

VFC type A/D Converter에 관한 研究

(A Study on the VFC type A/D Converter)

金 春 成*, 李 鍾 珏**
(Kim, Choon Sung and Lee, Chong Kack)

要 約

종래의 VFC type A/D Converter에서는 出力周波數가 수 100KHz까지는 linearity가 좋았으나 出力周波數가 높아 질수록 linearity error가 증가 하였기 때문에 본 연구에서는 出力周波數 領域을 수 MHz 까지 넓히기 위해서 tunnel diode voltage controlled oscillator를 사용 하였고 入力電壓과 出力周波數 사이에 linearity를 改善하기 위하여 negative feedback 회로를 사용하였다.

실험 결과에 의하면 제안된 VFC type A/D converter의 linearity는 最高 出力周波數 3.7MHz까지 0.209%이었다.

Abstract

In previous VFC type A/D converter high linearity characteristics have been achieved to several hundred kHz, and in the converter with maximum output frequency of several MHz, the conversion linearity is poor in upper frequency range.

In this paper the problem of the extension of the output frequency to MHz range is studied in the following two view points; First, a tunnel diode VCO is used to increase the output frequency range to several MHz. Second, the linearity between the input voltage and the frequency of the output pulse is accomplished by using negative pulse feedback circuit.

From the experimental results, it was followed that the linearity of the proposed converter was about 0.209 percent at the frequency of 3.7MHz.

1. 序 論

積分方式 A/D 變換器는 크게 VFC (voltage-to-Frequency converter), voltage-to-time converter, dual slope integration type으로 區分 할 수 있는데, VFC는 變換速度가 낮지만, 回路 構成이 간단하고 linearity 및 stability가 좋기 때문에 工業用 A/D converter, 情報測定, digital voltmeter등 여러 분야에 이용된다. VFC는 reset 型, pulse feedback 型 및 alternate型으로 分類 되는 데, 모두 積分器를 使用하며 入力 電壓에 比例하는 周波數의 pulse train을

發生시키는데 積分器를 使用하여 被變換 入力の 積分值 또는 平均値를 처리하므로 noise의 영향을 적게 받는다. reset 型은 出力周波數가 작은 경우에는 capacitor의 reset 시간이 무시되어 出力周波數가 入力電壓에 比例하지만 周波數가 높은 경우에는 reset 시간을 무시하면 큰 誤差가 생긴다. alternate 積分型은 S.W.의 on, off에 따라 入力の 極性을 바꾸어 계속적인 積分을 행하므로 reset 시간으로 인한 變換誤差가 發生하지 않지만 極性을 바꾸는 시간인 settling time등이 문제가 되어 비교적 高周波數까지는 linearity가 좋다. pulse feedback 型은 negative feedback으로 動作하기 때문에 feedback으로 인하여 linearity를 상당히 高周波數까지 改善 할 수 있다.

일반적으로 VFC는 linearity가 0.2% 以下인 경우에 high linear라고 하는데, 종래의 VFC에서는 出力周波數가 수100kHz까지는 linearity가 좋았으나 出力周

*準會員, 大宥工專電子科

**正會員, 서울大學校 工科大學 電子工學科
(Dept. of Electronics Engineering, Seoul University)

接受日字: 1978年 11月 7日

波數가 높아 질수록 linearity error가 상당히 증가하였고, op-amp를 積分器에 사용하면 帶域幅 및 slew rate등이 問題가 되어 出力 周波數를 높이기가 어렵기 때문에 最大 出力 周波數가 수 MHz인 VFC는 積分方式에서도 linearity가 문제된다.

本 研究는 tunnel diode voltage discriminator인 VCO를 發振回路에 사용하고 出力 pulse의 電壓平均値를 檢出하여 negative feedback 하므로써 높은 出力 周波數에서 좋은 linearity를 갖는 pulse feedback type VFC에 關하여 研究한 것이다.

2. VFC type A/D 變換器의 特性 改善

2-1. System 解析

그림 1에서 각 block의 入力와 出力의 關係는

$$U = a(V_i - E) \dots\dots\dots (1)$$

$$f = k_1 U \dots\dots\dots (2)$$

$$E = k_2 f \dots\dots\dots (3)$$

여기서 a는 差動增幅器의 利得이며, (1) (2) (3)식에서 E와 U를 소거하면 出力 周波數와 入力 電壓과의

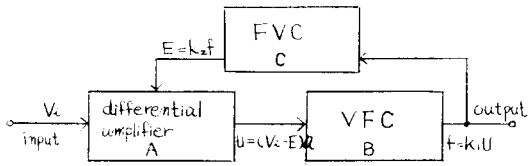


그림 1. 펄스 反饋형 VFC
Fig.1. Pulse feedback type VFC.

