

Design of HTS Filter with Spurious Passbands Suppression

謝東憲、許崇宜；王立民

E-mail: 9315070@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

A tap-connection technique is applied to cross-coupled HTS bandpass filters (BPF) so as to suppress the second and/or the third passbands, which are spurious and undesirable. Classical filters with half-wavelength resonators have the spurious passbands around integral multiples of the fundamental center frequency f_0 . In particular, passband responses around the first two spurious frequencies $2f_0$ and $3f_0$ cause the poor out-of-band performance. To improve the out-of-band performance of the BPFs, we tap the input/output microstrip lines at certain locations. In this thesis, it is confirmed that tapping somewhere along the input/output microstrip lines a open stub or a short stub, where refers to the guided wavelength at $2f_0$ or $3f_0$, may effectively suppress harmonics at $2f_0$ and/or $3f_0$ by more than 30dB.

Keywords : cross-coupled HTS bandpass filters ; spurious frequencies

Table of Contents

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	
. iv 英文摘要		v 誌謝	
. vi 目錄		vii 圖目錄	
. x 表目錄			
. xiii 第一章 緒論 1.1 研究動機	1	1.2 論文內容綱	
. 3 第二章 濾波器原理與設計	4	2.1 簡介	
. 4 2.2 準橢圓濾波器之特性	4	2.2.1 濾波器合成	
. 5 2.2.2 傳輸零點之分析與驗證	9	2.3 諧振器間的耦合型態	
. 12 2.3.1 電場(電容)性耦合	12	2.3.2 磁場(電感)性耦合	
. 14 2.3.3 混合性耦合	16	2.4 直接耦合與交錯耦合型式濾波器之設計與比較	18
2.4.1 直接耦合濾波器	18	2.4.2 交錯耦合濾波器	19
2.4.3 髮夾式交錯耦合濾波器		2.5 方形開迴路諧振器交錯耦合濾波器之設計	22
2.5.1 步接阻抗諧振器之特性	27	2.5.2 小型化交錯耦合濾波器	
2.5.3 其他形式之交錯耦合濾波器	29	2.6.1 小型化交錯耦合濾波器之設計	27
2.6.2 小型化交錯耦合濾波器之設計	29	2.7 其他形式之交錯耦合濾波器	32
第三章 饋入結構之應用	33	3.1 饋入結構	33
3.2 非饋入結構		3.3 饋入之方形交錯耦合濾波器	38
3.4 饋入之小型化交錯耦合濾波器	41	第四章 超導濾波器諧波抑制與設計	44
4.1 開路殘段	44	4.2 短路殘段	51
4.3 短路殘段與 開路殘段	54	第五章 高溫超導體之微波性質與製程技術	57
5.1 邁斯納效應與穿透深度	57	5.2 二流體模型與表面電阻	59
5.2 大面積超導薄膜製程	62	5.3.1 射頻磁控濺鍍法	62
5.3.2 雙離軸式(off-axis)磁控濺鍍法	63	5.3.2 雙離軸式(off-axis)磁控濺鍍法	63
5.4 製作流程與製程技術	66	5.5 蝕刻方式的選擇	66
5.6 封裝與量測	67	第六章 高溫超導濾波器實作量測結果	68
第七章 未來展望與結論	73	參考文獻	74
附錄A 耦合係數之推導	78	圖目錄 圖2.1 低通網路原型	9
圖2.2 低通網路原型 (a) 偶模 Even mode (b) 奇模 Odd mode	12	圖2.3 電場性耦合諧振器佈局圖	12
圖2.4 (a) 電場性耦合之等效電路圖 (b) 另一電場性耦合等效電路模型	14	圖2.5 磁場性耦合諧振器佈局圖	14
圖2.6 (a) 磁場性耦合之等效電路圖 (b) 另一磁場性耦合等效電路模型	14	圖2.7 混合性耦合諧振器佈局圖	15
圖2.8 (a) 混合場性耦合之等效電路圖 (b) 另一磁混合耦合等效電路模型	16	圖2.9 Chebychev 髮夾式帶通濾波器	18
圖2.10 直接耦合濾波器之模擬結果	18	圖2.11 交錯耦合	

