

有線電視系統(750MHz)雙向放大器中等化器之設計與製作

洪鴻文 金俊德 吳元吉 周書豪 許惟喬

私立東南工業專科學校電子工程科

摘要

本文針對有線電視系統(750MHz)雙向放大器中等化器之設計製作，進行探討研究。有線電視系統用雙向放大器中等化器之設計是整個放大器設計之重心，等化處理功能好壞決定放大器功能優劣。為驗證本文所提等化處理架構之可行性與功能，本文亦提出模擬有線電視系統(750MHz)雙向高頻傳輸損失之反等化處理架構，以便於模擬實驗和對照驗證，此外，並量測所提等化處理架構之特性參數值，與現行有線電視系統業使用之商用規格作一比較，期能實用化。

關鍵詞：有線電視系統，雙向放大器，傳輸損失反等化模擬，等化處理(增益/斜率控制)。

一、系統簡介

有線電視系統中雙向放大器之架構[1]包括：(1)增益(Gain)方塊；(2)等化處理 (Equalization process) 方塊；(3)頻率多工器(Diplexer)方塊；(4)直流電源供應 (DC power supply) 方塊。如圖 1 所示：

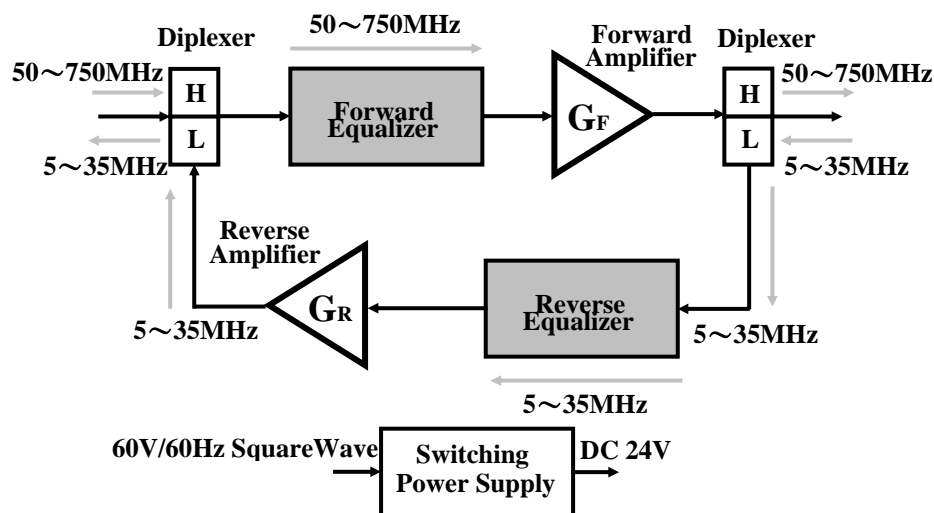


圖 1 有線電視系統雙向放大器方塊圖。

由圖 1 有線電視系統(750MHz)雙向放大器方塊圖，可知等化處理(Equalization process)方塊，依上下行 (Up stream : 5~35MHz ; Down stream : 50~750MHz) 信號方向可分為順向等化(Forward equalize)與逆向等化(Reverse equalize)兩種。等化處理之目的在於補償高頻傳輸損失及控制低振幅輸入信號增益(Automatic gain control, i.e. AGC)；若依其功能則可區分為斜率控制(Slope control : EQ)功能與增益控制(Gain control : ER)功能兩種；而依其操作方式不同可區分為自動式(Automatic)和手動式(Manual)兩種，自動式等化處理(包括 Automatic slope control : ASC 和 Automatic gain control : AGC)需依賴導引信號(Pilot tone)才能補償(Compensation)斜率及增益，將形成導引信號決定等化處理一切功能，且由於積體化商用模組技術已相當純熟，故本文將探討研究重心放在手動式等化處理上。

