

サンプリングミキサを用いたワンセグ放送用 tunerフロントエンドの研究

(16)

笹井 重徳 小島 貴志 馬上 崇 李 寧 倉科 隆 松澤 昭

東京工業大学 電子物理工学専攻

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

E-mail: { shigenori, kojima, takashi, lining, kurash, matsu }@ssc.pe.titech.ac.jp

Introduction

ワンセグ放送用tunerフロントエンドの開発において必要とされる特性(低消費電力、チャンネル選択性、高い線形性、小型化)とサンプリングミキサの特性(低消費電力、フィルタ特性の可変性、高い線形性、小型化)は共通点が多い。よってサンプリングミキサとVGLNAから成るISDB-T用チューナのRFフロントエンド部分をCMOSプロセスで設計試作し、その性能を検討した。

必要性能

VGLNAの利得可変幅(20dB ~ -40dB) $NF = 2.7\text{dB}$ (LNA) $NF < 9\text{ dB}$ (全体)

Filter = -37 dB (イメージ除去) $IIP3 > -10\text{ dBm}$ (全体)となるように検討した。

LNA

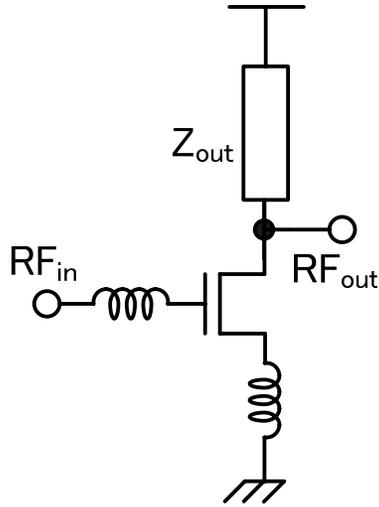


Fig. 1 インダクティブデジェネレーションLNA

入力トランジスタのゲートとソースにインダクタを挿入することで整合をとる

入力インピーダンス

$$Z_{in} = s(L_g + L_s) + \frac{1}{sC_{gs}} + \frac{g_m L_s}{C_{gs}}$$

利得は

$$Gain = L_{load} \sqrt{Q_s^2 + 1} \left(\frac{3\mu V_{eff}}{4R_s L^2} \right)$$

この整合方法はキャパシタンスとインダクタンスの共振を利用しているため、整合範囲は他の整合方法に比べ狭い

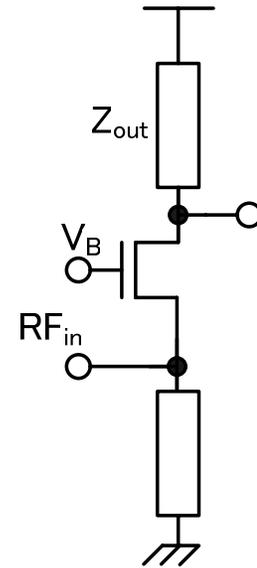


Fig. 2 ゲート接地LNA

入力インピーダンスは

$$Z_{in} = \frac{1}{g_{m1}}$$

整合をとるために $g_{m1} = 0.02 \text{ S}$ が必要である。十分な線形性を得るためにオーバードライブ電圧を0.2とするとドレイン電流は2mAとなる。

