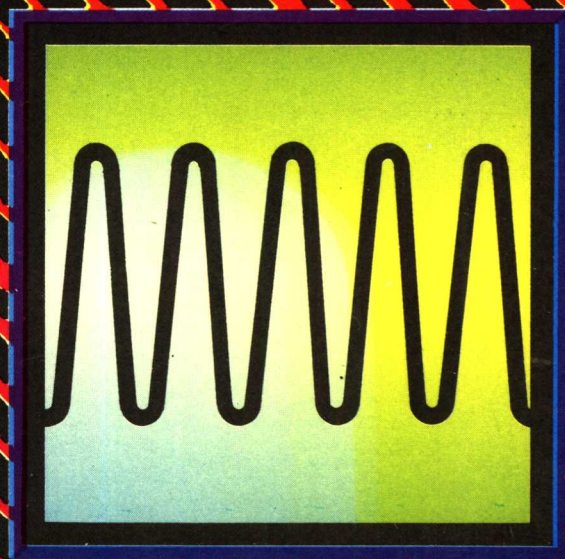


高頻電路設計技術

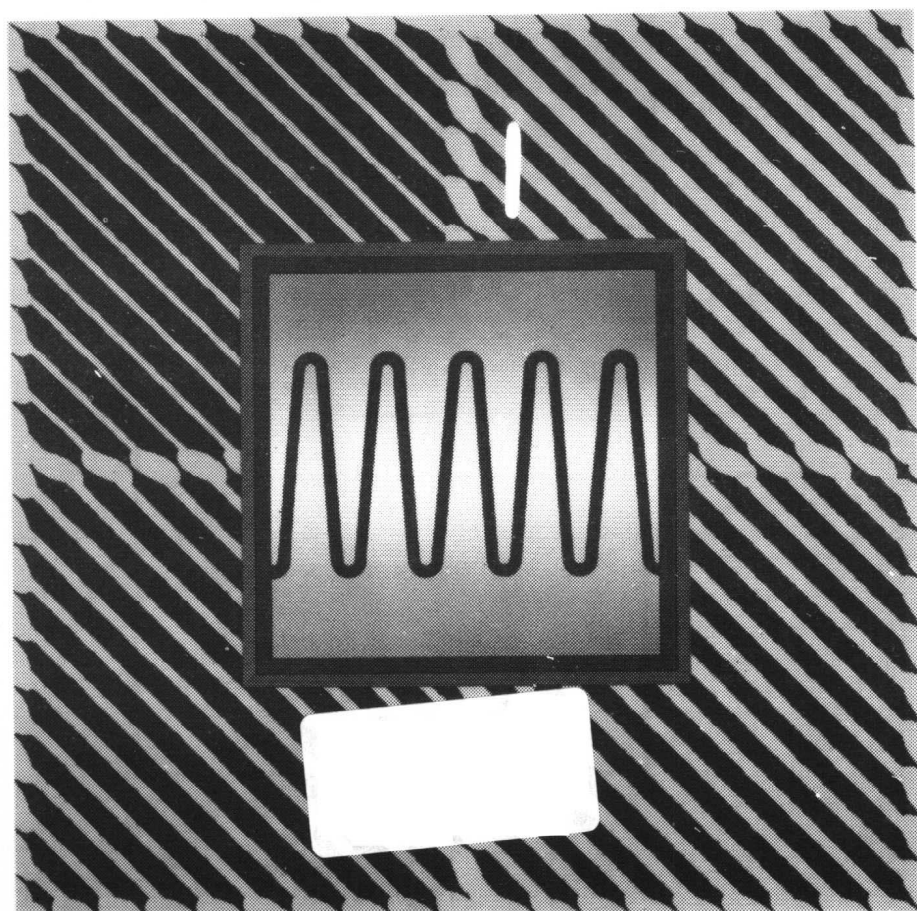
王捷輝·苗福偉·黃忠英 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

高頻電路設計技術

王捷輝·苗福偉·黃忠英 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

高頻電路設計技術

王捷輝·苗福偉·黃忠英 編譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話 / 5 8 1 1 3 0 0 (總機)

郵撥帳號 / 0 1 0 0 8 3 6 - 1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 160 元

