

# 磁通无反馈的双模铁氧体移相器常温分类探究

张 思 余增强 杨 明

西安电子工程研究所 陕西 西安 710100

**摘 要:** 磁通无反馈激励方式的双模铁氧体移相单元由于装配误差导致常温采集的均匀码-差相移曲线一致性较差,无法将全部移相单元归为一类进行数据处理。针对此问题,提出将移相单元根据常温采集得到的均匀码对应差相移数据分为某几大类的想法,然后对不同温区均匀码下的差相移数据分析,构建出差相移误差修正模型,针对差相移修正量以及数据变化规律,找出将常温移相单元分类的最优解决方案。

**关键词:** 双模; 常温均匀码分类; 温区

引言: 在无源阵列雷达系统中,由于双模铁氧体移相器具有小型化、轻量化、低成本、易集成等特点<sup>[1]</sup>,与驱动控制电路组合能够形成移相组件,不仅能够轻松实现一维阵列排布,通过移相组件的紧密排布还可形成二维阵列,尤其适合二维无源阵列雷达<sup>[2]</sup>中的天线系统使用。

双模铁氧体移相器<sup>[3]</sup>作为移相组件中的移相单元,其相位的准确性对天线系统实现精准搜索和指向至关重要,因此需要对移相单元的差相移进行常温标定。本文探究的移相单元由于安装空间与控制成本等因素,驱动控制电路采用无反馈磁通激励方式实现对移相单元的控制,仅靠脉冲电流幅度实现对移相单元的相位控制,与国内外同类产品采取磁通反馈方式激励移相单元完全不同,其对移相单元的分类对本文涉及的移相单元并无参考性。同时由于铁氧体材料制备工艺不同厂家略有差异,需要依据自制的铁氧体材料在宽温范围<sup>[4]</sup>内的变化规律对装配形成的移相单元的差相移进行测试,满足此类无反馈方式激励移相单元的相位标定。

本文制作的移相单元在装配<sup>[5]</sup>过程中由于材料性能、装配误差和公差配合等因素导致差相移一致性较差,尤其是宽温条件下差相移的误差更加明显,需要通过对不同温区均匀码下的差相移数据<sup>[6]</sup>进行分析,依据不同温区之间的均匀码差相移误差数据与常温下的差相移数据变化规律之间的关联度,建立常温下移相单元的差相移分类规律,找出将常温移相单元分类的最优解决方案。

## 1 不同温度下均匀码曲线差异性

### 1.1 铁氧体材料的磁滞回线特性

由于目前并无此类磁通无反馈铁氧体移相单元的差相移分析相关研究,需要针对本文制作的移相单元的差相移进行实验研究。构成移相单元的铁氧体材料由于其磁滞回线与温度相关,如图1所示,不同温度下材料的矫

顽力 $H_c$ 和饱和磁化强度 $B_s$ 的改变<sup>[7]</sup>导致相同电流脉冲对应的差相移会有所差异,为修正此误差带来的差相移漂移,需要对移相单元在不同温度区间使用不同码值,使移相单元即使在不同温度下仍具有精准的移相能力。

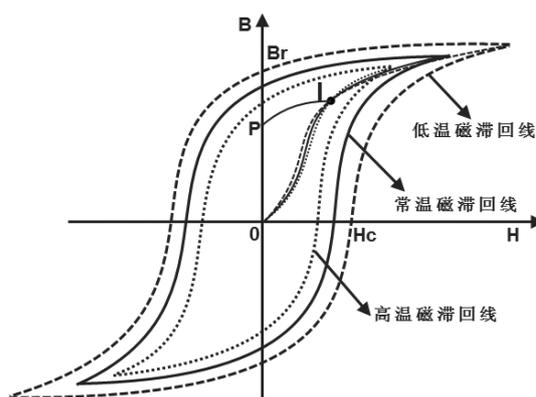
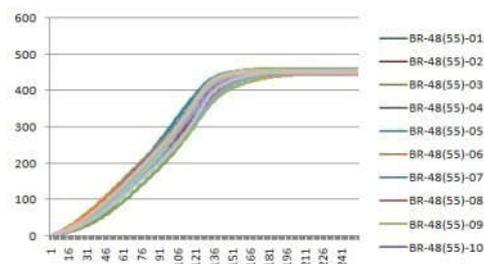


