

## 双工器的频率温度系数

柳光福 刘启明

(上海埃德电磁技术有限公司, 上海 200237)

摘要: 本文详细的叙述了测试 GSM 移动通信基站中 900MHz 和 1800MHz 两种双工器的频率温度系数的方法和具体数据, 从网络理论和实际工艺两方面分析了双工器因温度变化产生较大频率偏移的主要原因, 总结出预防频率偏移的设计方法。

关键词: 频率温度系数, 梳状线同轴谐振腔, 传输极点

## Frequency Temperature Coefficient of Diplexers

Liu, Guang-fu and Liu, Qi-ming

(AERODEV Electromagnetic Tech Inc., Shanghai 200237, China)

Abstract: Frequency temperature coefficients of diplexers serving in 800MHz and 1800MHz GSM mobile communication systems were measured and recorded in this paper. The main causes impacted the variety of frequency temperature coefficient were analyzed from the both sides of network synthesis theory and technologies in detail. The methods are recommended for controlling frequency temperature coefficient is improved.

Key words: frequency temperature coefficient; Combine coaxial resonator; transmission pole

### 1 前言

移动通信是很有前途的新技术, 在世界各国得到空前的发展和应。在短短的几年内, 我国的移动电话用户就跃居世界之首, 我国通信信息产业的发展取得了举世瞩目的成就。现在, 我国具有自主知识产权的 DT-SCDMA 第三代移动通信技术已经日臻成熟, 正在酝酿实际应用。

另一方面, 不管在现行移动通信(如 GSM)基站中, 还是频分体制的第三代移动通信基站中(如 WCDMA), 都会用双工器与天线的搭配来同时实现通信信号的发送和接收。双工器在移动通信系统中扮演着重要的角色, 它的温度特性直接关系到通信的质量的系统的稳定。

由于种种原因, 双工器几乎都是用铝材料加工, 然后再镀银的工艺来制造。但是, 铝材料的热膨胀系数比铜和钢大, 这就存在一个问题, 即双工器的特性(含传输、阻抗和相位特性等)会随温度变化出现较大的偏移。

大家知道, 实际上双工器就是同时包括接收和发射滤波器的一种微波器件, 其中的接收和发射滤波器就是按微波滤波器的理论来设计和制造的。我们讨论双工器的频率温度系数, 就是讨论微波滤波器的温度特性。本文主要讨论双工器内的滤波器的传输特性(即幅-频特性)的温度系数, 即频率温度系数。当然, 这里述及的方法也能用于双工器、微波滤波器阻抗和相位等温度特性的实验和研究。

如果不关注频率温度系数对双工器特性造成的影响，不采取行之有效的措施来预防，即使在现行第二代或二代半的移动通信系统中，这个问题也会变为一个棘手的问题。在设计 GSM 移动通信系统基站内双工器的发射和接收滤波器时，要把因环境温度变化可能引起的频率偏移正确预计，便可用预失真的方法来弥补温度变化引起的滤波器频率偏移，才能保证通信质量不受一年四季和地域温度变化的影响，才不会对通信质量产生影响。当微波滤波器用于其他领域（如航空航天）和某些对温度很敏感的场所，我们可用恰当的方法来控制微波滤波器的频率温度系数，把温度变化对系统造成的影响控制到可以允许的范围内。

下面就我们测量双工器内的梳状线同轴谐振腔滤波器频率温度系数的实验和控制温度偏移所采取的措施与大家讨论。

## 2 频率温度系数

我们可以这样来定义微波滤波器的频率温度系数，即

$$\text{频率温度系数} = \frac{(F_2 - F_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