有線電視系統中高頻傳輸損失主要由傳輸信號用之同軸電纜(Coaxial cable)損失所造成，這其中尤以“同軸電纜的損失大小”會正比“纜線上通過信號的頻率高低”之現象影響最鉅，當傳輸信號的頻率昇高時，勢必發生傳輸損失會伴隨加大的結果，此時若系統中缺乏等化處理安排，則在經過一定距離傳輸後，信號因高頻傳輸損失導致劣化狀況將更為嚴重，終至無法收視地步。故在有線電視系統雙向放大器之設計中，等化器之設計遂成爲決定設計雙向放大器成功與否之重要性關鍵所在。表 1 爲有線電視系統傳輸用同軸電纜損失數據參考表：

表 1 有線電視系統傳輸用同軸電纜損失數據參考表。

纜線使用 位置 線徑 頻率 (MHz)	幹線(Trunk) / 饋線(Feeder)					投落線(Drop)		
	0.500	0.625	0.750	0.875	1.000	RG-59 (4C)	RG-6 (5C)	RG-11 (7C)
5	0.52	0.43	0.36	0.30	0.29	3.28	1.90	0.95
220	3.64	3.08	2.49	2.20	2.07	12.5	10.5	6.30
450	5.35	4.43	3.67	3.22	3.02	17.7	14.4	9.02
550	5.97	4.92	4.07	3.54	3.38	19.5	16.1	9.97
750	7.12	5.84	5.02	4.46	4.04	22.9	18.5	12.4

同軸電纜損失單位：dB/每一百公尺；線徑單位爲英吋(inch)。

本文中手動式等化及反等化處理電路中斜率控制功能均是應用被動式高低通濾波器設計理論[2]，以高通濾波器低頻響應曲線設計等化處理電路中斜率控制功能，以低通濾波器高頻響應曲線設計反等化處理電路中斜率控制功能。

一、研究動機與背景

雙向放大器之設計在有線電視系統工程中佔了非常重要之地位，而其重心與竅門均在等化處理設計上，目前國內有線電視系統產業界爲達顧客對高訊號品質水準之需求，大都只能採用進口製品，如此一來不僅成本居高不下，並由於設計維修方面技術缺乏，而進口廠牌廠商不可能也不願意協助國內業者完成技術轉移，勢必造成有線電視系統工程技術組成環節脫序，使得國內有線電視系統工程技術基礎往下紮根工作遇到瓶頸。有鑑於此遂引發本文之研究動機，希望藉由設計、製做與量測雙向放大器中等化器過程中實務經驗心得，不僅可培訓學生關於有線電視系統雙向放大器設計、製作與量測方面實務基礎，同時可提昇國內有線電視產業界相關之技術水準。

二、設計理論和實務

本文所提“手動等化處理架構”依傳輸信號方向分爲順向斜率控制(EQ_F)功能、順向增益控制(ER_F)功能、逆向斜率控制(EQ_R)功能及逆向增益控制(ER_R)功能四種[1]，茲就其設計理論和實務分述如下。

(1)關於順向斜率控制(EQ_F)，本文採二階被動高通濾波器低頻響應理論設計等化曲線，依傾斜(Tilt)種類分爲半傾斜(Half-tilt)等化曲線和全傾斜(Full-tilt)等化曲線兩種，如圖 2 所示：

