

非線形 LC 梯子回路中の電圧ソリトン伝搬と回路中の欠陥の影響

Influence of impure segments on the propagation of voltage solitons in nonlinear LC ladder transmission lines

○菅原拓真¹, 網倉祥太¹, 浅利慶¹, 中村祐貴¹, 胡桃聡², 鈴木薫², 松田健一²T.Sugawara¹, S.Amikura¹, K. Asari¹, Y. Nakamura¹, S. Kurumi², K. Suzuki², K. -i. Matsuda²

概要: 本研究では, 非線形 LC 梯子回路を作製し, 回路中を長距離にわたって伝播する電圧パルスソリトンの伝搬特性を調べた. 特に, 回路中の適当な領域に線形 LC はしご部分を導入し, それを不純物サイトとみなして, 電圧パルス伝播に及ぼす影響を調べた. 一般に, 電圧ソリトンの伝播には回路中の適切な非線形性が重要であるにもかかわらず, 本研究では, 不純物サイトを含んだ回路であっても, 電圧ソリトンの長距離伝播が観測された.

1. はじめに

非線形 LC 梯子回路は, いわゆる戸田格子を電気回路上で実現する系としてよく知られており, すでに 50 年近い研究の歴史がある [1, 2, 3]. 非線形 LC 梯子回路上の電圧パルス伝播は, 戸田方程式によって記述されるため, 方程式の解としてのソリトンの性質を持つ電圧パルスの長距離伝播が可能になる.

近年, この戸田格子上のソリトン-ソリトン衝突現象を利用した, 新しいロジック回路動作原理が提案された [4, 5]. ソリトンそれ自体は, 他のソリトンと衝突を起こしても, その衝突前後で波の形を変えない性質を持っているが, 前述の新しいロジック動作原理では, 戸田格子上に適当な “不純物” を導入することで, ソリトン間の相互作用を導入する. それによっ

て, ソリトンどうしの衝突課程でソリトンの消滅現象などが生じる可能性を指摘している.

本研究では, 戸田格子としての非線形 LC 梯子回路を作製し, その回路上を伝播する電圧パルスソリトンの基本特性を確認すること, また, 回路中に適当な不純物を導入することによるソリトン伝播課程への影響を明らかにすることを目的とする.

2. 非線形 LC 梯子回路の作製

理想的な非線形 LC 梯子回路の構成は, 図1に示すような, インダクタ (L) とキャパシタ (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, キャパシタの容量はバイアス電圧に対する以下のような依存性を持つものとする. すなわち,

$$\frac{1}{C} = aV + b. \quad (1)$$

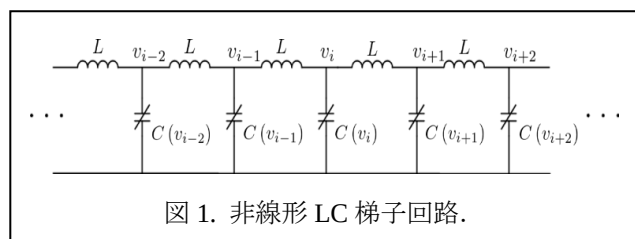


図 1. 非線形 LC 梯子回路.

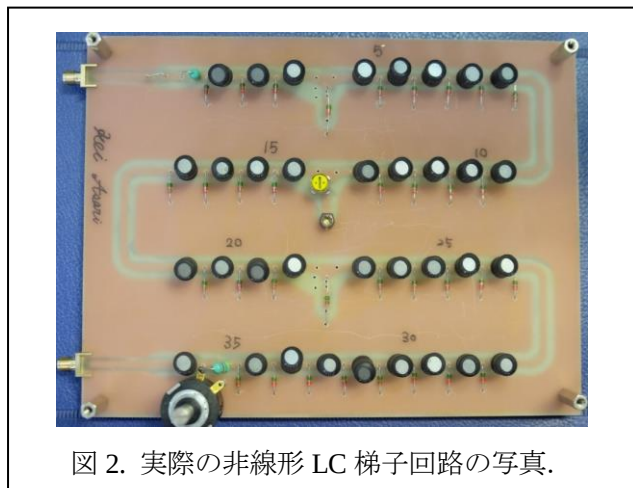


図 2. 実際の実験用非線形 LC 梯子回路の写真.

