

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年12月5日(05.12.2024)



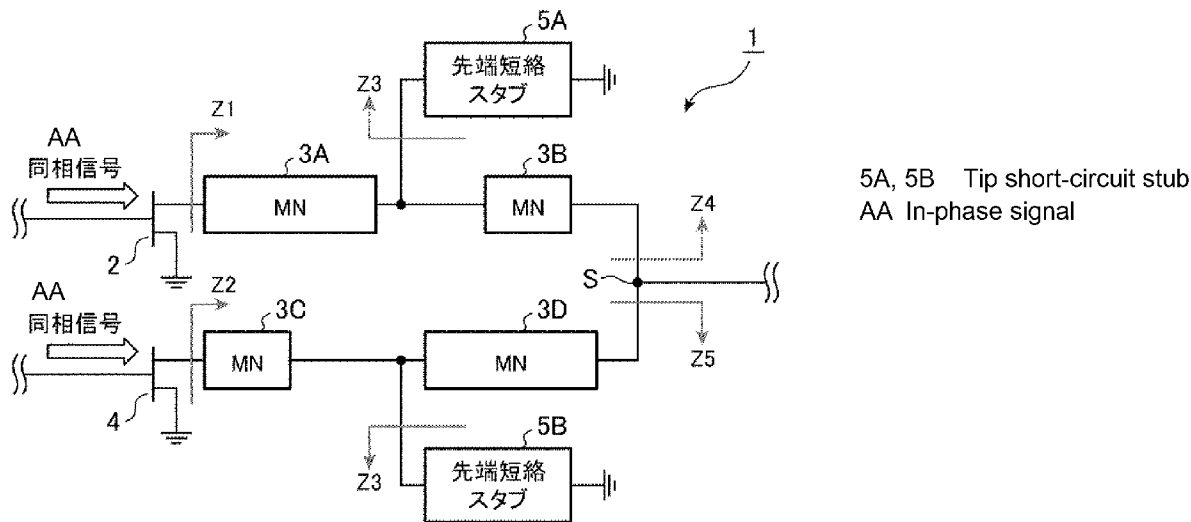
(10) 国際公開番号

WO 2024/247243 A1

- (51) 国際特許分類:
H03F 3/68 (2006.01) *H03F 1/32* (2006.01)
H03F 1/02 (2006.01) *H03F 3/19* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/020579
- (22) 国際出願日: 2023年6月2日(02.06.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 桑田 英悟(KUWATA, Eigo); 〒1008310 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人山王内外特許事務所(SANNO PATENT ATTORNEYS OFFICE); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: HIGH-FREQUENCY AMPLIFIER

(54) 発明の名称: 高周波増幅器



(57) Abstract: A high-frequency amplifier (1) is provided with: a group of transistors (2, 4); matching circuits (3A, 3C) connected respectively to the group of transistors (2, 4); tip short-circuit stubs (5A, 5B) connected respectively to the matching circuits (3A, 3C) and short-circuited at harmonic frequencies of signals output from the group of transistors (2, 4); and matching circuits (3B, 3D) each having one end connected to a connecting point between the corresponding matching circuit (3A, 3C) and the corresponding tip short-circuit stub (5A, 5B), the other ends being connected together at a combining point (S). Circuit constants are set in the matching circuits (3B, 3D) such that impedances (Z4, Z5) from the combining point (S) toward the group of transistors (2, 4) are equal in an operating frequency band.

[続葉有]



(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 高周波増幅器 (1) は、トランジスタ群 (2, 4) と、トランジスタ群 (2, 4) に接続された整合回路 (3 A, 3 C) と、整合回路 (3 A, 3 C) に接続され、トランジスタ群 (2, 4) から出力される信号の高調波周波数でショートになる先端短絡スタブ (5 A, 5 B) と、一方の端部が整合回路 (3 A, 3 C) と先端短絡スタブ (5 A, 5 B) との接続点に接続され、他方の端部が合成点 (S) で接続された整合回路 (3 B, 3 D) を備える。整合回路 (3 B, 3 D) には、合成点 (S) からトランジスタ群 (2, 4) を見込んだインピーダンス (Z 4, Z 5) が動作周波数帯で等しい回路定数が設定されている。

明 細 書

発明の名称：高周波増幅器

技術分野

[0001] 本開示は、高周波増幅器に関する。

背景技術

[0002] 高周波増幅器は、人工衛星等の通信用増幅器として広く利用されている。例えば、特許文献1には、キャリア増幅回路およびピーク増幅回路を備えたドハティ増幅器とプリディストータとを組み合わせることで、ドハティ増幅器の非線形歪を補償する歪制御機能付き増幅装置が記載されている。この増幅装置は、通信時の増幅効率と歪低減とを両立させることができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2008-22513号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来の高周波増幅器は、非線形歪を補償するために、コンピュータ等の外部装置が制御する必要があるという課題があった。例えば、非線形歪を補償するためのプリディストーション歪補償回路は、回路規模が大きい上にその制御にコンピュータが必要となる。このため、高周波増幅器全体の体積、重量、および消費電力を増加させてしまう。特に、人工衛星通信では、使用可能なコンピュータの性能に制約があるため、コンピュータの性能に応じた消費電力が大きい。さらに、太陽電池パネルとその電池容量には限りがあるため、人工衛星通信では、大きな消費電力の高周波増幅器を利用できない。

[0005] 本開示は上記課題を解決するものであり、外部装置で制御することなく非線形歪を補償することができる、高周波増幅器を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係る高周波増幅器は、一つまたは複数のトランジスタでそれぞれ

が構成され、同相の信号が分配される複数のトランジスタ群と、複数のトランジスタ群にそれぞれ接続された、互いに異なる複数の入力側整合回路と、複数の入力側整合回路にそれぞれ接続され、複数のトランジスタ群から出力される信号の高調波周波数でショートになる複数の並列回路と、一方の端部が入力側整合回路と並列回路との接続点に接続され、他方の端部が接続された、互いに異なる複数の出力側整合回路とを備え、複数の出力側整合回路には、出力側整合回路間の接続点からトランジスタ群を見込んだインピーダンスが動作周波数帯で等しい回路定数が設定されている。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、複数のトランジスタ群と、複数のトランジスタ群にそれぞれ接続された、互いに異なる複数の入力側整合回路と、複数の入力側整合回路にそれぞれ接続され、複数のトランジスタ群から出力される信号の高調波周波数でショートになる複数の並列回路と、一方の端部が入力側整合回路と並列回路との接続点に接続され、他方の端部が接続された、互いに異なる複数の出力側整合回路とを備える。複数の出力側整合回路には、出力側整合回路間の接続点からトランジスタ群を見込んだインピーダンスが動作周波数帯で等しい回路定数が設定される。出力側整合回路間の接続点で相互変調歪みが低減されるので、本開示に係る高周波増幅器は、外部装置で制御することなく非線形歪を補償することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態1に係る高周波増幅器の構成を示す回路図である。
[図2]先端短絡スタブのインピーダンス特性を示すスミスチャートである。
[図3]実施の形態1に係る高周波増幅器の動作周波数帯における等価回路を示す回路図である。
[図4]実施の形態1に係る高周波増幅器の動作周波数の2倍の周波数帯における等価回路を示す回路図である。
[図5]伝送線路からなる整合回路を備えた、実施の形態1に係る高周波増幅器の構成を示すブロック図である。

[図6]図5の高周波増幅器における伝送線路の特性インピーダンスと電気長の例を示す図である。

[図7]図5の高周波増幅器のインピーダンス特性を示すスミスチャートである。

[図8]図8A、図8B、図8Cおよび図8Dは、インピーダンスに対する、出力電力と、IMD3の低周波側周波数の位相とを、ロードプル計算により求めた結果を示すコンター図である。

[図9]図9Aおよび図9Bは、IMD3信号のベクトル合成例を示す図である。

[図10]IMD3の周波数での負荷インピーダンスのLP測定結果を、動作周波数での負荷インピーダンスで規格化した結果を示すスミスチャートである。

[図11]図11Aおよび図11Bは、高周波増幅器の出力電力、IMD3の信号および出力効率の関係を示す特性図である。

[図12]先端短絡スタブを示す回路図である。

[図13]実施の形態1に係る高周波増幅器の変形例の構成を示す回路図である。

[図14]実施の形態2に係る高周波増幅器の構成を示す回路図である。

発明を実施するための形態

[0009] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1に係る高周波増幅器1の構成を示す回路図である。図1において、高周波増幅器1は、非線形歪を補償する機能を有した増幅器であり、トランジスタ群2、整合回路3A、整合回路3B、整合回路3C、整合回路3D、トランジスタ群4、先端短絡スタブ5Aおよび先端短絡スタブ5Bを備える。トランジスタ群2およびトランジスタ群4は、入力した高周波信号を増幅するための一つまたは複数のトランジスタでそれぞれが構成されたトランジスタ群である。

[0010] 図1では、トランジスタ群2および4がそれぞれ一つのトランジスタで構

成されている場合を示している。なお、トランジスタ群2および4は、複数のトランジスタが直列または並列で接続されたものでもよく、もしくは、直列と並列を組み合わせて接続されたものでもよい。なお、トランジスタ群2および4が、複数のトランジスタで構成される場合、高周波信号が入力される入力端子は一つであり、高周波信号が出力される出力端子は一つまたは複数である。トランジスタ群が複数の出力端子を有する場合には、複数の出力端子が後段の入力側整合回路に接続される。