關係는

$$f = \frac{ak_1}{1 + ak_1k_2} V_i = kV_i \dots\dots\dots (4)$$

(4)식에서 $ak_1k_2 \gg 1$ 인 경우는

$$f = \frac{1}{k_2} V_i \dots\dots\dots (5)$$

이 되어 入力 電壓과 出力 周波數와의 關係는 block c에 달려 있다. (1) (2) (3)식에서 U와 f를 소거하면

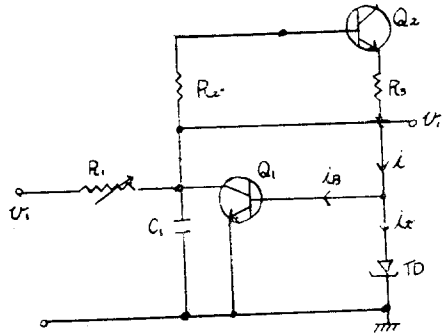
$$ak_1k_2 = \frac{E}{V_i - E} \dots\dots\dots (6)$$

따라서 ak_1k_2 가 充分히 크기 위해서는 $E \gg (V_i - E)$ 를 滿足해야 한다. 즉 E가 될 수 있는 한 커야 하고 $V_i - E$ 는 될 수 있는 한 작아야 한다.

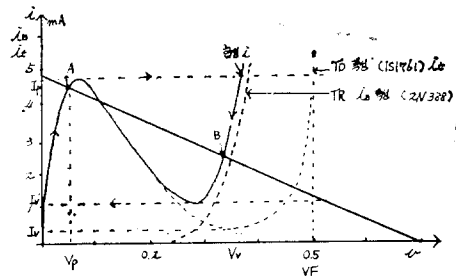
위의 解析에 의해서 이 VFC는 feedback channel인 FVC에 크게 좌우된다. 그러므로 FVC의 入力(즉 VFC의 出力) pulse는 周波數에 關계없이 pulse dur-

ation과 amplitude가 一定하여야 한다.

3-2. VFC 解析



(a)



(b)

그림 2. 전압제어형 발진기
Fig. 2. Voltage-Controlled-Oscillator.

block B는 VCO와 monostable multivibrator로 구성 된다. VCO 부분은 入力 電壓에 비례하는 톨니파를 얻기 위해서 그림 2-a와 같이 tunnel diode voltage discriminator를 利用한다. TD와 transistor를 hybrid로 使用하므로써 그림 2-b와 같은 合成 特性으로 인하여 switching time을 改善하여 放電 時間을 짧게 하기 위함이다.

入力 Vi는 R1을 통해서 C1에 充電된 電壓이 臨界値에 이르면 Q2를 on 시켜 TD를 흐르는 電流가 I0를 넘

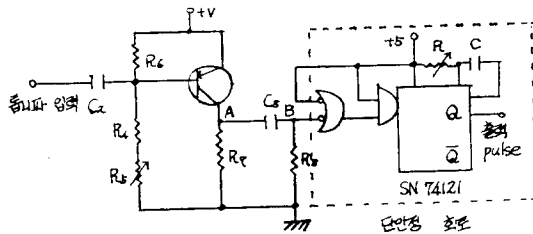


그림 3. 波形整形 回路
Fig. 3. Wave shaper.

어서면 Q_1 이 on 된다. 결국 i_B 의 增加로 인하여 C_1 의 전하는 순간적으로 放電되어 C_1 에서의 파형은 放電시간이 짧은 톱니파가 되어 주파수를 높일 수 있다.

그림 3은 VCO의 出力을 位相反轉하여 微分하고 단안정회로를 이용하여 톱니파를 一定한 pulse duration을 가진 pulse train으로 바꾼다. 미분회로는 단안정회로를 trigger하기에 알맞도록 控制화한다.