图1 铁氧体材料在不同温度下磁滞回线变化规律

### 1.2 实验数据验证

铁氧体材料的磁滞回线在低温下具现出饱和磁化强度增加、矫顽力减小的特性,高温下具现出饱和磁化强度减小、矫顽力增加的特性<sup>[8]</sup>。因此,不同温度下采集的均匀码-差相移曲线差别较大。为增强直观概念,选取具有代表性的+55℃、+22℃和-22℃时差相移均匀码曲线来展示此差异性,数据形成曲线如图2所示。



(1) +55℃

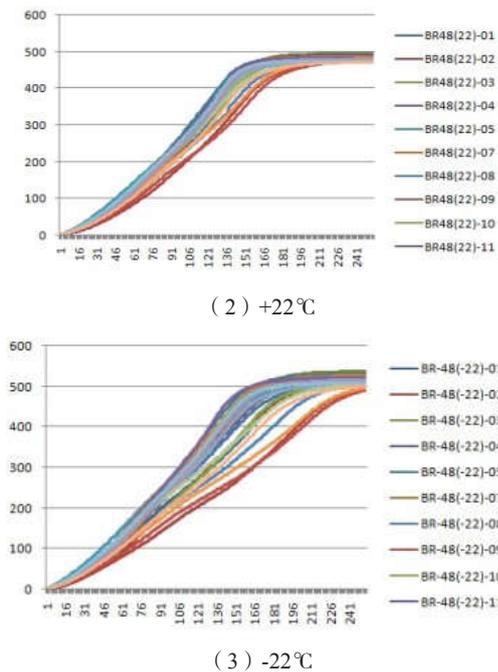


图2 不同温度下采集的均匀码-差相移曲线差别

由图2可知，不仅同一移相单元的同一均匀码值对应的差相移会随温度降低而增大，而且不同移相单元的同一均匀码值对应差相移也会随温度降低离散性更加明显，因此对移相单元来讲，单组差相移数据无法满足宽温范围下的使用要求，需要对采集的常温数据进行分类，将具有相同变化规律的器件进行归类，使其在不同温度下能满足差相移的稳定性，从而满足均方根误差指标要求。

## 2 常温分类方案分析

由于铁氧体材料在不同温度下特性<sup>[9]</sup>表现不同，为了使其在不同温度下满足性能指标一致的要求，需要对采集的常温数据进行分类，并对不同温度下的均匀码进行相应补偿修正。因此，根据均匀码下的差相移测试数据预拟了以下三种常温均匀码分类方案。

### 2.1 常温均匀码分类方案1

以常温均匀码数据为基础，发现常温均匀码从60码~100码之间差相移数据线性最佳，差相移基本覆盖100°~280°范围，可使用此段区分移相单元的斜率，再根据某固定码值区分不同斜率的差相移曲线，将常温数据划分为多个簇。

根据上述要求，分析常温均匀码数据建立2个限制条件。限制条件1：选取不同温度下相对单调的码值做斜率运算取得斜率数值；限制条件2：选取常温均匀码线性段稳定时相对应的码值进行运算并取得斜率数值。根据2个限制条件分成7组截取高低温均匀码-差相移曲线如图3

