

LINEAR IC CIRCUIT MANUAL

綫性IC實用電路手冊

(下冊)



施 敏編譯 · 萬里書店出版

綫性 IC 實用電路手冊

(下冊)

施 敏編譯

香港萬里書店出版

綫性IC實用電路手冊(下冊)

施 敏編譯

出 版 者：萬 里 書 店 有 限 公 司

香港北角英皇道486號三樓

電話：5-632411 & 5-632412

承 印 者：中國宏興印務有限公司

九龍官塘偉業街122號八樓

定 價：港 幣 二 十 二 元

版權所有 * 不准翻印

(一九八一年七月版)

前 言

綫性 IC 是集成電路的一個重要部分，它的發展初期雖然沒有數字 IC 那麼快，但是近年來在工藝和設計改進以後，不但品種增多，產量提高，而且性能已有很大改善。現在已廣泛地應用於各種電子裝置中，逐漸取代分立元件的位置，使電子產品更可靠、更小型化。

本書編譯自日本橫井与次郎著的“綫性 IC 實用電路手冊”，比較詳細地介紹綫性 IC 的品種、功能以及它們在各方面的應用。由於原著篇幅較大，編譯成中文時，分上、下兩冊出版。上冊包括：綫性 IC 的種類和功能、綫性 IC 的電路構成、綫性放大器、非綫性電路、模擬運算電路、合成電抗電路。下冊包括：有源濾波器、諧和振盪電路、弛張振盪電路、CR 定時電路、D/A 變換器和 A/D 變換器、V-f 變換器和 f-V 變換器、功能電路、AM（振幅調制）及解調電路、FM/FS 的調制解調電路、電源電路。

由於介紹綫性 IC 的中文書目前還不多見，某些專有名詞仍沒有統一叫法，我們在編譯過程中，除參考習慣的叫法之外，還盡可能附上英文，以方便讀者參考。

限於篇幅，本書不介紹數字 IC，有興趣的讀者，可參考萬里書店出版的：“TTL 集成電路的原理和特性”、“TTL 集成電路的應用”及“C MOS IC 數字電路手冊”等書。

目 次

前 言	1
第七章 有源濾波器	1
7.1 濾波器的基本原理	1
7.1.1 濾波器的形式和特性	1
7.1.2 有源濾波器的原理	3
7.1.3 有源濾波器的得失	4
7.1.4 有源濾波器的方式	4
7.1.5 有源濾波器的頻率和 GR 參數的計算方法	8
7.2 有源 BPF 的方式	9
7.2.1 有源 BPF 的電路	9
7.2.2 使用負回輸方式的無源 BEF 及用它組成的有源 BPF	11
7.3 有源 BPF 的實用電路	15
7.3.1 文氏電橋正回輸 BPF	15
7.3.2 雙 T 有源 BPF	16
7.3.3 “法里茲特” T 有源 BPF (多重回輸 BPF)	18
7.3.4 模擬電感器 BPF	20
7.4 有源 BEF 的方式	20
7.5 有源 BEF 的實際電路	21
7.5.1 文氏電橋有源 BEF	21
7.5.2 雙 T 有源 BEF	21
7.5.3 使用模擬電感器的 BEF	23
7.6 有源 LPF 的特性	24
7.6.1 有源 LPF 的電路形式	24
7.6.2 LPF 根據特性的分類	28

7.6.3	多次 LPF 的構成法	29
7.7	有源 LPF 的實用電路	32
7.7.1	Lead · Lag LPF	32
7.7.2	“法里茲特” T LPF	32
7.7.3	C 負載的雙 T LPF	34
7.8	有源 HPF 的方式和特性	34
7.8.1	有源 HPF 的電路方式	34
7.8.2	HPF 根據特性的分類	37
7.8.3	多次 HPF 的構成法	37
7.9	有源 HPF 的實用電路	37
7.9.1	Lag · Lead HPF	37
7.9.2	“法里茲特” T HPF	38
7.9.3	R 負載的雙 T HPF	38
第八章	諧和振盪電路	40
8.1	諧和振盪電路的原理和方式	40
8.2	LC 振盪電路	43
8.2.1	使用 IC 較有利的 LC 振盪電路	43
8.2.2	推挽 LC 振盪電路	44
8.2.3	振幅穩定的 LC 振盪電路	45
8.2.4	頻率穩定化的 LC 振盪電路	46
8.3	CR 振盪電路的方式和振幅穩定化	47
8.3.1	CR 振盪電路的方式	47
8.3.2	CR 振盪電路中振幅穩定化的方式	47
8.4	CR 振盪電路的實用電路	49
8.4.1	相移振盪電路	49
8.4.2	Lead · Lag BPF 振盪電路	51
8.4.3	文氏電橋振盪電路	53
8.4.4	雙 T 有源 BPF 振盪電路	56
8.4.5	“法里茲特” T 有源 BPF 振盪電路	57
8.4.6	使用模擬電感器的 CR 振盪電路	62
8.4.7	多相 CR 振盪電路	65
8.4.8	寬頻帶的 CR 振盪電路	66