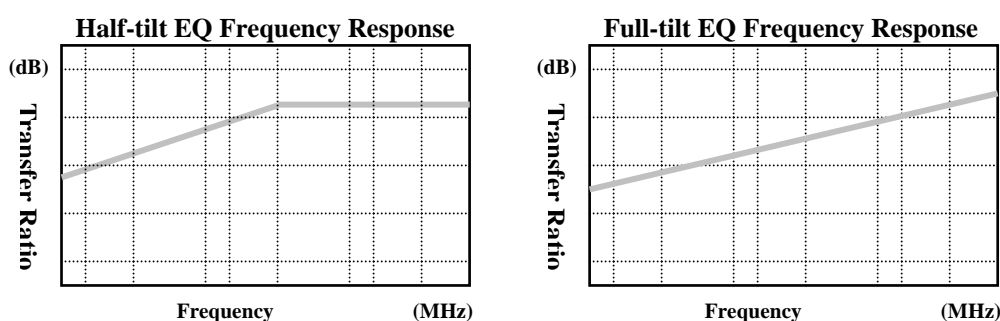


圖 2 順向斜率控制(EQ_F)之半傾斜(Half-tilt)和全傾斜(Full-tilt) 頻率響應曲線示意圖。

順向斜率控制之頻率響應曲線必需被設計成左傾，完全肇因於信號在傳輸過程中被衰減程度除距離因素外，和信號本身頻率成正比，頻率愈高衰減程度愈大，爲補償傳輸衰減之頻率響應曲線右傾現象，故 EQ_F 頻率響應必需被設計成左傾，則經順向斜率控制處理後下行信號頻譜曲線會呈現平坦狀。圖 3 爲本文設計

具半傾斜斜率控制功能之順向等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

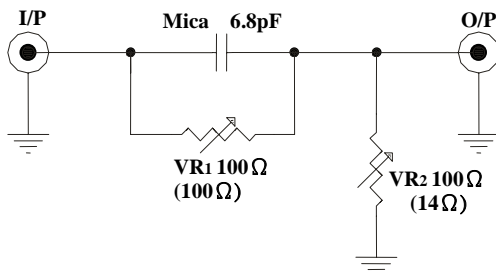
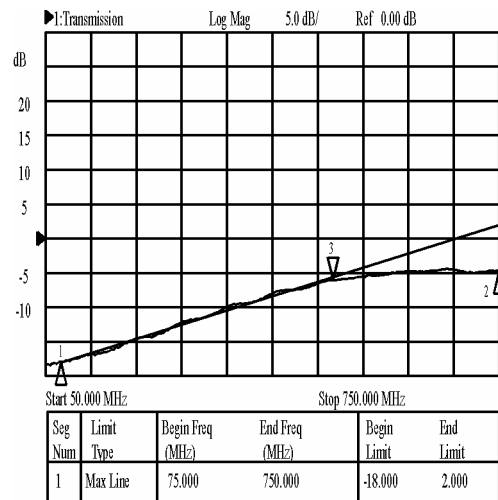


圖 3 本文設計具半傾斜斜率控制功能之順向等化電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其順向斜率控制範圍可由 0dB/decade~+20dB/decade。圖 4 為本文設計具全傾斜斜率控制功能之順向等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

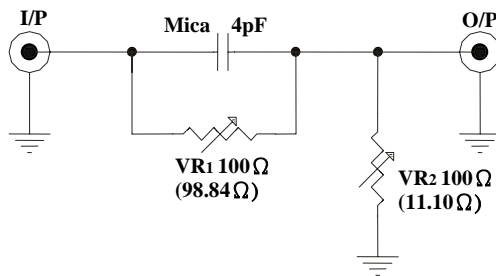
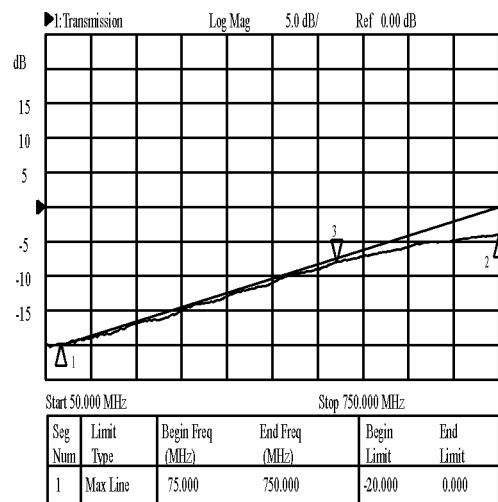


圖 4 本文設計之順向全傾斜斜率控制電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其斜率控制範圍可由 0dB/decade~+20dB/decade。

反等化處理(anti-equalization process)——另外為驗證所設計順向等化電路之斜率控制(EQ_F)功能，本文亦設計模擬順向傳輸損失之反等化(Anti-EQ_F)電路，圖 5 為本文設計之順向半傾斜反等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

