

エサキダイオード・トランジスタ結合による単方向性 パルス再生増幅器とそれを用いた能動線路

小室隆男*, 秋山道雄*, 本多誠一*

(1972年9月9日受理)

An Esaki Diode-Transistor Hybrid Couple Unilateral Pulse Regenerator and an Active Transmission Line Loaded with the Regenerator

Takao KOMURO, Michio AKIYAMA and Seiichi HONDA

Abstract: — The Esaki diode-transistor hybrid couple circuit reported previously has been developed for a unilateral unipolar pulse regenerator.

In a paper, the response of the regenerator to pulse (pulse-width 10 ns) and a unilateral active transmission line loaded with the regenerator are described.

The result of pulse transmission experiment showed that the maximum voltage gain was 17 db per one regenerator with the directivity of unilateral regeneration of about 17 db. All the regenerators inserted in a coaxial cable can be dc powered in series over the cable. The feeding current was about 26mA and the dc power dissipation about 20mW per one regenerator.

Unipolar single pulse could be transmitted over the loop which was the coaxial cable loaded with two regenerators, as simulation of an infinite distance transmission.

1. ま え が き

高速パルスを同軸線路を通して伝送させると、パルスが高速になるほど、線路での損失が大きくなり減衰と波形ひずみが増大する。そこでエサキダイオード（以下 ED と略す）を用いたかんたんな回路で再生増幅器を作り同軸線路に挿入して、その減衰と波形ひずみを補い、パルスを忠実に伝送させようとする⁽¹⁾ことが考えられ、その後パルス伝送用能動線路として現在研究されている。

ED を同軸線路に挿入して能動線路を作る場合、問題となるのは、どのようにして明確

* 茨城大学工学部電子工学科

な方向性を持たせるかである。これは ED が非線形二端子素子であるためにおこるインピーダンス不整合による反射波が ED の挿入部より生じ、この波が伝送方向と逆側に進み、前段の ED を動作させてしまうという問題である。今まで、この問題に対して、パルストランスを用いる方法⁽²⁾、2 個の ED と平衡-不平衡変換器を用いる方法等⁽³⁾が考えられている。ここでは、以前に報告した ED とトランジスタ (以下 TR と略す) のかんたんな結合回路⁽⁴⁾を用いて、入出力が分離でき、インピーダンス整合もよい、単極性パルスを送るための単方向性パルス再生増幅器 (以下 PR と略す) について述べ、さらに、これを同軸線路に挿入して能動線路を作る場合に必要であるパルス伝送実験についても述べる。

2. パルス再生増幅器

PR の回路を図 1 に示す。これは文献 (4) の ED・TR 結合回路をもとに、この PR を同軸線路に多数挿入した能動線路の構成を考えて、直流給電が線路端より可能な方法とし、

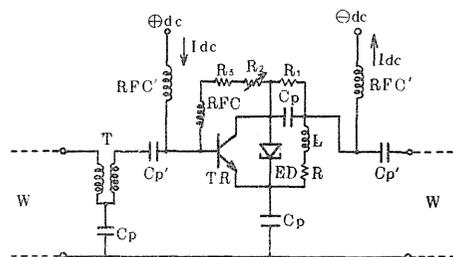


図 1 パルス再生増幅回路
Fig. 1 Pulse regenerator.

