

# しきい素子を用いた確率共鳴現象の電子回路実験 ～雑音を利用した微弱信号検出 LSI に向けて～

Experimental Observations of Stochastic Resonance in Electronic Threshold Circuits

佐橋 透      宇田川 玲      浅井 哲也      廣瀬 哲也      雨宮 好仁  
Toru Sahashi   Akira Utagawa   Tetsuya Asai   Tetsuya Hirose   Yoshihito Amemiya

北海道大学 大学院 情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

## 1 まえがき

微弱信号を検出する方法として、確率共鳴 [1] が近年注目を集めている。ここで我々は確率共鳴の持つ雑音を利用する特性に着目し、雑音を使って微弱信号を検出する LSI を開発する事を考えた。その予備実験として、しきい素子を用いた確率共鳴現象を電子回路実験にて確認した。

## 2 モデルと方法

図 1(a) はしきい素子を用いた確率共鳴システムの模式図である。しきい値以下の入力信号を素子に加えた時、素子は信号を検出できないので入出力の相関は低い。ここに雑音  $\xi(t)$  を付加すると素子は確率的に入力を検出できるようになるため、相関は増加する。ただし、雑音が強すぎると雑音成分が増加するため、入力と出力の相関は小さくなる。つまり、相関が最大となる雑音強度が存在する [図 1(b)]。実験するにあたって我々は、図 1(c) のように素子を並列接続する方法をとった。これは Collins らによって提案された方法 [2] である。

図 2 に回路構成を示す。OP アンプ (LMC6482) を 4 つ並列に接続する。各 OP アンプに、共通の矩形波入力電圧  $V_{in}(t)$  と独立した雑音電圧  $\xi_i(t)$  ( $i$ : 正の整数) の加算値  $V_{in}(t) + \xi_i(t)$  を入力する。OP アンプは  $V_{in}(t) + \xi_i(t)$  がしきい電圧  $V_{th}$  を超えると 1 (電源電圧  $V_{dd}$ )、下回ると 0 (0 V) を出力するしきい回路として動作する。 $\xi_i(t)$  は Waveform Generator で生成した振幅  $V_n$  の雑音を LPF で 500 kHz 以下に帯域制限した信号である。 $V_{in}(t)$  の振幅を  $V_{amp}$ 、周波数  $f$ 、オフセット  $V_{off}$  とする。 $V_n$  を変化した時の出力  $V_{out}(t)$  を観測し、相関係数  $C$  を計算する。ただし  $C$  は

$$C = \int_0^T \frac{\{V_{in}(t) - \overline{V_{in}}\} \{V_{out}(t) - \overline{V_{out}}\} dt}{\sigma_{in} \sigma_{out}}$$

で与えられる。ここで、 $\overline{V_{in}}$  は  $V_{in}(t)$  の時間平均、 $\overline{V_{out}}$  は  $V_{out}(t)$  の時間平均、 $\sigma_{in}$  は入力の標準偏差、 $\sigma_{out}$  は出力の標準偏差、 $T$  は測定時間を表す。

## 3 実験結果

実験結果を図 3 に示す ( $V_{amp} = 0.4$  V、 $f = 10$  kHz、 $V_{off} = 0.4$  V、 $V_{th} = 1$  V、 $r = 100$  k $\Omega$ 、 $R = 11$  k $\Omega$ 、 $V_{dd} = 3$  V、雑音源のオフセット: 0.4 V、 $T = 2$  ms)。エラーバーは 5 回の測定で生じたバラツキの範囲を表わす。 $V_n = 3$  V の時  $C$  は最大 0.3 になり、それ以上の振

幅では  $C$  は緩やかに減少した [図 3(a)]。  $V_n = 3$  V の時の入出力波形を図 3(b) に示す。  $V_{out}(t)$  から回路は  $V_{th}$  以下の  $V_{in}(t)$  を確率的に正しく検出できる事が確認できた。この結果は Collins らの結果 [2] と質的に同じであり、しきい素子を使った確率共鳴を電子回路実験で確認できたと考えられる。今後は今回の実験を基に、微弱信号検出回路の検討を行なう予定である。

## 参考文献

- [1] Benzi R. *et al.*, *J. Phys.*, **A 14**, L453, 1981.  
[2] Collins J. J. *et al.*, *Nature*, **376**, 236, 1995.

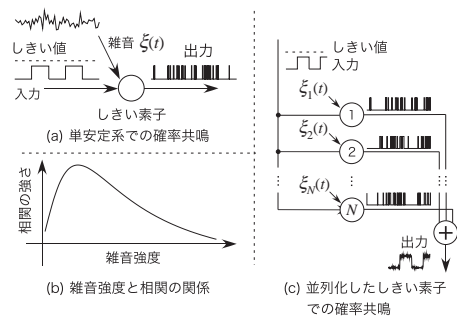


図 1 確率共鳴の概念

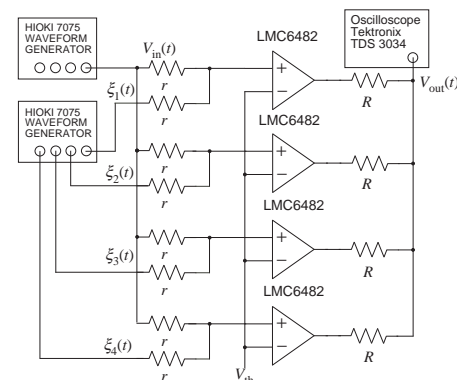


図 2 実験回路図

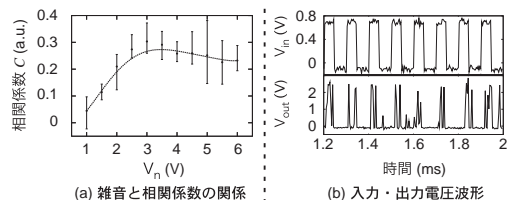


図 3 実験結果