

科學圖書大庫

通信電子電路

譯者 陳端雅

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

通信電子電路

譯者 陳端雅

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信

發行人 陳俊安

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國七十三年六月廿五日三版

通信電子電路

基本定價 3.80

譯者 陳端雅 台灣電力公司通信工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。 謝謝惠顧

局版臺業字第3033號

出版者 徐氏基金會出版部 臺北市郵政信箱 13-306 號

發行者 徐氏基金會出版部 郵政劃撥帳戶第 15795 號

承印者 大原彩色印製有限公司 台北市武成街三五巷九號

電話 9221763
9271575
9271576
9286842

電話 3017427

原 序

1940 年電子僅應用於音樂和講演的發射及接收，時至今日，電子不僅應用於娛樂，且應用於醫學、商業、交通、及工業，但不論其發展如何的快速，無線電波的發射及接收仍是最重要且最廣泛的用途，訊息經由無線電波的發射，目前已使用於航空、航海、飛彈導向、及遙測系統裡。

本書針對通信電子電路原理與應用而編寫，在研讀本書前，須先了解直流、交流電路原理、真空管與半導體特性、電子電路基本原理、向量代數及三角學。如有微積分學的基礎，更能明瞭書中數學式所表示的意義。

本書各章之習題Ⅲ為美國聯邦通信委員會（FCC）通信技師執照的考試題目，供讀者作為參考，並測驗自己的能力，是否可取得該項資格。

J.J. De France.

目 錄

原 序

第一章 共振電路

串聯共振電路	1
電壓上升為 Q 倍	3
頻率的影響	3
電路電阻的影響	4
L/C 比值的影響	5
共振電路的增益	7
頻帶寬	7
一般的響應曲線	9
並聯共振電路	10
共振	10
並聯電路阻抗	11
環流	12
頻率的影響	12
串聯電阻的影響	14
L/C 比值的影響	14
增益及頻帶寬	15
分流電阻的影響	15
習題 I	17
習題 II	20
習題 III	22

第二章 耦合電路

耦合種類	23
共電阻耦合	23
共電感耦合	23
共電容耦合	24
互感耦合	24
鏈耦合	25
混合耦合	25
電感耦合	26
次級感應電壓	26
反射阻抗	27
反射阻抗的特性	28
非調諧初級調諧次級電路	30
耦合的影響	31
調諧初級調諧次級電路	32
雙調諧電路的頻帶寬	34
Q 值對耦合程度的影響	34
射頻濾波器電路	36
濾波器的電路值	38
耦合電路的阻抗匹配	39
直接耦合	39
電感耦合，串聯可調負載	41
電感耦合，分流可調負載	42
π 型網路阻抗匹配	42
習題 I	44
習題 II	47
習題 III	49

第三章 射頻電壓（或小信號）放大器

阻抗耦合射頻放大器	50
增益及等效電路	52
頻帶寬	55
多級的頻率響應	55
搖擺調諧	57
隔離	58
單調諧變壓器耦合射頻放大器	58
增益	59
雙調諧變壓器耦合射頻放大器	60
頻帶寬	61
增益	62
中和作用	63
雙向電晶體射頻放大器電路	64
高頻電路	64
積體電路	65
習題 I	67
習題 II	69
習題 III	71

第四章 射頻功率放大器

真空管丙類放大器	72
電壓及電流之間的關係	72
定義	73
效率及導電角度	74
柵極偏壓電路	76
柵極激發因素	77
屏極偏壓	78
儲能電路	79
L 及 C 值的選擇	80
耦合方式	81

並聯真空管	82
推挽式真空管電路	82
丙類放大器的中和作用	83
中和電路	83
中和方法	84
寄生振盪	84
調諧調整	86
倍頻器	88
高效率諧波共振放大器	89
乙類線性放大器	89
杜亨梯（Doherty）高效率放大器	90
電晶體射頻功率放大器	91
電晶體偏壓	91
設計上的考慮	92
中和作用	93
典型的電路	93
電壓變容倍頻器	96
習題 I	96
習題 II	104
習題 III	108

第五章 射頻振盪器

一般的考慮	111
儲能電路的作用	111
等幅波	113
分析 L-C 電路	113
基本要素	113
基本振盪器電路	113
阿姆斯壯振盪器	114
閘極漏電偏壓	115
分流與串聯饋入電路	115
雙向電晶體阿姆斯壯振盪器	116

