

# 週間報告書 # 4.1

中川憲保

平成 16 年 6 月 24 日

## 1 今週の内容

今までに特性を計った buffer や Phase Shifter を用いた回路に Mixer を組み込み、その周波数への出力特性を調べた。用いた Mixer は「Mini Circuits TUF-3H」である。

### 1.1 実験

用いた回路は図 10 の回路である。今回の実験はまず、Mixer の代わりとなる仮想抵抗 ( $15\Omega$ ) を用いて測定を行い、おおまかな目安をつけて、次に実際 Mixer を組み込み測定を行った。測定する方法、読み取る値に関しては今までと同様である。

今回は、このデモジュレータを使用するダークポートへ配給されている RF パワーが  $11.8\text{dBm}$ <sup>1</sup>であったので、入力側に  $15.235\text{MHz}$  の周波数の信号を  $11.8\text{dBm}$ <sup>2</sup> になるように入れた。これは、Mixer で  $10\text{dBm}$  消費する事を最終目的とするためである。

そして、Mixer で消費されている電力を知るために仮想抵抗の  $15\Omega$  または Mixer 両端の電圧を AD811 で high-impedance で受け、これをモニター出力し  $1f(=15.235\text{MHz})$ 、 $2f(1f \times 2)$ 、 $3f(1f \times 3)$  の各成分を測定値とした。よってモニター出力電力とミキサ出力電力の間の換算を行う必要がある。その換算式は 1.2 に記した。

また、Harmonic Distortion を押さえた状態で Mixer で  $10\text{dBm}$  消費させたいので、Phase Shifter での Distortion を押さえる事が必要になってくる。そのために入力を attenuate し、Phase Shifter の後段でアンプのゲインを適切に設定しなければならない。そのゲインの見積もる手順としては、

1. attenuate を決定する。これは週間報告書 # 3.5 より  $20\text{dBm}$  に決定。
2. 後段でのアンプのゲインの設定。これは 1.2 の実験より決定。

Harmonic Distortion の定義について ある測定結果においてメインのピークに対して他のピークがどれくらいのものであるのかを倍率 (dB) で表したものである。式としては以下のようなになる。

$$R_{\text{HarmonicDistortion}}[\text{dB}] = P_{\text{nf}}[\text{dBm}] - P_{1f}[\text{dBm}] \quad (1)$$

<sup>1</sup>実際 TAMA300 で用いられている実測値

<sup>2</sup>アナライザで測定したピークが  $11.8\text{dBm}$  であった。これは内部抵抗が  $50\Omega$  である事から、電圧値としては約  $0.60\text{V}$  に相当。今回アナライザに  $1f$  ピークに  $11.8\text{dBm}$  供給するために電圧として  $2.325\text{V}$  かけた。入力側の各成分の値としては以下の通りである。

$1f$   $11.8\text{dBm}$ ,  $2f$   $-51.4\text{dBm}$ ,  $3f$   $-40.\text{dBm}$

## 1.2 仮想抵抗 (15Ω) を用いた実験

ここで 15Ω の抵抗を用いたのは H.Grote<sup>3</sup> 氏の実験結果より  $0.6V_{pk}$  の電圧をかけたら 10dBm になるということが示されており、H.Grote 氏のドキュメントによると、Mixer の両端に  $0.6V_{pk}$  の電圧がかかっている時、Mixer のインピーダンス  $R_{Mixer}$  は 15Ω であった。実際かかる電力  $P_W$  を計算すると

$$P_W[W] = \frac{V_{pk}^2 [V^2]}{2 \times R_{Mixer} [\Omega]} = \frac{0.6^2 [V^2]}{2 \times 15 [\Omega]} = 10.8 [dBm] \quad (2)$$

となり、およそ欲しい値である 10dBm が得られる。よって、15Ω の抵抗を Mixer の代わりに取り付け、その両端に  $0.6V_{pk}$  の電圧がかかるように試みた。

