

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7387075号
(P7387075)

(45)発行日 令和5年11月27日(2023.11.27)

(24)登録日 令和5年11月16日(2023.11.16)

(51)国際特許分類		F I		
H 0 1 P	5/19 (2006.01)	H 0 1 P	5/19	Z
H 0 1 Q	1/50 (2006.01)	H 0 1 Q	1/50	
H 0 1 Q	21/06 (2006.01)	H 0 1 Q	21/06	
H 0 1 P	5/04 (2006.01)	H 0 1 P	5/04	Z

請求項の数 10 (全19頁)

(21)出願番号	特願2023-544625(P2023-544625)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和3年10月28日(2021.10.28)	(74)代理人	110003166 弁理士法人山王内外特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/039737	(72)発明者	深沢 徹 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/073850	(72)発明者	廣田 明道 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和5年5月4日(2023.5.4)	審査官	白井 亮
審査請求日	令和5年7月24日(2023.7.24)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アンテナ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

入出力端子と複数の分配端子とを有する分配回路と、
それぞれの分配端子と一端が接続されている複数の整合回路と、
それぞれの整合回路の他端と接続されている複数のアンテナ素子とを備え、
それぞれの整合回路は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけを有する無損失回路であり、

前記分配回路は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけで特性インピーダンスが表される無損失回路であり、

それぞれの整合回路からそれぞれのアンテナ素子に与えられる信号に対するそれぞれの分配端子からそれぞれの整合回路に与えられる信号の比率と、それぞれのアンテナ素子に与えられる信号の所望の振幅位相との乗算結果が補正振幅位相であるとして、

前記分配回路は、

それぞれの分配端子からそれぞれの整合回路に与える信号の振幅位相が前記補正振幅位相となるように、それぞれの整合回路に与える信号の振幅位相を調整することを特徴とするアンテナ装置。

【請求項2】

前記分配回路は、

前記入出力端子と一端が接続されている複数のインピーダンス変成器と、

それぞれのインピーダンス変成器の他端と一端が接続され、それぞれの整合回路の一端

と他端が接続されている複数の遅延線路とを備えていることを特徴とする請求項1記載のアンテナ装置。

【請求項3】

それぞれの整合回路は、

それぞれの分配端子と一端が接続され、それぞれのアンテナ素子と他端が接続されているリアクタンス素子と、

前記リアクタンス素子の一端、又は、前記リアクタンス素子の他端と一端が接続され、他端が接地されているサセプタンス素子とを備えていることを特徴とする請求項1記載のアンテナ装置。

【請求項4】

前記複数のアンテナ素子の数がN、前記複数のアンテナ素子の間のS (S c a t t e r i n g) パラメータが S_{ij} ($i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, N$)、それぞれのアンテナ素子に与えられる信号の所望の振幅位相が A_n ($n = 1, \dots, N$) であり、

所望の振幅位相を有する信号がそれぞれのアンテナ素子に与えられたとき、所望の振幅位相を有する信号に対するそれぞれのアンテナ素子から反射される信号の比率が α_n ($i = 1, \dots, N$) であり、

前記リアクタンス素子及び前記サセプタンス素子のそれぞれが、アクティブ反射抵抗とアクティブ反射リアクタンスとを有し、前記アクティブ反射抵抗が r_n ($n = 1, \dots, N$)、前記アクティブ反射リアクタンスが x_n ($n = 1, \dots, N$) であり、

それぞれの整合回路からそれぞれのアンテナ素子に与えられる信号に対する前記分配回路からそれぞれの整合回路に与えられる信号の比率が α_n ($n = 1, \dots, N$) であり、

それぞれの整合回路の特性を表すSパラメータが S_{mijk} ($i = 1, \dots, N, j = 1, 2, k = 1, 2$) であり、インデックス j, k において、前記分配回路側のポートを示す数字が1、それぞれのアンテナ素子側のポートを示す数字が2であり、前記補正振幅位相が A_n' ($n = 1, \dots, N$) であり、

前記比率 α_n が式(1)のように表され、前記アクティブ反射抵抗 r_n と前記アクティブ反射リアクタンス x_n と前記比率 α_n との関係が式(2)のように表され、前記比率 α_n が式(3)のように表されるとき、前記補正振幅位相 A_n' が式(4)のように表され、

前記アクティブ反射抵抗 r_n が1になるように調整され、前記アクティブ反射リアクタンス x_n が0になるように調整されていることを特徴とする請求項3記載のアンテナ装置。

$$\Gamma_n = \frac{S_{i1}A_1}{A_n} + \frac{S_{i2}A_2}{A_n} + \dots + \frac{S_{iN}A_N}{A_n} \quad (1)$$

$$r_n + jx_n = \frac{1 + \Gamma_n}{1 - \Gamma_n} \quad (2)$$

$$\alpha_n = \frac{1 - Sm_{i22}\Gamma_n}{Sm_{i21}} \quad (3)$$

$$A_n' = \alpha_n A_n \quad (4)$$

【請求項5】

それぞれの整合回路は、

前記比率 α_n が複素平面の第一象限に位置していれば、式(5)で表される直列諸元 x_{m_n} ($n = 1, \dots, N$) の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子の一端が、前記分配回路が有しているそれぞれの分配端子と接続され、前記リアクタンス素子の他端が、それぞれのアンテナ素子と接続されており、式(6)で表される並列諸元 y_{m_n} ($n =$

1, …, N) の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子の一端が、それぞれのアンテナ素子と接続され、前記サセプタンス素子の他端が接地されていることを特徴とする請求項 4 記載のアンテナ装置。

$$xm_n = \frac{-\sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (5)$$

$$ym_n = \frac{x_n - \sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n^2 + x_n^2} \quad (6)$$

10

【請求項 6】

それぞれの整合回路は、

前記比率 i が複素平面の第二象限に位置していれば、式 (7) で表される直列諸元 xm_n ($n = 1, \dots, N$) の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子の一端が、前記分配回路が有しているそれぞれの分配端子と接続され、前記リアクタンス素子の他端が、それぞれのアンテナ素子と接続されており、式 (8) で表される並列諸元 ym_n ($n = 1, \dots, N$) の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子の一端が、それぞれの分配端子と接続され、前記サセプタンス素子の他端が接地されていることを特徴とする請求項 4 記載のアンテナ装置。

