

IoT 社会を支える超高速起動・低消費電力 水晶発振回路の開発



SATテクノロジー・ショーケース2019

■ はじめに

水晶発振回路は周波数精度の高い発振回路として知られ、あらゆるものをインターネットでつなげるIoT機器の動作タイミングを決定する基準信号源として広く用いられている。IoT機器の低電力化には必要なときのみ電源をオンにする間欠動作が欠かせないが、従来の水晶発振回路では電源をオンにしてから発振が安定するまでに数ミリ秒を要し、この期間に無駄なエネルギーを消費してしまうためにこまめな電源オン/オフ動作ができなかった。本研究では、起動時のみ増幅器を3段構成とし、さらに容量フィードフォワードパスを追加したことで、従来の理論限界を超える負性抵抗を生み出し、40MHzで発振する水晶発振回路として世界最速起動時間となる64マイクロ秒を達成した。これにより水晶発振回路の起動にかかる消費エネルギーを1/4に抑えることが可能となった。

■ 研究内容と成果

従来の水晶発振回路は、図1に示すように電源がオンされてから発振が安定するまでの起動時間に数ミリ秒を要し、この期間に無駄な電力を消費するという課題があった。本研究では図1 (b) のように水晶発振回路を高速起動させ、起動にかかる電力を抑える仕組みを完成させた。

従来の水晶発振回路は、図2 (a) に示すように、水晶振動子と発振回路で構成されている。それぞれを電気的な等価回路で示すと図2(b) のようになるが、発振を開始させるためには水晶振動子の抵抗 (R_x) を打ち消すように、発振回路で負性抵抗 (R_n) を発生させる必要がある。また、 R_n の絶対値が R_x よりも大きければ大きいほど起動時間を短くできることが知られている。しかしながら、水晶発振回路の起動時間を高速化するには、以下の二つの課題があった。

1. R_n の絶対値を大きくするために消費電力を増やさなくてはならない。
2. 水晶振動子の寄生容量の影響などによって、実現可能な R_n の大きさに理論的な限界がある。

1. の課題に対し、本開発では図3 (a) のように増幅器を3段縦続接続する構成とした。1段目、2段目の増幅器によって100倍程度の電圧利得を稼ぐことで、わずかな消費電力で大きな負性抵抗を生じさせることが可能となる。しかしながらこの構成だけでは2. の課題が解決できないため、さ

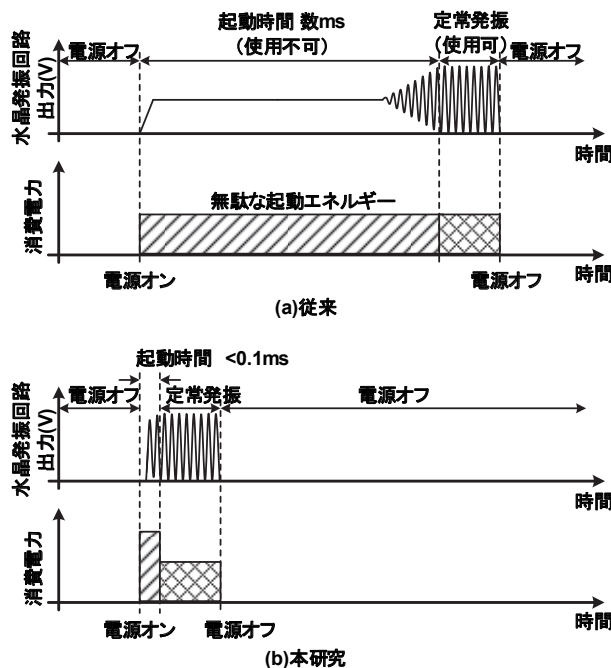


図1. 水晶発振回路の起動時の様子

らに図3 (b) のように容量フィードフォワードパスを追加し、従来の理論限界値を超えられるように工夫した。その結果、それぞれの回路の負性抵抗は、図4 のようになり、従来構成と比べ100倍上大きな値が得られるようになった。最終的な回路構成としては、水晶発振回路の起動開始後の一定期間のみ負性抵抗を大きくして起動を速め、定常発振時には消費電力を極力抑えられるように増幅器を3段構成と1段構成の2種類に切り替える再構成を可能にしている。

以上の構成について、図5 のように最小線幅65nmのCMOSプロセスを用いて試作を行った。水晶振動子については基本発振周波数が26MHzおよび40MHzのものを用いて測定を行った。図5に40MHzの発振時において本手法を用いた場合と用いない場合の水晶発振回路の起動時間の測定結果を示す。本手法を用いることで起動時間を18倍速めることが可能となり、起動時間はわずか64 μ sとなった。また、起動時間を短くしたことにより起動エネルギーは1/4となった。26MHzの振動子を用いた場合は起動時間76 μ s (30倍高速)、起動エネルギー1/9と大幅に削減可能となった。

