



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111208552 B

(45) 授权公告日 2024.06.18

(21) 申请号 202010134783.8

G01T 1/16 (2006.01)

(22) 申请日 2020.03.02

H05H 7/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

(56) 对比文件

申请公布号 CN 111208552 A

CN 211669374 U, 2020.10.13

(43) 申请公布日 2020.05.29

审查员 刘钰薇

(73) 专利权人 中国工程物理研究院流体物理研究所

地址 621000 四川省绵阳市绵山路64号

(72) 发明人 白海涛 王毅 何小中 廖树清  
石金水

(74) 专利代理机构 成都四合天行知识产权代理  
有限公司 51274

专利代理人 冯龙 王记明

(51) Int.Cl.

G01T 1/29 (2006.01)

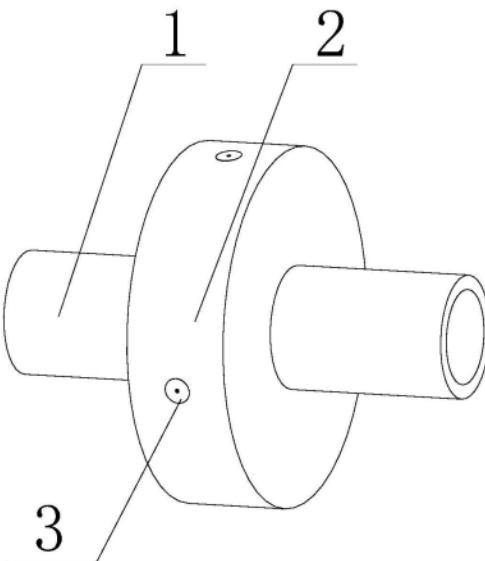
权利要求书1页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称

一种共振式在线束流位置探测器

(57) 摘要

本发明公开了一种共振式在线束流位置探测器，包括信号处理件，还包括圆柱结构的探测器本体，探测器本体内部设有腔体，探测器本体上设有束流通道，探测器本体的空腔内还设有圆环结构的PCB基体，束流通道与探测器本体和PCB基体保持同轴度，PCB基体上设有磁探针回路线圈，信号处理件与磁探针回路线圈连接，探测器本体的腔体内还设有金属垫片，金属垫片呈环形阵列分布在PCB基体的两侧，金属垫片一侧与束流通道连接，另一侧朝向磁探针回路线圈。本发明用于加速器的束流位置以及束流流强测量，对加速器的研发调试起到非常重大的作用，并且对于纳秒级单脉冲以及纳秒级的连续微脉冲，该发明能够快速响应，并且对于连续微脉冲，能够实现共振式测量。



1. 一种共振式在线束流位置探测器，包括信号处理件，其特征在于，还包括圆柱结构的探测器本体(4)，探测器本体(4)内部设有腔体，所述探测器本体(4)上还设有贯穿探测器本体(4)的束流通道(1)，且所述束流通道(1)经过所述腔体，所述探测器本体(4)的空腔内还设有圆环结构的PCB基体(7)，并且束流通道(1)与探测器本体(4)和PCB基体(7)同轴设置；

所述PCB基体(7)上设有若干具有双层结构的磁探针回路线圈(9)，所述磁探针回路线圈(9)呈环形阵列分布在PCB基体(7)上的两个圆环面上，并且信号处理件与磁探针回路线圈(9)连接；

PCB基体(7)的两侧均设有数量与磁探针回路线圈(9)数量相同的金属垫片(5)，金属垫片(5)与磁探针回路线圈(9)一一对应，并且金属垫片(5)呈环形阵列分布在PCB基体(7)的两侧；金属垫片(5)一侧与束流通道(1)连接，另一侧位于腔体内并且朝向磁探针回路线圈(9)；

所述磁探针回路线圈(9)包括若干布线(10)、若干布线焊盘(12)以及若干过孔(11)，所述过孔(11)呈两排均匀地贯穿在PCB基体(7)的圆环面上，并且位于同一排上的过孔(11)到PCB基体(7)轴线的距离相等，所述过孔(11)的两端与布线焊盘(12)连接，所述布线(10)分布在PCB基体(7)的两个圆环上，并且布线(10)与PCB基体(7)同一径向方向上的两个过孔(11)和布线焊盘(12)连接，形成依次连通的回路；