8.5	機械振子振盪電路	70
8.5.1	石英晶體振盪電路	70
8.5.2	音叉振盪電路	71
8.6	電壓控制振盪電路	73
8.6.1	電壓控制振盪電路的方式	73
8.6.2	LC 方式電壓控制振盪電路	74
8.6.3	CR 方式電壓控制振盪電路	75
8.7	數字控制振盪電路	79
第九章	弛張振盪電路	83
9.1	弛張振盪電路的原理和方式	83
9.2	CR 電路的脈衝響應	84
9.3	滯後自激多諧振盪器的基本電路及其應用電路	86
9.3.1	自激多諧振盪器的基本結構和動作	86
9.3.2	運算放大器組成的自激多諧振盪器的基本電路	87
9.3.3	佔空因數 (Duty Ratio) 可變的自激多諧振盪器	90
9.3.4	輸出三角波的自激多諧振盪器	90
9.3.5	輸出鋸齒波的自激多諧振盪器	92
9.3.6	寬頻帶的自激多諧振盪器	93
9.3.7	佔空因數電壓控制自激多諧振盪器	95
9.4	函數產生器	96
9.4.1	函數產生器的原理	96
9.4.2	電壓轉換方式的函數產生器	96
9.4.3	三角波的正弦波變換	100
9.4.4	輸出鋸齒波的函數產生器	103
9.4.5	輸出指數函數的函數產生器	105
9.4.6	單塊芯片 (One Chip) 函數產生器	106
9.5	電壓控制弛張振盪電路	110
9.5.1	電壓控制弛張振盪電路的方式	110
9.5.2	使用倍增器的電壓控制函數產生器	110
9.5.3	模擬開關轉換的電壓控制函數產生器	111
9.5.4	單塊芯片 VCO	112

9.5.5	使用電流差動放大器的 VCO	112
第十章	CR 定時電路	115
10.1	定時電路的功能和作用	115
10.2	使用運算放大器的單穩態多諧振盪器	116
10.2.1	單穩態多諧振盪器的方式	116
10.2.2	使用運算放大器的積分型單穩態多諧振盪器	117
10.3	使用運算放大器的延遲定時器	120
10.3.1	延遲定時器的方式	120
10.3.2	高精度延遲定時器	122
10.3.3	多延遲定時器	123
10.4	長時間的定時器	123
10.5	單芯片定時器	126
第十一章	D/A 變換器和 A/D 變換器	130
11.1	D/A 變換器和 A/D 變換器的功能和用途	130
11.2	D/A 變換器的方式	130
11.2.1	R-2R 梯形網絡	130
11.2.2	加法器的方式	132
11.2.3	放大器增益可變方式	132
11.2.4	恒流源開關方式	135
11.2.5	脈衝積分方式	135
11.3	D/A 變換器的輸入輸出形式	136
11.4	D/A 變換器的精度	138
11.5	D/A 變換器的實用電路	138
11.5.1	R-2R 電阻梯形方式 DAC	138
11.5.2	放大器增益可變方式的 DAC	139
11.5.3	脈衝積分方式 DAC	139
11.6	倍增器 DAC	144
11.7	非綫性 DAC	146
11.8	A/D 變換器的方式	147
11.9	積分方式 ADC 的原理和方式	150

