

高温度稳定性声表面波信道化 滤波器组研制*

何世堂 汪承灏 解 述 郭艳明

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

1997 年 5 月 19 日收到

摘要 本文报道了作者研制的频率范围分别为 200–350MHz 和 350–500MHz 的两种 15 信道声表面波滤波器组的结果。为了克服现有技术温度稳定性较差的缺点,基片材料采用 $Y112^\circ \text{LiTaO}_3$, 温度稳定性比现有技术提高 3.5–5 倍。每个滤波器中的两个叉指换能器一个采用特殊抽样的单指换能器,另一个采用三次谐波工作的分裂指换能器,从而避免了采用基频工作的分裂指换能器所需的 $0.8\mu\text{m}$ 工艺。输入匹配网络采用改进的串并联匹配网络,降低了输入匹配网络的插入损耗,补偿了因采用 $Y112^\circ \text{LiTaO}_3$, 单个滤波器插损较大的缺陷,使滤波器组总的插入损耗与现有采用 YZ 或 $Y128^\circ \text{LiNbO}_3$ 的滤波器组相当。

关键词 声表面波, 信道化, 滤波器组

High temperature stability SAW channelizer filter bank

He Shitang Wang Chenghao Xie Shu Guo Yangming

(Institute of Acoustics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Two 15 channel SAW channelizer filter banks designed and constructed by us with frequency ranging respectively from 200 to 350 MHz and 350 to 500MHz are hereby reported. To overcome the usual weakness of poor temperature stability, we use $Y112^\circ \text{LiTaO}_3$ as substrate, with the consequence that the temperature stability is raised 3.5 to 5 times. Special structure of the interdigital transducers are adopted such that the $0.8\mu\text{m}$ technology is avoided. To reduce the insertion loss, a modified and thus optimized series-parallel combination of the individual SAW filter is used. The measured properties of the two versions of the filter bank are given.

Key words SAW, Channelizer, Filter bank

1 引言

在现代战争中,电子侦察设备面临日益复杂的电磁环境,信号密度越来越大,捷变速度越来越快,这就要求电子侦察设备必须具有在

频域内瞬时分选多个信号的功能。在此情况下信道化侦察接近机应运而生。它具有大的工作带宽和百分之百的截获概率。其核心是频域分路部件。

由多个声表面波滤波器加上匹配网络组合

* 中国科学院“八五”军 I 项目,获 1997 年度中国科学院发明三等奖

而成的声表面波信道化滤波器组,由于电性能优异、体积小、重量轻、可靠性好,是实现频域分路的最佳部件,在信道化接收机中发挥了不可替代的作用。

由于以上优点和在应用中的重要作用,声表面波信道化滤波器组吸引了不少声表面波器件研究者的兴趣。美国罗马空军发展中心、休斯公司、德克萨斯公司、摩托罗拉公司等均开展了这方面的研究工作^[1-7]。国内一些单位也先后开展了这方面的研究工作^[8-11]。

现有技术最大的缺点是温度稳定性差,这是由所采用的基片材料决定的。为了获得较低的插入损耗,几乎都采用高耦合系数材料,缺点是温度稳定性差。如 Y128° LiNbO₃ 基片的温度系数为 75ppm/°C; YZ-LiNbO₃ 的温度系数为 94ppm/°C; MDC-LiTaO₃ (最小衍射切割) 的温度系数为 64ppm/°C。因为声表面波信道化滤波器组的应用环境是军用电子侦察信道化接收机,环境温度变化大。温度稳定性差的后果是引起严重的频率漂移,严重影响信道化接收机的测频精度。例如温度从 -55°C 变化到 85°C 时,对于 500MHz 的中心频率来说, 64ppm/°C 的温度系数将引起 4.5MHz 的频率漂移, 75ppm/°C 的温度系数将引起 5.2MHz 的频率漂移, 94ppm/°C 的温度系数引起的频率漂移是 6.6MHz。

