

# 自励発振回路における発振条件の考察

( 2005 年発売予定の次期バージョンによるサンプル )

## 概要

自励発振回路の発振条件は、例えば Fig.1 の回路において、仮想切断面 a-a' から左右をみたインピーダンスを  $Z_a, Z_b$  とすると、(1)式で表され、またこの発振条件は、任意の切断面において満たされる ( 1 )。しかしながら、トランジスタのパラメータは発振の成長に伴い整合に漸近するため、小信号 S パラメータを用いてこの整合条件の成立を確認することは難しい。そこで、自励振のハーモニック・バランス技法を用いて定常発振状態をシミュレーションし、(1)式の発振条件を確認する。

$$\text{Re}\{Z_a + Z_b\} < 0, \text{Im}\{Z_a + Z_b\} = 0 \text{ --- (1)}$$

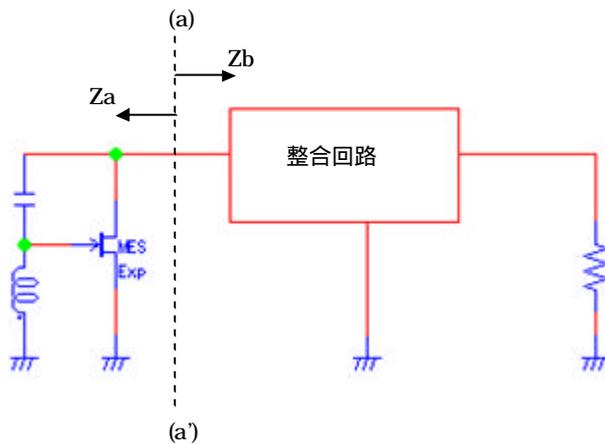
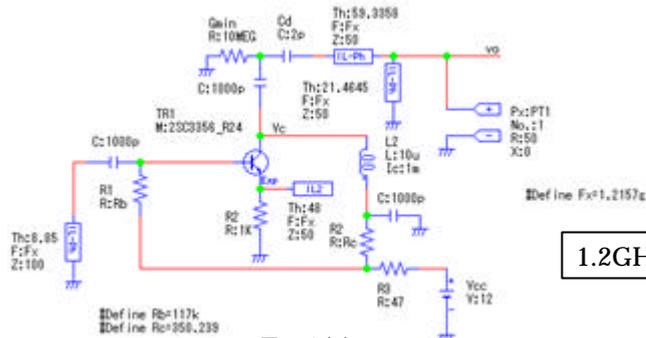


Fig.1

## サンプル回路

Fig.2 に確認のために用いるサンプル回路を示す。この発振器は 1200MHz の直列帰還発振器である。発振条件確認の前にハーモニック・バランス解析とトランジェント解析を用いて発振動作することを確認しておく。Fig.2(b)はハーモニック・バランスでの定常応答波形を示し、Fig.2(C)は、ハーモニック・バランスとトランジェント解析での FFT のスペクトルを重ねて表示している。それぞれのスペクトルはレベル的にもほぼ一致していることが確認できる。



1.2GHz 直列帰還発振器

Fig.2(a)

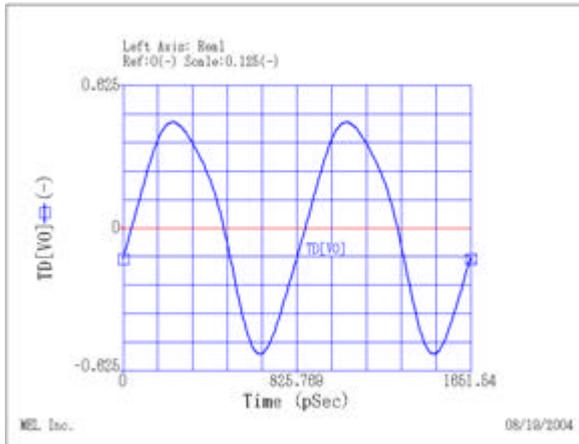


Fig.2(a) 定常発振波形

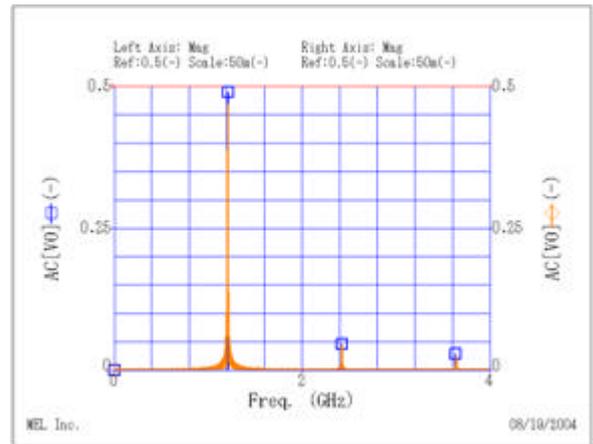


Fig.2 (C) ハーモニック・バランスとトランジエント解析とのスペクトル比較

## 切断面でのインピーダンス

### S パラメータ解析を用いて小信号解析でのインピーダンスを調べる

切断面においてポートを設定し、Sパラメータ解析を行う。解析結果のSパラメータをもとにポートから見たインピーダンスを計算し、発振条件を満足しているかどうかを調べる。ちなみに、シミュレータ内部では、Sパラメータ解析の際、トランジスタは動作点におけるハイブリッドの等価回路に変換され、線形解析が行われる。

