負帰還型パルス伸長回路による裁断波インパルス電圧の ピーク値の測定

正員 横手 裕 治 (大同工大)

正員 今 泉 力 三

正員 宇 野 正 美

Measurement of Chopped Impulse Peak Voltage by Means of Negative Feedback Type Pulse Lengthener Circuit

Hiroji Yokote, Member (Daido Institute of Technology),

Rikizo Imaizumi, Member, Masami Uno, Member

A method of measuring the peak voltage of chopped impulse voltage by means of negative feedback type pulse lengthener circuit is described. By this method, the peak voltage of chopped impulse voltage of width more than 1 μ s can be measured.

キーワード：負帰還回路，パルス回路，過渡現象，裁断波インパルス電圧

1. まえがき

正帰還型パルス伸長回路であるブートストラップ型パルス伸長回路による裁断波インパルス電圧のピーク値の測定については既に報告した⁽¹⁾。

本稿では、負帰還型パルス伸長回路の裁断波応答を求め、本伸長回路がどれだけ狭い幅の裁断波インパルス電圧のピーク値を測定できるかについて検討する。

2. 負帰還型パルス伸長回路の裁断波応答

図1に、演算増幅器を用いた負帰還型パルス伸長回路の回路構成⁽²⁾を示す。図1の回路において、入力電圧を $E_i(t)$ 、出力電圧を $E_o(t)$ 、演算増幅器 A の出力電圧を $E_o'(t)$ 、ダイオード D とコンデンサ C から成る基本パルス伸長回路のコンデンサの端子電圧を $E_c(t)$ とする。また、これらの電圧のラプラス変換をそれぞれ $E_i(s)$ 、 $E_o(s)$ 、 $E_o'(s)$ および $E_c(s)$ とする。バッファ B の遅れ時定数は小さいと仮定して無視する。 r_f はダイオードの順方向抵抗であり、一定と仮定する。

図1の回路の伝達関数は、近似的に次式で表すことができる。

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = -k \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\eta\omega_n s + \omega_n^2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 $\alpha \equiv R_i / (R_i + R_f)$ 、 $\alpha' \equiv R_i / (R_i + R_f')$ とすると、 $k = \alpha / \alpha'$ である。また、基本伸長回路の遅れ時定数は

図1 負帰還型パルス伸長回路

Fig.1. Negative feedback type pulse lengthener circuit.

$T_o = Cr_f$ ($\equiv 1/\omega_o$) であり、図1で R_f' を用いて演算増幅器を閉回路にしたときの遅れ時定数を T_a ($\equiv 1/\omega_a$) とすると、 $\omega_n = 1/\sqrt{T_o T_a} = \sqrt{\omega_o \omega_a}$ である。そこで、 η は次式で表される。

$$\eta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_a}{T_o}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega_o}{\omega_a}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式(1)は、ブートストラップ型パルス伸長回路の伝達関数⁽¹⁾と同形であるので、負帰還型パルス伸長回路の裁断波応答 $-E_o(\bar{t}) / k\bar{E}_i$ は次式で与えられる。

$$-\frac{E_o(\bar{t})}{k\bar{E}_i} = 1 - \frac{2\eta}{\omega_n \bar{t}} \{1 - \Gamma F(\bar{t})\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

入力電圧としては、図2に示すようなランプ波電圧 $E_i(t)$ において $\bar{E}_i$ を一定値に保ち、 $\bar{t}$ を変えることによって、傾きの異なる裁断波が得られる。

式(3)において、 $\Gamma = 1 - 1/4\eta^2$ であり、 $F(\bar{t})$ は式(1)の

図2 ランプ波電圧
Fig.2. Ramp voltage.

特性方程式の判別式 $\Delta = 4\omega_n(\eta^2 - 1)$ の符号により,

$$F(\bar{t})_p = \left\{ \cosh \delta \omega_n \bar{t} + \frac{\eta}{\delta} \sinh \delta \omega_n \bar{t} \right\} \exp(-\eta \omega_n \bar{t}) \quad [\Delta > 0] \dots\dots(4)$$

$$F(\bar{t})_n = \left\{ \cos \delta' \omega_n \bar{t} + \frac{\eta}{\delta'} \sin \delta' \omega_n \bar{t} \right\} \exp(-\eta \omega_n \bar{t}) \quad [\Delta < 0] \dots\dots(5)$$