本文报道作者采用低温度系数材料 Y112° LiTaO₃ (18ppm/°C) 基片研制的两种 15 信道声表面波信道化滤波器组的结果。文章的第二部分将介绍滤波器组的技术指标要求和采用的关键技术; 第三部分将介绍实验结果及讨论; 最后是总结。

2 关键技术

2.1 技术指标要求 本文所涉及的声表面波信道化滤波器组是针对给定型号信道化接收机而研制的。整机对声表面波信道化滤波器组的技术要求为:

信道数: 30

各信道中心频率: 205, 215, ..., 495MHz

信道带宽: 10MHz

信道矩形系数: ≤ 2

阻带抑制: $\geq 35dB$

插入损耗: $\leq 26dB$

2.2 基片材料的选择

根据上述技术指标的要求,总的带宽较宽达 300MHz,信道数较多,达 30 个信道,采用一个滤波器组实现上述技术指标难度太大。故采用两个 15 信道滤波器组来实现,频率范围分别为 200-350MHz 和 350-500MHz。

根据军用环境温度变化大的特点,基片材料我们选择了温度稳定性较好的 Y112° LiTaO₃, 它的温度系数为 18ppm/°C, 比现有技术提高了 3.5-5 倍。

2.3 提高器件工作频率所用途径

普通单指结构叉指换能器由于指间反射,将引起严重的通带畸变。通常克服的办法是采用分裂指结构。但分裂指结构指条宽度是单指结构的二分之一,对工艺要求更高,更苛刻。本文所述滤波器组的最高中心频率已达 495MHz, Y112° LiTaO₃ 的声表面波速度约 3280m/s。采用分裂指结构,指条宽度约为 $0.8\mu m$, 我们的现有工艺条件实现起来非常困难。可以采用我们提出的沟槽填铝单指无内反射结构来减轻对工艺的压力^[12]。但是沟槽填铝结构需要两次工艺制作过程,且对膜厚要求很严格,器件的成品率较低。因此我们对一种 Hopscotch 叉指换能器结构进行了研究^[13]。这是一种特殊抽样的单指结构,利用反射同步频率落在换能器频率响应带外,从而克服了反射对滤波器频率响应的影 响。但这种结构存在多通带响应的问题。我们巧妙结合了 Hopscotch 结构换能器和以三次谐波工作的分裂指结构换能器而获得很好的解决。实验表明,其他通带的响应比主通带要低 45dB 以上,这样我们避免了 $0.8\mu m$ 的工艺。

2.4 采用改进的串并联匹配网络降低了总的插入损耗

匹配网络的作用是将 15 个滤波器组合成一路输入、多路输出的滤波器组。一分多路最常用的办法是功分器。但在此处行不通,一分

十五路功分器一是体积大，二是插损大，将增加 11.7dB。结合声表面波器件的特点，一般采用以下几种匹配网络：(1) 定 K 阶梯网络；(2) M 推演网络；(3) 串联并联网路。

定 K 阶梯网络如图 1 所示，在每一级中，单电感作为串联臂，声表面波滤波器输入换能器的静电容作为并联臂，整个网络构成一个低通滤波器^[14]。该网络的优点是每级的镜像阻抗近似决定于串联电感和并联电容，因而通过调整串联电感可使镜像阻抗在 50 Ω 附近，使输入驻波系数接近 1。

M 推演网络的结构和性能与定 K 阶梯网

络类似，只是把串联电感代之以一个电感和一个电容的并联结构。在截止频率附近，幅频特性比定 K 阶梯网络有更大的衰减。

串联并联网路如图 2 所示。图中 L 代表调谐电感，T 代表声表面波滤波器的输入换能器^[15]。串联并联方式又包括了许多种不同的结构，(a) 表示多个换能器串联后加电感调谐；(b) 表示每个换能器加电感调谐后再并联；(c) 表示多个换能器串联后多组并联，再加电感调谐；(d) 表示多个换能器串联后加电感调谐，再多组并联。