代表発表者 宮原 正也(みやはら まさや)

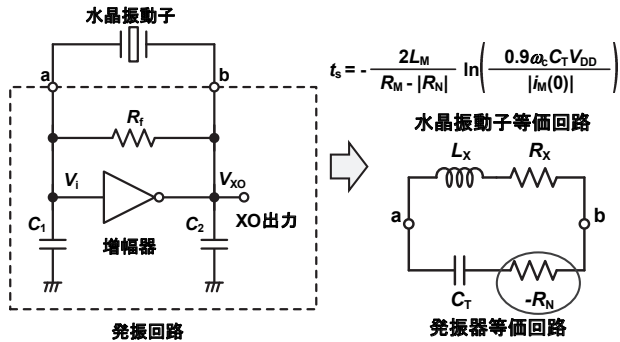
所属 高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所

問合せ先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

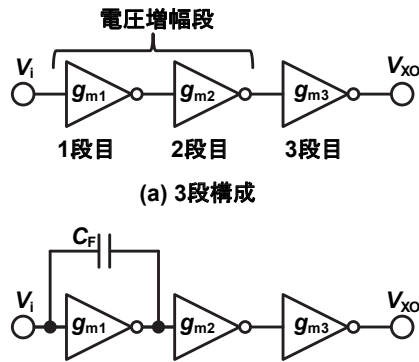
TEL: 029-864-5382 FAX: 029-864-3284

masaya@post.kek.jp

■キーワード: (1) Internet of Things (IoT)
(2) 水晶発振回路
(3) 低消費電力化



(a)水晶発振回路の構成 (b)等価回路
図2. 従来水晶発振回路の構成と等価回路



(a) 3段構成 (b) 3段構成+容量フィードフォワードパス
図3. 本研究の増幅器構成

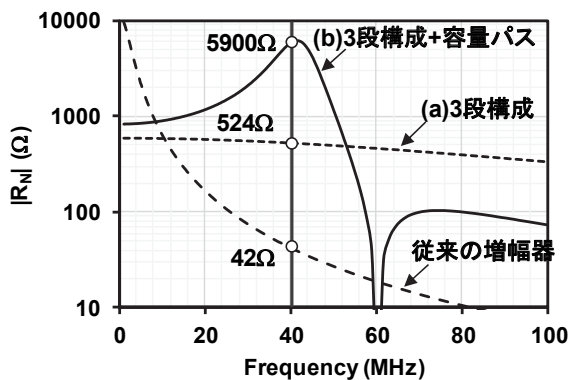


図4. 各発振回路の負性抵抗の比較

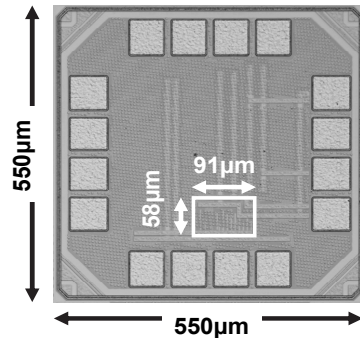


図5. チップ写真

40MHz XO : 起動時間 64μs(18倍高速), 起動エネルギー 1/4
26MHz XO : 起動時間 76μs(30倍高速), 起動エネルギー 1/9

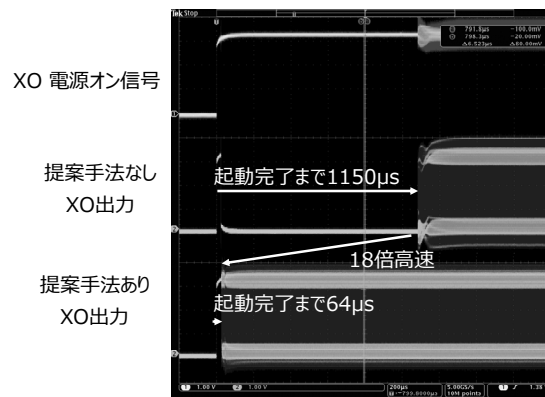


図6. 水晶発振回路の測定結果

■ 参考文献

M. Miyahara, Y. Endo, K. Okada, and A. Matsuzawa, "A 64 μs Start-Up 26/40MHz Crystal Oscillator with Negative Resistance Boosting Technique Using Reconfigurable Multi-Stage Amplifier," IEEE Symposium on VLSI Circuits, pp. 115-116, June 2018

■ 謝辞

本研究開発成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)委託事業「高度なIoT社会を実現する横断的技術開発/超低消費電力データ収集システムの研究開発」の結果から得られたものである。