

オペアンプ・コンパレータにおける耐 EMI 特性について

1. はじめに

近年、携帯電話、スマートフォンをはじめ、無線通信機能を備える電子機器の普及により、電子回路が様々な電波にさらされる機会が増えてきています。中でも電磁波干渉EMI(electromagnetic interference)による電子回路の誤動作が大きな問題となってきています。特に人命に関わる様な所(たとえば航空機や自動車)ではEMIによる誤動作は起きてはならない現象です。

オペアンプ・コンパレータのような電子回路部品の多くは動作周波数帯域外の高周波妨害信号(以下、RF信号と表記)に対して特別な対策を施しておらず、RF信号により誤動作を引き起こしてしまう可能性があります。このような環境の中、RF信号に対する耐性が強い電子部品が求められており、弊社ではRF信号(数百MHz~数GHz)に対する耐性を強化したオペアンプ・コンパレータをリリースしております。

本アプリケーションノートでは、EMIがオペアンプ・コンパレータに与える影響および、耐EMI特性を示す指標であるEMIRRIについて記載しています。

2. EMI が与える影響

オペアンプ・コンパレータ(以下:デバイスと表記)の動作帯域を超えるRF信号がオペアンプに印加されるとデバイスの持つ非線形作用によりDC入力オフセット電圧が変動し、出力で観察されることがあります。図1は簡易アンテナにてオペアンプの実装基板にRF信号を照射したもので、RF信号がONの期間にオペアンプの出力が変動していることがわかります。図2では電圧検出回路を構成したコンパレータにRF信号を入力したもので、RF信号がコンパレータに入力されると、DC入力オフセット電圧が変動することにより検出電圧の閾値が変動していることがわかります。

本稿では本現象をオフセット電圧シフトと呼びます。このオフセット電圧シフトが電子機器の誤動作を引き起こしてしまう可能性があります。

RF 信号はデバイスへ伝搬し、オフセット電圧シフトを引き起こしてしまいます。その経路としては PCB パターン、ケーブル、IC の端子、またはパッケージ内部のボンディングワイヤー等が考えられますが、数百 MHz~数 GHz の波長は数 cm から数十 cm 程度であり、IC の端子長及びボンディングワイヤー長の数 mm に対して長いため、数 GHz 以下の RF 信号の影響は受けにくく、一般的には PCB パターン、ケーブル等がアンテナとなりデバイスの各端子へと到達し、オフセット電圧シフトを生じているといえます。

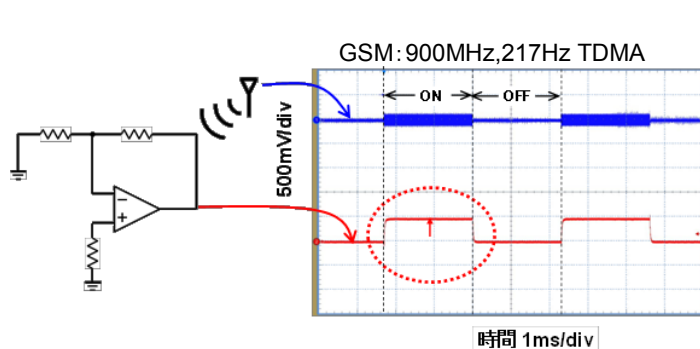


図 1. RF 信号によるオペアンプのオフセット電圧シフト

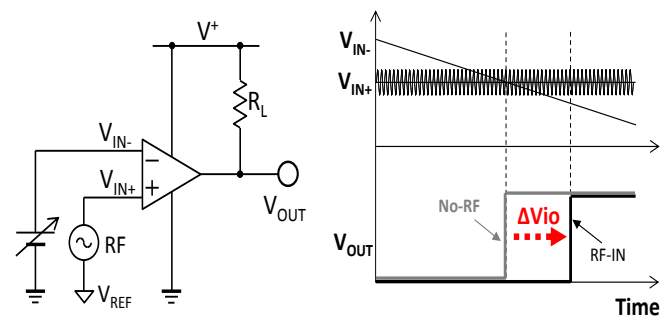


図 2: RF 信号によるコンパレータのオフセット電圧シフト

3. EMIRR(EMI Rejection Ratio)の定義

EMIRRは、デバイスの耐EMI特性を示す指標であり、印加するRF信号振幅と入力オフセット電圧シフト量を、以下の式(1)で表したものです。デバイスに印加するRF信号とオフセット電圧シフト量の関係を測定することにより、RF信号の耐性を把握することができます。EMIRRの値が大きいほど、オフセット電圧シフト量が小さく、RF信号に対する耐性が高いことがわかります。なお、RF信号による入力オフセット電圧シフトは入力端子へ印加される影響が支配的であるという考えから、通常、EMIRRの値は+IN端子へRF信号を印加した時の値となります。

$$EMIRR=20\cdot\log\left(\frac{V_{RF_PEAK}}{|\Delta V_{IO}|}\right) \quad \dots(1)$$