まずはじめに仮想抵抗を Mixer の代わりに用いて、Phase Shifter の後にあるアンプの倍率を決定する。はじめの設定としては「倍率調整部」を 680Ω と 75Ω の並列接続 (=67.55Ω) にして測定を行った。このときの倍率 M はフィードバック抵抗  $R_f$ 、入力抵抗  $R_i$  より式 (3) 求められる。

$$M = 1 + \frac{R_f}{R_i} = 1 + \frac{67.55}{680} = 11.07 \quad (3)$$

このアンプを用いて測定を行う。その結果が図 1,2 の通りである。

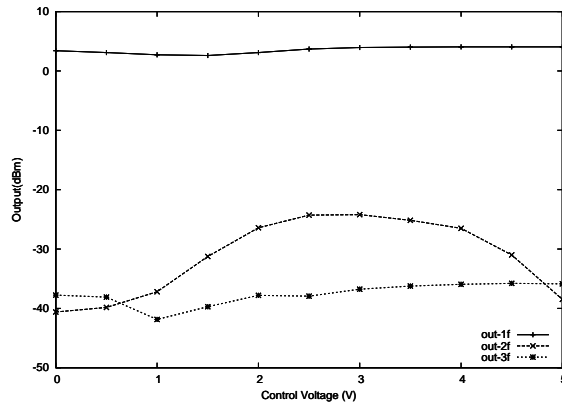


図 1: 67.55Ω での出力

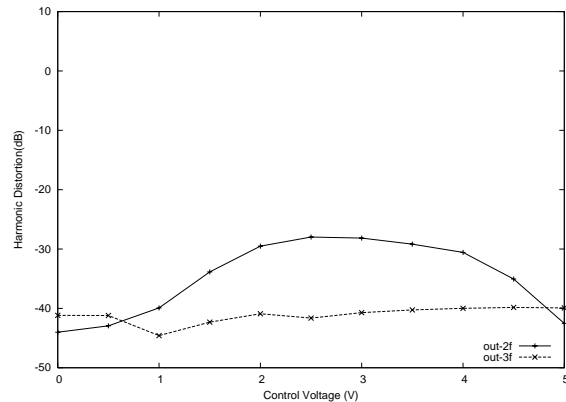


図 2: 67.55Ω での Harmonic Distortion

Harmonic Distortion は一番悪いところで -28dB でやや問題が残る。後々の結果から、この歪みの原因がどこからであるのか再び調べる必要がある。

出力に関しては、3~4dBm である。ここでこれを実際にミキサーにかかる Power に変換すると、

$$P_{dBm} [dBm] = 10 \log \left( \frac{P_W [W]}{1 [mW]} \right) \quad (4)$$

$$P_W [W] = \frac{V_{pk}^2 [V^2]}{2 \times R [\Omega]} \quad (5)$$

という関係を用いて

$$10^{\frac{P_{dBm}}{10}} = \frac{V^2}{1 [mW] \times R [\Omega]} \quad (6)$$

<sup>3</sup>天文台内資料「Coupling of signals through HPD / demodulator chain」

となる。ここで測定用のスペクトラムアナライザーには  $50\Omega$  の抵抗が内蔵されており、ミキサーの仮想抵抗の値が  $15\Omega$  であるということから Mixer での消費電力  $P_{\text{mixer}}$  は

$$10^{\frac{P_{\text{obs}}[\text{dBm}]}{10}} \times 1[\text{mW}] \times 50[\Omega] = 10^{\frac{P_{\text{mixer}}[\text{dBm}]}{10}} \times [1\text{mW}] \times 15[\Omega] \quad (7)$$

となる。よってモニター出力から  $P_{\text{obs}} [\text{dBm}]$  の出力が観測されたとき、実際に mixer の LO 入力で消費されている電力は

$$P_{\text{mixer}} = P_{\text{obs}} + 5.22[\text{dBm}] \quad (8)$$

と表される。

この結果より mixer の LO で消費される電力は  $8 \sim 9\text{dBm}$  で、まだまだ出力が足りないので最終段のアンプの入力抵抗を  $52\Omega$  (アンプとして 14.07 倍) に代えて再度測定を行ってみる。その結果が図 3,4 である。

