

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14685

研究課題名（和文）雑音によるMEMS振動子の同期現象とその機能回路への応用

研究課題名（英文）Noise induced synchronization of MEMS resonators and its application to functional circuits

研究代表者

石村 憲意 (Ishimura, Kazuyoshi)

立命館大学・理工学部・助教

研究者番号：50779072

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：MEMS振動子と同等の等価回路で表され、機械振動をする水晶振動子を用いて、同期現象を起こすために必要な要素技術の開拓を行ない、論文発表を行った。雑音を利用した、相互作用のない水晶振動子群の同期現象や、結合同期における振動子の振る舞いを共振周波数の特性から解析を行った。近年の半導体技術の進歩により、汎用MEMS振動子が安価で手に入るようになった。今後はこれを用いたMEMS振動子の同期技術の構築へと移行することができると考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の半導体産業は、素子の微細化や回路技術の発展などにより進歩を遂げてきた。その中で、素子サイズの物理的限界や、除去が困難な雑音などの問題が生じ、従来と異なるアプローチが求められている。一方で生物は、雑音を積極的に情報処理に利用することが知られている。このような雑音を利用する情報処理機構の開拓が、半導体産業の現状を打破する新たなアプローチの一つになると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We developed the elemental technologies for synchronization phenomena using a crystal unit with mechanical vibrations, which is represented by an equivalent circuit of a MEMS resonator. Synchronization phenomena of a group of noisy, non-interacting quartz resonators and their behavior during coupling synchronization are analyzed from the resonance frequency characteristics. Recent advances in semiconductor technology have made it possible to obtain general-purpose MEMS resonators at a low cost. In the future, we will be able to shift to the construction of synchronization technology for MEMS resonators using this technology.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：雑音 振動子 同期

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在の半導体産業は、素子の微細化や回路技術の発展などにより進歩を遂げてきた。その中で、素子サイズの物理的限界や、除去が困難な雑音などの問題が生じ、従来と異なるアプローチが求められている。たとえば、無線や MEMS などの機能を持つ回路を1つにまとめて、省面積化と多機能化を図るシステム・イン・パッケージ(SiP)と呼ばれるアプローチがある。例えば、SiP の三次元に積層した回路間で同期して動作するには、外部の水晶振動子から供給されるクロック信号の、経路長が異なることから生じるタイミングのずれを、積層した回路間において考慮する必要がある。

一方で生物は、雑音を積極的に情報処理に利用することが知られている。このような雑音を利用する情報処理機構の開拓が、半導体産業の現状を打破する新たなアプローチの一つになると考えられる。そこで申請者は、非線形振動子が雑音を利用して同期する「雑音誘起位相同期現象」に着目した。例えば、雑音で同期したクロック振動子群が、センサ群や複数の独立した回路間の協調した情報処理を可能にすると考えられる。そこで、環境雑音下における複数の振動子の同期現象を解析し、ゆらぎを利用する振動子による新規情報処理システムの創出を行う。

2. 研究の目的

ゆらぎ(電磁波や熱雑音などの環境雑音)を利用し、各回路間に独立して配置した振動子を同期させ、機能回路間の協調動作を容易にする新しい技術基盤の構築を狙った。これは、生物が精度にばらつきのある神経細胞のネットワークに、雑音を取り込むことで、思考や判断などの高度な情報処理を行っていることに倣った、雑音利用の情報処理システムの新たなアプローチの一つといえる。特に、非線形振動子が雑音を利用して同期する「雑音誘起位相同期現象」に着目した。例えば、雑音で同期したクロック振動子群が、センサ群や複数の独立した回路間の協調した情報処理を可能にすると考えられる。

そこで、水晶振動子よりサイズが小さく、機能回路と混載可能な MEMS (半導体プロセスを用いて製造される機械構造)振動子に着目した。この MEMS 振動子は安価で低消費電力、耐衝撃性があり、センサや様々な IoT 機器やウェアラブルデバイスに取り入れられ始め、近年注目を集めている。

3. 研究の方法

水晶振動子群の雑音による同期現象の原理を解析した。これをもとに、MEMS 振動子の試作に向けた、MEMS 振動子の雑音同期現象の回路シミュレーションに移った。MEMS 振動子の設計試作を行なった。以上の検討から、ゆらぎを利用する MEMS 振動子と水晶振動子における同期現象の課題点を明らかにし、ゆらぎを利用して複数の情報処理システムを協調動作させる設計技術を確立した。

4. 研究成果

MEMS 振動子と同等の等価回路で表され、機械振動をする水晶振動子を用いて、同期現象を起こすために必要な要素技術の開拓を行ない、論文発表を行った。雑音を利用した、相互作用のない水晶振動子群の同期現象や、結合同期における振動子の振る舞いを共振周波数の特性から解析を行った。MEMS 振動子へこれらの知見を転用するために MEMS 実装を試みたが、近年の半導体技術の進歩により、汎用 MEMS 振動子が安価で手に入るよ

うになった。今後はこれを用いた MEMS 振動子の同期技術の構築へと移行することができると考える。また、LC 発振回路や、リングオシレータなどの従来の電子回路に対してこれらの技術を適用することにより、物理的に離れた回路同士が、一つのクロック信号を元に同期処理を行うシステム構築の応用範囲が広がると考えられる。

以上の研究成果をまとめ、2 件の論文が採録された。また、国際学会 (NOLTA および NCSP) に 4 件の発表を行なった。国際学会においては、指導学生の発表が Student paper award に選ばれ、研究成果が評価された。

以上の成果を踏まえ、環境雑音下における複数の振動子の同期現象を解析し、ゆらぎを利用する振動子による新規情報処理システム創出への基礎を構築できたと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ishimura K. and Tokuda I. T.	4. 巻 29
2. 論文標題 Limited Effect of Noise Injection on Synchronization of Crystal Oscillators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Circuits, Systems, and Computers	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1142/S0218126620500267	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inden Ryota, Ishimura Kazuyoshi and T. Tokuda Isao	4. 巻 22
2. 論文標題 Synchronization of Two Coupled Crystal Oscillators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Signal Processing	6. 最初と最後の頁 147 ~ 151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2299/jsp.22.147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Naoto Komeno, Ryota Inden, Kazuyoshi Ishimura and Isao Tokuda
2. 発表標題 Simple mathematical model for Pierce oscillator circuit: Simulation and experiment
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuyoshi Ishimura, Ryota Inden and Isao Tokuda
2. 発表標題 Noise-enhanced coherence of crystal oscillation
3. 学会等名 The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuyoshi Ishimura, Ryota Inden and Isao T. Tokuda
2. 発表標題 Noise-Induced Synchronization of Pierce Oscillators
3. 学会等名 NOLTA2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryota Inden, Kazuyoshi Ishimura and Isao T. Tokuda
2. 発表標題 Synchronization of two coupled crystal oscillators
3. 学会等名 NCSP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考