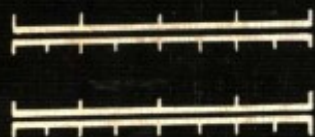


精密電子儀器

李順救 校正 徐永德・梁樹燦・郭震威 編著

PRECISION
ELECTRONIC
INSTRUMENTS



0506



全華科技圖書公司印行

7M 02
697

精密電子儀器

PRECISION
ELECTRONIC
INSTRUMENTS



A0400258



0506

华侨大学
★
图书馆书

299418



全華科技圖書公司印行



全華圖書 版權所有 翻印必究
局版台業字第0223號 法律顧問：陳培豪律師

精密電子儀器

總校正：李順教
主編：徐永德等

出版者 全華科技圖書公司
北市麻江路76巷20-2號
電話：581-1300 · 564-1819
郵政帳號：100836
發行者 蕭而廊
印刷者 慶福彩色印刷廠
東南亞 港明書店
總經理 香港九龍彌敦道500號2樓
電話：3-302846 · 3-309095
定價 新臺幣 220 元
海外定價 港幣 40 元
再版 中華民國69年8月

序

近年來電子技術，無論在元件製造方面，或者在線路創新方面，均發展快速，而在發展過程中所必須依賴之各類電子測試儀器，亦隨之而構造複雜及精密，且不斷在推陳換新，配合應用之中。

本人在各院校，講授“電子儀器設計及應用”有年，每感相關書籍，無論中英文版本，在內容方面，均難以配合新儀器發展之快速，而落後有一段時間。今本書內容即係根據目前最新資料，而將各類精密電子儀器作有系統之介紹，深入淺出，理論應用兼顧，深信對電子從業人員為一極具價值之參考書籍。

國立台灣工業技術學院電子工程技術系第三屆在校同學，為來自電子工業界之一群精英，學識基礎良好，應用各類儀器，且富經驗，今在課業緊張繁忙之餘，集合全班之力，共成此冊，立意至善，熱忱可喜，余感欣慰之餘，特為之序，以資激勵。

李順救

國立台灣工業技術學院
電子工程技術系主任辦公室
民國六十六年五月

爲「科學中文化」

展開一個新紀元

全華科技圖書公司服務科技教育界的精神
將爲「科學中文化」展開一個新紀元。

科學技術，一日千里，陳舊的資料已無法滿足嶄新科技教育的需要。目前國家建設急速推展，科技教育必須再紮根、再推廣，科學中文化、更新教學資料、培育科技人才已是刻不容緩的事。

全華科技圖書公司，爲了推展國內科技教育，乃竭誠編撰了一系列教科書。這些圖書，資料最新、最有系統，完全配合科技教育的需要。我們確信這一系列教科書，將徹底解決國內科技教材的陳舊、缺乏問題，並希望能以此開始，得拋磚引玉的功效，使全國國民共同爲發展國家科技知識而努力，爲「科學中文化」展開一個新紀元。

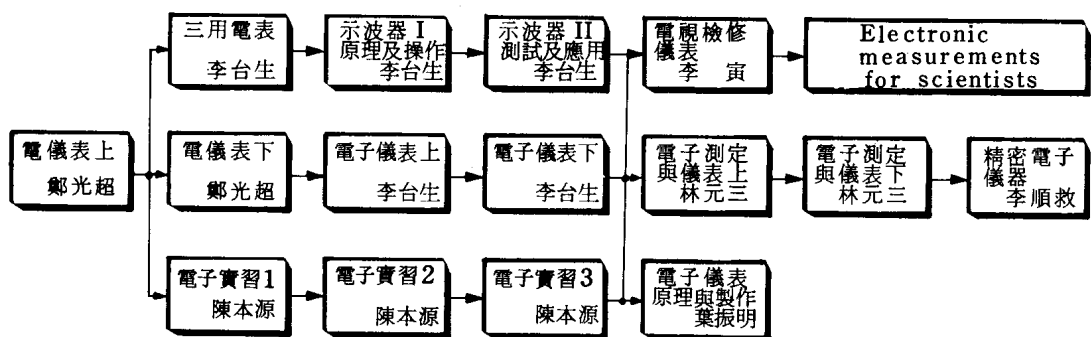
本書編印，審慎小心，我們竭誠歡迎您來信指正。

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所將提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，且循序漸進。

現在，我們將這本「精密電子儀器」呈獻給您，使您能以最短時間瞭解最新儀器的原理與應用。本書除詳加分析目前各種常用儀表的線路外，並對其操作及應用方法作詳盡的論述，此均為目前儀表方面書籍所不易尋獲的資料。本書適合具有電子學與電路理論基礎的電子、電機科系學生和工廠從業員參考之用，可幫助讀者熟悉目前可資利用的各種電子儀器。

