

Improvement of BPM electronics (converter)

Y.Honda

2005/12/27

概要

We have improved the converter module of cavity BPM electronics. An isolator and a BPF were newly added to reduce the noise. We confirmed the improvement. Noise figure of the head amplifier was measured to be reasonable. Detectable minimum signal was estimated to be -105 dBm, which corresponds to 5 nm signal for Inoue BPM.

1 目的

空洞BPM回路のノイズを低減する為に converter を改修した。改修後の評価を行うと同時に初段アンプのNFをもう一度評価した。変更点は、初段アンプとミキサーの間にアイソレータとBPFを入れたことである。

アイソレータを入れた目的は、ミキサーからの反射がアンプに戻ることによる悪影響の無いようにする為である。改修前は3dBのアテネータが同様の目的の為に入っていた。以前のテストによると、反射によって特にノイズが増えていることは無いという結論であったが、入れて悪いことはないだろうからせっかくだから入れてみた。

BPFを入れた目的は、ダウンコンバージョン時にイメージ周波数付近のノイズを含まないようにする為である。図1に説明されるように、これまでのスキームでは、初段アンプから発生するノイズをダウンコンバージョンの際に折り返して被っていた。ダウンコンバージョンの前でもう一度帯域を信号の近傍に制限することによってノイズが3dB改善するはずである。

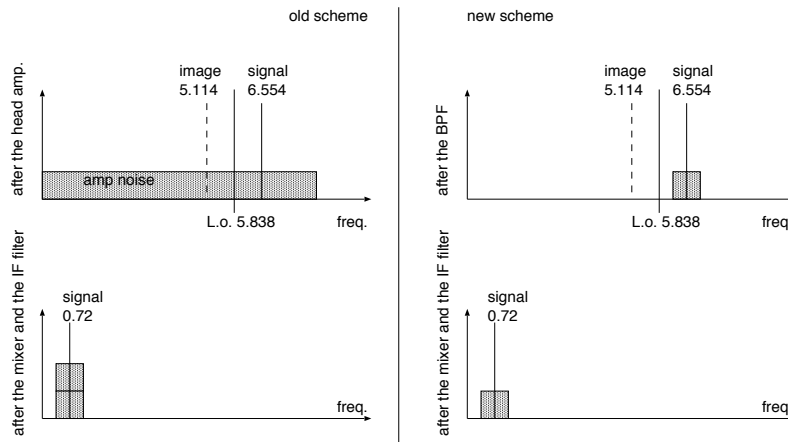


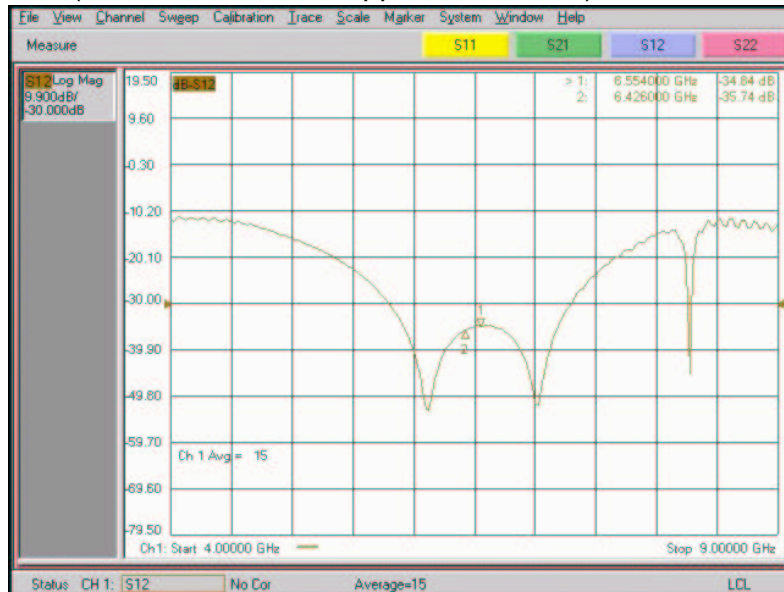
図 1: BPF によるノイズの改善。

2 コンポーネントのチェック

今回追加されたアイソレータと BPF をモジュールから取り外して、特性をネットワークアナライザでチェックした。

アイソレータの透過測定の前方向と逆方向についての結果を図 2 に、BPF の透過測定の結果を図 3 に示す。結果のまとめが表 1。問題ないと思われる。

S12 (transmission of the opposite direction)