利得は

$$Gain = \frac{g_{m1} Z_{out}}{2}$$

抵抗負荷を用いると10倍程度
能動負荷を用いると20倍程度を得ることができる

LNA

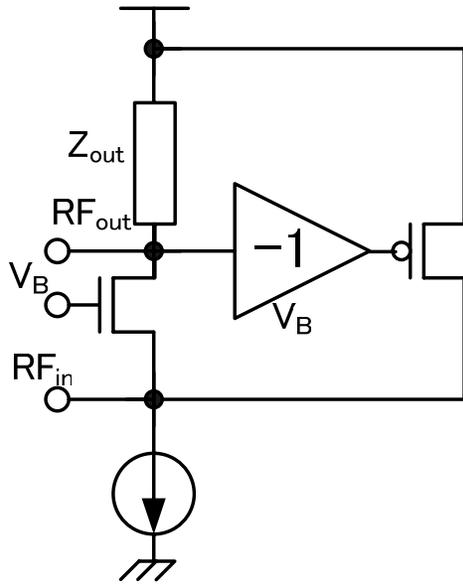


Fig. 3 帰還整合LNA

PMOSからの帰還により整合をとる。従ってZoutを変化させることで整合を調整する。

入力インピーダンス

$$Z_{in} = \frac{1}{g_{mn}(1 - g_{mp}Z_{out})}$$

利得

$$Gain = \frac{g_{mn}Z_{out}}{2}$$

Zoutをスイッチ等で変化させた時、整合帯域を変化させることができる。

整合とgmを独立に設定することができる。

MOSスイッチでの切り替えではインダクタのQ値を著しく劣化させる

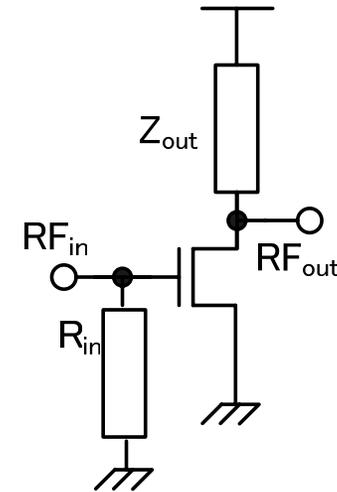


Fig. 4 抵抗整合LNA

ゲートにRin=50Ωを付加することで整合をとる。

入力インピーダンス

$$Z_{in} = R_{in}$$

利得

$$Gain = \frac{g_{m1}Z_{out}}{2}$$

雑音指数は

$$NF = 2 + \frac{4kT\gamma g_{m1}|Z_{out}|^2 + 4kTZ_{out}}{4kTR_s(g_{m1}|Z_{out}|)^2}$$