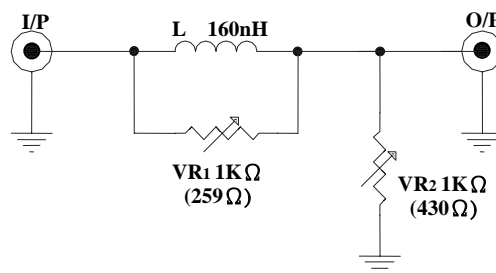
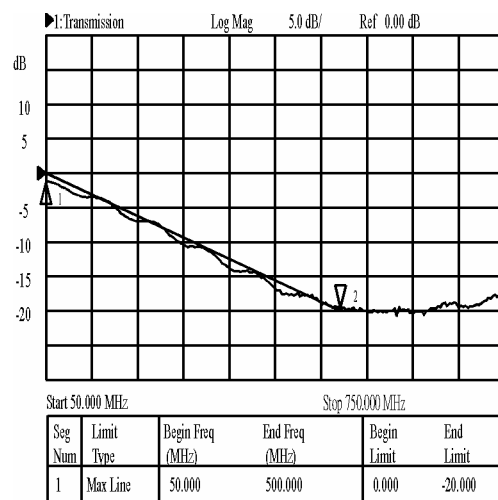


圖 5 本文設計之順向半傾斜反等化電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其斜率控制範圍可由 0dB/decade~ -20dB/decade 。圖 6 為本文設計之順向全傾斜反等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

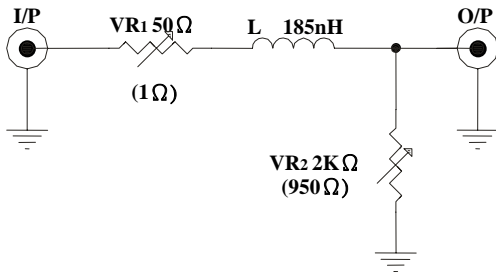
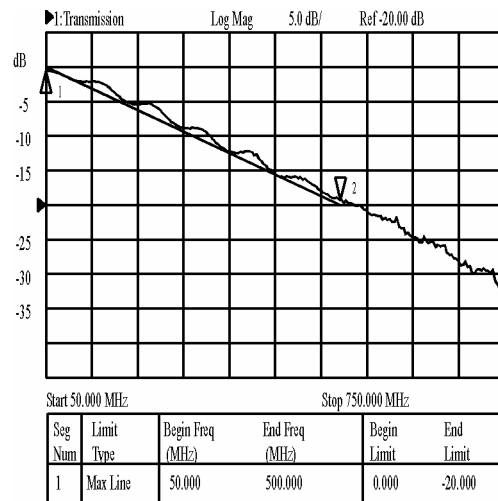


圖 6 本文設計之順向全傾斜反等化電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其斜率控制範圍可由 0dB/decade~ -20dB/decade 。

(2)關於**逆向斜率控制**(EQ_R)，除上行信號頻寬(僅 30MHz)較下行信號為窄外，其餘設計理論和實務皆和順向斜率控制(EQ_F)一樣，圖 7 為本文設計具半傾斜斜率控制功能之逆向等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

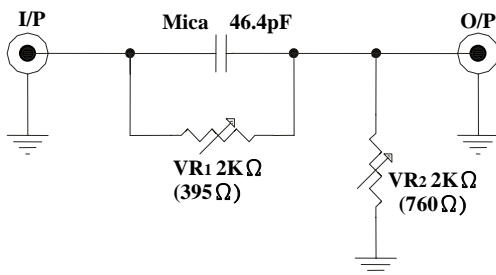
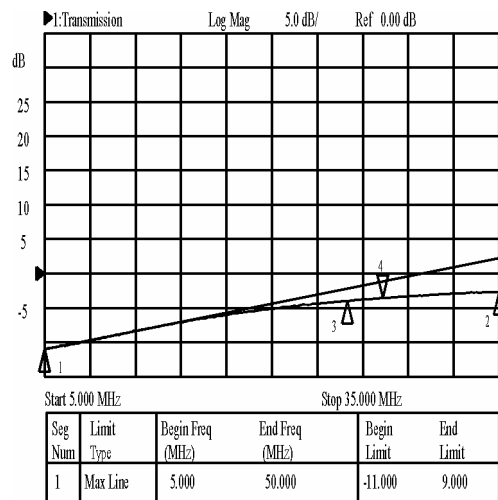