初版 / 76年9月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0211252

我們的宗旨：

**推展科技新知
帶動工業升級**

**為學校教科書
推陳出新**

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙！！

現場技術者実戦シリーズ⑥

高周波回路設計ノウハウ

部品／回路／実装のポイント徹底解明

吉 田 武 著

原 序

以前就有許多人被稱做「收音機少年」。他們從小學的時候開始，就製作了各式各樣的收音機然後再把它們弄壞，而把這種「作好又弄壞」的行為當做是一種樂事。平時經常督促自己，縱使是做一點點的電路研究，也能夠提昇自己的技術。然而，當他們玩膩了收音機之後，就把目標轉移到電視、身歷聲(stereo)及業餘無線電上。筆者本身就是這些「收音機少年」的其中一人。

對他們而言，高頻電路老早就習以為常形影不離的東西了。即使不特意去學，也不知不覺地會了解。縱使說電子電路就是高頻電路的時代，也並沒有錯。

時代變了，今天是「電腦少年」及「電腦少女」的時代。電腦軟體或是數位技術在很普通的狀況下，對他們而言沒有絲毫困難。但是，他們弱的地方卻是與他們毫無關連的高頻電路。然而，做為一個專業技術家，有的時候也會有要活用與利用高頻電路的時候。縱使不是那樣，電腦以及數位電路也將愈來愈高速化；而在高速電路上，高頻電路的知識不論如何都是必要的。因此，現在是一個高頻相關技術與自己有關係時代的來臨。

本書最初講到在高頻電路上的配合方法，然後再稍詳細地介紹高頻電路的應用，所寫的每一個地方都是初學者的重點。

佔高頻電路最多的部分就是它的實際裝配技術。即使說高頻技術就是實裝技術也一點不為過。根據筆者長年的經驗，特別把有關實裝部份列入本書中加以說明。而對於讀者，筆者把從收音機少年到專業技術者的期間所培養學到的高頻電路經驗做一個詳細說明；它的目的就是要拉近與理論之間的差距，即使是少許。

縱使是高頻電路，由於範圍有些廣，所以無法在有限的頁數裏做一個全盤的介紹；但是，經由看本書而進入高頻電路大門的人，若對於高頻電路再也沒有過敏恐懼的現象發生的話，那筆者也就喜出望外了。

還有，本書是把以山本幸彥（作者本人筆名）的名字而刊載在後面所列的「電晶體技術」各期號上面的資料做為基礎，再大量增加其內容而編成了這本希望能有更進一層內容的書，在此先向大家致歉。

又，由於筆者才疏學淺，文中錯誤及說明不十分清楚的地方在所難免，若能指點一二，誠屬是幸。

最後，承蒙 Leader 電子專務取締役 沼倉孝氏對於本書發行的慨然允諾，以及自進入公司以來，在技術上，在精神上受到元同社常務取締役技術部長 千葉勤氏的不吝指導，再加上從執筆到出版這段時間裏，元「電晶體技術」總編輯 渡邊哲良氏所給予的大力支援，在此深表謝意。

作者 敬上

1984年12月

譯者序

高頻電路在類比電路中一直都扮演重要的角色，而當今市面有關這方面的書籍實在太少，此乃成為出版本書的目的。

由於設計高頻電路和一般的低中頻電路不同，例如在實際裝配上，零件的使用及零件的佈局，都會影響到頻率的響應，所以本書的內容，也完全就有關高頻方面的知識及技術，詳加敘述及探討，其主要特點述及：

- (1) 高頻電路所使用的各種零件的特性及選擇。
- (2) 高頻電路的設計技術及分析。
- (3) 各種高頻電路的實例及分析。
- (4) 製作上的技術及可能問題點的對策。

本書各章節的編排，由淺入深，敘述特別詳細，鉅細靡遺，為適合從未學過高頻電路者及從事高頻電路設計者之參考書，相信此書的出版，將為對高頻電路有興趣者，提供相當完善的資料。

