

振幅調變

一、目的：

利用二極體 $I-V$ 特性曲線的非線性調度正弦波的振幅。

二、原理：

(一) 二極體電路的分析：

圖 1(a) 是由二極體和電阻串聯成的簡單電路。當輸入電壓為 v_i 時，輸出電壓 v_o 是多少？因為二極體的 $I-V$ 關係是非線性的，這個問題無法以簡單的式子解出，我們可借助圖 1(b) 去了解這個問題。

由環路定理知道

$$v_i = v + iR$$

這是二極體的 v 、 i 必須遵守的方程式。它是一直線，它的 x 截距是 v_i ， y 截距是 v_i/R 。

只由這個方程式還無法決定 v 、 i 。必須有另一個 v 、 i 的關係式。由前面一個實驗，我們知道二極體的 i 、 v 。必須符合下面關係式：

$$i = I_0(e^{eV/\eta kT} - 1)$$

它是一條指數上升的曲線。這條曲線和直線的交點 A 就是二極體 v 、 i 值的解。當 v_i 增加時，交點 A 就往上移， v 、 i 值增加；當 v_i 降低時，交點 A 往下移， v 、 i 值減少。這條直線稱為「負載線」，任何非線性元件和電阻串聯的電路都可利用負載線的觀念去圖解。

二極體的 v 、 i 既可求出，我們很容易得到這個電路的 $i-v$ 關係曲線。既然 $iR = v_o$ ， $v_o - v_i$ 關係曲線和 $i - v_i$ 形狀相同。至此我們算完全解出這個問題。

(二) 二極體非線性特性的利用：

由上面的分析知道，二極體串聯一個電阻時，其電流 i 和外加電壓 v_i 的關係如圖 2，其曲線形狀和二極體的特性及電阻的小大有關。

當外加電壓 v_i 不太大時，我們可以把 $i - v_i$ 關係近似地寫成

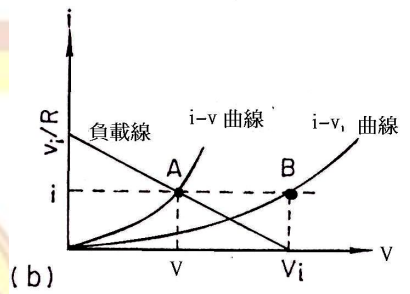
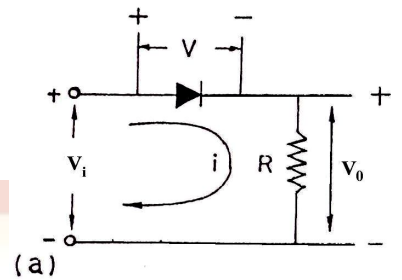


圖 1(a) 二極體、電阻串聯電路。

(b) 圖 1(a) 電路的 $I-V$ 關係。

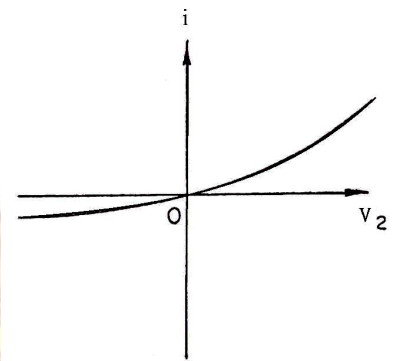


圖 2

$a v_i$ 表示線性部分， $b v_i$ 則代表非線性部分 ($b > 0$) 使 $i - v_i$ 曲線往上凹)。

現在如果把兩個電壓 v_m 和 v_c 串聯輸入如圖 3 之電路中，則

$$v_i = v_m + v_c$$

$$i \approx a(v_m + v_c) + b(v_m + v_c)^2$$

$$= a v_m + a v_c + b v_m^2 + 2 b v_m v_c + b v_c^2$$

$$= a V_m \cos \omega_m t + a V_c \cos \omega_c t +$$

$$\frac{b}{2} V_m^2 (1 + \cos 2\omega_m t) + \frac{b}{2} V_c^2 (1 + \cos 2\omega_c t) +$$

$$b V_m V_c \cos(\omega_c + \omega_m)t + b V_m V_c \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

