

以乘法器實現電壓控制振盪器

A Voltage Controlled Oscillator by Using a Multiplier

侯俊禮 徐嘉駿 洪君維

Chun-Li Hou, Chia-Chun Hsu, Juin-Wei Hung

摘要

本文提出以乘法器、電感器、電容器為基本元件實現之振盪器,其原理為運用密勒定理之電壓控制振盪器。此架構具有簡單,易於控制振盪頻率之特性。此電路並經過實際之驗證,證明理論之可行性。

關鍵詞：乘法器、電壓控制振盪器、密勒定理

ABSTRACT

This paper presents a voltage-controlled oscillator by using a multiplier, an inductor and a capacitor. The voltage-controlled oscillator is developed by using the Miller's theorem. The benefits of this structure are simple and easy to control the frequency of oscillation. The voltage-controlled oscillator presented in this paper had been proved workable by experiments.

Key words: Multiplier, Voltage-Controlled Oscillator, Miller's theorem

一、序論

電壓控制振盪器(VCO)廣為學者研究,普遍用於 Phase Lock Loop (PLL) 及頻率產生電路[1]-[5],常用於通訊及消費性電子產品,此電路之工作特性為藉由輸入電壓改變,而產生不同頻率之弦波輸出,可作為其他電路參考之時脈輸入,而本篇論文提出之以乘法器為主實現之電壓控制振盪器,只需 2 個被動元件就可以實現,特點為架構簡單,易於實現及可以一輸入電壓調整頻率之振盪器。

二、密勒定理簡介與振盪電路分析

2.1 密勒定理簡介

密勒定理之推導如下[6],由圖 1 可知,從 V_1 之輸入端可以得到電壓與電流之方程式

$$I_1 = Y \cdot (V_1 - V_2) = Y \cdot V_1 \cdot (1 - K) = Y_1 \cdot V_1 \quad (1)$$

由(1)可知 $Y \cdot (1 - K) = Y_1$,將導納 Y 及 Y_1 轉換成阻抗 Z 及 Z_1 分析,

$$\frac{1}{Z} (1 - K) = \frac{1}{Z_1}, \quad Z_1 = \frac{Z}{1 - K} \quad (2)$$

同理,從 V_2 之輸入端可以得到電壓與電流之方程式

$$I_2 = Y \cdot (V_2 - V_1) = Y \cdot V_2 \cdot (1 - \frac{1}{K}) = Y_2 \cdot V_2 \quad (3)$$

由(3)可知 $Y \cdot (1 - \frac{1}{K}) = Y_2$,將導納 Y 及 Y_2 轉換成阻抗 Z 及 Z_2 分析,

$$\frac{1}{Z} (1 - \frac{1}{K}) = \frac{1}{Z_2}, \quad Z_2 = Z \cdot \frac{K}{K - 1} \quad (4)$$

由(2),(4)可知,密勒定理能將浮接導納 Y 等效成接地導納 Y_1 及 Y_2 ,浮接阻抗 Z 等效成接地阻抗 Z_1 及 Z_2 。

2.2 振盪電路分析

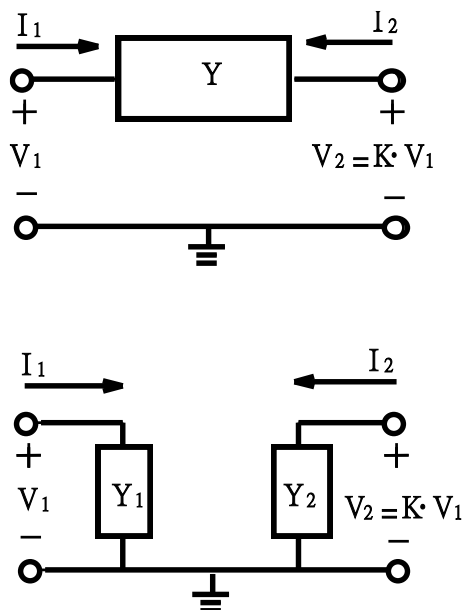


圖 1 密勒定理說明圖

因密勒定理，由圖 2 可以等效成圖 3，吾人可以分析圖 3 之電路，若 Z_1 為電容器， Z_2 為電感器， R 為電感器內的串聯電阻，則分析 V_2' 之輸入端特徵多項式可得

$$SL + R + \frac{1}{S \cdot C \cdot (1 - A_v \cdot V_1')} = 0$$

$$S^2 + S \frac{R}{L} + \frac{1}{L \cdot C \cdot (1 - A_v \cdot V_1')} = 0 \quad (5)$$

由(5)可知振盪頻率及其品質因素 Q 值

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C \cdot (1 - A_v \cdot V_1')}} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C \cdot (1 - A_v \cdot V_1')}}$$

