

接地された抵抗で結合された2個の神力型カオス発生回路の実験

Experiments on 2-Shinriki Chaos Generators Coupled by a Grounded Resistor

リュウ セイエキ

指導教員 三堀 邦彦

拓殖大学大学院 工学研究科 機械・電子システム工学専攻 三堀研究室

キーワード：カオス発生回路、結合系、接地された抵抗、逆相

1. はじめに

カオス発生回路の結合系における、カオスの同期を考える[1]-[3]。カオスは複雑で不規則な振動であり、その同期は各回路のカオスで位相がそろった現象である。カオス発生回路は発振器の一種であり、その結合系は発振器の結合系の一種である。非線形回路の分野では、VDP 発振器が理論的・実験的によく調べられている[4][5]。VDP 発振器は非線形コンダクタンス・コイル・コンデンサで構成され、正弦波的な波形を発生する。このコイルとコンデンサは並列共振回路になる。

VDP 発振器の結合系は同期現象を発生する。基本的な結合系として、以下の2種類がある：

- (1) 結合系1：2つの発振器を浮いた抵抗で結合する。この系では v_1 と v_2 が同じリズムで同期する。これを同相同期という。
- (2) 結合系2：片側を接地した抵抗を共有して結合する。この系では v_1 と v_2 が反対のリズムで同期する。これを逆相同期という。

一方、カオス発生回路の結合系では同相同期のみが確認されている[1]-[3]。カオス発生回路の結合系では、逆相同期は発生しないのだろうか？本研究では、この問題を考える。そのために、我々はコイルとコンデンサの並列共振回路を含むカオス発生回路を探した。これに該当する回路として、神力型カオス発生回路を採用する[3]。この回路は、1個の負性コンダクタンス・2個のダイオード・1個のコイル・2個のコンデンサで構成され、コイルとコンデンサの並列共振回路を含む。図1に示されるように、この回路ならば結合系2のような構造を持った結合系を構成できる。この発表では、このカオス発生回路の結合系の実験について報告する。

2. 本論

図2の結合系を考える。2個の神力型カオス発生回路が片側を接地した抵抗 R_{12} を共有して結合され、相互に影響を与え合う。そのため、1章の結合系2のような構造を持った結合系を構成できる。

各回路は1個のコイル・2個のコンデンサ・2個のダイオード・1個の負性コンダクタンスで構成され、コイルとコンデンサの並列共振回路を含む。

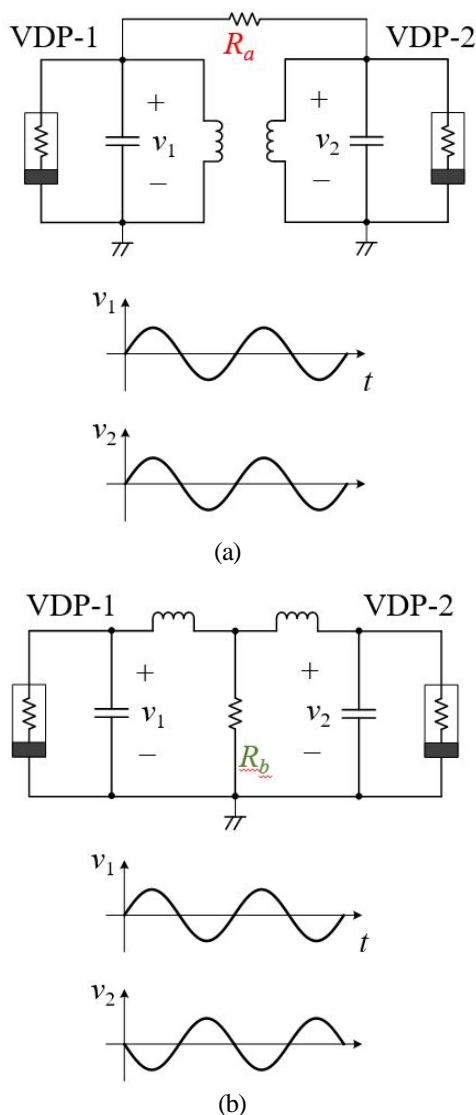


図1 基本的なVDP発振器の結合系：
(a) 結合系1, (b) 結合系2.

$-g_A$, $-g_B$ は負性コンダクタンスである。これらは図3(a)の回路で実現され、図3(b)に示される v_N-i_N 特性を持つ。なお、このカオス発生回路は、この特性の中央の領域のみを使う。同図(a)の R_f を調節すれば、同図(b)の中央の傾きを設定できる。したがって g_A , g_B の値は独立に調節できる。

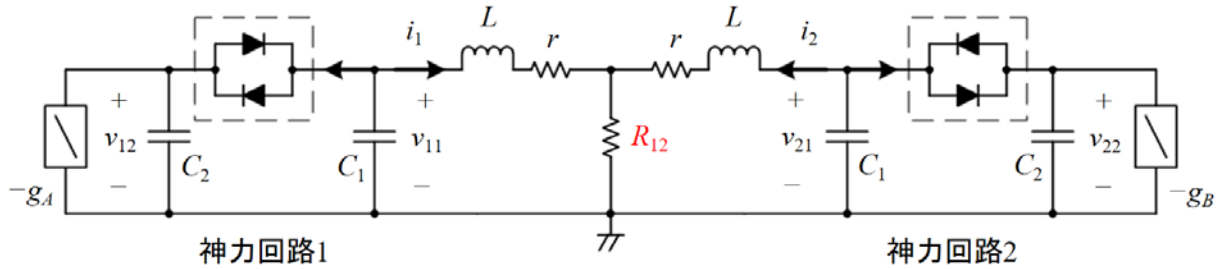


図2 この研究で考える神力型カオス発生回路の結合系.

