(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102006013 B
(45)授权公告日 2014.04.16

(21)申请号 201010267371.8
(22)申请日 2010.08.27
(30)优先权数据
197292/09 2009.08.27 JP
152769/10 2010.07.05 JP
(73)专利权人 株式会社 NTT 都科摩
地址 日本东京都
(72)发明人 大河原纯哉 铃木恭宣 楢桥祥一
(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 于小宁
(51)Int.Cl.
H03F 1/32(2006.01)
(56)对比文件
CN 1510832 A,2004.07.07,

审查员 李文浩

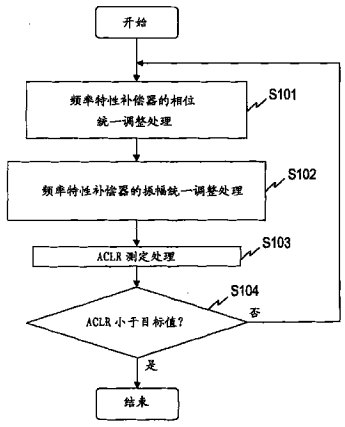
权利要求书7页 说明书16页 附图26页

(54)发明名称

幂级数型数字预失真器和其失真补偿控制方法

(57)摘要

提供一种能够高速调整频率特性补偿器系数的幂级数型数字预失真器和其失真补偿控制方法。幂级数型数字预失真器的控制器如下控制：将各个频带的相位的调整量统一设定在 N 次频率特性补偿器中，将各个频带的振幅的调整量统一设定在 N 次频率特性补偿器中，判定用于表示在功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，再次进行相位的调整量的设定和振幅的调整量的设定。



CN 102006013 B

1. 一种幂级数型数字预失真器，对输入信号附加用于消除在功率放大器中产生的失真分量的失真补偿分量，其中，

所述幂级数型数字预失真器将 N 设为预定的 3 以上的奇数，将 M 设为预定的 2 以上的整数，将 L1 作为预定的 3 以上的整数，且包括：

线性传递路径，对所述输入信号进行延迟传递；

失真产生路径，包括：N 次失真产生器，产生所述输入信号的 N 次失真分量；N 次失真矢量调整器，调整所述 N 次失真分量的振幅和相位；以及 N 次频率特性补偿器，将所述 N 次失真矢量调整器的输出在频域中分割为 M 个频带，对每个频带调整相位和振幅，该失真产生路径将所述 N 次频率特性补偿器的输出作为所述失真补偿分量而输出，

合成器，将所述线性传递路径和所述失真产生路径的输出进行合成；

失真观测器，观测在对所述合成器的输出进行放大的所述功率放大器的输出中包含的失真分量；以及

控制器，基于所述失真观测器的观测结果，对所述 N 次频率特性补偿器设定各个所述频带的相位和振幅的调整量，

所述控制器包括：

相位设定单元，将各个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

振幅设定单元，将各个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；以及

处理控制单元，判定用于表示在所述功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行所述相位设定单元对相位的调整量的设定和所述振幅设定单元对振幅的调整量的设定，

所述相位设定单元，

将各个所述频带的相位的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中，

对每个所述频带，将对所述 N 次频率特性补偿器设定的各个所述频带的相位的调整量，和在通过所述 N 次频率特性补偿器进行了基于该调整量的相位的调整时、在所述观测器观测到的每个所述频带的失真分量组合而记录，

对每个所述频带，将各个所述频带的相位的调整量变更预先设定的偏移量，

将所述相位的调整量和失真分量的组合的记录和所述相位调整量变更重复 L1 次，

对每个所述频带，使用所述组合，对每个所述频带求出表示相位的调整量 x 和失真分量 d 之间的关系的 2 次函数即 $d=a_2x^2+a_1x+a_0$ 的系数 a_2、a_1、a_0，

使用系数 a_2、a_1、a_0，对每个所述频带求出提供上述 2 次函数的最小值的相位的调整量 $-a_1 / (2a_2)$，以及

将所述提供上述 2 次函数的最小值的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

2. 一种幂级数型数字预失真器，对输入信号附加用于消除在功率放大器中产生的失真分量的失真补偿分量，其中，

所述幂级数型数字预失真器将 N 设为预定的 3 以上的奇数，将 M 设为预定的 2 以上的整数，将 L1 作为预定的 3 以上的整数，将 L1 作为预定的 3 以上的整数，且包括：

线性传递路径，对所述输入信号进行延迟传递；

失真产生路径，包括：N 次失真产生器，产生所述输入信号的 N 次失真分量；N 次失真矢量调整器，调整所述 N 次失真分量的振幅和相位；以及 N 次频率特性补偿器，将所述 N 次失真矢量调整器的输出在频域中分割为 M 个频带，对每个频带调整相位和振幅，该失真产生路径将所述 N 次频率特性补偿器的输出作为所述失真补偿分量而输出，

合成器，将所述线性传递路径和所述失真产生路径的输出进行合成；

失真观测器，观测在对所述合成器的输出进行放大的所述功率放大器的输出中包含的失真分量；以及

控制器，基于所述失真观测器的观测结果，对所述 N 次频率特性补偿器设定各个所述频带的相位和振幅的调整量，

所述控制器包括：

相位设定单元，将各个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

振幅设定单元，将各个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；以及

处理控制单元，判定用于表示在所述功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行所述相位设定单元对相位的调整量的设定和所述振幅设定单元对振幅的调整量的设定，

所述相位设定单元，

将各个所述频带的相位的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中，

对每个所述频带，将在所述 N 次频率特性补偿器中设定的各个所述频带的相位的调整量，和在通过所述 N 次频率特性补偿器进行了基于该调整量的相位的调整时、在所述观测器观测到的每个所述频带的失真分量组合而记录，

对每个所述频带，将各个所述频带的相位的调整量变更预先设定的偏移量，

将所述相位的调整量和失真分量的组合的记录、和所述相位调整量变更重复 L1 次，

对每个所述频带，使用所述组合，对每个所述频带求出表示相位的调整量 x 和失真分量 y 之间的关系的余弦函数即 $y=c_2\cos(c_1-x)+c_0$ 的系数 c_2、c_1、c_0，

在表示相位的调整量的单位为弧度的情况下，使用所述系数 c_2、c_1、c_0，对每个所述频带求出提供上述余弦函数的最小值的相位的调整量 $c_1-\pi$，以及

将所述提供上述余弦函数的最小值的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

3. 一种幂级数型数字预失真器，对输入信号附加用于消除在功率放大器中产生的失真分量的失真补偿分量，其中，

所述幂级数型数字预失真器将 N 设为预定的 3 以上的奇数，将 M 设为预定的 2 以上的整数，且包括：

线性传递路径，对所述输入信号进行延迟传递；

失真产生路径，包括：N 次失真产生器，产生所述输入信号的 N 次失真分量；N 次失真矢量调整器，调整所述 N 次失真分量的振幅和相位；以及 N 次频率特性补偿器，将所述 N 次失真矢量调整器的输出在频域中分割为 M 个频带，对每个频带调整相位和振幅，该失真产生

路径将所述 N 次频率特性补偿器的输出作为所述失真补偿分量而输出，

合成器，将所述线性传递路径和所述失真产生路径的输出进行合成；

失真观测器，观测在对所述合成器的输出进行放大的所述功率放大器的输出中包含的失真分量；以及

控制器，基于所述失真观测器的观测结果，对所述 N 次频率特性补偿器设定各个所述频带的相位和振幅的调整量，

所述控制器包括：

相位设定单元，将各个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

振幅设定单元，将各个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；以及

处理控制单元，判定用于表示在所述功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行所述相位设定单元对相位的调整量的设定和所述振幅设定单元对振幅的调整量的设定，

所述相位设定单元，

将各个所述频带的相位的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中，

判定在由所述 N 次频率特性补偿器进行了基于在所述 N 次频率特性补偿器中设定的各个所述频带的相位的调整量的相位的调整时、在所述观测器观测到的每个所述频带的各个失真分量是否为关于失真分量的当前的记录值以下或者小于记录值；

在通过上述判定，观测到的失真分量为当前的记录值以下或者小于记录值的所述频带即不良频带存在一个以上的情况下，对各个所述不良频带进行如下处理：将关于相位的调整量的当前的记录值改写为当前在所述 N 次频率特性补偿器中设定的该不良频带的相位的调整量，将关于失真分量的当前的记录值改写为观测到的失真分量，进而将该不良频带的相位的调整量变更预先设定的偏移量；以及

在通过上述判定，不良频带一个都不存在的情况下，将当前记录的每个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

4. 一种幂级数型数字预失真器的失真补偿控制方法，其中，

所述幂级数型数字预失真器将 N 设为预定的 3 以上的奇数，将 M 设为预定的 2 以上的整数，将 L1 作为预定的 3 以上的整数，且包括：

线性传递路径，对输入信号进行延迟传递；

失真产生路径，包括：N 次失真产生器，产生所述输入信号的 N 次失真分量；N 次失真矢量调整器，调整所述 N 次失真分量的振幅和相位；以及 N 次频率特性补偿器，将所述 N 次失真矢量调整器的输出在频域中分割为 M 个频带，对每个频带调整相位和振幅，该失真产生路径将所述 N 次频率特性补偿器的输出作为所述失真补偿分量而输出，

合成器，将所述线性传递路径和所述失真产生路径的输出进行合成；

失真观测器，观测在对所述合成器的输出进行放大的功率放大器的输出中包含的失真分量；以及

控制器，基于所述失真观测器的观测结果，对所述 N 次频率特性补偿器设定各个所述频带的相位和振幅的调整量，

所述失真补偿控制方法包括：

相位设定步骤，将各个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

振幅设定步骤，将各个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；以及

处理控制步骤，判定用于表示在所述功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行所述相位设定步骤和所述振幅设定步骤，

所述相位设定步骤包括：

初始相位设定步骤，将各个所述频带的相位的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

相位记录步骤，对每个所述频带，将对所述 N 次频率特性补偿器设定的各个所述频带的相位的调整量，和在通过所述 N 次频率特性补偿器进行了基于该调整量的相位的调整时、在所述观测器观测到的每个所述频带的失真分量组合而记录；

相位调整量变更步骤，对每个所述频带，将各个所述频带的相位的调整量变更预先设定的偏移量；

重复步骤，将所述相位记录步骤和所述相位调整量变更步骤重复 L1 次；

相位近似处理步骤，使用对每个所述频带、在所述相位记录步骤中记录的所述组合，对每个所述频带求出表示相位的调整量 x 和失真分量 d 之间的关系的 2 次函数即 $d=a_2x^2+a_1x+a_0$ 的系数 a_2、a_1、a_0；

相位计算步骤，使用在上述相位近似处理步骤中求出的系数，对每个所述频带求出提供上述 2 次函数的最小值的相位的调整量 $-a_1 / (2a_2)$；以及

最终相位设定步骤，将在上述相位计算步骤中求出的每个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

5. 一种幂级数型数字预失真器的失真补偿控制方法，其中，

所述幂级数型数字预失真器将 N 设为预定的 3 以上的奇数，将 M 设为预定的 2 以上的整数，将 L1 作为预定的 3 以上的整数，且包括：

线性传递路径，对输入信号进行延迟传递；

失真产生路径，包括：N 次失真产生器，产生所述输入信号的 N 次失真分量；N 次失真矢量调整器，调整所述 N 次失真分量的振幅和相位；以及 N 次频率特性补偿器，将所述 N 次失真矢量调整器的输出在频域中分割为 M 个频带，对每个频带调整相位和振幅，该失真产生路径将所述 N 次频率特性补偿器的输出作为所述失真补偿分量而输出，

合成器，将所述线性传递路径和所述失真产生路径的输出进行合成；

失真观测器，观测在对所述合成器的输出进行放大的功率放大器的输出中包含的失真分量；以及

控制器，基于所述失真观测器的观测结果，对所述 N 次频率特性补偿器设定各个所述频带的相位和振幅的调整量，

所述失真补偿控制方法包括：

相位设定步骤，将各个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器

中；

振幅设定步骤，将各个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；以及

处理控制步骤，判定用于表示在所述功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行所述相位设定步骤和所述振幅设定步骤，

所述相位设定步骤包括：

初始相位设定步骤，将各个所述频带的相位的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

相位记录步骤，对每个所述频带，将在所述 N 次频率特性补偿器中设定的各个所述频带的相位的调整量，和在通过所述 N 次频率特性补偿器进行了基于该调整量的相位的调整时、在所述失真观测器观测到的每个所述频带的失真分量组合而记录；

相位调整量变更步骤，对每个所述频带，将各个所述频带的相位的调整量变更预先设定的偏移量；

重复步骤，将所述相位记录步骤和所述相位调整量变更步骤重复 L1 次；

余弦函数导出处理步骤，使用对每个所述频带、在所述相位记录步骤中记录的所述组合，对每个所述频带求出表示相位的调整量 x 和失真分量 d 之间的关系的余弦函数即 $d=c_2\cos(c_1-x)+c_0$ 的系数 c_2、c_1、c_0；

相位计算步骤，作为以弧度表现相位的调整量的单位，使用在上述余弦函数导出处理步骤中求出的系数，对每个所述频带求出提供上述余弦函数的最小值的相位的调整量 $c_1-\pi$；以及

最终相位设定步骤，将在上述相位计算步骤中求出的每个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

6. 一种幂级数型数字预失真器的失真补偿控制方法，其中，

所述幂级数型数字预失真器将 N 设为预定的 3 以上的奇数，将 M 设为预定的 2 以上的整数，且包括：

线性传递路径，对输入信号进行延迟传递；

失真产生路径，包括：N 次失真产生器，产生所述输入信号的 N 次失真分量；N 次失真矢量调整器，调整所述 N 次失真分量的振幅和相位；以及 N 次频率特性补偿器，将所述 N 次失真矢量调整器的输出在频域中分割为 M 个频带，对每个频带调整相位和振幅，该失真产生路径将所述 N 次频率特性补偿器的输出作为所述失真补偿分量而输出，

合成器，将所述线性传递路径和所述失真产生路径的输出进行合成；

失真观测器，观测在对所述合成器的输出进行放大的功率放大器的输出中包含的失真分量；以及

控制器，基于所述失真观测器的观测结果，对所述 N 次频率特性补偿器设定各个所述频带的相位和振幅的调整量，

所述失真补偿控制方法包括：

相位设定步骤，将各个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

振幅设定步骤，将各个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；以及

处理控制步骤，判定用于表示在所述功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行所述相位设定步骤和所述振幅设定步骤，

所述相位设定步骤包括：

初始相位设定步骤，将各个所述频带的相位的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

相位判定步骤，判定在由所述 N 次频率特性补偿器进行了基于在所述 N 次频率特性补偿器中设定的各个所述频带的相位的调整量的相位的调整时、在所述失真观测器观测到的每个所述频带的各个失真分量是否为关于失真分量的当前的记录值以下或者小于记录值；

相位更新步骤，在通过上述相位判定步骤的判定，观测到的失真分量为当前的记录值以下或者小于记录值的所述频带即不良频带存在一个以上的情况下，对各个所述不良频带进行如下处理：将关于相位的调整量的当前的记录值改写为当前在所述 N 次频率特性补偿器中设定的该不良频带的相位的调整量，将关于失真分量的当前的记录值改写为观测到的失真分量，进而将该不良频带的相位的调整量变更预先设定的偏移量；以及

最终相位设定步骤，在通过上述相位判定步骤的判定，不良频带一个都不存在的情况下，将当前记录的每个所述频带的相位的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

7. 如权利要求 4 至 6 的任一项所述的幂级数型数字预失真器的失真补偿控制方法，其特征在于，

将 L2 作为预定的 3 以上的整数，

所述振幅设定步骤包括：

初始振幅设定步骤，将各个所述频带的振幅的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

振幅记录步骤，对每个所述频带，将在所述 N 次频率特性补偿器中设定的各个所述频带的振幅的调整量，和在通过所述 N 次频率特性补偿器进行了基于该调整量的振幅的调整时、在所述失真观测器观测到的每个所述频带的失真分量组合而记录；

振幅调整量变更步骤，对每个所述频带，将各个所述频带的振幅的调整量变更预先设定的偏移量；

重复步骤，将所述振幅记录步骤和所述振幅调整量变更步骤重复 L2 次；

振幅近似处理步骤，使用对每个所述频带、在所述振幅记录步骤中记录的所述组合，对每个所述频带求出表示振幅的调整量 y 和失真分量 d 之间的关系的 2 次函数即 $d=b_2y^2+b_1y+b_0$ 的系数 b_2，b_1，b_0；

振幅计算步骤，使用在上述振幅近似处理步骤中求出的系数，对每个所述频带求出提供上述 2 次函数的最小值的振幅的调整量 $-b_1 / (2b_2)$；以及

最终振幅设定步骤，将在上述振幅计算步骤中求出的每个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

8. 如权利要求 4 至 6 的任一项所述的幂级数型数字预失真器的失真补偿控制方法，其

特征在于，

所述振幅设定步骤包括：

初始振幅设定步骤，将各个所述频带的振幅的初始调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中；

振幅判定步骤，判定在由所述 N 次频率特性补偿器进行了基于在所述 N 次频率特性补偿器中设定的各个所述频带的振幅的调整量的振幅的调整时、在所述失真观测器观测到的每个所述频带的各个失真分量是否为关于失真分量的当前的记录值以下或者小于记录值；

振幅更新步骤，在通过上述振幅判定步骤的判定，观测到的失真分量为当前的记录值以下或者小于记录值的所述频带即不良频带存在一个以上的情况下，对各个所述不良频带进行如下处理：

将关于振幅的调整量的当前的记录值改写为当前在所述 N 次频率特性补偿器中设定的该不良频带的振幅的调整量，将关于失真分量的当前的记录值改写为观测到的失真分量，进而

将该不良频带的振幅的调整量变更预先设定的偏移量；以及

最终振幅设定步骤，在通过上述振幅判定步骤的判定，不良频带一个都不存在的情况下，将当前记录的每个所述频带的振幅的调整量统一设定在所述 N 次频率特性补偿器中。

幂级数型数字预失真器和其失真补偿控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及幂级数型数字预失真器(power series digital predistorter)和其失真补偿控制方法。

背景技术

[0002] 在微波发射功率放大器（以下,称为功率放大器）中的非线性失真补偿方法中有预失真(predistortion)法。预失真法使用预失真器对功率放大器输入信号预先附加用于消除在功率放大器中产生的失真分量的失真补偿分量。

[0003] 一般,通过使功率放大器在饱和输出附近动作,从而获得功率放大器的高的效率。但是,越接近饱和输出,因功率放大器的非线性特性而发生的互调制失真（以下,称为失真分量）越增加。除此之外,失真分量具有频率依赖性。作为补偿具有频率依赖性的失真分量的预失真器,有补偿失真分量的频率依赖性的幂级数型数字预失真器（以下,称为数字预失真器）(参照S.Mizuta, Y.Suzuki, S.Narahashi, and Y.Yamao, " A New Adjustment Method forthe Frequency-Dependent IMD Compensator of the Digital PredistortionLinearizer, " IEEE Radio and Wireless Symposium 2006,pp.255-258, Jan.2006.)。

[0004] 图1表示数字预失真器900的以往结构例子和其周边装置。该例子表示数字输入发送信号由I相信号和Q相信号（以下,也称为I/Q信号）构成的情况。该数字预失真器900包括:线性传递路径901A、失真产生路径901B、分配器902、合成器903、数字模拟转换器(DAC)904、模拟数字转换器(ADC)905、观测器906、控制器907。线性传递路径901A包括延迟器901A1。失真产生路径901B包括:失真产生器901B1、失真矢量调整器901B2、频率特性补偿器901B3。分配器902对线性传递路径901A和失真产生路径901B分配输入发送信号。合成器903将线性传递路径901A的输出和失真产生路径901B的输出进行合成。数字模拟转换器(DAC)904将合成器903的输出（附加了失真补偿分量的数字I/Q信号）转换为模拟I/Q信号。模拟数字转换器(ADC)905将放大装置950的输出的一部分作为反馈信号而获取的反馈信号生成装置960的输出（模拟I/Q信号）转换为数字I/Q信号。失真观测器906从ADC905的输出中检测失真分量。控制器907基于失真观测器906的输出,调整在失真矢量调整器901B2中设定的矢量系数（振幅(amplitude)和相位）和在频率特性补偿器901B3中设定的一个以上的频率特性补偿器系数（振幅和相位）。

[0005] 放大装置950包括:对作为数字预失真器900的输出的模拟I/Q信号进行正交调制的正交调制器951;将调制输出的频率变换为载波频率的上变频器(upconverter)952;以及对频率变换的高频信号进行功率放大的功率放大器953,进行了功率放大的高频信号从输出端子970例如经由未图示的双工器而提供给天线。

[0006] 反馈信号生成装置960包括:将放大装置950的输出的一部分作为反馈信号而获取的定向性耦合器961;对反馈信号进行频率变换的下变频器(downconverter)962;以及对进行了向下变换的反馈信号进行正交解调的正交解调器963。

[0007] 图 2 表示频率特性补偿器 901B3 的结构例子。频率特性补偿器 901B3 包括 :J 点 FFT 单元 901B31、复数乘法单元 901B32、J 点 IFFT 单元 901B33。FFT 单元 901B31 将频率特性补偿器 901B3 的输入信号变换为频域。复数乘法单元 901B32 对将图 3 所示的失真分量的上侧和下侧频带分割为 M 个的每个频带乘以从控制器 907 提供的频率特性补偿器系数(相位和振幅的调整)。此时,虽然未图示,但成为被分割的频带以外的 FFT 单元 901B31 的输出直接输入到 IFFT 单元 901B33 中。IFFT 单元 901B33 将复数乘法单元 901B32 的输出变换为时域。

[0008] 图 4 中表示对频率特性补偿器设定失真分量为最小的频率特性补偿器系数的处理的流程图。控制器 907 指定用于调整频率特性补偿器系数的一个频带(频带指定处理 ;S900),并调整频率特性补偿器系数,使得在指定的频带中的失真分量的功率成为最小(或者目标值),并将它们设定在频率特性补偿器中(频率特性补偿器系数调整处理 ;S901、S902)。【1】在指定的频带中的失真分量的功率成为最小且【2】失真分量的全部频带中的功率成为最小的情况下,控制器 907 结束频率特性补偿器系数的调整,将获得的频率特性补偿器系数设定在频率特性补偿器中 (S903)。在不满足【1】和【2】的条件的情况下,控制器 907 返回到频带指定处理,重复各个处理 S900、S901、S902,直到满足【1】和【2】的条件为止 (S903)。按照这样的控制流程,在全部频带中调整频率特性补偿器系数,从而补偿具有频率依赖性的失真分量。