因此輸出電壓 v_o 包含原來的頻率 ω_m 、 ω_c 、二倍頻 $2\omega_m$ 、 $2\omega_c$ ，和頻 $\omega_c + \omega_m$ 和差頻 $\omega_c - \omega_m$ 。因此二極體可以用來改變信號的頻率，即當作「混波器」。

(三) 環狀調變器：

現在我們要利用二極體做一個振幅調變器，我們希望調變器的輸出為

$$v_o \propto v_m v_c$$

的形式，即兩個信號乘積的形式，因此我們要設法使其其他項消去。

我們用兩個二極體做成圖 4 之電路。第一個二極體所加的電壓為 $v_m + v_c$ ，第二個二極體所加電壓為 $v_c - v_m$ ，但電流方向相反。故

$$i_1 \approx a(v_m + v_c) + b(v_m + v_c)^2$$

$$i_2 \approx -a(v_m + v_c) - b(v_m + v_c)^2$$

$$v_o = (i_1 - i_2)R \approx 2aRv_m + abRv_m v_c$$

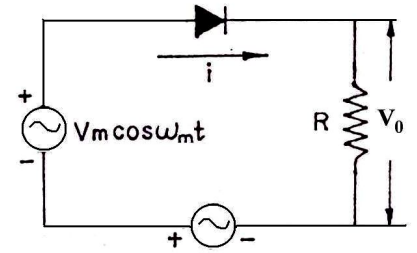


圖 3

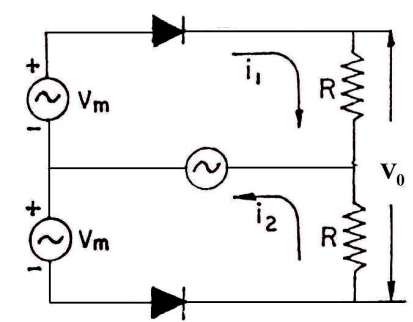


圖 4

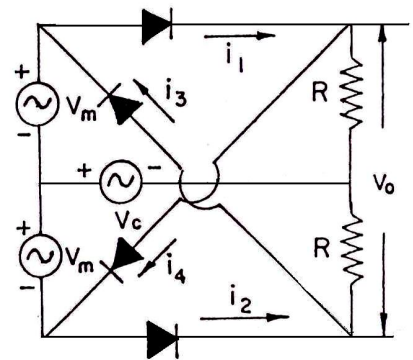


圖 5

這裡仍舊有輸入電壓 v_m 存在，故我們做成如圖 5 由四個二極體組成的環狀調變器，以便消去 v_m 。

i_1 和 i_2 前面已經求出，現在只要求 i_3 和 i_4 。第三個二極體所加的電壓為 $-v_c - v_m$ ，第四個二極體所加的電壓為 $v_m - v_c$ 。若假設這些電流之間不互相干擾，則

$$i_3 \approx a(-v_C - v_m) + b(-v_C - v_m)^2$$

$$i_4 \approx a(v_m - v_C) + b(v_m - v_C)^2$$

由 i_3 和 i_4 所造成的電壓為:

$$(i_3 - i_4)R \approx -2aRv_m + 4bRv_m v_C$$

因此 i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 所造成的電壓輸出為:

$$v_o \approx 8bRv_m v_C \propto v_m v_C$$

終於符合我們的要求。這裡我們以 v_C 代表頻率較高的信號，通常稱為載波，以 v_m 表頻率較低的調變信號。如果 v_m 、 v_C 都是正弦波，則調變過的信號 v_o 的波形如下

$$v_o \propto v_m v_C \cos \omega_m t \cos \omega_c t$$

其實 $v_o \propto v_m v_C$ 這個式子， v_m 和 v_C 為任何波形都成立，並不限於正弦波。我們可以方形波當作 v_m 去調變正弦波 v_C 而得到圖 6(b) 的波形，因此我們可以「開關」一個波形。