20

$$xm_n = -x_n + \sqrt{r_n - r_n^2} \quad (7)$$

$$ym_n = \frac{\sqrt{r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (8)$$

【請求項 7】

30

それぞれの整合回路は、

前記比率 i が複素平面の第三象限に位置していれば、式 (9) で表される直列諸元 xm_n ($n = 1, \dots, N$) の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子の一端が、前記分配回路が有しているそれぞれの分配端子と接続され、前記リアクタンス素子の他端が、それぞれのアンテナ素子と接続されており、式 (10) で表される並列諸元 ym_n ($n = 1, \dots, N$) の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子の一端が、それぞれの分配端子と接続され、前記規格化サセプタンスの他端が接地されていることを特徴とする請求項 4 記載のアンテナ装置。

$$xm_n = -x_n - \sqrt{r_n - r_n^2} \quad (9)$$

40

$$ym_n = \frac{-\sqrt{r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (10)$$

【請求項 8】

それぞれの整合回路は、

前記比率 i が複素平面の第四象限に位置していれば、式 (11) で表される直列諸元 xm_n ($n = 1, \dots, N$) の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子の一端が、

50

前記分配回路が有しているそれぞれの分配端子と接続され、前記リアクタンス素子の他端が、それぞれのアンテナ素子と接続されており、式(12)で表される並列諸元 ym_n ($n = 1, \dots, N$) の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子の一端が、それぞれのアンテナ素子と接続され、前記サセプタンス素子の他端が接地されていることを特徴とする請求項4記載のアンテナ装置。

$$xm_n = \frac{\sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (11)$$

$$ym_n = \frac{x_n + \sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n^2 + x_n^2} \quad (12)$$

10

【請求項9】

移相器と増幅器とが直列に接続されている直列回路が、前記分配回路とそれぞれの整合回路との間に挿入されていることを特徴とする請求項1記載のアンテナ装置。

【請求項10】

前記移相器、前記増幅器及び前記複数の整合回路のそれぞれを制御する制御部を備えたことを特徴とする請求項9記載のアンテナ装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、複数のアンテナ素子を有するアンテナ装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

N (N は、2以上の整数)個のアンテナ素子を有するアンテナ装置がある(特許文献1を参照)。当該アンテナ装置は、送信信号の電力を N 個のアンテナ素子に分配するウィルキンソン分配器を備えている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2016-152560号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1に開示されているアンテナ装置のウィルキンソン分配器は、損失が無視できない抵抗成分を有している。アンテナ素子からの反射波の電力の一部は、ウィルキンソン分配器の抵抗成分で消費されることがある。このため、アンテナ装置全体の利得が低下してしまうことがあるという課題があった。

40

【0005】

本開示は、上記のような課題を解決するためになされたもので、反射波の電力の消費を抑えて、利得の低下を防ぐことができるアンテナ装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示に係るアンテナ装置は、入出力端子と複数の分配端子とを有する分配回路と、それぞれの分配端子と一端が接続されている複数の整合回路と、それぞれの整合回路の他端と接続されている複数のアンテナ素子とを備えている。また、アンテナ装置が備えているそれぞれの整合回路は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけを有する無損失回路であり、アンテナ装置が備えている分配回路は、インダクタンス成分とキャパシタン

50

成分とだけで特性インピーダンスが表される無損失回路である。

【発明の効果】

【0007】

本開示によれば、反射波の電力の消費を抑えて、利得の低下を防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態1に係るアンテナ装置を示す構成図である。

【図2】分配回路1の内部構成の一例を示す構成図である。

【図3】整合回路2 - nの内部構成の一例を示す構成図である。

【図4】整合回路2 - nの内部構成の一例を示す構成図である。

10

【図5】図1に示すアンテナ装置の生成方法を示すフローチャートである。

【図6】N個のアンテナ素子3 - 1 ~ 3 - Nの回路的な動作を示す説明図である。

【図7】アンテナ素子3 - nがアクティブ反射係数 Γ_i で終端された状態を示す説明図である。

【図8】第一工程から第四工程を有する設計法が適用されているモデルを示す説明図である。

【図9】実施の形態2に係るアンテナ装置を示す構成図である。

【図10】実施の形態3に係るアンテナ装置を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

20

以下、本開示をより詳細に説明するために、本開示を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

【0010】

実施の形態1 .

図1は、実施の形態1に係るアンテナ装置を示す構成図である。

図1に示すアンテナ装置は、分配回路1、N個の整合回路2 - 1 ~ 2 - N及びN個のアンテナ素子3 - 1 ~ 3 - Nを備えている。Nは、2以上の整数である。

実施の形態1では、図1に示すアンテナ装置が、信号を送信する送信アンテナとして使用される例を説明する。しかし、図1に示すアンテナ装置は、信号を受信する受信アンテナとして使用されるものであってもよい。

30

【0011】

分配回路1は、入出力端子1 aとN個の分配端子1 b - 1 ~ 1 b - Nとを有している。

分配回路1は、入出力端子1 aから与えられた信号の電力をN個に分配し、分配端子1 b - n ($n = 1, \dots, N$) から電力分配後の信号を整合回路2 - nに出力する。

分配回路1は、入出力端子1 aから与えられた信号の電力をN個に分配する際、分配端子1 b - nから整合回路2 - nに与える信号の振幅位相が補正振幅位相 A_n' となるように、整合回路2 - nに与える信号の振幅位相を調整する。

補正振幅位相 A_n' は、整合回路2 - nからアンテナ素子3 - nに与えられる信号に対する分配端子1 b - nから整合回路2 - nに与えられる信号の比率 Γ_n と、アンテナ素子3 - nに与えられる信号の所望の振幅位相 A_n との乗算結果に相当する。

40

【0012】

分配回路1は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけで特性インピーダンスが表される無損失回路である。無損失回路は、抵抗成分が無視できる程度に小さい回路である。

分配回路1は、例えば、図2に示すように、インピーダンス変成器1 c - n ($n = 1, \dots, N$) と遅延線路1 d - nとを備えている。インピーダンス変成器1 c - n と遅延線路1 d - nとを備える回路は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけで特性インピーダンスが表される無損失回路である。

図2は、分配回路1の内部構成の一例を示す構成図である。

インピーダンス変成器1 c - nの一端は、入出力端子1 aと接続され、インピーダンス

50

変成器 1 c - n の他端は、遅延線路 1 d - n の一端と接続されている。

無損失回路のインピーダンス変成器 1 c - n としては、例えば、トランスを用いる方式のインピーダンス変成器、あるいは、マイクロストリップライン等の伝送線路を用いる方式のインピーダンス変成器がある。