V_{RF_PEAK} : RF 信号振幅 [V_P]

ΔV_{IO} : 入力オフセット電圧シフト量 [V]

4. EMIRR 測定方法

図 3 にオペアンプにおける測定回路を示します。コンパレータの場合は NULL アンプを追加して入力オフセット電圧を測定します。数 GHz の高周波信号を扱うため、シグナルジェネレーターとテスト基板の接続には高周波用の SMA 同軸ケーブル・コネクタを使用し、テスト基板はマイクロストリップラインにより IC 直近まで RF 信号を伝送します。+IN 端子には 50Ω の終端抵抗を接続し、シグナルジェネレーターおよび SMA ケーブルの特性インピーダンスに整合させます。この終端抵抗はオペアンプの DC バイアスを供給する役割も兼ねています。また、電圧計が RF 信号の影響を受けないように、出力端子と電圧計間にはローパス・フィルタを挿入します。RF 信号振幅 V_{RF_PEAK} は 100mV_P、電圧利得 G_V は 101 倍とします。

EMIRR は、以下 4 つのステップにより測定します。

1. キャリブレーション
2. 無信号時の入力オフセット電圧 V_{IO1} を測定
3. RF 信号を印加して入力オフセット電圧 V_{IO2} を測定
4. $|\Delta V_{IO}|=|V_{IO2}-V_{IO1}|$ より EMIRR を算出

◆測定機器

- ・ネットワークアナライザ
- ・シグナルジェネレーター
- ・デジタルマルチメーター
- ・DC 電源

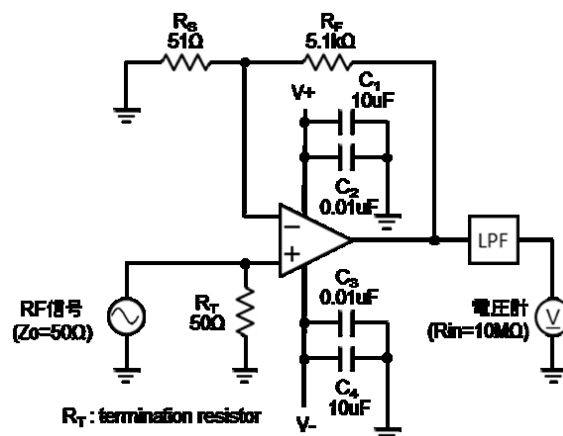


図 3. 測定回路

4-1. キャリブレーション

測定では広い周波数範囲で RF 信号をスイープします。テスト基板ではマイクロストリップラインで信号を伝送しますが、低周波から高周波までのインピーダンスを完全に 50Ω に整合させるのは困難です。そのため、定量的な測定にはキャリブレーションにより、RF 信号の入力レベルを補正する必要があります。弊社では図 4 に示しますように、オペアンプ・コンパレータ未実装状態*1 での基板インピーダンス Z_L を、ネットワークアナライザーで測定することにより入力 RF 信号の補正量を決定しています。

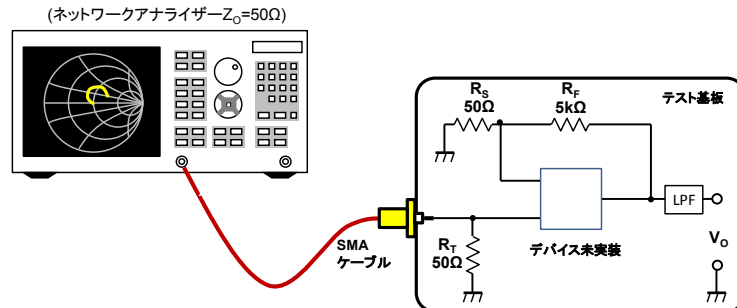


図 4. Z_L 測定回路

図 4 の測定で得られた Z_L より $V_{RF_PEAK}=100mV_P$ となるよう周波数毎にシグナルジェネレーターの出力電圧 V_{SG} の設定値を決定します。 V_{SG} はシグナルジェネレーターの出力インピーダンス $Z_0=50\Omega$ より式(2)のように決定します。

$$V_{SG}=100m \frac{50+Z_L}{2Z_L} [V_P] \quad \dots(2)$$

(*1) デバイスを実装しますと、特に高周波帯においては入力インピーダンスの影響により、RF 印加電圧が変動してしまいます。入力インピーダンスによる RF 印加信号の変動は、耐 EMI 特性に含まれるという考えから、この変動分の RF 信号レベルは補正しておりません。

