

(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
2019年6月20日(20.06.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/116647 A1

(51) 国際特許分類:
H03B 5/08 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/032801

(22) 国際出願日: 2018年9月5日(05.09.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2017-236992 2017年12月11日(11.12.2017) JP

(71) 出願人: ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 竹内 秀 倫 (TAKEUCHI, Hidenori); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1

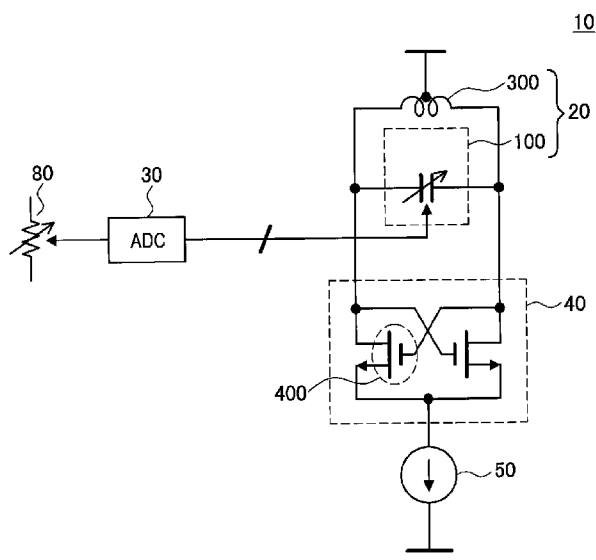
号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 岡信 大和(OKANOBU, Taiwa); 〒1140024 東京都北区西ヶ原一丁目8-3 Tokyo (JP). 有坂 直也(ARISAKA, Naoya); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 富山 均(TOMIYAMA, Hitoshi); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 亀谷 美明, 外 (KAMEYA, Yoshiaki et al.); 〒1600004 東京都新宿区四谷3-1-3 第一富澤ビル はづき国際特許事務所四谷オフィス 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,

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR DEVICE AND WIRELESS COMMUNICATION DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置及び無線通信装置



(57) **Abstract:** [Problem] To provide a semiconductor device and a wireless communication device, wherein manufacturing costs and power consumption can be suppressed while maintaining manual operability. [Solution] Provided is a semiconductor device provided with: an oscillation circuit including a plurality of capacitors arranged on a semiconductor substrate; a conversion circuit that converts an analog signal into a digital signal; and a switching circuit that switches the capacitors on the basis of the digital signal, wherein the oscillation frequency varies linearly with changes in the analog signal.



WO 2019/116647 A1

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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: 【課題】手動による操作性を維持しつつ、製造コストや消費電力を抑えることが可能な半導体装置及び無線通信装置を提供する。 【解決手段】半導体基板上に設けられた複数のキャパシタを含む発振回路と、アナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路と、前記デジタル信号に基づいて前記キャパシタを切り替えるスイッチ回路とを備え、前記アナログ信号の変化に対して線形的に発振周波数が変化する半導体装置を提供する。

明 細 書

発明の名称：半導体装置及び無線通信装置

技術分野

[0001] 本開示は、半導体装置及び無線通信装置に関する。

背景技術

[0002] ラジオ受信機においては、高周波であるラジオ信号をRF (Radio Frequency) 増幅器で増幅し、増幅したラジオ信号をミキサ回路で低い周波数を持つIF (Intermediate Frequency) 信号に変換し、変換したIF信号を用いて復調器で復調することにより音声信号を得ることができる。高周波のラジオ信号をIF信号に変換する周波数変換は、上記ミキサ回路において、ラジオ信号の持つ入力周波数とIF信号の周波数との和に相当する周波数を持つ局部発振信号とラジオ信号とを掛け算することにより、行うことができる。

[0003] そこで、局部発振信号の周波数を精度よく、且つ、安定的に制御するために、ラジオ受信機には、局部発振信号の周波数の制御を行うPLL (Phase Locked Loop) シンセサイザが設けられている場合がある。PLLシンセサイザは、フィードバックを行うことで、固定された周波数を持つ信号を発振する水晶発振器からの信号の位相と一致させることにより、所望の周波数を持つ局部発振信号を、精度良く、且つ、安定的に得ることができる。また、ラジオ受信機は、PLLシンセサイザを用いることにより、精度良く、且つ、安定的に、所望の周波数を持つ局部発振信号を得ることができるだけでなく、1個の水晶発振器だけで、異なる周波数を持つ複数種の局部発振信号を得ることができる。例えば、PLLシンセサイザを利用した回路構成としては、下記特許文献1を挙げることができる。

[0004] しかしながら、ラジオ受信機において、上述のようなPLLシンセサイザを設けた場合には、位相比較器等の様々な回路ブロックや部品が必要とされることから、製造コストが増加し、さらには消費電力の増加を招くこととな

る。そこで、製造コストや消費電力の増加を抑えるために、上述のようなPLLシンセサイザではなく、バリアブルコンデンサが設けられたラジオ受信機がある。バリアブルコンデンサは、ユーザの手動によって静電容量値を変化させることができる機械部品である。従って、ラジオ受信機において、バリアブルコンデンサを、局部発振信号を生成する発振器に設けることにより、静電容量の変化に応じて、局部発振信号の周波数を線形的に、且つ、連続的に変化させることができる。このようなバリアブルコンデンサを用いたラジオ受信機は、局部発振信号の周波数の制御の精度がPLLシンセサイザを用いた場合に比べて劣るものの、製造コストや消費電力の増加を抑えることができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第5668082号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、近年、バリアブルコンデンサの生産量が減少し、その結果、バリアブルコンデンサの値段が上昇傾向にある。従って、ラジオ受信機においては、ラジオ放送の選局の際のユーザの手動による操作性を維持しつつ、製造コストや消費電力を抑えることが難しくなっている。このような状況において、手動による操作性を維持しつつ、製造コストや消費電力を抑えるために、ラジオ受信機に搭載するための新たな発振回路（発振器）が設けられた半導体装置が求められていた。

[0007] そこで、本開示では、手動による操作性を維持しつつ、製造コストや消費電力を抑えることが可能な、新規、且つ、改良された半導体装置及び無線通信装置を提案する。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示によれば、半導体基板上に設けられた複数のキャパシタを含む発振

回路と、アナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路と、前記デジタル信号に基づいて前記キャパシタを切り替えるスイッチ回路と、を備え、前記アナログ信号の変化に対して線形的に発振周波数が変化する、半導体装置が提供される。

[0009] また、本開示によれば、半導体基板上に設けられた複数のキャパシタを含む発振回路と、アナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路と、前記デジタル信号に基づいて前記キャパシタを切り替えるスイッチ回路と、を有し、前記アナログ信号の変化に対して線形的に発振周波数が変化する、半導体装置を搭載する無線通信装置が提供される。

発明の効果

[0010] 以上説明したように本開示によれば、手動による操作性を維持しつつ、製造コストや消費電力を抑えることが可能な半導体装置及び無線通信装置を提供することができる。

[0011] なお、上記の効果は必ずしも限定的なものではなく、上記の効果とともに、または上記の効果に代えて、本明細書に示されたいずれかの効果、または本明細書から把握され得る他の効果が奏されてもよい。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本開示の第1の実施形態に係る発振器10の構成を概略的に示す回路図である。

[図2]同実施形態の変形例に係る発振器10aの構成を概略的に示す回路図である。

[図3]同実施形態に係る容量バンク100の構成を概略的に示す回路図である。

[図4]同実施形態に係る発振器10の発振周波数の変化の一例を示すグラフである。

[図5]本開示の第2の実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図（その1）である。

[図6]同実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図（その2）

である。

[図7]同実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図（その3）である。

[図8]同実施形態に係る周波数の制御方法における容量値の変化の一例を説明する説明図（その1）である。

[図9]同実施形態に係る周波数の制御方法における発振周波数の変化の一例を説明する説明図（その1）である。

[図10]同実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図（その4）である。

[図11]同実施形態に係る周波数の制御方法における容量値の変化の一例を説明する説明図（その2）である。

[図12]同実施形態に係る周波数の制御方法における発振周波数の変化の一例を説明する説明図（その2）である。

[図13]本開示の第3の実施形態に係る容量バンク100aの構成を概略的に示す回路図である。

[図14]同実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図である。

[図15]本開示の第4の実施形態に係るキャパシタ102の構成例を概略的に示すレイアウト図である。

[図16]同実施形態に係る発振器10の構成例を概略的に示すレイアウト図である。

[図17]本開示の第5の実施形態に係るラジオ受信機60の構成を概略的に示す回路図である。

[図18]本開示の第6の実施形態に係る局部発振信号生成部70の構成を概略的に示す回路図である。

[図19]同実施形態に係る局部発振信号生成部70における分周を説明するための説明図である。

[図20]同実施形態に係る局部発振信号生成部70の周波数の変化の一例を示すグラフ（その1）である。

[図21]同実施形態に係る局部発振信号生成部70の周波数の変化の一例を示すグラフ（その2）である。

[図22]比較例に係るラジオ受信機60aの構成例を概略的に示す回路図である。

[図23]比較例に係るラジオ受信機60bの構成例を概略的に示す回路図である。

[図24]バリアブルコンデンサ602の回転角度に対する容量値の変化の一例を示すグラフである。

[図25]比較例に係る周波数の制御方法を説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0014] また、本明細書および図面において、実質的に同一または類似の機能構成を有する複数の構成要素を、同一の符号の後に異なる数字を付して区別する場合がある。ただし、実質的に同一または類似の機能構成を有する複数の構成要素の各々を特に区別する必要がない場合、同一符号のみを付する。また、異なる実施形態の類似する構成要素については、同一の符号の後に異なるアルファベットを付して区別する場合がある。ただし、類似する構成要素の各々を特に区別する必要がない場合、同一符号のみを付する。

[0015] さらに、以下の回路構成の説明の際には、特段のことわりがない限りは、「接続」とは、複数の要素の間を電氣的に接続することを意味する。さらに、以下の説明における「接続」には、複数の要素を直接的に、且つ、電氣的に接続する場合だけでなく、他の要素を介して間接的に、且つ、電氣的に接続する場合も含む。また、以下の説明において、「直列に接続する」とは、複数の要素を一行に連なるように接続することを意味し、「並列に接続する」とは、各要素の有する2つの端子をそれぞれ互いに接続することを意味す

る。例えば、A端子とB端子とを有する2つの要素がある場合には、一方の要素のB端子と、他方の要素のA端子を接続した場合には、直列に接続した状態と呼び、2つの要素の、A端子同士を接続し、且つ、B端子同士を接続した場合には、並列に接続した状態と呼ぶ。

[0016] また、以下の説明で参照されるレイアウト図は、本開示の一実施形態の説明とその理解を促すための図面であり、わかりやすくするために、図中に示される形状や寸法、比などは実際と異なる場合がある。さらに、図中に示される各素子の形状等は、以下の説明と公知の技術を参酌して適宜、設計変更することができる。

[0017] なお、説明は以下の順序で行うものとする。

1. 本発明者らが本開示に係る実施形態を創作するに至る背景
2. 第1の実施形態
3. 第2の実施形態
 3. 1 比較例
 3. 2 本実施形態1
 3. 3 本実施形態2
4. 第3の実施形態
 4. 1 容量バンク100aの構成
 4. 2 周波数の制御方法
5. 第4の実施形態
6. 第5の実施形態
 6. 1 ラジオ受信機60の構成
 6. 2 局部発振信号生成部70の構成
7. まとめ
8. 補足

[0018] <<1. 本発明者らが本開示に係る実施形態を創作するに至る背景>>

以下に説明する本開示の実施形態は、ラジオ受信機に使用することができる発振器、発振器を有する局部発振信号生成部、及び、これらを有するラジ

オ受信機に関するものである。しかしながら、以下に説明する本開示の実施形態に係る発振器は、ラジオ受信機に使用することに限定されるものではなく、様々な無線通信装置において使用することができる。

[0019] まずは、本開示に係る実施形態の詳細を説明する前に、本発明者らが本開示に係る実施形態を創作するに至る背景について、図22から図24を参照して説明する。図22及び図23は、比較例に係るラジオ受信機60a、60bの構成例を概略的に示す回路図である。また、図24は、バリャブルコンデンサ602の回転角度に対する容量値の変化の一例を示すグラフである。なお、ここで比較例とは、本発明者らが、本開示に係る実施形態を創作するまで検討を続けていたラジオ受信機及びバリャブルコンデンサ等のことを意味する。

[0020] ラジオ受信機60aにおいては、例えば、図22に示すように、AM (Amplitude Modulation) 又はFM (Frequency Modulation) といった変調のかかった高周波であるラジオ信号をRF増幅器702で増幅し、増幅したラジオ信号をミキサ回路704で低い周波数を持つIF信号に変換する。さらに、ラジオ受信機60aにおいては、変換されたIF信号を、バンドパスフィルタ718によって不要な信号を除去し、IF増幅器720で増幅した後、復調器722で復調することにより音声信号を得ることができる。先に説明したように、高周波のラジオ信号をIF信号に変換する周波数変換は、上記ミキサ回路704において、ラジオ信号の持つ入力周波数とIF信号の周波数との和に相当する周波数を持つ局部発振信号とラジオ信号とを掛け算することにより、行うことができる。

[0021] 局部発振信号は、ラジオ信号が持つ帯域全体をカバーするために、広帯域な周波数を持つことが求められ、従って、局部発振信号を生成する発振器90aは、発振信号の周波数を大きく変化させることができることが求められる。例えば、このような発振器90aとしては、図23に示すような、インダクタ300、可変容量502及び負性抵抗回路40が並列に接続された構

成を挙げることができる。当該発振器 90 a において、インダクタ 300 のインダクタンス値を L とし、可変容量 502 の容量値を C とした場合には、発振器 90 a で生成される発振信号の周波数 F は、以下の数式 (1) によって示すことができる。

[0022] [数1]

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

[0023] そして、可変容量 502 の容量値を変化させることにより、発振器 90 a は、発振信号の周波数を大きく変化させることができることから、局部発振信号は、ラジオ信号が持つ帯域全体をカバーする広帯域な周波数を持つことができる。

[0024] 詳細には、ラジオ受信機 60 a は、上述のようにして発振器 90 a の発振信号の周波数を変化させて、所望のラジオ局に係るラジオ信号の周波数に同調することにより、所望のラジオ局の放送を選局することができる。この際、ラジオ受信機 60 a は、所望のラジオ局に係るラジオ信号の周波数に高精度に同調しなければ、正しく選局を行うことができない。従って、ラジオ受信機 60 a においては、局部発振信号の周波数を精度よく変化させることが求められる。

[0025] より具体的には、比較例におけるラジオ受信機 60 a は、図 22 に示すように、入力電圧に応じて容量値が変化する可変容量 502 を含む電圧制御型発振器 90 a を有する。さらに、当該ラジオ受信機 60 a は、水晶発振器 706 で生成された基準信号の周波数の精度を利用して発振信号の周波数を高い精度で制御する PLL シンセサイザ 716 を有する。PLL シンセサイザ 716 は、発振器 90 a の他に、位相比較器 708、分周器 710、チャージポンプ 712 及びループフィルタ 714 等で構成される。PLL シンセサイザ 716 は、固定された周波数を持つ信号を発振する水晶発振器 706 からの信号と、発振器 90 a からの発振信号を分周した信号とを位相比較器 708 に入力して互いの位相を比較し、位相を一致させるように発振器 90 a

にフィードバックをかける。このようにすることで、ラジオ受信機 60a は、所望の周波数を持つ発振信号を、精度良く、且つ、安定的に得ることができる。また、ラジオ受信機 60a においては、上記分周器 710 による分周数を変化させることにより、発振信号の周波数を変化させることができ、発振信号は、ラジオ信号が持つ帯域全体をカバーする広帯域な周波数を持つことができる。従って、発振器 90a が生成する発振信号の周波数は、水晶発振器 706 が発信する基準信号の周波数の整数倍になるように設定されている。

[0026] しかしながら、図 22 に示すように、ラジオ受信機 60a において PLL シンセサイザ 716 を設けた場合には、入力電圧に応じて周波数が増加する電圧制御型発振器 90a 以外に、基準信号を生成する水晶発振器 706、位相比較器 708、分周器 710、チャージポンプ 712 及びループフィルタ 714 等が必要である。さらに、当該ラジオ受信機 60a においては、制御用のマイコン（図示省略）や液晶による表示部（図示省略）等も必要となる。そのため、図 22 に示す比較例に係るラジオ受信機 60a は、所望の周波数を持つ発振信号を、精度良く、且つ、安定的に得ることができるが、様々な回路ブロックが必要とされることから、製造コストが増加し、さらには消費電力の増加を招くこととなる。