11.10 積分方式 ADC 的實用電路	154
11.10.1 積分V-f 變換器	154
11.10.2 雙重積分的 A/D 變換器	154
第十二章 V-f 變換器和 f-V 變換器	158
12.1 V-f 變換器的概要	158
12.2 V-f 變換器的實用電路	159
12.2.1 簡易積分型 V-f 變換器	159
12.2.2 簡易函數 VCO 方式 V-f 變換器	160
12.2.3 I-f 變換器和 V-T 變換器	161
12.3 f-V 變換器的概要和方式	162
12.4 f-V 變換器的實用電路	164
第十三章 功能電路	166
13.1 相位檢波電路和相位測量電路	166
13.1.1 相位檢波電路	166
13.1.2 測量相位的電路	169
13.2 CR 倍頻電路	170
13.3 PLL 的原理和應用法	172
13.3.1 PLL 的基本原理	172
13.3.2 PLL IC 的品種和特性	177
13.3.3 PLL 的應用分野	182
第十四章 AM (振幅調制)、解調電路	185
14.1 AM 的原理和調制形式	185
14.2 AM 電路的方式	186
14.3 AM 電路的實用電路	188
14.3.1 使用 LG 負荷倍增器的 AM 電路	188
14.3.2 使用 g_m 可變倍增器的 AM 信號	189
14.3.3 開關式 AM 電路	191
14.4 AM 解調的原理和方式	197
14.5 AM 解調電路的實用電路	201
14.5.1 二極管 AM 解調電路	201

14.5.2	乘積 AM 解調電路	201
14.5.3	開關式 AM 解調電路	203
14.6	載波合成電路	206
14.6.1	DSB 波的載波合成	207
14.6.2	平衡調制波的載波合成電路	208
第十五章	FM/FS 的調制、解調電路	212
15.1	FM/FS 的調制原理和調制方式	212
15.1.1	FM 的調制原理	212
15.1.2	FM 的調制方式	213
15.1.3	FS 調制方式	215
15.2	FM 電路的實用電路	216
15.2.1	直接方式的 FM 電路	216
15.2.2	AM 波矢量合成方式的頻率調制電路	218
15.2.3	鋸齒波 FM 的調制電路	218
15.2.4	PLL 方式 FM 的調制電路	219
15.3	FS 調制電路的實用電路	221
15.3.1	CR 諧和振盪的 FS 調制電路	221
15.3.2	CR 弛張振盪的 FS 調制電路	221
15.4	FM/FS 解調的原理和方式	225
15.4.1	FM 解調的原理	225
15.4.2	FM 解調方式	225
15.4.3	FS 解調方式	228
15.5	FM/FS 解調電路的實用電路	228
15.5.1	90° 相位差 FM 解調電路	228
15.5.2	PLL FM 解調電路	229
15.5.3	PLL FS 解調電路	230
第十六章	電源電路	235
16.1	電源電路的種類和電路形式	235
16.1.1	電源電路的種類	235
16.1.2	電源電路的形式	236
16.2	整流電路和平滑電路	238

16.2.1	整流電路的電路形式	238
16.2.2	平滑電路和電容器容量	239
16.3	電源用 IC 的種類和特性	243
16.4	穩壓電路的實用電路	245
16.4.1	固定輸出電壓的大輸出電流穩壓電路	245
16.4.2	可變輸出電壓的大輸出電流穩壓電路	249
16.4.3	雙綫路穩壓電路	252
16.4.4	三端子穩壓器	253
16.4.5	開關穩壓器	253
16.5	基準電源電路	255
附錄	實用計算圖表集	257