在（1）式中，频率温度系数 表示为 Hz/ ；

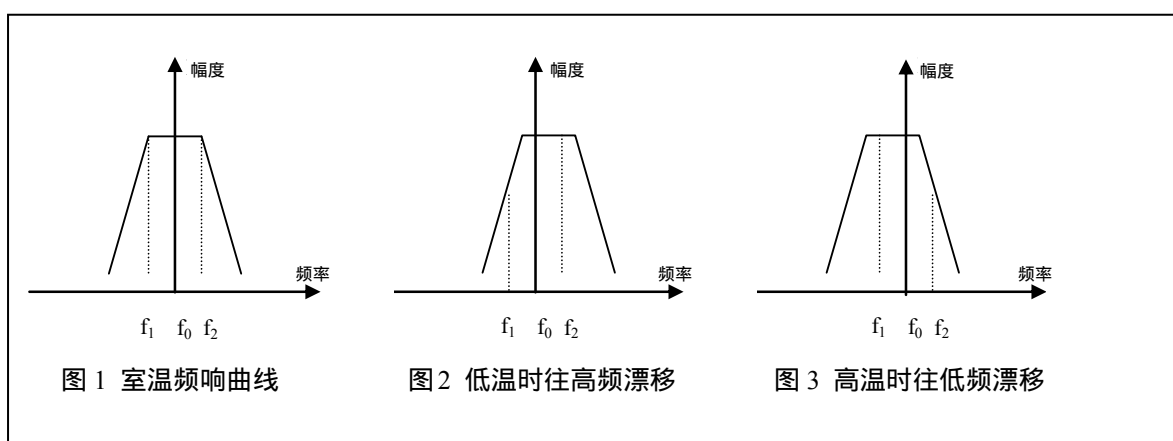
F<sub>1</sub> (Hz) 是在温度为 T<sub>1</sub> ( ) 时，测得滤波器某特定频率点（如滤波器的传输极点）的频率数值；

F<sub>2</sub> (Hz) 是在温度为 T<sub>2</sub> ( ) 时，测得滤波器上述特定频率点偏移后的频率数值。

（1）式中所定义的频率温度系数是温度变化摄氏一度时所引起频率偏移。它描述的是频率偏移的具体数值。为了表达相对于测试频率上发生的偏移，在实际中，往往用到频率温度系数的另一种描述，即

$$\text{频率温度系数} = \frac{2(F_2 - F_1)(F_2 + F_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (2)$$

在（2）式中的频率温度系数 表示为 ppm/ 。它描述的是相对于测试频率来说，发生了百万分之几的频率偏移。在不同的场合，可用不同的频率温度系数表示方法。



频率温度系数是因为滤波器金属材料的热膨胀所产生。假设某滤波器在室温时的幅-频特性如图 1 所示。那么，当温度低于室温时，滤波器腔体尺寸会缩小，它的幅-频特性就会往频率高的方向偏移，如图 2 所示。反之，当温度高于室温时，滤波器腔体尺寸会增大，它的幅-频特性又会往频率低的方向偏移，如图 3 所示。一般来说，用铝材料和传统工艺制

造的微波滤波器的幅-频特性呈现负的频率温度系数。

### 3 铝材料双工器的频率温度系数

图 4 是用铝材料和传统工艺制造的 GSM 移动通信基站 900MHz 双工器的幅-频特性。它的左面（即图 A）是 880-915MHz 接收滤波器的实测幅-频特性、阻抗特性的曲线，右面（即图 B）是 925-960MHz 发射滤波器的实测幅-频特性、阻抗特性的曲线。仔细考察这两个滤波器的幅-频特性可见，在接收滤波器的频率范围 880-915MHz 和发射滤波器的频率范