3-3. FVC의 解析

그림 4는 VFC (block B)로부터의 pulse들의 電壓을 dc로 變換하여 feedback하는 回路로서 low-pass dc coupled amplifier이다. 傳達函數는

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{R_1}{R} \times \frac{1}{1+jWR_1C_f} \dots\dots\dots (7)$$

따라서 고주파 3dB point는

$$W_T = \frac{1}{R_1C_f} \text{ 즉 } f_T = \frac{1}{2\pi R_1C_f} \dots\dots\dots (8)$$

또 저주파 gain은

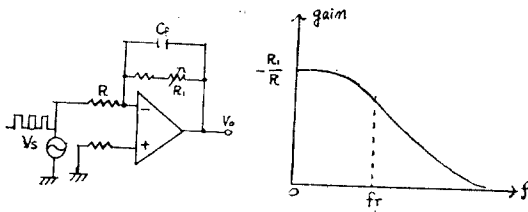


그림 4. FVC
Fig.4. Frequency-to-voltage converter.

$$A_V = \frac{V_o}{V_s} \Big|_{\omega=0} = -\frac{R_1}{R} \dots\dots\dots (9)$$

그러므로 가변저항 R_1 을 調整하므로써 出力 dc 電壓을 調整 할 수 있다. 周波數가 차단 주파수보다 큰 pulse에 대해서는 dc 성분만이 이 lowpass filter를 통과하게 된다.

그림 5는 實驗回路이다. 사진 1은 톱니파 波形이고 사진 2는 出力 pulse 波形이다. 가변저항 R_1 을 調整하면 入力電流를 제어하기 때문에 周波數 range를 調節할 수 있다. feedback을 사용하지 않은 경우는 VCO로부터 2.18V 以下の 入力에서는 톱니파가 발생하지 않았고 linearity는 아주 나빴다. 20°C에서 feedback을 이용한 VFC의 特性은 다음과 같다. (그림 6)

linearity: 0.209%

入力範圍: $0.036 \leq V_i \leq 6.9V$ (R_1 으로 가변)

變換率: $f/V_i = 549kHz/V$

最大 出力周波數: $f_{max} = 3772kHz$ (6.9V)

最少 出力周波數: $f_{min} = 0.74kHz$ (0.036V)

3. 實驗 및 檢討

open loop인 경우는 限定된 範圍의 周波數에서만 linear 했지만 negative feedback인 경우 동작 範圍에서 상당히 linear하다는 것을 實驗을 통하여 확인 하였다. TD를 發振回路에 사용하였기 때문에 짧은 放電時間으로 인하여 出力周波數를 수 MHz까지 높일 수 있었다.

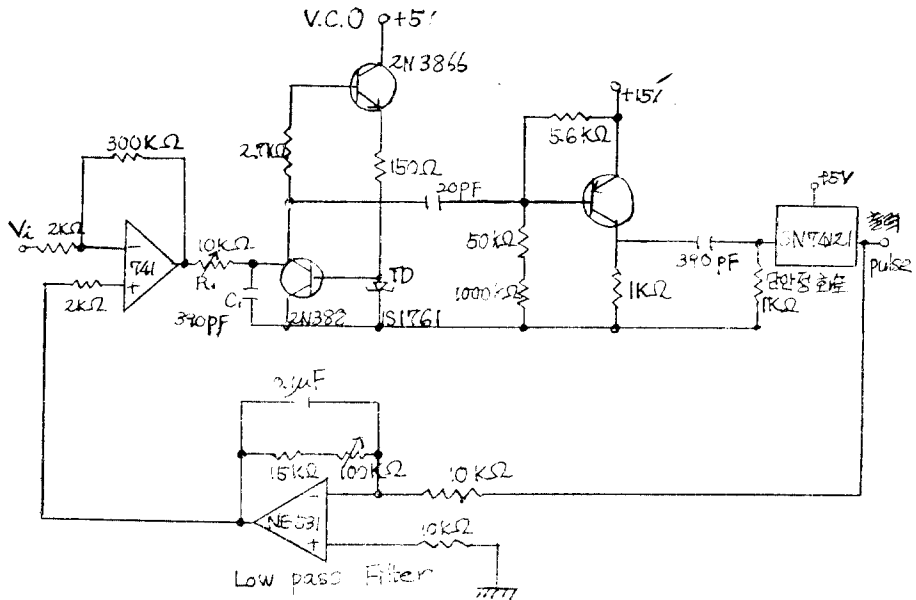


그림 5. 實驗回路
Fig. 5. Experimental circuit.