哈特萊振盪器	116
柯爾畢茲振盪器	118
超三極管振盪器	119
克拉普振盪器	120
調諧輸入調諧輸出振盪器	120
振盪頻率	120
振盪器的穩定度	121
晶體振盪器	122
晶體切割	122
溫度的影響	124
電氣特性	124
晶體激發	125
調諧輸出晶體輸入振盪器	125
比爾斯振盪器	125
雙向電晶體晶體振盪器	126
阿姆斯特壯晶體振盪器	126
克拉普晶體振盪器	126
習題 I	127
習題 II	129
習題 III	130

第六章 調幅發射機

調幅波的分析	133
調制信號的影響	133
調制百分比	134
調幅波的頻率	136
向量表示法	137
旁波帶	138
調幅波功率的分配	138
屏極調制	140
基本原理	141
漢森調制	142
屏極調制電路	143

多柵管屏極調制器	143
其他調制電路	146
柵極偏壓調制	146
遏止柵極調制	148
簾柵極調制	148
陰極調制	148
電晶體調制器	149
集極調制	149
基極調制	150
射極調制	151
測試	151
示波器測試	151
屏極、集極及天線電流的指 示結果	152
基本發射機	153
高調制度	153
低調制度	154
等幅波發射機	154
鍵式設備	154
鍵式電路	156
音頻調制鍵式電路	158
頻移鍵式電路	158
習題 I	159
習題 II	163
習題 III	166

第七章 調幅波的解調

基本原理	171
二極體檢波器	172
基本電路	172
設計上的考慮	173
濾波器電路的改進	177
其他調幅檢波器	177

電晶體檢波器	178
外差檢波器	178
習題 I	179
習題 II	182
習題 III	183

第八章 調幅接收機

接收機的比較因素	184
靈敏度	184
選擇度	185
傳真度	185
雜音指數	185
調諧射頻接收機	187
超外差式接收機	189
方塊圖	189
變頻	190
變頻電路	191
振盪器追跡	194
電子調諧	195
像頻	196
中週值的選擇	196
中週放大器電路	198
自動增益控制	202
雙向電晶體 AGC 電路	205
超外差式調諧器電路	208
接收機調整	208
所需的儀器	208
共用方法	211
以固定頻率方法調整中週	211
以掃描頻率方法調整中週	212
前級調整	213
習題 I	215
習題 II	221

習題 III	223
--------	-----

第九章 調 頻

調頻原理	226
輸入信號對載波的影響	226
調制度	228
調頻波	228
調頻波的功率	229
所需的頻帶寬	231
以相位移間接完成調頻	232
雜音抑制	233
商用接收機電路	235
調諧器	235
射頻放大器	236
混頻器(或換頻器)	237
中週放大器	237
限制器	237
甄別器	239
比率檢波器	241
自動頻率控制	242
半導體自動頻率控制電路	243
完整的調諧器電路圖	244
調頻接收機的調整	244
以固定頻率方法調整中週	244
以頻率掃描方法調整中週	246
調整甄別器	246
調整比率檢波器	246
前級調整	246
調頻發射機	247
直接調制	247
調頻發射機	249
從調相產生調頻	250
阿姆斯特壯調頻系統	252

平衡調制器	253
其他間接調制方法	254
習題 I	256
習題 II	264
習題 III	267

第十章 傳輸線

長傳輸線上電波的行進	270
波長	272
傳輸線長度	274
傳輸線的等效電路	274
特性阻抗	274
傳輸線的電阻等效電路	275
傳輸線的種類	276
特性阻抗的計算	278
傳輸線的速度常數	278
無限長傳輸線上波的運動	279
傳播常數	280
端點電阻為 $R = Z_0$	281
結論（無線長傳輸線）	281
傳輸線的反射現象	282
傳輸線開路時反射波的相位關係	282
短路時反射波的相位	284
開路時的電壓駐波	285
開路時的電流駐波	287
短路時的駐波	287
傳輸線上駐波的測量	288
駐波比	288
$\frac{1}{4}$ 波長開路傳輸線的輸入阻抗	290
半波長開路傳輸線的輸入阻抗	291

