

# 簡單한 電壓 調節 周波數 變換器

金 敬 植

## Simple Voltage-to-Frequency Converter

Kyung-sik Kim

### Summary

A simple voltage-to-frequency converter(VFC) is described. The output frequency is relatively independent of power supply and is proportional to controlling voltage for at least three decades. The circuit also exhibits good linearity of voltage to frequency and excellent square and triangle output waveforms over the whole frequency range from 30Hz to 50kHz.

### 緒 言

電壓 調節 周波數 變換器는 analog IC設計에 널리 이용되고 있다(Cordell, 1975, Gilbert and Staut, 1976, KuKielka, 1981, Coughlin, 1982). 이 變換器를 應用하는 대부분의 경우 電壓-周波數 變換이 넓은 周波數 範圍에 걸쳐 線形으로 나타나기를 要求하고 있으며 여러가지 技法으로 周波數를 廣範圍하게 넓히는 文獻들이(Graeme, 1977, Sundaramurthy, 1979, 1981) 報告되었으나 대부분의 簡單한 電壓 調節 周波數 變換器(Hribsek, 1976, Sundaramurthy, 1977, 1981)들은 回路가 複雜하다.

電壓-周波數 變換을 線形化하는 方法은 여러가지 있다, 첫째 方法은 좁은 周波數 範圍內에서 線形을 이루게한 후, 周波數 範圍를 넓히기 위해 먼저 高周波에서 作動하도록 한 다음 heterodyne 原理를 利用하여 필요한 낮은 周波數로 變換시키는 것이다.

Hewlett-Packard의 Spectrum Analysis 1417/8852A/8552B는 이 原理를 利用하여 46.85MHz~17.15MHz 周波數에서 먼저 線形化한 다음 0~300KHz로 變換시켜 線形化 VFC를 이루었다. 이 方法은 回路가 複雜하고 費用이 많이 든다. 두번째 方法(Clayton,

1975)은 調節電壓과 周波數사이 全体에 補償回路를 써서 線形化를 이루는 것으로 이 方法은 設計者의 상당한 技術이 要求될 뿐 아니라 利用性이 多樣하지 못하다. 셋째 方法(Alvsten, 1973, Allen, 1975, Martin, 1981)은 一定한 電流源을 利用하여 콘덴서를 充放電시키는 것으로서 周波數 變化가 可能한 三角波를 만들 수 있으며 波形 再生回路를 통해 矩形波나 正弦波를 만드는 것이다. 이 方法을 利用한 것으로는 Tektronix의 Function Generator TM504/FG501 등이 있다.

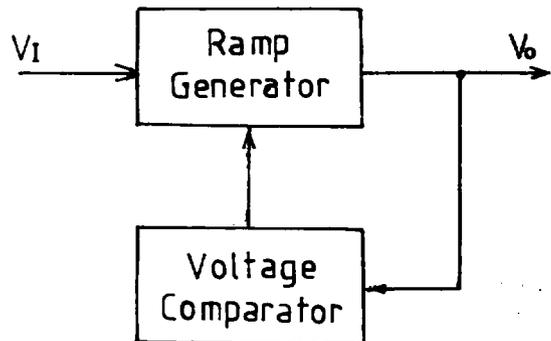


Fig 1. Block diagram of VFC.

本考의 原理는 上記한 세번째 方法에 該當되는 것으로 ramp發生器와 電壓比較器를 feedback시켜 簡單히 電壓調節 周波數變換器를 構成하였다.

理論 및 方法

電壓調節 周波數變換器는 Fig.1과 같이 ramp發生器와 電壓比較器를 feedback 시킴으로서 構成할 수 있다.

Ramp發生器는 Fig.2와 같은 Miller 積分器 로 이룰 수 있으며 이 積分器의 出力電壓은 다음과 같이 된다.

$$V_o = -\frac{1}{RC} \left( \int V_i dt \pm \int V_{i_o} dt \right) \pm \frac{1}{C} \int I_{i_o} dt \pm V_{i_o} \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $V_{i_o}$ 와  $I_{i_o}$ 는 入力 offset 電壓 및 電流이다.

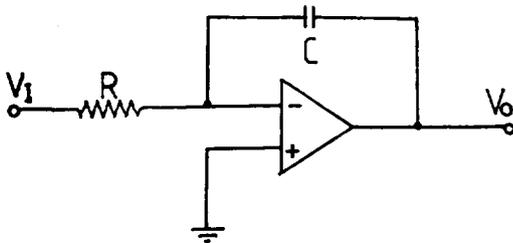


Fig 2. Integrator.