圖 7 本文設計具半傾斜斜率控制功能之逆向等化電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其順向斜率控制範圍可由 0dB/decade~ $+20\text{dB/decade}$ 。圖 8 為本文設計具全傾斜斜率控制功能之逆向等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

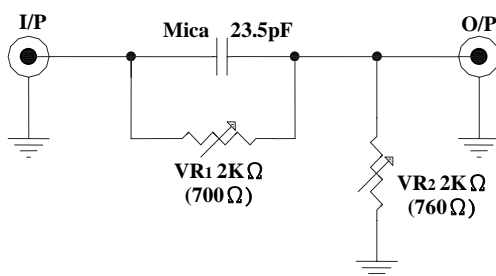
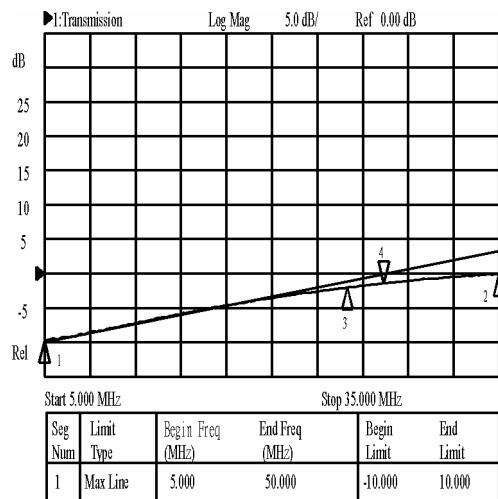


圖 8 本文設計具半傾斜斜率控制功能之逆向等化電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其斜率控制範圍可由 0dB/decade~+20dB/decade。

反等化處理(anti-equalization process)——另外為驗證所設計逆向等化電路之斜率控制 (EQ_R)功能，本文亦設計模擬逆向傳輸損失之反等化(Anti-EQ_R)電路，圖 9 為本文設計之逆向半傾斜反等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

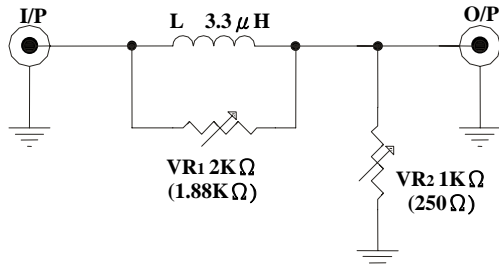
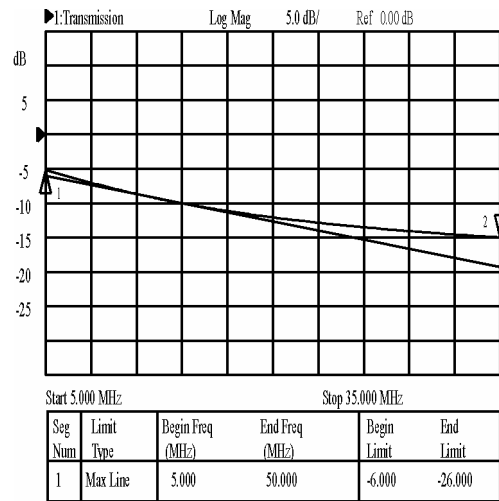


圖 9 本文設計之逆向半傾斜反等化電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其斜率控制範圍可由 0dB/decade~-20dB/decade。圖 10 為本文設計之逆向全傾斜反等化電路及其頻率響應曲線[4][5]：