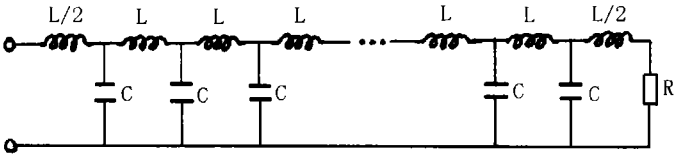


图 1 定 K 阶梯网络

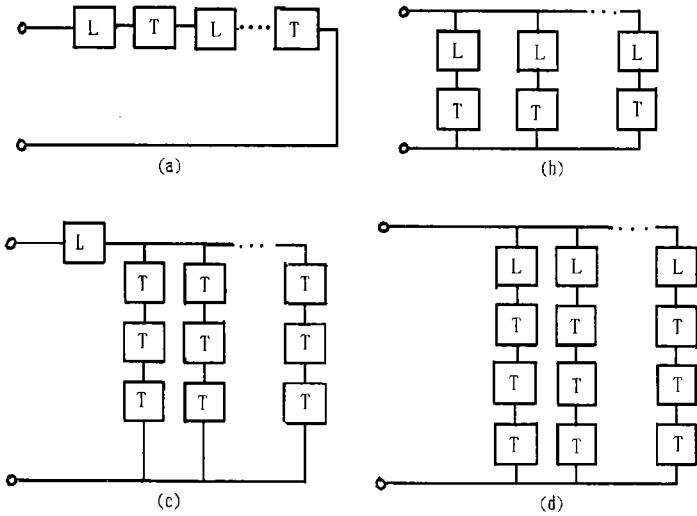


图 2 串联并联网路

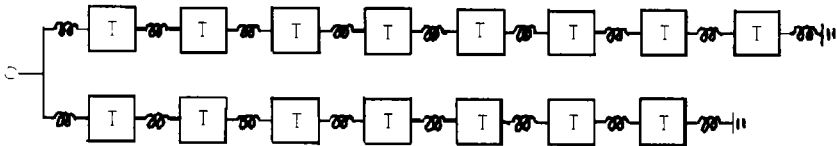


图 3 实际采用的匹配网络

上述三类匹配网络各有优缺点和适用条件。定 K 阶梯网络和 M 推演网络除上面提到的输入驻波特性较好外，它的电磁直通信号抑制性能也比串并联方式更优，因为每个换能器均有一端接地。但从插入损耗考虑，串并联方式更优。因为定 K 阶梯网络和 M 推演网络是一个低通网络，末端接 50Ω 电阻负载，输入信号大部分消耗在这个电阻负载上，故插损较大。在不同的使用条件下，定 K 阶梯网络的插入损耗会有变化，高耦合系数会低一些。

从上面的分析可知，本项目采用串并联方式为佳，实际的匹配网络是七个串联换能器与八个串联换能器并联。由于相对带宽较宽，约 55%，上面提到的两种串并联方式 (c) 和 (d) 都不适用，我们对此加以改进，在每两个串联换能器之间都加上调谐电感，如图 3 所示，经过精心调试，使输入阻抗在滤波器组通带内接近 50Ω，特别是插损增加不大，约 4~8dB。而采用定 K 阶梯网络插损最大增加 12dB。

3 实验结果及讨论

我们所研制的声表面波信道化滤波器组的频率响应和输入驻波特性如图 4 和图 5 所示。从图 4(a) 和图 5(a) 可见，输入驻波系数均小于 2，与采用定 K 阶梯网络相当。从图 4(b) 和图 5(b)，可以得出其它技术指标如下：