第七章

有源滤波器

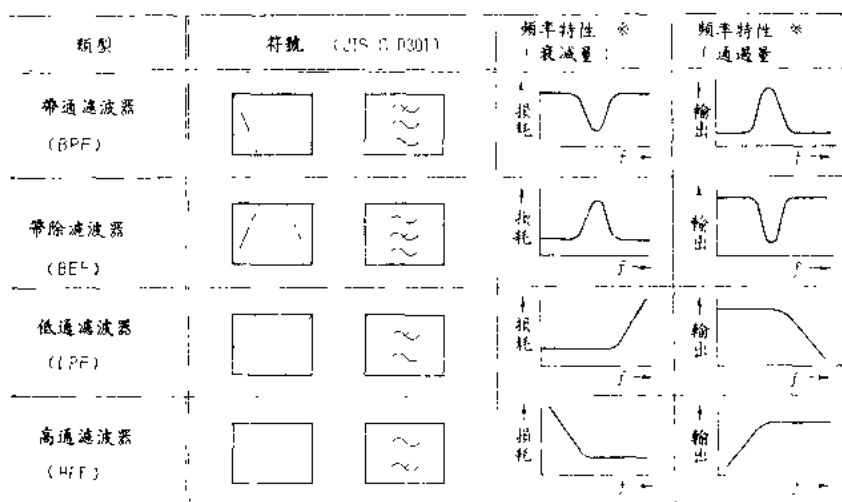
7.1 滤波器的基本原理

7.1.1 滤波器的形式和特性

滤波器是一种频率选择电路。在很多频率成分输入之中，它只让特定的频率通过，其他的则通通拒之於门外。

根据频率特性，滤波器可分为图 7.1 的四种形式。

带通滤波器 (Band Pass Filter: BPF) 是最基本的滤波器，其特性如图 7.2 所示有单峰特性及宽频带型，只让特定的频率通过。单



※ 曲線圖的X、Y軸全部是對數值

圖 7.1 滤波器的形式和特性

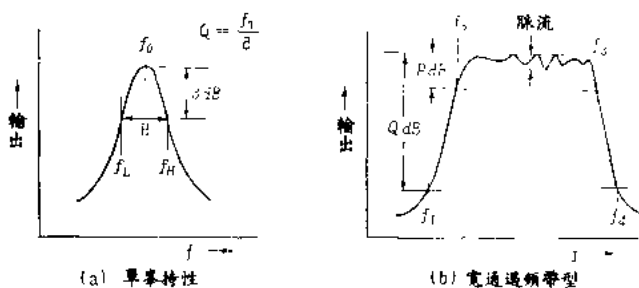


圖 7.2 帶通濾波器的特性和特性表示法

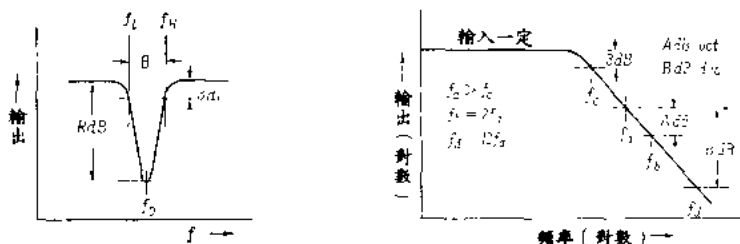


圖 7.3 帶除濾波器的特性和特性表示法

圖 7.4 低通濾波器的特性和特性表示法

峯特性方面，比中心頻率 f_c 的電平低 3dB 的頻率 $f_H - f_L$ 是它的帶寬 B [Hz]。

帶除濾波器 (Band Eliminate Filter: BEF) 也叫做陷波濾波器 (Notch Filter)，和 BPF 相反，如圖 7.3 所示它是將某一特定的頻率除去的濾波器。帶寬 B 是比平坦電平 (Flat Level) 低 3dB 的 $f_H - f_L$ 。

低通濾波器 (Low Pass Filter: LPF) 是只讓截止頻率以下的信號通過的濾波器，其特性及表示法如圖 7.4 所示，截止特性優越與否用衰減斜率 (Attenuation Slope) 表示，例如頻率二倍時的衰減量 A 用 $A \text{ dB/oct}$ 表示，十倍時的衰減量 B 用 $B \text{ dB/dec}$ 表示。

高通濾波器 (High Pass Filter: HPF) 剛好和 LPF 相反，它只讓 f_c 以上的信號通過，截止特性和 LPF 一樣，也是用 $A \text{ dB/oct}$ 或 $B \text{ dB/dec}$ 表示。

7.1.2 有源濾波器的原理

使用傳統的分立元件組成的濾波器，一般都是 LC 濾波器，這種濾波器雖然具有優越的特性，但是有兩個基本的問題需要解決。其一是，用作這一用途的線圈，要具有優越的特性，設計時非常複雜；而且，實際製作時，很難達到設計時的特性。第三點是，使用頻率低時，線圈的感抗非常大，這將佔用很大的空間，而 ωL 小，將令 Q 值降低，以至不能使用。

