

週間報告書 # 10, # 11

「Mixer」

中川憲保

平成 16 年 8 月 11 日

1 15M 復調回路における Mixer の影響

復調回路から出てくる高調波成分によるノイズを減らすのが今回の目的である。

1.1 Mixer に関する考察

これまでの実験から Mixer を経る事により LO 側で特に信号が大きく乱れることがわかった。そこで、理論的にもう一度整理してみる事にする。

LO と RF に sin 波を入れると、もし純粋な sin 波であれば次のような式になる。ここで、Mixer で混ざった高調波成分を分けて取り出すために LO には $\omega (=15\text{MHz})$ 、RF には $\omega + \Delta\omega (=15\text{MHz} - 1\text{kHz})$ の信号を入れた。

$$\text{LO} = A_1 \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\text{RF} = B_1 \sin\{(\omega + \Delta\omega)t\} \quad (2)$$

しかし、どちらにも高調波成分が乗ってくる事がわかっているので実際は次のような式になる。

$$\text{LO} = A_1 \sin(\omega t) + A_2 \sin(2\omega t) + A_3 \sin(3\omega t) + \dots \quad (3)$$

$$\text{RF} = B_1 \sin\{(\omega + \Delta\omega)t\} + B_2 \sin\{2(\omega + \Delta\omega)t\} + B_3 \sin\{3(\omega + \Delta\omega)t\} + \dots \quad (4)$$

そして、これらを Mixer に加えて出てくる成分 IF は、Mixer が単なる掛け算機と考えると次のようなもの式になる。

$$\begin{aligned} \text{IF} = & \frac{1}{2}A_1B_1\{(1 - \cos 2\omega t) \cos \Delta\omega t + \sin 2\omega t \sin \Delta\omega t\} \\ & + \frac{1}{2}A_2B_2\{(1 - \cos 4\omega t) \cos 2\Delta\omega t + \sin 4\omega t \sin 2\Delta\omega t\} \\ & + \frac{1}{2}A_3B_3\{(1 - \cos 6\omega t) \cos 3\Delta\omega t + \sin 6\omega t \sin 3\Delta\omega t\} \\ & + \dots \end{aligned} \quad (5)$$

測定するときはローパスフィルターを通して高周波成分を取り除くので、測定するものは以下のよう
な式になる。

$$\text{IF} = \frac{1}{2}A_1B_1 \cos \Delta\omega t + \frac{1}{2}A_2B_2 \cos 2\Delta\omega t + \frac{1}{2}A_3B_3 \cos 3\Delta\omega t + \dots \quad (6)$$

ここで問題となるのが高調波成分由来である A_2B_2 や A_3B_3 の項である。

しかし、一方で今までの実験より Mixer が単なる掛け算機でないこともわかっている。そこで LO と RF にそれぞれ sin 波と矩形波を入れてみてその振る舞いから Mixer の働きと高調波成分による影響を調べていくことにする。

そして、Mixer 内で LO が矩形波のように振る舞っている様子も今までの結果から見られており、そのことについても今回の測定結果からわかるはずである。

LO が Mixer 内で元の波の形で掛け算されているとき Mixer の LO 依存性と RF 依存性の方は同程度で、それぞれの Power に依存してくる。その事より、LO 依存性の方が大きくなる。

LO が Mixer 内で波の形に関わらず矩形波として掛け算されているとき Mixer の LO 依存性より RF 依存性の方が大きくなり、RF の波形が矩形波の時、sin 波に比べて奇数倍波の Power が大きくなる。

1.2 Mixer への入力信号の測定

まず、Mixer に入れる信号の測定を行う。測定に関しては以下のように行う。

LO 入力側

- sin 波：アンリツの発信器から 15MHz で 1.8V、1.1V、0.5V で入力する。
- 矩形波：アンリツの発信器からは無理だったのでデジタル発信器より 15MHz で入力。強度は発信元では出来なかったため、基本波の Power を基準にそれぞれ 9dB(1.8V)、12dB(1.1V)、19dB(0.5V) のアッテネーターをはさんだ。
- sin 波、矩形波それぞれ回路に入れる前と、Mixer 直前との 2 カ所で測定を行う。

