

「HB オシロスコープ解析並びにトランジスタ解析」を適用した
100MHz 水晶発振回路の発振動作と基本特性の精細解析

May3, 2006
Mr. Endo
Copyright© MEL

1. 序文

100MHz 帯水晶発振回路の動作・安定性を、Harmonic Balance 法を用いた HB オシロスコープ解析、また信号時間波形をフーリエ解析して信号の周波数スペクトラムを高精度に分析するトランジスタ解析を活用して、定量的な評価に基づく詳細解析を行った。元来 Q が高い水晶発振回路は、Q の高さに伴いその収束に時間が掛かるため、回路 Simulator を利用した定量的な解析が難しいと言われてきたが、SNAP の高度な機能を駆使して水晶発振回路の詳細解析を実現することが出来た。

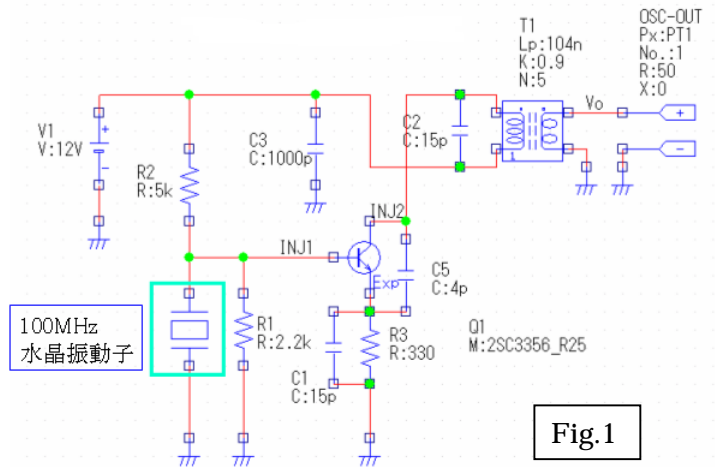


Fig.1

2. 水晶発振回路の動作概要と水晶振動子の等価パラメータ

(1) 図 1 の発振回路はトランジスタ Q1 のベースと GND 間に水晶振動子を、コレクタに High Q の共振回路を接続して、100MHz の高周波信号を選択的に発生させる。発生した 100MHz の信号を、コレクタ・エミッタ間の帰還容量 $C_f = [\text{トランジスタの出力容量}] C_{oe} + C_5$ と、エミッタ回路の接地容量 C1 からなる帰還回路で正帰還させ、帰還された信号をトランジスタ出力およびコレクタ共振回路で増幅して発振を行う。この発振回路は発振周波数 f_0 における水晶振動子の等価インダクタンスと、コレクタ共振回路の等価インダクタンスによってハートレ型発振回路を形成する。

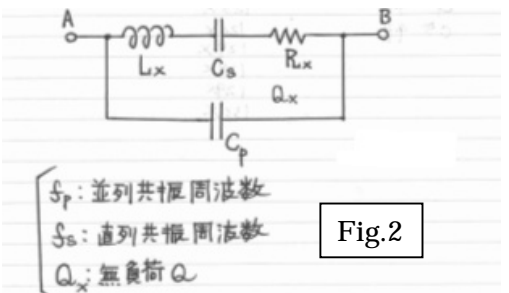


Fig.2

(1) 関係式

$$L_x = \frac{Q_x R_x}{\omega_p} \dots (1)$$

$$C_s = \frac{1}{\omega_s^2 L_x} \dots (2)$$

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{1}{\left(\frac{\omega_p}{\omega_s}\right)^2 - 1} \dots (3)$$

C_p を設定すれば Δf が求まる,

$$\Delta f \approx \frac{1}{4\pi Q_x R_x C_p} \dots (4)$$

(2) 水晶振動子は、SNAP のエレメント説明書の水晶振動子(マウ)の項に記載されているように、直列共振周波数: f_s 、内部抵抗: R_x 、無負荷 Q: Q_x 、並列等価容量: C_p とすれば、夫々の等価パラメータを図 2 の関係式[1]で表すことができる。ここで重要なことは、等価並列容量 C_p を設定することで、図 3 に示すように f 即ち並列共振周波数 f_p が定まり、水晶発振回路の発振安定度 [発振周波数 f_0 は f_s と f_p の間に存在 ($f_s < f_0 < f_p$) し、発振周波数 f_0 の近傍における実質的な Q が等価的に定まる] を決める要因の一つになることである。ここで、並列共振周波数 f_p を任意に定めると、並列容量 C_p が

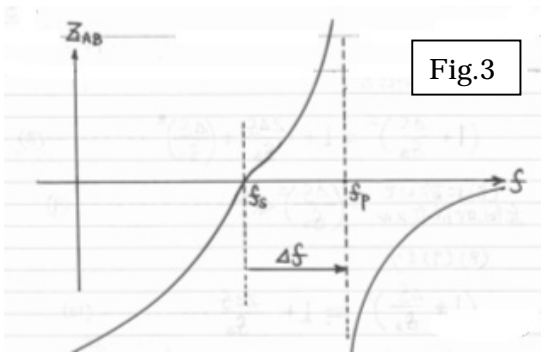


Fig.3