實用的環狀調變器如圖 7 所示。調變信號和被調度的載波都由變壓器耦合進入二極體電路，調變後的信號再用變壓器耦合出去。

(四) 調變在通訊上的意義：

當我們要傳送一個信號時，並不能直接把信號發射出去，必須先用它去調變高頻率的載波，然後再把調變過的載波發射出去。其原因如下：其一、如果大家都不調變，結果一定是互相干擾，大家接收到大家的信號。其二、發射天線和接收天線的長度必須為波長的數量級才能有良好的效率，直接把低頻信號傳送需要很長的天線，這對活動的發射機和接收機更不可能。其三、電子電路在低頻率波段雜音較高，直接傳送低頻率信號易受雜音干擾。因此我們用高頻率的信號作載波，此載波被低頻信號調變後發射出去，接收者接到此調變過的載波後再還原成原來的低頻信號。調度的方法最簡單的是振幅調變，即是把傳送的低頻信號的波形直接加到載波上去。情形如圖 8：

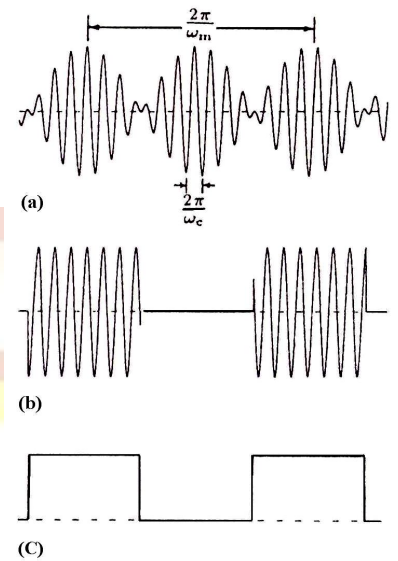


圖 6(a) 以正弦波調變正弦波。
(b) 以方形波調變正弦波。
(c) 所需之方形波調變信號，低電壓必須為零。

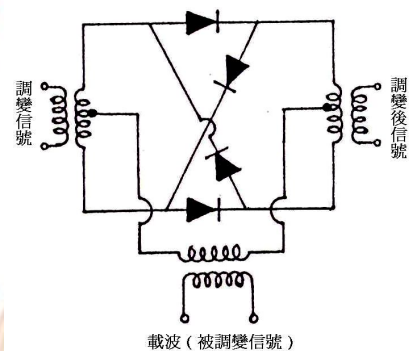


圖 7 環狀調變器。

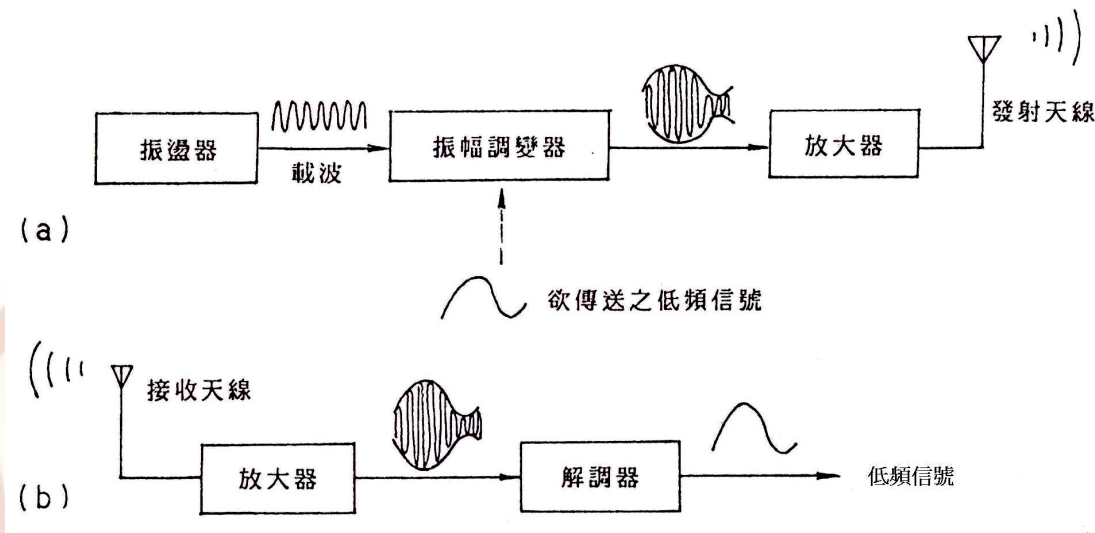


圖 8 振幅調變(a)發射部份 (b)接受部份

一個載波 $V_c \cos \omega_c t$ 被 $V_m \cos \omega_m t$ 調變後可寫成下面形式

$$(V_c + V_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t = V_c \left(1 + \frac{V_m}{V_c} \cos \omega_m t \right) \cos \omega_c t$$