RF 入力側

- sin 波、矩形波共に NF の発信器から 14.999Mhz(=15MHz-1kHz) で 0.3V、0.1V、0.05V で入力する。
- 回路に入れる前の Power を測定する。

データのプロットにはそれぞれ Harmonic Distortion を用いた。LO の回路手前での測定結果が図 1、LO の Mixer 手前での測定結果が図 2、RF の回路手前での測定結果が図 3 である。

また、図を見る時以下のようにデータを設定した。

- 図 1 でデータが -60 にある時、それは測定不可であったことを示す。
- 図 3 でデータが -80 にある時、それは測定不可であったことを示す。

図 1 で SIN-1.8V が 2f、3f 成分で他の 1.1V や 0.5V より、Harmonic Distortion が悪くなっているのは、Power が大きいので sin 波が少し歪んできたためだと考えられる。

図 2 で Mixer 手前になると、信 Power 自体のゆれも大きく、測定値は数 dB の誤差を持っている。それを含めてもここでの結果はよくわからない。

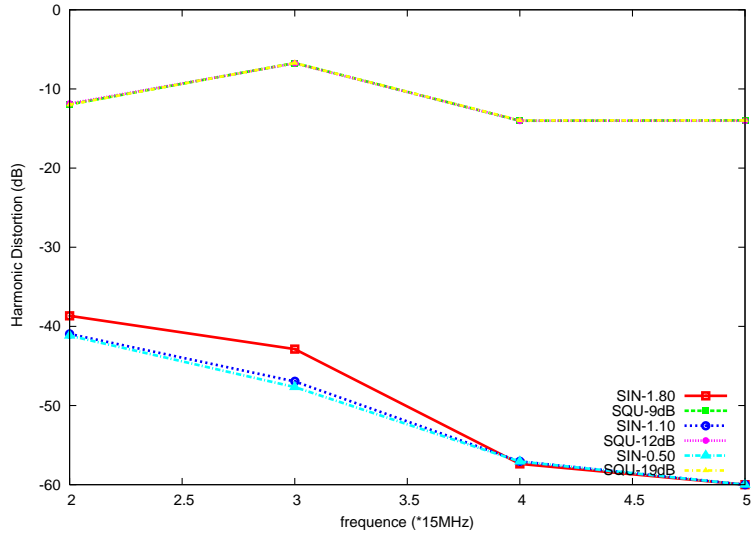


図 1: LO の INPUT する Power の Harmonic Distortion

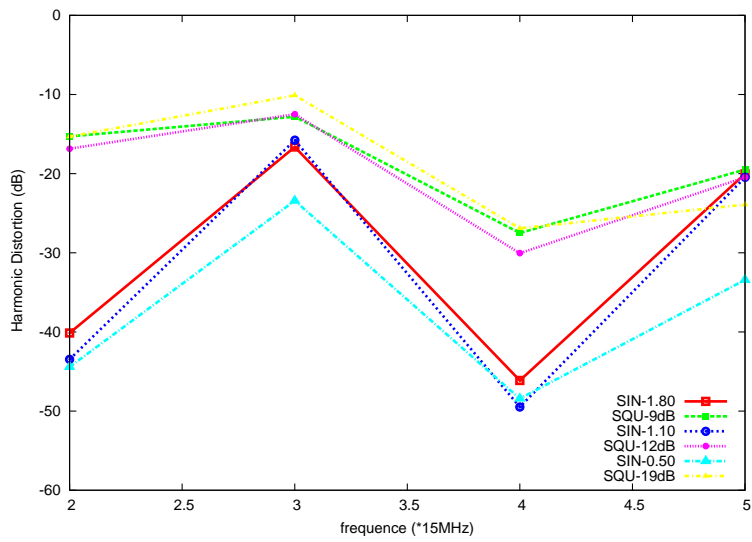


図 2: LO の INPUT した Power の Mixer 手前での Harmonic Distortion

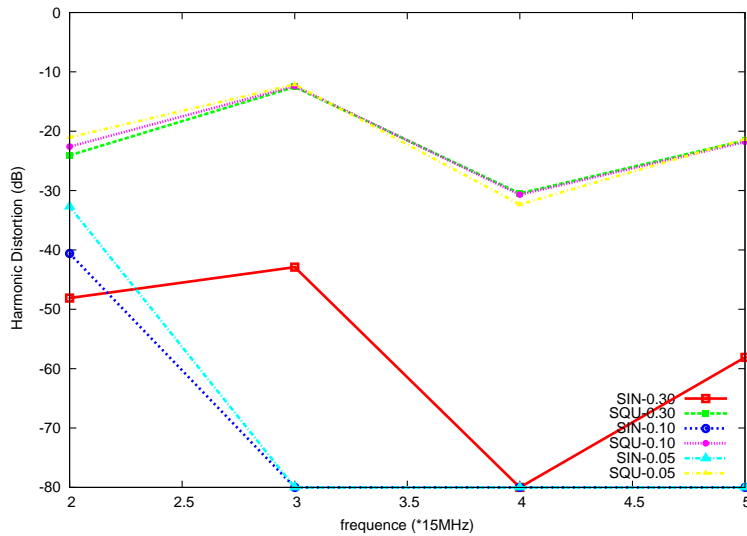


図 3: RF の INPUT する Power の Harmonic Distortion

図 3 で SIN-0.30V において 3 倍波他の sin 波に比べて大きいのは、入力 Power を小さくすることによって他の sin 波では 3 倍波まで生じなかったことに起因していると考えられる。

1.3 Mixer の IF 成分の理論値と実測値

ここでは、前のセクション 1.2 で得られた測定結果を元に Mixer の IF 成分の理論値と実測値を比較することにより Mixer の作用を推定する。

