

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4990286号
(P4990286)

(45) 発行日 平成24年8月1日(2012.8.1)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 G 5/16 (2006.01)	HO 1 G 5/16
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00
HO 1 L 29/84 (2006.01)	HO 1 L 29/84 Z

請求項の数 10 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2008-535164 (P2008-535164)	(73) 特許権者	510263560
(86) (22) 出願日	平成18年10月10日 (2006.10.10)		エプコス アーゲー
(65) 公表番号	特表2009-512210 (P2009-512210A)		EPCOS AG
(43) 公表日	平成21年3月19日 (2009.3.19)		ドイツ国 81669 ミュンヘン セン
(86) 国際出願番号	PCT/IB2006/053711		ト-マーティン-シュトラーセ 53
(87) 国際公開番号	W02007/043006	(74) 代理人	100147485
(87) 国際公開日	平成19年4月19日 (2007.4.19)		弁理士 杉村 憲司
審査請求日	平成20年6月5日 (2008.6.5)	(74) 代理人	100153017
(31) 優先権主張番号	05109574.3		弁理士 大倉 昭人
(32) 優先日	平成17年10月14日 (2005.10.14)	(74) 代理人	100158148
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		弁理士 荒木 淳
前置審査			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MEMSチューナブルデバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、可動素子と、前記基板及び前記可動素子上の、チューナブルキャパシタを構成する1対の第1のキャパシタ電極と、前記基板及び前記可動素子上に配置され協働して前記可動素子を前記基板と相対的に移動させる1対の第2のキャパシタ電極と、前記可動素子を最大及び最小位置間の中間位置に移動させるために前記電極に電力を供給するコントローラとを具えるマイクロエレクトロメカニカルデバイスであって、前記コントローラは、前記可動素子を前記中間位置に保持するのに必要とされる第2のレベルより高い第1のレベルを有し、その後前記可動素子を前記中間位置に安定化させるために前記第2のレベルに減少する少なくとも1つのパルスを供給し、且つ前記コントローラは、前記マイクロエレクトロメカニカルデバイスの出力信号でリングングが発生しているか否かについて検出し、それに応じて制御信号を適合させる帰還機構を有し、

前記1対の第1のキャパシタ電極は、電極間に第1空隙d1を規定し、この第1空隙に応じた容量を実現し、

前記1対の第2のキャパシタ電極は、電極間に第2空隙d2を規定し、電圧パルスが印加された場合に静電力により可動素子を駆動するために用いられ、

中間位置で連続同調が可能となるように、空隙比d1/d2が1/3未満であり、

前記電極間の空隙の増大を制御するために、前記コントローラは前記可動素子の振動を減衰させるようにタイミング制御されたパルス列を供給するように構成されていることを特徴とするマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つのパルスは、前記移動が前記電極間の空隙を減少させるのか増大させるのかに依存することを特徴とする請求項 1 記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

【請求項 3】

前記コントローラは、静電力を変化させるために前記電極間の電圧差を制御するように構成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

【請求項 4】

前記電極間の空隙の増大を制御するために、前記コントローラは最大供給レベルの単一パルスを供給するように構成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

10

【請求項 5】

前記単一パルスの持続時間は、移動の前と後の供給レベルに依存することを特徴とする請求項 4 記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

【請求項 6】

前記パルス列は前記移動の前と後の供給レベルに依存することを特徴とする請求項 1 記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

【請求項 7】

前記パルス列は、共振周波数に対応する周期を有し且つ所定の供給レベルの上下に複数のピークと谷を具え、連続するピークと谷が所定の供給レベルに近づくように構成されることを特徴とする請求項 1 又は 6 記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

20

【請求項 8】

前記可動素子をバイアスするために弾性結合を有することを特徴とする請求項 1 ~ 7 の何れかに記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

【請求項 9】

前記弾性結合は前記可動素子の少なくとも 2 辺に配置されていることを特徴とする請求項 8 記載のマイクロエレクトロメカニカルデバイス。

【請求項 10】

基板と、可動素子と、前記基板及び前記可動素子上の、チューナブルキャパシタを構成する 1 対の第 1 のキャパシタ電極と、前記基板及び前記可動素子上に配置され、協働して前記可動素子を前記基板と相対的に移動させる 1 対の第 2 のキャパシタ電極とを有するマイクロエレクトロメカニカルデバイスの可動素子を制御する方法であって、移動時に前記可動素子を中間位置に保持するのに必要とされる第 2 のレベルより高い第 1 のレベルを有し、その後前記可動素子を前記中間位置に安定化させるために前記第 2 のレベルに減少する少なくとも 1 つのパルスを前記電極に供給することによって前記可動素子を前記中間位置に移動させるステップと、前記マイクロエレクトロメカニカルデバイスの出力信号でリングングが発生しているか否かについて検出し、それに応じて制御信号を適合させるステップとを具え、

