

非線形 LC 梯子回路の並列化に伴う電圧ソリトンの伝搬特性の観測

Observation of propagation characteristics of voltage solitons with parallelization of nonlinear LC ladder circuits

○向井勇人¹, 浅利慶¹, 胡桃聡², 鈴木薫², 松田健一²
H. Mukai¹, K. Asari¹, S. Kurumi², K. Suzuki², K. -i. Matsuda²

概要：本研究では、電圧ソリトンの伝搬現象を利用した論理回路網の構築を目指し、回路の分岐構造部分での電圧ソリトンの伝搬特性を調べた。電圧ソリトンは一次元的な非線形 LC 梯子回路において安定に伝搬するが、本研究で回路が 2 つに分岐する構造を挿入し、その各々の経路で電圧ソリトンの伝搬特性を測定したところ、入力された電圧ソリトンが分岐部分で分離し、元の電圧ソリトンの性質を引き継いだ電圧信号を観測することに成功した。

1. 研究背景と目的

「ソリトン」は「孤立波」とも呼ばれ、系が持つ分散性と非線形性の調和により発現する局在した波動である。近年、このソリトンの性質を持った光パルス（光ソリトン）を利用したソリトンコンピューティング[1]や、電圧・電流ソリトンを利用した発振回路応用[2]、電磁波メタマテリアル[3]などの研究が活発に行われている。

電気回路応用としては、非線形 LC 梯子回路中の電圧ソリトン伝搬が古くから知られている[4]。また最近、この電圧ソリトンの衝突現象を利用した論理回路網の構築に関する理論的な提案がなされた[5]。著者らはこれまで、この電圧ソリトンの衝突現象を利用したインバータ回路動作の実証実験を行っており、実際にそのような動作特性を観測している。一方、NAND や NOR といった論理回路網を構築するためには、回路の並列化を行って 2 入力非線形 LC 回路網を構築しなければならない。しかし一般的には、電圧ソリトンの伝搬は一次元的な非線形 LC 梯子回路でのみ安定的であると考えられてきたため、回路の分岐構造が電圧ソリトンの伝搬特性にどのような影響を及ぼすのか明らかではない。

そこで本研究の目的は、NAND や NOR 動作を実現する電圧ソリトン伝搬回路網の構築を目指し、非線形 LC 梯子回路を伝搬する電圧ソリトンが分岐する際の電圧波形の基本特性を調べることにした。

2. 実験方法

2.1 非線形 LC 梯子回路

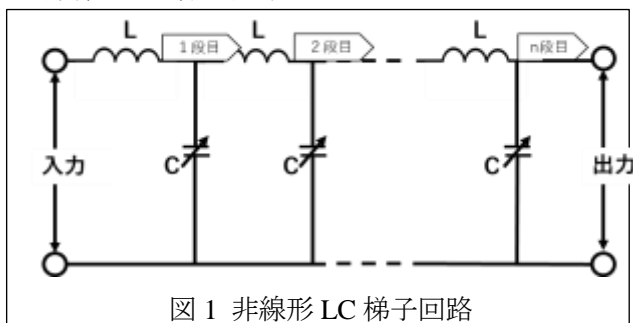


図1 非線形 LC 梯子回路

非線形 LC 梯子回路の構成を図 1 に示す。理想回路は、インダクタ L と非線形キャパシタ C で構成された無限に長い梯子状伝送線路である。ただし、非線形キャパシタの容量は、以下のようなバイアス電圧依存性を持つものとする。すなわち、

$$C(V) = 1/(aV + b)$$

ここで a, b はそれぞれ定数である。実際の回路では、これにこれ近い特性を示す容量可変ダイオード 1SV-74 (JRC社製) を用いた。またインダクタは 1 mH のインダクタンスを持つ Core Master Enterprise 社製 AL0307-102K を用いた。

2.2 非線形 LC 梯子回路の分岐構造

今回作製した分岐構造は図 2 に示すようなものである。3つの SMA コネクタはそれぞれ電圧ソリトンの入力端子と、分岐後の出力端子 (L-Out および R-Out) であり、それぞれ非線形 LC 梯子回路が接続される。

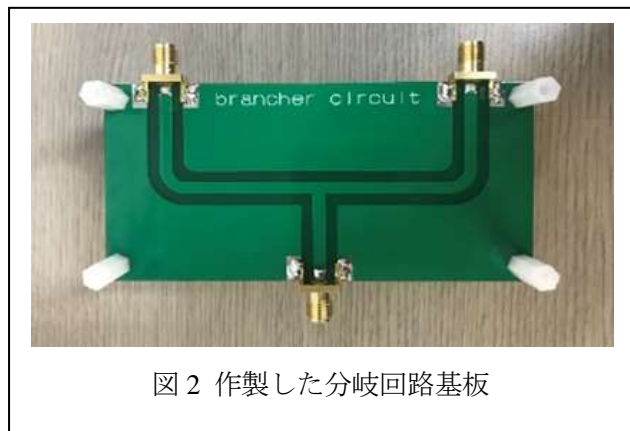


図2 作製した分岐回路基板

2.3 測定方法

分岐回路構成図を図 3 に示す。非線形 LC 梯子回路を 40 段繋げた先に分岐回路基板を繋げそこから非線形 LC 梯子回路を 30 段ずつ繋げる。

測定は、入力側から電圧ソリトン信号を入力し、出力側の伝搬特性を観測した。特に分岐後の伝搬特性の距離依存性を確認するために、それぞれ分岐部分からの距離が異なる 3 つの場所で電圧波形を観測した。伝搬する電圧パルスがソリトンの性質を持つかどうか検証するため、振幅や幅の異なる信号を入力して波形の変化についても観測した。