となり、一般にNFが一番悪い

VGLAN

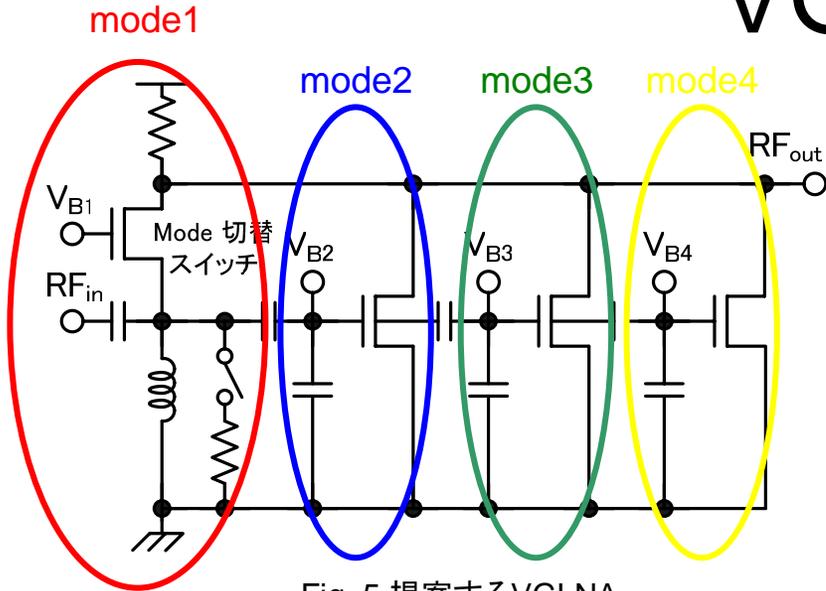


Fig. 5 提案するVGLNA

可変利得幅: 20 dB ~ -40 dB
 入力帯域幅: 470 MHz ~ 770 MHz

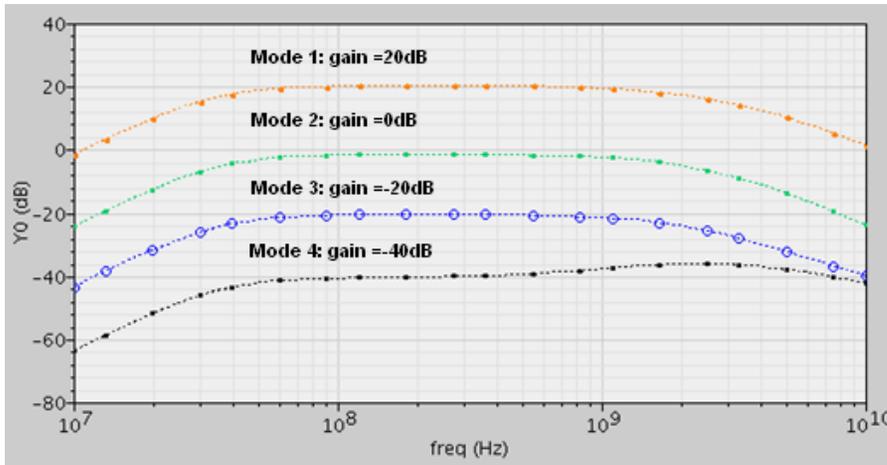


Fig. 6 tuner用VGLNAの周波数特性

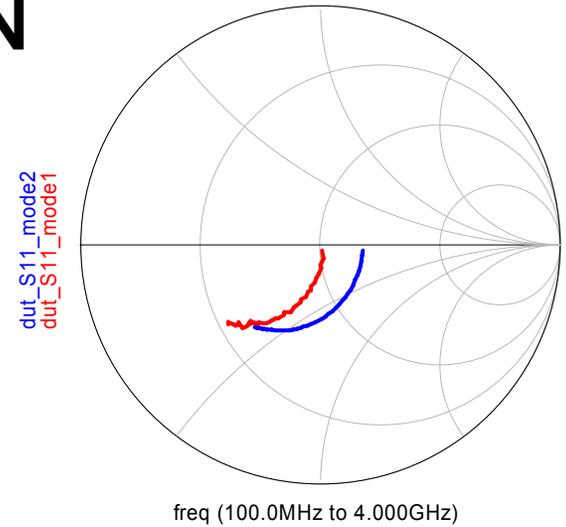


Fig. 7 Mode 1,2の時のS11
 Mode1の入インピーダンス50Ω
 Mode2の入インピーダンス75Ω

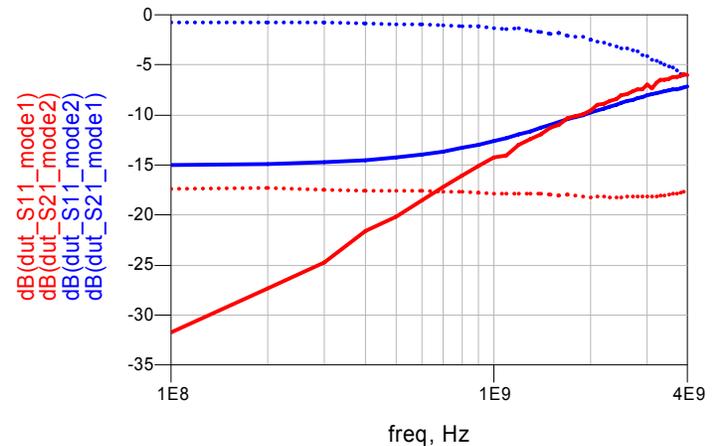


Fig. 8 Mode 1,2の時のS11, S21

Mode1 利得20dBは見かけ上-0.8dBで観測される。
 Mode2 利得0dBは見かけ上-18dBで観測される。
 (出インピーダンスを500Ωで設計してあるため)