- (1)200-350MHz 滤波器组
各信道中心频率： 205,215,...,345MHz
中心频率偏差： ≤ ±0.5MHz
插入损耗： 20dB±1dB
信道带宽： 10MHz
阻带抑制： ≥40dB
矩形系数： ≤2
温度系数： 18ppm/°C
- (2)350-500MHz 滤波器组
各信道中心频率： 355,365,...,495MHz
插入损耗： 24.5±1dB
阻带抑制： ≥35dB
其余同上。

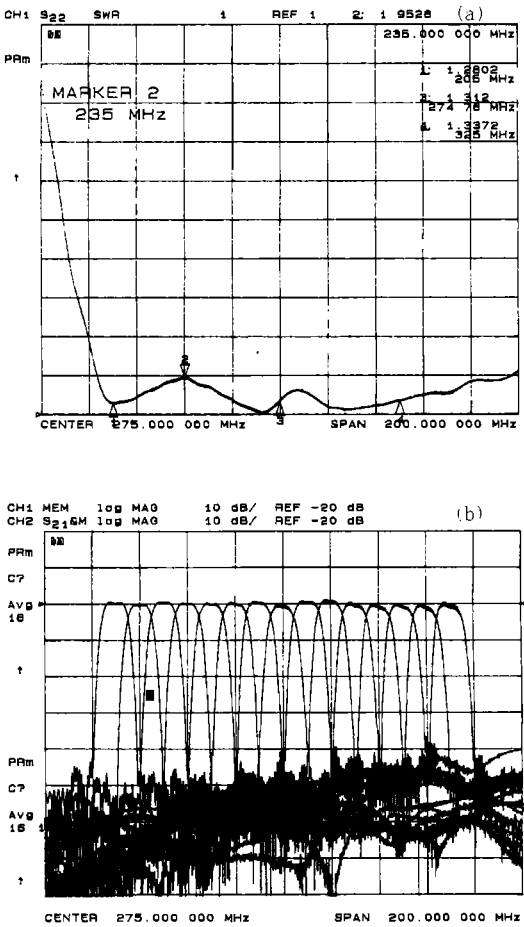


图 4 200-350MHz SAW 滤波器组的输入端驻波系数 (a) 和幅频响应 (b)

本文工作的特点是温度稳定性较现有技术有较大提高。温度系数由现有技术的 64~94ppm/°C 降低到 18ppm/°C，温度稳定性提高了 3.5~5 倍，大大提高了对宽温度变化的适应性。

单纯从温度稳定性这一指标尚不足以说明本文结果的优越性。因为单纯从温度稳定性考虑还有比 Y112° LiTaO₃ 更好的。如 ST 石英，常温下的温度系数为零。但这种材料的机电耦合系数很小，适合于做窄带器件。如果用来研制相对带宽较大的信通化滤波器组，其他技术指标如插入损耗，将达不到实用要求。如文献 [14] 中的结果即是例证。在该文中报道了采用 YX 石英研制 10 信道滤波器组的结果。YZ 石英的机

电耦合系数为 0.23%, 大于 ST 石英的 0.16%(温度系数 24ppm/°C, 大于 Y112° LiTaO₃ 的温度系数), 而插入损耗已达到 35dB。