[0009] 在失真分量的频率依赖性较大地变动的情况下,为了高精度地进行失真补偿,需要增加频率特性补偿器的频带数。在使用图 1 ～图 4 所示的以往的数字预失真器 900 来调整频率特性补偿器系数(相位和振幅)的情况下,每次一个频带按顺序调整频率特性补偿器系数(特别参照图 2、图 4),所以调整时间伴随频带数的增加也增加成为课题。例如,在将频率特性补偿器 901B3 的频带数从 4 增加 2 倍而增加到 8 的情况下,进行一次全部频带的频率特性补偿器系数的调整所需的时间与频带数为 4 的情况相比加长 2 倍。

发明内容

[0010] 因此,本发明的目的在于,提供一种可进行频率特性补偿器系数(相位和振幅)的高速调整的幂级数型数字预失真器和其失真补偿控制方法。

[0011] 本发明的幂级数型数字预失真器是,对输入信号附加用于消除在功率放大器中产生的失真分量的失真补偿分量的幂级数型数字预失真器。将 N 设为预定的 3 以上的奇数,将 M 设为预定的 2 以上的整数。本发明的幂级数型数字预失真器包括 :线性传递路径,对输入信号进行延迟传递 ;失真产生路径,将 N 次频率特性补偿器的输出作为失真补偿分量而输出 ;合成器,将线性传递路径和失真产生路径的输出进行合成 ;失真观测器,观测在对合成器的输出进行功率放大的功率放大器的输出中包含的失真分量 ;以及控制器,基于失真观测器的观测结果,对 N 次频率特性补偿器设定各个频带的相位和振幅的调整量。失真产生路径包括 :N 次失真产生器,产生输入信号的 N 次失真分量 ;N 次失真矢量调整器,调整 N 次失真分量的振幅和相位 ;以及 N 次频率特性补偿器,将 N 次失真矢量调整器的输出在频域中分割为 M 个频带,对每个频带调整相位和振幅。控制器包括 :相位设定单元,将各个频带的相位的调整量统一设定在 N 次频率特性补偿器中 ;振幅设定单元,将各个频带的振幅的调整量统一设定在 N 次频率特性补偿器中 ;以及处理控制单元。处理控制单元判定用于表

示在功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行相位设定单元对相位的调整量的设定和振幅设定单元对振幅的调整量的设定。

[0012] 并且，本发明的失真补偿控制方法是幂级数型数字预失真器的失真补偿控制方法，其特征在于，包括：(a) 相位设定步骤，将各个频带的相位的调整量统一设定在 N 次频率特性补偿器中；(b) 振幅设定步骤，将各个频带的振幅的调整量统一设定在 N 次频率特性补偿器中；以及 (c) 处理控制步骤，判定用于表示在功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标是否满足预先设定的条件，在不满足该条件的情况下，控制以再次进行相位设定步骤和振幅设定步骤。

[0013] 根据本发明，由于对失真分量的全部频带将相位和振幅分别统一设定在频率特性补偿器中，所以能够进行频率特性补偿器系数的快速调整。

附图说明

[0014] 图 1 是表示以往的幂级数型数字预失真器的结构例子的方框图。

[0015] 图 2 是表示频率特性补偿器的结构例子的方框图。

[0016] 图 3 是频率特性补偿器的频带分割例子。

[0017] 图 4 是表示以往的频率特性补偿器的控制方法的流程图。

[0018] 图 5 是第 1 实施方式的幂级数型数字预失真器的方框图。

[0019] 图 6 是控制器的功能结构图。

[0020] 图 7 是第 1 实施方式的处理流程图。

[0021] 图 8 是在第 1 实施方式的发送信号频带和失真分量频带的例子。

[0022] 图 9 是表示数字预失真器和功率放大器的等效低通系统 (low-passsystem) 模型的图。

[0023] 图 10 是第 1 实施方式的相位统一调整处理流程 1 的流程图。

[0024] 图 11 是第 1 实施方式的振幅统一调整处理流程 1 的流程图。

[0025] 图 12 是采用了第 1 实施方式的实验中的频率特性补偿器的频带分割例子。

[0026] 图 13A 是表示以往方法的相位调整的处理流程的图。图 13B 是表示关于相位的调整的第 1 实施方式的相位调整的处理流程的图。

[0027] 图 14A 是表示实验结果的频谱的图。图 14B 是表示实验结果的调整时间的图。

[0028] 图 15 是第 1 实施方式的相位统一调整处理流程 2 的流程图。

[0029] 图 16 是第 1 实施方式的振幅统一调整处理流程 2 的流程图。

[0030] 图 17 是第 2 实施方式中的处理流程图。

[0031] 图 18 是第 3 实施方式中的处理流程图。

[0032] 图 19 是第 4 实施方式中的处理流程图。

[0033] 图 20 是第 4 实施方式中的相位单独调整处理流程 1 的流程图。

[0034] 图 21 是第 4 实施方式中的振幅单独调整处理流程 1 的流程图。

[0035] 图 22 是第 4 实施方式中的相位单独调整处理流程 2 的流程图。

[0036] 图 23 是第 4 实施方式中的振幅单独调整处理流程 2 的流程图。

[0037] 图 24 是第 4 实施方式的变形实施例中的处理流程图。

[0038] 图 25 是第 4 实施方式的变形实施例中的相位 / 振幅单独调整处理流程 1 的流程图。

[0039] 图 26 是第 4 实施方式的变形实施例中的相位 / 振幅单独调整处理流程 2 的流程图。

具体实施方式

[0040] 参照附图说明本发明的实施方式。

[0041] 图 5 表示本发明的第 1 实施方式的幂级数型数字预失真器 100 的结构和其周边装置。图 5 所示的周边装置是数字预失真器输入信号产生装置 990、放大装置 950、以及获取放大装置 950 的输出的一部分并生成反馈到幂级数型数字预失真器 100 的信号的反馈信号生成装置 960。放大装置 950 和反馈信号生成装置 960 与作为以往例子而说明的数字预失真器 900 的周边装置相同，所以援用该说明并省略重复说明。

[0042] 数字预失真器输入信号产生装置 990 包括 :发送信号产生器 991、导频信号产生器 992、以及切换发送信号产生器输出和导频信号产生器输出的切换器 993。发送信号产生器 991 输出的数字输入发送信号是包含期望的信息的信号。导频信号产生器 992 输出的导频信号是在决定后述的频率特性补偿器系数时使用的信号。关于导频信号的频率等没有特别限定。在第 1 实施方式中，表示数字输入发送信号和导频信号分别由 I 相信号和 Q 相信号 (I/Q 信号) 构成的情况。

[0043] 第 1 实施方式的幂级数型数字预失真器 100 包括 :线性传递路径 101A、N 次失真产生路径 101B、分配器 102、合成器 103、数字模拟转换器 (DAC)104、模拟数字转换器 (ADC)105、失真观测器 106、控制器 107。线性传递路径 101A 包括延迟器 101A1。N 次失真产生路径 101B 包括 N 次失真产生器 101B1、N 次失真矢量调整器 101B2、以及 N 次频率特性补偿器 101B3。分配器 102 将 I 相信号和 Q 相信号分别分配给线性传递路径 101A 和 N 次失真产生路径 101B。合成器 103 对 I 相信号和 Q 相信号分别合成线性传递路径 101A 的输出和 N 次失真产生路径 101B 的输出。数字模拟转换器 (DAC)104 对 I 相信号和 Q 相信号分别将合成器 103 的输出 (附加了失真补偿信号的数字 I/Q 信号) 转换为模拟 I/Q 信号。模拟数字转换器 (ADC)105 将放大装置 950 的输出的一部分作为反馈信号而获取的反馈信号生成装置 960 的输出 (模拟 I/Q 信号) 转换为数字 I/Q 信号。失真观测器 106 从 ADC105 的输出 (数字 I/Q 信号) 中分别测定发送信号频带内的功率和在 N 次频率特性补偿器 101B3 分割的频带内通过放大装置 950 产生的 N 次失真分量的功率。控制器 107 基于失真观测器 106 的输出，调整在 N 次失真矢量调整器 101B2 中设定的矢量系数 (振幅和相位) 和在 N 次频率特性补偿器 101B3 中设定的 1 个以上的频率特性补偿器系数 (振幅和相位)。N 是预定的 3 以上的奇数。在该例子中，设为 N = 3。

[0044] 控制器 107 包括 :相位设定单元 1071、振幅设定单元 1072、处理控制单元 1073(参照图 6)。相位设定单元 1071 将 M 个失真分量频带的相位的调整量统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中。振幅设定单元 1072 将 M 个失真分量频带 (M 是预定的 2 以上的整数) 的振幅的调整量统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中。处理控制单元 1073 判定表示在功率放大器 953 中产生的失真分量被消除的程度的指标 (如后所述，例如为 ACLR) 是否满足预先设定的条件 (小于目标值或者目标值以下)，在不满足该条件的情况下，控制以再

次进行通过相位设定单元1071对相位的调整量的设定和通过振幅设定单元1072对振幅的调整量的设定。

[0045] 另外，在第1实施方式中，仅将3次失真分量作为失真补偿的对象，但也可以通过构成为将一个以上的不同的W(W是5以上的奇数）次失真产生路径并联连接到3次失真产生路径101B中，从而将多个奇数次失真分量设为失真补偿的对象。

[0046] 3次频率特性补偿器101B3将3次失真矢量调整期101B2的输出变换为频域，且如图3所示对3次失真分量上侧/下侧的频带进行M分割。3次频率特性补偿器101B3包括：串并变换器(S/P)101B31、快速傅里叶变换器(FFT)101B32、复数乘法器(C.M.)101B33、快速傅里叶逆变换器(IFFT)101B34、并串变换器(P/S)101B35。S/P101B31对3次失真矢量调整器101B2的输出进行串并变换。FFT101B32将S/P101B31的输出变换为频域。复数乘法器101B33通过对被M分割的每个频带乘以从控制器107提供的频率特性补偿器系数，从而调整相位和振幅。IFFT101B34将复数乘法器101B33的输出变换为时域。P/S101B35对IFFT101B34的输出进行并串变换。这样，3次频率特性补偿器101B3使用通过控制器107设定的频率特性补偿系数（相位和振幅），对被M分割的每个频带调整相位和振幅。

[0047] 数字预失真器100直到将3次失真分量最小化(3次失真分量成为目标值以下）为止，将输入信号设为导频信号产生器992的输出（导频信号），在将3次失真分量最小化之后(3次失真分量成为目标值以下之后)，通过切换器993的切换，将输入信号设为发送信号产生器991的输出（发送信号）。

[0048] 参照图7说明控制器107执行的、将对于M个频带的每个频带的相位的调整量和振幅的调整量设定在3次频率特性补偿器101B3中的处理的流程。接着，将OFDM信号用作发送信号的情况为例具体说明。OFDM信号具有带宽为3.84MHz且路径滚降率(route roll off rate)为0.22的64个副载波。各个副载波的调制方式是QPSK调制。其中，可任意地设定带宽、路径滚降率、副载波数、各个副载波的调制方式等。此外，也可以是WCDMA信号或基于其他方式的信号等，根据想要在放大装置950中放大的信号而适当地设定发送信号。作为失真补偿的判定指标（即，表示在功率放大器中产生的失真分量被消除的程度的指标）而使用了ACLR(Adjacent Channel Leakage PowerRatio，相邻信道泄露功率比）。如图8所示，这里的ACLR设为在偏离中心频率±5MHz的失调点中的3次失真分量上侧/下侧频带(3.84MHz带宽）内功率和发送信号频带(3.84MHz带宽）内功率之比。也可以根据发送信号的带宽而适当地设定离中心频率的失调点和3次失真分量频带。在第1实施方式中，作为失真补偿的判定指标而使用了ACLR，但也可以作为上侧/下侧各自的3次失真分量频带内的功率。

[0049] 此外，设为通过已知的方法已经适当地设定了3次失真矢量调整器101B2的相位和振幅的各个调整量。例如，在将3次失真分量频带的功率设为指标的情况下，控制器107在3次失真矢量调整器101B2中设定相位和振幅的各个调整量，使得上侧/下侧的任一个3次失真分量频带的功率成为最小（达到目标值）。作为决定相位和振幅的各个调整量的方法的一个例子，有摄动法(perturbation method)(参照野島俊雄，岡本栄晴，大山徹，”マイクロ波SSB-AM方式用プリディストーション非線形ひずみ補償回路，”電子通信学会論文誌，Vol.J67-B，No.1，Jan.1984.)。在使用了摄动法的相位调整量的决定中，测定在最初设定的相位的调整量的前后的3次失真分量频带的功率，并将相位的调整量向3次失真分

量频带的功率减少的方向变更偏移量，并测定 3 次失真分量频带的功率。通过重复相位的调整量的变更和 3 次失真分量频带的功率测定，从而求出 3 次失真分量频带的功率成为最小的相位的调整量。对于振幅也是相同的。另外，控制器 107 具有用于在 3 次失真矢量调整器 101B2 中设定相位和振幅的各个调整量的功能要素，但对于 3 次失真矢量调整器 101B2 的相位和振幅的各个调整量的设定处理相对于对于 3 次频率特性补偿器 101B3 的相位和振幅的各个调整量的设定处理独立且前置来进行，所以没有图示该功能要素。

[0050] 【用于控制相位和振幅的调整量的处理流程】

[0051] 首先，控制器 107 的相位设定单元 1071 将 M 个失真分量频带的相位的调整量统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中（相位统一调整处理；S101）。控制器 107 的振幅设定单元 1072 将 M 个失真分量频带的振幅的调整量统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中（振幅统一调整处理；S102）。失真观测器 106 测定发送信号频带内的功率和 M 个失真分量频带的功率而求出 ACLR(ACLR 测定处理；S103)。控制器 107 的处理控制单元 1073 依次重复 S101 ～ S103，直到测定的 ACLR 小于目标值为止 (ACLR 判定处理；S104)。这里，在将 M 个失真分量频带的相位的调整量统一设定之后，将 M 个失真分量频带的振幅的调整量统一设定。这是因为，相对于相位的变化量的失真分量的增减量一般比相对于振幅的变化量的失真分量的增减量大。但是，根据功率放大器 953 的性质，也有相对于振幅的变化量的失真分量的增减量比相对于相位的变化量的失真分量的增减量大的情况。在这样的情况下，优选在将 M 个失真分量频带的振幅的调整量统一设定之后，将 M 个失真分量频带的相位的调整量统一设定。

[0052] 说明控制器 107 的相位统一调整处理（将本处理设为相位统一调整处理流程 1）。以下，对 3 次频率特性补偿器 101B3 的被 M 分割的频带分别设定的相位的调整量设为 X_m(0 ＜ m ≤ M)，将在被分割的频带内的失真分量的功率设为 D_m。

[0053] 参 照 J.Ohkawara, Y.Suzuki, and S.Narahashi, ″ Fast Calculation Scheme forFrequency Characteristic Compensator of Digital Predistortion Linearizer, ″ IEEEVehicular Technology Conference Spring 2009, proceedings, April 2009，分别说明提供给 3 次频率特性补偿器的相位的调整量和失真分量的关系以及提供给 3 次频率特性补偿器的振幅的调整量和失真分量的关系。图 9 表示数字预失真器和功率放大器的等效低通系统模型。功率放大器由放大路径和 3 次失真产生路径构成。这里，将 s(t) 设为数字预失真器的输入信号，将 α、β 分别设为在数字预失真器中的 3 次失真矢量调整器的振幅和相位，将 g(t) 设为在数字预失真器中的 3 次频率特性补偿器的脉冲响应，将 r_1 设为在功率放大器中的放大路径的增益，将 r_3、θ 分别设为在功率放大器中的 3 次失真产生路径的增益和相位，将 h(t) 设为表示在功率放大器中的 3 次失真分量的频率依赖性的脉冲响应。

[0054] 功率放大器输出信号 z(t) 表示为：

[0055] $$z(t) = r_1(s(t)+\alpha e^{j\beta}g(t)*s^3(t))+r_3e^{j\theta}h(t)*(s(t)+\alpha e^{j\beta}g(t)*s^3(t))^3 \quad (1),$$

[0056] 其中，* 表示卷积。

[0057] 在式 (1) 中，若仅着眼于 3 次失真分量，则失真分量 e(t) 表示为：

[0058] $$e(t) = r_3e^{j\theta}h(t)*s^3(t)+r_1\alpha e^{j\beta}g(t)*s^3(t) \quad (2)。$$

[0059] 若将式 (2) 变换为频域，则成为：

[0060] $E(f) = (r_3 e^{j\theta} H(f) + r_1 \alpha e^{j\beta} G(f)) S_3(f)$ (3)。

[0061] 这里，$E(f)$、$H(f)$、$G(f)$、$S_3(f)$ 分别是 $e(t)$、$h(t)$、$g_3(t)$、$s^3(t)$ 的 L 点离散傅里叶变换。将 3 次频率特性补偿器的被分割的频带 m 中的失真分量的频率特性 H_m 设为：

[0062] $$H_m = K_m e^{j\phi_m} \quad (4)。$$

[0063] 此外，将 3 次频率特性补偿器系数 G_m 设为：

[0064] $$G_m = Y_m e^{jX_m} \quad (5)。$$

[0065] 这里，Y_m 是 3 次频率特性补偿器的被分割的频带 m 中的振幅的调整量。由式 (3) 至 (5)，被分割的频带 m 中的失真分量的功率 D_m 成为：

[0066]

$$D_m = \frac{|E_m|^2}{|S_{3,m}|^2} = \left|(r_3 K_m)^2 + 2 r_1 r_3 \alpha K_m Y_m \cos(\theta + \phi_m - \beta - X_m) + (r_1 \alpha Y_m)^2\right|$$

[0067] (6)。

[0068] 由式 (6)，可知在将 Y_m 设为常数 $Y_m(0)$ 的情况下，D_m 成为最小值是在 $\cos(\theta + \phi_m - \beta - X_m) = -1$ 时，所以以 $X_m = \theta + \phi_m - \beta - \pi$ 为中心进行泰勒展开，则 X_m 和 D_m 的关系能够由下式近似。

[0069]

$$D_m|_{Y_m(0)} \cong \left| \begin{array}{l} r_1 r_3 \alpha K_m Y_m(0) X_m^2 \\ -2 r_1 r_3 \alpha K_m Y_m(0)(\theta + \phi_m - \beta - \pi) X_m \\ + (r_3 K_m)^2 + (r_1 \alpha Y_m(0))^2 \\ + 2 r_1 r_3 \alpha K_m Y_m(0)\left(-1 + \frac{(\theta + \phi_m - \beta - \pi)^2}{2}\right) \end{array} \right| \quad (7)$$

[0070] $$= \left|a_{2,m} X_m^2 + a_{1,m} X_m + a_{0,m}\right|$$

[0071] 其中，

[0072] $a_{2,m} = r_1 r_3 \alpha K_m Y_m(0)$

[0073] $a_{1,m} = -2 r_1 r_3 \alpha K_m Y_m(0)(\theta + \phi_m - \beta - \pi)$

[0074] $$a_{0,m} = (r_3 K_m)^2 + (r_1 \alpha Y_m(0))^2$$

[0075] $$+ 2 r_1 r_3 \alpha K_m Y_m(0)\left(-1 + \frac{(\theta + \phi_m - \beta - \pi)^2}{2}\right)$$

[0076] 由式 (7)，D_m 能够由使用了 X_m 的 2 次函数表示。因此，若求出 2 次函数的系数 ($a_{2,m}$, $a_{1,m}$, $a_{0,m}$)，则能够算出将失真分量最小化的 $X_{min,m}$。接着叙述振幅。由式 (7)，在将 X_m 设为常数 $X_m(0)$ 时的 Y_m 和 D_m 的关系成为：

[0077] $$D_m\big|_{X_m(0)} = \left| \begin{matrix} (r_1\alpha)^2 Y_m^2 \\ + 2r_1r_3\alpha K_m Y_m \cos(\theta + \phi_m - \beta - X_m(0)) \\ + (r_3K_m)^2 \end{matrix} \right| \quad (8)$$

[0078] $$= \left| b_{2,m} Y_m^2 + b_{1,m} Y_m + b_{0,m} \right|$$

[0079] 。这里，

[0080] $b_{2,m} = (r_1\alpha)^2$

[0081] $b_{1,m} = 2r_1r_3\alpha K_m \cos(\theta + \phi_m - \beta - X_m(0))$

[0082] $b_{0,m} = (r_3K_m)^2$

[0083] 。由式 (8)，D_m 能够由使用了 Y_m 的 2 次函数表示，因此 Y_m 也与 X_m 相同地，若求出 2 次函数系数 ($b_{2,m}$, $b_{1,m}$, $b_{0,m}$)，则能够算出将失真分量最小化的 $Y_{min,m}$。

[0084] 【相位统一调整处理流程 1】

[0085] 图 10 是表示相位统一调整处理流程 1 的图。控制器 107 的相位设定单元 1071 将相位的初始调整量 X_1、……、X_M 统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中（相位步骤 S11p)。失真观测器 106 同时测定失真分量的功率 D_1、……、D_M（相位步骤 S12p)。

[0086] 说明失真分量的功率测定方法。放大装置 950 的输出信号通过反馈信号生成装置 960 而变换为模拟 I/Q 信号，该模拟 I/Q 信号通过 ADC105 而变换为数字 I/Q 信号。失真观测器 106 对该数字 I/Q 信号进行串并变换之后，乘以窗函数（例如汉宁窗），进行离散傅里叶变换。由于能够从离散傅里叶变换的结果统一求出失真分量的频谱，所以失真观测器 106 从离散傅里叶变换的结果统一测定失真分量的功率 D_1、……、D_M。以往失真观测器 906 仅观测了指定的频带的功率，但第 1 实施方式的失真观测器 106 统一测定 M 个失真分量频带的全部功率 D_1、……、D_M。

[0087] 控制器 107 的相位设定单元 1071 将设定的相位的调整量 X_M 和测定的功率 D_M 作为 $R1_{m,11}(0 < 11 \leqslant L1)$ 和 $R2_{m,11}$ 而对每个频带记录（相位步骤 S13p)。控制器 107 的相位设定单元 1071 对相位的调整量 X_1、……、X_M 加上预定的偏移值 $A1_1$、……、$A1_M$（$A1_1$、……、$A1_M$ 全部是正值），并将新的相位的调整量 X_1、……、X_M 统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中（相位步骤 S14p)。控制器 107 的相位设定单元 1071 将相位步骤 S12p 至 S14p 重复执行 L1（L1 是 3 以上的整数）次（相位步骤 S15p)。另外，在相位步骤 S14p 中，也可以对相位的调整量加上负的偏移值。关于失真分量的全部频带，也可以不是对相位的调整量加上 / 减去正的偏移值，而是存在对相位的调整量加上正的偏移值的频带和加上负的偏移值的频带。例如，将第奇数个失真分量频带设为对相位的调整量加上正的偏移值的频带，将第偶数个失真分量频带设为对相位的调整量加上负的偏移值的频带。此时，也可以将流程变更为在相位步骤 S15p 中判定为“否”的情况下进行相位步骤 S14p。