S21 (transmission)

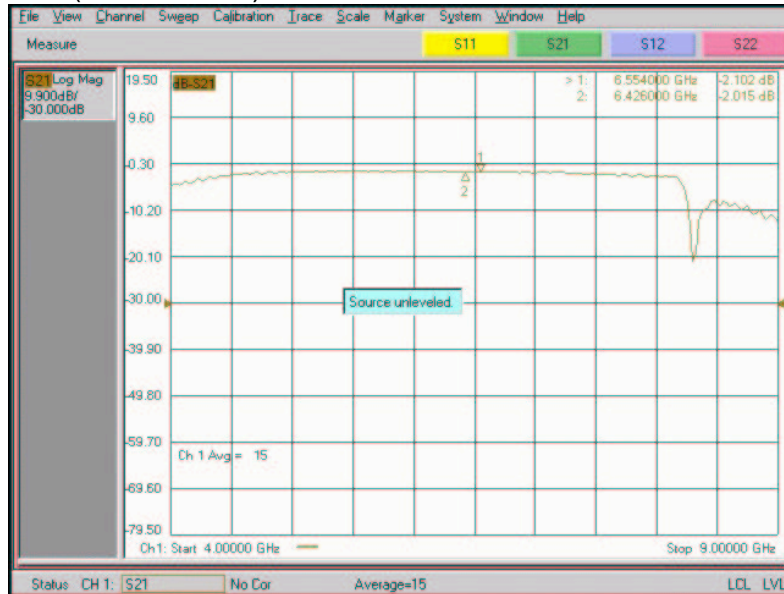


図 2: アイソレータの特性。

S21 (transmission)

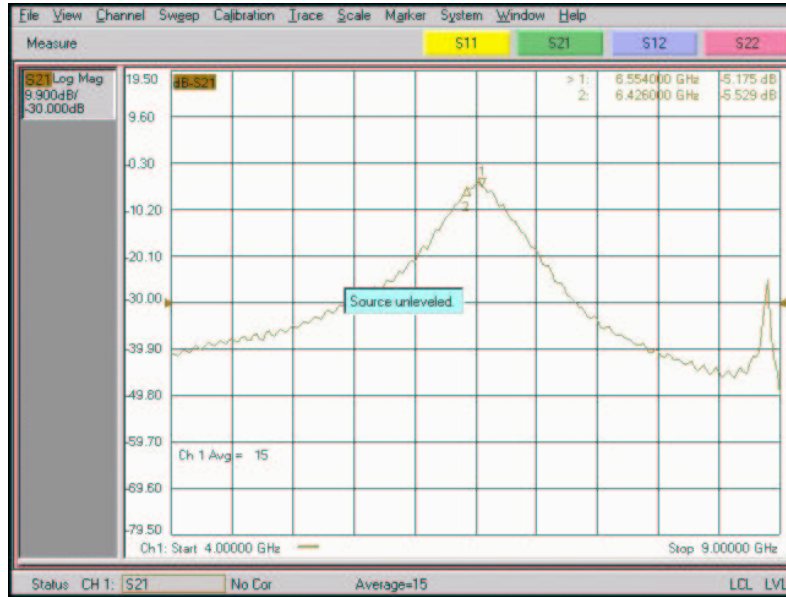


図 3: BPF の特性。

表 1: コンポーネントの特性のまとめ

	test item	result
Isolator	S11 (reflection)	-19.6 dB
	S21 (transmission)	0.0 dB
	S12 (opposite direction)	-32.7 dB
	S22	-18.9 dB
BPF	S21 at 6.554 GHz (signal)	-3.7 dB
	S21 at 5.126 GHz (image)	-31.7 dB