30

前記 1 対の第 1 のキャパシタ電極は、電極間に第 1 空隙 d_1 を規定し、この第 1 空隙に応じた容量を実現し、

40

前記 1 対の第 2 のキャパシタ電極は、電極間に第 2 空隙 d_2 を規定し、電圧パルスが印加された場合に静電力により可動素子を駆動するために用いられ、

中間位置で連続同調が可能となるように、空隙比 d_1 / d_2 が $1 / 3$ 未満であり、

前記電極間の空隙の増大を制御するために、前記コントローラは前記可動素子の振動を減衰させるようにタイミング制御されたパルス列を供給するように構成されている
 ることを特徴とするマイクロエレクトロメカニカルデバイスの可動素子の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、MEMSデバイス及びこのようなデバイスを制御及び製造する方法に関し、特にMEMSチューナブルキャパシタデバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

用語「MEMS」(Micro-electromechanical system or structure or switch)は種々のデバイスを含む。MEMSデバイスの一般的な構成は対向して位置する第1及び第2電極を有するフリースタンドビームのような可動部材を具える。第1及び第2電極は空隙で互いに分離される。第1電極は駆動電圧の印加により静電力を与えることによって第2電極の方へ移動させることができる。第1電極を第2電極から離れる方向に移動させるためにはばね力が使われる。コイル形態の電極の電流による誘導力、空気圧力などのような他の力を使うこともできる。MEMSデバイスは通常、小寸法、例えばミクロン範囲(ほぼ人間の髪の毛の太さ)である、電気信号で電子制御が可能である、可動部分を含むという意味でメカニカルであるという特徴を有する。

10

【0003】

いくつかの一般的なアプリケーションは、

- ・マイクロフォン又はラウドスピーカ(特定のタイプの振動版を使用する)
- ・センサ、特に空気圧力センサ
- ・共振器
- ・ディスプレイ内の画素スイッチ又は光スイッチ用のミラードライバ
- ・RFアプリケーションにおけるスイッチ又は可変容量

20

である。

【0004】

商業的に重要なアプリケーションの一つは、MEMSを、電話やコンピュータ、例えばラップトップのようなモバイル無線デバイスのフロントエンド内の集積されたバンド切替部との可変インピーダンス整合のために使用するものである。MEMSデバイスを用いる可変キャパシタの一例はWO2004/000717に開示されている。チューナブルキャパシタはメタルベースのMEMSから形成でき、RFアーキテクチャ、例えばアダプティブインピーダンス整合回路網又はチューナブルLC VCOタンク回路への応用に極めて有望である。

【0005】

しかし、これらのデバイスの欠点は、特に駆動電圧が閉成電圧に近づくと、本質的に低速である点にある。閉成電圧は、上部メタルが中間空隙を閉じる点に到達する電圧である。大気圧において、減衰効果が慣性効果より優勢になる。この限界範囲内で、閉成電圧の近くでは、静電力とばね力の平衡により決まる平衡状態になるとき、可動電極の速度のみならず、変位に対する速度の導関数も零に近づく。あいにく、閉成電圧のすぐ下で最大の容量変化が起こる。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、改良されたMEMSデバイス及びこのようなデバイスを制御及び製造する方法を提供することであり、特に改良されたMEMSチューナブルキャパシタデバイスを提供することにある。本発明の利点は、例えば可動部材とそれらの間の設定可能な空隙とを有するチューナブルMEMSデバイスが動作点に高速度で到達する点にある。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の第1の態様によれば、基板と、可動素子と、前記基板及び前記可動素子上に配置され協働して前記可動素子を前記基板と相対的に移動させる1対の電極と、前記可動素子を最大及び最小位置間の中間位置に移動させるために前記電極に電力を供給するコントローラとを具え、前記コントローラは、前記可動素子を前記中間位置に保持するのに必要とされる第2のレベルより高い第1のレベルを有し、その後前記可動素子を前記中間位置

50

に安定化させるために前記第2のレベルに減少する少なくとも1つのパルスを供給することを特徴とするマイクロエレクトロメカニカルデバイスが提供される。好適な第1のレベルは、例えばブレークダウンを生じることなく印加し得る最大値に近い電圧である。この電圧を供給するために、別個の電圧発生器を設けることができる。電圧の代わりに、誘導デバイスに対しては電流を供給することができる。

【0008】

自由選択事項として、可動素子が一方向にのみ移動されるたびに、得るべき中間位置と無関係に第1のレベルを供給する。第1のレベルが与えられるパルスの長さは可動素子を所望の最終位置に近づけるように変更する。

