

# Test of SLAC electronics

Y.Honda

2005/12/30

## 概要

We have tested the performance of the detection electronics of ATF2 Q-BPM. A cw signal generated by a 6.426 GHz oscillator was used for the test. The input equivalent noise power was measured to be -85 dBm, which corresponds to 30 nm position resolution. The electronics has 64 dB linear range. N.F. of the system was estimated to be 10.1 dB.

## 1 目的

SLAC 製の ATF2 Q-BPM 用検出回路のプロトタイプ (図 1) について性能の確認を行った。このボードは、基本的には 6.426 GHz から 20 MHz へのダウンコンバータである。L.O. として外部から 6.446 GHz、13 dBm の信号を与え、BPM からの 6.426 GHz の信号との差の周波数の 20 MHz を出力する。(L.O. 部のアンプがまだ実装されていないので、いまのところは結構大きなパワーを直接入力している。)

ボード番号 2 の ch1 を用いてテストを行った。ボード自体はブラックボックスとし、入出力の外側を測定した。今回調べた項目は、

- ゲイン、入力換算ノイズ、リニアレンジ
- 検出回路全体としてのノイズフィギュア (N.F.)

である。

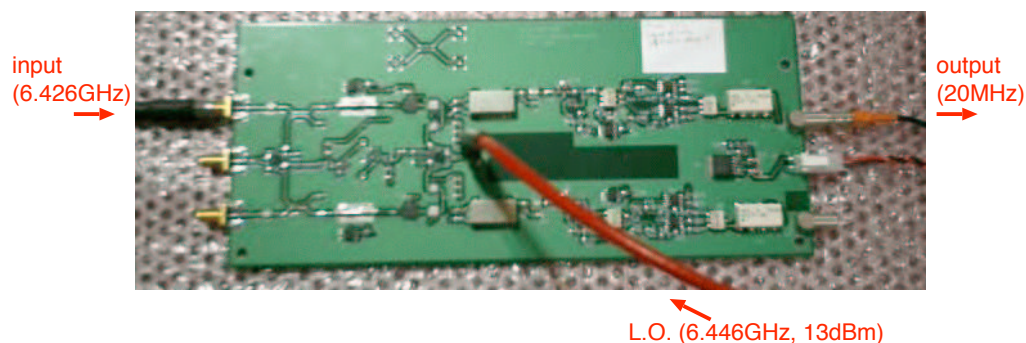


図 1: プロトタイプボード

## 2 入出力の測定

### 2.1 測定

入力信号のパワーを変えながら出力を測定することで、回路全体のゲイン、ノイズ限界、リニアレンジを調べた。図2のような単純なセットアップでボードへの入力信号パワーと出力信号の電圧の関係を測定した。発振器で作った 6.426 GHz, cw の信号をスペアナでパワーを測定して入力し、出力信号 (20 MHz) の電圧の rms をオシロスコープで測定した。図3がその結果である。ノイズに埋もれる信号強度は -83 dBm (オシロスコープ自身のノイズの寄与を差し引くと -85 dBm)、回路が飽和しはじめる信号強度は -19 dBm と見てとれる。

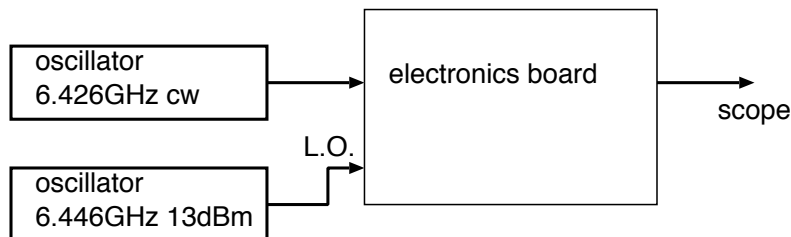


図 2: 入出力の関係を調べるセットアップ

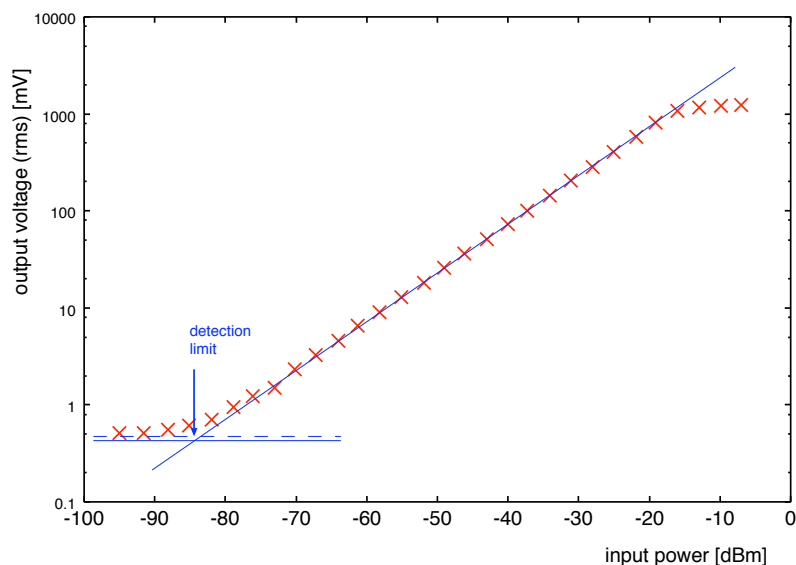


図 3: 入出力の関係

### 2.2 ノイズ限界と期待される分解能、リニアレンジ

空洞の計算とビームテストの結果によると、ATF2 Q-BPMの感度は、2ポート合わせて、 $10^{10}$  e/bunch, バンチ長 8mm を仮定した時に、-108.9 dBm (for 1nm beam offset) であると評価されている。