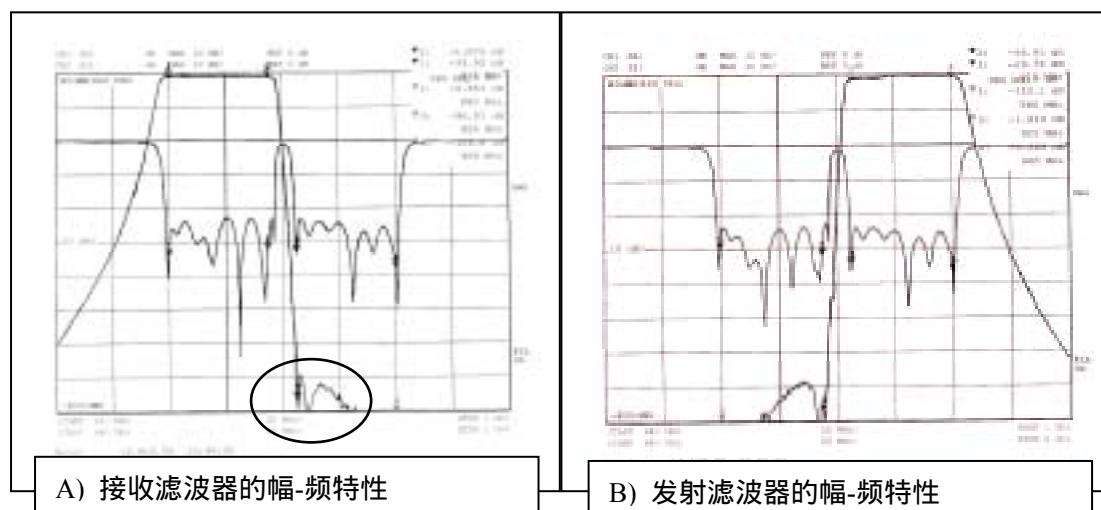


图 4 某 GSM900MHz 双工器的幅-频特性

围 925-960MHz 之间，只有 10MHz 的保护频率范围，这对设计制造双工器中的接收和发射滤波器提出了十分苛刻的要求。为保证接收机在对应的频率范围不受到发射信号的影响，要求在接收滤波器通带的上边带，即在 925MHz 频率附近对发射机低端的信号有很深的抑制，要求达到 90dB 以上的插入损耗。同样地，也要求在发射滤波器通带的下边带，即在 915MHz 频率附近实现很深的抑制，进一步保护接收机不受影响，也要达到优于 90dB 的插入损耗。只有这样，通信系统才能正常运行。

为了方便测量和分析图 4 所示用铝材料制作的发射和接收滤波器的频率温度系数，找出改善这类滤波器频率温度系数的有效途径。首先，我们要了解和认识这类滤波器的特点。

为大家知道，常规的切比雪夫带通滤波器，它的通带内有等幅波动（Equiripples），它的传输极点可以放在 0Hz（即 DC 端）或  $\infty$  Hz（即无限远端）。常规的椭圆函数带通滤波器，在它的通带和阻带存在等幅值的波动。从图 4 中所示的幅-频特性曲线可以看到，在 880-915MHz 的接收滤波器的上边带的 925MHz 附近放置有传输极点，使其在通带的上边带产生十分陡峭的选择性能。在 925-960MHz 的发射滤波器的下边带的 915MHz 附近也放置有传输极点，使其在通带的下边带产生十分陡峭的选择性能。只有这样的响应曲线，才能满足有关双工器规范中关于控制干扰信号的要求，有效地控制发射信号和其他干扰信号对接收机的影响。在上述发射和接收滤波器中设置的这些传输极点，被安置在非 DC 端和非无限远端，既不同于常规的切比雪夫带通滤波器，也区别于椭圆函数带通滤波器，我们把具有这类幅-频特性的滤波器称为不对称广义切比雪夫滤波器（Asymmetric Generalized Chebyshev Filter）或准椭圆函数滤波器（Pseudoelliptic Filter）。因为要求在这些传输极点处的插入损耗低于-90dB，这对我们准确测试频率温度系数提供了方便，如在图 4 A) 中的椭圆区域，接收滤波器上边带的传输极点清晰可见。

为展示细节，我们把图 4 A) 的椭圆区域放大为图 5。测得该滤波器在室温 15 的频点

1 的频率  $f_1$  为 925.99MHz。相应地，该滤波器放在 70 的高温箱 2 个小时后测得频点 2，这时的频率  $f_2$  为 925.00MHz。把该滤波器放在 -5 的低温箱 2 个小时后测得频点 3，频点 3 的频率  $f_3$  为 926.36MHz。在温度变化 75 的条件下，该点的频率变化了 1.36MHz。根据上述数据，我们便能计算出滤波器的温度每变化 1 的频率温度系数为  $(925.00\text{MHz}-926.36\text{ MHz})/75 = -18.133\text{kHz/}$ 。若用 ppm/ 表示，则频率温度系数为  $2(925.00\text{MHz}-926.36\text{ MHz})/(925.00\text{MHz}+926.36\text{ MHz})/75 = -19.589\text{ppm/}$ 。

用同样的方法，测得图 4 B) 所示发射滤波器通带下边带传输极点处的频率温度系数为 -20.8kHz/，相应的频率温度系数为 -22.73ppm/。为什么在同一个双工器内的接收和发射滤波器频率温度系数还有这么大的差异，下面另做分析。

图 4 中的接收和发射滤波器都是 N=10 的不对称广义切比雪夫滤波器。其中的梳状线同轴谐振腔示于图 6。它的具体参数为 A=50.5mm, B=43.5mm,  $\Phi_1=19\text{mm}$ ,  $\Phi_2=10\text{mm}$ ,  $\Phi_3=6\text{mm}$ , H1=42.8mm, H2=40mm, H3=30mm。其中，腔体和内导体的材料是铝的，调谐螺钉是铜的。