我們定 $m \equiv V_m/V_c$ ，稱為「調變指數」，則上式可寫成

$$V_c (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t = V_c \cos \omega_c t + \frac{m}{2} V_c \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{m}{2} V_c \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

因此這個調變過信號的頻譜如圖 9，包括 ω_c ， $\omega_c - \omega_m$ 和 $\omega_c + \omega_m$ 三個頻率。其實我們要傳送的信號的頻率 ω_m 並不是一個定值，而是一個頻帶。因此 $\omega_c + \omega_m$ 佔了比 ω_c 高的頻帶，稱為「高旁頻帶」，比 ω_c 低的部分稱為「低旁頻帶」。電波的能量和電壓的平方成正比，因此載波的能量和旁頻帶能量比為 $1 : m^2/2$ ，而 $m \leq 1$ ，可見大部分能量浪費在不含信號的載波了。如果採用「環狀調變器」調變過的信號為 $\cos \omega_m t \cos \omega_c t$ 的形式，不含載波頻率，可以節省很多發射機的功率，這種調變方式稱為「雙旁頻帶調變」。其實只要「單旁頻帶」就包含了所有的信息，因此有一個頻帶是多餘的，可以濾除，空出來的頻帶還可以容納另一個頻道，這是電信工程近年來的發展。

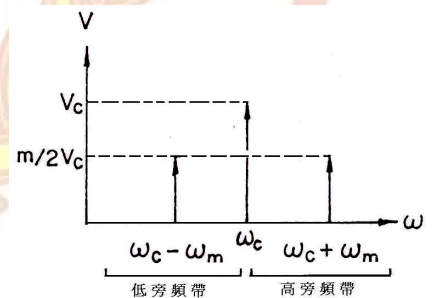


圖 9 調變後信號之頻譜

三、儀器：

示波器、波型產生器、信號產生器、三用電表、數字型三用電表。

四、步驟：

本實驗所使用的四個二極體，特性必須相似，否則調變效果不理想。各組分配到的四個二極體都是挑選過的切勿和他組互換。

(一) 振幅調變的觀察：

1. 電路如圖 10，波形產生器和信號產生器的位置不可錯誤。
2. 波形產生器輸出數 kHz(f_m)的正弦波，信號產生器輸出數十 kHz(f_c)的正弦波。並調節兩者的振幅，使調變的波形最完美。
3. 改變 f_m , f_c 各影響波形的那一部分？以實際測量證明所見波形確是如 $\cos \omega_m t \cos \omega_c t$ 的形式。
4. 波形產生器改輸出三角波，示波器上見到波形為何？

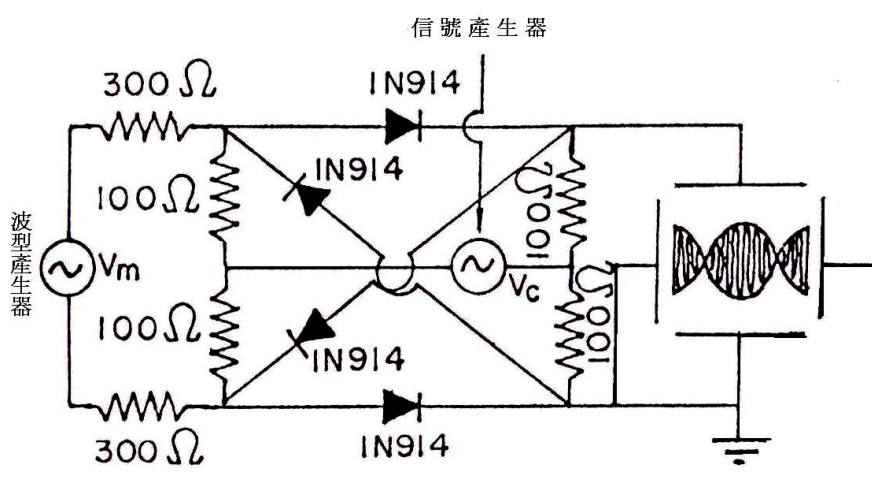


圖 10

(二) 振幅調變波的頻譜：

一個振幅調變過的波形 $\cos \omega_m t \cos \omega_c t$ ，可以寫成

$$\frac{1}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{1}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

