交幅度调制格式，例如多电平正交幅度调制格式。然而，本发明并不局限于这种调制格式，而是在根据本发明的电路将功率放大器的非线性失真的逆成份叠加到发射信号的情况下，可适用于任何调制类型。

尽管已经使用具体的术语描述了本发明的优选实施例，但是这些描述只是用于说明的目的，并且应该理解到，可以做出各种改变和变化，而不会偏离所附权利要求的精神或范围。

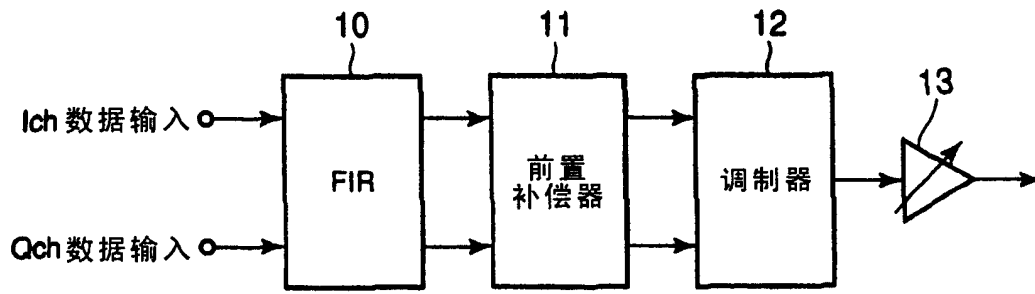


图1

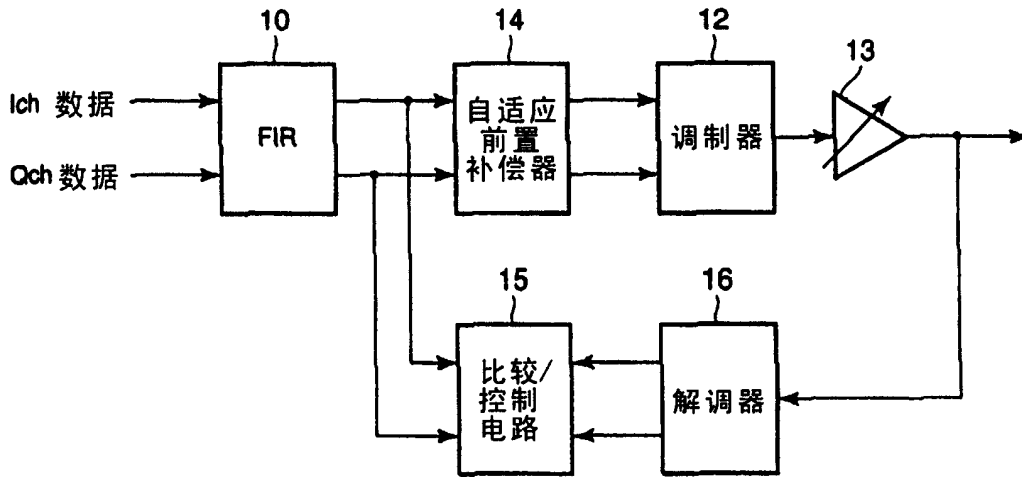


图2

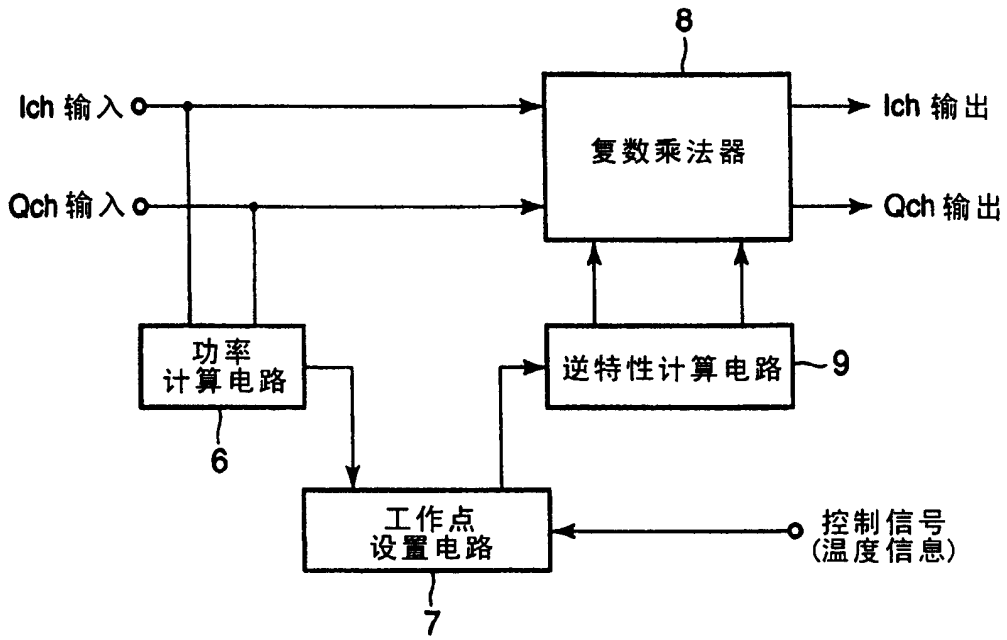


图3