同時，為了使您能有順序且循序漸進，研習有關電子儀表課程，我們將全華公司一整套電子儀表系列叢書按深淺順序，以流程圖方式列之於下，只要您按照順序詳加研讀，除可減少您摸索時間外，更可使您具備有電子儀表方面完整的知識，希望您能善加利用。有關以下各書內容除於本書後做單頁簡介外，如您需要更進一步資料時，歡迎來函連繫，我們將可給您滿意的答覆。



Handwritten signature: Hx664/112

目 次

第一章 頻譜分析儀

1-1 概 說	2
1-2 原 理	6
1-3 頻譜分析儀之應用	24
1-4 面板主要控制鈕的認識	29

第二章 儲存式示波器

2-1 概 述	32
2-2 信號儲存原理	33
2-3 184A型儲存示波器方塊圖分析	36
2-4 應 用	45

第三章 雙延遲式示波器

3-1 概 述	50
3-2 方塊圖和各部分主要功能	51
3-3 工作原理及簡單電路分析	56
3-4 應 用	65

第四章 雙束式示波器

4-1 緒 論	80
4-2 面板操作與調整	81
4-3 方塊圖	87
4-4 電路分析	88

第五章 雙跡式示波器

5-1 概 述	97
5-2 HP 1220A與CRC 5041與面板使用說明	103

2 精密電子儀器

5-3 應 用	109
---------------	-----

第六章 半導體特性曲線掃描器

6-1 概 說	122
6-2 面板上開關及旋鈕的功用	122
6-3 面板操作方法及程序	127
6-4 方塊圖及應用	136

第七章 函數波信號產生器

7-1 概 述	152
7-2 電路原理與方塊圖	152
7-3 電路分析	154
7-4 操作方法	160
7-5 應 用	165

第八章 脈波產生器

8-1 概 述	168
8-2 HP-8002A脈波產生器	169

第九章 頻率合成器

9-1 緒 論	186
9-2 簡單工作原理	186
9-3 調制部份	191
9-4 合成訊號產生器之實際應用	196

第十章 向量阻抗儀

10-1 概 述	202
10-2 原 理	202
10-3 HP 4800A向量阻抗電表特性及原理	203
10-4 方塊圖解析	206
10-5 操作方法及應用	208

第十一章 多用計數器

11-1 概 說	214
----------------	-----

11-2 簡要測量電路工作原理	215
11-3 本機的使用方法	220

第十二章 失真儀

12-1 緒 論	228
12-2 方塊圖及電路動作原理	228
12-3 面板操作	237
12-4 應 用	240

第十三章 萬用電橋

13-1 概 說	246
13-2 電橋平衡的原理和方法	246
13-3 HP 4260A的工作原理與線路分析	253
13-4 結 論	255

第十四章 夾上式直流毫安培計

14-1 緒 論	260
14-2 方塊圖及工作原理簡述	260
14-3 儀器面板操作及測試程序	265

第十五章 Q值表

15-1 概 說	272
15-2 基本原理	272
15-3 測試方法	275
15-4 電路分析	281

第十六章 數字式複用表

16-1 概 說	290
16-2 面板操作與校準說明	291
16-3 電路工作原理及分析	294
16-4 應 用	307

參考資料	313
------------	-----

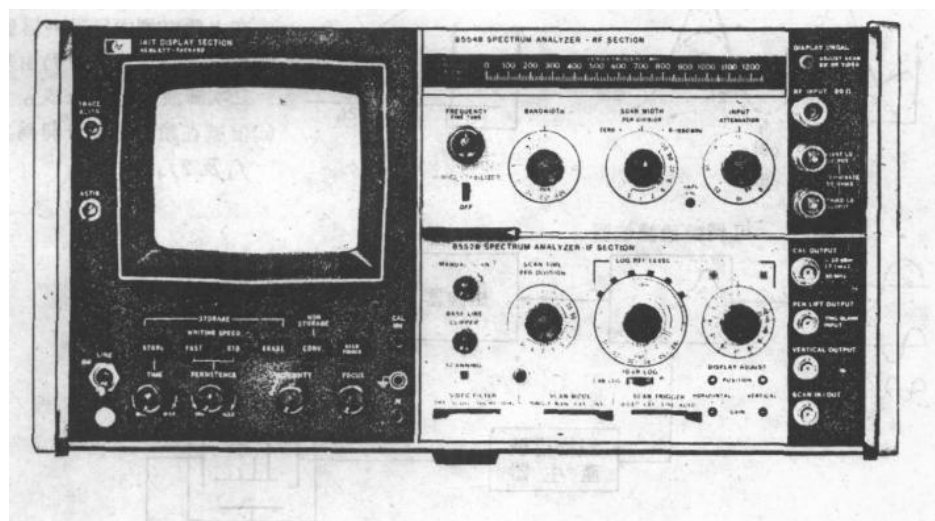
索 引	315
-----------	-----

1

作者：何建業 郭震威 謝進男
沈金德 羅鑑塘 梁樹燦

頻譜分析儀

RF SPECTRUM ANALYZER



1-1 概 說 (General Description)