[0088] 在将相位步骤 S12p 至 S14p 执行了 L1 次的情况下，控制器 107 的相位设定单元 1071 使用 $R1_{m,11}$ 和 $R2_{m,11}$，通过最小二乘法 (least squares method) 确定用于表示相位的调整量 X_m 和失真分量 D_m 的关系的 2 次函数 ($D_m = a_{2,m}X^2_m + a_{1,m}X_m + a_{0,m}$) 的系数 ($a_{2,m}$, $a_{1,m}$, $a_{0,m}$)（相位步骤 S16p)。然后，控制器 107 的相位设定单元 1071 作为 $-a_{1,m}/(2a_{2,m})$ 而计算将 2 次函数最小化的相位的调整量 $X_{min,m}$（相位步骤 S17p)。控制器 107 的相位设定单元 1071

直到对失真分量的全部频带计算相位的调整量 $X_{min,m}$ 为止，重复相位步骤 S16p 至 S17p（相位步骤 S18p）。控制器 107 的相位设定单元 1071 对失真分量的全部频带计算相位的调整量 $X_{min,m}$ 之后，对 3 次频率特性补偿器 101B3 统一设定相位的调整量 $X_{min,1}$、……、$X_{min,M}$（相位步骤 S19p）。

[0089] 表示在式 (7) 中使用泰勒展开，从而以 2 次函数表示相位的调整量和失真分量的关系。但是，也可以不使用泰勒展开，而将相位的调整量和失真分量的关系设为余弦函数 ($D_m = c_{2,m}\cos(c_{1,m}-X_m)+c_{0,m}$)，在相位步骤 S16p 置换使用最小二乘法来确定系数 ($c_{2,m}$, $c_{1,m}$, $c_{0,m}$)。其中，

[0090] $c_{2,m} = 2r_1r_3\alpha K_mY_m(0)$

[0091] $c_{1,m} = \theta+\phi_m-\beta$

[0092] $D_m = (r_3K_m)^2+(r_1\alpha Y_m(0))^2$

[0093] 在相位步骤 S17p 中，由确定的系数 ($c_{2,m}$, $c_{1,m}$, $c_{0,m}$) 计算 X_m，使得 D_m 成为最小。例如，在 X_m 的单位为弧度的情况下，作为 $\pi-c_{1,m}$ 而计算 X_m。通过使用余弦函数，从而不进行基于泰勒展开的近似，所以存在与使用 2 次函数的情况相比，能够更正确地表示相位的调整量和失真分量的关系的情况。因此，通过使用余弦函数，存在与使用 2 次函数的情况相比，失真补偿量加大，能够以少的重复次数来达到目标值的情况。在这里是使用了余弦函数，但也可以利用补角的公式而作为正弦函数。另外，在以下所示的其他的实施例中，也可以将相位的调整量和失真分量的关系作为余弦函数。

[0094] 控制器 107 的振幅统一调整处理按照图 11 所示的处理流程（将本处理设为振幅统一调整处理流程 1）。以下，将对 3 次频率特性补偿器 101B3 的被 M 分割的频带分别设定的振幅的调整量设为 Y_m。

[0095] 【振幅统一调整处理流程 1】

[0096] 控制器 107 的振幅设定单元 1072 对 3 次频率特性补偿器 101B3 统一设定振幅的初始调整量 Y_1、……、Y_M（振幅步骤 S11a）。失真观测器 106 同时测定失真分量的功率 D_1、……、D_M（振幅步骤 S12a）。控制器 107 的振幅设定单元 1072 对每个频带分别记录所设定的振幅的调整量 Y_m 和测定的功率 D_m 作为 $R3_{m,12}$ ($0 < 12 \leq L2$) 和 $R4_{m,12}$（振幅步骤 S13a）。控制器 107 的振幅设定单元 1072 对振幅的调整量 Y_1、……、Y_M 加上预定的偏移值 $B1_1$、……、$B1_M$（$B1_1$ 至 $B1_M$ 全部是正值），并对 3 次频率特性补偿器 101B3 统一设定新的振幅的调整量 Y_1、……、Y_M（振幅步骤 S14a）。控制器 107 的振幅设定单元 1072 重复振幅步骤 S12a 至 S14a 直到执行 L2（L2 是 3 以上的整数）次（振幅步骤 S15a）为止。另外，在振幅步骤 S14a 中，也可以若振幅大于 0，则对振幅的调整量加上负的偏移值。关于失真分量的全部频带，也可以不是对振幅的调整量加上 / 减去正的偏移值，而是存在对振幅的调整量加上正的偏移值的频带和加上负的偏移值的频带。例如，将第奇数个失真分量频带设为对振幅的调整量加上正的偏移值的频带，将第偶数个失真分量频带设为对振幅的调整量加上负的偏移值的频带。此时，也可以将流程变更为在振幅步骤 S15a 中判定为“否”的情况下进行振幅步骤 S14a。

[0097] 在将振幅步骤 S12a 至 S14a 执行了 L2 次的情况下，控制器 107 的振幅设定单元 1072 使用 $R3_{m,12}$ 和 $R4_{m,12}$，通过最小二乘法确定用于表示振幅的调整量 Y_m 和失真分量 D_m 的关系的 2 次函数 ($D_m = b_{2,m}Y^2_m+b_{1,m}Y_m+b_{0,m}$) 的系数 ($b_{2,m}$, $b_{1,m}$, $b_{0,m}$)（振幅步骤 S16a）。然后，控制器 107 的振幅设定单元 1072 作为 $-b_{1,m}/(2b_{2,m})$ 而计算将 2 次函数最小化的振幅的调

整量 $Y_{min,m}$（振幅步骤 S17a）。控制器 107 的振幅设定单元 1072 直到对失真分量的全部频带计算振幅的调整量 $Y_{min,m}$ 为止，重复振幅步骤 S16a 至 S17a（振幅步骤 S18a）。控制器 107 的振幅设定单元 1072 对失真分量的全部频带计算振幅的调整量 $Y_{min,m}$ 之后，对 3 次频率特性补偿器 101B3 统一设定振幅的调整量 $Y_{min,1}$、……、$Y_{min,M}$（振幅步骤 S19a）。

[0098] 接着，表示第 1 实施方式的实验结果。实验中使用了 2GHz 波段 1W 级放大器（输出补偿 (back off)12.4dB）。将 3 次失真分量的上侧 / 下侧分别以等间隔进行 2 分割 (M = 4)，并从频率低的频率开始设为频带 1、2、3、4（参照图 12）。L1 和 L2 分别设为 3。将 ACLR 的目标值作为 -45dBc 进行了实验。作为比较，也对一个频带一个频带依次调整相位和振幅的以往的控制方法（方法 A）进行了实验。图 13 以相位设定为例子，对方法 A 和第 1 实施方式的控制方法（方法 B）表示时间性概念图。在图 13 中，(1) 表示相位的调整量的设定和失真分量的测定的处理时间，(2) 表示将 2 次函数最小化的相位的调整量的计算时间，(3) 表示算出的相位的调整量的设定的处理时间。在图 13 中，为了简单，以相同的大小示出 (1)、(2)、(3) 的各个时间，但实际上不同。在图 13 中，方法 A 是一个频带一个频带依次进行处理 (1) 至处理 (3)，但方法 B 是对失真分量全部频带统一进行处理 (1) 和处理 (3)。因此，方法 B 与方法 A 相比，能够高速地决定相位的调整量。

[0099] 图 14A 表示在对 3 次频率特性补偿器 101B3 设定相位和振幅的调整量之前的频谱（以没有频率特性补偿器 (without frequency characteristiccompensator) 来图示）、在使用了方法 A 的情况下的频谱、以及在使用了方法 B 的情况下的频谱的一例。在图 14B 表示对于标准化时间的上侧 / 下侧 ACLR。横轴的标准化时间以在方法 A 中将失真分量最小化（达到目标值）的相位和振幅的各个调整量对全部频带设定为止所需的时间作为基准，分别将方法 A 和方法 B 的设定时间进行了标准化。在图 14A 中，方法 B 与方法 A 相比，下侧频谱的失真补偿量少，但在图 14B 中，上侧 / 下侧的 ACLR 都在目标值以下。此时，由于标准化时间在方法 B 中为 0.28、在方法 A 中为 1.0，所以方法 B 与以往的控制方法方法 A 相比，能够将设定时间削减了 72％。

[0100] 控制器 107 的相位统一调整处理也可以是作为按照图 15 所示的处理流程的处理（将本处理设为相位统一调整处理流程 2）。

[0101] 【相位统一调整处理流程 2】

[0102] 控制器 107 对 3 次频率特性补偿器 101B3 统一设定相位的初始调整量 X_1、……、X_M（相位步骤 S21p）。失真观测器 106 同时测定失真分量的功率 D_1、……、D_M（相位步骤 S22p）。控制器 107 对各个频带分别比较失真分量的功率 D_m 和记录值 $R5_m$（相位步骤 S23p）。在至少一个频带中失真分量的功率小于记录值的情况下，控制器 107 将失真分量的功率 D_m 小于记录值 $R5_m$ 的频带的相位的调整量 X_M 记录为 $X_{min,m}$，将失真分量的功率 D_m 记录为 $R5_m$（相位步骤 S24p）。另外，作为记录值 $R5_m$ 的初始值，预先设定超过可测定的失真分量的功率 D_m 的值。这样，至少一次对全部频带进行相位步骤 S24p，对全部频带记录相位的调整量 $X_{min,m}$。控制器 107 对失真分量的功率 D_m 小于记录值 $R5_m$ 的频带设定加上了偏移值 $A2_m$ ($A2_m > 0$) 的相位的调整量 X_m（相位步骤 S25p），并返回到相位步骤 S22p。此时，也可以对相位的调整量加上负的偏移值。在失真分量的功率在全部频带中成为记录值以上的情况下，控制器 107 将记录的相位的调整量 $X_{min,1}$、……、$X_{min,M}$ 统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中（相位步骤 S26p）。

[0103] 也可以将控制器 107 的振幅统一调整处理作为按照图 16 所示的处理流程的处理（将本处理设为振幅统一调整处理流程 2）。

[0104] 【振幅统一调整处理流程 2】

[0105] 控制器 107 对 3 次频率特性补偿器 101B3 统一设定振幅的初始调整量 Y_1、……、Y_M（相位步骤 S21a）。失真观测器 106 同时测定失真分量的功率 D_1、……、D_M（相位步骤 S22a）。控制器 107 在各个频带分别比较失真分量的功率 D_m 和记录值 $R6_m$（相位步骤 S23a）。在至少一个频带中失真分量的功率小于记录值的情况下，控制器 107 将失真分量的功率 D_m 小于记录值 $R6_m$ 的频带的振幅的调整量 Y_M 记录为 $Y_{min,m}$，将失真分量的功率 D_m 记录为 $R6_m$（振幅步骤 S24a）。另外，作为记录值 $R6_m$ 的初始值，预先设定超过可测定的失真分量的功率 D_m 的值。这样，至少一次对全部频带进行振幅步骤 S24a，对全部频带记录振幅的调整量 $Y_{min,m}$。控制器 107 对失真分量的功率 D_m 小于记录值 $R6_m$ 的频带设定加上了偏移值 $B2_m$（$B2_m > 0$）的振幅的调整量 Y_m（振幅步骤 S25a），并返回到振幅步骤 S22a。此时，也可以若振幅的调整量 Y_m 大于 0 则对振幅的调整量加上负的偏移值。在失真分量的功率在全部频带中成为记录值以上的情况下，控制器 107 将记录的振幅的调整量 $Y_{min,1}$、……、$Y_{min,M}$ 统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中（振幅步骤 S26a）。

[0106] 在第 1 实施方式中，也可以在重复进行了相位统一调整处理之后，重复进行振幅统一调整处理，进行 ACLR。在使用了相位统一调整处理流程 1 和振幅统一调整处理流程 1 的情况下，指定最初设定的相位的调整量，使得在设定 L1 点的相位的调整量中将 2 次函数最小化的相位的调整量成为中央值。偏移值例如可以变更为 2/3、1/2 倍等，或者也可以不变更。对于振幅的调整量，与相位的调整量进行同样的处理。在使用了相位统一调整处理 2 和振幅统一调整处理 2 的情况下，相位的调整量的偏移值和振幅的调整量的偏移值例如分别变更为 2/3、1/2 倍等。

[0107] 在第 1 实施方式中，在使用了相位统一调整处理流程 1 的情况下，使用了振幅统一调整处理流程 1，但也可以作为振幅统一调整处理流程 2。此外，在使用了相位统一调整处理流程 2 的情况下，使用了振幅统一调整处理流程 2，但也可以作为振幅统一调整处理流程 1。

[0108] 在发送信号的功率增加或减少的情况下，存在失真分量增加的情况。为了应对这种情况，也可以预先准备查找表，以能够与发送信号的功率对应地设定 3 次频率特性补偿器 101B3 的相位和振幅的各个调整量。查找表对发送信号的每个功率分别保存对 3 次频率特性补偿器 101B3 设定的相位的调整量和振幅的调整量。此时，通过上述的处理流程，对每个发送功率求出保存的相位和振幅的各个调整量。失真观测器 106 测定发送信号的功率，并参照查找表，使得控制器 107 对 3 次频率特性补偿器 101B3 设定适合发送信号的功率的相位和振幅的各个调整量。

[0109] 第 1 实施方式的处理流程不依赖于失真产生路径 101B 的次数。在有多个失真产生路径 101B 的情况下，在各自的失真产生路径 101B 中依次进行上述的处理即可。例如，在有 3 次失真产生路径和 5 次失真产生路径的情况下，若 3 次失真矢量调整器和 5 次失真矢量调整器被适当地控制，则按照上述的处理流程调整对 3 次频率特性补偿器设定的全部频带的相位和振幅的各个调整量，也同样地调整对 5 次频率特性补偿器设定的全部频带的相位和振幅的各个调整量。另外，也可以按照首先进行 5 次频率特性补偿器的调整，接着进行

3 次频率特性补偿器的调整的顺序进行处理。

[0110] 【第 2 实施方式】

[0111] 图 17 表示本发明的第 2 实施方式的处理流程。在第 2 实施方式中，在从第 1 实施方式的 ACLR 判定处理转移到相位统一调整处理时，追加了记录测定的 ACLR 和对 3 次频率特性补偿器 101B3 设定的相位和振幅的各个调整量的处理 (ACLR/ 相位 / 振幅记录处理 ; S105)、判定是否将处理 (相位统一调整处理和振幅统一调整处理和 ACLR 测定处理) 重复了指定次数的处理 (第 1 重复判定处理 ;S106)。控制器 107 在没有将处理 (相位统一调整处理和振幅统一调整处理和 ACLR 测定处理) 重复指定次数的情况下，转移到在第 1 实施方式中说明的相位统一调整处理。控制器 107 在将处理 (相位统一调整处理和振幅统一调整处理和 ACLR 测定处理) 重复了指定次数的情况下，将在 ACLR/ 相位 / 振幅记录处理中记录的 ACLR 中、提供了最小的 ACLR 的相位和振幅的各个调整量对 3 次频率特性补偿器 101B3 的全部频带统一设定 (S107)。

[0112] 根据第 2 实施方式，即使在 ACLR 没有成为小于目标值的情况下，也不会陷入无限循环处理，能够将提供了通过指定次数的重复处理而获得的 ACLR 中、最低的 ACLR 的相位和振幅的各个调整量设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中。

[0113] 在第 2 实施方式中记录了 ACLR，但将在 3 次频率特性补偿器 101B3 中的失真补偿量的指标设为失真分量的功率的情况下，在 ACLR/ 相位 / 振幅记录处理 (S105) 中记录失真分量的功率来代替 ACLR。此时，控制器 107 将在记录的失真分量的功率中、失真分量的功率最低时的相位和振幅的各个调整量统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 的全部频带中。

[0114] 从第 1 实施方式可知，根据本发明，由于能够对失真分量的全部频带分别统一相位和振幅并在频率特性补偿器中设定，从而能够高速调整频率特性补偿器系数 (相位和振幅)。

[0115] 【第 3 实施方式】

[0116] 接着，说明利用与以往相比能够缩短调整时间来进行高精度失真补偿的处理的第 3 实施方式。图 18 表示本发明中的第 3 实施方式的处理流程。与第 2 实施方式的不同点在于，在图 18 的第 1 重复判定处理 S106 中判定为重复了指定次数的情况下，判定是否将相位统一调整处理流程和振幅统一调整处理流程变更了一次 (变更判定处理 ;S106a)，在没有变更时将相位统一调整处理流程和振幅统一调整处理流程一同变更 (相位统一调整处理和振幅统一调整处理的变更 ;S106b)。例如，在最初的阶段，按照与在第 1 实施方式中说明的相位统一调整处理流程 1 和振幅统一调整处理流程 1 进行了第 2 实施方式的处理的情况下，在接着的阶段，按照与在第 1 实施方式中说明的相位统一调整处理流程 2 和振幅统一调整处理流程 2 进行第 2 实施方式的处理。这样，通过使用两种相位统一调整处理流程和振幅统一调整处理流程的对，存在与仅使用一种相位统一调整处理流程和振幅统一调整处理流程的对的情况相比，能够更加良好地进行失真补偿的情况。

[0117] 为了应对将相位统一调整处理流程和振幅统一调整处理流程分别仅变更一次时 ACLR 没有成为小于目标值的情况，或者，为了进行更加高精度的失真补偿，也可以准备 3 种以上相位统一调整处理流程和振幅统一调整处理流程的对。

[0118] 此外，也可以不将相位统一调整处理流程和振幅统一调整处理流程的双方一同变更，而将其中的任一个变更。例如，在最初的阶段，按照与在第 1 实施方式中说明的相位统

一调整处理流程 1 和振幅统一调整处理流程 1 进行第 2 实施方式的处理，在第 2 阶段，按照与在第 1 实施方式中说明的相位统一调整处理流程 1 和振幅统一调整处理流程 2 进行第 2 实施方式的处理，在第 3 阶段，按照与在第 1 实施方式中说明的相位统一调整处理流程 2 和振幅统一调整处理流程 1 进行第 2 实施方式的处理，在最后阶段，按照与在第 1 实施方式中说明的相位统一调整处理流程 2 和振幅统一调整处理流程 2 进行第 2 实施方式的处理。

[0119] 【第 4 实施方式】

[0120] 第 4 实施方式中，在第 2 实施方式中，将处理（相位统一调整处理和振幅统一调整处理和 ACLR 测定处理）重复指定次数，ACLR 也不能达到小于目标值的情况下，进行单独设定相位和振幅的调整量的处理。图 19 表示第 4 实施方式的处理流程。与第 2 实施方式的不同点在于，在图 19 的第 1 重复判定处理 S106 中判定为将处理（相位统一调整处理和振幅统一调整处理和 ACLR 测定处理）重复了指定次数的情况下，一个频带一个频带依次调整相位的调整量（相位单独调整处理 ;S108），一个频带一个频带依次调整振幅的调整量（振幅单独调整处理 ;S109），并进行 ACLR 测定处理 (S110)，除了 ACLR 成为小于目标值的情况 (S111) 之外，依次重复相位单独调整处理至 ACLR 测定处理 (S108 ～ S110)，直到重复指定次数为止（第 2 重复判定处理 ;S113）。其中，在第 2 重复判定处理 S113 之前进行与在第 2 实施方式中说明的 ACLR/ 相位 / 振幅记录处理 S105 相同的 ACLR/ 相位 / 振幅记录处理 S112。在即使重复相位单独调整处理 S108 至 ACLR 测定处理 S110，ACLR 也没有成为小于目标值的情况下，控制器 107 将在测定的 ACLR 中、ACLR 成为最小值时的相位和振幅的各个调整量统一设定在 3 次频率特性补偿器 101B3 中。此时，在第 2 重复判定处理 S113 中判定的重复次数可以是与在第 1 重复判定处理 S106 中判定的重复次数相同的次数，也可以是不同的次数。

[0121] 在第 4 实施方式中，在调整了相位的调整量之后调整振幅的调整量。这是因为对于相位的变化量的失真分量的增减量一般比对于振幅的变化量的失真分量的增减量高。但是，根据功率放大器 953 的性质，也有对于振幅的变化量的失真分量的增减量比对于相位的变化量的失真分量的增减量高的情况。在这样的情况下，替换调整相位和振幅的顺序即可。

[0122] 以下，参照图 20 说明相位单独调整处理（将本处理设为相位单独调整处理流程 1）。

[0123] 【相位单独调整处理流程 1】

[0124] 控制器 107 设定频带 m 的相位的调整量 X_m（相位步骤 S31p）。失真观测器 106 测定在频带 m 中的失真分量的功率 D_m（相位步骤 S32p）。控制器 107 将设定的相位的调整量 X_m 和测定的功率 D_m 作为 $R7_{m,13}(0 < 13 \leqslant L3)$ 和 $R8_{m,13}$ 而分别记录（相位步骤 S33p）。控制器 107 对相位的调整量 X_m 加上偏移值 $A3_m(A3_m > 0)$，并对频带 m 设定新的相位的调整量 X_m（相位步骤 S34p）。控制器 107 重复相位步骤 S32p 至 S34p 直到执行 L3(L3 是 3 以上的整数）次（相位步骤 S35p）为止。在相位步骤 S34p 中，也可以对相位的调整量加上负的偏移值。在将相位步骤 S32p 至 S34p 执行了 L3 次的情况下，控制器 107 使用 $R7_{m,13}$ 和 $R8_{m,13}$，通过最小二乘法 (least squares method) 确定用于表示相位的调整量 X_m 和失真分量 D_m 的关系的 2 次函数 ($D_m = a_{2,m}X^2_m+a_{1,m}X_m+a_{0,m}$) 的系数 ($a_{2,m}$, $a_{1,m}$, $a_{0,m}$)（相位步骤 S36p）。然后，控制器 107 作为 $-a_{1,m}/(2a_{2,m})$ 而计算将 2 次函数最小化的相位的调整量 $X_{min,m}$（相位步骤 S37p）。控

制器 107 对 3 次频率特性补偿器 101B3 设定获得的相位的调整量 $X_{min,m}$（相位步骤 S38p）。控制器 107 直到对失真分量的全部频带设定相位的调整量 $X_{min,m}$ 为止，重复相位步骤 S31p 至相位步骤 S38p（相位步骤 S39p）。另外，也可以将流程变更为在相位步骤 S35p 中判定为否的情况下进行相位步骤 S34p。