[0011] トランジスタ群2および4には、これらを構成するトランジスタの制御端子が入力端子され、この制御端子に高周波信号が入力される。例えば、トランジスタ群2および4は、図1に示すように、それぞれ一つの電界効果トランジスタ（以下、FETと記載する。）で構成されているので、高周波信号は、FETのゲート端子に入力される。

[0012] トランジスタ群2を構成するFETは、ソース端子が接地電位とされ、ドレイン端子が整合回路3Aに接続される。トランジスタ群4を構成するFETは、ソース端子が接地電位とされ、ドレイン端子が整合回路3Cに接続される。高周波増幅器1の入力端子に入力された高周波信号は、図1において図示しない入力整合回路によって同相で二分配され、一方の同相信号がトランジスタ群2であるFETのゲート端子に入力され、他方の同相信号がトランジスタ群4であるFETのゲート端子に入力される。

[0013] 特許文献1に記載される従来のドハティ増幅器においても、高周波増幅器1と同様に、高周波信号を増幅するためのトランジスタ群2および4に対応するトランジスタが設けられている。しかしながら、従来のドハティ増幅器においては、これらのトランジスタ群にそれぞれ入力される高周波信号に90度程度の位相差があり、同相信号は入力されない。このように、高周波増幅器1は、複数のトランジスタ群にそれぞれ入力される高周波信号が同相であることも、従来の増幅器とは異なる特徴の一つである。

[0014] 整合回路3A、整合回路3B、整合回路3Cおよび整合回路3Dは、図1においてMNと表記されている。

整合回路 3 A は、トランジスタ群 2 の出力端に接続された入力側整合回路である。整合回路 3 A の出力端には、先端短絡スタブ 5 A が接続されている。図 1 において矢印で示すインピーダンス Z_1 は、トランジスタ群 2 の出力端（例えば F E T のドレイン端子）から回路側を見込んだインピーダンスである。

整合回路 3 C は、トランジスタ群 4 の出力端に接続された入力側整合回路である。整合回路 3 C の出力端には、先端短絡スタブ 5 B が接続されている。図 1 において矢印で示すインピーダンス Z_2 は、トランジスタ群 4 の出力端（例えば F E T のドレイン端子）から回路側を見込んだインピーダンスである。

なお、整合回路 3 A および 3 B には、高周波増幅器 1 の動作周波数帯での電気長が互いに異なる回路定数が設定されている。

[0015] 先端短絡スタブ 5 A は、一方の端部が整合回路 3 A の出力側に接続され、他方の端部が接地されており、トランジスタ群 2 から出力される信号の高調波周波数でショートになる並列回路である。さらに、先端短絡スタブ 5 B は、一方の端部が整合回路 3 C の出力側に接続され、他方の端部が接地されており、トランジスタ群 4 から出力される信号の高調波周波数でショートになる並列回路である。

なお、図 1 において矢印で示すインピーダンス Z_3 は、先端短絡スタブ 5 A および 5 B がそれぞれ作るインピーダンスである。先端短絡スタブ 5 A および 5 B のそれぞれの長さは、高周波増幅器 1 の動作周波数の中心付近で $1/4$ 波長程度の長さとなる。

[0016] 整合回路 3 B は、一方の端部が整合回路 3 A と先端短絡スタブ 5 A との接続点に接続され、他方の端部が整合回路 3 D の出力側と接続されている出力側整合回路である。

整合回路 3 D は、一方の端部が整合回路 3 C と先端短絡スタブ 5 B との接続点に接続され、他方の端部が整合回路 3 B の出力側と接続されている出力側整合回路である。

整合回路 3 B および 3 D には、動作周波数帯での電気長が互いに異なる回路定数が設定されている。また、整合回路 3 B の出力端と整合回路 3 D の出力端との接続点である合成点 S には、図 1 において図示しない出力端子が接続される。

[0017] 図 1 において矢印で示すインピーダンス Z_4 は、整合回路 3 B と整合回路 3 D との合成点 S から、整合回路 3 A を介して整合回路 3 B と接続するトランジスタ群 2 を見込んだインピーダンスである。図 1 において矢印で示すインピーダンス Z_5 は、合成点 S から、整合回路 3 C を介して整合回路 3 D と接続するトランジスタ群 4 を見込んだインピーダンスである。高周波増幅器 1 において、整合回路 3 B および整合回路 3 D には、動作周波数帯でインピーダンス Z_4 とインピーダンス Z_5 とが等しくなる回路定数が設定されている。

[0018] 図 2 は、先端短絡スタブ 5 A および先端短絡スタブ 5 B のインピーダンス特性を示すスミスチャートである。図 2 の左側のスミスチャートは、高周波増幅器 1 の動作周波数帯（図 2 において 9 GHz から 11 GHz）で先端短絡スタブ 5 A および 5 B が作るインピーダンス Z_3 の特性を示している。三角形のプロットがインピーダンス Z_3 である。周波数を 9 GHz (Min) から 11 GHz (Max) まで掃引することで、インピーダンス Z_3 は、黒い線で示す範囲で変化する。当該スミスチャートが示すように、動作周波数帯におけるインピーダンス Z_3 は、高インピーダンスになる。

[0019] 図 2 の右側のスミスチャートは、高周波増幅器 1 の動作周波数の 2 倍の周波数帯（図 2 においては 18 GHz から 22 GHz）で先端短絡スタブ 5 A および 5 B が作るインピーダンス Z_3 の特性を示している。三角形のプロットがインピーダンス Z_3 である。周波数を 18 GHz (Min) から 22 GHz (Max) まで掃引することで、インピーダンス Z_3 は、黒い線で示す範囲で変化する。当該スミスチャートが示すように、動作周波数の 2 倍の周波数帯におけるインピーダンス Z_3 は、低インピーダンスになる。

[0020] 図 2 から明らかなように、先端短絡スタブ 5 A および 5 B は、動作周波数

帯で高周波増幅器 1 の回路動作に影響を与えず、動作周波数の 2 倍の周波数帯でトランジスタ群 2 および 4 から出力された 2 次高調波をトランジスタ群 2 および 4 へ反射する機能を有する。

なお、高周波増幅器 1 では、先端短絡スタブ 5 A および 5 B が上記の機能を有する回路であればよいので、先端短絡スタブでなくてもよい。例えば、先端短絡スタブ 5 A および 5 B の代わりに、並列共振器等の並列回路を設けてもよい。

[0021] 次に、先端短絡スタブ 5 A および 5 B による効果を、図 3 および図 4 を用いて説明する。図 3 は、高周波増幅器 1 の動作周波数帯における等価回路を示す回路図である。図 2 を用いて説明したように、動作周波数帯において先端短絡スタブ 5 A および 5 B は、高周波増幅器 1 の回路動作に影響を与えない。このため、図 3 に示すように、動作周波数帯における等価回路では、先端短絡スタブ 5 A および 5 B の記載が省略されている。

[0022] 図 4 は、高周波増幅器 1 の動作周波数の 2 倍の周波数帯における等価回路を示す回路図である。図 2 を用いて説明したように、動作周波数の 2 倍の周波数帯において、先端短絡スタブ 5 A および 5 B は、トランジスタ群 2 および 4 から出力されてきた 2 次高調波を、トランジスタ群 2 および 4 へ反射する。すなわち、動作周波数の 2 倍の周波数帯において、先端短絡スタブ 5 A および 5 B の各インピーダンス Z_3 は、とても低いインピーダンスとなってグラウンドと同等になる。このため、図 4 に示すように、動作周波数の 2 倍の周波数帯における等価回路では、実質的に整合回路 3 A の出力端が接地され、整合回路 3 C の出力端が接地されるので、整合回路 3 B および 3 D の記載が省略される。

また、高周波増幅器 1 において、整合回路 3 A および整合回路 3 C には、動作周波数の 2 倍の周波数帯における電気長が異なる回路定数が設定されている。

[0023] 続いて、整合回路 3 A ～ 3 D の具体的な構成について説明する。

図 5 は、伝送線路 A ～ D からなる整合回路 3 A ～ 3 D を備えた高周波増幅

器 1 の構成を示すブロック図である。図 5 において、伝送線路 A は、整合回路 3 A であり、伝送線路 B は、整合回路 3 B であり、伝送線路 C は、整合回路 3 C であり、伝送線路 D は、整合回路 3 D である。また、二つの伝送線路 E の一方は先端短絡スタブ 5 A であり、他方は先端短絡スタブ 5 B である。さらに、トランジスタ 6 は、トランジスタ群 2 を構成する F E T であり、トランジスタ 7 は、トランジスタ群 4 を構成する F E T である。

また、伝送線路 A ~ E は、図 5 において T L と表記されている。

[0024] 図 5 において、トランジスタ 6 の出力負荷インピーダンス (= 最適負荷インピーダンス) が $50\ \Omega$ であるものとする。さらに、伝送線路 B と伝送線路 D との接続点 (合成点 S) が高周波増幅器 1 の出力端子であるものとして $50\ \Omega$ 負荷に接続される。