但是，單塊集成電路內不可能組成線圈，而混合集成電路也要避免使用這種元件。基於這一點，要盡可能用 CR 代替 LC。不過，我們知道，LC 濾波器基本上是一種 LC 諧振電路，施加的能量是靜電能量和電磁能量各半週互相轉換的，無功功率 (Reactive Power) 能夠積蓄下來使用，因此既可獲得高的 Q 值，濾波器本身也有尖銳的選擇性。而 CR 電路，只是半週的靜電能量蓄存在 C 上，另外的半週消耗在 R 上，所以 Q 值不可能達到 0.5 以上，濾波器的選擇性也十分低。

考慮到這一點，人們便使用有源元件組成的放大器補充因 R 引起的能量損耗，提高 Q 值及選擇性，這便是有源濾波器 (Active Filter) 的基本構想。

圖 7.5 所示，便是將只使用無源元件 (Passive Element) 組成的無源濾波器 (Passive Filter)，以及使用有源元件的 CR 有源濾波器的能量關係模型化的示意圖。在有源濾波器中，放大器等有源元

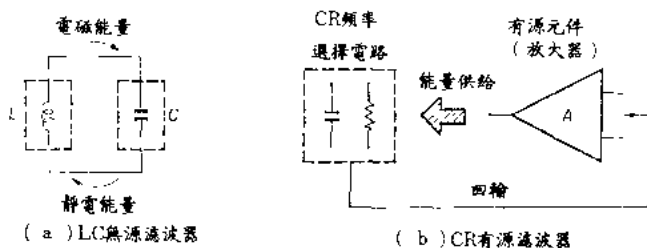


圖 7.5 LC 無源濾波器和 CR 有源濾波器的能量關係

件補充 R 的損耗部分，使之能像 LC 濾波器那樣，在 C 積蓄無功功率，以提高 Q 值。

在圖 7.5(b) 中，最重要的一點是，放大器的輸出，通過 CR 電路後，有一部分經 CR 電路回輸至放大器的輸入端，很容易引起振盪，所以要製作一個穩定工作的有源濾波器。CR 電路固然要穩定，也要使用高性能的穩定放大器。

現在，由於運算放大器的普及，有源濾波器已普遍採用這種高性能的穩定放大器，而且由於集成電路使用繞圈困難，因此，CR 有源濾波器正在急速發展之中。

7.1.3 有源濾波器的得失

有源濾波器的特長是，不使用繞圈，能夠節省不少空間，成本低，在低頻可以有尖銳的選擇性。此外，作為整體來考慮，雖然有複雜的特性，但是由每一部分的電路來分擔單獨的特性，所以對電路的理解比較容易，設計簡單是這種電路的最大特長，LC 濾波器的輸入、輸出特性阻抗一定要匹配，而有源濾波器方面，信號源阻抗要比固定值低，負荷負抗則比固定值高較好，即無須匹配。

用可變電阻能夠調整全部特性，也是有源濾波器的優點。

缺點是，由於使用了放大器，要配備必要的電源，太大的輸入會令放大器飽和，此外受放大器的頻率特性限制，使用的頻率不能太高。

7.1.4 有源濾波器的方式

LC 濾波器之中最基本的是 LC 諧振電路組成的單峯 BPF，有源濾波器方面，基本的電路也是這種單峯 BPF。

有源 BPF 的方式，如表 7.1 所示。正回輸方式如圖 7.6 那樣，在文氏電橋 (Wien Bridge) 或超前·滯後 (Lead·Lag)、滯後·超前 (Lag·Lead) BPF 等 CR 無源 BPF 中，加入放大器的正回輸環路，以提高 Q 值的方式。在這種方式的電路中，無源 BPF 的相移量是 0° ，但放大器的增益如大過 $1/\beta$ ，會產生振盪，所以 Q 值不可太大。這一方式也叫做單位增益放大器方式。

表 7.1 有源單峰 BPF 的方式

方 式	概 要
正回輸方式	無源 BPF 加入正回輸環路
負回輸方式	無源 BPF 加入負回輸環路
模擬電抗方式	模擬電感和 C 組成諧振電路
負阻方式	無源 BPF 加入負阻提高 Q 值