短於 $\frac{1}{4}$ 波長開路傳輸線的輸入阻抗	292
$\frac{1}{4}$ 及 $\frac{3}{8}$ 波長之間開路傳輸線的輸入阻抗	292
結論—開路傳輸線的輸入阻抗	293
結論—短路傳輸線的輸入阻抗	293
史密斯圖形	293
傳輸線終端負載為電抗時的情形	298
傳輸線的應用	299
波長及頻率的測試	299
電抗	300
儲能電路	301
絕緣體	302
濾波器	302
相位移電路（延遲傳輸線）	303
電視天線	304
阻抗匹配—短線	305
$\frac{1}{4}$ 波長開路線的阻抗轉換作用	307
阻抗匹配— $\frac{1}{4}$ 波長短路線段	308
同軸傳輸線平衡轉換器	309
波導概論	309
波導與同軸傳輸線的比較	310
習題 I	311
習題 II	319
習題 III	320

第十一章 天線及傳播

天線基本原理	322
輻射場強度	323

偏極化	323
輻射圖形	324
基本天線	325
半波天線	325
輸入阻抗	325
水平天線輻射圖形	326
垂直天線的輻射圖形	328
接地效應	328
接地天線	330
接地天線的輻射圖形	330
負載天線	331
天線饋送方式	332
共振傳輸線饋送方式	332
非共振傳輸線饋送方式	333
方向性天線系統	334
寄生陣	335
激發陣	336
直排天線陣	336
垂射天線陣	338
順射天線陣	339
併合天線陣	339
菱形天線	340
超高頻天線	341
接收天線	342
波的傳播	342
地波	342
空間波	342
天波及電離層	344
臨界頻率及臨界角	344
越程距離—最大有效頻率	345
觸跳傳播	345
衰退	346
電離層的改變	346

各種頻率的傳播特性	347
習題 I	347
習題 II	353
習題 III	355

第十二章 其他發射機接收機 電路

幅相調幅發射機	359
方塊圖分析	360
單旁波帶發射機	363
基本原理	364
以濾波方式產生 SSB	364
平衡調制器線路	365
旁波帶濾波器	367
線性功率放大器	368
載波衰減器	369
以相位移產生 SSB	370
載波傳輸控制	371
SSB 接收機	371
SSB 解調器	372
衰減器及一般用途的接收機	374
引導載波接收機	374
抑制載波接收機	375
脈波調制	378
脈波調制的類型	378
脈波碼調制	379
多工制發射	381
頻率分割多工制	382
時間分割多工制	382
調頻立離廣播	383
立體廣播發射原理	384
立體接收機原理	386
接收機電路	387
電視原理	388

掃描·····	388
發射機方塊圖·····	391
接收機方塊圖·····	392
彩色電視概論·····	392
彩色電視接收機·····	394
習題 I ·····	395

習題 II ·····	404
習題 III ·····	406
索引·····	409

第一章 共振電路

1900 年初期，聲音及音樂經由空中之發射及接收的無線電通訊設備，為電子最廣泛的應用，無線電廣播裡，將聲音或音樂等訊息信號提升至較高的射頻，其所選用的特定頻率稱為載波頻率，這種處理過程稱為調制作用，所得到的波形稱為調制波，此時信號位於載波兩旁極為狹窄的頻率裡，此狹窄的頻率區域稱為旁頻帶，載波兩旁頻率的偏移及旁頻帶稱為頻道，若將射頻波譜分割成許多頻道，則便能同時發射許多節目，在接收站，由射頻波所產生的電壓極為微弱，約為幾個微伏特，因此須先以射頻電壓或小信號放大器放大之，再從放大後的射頻波取出訊息，稱為解調或檢波，然發射機裡，在尚未發生調制前，須先由振盪器電路產生載波頻率，一般而言，接收站皆在遠方，所以需以射頻功率放大器以提升信號的發射功率，然後再饋入天線，天線將能量發射至空中，以上的敘述僅為簡單的概論，下列各章將詳細討論之。

電子不但用於娛樂裡，更使用於醫療、商業、交通及工業，然不論其發展如何，射頻波的發射及接收，仍為最重要的部份，設計射頻工作的電路，通常限制於某特定頻率，或極窄的頻帶，此特定頻率稱為電路的共振頻率 (resonant frequency)，此窄頻帶稱為電路的頻帶寬 (bandwidth)，本章將討論串聯及並聯共振電路的特性，以作為下列各章的準備。