R_{12} 以外の素子値は以下に固定される：

$$L = 300[\text{mH}], r = 250[\Omega], C_1 = 2.2[\text{nF}], C_2 = 1[\text{nF}],$$

$$g_A = 1/42.3[\text{k}\Omega], g_B = 1/42.3[\text{k}\Omega].$$

R_{12} を短絡すれば、各回路はカオスを発生する。

図4に $R_{12} = 0.51[\text{k}\Omega]$ のときの実験結果を示す。左上と右下は、回路1と2の間の関係を表す。左上が両者の C_1 の電圧の関係、右下が両者の C_2 の電圧の関係を表す。左下は回路1の波形、右上は回路2の波形である。

回路1と回路2の波形は、上下左右が反対になっている。それを除けば、両者は同じ形のカオス波形である。回路1と2の関係は、左上の波形では右下がり45度の直線にだいたい沿っており、右下の波形では右下がり45度の直線に対して対称な波形が現れている。これは回路1と回路2がおおむね逆相の関係にあるが、逆相同期には至っていないことを示している。

なおこの実験に先立ち、 $R_{12} = 0[\text{k}\Omega]$ でも同様の実験を行い、回路1と2の関係が同相でも逆相でもなく、両者が相関をもたないことを確認している。したがって抵抗 R_{12} の存在が、回路1と回路2の関係をおおむね逆相に導いたと言えそうだ。

またこの素子値の設定では、初期値の変更によるカオスの共存も確認された。初期値の変更は、回路1のコンデンサ C_1 を一瞬短絡することで実現される。これにより観察された回路1と回路2の波形は、上下左右が反対であり、しかも形の違うカオス波形になっていた。

3. まとめと今後の課題

接地された抵抗を共有して結合された2個の神力型カオス発生回路の実験を行った。その結果、2個の神力型回路からのカオスはおおむね逆相の関係になるが、逆相同期には至らないことが確認された。現在、この波形に再帰写像を定義してそれを回路で実現し、その結果も合わせて現象を分類することを試みている。

参考文献

[1] N.F.Rulkov, "Image of synchronized chaos: Experiments with circuits", *CHAOS*, vol.6, no.3, pp. 262-279, (1996)

[2] H.D.I.Abarbanel, N.F.Rulkov, and M.M.Sushchik, "Generalized synchronization of chaos: The auxiliary

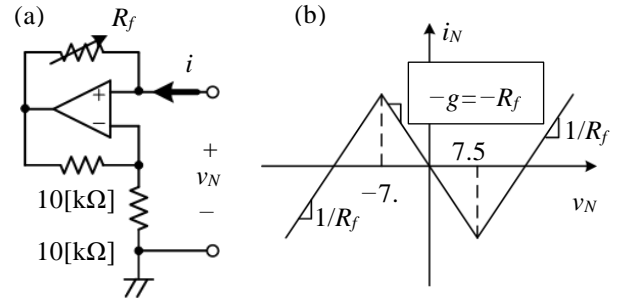


図3 非線形コンダクタンス：
(a) 実現回路，(b) v_N - i_N 特性.

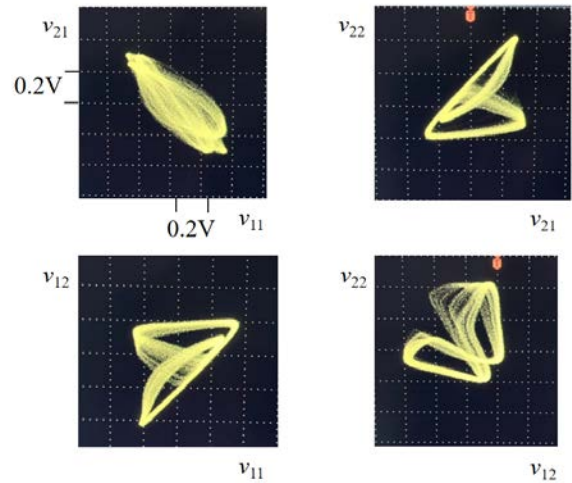


図4 $R_{12} = 0.51[\text{k}\Omega]$ のときの実験結果.

system approach", *Phys. Rev. E*, vol.53, no.5, pp.4528-4535 (1996).

[3] 海老澤謙一、三堀邦彦：「一方向かつ相互に結合された四つの神力回路におけるカオスの一般化同期」、*信学論 A*, vol.J94-A, No.8, pp.587-595 (2011).

[4] 徳田功：「同期理論の基礎と応用」、丸善株式会社 (2009).

[5] 伊藤宏司：「ニューロダイナミクス」、共立出版株式会社 (2010).