L-48

非線形 LC 梯子回路中の電圧パルス伝搬とその応用

○郡司直樹[1]，中村祐貴[2]，胡桃聡[3]，松田健一[3]，畠中憲之[4]，鈴木薫[3]
N. Gunji[1], Y. Nakamura[2], S. Kurumi[3], K.–i. Matsuda[3], N. Hatakenaka[4], and K. Suzuki[3]

Abstract: We have studied the voltage-pulse propagation properties in nonlinear LC ladder circuit. Soliton-like pulse propagation strongly depends on the C-V characteristics of the varicap diodes which bring nonlinearities into the circuit. The initial input pulse breaks into fractions of small dispersive waves and soliton-like pulse. These results indicate that the existence of the dissipative components in the circuits.

1．はじめに

LC 梯子回路は良く知られた電気回路であるが，その中の容量 C を，適当な電圧ー容量特性をもつ素子に変えて非線形性を導入することで，非常に安定的に電圧パルスが長距離にわたって伝搬することが 1970 年に R. Hirota 等によって報告されている[1]．この時，非線形 LC 梯子回路は，非線形格子モデルの，いわゆる戸田格子となっていることが知られており[2]，従って，非線形 LC 梯子回路中の電圧パルスの伝搬は，戸田格子中の電圧ソリトンに対応すると考えられている．本研究では，このシステムを応用した情報伝達システム[3]やヘルスモニタリングシステムの創出を目指し，実際に製作した非線形 LC 梯子回路中の電圧ソリトンの観測を試みた．特に，容量可変ダイオードの素子特性を変更した際による伝搬波形の変化を詳細に測定した．

2．非線形 LC 梯子回路の製作

今回作製した非線形 LC 梯子回路の構成は，図 1 に示すようになっている．非線形性の導入のため，

$$\frac{1}{C} = aV + b$$

という容量 (C) - 電圧 (V) 特性を持つものを選んだ。これにより，この回路はいわゆる「戸田格子」の性質を持つことが予想される．回路を駆動する際には適当な直流電圧 (V_{DC}) を加えながら，発振器を用いて矩形波を入力した．この際、反射成分を低減する為に回路の終端に抵抗 R と C による終端処理を施した．

3．容量可変ダイオードの容量 (C) - 電圧 (V) 特性

LC 梯子回路に非線形性を導入するためには，先に述べたように容量 (C)の逆数が電圧 (V)に比例する特性が望ましい．そのために、容量可変ダイオードである

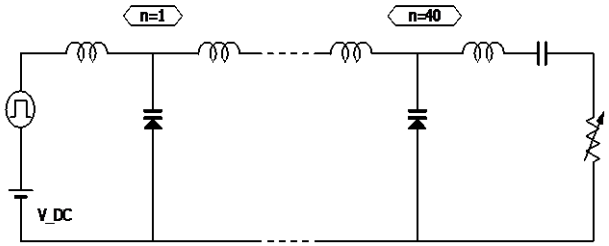

Figure 1：**nonlinear LC ladder circuit**

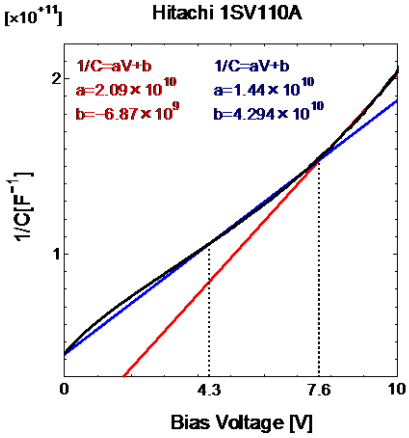

Figure 2: 1SV110A of C - V characteristics

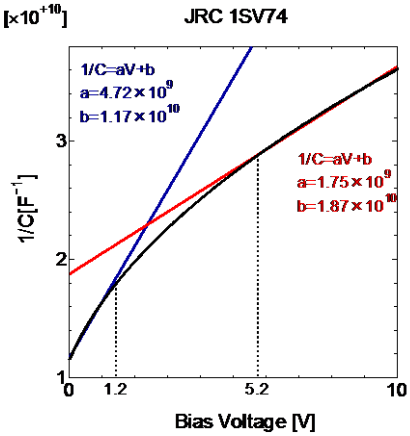

Figure 3: 1SV74 of C - V characteristics

1：日大理工・学部・電気，2：日大理工・院(前)・電気，3：日大理工・教員・電気，4：広島大学・教員・大学院総合科学研究科

1SV74,1SV110A のに対して逆方向に電圧を加えた際のキャパシタンスを測定した．図 2,3 は各ダイオードを測定し、容量 (C)の逆数が電圧 (V)に比例している箇所とその時の a,b の値をグラフにまとめた．LC 梯子回路に非線形性を得られる電圧は 1SV74 の際には 0 ~ 1.2 V, 5.2 ~ 10 V また 1SV110A の際には 4.3 ~ 7.6 V, 7.6 ~ 10 V の電圧を回路に与えれば非線形性をもつ回路となる。

