

RF/デジタル受信機のシグナルチェーンのノイズ解析

– デザインノート439

Cheng-Wei Pei

はじめに

信号受信機システムの設計者は、多くの場合、アンテナからADCに至るまでのシステム性能に関してカスケード・チェーン解析を行う必要があります。ノイズは受信機の全体的感度を制限するので、チェーン解析において重要なパラメータです。全体の信号対雑音比、ダイナミックレンジおよび他のいくつかのパラメータを最適化しようとしてトポロジーの選択がなされますので、ノイズに関するアプリケーションの要件はシステムのトポロジーに大きく影響します。ノイズ計算の問題の1つは、チェーン内の構成要素（つまり、回路のRF、IF/ベースバンドおよびデジタル（ADC）の各セクション）によって使用される多種の単位の間の変換です。

簡略システム図を図1に示します。RFセクション、（アンプによって表されている）IF/ベースバンド・セクション、およびADCがあります。RFセクション（これにはミキサまたは復調器が含まれます）は一般にデシベル・スケール（dB）のノイズ・フィギュア（NF）を使って仕様が規定されます。これは、概念がNFに似ているノイズ電力スペクトル密度によっても仕様を規定することができます（たとえば、 $-160\text{dBm}/\text{Hz}$ は約 14dB のNFに等しくなります）、ここではNFを使用します。

固定インピーダンス（ 50Ω ）の環境で作業する場合、NFを使用するとRF信号チェーンの解析が簡単になります。ただし、インピーダンスが一定でソース/負荷の終端が適切であ

るといふ仮定が成り立たなければ、NFの計算は簡単ではなくなります。

アンプなどのIF/ベースバンドの部品は一般にノイズ・スペクトル密度で仕様が規定され、このパラメータは一般にルートヘルツ当りのボルトおよびアンペア（ $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ および $\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）で測定されます。低インピーダンスの環境では、電流ノイズ（ $\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）の影響は通常無視できます。ADCのノイズは主にデシベルで表した信号対雑音比（SNR）として仕様が規定されます。SNRはADCの全入力積分ノイズに対する最大入力信号の比です。完全な信号チェーン解析を行うため、設計者は、NF、ノイズ密度およびSNRの間の変換を行う必要があります。

NFからSNR:ADCの分解能はどのくらいか？

最初の移行はRFセクションからIF/ベースバンド・セクションへの移行です。NFは便利な単位ですが、一定のシステム・インピーダンスを必要とします。ノイズ・スペクトル密度はインピーダンスに依存せず、RFからベースバンドへの移行で（図1のノード1）チェーンは固定 50Ω の環境から抜け出しますので、NFから $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ への変換は理にかなっていません。ノード1では、チェーンのRF部分によるノイズ電圧密度は次のように表すことができます。:

$$e_{N(\text{RF})} = 10^{\left[\frac{(G_{\text{RF}} + \text{NF}_{\text{RF}})}{20} \right]} \cdot e_{N(50)} \cdot 0.5 \left(\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right)$$

ここで、 G_{RF} = (カスケード接続された)RF部品の全利得 (dB)

NF_{RF} = (カスケード接続された)RF部品の全NF(dB)

$e_{N(50)}$ = 50Ω のノイズ密度(27°C で $0.91\text{nV}_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}$)

0.5 = 負荷終端からの抵抗分割器(R_T と R_S が 50Ω であれば 0.5 に等しい)

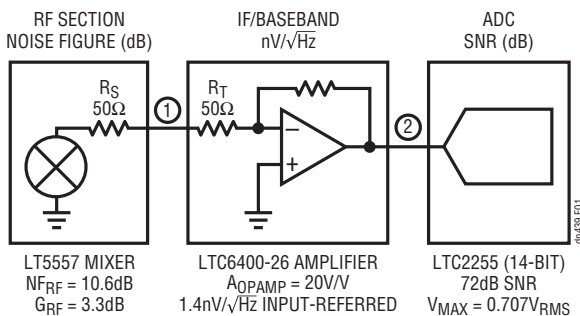


図1. RF部品（ミキサ、LNAなど）、（簡単なアンプによって表されている）IF/ベースバンド部品、およびADCで構成された簡略信号チェーンのブロック図。アンプの入力抵抗は 50Ω RFセクションの整合した終端として機能する。各セクションの推奨製品およびその仕様が与えられている

図1に示されているLT5557を使うと、 $e_{N(\text{RF})}$ は $2.25\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ になります。オペアンプの抵抗を含むIF/ベースバンド・

LT、LT、LTCおよびLTMはリアテクノロジー社の登録商標です。他の全ての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

セクションの、入力を基準にした電圧ノイズ密度は、オペアンプのデータシートを使って計算し、(規定値はRMSなので二乗和を使って)RF部分の寄与に加算することができます。その結果にアンプの利得(V/V)を掛けるとノード2の全ノイズ密度が得られます(ADCの実効寄与は無視)。

$$e_{N2} = A_{OPAMP} \cdot \sqrt{e_{N(OPAMP)}^2 + e_{N(RF)}^2} \left(\frac{nV}{\sqrt{Hz}} \right)$$

