

超高周波水晶振動子の等価パラメータの測定
-モーショナルアームについて-

Measurement of the equivalent parameters of the super high frequency crystal resonator
-About the motional arm-

○渡邊充紘¹, 作田幸憲², 今池 健², 関根好文²

Mitsuhiro Watanabe¹, Yukinori Sakuta², Takeshi Imaike², Yoshifumi Sekine²

Abstract: We have examined the use of the microstrip line to measure the frequency characteristic of the super-high frequency crystal resonator. As a result, we could extract the parameters of motional arm of 644MHz crystal resonator.

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、この超高周波水晶振動子を対象とする測定法は未だ定まっておらず、国際標準化に向けた測定法が検討されている。そこで、高周波回路として実績のあるマイクロストリップラインの並列共振特性を利用して水晶振動子の周波数特性を抽出する方法を提案した^[1]。

本稿では、水晶振動子の周波数特性をマイクロストリップラインの特性を含めて測定した後、モーショナルアームの特性のみを抽出し、その等価パラメータを決定したので報告する。

2. 本論

図 1 に作製したマイクロストリップラインの構成を示す。これは、特性インピーダンス 50[Ω]のマイクロストリップラインを作製し、その上に水晶振動子とトリマコンデンサを載せるため、入力側に裏面と短絡したグラウンド部分を設置した構成（以下 μ 回路と記す）になっている。この構成はトリマコンデンサを可変させて μ 回路の共振周波数を調節することができ、種々の水晶振動子を高インピーダンス点上に装着できる特徴をもっている。

図 2 に μ 回路上に水晶振動子を装着した場合の等価回路を示す。この回路の入力端からみたアドミタンス $Y_T(\omega)$ の特性を考察すると、水晶振動子のもつ並列容量 C_0 が μ 回路に加わることにより、μ 回路が主因となる並列共振特性が低周波数側にシフトするとともに、水晶振動子のモーショナルアームによ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、 $Y_T(\omega)$ は次式で表せる。

$$Y_T(\omega) = Y_p'(\omega) + Y_1(\omega) \quad (1)$$

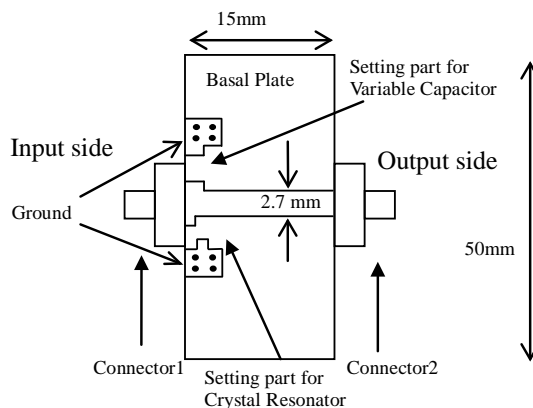


Fig. 1 Configuration of fabricated microstrip line circuit

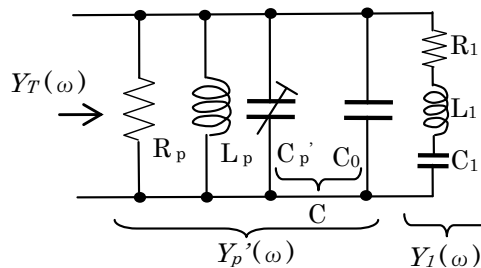


Fig. 2 An image of the equivalent circuit in when the crystal resonator is set.

式(1)の右辺第一項 $Y_p'(\omega)$ は、水晶振動子の並列容量を含んだ μ 回路に因る、低 Q 値の並列共振特性を表す項であり、第二項 $Y_1(\omega)$ は、水晶振動子内に存在するモーショナルアームに因る、高 Q 値の直列共振特性を表す項である。

そこで、まずトリマコンデンサを調節して、水晶振動子と μ 回路の並列共振周波数を可能な限り近づけてから、 $Y_T(\omega)$ の周波数特性を測定する。次に、測定した $Y_T(\omega)$ から $Y_p'(\omega)$ を表現するパラメータ (G_p, L_p, C) を求め^[2]、 $Y_T(\omega)$ から取り除くことにより、 $Y_1(\omega)$ を抽出することとした。

一例として、この手順を用いて 644MHz 水晶振動子の特性評価を行った。

図 3 に、μ 回路に 644MHz 水晶振動子を装着した場

合の $Y_T(\omega)$ の実測結果と、 $Y_p'(\omega)$ の計算値を示す。ここで、 $Y_p'(\omega)$ の計算値は、 μ 回路の並列共振特性を表すパラメータ R_p , L_p , C から算出した結果を示すものである。なお、抽出したパラメータの値は、共振点近傍の実測値にはモーシヨナルアームの特性が強く影響しているため、共振点近傍より外側の部分の特性に着目して決定した。図 3(b) の $Y_T(\omega)$ から、 μ 回路のアドミタンスの虚数部が 0 を横切る周波数範囲の特性が、水晶振動子の影響により急峻に変化している様子が見える。また、図 3(a), (b) の変化から 644MHz 水晶振動子には、主振動と幾つかの副振動があることが確認できる。そして、共振点近傍の $Y_T(\omega)$ と $Y_p'(\omega)$ を比較すると、並列共振状態下にある μ 回路のアドミタンス $Y_p'(\omega)$ は、その大きさが小さく、周波数に対する変化も小さいのに対して、全アドミタンス $Y_T(\omega)$ は、モーシヨナルアーム $Y_1(\omega)$ の特性に起因して狭い周波数範囲に対して大きく変化していることを示している。なお、 $Y_p'(\omega)$ の計算に用いた並列共振回路のフィッティング・パラメータを、共振周波数 $f_p (= 1/2\pi\sqrt{L_p C})$, R_p , $Q (= R_p\sqrt{C/L_p})$ 値で表すと、それぞれ 640.9[MHz], 1.38[k Ω], 44 であった。