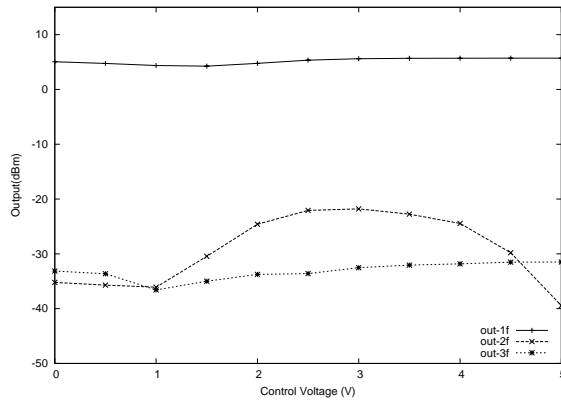


図 3:  $52\Omega$  での出力

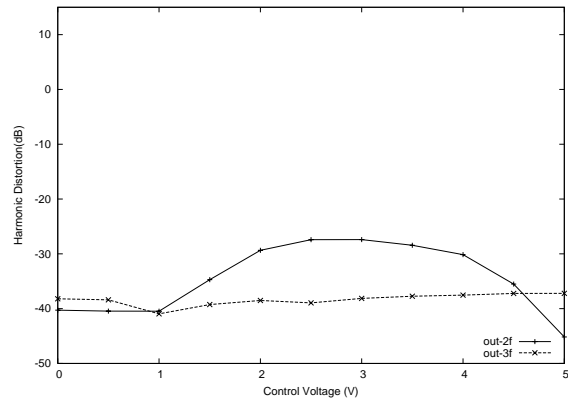


図 4:  $52\Omega$  での Harmonic Distortion

これより最終段のアンプの入力抵抗を  $52\Omega$  とすることで、仮想抵抗 ( $15\Omega$ ) で消費される電力はおよそ  $9.5 \sim 11.0$  となり、ほぼ欲しい値が得られた。

Harmonic Distortion に関しては一番悪いところで  $-27.5\text{dB}$  程度でやはりあまり良い値とは言えないが、この後ミキサーも加えるのでこの状態で実際に Mixer を組み込んでみる。