【0009】

前述した移動の過減衰及び/又は固有の低速動作を補償するために、コントローラは、好ましくは可動素子を中間位置に保持するのに必要とされる電圧より著しく高い使用可能な最高電圧で可動素子をできるだけ速く中間位置へ駆動させる。前記パルスが供給されたとき、デバイスが不足減衰する場合、前記電極はリングング状態になり得る。この場合には、リングングはアクティブ減衰により抑圧できる。リングングは電極の容量の振動変化により検出でき、それから逆位相駆動電圧を発生させてリングングを抑圧することができる。これは整定遅延を低減し、このような遅延の欠点を克服するのに役立つ。この利点は原理的に任意のチューナブルデバイスに提供可能である。

【0010】

本発明の他の態様によれば、基板と、可動素子と、前記基板及び前記可動素子上に配置され、協働して前記可動素子を前記基板と相対的に移動させる1対の電極と、前記可動素子を最大及び最小位置間の中間位置に移動させるために前記電極に電力を供給するコントローラとを具え、前記コントローラは、リングングをアクティブ減衰によって克服するような電力供給を行うように構成されているマイクロエレクトロメカニカルデバイスが提供される。この方法は原理的に任意のチューナブルデバイスに適用できる。

【0011】

本発明の一実施例によれば、基板と、可動素子と、前記基板及び前記可動素子上に配置され協働して前記可動素子を前記基板と相対的に移動させる1対の電極と、前記可動素子を、例えば電極に供給される所定の電力供給レベルに対応する、最大及び最小位置間の中間位置に移動させるために、前記電極に電力を供給するコントローラとを具え、前記コントローラは、移動時に少なくとも1つのパルスを前記電極に供給し、その後所定の供給レベルを供給し、前記少なくとも1つのパルスは前記移動の固有の低速及び/又は不足減衰又は過減衰を補償するようにタイミング制御するように構成されているマイクロエレクトロメカニカルデバイスが提供される。この構成は、整定遅延を低減し、このような遅延の欠点を克服するのに役立つ。この利点は原理的に任意のチューナブルデバイスに適用できる。

【0012】

いくつかの実施例の追加の特徴として、前記パルスは前記移動が電極間の空隙を減少させるのか増大させるのかに依存させる。これは、一般に、前記移動が不足減衰か過減衰かを決定し、従ってパルスを加えるべきか減衰を抑圧して整定時間を低減すべきかを決定する。

【0013】

他のこのような追加の特徴として、コントローラは静電力を変えるために電極間の電圧差を制御するよう構成する。これは一般に誘導力を使用するものより電力効率が高い。

【0014】

他のこのような追加の特徴として、空隙の減少を制御するために、コントローラは最大供給レベルの単一パルスを供給するよう構成される。この構成は、空隙の減少が過減衰であり、この状態が一般的であるデバイスに好適である。

【0015】

他のこのような追加の特徴として、単一パルスの持続時間は移動前と後の供給レベルに

10

20

30

40

50

依存する。

【0016】

他のこのような追加の特徴として、空隙の増大を制御するために、コントローラは可動素子の振動を減衰させるようにタイミング制御されたパルス列を供給するよう構成する。この構成は、空隙の増大が不足減衰であり、この状態が一般的であるデバイスに好適である。

【0017】

他のこのような追加の特徴として、前記パルス列は移動前と後の供給レベルに依存する。

【0018】

他のこのような追加の特徴として、前記パルス列は、共振周波数に相当する周期を有し且つ所定の供給レベルの上下に複数の連続するピークと谷を具え、これらの連続するピークと谷が所定の供給レベルに近づくように構成する。

【0019】

他のこのような追加の特徴として、デバイスは、チューナブルキャパシタを形成するために基板と可動素子の上にキャパシタ電極を有する。

【0020】

他のこのような追加の特徴として、可動素子にバイアスを与えるために弾性結合を設ける。この構成は、多数の電極対を必要とするフローティング可動素子より簡単な構造又は精密な位置決めを提供することができる。

【0021】

他のこのような追加の特徴として、前記弾性結合は、可動素子の少なくとも2つの辺に配置する。この構成は、例えば振動および製造変化に対する低い感受性を有するより安定で信頼できる構造をもたらす。

【0022】

本発明の他の態様はこのようなデバイスを制御する方法である。

【0023】

上述した追加の特徴のうちの任意の特徴を互いに組み合わせることができ且つ本発明の態様の任意のものと組み合わせることができる。特に他の従来技術に優る他の利点が当業者に明らかである。本発明の範囲を逸脱することなく多くの変形や変更を加えることができる。従って、本発明の実施例の説明は単なる例示であって、本発明の範囲を限定するものではないこと明らかであるものと理解されたい。