一、時域和頻域 (Time Domain & Frequency Domain)

普通要在一示波器觀察一信號，都以時域的方法來觀察，即以橫軸代表時間，縱軸代表振幅（電壓的大小），用此方法可以得到信號間的相位，及信號與時間的關係。但是，如果所有電路都用時域的資料當作電路之特性是不夠的。放大器（Amplifier），振盪器（Oscillator），混波器（Mixer），調諧器（Tuner），及檢波器（Detector），濾波器（Filter）等電路元件，必須由頻率響應之資料來說明此等特性。因此關於此種頻率之資料是將信號用頻域

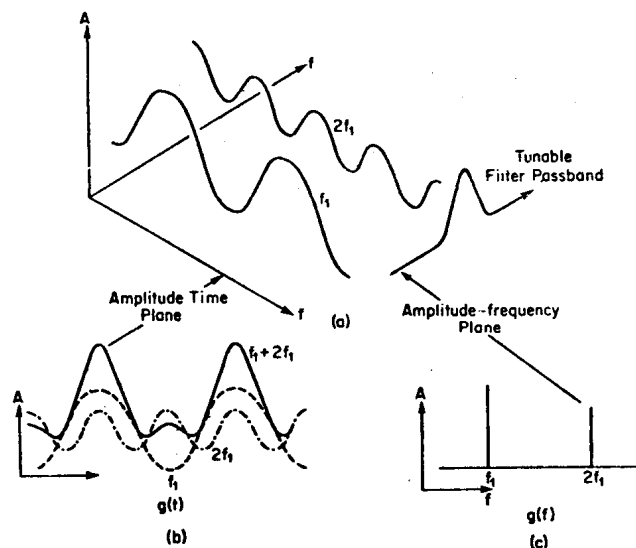


圖 1-1 一信號在時域與頻域的關係

(a) 時間 (t)，振幅 (A) 與頻率 (f)

在立體座標中呈現一信號的關係。

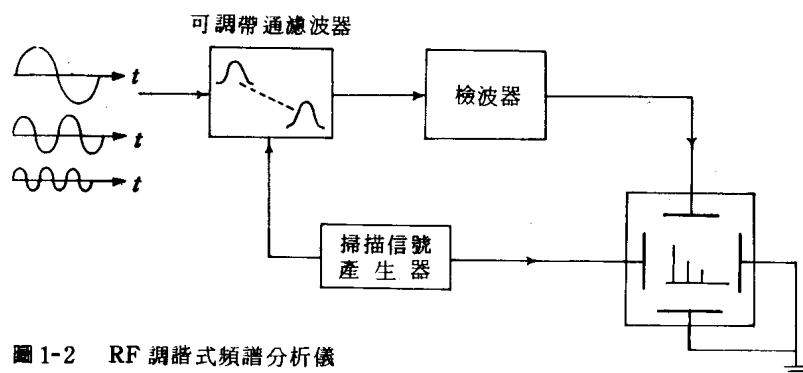
(b) 信號在時域呈現，乃由基波 f_1 及第二次諧波 $2f_1$ 之合成。(c) 信號在頻域則被分開為二純弦波， f_1 及 $2f_1$ 。

圖 1-2 RF 調諧式頻譜分析儀

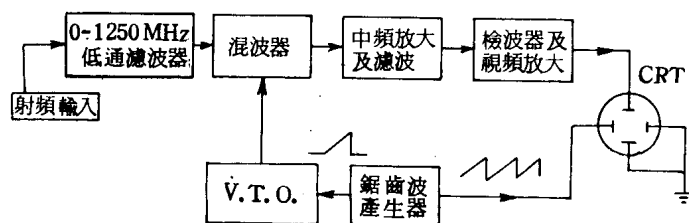


圖 1-3 超外差式頻譜分析儀

的方式來觀察，亦即以橫軸代表頻率，縱軸代表振幅。此種以頻域方式將信號呈現於示波器螢光幕上之儀器謂之頻譜分析儀 (Spectrum Analyzer)。

圖 1-1 說明了時域與頻域之關係，此立體座標的各軸分別代表時間 (t)，頻率 (f)，振幅 (A)，設一信號含有二次諧波以上之弦波，便可以經由此立體座標加以分析說明。