[0125] 在执行了相位单独调整处理流程 1 的情况下，振幅单独调整处理按照图 21 所示的处理流程（将本处理设为振幅单独调整处理流程 1）。

[0126] 【振幅单独调整处理流程 1】

[0127] 控制器 107 设定频带 m 的振幅的调整量 Y_m（振幅步骤 S31a）。失真观测器 106 测定在频带 m 中的失真分量的功率 D_m（振幅步骤 S32a）。控制器 107 将设定的振幅的调整量 Y_m 和测定的功率 D_m 作为 $R9_{m,14}(0 < 14 \leqslant L4)$ 和 $R10_{m,14}$ 而分别记录（振幅步骤 S33a）。控制器 107 对振幅的调整量 Y_m 加上偏移值 $B3_m(B3_m > 0)$，并对频带 m 设定新的振幅的调整量 Y_m（振幅步骤 S34a）。将振幅步骤 S31a 至 S34a 重复执行 L4(L4 是 3 以上的整数）次（振幅步骤 S35a）。在振幅步骤 S34a 中，也可以若振幅的调整量大于 0，则对振幅的调整量加上负的偏移值。在将振幅步骤 S32a 至 S34a 执行了 L4 次的情况下，控制器 107 使用 $R9_{m,14}$ 和 $R10_{m,14}$，通过最小二乘法确定用于表示振幅的调整量 Y_m 和失真分量 D_m 的关系的 2 次函数 $(D_m = b_{2,m}Y^2_m+b_{1,m}Y_m+b_{0,m})$ 的系数 $(b_{2,m}, b_{1,m}, b_{0,m})$（相位步骤 S36a）。然后，控制器 107 作为 $-b_{1,m}/(2b_{2,m})$ 而计算将 2 次函数最小化的振幅的调整量 $Y_{min,m}$（振幅步骤 S37a）。控制器 107 对 3 次频率特性补偿器 101B3 设定获得的振幅的调整量 $Y_{min,m}$（振幅步骤 S38a）。控制器 107 直到对失真分量的全部频带设定振幅的调整量 $Y_{min,m}$ 为止，重复振幅步骤 S31a 至 S38a（振幅步骤 S39a）。

[0128] 也可以将相位单独调整处理设为图 22 所示的处理流程（将本处理设为相位单独调整处理流程 2）。

[0129] 【相位单独调整处理流程 2】

[0130] 控制器 107 设定频带 m 的相位的调整量 X_m（相位步骤 S41p）。失真观测器 106 测定频带 m 中的失真分量的功率 D_m（相位步骤 S42p）。控制器 107 比较失真分量的功率 D_m 和记录值 $R11_m$（相位步骤 S43p）。在失真分量的功率 D_m 小于记录值 $R11_m$ 的情况下，控制器 107 将相位的调整量 X_m 记录为 $X_{min,m}$，将失真分量的功率 D_m 记录为 $R11_m$（相位步骤 S44p）。另外，作为记录值 $R11_m$ 的初始值，预先设定超过可测定的失真分量的功率 D_m 的值。这样，至少进行一次相位步骤 S44p，记录相位的调整量 $X_{min,m}$。控制器 107 对频带 m 设定对相位的调整量 X_m 加上了偏移值 $A4_m(A4_m > 0)$ 的新的相位的调整量 X_m（相位步骤 S45p），并返回到相位步骤 S42p。此时，也可以对相位的调整量加上负的偏移值。在失真分量的功率 D_m 成为记录值 $R11_m$ 以上的情况下，控制器 107 对频带 m 设定记录的相位的调整量 $X_{min,m}$（相位步骤 S46p）。控制器 107 直到对失真分量的全部频带设定相位的调整量 $X_{min,m}$ 为止，重复上述的处理（相位步骤 S47p）。

[0131] 也可以将振幅单独调整处理作为按照图 23 所示的处理流程的处理（将本处理设为振幅单独设定处理流程 2）。

[0132] 【振幅单独调整处理流程 2】

[0133] 控制器 107 设定频带 m 的振幅的调整量 Y_m（振幅步骤 S41a）。失真观测器 106 测定在频带 m 中的失真分量的功率 D_m（振幅步骤 S42a）。控制器 107 比较失真分量的功率 D_m

和记录值 $R12_m$（振幅步骤 S43a）。在失真分量的功率 D_m 成为小于 $R12_m$ 的情况下，控制器 107 将振幅的调整量 Y_m 记录为 $Y_{min,m}$，将失真分量的功率 D_m 记录为记录值 $R12_m$（振幅步骤 S44a）。另外，作为记录值 $R12_m$ 的初始值，预先设定超过可测定的失真分量的功率 D_m 的值。这样，至少进行一次振幅步骤 S44a，记录振幅的调整量 $Y_{min,m}$。控制器 107 对频带 m 设定加上了偏移值 $B4_m$ 的新的振幅的调整量 Y_m（振幅步骤 S45a），并返回到振幅步骤 S42a。也可以若振幅的调整量大于 0 则对振幅的调整量加上负的偏移值。在失真分量的功率 D_m 成为记录值 $R12_m$ 以上的情况下，控制器 107 对频带 m 设定记录的振幅的调整量 $Y_{min,m}$（振幅步骤 S46a）。控制器 107 直到对失真分量的全部频带设定振幅的调整量 $Y_{min,m}$ 为止，重复上述的处理（振幅步骤 S47a）。

[0134] 在第 4 实施方式中，在如第 3 实施方式那样进行全部频带统一调整的情况下，也可以在第 1 重复判定处理之后切换相位统一调整处理流程和 / 或振幅统一调整处理流程，在一个频带一个频带依次调整的情况下，也可以在第 2 重复判定处理之后切换相位单独调整处理流程和 / 或振幅单独调整处理流程。

[0135] 【变形实施例】

[0136] 参照图 24 说明有关第 4 实施方式的变形实施方式。与第 4 实施方式的不同点在于，在 3 次频率特性补偿器 101B3 中，设定了某一频带的相位和振幅的调整量之后，转移到设定其他频带中的相位和振幅的调整量 (S106c、S106d)。与如第 4 实施方式那样在调整了全部频带的相位的调整量之后调整全部频带的振幅的调整量的情况相比，本实施方式有时能够以少的重复次数使 ACLR 小于目标值的情况。此时，可以按照相位、振幅的顺序进行调整，也可以按照振幅、相位的顺序进行调整。

[0137] 参照图 25 说明相位和振幅的各个调整量的调整处理（将本发明设为相位 / 振幅单独调整处理流程 1）。将对 3 次频率特性补偿器 101B3 的被 M 分割的频带分别设定的相位的调整量设为 $X_{m,15}(0 < m \leqslant M, 0 < 15 \leqslant L5)$，将振幅的调整量设为 $Y_{m,16}(0 < 16 \leqslant L6)$，将被分割的频带内的失真分量的功率设为 D_m。

[0138] 【相位 / 振幅单独调整处理流程 1】

[0139] 控制器 107 设定频带 m 的相位的调整量 $X_{m,15}$（相位 / 振幅步骤 S51）。失真观测器 106 测定在频带 m 中的失真分量的功率 D_m（相位 / 振幅步骤 S52）。控制器 107 将设定的相位的调整量 $X_{m,15}$ 和测定的功率 D_m 分别作为 $R13_{m,15}$ 和 $R14_{m,15}$ 而分别记录（相位 / 振幅步骤 S53）。控制器 107 对不同的 L5(L5 是大于 2 的整数）点的相位的调整量 $X_{m,15}$ 测定失真分量的功率 D_m 为止，重复相位 / 振幅步骤 S51 至 S53（相位 / 振幅步骤 S54）。在对不同的 L5 点的相位 $X_{m,15}$ 测定失真分量的功率 D_m 之后，控制器 107 使用记录值 $R13_{m,15}$ 和 $R14_{m,15}$，通过最小二乘法确定用于表示相位的调整量 X_m 和失真分量 D_m 的关系的 2 次函数 ($D_m = a_{2,m}X^2_m + a_{1,m}X_m + a_{0,m}$) 的系数 ($a_{2,m}$, $a_{1,m}$, $a_{0,m}$)（相位 / 振幅步骤 S55）。控制器 107 作为 $-a_{1,m}/(2a_{2,m})$ 而计算将 2 次函数最小化的相位的调整量 $X_{min,m}$（相位 / 振幅步骤 S56）。控制器 107 对频带 m 设定获得的相位的调整量 $X_{min,m}$（相位 / 振幅步骤 S57）。之后，控制器 107 设定频带 m 的振幅的调整量 $Y_{m,16}$（相位 / 振幅步骤 S58）。失真观测器 106 测定在频带 m 中的失真分量的功率 D_m（相位 / 振幅步骤 S59）。控制器 107 将设定的振幅的调整量 $Y_{m,16}$ 和测定的功率 D_m 分别作为 $R15_{m,16}$ 和 $R16_{m,16}$ 而记录（相位 / 振幅步骤 S60）。控制器 107 对不同的 L6(L6 是大于 2 的整数）点的振幅的调整量 $Y_{m,16}$ 测定失真分量的功率 D_m 为止，重复相位 / 振幅步骤 S58

至 S60(相位 / 振幅步骤 S61)。在对不同的 L6 点的振幅的调整量 $Y_{m,16}$ 测定失真分量的功率 D_m 之后,控制器 107 使用记录值 $R15_{m,16}$ 和 $R16_{m,16}$,通过最小二乘法确定用于表示振幅的调整量 Y_m 和失真分量 D_m 的关系的 2 次函数 ($D_m = b_{2,m}Y^2{}_m+b_{1,m}Y_m+b_{0,m}$) 的系数 ($b_{2,m}$, $b_{1,m}$, $b_{0,m}$)(相位 / 振幅步骤 S62)。控制器 107 作为 $-b_{1,m}/(2b_{2,m})$ 而计算将 2 次函数最小化的振幅的调整量 $Y_{min,m}$(相位 / 振幅步骤 S63)。控制器 107 对频带 m 设定获得的振幅的调整量 $Y_{min,m}$(相位 / 振幅步骤 S64)。

[0140] 也可以将相位和振幅的单独调整处理作为图 26 所示的处理流程(将本处理设为相位 / 振幅单独调整处理流程 2)。以下,将对 3 次频率特性补偿器 101B3 的被 M 分割的频带分别设定的相位的调整量设为 $X_m(0 < m \leq M)$,将振幅的调整量设为 $Y_m(0 < m \leq M)$。

[0141] 【相位 / 振幅单独调整处理流程 2】

[0142] 控制器 107 设定频带 m 的相位的调整量 X_m(相位 / 振幅步骤 S71)。失真观测器 106 测定在频带 m 中的失真分量的功率 D_m(相位 / 振幅步骤 S72)。控制器 107 比较失真分量的功率 D_m 和记录值 $R17_m$(相位 / 振幅步骤 S73)。在失真分量的功率 D_m 小于记录值 $R17_m$ 的情况下,控制器 107 将相位的调整量 X_m 记录为 $X_{min,m}$,将失真分量的功率 D_m 记录为 $R17_m$(相位 / 振幅步骤 S74)。另外,作为 $R17_m$ 的初始值,预先设定超过可测定的失真分量的功率 D_m 的值。这样,至少一次进行相位 / 振幅步骤 S74,记录相位的调整量 $X_{min,m}$。控制器 107 对频带 m 设定在相位的调整量 X_m 加上偏移值 $A5_m$ 的新的相位的调整量 X_m(相位 / 振幅步骤 S75),并返回到相位 / 振幅步骤 S72。在失真分量的功率 D_m 成为 $R17_m$ 以上的情况下,控制器 107 对频带 m 设定记录的相位的调整量 $X_{min,m}$(相位 / 振幅步骤 S76)。控制器 107 设定频带 m 的振幅的调整量 Y_m(相位 / 振幅步骤 S77)。失真观测器 106 测定在频带 m 中的失真分量的功率 D_m(相位 / 振幅步骤 S78)。控制器 107 比较失真分量的功率 D_m 和记录值 $R18_m$(相位 / 振幅步骤 S79)。在失真分量的功率 D_m 小于记录值 $R18_m$ 的情况下,控制器 107 将振幅的调整量 Y_m 记录为 $Y_{min,m}$,将失真分量的功率 D_m 记录为 $R18_m$(相位 / 振幅步骤 S80)。另外,作为 $R18_m$ 的初始值,预先设定超过可测定的失真分量的功率 D_m 的值。这样,至少一次进行相位 / 振幅步骤 S80,记录振幅的调整量 $Y_{min,m}$。控制器 107 对频带 m 设定在振幅的调整量 Y_m 加上偏移值 $B5_m$ 的新的振幅的调整量 Y_m(相位 / 振幅步骤 S81),并返回到相位 / 振幅步骤 S78。在失真分量的功率 D_m 成为 $R18_m$ 以上的情况下,控制器 107 对频带 m 设定记录的振幅的调整量 $Y_{min,m}$(相位 / 振幅步骤 S82)。

[0143] 除了以上的实施方式之外,本发明并不限定于上述的实施方式,在不脱离本发明的意旨的范围内可进行适当的变更。

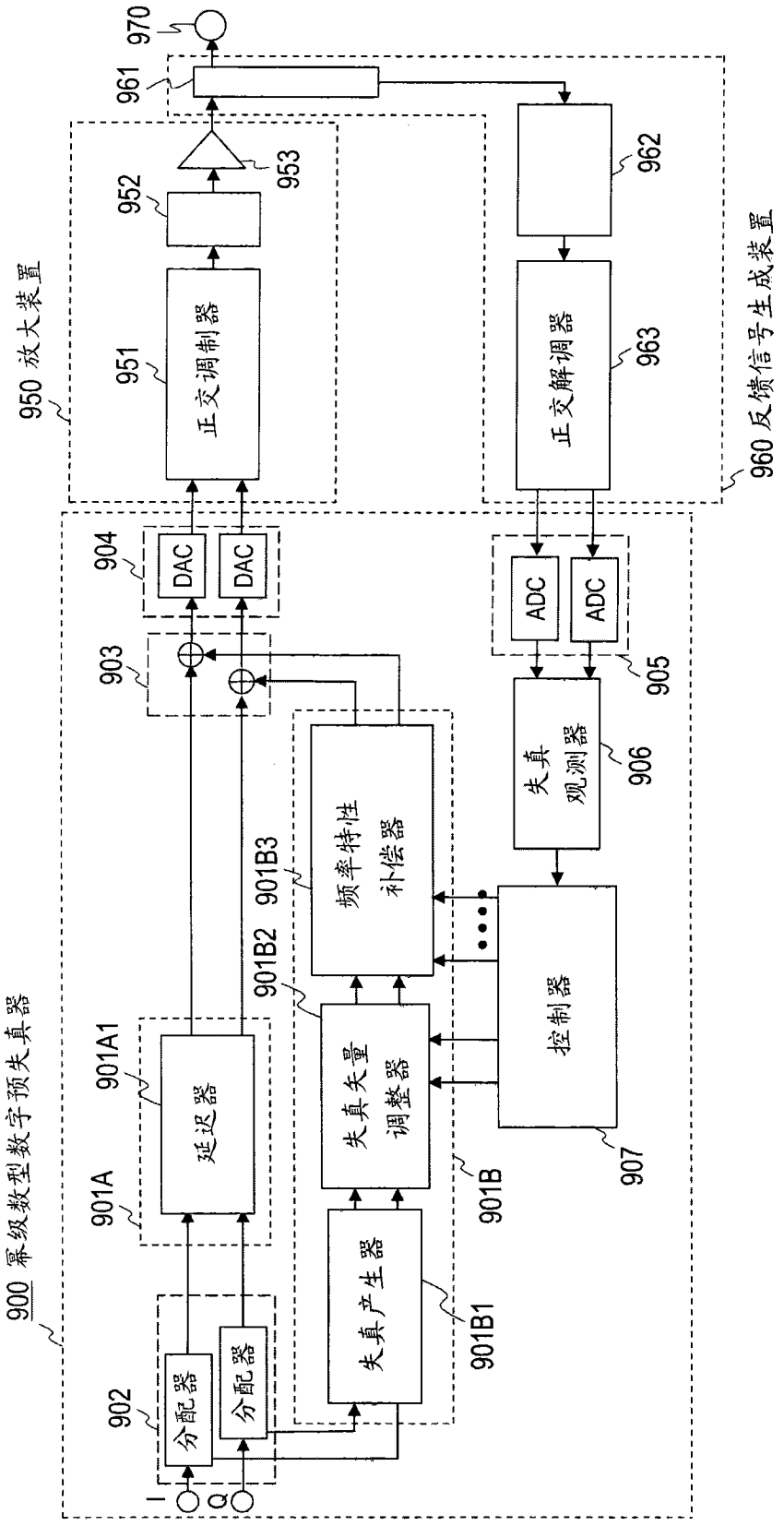

900 幂级数型数字预失真器
950 放大装置
960 反馈信号生成装置
970
961
962
963
951
正交调制器
正交解调器
952
953
904
DAC
DAC
ADC
ADC
905
903
906
失真
观测器
901B3
频率特性
补偿器
901B2
失真矢量
调整器
901A1
延迟器
901A
901B
907
控制器
902
分配器
分配器
失真产生器
901B1
I
Q