遅延線路 1 d - n の一端は、インピーダンス変成器 1 c - n の他端と接続され、遅延線路 1 d - n の他端は、整合回路 2 - n の一端と接続されている。

無損失回路の遅延線路 1 d - n としては、信号の波長に対して所定の長さを有する線路がある。

【 0 0 1 3 】

整合回路 2 - n ($n = 1, \dots, N$) の一端は、分配回路 1 が有している分配端子 1 b - n と接続されており、整合回路 2 - n の他端は、アンテナ素子 3 - n と接続されている。

10

整合回路 2 - n は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけを有する無損失回路である。

整合回路 2 - n は、図 3 に示すように、リアクタンス素子 2 a - n と、サセプタンス素子 2 b - n とを備えている。リアクタンス素子 2 a - n と、サセプタンス素子 2 b - n とを備える回路は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけを有する無損失回路である。

図 3 は、整合回路 2 - n の内部構成の一例を示す構成図である。

リアクタンス素子 2 a - n の一端は、分配端子 1 b - n と接続され、リアクタンス素子 2 a - n の他端は、アンテナ素子 3 - n 及びサセプタンス素子 2 b - n の一端のそれぞれと接続されている。

20

サセプタンス素子 2 b - n の一端は、リアクタンス素子 2 a - n の他端及びアンテナ素子 3 - n のそれぞれと接続されている。

サセプタンス素子 2 b - n の他端は、接地されている。

【 0 0 1 4 】

図 3 に示す整合回路 2 - n では、サセプタンス素子 2 b - n の一端が、リアクタンス素子 2 a - n の他端及びアンテナ素子 3 - n のそれぞれと接続されている。しかし、これは一例に過ぎず、図 4 に示すように、サセプタンス素子 2 b - n の一端が、リアクタンス素子 2 a - n の一端及び分配端子 1 b - n のそれぞれと接続されているものであってもよい。

30

図 4 は、整合回路 2 - n の内部構成の一例を示す構成図である。

【 0 0 1 5 】

次に、図 1 に示すアンテナ装置の生成方法及び動作について説明する。

図 5 は、図 1 に示すアンテナ装置の生成方法を示すフローチャートである。図 1 に示すアンテナ装置の生成方法は、4 つの工程を有している。

【 0 0 1 6 】

図 1 に示すアンテナ装置が、送信アンテナであるものとして説明する。

外部から分配回路 1 の入出力端子 1 a に与えられる信号である入射波の振幅位相が a_0 であり、入出力端子 1 a から外部に出力される信号である反射波の振幅位相が b_0 であるものとする。

40

また、分配回路 1 の分配端子 1 b - n ($n = 1, \dots, N$) から整合回路 2 - n に与えられる入射波の振幅位相が a_n' であり、整合回路 2 - n からアンテナ素子 3 - n に与えられる入射波の振幅位相が a_n であるものとする。

さらに、アンテナ素子 3 - n から整合回路 2 - n に与えられる反射波の振幅位相が b_n であり、整合回路 2 - n から分配回路 1 の分配端子 1 b - n に与えられる反射波の振幅位相が b_n' であるものとする。

【 0 0 1 7 】

N 個のアンテナ素子 3 - 1 ~ 3 - N の回路的な動作は、図 6 のように表すことができる。

図 6 は、N 個のアンテナ素子 3 - 1 ~ 3 - N の回路的な動作を示す説明図である。

図 6 において、1 0 は、S パラメータである。

50

Sパラメータ10における複数の要素を S_{ij} で定義すると、入射波の振幅位相 a_n と反射波の振幅位相 b_n との関係は、以下の式(1)のように表される。 $i = 1, \dots, N$ 、 $j = 1, \dots, N$ である。

【0018】

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \dots \dots + S_{1N}a_N \\ b_2 &= S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \dots \dots + S_{2N}a_N \\ &\vdots \\ b_N &= S_{N1}a_1 + S_{N2}a_2 \dots \dots + S_{NN}a_N \end{aligned} \quad (1)$$

10

【0019】

図1に示すアンテナ装置が、所望の放射パターンを得ることができるようするには、整合回路2-nからアンテナ素子3-nに与えられる入射波の振幅位相 a_n が、以下の式(2)に示すように、所望の振幅位相 A_n と一致していることが要求される。

$$a_n = A_n \quad (2)$$

また、図1に示すアンテナ装置の利得を最大化できるようにするには、反射波の振幅位相 b_0 が、以下の式(3)に示すように、0になることが要求される。反射波の振幅位相 b_0 が、0でなければ、アンテナ装置の利得が低下する。

$$b_0 = 0 \quad (3)$$

20

分配回路1は、後述するように、 $b_n = 0$ となる条件の下で設計される。

【0020】

第一工程は、アンテナ素子3-n ($n = 1, \dots, N$)と接続されている整合回路2-nの諸元を決定する工程である(図5のステップST1)。

以下、整合回路2-nの諸元決定工程を具体的に説明する。

式(2)に示す $a_n = A_n$ を式(1)に代入すると、式(1)は、以下の式(4)のように変形される。

【0021】

$$\begin{aligned} B_1 &= S_{11}A_1 + S_{12}A_2 \dots \dots + S_{1N}A_N \\ B_2 &= S_{21}A_1 + S_{22}A_2 \dots \dots + S_{2N}A_N \\ &\vdots \\ B_N &= S_{N1}A_1 + S_{N2}A_2 \dots \dots + S_{NN}A_N \end{aligned} \quad (4)$$

30

式(4)において、 B_n は、 $a_n = A_n$ であるときに、アンテナ素子3-nから整合回路2-nに出力される反射波の振幅位相である。

【0022】

式(4)の両辺を所望の振幅位相 A_n で除算すると、式(4)は、以下の式(5)のように変形される。

40

【0023】

50

$$\begin{aligned}
 \frac{B_1}{A_1} &= S_{11} + \frac{S_{12}A_2}{A_1} + \dots + \frac{S_{1N}A_N}{A_1} \\
 \frac{B_2}{A_2} &= \frac{S_{21}A_1}{A_2} + S_{22} + \dots + \frac{S_{2N}A_N}{A_2} \\
 &\vdots \\
 \frac{B_N}{A_N} &= \frac{S_{N1}A_1}{A_N} + \frac{S_{N2}A_2}{A_N} + \dots + S_{NN}
 \end{aligned} \tag{5}$$