本書之完成，得力於全華科技圖書公司的協助，及同界先進的指導，在此一併致謝。

由於本書匆促出版，編校雖力求完善，然編者才疏學淺，錯誤之處在所難免，望諸前輩、專家、學者們，不吝給予指正。

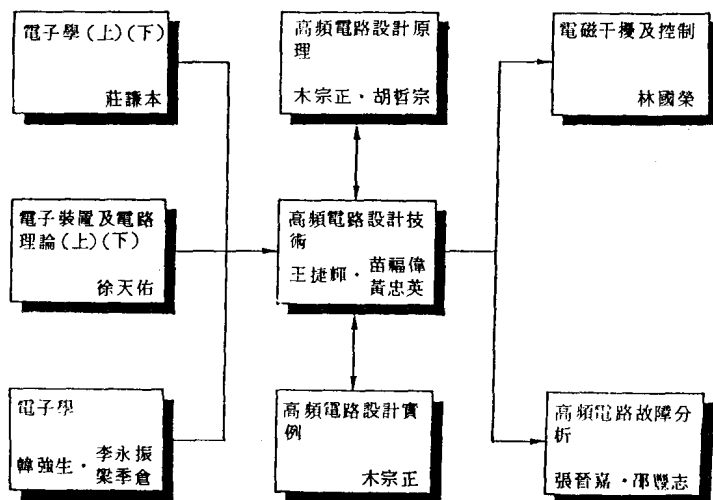
編者 謹識于 台北

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，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，循序漸進。

處在電腦以及數位電路愈來愈高速化的時代，有關高頻電路的知識已愈來愈重要。設計高頻電路，在實際裝配上，零件的使用及零件的佈局，都會影響到頻率的響應，因此，本書特就此部份詳加敘述，此外對於高頻電路使用零件的特性及選擇、設計技術及分析、電路實例等都有述及，是從事高頻電路設計工作者最佳的參考書。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習高頻電路方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。



全華電子相關圖書

- 709 高頻電路設計原理
木宗正編著
20K/272頁/190元
- 787 高頻電路設計實例
木宗正編著
20K/400頁/270元
- 1243 微波電晶體電路設計
戴奎生編譯
20K/280頁/220元
- 1215 電磁干擾及控制
林國榮編著
20K/392頁/260元
- 1031 轉換式電源供給器設計
技術
簡章華編譯
25K/192頁/160元
- 475 電子電路故障分析與檢修
蔡錦福編譯
25K/320頁/170元
- 702 高頻電路故障分析與檢修
張晉嘉·邵豐志編譯
22K/288頁/200元

● 上列書價若有變動
請以最新目錄為準

目 錄

高頻零件的知識及實際裝配的技術	1
1.1 高頻用電晶體	1
1.1-1 高頻用電晶體由靈敏值選擇	1
1.1-2 要注意雜訊度(NF)	2
1.1-3 高頻用電晶體的接地及散熱	2
1.2 電 阻	6
1.2-1 構成高頻電路，電阻應具備的條件	6
1.2-2 低阻值電阻的電感值小，高頻特性良好	7
1.2-3 現有各種高頻用特殊電阻	7
1.2-4 線繞電阻不使用於高頻電路	8
1.2-5 電阻的散熱	8
1.3 電 容	9
1.3-1 捲軸電容不可使用於高頻電路	9
1.3-2 高介電常數的陶瓷電容器除當作旁路電容外，不可使用	9
1.3-3 旁路電容器的引線電感	10
1.3-4 旁路電容器的實際裝配	13
1.3-5 使用溫度特性良好之溫度補償陶瓷電容器	14
1.3-6 電容器也有電流容量	15
1.3-7 無引線感抗之高頻專用電容器的種類與實際裝配	16
1.4 同軸電纜	19
1.4-1 理想的同軸電纜	19

1.4-2	同軸電纜的種類	20
1.4-3	同軸電纜的損失	22
1.4-4	不用同軸連接器，同軸電纜的接續方法	23
1.4-5	同軸連接器	24
1.4-6	同軸連接器的實際製配法	25