이들 offset 電壓 및 電流의 影響을, offset 電壓 相殺回路 等을 利用하여 極小化 시켰을 경우 出力 電壓을

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt \dots \dots \dots (2)$$

만일 入力 電壓이 dc電壓 即  $V_i = V$ 인 경우 式(2)는 다음 式과 같은 ramp波出力을 얻을 수 있다.

$$V_o = -Vt/RC \dots \dots \dots (3)$$

이 ramp波 發生器에 Fig.3(a)와 같은 스위치를 연결하면 Fig.3(b)와 같은 三角波를 얻을 수 있다. 三角波가 發生되는 原理는 다음과 같이 說明될 수 있다.

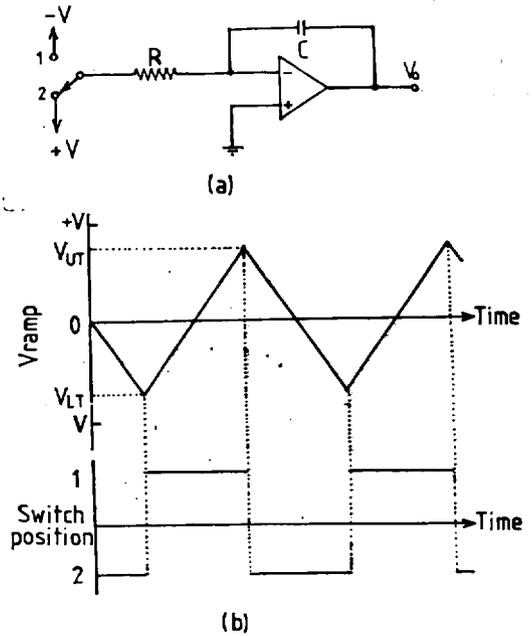


Fig 3. (a) Ramp generator with switch control, (b) Timing diagram showing how to varies with switch position.

만일  $t=0$ 에서 스위치가 위치 2에 있다면 入力電壓이  $+V$ 이므로  $v_o$ 는 기울기가  $-V/RC$ 인 ramp波가 되며  $v_o$ 가 lowerthreshold 電壓  $V_{LT}$ 에 到達될 때 스위치를 위치 1로 移動시킨다면 여기서 부터 기울기가  $+V/RC$ 인 ramp波가 되도록 할 수 있다.  $v_o$ 가 upperthreshold 電壓  $V_{UT}$ 에 到達되면 다시 스위치를 위치 2로 移動시켜 기울기가  $-V/RC$ 인 ramp波로 돌아가도록 하여 이와같은 過程이 계속 되풀이 되도록 할 수 있다면 Fig.3(b)와 같은 三角波를 얻을 수 있다. 이 스위치의 移動은 CMOS 스위치를 利用하여 自動이 되도록 할 수 있으며, Fig.4와 같은 比較器를 利用한 矩形波 發生器를 應用하여 三角波의 기울기에 따

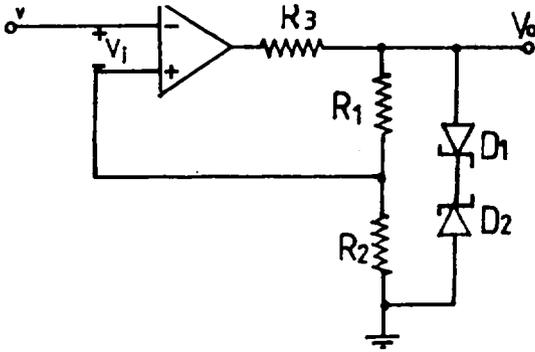
라 一定한 振幅의 可變 周波數 矩形波를 만들 수 있다.

Fig.4의 入力  $v$ 에 三角波를 걸어 주면 OP AMP의 反轉 入力와 非反轉 入力 사이의 入力差  $v_i$ 는

$$v_i = v - \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_o \quad \dots\dots\dots (4)$$

zener diode의 zener 電壓을  $V_z$ , 純方向 電壓을  $V_o$ 라 表示하면,  $v_i < 0$ 일때 出力 電壓은

$$v_o = V_z + V_D = V_o \quad \dots\dots\dots (5)$$



(a)

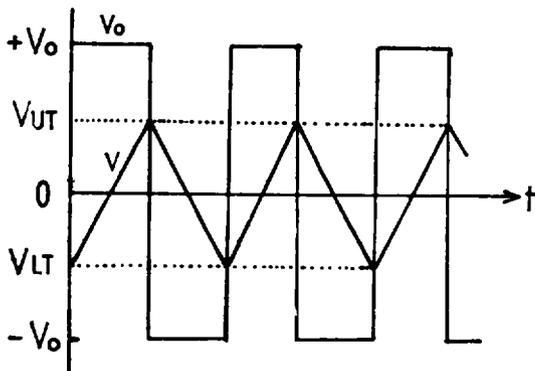


Fig 4. (a) Square wave generator  
(b) Output and triangle voltage waveform.