1.3.1 理論値の導き方

理論値の導き方について 1.2 で得られた結果を利用する。グラフには Harmonic Distortion を用いたが、IF の理論値を導くにはそれぞれ 1f、2f、3f... の Power を利用する。各周波数の実測値の単位は [dBm] であったので、後々 IF 実測値と比較する為に [V] に変換する。X_{dBm} から X_V への変換式は次の通りである。

$$X_V = \sqrt{10^{\frac{X_{dBm}}{10}} \times 0.001 \times 2 \times 50} \quad (7)$$

また Mixer 手前における LO の、1f での測定値を (3) 式における A₁、2f での測定値を (3) 式における A₂ ... といったように考える。RF についても同様に考え、RF 入力側における 1f での測定値を (4) 式における B₁、2f での測定値を (4) 式における B₂... として考える。

こうして得られた A₁、A₂、A₃...、B₁、B₂、B₃...、をもとに理論値を求める。理論値の計算は (6) 式の様を考えて IF の 1kHz 成分 IF_{1kHz} を

$$IF_{1kHz} = \frac{A_1 B_1}{2} [V^2] \quad (8)$$

とする。2kHz、3kHz... についても同様である。

次に実測値については、測定値の単位が [dBVrms] であるので、これも理論値の比較のため単位を [V²] に変換する必要がある、Y_{dBVrms} から Y_{V²} への変換式は次の通りである。

$$Y_{V^2} = \sqrt{2} \times 10^{\frac{Y_{dBVrms}}{20}} \quad (9)$$

そしてこの Y_{V²} が IF_{1kHz} と同じ単位になる。

さらに、実測値については Mixer の後にバッファがあったりで何倍かの違いが出てくる。そこで各周波数同じ倍率で増減幅されているとし、基本波成分 1f で規格化する。その規格化した値を理論値、実測値共に V_{pp}² として 1.3.2 でグラフにプロットしている。