图 1

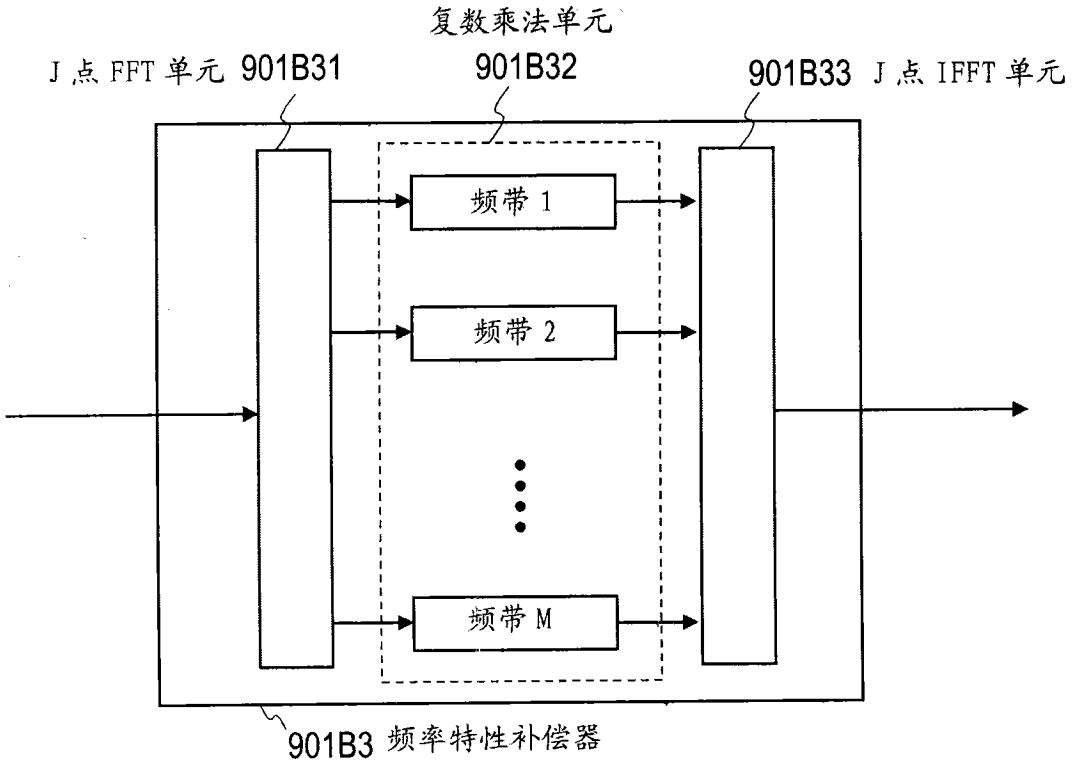

复数乘法单元
J 点 FFT 单元 901B31
901B32
901B33 J 点 IFFT 单元
频带 1
频带 2
频带 M
901B3 频率特性补偿器

图 2

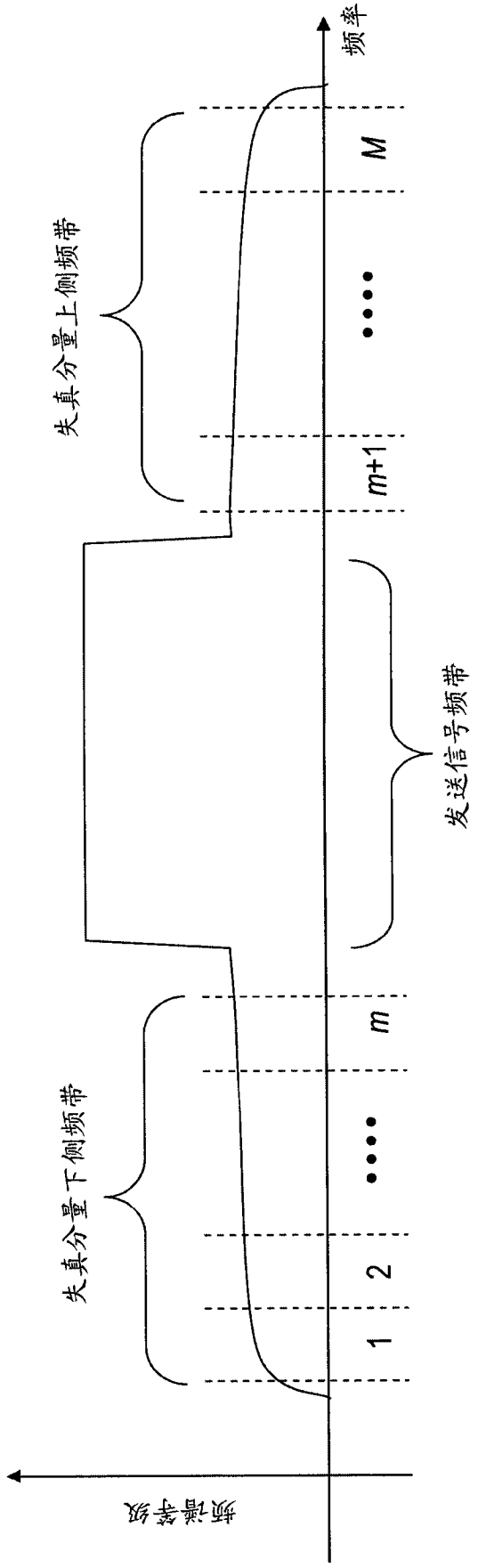


图 3

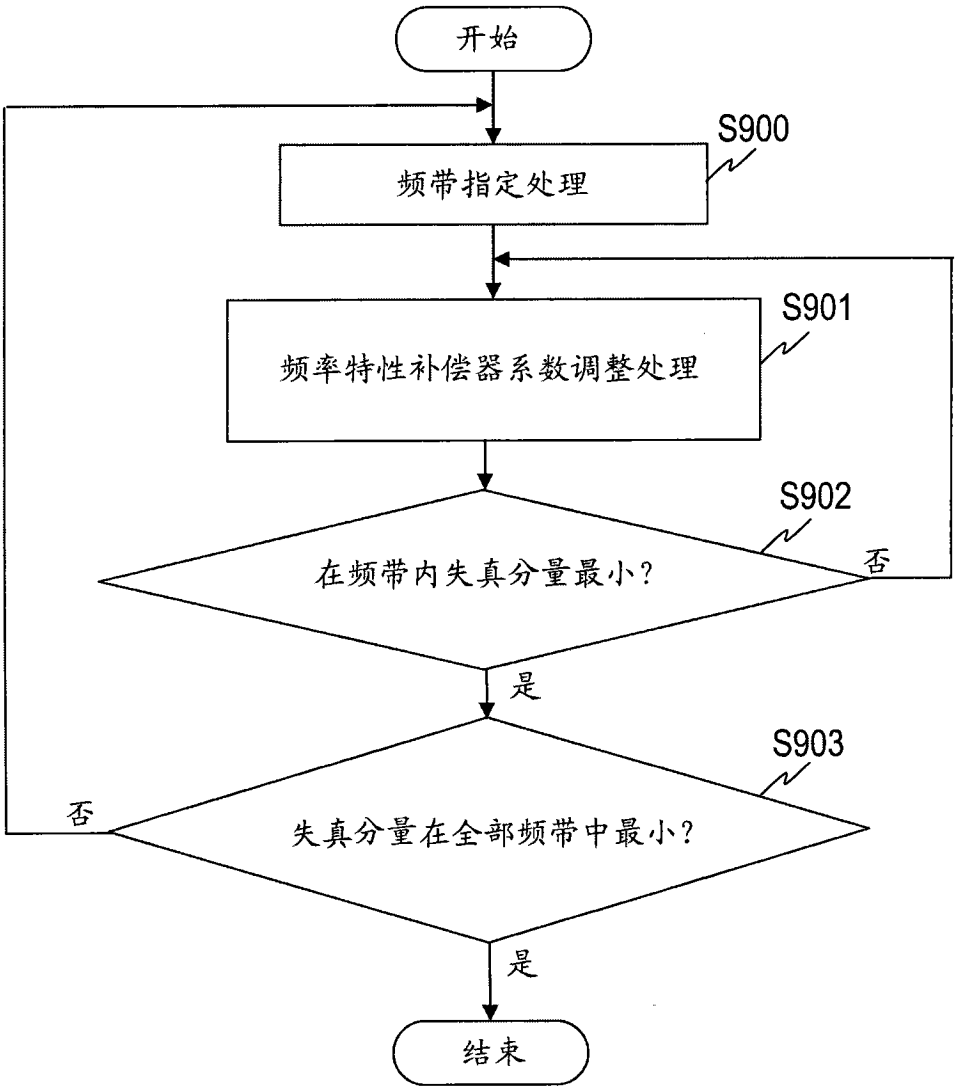

开始
S900
频带指定处理
S901
频率特性补偿器系数调整处理
S902
在频带内失真分量最小？
否
是
S903
失真分量在全部频带中最小？
否
是
结束

图 4

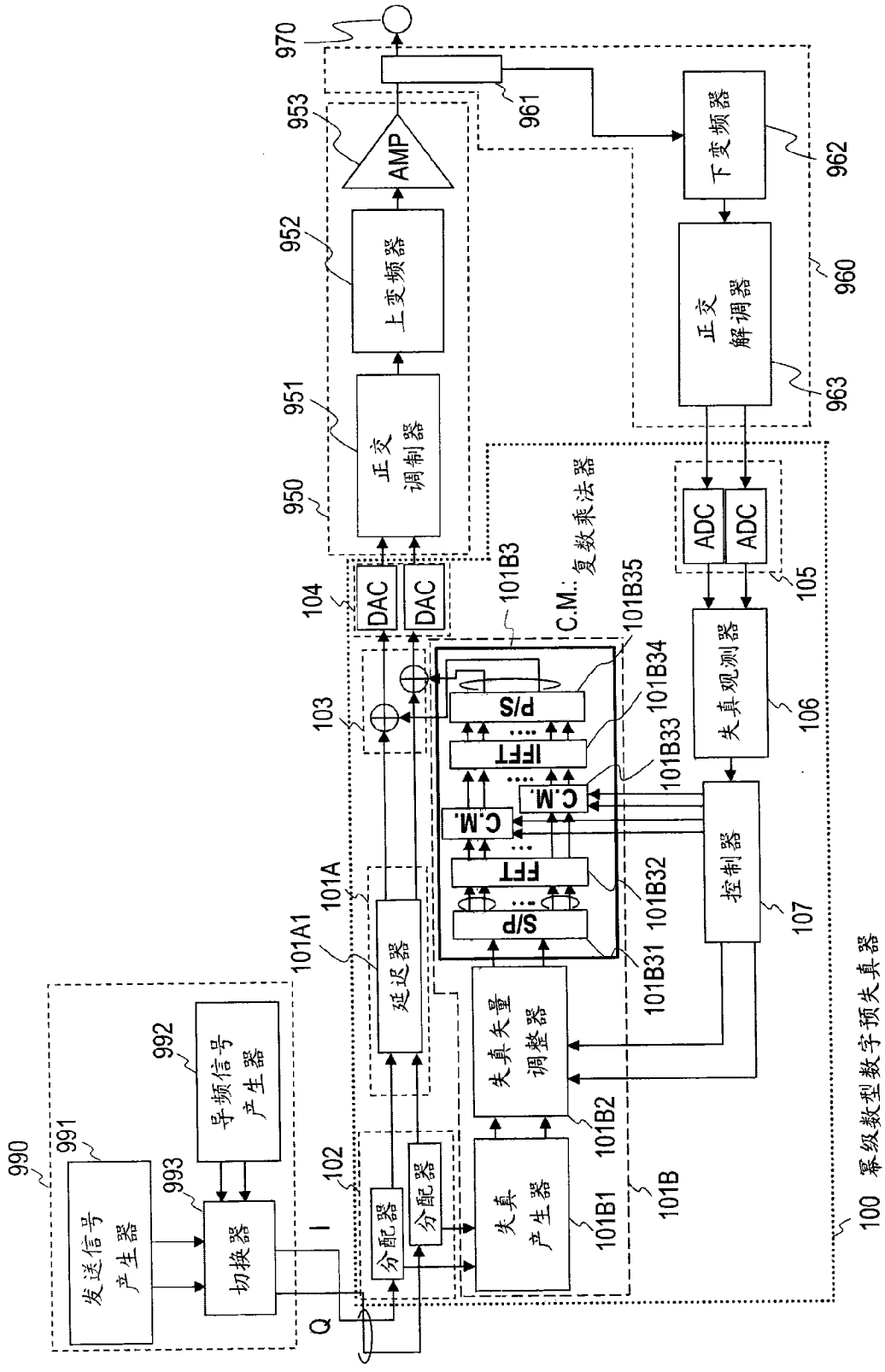

970
953
AMP
952
上变频器
951
正交调制器
950
961
下变频器
962
正交解调器
960
963
ADC
ADC
105
DAC
DAC
104
101B3
C.M.
复数乘法器
101B35
101B34
101B33
101B32
101B31
P/S
IFFT
C.M.
C.M.
FFT
S/P
103
失真观测器
106
控制器
107
101A
101A1
延迟器
失真失量调整器
101B2
失真产生器
101B1
101B
分配器
分配器
102
I
Q
990
991
发送信号产生器
992
导频信号产生器
993
切换器
100 幂级数型数字预失真器

图 5

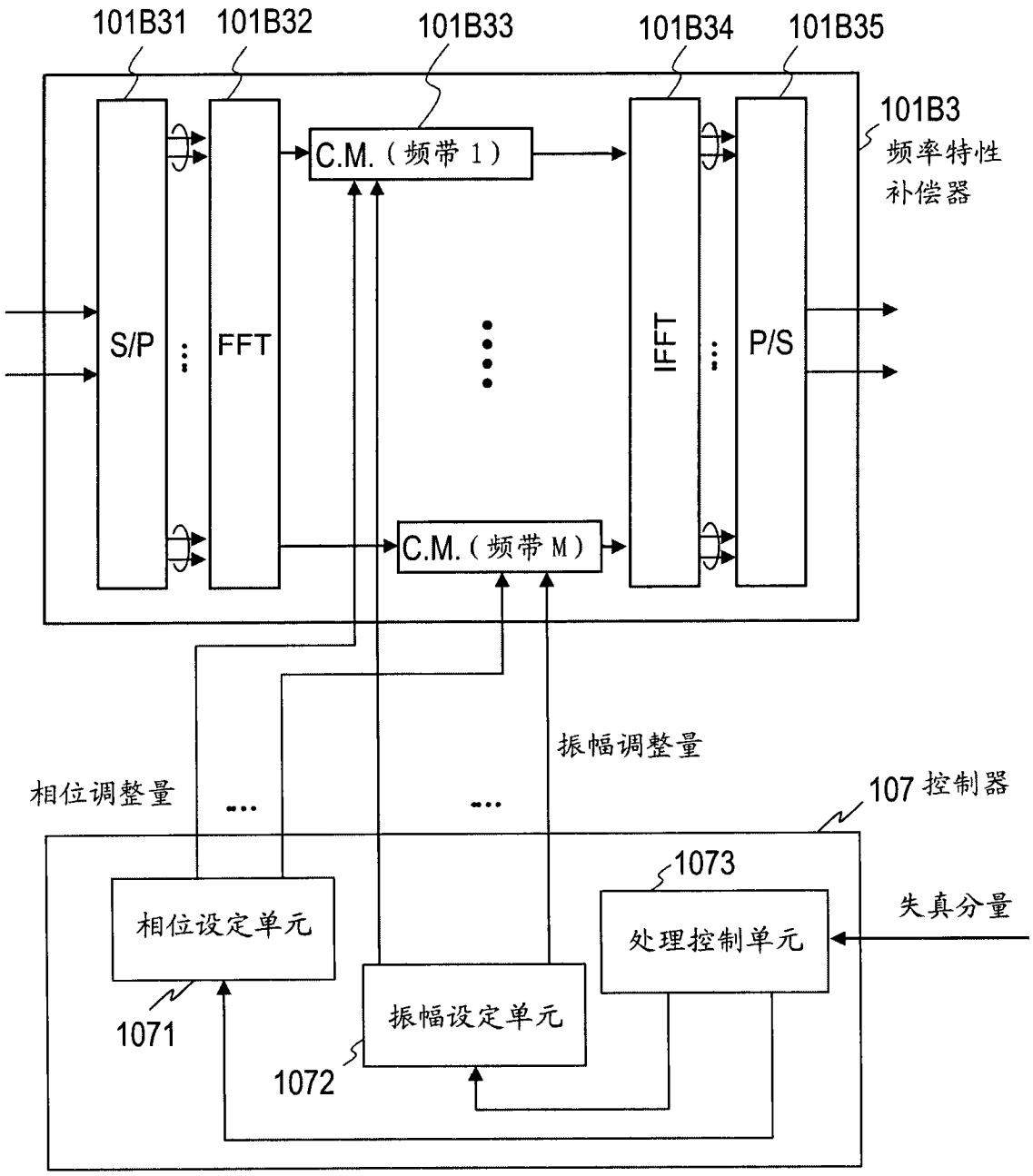

101B31
101B32
101B33
101B34
101B35
101B3
频率特性
补偿器
S/P
FFT
C.M.（频带 1）
C.M.（频带 M）
IFFT
P/S
振幅调整量
相位调整量
107 控制器
1073
相位设定单元
处理控制单元
失真分量
振幅设定单元
1071
1072

图 6

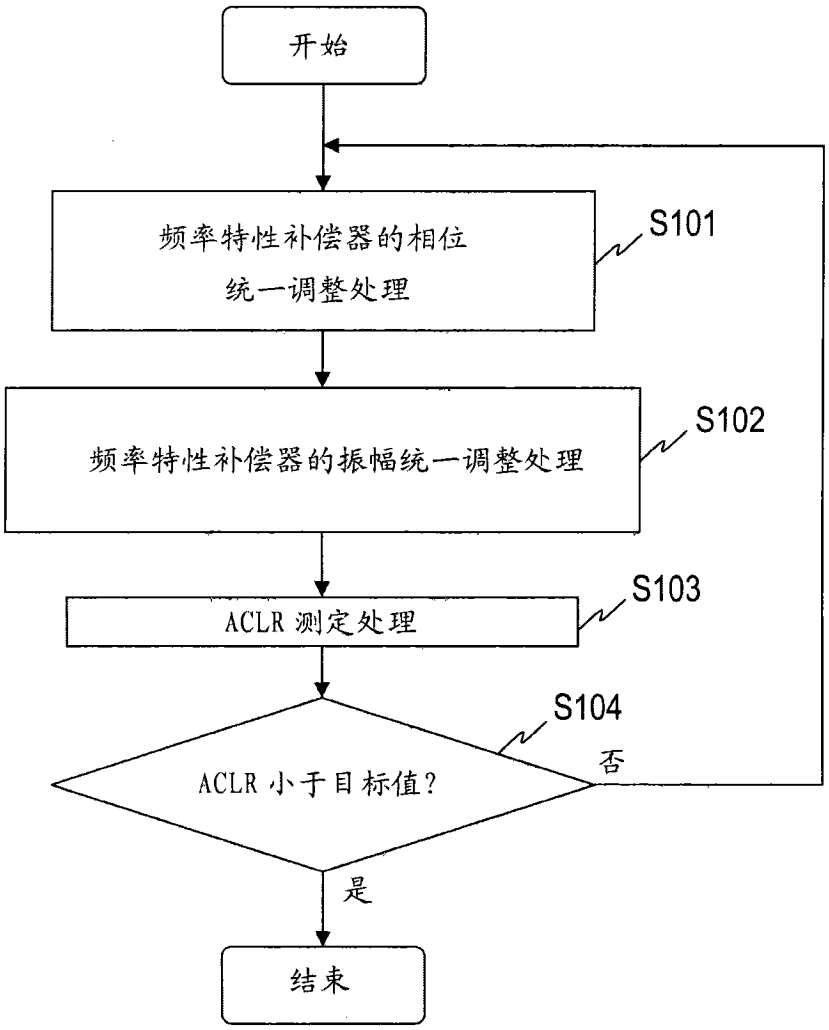

开始
频率特性补偿器的相位
统一调整处理
S101
频率特性补偿器的振幅统一调整处理
S102
ACLR 测定处理
S103
ACLR 小于目标值?
S104
否
是
结束

图 7

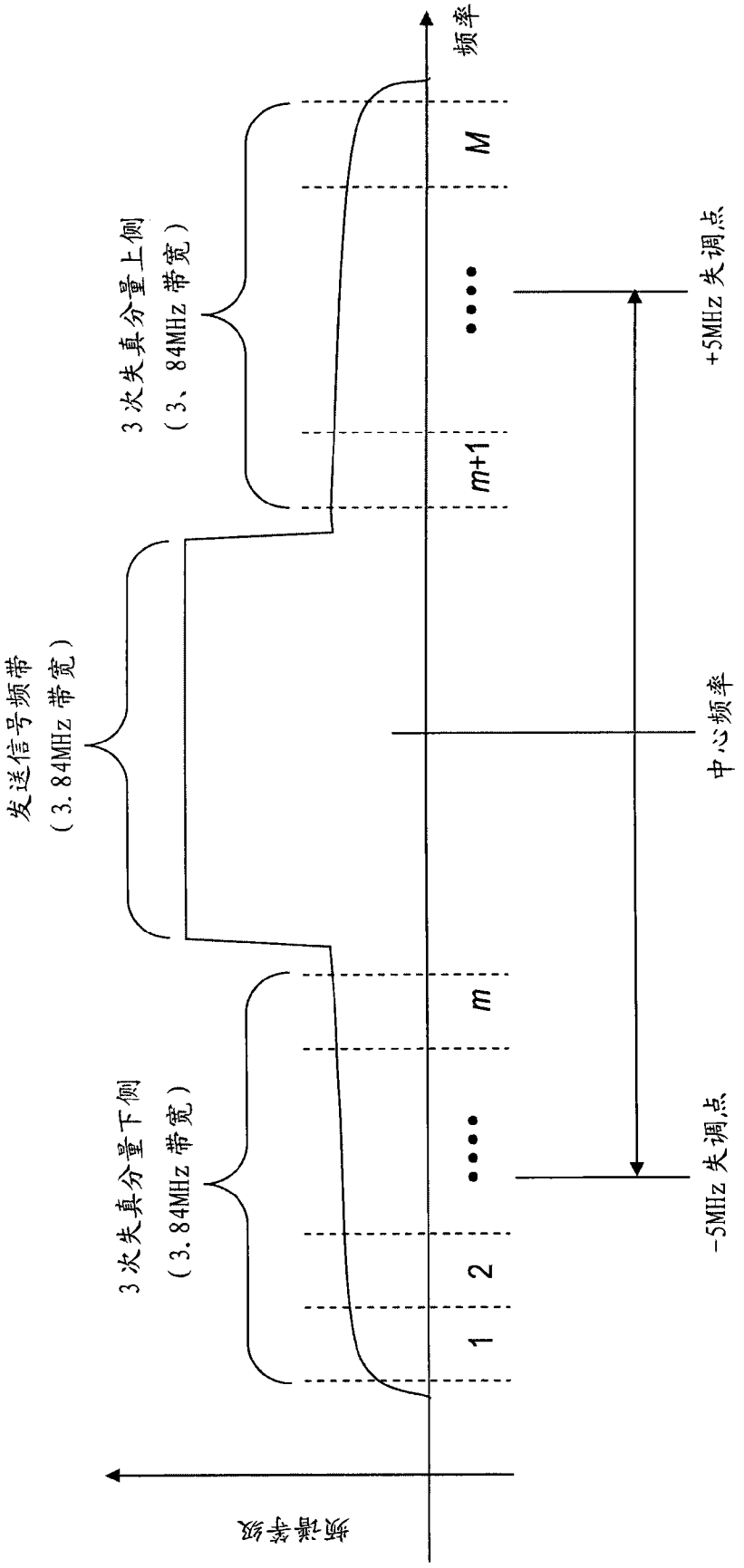

频率
M
m+1
m
2
1
3次失真分量上侧
（3、84MHz 带宽）
发送信号频带
（3.84MHz 带宽）
3次失真分量下侧
（3.84MHz 带宽）
+5MHz 失调点
中心频率
-5MHz 失调点
频谱等级

图 8

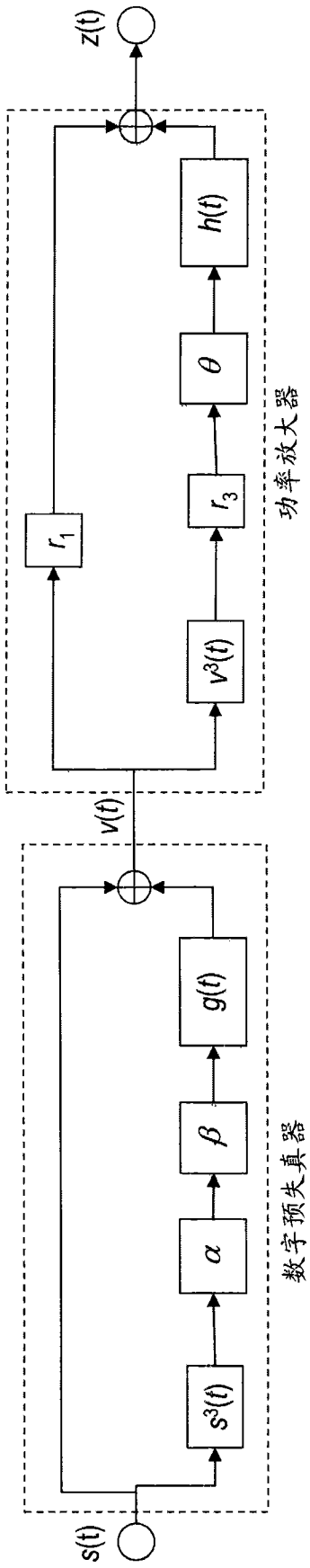


图 9

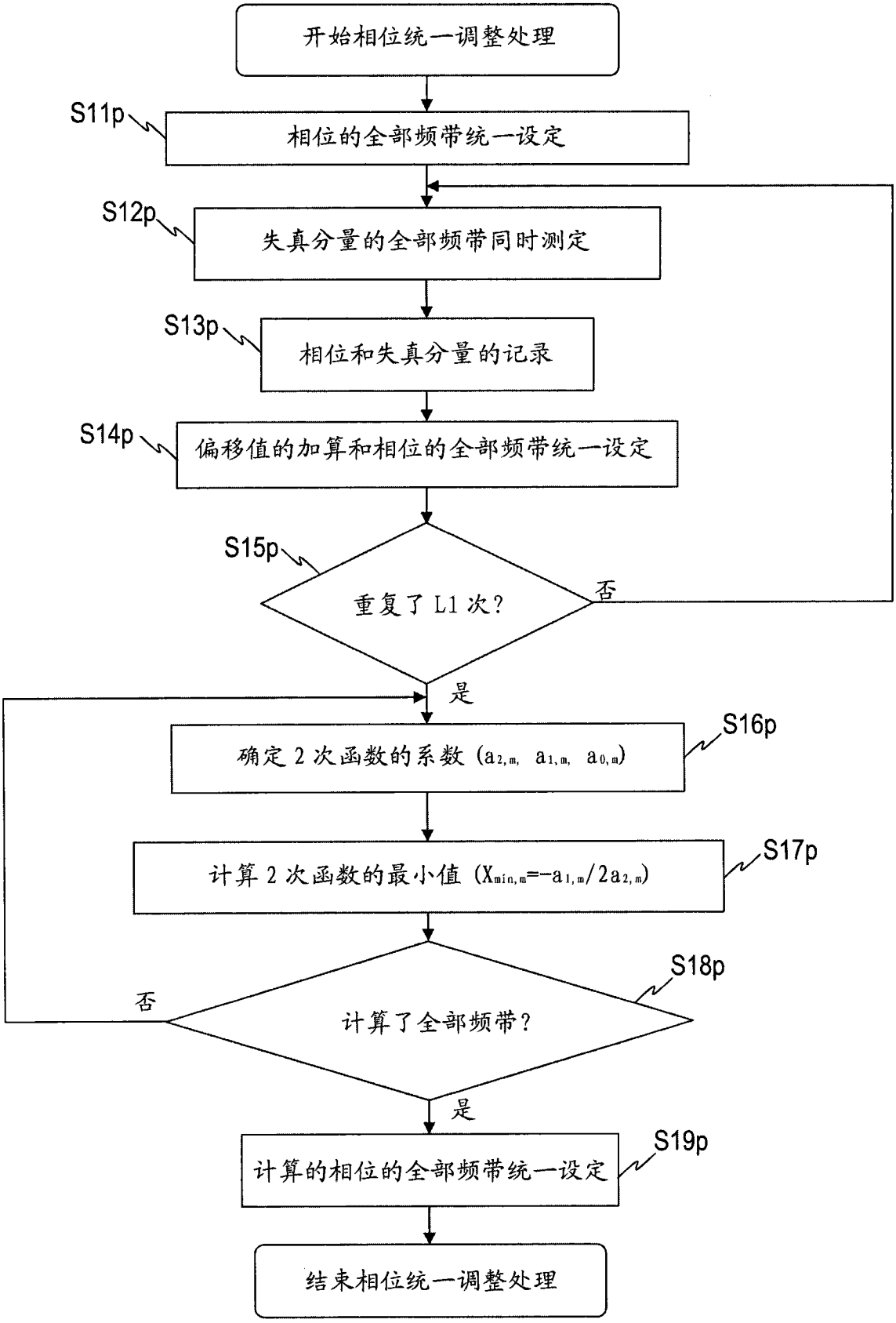

开始相位统一调整处理
S11p
相位的全部频带统一设定
S12p
失真分量的全部频带同时测定
S13p
相位和失真分量的记录
S14p
偏移值的加算和相位的全部频带统一设定
S15p
重复了 L1 次?
否
是
S16p
确定 2 次函数的系数 ($a_{2,m}$, $a_{1,m}$, $a_{0,m}$)
S17p
计算 2 次函数的最小值 ($X_{min,m}=-a_{1,m}/2a_{2,m}$)
S18p
计算了全部频带?
否
是
S19p
计算的相位的全部频带统一设定
结束相位统一调整处理