[0027] そこで、災害時に使用するような緊急用ラジオ受信機といった、安価で、且つ、乾電池等による長時間動作が必要な低消費電力のラジオ受信機 60b においては、上述のような PLL シンセサイザ 716 を使用しないものがある。詳細には、図 23 に示すように、ラジオ受信機 60b においては、PLL シンセサイザ 716 を使用しないかわりに、発振器 90b に、ユーザの手動によって機械的に静電容量値を変化させることができるバリアブルコンデンサ 602 が含まれている。

[0028] バリアブルコンデンサ 602 は、例えば、電極対の一方を回転させることにより、電極対が対向する面積を変化させて、静電容量値を変化させることができる。具体的には、図 24 に示すように、バリアブルコンデンサ 602

の電極対の一方を回転させることにより、バリャブルコンデンサ 602 の静電容量値を連続的に変化させることができる。バリャブルコンデンサ 602 における回転角と静電容量との関係を、図 24 に示すような曲線的なものとすることにより、ユーザの手動による回転角度に対して、発振器 90a によって生成される発振信号の周波数を線形的に変化させることができる。従って、ラジオ受信機 60b においては、ユーザの手動に応じて、発振信号の周波数を線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で変化させることができる。従って、ラジオ受信機 60b は、発振信号の周波数の制御の精度が PLL シンセサイザ 716 を用いた場合に比べて劣るものの、ラジオ放送の選局の際にユーザの手動による直接的な操作が可能であり、製造コストや消費電力の増加を抑えることができる。

[0029] しかしながら、先に説明したように、近年、バリャブルコンデンサ 602 の生産量が減少し、その結果、バリャブルコンデンサ 602 の値段が上昇傾向にある。従って、安価で、且つ、低消費電力が求められるラジオ受信機 60b においては、バリャブルコンデンサ 602 を他の部品に置き換えることが求められていた。置き換える他の部品としては、様々な部品を想定することができるが、製造コストの上昇をより抑えるために、ラジオ受信機 60b の他の回路ブロックと同様に半導体チップ（半導体装置）上に作ることができる部品であればより好ましい。

[0030] そこで、本発明者らは、上述のような状況を鑑みて、バリャブルコンデンサ 602 を使用したラジオ受信機 60b と同様に、ユーザの手動に応じて、発振信号の周波数を線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で変化させることができるような、手動による操作性を維持しつつ、製造コストや消費電力を抑えることが可能な、本開示の実施形態を創作するに至った。

[0031] 詳細には、本発明者らが創作した本開示の実施形態は、バリャブルコンデンサ 602 のような半導体チップの外部に設けられる機械部品ではなく、当該半導体チップ上に設けられたキャパシタを用いた発振器である。本実施形態においては、当該キャパシタの静電容量値は、ユーザから入力されたアナ

ログ信号である発振周波数制御用の入力電圧をデジタル信号に変換し、変換されたデジタル信号によって切り替えられる。このように、発振器に含まれるキャパシタの静電容量値を切り替えることにより、入力電圧に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で変化する周波数を持つ発振信号を得ることができる。従って、本実施形態に係る発振器によれば、手動による操作性を維持しつつ、製造コストや消費電力を抑えることができる。以下に、本発明者ら創作した本開示の各実施形態の詳細を順次説明する。

[0032] << 2. 第 1 の実施形態 >>

まずは、図 1 及び図 2 を参照して、本開示の第 1 の実施形態の詳細について説明する。図 1 は、本開示の第 1 の実施形態に係る発振器 10 の構成を概略的に示す回路図であり、図 2 は、本実施形態の変形例に係る発振器 10a の構成を概略的に示す回路図である。

[0033] 図 1 に示すように、本実施形態に係る発振器 10 は、複数のキャパシタ（小キャパシタ）102（図 3 参照）からなる容量バンク（キャパシタ）100 と、インダクタ 300 とで構成される LC 発振器（発振回路）20 と、AD コンバータ（Analog Digital Converter）（変換回路）（図中においては「ADC」と称する）30 と、負性抵抗回路 40 と、定電流源 50 とを有する。当該発振器 10 は、所定の周波数を持つ発振信号を発振する発振器であり、AD コンバータ 30 に入力されるアナログ信号に応じて発振信号の周波数が、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で変化する。なお、当該発振器 10 は、後述するように 1 つの半導体基板上に形成することができる。

[0034] 詳細には、LC 発振器 20 においては、容量バンク 100 とインダクタ 300 とが並列に接続されている。このような場合、LC 発振器 20 のインダクタのインダクタンス値を L とし、容量バンク 100 の静電容量値を C とした場合には、発振する信号の周波数 F は、下記の数式（2）で示される。本実施形態においては、容量バンク 100 の総容量値を変化させることにより、発振信号の周波数を変化させることができる。なお、本実施形態に係る L

C発振器20においては、並列に接続された複数の容量バンク100が設けられていてもよく、複数の容量バンク100の総容量値（容量バンク100に含まれる複数のキャパシタ102の静電容量値の和）は、互いに同一であってもよく、異なってもよい。また、本実施形態に係る容量バンク100の詳細については、後述する。

[0035] [数2]

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

[0036] 負性抵抗回路40は、LC発振器20と並列に接続されており、図1に示す例においては、2つのn型MOS（Metal Oxide Semiconductor）トランジスタ400をクロスに接続したNMOSクロスカップルから構成される。なお、負性抵抗回路40の構成は、特に限定されるものではなく、図2に示すように、CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）回路であってもよい。

[0037] 定電流源50は、負性抵抗回路と接続されており、様々な既知の定電流源回路から構成されてもよく、抵抗に置き換えることもできる。

[0038] ADコンバータ30は、容量バンク100の静電容量値を切り替えるためのスイッチ202（図3 参照）に接続され、入力されたアナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路である。従って、ADコンバータ30によって変換されたデジタル信号は、容量バンク100の各キャパシタ102にそれぞれ接続された複数のスイッチ（スイッチ回路）202のオン／オフを切り替えることができ、このような切り替えにより、容量バンク100の静電容量値を変化させることができる。さらに、上述したバリアブルコンデンサ602を使用したラジオ受信機60bと同様の操作性を確保するために、ADコンバータ30に入力されるアナログ信号は、ユーザからの入力によって抵抗値が可変する可変抵抗80によって得られた直流電圧であることができる。

[0039] 次に、図3及び図4を参照して、本実施形態に係る容量バンク100の構成を説明する。図3は、本実施形態に係る容量バンク100の構成を概略的に示す回路図である。図4は、本実施形態に係る発振器10の発振周波数の変化の一例を示すグラフである。

[0040] 図3に示すように、本実施形態に係る容量バンク100は、固定された静電容量値を持つキャパシタ（詳細には、MIM（Metal Insulator Metal）容量やMOM（Metal Oxide Metal）容量等）102と、MOSトランジスタからなるスイッチ202とで構成される。詳細には、1つのスイッチ202と、スイッチ202の両側に直列に接続した2つのキャパシタ102とが1つのユニットを構成し、このようなユニットが複数個並列に接続されることにより、当該容量バンク100は構成される。各ユニットのスイッチ202であるMOSトランジスタのゲートに印加される電圧値を上述のデジタル信号に応じて切り替えることにより、当該スイッチ202がオン／オフされて、容量バンク100の総容量値を離散的に切り替えることができる。従って、当該容量バンク100を含むLC発振器20においては、デジタル信号によって容量バンク100の総容量値が離散的に変化することにより、発振信号の周波数が離散的に変化することとなる。

[0041] そして、本実施形態に係る発振器10においては、容量バンク100を構成する各キャパシタ102の容量値や個数を適切に選択することにより（例えば、スイッチ202により微小な変化幅で離散的に容量バンク100の総容量値が変化するように、各ユニットのキャパシタ102の静電容量値を選択する）、図4に示されるような、入力されるデジタル信号に対して、線形的に、且つ、連続的に発振周波数が変化する発振信号を生成することができる。

[0042] また、本実施形態においては、先に説明したように、デジタル信号は、アナログ信号をADコンバータ30によって変換することによって得られ、当該アナログ信号は、ユーザからの入力によって抵抗値が可変する可変抵抗8

0によって得られた直流電圧である。従って、本実施形態に係る発振器10においては、ユーザの手動に応じて、発振信号の周波数を線形的に、且つ、連続的に変化させることができることから、上述した、比較例に係るバリアブルコンデンサ602を使用したラジオ受信機60bと同様の操作性を確保することができる。

[0043] <<3. 第2の実施形態>>

先に説明したように、上述した本開示の第1の実施形態においては、容量バンク100を構成する各キャパシタ102の容量値や個数を適切に選択することにより、入力されるデジタル信号に対して、線形的に、且つ、連続的に発振周波数が変化する発振信号を生成することができる。しかしながら、第1の実施形態においては、デジタル信号によって容量バンク100の総容量値を離散的に切り替えることにより、発振信号の周波数を変化させている。従って、実際には、発振器10において、微小な変化幅で容量バンク100の総容量値を切り替えるようにしないと、図4に示すような、デジタル信号に対して、線形的に、且つ、連続的に発振周波数が変化する発振信号を生成することはできない。

[0044] しかし、半導体製造プロセスにおいては、製造可能なキャパシタ102の最小容量値や容量値は、キャパシタ102を製造する半導体製造プロセスによって制限され、微小な変化幅で容量バンク100の総容量値を切り替えることが可能な、所望の容量値をそれぞれ有する複数のキャパシタ102を得ることが難しい場合がある。そこで、以下に説明する本開示の第2の実施形態においては、デジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数が変化する発振信号を生成することができる、発振器10における周波数の制御方法を提案する。

[0045] <3. 1 比較例>

詳細には、比較例に係るバリアブルコンデンサ602を使用したラジオ受信機60bと同様に、ユーザの手動に応じて、発振信号の周波数を線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で変化させようとする場合、微小な変化幅

で容量バンク 100 の総容量値を切り替えることが求められる。以下に、比較例に係る周波数の制御方法を、図 25 を参照して説明する。図 25 は、比較例に係る周波数の制御方法を説明するための説明図である。なお、ここで比較例とは、本発明者らが、本開示に係る実施形態を創作するまで検討を続けていた発振器及び発振器における周波数の制御方法のことを意味する。

[0046] 例えば、図 25 の上段に示すように、比較例に係る発振器には、静電容量値を変化させることができない固定容量（静電容量値 C_0 ）104 と、並列に接続された複数のキャパシタ 102（静電容量値 C_u ）を持ち、スイッチ 202 によって容量値を切り替えることができる容量バンク 900 とが設けられているものとする。なお、比較例に係る発振器においては、固定容量 104 と容量バンク 900 とは並列に接続されているものとする。また、上記容量バンク 900 の各キャパシタ 102 は、使用する半導体製造プロセスによって製造可能な最小容量値（ C_u ）を持っているものとする。

[0047] ここで、このような比較例に係る発振器において、発振信号の周波数を変化させることを考える。例えば、図 25 の左側に示すように、周波数調整前には、比較例に係る発振器は、固定容量 104 と、容量バンク 900 内の N 個のキャパシタ 102 とを用いて発振信号を生成しているものとする。このような場合、比較例に係る発振器における総容量値は $C_0 + NC_u$ となるため、当該発振器に係る発振周波数 F_0 は、以下の数式（3）で示される。

[0048] [数3]

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u)}} \quad (3)$$

[0049] 次に、図 25 の右側に示すように、周波数調整後には、比較例に係る発振器において、容量バンク 900 内の 1 つのキャパシタ 102 のスイッチ 202 をオンし、当該発振器は、固定容量 104 と、容量バンク 900 内の $N+1$ 個のキャパシタ 102 とを用いて発振信号を生成する。このような場合、比較例に係る発振器における総容量値は $C_0 + (N+1)C_u$ となるため、当該発振器に係る発振周波数 F_1 は、以下の数式（4）で示される。

[0050] [数4]

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + (N+1)C_u)}} \quad (4)$$

[0051] 従って、比較例に係る発振器においては、発振周波数 F_0 と発振周波数 F_1 との周波数の差分が、当該発振器によって調整可能な発振周波数の最小差となる。しかしながら、容量バンク 900 の各キャパシタの容量値 C_u は、使用する半導体製造プロセスによって製造可能な最小容量値に対応し、その値は、使用する半導体製造プロセスによって制限される。従って、比較例に係る発振器においては、周波数変化幅は、所望の周波数変化幅よりも大きくなり、デジタル信号に対して、離散的に、粗いステップで、発振周波数が変化する発振信号が生成されることとなる。言い換えると、比較例に係る発振器においては、デジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数が変化する発振信号を生成することが難しい。

[0052] < 3. 2 本実施形態 1 >

そこで、本開示の第 2 の実施形態においては、使用する半導体製造プロセスにより、製造可能な最小容量値に制限がある場合であっても、デジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数が変化する発振信号を生成することができる、発振器 10 の周波数の制御方法を提案する。以下に、図 5 から図 9 を参照して、本実施形態を説明する。図 5 から図 7 は、本開示の第 2 の実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図である。また、図 8 は、本実施形態に係る周波数の制御方法における容量値の変化の一例を説明する説明図であり、図 9 は、本実施形態に係る周波数の制御方法における発振周波数の変化の一例を説明する説明図である。なお、図 5 から図 7 においては、本実施形態に係る容量バンク 100 は、並列に接続された複数のキャパシタ 102 からなるものとして図示されているが、本実施形態においてはこれに限定されるものではなく、図中に示される各キャパシタ 102 が、直列に接続された 2 個のキャパシタ 102 からなるものであってもよい。

[0053] 図5の上段に示すように、本実施形態に係る発振器10には、静電容量値を変化させることができない固定容量（静電容量値 C_0 ）104と、並列に接続された複数のキャパシタ102（静電容量値 C_u ）（第1の小キャパシタ）を持ち、スイッチ202によって容量値を切り替えることができる容量バンク100-1と、並列に接続された、静電容量値が互いに異なる複数のキャパシタ102（静電容量値 C_1 、 C_2 、 $\dots$ 、 C_n ）を持ち、スイッチ202によって容量値を切り替えることができる容量バンク100-2とが設けられている。さらに、本実施形態の発振器10においては、固定容量104と容量バンク100-1と容量バンク100-2とは、並列に接続されている。なお、固定容量104は、所望の周波数近辺の周波数を持つ発振信号を生成するために発振器10に設けられている。

[0054] さらに詳細には、容量バンク100-1は、N個のキャパシタ102を有し、比較例の容量バンク900と同様に、各キャパシタ102の容量 C_u は、使用する半導体製造プロセスによって製造可能な最小容量値（ C_u ）を持っているものとする。さらに、容量バンク100-2は、N個のキャパシタ102を有し、各キャパシタ102の容量は、互いに異なり、使用する半導体製造プロセスで製造可能な最小容量値（最小単位容量）（ C_u ）に、微小容量値（微小容量）（ ΔC ）の整数倍を足した値の容量値を持っているものとする。なお、微小容量値 ΔC は、最小容量値 C_u よりも小さいものとする。従って、容量バンク100-2に含まれる各キャパシタ102の容量値 C_n は、以下の数式（5）で示され、具体的には、1つ目のキャパシタ（第2の小キャパシタ）の容量値 C_1 は、 $C_u + \Delta C$ となり、2つ目のキャパシタ（第3の小キャパシタ）の容量値 C_2 は、 $C_u + 2\Delta C$ となる。

[0055] [数5]

$$C_n = C_u + n\Delta C \quad (5)$$

[0056] なお、先に説明したように半導体製造プロセスによって異なるものの、例えば、最小容量値 C_u は、数10fF程度であり、微小容量値 ΔC は、数f

F程度である。また、1つの発振器10は、並列に接続された2個以上の容量バンク100を有していてもよく、さらに、各容量バンク100の総容量値は互いに異なるものとするができる。この場合、容量バンク100ごとに、上記最小容量値及び微小量値は異なってもよく、上記最小容量値が半導体製造プロセスで製造可能な最小容量値であることに限定されるものではない。より具体的には、本実施形態に係る発振器10は、10～20個程度の容量バンク100を有し、各容量バンク100は、数個程度のキャパシタ102を有することができる。

[0057] このような本実施形態に係る発振器10において、デジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数が変化する発振信号を生成する、発振器10の周波数の制御方法は、次の通りとなる。

[0058] まず、図5の上段に示すように、周波数調整前においては、発振器10における容量バンク100-1のN個のキャパシタ102を全てオンにし、容量バンク100-2のN個のキャパシタ102を全てオフする。この場合、当該発振器10における総容量値は、 $C_0 + NC_u$ となるため、発振周波数 F_0 は、以下の数式(6)で示される。

[0059] [数6]