1.3.2 理論値と実測値の計算結果

それぞれ図 4~8 に理論値と実測値をプロットした。プロットしたときの注意として以下の 2 点ある。

- グラフが途中で途切れているのは、実測値の場合それ以降の測定が不可であった事を示し、理論値についてはそれ以降の周波数における計算で、LO もしくは RF が測定不可であったため結果を 0 と置いたことによるものである。
- 4kHz の部分でポイントが無く、3kHz と 5kHz がそのままつながれている部分があるが、これも上と同様の理由で 4kHz におけるポイントが抜け落ちているためである。

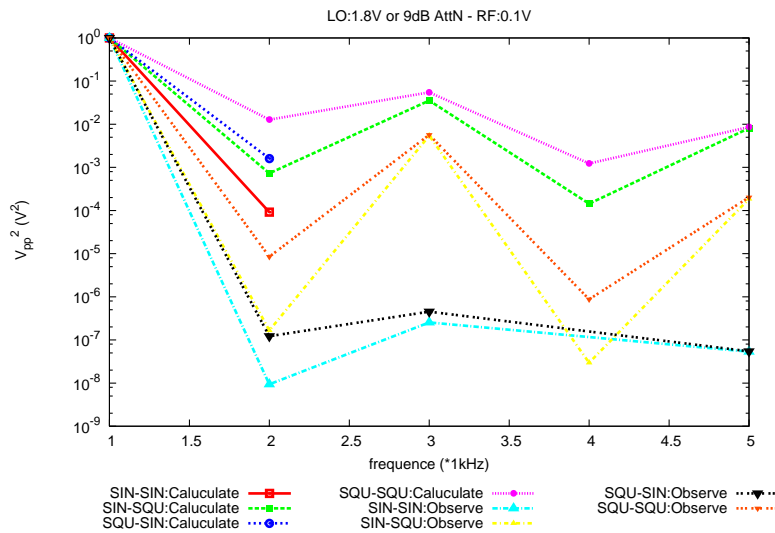


図 4: LO に 1.80V or 矩形波は 9dB の AttN をはさんで入力、RF には 0.10V で入力

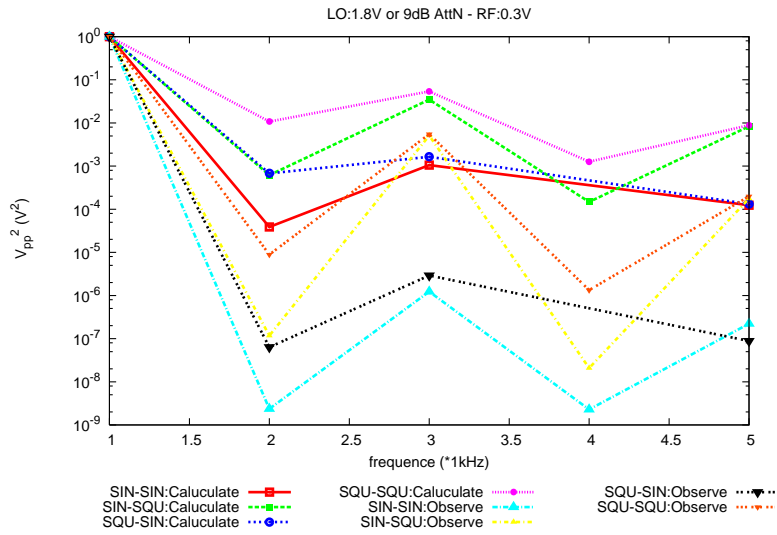


図 5: LO に 1.80V or 矩形波は 9dB の AttN をはさんで入力、RF には 0.30V で入力

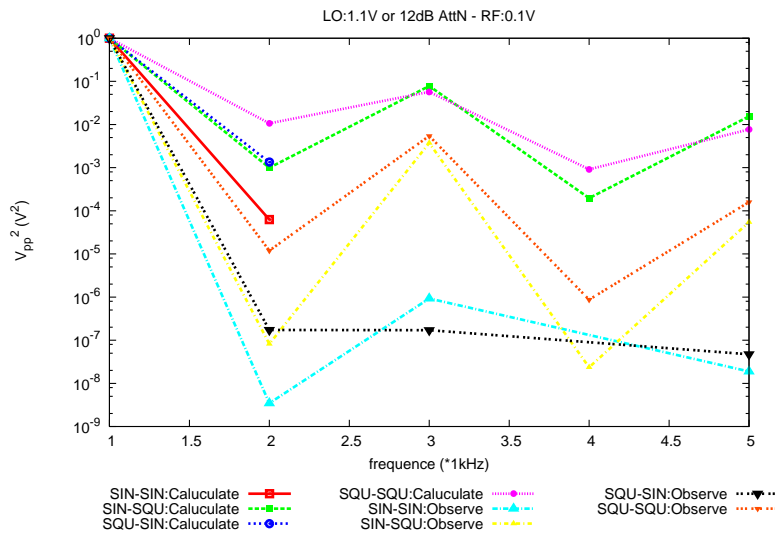


図 6: LO に 1.10V or 矩形波は 12dB の AttN をはさんで入力、RF には 0.10V で入力

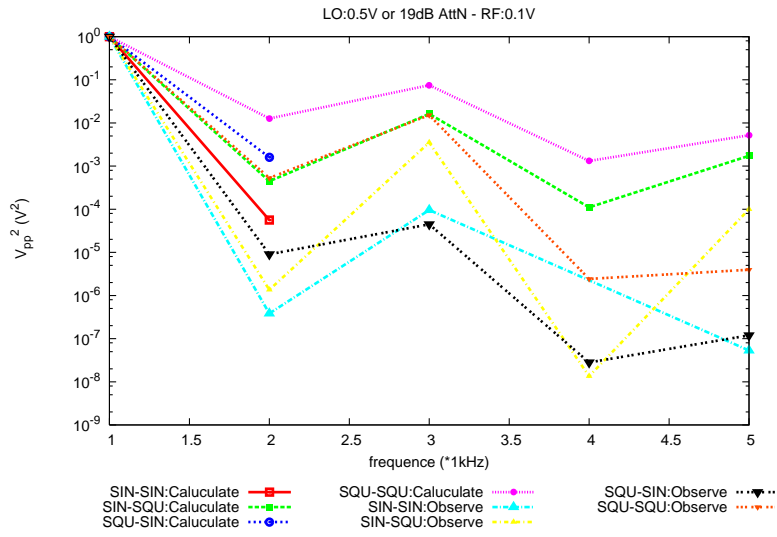


図 7: LO に 0.50V or 矩形波は 19dB の AttN をはさんで入力、RF には 0.10V で入力

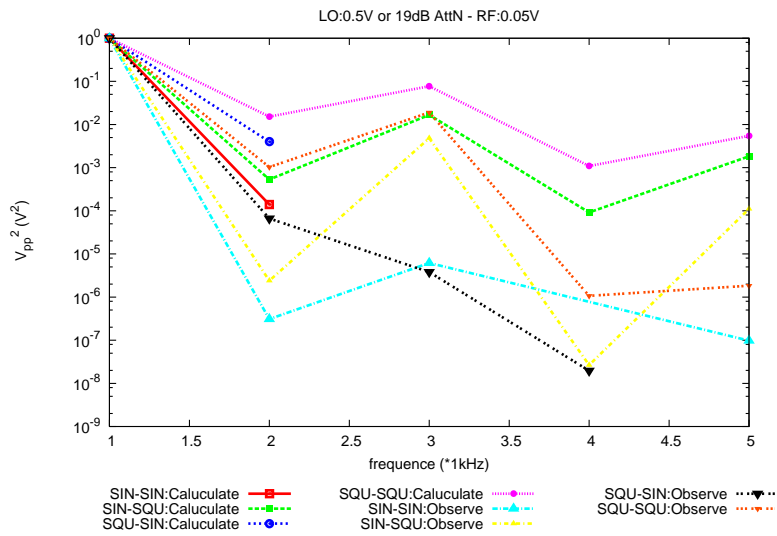


図 8: LO に 0.50V or 矩形波は 19dB の AttN をはさんで入力、RF には 0.05V で入力