图 10

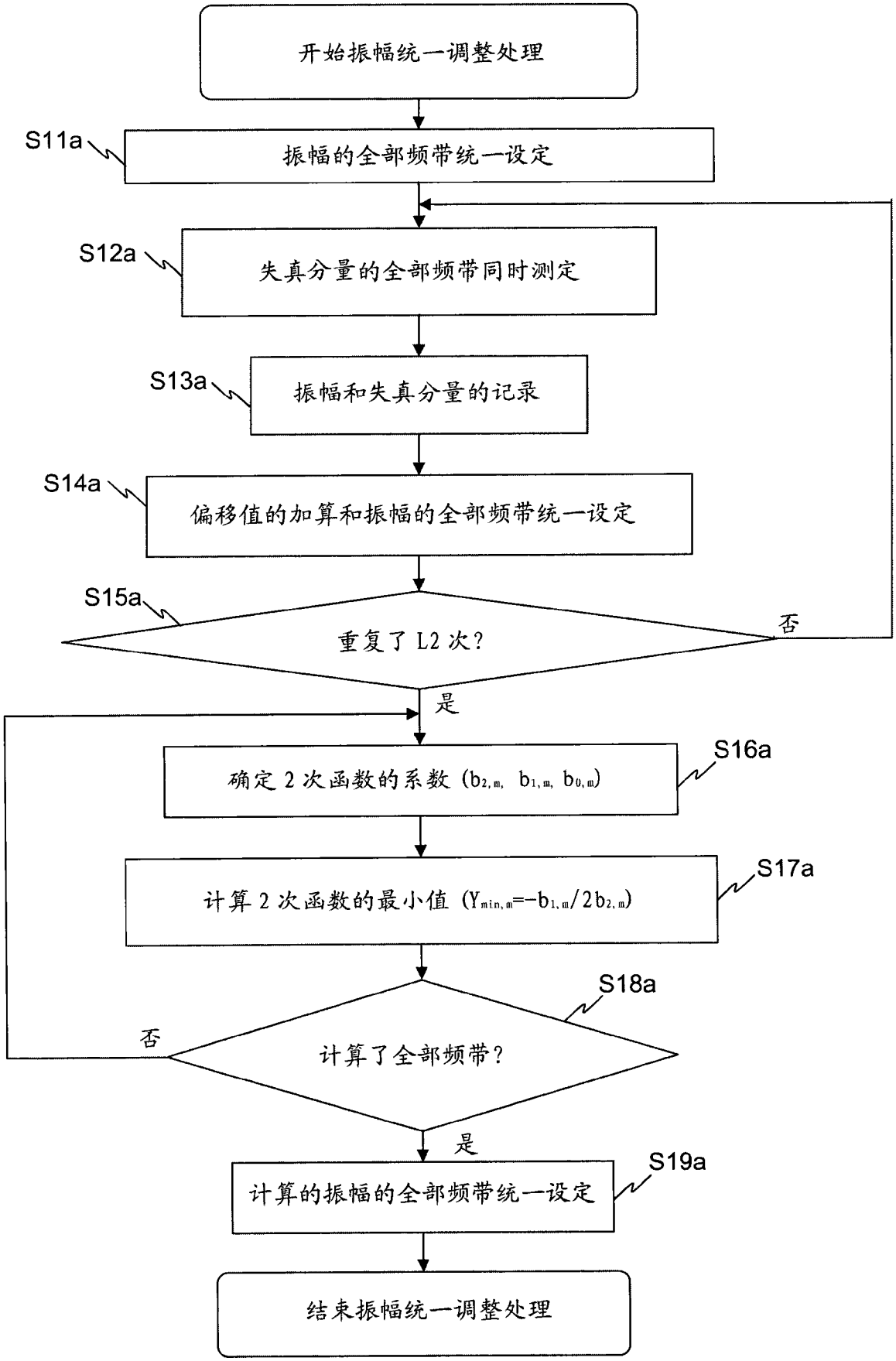

开始振幅统一调整处理
S11a
振幅的全部频带统一设定
S12a
失真分量的全部频带同时测定
S13a
振幅和失真分量的记录
S14a
偏移值的加算和振幅的全部频带统一设定
S15a
重复了 L2 次?
否
是
S16a
确定 2 次函数的系数 ($b_{2,m}$, $b_{1,m}$, $b_{0,m}$)
S17a
计算 2 次函数的最小值 ($Y_{min,m}=-b_{1,m}/2b_{2,m}$)
S18a
计算了全部频带?
否
是
S19a
计算的振幅的全部频带统一设定
结束振幅统一调整处理

图 11

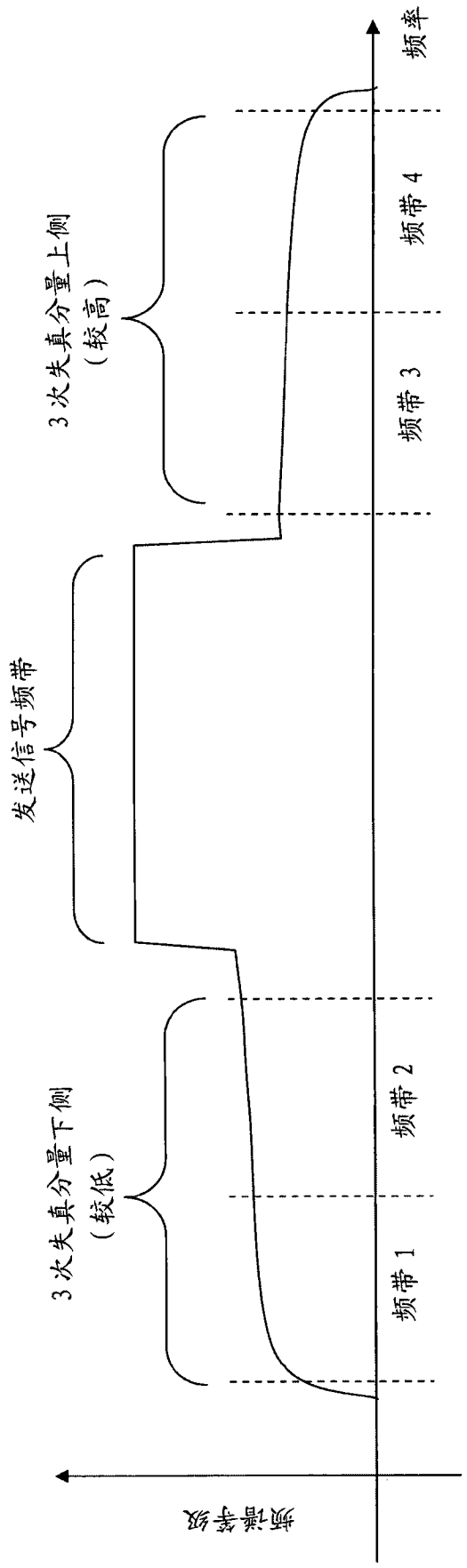


图 12

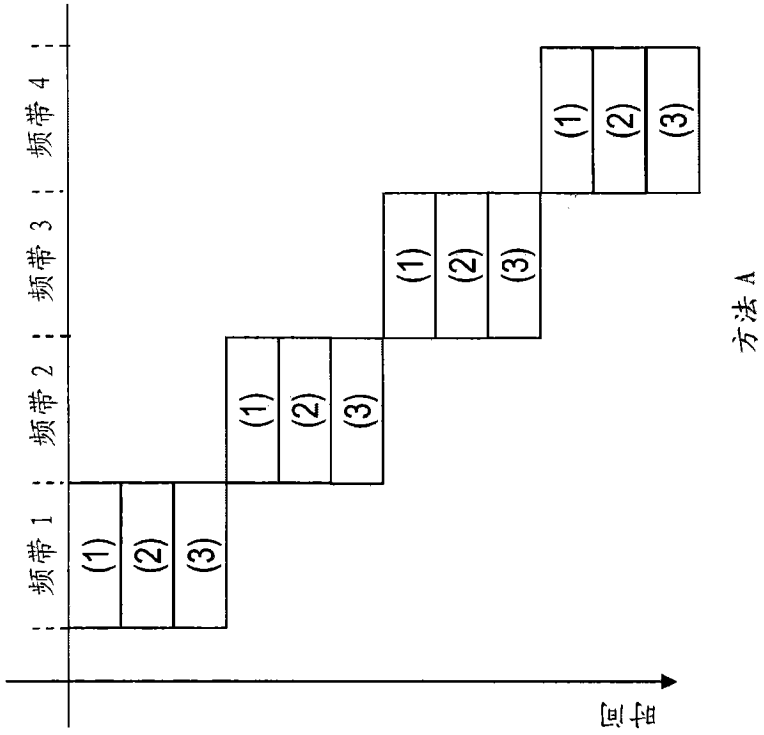


图 13A

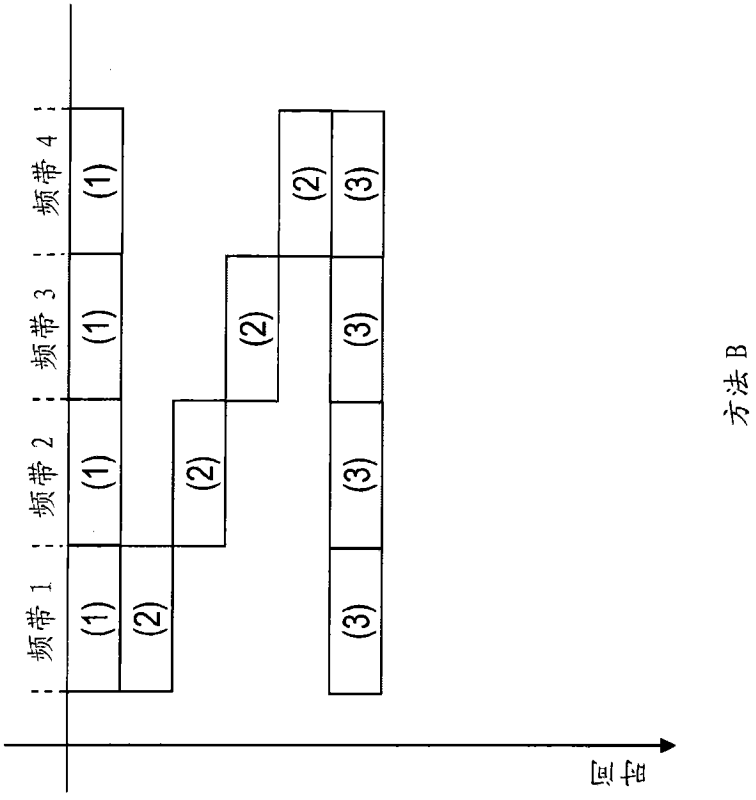


图 13B

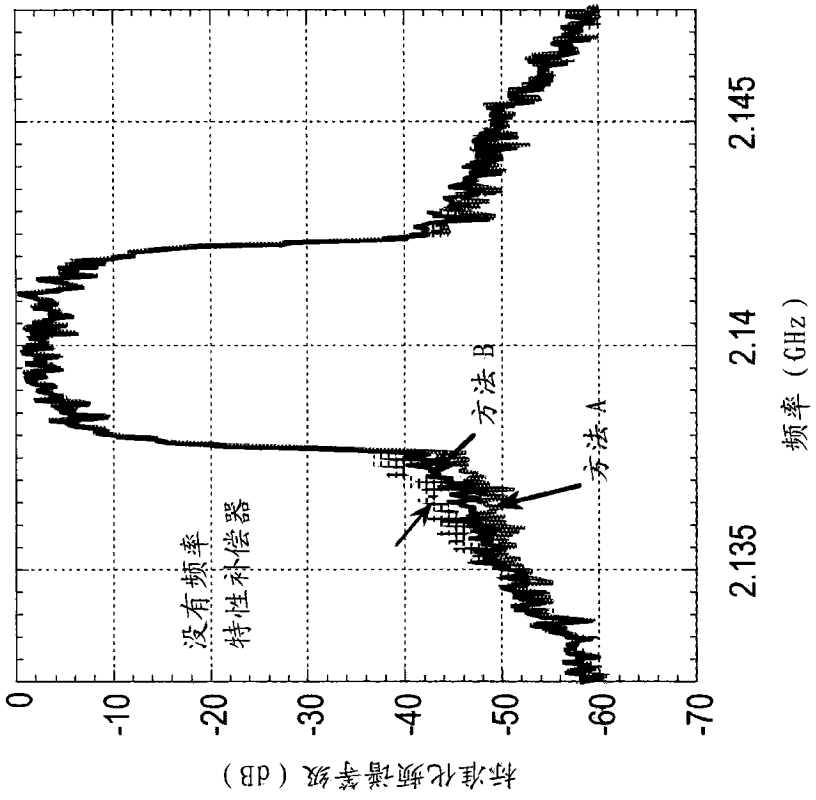

标准化频谱等级（dB）
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
没有频率
特性补偿器
方法 B
方法 A
2.135
2.14
2.145
频率（GHz）

图 14A

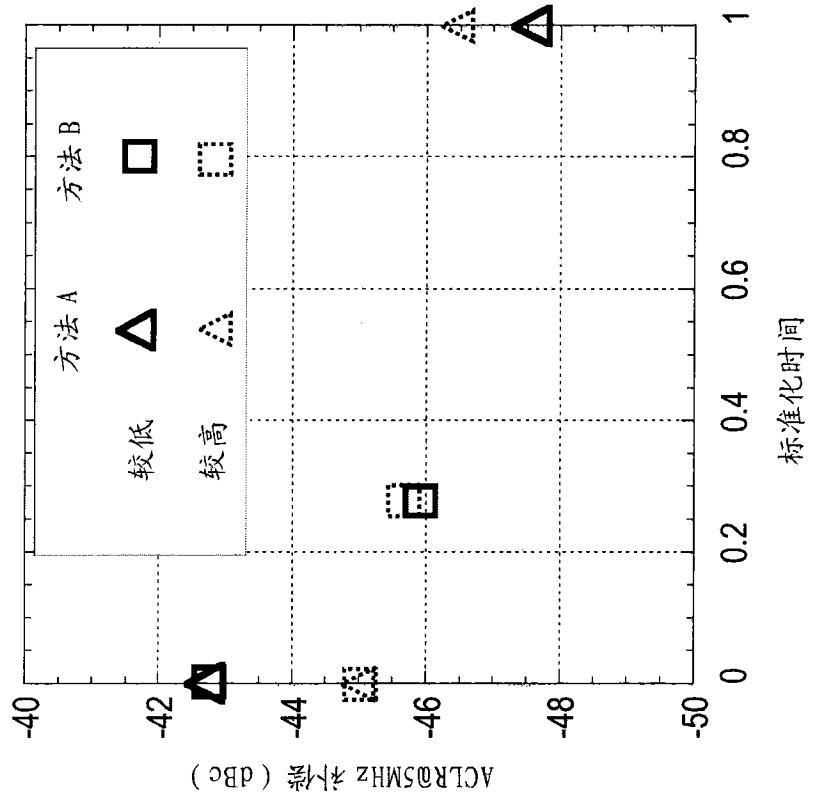

ACLR@5MHz 对称（dBc）
-40
-42
-44
-46
-48
-50
方法 A
方法 B
较低
较高
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
标准化时间

图 14B

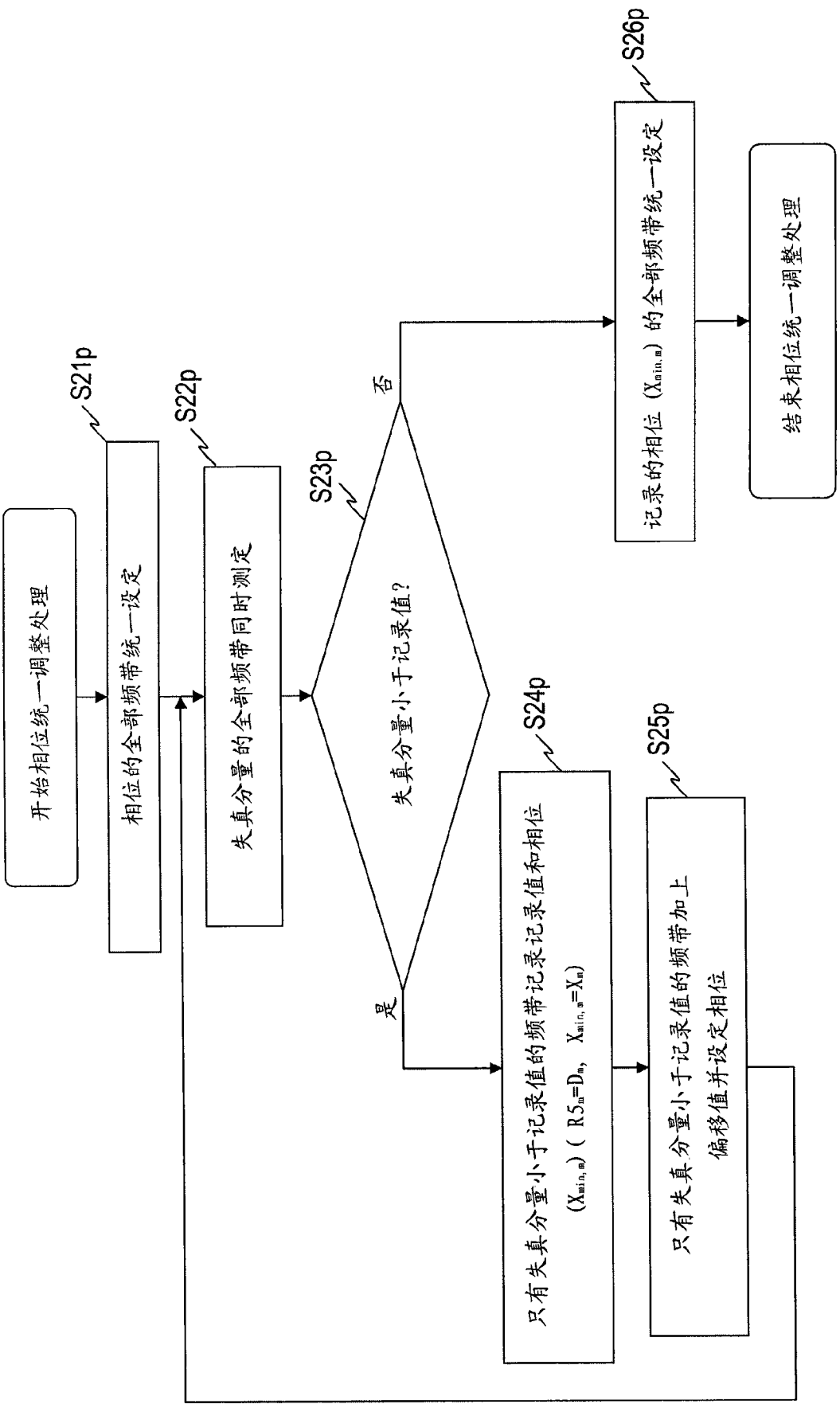

开始相位统一调整处理
S21p
相位的全部频带统一设定
S22p
失真分量的全部频带同时测定
S23p
失真分量小于记录值?
否
是
S24p
只有失真分量小于记录值的频带记录记录值和相位
($X_{min,m}$) ($RS_m=D_m$, $X_{min,m}=X_m$)
S25p
只有失真分量小于记录值的频带加上
偏移值并设定相位
S26p
记录的相位 ($X_{min,m}$) 的全部频带统一设定
结束相位统一调整处理