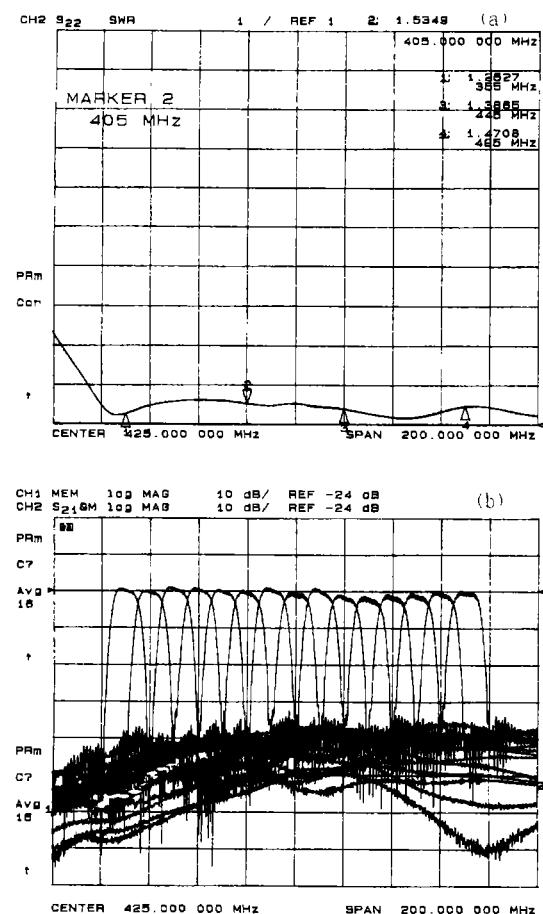


图 5 350-500MHz SAW 滤波器组的输入端驻波系数 (a) 和幅频响应 (b)

采用 Y112° LiTaO₃ 基片, 单个滤波器的插入损耗将比采用 LiNbO₃ 要大。如果不在匹配网络上进行补偿, 总的插入损耗将会大大增加。正是由于我们在匹配网络上的改进, 使滤波器组的插入损耗与采用 YZ 或 Y128° LiNbO₃ 基片滤波器组相当 (参见文献所列国内外的的工作)。

4 总结

以上介绍了我们采用 Y112° LiTaO₃ 基片研制的两种声表面波信道化滤波器组的结果, 其特点在于温度稳定性好, 比现有技术提高了 3.5-5 倍。

由于在匹配网络方面的改进, 弥补了因采用 Y112° LiTaO₃ 基片, 单个滤波器插损会较大的缺陷, 使总的插入损耗与采用 YZ 或 Y128° LiNbO₃ 基片的滤波器组相当。

致谢 本文工作得到了声学所七室周献文、魏玉兰、徐联、刘桂云、申庆凤、金国华及工艺组其他同志的帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Slobodnik A J, Fenstermacher T E, Kearns W J, et al. *IEEE Trans. SU*, 1979, **26**(3): 246-253.
- 2 Slobodnik A J, Fenstermacher T E, Kearns W J, et al. *IEEE Trans. SU*, 1981, **28**(1): 50-52.
- 3 Collines J H, Grant P M. *IEEE Trans. MTT*, 1981, **29**(5): 395-403.
- 4 Allen D E, Larson I D, Conty E. *IEEE Ultrason. Symp. Proc.*, 1979: 555-557.
- 5 Solie L P, Fredricksen H P, Lines S, et al. *IEEE Ultrason. Symp. Proc.*, 1988: 83-86.
- 6 Gopani S, Mouton R, Hays R, et al. *IEEE Ultrason. Symp. Proc.*, 1994: 55-57.
- 7 Jen S, Hartmann C S. *IEEE Ultrason. Symp. Proc.*, 1993: 9-13.
- 8 李忠诚. 超声电子学器件在电子对抗、雷达和军事通讯技术中的应用学术交流论文集, 1990 年 10 月, 黄山.
- 9 陈民峰. 中国声学学会超声电子学分会 1991 年学术交流会, 1991 年 11 月, 重庆. 22-25.
- 10 黄广伦, 欧黎, 李志云. 压电与声光, 1993, **15**(1): 1-6.
- 11 李志云, 黄广伦, 欧黎. 压电与声光, 1996, **18**(1): 10-14.
- 12 He S T, Chen D P, Wang C H. *Proc. of 14th International Congress on Acoustics*, 1992 Vol.2: C8-3.
- 13 Andle J C, King M B. *IEEE Ultrason. Symp. Proc.*, 1987: 189-192.
- 14 Webb D C, Banks C. *IEEE Trans. SU*, 1976, **23**(6): 386-393.
- 15 Slobodnik A J, Roberts G A, Silva J H, et al. *IEEE Trans. SU*, 1979, **26**(2): 120-126.