串聯共振電路

一電路需含有電容及電感，才會發生共振，但電路裡有某些電阻存在，此電阻為線圈的有效電阻，或導線的電阻，雖此電阻會影響電路在共振時的電流和電壓，但不能用來決定何時會發生共振，茲以數學方式表示 R, L, C 串聯共振電路：

$$1. \quad X_L = 2\pi fL$$

$$2. \quad X_C = 1/(2\pi fC)$$

2 通信電子電路

$$3. X_0 = X_L - X_C$$

X_0 爲淨電抗，若 X_L 大於 X_C ，則 X_0 爲正值，若 X_C 大於 X_L ，則 X_0 爲負值。

$$4. Z = \sqrt{R^2 + X_0^2}$$

$$5. I = E/Z$$

R-L-C 串聯電路共振時，電感抗等於電容抗，即 $X_L = X_C$ ，不論電感值及電容值爲若干，總有一頻率使兩電抗值相等，其共振頻率能以下述方法求得，即

$$X_C = X_L \quad \text{或} \quad 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

求此頻率 $(2\pi f_0)^2 = 1/LC$ ，故

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1-1)$$

在共振頻率時，因 $X_L = X_C$ ，故淨電抗 X_0 爲零，所以電路阻抗 Z 需爲最小，且等於電路電阻 R ，因阻抗爲最小，故電流爲最大，又阻抗爲純電阻，所以電流與電位同相，電路的相位角 θ_0 爲零，串聯共振電路總結如下：

$$1. X_L = X_C$$

$$2. f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$3. Z = \text{最小值} = R$$

$$4. I = \text{最大值}$$

$$5. \theta_0 = 0^\circ$$

[例 1-1] 一串聯電路的 $L = 15.8\text{mH}$ ， $C = 0.1\mu\text{F}$ ， $R = 10\Omega$ ，電壓 $E_T = 10\text{V}$ ，求共振頻率，在此頻率的電流，及在此頻率時各元件的電壓降。

$$\text{解：} 1. f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{0.159}{\sqrt{15.8 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 10^{-6}}} = 4000\text{Hz}$$

2. 此電路在共振時 $X_L = X_C$ ， $Z = R$ ，故

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{10} = 1.0\text{A}$$

3. 求 L 及 C 的電壓降

$$(a) X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 4000 \times 15.8 \times 10^{-3} = 398\Omega$$

$$(b) X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{0.159 \times 10^6}{4000 \times 0.1} = 398\Omega$$

$$(c) E_L = I X_L = 1.0 \times 398 = 398 \text{ V}$$

$$E_C = I X_C = 1.0 \times 398 = 398 \text{ V}$$

$$E_R = I R = 1.0 \times 10 = 10 \text{ V}$$

電壓上升為Q倍

注意上例中電抗元件的電壓降，外加電壓為 10 V，而跨接 L 及 C 的電壓為 398 V，在任何電路裡，若電阻值極小，都會發生這種電壓上升的情況，但電感抗與線圈電阻的比值，為此線圈的 Q 值，在一電路裡，電路之電感抗值與電阻值的比值，稱為此電路的 Q 值，此電阻為電路的總電阻 R_T ，為線圈的電阻，電容的電阻，及分離電阻元件的總和，計算電路在共振時的 Q 值時，可使用 X_C 或 X_L 。

上例之電路的 Q 值，可計算如下：

$$Q_C = \frac{X_L}{R_T} = \frac{398}{10} = 39.8$$

比較外加電壓與線圈或電容的電壓，知電抗電壓為外加電壓的 39.8 倍或 Q 倍，故串聯共振電路的電壓上升 Q 倍，以數學方式表示之：

$$E_L = I X_L$$

$$\text{共振時} \quad I = \frac{E_T}{R_T}$$

$$\text{故} \quad E_L = \frac{E_T X_L}{R_T}$$

電抗值與電阻值的比值等於 Q_C ，故

$$E_L = Q_C E_T \quad (1-2)$$

同理 E_C 亦可表示為

$$E_C = Q_C E_T \quad (1-3)$$

因此可得結論：

$$6. E_L = E_C = Q_C E_T$$

頻率的影響

表 1-1 為不同頻率時的電路值，為簡化起見 X_L 及 X_C 在共振時為 400 Ω 而非 398 Ω ，在頻率為 1000 Hz 時（與共振頻率 4000 Hz 相較），電感抗成比例的減少， $X_L = 100 \Omega$ ，電容抗隨比例而增加， $X_C = 1600 \Omega$ ，總電抗 $X_C = X_L - X_C = -1500 \Omega$ ，負值表示總電抗呈電容性，電路的相位角