3 ノイズフィギュアの測定

以前にノイズの測定を行ったときは、ダウンコンバージョンを2回行った後の信号をオシロスコープで観測した。この方法では、上記のミキサでのノイズ折り返しの影響を2回込みでのノイズ測定なので実はアンプ自身のNFの絶対値としては正しくない。もっともアンプを交換してみてノイズを相対的に比較するには問題無い。以前の測定の結論は、予想されるよりノイズが6dBくらい多いみたいだけど、特性がデータシートで与えられている他のアンプに交換してみてもノイズが同じように多く測定されたので、相対的な関係で考えるとそんなに悪くない。となっていた。

以前の測定の問題点が分かったので、今回は初段アンプのノイズフィギュアをダウンコンバージョン無しでスペアナを用いて直接測定する。

3.1 測定

図4にセットアップを示す。スペアナの感度を上げる為に、測定するアンプの後ろでさらに2段にアンプした後に測定した。図4(a)のセットアップで入力を終端した状態でノイズレベルを測定し

た。その後、発振器からの信号を入力して回路系のゲインを測定した。三光社のアンプと、比較のために MITEQ のアンプ (NF= 1.75 dB とデータが付いている) について測定を行った。

測定は、6.554 GHz についてスペアナの Resolution Band Width (RBW) 100Hz に設定して行った。測定されたノイズパワーを RBW、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

$$\text{input noise level (dBm/Hz)} = \text{noise power (dBm)} - 10 \log(100\text{Hz})(\text{RBW}) + 3(\text{dB})(\text{correction}) - \text{gain (dB)} \quad (1)$$

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、

$$\text{N.F.} = \text{input noise level(dBm/Hz)} + 173.8(\text{dBm/Hz})(\text{thermal noise}) \quad (2)$$

から、ノイズフィギュア (N.F.) を導出した。結果を表 2 に示す。

後段のノイズは初段のノイズに比べて無視できることを確認するために図 4(b) のセットアップでのノイズを測定した。(a) に比べて (b) は 20dB 以上ノイズは少ないことを確認したので、(a) で測定したものはほぼ初段のアンプの特性であると思っ良い。

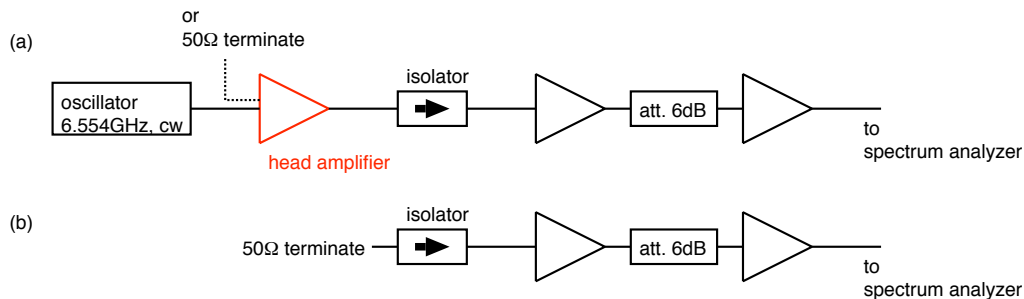


図 4: NF 測定のセットアップ。

表 2: 直接 NF 測定のまとめ

amplifier	noise power (RBW=100Hz)	noise level	overall gain	N.F.
San-ko-sha	-81.54 dBm	-98.54 dBm/Hz	70.9 ± 0.3 dB	4.4 dB
MITEQ	-83.60 dBm	-100.60 dBm/Hz	70.2 ± 0.3 dB	3.0 dB

3.2 考察

データシートによると、MITEQ のアンプは NF=1.75 dB であり、三光社のアンプは計算によると NF=2.47 dB である。測定結果はこれより 2dB 程度悪いが、相対的な関係は期待通りである。ゲインの測定誤差 (入力パワーを変えて測定したときのフィットから求めた) が 0.3 dB 程度ある他に系統誤差がある可能性がある。