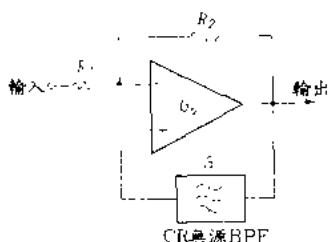


圖 7.6 正回輸方式的有源 BPF

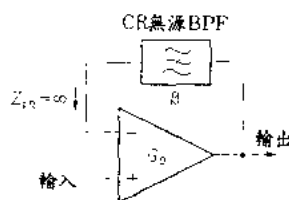


圖 7.7 負回輸方式有源 BPF

負回輸方式，是像圖 7.7 那樣，在 CR 無源 BEF 中加入放大器的負回輸環路的方式，其頻率特性如圖 7.8 所示，正如第三章（見上冊）說明過的，環路增益最大時，閉環增益 G_c 是 $1/\beta$ ，而 β 最小時在 f_c ， G_c 最大。這一方式，放大器的增益越大越好，所以也叫做無限放大器方式。

在圖 7.7 中，BPF 的輸出是電壓輸出，由 $Z_{in} = \infty$ 的放大器接受，而實際的運算放大器的 Z_{in} 是數百 $k\Omega$ 至數 $M\Omega$ ，雖然接近 BPF 的值，根據 BPF 的形式也會影響到其特性的變化。所以要如圖 7.9 所示，使用 $Z_{in} = 0$ 的電流放大器組合成的電流合成方式。不過，BEF 在 $Z_{in} = \infty$ 和 $Z_{in} = 0$ 時 f_o 不可改變。

從圖 7.2(a) 和圖 7.3 可以知道，無源 BPF 和 BEF 的 Q 值雖然一樣，BEF 除了特性反轉、使用負回輸方式之外，由於 $B_p < B_E$ ，可理解為 Q 值較高。此外，運算放大器的相位反轉也要注意，負

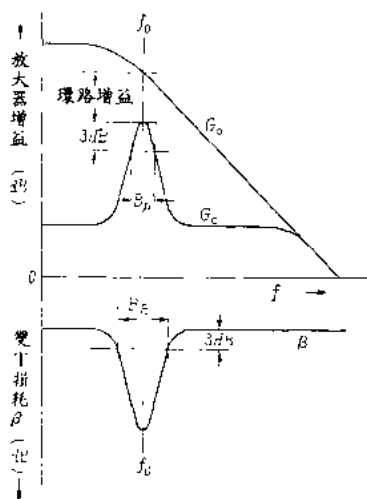


圖 7.8 負回輸方式有源 BPF 的頻率特性

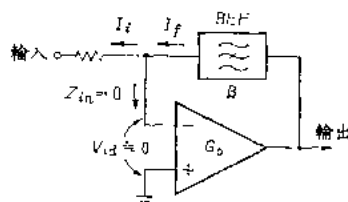


圖 7.9 電流合成方式

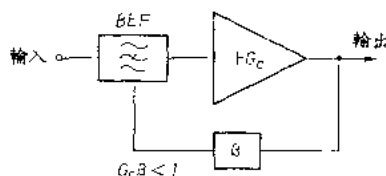


圖 7.10 正回輸方式有源 BEF

回輸方式產生振盪的危險性稍低，所以能夠比正回輸獲得較高的 Q 值。

模擬電抗方式，是在第六章(見上冊)說明過的模擬電感器上並聯入電容器組成並聯諧振的 BPF，在有源 BPF 中，能夠最穩定地獲得高的 Q 值。實用上可以有 50~200 左右的 Q 值。

負阻方式，是在正回輸方式中用負阻代替放大器的方式，由於穩定度不好，已基本上不使用。

在組成 BEF 的方法之中，有正回輸方式和模擬電抗方式，正回輸方式如圖 7.10 所示，在無源 BEF 中加入自舉電路 (Bootstrap)，所以能夠像圖 7.11 那樣，從平坦區域將陷波頻率 (Notching Frequency) 除去，使 Q 值急劇提高。無源 BEF，也作為雙 T BEF 使用。圖 7.12 所示，是使用模擬電抗器 L_c 組成的電橋方式的 BEF。

有源 LPF，是如圖 7.13 所示，以 6dB/oct 的 1 次 CR 無源 LPF 為基礎，作 n 級串級，以獲得 6ndB/oct 的衰減傾斜度，作為