### 切断面 a-a'

Fig.3のように出力端に切断面(a-a')を設定する。Sパラメータ解析の結果ポート1から見たインピーダンスは、

$$Z_{in}(1) = -50.9383 + j37.7 \text{ [ } \Omega \text{ ]}$$

であることがわかる。(1)式の発振条件を適用してみると、

$$\text{Re}\{RE(P1) + 50\} = -0.938 < 0$$

$$\text{Im}\{\text{Im}(P1) + 0\} = 37.7 > 0$$

となり、実数項は成立しているが虚数項が成立しない。



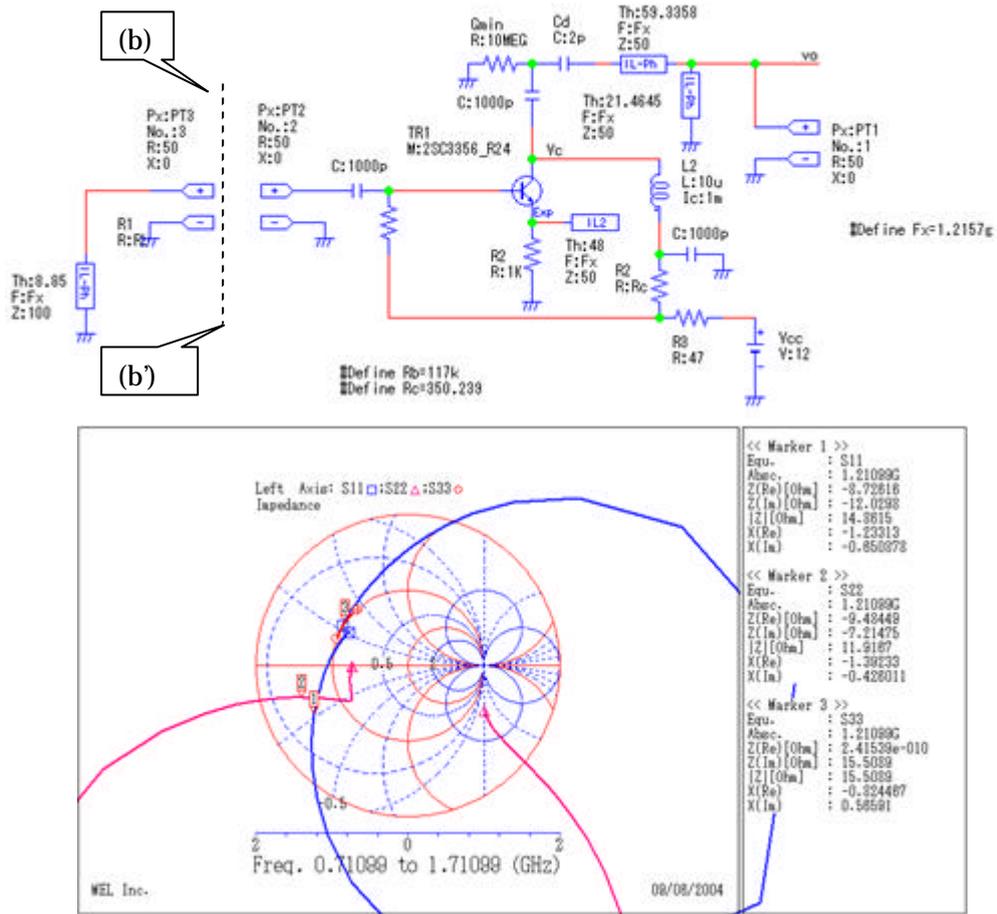


Fig.4

## ハーモニック・バランスによりダイナミック動作時のインピーダンスを調べる

Fig.3、Fig.4における切断面でのインピーダンスを、ハーモニック・バランス解析を用いて調べる。

### インピーダンスの計測方法

インピーダンスの計測は、負荷の値を共振に影響を及ぼさない微小値だけ変化させ、それぞれの場合の負荷に流れる電流  $IR$  と、負荷端の電圧  $VR$  を調べる。トランジスタ部分は、テブナンの定理に基づき Fig.5 のように置き換えることができる。負荷を変化させない場合と、微小値だけ変化させた場合の電流、電圧値をそれぞれ  $VR1, IR1$ 、 $VR2, IR2$  とすると、トランジスタ部分の内部インピーダンスは、次式で求めることができる。