在時域中，觀察一非純正之正 (餘) 弦波信號所顯示出之軌跡乃是由正 (餘) 弦的基本波 (Fundamental) 和若干諧波 (Harmonic) 所組成。但在頻域中，非純正的弦波信號 (即此信號由若干頻率不同之純弦波形所合成) 的各頻率成分被分析開，而在以頻率為刻分之軸上，分別對應顯示出來。

由以上可知，頻譜分析儀仍是為了將一含有許多頻率的信號，用頻域方式來呈現，而能識別在各個頻率的功率電平 (指其振幅而言) 的裝置。因此，在以頻域方式的信號解析中，頻譜分析儀可以說是不可缺少的儀器。

二、頻譜分析儀的調諧方式

(A) RF 調諧方式

在掃描調諧型的頻譜分析儀中，有 RF 調諧方式及超外差等二種方式。圖 1-2 所示為 RF 調諧方式的頻譜分析儀的方塊圖。此方式是用一帶通可調的輸入濾波器 (Tunable Filter)，由一掃描器來調變其帶通，進而使相關的頻率信號通過加至垂直偏向板上；並使 CRT (陰極射線管) 的水平軸受掃描器頻率同步之控制，使不同的頻率信號在水平軸上分別對應地呈現。用此種方式構成由於較簡單，能包含很廣的頻率範圍而價錢便宜。但靈敏度及頻率特性等性能較差，且濾波器的通過頻帶固定，亦即頻率的解析度無法改變。

由於此種調諧型的頻譜分析儀比較經濟及其所能測量的頻率範圍很寬，故於微波頻帶的頻譜分析常常用此方式，但用此方式，並不能同時表示頻譜的全部頻率，而只能表示在該瞬間的某一頻率。因為此種方式是以掃描器來調變濾波器的帶通，故掃描器的掃描速度不能太快，通常在數 MHz/SEC 左右。當掃描超過此值，則濾波器對信號的響應尚未達百分之百時，濾波器的帶通範圍已改變，故所測出的值往往會較原來小而不準確。

(B) 超外差方式

目前頻譜分析儀使用最廣的方式是超外差掃描方式。圖 1-3 是其方塊圖。其構成類似窄頻帶的超外差接收機。此種方式乃將輸入濾波器的帶通固定，而用一頻率可調變的本地振盪器作為頻率的掃描，亦即將鋸齒波電壓加至電壓調變型的本地振盪器 (Voltage Tuned Oscillator) 上，使之產生隨時間而作線性地變化而變化之振盪頻率。將此可變之振盪頻率與輸入信號在混波器混合之後，產生出一中頻。此中頻成為接收機之輸出，加至 CRT 的垂直偏向板，且鋸齒波電壓亦同時加至水平偏向板，結果在螢幕上顯示出之信號為頻率與振幅的對應關係。圖 1-4 (a) 為鋸齒波與振盪頻率，振盪器信號與輸入信號混波之關係；圖 1-4 (b) 為混波後所產生之中頻呈現在螢幕上的情形。當輸入信號經混波後，會產生三種中頻的可能 (或更多，請參考十二頁之混波原理)；其公式如下：

$$f_{IF} = \begin{cases} f_{LO} + f_{RF} & \dots\dots\dots(1) \\ f_{LO} - f_{RF} & \dots\dots\dots(2) \\ f_{RF} - f_{LO} & \dots\dots\dots(3) \end{cases}$$