４．各ダイオードにおける電圧ソリトン伝搬の観測

図 3 には 1SV74,図 4 には 1SV110A に入力信号の波形と，1 段目から 17 段目の各場所で観測された電圧波形を示す．この時の入力波形は，振幅が 6 V，パルス幅が 1SV74 の場合は 700 ns，1SV110A の場合は 500 ns になるように調節してある．一見してわかるように，1SV74 における，矩形波以外の成分であるさざ波成分は周期的な波で伝搬しているのに対して，1SV110A はさざ波成分が遅れて一つの波のように伝搬してきているのがわかる．この違いは各ダイオードにおける静電容量(C)の違いが大きく影響している推測される．

５．まとめ

本研究では、構造物のヘルスモニタリングシステム等応用技術の創出を目指し、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、インダクタ L として 1 mH のものを、C として容量可変ダイオードである 1SV74 と 1SV110A を採用した。容量可変ダイオードの素子を 2 つ使用したのは素子を変更した際による伝搬波形の変化を測定するためである。回路は 17 段構成のものを作製した．本実験は容量可変ダイオードの C-V 特性と回路に対して振幅が 6V、パルス幅は 1SV74 の時は 700 ns、1SV110A の時は 500 ns の電圧パルスを入力し、各段における電圧ソリトンの伝搬について観察した．その結果、非線形性を得るには 1SV74 は 0 ~ 1.2 V と 5.2 ~ 10 V を、1SV110A は 4.3 ~ 7.6 V と 7.6 ~ 10 V の電圧を使用する必要がある。また電圧ソリトン伝搬においてはさざなみ成分が得られ電圧ソリトンに影響が出ていることがわかる。

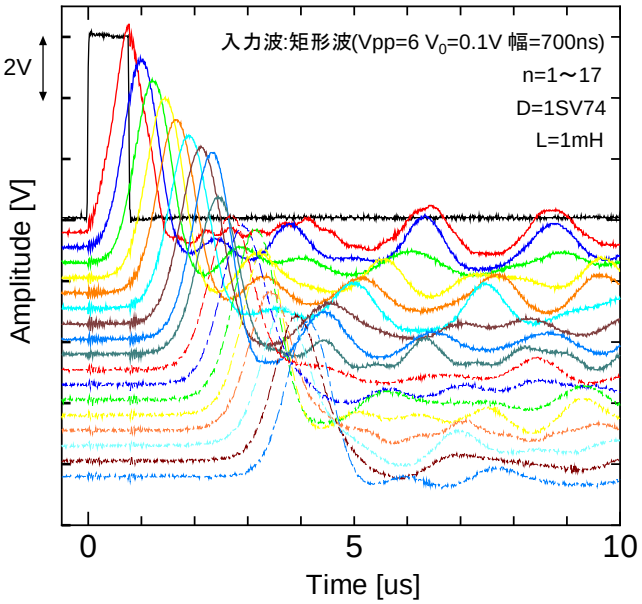

Figure 4: 1SV74 を容量可変ダイオードとして採用した場合の電圧パルス伝播の様子．一番上のトレースが入力信号．パルス高さが次第に低下し，かつ，小さなさざなみ成分が比較的に大きく出ている．

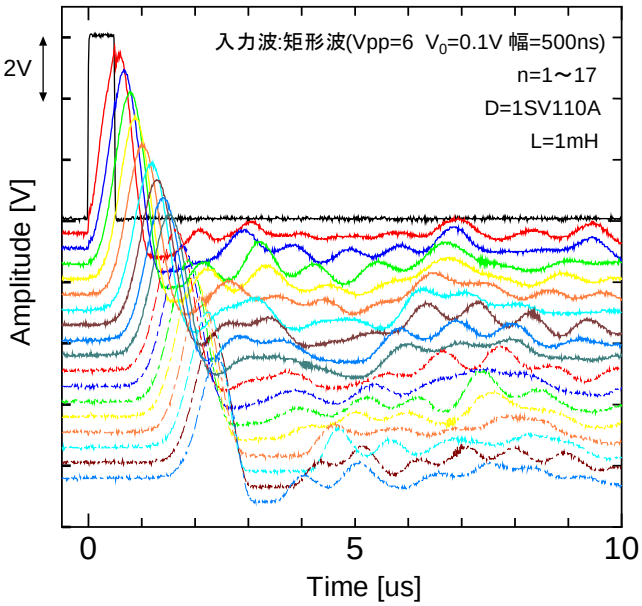

Figure 5: 1SV110A を容量可変ダイオードとして採用した場合の電圧パルス伝播の様子．こちらはさざなみ成分はそれほど顕著ではないがパルスの右側に電圧の落ち込みが見られる．

参考文献

[1] R. Hirota and K. Suzuki, J. Phys. Soc. Jpn., 28, 1366 (1970).

[2] M. Toda, J. Phys. Soc. Jpn., 22, 431 (1967). Ibid. 23, 501 (1967).

[3] Y. Kubota and T. Odagaki, Advances in Applied Physics, 1, 29 (2013).