で与えられる。ただし、 $\delta = \sqrt{\eta^2 - 1}$ 、 $\delta' = \sqrt{1 - \eta^2}$ である。

T_a は測定によって求めることもできるが、これを演算増幅器 A のスルーレート SR に近似できると考えると、使用する演算増幅器の SR の値 $\overline{SR}$ から T_a を求めることができる。ただし、 $\overline{SR}$ は $R_i = R_f' (\approx 1 \text{ k}\Omega)$ の場合の値であるので、 $G \equiv R_f' / R_i > 1$ のときの $\overline{SR}$ の値 $\overline{SR}'$ は $\overline{SR}' = \overline{SR} / G$ として求めることができる。

3. 実験結果

A として用いた演算増幅器 AM500 (DATEL) の $\overline{SR}$ の値は、 $R_i = R_f' (\approx 1 \text{ k}\Omega)$ のときに最大 ($\overline{SR} = 1000 \text{ V}/\mu\text{s}$) であるが、実験では $R_f' / R_i = 5$ ($\alpha = 0.17$) としたので、 $\overline{SR}'$ の値は $\overline{SR}' = \overline{SR} / 5 = 200 \text{ V}/\mu\text{s}$ となる。バッファ B に用いた JFET 2SK28 (東芝) を電圧フォロアとしたときの遅れ時定数は約 5 ns であった。 $r_f = 20 \Omega$ とすると、 $C \approx 200 \text{ pF}$ のときに $\Delta = 0$ となるので、 $\Delta > 0$ となるように $C = 100 \text{ pF}$ 、 $\Delta < 0$ となるように 500 pF を選んだ。図 3 に $C = 100 \text{ pF}$ および 500 pF のときの計算結果および実験結果を示す。

曲線 A は $C = 100 \text{ pF}$ のときの計算結果である。このとき、 $\Delta > 0$ となるので、式(4)を用いて計算を行った。また、この場合の実験結果を●印(曲線 A')で示す。一方、曲線 B は $C = 500 \text{ pF}$ のときの計算結果である。このときには $\Delta < 0$ となるので、式(5)を用いて計算を行った。同様にこの場合の実験結果を○印(曲線 B')で示す。

A/D および D/A 変換器から成る出力電圧保持回路を図 1 の回路の出力端子に接続することによって、入力インパルス電圧が消滅した後も出力電圧を保持できる⁽²⁾。

4. むすび

裁断波インパルス電圧のピーク値を測定する方法として、正帰還型(ブートストラップ型)パルス伸長回路を用いる方法⁽¹⁾については既に報告したが、本稿では、負帰還

図3 計算結果および実験結果
Fig.3. Calculated and experimental results.

型パルス伸長回路を用いる方法について述べた。ピーク値 $\bar{E}_i$ を測定できる裁断波インパルス電圧の最小幅を、 $|-E_o(\bar{t}) / k \bar{E}_i|$ の値が約 0.98 に達する時間 $\bar{t}_m$ とすると、正帰還型および負帰還型のいずれの方法においても $\bar{t}_m$ は約 $1 \mu\text{s}$ である。

今後は、正帰還型パルス伸長回路と負帰還型パルス伸長回路を併用した複合型パルス伸長回路について検討する予定である。

(平成 11 年 7 月 12 日受付, 同 11 年 9 月 13 日再受付)

文 献

- (1)今泉力三・横手裕治・芝口佳樹・宇野正美:「ブートストラップ型パルス伸長回路の裁断波応答」, 電学論 B, 117, 11, 1497 ~ 1498 (1997-11)
- (2)横手裕治・宇野正美:「帰還型パルス伸長回路によるインパルス電圧ピーク値の測定法」, 電学論 B, 114, 1, 38 ~ 44 (1994-1)

横手 裕治 (正員) 1991 年 静岡大学大学院博士課程修了。同年大同工業大学応用電子工学科講師。電子回路の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, IEEE 会員。

今泉 力三 (正員) 1957 年 静岡大学工業短期大学部電気科卒業。同年静岡大学工学部電気工学科助手。電子回路の研究に従事。1998 年同定年退官。

宇野 正美 (正員) 1947 年 東北大学工学部電気工学科卒業。1961 年千葉大学助教授。1963 年静岡大学助教授。1969 年同教授。1989 年大同工業大学応用電子工学科教授。電子回路およびその工業計測への応用に関する研究に従事。1996 年同定年退職。工学博士。電子情報通信学会, IEEE 会員。