结合我们的条件，还对用于 1800MHz 的 GSM 基站中双工器也进行了试验。该双工器中的接收滤波器的通带频率范围为 1710-1785MHz，发射滤波器的通带频率范围为 1805-1880MHz。其接收滤波器是 N=6 的不对称广义切比雪夫滤波器，发射滤波器的 N=9。其中的梳状线同轴谐振腔的具体参数为 A=55mm, B=50mm,  $\Phi_1=18\text{mm}$ ,  $\Phi_2=10\text{mm}$ ,

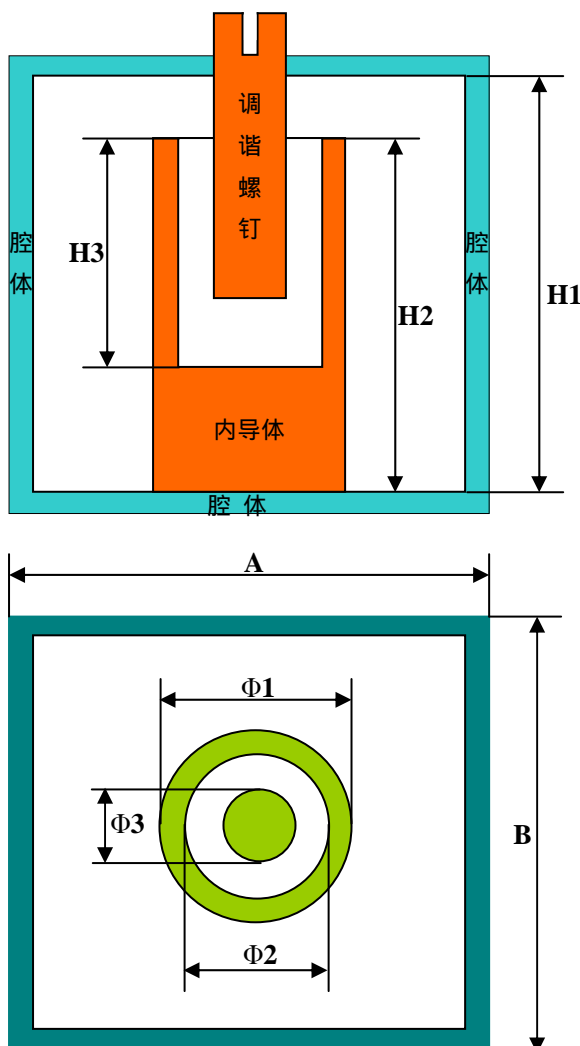


图 6 梳状线同轴谐振腔结构

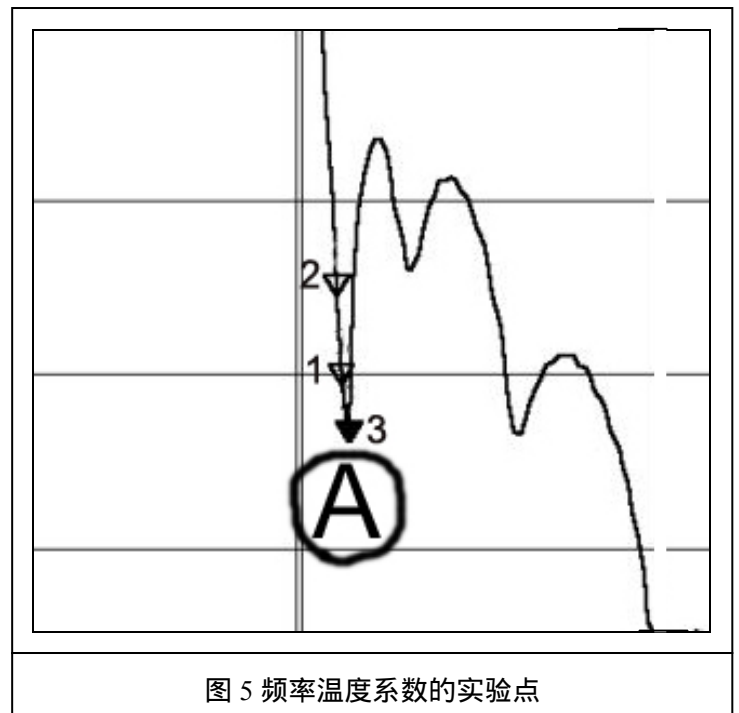


图 5 频率温度系数的实验点

$\Phi 3=6\text{mm}$ ,  $H1=30\text{mm}$ ,  $H2=23\text{mm}$ ,  $H3=15\text{mm}$ 。腔体和内导体的材料是铝的，调谐螺钉是铜的。测得接收滤波器的频率温度系数为  $-12.54\text{kHz/}$  ，表示为另一种方式，则其频率温度系数为  $-6.95\text{ppm/}$  。