10

【0024】

式(5)の左辺は、アンテナ素子3-n ($n = 1, \dots, N$) が理想的に励振されたときのアクティブ反射係数に相当する。

$B_n / A_n = \Gamma_n$ とすると、式(5)は、以下の式(6)のように変形される。

【0025】

$$\begin{aligned}
 \Gamma_1 &= S_{11} + \frac{S_{12}A_2}{A_1} + \dots + \frac{S_{1N}A_N}{A_1} \\
 \Gamma_2 &= \frac{S_{21}A_1}{A_2} + S_{22} + \dots + \frac{S_{2N}A_N}{A_2} \\
 &\vdots \\
 \Gamma_N &= \frac{S_{N1}A_1}{A_N} + \frac{S_{N2}A_2}{A_N} + \dots + S_{NN}
 \end{aligned} \tag{6}$$

20

【0026】

アンテナ素子3-n ($n = 1, \dots, N$) が理想的に励振されている状態が保たれ、アンテナ素子3-nの構成が変わらないと仮定すれば、式(6)における A_n 及び S_{ij} のそれぞれは、変化しない。つまり、アンテナ素子3-nは、図7に示すように、アクティブ反射係数 Γ_n で終端された回路で表される。

30

図7は、アンテナ素子3-nがアクティブ反射係数 Γ_n で終端された状態を示す説明図である。

図7において、11-n ($n = 1, \dots, N$) は、アクティブ反射係数 Γ_n で終端されたアンテナ素子3-nに対応する反射終端を表している。反射終端11-nの反射係数は、 Γ_n である。

【0027】

以下の手順で、整合回路2-n ($n = 1, \dots, N$) を設計することで、整合回路2-nは、抵抗成分を用いることなく、反射終端11-nからの反射波を打ち消すことができる。ただし、反射終端11-nの反射係数 Γ_n の大きさは、1未満であると仮定する。

40

まず、反射係数 Γ_n と、アクティブ反射抵抗 r_n と、アクティブ反射リアクタンス x_n との関係は、以下の式(7)のように表される。

【0028】

$$r_n + jx_n = \frac{1 + \Gamma_n}{1 - \Gamma_n} \tag{7}$$

【0029】

50

次に、反射係数 Γ_n ($n = 1, \dots, N$) が複素平面の第一象限に位置していれば、図 1 に示すアンテナ装置は、図 3 に示す整合回路 2 - n を備えることで、整合回路 2 - n から分配回路 1 の分配端子 1 b - n に与えられる反射波の振幅位相 θ_n' を 0 にすることができる。

即ち、以下の式 (8) に示すような直列諸元 xm_n の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子 2 a - n の一端が、分配端子 1 b - n と接続され、リアクタンス素子 2 a - n の他端が、アンテナ素子 3 - n と接続される。そして、以下の式 (9) に示すような並列諸元 ym_n の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子 2 b - n の一端が、リアクタンス素子 2 a - n の他端及びアンテナ素子 3 - n のそれぞれと接続され、サセプタンス素子 2 b - n の他端が接地される。これにより、整合回路 2 - n は、反射波の振幅位相 θ_n' を 0 にすることができる。

【 0 0 3 0 】

$$xm_n = \frac{-\sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (8)$$

$$ym_n = \frac{x_n - \sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n^2 + x_n^2} \quad (9)$$

10

20

【 0 0 3 1 】

反射係数 Γ_n ($n = 1, \dots, N$) が複素平面の第二象限に位置していれば、図 1 に示すアンテナ装置は、図 4 に示す整合回路 2 - n を備えることで、整合回路 2 - n から分配回路 1 の分配端子 1 b - n に与えられる反射波の振幅位相 θ_n' を 0 にすることができる。

即ち、以下の式 (10) に示すような直列諸元 xm_n の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子 2 a - n の一端が、分配端子 1 b - n と接続され、リアクタンス素子 2 a - n の他端が、アンテナ素子 3 - n と接続される。そして、以下の式 (11) に示すような並列諸元 ym_n の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子 2 b - n の一端が、リアクタンス素子 2 a - n の一端及び分配端子 1 b - n のそれぞれと接続され、サセプタンス素子 2 b - n の他端が接地される。これにより、整合回路 2 - n は、反射波の振幅位相 θ_n' を 0 にすることができる。

30

【 0 0 3 2 】

$$xm_n = -x_n + \sqrt{r_n - r_n^2} \quad (10)$$

$$ym_n = \frac{\sqrt{r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (11)$$

40

【 0 0 3 3 】

反射係数 Γ_n ($n = 1, \dots, N$) が複素平面の第三象限に位置していれば、図 1 に示すアンテナ装置は、図 4 に示す整合回路 2 - n を備えることで、整合回路 2 - n から分配回路 1 の分配端子 1 b - n に与えられる反射波の振幅位相 θ_n' を 0 にすることができる。

即ち、以下の式 (12) に示すような直列諸元 xm_n の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子 2 a - n の一端が、分配端子 1 b - n と接続され、リアクタンス素子 2 a - n の他端が、アンテナ素子 3 - n と接続される。そして、以下の式 (13) に示すような

50

並列諸元 ym_n の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子 $2b-n$ の一端が、リアクタンス素子 $2a-n$ の一端及び分配端子 $1b-n$ のそれぞれと接続され、サセプタンス素子 $2b-n$ の他端が接地される。これにより、整合回路 $2-n$ は、反射波の振幅位相 b_n' を 0 にすることができる。

【 0 0 3 4 】

$$xm_n = -x_n - \sqrt{r_n - r_n^2} \quad (12)$$

$$ym_n = \frac{-\sqrt{r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (13)$$

10

【 0 0 3 5 】

反射係数 r_n ($n = 1, \dots, N$) が複素平面の第四象限に位置していれば、図 1 に示すアンテナ装置は、図 3 に示す整合回路 $2-n$ を備えることで、整合回路 $2-n$ から分配回路 1 の分配端子 $1b-n$ に与えられる反射波の振幅位相 b_n' を 0 にすることができる。