2 高頻電路的實驗及試作的技術 27

2.1	高頻電路的思考方法	27
2.2	高頻電路若只有電路圖是無法製作的	28
2.2-1	電路圖中接地，在實際裝配時並沒有表示	28
2.2-2	關於屏蔽洩漏的對策，在電路圖中並未表示	29
2.2-3	關於配線方法、線材、金屬表面處理、材質等，在電路圖中也未表示出來	29
2.2-4	即使零件名稱有明確記載，看是依甚麼目的來挑選，也可考慮其它零件	29
2.3	認識了解實際裝配電路圖記載方式	30
2.4	高頻電路的實驗、試作方法	33
2.4-1	使用萬能基板的孔，來作高頻電路的實際裝配方法	33
2.4-2	作為高頻電路用的理想的實驗基板及其實際裝配方法	35
2.5	高頻電路的小量生產的實際裝配方法	37
2.5-1	在沒有蝕刻印刷基板上的實際裝配	37
2.5-2	使用鐵弗龍端子實際裝配在金屬板	39
2.6	高頻用的印刷基板	43
2.6-1	在印刷基板化之前，檢討可能的原因	43
2.6-2	高頻用印刷基板的材質	43
2.6-3	高頻印刷基板化的技術	44
2.6-4	高頻用印刷基板的零件配置及屏蔽	51
2.6-5	高頻用印刷基板的固定	54

3 高頻放大電路 57

- 3.1 使用電晶體的寬頻帶放大電路 57
 - 3.1-1 實用基本電路 57
 - 3.1-2 在頻帶內使頻率特性較平坦的做法 58
 - 3.1-3 頻率特性更進一步的延長 58
 - 3.1-4 使輸出電壓增加 58
 - 3.1-5 低雜訊度的做法 60
- 3.2 使用 IC 的寬頻帶放大電路 60
- 3.3 使用濾波器的視頻放大器之頻率特性改善方法 64
- 3.4 同步放大電路 66
 - 3.4-1 中頻放大電路 66
 - 3.4-2 高頻前置放大電路 72
 - 3.4-3 低雜訊度高頻放大電路 74

4 高頻振盪電路 79

- 4.1 由振盪器產生的雜訊 79
- 4.2 用可變電容器變動振盪頻率的 VHF 振盪電路 80
- 4.3 視頻信號振盪器 84
- 4.4 電壓可變振盪器 86
 - 4.4-1 直線性良好的電壓可變振盪器 86
 - 4.4-2 引線的電感當做振盪 L 的電壓可變 UHF 振盪器 88
- 4.5 PPL 合成器 89
 - 4.5-1 VCO 的電壓對頻率的特性要良好 89
 - 4.5-2 VCO 與數位電路須加以屏蔽分離 90
 - 4.5-3 VHF 合成器 91
 - 4.5-4 使用到 PLL 除頻器的 ECL 計數器，因感度會隨頻率而變化，故須注意 VCO 的寄生頻率 92
 - 4.5-5 環路濾波器若在置入不要的頻率成分的凹口時， C/N 會變好。 93

4.5-6	晶體振盪電路	94
5	濾波器及陷波電路	117
5.1	線濾波器	117
5.2	電壓可變低通濾波器	120
5.3	陷波電路	125
5.3-1	串聯諧振陷波器	125
5.3-2	並聯諧振陷波器	127
5.3-3	橋式T型陷波器	128
6	各種高頻電路	133
6.1	雜訊遮沒器	133
6.2	VHF 及 UHF 的除頻器	139
6.2-1	300MHz 除頻器	139
6.2-2	650MHz 除頻器	142
6.2-3	1250 除頻器	145
6.3	雙限流混波級 (DBM)	147
6.3-1	RF, IF, LO 各端子有必要匹配	148
6.3-2	局部振盪功率夠的話, 變換損失不改變	150
6.3-3	若按照必要性能, DBM 的輸入端子可以互相 替換	151
6.3-4	DBM 取得平衡並提高隔離度	151
6.3-5	DBM 各端子規定為 50Ω , 但 75Ω 也能使用	152
6.3-6	DBM 的實際裝置其印刷基板使用接地面	152
6.4	$50\Omega \sim 75\Omega$ 阻抗變換器	153
6.4-1	由一個電阻組成的阻抗變換器	153
6.4-2	電阻衰減型 $50\Omega \sim 75\Omega$ 阻抗變換器	154
6.4-3	變壓器型 $50\Omega \sim 75\Omega$ 阻抗變換器	155
6.5	檢波器	159
6.5-1	VHF 檢波器	159