図 6 は、図 5 に示した高周波増幅器 1 における伝送線路 A ~ E の特性インピーダンスと電気長の例を示す図である。図 6 において、全ての伝送線路 A ~ E の特性インピーダンスが $70.7\ \Omega$ である。さらに伝送線路 E の電気長を 90° とすることで、動作周波数帯では高インピーダンスとなり、動作周波数の 2 倍の周波数帯では低インピーダンスとなる。

[0025] また、伝送線路 A と伝送線路 B との電気長の和を 90° に設定し、伝送線路 C と伝送線路 D との電気長の和を 90° に設定することにより、トランジスタ 6 の出力端から回路側を見込んだインピーダンス Z_1 と、トランジスタ 7 の出力端から回路側を見込んだインピーダンス Z_2 とが、ともに、動作周波数で $50\ \Omega$ になるようにしている。

さらに、伝送線路 A と伝送線路 C の電気長が互いに異なるので、トランジスタ 6 の出力端から回路側を見込んだインピーダンス Z_1 と、トランジスタ 7 の出力端から回路側を見込んだインピーダンス Z_2 とが、動作周波数の 2 倍の周波数では異なっている。

[0026] 図 7 は、図 5 の高周波増幅器 1 のインピーダンス特性を示すスミスチャートである。図 7 の左側のスミスチャートは、動作周波数 (図 7 において $1\ \text{GHz}$) におけるインピーダンス Z_1 およびインピーダンス Z_2 の特性を示し

ている。三角形のプロットがインピーダンス Z_1 の値を示しており、四角のプロットがインピーダンス Z_2 の値を示しており、これらは 50Ω で正規化されている。当該スミスチャートから明らかなように、動作周波数においてはインピーダンス Z_1 とインピーダンス Z_2 とで完全なインピーダンス整合がとれている。

[0027] 一方、図7の右側のスミスチャートは、動作周波数の2倍の周波数（図7において 2GHz ）におけるインピーダンス Z_1 および Z_2 の特性を示している。三角形のプロットがインピーダンス Z_1 の値を示しており、四角のプロットがインピーダンス Z_2 の値を示しており、これらは 50Ω で正規化されている。当該スミスチャートから明らかなように、動作周波数の2倍の周波数においては、インピーダンス Z_1 および Z_2 が互いに異なる値であり、インピーダンス整合がとれていない。

さらに、図7の左側のスミスチャートおよび図7の右側のスミスチャートから明らかなように、動作周波数におけるインピーダンス Z_1 および Z_2 の値と、動作周波数の2倍の周波数におけるインピーダンス Z_1 および Z_2 の値は異なっている。

[0028] 次に、高周波増幅器1において、外部装置で制御することなく非線形歪の補償が可能である理由について説明する。

高周波増幅器が利用される無線通信システムでは、通信信号の歪みを周波数空間で解析した際に、周波数スペクトルにおける使用周波数帯域の低周波側と高周波側の周波数帯のノイズフロアが上昇している特性が観測されることがある。このノイズフロアが上昇して見えるものの正体は、IMD3（三次相互変調歪）をはじめとする、IMD5、IMD7、・・・といった相互変調歪が重ね合わさったものである。

[0029] 相互変調歪の中で最も信号レベルが高いものはIMD3であるため、以下では、高周波増幅器1でIMD3を低減することによる低歪み化について説明する。

IMD3を観測する方法の一つとして、二つの高周波信号（以下、2ト

ン信号と記載する。)を、高周波増幅器1の入力端子に印加するものがある。この方法では、2トーン信号の低周波側の周波数を F_L とし、高周波側の周波数を F_H とした場合に、IMD3を生じる周波数(以下、IMD3周波数と記載する。)は、 $F_L - (F_H - F_L)$ 、および $F_H + (F_H - F_L)$ である。

[0030] 図8A、図8B、図8Cおよび図8Dは、高周波増幅器1における、インピーダンスに対する、出力電力 P_{out} (各図の左側図)と、低周波側のIMD3周波数の位相 $IMD3L\ Phase$ (各図の右側図)とを、ロードプル計算で求めた結果を示すコンター図である。これらの結果は、高周波増幅器1の入力端子に2トーン信号が入力され、トランジスタ群2および4の電流源端において、動作周波数の2倍の周波数帯における負荷反射係数 $\angle \Gamma(2f_0)$ の振幅が1であり、位相角が -90 度、 0 度、 90 度および 180 度であるものとして、2トーンの2つの動作周波数と、IMD3周波数の低周波側と高周波側とについての4つの周波数における負荷インピーダンスが同一となるようにロードプル計算を行って得られたものである。

[0031] 図8A、図8B、図8Cおよび図8Dに示すように、出力が最大となるインピーダンスには、マーカM1およびM2が設定される。マーカM1およびM2が設定されたインピーダンスは、動作周波数の2倍の周波数帯における負荷反射係数 $\angle \Gamma(2f_0)$ の位相角によらず、同一のインピーダンスである。

一方、図8A、図8B、図8Cおよび図8Dの各右側図に示すIMD3周波数の位相での計算結果から明らかなように、動作周波数とIMD3周波数での負荷インピーダンスが同じであるにも関わらず、2倍の周波数の負荷位相によってトランジスタ群2および4で生成されるIMD3の信号(以下、IMD3信号と記載する。)の位相は変動する。

すなわち、トランジスタで生成されるIMD3信号の2倍波周波数の反射係数の位相角依存性は、高周波増幅器1においても生じる。具体的には、トランジスタ群2および4でそれぞれ生成されるIMD3信号の位相が同相で

はなくなる。この場合、高周波増幅器 1 においては、互いに異なる位相の I MD 3 信号が合成点 S でベクトル合成される。

[0032] 次に、異なる位相の I MD 3 の信号のベクトル合成について説明する。

図 9 A は、I MD 3 信号のベクトル合成例 (1) を示す図である。合成例 (1) は、トランジスタ群 2 で発生した I MD 3 信号を表す a ベクトルと、トランジスタ群 4 で発生した I MD 3 信号を表す b ベクトルとで位相角がほぼ同じ場合を示している。位相角がほぼ同じである場合、図 9 A に示すように、a ベクトルと b ベクトルとの合成ベクトルは、a ベクトルおよび b ベクトルよりも大きくなる。

[0033] 図 9 B は、I MD 3 信号のベクトル合成例 (2) を示す図である。合成例 (2) は、トランジスタ群 2 で発生した I MD 3 信号を表す a ベクトルと、トランジスタ群 4 で発生した I MD 3 信号を表す b ベクトルとで、位相角が大きく異なっている場合を示している。位相角が大きく異なる場合、図 9 B に示すように、a ベクトルと b ベクトルとの合成ベクトルは、a ベクトルおよび b ベクトルよりも小さくなる。

[0034] 合成例 (1) と合成例 (2) で合成ベクトルを比較することで、位相角の差が大きいと合成ベクトルに対応する信号の振幅が小さくなることがわかる。

合成点 S において、トランジスタ群 2 で発生した I MD 3 信号に対尾する a ベクトルとトランジスタ群 4 で発生した I MD 3 信号に対応する b ベクトルとで、位相角が異なり、a ベクトルと b ベクトルが合成例 (2) のようにベクトル合成される。

[0035] 例えば、特許文献 1 に記載される従来の増幅器では、動作周波数信号の位相と同様に、I MD 3 信号の位相が同相関係にある。これに対して、高周波増幅器 1 では、上述のように I MD 3 信号の位相は互いに異なる。このため、高周波増幅器 1 における I MD 3 信号の振幅は、従来の増幅器よりも小さいと言える。

[0036] さらに、アクティブインピーダンスの観点で考えると、異なる位相の進行

波が合成される場合は、インピーダンス不整合が生じる。インピーダンス不整合が生じると、IMD3信号の一部の成分が当該IMD3信号の発生源であるトランジスタに戻り、残りの成分が他方のトランジスタに印加される。この場合、トランジスタの電流源端のIMD3周波数でのアクティブインピーダンスは、整合回路により生成されるパッシブな負荷インピーダンスから変動する。換言すると、トランジスタ群2および4から見込んだIMD3周波数での負荷インピーダンスと動作周波数での負荷インピーダンスとが異なるものとなる。

[0037] 図10は、IMD3周波数での負荷インピーダンスのLP測定結果を、動作周波数での負荷インピーダンスで規格化したものがプロットされたスミスチャートである。図10に示すように、IMD3周波数の負荷インピーダンスと動作周波数での負荷インピーダンスとの差が大きいほど、トランジスタから出力されるIMD3信号の振幅が小さくなることがわかる。なお、この検証結果は、例えば、下記の参考文献に記載されている。

(参考文献)

“Effects of Load Impedances at Third Order Intermodulation Tones”,
EUMIC 2020.