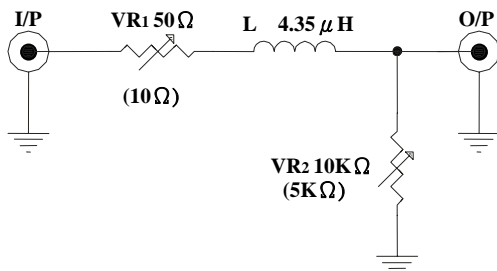
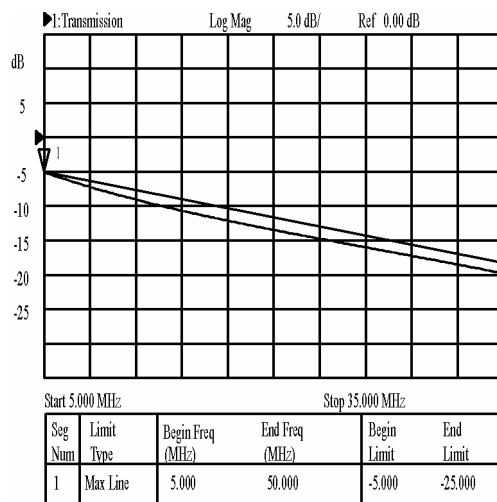


圖 10 本文設計之逆向全傾斜反等化電路及其頻率響應曲線。



經實際量測結果得知，其斜率控制範圍可由 0dB/decade~-20dB/decade。

(3)關於**順向增益控制(ER_F)**與**逆向增益控制(ER_R)**，本文採 π 型衰減器單元(π -type attenuator unit)設計，且為考慮雙向放大器系統插入 EQ 和 ER 後仍能達到阻抗完全匹配，故本文等化處理中安排 ER 搭配 EQ 時，作如圖 11 示意圖中配置：

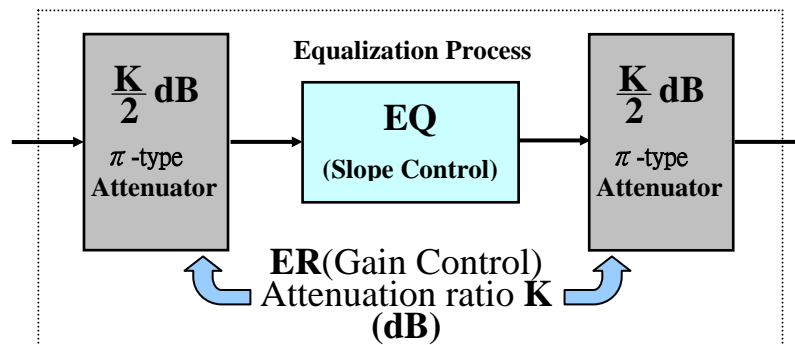
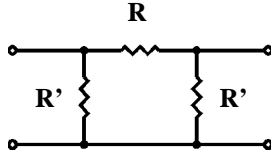


圖 11 ER 搭配 EQ 達到阻抗完全匹配之配置示意圖。

而 π 型衰減器單元依現有市售商規歐姆數設計，其中衰減 dB、衰減電阻歐姆(R 和 R')、特性阻抗(Z_0) 等等理論與實際值、衰減電阻歐姆值(R 和 R')之快速計算公式，本文將其歸納整理如表 2 所示[4][5]：

表 2 π 型衰減器單元之衰減 dB、衰減電阻歐姆(R 和 R')、特性阻抗(Z_0) 等等理論與實際值、衰減電阻歐姆值(R 和 R')之快速計算公式。

		$R = \frac{75}{2} \Omega \times \left[\frac{\text{衰減dB值}}{10} \frac{10}{20} - 1 \right]$		$R' = 75 \Omega \times \left[\frac{\text{衰減dB值}}{10} \frac{20}{20} + 1 \right]$		
理論衰減比(dB)	理論 R 值 (Ω)	理論 R' 值 (Ω)	實際衰減比(dB)	實際 R 值 (Ω)	實際 R' 值 (Ω)	特性阻抗 (Ω)
0.5	4.32	2K61	0.53	4.64	2K61	75.31
1	8.65	1K30	1.02	8.89	1K30	75.18
2	17.42	654.31	2.06	18	649	75.34
3	26.42	438.60	3.06	27	430	75.01
4	35.77	331.45	4.02	36	330	75.03
5	45.59	267.73	5.13	47	261	75.01
6	56.02	225.71	5.99	56	226	75.03
7	67.20	196.09	6.53	62	210	75.25
8	79.26	174.21	8.22	82	169	74.72
9	92.38	157.49	8.88	91	160	75.25
10	106.72	144.37	9.54	100	150	75

