

高安定大容量通信を実現するラム波共振子の研究開発 (第2報)

平川 寛之・清水 章良・中川 恭彦*¹・垣尾 省司*¹・三枝 康孝*²・結城 宏元*²・今 大健*²
有泉 勝彦*³・白岩 肇*³・田中 康一*³・飯沼 勝敏*³

Development of a Highly Stabilized Lamb Wave Resonator for Broadband Communications (2nd Report)

Hiroyuki HIRAKAWA, Akio SHIMIZU, Yasuhiko NAKAGAWA*¹, Syouji KAKIO*¹,
Yasutaka SAEGUSA*², Hiromoto YUKI*², Daiken KON*², Katsuhiko ARIZUMI*³,
Hajime SHIRAIWA*³, Koichi TAKANA*³ and Katsutoshi IINUMA*³

要 約

ITの進展によりデジタル家電などの様々な情報機器が扱うデータ量が増大し、これらの機器を構成するハードウェアや通信インフラへの負担も年々増大している。高品質の動画像や音声は大量のデジタルデータで構成されるが、これらを効率よく処理するには高速のハードウェアが必須となる。ハードウェアを高速化する手法には様々なものがあるが、動作の基準となる水晶振動子の高周波化もその一つである。本研究開発は、従来技術(ATカット)による水晶振動子では実現の難しかった数GHz帯域での発振の実現と、周囲温度変化への高安定化を目的として研究開発を実施した。なお、当センターでは、630MHzの振動子を用いた発振回路の設計試作を行い、良好な結果を得ることができた。

1. 緒 言

高度情報化社会において、IT機器が取り扱う情報量は増加の一途をたどっており、効率よくデータを処理するための高速なハードウェアの開発や、大容量の通信インフラ整備が求められている。これらの機器を高速に動作させるために必須とされる高安定の基準信号源を大量供給できる素子は水晶振動子以外には存在せず、この技術が水晶振動子に求められている最重要なテーマとなる。

現在、実用化されている水晶振動子で最も安定に動作するものはATカット水晶振動子・発振器である。ATカット水晶振動子・発振器で得られる発振周波数は通常使用温度範囲(-20℃～+80℃程度)において±20ppm程度の安定度を持っているが、基本振動の上限は、素板の極薄加工技術の限界から数十MHz程度である。

多くの場合、この周波数を何十・何百通倍して所望の周波数を得ている。従って、発振ユニットは多くの構成部品を必要とし、その大きさは振動子単体容積の数百倍に及んでしまう。

高精度・高速通信機器には小型、高精度のクロック発生装置が要求される。この要求に応え、ギガヘルツ級の

高周波数の発振子・発振器を開発し、さらに周囲温度の変動に対しても振動数変化が極めて少ない信号源としてのラム波型振動子を商品化する。この目的達成のために、本研究では高周波(数百MHz～数GHz帯)・高安定(通常使用温度範囲で±2ppm以内の安定度)発振子・発振器を開発し商品化する。

本研究は、平成18～19年度地域新生コンソーシアム研究開発事業により、山梨大学、リバーエレテック(株)、(株)グローバル、(株)やまなし産業支援機構と当センターの5機関による共同研究として実施したものであり、当センターは630MHzの振動子を用いた発振回路の設計試作を担当し、良好な結果を得ることができた。なお、630MHzの帯域でラム波共振子を用いた発振に成功した事例は過去にはなく、世界初の成果となった。

以下、本稿では当センターが担当した発振回路の設計試作を中心に述べるものとする。

2. 回路構成

2-1 発振回路の設計条件

昨年度の成果として、当時入手可能な水晶振動子での最高周波数205.1MHzを用いて、発振回路を試作した¹⁾。本年度は、当初の目標であった630MHz以上で発振が期待できる振動子(ATカット)ができたため、これを昨年度の回路に適用しながら発振を目指した。基本的な設

*1 山梨大学

*2 リバーエレテック(株)

*3 (株)グローバル

計条件は、以下の通りである。

$$XL > Ci \quad (1)$$

$$-XR > -R \cdot 10 \quad (2)$$

なお、 X_L は水晶振動子のリアクタンス分、 C_i は発振回路の入力容量、 X_R は水晶振動子の純抵抗、 $-R$ は発振回路の負性抵抗を表す。

安定した発振を得るためには、式(1)及び(2)を満足するように回路定数を決定する必要がある。また、使用する部品についても以下のような配慮を行った。

- ・トランジスタについてはトランジション周波数(f_t)が使用周波数の10倍以上あること。
- ・自己共振周波数(SFR)が可能な限り高いこと。
- ・可能な限り小型の部品を用いること。