即ち、以下の式 (14) に示すような直列諸元 xm_n の規格化リアクタンスであるリアクタンス素子 $2a-n$ の一端が、分配端子 $1b-n$ と接続され、リアクタンス素子 $2a-n$ の他端が、アンテナ素子 $3-n$ と接続される。そして、以下の式 (15) に示すような並列諸元 ym_n の規格化サセプタンスであるサセプタンス素子 $2b-n$ の一端が、リアクタンス素子 $2a-n$ の他端及びアンテナ素子 $3-n$ のそれぞれと接続され、サセプタンス素子 $2b-n$ の他端が接地される。これにより、整合回路 $2-n$ は、反射波の振幅位相 b_n' を 0 にすることができる。

20

【 0 0 3 6 】

$$xm_n = \frac{\sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n} \quad (14)$$

30

$$ym_n = \frac{x_n + \sqrt{(r_n^2 + x_n^2)r_n - r_n^2}}{r_n^2 + x_n^2} \quad (15)$$

【 0 0 3 7 】

図 1 に示すアンテナ装置では、整合回路 $2-n$ ($n = 1, \dots, N$) が、図 3 に示す整合回路、又は、図 4 に示す整合回路であるものを示している。整合回路 $2-n$ は、無損失回路であればよく、図 3 に示す整合回路、又は、図 4 に示す整合回路に限るものではない。整合回路 $2-n$ としては、例えば、周囲の線路と異なる特性インピーダンスを有する伝送線路、オープンスタブ、又は、ショートスタブを備える回路であってもよい。当該伝送線路、オープンスタブ、又は、ショートスタブを備える回路は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけを有する無損失回路である。

40

図 1 に示すアンテナ装置は、反射波の振幅位相 b_n' を 0 にすることができる整合回路 $2-n$ を備えている。しかし、反射波の振幅位相 b_n' は、実用上問題のない範囲で小さい値であればよく、整合回路 $2-n$ は、振幅位相 b_n' を 0 にすることができる整合回路に限るものではない。実用上問題のない範囲で小さい値としては、0.1 程度が考えられる。

【 0 0 3 8 】

第二工程は、整合回路 $2-n$ からアンテナ素子 $3-n$ に与えられる入射波に対する分配端子 $1b-n$ から整合回路 $2-n$ に与えられる入射波の比率 r_n ($n = 1, \dots, N$)

50

を算出する工程である（図5のステップST2）。

図3に示す整合回路2-n、又は、図4に示す整合回路2-nにおいて、整合回路2-nの特性を表すSパラメータが Sm_{ijk} （ $i = 1, \dots, N$ 、 $j = 1, 2$ 、 $k = 1, 2$ ）であると定義する。インデックス j, k において、分配回路1側のポートを示す数字が1、アンテナ素子3-n側のポートを示す数字が2である。

このとき、アンテナ素子3-nに与えられる入射波の所望の振幅位相 A_n と、振幅位相 a_n' と、 $a_n = A_n$ であるときの反射波の振幅位相 B_n と、反射波の振幅位相 b_n' との関係は、以下の式(16)のように表される。

【0039】

$$\begin{aligned} b_n' &= Sm_{i11}a_n' + Sm_{i12}B_n \\ A_n &= Sm_{i21}a_n' + Sm_{i22}B_n \end{aligned} \quad (16)$$

10

【0040】

$B_n / A_n = \alpha_n$ であるため、比率 α_n は、以下の式(17)のように表される。したがって、比率 α_n は、以下の式(17)を用いて、算出することができる。

【0041】

$$\alpha_n = \frac{1 - Sm_{i22}\Gamma_n}{Sm_{i21}} \quad (17)$$

20

【0042】

第三工程は、補正振幅位相 A_n' を算出する工程である（図5のステップST3）。補正振幅位相 A_n' は、以下の式(18)のように表される。

【0043】

$$A_n' = \alpha_n A_n \quad (18)$$

30

【0044】

したがって、比率 α_n と所望の振幅位相 A_n とを乗算することで、補正振幅位相 A_n' が求まる。

整合回路2-nに与えられる入射波の振幅位相 a_n' を補正振幅位相 A_n' とすることができる。アンテナ素子3-nに与えられる入射波の振幅位相 a_n を所望の振幅位相 A_n とすることができる。

【0045】

第四工程は、整合回路2-n（ $n = 1, \dots, N$ ）に与えられる入射波の振幅位相 a_n' が補正振幅位相 A_n' となるように分配回路1を設計する工程である（図5のステップST4）。

40

第一工程から第三工程によって、整合回路2-nから分配回路1の分配端子1b-nに与えられる反射波の振幅位相 b_n' が0になっている。このため、第四工程において、分配回路1は、無反射終端が接続された条件で設計することができる。このような分配回路1は、図2に示すように、インピーダンス変成器1c-nと遅延線路1d-nとを用いて、設計することができる。

【0046】

インピーダンス変成器1c-n（ $n = 1, \dots, N$ ）は、入出力端子1aからインピーダンス変成器1c-nを見たインピーダンスが $|A_n'|$ の2乗の逆数と比例するように

50

調整することで、分配回路 1 は、所望の振幅で分配することができる。 $|A_n'|$ は、補正振幅位相 A_n' の振幅を表している。

上記の比例についての比例係数は、任意に選べるため、上記のインピーダンスは、N本の線路を合成したときに無反射になるように調整することが可能である。つまり、上記のインピーダンスは、 $b_0 = 0$ になるように調整することが可能である。

また、 A_n' は、補正振幅位相 A_n' の偏角であると定義する。 $A_1' \sim A_N'$ の中で、最大の値を A_{max} とすると、 $A_n' - A_{max}$ は、すべてのアンテナ素子 $3 - 1 \sim 3 - N$ に対して、0 以下の値となるため、遅延線路で実現することができる。

アンテナ素子 $3 - n$ ($n = 1, \dots, N$) に接続される遅延線路 $1 d - n$ の長さが、 $|A_n - A_{max}| / k_0$ となるように選定することで、所望の遅延量が得られる。ただし、 k_0 は、遅延線路 $1 d - n$ の波数である。

10

以上のように分配回路 1 を設計することで、整合回路 $2 - n$ ($n = 1, \dots, N$) に与えられる入射波の振幅位相 a_n' を補正振幅位相 A_n' とすることができる。

【0047】

図 1 に示すアンテナ装置では、分配回路 1 が、図 2 に示すように、インピーダンス変成器 $1 c - n$ と遅延線路 $1 d - n$ とを備えている。分配回路 1 は、無損失回路であって、位相を変えることが可能であれば、図 2 と異なる分配回路であってもよい。例えば、遅延線路 $1 d - n$ の代わりに、位相を変える手段として、集中定数を用いた、T 型移相器、又は、 π 型移相器を用いてもよい。