#### 4 铝材料滤波器频率温度系数的分析

图 4 所示的这两个滤波器都是用梳状线同轴谐振腔 (Comblines Coaxial Resonator) 的结构来实现的。所谓梳状式同轴谐振腔滤波器至少包含有这几层意思，A) 组成滤波器的所有同轴谐振腔是在同一端面短路，在另一端面开路；B) 除了同轴谐振腔本身具有的分布电容外，在谐振腔的开路节点上要实施电容加载；C) 电容加载后的同轴谐振腔短于同频率四分之一波长谐振腔的长度。从这个意义上讲，同频率的梳状线同轴谐振腔滤波器的体积比四分之一波长谐振腔减小。D) 如果只从在结构外型和它们等效电路图来判断，似乎梳状线同轴谐振腔滤波器与传统的四分之一波长谐振腔滤波器是相同的。但是，理论和实验证明，用直接耦合的方式是不能用四分之一波长谐振腔来实现我们要求的不对称广义切比雪夫滤波器的。

图 6 示出了组成微波滤波器的梳状线同轴谐振腔的结构原理图。图 6 中的腔体、内导体和调谐螺钉可以是铝的，也可以是其他金属材料的。通过调整腔体、内导体和调谐螺钉所用材料的组合，可以达到控制微波滤波器的频率温度系数大小的目的。

这是十分清楚的，图 6 中的腔体和内导体之间有分布电容，其数值可以按同轴腔的有关公式估计算。同时，在调谐螺钉和内导体之间也有分布电容，我们可以把这个电容视作为梳状线同轴谐振腔滤波器的加载电容。由于其结构与同轴腔的相似，也可以按同轴腔的有关公式估算这个电容器的大小。从图 6 中可以看到，调谐螺钉到内导体之间的距离比内导体到腔体的距离短很多。因此，由于热膨胀引起调谐螺钉到内导体之间距离的变化，要比腔体和内导体之间距离的变化激烈得多，从而引起梳状线同轴谐振腔的加载电容量的很大变化，这是影响上述双工其频率温度系数的主要原因。在设计这类结构的微波滤波器时，对热膨胀引起调谐螺钉到内导体之间距离的变化要给予特别的关注。

另一发面，要在不对称广义切比雪夫滤波器的上下边带设置传输极点时，是通过在三个梳状线同轴谐振腔之间设置非临近耦合 (cross-coupling) 的方法来实现的，这种方法有一个网络综合的专用名字 “CT” (cascaded-triplet)。其具体等效电路有两种形式，示于图 7。其中，

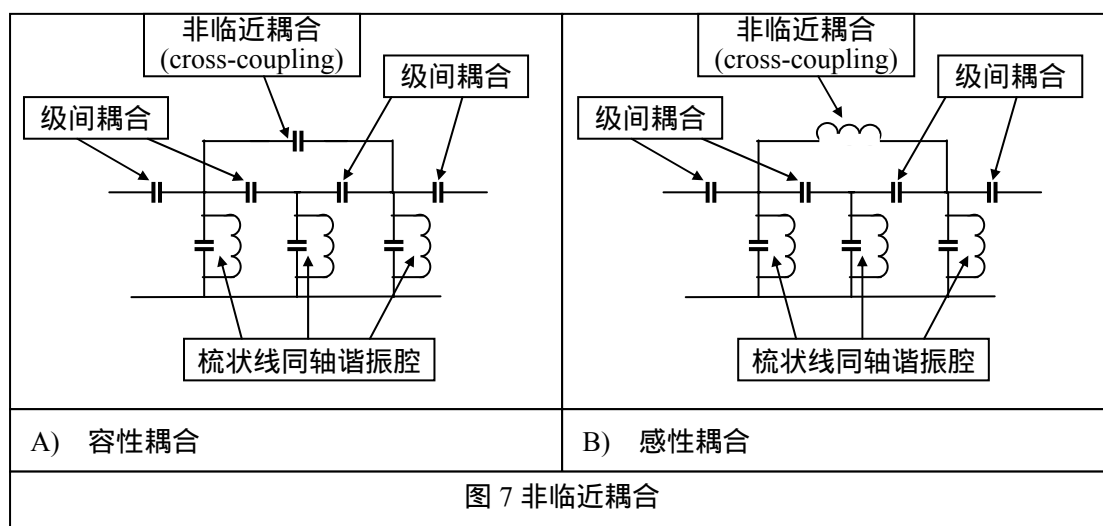


图 7A) 是容性的非临近耦合原理图, 图 7B) 是感性的非临近耦合原理图, 要根据传输极点的设置位置来选择不同的非临近耦合。如要实现图 4A) 中的接收滤波器幅-频特性, 要采用图 7B) 中的感性非临近耦合; 如要实现图 4B) 中的发射滤波器幅-频特性, 则要采用图 7A) 中的容性非临近耦合。由于容性非临近耦合的温度稳定性没有感性非临近耦合的好, 这就是为什么图 4 所示的接收滤波器的频率温度系数和发射滤波器的频率温度系数相差较大的原因。