[0038] 次に、IMD3信号の振幅が小さくなる理由について説明する。

図11Aは、従来の増幅器と高周波増幅器1における出力電力とIMD3信号の振幅との関係を示す特性図である。従来の増幅器は、特許文献1に記載され、IMD3信号の位相が同相関係にある。図11Aにおいて、特性Fは、従来の増幅器の特性であり、出力電力(dBm)とIMD3信号の振幅(dBc)との関係を示している。

また、特性Gは、高周波増幅器1の特性であり、出力電力(dBm)とIMD3信号の振幅(dBc)との関係を示している。

図11Aでは、従来の増幅器の特性Fと高周波増幅器1の特性Gとを、同じ出力電力で比較している。図11Aにおいて矢印で示すように、同じ出力

電力において、高周波増幅器 1 の IMD 3 信号の振幅 H 2 は、従来の増幅器の IMD 3 信号の振幅 H 1 より小さく、低歪みが実現されている。

[0039] 図 1 1 B は、従来の増幅器と高周波増幅器 1 における出力電力と IMD 3 信号の振幅と増幅器の効率との関係を示す特性図である。従来の増幅器は、IMD 3 信号の位相が同相関係にある。図 1 1 B において、特性 F は、図 1 1 A に示した従来の増幅器の出力電力 (dBm) と IMD 3 信号の振幅 (dBc) との関係を示している。特性 G は、図 1 1 A に示した高周波増幅器 1 の出力電力 (dBm) と IMD 3 信号の振幅 (dBc) との関係を示している。特性 I は、出力電力 (dBm) と効率との関係を示している。

図 1 1 B では、従来の増幅器の特性 F と高周波増幅器 1 の特性 G とを、IMD 3 信号の同じ振幅で比較している。図 1 1 B において矢印で示すように、IMD 3 信号の同じ振幅において、高周波増幅器 1 の出力電力は、従来の増幅器よりも高く、さらに、高い効率が実現されている。

[0040] 次に、先端短絡スタブ 5 A および 5 B の構造について説明する。

図 1 2 は、先端短絡スタブ 5 A および 5 B を示す回路図である。図 1 2 に示すように、先端短絡スタブ 5 A および 5 B は、整合回路 3 A 1 とキャパシタ 8 で構成されてもよい。整合回路 3 A 1 は、一方の端部が入力側整合回路と接続され、他方の端部がキャパシタ 8 に接続されているスタブ内整合回路である。キャパシタ 8 は、信号中の直流成分をカット（以下、DC カットと記載する。）するキャパシタであり、一方の端が整合回路 3 A 1 と接続され、他方の端部が接地されている。なお、整合回路 3 A 1 は、図 1 2 において MN と表記されている。

[0041] 先端短絡スタブ 5 A および 5 B が図 1 2 に示す構造である場合は、トランジスタ群 2 と先端短絡スタブ 5 A との間に、DC カットの専用回路を設ける必要がなく、トランジスタ群 4 と先端短絡スタブ 5 B との間に、DC カットの専用回路を設ける必要がない。このため、DC カットの専用回路に起因した回路損失が低減され、高周波増幅器 1 の高効率化を実現できる。さらに、整合回路 3 A 1 とキャパシタ 8 との間からトランジスタ群 2 および 4 に電源

供給することも可能である。

[0042] なお、実施の形態 1 に係る高周波増幅器は、図 1 に示した高周波増幅器 1 を二つ備えたものであってもよい。図 13 は、変形例である高周波増幅器 1 A の構成を示す回路図である。図 13 において、高周波増幅器 1 A は、非線形歪を補償する機能を有した増幅器であり、図 1 に示した高周波増幅器 1 を二つ備え、整合回路 9 を備える。整合回路 9 は、二つの高周波増幅器 1 の出力端子が入力側に接続されており、出力側には単一の出力端子 10 を有している。このように構成された高周波増幅器 1 A であっても、上記と同様の効果が得られる。なお、整合回路 9 は、図 13 において MN と表記されている。

[0043] 以上のように、実施の形態 1 に係る高周波増幅器 1 は、トランジスタ群 2 および 4 と、トランジスタ群 2 および 4 に接続された、互いに異なる整合回路 3 A および 3 C と、整合回路 3 A および 3 C に接続され、信号の高調波周波数でショートになる先端短絡スタブ 5 A および 5 B と、一方の端部が整合回路 3 A および 3 C と先端短絡スタブ 5 A および 5 B との接続点に接続され、他方の端部が合成点 S で接続された、互いに異なる整合回路 3 B および 3 D とを備える。整合回路 3 B および 3 D には、合成点 S からトランジスタ群 2 を見込んだインピーダンス Z_4 と、合成点 S からトランジスタ群 4 を見込んだインピーダンス Z_5 とが動作周波数帯で等しい回路定数が設定されている。これにより、高周波増幅器 1 は、合成点 S で相互変調歪みが低減されるので、外部装置で制御することなく非線形歪を補償することができ、非線形歪の補償に伴う低歪化および高効率化が実現される。専用の外部制御回路を含む外部装置による補償制御が不要であるため、高周波増幅器 1 は、小体積化、軽量化および低消費電力化が可能である。

[0044] 実施の形態 1 に係る高周波増幅器 1 において、先端短絡スタブ 5 A は、一方の端部が整合回路 3 A に接続された整合回路 3 A 1 と、一方の端部が整合回路 3 A 1 と接続され、他方の端部が接地され、信号に含まれる直流成分をカットするキャパシタ 8 からなる。これにより、高周波増幅器 1 は、DC カ

ットの専用回路に起因した回路損失が低減され、高効率化を実現できる。さらに、整合回路 3 A 1 とキャパシタ 8 との間からトランジスタ群 2 および 4 に電源供給することも可能である。

[0045] 実施の形態 2.

図 1 4 は、実施の形態 2 に係る高周波増幅器 1 A の構成を示すブロック図である。図 1 4 において、高周波増幅器 1 B は、非線形歪を補償する機能を有した増幅器であり、N 個の高周波増幅器 1 と整合回路 1 1 とを備える。整合回路 1 1 は、並列に配置された N 個の高周波増幅器 1 の出力端が一方の端部に接続され、他方の端部には単一の出力端子 1 2 を有する。なお、N は 2 以上の整数である。なお、整合回路 1 1 は、図 1 4 において MN と表記されている。

[0046] 一つの高周波増幅器 1 において、トランジスタ群 2 は、整合回路 3 A に接続する配線を有し、トランジスタ群 4 は、出力端を整合回路 3 C に接続する配線を有する。すなわち、トランジスタ群 2 および 4 は、二つの配線を有する。高周波増幅器 1 を、さらに高出力化するため、一つのトランジスタ群を多数のトランジスタで構成した場合、入力側整合回路に接続する配線に多数のトランジスタが接続されることになる。

このようにトランジスタが多数になると、その合成インピーダンスが小さくなり過ぎて整合回路を作れなくなる可能性がある。

[0047] そこで、高周波増幅器 1 B では、N 個の高周波増幅器 1 を並列に配置して整合回路 1 1 にそれぞれ接続している。これにより、個々の高周波増幅器 1 ではトランジスタを増やすことなく、N 個の高周波増幅器 1 を整合回路 1 1 に接続するための配線を、N 本に増やすことができる。このため、整合回路 1 1 は、N 個の高周波増幅器 1 からの信号の高調波整合が可能である。

[0048] また、トランジスタ群 2 および 4 が多数のトランジスタで構成される場合、特に、高い周波数領域において寄生発振が生じる可能性がある。これに対し、高周波増幅器 1 B は、個々の高周波増幅器 1 でトランジスタを増やすことなく、N 個の高周波増幅器 1 を一つの整合回路 1 1 に接続するので、寄生

発振を防止することができる。

[0049] 様々な無損失フィルタ技術を用いて、整合回路を広帯域化する技術が知られている。

例えば、広帯域増幅器に用いられる典型的な無損失フィルタとして、多段に接続された伝送線路で構成される整合回路を有するものがある。高周波増幅器 1 B においても、一つの高周波増幅器 1 に一段目の整合回路があり、整合回路 1 1 が二段目の整合回路となる。このため、これらの整合回路を用いた無損失フィルタを構成可能であり広帯域化することが可能である。

[0050] 以上のように、実施の形態 2 に係る高周波増幅器 1 B は、N 個の高周波増幅器 1 と、並列に配置された N 個の高周波増幅器 1 の出力端が一方の端部に接続され、他方の端部には単一の出力端子 1 2 を有した整合回路 1 1 とを備える。N 個の高周波増幅器 1 で増幅処理が行えるので、高周波増幅器 1 B は、実施の形態 1 で示した上記効果に加え、高出力化、高周波数化および広帯域化が可能である。

[0051] なお、各実施の形態の組み合わせまたは実施の形態のそれぞれの任意の構成要素の変形もしくは実施の形態のそれぞれ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