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u)}} \quad (6)$$

[0060] 次に、図6の上段に示すように、周波数調整中においては、発振器10における容量バンク100-2の1つ目のキャパシタ102 ($C_1 = C_u + \Delta C$)のみをオンする。この場合、当該発振器10における総容量値は、 $C_0 + NC_u + C_u + \Delta C$ となるため、発振周波数 F_1 は、以下の数式(7)で示される。

[0061] [数7]

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + (N+1)C_u + \Delta C)}} \quad (7)$$

[0062] さらに、図7の上段に示すように、周波数調整後においては、発振器10における容量バンク100-1の1つのキャパシタ102をオフする。当該発振器10における総容量値は、 $C_0 + (N-1)C_u + (C_u + \Delta C)$ 、すなわち、 $C_0 + NC_u + \Delta C$ となるため、発振周波数 F_1 は、以下の数式(8)で示される。

[0063] [数8]

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u + \Delta C)}} \quad (8)$$

[0064] 次に、図8及び図9を参照して、上述した周波数調整前と周波数調整後との本実施形態に係る発振器10における総容量値と発振周波数との比較を説明する。図8及び図9においては、周波数調整前と周波数調整後とのデジタル信号を、D及びD+1として示している。

[0065] 図8に示すように、本実施形態に係る発振器10においては、周波数調整前と周波数調整後との総容量値は、 $C_0 + NC_u$ から $C_0 + NC_u + \Delta C$ に変化していることから、微小容量値 ΔC の変化幅(ステップ幅)で変化していることがわかる。一方、先に説明した比較例においては、周波数調整前と周波数調整後との総容量値は、 $C_0 + NC_u$ から $C_0 + (N+1)C_u$ に変化していることから、最小容量値 C_u の変化幅で変化している。

[0066] また、上述のような総容量値の変化は、図9に示すような発振周波数の変化をもたらすこととなる。詳細には、図9に示すように、本実施形態に係る発振器10においては、周波数調整前と周波数調整後との発振周波数は、 F_0 から F_1 に変化し、発振周波数 F_0 と発振周波数 F_1 との差分を ΔF とすると、微小周波数変化幅 ΔF は、微小容量値 ΔC に対応することとなる。一方、先に説明した比較例においては、周波数調整前と周波数調整後との発振周波数は、 F_0 から $F_0 - F_u$ に変化し、最小容量値 C_u に対応する変化幅 F_u で発振周波数が変化している。なお、微小容量値 ΔC は、最小容量値 C_u よりも小さいことから、本実施形態に係る微小周波数変化幅 ΔF は、比較例に係る変

化幅 F_u に比べて小さくなる。

[0067] 従って、本実施形態に係る周波数の制御方法によれば、使用する半導体製造プロセスにより、製造可能な最小容量値に制限がある場合であっても、微小な周波数変化幅 ΔF をあることができる。その結果、本実施形態によれば、デジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数が変化する発振信号を生成することができる。

[0068] なお、本実施形態においては、周波数の制御方法は、図5から図7に示されるものに限定されるものではなく、例えば、図5から直接的に図7の状態になるように発振器10を制御してもよい。もしくは、本実施形態においては、例えば、発振器10における容量バンク100-1の1つのキャパシタ102をオフした後に、発振器10における容量バンク100-2の1つ目のキャパシタ102 ($C_1 = C_u + \Delta C$) をオンしてもよい。

[0069] <3. 3 本実施形態2>

さらに、上述した周波数の制御方法により、微小容量値 ΔC に対応する微小周波数変化幅で変化する発振周波数を持つ発振信号を生成することができる。このような場合における、発振器10の周波数の制御方法を、図10から図12を参照して説明する。図10は、本実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図である。また、図11は、本実施形態に係る周波数の制御方法における容量値の変化の一例を説明する説明図であり、図12は、本実施形態に係る周波数の制御方法における発振周波数の変化の一例を説明する説明図である。

[0070] 詳細には、本実施形態においては、次に、発振器10を、上述した図7の状態から、図10の3段目に示される状態にする。詳細には、本実施形態においては、発振器10における容量バンク100-2の1つ目のキャパシタ102 ($C_1 = C_u + \Delta C$) をオフし、容量バンク100-2の2つ目のキャパシタ102 ($C_2 = C_u + 2\Delta C$) をオンする。この場合、当該発振器10における総容量値は、 $C_0 + NC_u + 2\Delta C$ となるため、発振周波数 F_2 は、以下の数式(9)で示される。

[0071] [数9]

$$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u + 2\Delta C)}} \quad (9)$$

[0072] さらに、本実施形態においては、次に、発振器10を、上述した図10の3段目に示される状態から、図10の4段目に示される状態にする。詳細には、本実施形態においては、発振器10における容量バンク100-2の1つ目のキャパシタ102 ($C_1 = C_u + \Delta C$) をオンする。この場合、当該発振器10における総容量値は、 $C_0 + NC_u + 3\Delta C$ となるため、発振周波数 F_3 は、以下の数式(10)で示される。

[0073] [数10]

$$F_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u + 3\Delta C)}} \quad (10)$$

[0074] 次に、図11及び図12を参照して、上述した周波数調整前と周波数調整後との本実施形態に係る発振器10における総容量値と発振周波数との比較を説明する。図11及び図12においては、上述の周波数の制御方法におけるデジタル信号の変化を、 D 、 $D+1$ 、 $D+2$ 及び $D+3$ として示している。

[0075] 図11に示すように、本実施形態に係る発振器10においては、デジタル信号を D 、 $D+1$ 、 $D+2$ 及び $D+3$ と変化させるに応じて、総容量値は、微小容量値 ΔC の変化幅(ステップ幅)で変化する。

[0076] また、上述のような総容量値の変化は、図12に示すような発振周波数の変化をもたらすこととなる。詳細には、図12に示すように、本実施形態に係る発振器10においては、デジタル信号を D 、 $D+1$ 、 $D+2$ 及び $D+3$ と変化させるに応じて、発振周波数は、 F_0 、 F_1 、 F_2 、及び F_3 と変化する。従って、本実施形態においては、容量バンク100を構成するキャパシタ102の微小容量値 ΔC と、各容量バンク100の総容量値とを適切に選択することにより、入力されるデジタル信号に対して、線形的に、連続的に、

且つ、微小な変化幅で発振周波数を変化させることができる。

[0077] なお、例えば、本実施形態においては、入力されるデジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数を変化させるために、発振器 10 は、互いに総容量値の異なる複数の容量バンク 100 を有していてもよい。さらに、複数の容量バンク 100 を、順次段階的に非線形的に増加する総容量値 (C_n) を持つように設定することにより、下記式 (11) で示される発振周波数の発振周波数 F がより線形的に増加するようにすることが好ましい。また、各容量バンク 100 に含まれる複数のキャパシタ 102 は、互いに異なる静電容量値を持ち、具体的には、所定の容量値に微小容量値 (ΔC) の整数倍を足した値の容量値を持っていることが好ましい。従って、同一の容量バンク 100 内では、複数のキャパシタ 102 は、順次段階的に線形的に増加する静電容量値を持つこととなる。

[0078] [数11]

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_n}} \quad (11)$$

[0079] なお、本実施形態においては、上述したように、同一の容量バンク 100 内では、複数のキャパシタ 102 は、順次段階的に線形的に増加する静電容量値を持つことに限定されるものではなく、同一の静電容量値を持っていてもよい。しかしながら、複数のキャパシタ 102 は、順次段階的に線形的に増加する静電容量値を持つ場合の方が、半導体基板上の複数のキャパシタ 102 が占める面積の増加を抑えつつ、広帯域に、且つ、微小な変化幅で発振周波数を変化させることができる。

[0080] なお、上述の周波数の制御方法では、バイナリコード (2進法) によって発振器 10 の総容量値を切り替えているが、本実施形態においては、バイナリコードに限定されるものではなく、連続する「1」の列と連続する「0」の列によって形成されるサーモメータコードを用いてもよい。また、本実施形態においては、発振器 10 における総容量値に応じて、バイナリコードか

らサーモメータコードに、もしくはその逆に切り替えて使用してもよい。

[0081] <<4. 第3の実施形態>>

上述した第2の実施形態においては、発振器10においては、複数のキャパシタ102が並列に接続されている容量バンク100が設けられているものとして説明した。しかしながら、本開示の実施形態に係る容量バンク100における複数のキャパシタ102の接続は、並列に限定されるものではなく、直列に接続されていてもよい。そこで、本開示の第3の実施形態として、複数のキャパシタ102が直列に接続された容量バンク100a、及び、当該容量バンク100aを有する発振器10における発振周波数の制御方法について、図13及び図14を参照して説明する。図13は、本開示の第3の実施形態に係る容量バンク100aの構成を概略的に示す回路図であり、図14は、本実施形態に係る周波数の制御方法を説明するための説明図である。

[0082] <4. 1 容量バンク100aの構成>

まず、図13を参照して、本実施形態に係る容量バンク100aの構成を説明する。図13に示すように、本実施形態に係る容量バンク100aは、複数のキャパシタ102が直列に接続されている。また、各キャパシタ102の容量値 C_u は、使用する半導体製造プロセスによって製造可能な最小容量値に対応するものとする。さらに、これらキャパシタ102は、MOSトランジスタからなるスイッチ202を介して互いに接続されている。加えて、当該容量バンク100aは、これら直列に接続された複数のキャパシタ102の列と並走する接続線204を有しており、当該接続線204と、2つのキャパシタ102の間に位置する各ノード206とは、スイッチ202を介して接続されている。

[0083] <4. 2 周波数の制御方法>

次に、図13に示すような本実施形態に係る容量バンク100aを用いた発振器10における、発振周波数の制御方法について、図14を参照して説明する。図14の下段に示すように、本実施形態に係る発振器10には、静

電容量値を変化させることができない固定容量（静電容量値 C_0 ）104と、直列に接続された複数のキャパシタ102（静電容量値 C_u ）を持ち、スイッチ202によって容量値を切り替えることができる容量バンク100aとが設けられている。さらに、本実施形態の発振器10においては、固定容量104と容量バンク100aとは、並列に接続されている。

[0084] このような本実施形態に係る発振器10において、デジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数が変化する発振信号を生成する、発振器10の周波数の制御方法は、次の通りとなる。

[0085] まず、図14の左側に示すように、周波数調整前においては、発振器10における容量バンク100aのM個のキャパシタ102をすべて直列に接続するように、スイッチ202をオンする。この場合、発振器10においては、固定容量104と直列に接続されたM個のキャパシタ102とを用いて発振信号を生成することとなる。当該発振器10における総容量値は、以下の数式（12）で示される。なお、下記の式の ΔC は、 C_u/M と等しいものとする。

[0086] [数12]

$$\begin{aligned} C &= C_0 + \frac{C_u}{M} \\ &= C_0 + \Delta C \end{aligned} \quad (12)$$

[0087] 次に、図14の右側に示すように、周波数調整後においては、スイッチ202をオフして、容量バンク100aのM個のうちの半分のキャパシタ102を直列接続から切り離す。この場合、発振器10においては、固定容量104と直列に接続された $M/2$ 個のキャパシタ102とを用いて発振信号を生成することとなる。当該発振器10における総容量値は、以下の数式（13）で示される。

[0088]

[数13]

$$\begin{aligned} C &= C_0 + \frac{Cu}{M/2} \\ &= C_0 + 2\Delta C \end{aligned} \quad (13)$$

[0089] すなわち、本実施形態においては、直列に接続された複数のキャパシタ 102 を持つ容量バンク 100a を利用した場合であっても、直列に接続するキャパシタ 102 の個数を切り替えることで、発振器 10 における総容量値を微小な変化幅で変化させることができる。

[0090] しかしながら、本実施形態においては、最小容量値 C_u と、所望する総容量値の変化幅との差が大きい場合には、容量バンク 100a における、キャパシタ 102 の直列数 M が増加し、それに伴いキャパシタ 102 の直列数を制御するスイッチ 202 の数も増加する。従って、このような場合、発振器 10 が設けられる半導体チップの面積の増加につながり、製造コストの増加を招く可能性がある。さらに、キャパシタ 102 の直列数 M は、整数しか設定することができないため、発振器 10 の総容量値の可変における自由度が低くなる。従って、このような観点から、上述した第 2 の実施形態のような、複数のキャパシタ 102 が並列に接続されている容量バンク 100 を用いることが好ましい。

[0091] <<5. 第 4 の実施形態>>

上述の本開示の実施形態においては、容量バンク 100 を構成するキャパシタ 102 の微小容量値 ΔC と、各容量バンク 100 の総容量値とを適切に選択することにより、入力されるデジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数を変化させることができる。さらに、このような容量バンク 100 は、半導体基板上に設けられることとなる。そこで、本開示の第 4 の実施形態として、半導体基板上に設けられる容量バンク 100 について、図 15 及び図 16 を参照して説明する。図 15 は、本開示の第 4 の実施形態に係るキャパシタ 102 の構成例を概略的に示すレイア

ウト図であり、図 1 6 は、本実施形態に係る発振器 1 0 の構成例を概略的に示すレイアウト図である。なお、これらレイアウト図においては、わかりやすくするために、配線や素子等の図示を省略し、本実施形態に係る要部のみを図示している。

[0092] 詳細には、図 1 5 に示すように、本実施形態に係る、1 つの容量バンク 1 0 0 は、半導体基板 8 0 0 上に並べられた、複数のキャパシタ 1 0 2 と、M O S トランジスタからなる複数のスイッチ 2 0 2 とを有する。複数のキャパシタ 1 0 2 は、静電容量値が、図 1 5 の上下方向に沿って順次段階的に線形的に変化しており、従って、各キャパシタ 1 0 2 が占めるレイアウト面積も順次段階的に線形的に変化している。また、図 1 5 に示される例においては、図中の上下方向に沿って 7 段のキャパシタ対 1 0 6 が設けられており、各キャパシタ対 1 0 6 は、同一静電容量値を持つ、2 つのキャパシタ 1 0 2 がスイッチ 2 0 2 を挟んで線対称に配置されている。さらに、各キャパシタ対 1 0 6 においては、2 つのキャパシタ 1 0 2 が接続線（配線）2 0 4 によってスイッチ 2 0 2 と接続されている。

[0093] さらに、本実施形態においては、図 1 5 のような構成を持つ複数の容量バンク 1 0 0 が半導体基板 8 0 0 上に複数個形成される。例えば、図 1 6 に示すように、本実施形態に係る発振器 1 0 は、半導体基板 8 0 0 上に、複数の容量バンク 1 0 0 が形成された容量バンク形成領域 8 0 4 を有する。さらに、本実施形態に係る発振器 1 0 は、半導体基板 8 0 0 上に、インダクタ 3 0 0 が形成されたインダクタ形成領域 8 0 2 や、負性抵抗回路 4 0 等が形成される負性抵抗回路形成領域 8 0 6 や、後述する分周器 7 1 0 が形成される分周器形成領域 8 0 8 等を有していてもよい。

[0094] さらに詳細には、複数の容量バンク 1 0 0 は、互いに異なる総容量値を持っていてもよい。具体的には、複数の容量バンク 1 0 0 は、順次段階的に非線形的に増加する総容量値を持っており、従って、各容量バンク 1 0 0 が占めるレイアウト面積も順次段階的に非線形的に変化している。また、容量バンク形成領域 8 0 4 には、固定容量 1 0 4 が設けられていてもよく、さらに

精度よく各キャパシタ 102 を形成するために、発振信号の生成には関与しないダミーキャパシタ（図示省略）が設けられていてもよい。

[0095] さらに、インダクタ形成領域 802 に形成されるインダクタ 300 は、インダクタ素子であってもよく、配線によって形成されていてもよく、特に限定されるものではない。

[0096] なお、図 15 及び図 16 に示すレイアウト図は、あくまでも一例であり、本実施形態に係る容量バンク 100 及び発振器 10 は、図 15 及び図 16 に示されるような形態を有していなくてもよい。

[0097] <<6. 第 5 の実施形態>>

<6. 1 ラジオ受信機 60 の構成>

これまで説明した本開示の実施形態に係る発振器 10 は、例えばラジオ受信機 60 に適用することができる。そこで、本開示の第 5 の実施形態として、本実施形態に係る発振器 10 を適用したラジオ受信機 60 の一例を、図 17 を参照して説明する。図 17 は、本開示の第 5 の実施形態に係るラジオ受信機 60 の構成を概略的に示す回路図である。

[0098] 本実施形態に係るラジオ受信機 60 においては、可変抵抗 80 の抵抗値をユーザの手動で機械的に変化させることで得られた直流入力電圧により、発振器 10 における発振周波数の制御を行うことにより、ラジオ放送の選局を行うことができる。