入力信号パワーが -85 dBm の時にノイズ強度と信号強度が 1 対 1 になるという結果によると、15.6 nm が電気ノイズによってきまる分解能の限界と言える。空洞から回路の入力までの伝送ロスが 6dB 程度あることを考慮すると、30 nm 程度と評価される。Q-BPM としては十分な分解能である。

回路がリニアに動作するレンジは 64 dB (ファクター 1600 程度) と測定された。100 nm を最小ユニットとすると、単純に 160  $\mu\text{m}$  の範囲は分解能を落とさずに測定可能と思われる。それより外の範囲でも多少分解能が落ちるが信号の外挿によって読みだし可能とされている。

## 2.3 ノイズフィギュアの評価

回路のバンド幅を調べるために、入力が無い状態で出力のスペクトルを観測した。初段のアンプが出している様なノイズを回路のフィルターで帯域制限して見ていることになる。出力スペクトルには 39.6 MHz で 3dB 落ちるような LPF の特性が見られたので、バンド幅を 39.6 MHz と考えることができる。入力換算ノイズパワーが -85 dBm でバンド幅が 39.6 MHz として入力換算ノイズレベルを計算すると、

$$-85(\text{dBm}) - 10 \log(39.6\text{MHz}) = -161(\text{dBm/Hz}) \quad (1)$$

となり、温度ノイズ -173.8 dBm/Hz と比較して、N.F.=12.8 dB と評価される。

## 3 ノイズレベルの測定

### 3.1 測定

図 4 のセットアップでノイズレベルをスペアナで直接測定した。スペアナ自身のノイズに埋もれないようにボードの後段にさらにアンプを配置してから検出した。

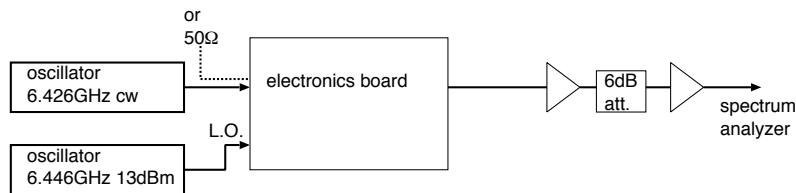


図 4: ノイズレベルの測定のセットアップ

まず、入力を終端した状態でのノイズレベルを RBW 100 Hz で測定したところ、20 MHz 付近で -95.19 dBm であった。後段から発生するノイズはこれより 20dB 程度低いので無視できる。その後、全体のゲインを測定するため、発振器から信号を入力して入出力のパワーを比較することでゲインを求めたところ 51.53 dB と求まった。

スペアナの RBW の特性の補正 (3dB) と回路全体のゲインを用いて

$$\text{input noise level (dBm/Hz)} = \text{noise power (dBm)} - 10 \log(100\text{Hz})(\text{RBW}) + 3(\text{dB})(\text{correction}) - \text{gain (dB)} \quad (2)$$

から入力換算のノイズレベル (dBm/Hz) を求め、

温度ノイズ (300k=-173.8 dBm/Hz) との差、

$$\text{N.F.} = \text{input noise level(dBm/Hz)} + 173.8(\text{dBm/Hz})(\text{thermal noise}) \quad (3)$$

から、ノイズフィギュア (N.F.) を導出した。結果を表 1 にまとめる。N.F.=10.1 dB と測定された。

表 1: NF 測定のみとめ

noise power (RBW=100Hz)	noise level	overall gain	N.F.
-95.19 dBm	-112.19 dBm/Hz	51.53 ± 0.13 dB	10.1 dB

### 3.2 考察

このボードではイメージリジェクションミキサーを用いている。一般には、ダウンコンバージョンする際に帯域を制限しなければ、イメージ周波数のノイズも折り返して被ってしまうために 3dB ノイズが増加する。イメージリジェクションミキサーは、位相情報を用いてイメージ周波数をキャンセルさせる方式で、要は 2 つの位相でダウンコンバージョンすることによって、位相が進む方向で 20 MHz がのこる信号と、位相が遅れる方向で 20 MHz がのこる信号を分離するというものである。ので、3dB 増加してはいないはず。初段アンプのノイズで全体のノイズが決まっているならば、ここで測定されたものがほぼ初段アンプの N.F. である。

SLAC グループによる過去の発表資料によると、このボードの N.F. は 7.5 dB と計算されている。測定誤差が 1~2 dB 程度あると思われることを考慮すると、まあそこそこ合っている。

## 4 まとめ

測定可能な最小パワーは -85 dBm、リニアな範囲は 64 dB、N.F は 10.1 dB と測定された。