【0024】

本発明はどのように実施できるかを、一例として、添付図面を参照して以下に詳細に説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

本発明の特許請求の範囲で特定される発明の範囲は明示される実施例にのみ限定されない。特許請求の範囲において、括弧内の符号は請求項の記載を限定するものと解釈されるべきではない。「具えている」および「具える」などの単語は、請求項あるいは本明細書に列記されていない要素またはステップの存在を除外するものではない。単数形で述べる要素は複数の要素を除外するものではないし、その逆も成り立つ。

【0026】

2重空隙平行板チューナブルキャパシタは、連続的で可逆的な大きな容量同調、代表的には4 - 5の同調比を高いQ（代表的には1 p F及び2 GHzで300）で生成する（Ri jks他の論文参照）。同調比は $C(V)/C(0)$ として定義される。このコンセプトは図1に概略的に示されている。この図は2重空隙リレー型チューナブルキャパシタの断面図である。大きな空隙を有する駆動キャパシタは小さな空隙を有するRFキャパシタから分離される。 $d1/d2 < 1/3$ の場合、プルイン効果により制限されることなく、空隙d1の連続同調が可能となる。可動素子は有限のスチフネスを有するので、キャパシタ構造のエッジ部のバ

10

20

30

40

50

ンプが駆動キャパシタのプルインを防止する。

【0027】

図2は測定された容量及び同調比の同調曲線を駆動電圧の関数として示す。点線は閉成電圧を示す。2つの状態のみが重要なスイッチと異なり、適切な駆動電圧を選択することにより開及び閉状態間のすべての状態をアドレス指定可能にする必要がある。

【0028】

しかし、これらのデバイスの欠点は、特に駆動電圧が閉成電圧に近いとき、本質的に低速である点にある。閉電圧は、上部メタルの移動が $x = d/2$ で中間空隙を閉じる電圧である。大気圧では、減衰効果が慣性より優勢になる。この制限においては、閉成電圧の近くにおいて、静電力とばね力の平衡により決まる平衡変位になるとき、可動電極の速度のみならず、変位に対する速度の導関数も零に近づくことが計算される。あいにく、最大の容量変化が閉成電圧のすぐ下で起こる(図2参照)。図3は、ステップ関数電圧の印加時に測定された同調比対閉成時間 ($C(0)$ から $C(V)$ に変化するのに要する時間)を示す。図3において、三角は測定により得られたものであり、括弧内の数は $t = 0$ において印加された駆動電圧(ボルト)を示す。線は計算されたものである。このデバイスの閉成電圧は約1.5ボルトである。

【0029】

実施例でチューナブルMEMSデバイスをもっと高速に同調する駆動方法を示す。キャパシタのようなチューナブルデバイスのいくつかの実施例は、チューナブルデバイスを最終所望位置に保持するために必要とされる電圧より高い電圧を有する時宜を得た電圧パルスで駆動する。このような電圧は、同調デバイスを最終所望位置に近づけるために異なるパルス長 t_{pulse} で供給する。他の実施例では、可能な最高同調速度が達成されるように最高許容電圧 ($V_{max} \gg V_{close}$)、代表的には $V_{max}/V_{close} = 2.5$ 及び所定のパルス長 t_{pulse} で駆動し、その後所要の状態に安定化するために第2の電圧 V_{final} で駆動する。特に2重空隙平行板チューナブルMEMSキャパシタはこれを有効に利用できる。

【0030】

MEMSデバイスの2つの一般的な構造は次の通りである。

1. シリコンのような半導体基板内のMEMS構造。この場合には、電極は基板に直角に配向される。この構造はセンサ用及び共振器用に使用できるが、他のアプリケーションも除外されない。

【0031】

2. 薄膜素子としてのMEMS構造。ビーム形態の可動素子は一般に基板にほぼ平行に設置される。このタイプのMEMS構造は一般にRF MEMSに使用される。ビームには少なくとも2つの構成がある。即ち、