[0052] 本開示に係る高周波増幅器は、例えば、人工衛星等の通信用増幅器に利用可能である。

符号の説明

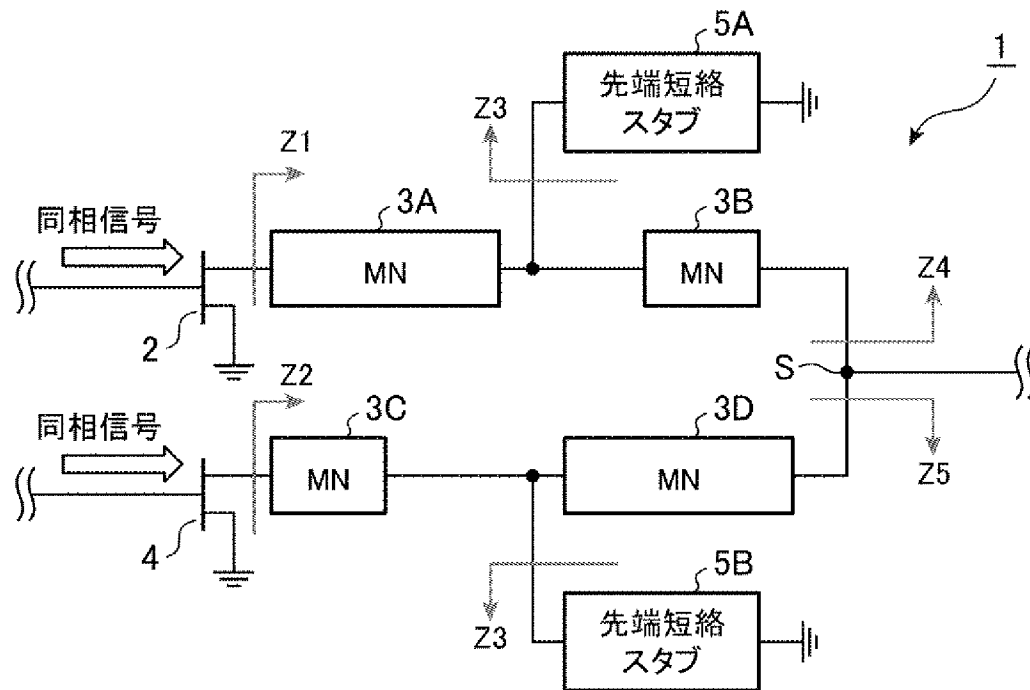
[0053] 1, 1 A, 1 B 高周波増幅器、2 トランジスタ群、3 A, 3 A 1, 3 B, 3 C, 3 D, 9, 1 1 整合回路、4 トランジスタ群、5 A, 5 B 先端短絡スタブ、6, 7 トランジスタ、8 キャパシタ、1 0, 1 2 出力端子。

請求の範囲

- [請求項1] 一つまたは複数のトランジスタでそれぞれが構成され、同相の信号が分配される複数のトランジスタ群と、
- 複数の前記トランジスタ群にそれぞれ接続された、互いに異なる複数の入力側整合回路と、
- 複数の前記入力側整合回路のそれぞれに接続され、複数の前記トランジスタ群から出力される信号の高調波周波数でショートになる複数の並列回路と、
- 一方の端部が前記入力側整合回路と前記並列回路との接続点に接続され、他方の端部が互いに接続された、互いに異なる複数の出力側整合回路と、を備え、
- 複数の前記出力側整合回路には、前記出力側整合回路間の接続点から前記トランジスタ群を見込んだインピーダンスが動作周波数帯で等しい回路定数が設定されている
- ことを特徴とする高周波増幅器。
- [請求項2] 前記並列回路は、前記信号の2倍波でショートになる複数の先端短絡スタブである
- ことを特徴とする請求項1に記載の高周波増幅器。
- [請求項3] 前記先端短絡スタブは、
- 一方の端部が前記入力側整合回路に接続されたスタブ内整合回路と、
- 一方の端部が前記スタブ内整合回路の他方の端部と接続され、他方の端部が接地され、前記信号に含まれる直流成分をカットするキャパシタと、からなる
- ことを特徴とする請求項2に記載の高周波増幅器。
- [請求項4] 請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の複数の高周波増幅器と、
- 並列に配置された複数の高周波増幅器の出力端が一方の端部に接続

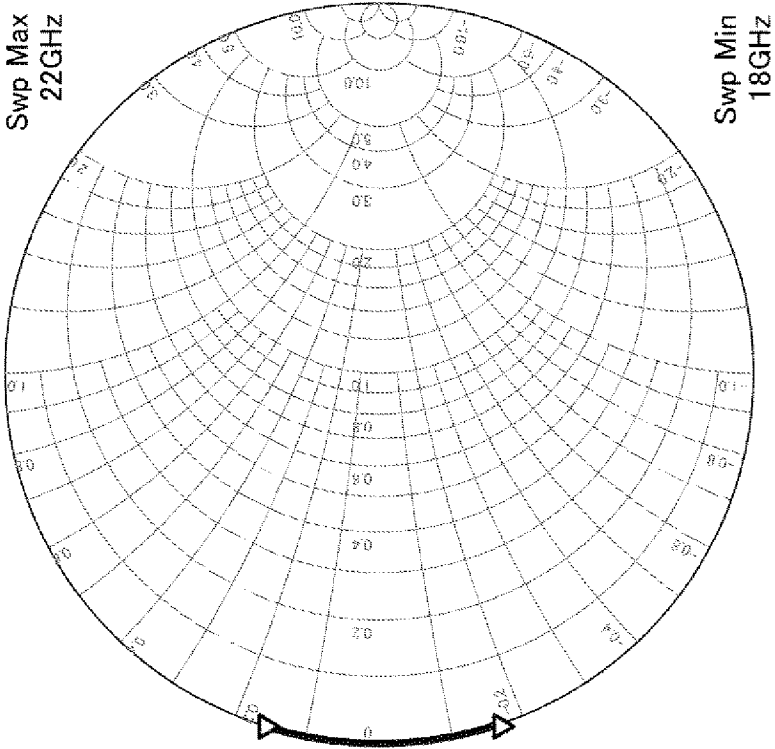
され、他方の端部には単一の出力端子を有した整合回路と、を備えたことを特徴とする高周波増幅器。

[図1]

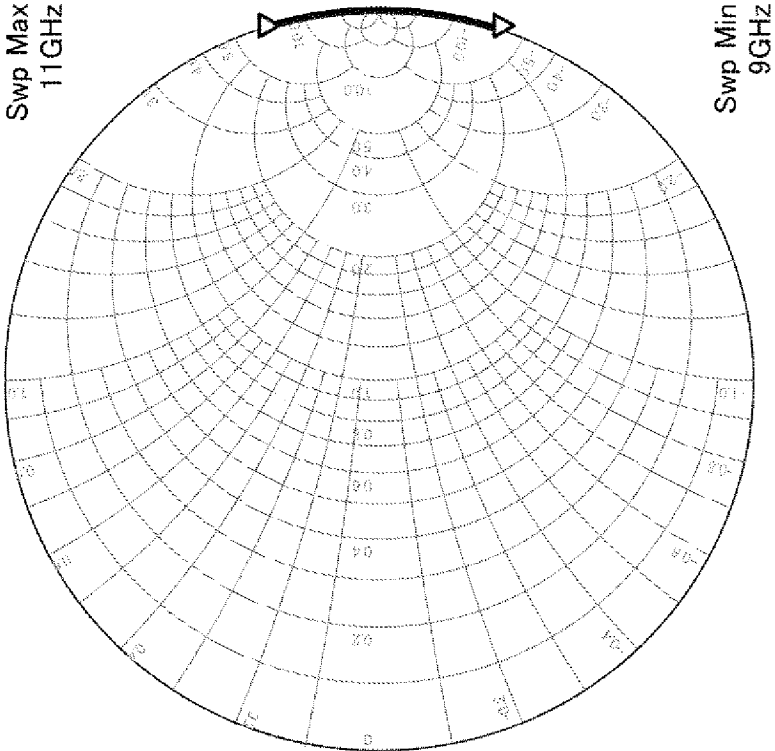


[図2]