$v_i > 0$ 인 경우는  $v_o = -V_o$ 가 된다. 또한 出力  $v_o$ 는 入力  $v$ 가  $V_{LT}$ 에서  $V_{UT}$ 로 增加할 동안은  $+V_o$ 로 一定하게 되며 入力  $v$ 가  $V_{UT}$ 에 到達한 후 부터  $V_{LT}$ 에 到達할 때까지는  $-V_o$ 로 反轉된다. 이 原理를 利用하여 完全한 VFC를 構成하기 위하여 CMOS 스위치와 voltage follower를 Fig.5와 같이 比較器와 積分器 사이에 넣고, 또한 利得이 1인 反轉 增幅器를 CMOS 스위치에 연결하여 入力 調節 電壓과 極性이 反對인 電壓을 얻을 수 있다.

Fig.5의 VFC는 周波數가 入力 調節 電壓  $v_o$ 에 의해 決定될 뿐 아니라 出力波形的 振幅이 比較器의 parameter에 의한 값인  $\pm R_2 V_o / (R_1 + R_2)$ 에 의해 一定하게 된다. 比較器의 出力  $v_o$ 가  $+V_o$ 일때 CMOS 스위치의  $Q_1$ 은 OFF이고  $Q_2$ 는 ON狀態로 된다. 그리

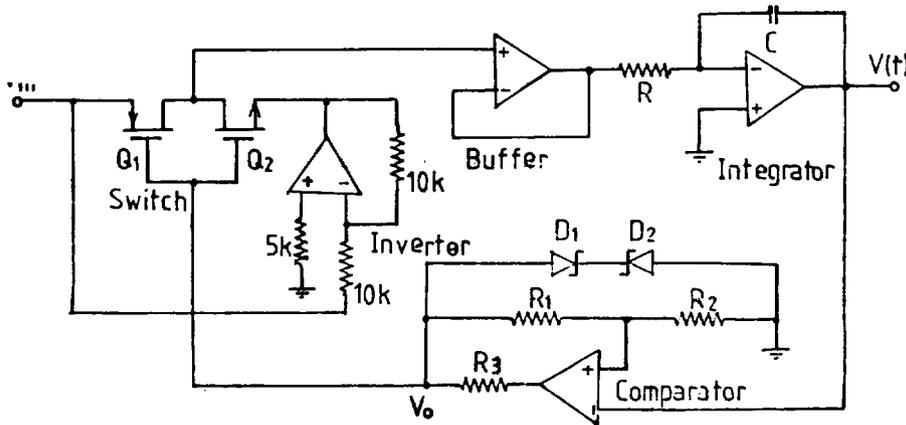


Fig 5. Simple vltag-to-frequency converter.

므로緩衝器의 入力과 出力은  $-v_m$ 이 된다. 따라서 出力  $v(t)$ 는 出力電壓이 比較器의 upper threshold 電壓  $R_2V_o/(R_1+R_2)$ 에 到達할 때까지  $v_m/RC(V/S)$ 의 速度로 直線的으로 增加한다.  $v_o$ 가  $-V_o$  狀態로 바뀌면  $Q_1$ 이 ON  $Q_2$ 는 OFF 狀態로 되어 緩衝器의 入力과 出力이  $+v_m$ 이 된다. 따라서 lower threshold 電壓인  $-R_2V_o/(R_1+R_2)$ 에 到達할 때 까지 出力은  $v(t) = -v_m t/RC$ 인 負 ramp 狀態로 된다. 이와같이 半週期 동안이 서로 對稱을 이루므로 다음 式이 成立한다.

$$\frac{v_m}{RC} \cdot \frac{T}{2} = \frac{R_2V_o}{R_1+R_2} - \left(-\frac{R_2V_o}{R_1+R_2}\right) = 2 \frac{R_2V_o}{R_1+R_2} \quad (6)$$

變換 周波數는

$$f = \frac{R_1+R_2}{4RCR_2} \cdot \frac{v_m}{V_o} \quad \dots\dots\dots (7)$$

이 式은 周波數  $f$ 가 調節電壓  $v_m$ 에 線形的으로 變化됨을 나타낸다.

