

M-2

マイクロストリップラインを用いた GHz 帯水晶振動子の周波数特性の抽出  
 An Extraction of Frequency Characteristics of GHz Band Crystal Resonator with Micro-Strip Line

渡邊充紘<sup>1</sup>, 飯島裕基<sup>2</sup>, 田村邦彦<sup>2</sup>, 今池 健<sup>3</sup>, 作田幸憲<sup>3</sup>, 関根好文<sup>3</sup>

\*Mitsuhiro Watanabe<sup>1</sup>, Hiroki Iijima<sup>2</sup>, Kunihiko Tamura<sup>2</sup>, Takeshi Imai<sup>3</sup>, Yukinori Sakuta<sup>3</sup>, Yoshifumi Sekine<sup>3</sup>

Abstract: We examined the frequency characteristic of GHz band crystal resonator by using the microstripline and trimmer capacitor. This paper describes the resonance frequency of the motional arm in the crystal resonator was determined with high precision.

1. まえがき

周波数基準源として多く用いられている水晶振動子は、従来 HF 帯に留まっていたが、近年の加工技術の進歩に伴って VHF・UHF 帯にまで作製可能となってきた。これに関連して振動子の特性をこの周波数帯で測定することが必要になっている。しかし、GHz 帯振動子を対象とする測定法は、未だ定まっていない。

そこで、測定法の国際標準化に関連して、1GHz 程度までの振動子への適用を想定し、特性評価にマイクロストリップラインを用いることを検討している。

本稿では、マイクロストリップライン(以下  $\mu$  回路)の共振特性を利用して GHz 帯水晶振動子の周波数特性を抽出する方法について検討したので報告する。

2. 本論

水晶振動子の周波数特性を評価するために、 $\mu$  回路の高インピーダンス点上に水晶振動子を装着し、また種々の周波数に柔軟に対応できるようにトリマコンデンサを用いた  $\mu$  回路の構成を提案した<sup>[1]</sup>。

図 1 に提案した  $\mu$  回路の構成を示す。今回の検討では、特性インピーダンス 50[ $\Omega$ ]の  $\mu$  回路を作製することにし、水晶振動子とトリマコンデンサを載せるため、入力側に裏面とスルーホールしたグランド部分を設置した構成とした。図 1 の出力側を短絡した場合の入力側から見た  $\mu$  回路の共振特性が、RLC からなる並列共振路で表現可能なことから、水晶振動子を装着した場合の等価回路として、図 2 のような回路が想定される<sup>[1]</sup>。

図 2 は  $\mu$  回路の高インピーダンス点上に水晶振動子を装着したときの等価回路のイメージを示している。同回路のインピーダンス特性を考察すると、水晶振動子のもつ並列容量が並列共振回路に加わることにより、基板自身の持つ並列共振特性が低周波数側にシフトすると共に水晶振動子のモーショナルアームを表現する直列共振回路の特性が現れることが推測される。

このとき、図 2 の回路のアドミタンス  $Y_T(\omega)$  は

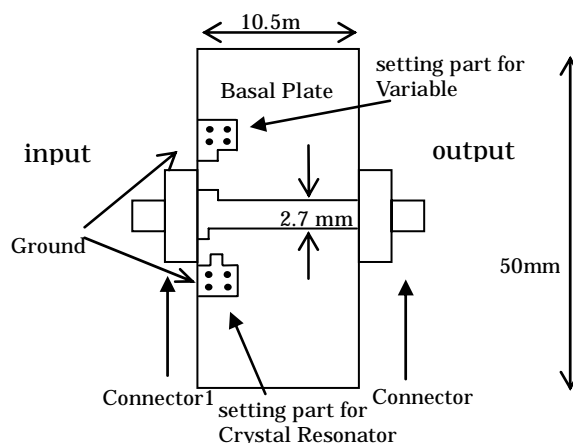


Figure 1. Configuration of fabricated Micro-strip line (MSL) circuit

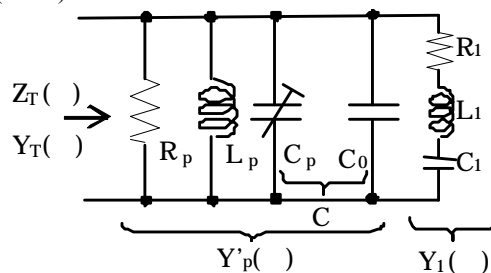


Figure 2. Image of the equivalent circuit in when the crystal resonator is set

$$Y_T(\omega) = \frac{1}{Z_T(\omega)} = Y'_p(\omega) + Y_1(\omega) \quad (1)$$

となり、 $Y_T(\omega)$ から水晶振動子の並列容量を含んだ  $\mu$  回路の並列共振特性  $Y'_p(\omega)$ を取り除くことができれば、水晶振動子のモーショナルアームのアドミタンス特性  $Y_1(\omega)$ を抽出できると考えた。

図 3 に  $\mu$  回路の入力端子から見たインピーダンス-周波数特性の一例を示す。図中の(1)は  $\mu$  回路自身の並列共振特性の一例であり、(2)は 622MHz 水晶振動子を装着し、トリマコンデンサにより、水晶振動子の共振周波数と  $\mu$  回路の並列共振周波数を近づけたときの周波数特性を示している。