入出力パルスが同極性となるように、 $1:-1$ のパルストランスを TR のベース側に用いた。また、伝送パルスの半値幅は 10ns を対象に考えている。

この回路の定数は T; $1:-1$ のパルストランス (フェライトコアにエナメル線 10 回巻), TR; トランジスタ, 2SC989 (NEC), ED; エサキダイオード, 1S1762 を 2 本並列にしたもの (NEC), FRC, FRC'; 高周波チョークコイル, C_p, C_p' ; 直流シャ断またはバイパスのコンデンサ, $C_p=C_p'=0.1\mu\text{F}$, L, R ; 再生パルス波形を定めるインダクタンスと抵抗 (フェライトコアにエナメル線 1 回巻, 100MHz の測定で $L=50\text{nH}$, $R=30\Omega$, R_1, R_2, R_3 ; バイアス用抵抗, $R_1=5\Omega$, $R_2=10\Omega$, $R_3=20\Omega$, I_{dc} ; バイアス直流電流, $I_{dc}=26\text{mA}$ (このとき、ベースバイアス電圧約 750mV, コレクタバイアス電圧約 65mV である) であり、同軸線路 W には 3C2V (特性インピーダンス 75Ω) を用いる。

図 1 の回路で、正極性パルスが左側より入射してくると、トランス T により負極性に変換されて、ED・TR 結合回路のベースに加えられる。これにより TR のコレクタ・エミッタ間の抵抗が増加するために、ED・TR の合成非線形特性が変化し、文献 (4) で述べたように、再生増幅された正極性パルスがコレクタ側に得られ右側へ伝送する。

このとき、ベース側より逆方向への反射波は、ベースからの反射波 (適当なバイアスで小さくできる) とコレクタ側で再生増幅が行なわれるときに TR のコレクタよりベースへ帰還される波 (TR の内部帰還であるので小さい) を加えたものであり、これは小さい。

パルスを負極性で伝送したい場合には, トランス T を TR のコレクタ側に入換えればよい。

同軸線路に多数の PR を挿入し能動線路を作る場合には, 直流給電は線路端より線路を通してできる。このときには RFC' と C_p' は必要としない。PR 一段あたりの消費電力は約 20mW である。

3. 伝送実験

前述した PR を試作し, 同軸線路に挿入してパルス伝送実験を行なった。その結果を示し検討する。

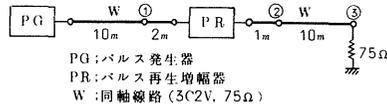
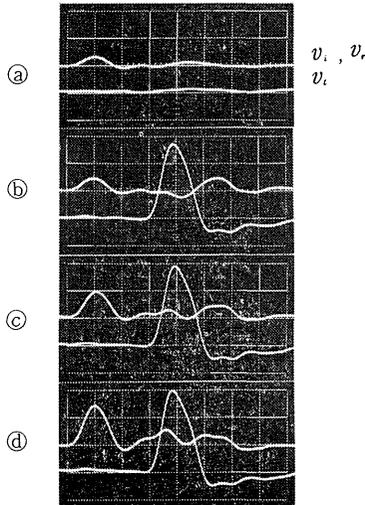


図 2 PR の伝送特性測定実験 (①, ②, ③波形観測点)

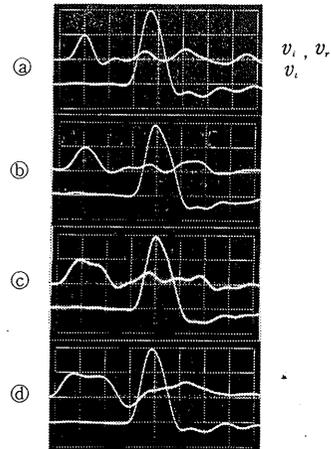
Fig. 2 An experimental arrangement to measure transmission characteristics of the PR (Pulses observed at ①, ②, ③).



(V; 100mV/div. H; 10ns/div)

- ① $v_i = 30mV$ ③ $v_i = 100mV$
- ② $v_i = 40mV$ ④ $v_i = 150mV$
- v_i, v_r は①点で観測
- v_i は②点で観測

図 3 PR の伝送特性 (図2)
入力パルス振幅—出力, 反射
Fig. 3 Transmission characteristics of the PR (Fig 2).
Input amplitude-output and reflected.