R 通常極小， Q 很大，振盪狀態可發生。

乘法器之輸出端為低電阻輸出，幾乎不隨負載阻抗改變，故不考慮。

三、實驗與驗證結果

實際驗證以 ANALOG DEVICE 公司之

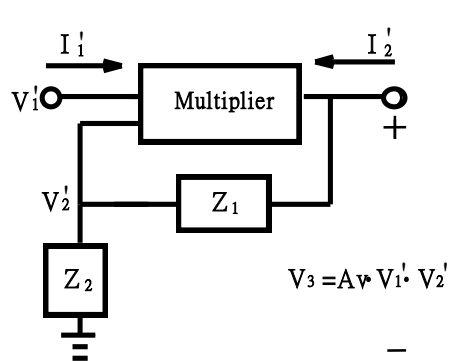


圖 2. 本文提出之電路

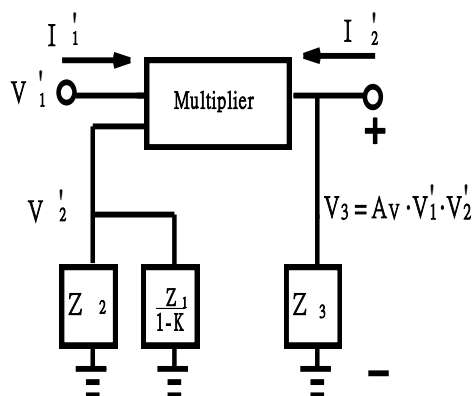


圖 3. 圖 2 之等效電路

AD633[7]進行驗證，AD633 為一四象限乘法器，圖 4 為其之 Function block diagram，輸出方程式為

$$W = \frac{1}{10} \cdot (X1 - X2) \cdot (Y1 - Y2) + Z \quad (8)$$

當接線如圖 5 時可知方程式(5)中之 A_v 為 0.1，本實驗量測使用 HP54825A，茲將實驗結果與理論推導數據列於表一。

由實驗結果可知理想計算值與實際量測頻率相當接近，因實驗所用陶瓷電容器，及電感器本身即有誤差，故實驗量測誤差尚在容許範圍內。

四、結論

本文提出之壓控振盪器經實驗證實理論無誤，為運用密勒定理改變電感器及電容器之諧振頻率，與學者之研究比較[8]-[9]，架構簡單，易於分析及模擬，且只使用 2 個被動元件為其優點，其缺點為振盪頻率易受電容器之電

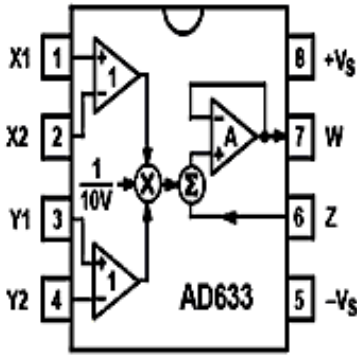


圖 4 AD633 之 Function block diagram

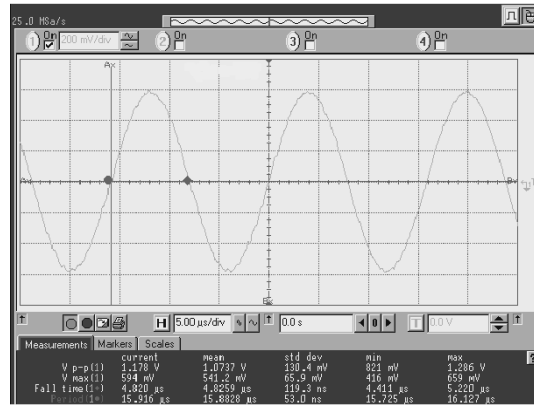


圖 6 輸入 $V_{in}=4.0$ Volts 之量測波形

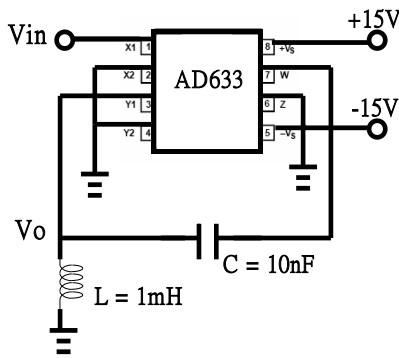


圖 5 本文提出之壓控振盪器接線圖

容值與電感器之電感值誤差所影響，且最高振盪頻率受限於乘法器之頻寬，於電路設計與應用時必須予以考慮。

表一 圖 5 之實驗結果與計算值比較表

V_{in} (volt)	V_o 實際量測頻率	理想計算值	誤差
3.95	62.873KHz	64.705KHz	-2.83%
4	62.961KHz	64.974KHz	-3.10%
4.5	65.155KHz	67.863KHz	-3.99%
5	75.484KHz	71.176KHz	+6.05%
5.5	76.595KHz	75.026KHz	+2.09%
6	78.966KHz	79.577KHz	-0.77%
6.5	80.682KHz	85.071KHz	-5.16%

【參考文獻】

[1] B. Keeth, R. J. Baker, and H. W. Li, "CMOS Transconductor VCO with Adjustable Operating and Center Frequencies," Electronics Letters, Vol. 31, No. 17, pp. 1397-1398, August 1995.

[2] W. F. Egan, Frequency Synthesis by Phase Lock. New York: Wiley, 1981.

[3] R. E. Best, Phase-Locked Loops: Theory, Design and Application, 3rd Ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1997.

[4] F. M. Gardner, "Charge-Pump Phase-Lock Loops," IEEE Transactions on Communications, COM-28, No. 11, pp. 1849-1858, November 1980.

[5] C. R. Hogge, Jr., "A Self-Correcting Clock Recovery Circuit," IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-3, pp. 1312-1314, December 1985.

[6] Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith (1991), Microelectronic Circuit, Oxford University, 3rd Ed., pp. 513-517.

[7] Analog Device Company (2002), Low cost Analog Multiplier AD633, Data sheet.

[8] A. Rodriguez-Vazquez, B. Linares-Barranco, J. L. Huertas and E. Sanchez-Sinencio, "On the Design of Voltage-Controlled Sinusoidal Oscillators Using

OTAs” IEEE TCAS-II, vol. 37, pp. 198-211,
February, 1990

- [9] Linares-Barranco, B. Rodriguez-Vazquez, J.L. Huertas, E. Sanchez-Sinencio, J.J. Hoyle, “Generation and design of sinusoidal oscillators using OTAs” IEEE International Symposium on 7-9 June 1988, pp. 2863 - 2866 vol.3