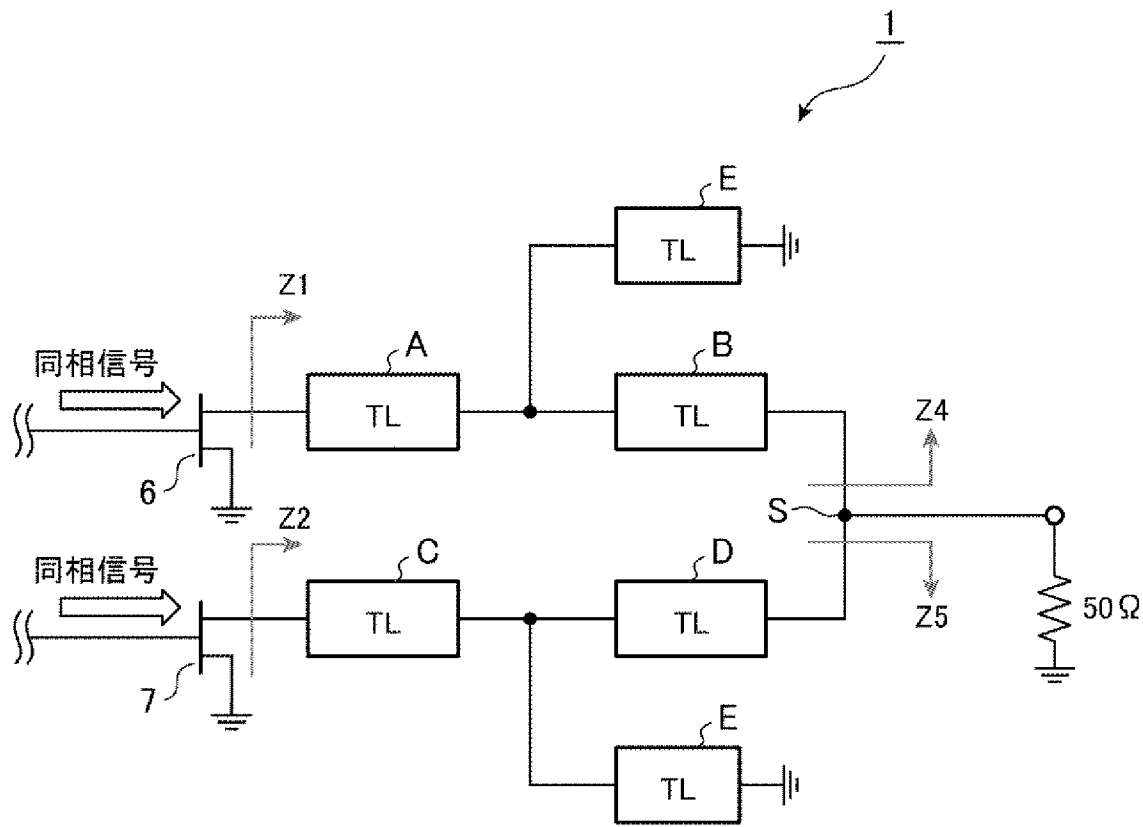
動作周波数の2倍の周波数帯



動作周波数帯



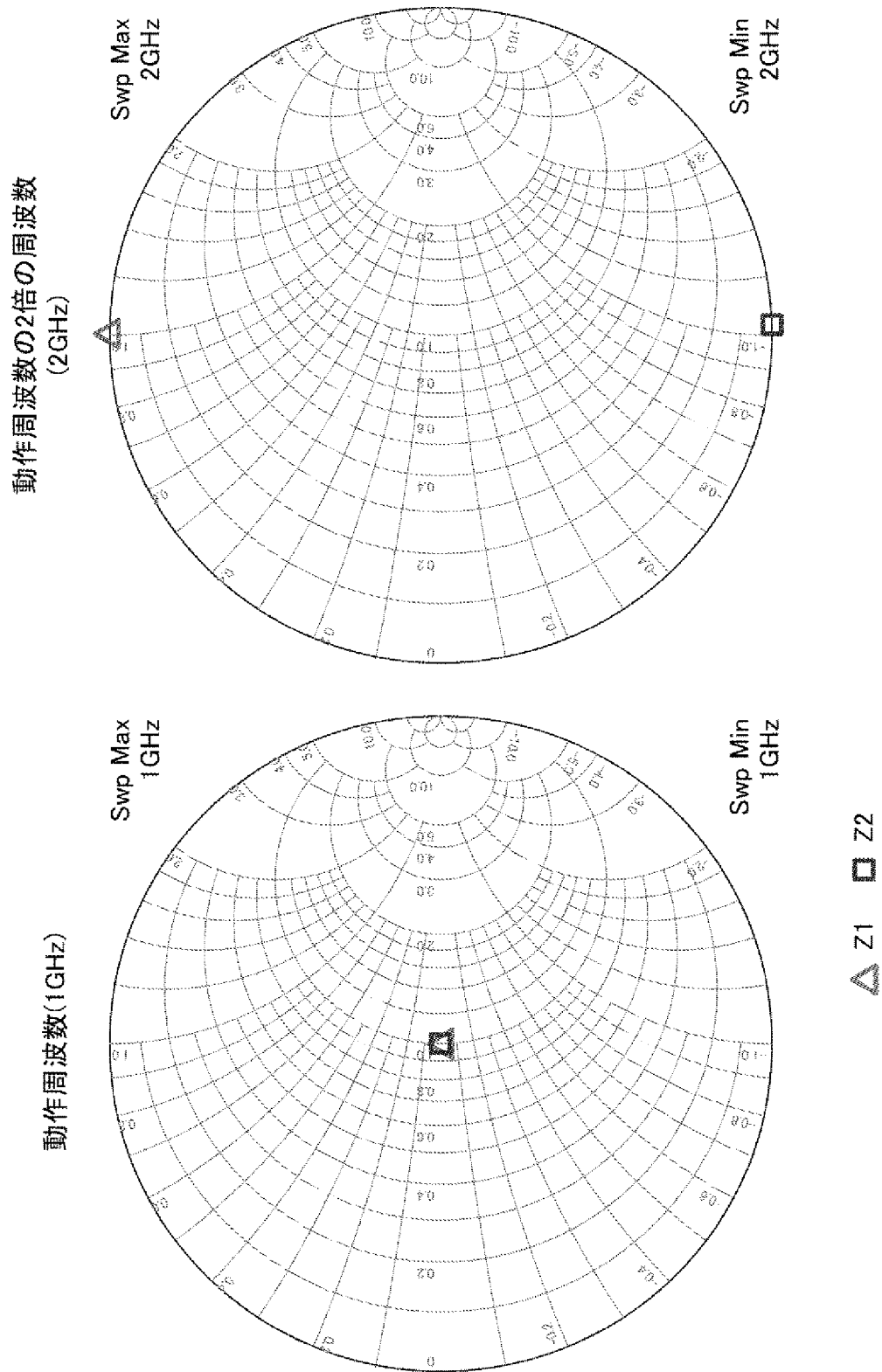
[図5]



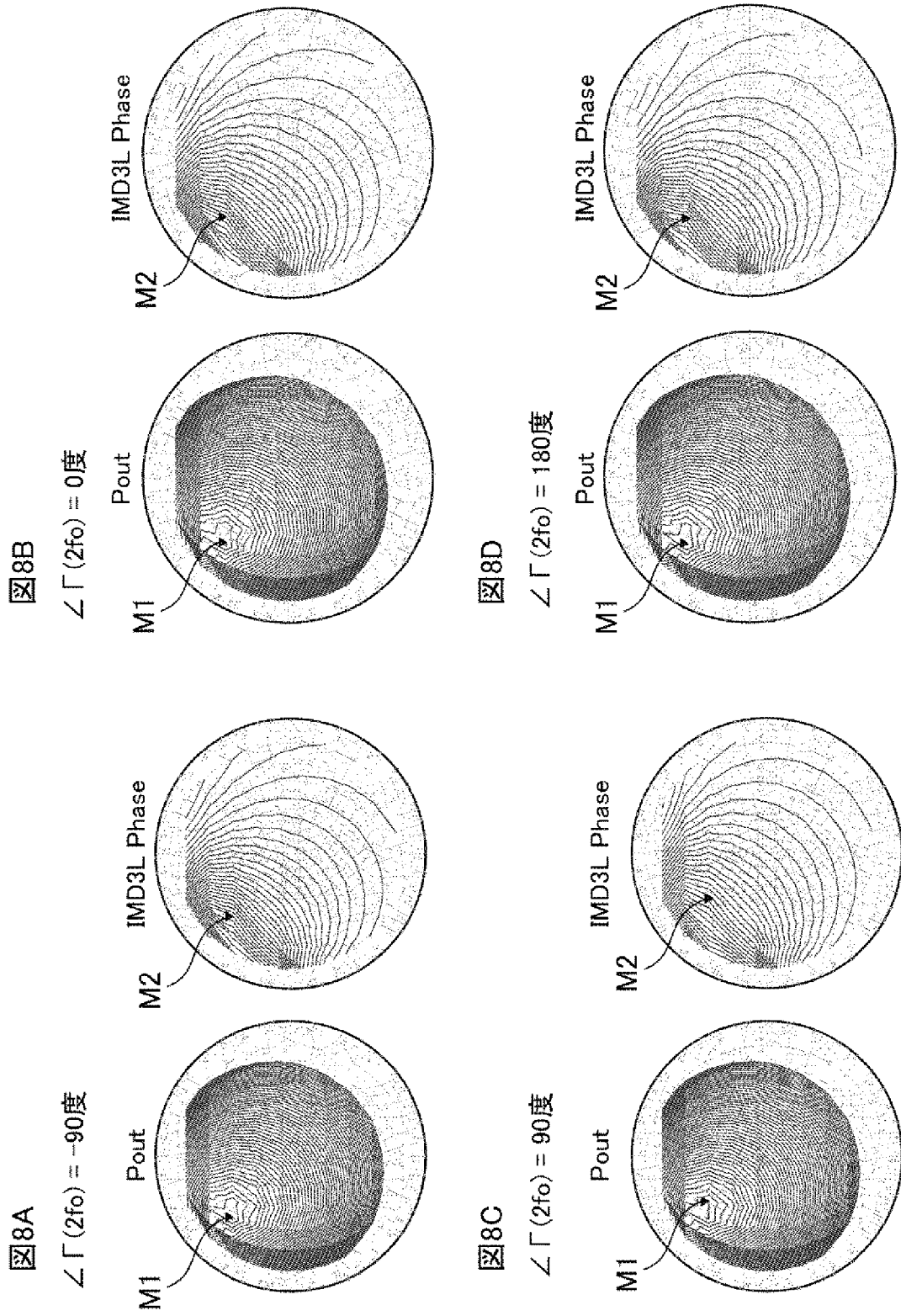
[図6]

線路名	特性インピーダンス(Ω)	電気長(度)
伝送線路A	70.7	17.5
伝送線路B	70.7	72.5
伝送線路C	70.7	72
伝送線路D	70.7	18
伝送線路E	70.7	90