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・院・電子 3 : 日大理工・教員・子情

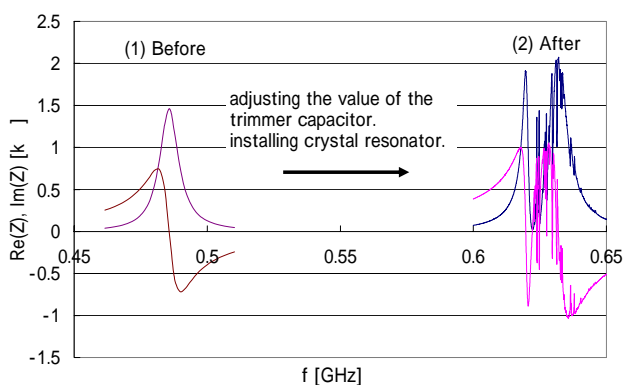


Figure 3. Impedance-frequency characteristics of microstripline with/without a crystal resonator

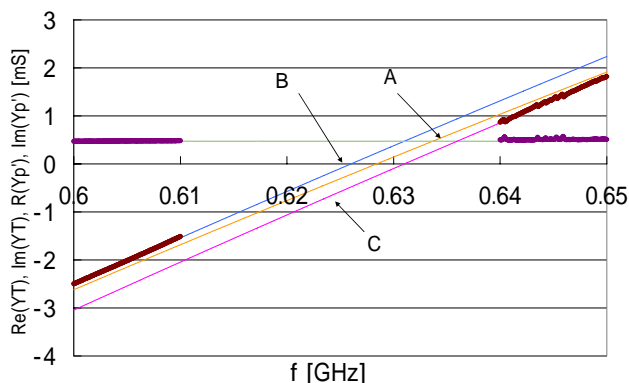


Figure 4. Comparison between measured values and calculated values

図 3 の(2)は、本来  $\mu$  回路のインピーダンスが高くなる周波数範囲の特性が、水晶振動子の共振特性により急峻に変化している様子を示している。また、この変化から、水晶振動子は主振動と幾つかの副振動を持っていることがわかる。

図 3(2)の特性は、 $\mu$  回路と 622MHz 水晶振動子の合成インピーダンス特性であるから、これより水晶振動子のモーシヨナルアーム部分のアドミタンス特性を抽出することとした。しかし、図 3(2)の共振点近傍の特性は、モーシヨナルアームの特性が強く現れており、 $\mu$  回路自身もつ並列共振特性を表すパラメータを抽出することが難しい為、共振点の極近傍より外側の部分の特性に着目した三種のパラメータによるフィッティングを試みた。

図 4 に、622MHz 水晶振動子を装着した場合で、 $\mu$  回路の並列共振特性のパラメータフィッティングを行ったアドミタンス - 周波数特性を示す。図中に太線で示された  $Re(Y_T)$ ,  $Im(Y_T)$  は、測定結果の実数部と虚数部であり、モーシヨナルアームの特性が強く現れている部分を削除した特性のみを示している。 $Re(Y_p')$ ,  $Im(Y_p')$  は、パラメータから計算した特性の実数部と虚数部をそれぞれ細線で示している。

パラメータ A(共振周波数=628.4[MHz],  $R=2120[\Omega]$ ,

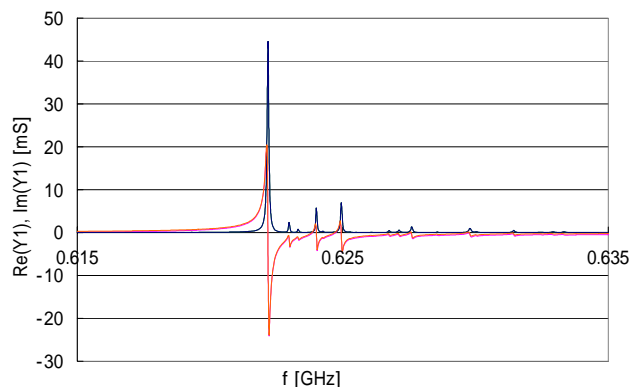


Figure 5. Admittance-frequency characteristics of motional arm in a crystal resonator

$Q$  値=60)は、測定した周波数範囲で測定点と完全に一致する点はないものの、全体にわたって小さな差をもって表現された組であり、パラメータ B(共振周波数=626[MHz],  $R=2120[\Omega]$ ,  $Q$  値=63)は、低域側の測定結果と一致するように抽出した組、パラメータ C(共振周波数=631[MHz],  $R=2120[\Omega]$ ,  $Q$  値=64)は、高域側の測定結果と一致するように抽出した組である。

図 5 に、図 3(2)の周波数特性から各組のパラメータによる  $\mu$  回路の並列共振特性の影響を除去し、622MHz 水晶振動子のモーシヨナルアームのアドミタンス( $Y_1$ )-周波数特性を抽出した結果を示す。パラメータ A に対し、B・C の共振周波数にはそれぞれ約 2[MHz]の差があるが、図 6 におけるアドミタンス-周波数特性はほぼ一致しており、主振動における共振周波数の差は、A と B で 0.35ppm, A と C で 0.51ppm であった。

### 3. まとめ

水晶振動子と  $\mu$  回路の共振周波数を可能な限り近付け、得た周波数特性から  $\mu$  回路のフィッティングパラメータによる周波数特性を取り除いたところ、GHz 帯水晶振動子のモーシヨナルアームにおける共振周波数を高い精度で抽出できることを確認した。

今後はリードインダクタや並列容量を含めた水晶振動子の特性を検討する予定である。

謝辞

本研究の一部は経済産業省基準認証研究開発委託費により実施された。これを記して謝意を表す。また、高周波水晶振動子を提供して下さった日本電波工業株式会社により感謝致します。

### 4. 参考文献

[1] Hiroki Iijima, Kunihiko Tamura, Takeshi Imaike, Yukinori Sakuta, Yoshifumi Sekine: "Proposal of Measurement Method using Microstripline with Tunable Function for GHz band Crystal Resonator", Proc. of the ITC-CSCC 2010, PID0130 (2010)