【0048】

20

第一工程から第四工程に従ってアンテナ装置を設計することで、アンテナ素子 $3 - n$ ($n = 1, \dots, N$) に所望の振幅位相 A_n を与えることが可能であり、かつ、入出力端子 $1 a$ からの反射波の振幅位相 b_0 を 0 にすることができる。

また、そのようなアンテナ装置は、無損失回路で設計することが可能となる。その結果、アンテナ装置として所望の放射特性が得られ、かつ、分配回路 1 での損失が無くなるため、アンテナの利得が向上するという利点を得られる。

【0049】

図 8 は、第一工程から第四工程を有する設計法が適用されているモデルを示す説明図である。

図 8 に示すモデルでは、3 素子アレーが想定されており、S パラメータと所望の振幅位相 A_1, A_2, A_3 が与えられている。

30

図 8 に示すモデルは、インピーダンス変成器 $1 c - 1 \sim 1 c - 3$ として、規格化インピーダンス z_1 を有する $1/4$ 波長のインピーダンス変成器と、規格化インピーダンス z_2 を有する $1/4$ 波長のインピーダンス変成器と、規格化インピーダンス z_3 を有する $1/4$ 波長のインピーダンス変成器とを備えている。

また、図 8 に示すモデルは、遅延線路 $1 d - n$ として、位相量 D_1 の遅延線路と、位相量 D_2 の遅延線路と、位相量 D_3 の遅延線路とを備えている。

さらに、図 8 に示すモデルは、整合回路 $2 - 1 \sim 2 - 3$ として、リアクタンス素子 $2 a - 1 \sim 2 a - 3$ と、サセプタンス素子 $2 b - 1 \sim 2 b - 3$ とを備えている。

また、図 8 に示すモデルは、アンテナ素子 $3 - 1 \sim 3 - 3$ を模擬している S パラメータを備えている。

40

【0050】

図 8 に示す a_1, a_2, a_3 のそれぞれは、図 8 に示すモデルの回路特性がシミュレーションされることで、アンテナ素子 $3 - 1 \sim 3 - 3$ に与えられる入射波の振幅位相が計算された結果である。

振幅位相 a_n ($n = 1, 2, 3$) と所望の振幅位相 A_n ($n = 1, 2, 3$) とを比較すると、振幅位相 a_n の振幅は、所望の振幅位相 A_n の振幅からオフセットされており、振幅位相 a_n の位相は、所望の振幅位相 A_n の位相からオフセットされていることを確認できる。これは、入射波 a_0 の振幅が 1、入射波 a_0 の位相が 0 となるように規格化されているためである。振幅及び位相におけるそれぞれのオフセットは、アンテナ装置の放射特

50

性に影響を与えない。このため、これらのオフセットの影響を差し引くと、振幅位相 a_n ($n = 1, 2, 3$) と所望の振幅位相 A_n ($n = 1, 2, 3$) とは、ほぼ等しいことを確認できる。

また、反射波の振幅位相 b_0 の振幅は、 -79 dB であり、十分に小さい値が得られている。以上より、所望の特性が得られることが確認できた。

【0051】

以上の実施の形態 1 では、入出力端子 1 a と複数の分配端子 $1 b - 1 \sim 1 b - N$ とを有する分配回路 1 と、それぞれの分配端子 $1 b - n$ ($n = 1, \dots, N$) と一端が接続されている複数の整合回路 $2 - 1 \sim 2 - N$ と、それぞれの整合回路 $2 - n$ の他端と接続されている複数のアンテナ素子 $3 - 1 \sim 3 - N$ とを備えるように、アンテナ装置を構成した。また、アンテナ装置が備えている整合回路 $2 - n$ は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけ有する無損失回路であり、アンテナ装置が備えている分配回路 1 は、インダクタンス成分とキャパシタンス成分とだけで特性インピーダンスが表される無損失回路であるように構成した。したがって、アンテナ装置は、反射波の電力の消費を抑えて、利得の低下を防ぐことができる。

【0052】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 では、移相器 $21 - n$ ($n = 1, \dots, N$) と増幅器 $22 - n$ とが直列に接続されている直列回路 $20 - n$ が、分配回路 1 と整合回路 $2 - n$ との間に挿入されているアンテナ装置について説明する。

【0053】

図 9 は、実施の形態 2 に係るアンテナ装置を示す構成図である。図 9 において、図 1 と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

図 9 に示すアンテナ装置は、分配回路 1、 N 個の直列回路 $20 - 1 \sim 20 - N$ 、 N 個の整合回路 $2 - 1 \sim 2 - N$ 及び N 個のアンテナ素子 $3 - 1 \sim 3 - N$ を備えている。 N は、2 以上の整数である。

実施の形態 2 では、図 9 に示すアンテナ装置が、信号を送信する送信アンテナとして使用される例を説明する。しかし、図 9 に示すアンテナ装置は、信号を受信する受信アンテナとして使用されるものであってもよい。

【0054】

直列回路 $20 - n$ ($n = 1, \dots, N$) は、分配回路 1 と整合回路 $2 - n$ との間に挿入されている。

直列回路 $20 - n$ は、移相器 $21 - n$ と増幅器 $22 - n$ とを備えている。

移相器 $21 - n$ の一端は、分配回路 1 の分配端子 $1 b - n$ と接続され、移相器 $21 - n$ の他端は、増幅器 $22 - n$ の一端と接続されている。

増幅器 $22 - n$ の一端は、移相器 $21 - n$ の他端と接続され、増幅器 $22 - n$ の他端は、整合回路 $2 - n$ の一端と接続されている。

図 9 に示すアンテナ装置では、移相器 $21 - n$ が増幅器 $22 - n$ の前段に設けられている。しかし、これは一例に過ぎず、移相器 $21 - n$ が増幅器 $22 - n$ の後段に設けられているものであってもよい。

【0055】

次に、図 9 に示すアンテナ装置の生成方法及び動作について説明する。

図 9 に示すアンテナ装置は、図 1 に示すアンテナ装置と異なり、分配回路 1 と整合回路 $2 - n$ ($n = 1, \dots, N$) との間に直列回路 $20 - n$ が挿入されている。

このため、図 9 に示すアンテナ装置を生成するための第四工程が、図 1 に示すアンテナ装置を生成するための第四工程と異なっている。

【0056】

分配回路 1 は、外部から入出力端子 1 a に与えられる入射波を無反射で等分配する機能を有している。即ち、分配回路 1 は、入射波を等分配する際、反射波の振幅位相 b_0 を 0 にする機能を有している。