[図7]



[図8]



[図9]

図9B

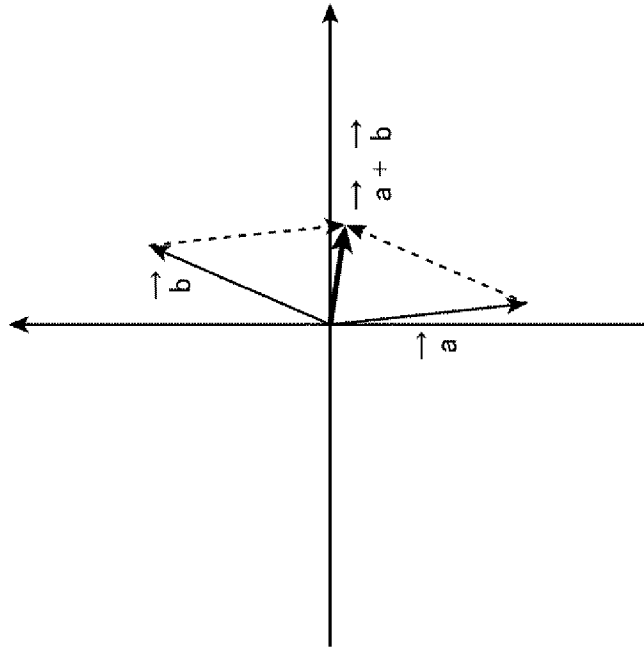
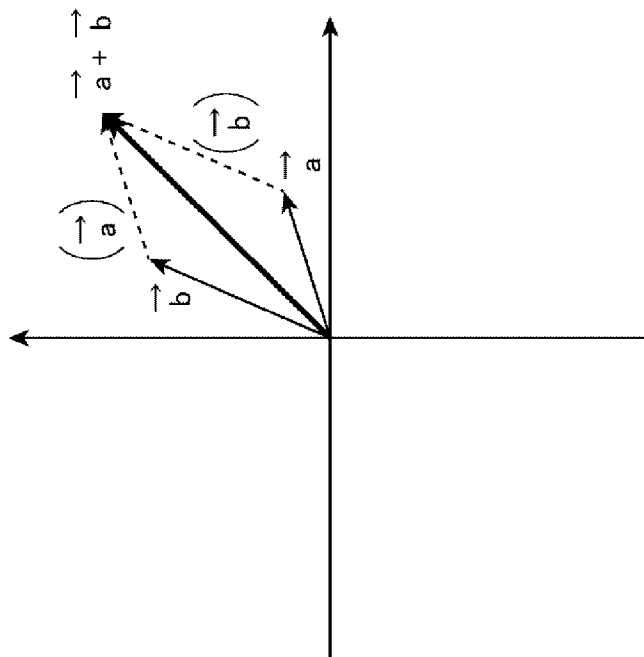
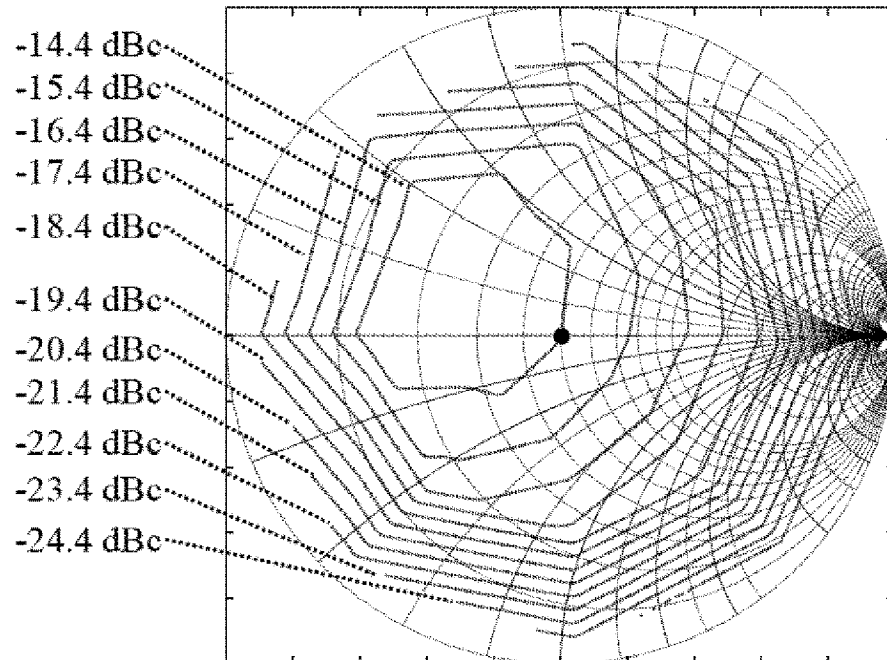


図9A



[図10]



[図11]

図11B

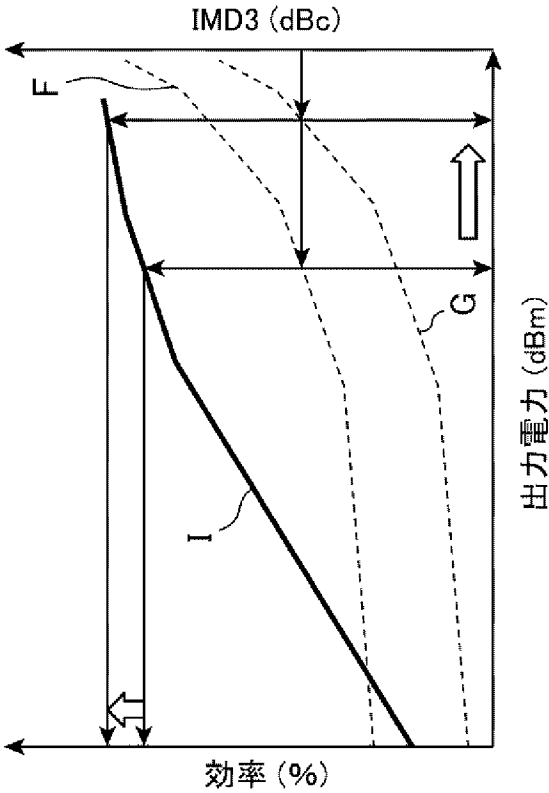
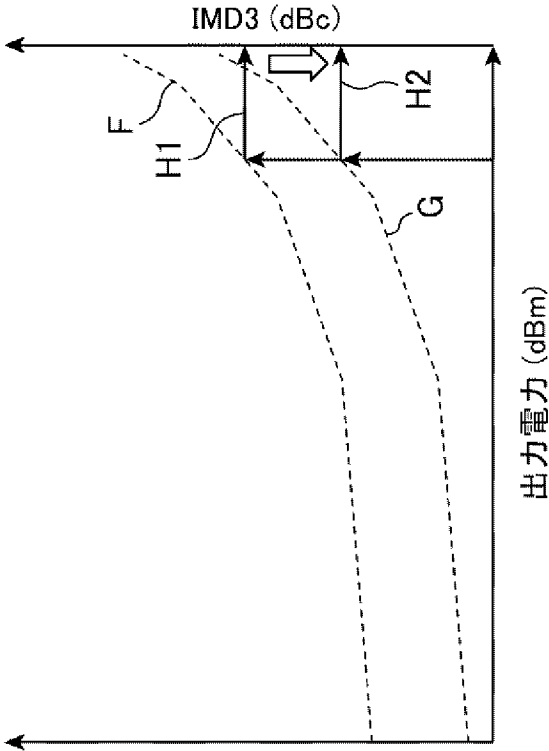
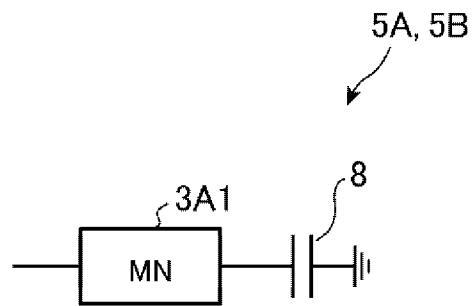