濾波器之模擬結果	19	圖2.12 交錯耦合濾波器之模擬結果	19	圖2.13
直接耦合與交錯耦合濾波器頻率響應比較	20	圖2.14 髮夾式交錯耦合濾波器	21	圖2.15
圖2.15 模擬結果	22	圖2.16 可實現具一對有限頻率零點帶通濾波器之微帶線架構	24	圖2.17
圖2.17 四種不同耦合結構之曲線圖	25	圖2.18 四階交錯耦合濾波器頻率響應圖	25	圖2.19
圖2.19 六階交錯耦合濾波器頻率響應圖	25	圖2.20 四階與六階濾波器頻率響應比較圖	26	圖2.21
圖2.21 四階濾波器在不同零點比較圖	26	圖2.22 步接阻抗諧振器結構之示意圖	28	圖2.23
圖2.23 阻抗比例 與電器長度比例 關係圖	28	圖2.24 電器長度 與 關係圖	28	圖2.25
圖2.25 縮小型諧振器	29	圖2.26 微小型交錯耦合濾波器	30	圖2.27
圖2.27 耦合結構曲線圖 (a)電場性耦合 (b)磁場性耦合 (c)混合性耦合	31	圖2.28 微小型交錯耦合濾波器頻率響應圖	31	圖2.29
圖2.29 不同形式之交錯耦合濾波器	32	圖3.1 (a) 非 饋入結構 (b) 饋入結構	33	圖3.2
圖3.2 饋入結構之等效電路	35	圖3.3 (a) 非 饋入之交錯耦合濾波器 (b) 饋入之交錯耦合濾波器	39	圖3.4
圖3.4 饋入之方形交錯耦合濾波器頻率響應圖	40	圖3.5 非 饋入與 饋入之頻率響應比較	40	圖3.6
圖3.6 (a) 非 饋入之交錯耦合濾波器 (b) 饋入之交錯耦合濾波器	41	圖3.7 饋入之小型化交錯耦合濾波器頻率響應圖	42	圖3.8
圖3.8 非 饋入與 饋入之頻率響應比較	43	圖4.1 方形交錯耦合濾器	45	圖4.2
圖4.2 寬頻頻率響應	45	圖4.3 加入 開路殘段之交錯耦合濾波器	46	圖4.4
圖4.4 頻率響應圖	46	圖4.5 加入 開路殘段之交錯耦合濾波器	47	圖4.6
圖4.6 頻率響應圖	47	圖4.7 加入 與 開路殘段之交錯耦合濾波器	48	圖4.8
圖4.8 頻率響應圖	48	圖4.9 為 饋入結構濾波器	49	圖4.10
圖4.10 (a) 饋入頻率響應 (b) 饋入與非 饋入比較	49	圖4.11 加入 與 開路殘段之 饋入結構濾波器	50	圖4.12
圖4.12 頻率響應圖	50	圖4.13 饋入與非 饋入濾波器抑制後頻率響應	51	圖4.14
圖4.14 加入 與 短路殘段之交錯耦合濾器	52	圖4.15 頻率響應圖	52	圖4.16
圖4.16 加入 與 短路殘段之 饋入結構濾波器	53	圖4.17 頻率響應圖	53	圖4.18
圖4.18 饋入與非 饋入濾波器抑制後頻率響應	54	圖4.19 加入 開路殘段與 短路殘段之交錯耦合濾器	55	圖4.20
圖4.20 頻率響應圖	55	圖4.21 加入 與 短路殘段之 饋入結構濾波器	56	圖4.22
圖4.22 頻率響應圖	56	圖4.23 饋入與非 饋入濾波器抑制後頻率響應	56	圖5.1
圖5.1 濺鍍工作原理的示意圖	62	圖5.2 雙離軸式(off-axis)磁控濺鍍法	64	圖5.3
圖5.3 成品	64	圖6.1 1號樣品實體組合完成圖	68	圖6.2
圖6.2 2號樣品實體組合完成圖	69	圖6.3 1號樣品超導濾波器模擬與實作比較	69	圖6.4
圖6.4 1號樣品超導濾波器量測結果 1~6.5 GHz	70	圖6.5 2號樣品超導濾波器模擬與實作比較	71	圖6.6
圖6.6 1號樣品超導濾波器量測結果 1~6.5 GHz	71	圖A.1 低通濾波器原型	78	圖A.2
圖A.2 (a)K型反轉器轉換 (b)J型反轉器轉換	79	圖A.3 J型倒轉器代換後之低通濾波器原型	79	圖A.4
圖A.4 帶通濾波器原型	80	圖A.5 電納斜率參數所表示的帶通濾波器原型	81	圖A.6
圖A.6 四階低通濾波器原型	82	圖A.7 四階帶通濾波器原型	82	表目錄
表目錄 表2.1 濾波器階數N=4, 對應之等效低通網路元件值	7	表2.2 濾波器階數N=6, 對應之等效低通網路元件值	8	表2.3
表2.3 濾波器階數N=8, 對應之等效低通網路元件值	8	表5.1 超導體與常態導體的各項表示式	59	表5.2
表5.2 鍍膜成長條件	61	表6.1 1號樣品模擬與實作比較	70	表6.2
表6.2 2號樣品模擬與實作比較	72			

REFERENCES

- 參考文獻 [1] G. L. Matthaei, and G. L. Hey-Shipton, " Concerning the use of high-temperature superconductivity in planner microwave filters ", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. vol. 42, pp.1287-1294, July 1994.
- [2] R. Levy, and S. B. Cohn, " A history of microwave filter research, design, and development, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. MTT-32, pp 1055-1067, Sept 1984.
- [3] G. L. Matthaei, L. Young, E. M. T. Jones, Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures, Artech House, 1980.
- [4] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley, 1993, Chapter 8.
- [5] E. G. Cristal and S. Frankel, " Design of hairpin-line and hybrid hairpin-parallel-coupled-line filters, " IEEE MTT-S, pp 12-13, Digest 1971.
- [6] G. L. Matthaei, " Interdigital band-pass filters, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech. vol. 10, pp 479-492, 1962.
- [7] R. Levy, " Filters with single transmission zeros at real and imaginary frequencies, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 24, pp 172-181, Apr. 1976.