これより、トランジスタについては $f_t=7\text{GHz}$ の2SC5064、受動素子については $\text{SFR} > 600\text{MHz}$ の部品を用いた。

2-2 発振回路の構成

発振回路の形式は、昨年度同様、コルピッツ形発振回路を用いることとした。定数の決定には、図1の計算式を参考にしながら、実験的に決定した。

$$C_i = \frac{C_3 C_2}{C_3} + C_2$$

※ $C_3 = C_1 + \text{トランジスタの入力容量}$

$$-R = \frac{g_m}{\omega^2 C_3 C_2}$$

$$g_m = \frac{q}{kT} I_c$$

q : 電子の電荷量 $1.602 \times 10^{-19} [\text{C}]$
 k : ボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} [\text{J/K}]$
 T : 絶対温度
 I_c : 動作点でのコレクタ電流
 g_m : 相互コンダクタンス
 $-R$: 負性抵抗

図1 定数の計算式

今回開発した発振回路の回路図を図2に示す。昨年と異なる点は、出力信号をコレクタではなくエミッタから取るようにしたこと、オープンループのゲインを大きく取れる様に改良したことである。

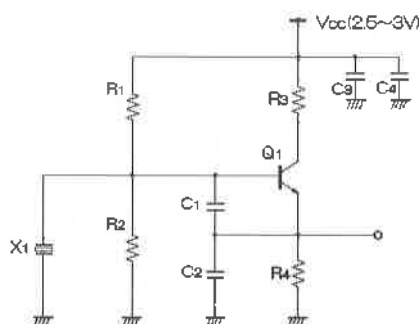


図2 コルピッツ発振回路

2-3 回路パターンと部品実装

高周波回路の設計において非常に重要になるのは回路構成もさることながら、回路パターンと部品の実装方法である。

これらの良否によって回路中に予期しないLやCが生成され、不要な結合やスプリアス、異常発振が生じたりする。このため、パターンの設計については昨年度の成果をより詳細に検討し、新たに設計を行った。今回作成したパターンを図3に示す。