### 1.3 ミキサーを組み込んだでの測定

Section1-2 の図 2 における測定とセットアップは同じ状態で仮想抵抗の部分に実際にミキサーを組み込んで測定を行ってみる。その結果が図 5,6 である。

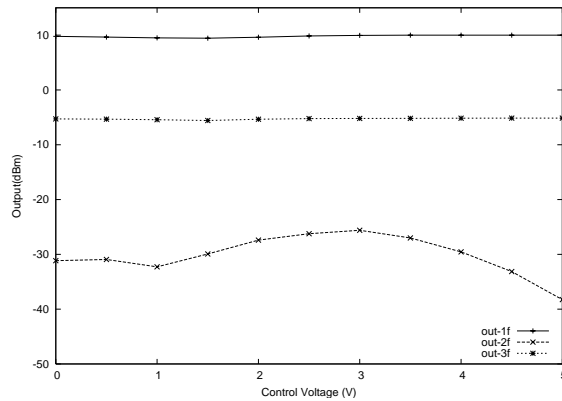


図 5: 52Ω で Mixer を組み込んだ時の出力

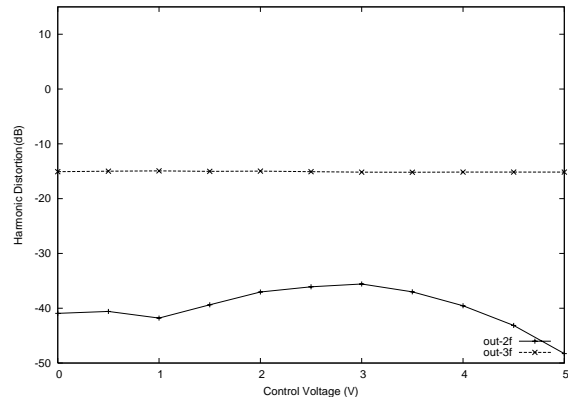


図 6: 52Ω で Mixer を組み込んだ時の Harmonic Distortion

この図からも 3f 成分があまりにも大きく、Harmonic Distortion を下げるといふ点から不適切である。また、1f 成分の出力は約 10dBm と、この値に関してもミキサーでの消費電力に換算するとインピーダンスが 15Ω であったと仮定すると 15dBm という値になってしまい、これは目標の 10dBm を大きく上回ってしまう。