**實驗結果 및 考察**

實驗에 使用된 OP AMP들은 LF356이며 積分器에는 Mylar 콘덴서를 利用하여 Fig.5의 VFC 回路를 實驗하였다. Fig.6은 實驗에 의한 測定値와 式(7)에 의한 計算値를 比較한 그림으로 入力電壓을 1mV에서 6V까지 變化시키기에 따라 出力周波數가 30Hz에서 50KHz까지 變化됨을 나타낸다. 이 그림에서 두 直線 사이의 기울기 差는 3° 程度로 나타났으며 50Hz부터 50KHz까지는 좋은 直線性을 보여 주며, 周波數 範圍를 擴大시키면 誤差가 增加됨을 보여 주고 있다. 또

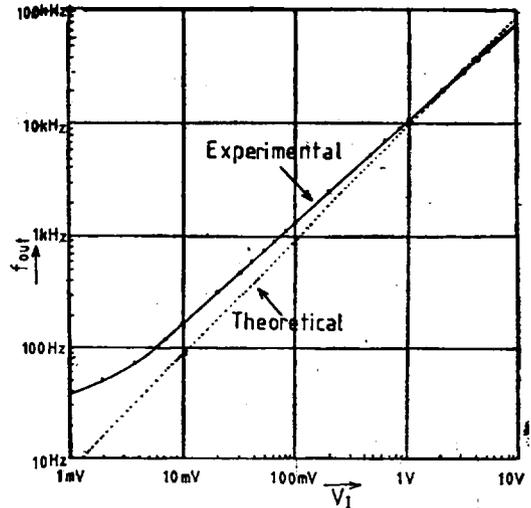


Fig 6. Measured and calculated frequency versus control voltage.

한 timing 素子 R과 C를 適切히 選擇함으로써 願하는 周波數 範圍를 選擇할 수 있다.

**摘 要**

積分器와 電壓 比較器를 適切히 利用하여 간단한 VFC를 이룰 수 있음을 理論的으로 分析하고 實驗에 의해 確認하였다. 出力 周波數는 周波數 範圍가  $10^3$  以上으로 入力 調節電壓이 直線的으로 比例하며 30Hz에서 50KHz까지에 걸쳐 優秀한 矩形波와 三角波 出力을 얻을 수 있다.

**引 用 文 獻**

Allen, P. E. and Parrish, W. J., 1975, A wide range voltage-controlled oscillator, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. M-24, pp. 255-261.

Alvsten, B., 1973, Linearize your V/F converter, Electron. Des., Nov. 8, pp.112-114.

Clayton, G. B., 1975, Experiments with Operational Amplifiers, Macmillan

Cordell, R. R. and Garret, W. G., 1975, A highly stable VCO for applications in monolithic phase-locked-loops, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-10, pp.480-485.

Coughlin, R. F. and Driscoll, F. F., 1982, Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits, Prentice Hall, pp.125-126.

- Gilbert, B., 1976, A versatile monolithic V-F converter, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-11, pp.852-861.
- Graeme, J. G., 1977, Designing with Operational Amplifiers, McGraw-Hill.
- Hribsek, M. and Newcomb, R. W., 1976, VCO controlled by one variable resistor, IEEE Trans. Circuits Syst., vol. CAS-23, pp. 166-169.
- Kukielka, J. F. and Meyer, R. G., 1981, A high-frequency temperature-stable monolithic VCO, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-16, pp.639-647.
- Martin, K., 1981, A voltage-controlled switched-capacitor relaxation oscillator, IEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-16, pp.412-414.
- Millman, J., 1979, Microelectronics, McGraw-Hill, pp.638.
- Staut, D. F. and Kaufman, M., 1976, Handbook of Operational Amplifier Circuit Design, McGraw-Hill, pp.21-5.
- Sundaramurthy, M., Bhattacharyya, B. B. and Swamy, M. N. S., 1977, A simple voltage controlled oscillator with ground capacitors, IEEE Proc., vol. 69, pp.1612-1614.
- Sundaramurthy, M. et al., 1979, A new precision voltage control scheme for the amplitude of oscillators, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-28, pp.55-59.
- Sundaramurthy, M. et al., 1981, A simple technique for precise voltage control of oscillator frequencies, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-30, pp.162-165.