(1)式所產生之中頻其頻率遠高過析譜儀內中頻濾波器的諧振頻率 2GHz，故不能為此儀器所

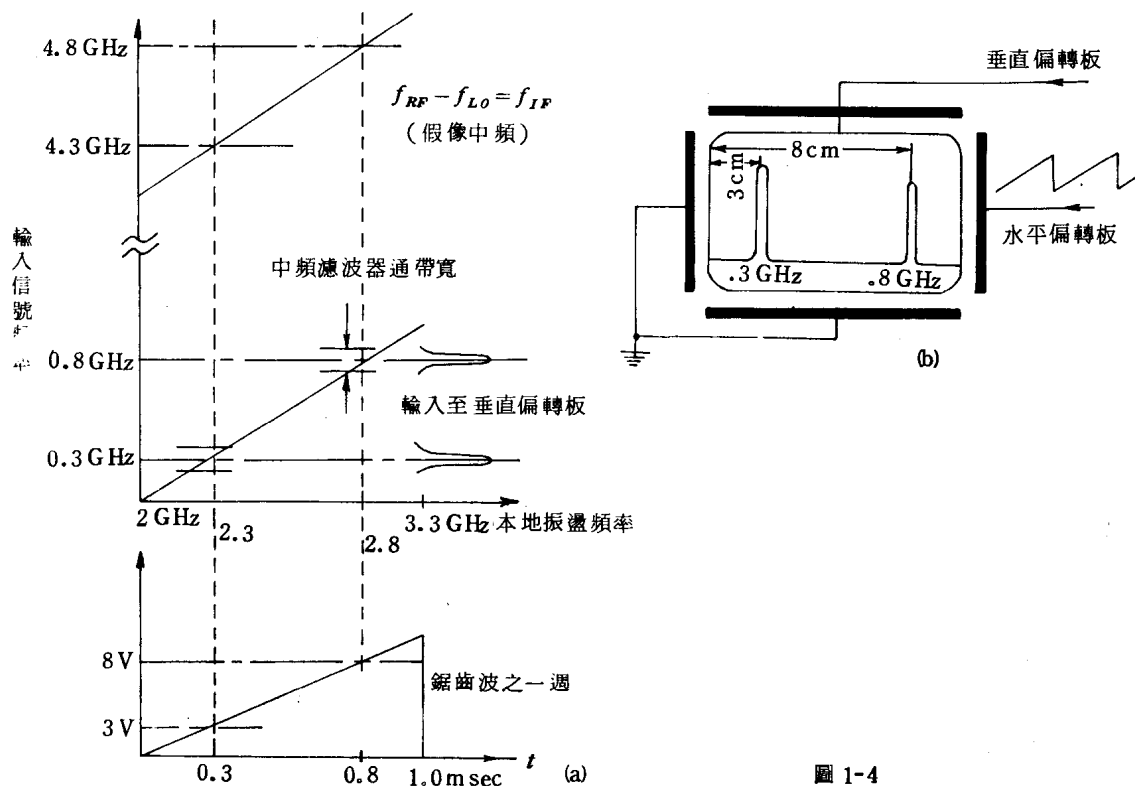


圖 1-4

接受。又(3)式所產生之中頻，其輸入信號之頻率 f_{RF} 必須比 f_{LO} 高，而本儀表之振盪頻率調變由 2GHz 到 3.3GHz，又本儀表之輸入線路只能接納由 0 到 1.25 GHz 之信號，故此種比振盪頻率還高之射頻（一般稱為影像頻率）首先被摒棄於本儀表之外。故最後只有第(2)式所產生之中頻才為正確之中頻信號。前面已說過，鋸齒波信號同時加至本地振盪頻率調變線路及水平偏向板。設鋸齒波在 0.30 msec 及 0.8 msec 時分別為 3V 及 8V，加到調變線路而使振盪器分別產生 2.3 GHz 及 2.8 GHz，與輸入信號 0.3 GHz 及 0.8 GHz 相混合，均產生 2 GHz 之中頻，但請注意此二個中頻產生之時間相差 $0.8 - 0.3 = 0.5$ msec。同時鋸齒波信號加至水平偏向板分別使電子束掃描至 3 cm 及 8 cm 的位置。故促使 0.3 GHz 信號產生之中頻出現在螢光幕 3 cm 處而 0.8 GHz 產生之中頻出現在 8 cm 處。由圖 1-4 (b) 可看出此二信號與振幅之對應關係。當然，2 GHz 之中頻不會馬上加至 CRT 之垂直偏向線路，需經若干級之變頻（至低頻信號）以及放大，以增加分析儀對頻率的解析度（Resolution）以及對信號的靈敏度（Sensitivity）。（請參考三）

一般來說，超外差式的析譜儀混頻以後的中頻因放大之故，而得到較高的靈敏度，且改變中頻濾波器的頻帶寬度，能容易地改變頻率的解析度。但由於超外差式的分析儀是在頻帶

內掃頻之故，因此無法得到即時 (Real Time) 的分析 (瞬間地分析全部頻譜)，除非使掃描時間趨近於零。故欲得到與即時分析儀的性能一樣的超外差式分析儀，其掃描速度要非常之快。若用比中頻濾波器之時間常數小的掃描時間來掃描的話，則無法得到信號的正確振幅。因此，欲提高分析儀之頻率解析度，且要得到準確之響應，掃描之速度要適當。

由以上的理由可以知道，在超外差的分析儀中，無法分析瞬時信號 (Transient Signal) 或脈衝信號 (Impulse) 的頻譜，而主要應用在測試週期性的信號及其他雜散信號 (Random Signal)。