1.3.3 実測値、理論値からの考察

- まず、図2と図1を見比べたときに、LOへの信号がMixer手前になると奇数倍波において、sin波を入れたときも大きな値を示している。これはすでにMixer手前で信号が歪んでおり矩形波に近くなってしまっていることを示している。これは理論値を求める際にsin波としているものが、性格にはsin波でないことを意味するので注意する必要がある。
- 図4~図8において全体的な傾向として(LO,RF)が理論値、実測値共に(SIN,SIN)と(SQU,SIN)、(SIN,SQU)と(SQU,SQU)で近い値を示している。これはIFの信号がLOの方がRFよりPowerが大きいにもかかわらず、LOよりRFに大きく依存することを示している。
- また、RFがsinの時は残念ながら理論値用の測定がほとんど出来なかったので考察しにくいですが、矩形波を入れたときの理論値と実測値を比べると、図4~8を通して、LOにsin波と矩形波を入れたとき、偶数倍波は理論値より実測値の方がその差が大きく、奇数倍波は理論値より実測値の方がその差が小さい。参考に、図7においてその差を比較したものが表1である。

(SQU,SQU)/(SIN,SQU)	2f	3f	4f	5f
実測値	3.91×10^2	4.31	1.80×10^2	3.96×10^{-2}
理論値	2.85×10	4.63	1.19×10	2.99

表1: LOに0.50V or 矩形波は19dBのAttNをはさんで入力、RFには0.10Vで入力した時のRFが矩形波であるときの比較