四、等化處理之重要設計公式

有線電視系統雙向放大器中等化處理之設計上，常必需利用一些重要公式求出設計上必需應用之系統參數，在此本文將上述這些重要公式歸納整理如下[1]：

(1) 固定距離傳輸纜線損失之計算

例如傳輸纜線距離長 900 公尺，線徑為 0.875 英吋饋線(Feeder)，傳輸頻率為 450MHz，則由表 1 中可查得傳輸纜線每 100 公尺損失為 3.22dB，因此長 900 公尺之傳輸損失應為如下計算。

$$\text{固定距離纜線傳輸損失} = 3.22\text{dB} / 100\text{公尺} \times 900\text{公尺} = 28.98\text{dB} \quad (1)$$

(2) 由纜線損失比求損失傾斜度

例如 0.75 英吋線徑傳輸纜線之傳輸頻率由 55MHz~750MHz，則由表 3 中可查出纜線損失比值為 0.24，若已知纜線損失在 750MHz 是 18dB，則利用纜線損失比可先求得 55MHz 時纜線損失為 18dB $\times 0.24 = 4.32\text{dB}$ ，再將高低頻損失相減，18dB - 4.32dB = 13.68dB，即得損失傾斜度(Tilt)大小。

(3) 由高低頻比求損失傾斜度進而估算 EQ 所需斜率

由輸入信號狀況，例如頻率由 54MHz~750MHz，0.75 英吋線徑傳輸纜線距離長 300 公尺，計算出纜線傳輸損失斜率，進而推算出所設計 EQ 應該斜率為多少？

由 (1) 可以求出 300 公尺距離纜線傳輸損失(Cable loss)為 5.02dB/100公尺 $\times 300\text{公尺} = 15.16\text{dB}$ ，

$$\text{故纜線傳輸損失傾斜(tilt)可以由下式求出：Tilt} = \left(1 - \sqrt{\frac{f_{\text{Low}}}{f_{\text{High}}}} \right) \times \text{Cable loss} = 11.02\text{dB} \quad (2)$$

其中 $f_{\text{Low}} = 54\text{MHz}$ ， $f_{\text{High}} = 750\text{MHz}$ ，Cable loss = 15.16dB，再將 Tilt 除以傳輸頻寬即得斜率(slope)大小。

表 3 纜線損失比(Cable loss ratio)表，以 0.75 英寸線徑纜線為根據。

MHz	5	55	220	350	450	550	750
5	1.00	3.43	7.16	9.24	10.63	11.90	14.20
55	0.29	1.00	2.09	2.70	3.10	3.47	4.15
220	0.14	0.48	1.00	1.29	1.48	1.66	1.98
350	0.11	0.37	0.78	1.00	1.15	1.29	1.54
450	0.09	0.32	0.67	0.87	1.00	1.12	1.34
550	0.08	0.29	0.60	0.78	0.89	1.00	1.19
750	0.07	0.24	0.50	0.65	0.75	0.84	1.00