Mixer

•サンプリングミキサとは

低電力(増幅器等のアクティブ素子なし)
小型

サンプリング、デシメーション、フィルタリングが
同時に行われる

チャンネル選択性

LOを変化させると通過帯も変化

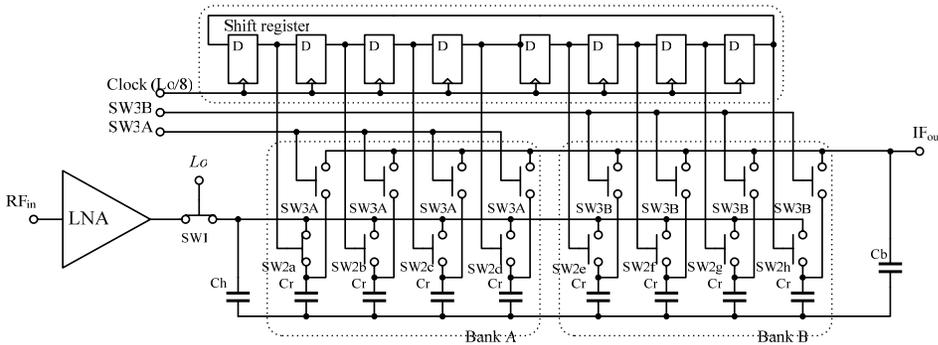


Fig. 9 サンプリングミキサ

K. Muhanmad (TI) et al.
"All-Digital TX Frequency Synthesizer and Discrete-Time Receiver for Bluetooth Radio in 130-nm CMOS"
(IEEE Journal of Solid-State Circuits Vol.39, No.12, pp. 2278-2291, Dec. 2004)

電流積分の効果によるフィルタリング

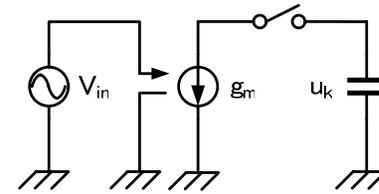


Fig. 10 サンプリング部の等価回路

$$u_k = \int_{t_0}^{t_0+T_{on}} i dt = \int_{t_0}^{t_0+T_{on}} g_m v_{in} dt = \int_{t_0}^{t_0+T_{on}} g_m V e^{j\omega t} dt$$

$$= \left[\frac{g_m V e^{j\omega t}}{j\omega} \right]_{t_0}^{t_0+T_{on}} = \frac{g_m (V e^{j\omega(t_0+T_{on})} - V e^{j\omega t_0})}{j\omega}$$

$$\left| \frac{u_k}{v_{in}} \right| = g_m T_{on} \frac{\sin\left(\frac{T_{on}}{2} \omega\right)}{\left(\frac{T_{on}}{2} \omega\right)}$$