所示。

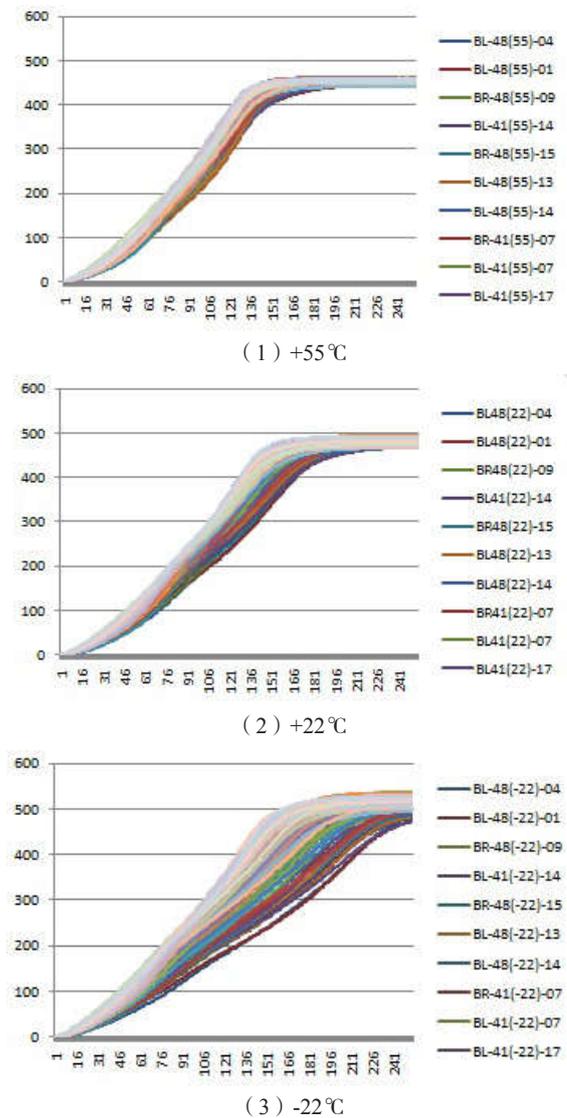


图3 按方案1限制条件下得出不同温度均匀码-差相移曲线

由图3可见，此方案对高温和常温的数据归类达到预期效果，但对低温环境下数据归类效果差。所以，此方案达不到预期要求。

### 2.2 常温均匀码分类方案2

以温度系数为基础，与均匀码斜率和固定相移结合起来，根据相关运算将均匀码按斜率大小区分，将常温数据划分为多个簇。

根据上述要求，分析常温均匀码数据建立以温度系数为基本公式，选取满足要求的固定码值，并带入相应的高低温常温数据进行运算取得数值，并对数值进行四舍五入取整运算，再选取相对线性对应的码值进行斜率运算得出最终数据。以此得出的常温数据条件截取高低温常温均匀码-差相移曲线如图4所示。