(V; 100mV/div. H; 10ns/div)

- ① $\tau_i = 5ns$ ③ $\tau_i = 15ns$
- ② $\tau_i = 10ns$ ④ $\tau_i = 20ns$
- v_i, v_r は①点で観測
- v_r は②点で観測

図 4 PR の伝送特性 (図2)
入力パルス半値幅—出力, 反射
Fig. 4 Transmission characteristics of the PR (Fig. 2)
Input pulse width-output and reflected.

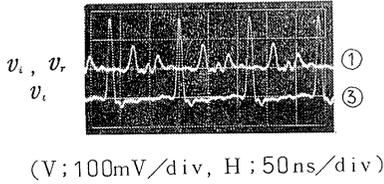


図 5 PR の伝送特性 (図2)
 パルスくり返し周波数約 8MHz
 Fig. 5 Transmission characteristics of the PR (Fig. 2).
 The repetition rate of about 8MHz.

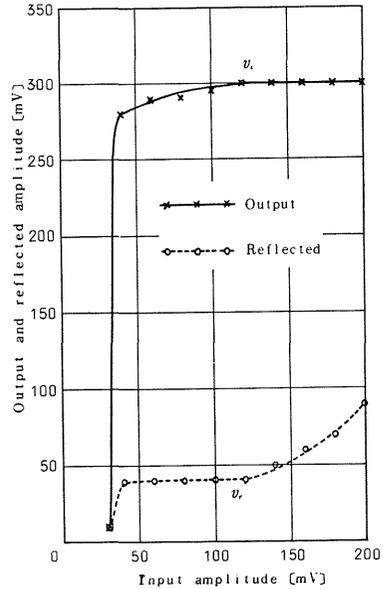


図 6 PR の入力—出力, 反射特性
 Fig 6 Output and reflected vs input characteristics of the PR.

3.1 PR の動作特性

PR の動作特性を調べるために、図 2 の構成でパルスを伝送させ、その波形の観測をシンクロスコープで行なった。

図 3, 4, 5 に PR を伝送方向に挿入したときの観測波形を示す。図 3 は入力パルスの振幅を変えたときの入力 V_i , 反射 V_r 出力 V_o の各波形である。これより $V_i \approx 40\text{mV}$ に明確なしきい値を持つことがわかる。この関係を詳しく調べた結果を図 6 に示す。反射波は図 3 よりみると、 V_i にほぼ比例関係にある波と、これよりすこし遅れて出力側で再生増幅が行なわれるとき、コレクタよりベース側への帰還による波があることがわかる。前者の方は、TR のバイアス (すなわちベース側からの入力インピーダンス) に依存し適当に変えることができる。図 3 の場合には、 $V_i \leq 60\text{mV}$ でほとんど零に等しい。後者の方は TR の内部帰還であるために、出力側で再生増幅が行なわれるときは、 V_i に関係なくほとんど等しい波が生じると考えられ、図 3 よりみると 40mV ぐらいである。図 6 に示す V_r は、これらのうち振幅の大きい方を用いている。

入力, 出力, 反射波の振幅をそれぞれ V_{ia} , V_{oa} , V_{ra} として、この回路の電圧利得を

$$G = 20 \log \frac{V_{oa}}{V_{ia}} \dots \dots \dots (1)$$

方向性を

$$D = 20 \log \frac{V_{oa}}{V_{ra}} \dots \dots \dots (2)$$

と定義すると, 利得はしきい値のとき最大値 $G \doteq 17 \text{ db}$ をもち, 方向性は $V_i \leq 110 \text{ mV}$ でほぼ一定値, $D \doteq 17 \text{ db}$ をもつ。