6.5-2	VHF 高阻抗檢波器	161
6.5-3	連鎖檢波器	161
6.5-4	UHF 調諧器調整用檢波器	162
6.5-5	製造廠商所製造的檢波器	163
6.6	分配器	164
6.6-1	電阻分配器	166
6.6-2	使用鐵氧體鐵蕊的拼合 2 分配器	168
6.6-3	使用鐵氧體磁珠的寬頻帶 2 分配器	173
6.6-4	使用微導波線的狹窄頻帶 2 分配器	175
6.6-5	使用同軸電纜線的狹窄頻帶分配器	178



高頻零件的知識及 實際裝配的技術

設計高頻電路時，零件及實際裝配之知識是很重要的。零件的選擇和實際裝配的技術，可決定此電子電路是否能夠動作，並且對其性能有很大影響。

適用於高頻電路之一般電子零件種類很多，高頻專用之零件也有各種不同用途。有了高頻零件的知識及實際裝配技術就可以縮短從設計到完成的時間。同時亦可作出一安定且性能良好的高頻電路。

1.1 高頻用電晶體

1.1-1 高頻用電晶體由靈敏值選擇

使用電晶體在高頻放大電路時，因集極與基極之間有極際電容 C_c 而造成了內部回授，為消去此內部回授所作的外部電路，如中和電路。使作成之放大器從輸入到輸出方向為單一方向。

加上中和電路，沒有內部回授之電晶體共射極高頻放大器的最大功率增益 $G_{pe(max)}$ 如下簡略化表示：

$$G_{pe(max)} \approx \frac{f_T}{8\pi r_{bb'} C_c f^2} \dots\dots\dots (1)$$

這裏； f_T ：轉換頻率（Transition frequency）

$r_{bb'}$ ：基極擴散電阻

C_c ：集極，基極間極際電容量

2 高頻電路設計技術

從(1)式中之常數值為 $f_T / r_{bb'} \cdot C_c$ ，表示此電晶體的高頻特性的靈敏值 (figure of merit)。

此常數可作為射極接地放大器、高頻用電晶體的選擇基準。對於 f_T 高， $r_{bb'}$ 及 C_c 小的電晶體而言，其高頻特性較佳。電晶體規格表中對 $C_c \cdot r_{bb'}$ 的乘積大多以 pico-second (ps) 為單位表示。選擇基準相當容易了解。

基極接地的高頻放大器，其電晶體的選擇基準與上述方法相同。

將射極接地、寬頻帶放大電路 (頻帶寬 1 ~ 300 MHz) 用上述選擇基準，以實際例子說明：若 $f_T = 1000$ MHz 以上， $C_c \cdot r_{bb'} = 10$ ps 以下，對於只有表示集極電容量之電晶體而言則其 $C_{ob} = 1$ pF 以下。

若是考慮電晶體振盪器，則(1)式 $G_{ps(max)}$ 以 1 代入則得到(2)式：

$$\text{可能產生振盪的最大頻率 } f_{max} = \sqrt{\frac{f_T}{8\pi r_{bb'} C_c}} \dots \dots \dots (2)$$

此時也可用靈敏度做電晶體之選擇基準。從以上討論來看，高頻用電晶體的優良與否，選擇基準乃是依照電路的靈敏值來決定。

1.1-2 要注意雜訊度(NF)

電晶體的 NF (雜訊度) 在做放大器時愈小愈有利。寬頻帶放大電路由於放大器全體的 NF 不好，電晶體的選擇基準不必太嚴。當頻率為 500 MHz 時，NF 在 3dB 以下就十分好了。

通信機器中，高頻前置放大器 (pre-amp) 用的電晶體，NF 愈低愈優良，但是要兼顧成本，大致的標準是以 NF = 3dB 為一個的基準，若要得到比這更好的低雜訊特性，可使用鉍銻場效電晶體 (GaAsFET)，這樣就可以得到在頻率 1000 MHz 以上，NF = 1 dB 以下之低雜訊特性。

應用於振盪器時，NF 的大小可以不必考慮。

1.1-3 高頻用電晶體的接地及散熱

電子儀器的可靠度，乃是要考慮能將電路所產生之熱處理掉。高頻電路的電源供應器所供給的直流電力，大部份都會變成熱而輸出，其效率可說非常有限。