・ダブルクランプ(両持ち)ビーム、即ち弾性結合を構成するように基板表面に2つ以上の辺で連結されたビームで、基板方向の変位がビーム中心部に生じる。

シングルクランプ(片持ち)ビームで、基板方向の変位がビームの端部に生じる。

【0032】

ビームには一般に孔が設けられ、これらの孔はビームと基板との間の犠牲層をエッチングして空隙を形成する結果として存在するものである。これらの孔は、ビームの開閉中に、ビームと基板との間のキャピティへの空気の出入りを許すことにより減衰を減少させるのにも役立つ。MEMSデバイスを用いる可変キャパシタの一例はWO2004/000717に示されている。ここでは、その容量は電極間の空隙が減少するにつれて大きくなると説明されている。移動は機械的ばね力で制限され、このばね力は可動電極により移動された距離に正比例する。しかし、静電引力は可動電極が移動するにつれて変化する空隙の変化と非線形の関係性を有する。従って、静電引力がばね力より大きくなり、電極が互いに吸着される点が存在する。これが起こる制御電圧は「プルイン」電圧 V_{PI} と呼ばれている。この文献には、これにより容量同調比が1.5に制限され、多くの用途に不適切であることも説明されている。この比を増大するために、キャパシタのためおよびビームに静電力を印加するために別個の電極を設け、キャパシタ電極に対して小さい空隙を与えるこ

10

20

30

40

50

とが知られている。

【0033】

本発明の第1の実施例は図1に示す構成を使用することができ、無線周波数(RF)で使用するデバイスについて説明する。図1は弾性結合10で支持された可動素子15を示す。キャパシタ電極40が基板と可動素子の両方に設けられ、空隙d1を規定する。キャパシタを同調するために可動素子を移動させる駆動電極30が基板と可動素子の両方に設けられ、d1より大きい空隙d2を規定する。電極のプルインを防止するためにストッパ20を設けることができる。可動上部電極は一般にDC及びRFに共通の接地である。下部電極は本例では図1に示すように区分化され、基板60上に取り付けられる。中心下部電極はRFキャパシタのために使用され(小さい空隙)、左右の下部電極はDC駆動源に接続される(プルイン防止のために大きい空隙)。電極電圧コントローラ50が可動素子を移動させるために必要な電圧又は電流を駆動電極に供給する。

10

【0034】

このMEMS構造は、PASSI(登録商標)またはCosip(PICS又はシリコンベースSiP Sbsipとしても知られている)と呼ばれる本出願人の既知の製造プロセスを用いて製造することができる。これらは、例えば携帯電話用のコイル、キャパシタ及び抵抗のような受動素子、MEMSスイッチ及びチューナブルキャパシタを製造するプロセスを提供する。標準PASSI(登録商標)に対するRF-MEMSの差異は、表面マイクロ加工フリーハング構造を生成するために犠牲層をエッチングすることにある。これ以上の詳細は、J.T.M. Van Beek et al, "High-Q integrated RF passive and RF-MEMS on silicon", Materials, Integration and Packaging Issues for High-Frequency Devices Symposium, Boston 2003, Ed. By P. Muralt et al, MRS meeting, Vol.783, Warrendale, MRS materials Research Soc., 97-108, 2004及び T>G>S> Rijks et al, "MEMS tunable capacitors and switches for RF applications", MIEL 2004, Nis, Serbia, 24th Int. Cont Microelectronics, Conference proceedingsを参照されたい。

20

【0035】

本発明のいくつかの実施例は、キャパシタを、その最終位置に保持するのに必要とされる電圧より高い電圧を有する時宜を得た電圧パルスで駆動し、いくつかの実施例では、この駆動は最高許容電圧 $V_{max} \gg V_{close}$ で行われる。このようなパルスが、可能な最高同調速度を達成するためにキャパシタをその最終所望位置にできるだけ近づけるべく、パルス長 t_{pulse} の間印加され、その後所要の状態に安定化するために第2の電圧 V_{final} に低下される。一例が図4に示されている。上述した問題及びこの問題を解決する手段は、特に上方向き同調(即ち容量増大)に対して、すべての構成に適用される。一例が図6に示されている。下向き同調(即ち容量の減少)に対しては、同調速度(キャパシティブMEMSスイッチの開時間を意味する)はばね力と空気減衰とにより決まり、上述したパルスの印加後に減衰振動、従ってリングングが生じ得る。この場合には、その後異なるパルス列を用い、リングングと位相が一致しないようにタイミング制御されたパルスを供給することにより整定時間を短縮できる。一例が図7に示されている。振動を最小にすることにより、同調時間を短縮できる。

30

【0036】

図4において、 V_{start} はチューナブルキャパシタ(容量 C_{start} を有する)に印加される開始電圧又は現在電圧である。 V_{final} はチューナブルキャパシタの最終状態又は新状態(C_{final})を決定する電圧である。両電圧は図2に示すようなC-V曲線から得ることができる。図4に示すように、 V_{max} のパルスが供給される。このパルスの終了時に、電極、従って容量を一定値に維持するために V_{final} が供給される。 V_{max} は V_{final} より高い電圧で、最大許容駆動電圧(深刻な損傷又はブレークダウンの恐れのない可能な最大電圧)とするのが好ましい。慣性を無視すれば、 t_{pulse} は V_{max} におけるC-t曲線(図5)から得ることができる。この図は、ステップ関数の駆動電圧 V_{max} の印加時の容量の時間応答を示す。図4のV-tパターンは、原理的に、容量を C_{start} から C_{final} へ上向きに同調する最速の方法である。この実施例の原理は、システムをできるだけ速く最終