的形式，因此包括兩個頻率，一個是 $\omega_c + \omega_m$ ，一個是 $\omega_c - \omega_m$ 。我們可以用一個 LC 串聯共振電路來證明此點(參考圖 11)。 f_m 調到 20 kHz，然後調 f_c 使電路共振，我們可以發現兩個頻率使 LC 共振；一個是 $(1/2\pi\sqrt{LC}) - 20$ kHz，一個是 $(1/2\pi\sqrt{LC}) + 20$ kHz。前者經調變後變成 $(1/2\pi\sqrt{LC}) - 40$ kHz 和 $(1/2\pi\sqrt{LC})$ ，後者經調變後變成 $(1/2\pi\sqrt{LC})$ 和 $(1/2\pi\sqrt{LC}) + 40$ kHz，故都能使 LC 電路共振。

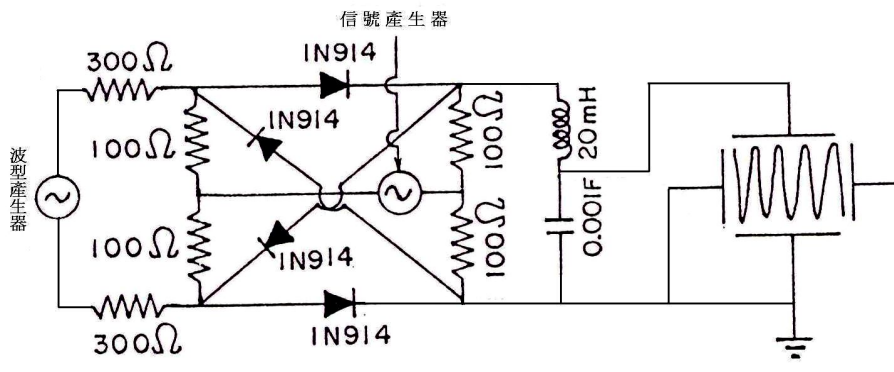


圖 11

(三) RLC 串聯共振電路振幅的增長：

以前 RLC 共振電路的實驗都只看到其振幅的衰減，未看到其振幅的增長情形。現在我們既然可以「開關」正弦波就可以觀察它在正弦波驅動下振幅增長的情形。

1. 電路如圖 11，但波形產生器輸出方形波。方形波的低電位必須為零，波形產生器的直流電壓可用 DC OFF SET 鈕調節，不過這個鈕必須抽出才有效。
2. 將波形產生器的頻率調到幾 kHz。調節信號產生器的頻率，觀察 LC 振盪器振幅增加的情形。解釋何以 f_c 接近共振頻率時波形是如圖 12(a)之形狀，當 f_c 離開共振頻率時，波形是圖 12(b)的形狀。(不要忘了理論力學!)

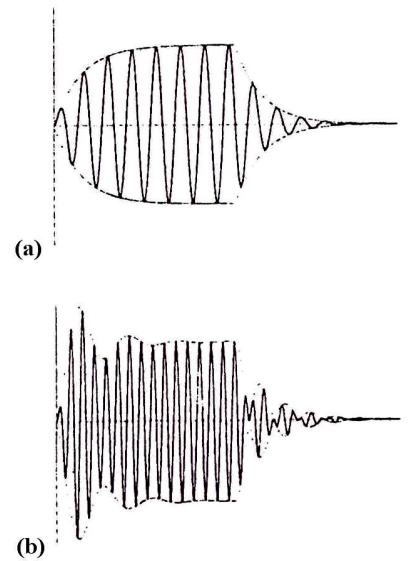


圖 12