測定結果には、スペアナのパワーのキャリブレーションの信頼性が直接影響する。発振器からの同じ 6.554 GHz の信号をスペアナとパワーメータで測定して値を比較してみたところ、スペアナの方が 1.25 dB 高い値を返した。キャリブレーションの信頼性は 1~2dB 程度と思われる。これを考慮すると、測定結果は期待値と大きく違うとは言えないと思われる。

入力ノイズレベルの導出の際にスペアナの RBW の特性を考慮した補正を 3dB 入れて計算した。これは、RBW を 3dB 感度が落ちる全幅として、理想的な平坦特性のバンド幅との実効的な感度の差を補正したつもりである。単一周波数の信号を測定した結果によると、RBW として設定した幅で確かに信号が 3dB 落ちになって見えることは確認済。

4 ダウンコンバート後の測定によるノイズの評価

今回追加したアイソレータを BPF の効果を確認するために、ミキサー後のノイズを測定した。図 5 に示すように、4 つのセットアップで測定を行った。アンプは、三光社のものと MITEQ のものの 2 種類について測定した。結果を表 3 にまとめる。6.5GHz での直接測定のと看よりも大きめの値が出たが、理由は良く分かっていない。2 種類のアンプの相対的な関係は以前の結果とだいたい一致している。

後段のノイズは初段のノイズに比べて無視できることを確認するために図 5(d) のセットアップでのノイズを測定し、後段のノイズは 10dB 以上少ないことを確認した (ほぼ無視できる)。