[0099] 図 17 に示されるラジオ受信機 60 においては、アナログ信号である上記入力電圧をデジタル信号に変換し、変換によって得られたデジタル信号により発振器 10 における総容量値を切り替えることにより、発振器 10 から所望の周波数を持つ発振信号を得ることができる。従って、本実施形態に係るラジオ受信機 60 は、このようにして得た発振信号を、ローカル信号として、上記発振器 10 を含む局部発振信号生成部 70 からミキサ回路（周波数変換回路）704 に供給し、ラジオ信号を I F 信号に変換することができる。

[0100] 詳細には、図 17 に示すように、ラジオ受信機 60 の入力されたラジオ信号は、R F 増幅器 702 で増幅され、位相が直交した関係にある局部発振信

号が入力される２系統のミキサ回路 704 で２系統（Ｉ信号及びＱ信号）の
ＩＦ信号に変換される。さらに、変換されたＩＦ信号は、バンドパスフィル
タ 718 によってイメージ妨害波が除去され、その後、復調器（復調回路）
722 によってＡＭ／ＦＭ復調され、音声信号となる。

[0101] なお、本実施形態に係るラジオ受信機 60 は、上述したように一度ＩＦ信
号に変換するスーパーヘテロダイン方式であってもよく、直接ベースバンド
信号に変換するダイレクトコンバージョン方式であってもよい。なお、上述
したラジオ受信機 60 のミキサ回路 704 や復調器 722 等の各ブロックは
、発振器 10 又は発振器 10 を含む局部発振信号生成部 70 と共に、１つの
半導体チップ上に設けられることが好ましい。

[0102] < 6. 2 局部発振信号生成部 70 の構成 >

ところで、１つのラジオ受信機 60 によって、ＦＭ／ＡＭラジオ放送を受
信する場合には、放送帯域によって受信に使用する局部発振信号（ローカル
信号）の周波数が異なる。具体的には、局部発振信号の周波数は、例えば、
ＦＭ放送の受信時は、ＩＦ信号の周波数を 150 kHz とした場合には、7
6 MHz ～ 108 MHz となる。また、局部発振信号の周波数は、例えば、
ＡＭ放送の受信時は、ＩＦ信号の周波数を 55 kHz とした場合、575.
6 kHz ～ 1766.1 kHz となる。

[0103] そこで、本実施形態に係るラジオ受信機 60 においては、ＡＭ／ＦＭラジ
オ放送の両者に対応するために、発振器 10 によって生成された発振信号を
分周する際に、ＦＭ受信時とＡＭ受信時で分周器 710 の分周数を切り替え
ることができる、局部発振信号生成部 70 が設けられる。

[0104] そこで、上述のように分周数を切り替えることができる、本実施形態に係
る局部発振信号生成部 70 を、図 18 から図 21 を参照して説明する。図 1
8 は、本実施形態に係る局部発振信号生成部 70 の構成を概略的に示す回路
図である。図 19 は、本実施形態に係る局部発振信号生成部 70 における分
周を説明するための説明図である。さらに、図 20 及び図 21 は、本実施形
態に係る局部発振信号生成部 70 の周波数の変化の一例を示すグラフである

。

[0105] ところで、FM受信時の局部発振信号の周波数は、76MHz～108MHzの範囲で広がっており、1.42倍以上の周波数変化比となっている。また、AM受信時の局部発振信号の周波数は、575.6kHz～1766.1kHzの範囲で広がっており、3.068倍程度の周波数変化比となっている。従って、FM受信時とAM受信時とでは、局部発振周波数に求められる周波数変化比が大きく異なっている。

[0106] しかしながら、AM受信時の局部発振周波数の575.6kHz～1766.1kHzを同一幅で3等分した場合、各範囲における周波数変化比は1.453倍程度となり、FM受信時の周波数変化比と同程度となる。そこで、本実施形態においては、FM受信時の局部発振周波数の範囲を76MHz～110MHz程度に確保し、さらに分周数を選択することによりAM信号の帯域を3等分することにより、1つの発振器10を使用した場合であっても、AM/FM放送の両者に対応することができる。

[0107] 詳細には、図18に示すように、ミキサ回路704に入力するための局部発振信号を生成する局部発振信号生成部70は、上述した発振器10の他に、発振器10からの発振信号を4分周する分周器710aを有する。さらに、当該局部発振信号生成部70は、分周器710aからの信号をN分周する分周器710bと、分周器710a又は分周器710bからの信号を4分周する分周器710cとを有する。加えて、当該局部発振信号生成部70は、分周器710aからの信号の経路を切り替えるスイッチ208と、分周器710bとスイッチ208とを制御する制御部（制御回路部）210とを有する。さらに、分周器710bは、131分周、90分周、及び62分周の3種類の分周数に切り替えることができるものとする。なお、上述した局部発振信号生成部70は、ラジオ受信機60のミキサ回路704や復調器722等の各ブロックと共に、1つの半導体チップ上に設けられることが好ましい。

[0108] 次に、図18に示される局部発振信号生成部70の動作を、図19を参照

して説明する。まず、FM受信時には、図19の最上段に示されるように、発振器10で生成された発振信号は、1206.4～1752MHzの周波数を持ち、スイッチ208によって分周器710a及び分周器710cを通過する経路を持つこととなる。従って、上記発振信号は、分周器710a及び分周器710cによってそれぞれ4分周され、すなわち、16分周される。その結果、当該局部発振信号生成部70は、76MHz～108MHzの範囲の周波数を持つ局部発振信号を得ることができる。

[0109] さらに、AM受信時には、スイッチ208を切り替えて、分周器710aからの発振信号が分周器710bに進むようにする。AM受信時は、AM帯域を3つのバンドMW1（575. KHz～835 KHz）、MW2（837.8 KHz～1216.7 KHz）及びMW3（1216.1 KHz～1766.1 KHz）に分け、バンドに応じて分周器710bの分周数を切り替えることとなる。

[0110] まずは、MW1（575. KHz～835 KHz）の周波数を持つAM信号の受信時には、図19の2段目に示されるように、発振器10で生成された発振信号（1206.4～1752MHz）は、分周器710aによって4分周され、さらに、分周器710bによって131分周される。さらに、分周器710bによって分周された信号は、分周器710cによって4分周される。すなわち、上記発振信号は、2096分周されることとなり、当該局部発振信号生成部70は、575. KHz～835 KHzの範囲の周波数を持つ局部発振信号を得ることができる。

[0111] 次に、MW2（837.8 KHz～1216.7 KHz）の周波数を持つAM信号の受信時には、図19の3段目に示されるように、発振器10で生成された発振信号（1206.4～1752MHz）は、分周器710aによって4分周され、さらに、分周器710bによって90分周される。さらに、分周器710bによって分周された信号は、分周器710cによって4分周される。すなわち、上記発振信号は、1440分周されることとなり、当該局部発振信号生成部70は、837.8 KHz～1216.7 KHzの

範囲の周波数を持つ局部発振信号を得ることができる。

[0112] さらに、MW3（1216.1kHz～1766.1kHz）の周波数を持つAM信号の受信時には、図19の4段目に示されるように、発振器10で生成された発振信号（1206.4～1752MHz）は、分周器710aによって4分周され、さらに、分周器710bによって62分周される。さらに、分周器710bによって分周された信号は、分周器710cによって4分周される。すなわち、上記発振信号は、992分周されることとなり、当該局部発振信号生成部70は、1216.1kHz～1766.1kHzの範囲の周波数を持つ局部発振信号を得ることができる。

[0113] このように、本実施形態においては、発振器10によって生成された発振信号を分周する際に、FM受信時とAM受信時で分周数を切り替え、さらに、AM信号の帯域を3等分して得られたバンドごとに分周数を切り替える。その結果、本実施形態においては、1つの発振器10を有する局部発振信号生成部70が設けられたラジオ受信機60であっても、AM/FM放送の両者に対応することができる。

[0114] このような局部発振信号生成部70によれば、図20に示すように、FM信号受信時には、入力されるデジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で変化する周波数を持つ局部発振信号を得ることができることがわかる。また、当該局部発振信号生成部70によれば、図21に示すように、AM信号受信時には、バンドごとに、入力されるデジタル信号に対して、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で変化する周波数を持つ局部発振信号を得ることができることがわかる。

[0115] なお、本実施形態においては、各分周器710の分周数や発振器10からの発振信号の周波数については、上述したものに限定されるものではなく、適宜選択することが可能である。さらに、本実施形態においては、局部発振信号生成部70の構成についても、図18に示す構成に限定されるものではなく、適宜変更することが可能である。

[0116] <<7. まとめ>>

以上のように、本開示の実施形態によれば、ユーザの手動に応じて、線形的に、連続的に、且つ、微小な変化幅で発振周波数が変化する発振信号を生成することができる発振器 10 を得ることができる。従って、本実施形態に係る発振器 10 においては、比較例に係るバリャブルコンデンサ 602 を使用したラジオ受信機 60b と同様の操作性を確保することができる。加えて、本実施形態によれば、バリャブルコンデンサ 602 や PLL シンセサイザ 716 を使用しないことから、製造コストや消費電力を抑えることができる。

[0117] また、上述した本開示の実施形態に係る発振器 10 は、ラジオ受信機 60 に適用するものとして説明した。しかしながら、本開示の実施形態に係る発振器 10 は、ラジオ受信機 60 に適用されることに限定されるものではなく、スマートウォッチやウェアラブル端末等に搭載される、消費電力を抑えることや小型化が求められる様々な無線通信装置に適用することができる。

[0118] <<8. 補足>>

以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示の技術的範囲はかかる例に限定されない。本開示の技術分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

[0119] また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的または例示的なものであって限定的ではない。つまり、本開示に係る技術は、上記の効果とともに、または上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

[0120] なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

(1)

半導体基板上に設けられた複数のキャパシタを含む発振回路と、
アナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路と、

前記デジタル信号に基づいて前記キャパシタを切り替えるスイッチ回路と、
、
を備え、
前記アナログ信号の変化に対して線形的に発振周波数が変化する、
半導体装置。

(2)

前記スイッチ回路は、前記デジタル信号に基づいて、前記発振周波数が線形的に変化するように選択された各容量値を持つ前記複数のキャパシタを切り替える、

上記(1)に記載の半導体装置。

(3)

前記アナログ信号を生成する可変抵抗をさらに備える、上記(1)又は(2)に記載の半導体装置。

(4)

前記複数のキャパシタは、順次、容量値が非線形に増加するように設けられる、上記(2)に記載の半導体装置。

(5)

前記複数のキャパシタは並列に接続される、上記(4)に記載の半導体装置。

(6)

前記各キャパシタは、複数の小キャパシタからなる、上記(1)に記載の半導体装置。

(7)

前記複数の小キャパシタは、前記スイッチ回路によって切り替えられる、上記(6)に記載の半導体装置。

(8)

前記複数の小キャパシタは直列に接続されている、上記(7)に記載の半導体装置。

(9)

前記各小キャパシタは、半導体製造プロセスによって定められる最小単位容量の容量値を持つ、上記 (8) に記載の半導体装置。

(1 0)

前記複数の小キャパシタは並列に接続されている、上記 (7) に記載の半導体装置。

(1 1)

前記複数の小キャパシタは、最小単位容量の容量値を持つ第 1 の小キャパシタと、前記最小単位容量に微小容量を足し合わせた容量値を持つ第 2 の小キャパシタとを含み、

前記微小容量は、前記最小単位容量よりも小さい、

上記 (1 0) に記載の半導体装置。

(1 2)

前記各キャパシタにおける前記複数の小キャパシタは、前記最小単位容量に前記微小容量の 2 倍の容量値を足し合わせた容量値を持つ第 3 の小キャパシタをさらに含む、

上記 (1 1) に記載の半導体装置。

(1 3)

前記最小単位容量又前記微小容量は前記キャパシタごとに異なる、上記 (1 1) 又は (1 2) に記載の半導体装置。

(1 4)

前記発振回路はインダクタを含む、上記 (1) ~ (1 3) のいずれか 1 つに記載の半導体装置。

(1 5)

前記発振回路からの発振信号をローカル信号として使用する周波数変換回路と、

前記周波数変換回路からの信号に復調する復調回路と、

をさらに備える、上記 (1) ~ (1 4) のいずれか 1 つに記載の半導体装

置。

(16)

前記発振回路からの発振信号を分周する分周器と、
前記分周器の分周数を切り替える制御回路部と、
をさらに備える、上記(15)に記載の半導体装置。

(17)

前記制御回路部は、入力される信号の周波数に応じて前記分周数を切り替える、上記(16)に記載の半導体装置。

(18)

半導体基板上に設けられた複数のキャパシタを含む発振回路と、
アナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路と、
前記デジタル信号に基づいて前記キャパシタを切り替えるスイッチ回路と、
、
を有し、
前記アナログ信号の変化に対して線形的に発振周波数が変化する、
半導体装置を搭載する無線通信装置。

符号の説明

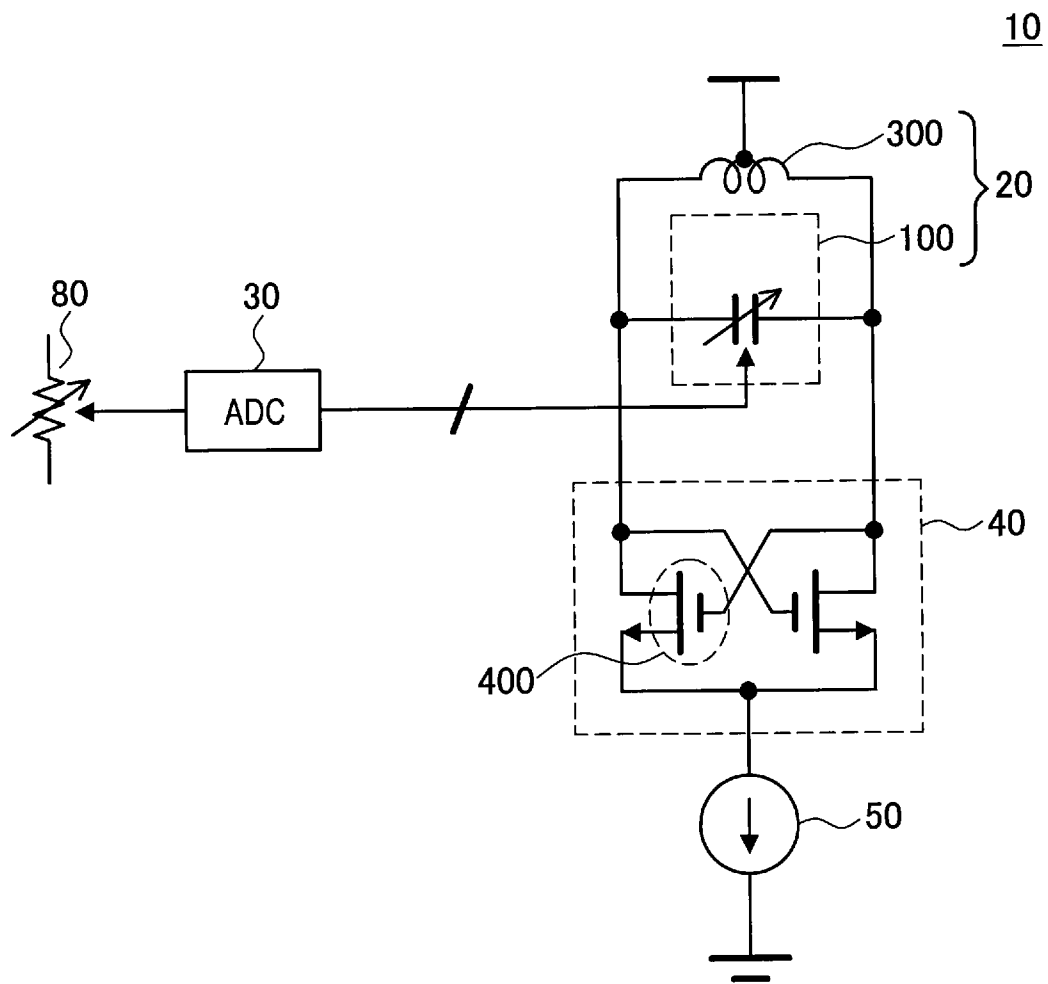
[0121]	10、10a、90a、90b	発振器
20	LC発振器	
30	ADコンバータ	
40、40a	負性抵抗回路	
50	定電流源	
60、60a、60b	ラジオ受信機	
70	局部発振信号生成部	
80	可変抵抗	
100、100a、900	容量バンク	
102	キャパシタ	
104	固定容量	

106	キャパシタ対	
202、208	スイッチ	
204	接続線	
206	ノード	
210	制御部	
300	インダクタ	
400	n型MOSトランジスタ	
402	p型MOSトランジスタ	
502	可変容量	
602	バリアブルコンデンサ	
702	RF増幅器	
704	ミキサ回路	
706	水晶発振器	
708	位相比較器	
710、710a、710b、710c	分周器	
712	チャージポンプ	
714	ループフィルタ	
716	PLLシンセサイザ	
718	フィルタ	
720	IF増幅器	
722	復調器	
800	半導体基板	
802	インダクタ形成領域	
804	容量バンク形成領域	
806	負性抵抗回路形成領域	
808	分周器形成領域	