LTC6400-26アンプの規定値を使うと、 e_{N2} は53nV/√Hzとなります。最後のステップはADCの全SNRの計算です。これを行うには、ノード2の全積分ノイズを知る必要があります。周波数に関してノイズ・スペクトル密度が一定であると仮定すると、単に e_{N2} に全ノイズ帯域幅の二乗根を掛けることができます。この帯域幅はアンプ回路およびADCのアンチエイリアス・フィルタによって制限されます。50MHzの全帯域幅を仮定すると、この例の積分ノイズは $N2 = 375\mu V_{RMS}$ となります。全SNRの理論値は次のように計算することができます。

$$SNR_{THEORETICAL} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_{MAX}}{N2} \right) (dB)$$

ここで、 $V_{MAX} = V_{RMS}$ で表したADCへの最大正弦波入力($V_{P-P} \cdot 0.35$)

$N2 = ADC$ を除外した、ノード2の全積分ノイズ(V_{RMS})

SNRのこの理論値(この例では65.5dB)は、完全なADCによって達成可能な最大分解能を表します。実際のADCのSNRはこの数値より少なくとも5dB上にして、チェーンの下流で性能レベルを維持します。たとえば、リアテクノロジーのLTC2255ファミリー(またはデュアルADCのLTC2285ファミリー)のような、実際の高性能14ビットADCのSNRは72dB~74dBの範囲になるでしょう。

SNRからNF

無線装置の設計者にとって、システム設計における重要な検討事項はチェーンの全ての部品の影響を受ける全ノイズ・フィギュアです。部品の選択が終わると、等価入力ノイズ・フィギュアと受信機全体の感度を定めることができます。対象とする信号がADCのナイキスト帯域幅内にあると仮定すると(ナイキスト帯域幅は $f_{SAMPLE}/2$)、ADCの等価ノイズは次のようになります。

$$e_{N(ADC)} = 10^9 \cdot \frac{V_{MAX}}{10 \left(\frac{SNR_{ADC}}{20} \right)} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{f_{SAMPLE}}{2}}} \left(\frac{nV}{\sqrt{Hz}} \right)$$

ここで、 SNR_{ADC} = 対象とする周波数でのデータシートに規定されたSNR(dB)

f_{SAMPLE} = ヘルツで表したADCのサンプル・レート

この例では、サンプル・レートが125MHzであると仮定すると、 $e_{N(ADC)}$ は22.5nV/√Hzとなります。この電圧ノイズ密度($e_{N(ADC)}$)はアンプの出力ノイズ密度(e_{N2})とRMS和をとることができ、利得(A_{OPAMP})で割ると入力を基準にした結果が得られます。NFに戻すには、このデザインノートの最初の式を次のように変形します。

$NF_{TOTAL} =$

$$\left\{ 20 \log_{10} \left(\frac{\sqrt{e_{N(ADC)}^2 + e_{N2}^2}}{A_{OPAMP} \cdot e_{N(50)} \cdot 0.5} \right) - G_{RF} \right\} (dB)$$

この量(NF_{TOTAL})は、RFセクション、アンプおよびADCの寄与を含む全体の入力ノイズ・フィギュアを与えます。この例では、3つのデバイスのチェーン全体の NF_{TOTAL} は12.7dBです。

まとめ

RF部品からADCに至るまでシステム全体の設計に携わるとき、異なる部品の間でノイズの仕様に関して同じ単位が常に使われるとは限りません。このデザインノートでは、様々な単位の間の変換を取り上げました。無線装置の設計者はこの情報を使ってシステム・トポロジーを設計し、最適な感度を実現する部品を選択することができます。

データシートのダウンロード : <http://www.linear-tech.co.jp>

お問い合わせは当社または下記代理店まで(順不同)

オンラインストア リニアエクスプレス

 ☎ 0120-7291-22

株式会社 トーメン エレクトロニクス
 本社 TEL 03-5462-9615
 大阪 06-6447-9644 名古屋 052-582-1591
 福岡 092-713-7779 宇都宮 028-625-8331
 松本 0263-34-6131 北関東 048-521-9011
 仙台 022-221-8061 浜松 053-452-8147
 立川 042-548-9871

東京エレクトロデバイス株式会社
 本社 TEL 045-474-5114
 大阪 06-6399-1511 名古屋 052-562-0825
 東京 03-3251-0083 北関東 048-600-3880
 水戸 029-227-6552 立川 042-548-0255
 横浜 045-474-7023 松本 0263-36-8112
 福岡 092-474-4121 仙台 022-212-2746

株式会社 三共社
 本社 TEL 03-5298-6201
 東京電子販売株式会社
 本社 TEL 03-5350-6711

株式会社 信和電業社
 本社 TEL 06-6943-5131
 伊藤電機株式会社
 本社 TEL 052-935-1746

リニアテクノロジー株式会社

102-0094 東京都千代田区紀尾井町 3-6紀尾井町パークビル 8F
 TEL(03)5226-7291 FAX(03)5226-0268
<http://www.linear-tech.co.jp>

dn439 0408 • PRINTED IN JAPAN


 © LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2008