所述过孔(11)的轴线均与PCB基体(7)的轴线平行，所述布线焊盘(12)的内径与过孔内径相等，所述布线焊盘(12)的外径大于过孔的内径；

所述金属垫片(5)包括第一弧形片(13)和第二弧形片(14)，所述第一弧形片(13)的弧长大于第二弧形片(14)的弧长，并且第一弧形片(13)一侧与第二弧形片(14)连接，整体呈凸字结构，另一侧与束流通道(1)连接；

所述第一弧形片(13)和第二弧形片(14)均与探测器本体(4)同轴心，第一弧形片(13)上设有螺栓，螺栓将第一弧形片(13)与探测器本体(4)固定，第二弧形片(14)位于探测器本体(4)的腔体内，并且朝向磁探针回路线圈(9)。

2. 根据权利要求1所述的一种共振式在线束流位置探测器，其特征在于，所述PCB基体(7)的圆面上还设有若干插销孔(8)，插销孔(8)呈环形阵列分布在PCB基体(7)上，所述探测器本体(4)上还设有数量与插销孔(8)数量相同的插销，插销插入至插销孔(8)内，将PCB基体(7)固定在探测器本体(4)的腔体内。

3. 根据权利要求1所述的一种共振式在线束流位置探测器，其特征在于，所述磁探针回路线圈(9)为四个，所述PCB基体(7)两侧的金属垫片(5)均为四个。

4. 根据权利要求1所述的一种共振式在线束流位置探测器，其特征在于，所述磁探针回路线圈(9)还包括数量与磁探针回路线圈(9)数量相同的接头(6)，所述磁探针回路线圈(9)还包括接头焊盘(15)，所述接头焊盘(15)与布线(10)连接，所述接头(6)沿探测器本体(4)的径向方向插入至探测器本体(4)内与接头焊盘(15)连接。

5. 根据权利要求1所述的一种共振式在线束流位置探测器，其特征在于，还包括圆柱结构的外壳(2)，所述探测器本体(4)位于外壳(2)内，所述探测器本体(4)的外周外壁上还设有四个与接头(6)一一对应的连接筒(3)，连接筒(3)一端与探测器本体(4)连接，另一端插入在外壳(2)的外周外壁上，所述接头(6)插入在连接筒(3)内与信号处理件连接。

## 一种共振式在线束流位置探测器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及加速器束流测量领域,具体涉及一种共振式在线束流位置探测器。

### 背景技术

[0002] 束流探测器被比作加速器的眼睛,缺少束流探测器就没法对加速器进行调试,可以说,束流探测器是加速器的重要组成部件之一。从束流探测器的发展来看,从早期阻断式到现今流行的非阻断式,主要有荧光靶、法拉第筒、洛科夫斯基线圈、条带型束流探测器、纽扣型束流探测器、壁电流检测器、磁探针、以及谐振腔探测器。

[0003] 目前,常用的束流探测器有纽扣型束流探测器以及壁电流探测器。壁电流检测器在实际应用中对于几十纳秒上升前沿的脉冲束流,频率响应和精度是合格的,但是对于高频振荡就无能为力了。另外,壁电流检测器的电阻环基本上都是1欧姆的金属膜电阻,与加速器强电系统相连,在实验中很容易被打坏,更换麻烦;并且,以往束流探测器多针对单脉冲,另外,对于百纳秒单脉冲,宏脉冲频率为百赫兹的连续脉冲,也可以把百纳秒的脉冲当做单脉冲处理,对于周期为纳秒级别的连续微脉冲,探测器需要对高频进行快速响应,并且,探测器的带通频率不能错开连续微脉冲频率,否则很难得到大的信号,因此需要共振式测量,要对纳秒级别的连续微脉冲进行测量,需要提出一种新的测量手段。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是克服现有技术中的不足,目的在于提供一种共振式在线束流位置探测器,用于加速器的束流位置以及束流流强测量,对加速器的研发调试起到非常重大的作用,并且对于纳秒级单脉冲以及纳秒级的连续微脉冲,该发明能够快速响应。