よって最終段のアンプの入力抵抗値を変えていき、現状で最適と思われるところで測定を行った。その時の抵抗値が 150Ω である。結果は図 7,8 の通りである。

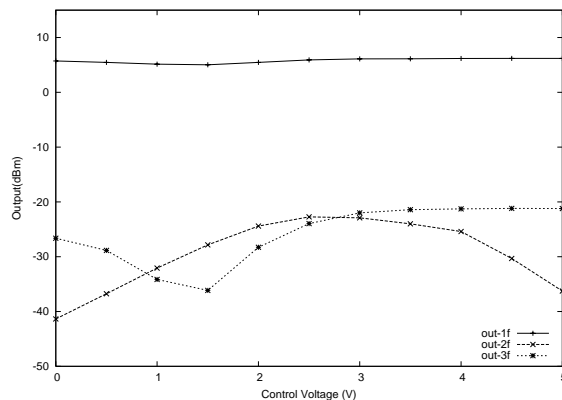


図 7: 150Ω で Mixer を組み込んだ時の出力

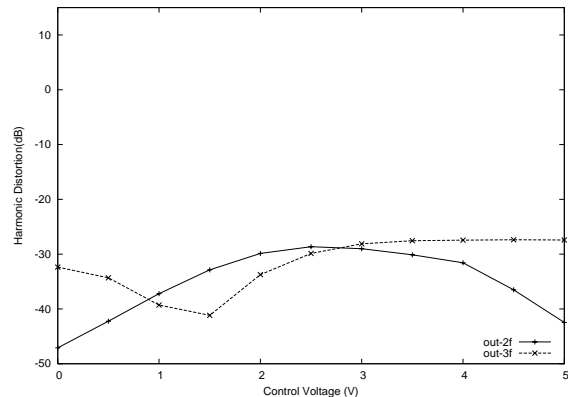


図 8: 150Ω で Mixer を組み込んだ時の Harmonic Distortion

悪いところで Harmonic Distortion が -27.5dBm であるから、少々まだ悪いがとりあえずこの値を採用することにする。

参考に最終段のアンプの入力抵抗の抵抗値を変えていった時の 1f 成分、制御電圧 0V での出力の様子が図 9 のとおりである。

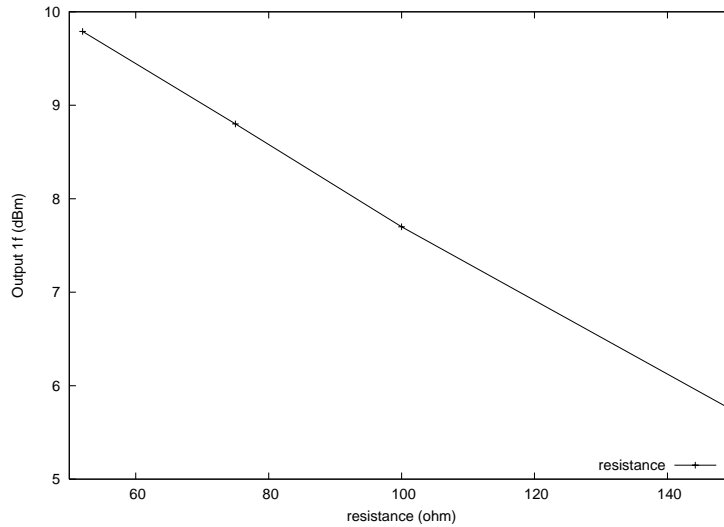


図 9: 最終段のアンプの入力抵抗の抵抗値と出力の関係

## 1.4 考察

ミキサーを組み込んでからの振る舞いに関して、仮想抵抗を用いたときは実際ミキサーを組み込んでもうまいこと行く予定だったが、予想と異なり結果的にはミキサー前での倍率を落とすことになった。考えられる原因としては

- 仮想抵抗の抵抗値が目標値である  $15\Omega$  にしたのが間違っていた。
- Mixer がコイルとダイオードを組み合わせたパーツなので単純に抵抗には置き換えられなかった。
- Mixer から buffer を使って測定していたが、その部分が悪さをしている。

などが考えられる。最終的に用いた  $150\Omega$  の抵抗で結果としては許容範囲内であるので、それでいくことにする。この問題は後々トラブルが起きたときに考え直すところであるといえる。

それから Phase Shifter に関して、制御電圧を変化させた時の Harmonic Distortion が 10dB ほど変化しており、これを押さえる工夫が出来たらさらに大きなシグナルが得られると考えられる。

## 2 補足

前半の section には書けなかったが、補足的なことをここに述べる。

## 2.1 回路初頭のアッテネータの計算

今回用いた  $\pi$  型アッテネータの計算であるが、 $240\Omega$  と  $62\Omega$  を用いたときその減衰率は  $19.7\text{dBm}$  で、目標の  $20\text{dBm}$  からのずれは  $0.3\text{dBm}$  ほどで、これを用いてもほとんど問題ないと言える。

## 2.2 実験に用いた回路

今回実験に用いた回路として簡単に以下に示しとく。

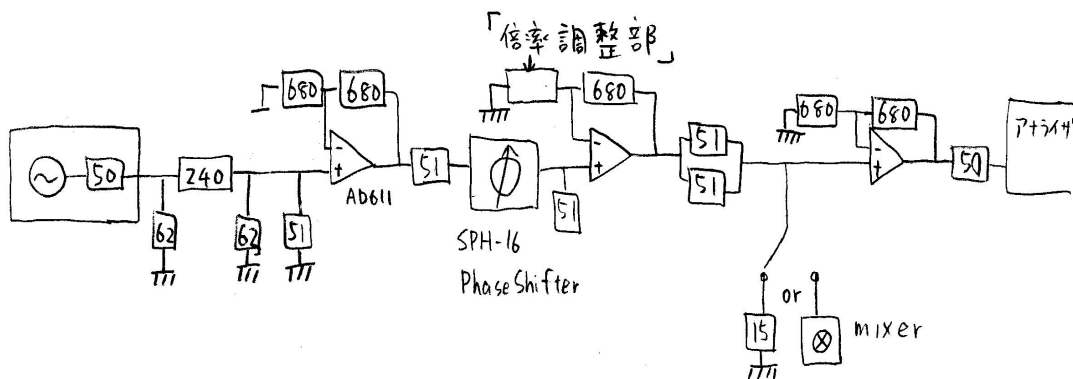


図 10: 実験に用いた回路

## 2.3 Mixer の両端電圧とインピーダンス

今回、1.3 の実験から  $0.6V_{pk}$  にするために Mixer の仮想抵抗を  $15\Omega$  とおいたのにもかかわらず、実際仮想抵抗  $15\Omega$  でうまくいった  $R_i = 52[\Omega]$  の設定で行うと  $1.0V_{pk}$  になってしまった。消費電力の予測がうまくいかなかった事になり、この回路において Mixer の両端電圧とインピーダンスの関係を調べる必要がある。

## 3 来週の予定

Mixer についての再調査。