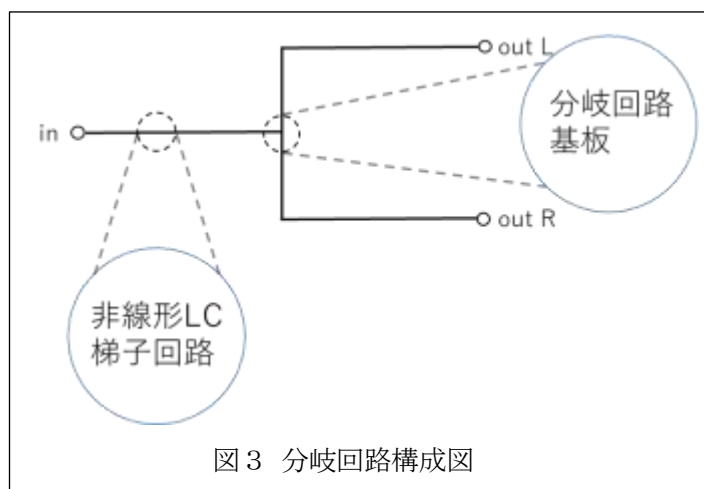


図 3 分岐回路構成図

3. 実験結果

入力波 2 [V] のソリトン波を伝搬させた。図 4 が観測波形である。横軸が時間、縦軸が振幅で、全部で 10 個の波形を観測した。一番上の黒線が入力波の波形であり、上から 2 番目からの黒線が分岐させる前の 20 段目、30 段目、40 段目、赤線が進行方向から見て左側に分岐した 10 段目、20 段目、30 段目、青線が進行方向から見て右側に分岐した 10 段目、20 段目、30 段目である。グラフから分かることは分岐点である 40 段目まではソリトンのような振る舞いで入力波と同じ 2 [V] の振幅で伝搬しており、分岐点の 40 段目より波形は 1 [V] の振幅に減衰しており分岐後も 1 [V] の振幅のまま分岐回路の左側、右側に分岐し、左右に伝搬した波形で大きな違いは見られなかった。

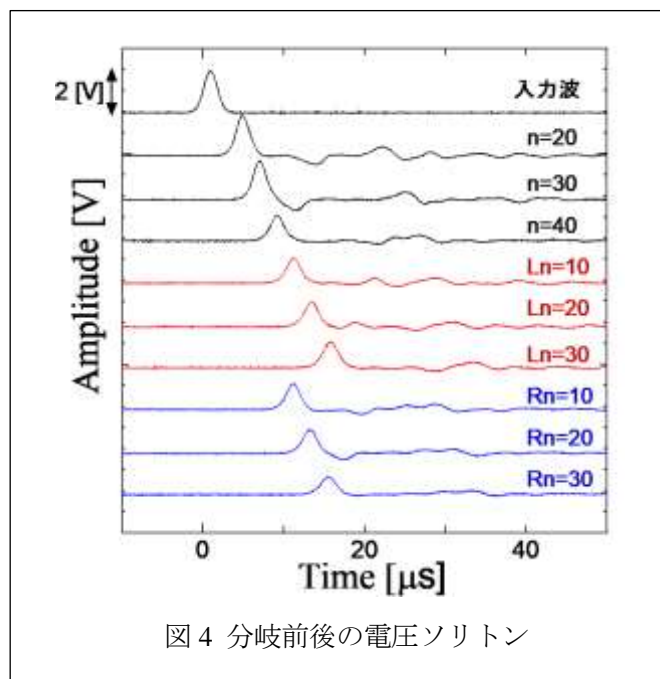


図 4 分岐前後の電圧ソリトン

4. まとめ

分岐基板を用いて、電圧ソリトン信号を入力させ伝搬特性を観測した結果波形は分岐することが確認できた。分岐した左右の波形はほぼ同じような波形が観測されたが、分岐先の波形は、振幅と幅の関係を見るとソリトンのような振る舞いは観測されなかった。今後は、分岐先の基板をさらに長くすることにより、波形の観測をより細かい測定する。

5. 参考文献

- [1] R. A. Meyers (ed.), "Computational Complexity", p.p. 646-665, Springer (2012).
- [2] D. S. Ricketts, et. al., IEEE J. Solid-State Circuits, **42**, 8, 1657 (2007).
- [3] C. Rizza, A. Ciattoni, and E. Palange, Phys. Rev. A **83**, 053805 (2011).
- [4] Y. Kubota, and T. Odagaki, Adv. Appl. Phys. **1**, 29 (2013).
- [5] R. Hirota, and K. Suzuki, J. Phys. Soc. Jpn. **28**, 1366 (1970).