10

20

30

40

50

分配回路 1 によって等分配された入射波の振幅位相 a_n ($n = 1, \dots, N$) の位相は、移相器 2 1 - n によって、補正振幅位相 A_n' の位相に調整される。

入射波の振幅位相 a_n の振幅は、増幅器 2 2 - n によって、補正振幅位相 A_n' の振幅に調整される。

したがって、図 9 に示すアンテナ装置では、分配回路 1 が、入射波を無反射で等分配する機能を有していればよく、入射波の振幅位相 a_n' が補正振幅位相 A_n' となるように調整する機能を有していなくてもよい。

図 9 に示すアンテナ装置は、高周波モジュールを用いるタイプのアンテナ装置にも適用することが可能である。

【 0 0 5 7 】

図 9 に示すアンテナ装置では、分配回路 1 と整合回路 2 - n との間に直列回路 2 0 - n が挿入されている。分配回路 1 と整合回路 2 - n との間に挿入される回路は、入射波の振幅位相 a_n' が補正振幅位相 A_n' となるように調整する機能を有している回路であればよく、直列回路 2 0 - n に限るものではない。

【 0 0 5 8 】

実施の形態 3 .

実施の形態 3 では、制御部 3 3 を備えているアンテナ装置について説明する。

【 0 0 5 9 】

図 1 0 は、実施の形態 3 に係るアンテナ装置を示す構成図である。図 1 0 において、図 9 と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

図 1 0 に示すアンテナ装置では、整合回路 2 - n ($n = 1, \dots, N$) が、可変整合回路 2' - n である。

また、図 1 0 に示すアンテナ装置では、直列回路 2 0 - n が、直列回路 2 0' - n であり、直列回路 2 0' - n は、可変移相器 2 1' - n 及び可変増幅器 2 2' - n を備えている。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 に示すアンテナ装置は、分配回路 1、 N 個の直列回路 2 0' - 1 ~ 2 0' - N 、 N 個の可変整合回路 2' - 1 ~ 2' - N 、 N 個のアンテナ素子 3 - 1 ~ 3 - N 、記憶装置 3 1、演算装置 3 2 及び制御部 3 3 を備えている。

記憶装置 2 1 は、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 等の不揮発性又は揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、あるいは、DVD (Digital Versatile Disc) によって実現される。

記憶装置 2 1 は、アンテナ素子 3 - n ($n = 1, \dots, N$) の S パラメータのほか、所望のアンテナ放射パターンを記憶している。

【 0 0 6 1 】

演算装置 3 2 は、例えば、演算回路によって実現される。

演算装置 3 2 は、記憶装置 2 1 により記憶されている所望のアンテナ放射パターンに基づいて、アンテナ素子 3 - n ($n = 1, \dots, N$) における所望の振幅位相 A_n を算出する。

また、演算装置 3 2 は、記憶装置 2 1 により記憶されている S パラメータと所望の振幅位相 A_n とから、可変整合回路 2' - n の諸元及び補正振幅位相 A_n' のそれぞれを算出する。

演算装置 3 2 による振幅位相 A_n の算出処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

また、演算装置 3 2 による可変整合回路 2' - n の諸元の算出処理及び補正振幅位相 A_n' の算出処理のそれぞれは、実施の形態 2 に係るアンテナ装置における第一工程から第四工程と同様であるため、詳細な説明を省略する。

10

20

30

40

50

【0062】

制御部33は、例えば、制御回路によって実現される。

制御部33は、可変整合回路 $2' - n$ ($n = 1, \dots, N$)の諸元が、演算装置32により算出された可変整合回路 $2' - n$ の諸元となるように、可変整合回路 $2' - n$ を制御する。

制御部33は、可変移相器 $21' - n$ による位相調整後の位相が、演算装置32により算出された補正振幅位相 A_n' の位相となるように、可変移相器 $21' - n$ を制御する。

また、制御部33は、可変増幅器 $22' - n$ による振幅調整後の振幅が、演算装置32により算出された補正振幅位相 A_n' の振幅となるように、可変増幅器 $22' - n$ を制御する。

【0063】

演算回路及び制御回路のそれぞれは、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、又は、これらを組み合わせたものが該当する。

図10に示すアンテナ装置は、信号を送信する送信アンテナとして使用されるものであってもよいし、信号を受信する受信アンテナとして使用されるものであってもよい。

【0064】

図10に示すアンテナ装置では、制御部33が、可変移相器 $21' - n$ 、可変増幅器 $22' - n$ 及び可変整合回路 $2' - n$ のそれぞれを制御している。このため、図10に示すアンテナ装置は、図9に示すアンテナ装置と異なり、整合回路の諸元、移相器による位相量及び増幅器の振幅調整量のそれぞれが事前に決定されていなくても、所望のアンテナ放射パターンを得ることができる。

【0065】

なお、本開示は、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0066】

本開示は、複数のアンテナ素子を有するアンテナ装置に適している。

【符号の説明】

【0067】

1 分配回路、1a 入出力端子、1b-1 ~ 1b-N 分配端子、1c-1 ~ 1c-N インピーダンス変成器、1d-1 ~ 1d-N 遅延線路、2-1 ~ 2-N 整合回路、2a-1 ~ 2a-N リアクタンス素子、2b-1 ~ 2b-N サセプタンス素子、 $2' - 1 \sim 2' - N$ 可変整合回路、3-1 ~ 3-N アンテナ素子、10 Sパラメータ、11 反射終端、20-1 ~ 20-N 直列回路、 $20' - 1 \sim 20' - N$ 直列回路、21-1 ~ 21-N 移相器、 $21' - 1 \sim 21' - N$ 可変移相器、22-1 ~ 22-N 増幅器、 $22' - 1 \sim 22' - N$ 可変増幅器、31 記憶装置、32 演算装置、33 制御部。