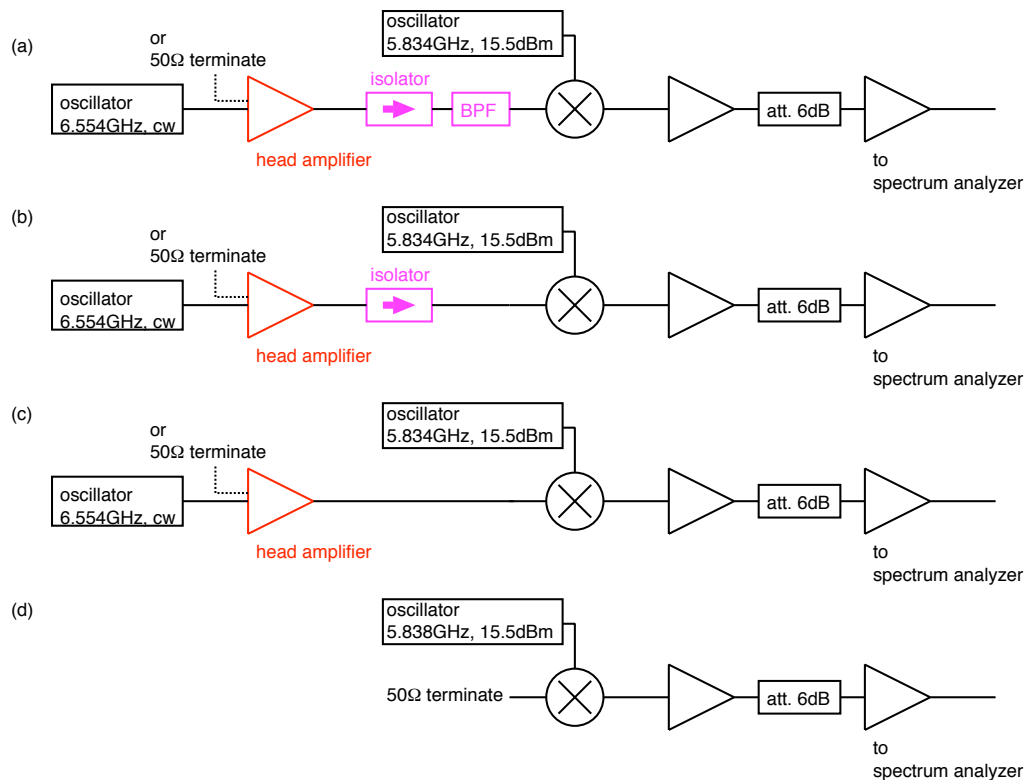


図 5: ダウンコンバート後の測定のセットアップ。

5 回路全体での検出可能な入力信号の評価

5.1 測定

次段につづく detector 回路の帯域でみて、検出可能な入力信号レベルを評価するために、以前の実験と同様のセットアップを組んだ (図 6)。detector でもう一度ダウンコンバージョンして、約 10kHz の周波数をオシロスコープで測定する。出力信号の大きさ (rms) を測定し、入力レベルを変えて行っ

表 3: ダウンコンバート後のノイズ測定のみとめ

amplifier	setup	noise power (RBW=100Hz)	noise level	over all gain	N.F.
San-ko-sha	a	-98.61 dBm	-115.61 dBm/Hz	51.1 ± 0.6 dB	7.1 dB
	b	-91.48 dBm	-108.48 dBm/Hz	54.4 ± 0.5 dB	10.9 dB
	c	-90.60 dBm	-107.34 dBm/Hz	56.9 ± 0.3 dB	9.6 dB
MITEQ	a	-102.50 dBm	-119.50 dBm/Hz	48.5 ± 0.3 dB	5.8 dB
	b	-96.23 dBm	-113.23 dBm/Hz	52.4 ± 0.3 dB	8.2 dB
	c	-94.12 dBm	-111.12 dBm/Hz	52.1 ± 0.4 dB	10.6 dB
	d	-112.76 dBm	-129.76 dBm/Hz		

て、正弦波の出力がノイズに埋もれて行く様子を調べて検出可能な入力レベルを評価した。測定結果を、三光社のアンプと MITEQ のアンプの場合それぞれについてアイソレータと BPF 有り/無しについて、図 7、図 8 に示す。

いずれの場合も今回の改修によってより低い信号まで S/N が良くなった。-105dBm 程度の入力レベルまで検出可能である。

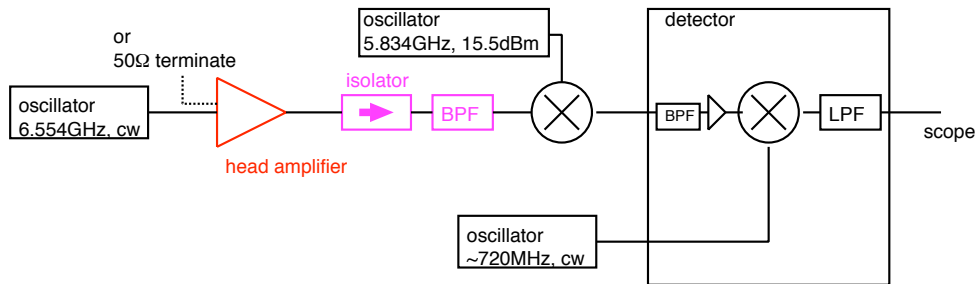


図 6: セットアップ

5.2 考察

測定の帯域は detector の最後の LPF で決まる。ノイズのスペクトルを測定することにより帯域を評価すると、2.7 MHz であった (3dB 信号が落ちる周波数)。この帯域で -105 dBm の入力換算ノイズであるから、入力換算ノイズレベルは、

$$-105.0(\text{dBm}) - 10 \log(2.7 \times 10^6)(\text{band-width}) = -169.3(\text{dBm/Hz}) \quad (3)$$

であり、温度ノイズ (-173.8 dBm/Hz) と比較して、実効的な N.F. を見積もると N.F. = 4.5 dB となる。detector での折り返しノイズを 3dB 被っていることを考慮すると初段アンプ自体については N.F. = 1.5 dB と計算される。測定の誤差は一声 2dB 程度はあると思われるので、他の測定と大差はないであろう。