Ton: LOによりサンプリングされる時間
周波数特性がデューティ比に依存

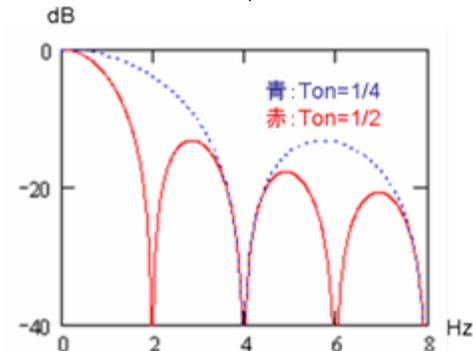


Fig. 11 電流積分の周波数特性

Mixer

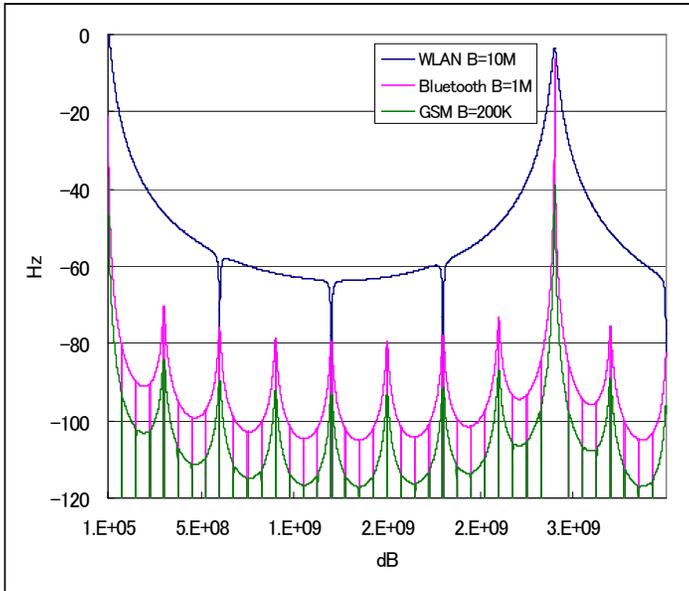


Fig. 12 全体の周波数特性 (横軸リニア)

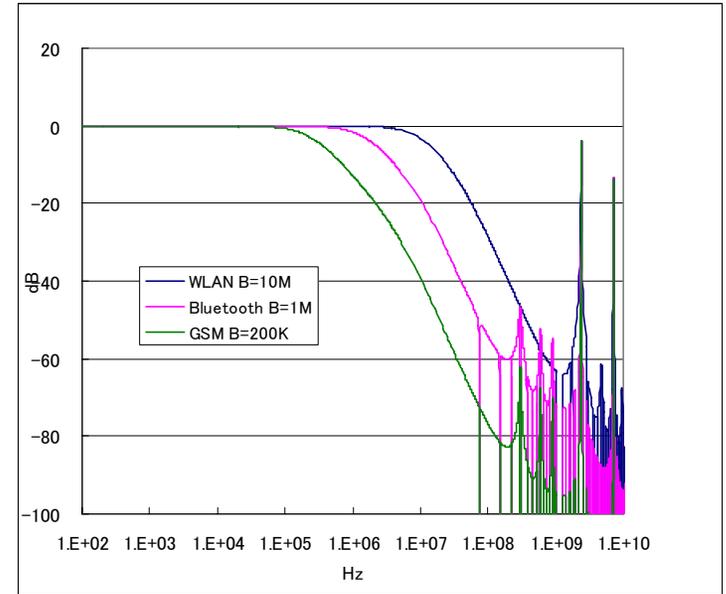


Fig. 13 全体の周波数特性 (横軸ログ)

T=500p Ton=250p
 N=M=8,a=0.97,b=0.9
 N=M=4,a=0.97,b=0.9
 N=M=2,a=0.8,b=0.8

$$|F_{all}| = g_m T_{on} \frac{\sin\left(\frac{\omega T_{on}}{2}\right)}{\left(\frac{\omega T_{on}}{2}\right)} (1-a) \left| \frac{\sin\left(\frac{MN\omega T}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)} \right| \frac{1}{\sqrt{1+a^2-2a\cos(N\omega T)}} \frac{1}{\sqrt{1+b^2-2b\cos(MN\omega T)}} \frac{1}{4Cr + C_b}$$