三、頻譜分析儀的操作特性

1. 頻率解析度和頻帶寬 (Frequency Resolution and Bandwidth)

頻率解析度乃是頻譜分析儀對一些頻率相隔很近之信號區分的能力。有二個因素決定此解析度：一為中頻放大器的頻帶寬或曰選擇性 (Selectivity)；另一為分析儀本身頻率的穩定度 (Stability)，此穩定度決定於頻率漂移 (Drift)，殘餘之 FM 信號 (Residual FM)，以及本地振盪器之雜音。圖 1-5 為一典型濾波器對頻率之選擇特性。圖 1-6 乃是此濾波器對信號之分析能力。若二等幅而相隔 20 KHz 之信號，在螢光幕上可分析而呈現出 (如圖 1-6 (a))。若二信號振幅相差 60 dB，則此二信號必須相隔 70 KHz，方能被分析開，而能將二個信號呈現在螢幕上。

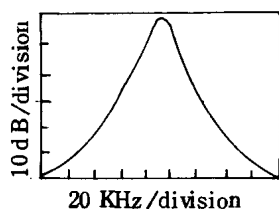


圖 1-5 10 KHz 3 dB 頻寬之選擇特性。

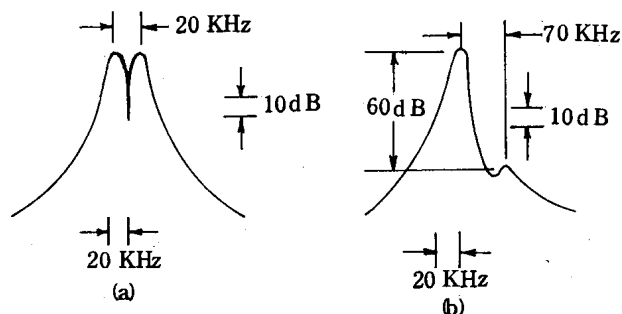


圖 1-6 中間下降位置仍是由於二信號相位互相消除之因
(a)表二等幅信號以 20 KHz 分開(b)二信號在幅度上差 60 dB，而以 70 KHz 分開。

2. 掃描之靈敏度衰減 (Sweep Desensitization)

掃描靈敏度衰減乃是由於頻譜分析儀之掃描速度太快所致，它將造成對振幅，選擇性與解析度的損失，但是它仍可以加以改善。當掃描信號被維持在中頻濾波器之頻帶而有足夠長的時間允許信號之幅度在濾波器中建立一個適當值，則有一簡單之規則就可避免掃描靈敏度之衰減，即掃描每秒之速度 (Hz/sec) 不可超過中頻濾波器 3 dB 頻寬 (Hz) 之平方。

3. 靈敏度 (Sensitivity)

衡量最微弱信號檢出之能力稱靈敏度。而最大靈敏度是由分析儀內所發生之雜音來決定。其內部產生的雜音有二種，即熱雜音及其他雜音。熱雜音之電功率為

$$P_N = KTB$$

P_N ：雜音電功率

K ：Boltzman Constant (1.38×10^{-23} Joule/°K)

T ：絕對溫度 °K

B ：用 Hz 表示系統之頻帶寬

由此式可知雜音大小直接與頻帶寬度成比例，因此，分析儀之分解能力頻帶寬下降 1/10，則雜音水準減少 10 dB，靈敏度也就改善了 10 dB。

分析儀之內部雜音中，也發生熱雜音以外的雜音，因主動元件不是線性，又由於阻抗不匹配之緣故，而發生了 Spurious 放射，這些即成為雜音。在一般中，熱雜音以外的雜音用雜音指數表示，加上熱雜音成為系統內之總雜音。分析儀由 CRT 上所被測量出之系統總雜音決定出最高靈敏度，因雜音電平隨分析能力之頻帶寬而變化，因此在比較二部分分析儀之靈敏度時，一定要在相等頻寬之情況下來比較。