40

50

所望位置に駆動し、そのとき到達した位置に維持するために必要な拘束、例えば電圧を与えることにある。

【 0 0 3 7 】

整定時間が問題になるとき、例えば不足減衰装置においては、図 7 に示され以下に記載されるようなもっと複雑な $V - t$ パターンが考えられる。

【 0 0 3 8 】

本発明の実施例では、2種類の同調制御が使用され、第1にMEMSデバイスの可動部材を高電圧でオーバドライブし、この場合には可動部材はできるだけ速くその最終位置に駆動される。第2に、可動部材が不足減衰され、リングングを開始する場合にはアクティブ減衰を加える。

【 0 0 3 9 】

図 6 は、比較のために、3つの異なる場合に対する装置の容量の時間応答のグラフを示す。

【 0 0 4 0 】

図 6 は、図 4 の $V - t$ パターンを印加する効果の第 1 の例を比較して示す。上部曲線は、 $t = 500 \mu s$ で印加された $0 V$ から $V_{final} = 30 V$ までのステップ関数駆動電圧（パルスなし）に対する応答である。下部曲線は、 $0 V$ から $V_{final} = 13.2 V$ までのステップ関数駆動電圧に対する応答を示す。これは長い整定時間を示す。中間曲線は、整定遅延を低減するために $V_{start} = 0 V$, $V_{max} = 30 V$, $V_{final} = 13.2 V$ 及び t_{pulse} を有する図 4 に類似のパルスを有する $V - t$ パターンに対する応答を示す。初期応答後に若干のセトリングがあるが、同調速度の利得が中間曲線により明確に示されている。 $t = 500 \mu s$ 近傍の遷移については、 $t = 500 \mu s$ 及び $503 \mu s$ におけるピークは測定システムにおけるキャパシタの充放電によるもので、無視できる。

【 0 0 4 1 】

パルス動作の既知の使用方法に比較して、本発明の実施例では同調遅延を低減するために電圧パルスが使用され、最終状態を安定化する保持電圧 (V_{final}) がこれに続く。

【 0 0 4 2 】

デバイスの可動素子は、例えば密閉パッケージを用いて低圧内に実装されるとき、不足減衰を生じ得る。これは同調速度を増大するが、安定状態を中心に機械的共振周波数でリングング、即ち振動も生じる。このリングングが検出されたら、それを駆動電圧発生器に帰還することができる。駆動電圧を同じ周波数で 180 度位相をずらせて振動させれば、デバイスの振動が有効に減衰する。これがアクティブ減衰の原理である。図 7 はリングングを減衰して整定時間を低減するためのパルス列の一例を示す。このパルス列は、共振周波数に相当する周期を有し、所定の供給レベルを中心に上下する複数のピークと谷を具え、連続するピークと谷が所定の供給レベルに近づくようにする。ピークと谷の減少速度はリングングの量に従って決定できる。これは、開始及び最終レベルと可動素子の特性、例えばばね定数及び空気減衰係数とにより決めることができる。

【 0 0 4 3 】

適切な場合には、帰還機構を用いて、コントローラが出力容量のリングングを検出し、それに応じて電極を適応制御御することができる。パルスの周期及び振幅を適応制御できる。

【 0 0 4 4 】

図 8 は、コントローラの一部の一例を示すが、他の実現も考えられる。多くのアプリケーションに対して、同調速度を向上させるために高電圧を使用する。MEMS キャパシタの駆動電極の駆動電圧は標準 CMOS プロセスで使用可能な電圧以上にできるので、高電圧発生器チップが通常使用される。このチップは上述した $V - t$ パターンを生成する電圧調整器を有することができる。図 8 の例では、高電圧は、他の回路のために使用される低電圧（代表的には $2.7 V$ であるが、他のレベルも使用可）が供給される発振器 100 を用いて発生される。発振器は電圧を昇圧する DC - DC コンバータ 110 に給電する。これは、必要に応じチャージポンプ又は他の周知の回路により達成することができる。