## 5 频率温度系数与滤波器的设计

从上面的实验和分析提示我们, 在设计双工器和微波滤波器时要考虑频率温度系数对它们的影响。首先, 要按照有关的标准和技术条件来确定所设计的双工器或微波滤波器的工作环境温度  $T_{高}$  (表示最高的工作环境温度, ) 和  $T_{低}$  (表示最低的工作环境温度, ); 其次, 上面所述的那样测量出所设计的滤波器的频率温度系数, 按 (3) 式来估算在给定温度变化范围内的频率偏移  $W_{偏移}$ , 即

$$W_{偏移} = \text{频率温度系数} \xi (T_{高} - T_{低}) \quad (3)$$

在室温条件下测得滤波器的带宽应为额定带宽加上 (3) 式估算的  $W_{偏移}$ , 这样, 就能保证该滤波器在规定的工作环境温度范围内满足相关标准和技术条件的要求。

这里要说明的一点是, 前面测得的 900MHz 和 1800MHz 用在 GSM 通信基站的双工器的频率温度系数, 是在很多条件的限制下产生的, 例如所采用的材料, 滤波器的级数, 梳状线同轴谐振腔的尺寸, 设置有两个“CT”(即得到两个由非临近耦合实现的传输极点) 等等。所以, 那些频率温度系数没有普遍性, 对其他双工器和滤波器的设计仅供参考。

在某些工程应用中, 会遇到对频率温度系数要求十分严格的情况, 如 MMDS 和 IFDS 系统中的信道滤波器, 虽然中心频率也在 2-4GHz 频段, 但是每个信道带宽很窄, 只有 5MHz, 每个信道之间的保护带只有几百千赫兹。如上面所述及的设计, 每摄氏度有 20 千赫兹左右的频率偏移, 那末, 在工作环境温度范围内, 可能滤波器的通带早已偏移出它的中心频率, 系统根本无法运行。为此, 我们可以选用不同材料来制作梳状线同轴谐振腔的不同部位, 从而达到把滤波器的频率温度系数控制到允许的范围内, 设计制造出满足实际使用要求的双工器和滤波器。在文献 [1] 中介绍了一种微波滤波器的设计, 腔体用铝来制造, 内导体用钛 (Titanium) 来做, 调谐螺钉选用钢的。在这样的搭配之下, 设计了一只中心频率为 4GHz, 带宽为 36MHz 的 8 腔体椭圆函数滤波器, 其实测频率温度系数为  $-2.8\text{ppm}/^\circ\text{C}$ , 这是很好的频率温度系数, 与设计得相当好的介质谐振腔的频率温度系数相当。所以, 这也是设计滤波器时实现控制频率温度系数的一种方法。

## 6 结论

本文论及的频率温度系数是设计制造双工器和微波滤波器需要关注的问题。在讨论 900 MHz 和 1900 MHz 双工器的频率温度系数时, 给出了两种实用的定义。为了进一步认识双工器的频率温度特性, 文中较详细地剖析了用梳状线同轴谐振腔来设计制造 GSM 双工器的特点, 特别介绍了在相关滤波器的上边带或下边带设置传输极点, 用来控制各种干扰信号对接收机影响的方法。结合实际例子分析了温度变化引起频率偏离的主要原因, 给出了两种预防频率偏离的设计方法。

## 参考文献

Nevzat Yildirim, Ozlem A. Sen, Yakup Sen and Dieter Pelz, "A Revision of Cascade Synthesis Theory Covering Cross-Coupling Filters", IEEE MTT, VOL.50. NO.6 June 2002, pp.1536-1543;

Ian C. Hunter, "Theory and design of Microwave Filters", 2001: The Institute of Electrical Engineers;

Hui-Wen Yao and Ali A. Atia, "Temperature Characteristics of Combine Resonators and Filters", IEEE MTT-S 2001, pp1475-1478.