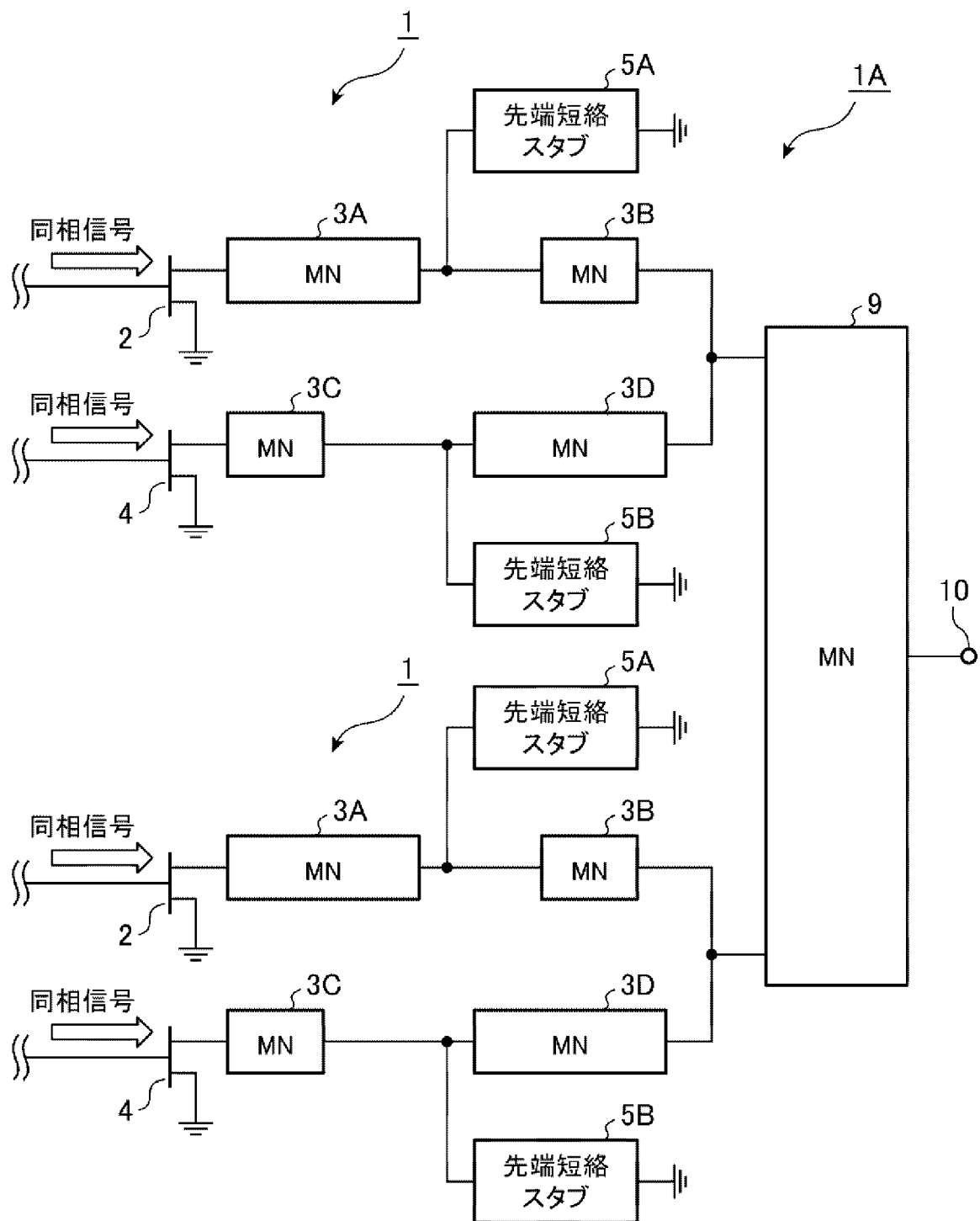
図11A



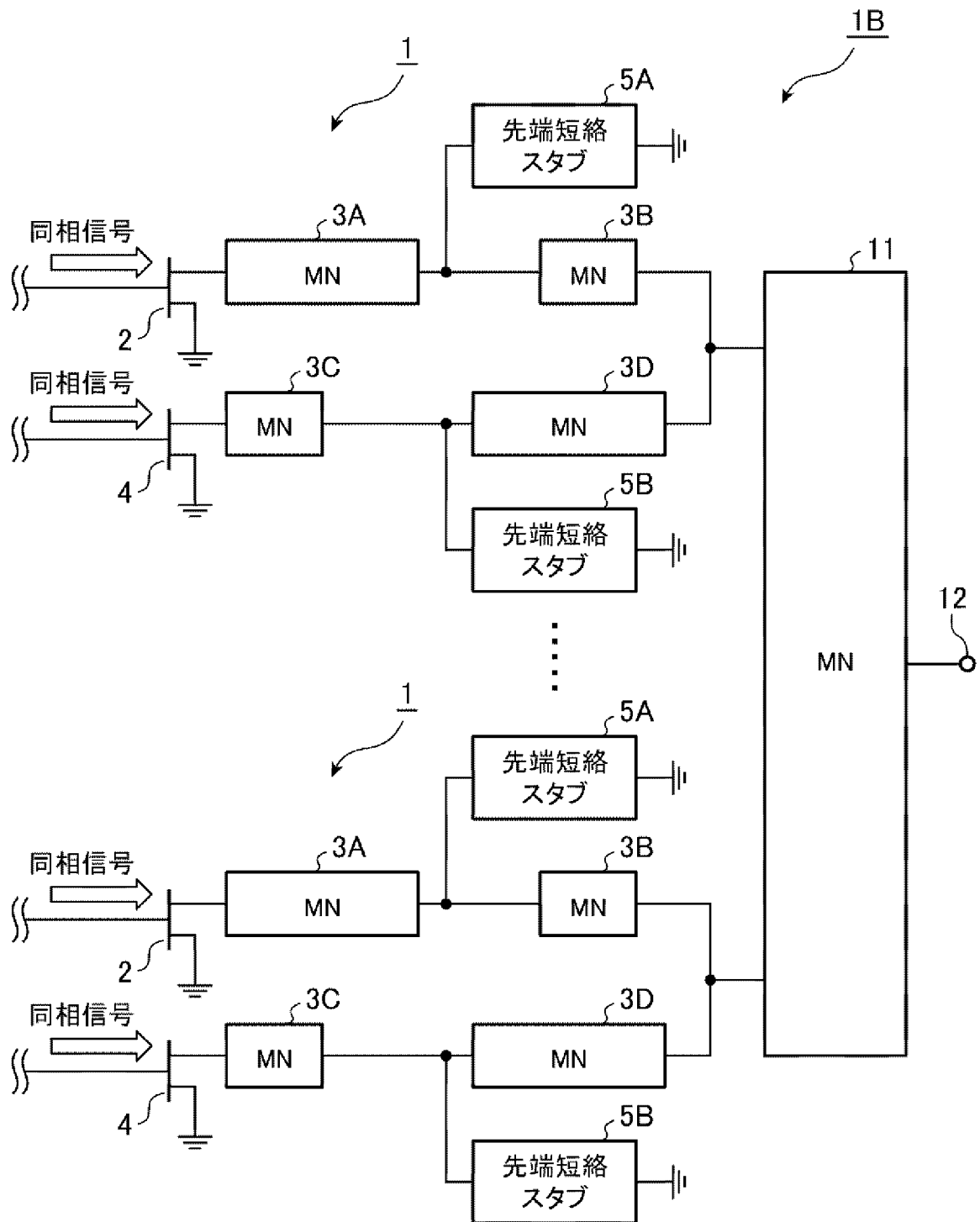
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/020579

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H03F 3/68**(2006.01)i; **H03F 1/02**(2006.01)i; **H03F 1/32**(2006.01)i; **H03F 3/19**(2006.01)i

FI: H03F3/68 220; H03F3/19; H03F1/02 188; H03F1/32

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)

H03F3/68; H03F1/02; H03F1/32; H03F3/19

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-311300 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 09 November 2006 (2006-11-09) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2011-30069 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 10 February 2011 (2011-02-10) entire text, all drawings	1-4
A	JP 2002-368553 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 20 December 2002 (2002-12-20) entire text, all drawings	1-4
A	JP 63-153904 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 27 June 1988 (1988-06-27) entire text, all drawings	1-4

☐ 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

01 August 2023

Date of mailing of the international search report

15 August 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/020579

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2006-311300	A	09 November 2006	(Family: none)	
JP	2011-30069	A	10 February 2011	(Family: none)	
JP	2002-368553	A	20 December 2002	US 2002/0186088	A1
				entire text, all drawings	
				DE 10158791	A1
				KR 10-2002-0095035	A
				CN 1391354	A
JP	63-153904	A	27 June 1988	US 4772856	A
				entire text, all drawings	
				EP 255652	A2

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H03F 3/68(2006.01)i; H03F 1/02(2006.01)i; H03F 1/32(2006.01)i; H03F 3/19(2006.01)i FI: H03F3/68 220; H03F3/19; H03F1/02 188; H03F1/32										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H03F3/68; H03F1/02; H03F1/32; H03F3/19										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの										
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2023年									
日本国実用新案登録公報	1996-2023年									
日本国登録実用新案公報	1994-2023年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
A	JP 2006-311300 A（三菱電機株式会社）09.11.2006（2006-11-09） 全文、全図	1-4								
A	JP 2011-30069 A（三菱電機株式会社）10.02.2011（2011-02-10） 全文、全図	1-4								
A	JP 2002-368553 A（三菱電機株式会社）20.12.2002（2002-12-20） 全文、全図	1-4								
A	JP 63-153904 A（日本電信電話株式会社）27.06.1988（1988-06-27） 全文、全図	1-4								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 </td> <td> “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 01.08.2023	国際調査報告の発送日 15.08.2023									
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 及川 尚人 5W 5888 電話番号 03-3581-1101 内線 3576									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/020579

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2006-311300	A	09.11.2006	(ファミリーなし)	
JP	2011-30069	A	10.02.2011	(ファミリーなし)	
JP	2002-368553	A	20.12.2002	US 2002/0186088	A1
				全文, 全図	
				DE 10158791	A1
				KR 10-2002-0095035	A
				CN 1391354	A
JP	63-153904	A	27.06.1988	US 4772856	A
				全文, 全図	
				EP 255652	A2