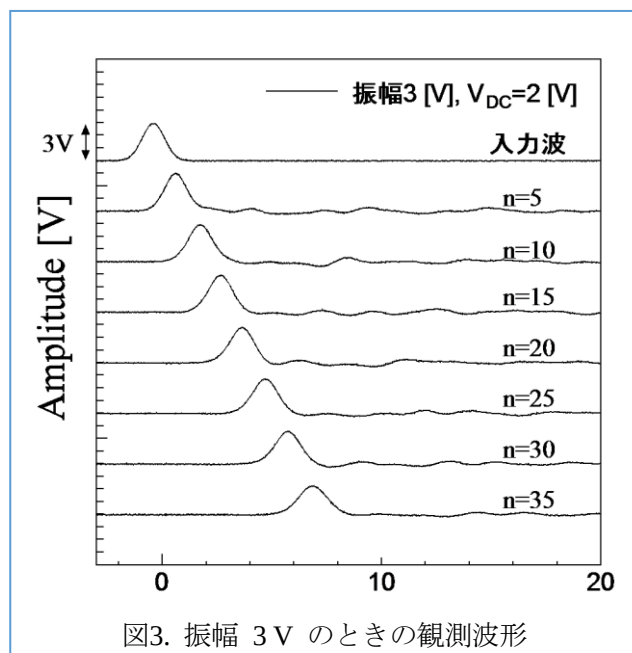


図3. 振幅 3 V のときの観測波形

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．

一方、回路中の不純物サイトとしては、容量可変ダイオードを、通常のLC直列共振回路で置き換えたものを使用した．その際の共振周波数は、回路全体の特性周波数 ω_c に近い値となるように選んだ．実際に作製した回路を図 2 に示す．

3. 電圧ソリトン伝搬の観測

図 3 には、入力信号として振幅 3 V のガウス型パルスを用いた場合の電圧ソリトン伝播の様子を示す．各 n の値は、入力から n 段目のノードの観測波形であることを示している．不純物サイトは $n=14$ のノードに挿入されている．一見してわかるように、入力波形に近い波形保持しながら電圧パルスソリトンが伝搬していることがわかる．特に、不純物サイトの前後であっても大きな波形変化が見られない点が重要である．また、パルス幅と振幅に着目すると、伝播距離が増すにつれて振幅はやや小さくなり、パルス幅も若干広がっている．これは、回路中に存在する小さな散逸効果（抵抗成分）に起因していると考えられる．

図 4 には、入力パルスの振幅 = 1 V のときの伝播

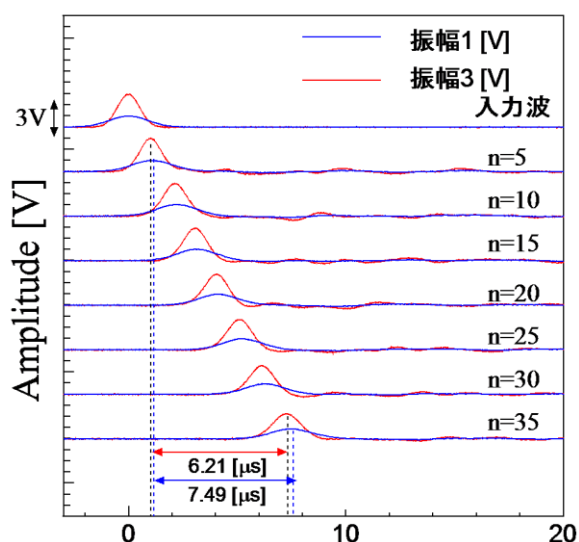


図 4. 電圧パルスソリトンの伝搬と、その振幅依存性．振幅の大きなパルスソリトンほど、伝播速度が大きい．

特性と、図 3 で示した波形とを、同じスケールで示している．振幅の大きな電圧ソリトンは、パルス幅が狭く、伝播速度が早いことがわかる．これは、戸田方程式の解としての戸田ソリトンの性質と定性的に一致する．従って、不純物サイトを含むような非線形LC梯子回路においても、電圧パルスソリトンはその性質を維持しながら伝播することが、この結果から示唆される．

4. まとめ

本研究では、簡便な伝送線路による情報伝達システムや論理ゲート動作、構造物のヘルスマonitoringシステムの創出を目指し、非線形LC梯子回路における電圧パルスの伝播特性を評価した．LC 梯子回路に対して非線形性を導入するために、容量可変ダイオードを C として採用した．インダクタ L として 1 mH のものを採用した．不純物サイトを14段目のノードに配置した回路において、電圧パルスが戸田格子上のソリトンの性質を維持しながら伝播することを確認した．

参考文献

- [1] M. Toda, J. Phys. Soc. Jpn. **22**, 431 (1967). Ibid. **23**, 501 (1967).
- [2] H. Nagashima and Y. Amagishi, J. Phys. Soc. Jpn. **45**, 680 (1978).
- [3] S. Watanabe, J. Phys. Soc. Jpn. **45**, 276 (1978).
- [4] Y. Kubota and T. Odagaki, Adv. Appl. Phys. **1**, 29 (2013).
- [5] Y. Kubota and T. Odagaki, Phys. Rev. E **61**, 3133 (2000).