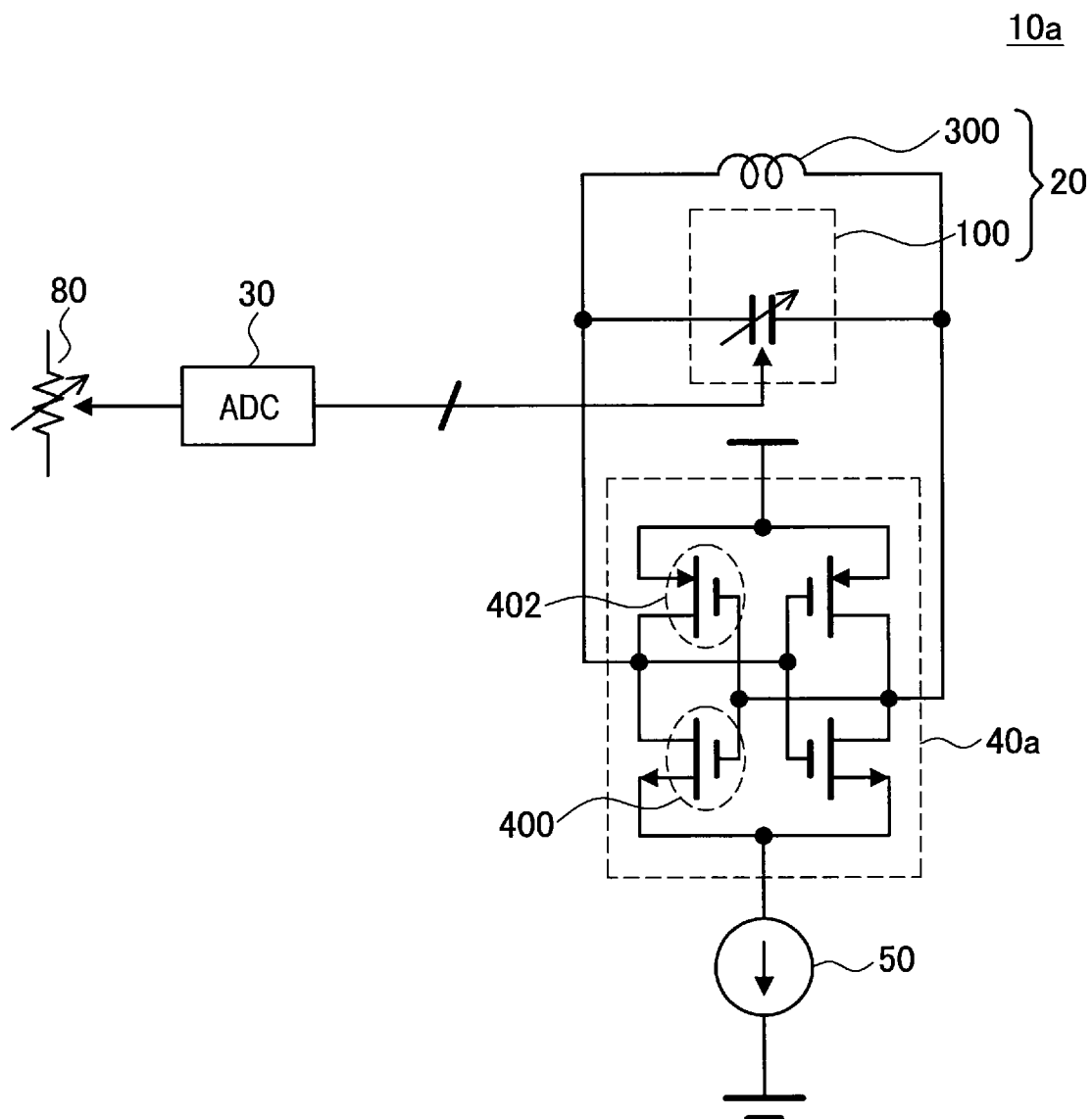
請求の範囲

- [請求項1] 半導体基板上に設けられた複数のキャパシタを含む発振回路と、
アナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路と、
前記デジタル信号に基づいて前記キャパシタを切り替えるスイッチ回路と、
を備え、
前記アナログ信号の変化に対して線形的に発振周波数が変化する、
半導体装置。
- [請求項2] 前記スイッチ回路は、前記デジタル信号に基づいて、前記発振周波数が線形的に変化するように選択された各容量値を持つ前記複数のキャパシタを切り替える、
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記アナログ信号を生成する可変抵抗をさらに備える、請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記複数のキャパシタは、順次、容量値が非線形に増加するように設けられる、請求項2に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記複数のキャパシタは並列に接続される、請求項4に記載の半導体装置。
- [請求項6] 前記各キャパシタは、複数の小キャパシタからなる、請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項7] 前記複数の小キャパシタは、前記スイッチ回路によって切り替えられる、請求項6に記載の半導体装置。
- [請求項8] 前記複数の小キャパシタは直列に接続されている、請求項7に記載の半導体装置。
- [請求項9] 前記各小キャパシタは、半導体製造プロセスによって定められる最小単位容量の容量値を持つ、請求項8に記載の半導体装置。
- [請求項10] 前記複数の小キャパシタは並列に接続されている、請求項7に記載の半導体装置。

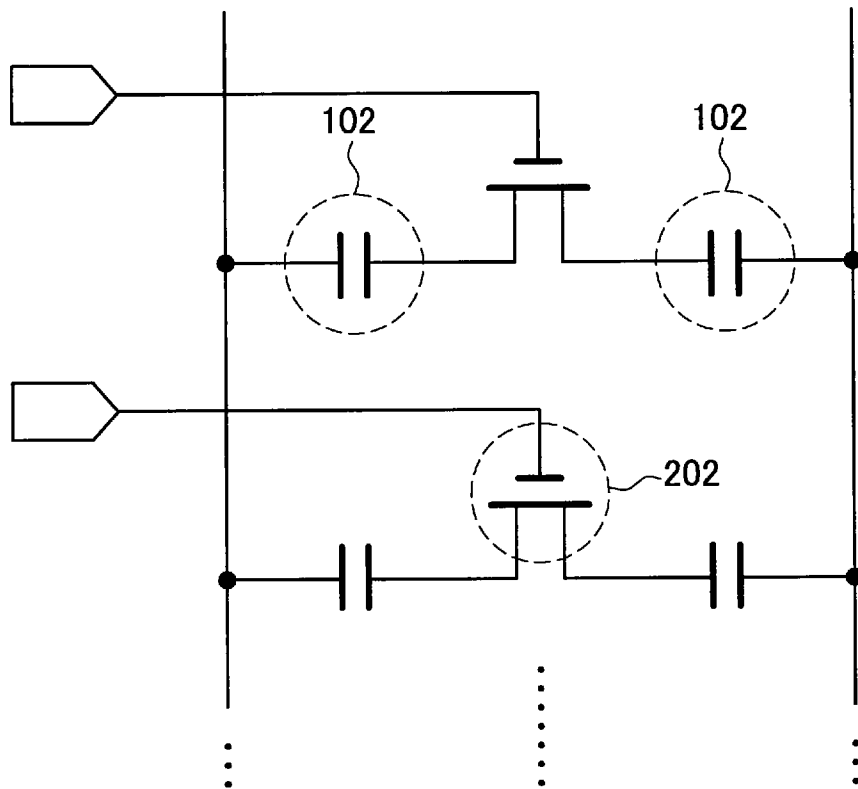
- [請求項11] 前記複数の小キャパシタは、最小単位容量の容量値を持つ第1の小キャパシタと、前記最小単位容量に微小容量を足し合わせた容量値を持つ第2の小キャパシタとを含み、
前記微小容量は、前記最小単位容量よりも小さい、
請求項10に記載の半導体装置。
- [請求項12] 前記複数の小キャパシタは、前記最小単位容量に前記微小容量の2倍の容量値を足し合わせた容量値を持つ第3の小キャパシタをさらに含む、
請求項11に記載の半導体装置。
- [請求項13] 前記最小単位容量又は前記微小容量は、前記キャパシタごとに異なる、請求項11に記載の半導体装置。
- [請求項14] 前記発振回路はインダクタを含む、請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項15] 前記発振回路からの発振信号をローカル信号として使用する周波数変換回路と、
前記周波数変換回路からの信号に復調する復調回路と、
をさらに備える、請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項16] 前記発振回路からの発振信号を分周する分周器と、
前記分周器の分周数を切り替える制御回路部と、
をさらに備える、請求項15に記載の半導体装置。
- [請求項17] 前記制御回路部は、入力される信号の周波数に応じて前記分周数を切り替える、請求項16に記載の半導体装置。
- [請求項18] 半導体基板上に設けられた複数のキャパシタを含む発振回路と、
アナログ信号をデジタル信号に変換する変換回路と、
前記デジタル信号に基づいて前記キャパシタを切り替えるスイッチ回路と、
を有し、
前記アナログ信号の変化に対して線形的に発振周波数が変化する、
半導体装置を搭載する無線通信装置。



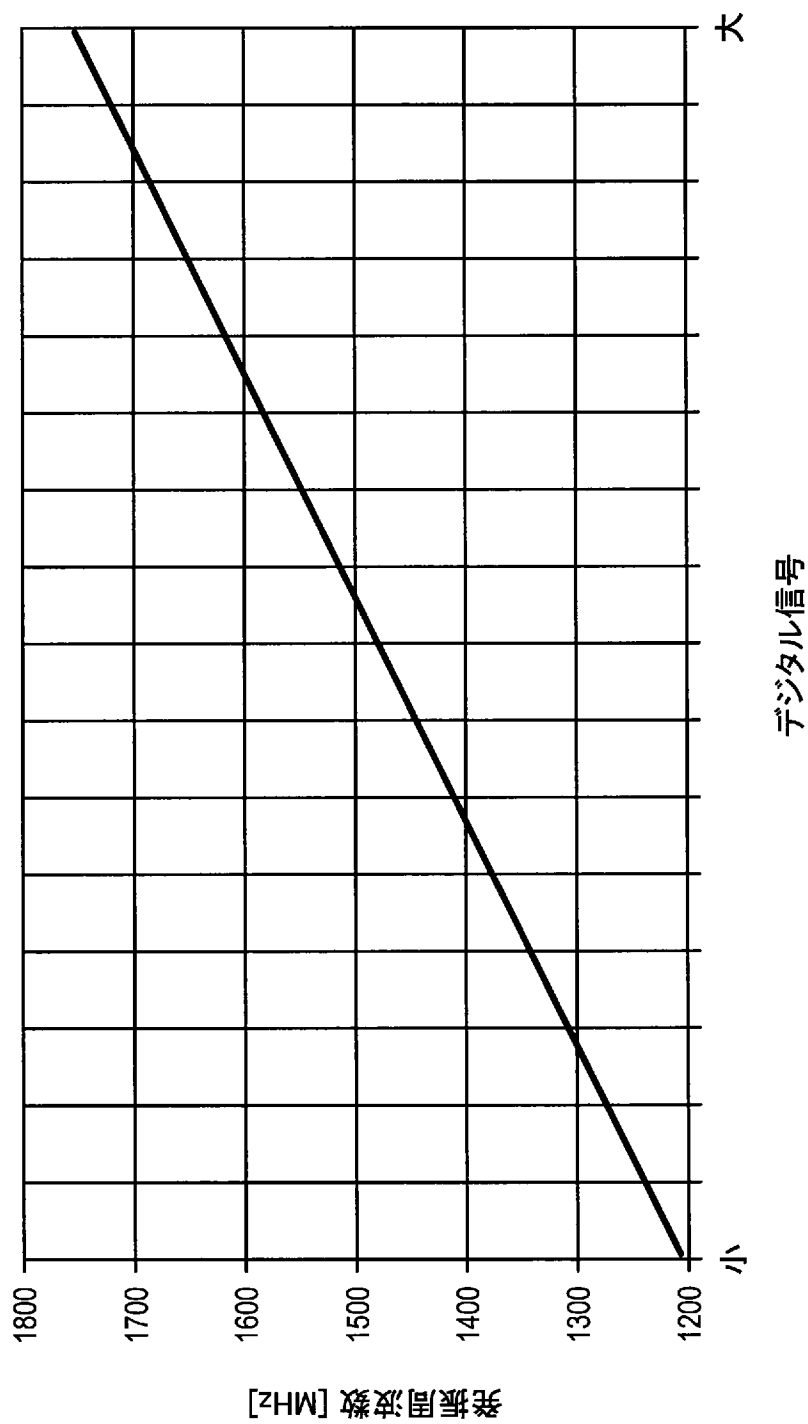
[図2]



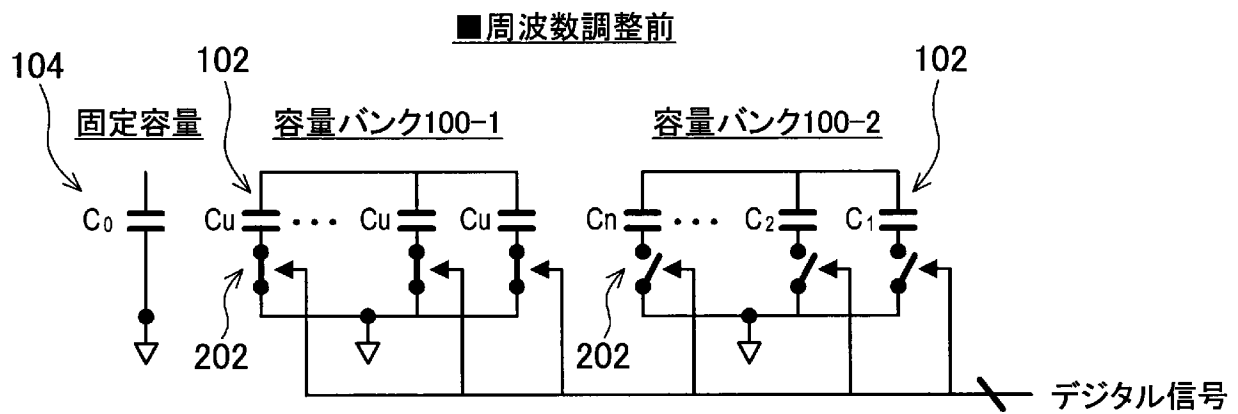
[図3]

100

[図4]



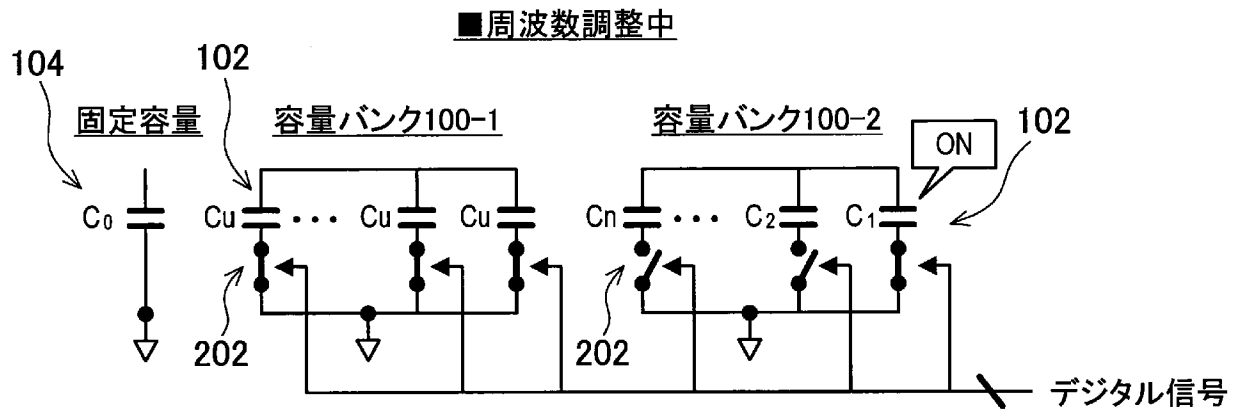
[図5]



総容量値 $C_0 + NCu$
 発振周波数 $F_0 = 1/(2\pi\sqrt{L(C_0 + NCu)})$

ΔC : 微小容量値
 Cu : 使用プロセスで製造可能な最小容量値
 C_0 : 固定容量値
 C_1 : $Cu + \Delta C$
 C_2 : $Cu + 2\Delta C$
 C_n : $Cu + n\Delta C$
 N, n : 整数