$$Z_{in}[\Omega] = -\frac{VR1 - VR2}{IR1 - IR2} \quad \text{--- (2)}$$

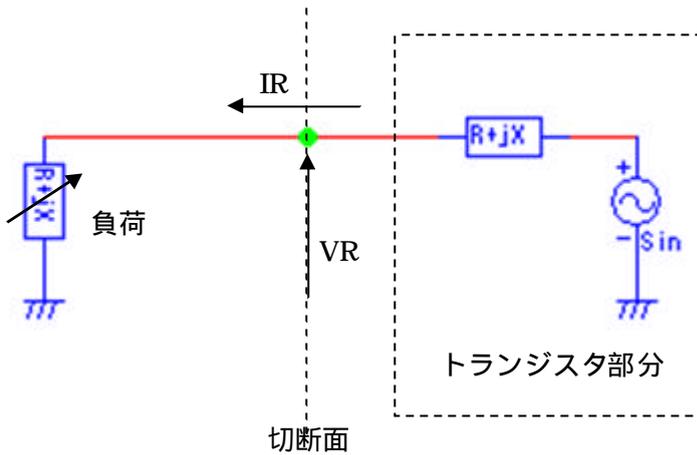


Fig.5

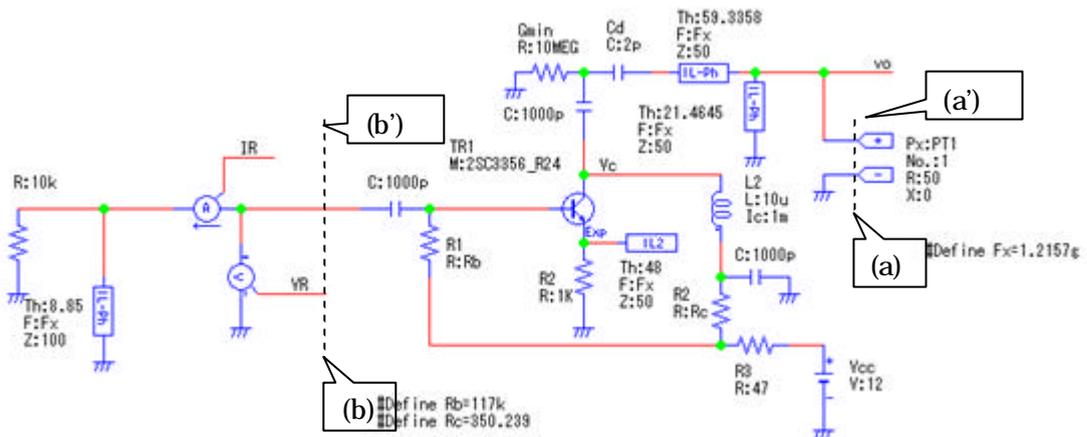


Fig.6

### 切断面 a-a'

Fig.6 の場合の切断面(a-a')についてシミュレーションを行う。負荷抵抗には、 $R=50[\Omega]$  と  $R=50.001[\Omega]$  の 2 種類を用い、それぞれの場合の電圧 (VO) をハーモニック・バランスシミュレーションにより求める。結果は以下のように得られた。

抵抗 [ $\Omega$ ]	VR[V]	IR[A]
50	-0.177026-j0.456629	$(-0.177026-j0.456629)/50$
50.001	-0.183318-j0.453565	$(-0.183318-j0.453565)/50.001$

(2)式より

$Z_{in}=-49.995-j0.069[\Omega]$  が得られる。(1)式の発振条件を適用してみると、

$$\text{Re}\{\text{RE}(P1)+50\} = -0.005 < 0$$

$$\text{Im}\{\text{Im}(P1) + 0\} = -0.0069 < 0$$

となり、実数項、虚数項ともにほぼ成立している。

## 切断面 b-b'

Fig.6 の場合の切断面 (b-b') についてシミュレーションを行う。リアクタンス部分は、ショートスタブのみの場合と 10K を並列に取り付けた場合の 2 種類を用い、それぞれの場合の電圧 (VR)、電流 (IR) をハーモニック・バランスシミュレーションにより求める。結果は以下のように得られた。

負荷	VR[V]	IR[A]
ショートスタブのみ	-0.00533674+j0.159696	0.010297+j0.000344106
ショートスタブ + 10K	0.00693125+j0.158888	0.0102458-j0.000431039

(2)式より

$Z_{in}=0.00299-j15.826[\Omega]$  が得られる。リアクタンス部分のインピーダンスは、 $Z_R=j15.5[\Omega]$  だから、(1)式の発振条件を適用してみると、

$$\text{Re}\{0+0.00299\} = 0.00299 < 0$$

$$\text{Im}\{15.5-15.8\} = -0.3 < 0$$

となり、実数項、虚数項ともほぼ成立している。

## まとめ

自励発振器の発振条件を調べるために、2つの異なった切断面において、インピーダンスを小信号 S パラメータ解析と自励振ハーモニック・バランスを用いてシミュレーション計測を行った。シミュレーションの結果、小信号 S パラメータ解析では発振条件は満足されず、自励振ハーモニック・バランスでは発振条件を満足するという結果が得られた。このことより、トランジスタが大信号、非線形領域で動作している場合のパラメータは、小信号 S パラメータでは正確には代用できないと考えられる。

## 参考文献

1)大平孝、“MMIC 発振器設計の基礎”、MWE'96 Microwave Workshop Digest,P438-447