[0005] 本发明通过下述技术方案实现:

[0006] 一种共振式在线束流位置探测器,包括信号处理件,还包括圆柱结构的探测器本体,探测器本体内部设有腔体,所述探测器本体的两个圆面上均设有束流通道,束流通道与腔体连通,所述探测器本体的空腔内还设有圆环结构的PCB基体,并且束流通道与探测器本体和PCB基体保持同轴度;所述PCB基体上设有若干扇形结构的磁探针回路线圈,磁探针回路线圈为双层结构,所述磁探针回路线圈呈环形阵列分布在PCB基体上的两个圆面上,信号处理件与磁探针回路线圈连接;PCB基体的两侧均设有数量与磁探针回路线圈数量相同的金属垫片,金属垫片与磁探针回路线圈一一对应,并且所述金属垫片呈环形阵列分布在PCB基体的两侧,金属垫片一侧与束流通道连接,另一侧位于腔体内,并且朝向磁探针回路线圈。

[0007] 本技术方案当束流在束流通道内前进时,根据电动力学的知识,会在束流前进的角向方向产生角向磁感应强度,实验室坐标系中,当束流强度固定时,实验室坐标系中某一点的磁感应强度大小恒定,然而,当束流为单脉冲形式时,或者为连续微脉冲分布形式时,实验室坐标系中某一点的磁感应强度将是变化的,利用法拉第电磁感应定律:导体回路中

感应电动势的大小与穿过回路的磁通量的变化率成正比,可以设计磁探针回路线圈固定于实验室坐标系中的某一点,当脉冲束流通过磁探针回路线圈附近时,在磁探针回路线圈的线圈回路上产生变化的磁通量,因此会在磁探针回路线圈上产生感应电动势,感应电动势传递至信号处理件,利用信号处理件对信号进行分析处理,就能得束流的偏置以及流强。同时,本技术方案通过调整磁探针回路线圈感应线圈匝数、线宽、金属垫片厚度等参数调整整个探测器的频率共振参数,能够用于纳秒级单脉冲束流测量,实现纳秒级粒子束的高频快速响应,该发明也能够用于纳秒级连续微脉冲束流测量,实现对连续纳秒级微脉冲粒子束高频快速响应,对连续微脉冲实现自积分共振式测量。

[0008] 进一步地,所述PCB基体的圆面上还设有若干插销孔,插销孔呈环形阵列分布在PCB基体上,所述探测器本体上还设有数量与插销孔数量相同的插销,插销插入至插销孔,将PCB基体固定在探测器本体的腔体内。

[0009] 设计的插销和插销孔用于对PCB基体进行固定,利用探测器本体上设置的插销插入至PCB基体上的插销孔内,实现了对PCB基体的固定,保证其能够稳定固定在探测器本体的腔体内。

[0010] 进一步地,所述磁探针回路线圈为四个,磁探针回路线圈包括若干布线、若干布线焊盘以及若干过孔,所述布线均匀地分布在PCB基体的圆面上,所述过孔呈两排均匀地贯穿在PCB基体的圆面上,并且位于同一排上的过孔到PCB基体轴线的距离相等,所述过孔的两端与布线焊盘连接,相邻两排的过孔通过布线连接形成依次连通的回路。所述过孔的轴线均与PCB基体的轴线平行,所述布线焊盘的内径与过孔内径相等,所述布线焊盘的外径大于过孔的内径,但是两焊盘之间的距离不能小于电气安全距离。