図 4 は、図 3 の結果より $Y_T(\omega) - Y_p'(\omega)$ の計算を行い、水晶振動子のモーシヨナルアームにおけるアドミタンス $Y_1(\omega)$ を抽出した結果を示している。図中のプロットは、測定に基づく $Y_1(\omega)$ の値であり、破線はフィッティング・パラメータによる $Y_1(\omega)$ の計算値を示している。このフィッティング・パラメータは、測定に基づく $Y_1(\omega)$ の特性と、図 2 の等価回路の考え方から算出するモーシヨナルアームの特性の二乗誤差が最小になるように、共振周波数 $f_1 (= 1/2\pi\sqrt{L_1 C_1})$, R_p , 無負荷 Q ($Q_u = 2\pi f_1 L_1 / R_1$) の値を変化させて得たもので、その値は $f_1 = 644.671$ MHz, $R_1 = 31.3 \Omega$, $Q_u = 7.05 \times 10^3$ であった。これを、改めて図 2 の等価回路で表わすと、 $R_1 = 31.3 \Omega$, $L_1 = 54.6 \mu$ H, $C_1 = 1.12$ fF となった。

また、この抽出結果における共振周波数 f_1 の精度について検討した結果^[3]、 f_1 の抽出精度は 0.2ppm 程度で評価できていることがわかった。

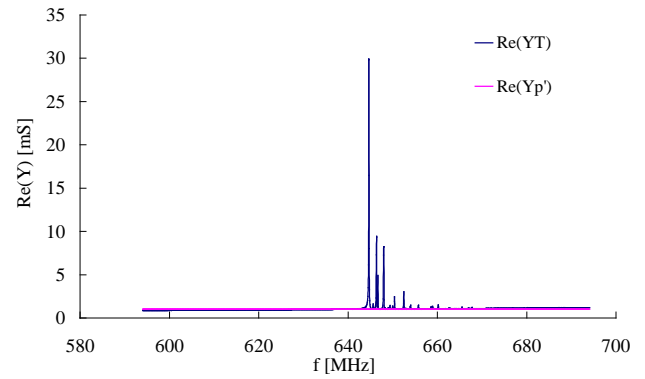
3. まとめ

以上、マイクロストリップラインの反共振特性を利用して、水晶振動子の周波数特性を抽出し、等価定数パラメータを求める方法について検討した。

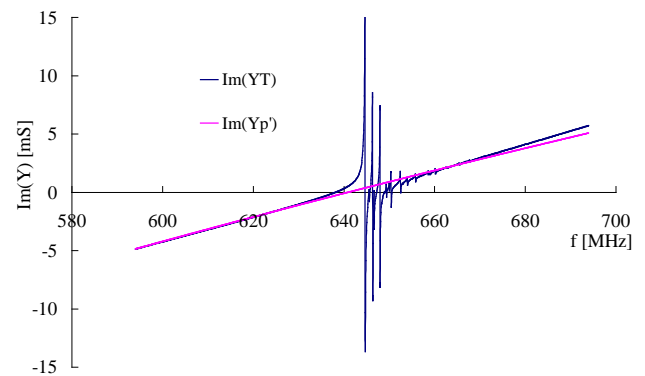
その結果、一例として 644MHz 帯の水晶振動子についてではあるが、モーシヨナルアームにおける主振動の等価パラメータを抽出することができた。

謝辞

本研究の一部は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託費により実施された。これを記して謝意を表す。又、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心より感謝致します。



(a) Conductance component



(b) Susceptance component

Fig. 3 Admittance-frequency characteristics of measured value of Y_T and estimated value of Y_p' .

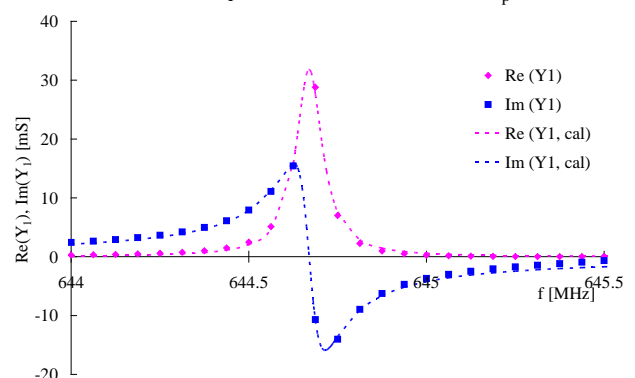


Fig. 4 Admittance-frequency characteristics of motional arm in a 644MHz crystal resonator.

4. 参考文献

- [1] Mitsuhiro Watanabe, Hiroki Iijima, Kunihiko Tamura, Takeshi Imai, Yukinori Sakuta, Yoshifumi Sekine, "Extraction of frequency characteristics of GHz band Crystal Resonator", Proc. of the 2011 ITC-CSCC, MA3-2, 2011.
- [2] Kunihiko Tamura, Yukinori Sakuta, Hiroki Iijima, Takeshi Imai, Yoshifumi Sekine, "Evaluation of a Quarter-Wavelength Microstripline for Measuring GHz Crystal Resonator", Proc. of the 2010 ITC-CSCC, PID-0149, 2010.
- [3] 渡邊充紘, 作田幸憲, 今池健, 関根好文: 「超高周波水晶振動子の周波数特性の評価-共振周波数の抽出精度-」, 平成 24 年電気学会基礎・材料・共通部門大会, I-2, 2012.