10

20

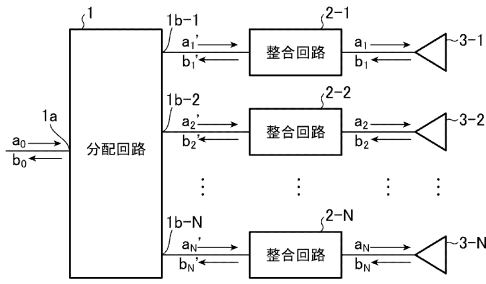
30

40

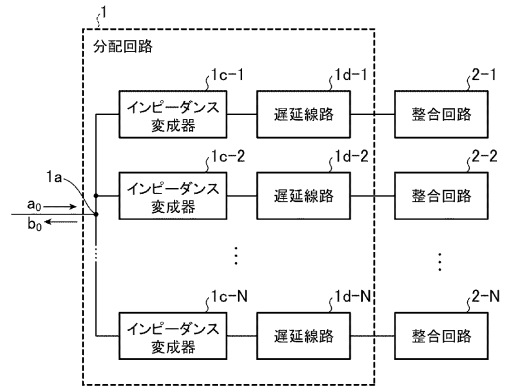
50

【図面】

【図 1】

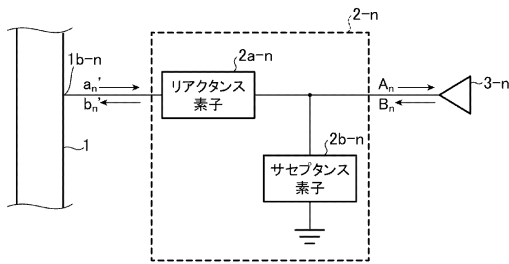


【図 2】

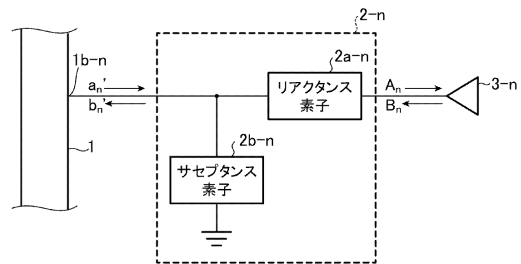


10

【図 3】



【図 4】



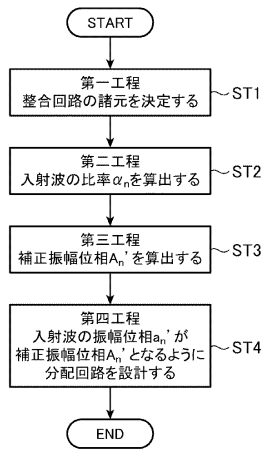
20

30

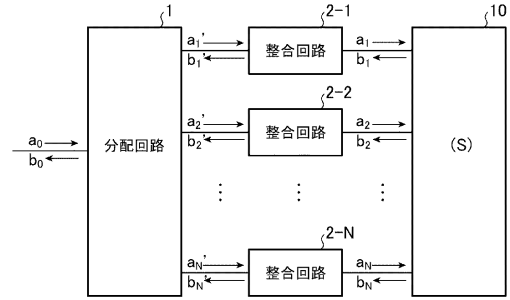
40

50

【 図 5 】

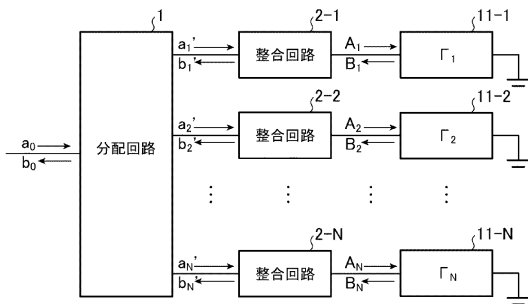


【 図 6 】

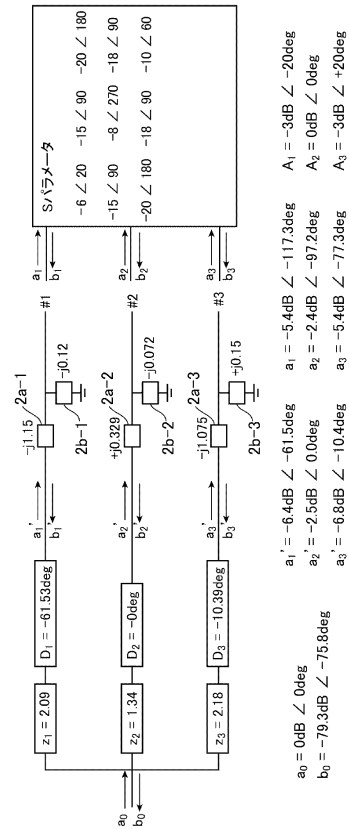


10

【 図 7 】



【 図 8 】



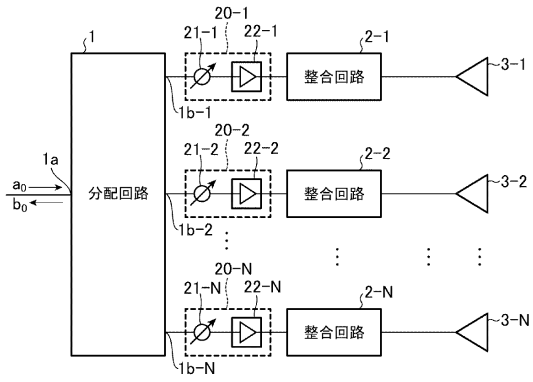
20

30

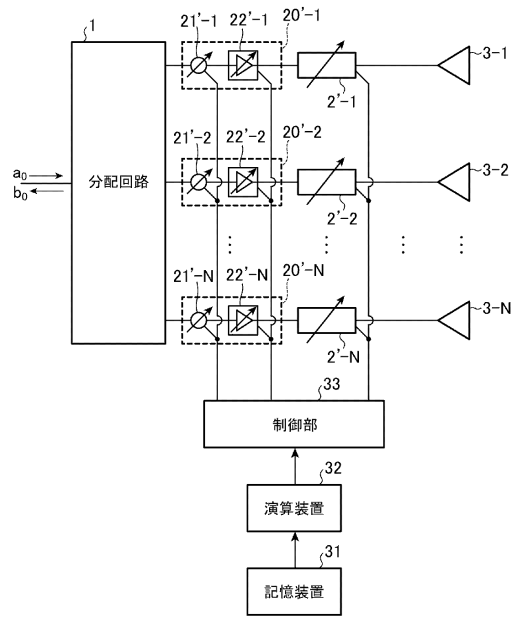
40

50

【図 9】



【図 10】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-109752(JP,A)
特開平05-121916(JP,A)
特開平05-102777(JP,A)
特表平10-506516(JP,A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01P 5/19
H01Q 1/50
H01Q 21/06
H01P 5/04