頻譜分析儀靈敏度之定義有各種方法，其中在實際使用中最便利的是用雜音電平來決定，即“信號電功率電平 = 平均雜音電功率電平”，用數學式表示則為

$$\frac{S+N}{N} = 2$$

S ：信號電功率電平

N ：平均雜音電功率電平

圖 1-8 為在室溫內熱雜音電平對頻寬之關係。

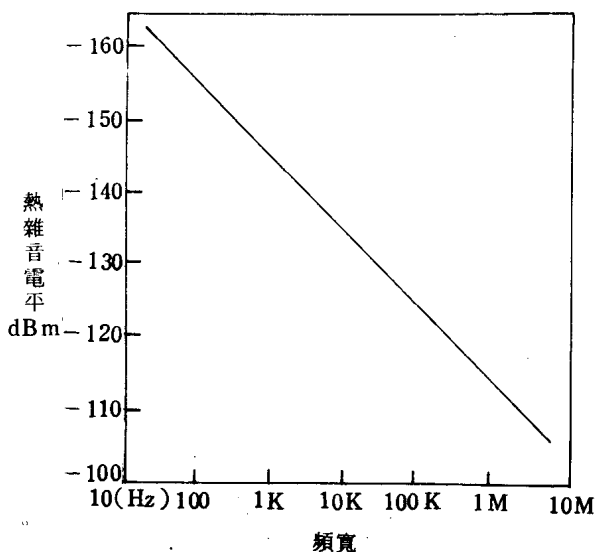


圖 1-8 熱雜音電平對頻寬之關係

1-2 原 理

本節所敘述之工作原理，乃以惠浦公司之頻譜分析儀作為討論依據。讀者在未閱讀本節之前，可先認識面板以預先瞭解本儀表所具備之功能；如此才能明白以下所敘述之工作原理

以及特殊線路簡述，其之所以使用此原理以及若干特殊線路之緣由。(面板認識請參考1-4)

一、工作原理

請參考方塊圖，圖1-9。因本儀表最大能測量之頻率範圍由0~1250MHz，故被測信號首先進入

1. 輸入線路

一個對頻率由0~1250MHz之響應平坦的電容器，將信號耦合進來，並將信號中會損壞第一級變頻器之二極體的直流成分隔除。為了使本儀表有很高的振幅解析能力，加一個可由0調到50dB的衰減器。如此不但可避免變頻後之信號因輸入信號太強而失真；並可對其他不需要的雜信號(Spurious Signal)排除，因衰減10dB，對主要輸入信號之振幅衰減不大，而對原來就很小的雜信號振幅衰減很多。為了只使0到1250MHz之信號進入，此處以一低帶通濾波器，其截止頻率止於1500MHz。最後以一3dB的衰減器作為此線路輸出與下一線路輸入間的隔離，以防止互相反饋的現象。如此信號才進入