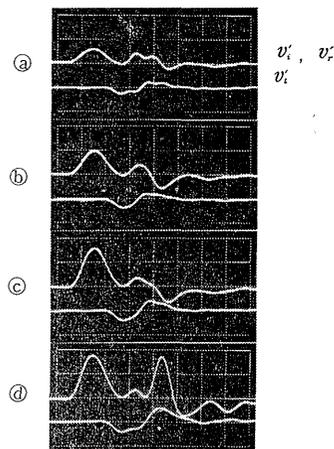
図4は V_i の半値幅 τ_i を $5 \text{ ns} \sim 20 \text{ ns}$ 変化させたときの観測波形である。これらの τ_i に対して出力波形 V_o は半値幅 τ_o 10 ns でほぼ一定の波形が得られている。これより波形整形作用をもつことがわかる。図5にパルスくり返し周波数 8 MHz の伝送状態を示す。

つぎに, 同じ図2の構成で PR を逆向きにし, 伝送方向とは逆方向からの入力 V_i' に対する応答を観測したものを図7に示す。前述のように逆方向からのパルスに対しては ED が動作しないことと, この挿入部を透過して前段へ伝送しないことが望ましい。図7をみると, ベース側へ透過する波 V_i' は入力 V_i' にはほぼ比例して大きくなっているが, $V_i' \doteq 180 \text{ mV}$ でも, この透過波は $V_i' \doteq \pm 60 \text{ mV}$ 程度であり小さい。また伝送方向への反射波 (TR のコレクタ側からの反射) V_r' は $V_i \leq 160 \text{ mV}$ では小さく, それ以上の V_i' で, ED が動作し大きくなる。逆側からは, V_i' に対して高い所にしきい値を示すことがわかる。これらは逆方向からのパルスに対しては動作しにくい特性で, パルス伝送中に, 多少の反射パルスが生じて, PR の挿入してある区間を往復し, 発振するようなことがない。

以上の結果より, この PR は単極性パルスに対して, 明確なしきい値, 方向性, 波形整形作用をもつパルス再生結幅器であることがわかる。

3.2 能動線路としての伝送実験

この PR を多数同軸線路に挿入して, 能動線路を作る場合, しきい値, 方向性, 波形整形作用をもち, パルスを伝送させることができるかどうか, かんたんに調べるために, 図8, 9の構成で伝送実験を行なった。図8は二段の PR を用いて順次伝送されていくパル



(V: 100mV/div, H: 10ns/div)

- (a) $v_i' = 60 \text{ mV}$ (c) $v_i' = 160 \text{ mV}$
 - (b) $v_i' = 100 \text{ mV}$ (d) $v_i' = 180 \text{ mV}$
- v_i' , v_r' は①点で観測
 v_r' は②点で観測

図7 PR の逆方向からの伝送特性 (図2)
Fig.7 Reverse transmission characteristics of the PR (Fig. 2)

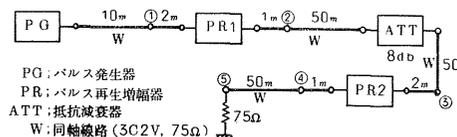


図8 PR 2段と 15 db 減衰区間によるパルス伝送実験
(①, ②, ③, ④, ⑤)波形観測点)

Fig.8 An experimental arrangement for pulse transmission over two stages of the PR and a coaxial cable and an attenuator section of 15db attenuation (Pulses observed at ①, ②, ③, ④).

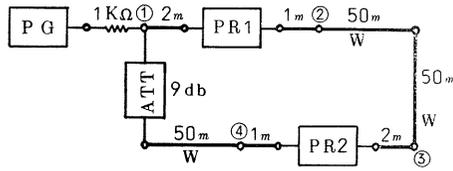


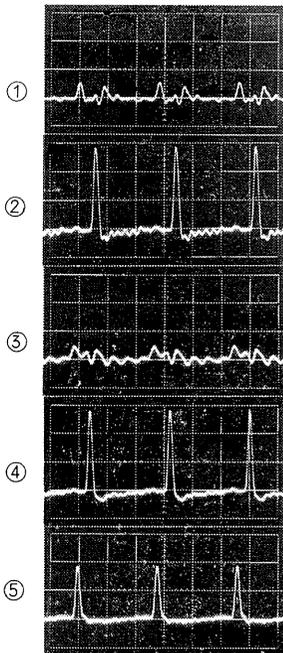
図 9 無限段無限長パルス伝送シミュレーション (①, ④) 波形観測点)

Fig. 9 Simulation of an infinite distance transmission of unipolar pulses (pulses observed at ①, ④).