图 15

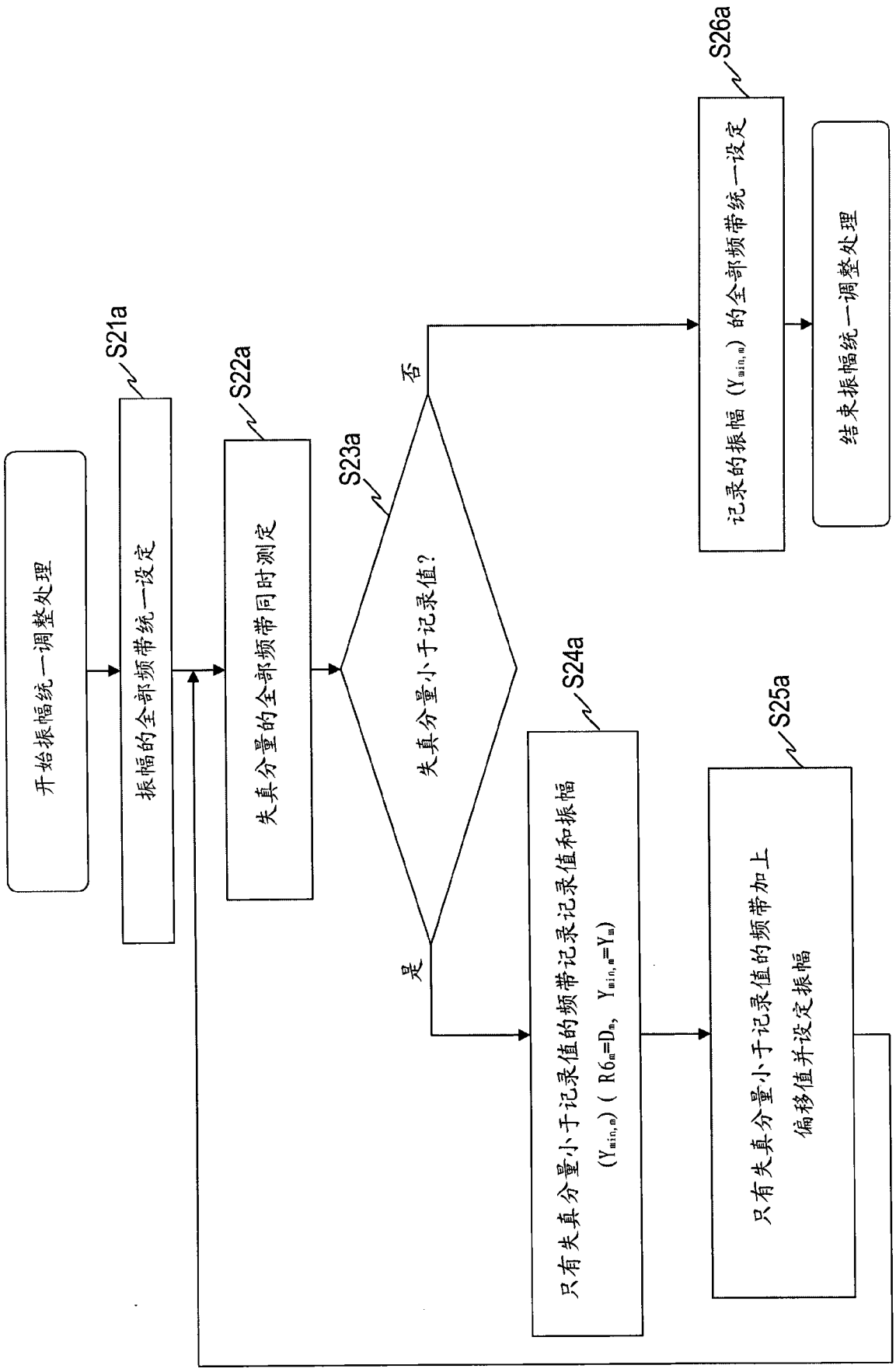

开始振幅统一调整处理
S21a
振幅的全部频带统一设定
S22a
失真分量的全部频带同时测定
S23a
失真分量小于记录值?
否
是
S24a
只有失真分量小于记录值的频带记录记录值和振幅
($Y_{min,m}$)($R6_m=D_n$, $Y_{min,n}=Y_m$)
S25a
只有失真分量小于记录值的频带加上
偏移值并设定振幅
S26a
记录的振幅 ($Y_{min,m}$) 的全部频带统一设定
结束振幅统一调整处理

图 16

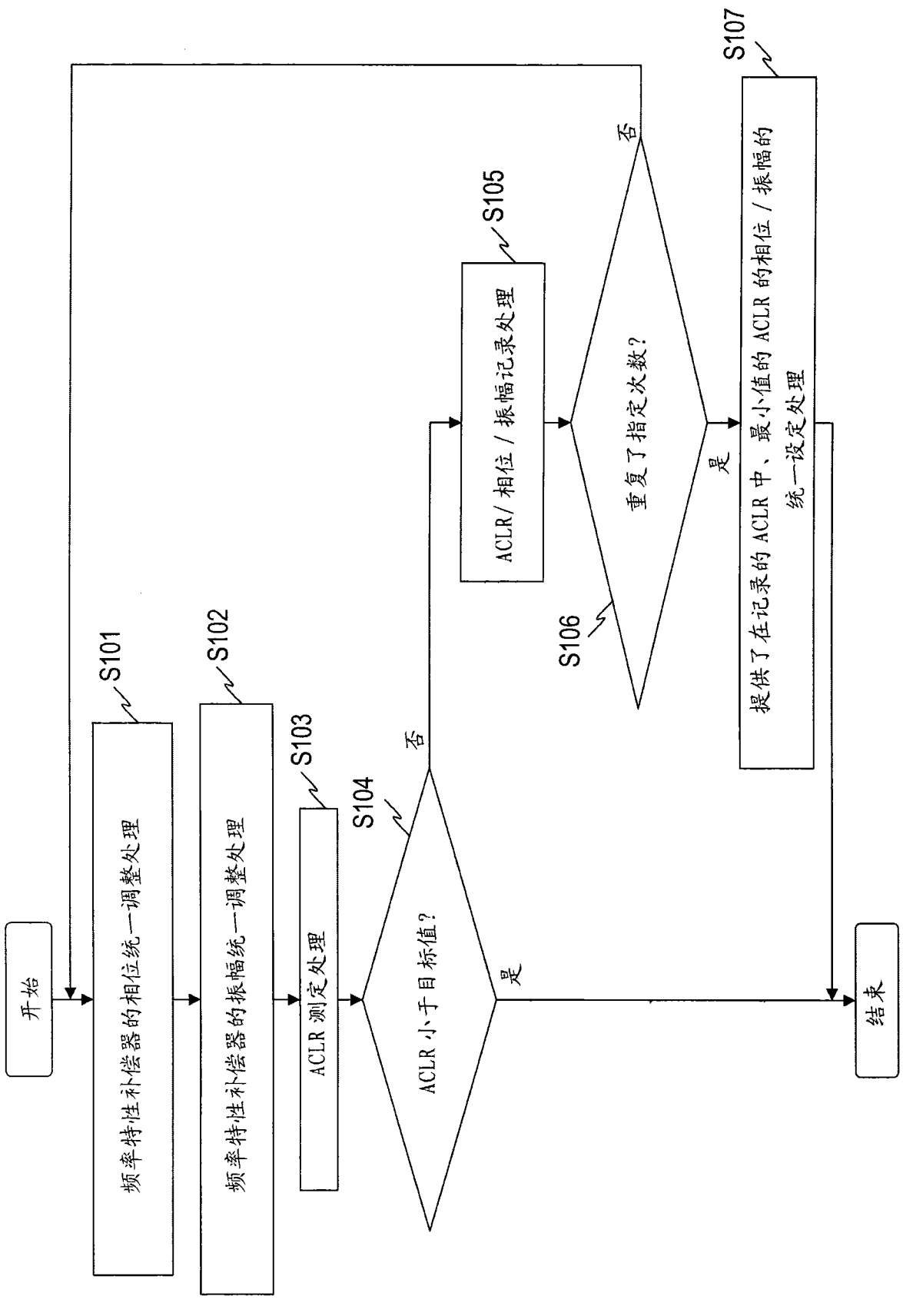

开始
S101
频率特性补偿器的相位统一调整处理
S102
频率特性补偿器的振幅统一调整处理
S103
ACLR 测定处理
S104
ACLR 小于目标值?
否
是
S105
ACLR/ 相位 / 振幅记录处理
S106
重复了指定次数?
否
是
S107
提供了在记录的 ACLR 中、最小值的 ACLR 的相位 / 振幅的统一设定处理
结束

图 17

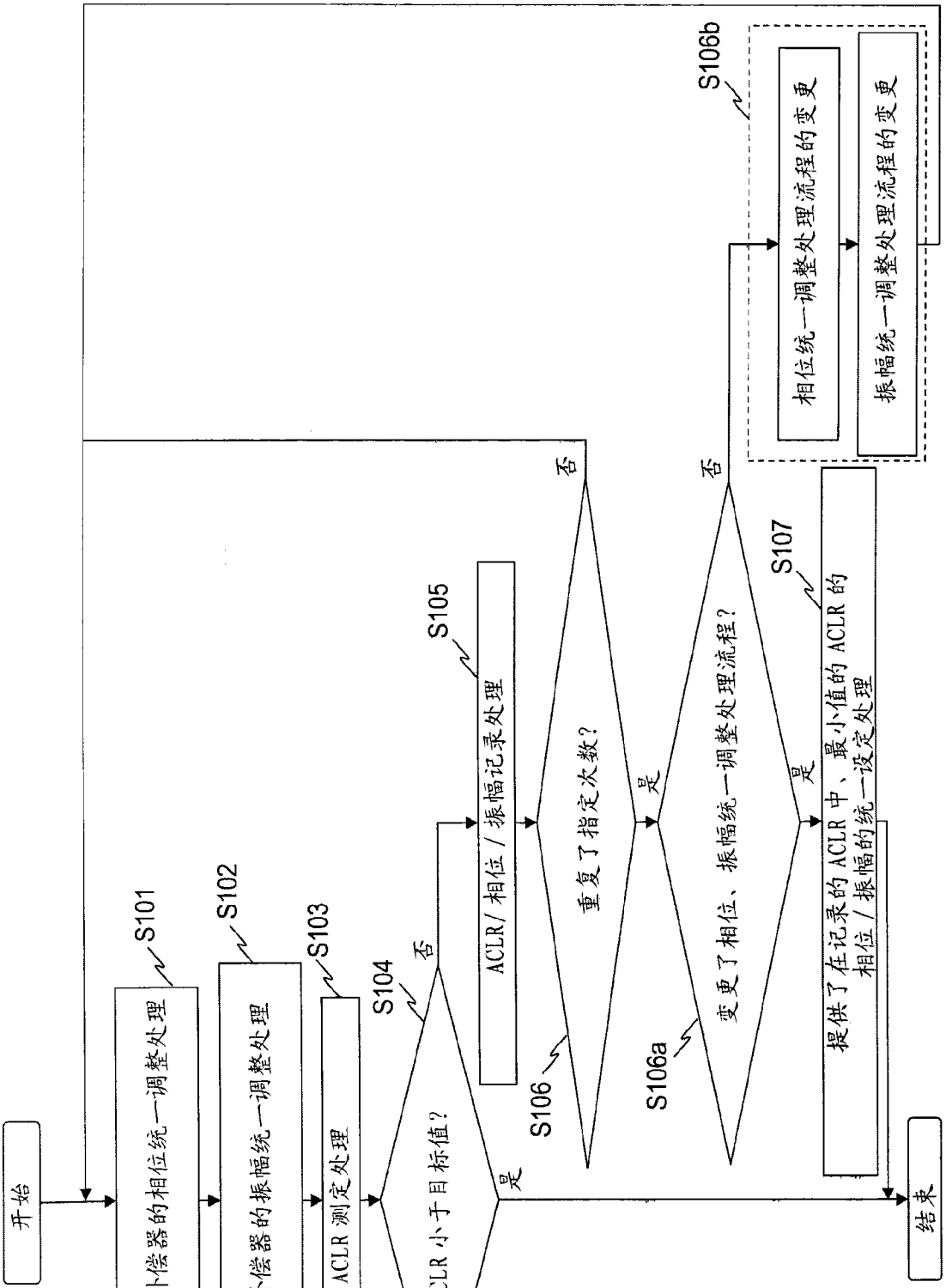

开始
S101
频率特性补偿器的相位统一调整处理
S102
频率特性补偿器的振幅统一调整处理
S103
ACLR 测定处理
S104
ACLR 小于目标值?
否
是
S105
ACLR/ 相位 / 振幅记录处理
S106
重复了指定次数?
否
是
S106a
变更了相位、振幅统一调整处理流程?
否
是
S106b
相位统一调整处理流程的变更
振幅统一调整处理流程的变更
S107
提供了在记录的 ACLR 中、最小值的 ACLR 的
相位 / 振幅的统一设定处理
结束

图 18

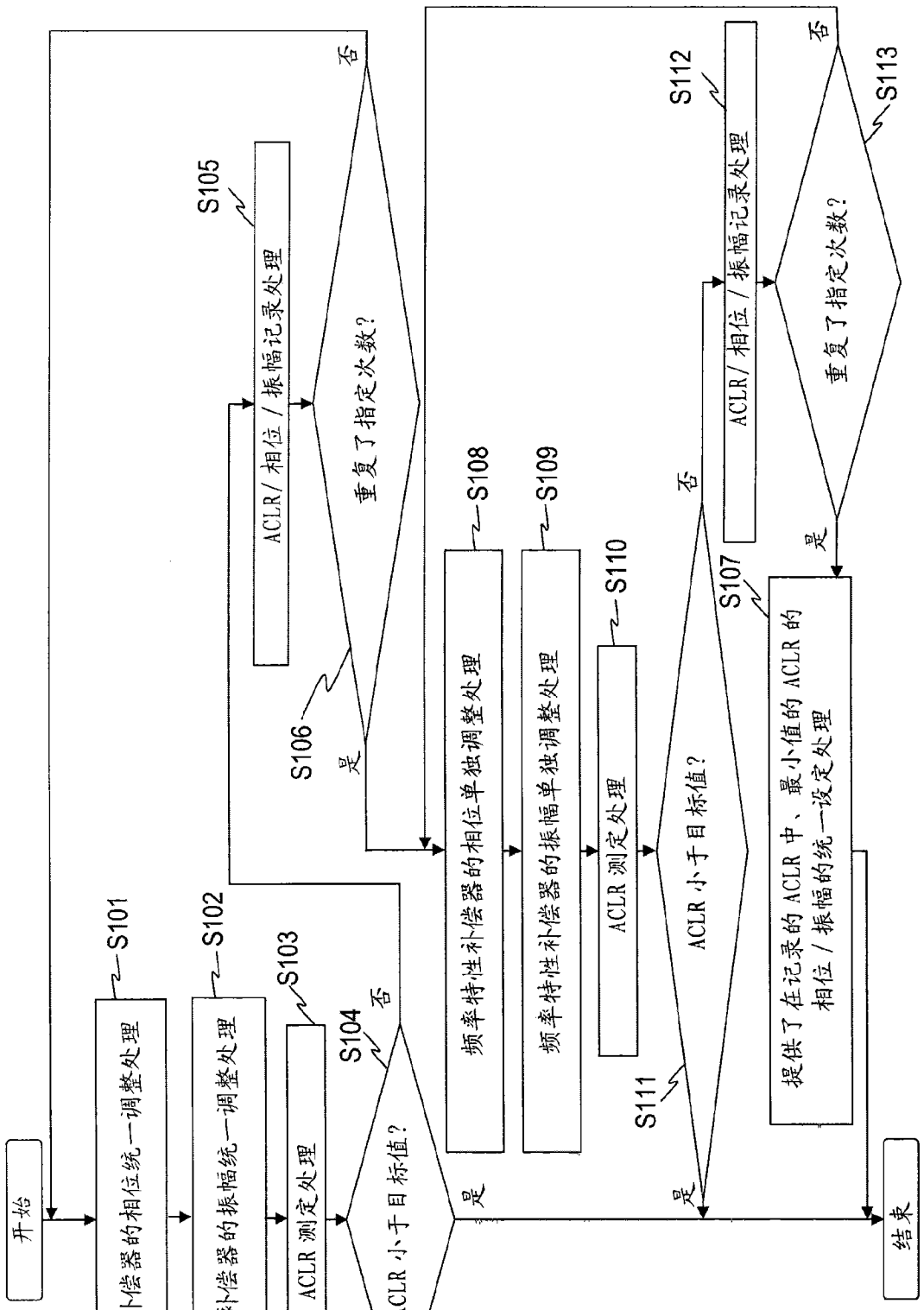

开始
S101
频率特性补偿器的相位统一调整处理
S102
频率特性补偿器的振幅统一调整处理
S103
ACLR 测定处理
S104
ACLR 小于目标值?
否
是
S105
ACLR/ 相位 / 振幅记录处理
S106
重复了指定次数?
否
是
S107
频率特性补偿器的相位单独调整处理
S108
频率特性补偿器的振幅单独调整处理
S109
ACLR 测定处理
S110
S111
ACLR 小于目标值?
否
是
S112
ACLR/ 相位 / 振幅记录处理
S113
重复了指定次数?
否
是
提供了在记录的 ACLR 中、最小值的 ACLR 的相位 / 振幅的统一设定处理
结束

图 19

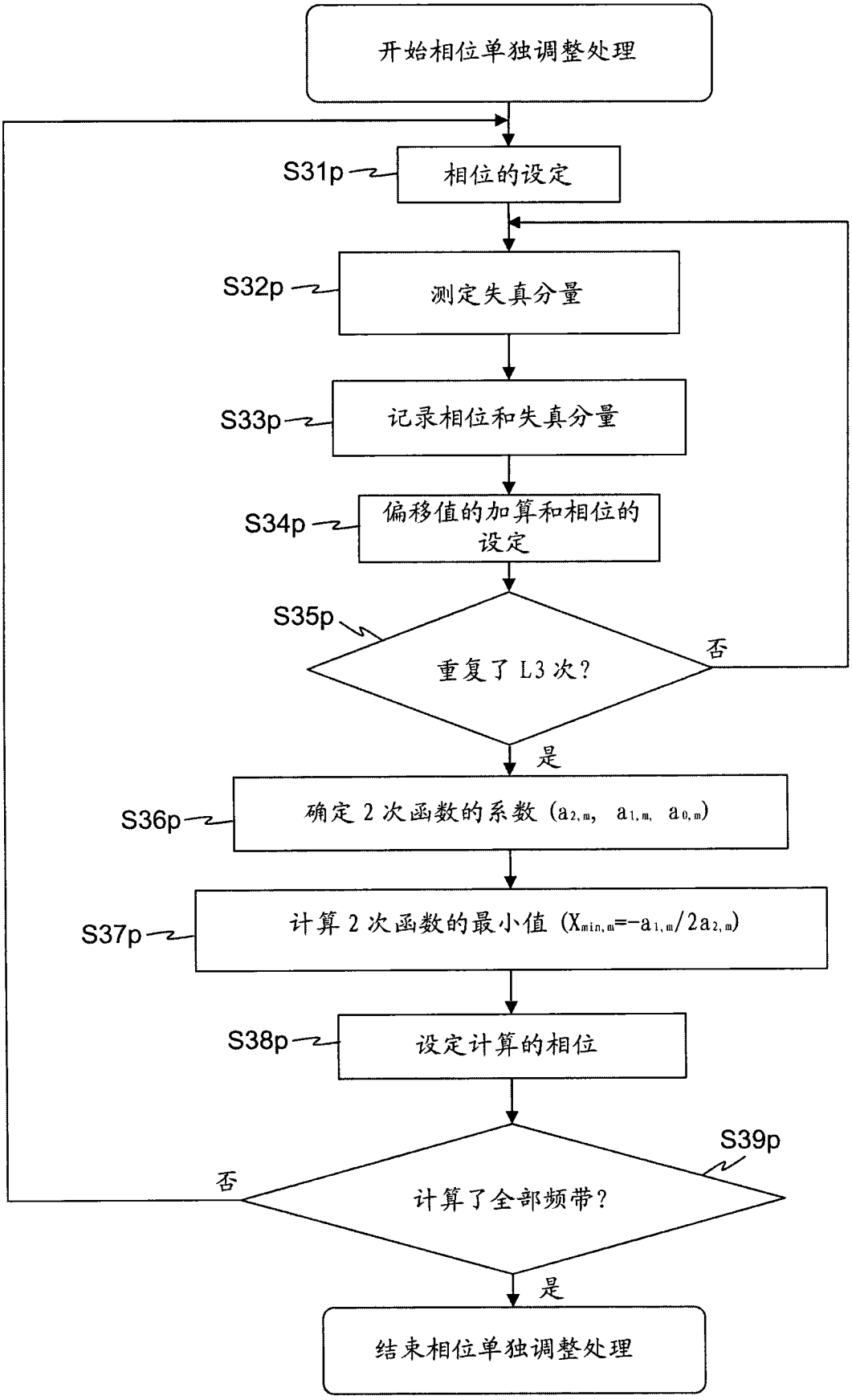

开始相位单独调整处理
S31p
相位的设定
S32p
测定失真分量
S33p
记录相位和失真分量
S34p
偏移值的加算和相位的设定
S35p
重复了 L3 次?
否
是
S36p
确定 2 次函数的系数 ($a_{2,m}$, $a_{1,m}$, $a_{0,m}$)
S37p
计算 2 次函数的最小值 ($X_{min,m}=-a_{1,m}/2a_{2,m}$)
S38p
设定计算的相位
S39p
计算了全部频带?
否
是
结束相位单独调整处理

图 20

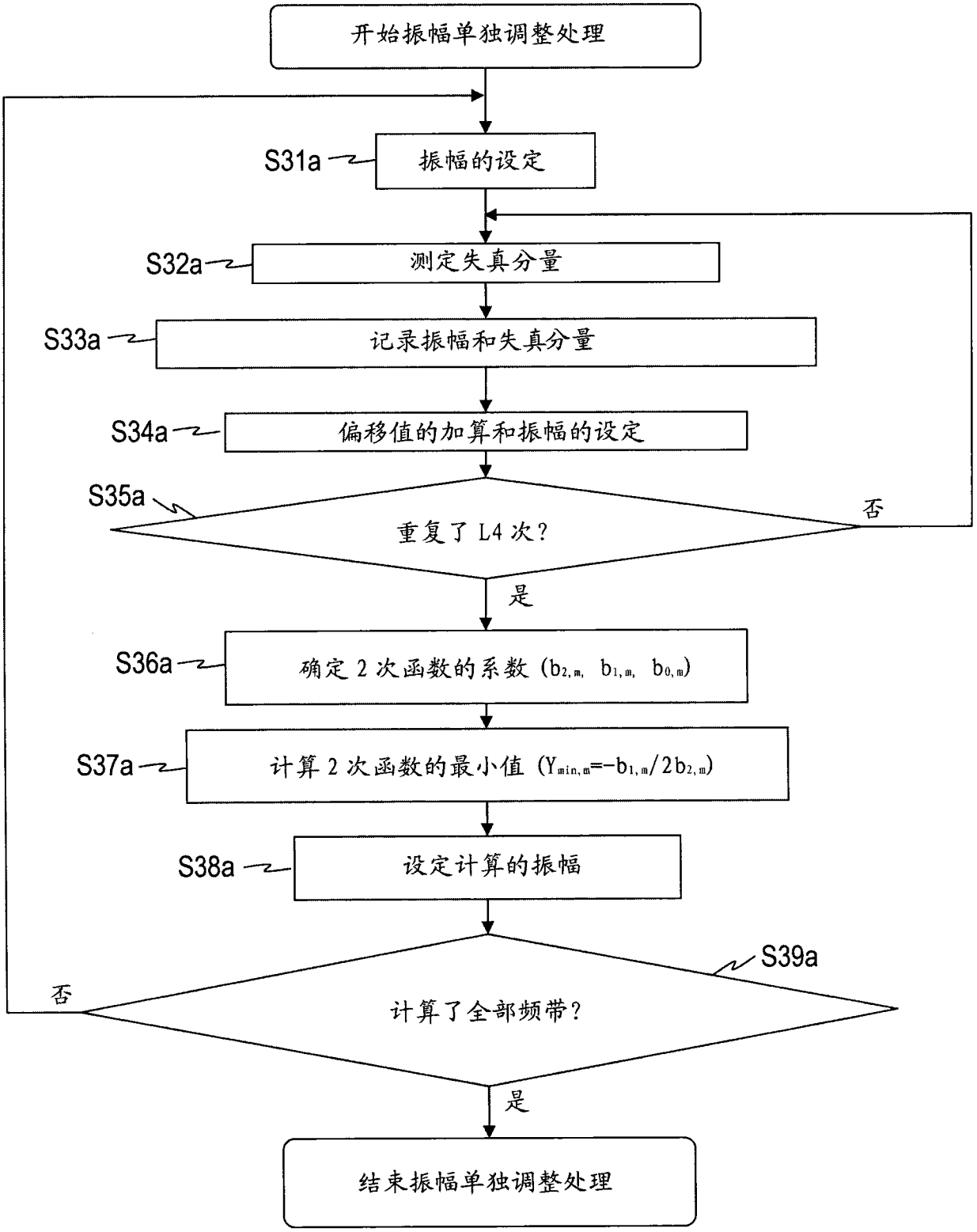

开始振幅单独调整处理
S31a
振幅的设定
S32a
测定失真分量
S33a
记录振幅和失真分量
S34a
偏移值的加算和振幅的设定
S35a
重复了 L4 次？
否
是
S36a
确定 2 次函数的系数 ($b_{2,m}$, $b_{1,m}$, $b_{0,m}$)
S37a
计算 2 次函数的最小值 ($Y_{min,m}=-b_{1,m}/2b_{2,m}$)
S38a
设定计算的振幅
S39a
计算了全部频带？
否
是
结束振幅单独调整处理