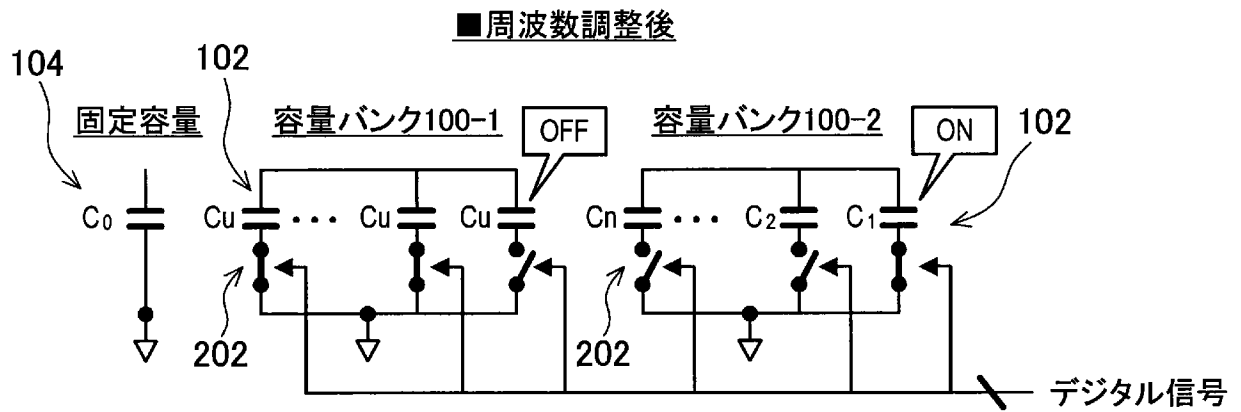
[図6]



総容量値	$C_0 + NC_u + (C_u + \Delta C) = C_0 + (N+1)C_u + \Delta C$
発振周波数	$F_1' = 1 / (2\pi \sqrt{L(C_0 + (N+1)C_u + \Delta C)})$

ΔC : 微小容量値
C_u : 使用プロセスで製造可能な最小容量値
C_0 : 固定容量値
C_1 : $C_u + \Delta C$
C_2 : $C_u + 2\Delta C$
C_n : $C_u + n\Delta C$
N, n : 整数

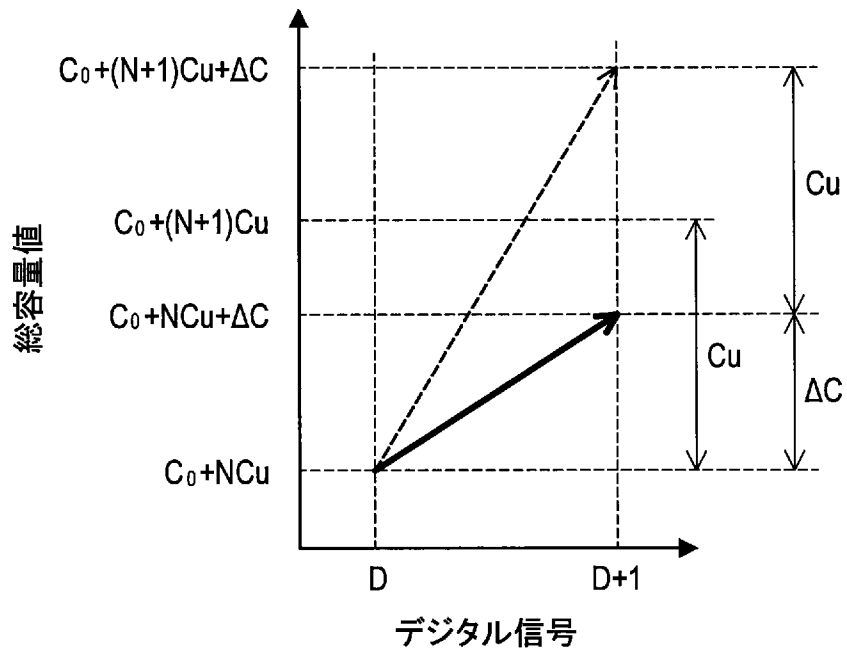
[図7]



総容量値	$C_0 + (N-1)C_u + (C_u + \Delta C) = C_0 + NC_u + \Delta C$
発振周波数	$F_1 = 1 / (2\pi \sqrt{L(C_0 + NC_u + \Delta C)})$

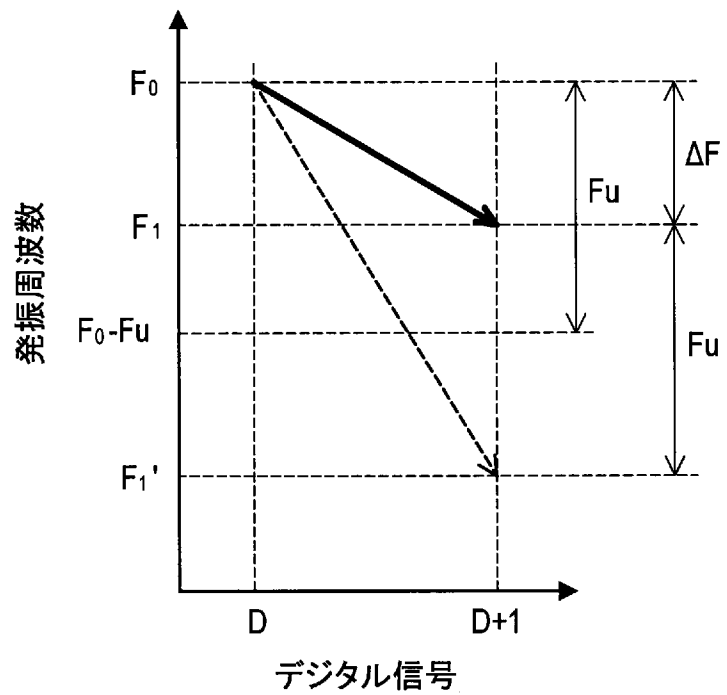
ΔC : 微小容量値
C_u : 使用プロセスで製造可能な最小容量値
C_0 : 固定容量値
C_1 : $C_u + \Delta C$
C_2 : $C_u + 2\Delta C$
C_n : $C_u + n\Delta C$
N, n : 整数

[図8]



C_0 : 固定容量値
 ΔC : 微小容量値
 Cu : 使用プロセスで製造可能な最小容量値

[図9]

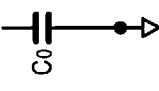
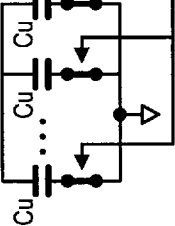
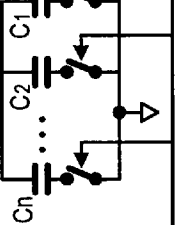
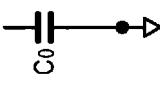
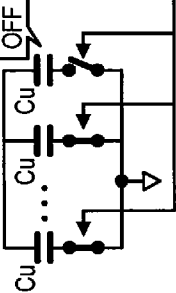
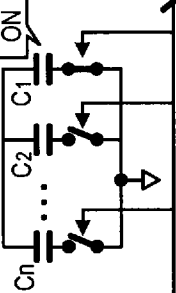
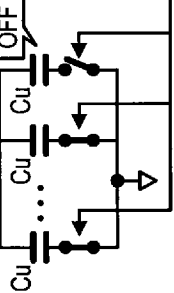
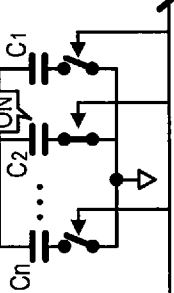
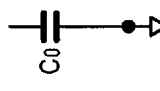
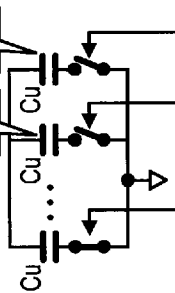
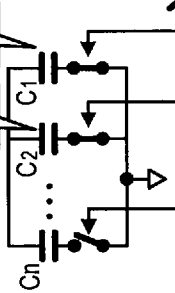


F_0 : 周波数調整前の周波数

ΔF : 微小周波数変化幅

F_u : 使用プロセスで製造可能な最小容量値
による周波数変化

[図10]

デジタル 信号	総容量値	発振周波数	動作		
			固定容量	容量バンク100-1	容量バンク100-2
D	$C_0 + NC_u$	$F_0 = 1/(2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u)})$			
D+1	$C_0 + (N-1)C_u + (C_u + \Delta C) = C_0 + NC_u + \Delta C$	$F_1 = 1/(2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u + \Delta C)})$			
D+2	$C_0 + (N-1)C_u + (C_u + 2\Delta C) = C_0 + NC_u + 2\Delta C$	$F_2 = 1/(2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u + 2\Delta C)})$			
D+3	$C_0 + (N-2)C_u + (C_u + \Delta C) + (C_u + 2\Delta C) = C_0 + NC_u + 3\Delta C$	$F_3 = 1/(2\pi\sqrt{L(C_0 + NC_u + 3\Delta C)})$			

ΔC : 微小容量値

C_u : 使用プロセスで製造可能な最小容量値

C_0 : 固定容量値

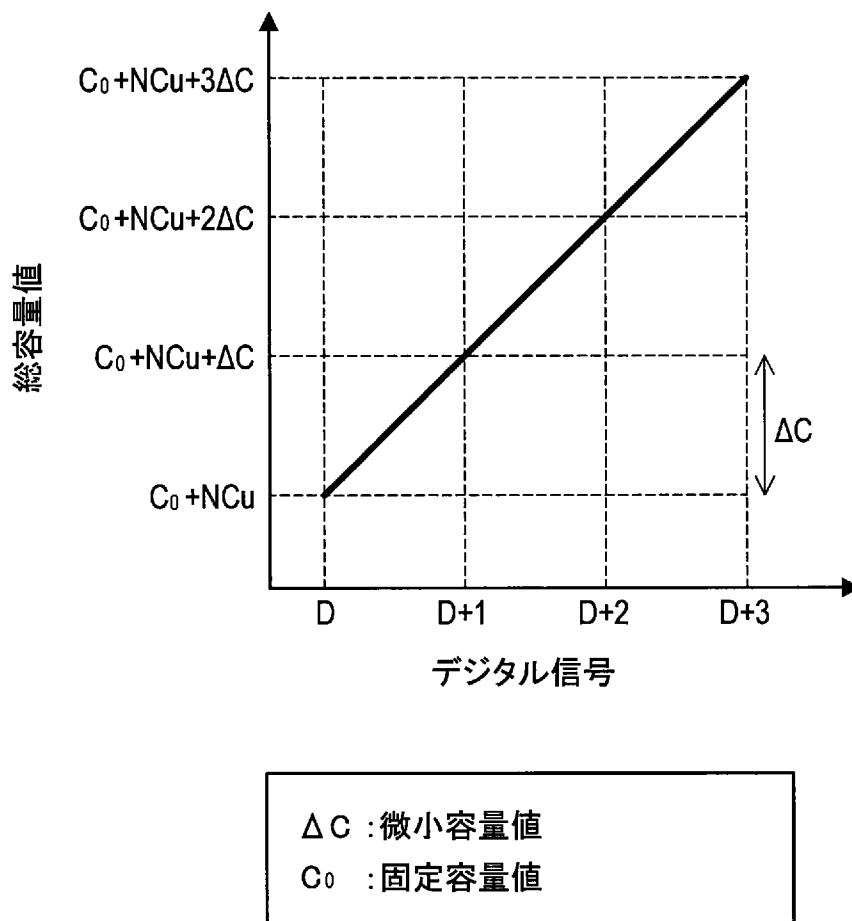
$C_1 : C_u + \Delta C$

$C_2 : C_u + 2\Delta C$

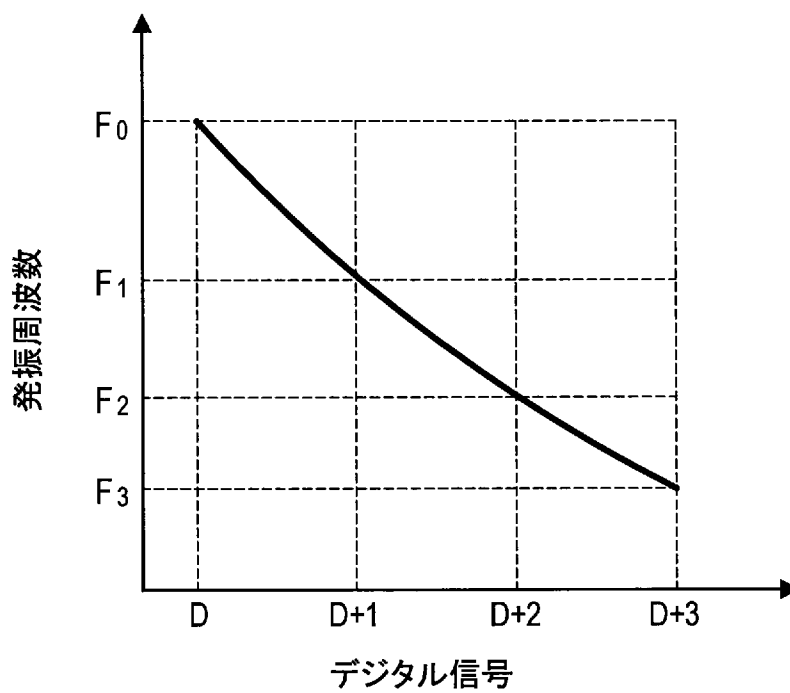
$C_n : C_u + n\Delta C$

N, n : 整数

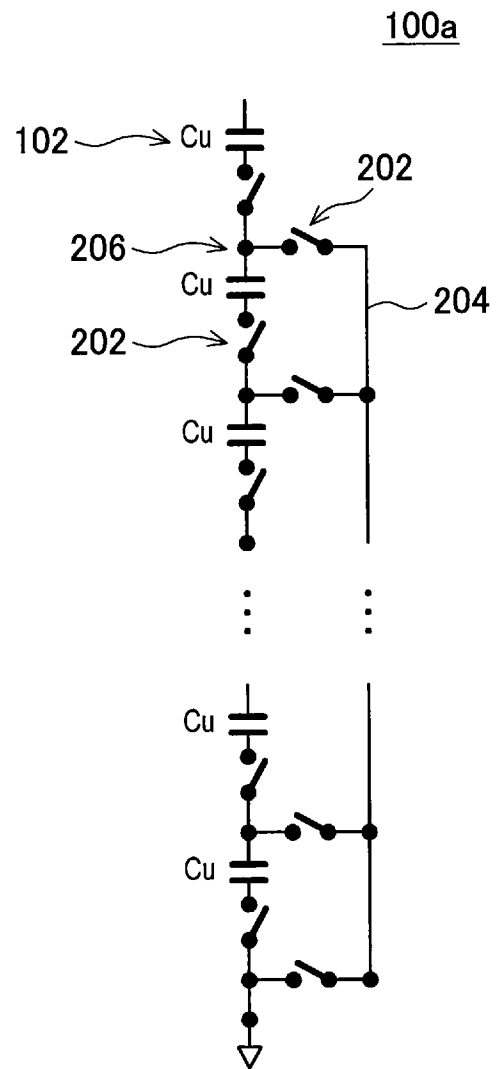
[図11]



[図12]



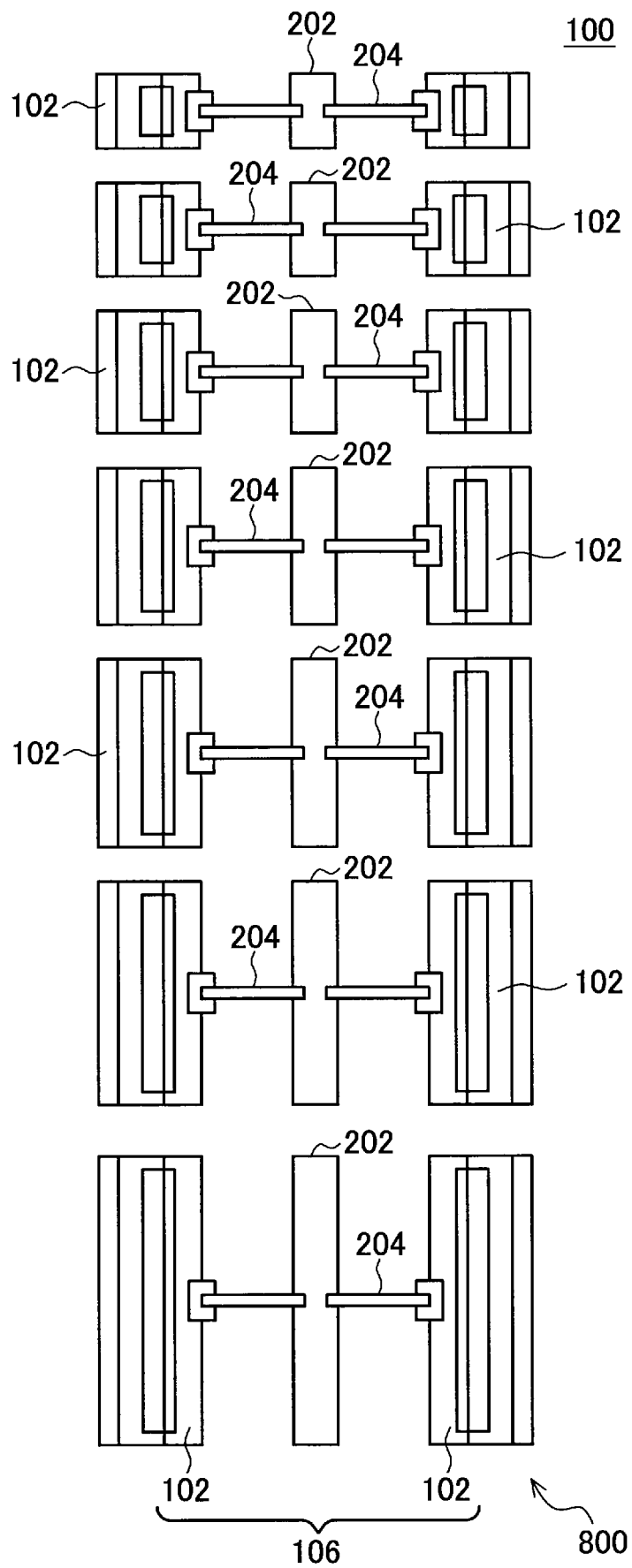
[図13]