10

20

30

40

50

0 V出力が示されているが、必要に応じ他のレベルを使用することもできる。必要とされる電流の量は差動電圧の変更時に使用される電荷及び変化の速度に依存する。

【0045】

差動電圧を変更することは電荷を供給することを意味し、この電荷の供給は駆動電極の容量と電圧レベルとに依存する。駆動電極の容量は、2つの部分、即ち空隙の容量と誘電体の容量とからなる。これらの2つの部分は直列に接続されるため、総合容量を導出できる。可動素子の動きを決定する機械的方程式は装置のばね定数、可動素子を包囲する大気により生ずる減衰係数、誘電体の誘電率及び比誘電率から導出できる。ブリッジを完全にプルダウンするのに必要とされる電荷は極めて低くすることができ、50 pCの範囲内(閉成容量10 pF及び電圧5 V)にできる。しかし、高電圧を供給すれば、もっと高い電荷が使用されることになる。

10

【0046】

高電圧は、駆動電極へのパルス及びレベルを出力する電圧調整器120に供給される。この調整器は、高電圧アプリケーションにおける慣例の方法で実現できる。一例は、可変抵抗として配置されたMOSFETである。このMOSFETは、本例ではマイクロプロセッサ130の出力が供給されるDAC(デジタル-アナログコンバータ)140により出力される制御信号で制御される。マイクロプロセッサ130は、プログラムに従って動作し、タイミング信号及び帰還信号のような外部入力に従ってパルス及びレベルのデジタル表現を出力する。このマイクロプロセッサは慣例のプログラミング言語を用いてプログラムすることができる。プロセッサ回路及び他の部分は、慣例の方法に従って論理回路又は他のデジタルハードウェアを用いて実現することができる。プロセッサは任意の慣例のASIC技術を用いることができ、また異なる技術の組み合わせで実現することができる。デバイスは、MEMS構造、高電圧回路および低電圧論理およびその他の回路の異なる要件を満たすために異なる技術用いた混成デバイスとして実現することもできる。

20

【0047】

本発明の実施例は多くのアプリケーション、特にアダプティブ回路網を構成するためにチューナブルキャパシタを用いるRFアーキテクチャに適用できる。例としては、モバイル通信用のRFフロントエンド内のVCOのためのアダプティブインピーダンス整合回路網及びチューナブルタンク回路、モバイルTV又はモバイル通信基地局用のアダプティブフィルタがある。これらの実施例はキャパシタ以外の他のデバイス、可変減衰器、光ビーム偏向器、センサなどを含む、中間位置に再配置される可動素子を用いる任意のデバイスも含むことができる。

30

【0048】

基板(60)と、可動素子(15)と、基板と可動素子の上に配置された可動素子を移動させるための1対の電極(40)と、前記電極に電力を供給するための電極電圧コントローラ(50)とを有するマイクロエレクトロメカニカルデバイスが説明された。可動素子を中間位置へ移動させるために、1つ以上のパルスを、デバイスを中間位置に保持するのに必要とされる電圧より高い第1の電圧で供給する。この第1の電圧は、デバイスを中間位置へ近づけるのに必要な時間の間供給する。前記パルスは移動時にデバイスの固有の低速動作及び/又は移動の不足減衰又は過減衰を補償するために時間制御できる。本発明の実施例では、2種類の制御を使用でき、第1の制御では、MEMSデバイスの可動部材が閉じるとき、高電圧でオーバドライブし、この場合には可動部材はできるだけ速くその最終位置に駆動される。第2の制御では、可動部材が不足減衰され、リングングを開始するとき、アクティブ減衰する。これにより整定遅延を減少できる。本発明は、チューナブルキャパシタに適用できる。空隙の減少を制御するために、最大供給レベルの単一パルスを用いて過減衰を補償する。不足減衰を補償するために、共振周波数に対応する周期を有し且つ最終供給レベルを中心に上下する複数のピークと谷を具え、連続するピークと谷が所定の供給レベルに近づくような追加のパルスを供給することができる。

40

【0049】

本発明は、

50

- ・ マイクロホン又はラウドスピーカ（特定のタイプの振動板を用いる）
- ・ センサ、特に空気圧センサ
- ・ 共振器
- ・ ディスプレイ内の画素スイッチ又は光スイッチのミラードライバ
- ・ RFアプリケーションにおけるスイッチ又は可変容量

に適用できる。

【0050】

当業者であれば特許請求の範囲内において他の変更及び他の利点を想到し得る。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】MEMSチューナブルキャパシタの概略図を示す。

