

# スイッチトキャパシタ回路のための ブートストラップスイッチの設計と評価

1120158 西面 尚彰

電子・光システム工学科 橋研究室

## 1. 概要

現在,  $\Delta\Sigma$ AD コンバータやチャージポンプにスイッチトキャパシタ回路が使われている. しかし, 電源電圧の縮小に伴い単純な MOSFET スイッチ (パストランジスタ) の入力動作範囲も縮小している. そこで, 本研究では入力電圧が電源電圧のすべてで動作するブートストラップスイッチ(以下 BS スイッチ)を設計した. 設計した BS スイッチは2種類ある. MIM キャパシタ基本型 BS スイッチと MOS キャパシタを使用した BS スイッチである.

本研究の目的は MOS キャパシタを使用した BS スイッチの動作確認と評価である.

## 2. BS スイッチ

BS スイッチは電源電圧のどのような入力電圧でも動作するスイッチ回路である. 動作モデルを図 1, 図 2 に示す. 図 1 は BS スイッチがオンの時の動作モデルである. ゲート-ソース間 ( $V_{GS}$ ) 電圧に充電したキャパシタを接続し, 入力電圧が高くなっても強反転状態を保てる. 図 2 にオフの時のモデルを示す. オフの時はゲート端子をグラウンドに接続し, トランジスタをオフにしている.



図 1 オン状態 図 2 オフ状態

図 3 に基本型の BS スイッチを示す. 基本型 BS スイッチの回路は図 1, 図 2 に示した機能を単純に実現する回路である.  $C_{BS}$  はゲート-ソース間に接続する電源となるキャパシタである. 図 4 に示す回路は基本型に発生する問題を解決した改良型 BS スイッチ回路である. 基本型では電源電圧を超える電圧が MOS トランジスタに印加されるため, MOSFET の劣化を招く問題がある. 改良型 BS スイッチの回路図を図 4 に示す. 図 3 の基本型 BS スイッチに比べるといくつかのトランジスタが追加されている. また, キャパシタの追加もある. 本研究では  $C_{BS}$  とチャージポンプのキャパシタにそれぞれ MOS キャパシタと MIM キャパシタを使用した回路を設計した.

MOS キャパシタとは金属-酸化膜-半導体で構成され, 容量には電圧依存性があるが単位面積当たりの容量が MIM より大きい. MIM キャパシタは金属-酸化膜-金属で構成されており容量の電圧依存性はない.

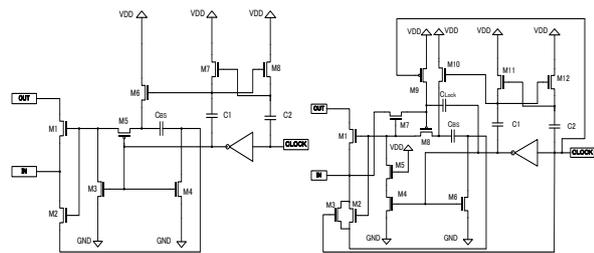


図 3 基本型 BS スイッチ 図 4 改良型 BS スイッチ

## 3. 実験結果

測定結果とシミュレーションとの歪み率の比較を述べる. 改良型 BS スイッチに振幅  $V_{PP}=1.8$ [v], 信号周波数 1[kHz] の正弦波, クロック周波数 10[kHz], 負荷抵抗 20[k $\Omega$ ] の環境のときの出力の測定結果を図 5 に示す. ブートストラップされ出力電圧が出力電圧の最大付近まで出ている. 入力電圧と出力電圧が最大値で開きが確認できた. 入出力電圧の開きの原因は, 歪みがないので BS スイッチのオン抵抗による電圧降下であると考えた. よって, MOS キャパシタを使用した改良型 BS は正しく動作したと考える.

基本型 BS スイッチの試作チップの出力波形を示す. 信号周波数 0.1[kHz], 振幅 1.8[v], クロック周波数 1[kHz], 無負荷の環境のときの出力の測定結果を図 6 に示す. 出力電圧が最大付近の約 0.1[v] で出力電圧の歪みを確認した. クロック電圧が動作終了時にも下がりがらず, 0[v] になっていない. よって, 基本型 BS の動作範囲は 0.02~1.56[v] である.

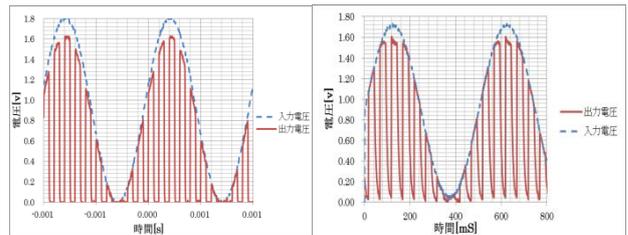


図 5 改良型 CLK10[kHz] 図 6 基本型 CLK1[kHz]

図 7, 図 8 に 2 つの BS スイッチの歪みの特性を示す. 基本型, 改良型 BS スイッチの両方に歪み率の周波数依存性を確認できた. また, シミュレーションに対する違いが確認できた. シミュレーションとの違いの原因は充電されたキャパシタの電荷が逃げ切れないことではないかと考えた. 理由は歪みが高いときの周波数ではスイッチがオフの時に電圧が 0[v] まで落ち切っていないからである.

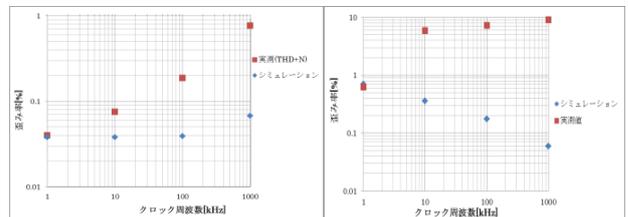


図 7 改良型歪み率 図 8 基本型歪み率

## 4. まとめ

本研究では MIM キャパシタを使用した基本型 BS スイッチ, MOS キャパシタを使用した改良型 BS スイッチ回路の 2 つの BS スイッチの設計をした. MOS キャパシタを使用した改良型 BS スイッチに安定した動作を確認した. また, 両方 BS スイッチの歪み率は周波数特性が悪かった. しかし, 改良型 BS スイッチは基本型 BS スイッチに比べると良い歪みの周波数特性が得られた.