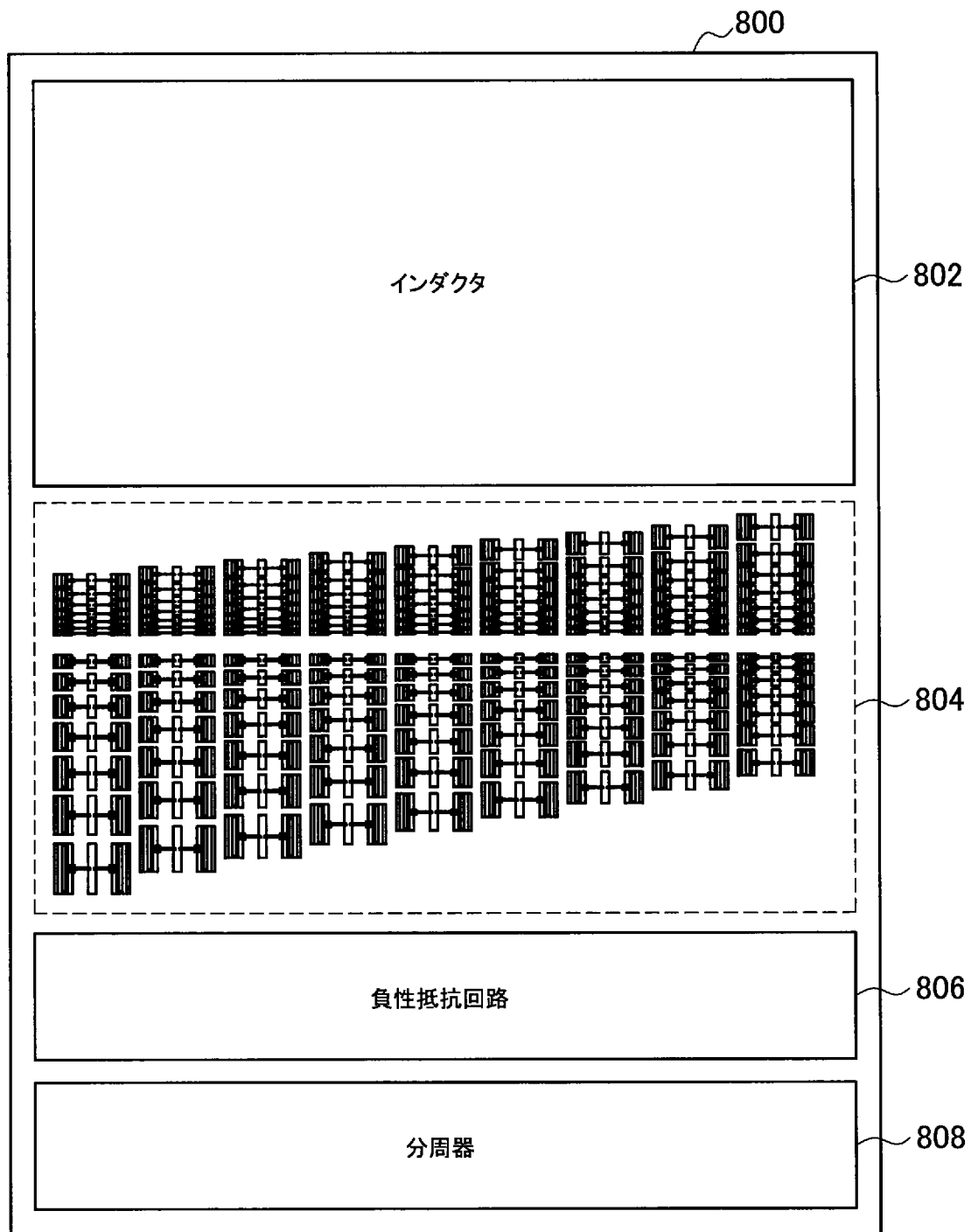
[図14]

信号	周波数調整前	周波数調整後
直列合成 容量	$C_{\text{合成1}} = \frac{C_u}{M}$ $M = \frac{C_u}{\Delta C} \text{ とおく}$	$C_{\text{合成2}} = \frac{C_u}{M/2}$
総容量値	$C_0 + C_{\text{合成1}} = C_0 + \Delta C$	$C_0 + C_{\text{合成2}} = C_0 + 2\Delta C$
動作	固定容量 容量バンク 100a 102 104 直列数: M M個ON	固定容量 容量バンク 100a 102 104 M/2個 ON M/2個 OFF 直列数: M

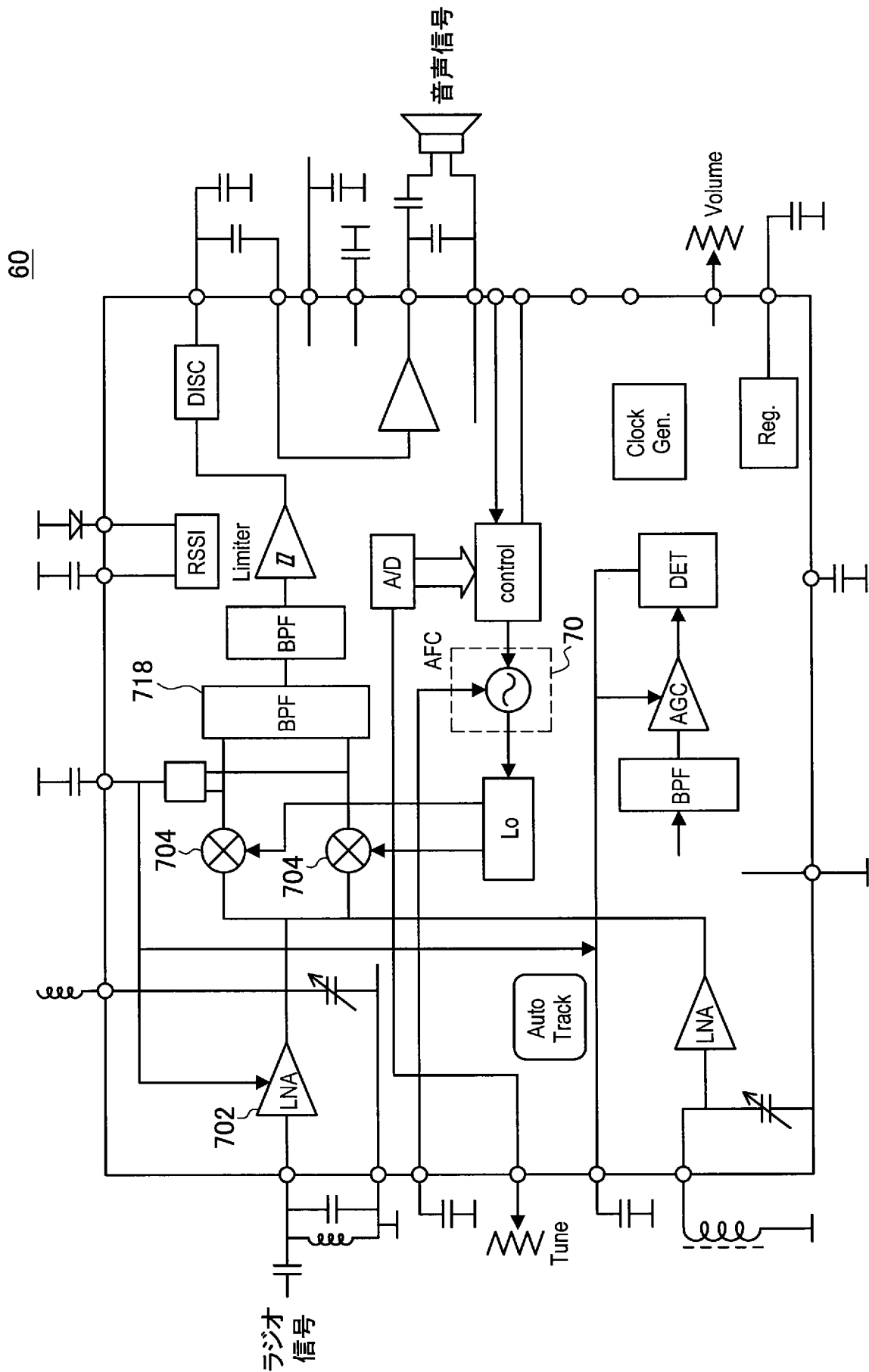
[図15]



[図16]



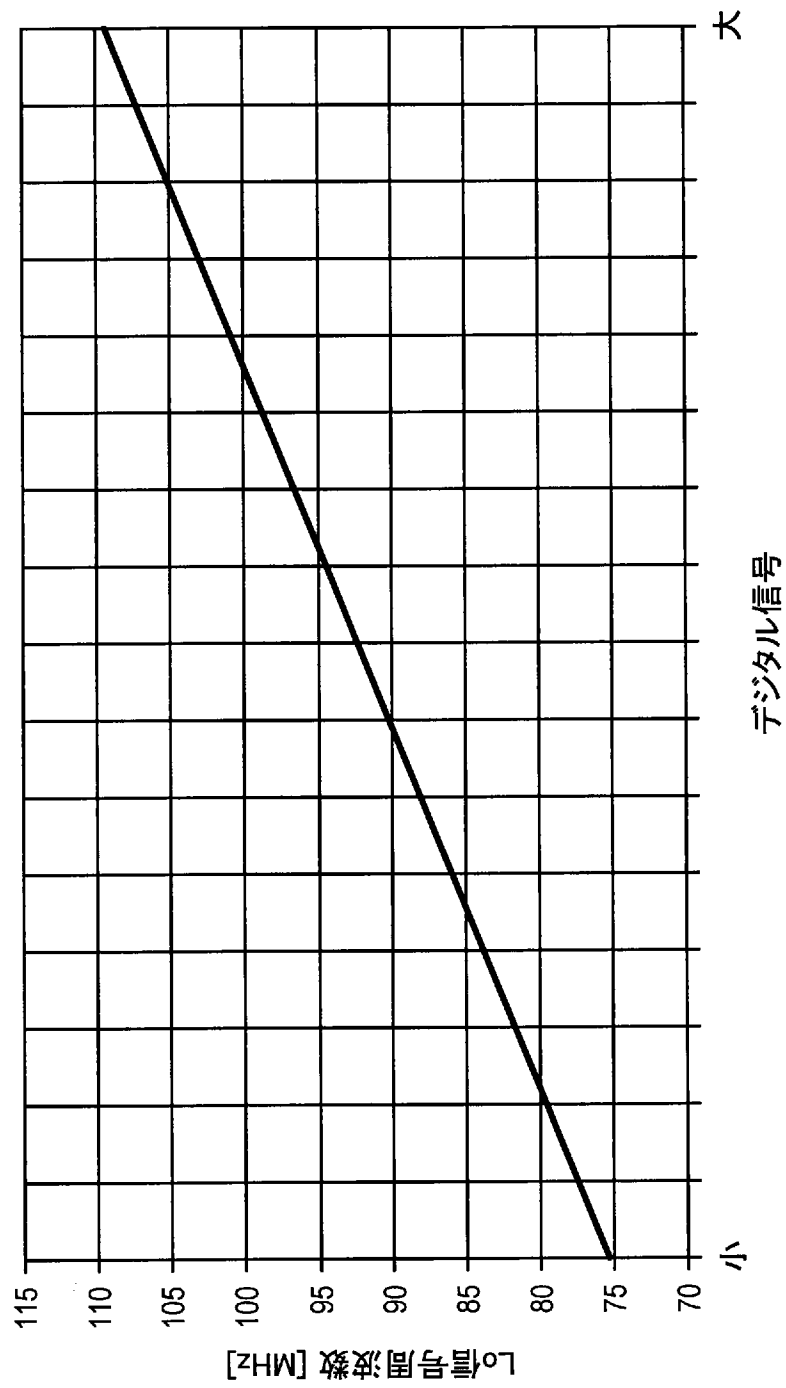
[図17]



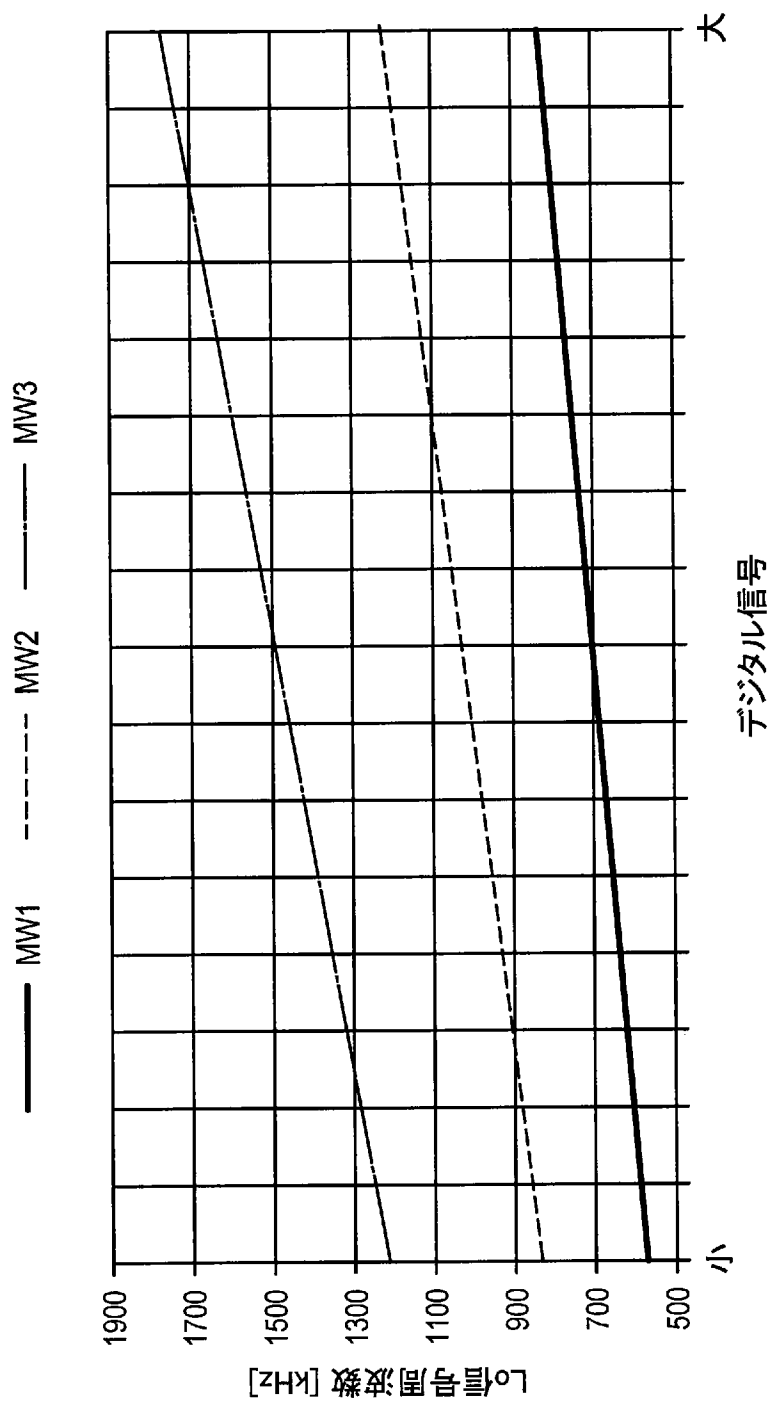
[図19]