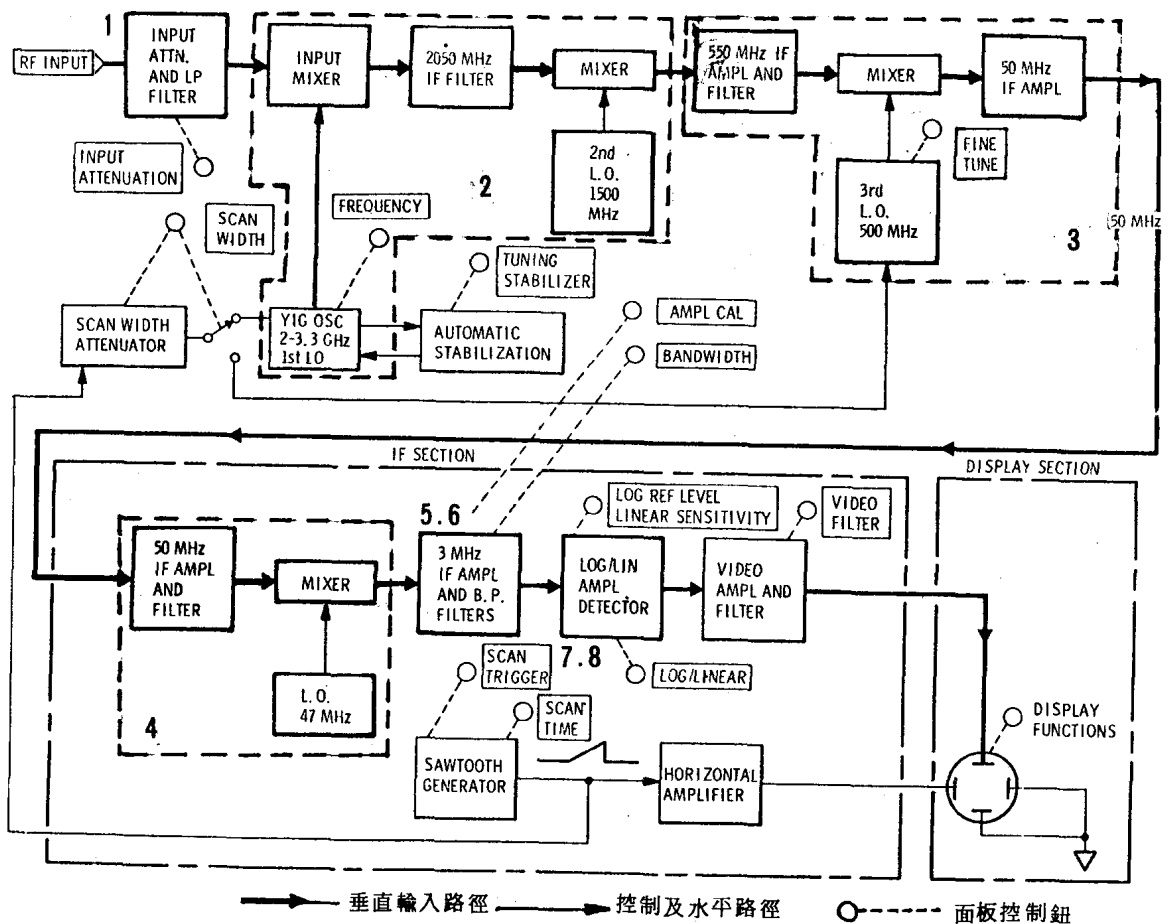


圖 1-9 本儀表之方塊圖

2. 第一級變頻及第二級變頻組合線路

當被測信號進入第一級變頻器，與第一級本地振盪信號混合而產生第一中頻，其頻率為 2050 MHz。此處之變頻器乃以匹配二極體對 (Matched Diode Pair) 來達成任務 (參考二、2(2))，而第一級振盪器是一個稱為 YIG 調控振盪器 (Yttrium-Iron-Garnet Controlled Oscillator)：係利用外加電流源之變化來改變磁場，而振盪器的諧振頻率隨其周圍之磁場變化而調變。(參考二、1(1))。在最大測量頻率範圍時，其頻率由 2050 MHz 調變至 3300 MHz。爲了只輸出之中頻值只等於 2050 MHz ($f_{Lo} - f_{RF}$)，故變頻之後以一個三空腔體濾波器 (Three-Cavity Filter) 及一個薄膜濾波器 (Thin Film Filter) (參考二、3)，將 2050 MHz 以外之信號隔除。但 2050 MHz 之中頻對示波器而言，其頻率乃太高不易處理，故與第二級振盪器——振頻為 1500 MHz，共同進入第二級變頻器，進而產生第二中頻 550 MHz。第二級變頻器即一個二極體，利用其特性曲線之非線性段來變頻 (參考二、2(1))。而第二級振盪器電路乃採用空腔共振器 (參考二、1(2))，其振盪頻率固定在 1500 MHz。當然，我們只需要 550 MHz 之中頻信號出來，故需要一濾波器將 2050 及 1500 MHz 信號隔除。最後只有 550 MHz 之信號進入

3. 第三變頻組合線路

在未進之第三變頻器前，將信號先予以放大並再經過一濾波器，以增加信號之選擇性。第三級變頻器爲一組雙平衡二極體對所組成。而第三級振盪器乃是一以電壓調頻振盪器 (Voltage Tuning Oscillator, VTO) (參考二、1(3))。由於本儀表對頻率測量範圍可選擇，當儀表選用在寬頻帶掃描時 (0.5 MHz/DIV 以上)：即螢幕上可觀測的頻率範圍為 0.5 MHz/DIV $\times$ 10 DIV = 5 MHz 以上時，則第三級振盪頻率固定在 500 MHz (此時第一振盪器依面板所選之單位頻寬來掃頻)；而當應用在窄頻帶掃描時，200 KHz/DIV 以下，第三級振盪頻率受一鋸齒波調變，其頻率掃描範圍依單位掃描頻寬大小而定。例如現在儀表之單位掃描頻寬選擇在 200 KHz/DIV，則本振盪器以 500 MHz 作爲中心點，左右掃描 200 KHz/DIV $\times$ 5 DIV = 1 MHz，亦即由 499 MHz 掃描至 501 MHz (但此時第一級振盪頻率固定在“第一中頻”加“被測信號頻率”的振頻位置)。又面板上微調控制鈕可調變第三級振盪頻率 $\pm$ 500 KHz。當然，第三中頻 (550 - 500) 50 MHz 產生之後，需經過一 50 MHz 的放大器，以彌補 (尤其是在高頻時) 線路及同軸纜線在功率上的損失如此信號便進入

4. 50 MHz 變頻器組合線路

當輸入信號已變頻為 50 MHz 之中頻後，則作最後一級的變頻：即為由 50 MHz 變成 (50 - 47 =) 3 MHz 之中頻，方能加入垂直放大線路。同樣地，爲了使 50 MHz 中頻的選擇性增加，在進入變頻器之前，首先予以放大。此放大器並附帶有 44 MHz (影像頻率) 的陷波線路，以防止 44 MHz 信號與此振盪頻率 47 MHz 相混合而產生非所需的