○はデジタル的に制御できる変数

測定結果とチップ写真

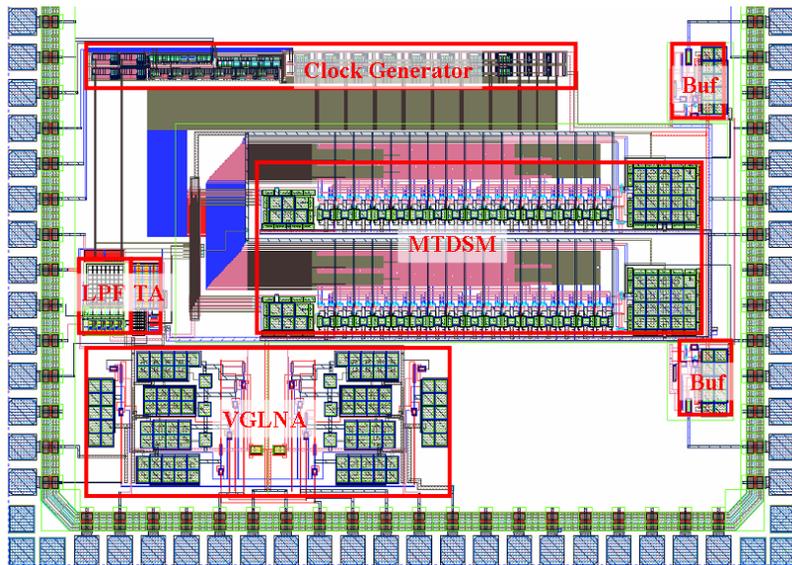


Fig. 14 サンプルングミキサのレイアウト

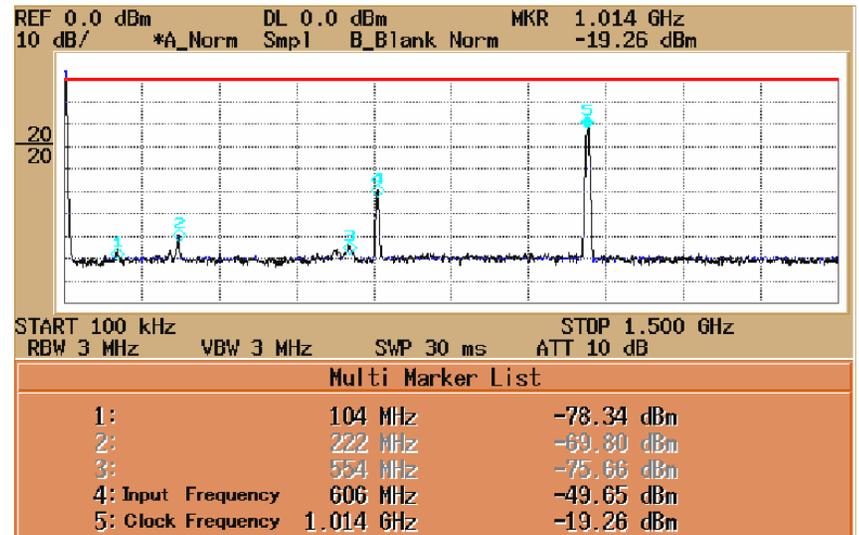


Fig. 15 サンプルングミキサの応答特性

MTDSM(サンプルングミキサ)

Clock Generator

Operation frequency : ~1.5 GHz

VGLNA

Operation frequency :440-770 MHz

Gain : Mode1 → 20 dB, Mode2 → 0 dB,
Mode3 → -20 dB, Mode4 → -40 dB

Gm-C Filter (4 order LPF)

Cutoff Frequency : 800 MHz

TA

gm : 10 mS

Operation frequency :440-770 MHz

クロックジェネレータへの入力が1 GHzである。このクロックジェネレータにより内部で500MHzに分周して局部発振信号としている。また出力を観測しやすいように所望波から若干ずらして605MHzの信号を入力する。Fig. 15からサンプルングミキサにより105MHzにダウンコンバージョンされた様子を観測した。

まとめ

全体のシミュレーション結果と目標値の比較

ノイズ

シミュレーション結果からフロントエンド全体のNFをもとめる。TA+サンプリングミキサの入力換算雑音は $2 \times 10^{-19} (V^2 / Hz)$ だったので、フロントエンドでのNFは2.8dBとなり目標を達成できた。

周波数特性

DCに折り返される所望波以外の周波数帯は21dB以上減衰されている。UHF帯以外からの妨害波はさらに強力に除去する必要がある、これは今後の課題である。

線形性

TAの線形性はIIP3=10dBmであるがTA+サンプリングミキサではIIP3は-16dBm程度しかない。全体のIIP3は-36dBmなので全体の線形性は目標値を達成できなかった。サンプリングミキサによる線形性の劣化が大きく、この原因も不明で今後の課題である。

従来のサンプリングミキサの特性を解析し、さらにワンセグ放送用tunerフロントエンドの開発を通してサンプリングミキサの動作確認を行った。これらよりサンプリングミキサがワンセグ放送用Tunerに適應できる可能性が見出せた。しかし課題として線形性とノイズの実測評価、そして更に線形性と妨害波の除去特性の確認が必要である。