受信モード	発振周波数	初段Div	N Div	最終段Div	総分周数	局部発振周波数
FM	1206.4-1752MHz	4	なし	4	16	76-108MHz
AM(MW1)	1206.4-1752MHz	4	131	4	2096	575.6-835.6kHz
AM(MW2)	1206.4-1752MHz	4	90	4	1440	837.8-1216.7kHz
AM(MW3)	1206.4-1752MHz	4	62	4	992	1216.1-1766.1kHz

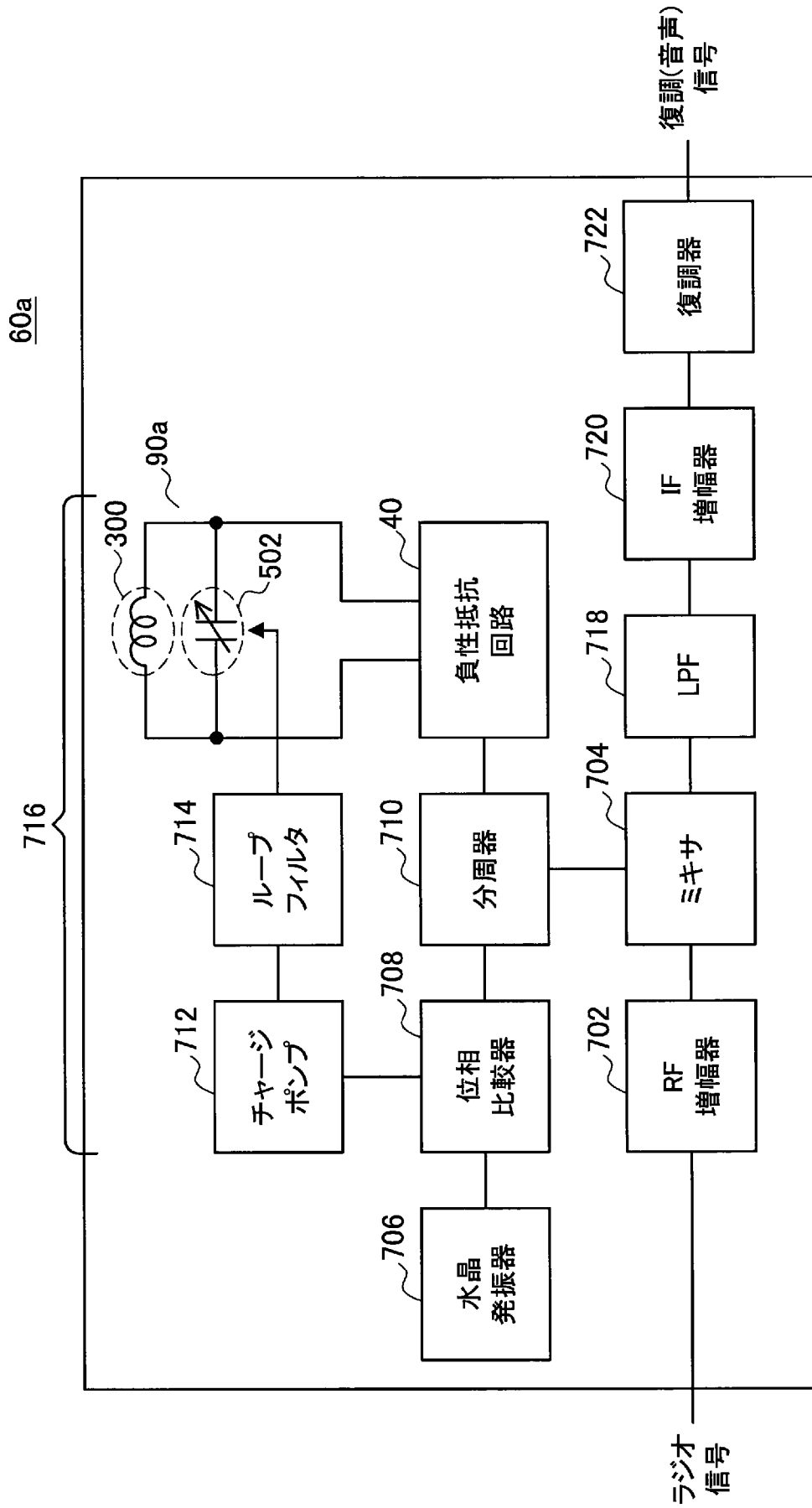
[図20]



[図21]

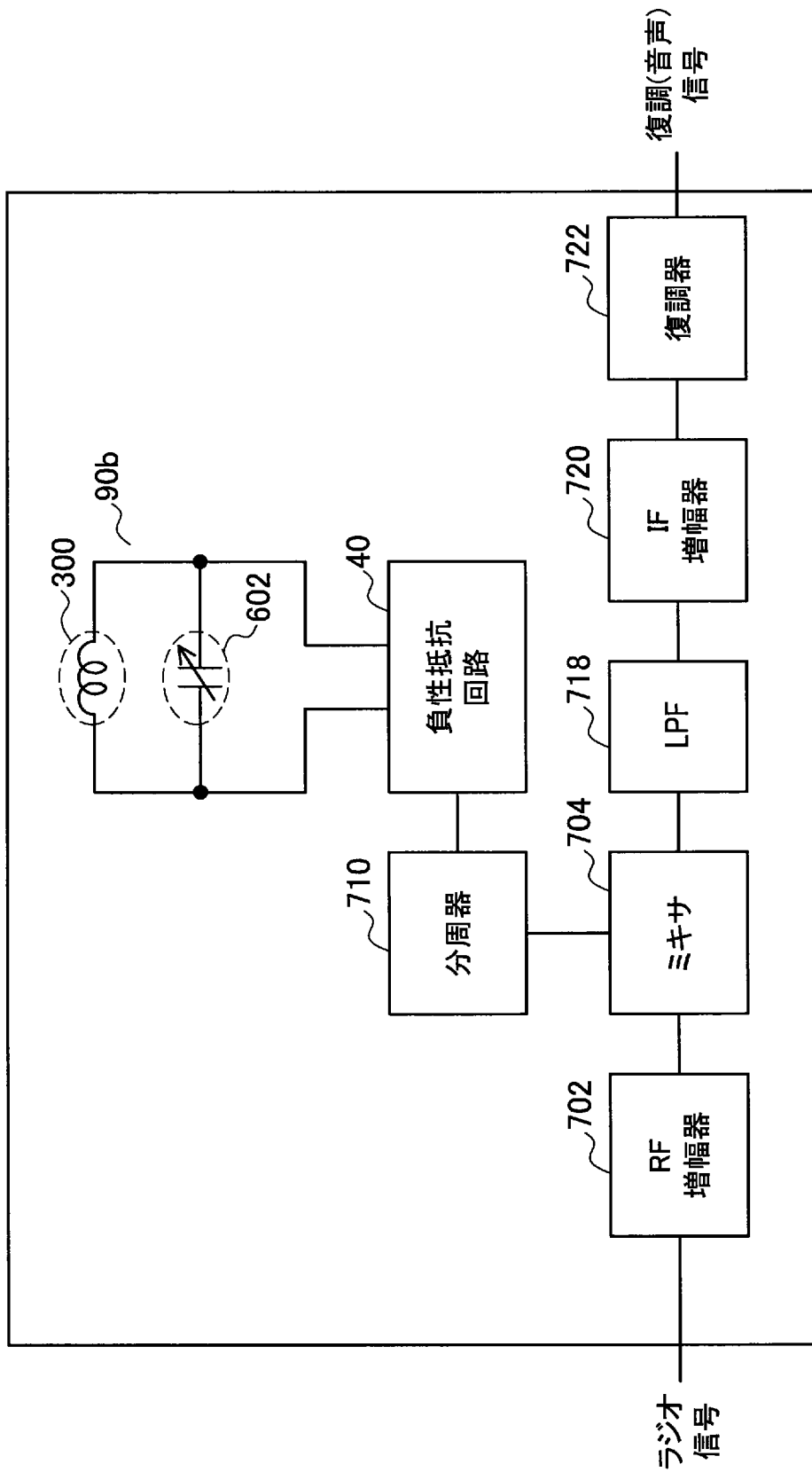


[図22]

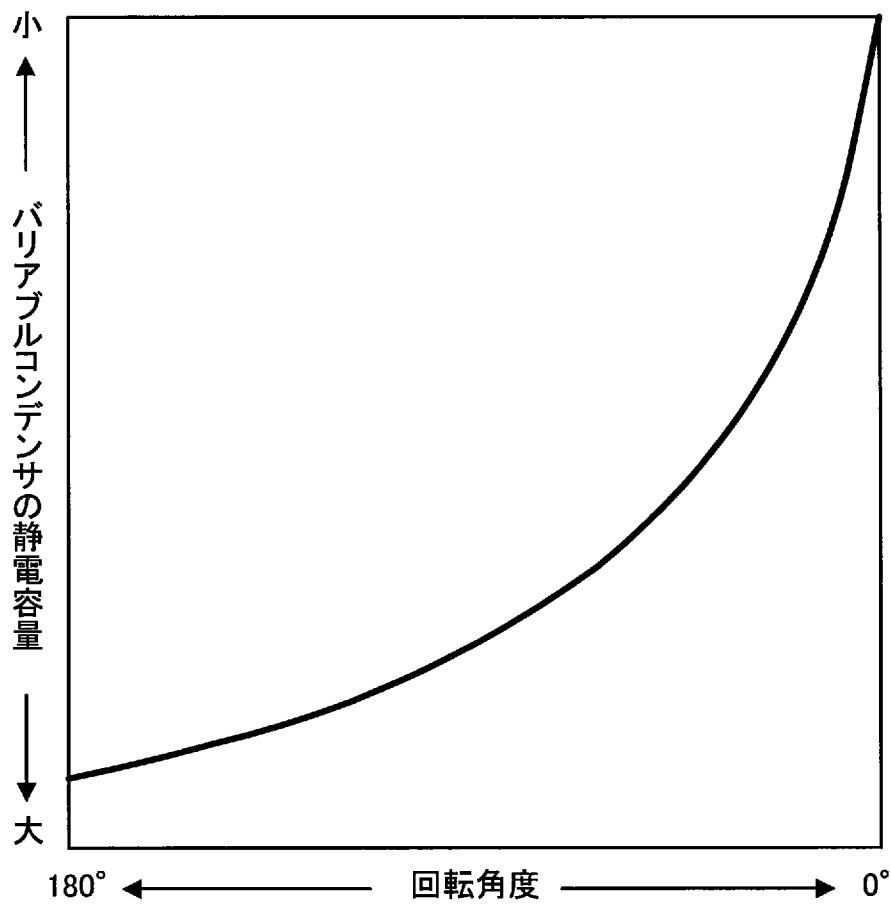


[図23]

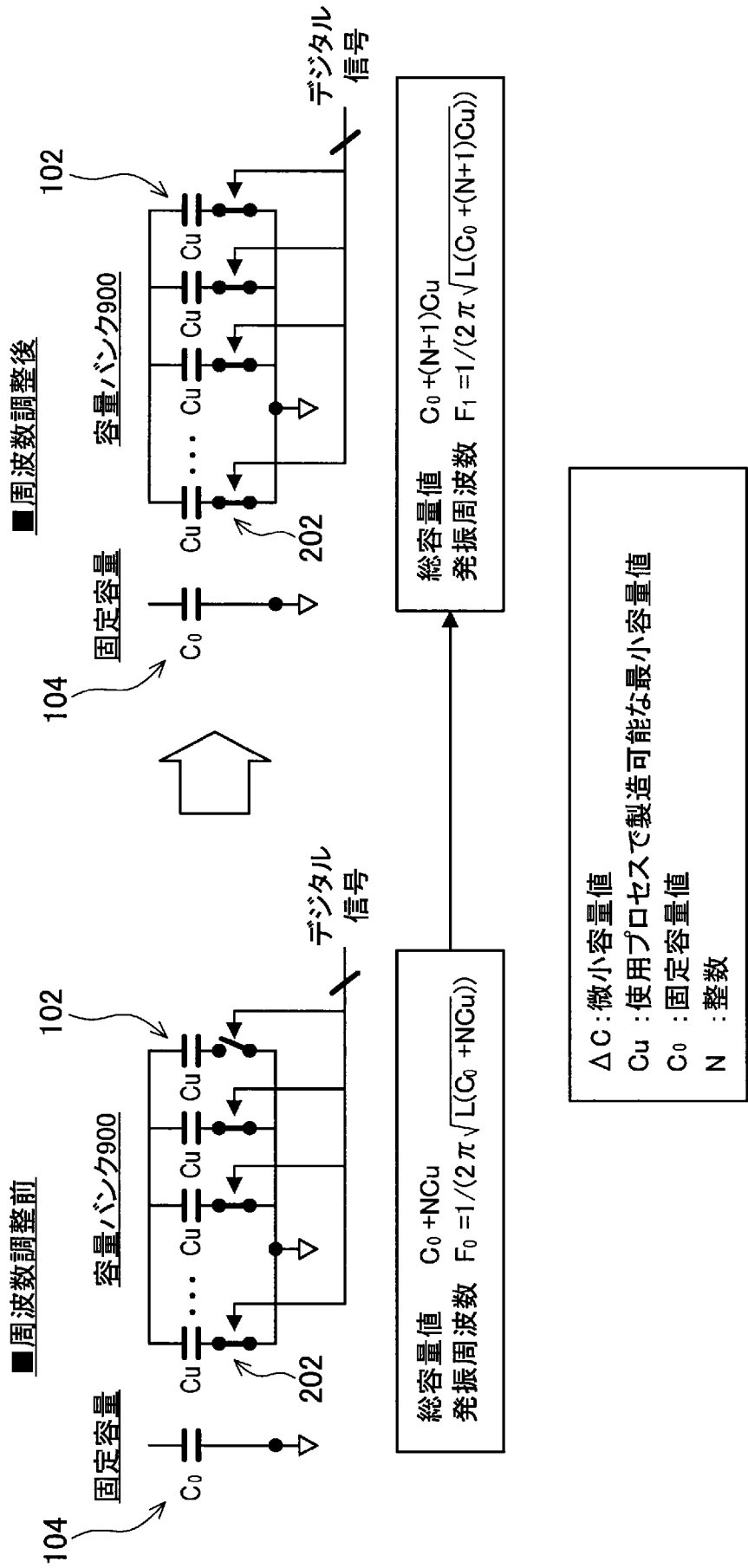
60b



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/032801

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H03B5/08 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H03B5/08

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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.
Y A	JP 2011-520393 A (QUALCOMM INC.) 14 July 2011, paragraphs [0002]-[0026], fig. 1-8 & US 2009/0278620 A1, paragraphs [0002]-[0038], fig. 1-8 & WO 2009/137620 A1 & EP 2291915 A1 & KR 10-2011-0005730 A & CN 102017422 A	1-10, 14-18 11-13
Y A	JP 2002-100962 A (TEXAS INSTRUMENTS JAPAN LIMITED.) 05 April 2002, paragraphs [0034]-[0061], fig. 1, 2 (Family: none)	1-10, 14-18 11-13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 12.11.2018	Date of mailing of the international search report 20.11.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/032801

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2011-155489 A (TOSHIBA CORPORATION) 11 August 2011, paragraphs [0023]-[0047], fig. 5-22 & US 2011/0181367 A1, paragraphs [0050]-[0075], fig. 5-22	1-10, 14-18 11-13
Y	JP 2000-031741 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 28 January 2000, fig. 19 (Family: none)	8-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H03B5/08 (2006.01) i

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））

Int.Cl. H03B5/08

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
Y A	JP 2011-520393 A（クゥアルコム・インコーポレイテッド） 2011.07.14, 段落[0002]-[0026], [図1]-[図8] & US 2009/0278620 A1, 段落[0002]-[0038], [図1]-[図8] & WO 2009/137620 A1 & EP 2291915 A1 & KR 10-2011-0005730 A & CN 102017422 A	1-10, 14-18 11-13
Y A	JP 2002-100962 A（日本テキサス・インスツルメンツ株式会社） 2002.04.05, 段落[0034]-[0061], [図1]-[図2]（ファミリーなし）	1-10, 14-18 11-13

☒ 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。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「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矛盾するものではなく、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

12.11.2018

国際調査報告の発送日

20.11.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

石田 昌敏

5W

4181

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

C (続き) . 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
Y A	JP 2011-155489 A (株式会社東芝) 2011.08.11, 段落[0023]-[0047], [図5] - [図22] & US 2011/0181367 A1, 段落 [0050] - [0075] , [図5] - [図22]	1-10, 14-18 11-13
Y	JP 2000-031741 A (セイコーエプソン株式会社) 2000.01.28, [図 19] (ファミリーなし)	8-9