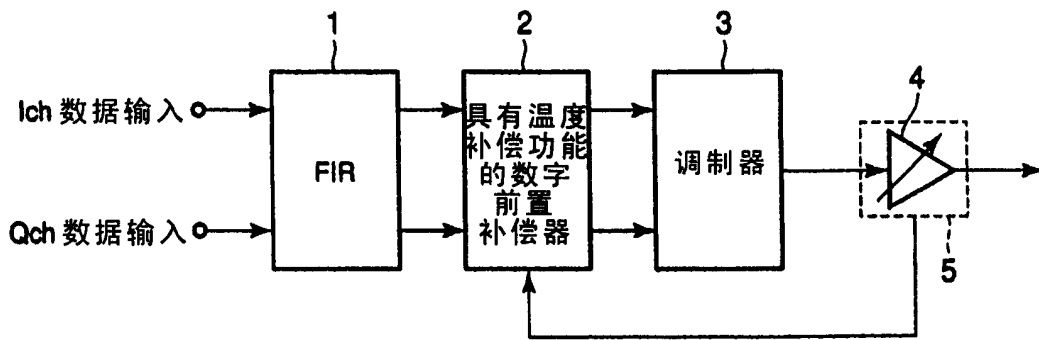


图4

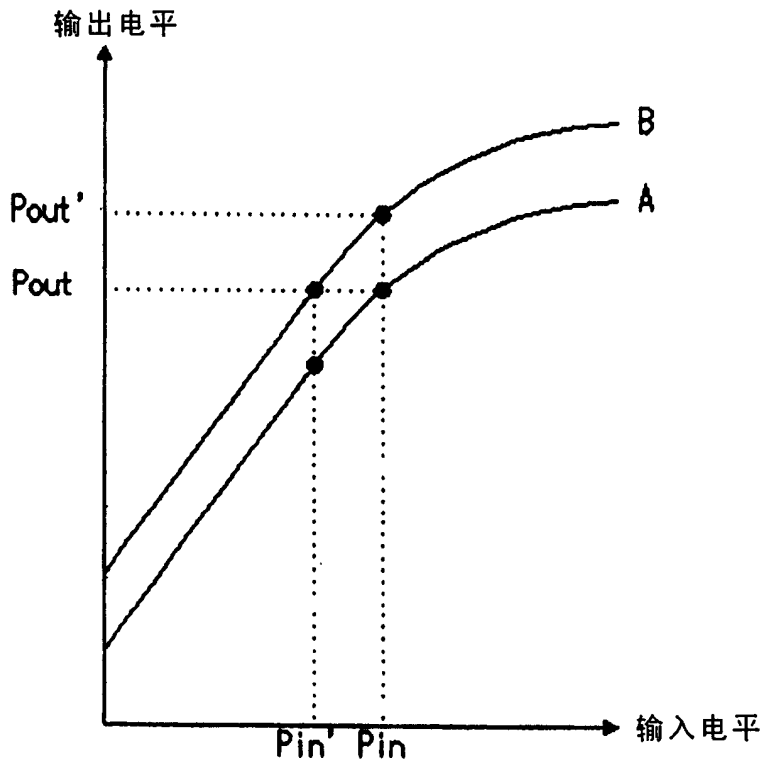
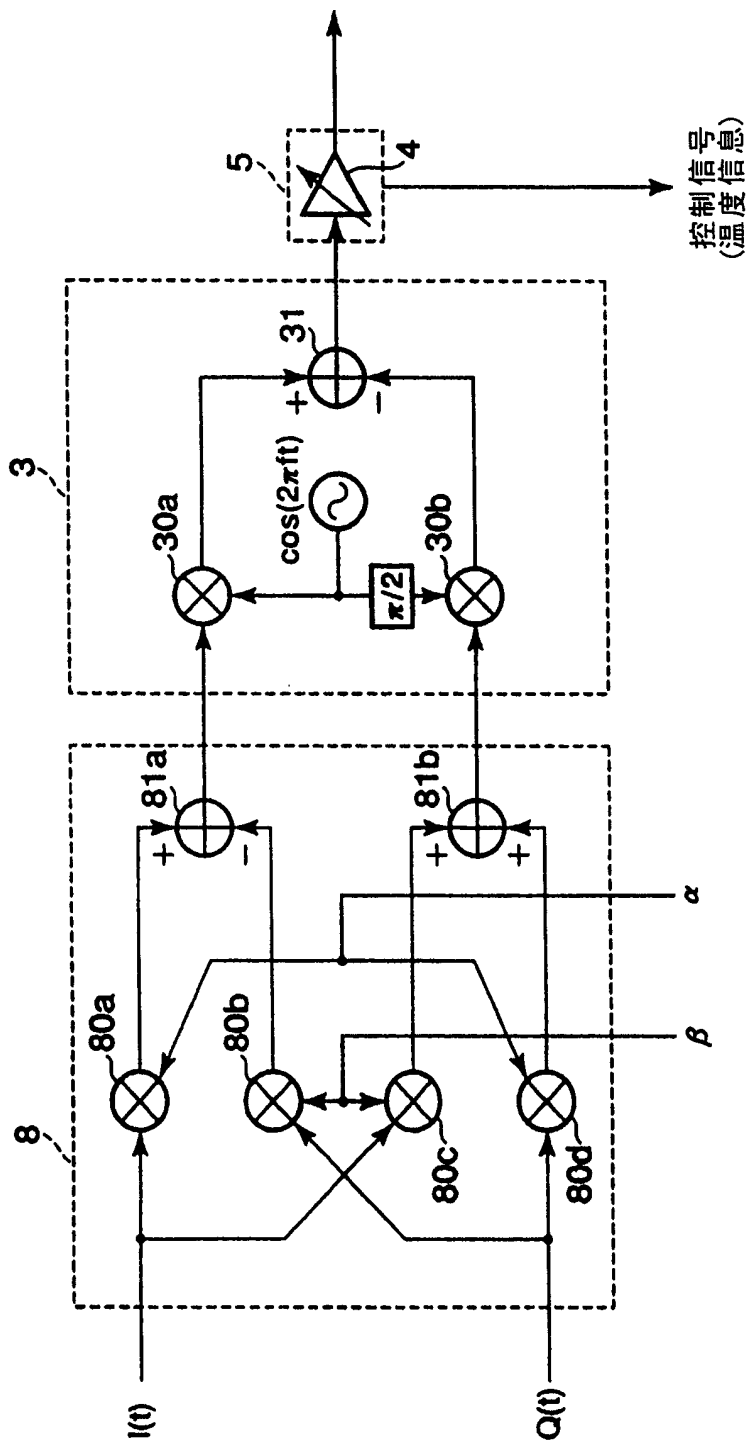


图5



α : 依赖于表观功率值的补偿值的实部

β : 依赖于表观功率值的补偿值的虚部

图6