(4)由纜線損失對傾斜度曲線求得損失傾斜度

例如已知傳輸纜線損失為 16dB，且其傳輸頻寬為 550MHz，則可利用圖 12 纜線損失對傾斜度曲線，求得損失傾斜度值 11dB。

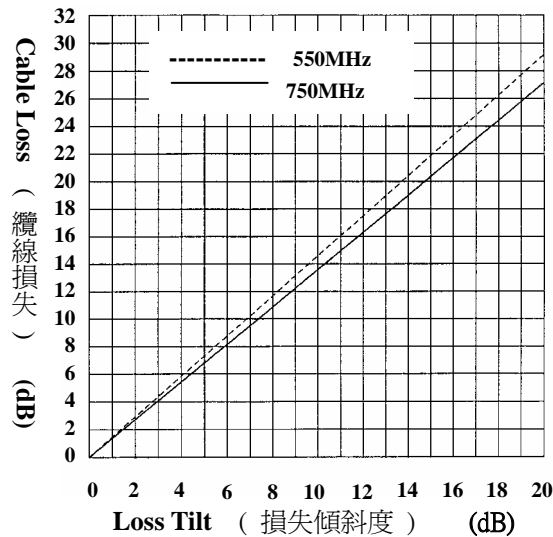


圖 12 纜線損失對傾斜度曲線。

五、等化處理之重要參考商規比較

表 4 通用儀器(General Instrument)公司製品商規。

Type	EQ-750-				EQ-600-				EQ-550-				EQ-450-			
Band(MHz)	40~750				40~600				40~550				40~450			
Parameter	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
Cable Eq. dB	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
Flatness(±dB)	0.2				0.15				0.15				0.15			
Return Loss(dB)	18				18				18				18			
Insertion loss(-dB)	1.0				1.0				1.0				1.0			

本文中 等化處理設計所得實驗數據結果皆以通用儀器(General Instrument)公司製品商規為比較參考依據，現將其製品商規整理如表 4 所列。雖然並沒列出逆向等化器規格，但可參照順向等化器規格。以上表

4 所列規格之等化器組件是用於在幹線模組、橋型模組、迷你橋型模組、延伸模組傳輸放大器上。順向等化器提供從 2 到 30dB 纜線等化值，每次以 2dB 增量增加。

本文中順逆向等化處理設計經實測數據結果如下：

- (1)EQ_F—纜線等化 dB 值由 0~20dB 可連續微調，頻率響應平坦度為±0.85dB，迴射損失為 16dB，插入損失為 - 1.2dB。
- (2)EQ_R—纜線等化 dB 值由 0~20dB 可連續微調，頻率響應平坦度為±0.55dB，迴射損失為 18dB，插入損失為 - 1.15dB。
- (3) ER_F與 ER_R—衰減 dB 值由 0~20dB 可步階(Step)調整，ER_F 頻率響應平坦度為±1.2dB 而 ER_R 頻率響應平坦度為±0.4dB，ER_F 響應頻寬由 52~750MHz 而 ER_R 響應頻寬由 5~45MHz，ER_F 迴射損失為 14dB 而 ER_R 迴射損失為 18dB。

六、結論

針對本文中手動等化處理架構，提出以下結論：

- (1)有線電視系統中分配線網路及用戶終端網路之傳輸纜線總損失，包括傾斜損失和平坦損失兩種。其中傾斜損失正比於傳輸頻率，可藉等化處理之斜率控制功能(EQ)修正；而平坦損失正比於傳輸距離，可藉等化處理之增益控制功能(ER)修正。
- (2)本文所提手動等化處理架構中 EQ 電路之設計，主要是應用濾波器理論中控制轉移函數之極點(Pole)和零點(Zero)相對位置，來達成高通濾波器低頻響應暫態帶(Transition band)斜率控制。
- (3)本文所提手動等化處理架構中 ER 電路之設計及其配置方式(將 π 型衰減單元一分為二且分別置於 EQ 輸入/出處)，此種安排不僅可達成增益控制目的，且對等化處理架構之阻抗匹配上，有著莫大助益。

七、參考文獻

- [1] NationalCable Television Association (N.C.T.A.), “ Recommended Practices For Measurements on Cable Television Systems ”, Washington D.C., Part One(1995).
- [2] Bowick C., ”RF Circuit Design”, The SouthEast Book Company, Indiana, pp.9-66(1982).
- [3] Smith K.C.,”Microelectronic Circuits “, Saunders College publishing, Orlando, pp.488-553(1991).
- [4]袁 杰，高頻通信電路設計，第 176-307 頁，全華科技圖書，台北 (1994)。
- [5]王捷輝，高頻電路設計技術，第 133-178 頁，全華科技圖書，台北 (1995)。