4 通信電子電路

($\tan^{-1} X/R = \tan^{-1} 150$) 爲 90° ，此電抗遠大於 $10 R$ ，故電路的阻抗 Z 可視爲 1500Ω ，且爲純電容，電路電流爲 $Z = E/Z$ ，或 6.70 mA ，各元件的電壓 $E_C = I X_C = 10.7 \text{ V}$ ， $E_L = I X_L = 0.67 \text{ V}$ 。

表 1-1 頻率對電路值的影響

($L = 15.8 \text{ mH}$ $C = 0.1 \mu\text{F}$ $R = 10 \Omega$)

頻 率 (Hz)	X_L (Ω)	X_C (Ω)	X_o (Ω)	θ_o	Z (Ω) (特性)	I (mA)	E_C (V)	E_L (V)
1000	100	1600	-1500	90°	1500 電容	6.70	10.7	0.67
2000	200	800	-600	89°	600 電容	16.70	13.3	3.34
3000	300	533	-633	88°	233 電容	43.00	25.1	12.9
4000	400	400	0	0°	10 電阻	1 A	400	400
5000	500	320	+180	87°	180 電感	55.00	18.1	27.5
8000	800	200	+600	89°	600 電感	16.70	3.34	13.3
16000	1600	100	+1500	90°	1500 電感	6.70	0.67	10.7

將總結分析並可歸納如下：

1. 在共振時

- (a) 阻抗爲最小，且爲純電阻（等於 R ）。
- (b) 電流爲最大，且與外加電壓同相。
- (c) 電壓上升： $E_C = E_L = Q_C E_T$

2. 低於共振頻率時：

- (a) 阻抗急速增加，並呈電容性。
- (b) 電路電流急速減少。
- (c) E_L 及 E_C 亦急速減少。

3. 高於共振頻率時：

- (a) 阻抗急速增加，並呈電感性。
- (b) 電路電流急速減少。
- (c) E_L 及 E_C 亦急速減少。

圖 1-1 表示阻抗隨頻率的變化。

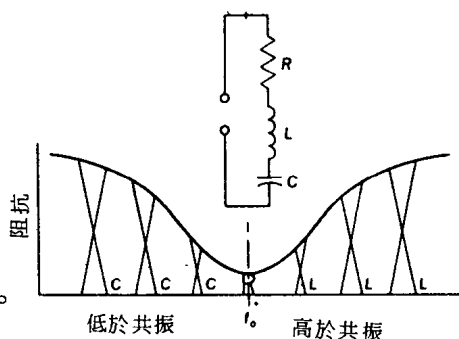


圖 1-1 串聯共振電路頻率對阻抗的影響

電路電阻的影響

電路電阻雖對共振頻率無影響，但對共振時的電壓及電流值有很大的影響，茲利用表 1-1 的 $L-C$ 電路值，並使電路電阻值從 10Ω 提高至 20 及 60Ω ，在各頻率時之電路值如表 1-

2 所示。

表 1-2 電阻對電路值的影響

($L = 15.8\text{mH}$ $C = 0.1\mu\text{F}$)

頻 率 (Hz)	X_0 (Ω)	$R = 20\ \Omega$			$R = 60\ \Omega$		
		$Z(\Omega)$	$I(\text{mA})$	$E_c(\text{V})$	$Z(\Omega)$	$I(\text{mA})$	$E_c(\text{V})$
1000	-1500	1500	6.70	10.7	1500	6.70	10.7
2000	-600	600	16.70	13.3	600	16.70	13.3
4000	0	20	500	200	60	167.00	66
8000	+600	600	16.70	3.34	600	16.70	3.34
16000	+1500	1500	6.70	0.67	1500	6.70	0.67

從上表知 $60\ \Omega$ 的電路電阻遠小於電路的淨電抗，故除共振外，頻率在兩旁偏移少許時，電路的總阻抗不受電阻值改變的影響，試比較 $R = 10, 20, 60\ \Omega$ 時，電路的電流及 E_c 值，在偏移共振時不受電阻值改變的影響，但在共振時， $R = 60\ \Omega$ ，跨接電容的電壓遠比 $R = 10\ \Omega$ 為少，因電阻值較高，所以電路的 Q 值較低，圖 1-2 表示電阻對串聯共振電路電容或線圈之跨接電壓的影響，這些曲線稱為響應曲線 (response curve) 或共振曲線 (resonance curve)，當電路的電阻值低時，曲線的兩斜邊較陡。