4-2. 無信号時の入力オフセット電圧 V_{IO} を測定

図5より無信号時の出力電圧 V_{O1} を測定し、入力オフセット電圧 V_{IO1} へ換算します。 $G_V=101$ より、

$$V_{IO1}=\frac{V_{O1}}{G_V}=\frac{V_{O1}}{101} \quad \dots(3)$$

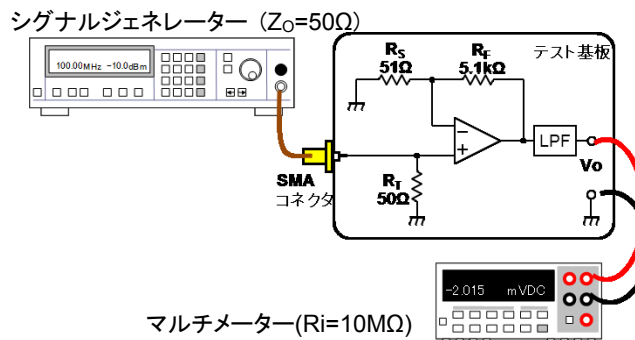


図5. オフセット電圧測定回路

4-3. RF信号を印加して入力オフセット電圧 V_{IO2} を測定

4-1で測定した Z_L より、周波数毎に算出したRF信号を入力し、出力電圧 V_{O2} を測定します。ここで、式(3)同様に入力オフセット電圧 V_{IO2} へ換算します。

$$V_{IO2} = \frac{V_{O2}}{G_V} = \frac{V_{O2}}{101} \quad \dots(4)$$

4-4. $|\Delta V_{IO}| = |V_{IO2} - V_{IO1}|$ よりEMIRRを算出

V_{IO1} 、 V_{IO2} を式(1)に代入しEMIRRを算出します。

$$EMIRR = 20 \cdot \log \left(\frac{V_{RF_PEAK}}{|\Delta V_{IO}|} \right) = 20 \cdot \log \left(\frac{V_{RF_PEAK}}{|V_{IO2} - V_{IO1}|} \right)$$

5. EMIRR 実測例

図6に「40V耐圧 単電源高速 オペアンプ NJM3472」、図7に「入力フルスイング プッシュプル出力 低消費CMOS コンパレータ NJU77231」における前述の測定方法による、EMIRR実測例を示します。

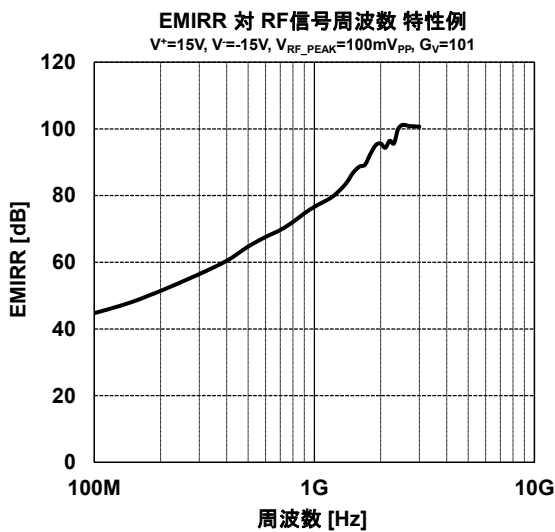


図6. NJM3472におけるEMIRR対信号周波数特性

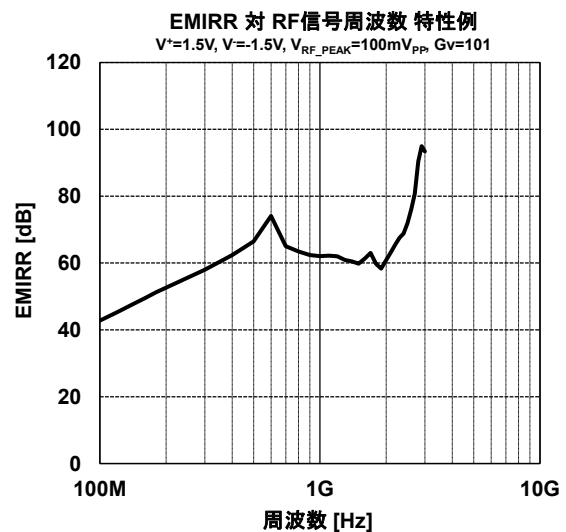


図7. NJU77231におけるEMIRR対信号周波数特性



<注意事項>

1. 本資料の掲載内容の正確さには万全を期しておりますが、掲載内容について何らかの法的な保証を行うものではありません。
2. 工業所有権その他の権利の実施権の許諾を伴うものではなく、第三者の権利を侵害しないことを保証するものでもありません。
3. 本資料に記載されている商標は、各社に帰属します。
4. 掲載されている内容等は、予告なく変更することがあります。