图 21

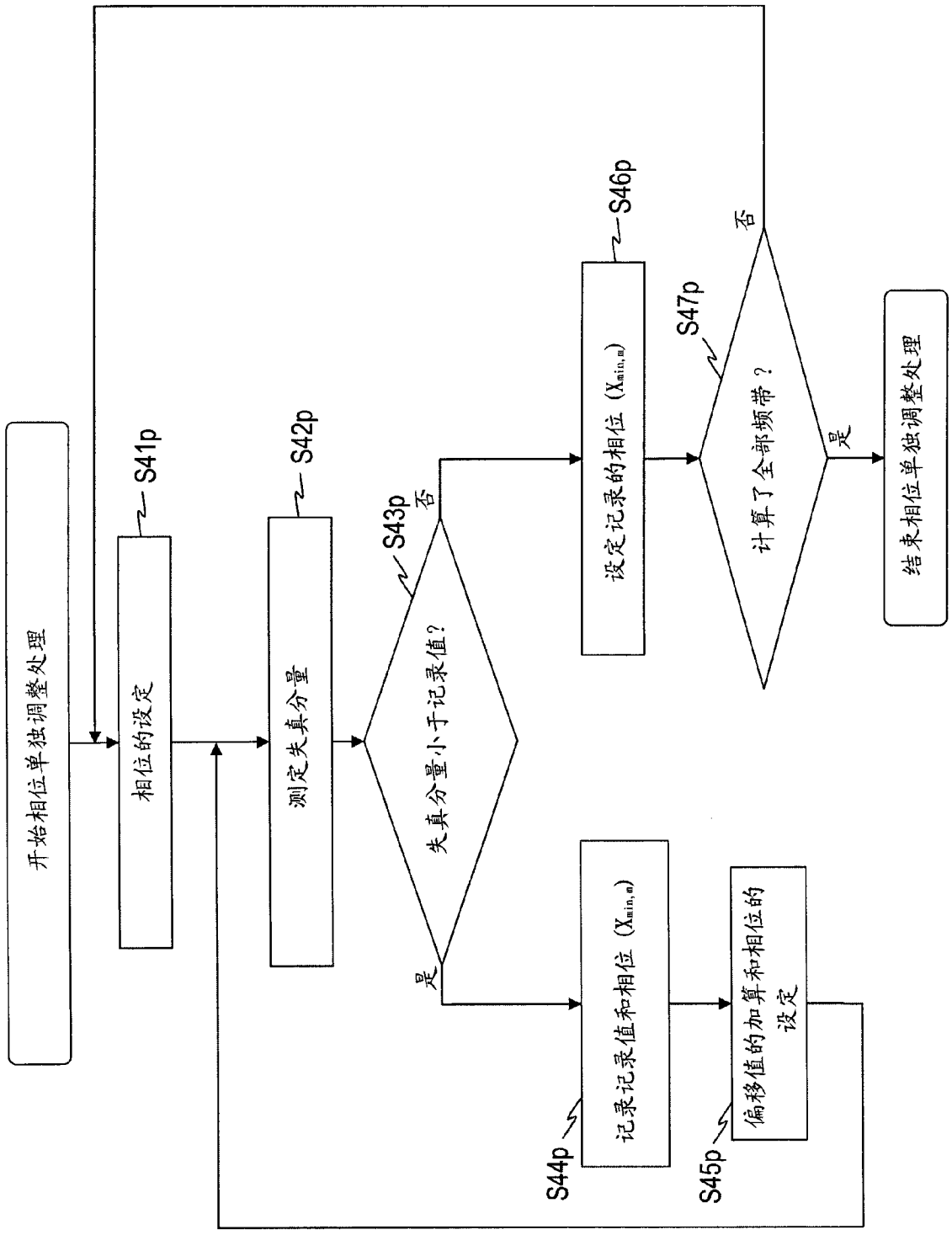

开始相位单独调整处理
S41p
相位的设定
S42p
测定失真分量
S43p
失真分量小于记录值?
否
是
S44p
记录记录值和相位（$X_{min,m}$）
S45p
偏移值的加算和相位的设定
S46p
设定记录的相位（$X_{min,m}$）
S47p
计算了全部频带？
否
是
结束相位单独调整处理

图 22

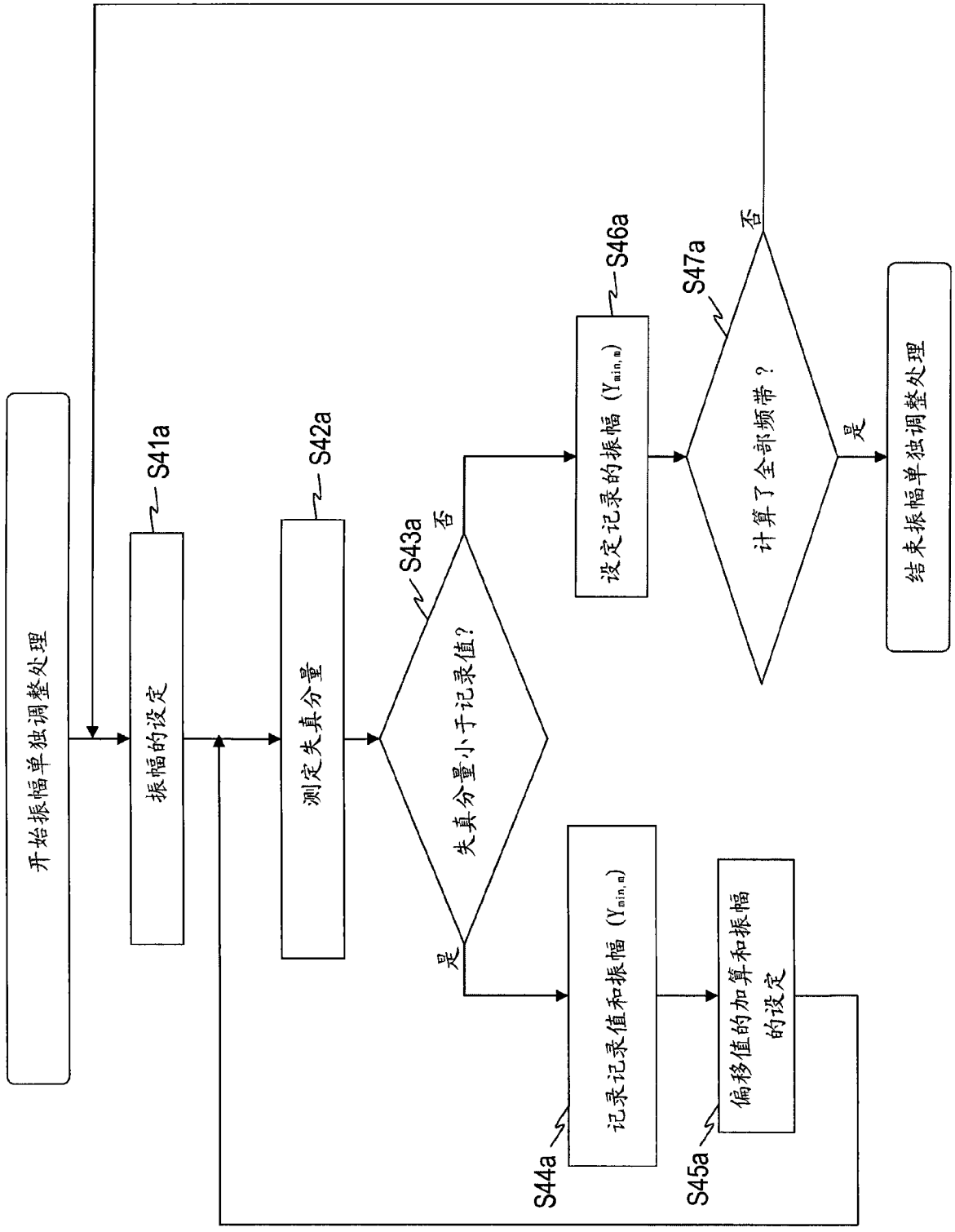

开始振幅单独调整处理
S41a
振幅的设定
S42a
测定失真分量
S43a
失真分量小于记录值?
否
是
S44a
记录记录值和振幅 ($Y_{min,n}$)
S45a
偏移值的加算和振幅的设定
S46a
设定记录的振幅 ($Y_{min,n}$)
S47a
计算了全部频带 ?
否
是
结束振幅单独调整处理

图 23

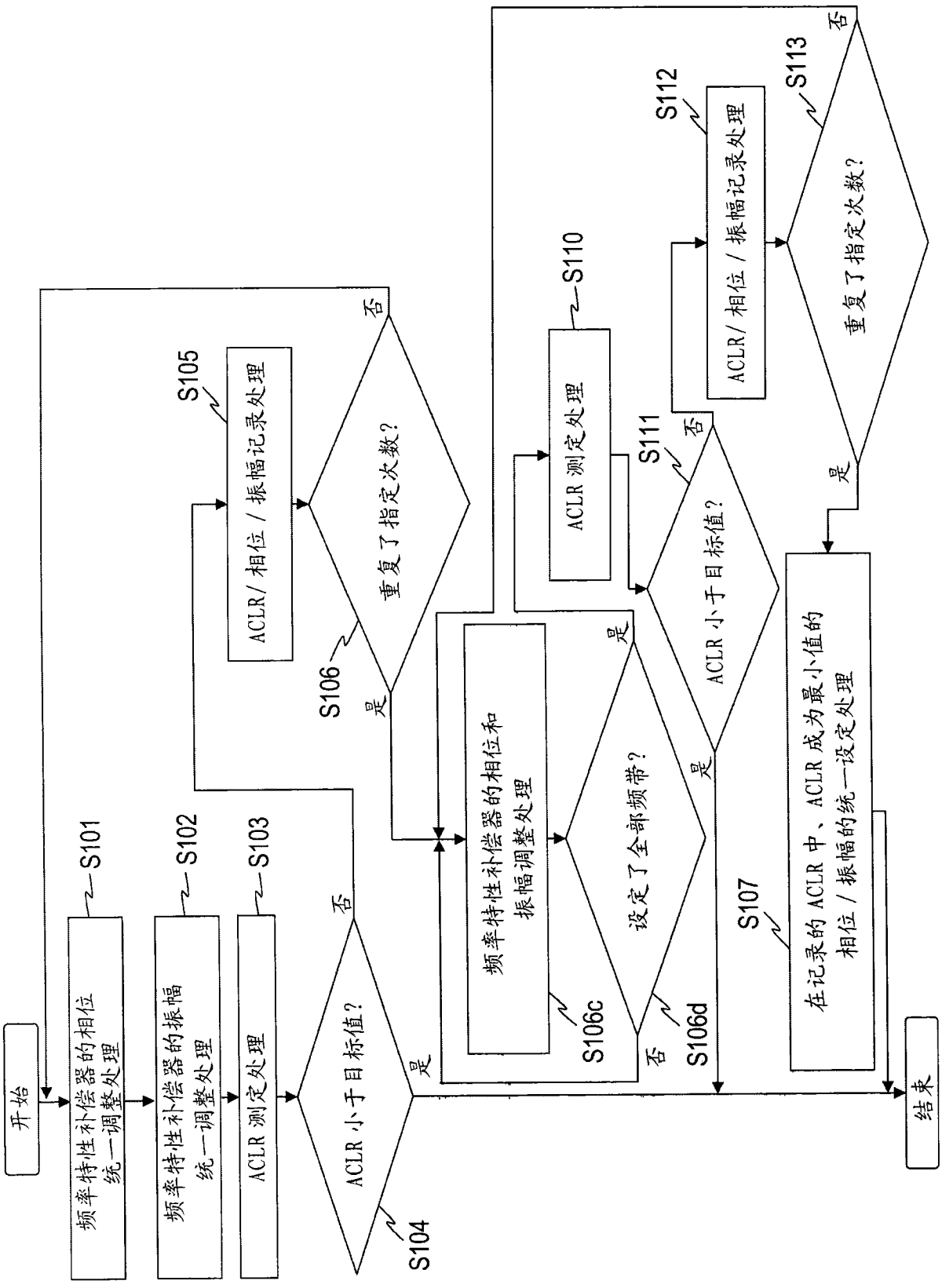

开始
S101
频率特性补偿器的相位统一调整处理
S102
频率特性补偿器的振幅统一调整处理
S103
ACLR 测定处理
S104
ACLR 小于目标值?
否
是
S105
ACLR/ 相位 / 振幅记录处理
S106
重复了指定次数?
否
是
频率特性补偿器的相位和振幅调整处理
S106c
设定了全部频带?
否
是
S106d
S110
ACLR 测定处理
S111
ACLR 小于目标值?
否
是
S112
ACLR/ 相位 / 振幅记录处理
S113
重复了指定次数?
否
是
S107
在记录的 ACLR 中、ACLR 成为最小值的相位 / 振幅的统一设定处理
结束

图 24

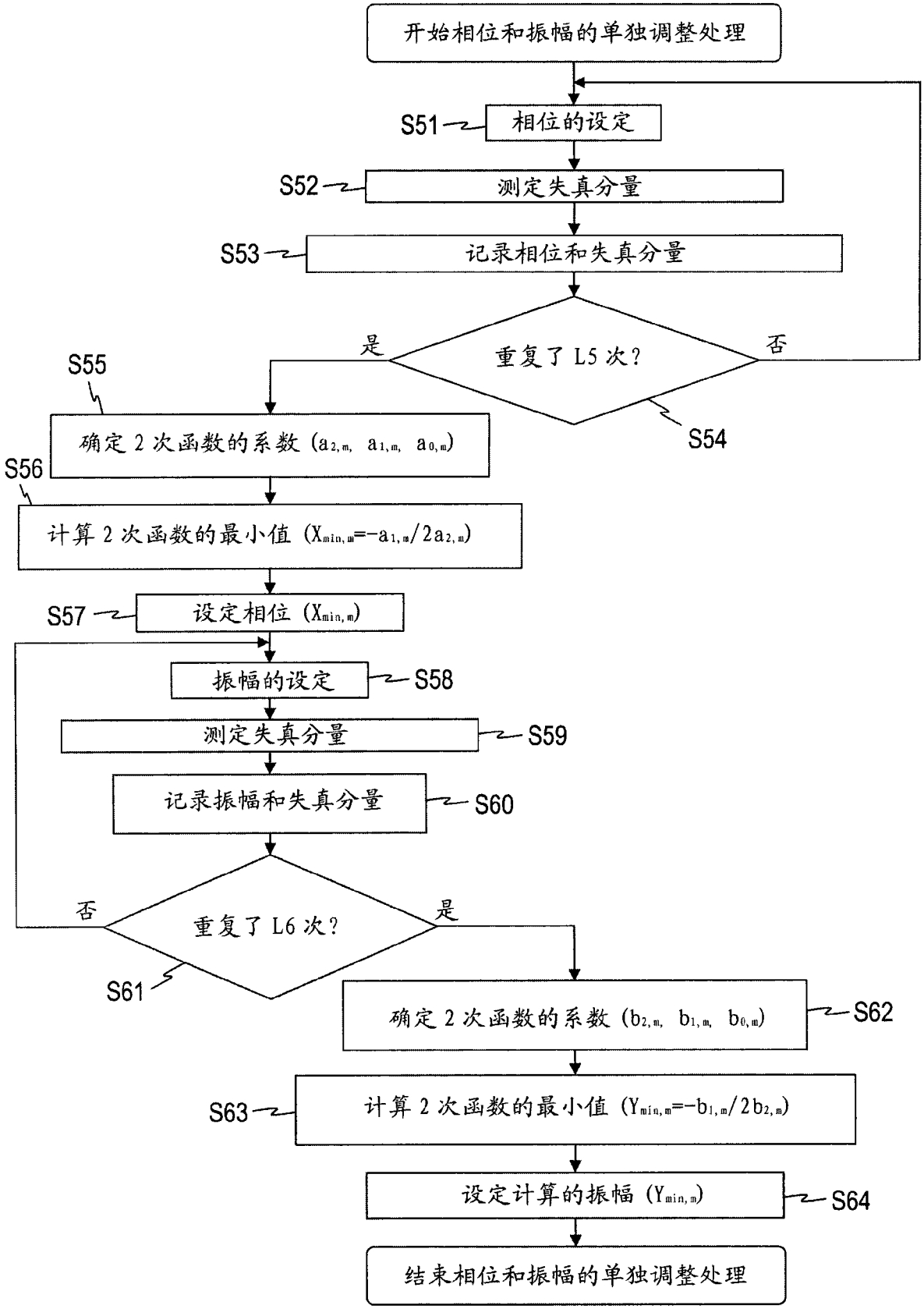

开始相位和振幅的单独调整处理
S51
相位的设定
S52
测定失真分量
S53
记录相位和失真分量
是
重复了 L5 次?
否
S54
S55
确定 2 次函数的系数 ($a_{2,m}$, $a_{1,m}$, $a_{0,m}$)
S56
计算 2 次函数的最小值 ($X_{min,m}=-a_{1,m}/2a_{2,m}$)
S57
设定相位 ($X_{min,m}$)
振幅的设定
S58
测定失真分量
S59
记录振幅和失真分量
S60
否
重复了 L6 次?
是
S61
确定 2 次函数的系数 ($b_{2,m}$, $b_{1,m}$, $b_{0,m}$)
S62
S63
计算 2 次函数的最小值 ($Y_{min,m}=-b_{1,m}/2b_{2,m}$)
设定计算的振幅 ($Y_{min,m}$)
S64
结束相位和振幅的单独调整处理

图 25

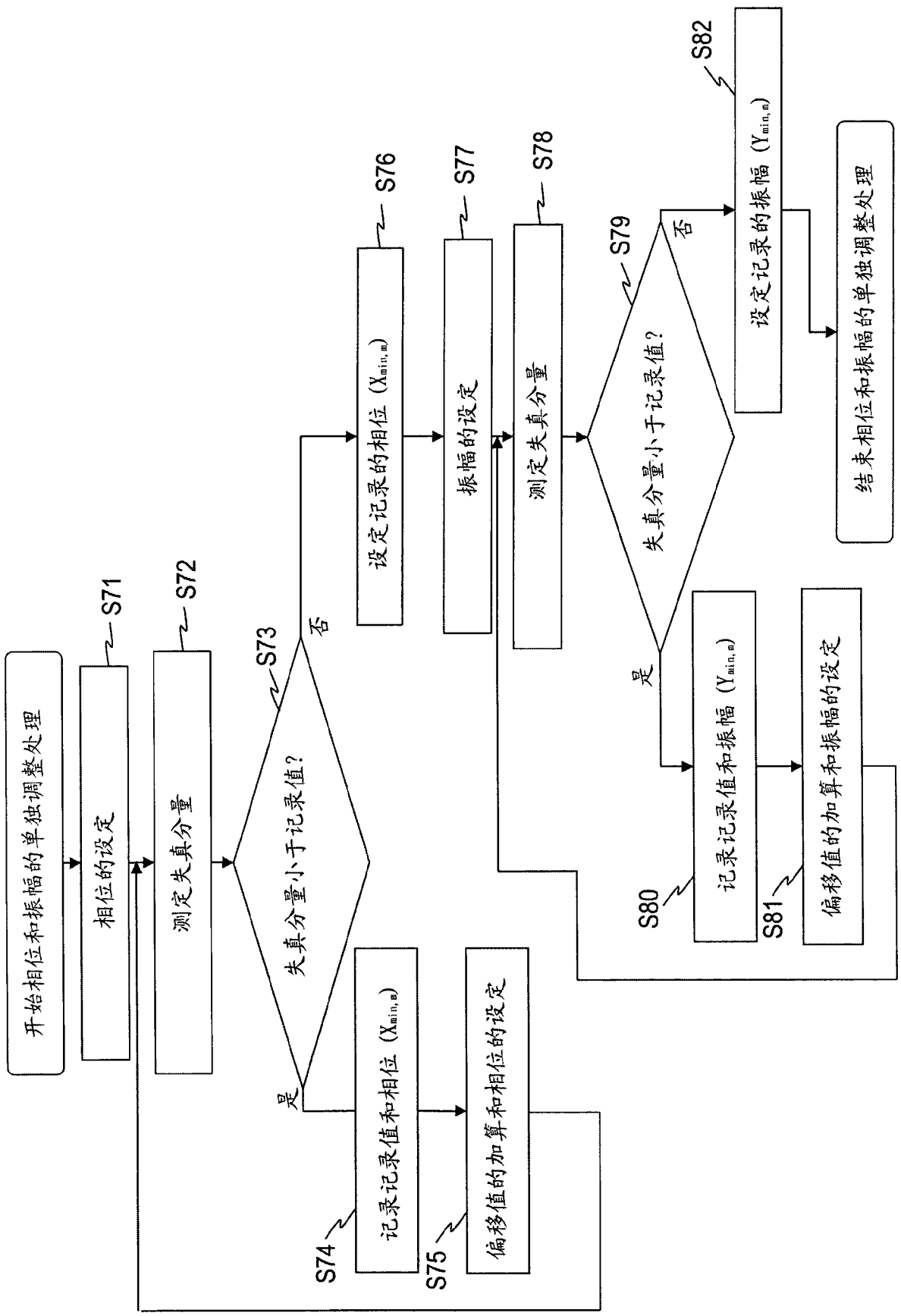

开始相位和振幅的单独调整处理
S71
相位的设定
S72
测定失真分量
S73
失真分量小于记录值?
是
否
S74
记录记录值和相位 ($X_{min,m}$)
S75
偏移值的加算和相位的设定
S76
设定记录的相位 ($X_{min,m}$)
S77
振幅的设定
S78
测定失真分量
S79
失真分量小于记录值?
是
否
S80
记录记录值和振幅 ($Y_{min,m}$)
S81
偏移值的加算和振幅的设定
S82
设定记录的振幅 ($Y_{min,m}$)
结束相位和振幅的单独调整处理

图 26