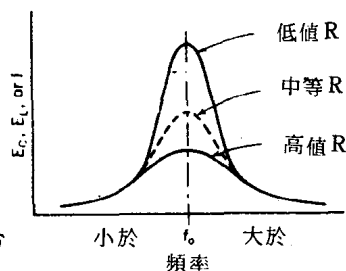


圖 1-2 串聯共振曲線電阻對頻率響應曲線的影響

L / C 比值的影響

在例 1-1 中， 15.8mA 的線圈及 $0.1\mu\text{F}$ 的電容所產生的共振頻率為 4000Hz ，若電感值增加 10 倍，電容值減少 10 倍，則共振頻率仍為 4000Hz ，因 LC 乘積不變，所以共振頻率不變，但其 L/C 比值為原比值的 100 倍，茲討論此種變化會產生何種影響，先假設電路的總電阻可忽略之。

1. 在共振時 X_L 等於 X_C ，淨電抗為零，阻抗為純電阻，且等於 R ，因電路電阻不改變， Z 值亦不改變，故在共振時，電路電流不受影響，但因 X_L 及 X_C 增加 10 倍，所以電路的 Q 值及跨接 L 及 C 的電壓，隨著電抗值的增加而增加，故 L/C 的比值愈高， L 及 C 的電壓越高（成為 Q 倍）。
2. 低於共振 因 L/C 比值較高，所以電容值較小，且當頻率減少時， X_C 的

增加更為快速，雖然電感值及電感抗亦比例 1-1 者為大，但 X_L 遠比 X_C 小，所以淨電抗增加，且電路的阻抗 Z 隨 L/C 值的增加而增加，電路電流亦以同一因素而減少，而跨接電容及線圈的電壓，為電路電流與各電抗的乘積，故電流的減少，被電抗的增加所補償，所以低於共振時，這些電壓不受 L/C 比值改變的影響。

3. 高於共振 因電感值較大， X_L 急速增加，電容抗可忽略之，所以淨電

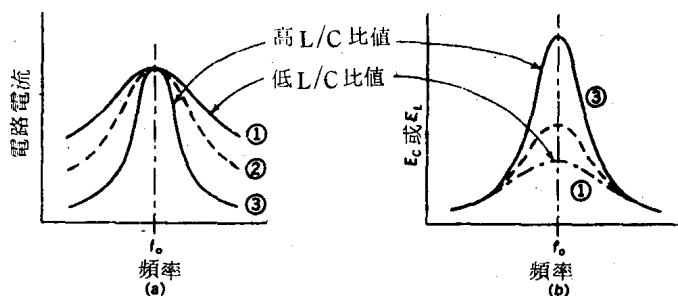


圖 1-3 L/C 比值對串聯共振電路響應曲線的影響

抗及電路的總阻抗，隨 L/C 比值的增加而增加，如上所述，電路電流較低，但偏移共振時， E_C 及 E_L 不受 L/C 比值改變的影響。

若 L/C 比值減少，則電路的 Q 值減少， L/C 比值對響應曲線的影響如

圖 1-3 所示。

[例 1-2] 比較例 1-1 電路在頻率為 1000, 4000, 16,000 Hz 的電路電流，及跨接電容的電壓，(1) L 改為 158mH, $C = 0.01 \mu F$, (2) L 降為 1.58mH, $C = 1.0 \mu F$ 。

表 1-3 L/C 比值的影響 ($R = 10 \Omega$)

頻 率 (Hz)	電 路 L	值 C	X_L (Ω)	X_C (Ω)	Z (Ω)	I (mA)	E_C (V)
1000	15.8mH	0.1 μF	100	1600	-1500	6.70	10.7
	158mH	0.01 μF	1000	16,000	-15,000	0.67	10.7
	1.58mH	1.0 μF	10	160	-150	67.00	10.7
4000	15.8mH	0.1 μF	400	400	10	1 A	400
	158mH	0.01 μF	4000	4000	10	1 A	4000
	1.58mH	1.0 μF	40	40	10	1 A	40
16,000	15.8mH	0.1 μF	1600	100	+1500	6.70	0.67
	158mH	0.01 μF	16,000	1000	+15,000	0.67	0.67
	1.58mH	1.0 μF	160	10	+150	67.00	0.67