ス波形を、各点で観測するための実験である。

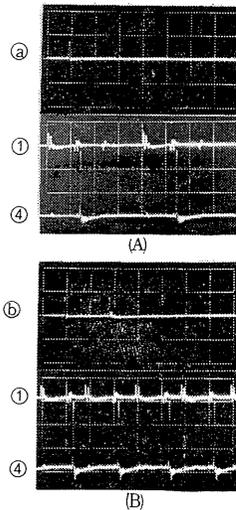
$V_i=60\text{mV}$, $\tau=10\text{ns}$ のパルス①点より送った場合の各点での観測波形を図10に示す。使用した同軸線路 50m の半値幅 10ns のパルスに対する減衰は、約 3.5db であるので、図8の②, ③区間の減衰は減衰器 (8db) を含めて約 15db となる。図10をみると、この区間の減衰を次段の PR2 で再生増幅し伝送していることがわかる。また、PR2 よりの反射波に対して PR1 は動作していない。

つぎに、図8のような区間を無限に接続した場合の伝送シミュレーションとして、図9のようなループを作り伝送実験を行なった。これは、単発のトリガパルスを高抵抗 (1k Ω) を通して、このループ中に送りこむと、①点で二つに分かれ、一つは PR1 で再生増幅され



(V; 100mdiv, H; 50ns/div)

図 10 2段伝送における各点の波形 (図8)
Fig. 10 Waveforms of pulse transmission over two stages (Fig. 8).



(V; 100mV/div, H; 200ns/div)

① 単発トリガパルス
④ 連続した二つの単発トリガパルス

図 11 ループ伝送における各点の波形 (図9)
Fig. 11 Waveforms of pulse transmission over the loop (Fig. 9).

②, ③区間の線路を伝送し減衰され, PR2 でまた再生増幅され④, ①区間の線路と減衰器を伝送し①にもどり, さらに PR1 で再生増幅されるという過程のくり返しを行なうことになり, 無限区間無限長伝送のシミュレーションをしたことになる。二つに分かれた他方のパルスは, ①, ④区間を伝送し PR2 の逆方向に加えられるが, 前述のように, これに対しては PR2 からの反射も透過も小さいので, このパルスは消滅してしまう。二段の PR と区間の長さをちがえたのは反射パルスの影響を調べるためである。

ループを伝送させた結果を図11に示す。(A) が一つの, (B) が二つの単発パルスをトリガとして, ①点に加えた場合の観測波形である。反射波の影響はなく, PR による再生増幅と同軸線路(一部減衰器)による減衰をくり返さうけ伝送されている。

以上の実験の結果より, この PR を同軸線路に多数挿入して, 単極性パルスを伝送させる能動線路を構成できることがわかった。

4. む す び

かんたんな ED・TR 結合回路を用いた PR が明確なしきい値, 方向性, 波形整形作用をもつ単方向性パルス再生増幅器(最大利得約 17db, 方向性約 17db, 消費電力約 20mW)であることを述べ, さらに同軸線路に挿入しての伝送実験より, この PR を用いて単極性パルスの能動線路を構成できることを明らかにした。

なお, この PR の解析はおって報告する予定である。

参 考 文 献

- (1) L. O. Schott: U.S. Pat. 3, 051, 846
- (2) 佐藤, 岩田 ; 信学会通信方式研資. 昭39-09
- (3) 水品 : 信学論(A). Vol. 53-A. No.1. (1970). P. 17
- (4) 小室, 秋山, 本多 : 茨大工研究集報 第19巻 (1971) P. 87