この事より、偶数倍波に関してはMixer手前で見ていたよりは影響が小さいことがわかる。奇数倍波に関しては若干であるが、理論値より実測値の方が差が縮まったことから、LOがMixerによって矩形波に少し近い働きをしていると考えることが出来る。

- 全体を通して高調波成分の実測値が理論値より小さいことから、Mixer手前で見ている信号は実際Mixer内で作用している信号ではないと言える。
- 一番高調波成分が目立つ3f成分のところに注目する。IF成分について調べたのが表2である。

LOのPower[V]	1.80		1.10		0.50	
IF成分[dBVrms]	1kHz	3kHz	1kHz	3kHz	1kHz	3kHz
(SIN,SIN)	-7.68	-73.61	-7.99	-68.33	-12.55	-52.73
(SQU,SIN)	-7.70	-71.14	-7.91	-75.58	-13.70	-57.18

表2: RFを0.1Vsin波に固定した時のLO Powerの違いによるIF成分の比較

この表から、LOが1.80Vの時はsin波の方が3f由来による高調波成分が小さいが、1.80より小さい1.10や0.50Vになると矩形波の方が3f由来による高調波成分が小さくなる。ただ、実際回路に入る信号は1.80Vのものに近いものであるから、やはりsin波で入れる方が高調波成分を押しさえられるという事になる。

1.4 結論

Mixer は LO に比べ RF に大きく依存している。

LO は Mixer では、sin 波を入れてもやや矩形波に近い振る舞いをする。

Mixer 手前で見える LO の信号は実際 Mixer に入っていくものとは異なる。

2 次回の予定

RF 入力側にバッファを入れるか検討。同時にフィルターについても考える。

RF での実験も考慮して、新たな基盤の作成。