【図2】容量対駆動電圧のグラフを示す。

【図3】同調比対閉成時間のグラフを示す。

【図4】本発明の一実施例による移動時の駆動電圧のパルスを示す。

【図5】 $V = V_{max}$ において測定された容量対時間のグラフを示す。

【図6】整定時間対容量のグラフを示す。

【図7】本発明の他の実施例による移動時の駆動電圧のパルスを示す。

【図8】本発明の一実施例による電極電圧コントローラの一部を示す。

【図1】

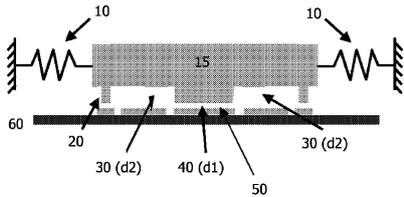


FIG. 1

【図2】

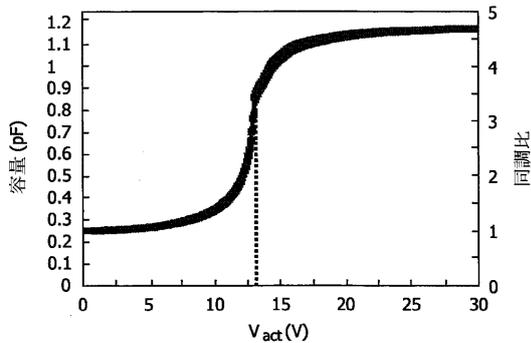


FIG. 2

【図3】

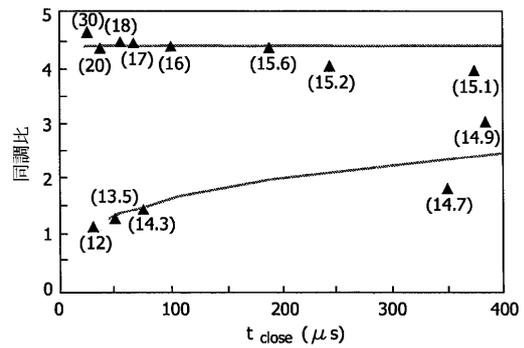


FIG. 3

【図4】

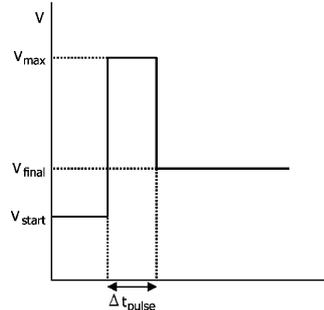


FIG. 4

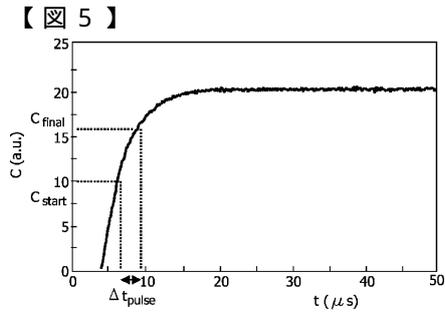


FIG. 5

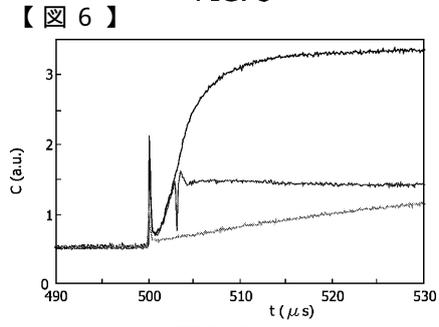


FIG. 6

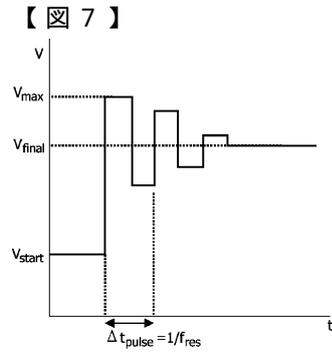


FIG. 7

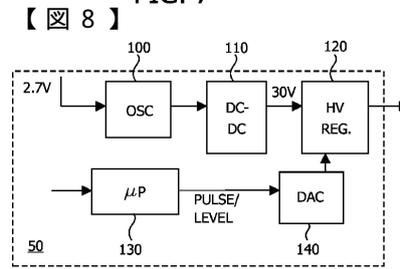


FIG. 8

フロントページの続き

- (72)発明者 セオドア ヘー エス エム リックス
イギリス国 サリー アールエイチ1 5エイチエイ レッドヒル クロス オーク レーン フ
ィリップス インテレクチュアル プロパティ アンド スタンダーズ内
- (72)発明者 ペーター ヘー スティネケン
イギリス国 サリー アールエイチ1 5エイチエイ レッドヒル クロス オーク レーン フ
ィリップス インテレクチュアル プロパティ アンド スタンダーズ内

審査官 小池 秀介

- (56)参考文献 特開2002-036197(JP,A)
特開平10-335675(JP,A)
特開平08-247767(JP,A)
特開2004-172504(JP,A)
特開2002-178516(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B81B 1/00- 5/00
H01G 5/00- 7/06
H01L 27/00
29/84