6 考察

ちなみに空洞から出て来る信号レベルを計算または実験結果から見積もった結果を表 4 にまとめる。電荷 $10^{10}e/\text{bunch}$ 、パンチ長さ 8mm の場合の値である。基本的には Q_{ext} の違いが反映している。

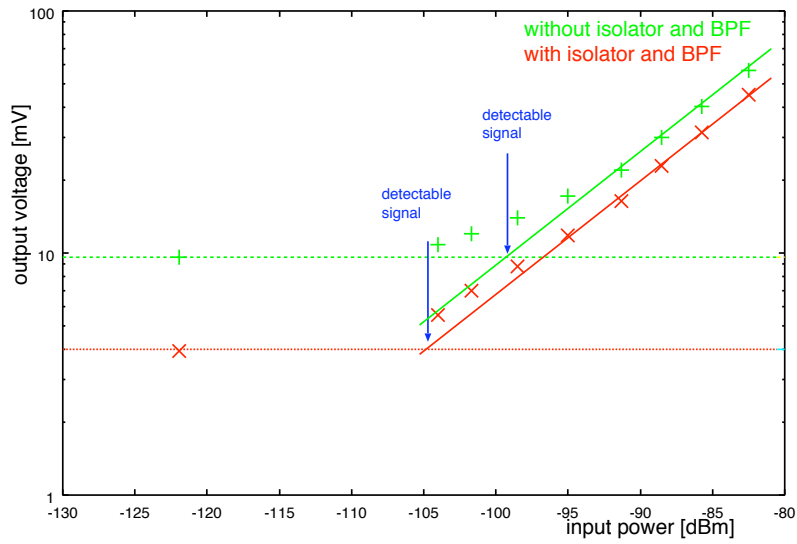


図 7: 検出可能な入力信号の評価 (三光社のアンプの場合)

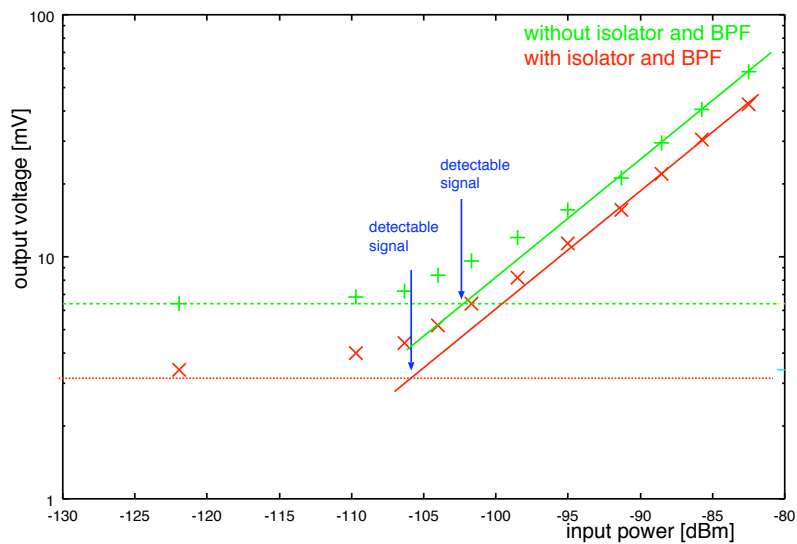


図 8: 検出可能な入力信号の評価 (MITEQ のアンプの場合)

-105 dBm の信号まで検出可能ならば、ロス無しで初段アンプまで信号を運べるとすると、KEK(Inoue) BPM ならば 5 nm、IP-BPM ならば 0.6 nm の分解能が見込まれる。空洞からコンバイナとケーブルのロス、更に limiter と可変アテネータで 6~8dB 程度のロスがあると考えたと実際はこの倍程度と思われる。

表 4: 空洞から出て来る信号レベル

cavity	voltage (2-port combined)	power (1nm offset)
KEK(Inoue)	0.25 V/mm	-119.0 dBm
PAL(ATF2)	0.80 V/mm	-108.9 dBm
IP-BPM	2.24 V/mm	-100.0 dBm

7 結論

改修によって、予定通り S/N が向上した。