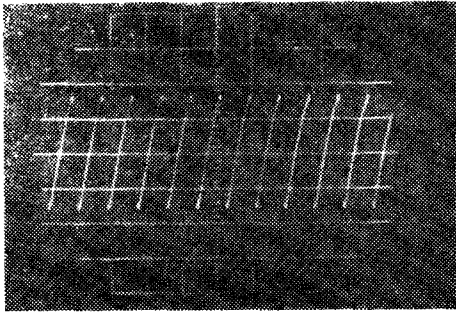


사진 1. 톱니파 波形
(放送時間 : 0. 1 μ s)
Photo. 1. Sawtooth wave(discharge time:0. 1 μ s).

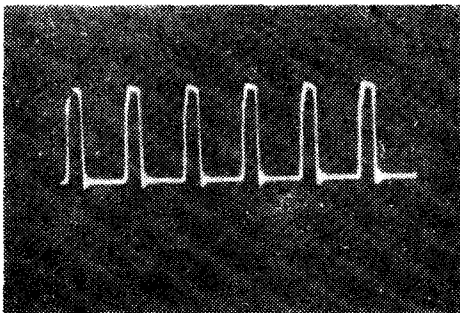


사진 2. 出力 pulse 波형
(duration: 0. 1 μ s, 진폭 3. 85V)
Photo.2. Output pulse waveform.

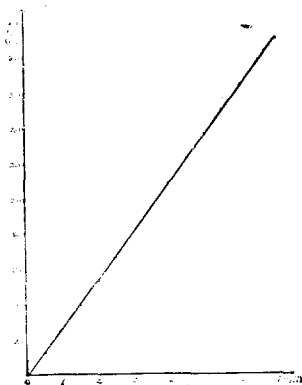


그림 6. feedback인 경우 電壓—周波數 特性
Fig. 6. Voltage frequency charateristic of the feedback type.

5. 結 論

op-amp를 積分器에 使用하면 帶域幅 및 slew rate

문제가 있어 出力 周波數를 높이기가 어렵다. 종래의 VFC type A/D 變換器는 出力 周波數가 수 100kHz까지는 linearity가 좋으나 出力 周波數가 더 높아지면 linearity error가 증가한다. 따라서 最大 出力 周波數가 수 MHz인 廣帶域 VFC에서는 linearity를 고려하지 않으면 안된다.

本 論文은 VFC의 出力 周波數를 MHz 領域까지 擴張시키기 위하여 tunnel diode discriminator인 VCO를 利用하였고, 入力 電壓과 出力 周波數 사이의 linearity를 改善하기 위하여 出力 pulse의 電壓 平均値를 검출하여 feedback 하므로써 높은 出力 周波數에서의 linearity를 改善 하도록 하였다.

全回路를 IC 化 한다면 linearity 및 溫度特性이 더욱 좋아 질 것이다. 또한 상당히 製作과 裝置를 간단히 할 수 있고 동시에 信賴性을 增大 시키며 크기를 줄일 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. D.H. Sheingold, R.A. Ferrero: Understanding A/D and D/A Converters, IEEE Spectrum, Vol.9, No.9, 1972, pp.47~56.
2. E.L. Zuch: Test your V/F Converter IQ, EDN, Vol. 21, No. 8, 1972.
3. John M. Doyle: Pulse Fundamentals, Prentice, Hall of India, New Delhi, 1975.
4. N.I. L'yanova: VFC, Instruments & Experimental Techniques, Vol.20, No.1-1, 1977.
5. K.Taniguchi: A New V/F Converter, IEEE Computers, Vol.24, No.10, 1975.
6. R.A. Kaenel: High Speed A/D Converters Utilizing Tunnel Diodes, IRE Trans, Vol. Ec-10, No.2, June, 1960.
7. Ather Berg, Jr: A/D and D/A Converter Testing, Electronic Design, Vol.7, No.1, 1974, pp.64~68.
8. K. Tanguchi: A New V/F Converter, IEEE Computers, Vol.24, No.10, 1975, pp.1035~1036.
9. J. KON: New V/F with Nonlinearity Correction, Electronic Letters, Vol.13, No.1, 1977, pp.5~6.