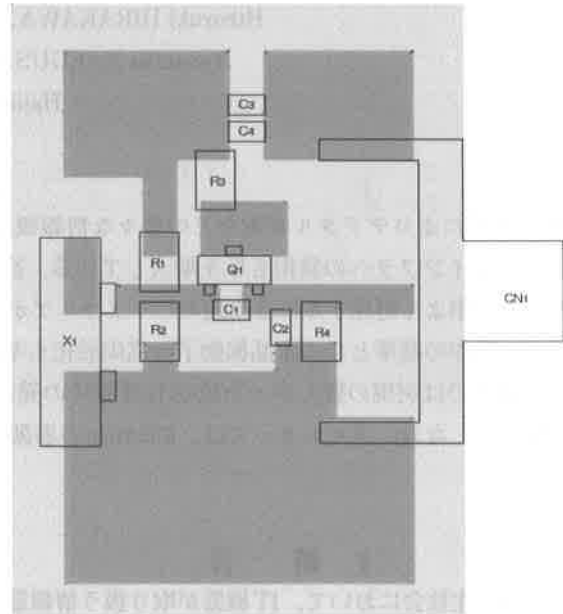


図3 回路パターン

また、実際のパターンはガラスエポキシの両面基板上に、基板加工機を用いてエンドミルで銅箔を切削加工して形成した。

パターン加工した基板に、2-2で決定した定数の部品を実装した。部品実装後の基板を図4に示す。

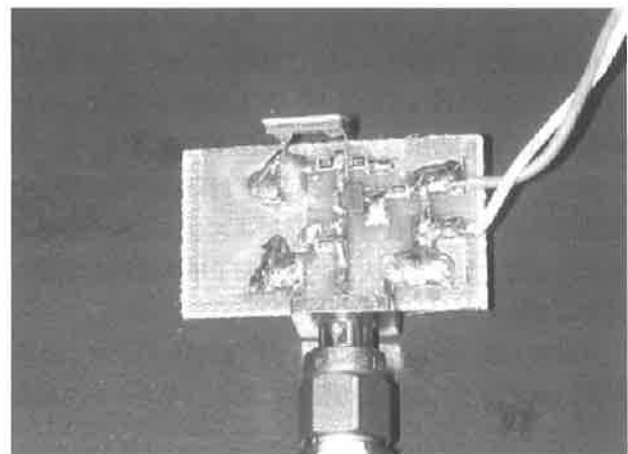


図4 部品実装後の基板

3. 実験方法

2章で作成した発振回路に、直流安定化電源を用いて2～4Vの電源を供給し、スペクトラムアナライザを用いて発振状態を観測した(図5)。

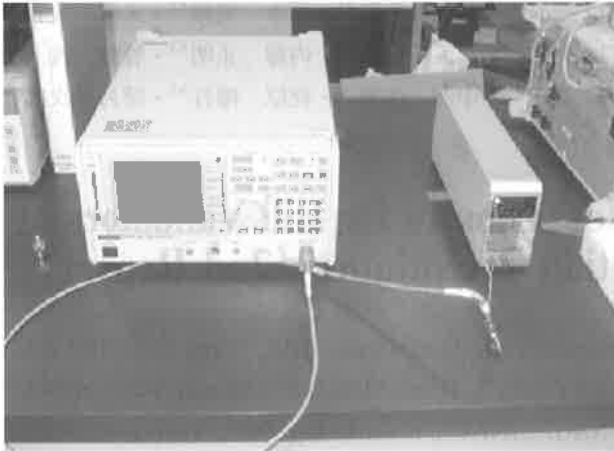


図5 実験風景

4. 結果

電源電圧が、3V付近で図6に示すスペクトラムを得ることができた。スプリアスもほとんど無く、事前にネットワークアナライザで測定した位相反転周波数に一致しており、電源電圧や周囲温度を変動させても発振周波数が変化しないことから、振動子本来のラム波による発振であることが確認できた。

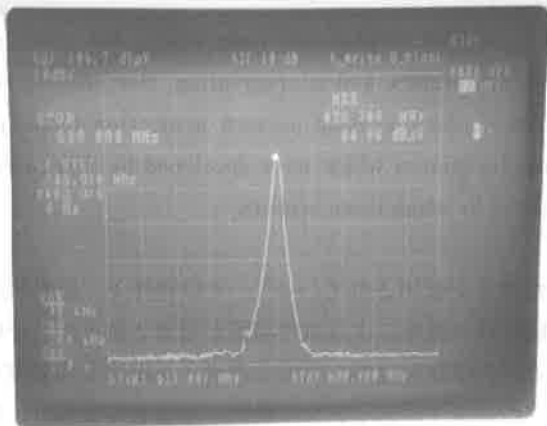


図6 スペクトラムアナライザによる観測波形
※横軸 2MHz/div 縦軸10DB/div
ピーク周波数628.989MHz

なお、実験を継続する中で、周囲温度により発振周波数が大きく変異してしまったり、周波数安定度が悪化してしまう事例が見られた。

5. 考察

発振周波数が条件によって変異してしまう原因として

以下のことが考えられる。

- ・振動子のQが6000程度と通常の水晶振動子と比較して小さな値である
 - ・発振回路の負性抵抗が当初予想した値より不足している
 - ・発振回路に寄生しているLCによる共振回路側に発振が変移してしまう
- などである。

この点については、リバーエレクトックにより当センターから提供した回路をベースに更なる改良を試みている。ここでは、帰還回路を構成するコンデンサC1、C2の値を調整することにより、負性抵抗を-12Ωから-50Ω程度まで改良することに成功しており、結果として-40℃から+100℃の広い範囲において、安定な発振を得ることに成功した。

6. 結 言

研究開発の当初の目標であった630MHz近辺でのラム波水晶振動子を用いて発振に成功した。これは、世界初の成果である。試作レベルの回路では、十分満足する特性を得ることができたので、今後は量産化を視野に入れたIC化を行っていく必要があると考えられる。

また、今回の振動子に用いた素板は、従来から用いられてきたATカットを用いた物である。周波数安定度を更に向上させるためには新たなカット角の素板を用いる必要がある。これが実現すれば、温度特性が極めて良好な高周波水晶振動子の実現が期待できる。

参考文献

- 1) 平川寛之、清水章良、中川恭彦、垣尾省司、三枝康孝、結城宏元、今大健、有泉勝彦、白岩肇、田中康一、飯沼勝敏：山梨県工業技術センター研究報告、No.21, p.53 (2007)