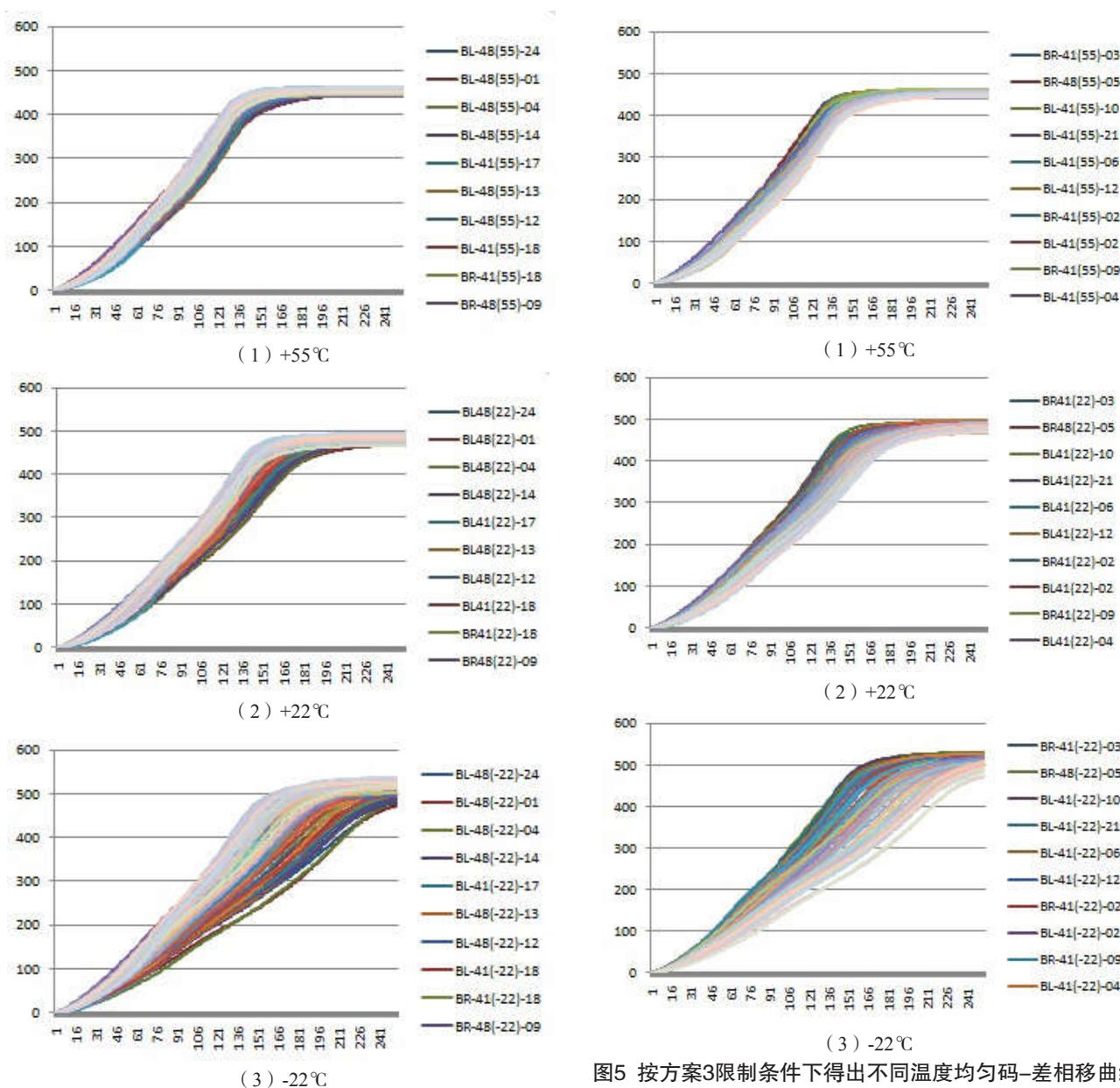


图4 按方案2限制条件下得出不同温度均匀码-差相移曲线

由图4可见,此方案对高温和常温的数据归类也达到预期效果,但在低温环境下归类效果仍旧很差,因此方案2也达不到预期要求。

### 2.3 常温均匀码分类方案3

以常温均匀码为基础,通过观察常温均匀码差相移与码值关系曲线,以某固定相移为基准,码值越小斜率越大,划常温数据为多个簇。

根据上述要求,分析常温均匀码数据选取满足要求的某固定码值,并对相对应的位置进行定位,定位数值作为限定条件。以此得出的常温数据条件截取高低温常温均匀码-差相移曲线如图5所示。

图5 按方案3限制条件下得出不同温度均匀码-差相移曲线

由图5可见,此方案对高温和常温的数据归类也达到预期效果,那么从目前实验数据可知方案1、2、3的高温 and 常温的规律性明显,而低温下的规律很离散。那么现在可以观察具有代表性的低温(-22℃)就可以确定哪个方案更合适。

观察三个分类方案的低温(-22℃),可知方案1、2的簇与簇之间有重叠跳变线交错杂乱,规律性差,不利于归类做补偿修正;而方案3簇与簇之间规律性明显,有利于归类做补偿修正。

如上分析可知,方案3的分类方案具有明显优势,可以作为移相单元的常温分类优选方案,同时从数据分析速度来看,其归类移相单元的方案能节省大量处理数据

时间。

### 3 常温均匀码分类方案

将排序后的常温移相单元与其他温度数据进行运算处理，根据数据修正量的规律将常温移相单元按下表所示归类为9个分区。（注：表中的数值是限定条件得到的数值）

表 常温移相单元分类方案

分组	限定条件下的均匀码范围
第1组	$\leq 128$
第2组	129 ~ 132
第3组	133 ~ 137
第4组	138 ~ 141
第5组	142 ~ 146
第6组	147 ~ 152
第7组	153 ~ 158
第8组	159 ~ 166
第9组	$\geq 167$

### 4 结束语

通过大量实验数据分析，采取的常温分类方案对归类移相单元具有明显效果，对提高移相单元的差相移稳

定性和准确性具有明显作用，而且对此类磁通无反馈的双模铁氧体移相器的常温分类具有指导意义。

### 参考文献

- [1] 华韡. 郭宏健[铁氧体移相器圆极化器结构和装配工艺优化]. 第十八届全国微波磁学会议, 2017年.
- [2] Carl J. Weisman. [射频和无线技术入门]. 清华大学出版社, 2005年.
- [3] 郭宏健. 华韷[Ku波段变极化铁氧体移相器]. 第十八届全国微波磁学会议, 2017年.
- [4] 高昌杰. [高场带线环形器温漂补偿磁路的参数设计]. 第十八届全国微波磁学会议, 2017年.
- [5] 梁培东. 王小林. 赵新华. [铁氧体移相器圆极化器结构和装配工艺优化]. 第十八届全国微波磁学会议, 2017年.
- [6] 汤宁生. 许筱玲. 张万莉. [补偿型铁氧体移相器运算驱动电路]. 第十八届全国微波磁学会议, 2017年.
- [7] 苏桦. [软磁铁氧体器件设计及应用]. 科学出版社, 2014.
- [8] 魏克珠. 潘健. 刘博. 刘传武. [微波铁氧体器件与变极化应用]. 国防工业出版社, 2017年.