- [8] M. Makimoto, and S. Yamashita, "Bandpass filters using parallel coupled stripline stepped impedance resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 28, pp. 1413-1417, Dec. 1980.
- [9] M. Makimoto, and S. Yamashita, *Microwave Resonators and Filters for wireless Communication-Theory and Design*, Springer, Berlin, 2001, Chapter 4
- [10] J. S. Hong, and M. J. Lancaster, "Theory and experiment of novel microstrip slow-wave open-loop resonator filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* Vol. 45, pp. 2358-2365, Dec. 1997.
- [11] Sheleg, B., and B. E. Wpielman, "Broadband directional couplers using microstrip with dielectric overlays," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* Vol.22, pp 1216-1220, Dec. 1974.
- [12] Klein, J. L. , and K. Chang, "Optimum dielectric overlay thickness for equal even- and odd-mode phase velocities in coupled microstrip circuit," *Electronics Letters*, vol. 26, pp. 274-276, 1990.
- [13] J.-T. Kuo,W.-H. Hsu, andW.-T. Huang, "Parallel coupled microstrip filters with suppression of harmonic response," *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 12, pp. 383—385, Oct. 2002.
- [14] Sheng-Fuh Chang, Yng-Huey Jeng, Jia-Liang Chen, "Tapped wiggly-coupled technique applied to microstrip bandpass filters for multi-octave spurious suppression," *IEEE Electronics Letters*, vol. 40, pp. 46-47, Jan. 2004.
- [15] R. Qiang; Y. Wang,and D. Chen, "A Novel Microstrip bandpass filter with two cascaded PBG structure," *IEEE Int. Antennas Propagat. Symp. Dig.* vol. 2, pp. 510-513, July 2001.
- [16] Hu Rong, Zhang Xue Xia, Gao Bao Xin, "2-D PBG structure in microstrip line and symmetrical microstrip line," *Proceedings of APMC 2000*, pp. 1218-1221.
- [17] J. S. Hong and M. J. Lancaster, "Design of highly selective microstrip bandpass filters with a single pair of attenuation poles at finite frequencies," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* ,vol MTT-48, pp 1098-1107, July 2000.
- [18] J. S. Hong and M. J. Lancaster, "Couplings of microstrip square open-loop resonators for cross-coupled planar microwave filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 2099-2109, Dec. 1996.
- [19] J. S. Hong and M. J. Lancaster, "Microstrip Filters for RF/ Microwave Application" John Wiley&Sons, Inc 2001.
- [20] G. L. Matthei, N. O. Fenzi, and R. J. Forse, "Hairpin-comb filter for HTS and other narrow-band application," *IEEE Trans Microwave Theory Tech.*, vol. 45, pp. 1226-1331, Aug. 1997.
- [21] M. S. Gashinova, M. N. Goubina, G. Zhang, I. A. Kolmakov, Y. A. Kolmakov, and I. B. Vendik, "High-Tc superconducting planar filter with pseudo-chebychev characteristic," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, pp.792-795, Mar. 2003.
- [22] M. Reppel, and J. C. Mage, "Superconducting microstrip bandpass filter on LaAlO₃ with high out-of-band rejection," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, pp. 180-182, May. 2000.
- [23] J. S. Wong, "Microstrip tapped-line filter design," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. 27, pp.44-50, Apr. 1979.
- [24] M. Sagawa, K. Takahashi, and M. Makimoto, "Miniaturized hairpin resonator filters and their application to receiver front-end MIC's," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 37, pp. 1991-1997, Dec. 1989.
- [25] S. Y. Lee, C. M. Tsai, "New cross-coupled filter design using improved hairpin resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, pp.2482-2490, Dec. 2000.
- [26] 李勝源 "具有額外傳輸零點之小型化微波平面式濾波器設計" 博士論文, 成功大學電機系, 民國91年 [27] B. C. Min, Y. H. Choi, S. K. Kim, and B. Oh, "Cross-coupled band-pass filter using HTS microstrip resonators," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol. 11, pp. 485-488, Mar. 2001.
- [28] K. F. Rahn, R. Alvarez, J. Costa and G. L. Hey-Shipton, "Highly selective HTS band pass filter with multiple resonator cross-couplings," *IEEE MTT-S Digest*, vol. 2, pp. 661-664, June 2000.
- [29] 余迅 "交互耦合式帶通濾波器設計" 碩士論文, 中正大學電機系, 民國92年 [30] Zhi-Yuan Shen, "High-Temperature Superconducting Microwave Circuits," 高立, 民國86年 [31] Eisberg Robert, "量子物理學," 民國77年 [32] 曹智濠 "交叉耦合式高溫超導濾波器之設計與特性之研究" 碩士論文, 大葉大學電機系, 民國92年 [33] 陳正中 "利用四分之一波長、準四分之一波長以及摺疊式四分之一波長諧振" 博士論文, 交通大學電信系, 民國92年