[0011] 设置的磁探针回路线圈通过印刷电路工艺印刻在电路板上,并且磁探针回路线圈为双层板设计,布线于PCB基体材料器件的上下两个表面,垂直于圆环形PCB基体的圆形平面为圆柱坐标系的轴向Z方向建立坐标系,过孔与Z轴方向平行,过孔内孔径根据PCB工艺以及PCB基体的大小而定,过孔镀层厚度也与PCB电镀工艺相关。过孔连接着线圈上下表面的布线焊盘,布线焊盘的内孔径与过孔内孔径相等,布线焊盘的外孔径比过孔的内孔径大,目的是使布线焊盘与PCB基体表面布线稳定连接。另外,线圈内径的布线焊盘与线圈外径的布线焊盘排列在圆环形PCB基体器件的同心圆上。

[0012] 进一步地,所述磁探针回路线圈还包括数量与磁探针回路线圈数量相同的接头,所述磁探针回路线圈还包括接头焊盘,所述接头焊盘与布线连接,所述接头沿探测器本体的径向方向插入至探测器本体内与接头焊盘连接。

[0013] 设置的接头用于与磁探针回路线圈的布线连接,使得束流通过PCB基体时,磁探针回路线圈回路上产生的感应电动势将通过接头传递至信号处理件,对产生的感应电动势强度进行测量。

[0014] 进一步地,所述金属垫片为八个,均匀地分布在PCB基体的两侧,金属垫片包括第一弧形片和第二弧形片,所述第一弧形片的弧长大于第二弧形片的弧长,并且第一弧形片一侧与第二弧形片连接,整体呈凸字结构,另一侧与束流通道连接。所述第一弧形片和第二弧形片均与探测器本体同轴心,第一弧形片上设有螺栓,螺栓将第一弧形片与探测器本体固定,第二弧形片位于探测器本体的腔体内,并且朝向磁探针回路线圈。

[0015] 设置的金属垫片位于探测器本体的腔体的两个侧壁上,在任意一个侧壁上金属垫

片均呈90°中心对称,金属垫片的大小设计与PCB基体上的磁探针回路线圈的匝数大小相关,且安装时,金属垫片需要与磁探针回路线圈正对。本技术方案的整个线路可以用分布式电路分析,束流管道与金属垫片连接,所以金属垫片接地,金属垫片与磁探针回路线圈正对,金属垫片凸起的厚度(或者说金属垫片的厚度)影响着线圈与束流管道接地的距离,进而直接影响探测线圈与束流管道的分布电容,在后期探测腔体谐振频率的调节上,可以更换不同厚度的金属垫片以满足实际需要的谐振频率。

[0016] 进一步地,还包括圆柱结构的外壳,所述探测器本体位于外壳内,所述探测器本体的外周外壁上还设有四个与接头一一对应的连接筒,连接筒一端与探测器本体连接,另一端插入在外壳的外周外壁上,所述接头插入在连接筒内与信号处理件连接。

[0017] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:

[0018] 1、本发明一种共振式在线束流位置探测器,利用设计磁探针回路线圈固定于实验室坐标系中的某一点,当脉冲束流通过磁探针回路线圈附近时,在磁探针回路线圈的线圈回路上产生变化的磁通量,因此会在磁探针回路线圈上产生感应电动势,感应电动势传递至信号处理件,利用信号处理件对信号进行分析处理,就能得束流的偏置以及流强;

[0019] 2、本发明一种共振式在线束流位置探测器,可以将发明的磁探针回路线圈应用于加速器的束流位置以及束流流强测量,对加速器的研发调试起到非常重大的作用,并且对于纳秒级单脉冲以及纳秒级的连续微脉冲,本装置能够快速响应;

[0020] 3、本发明一种共振式在线束流位置探测器,通过金属垫片的厚度影响着线圈与束流管道接地的距离,进而直接影响探测线圈与束流管道的分布电容,因此在后期探测腔体谐振频率的调节上,可以更换不同厚度的金属垫片以满足实际需要的谐振频率;

[0021] 4、本发明一种共振式在线束流位置探测器,通过调节线圈匝数、金属垫片厚度等手段,调节单脉冲输出信号频谱,可以使得单脉冲输出频谱与连续微脉冲共振,在连续微脉冲测量时,单脉冲输出频谱与连续微脉冲频谱在相应频率下共振,进而增加信号幅度,实现共振式测量,提高信噪比。

## 附图说明

[0022] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:

[0023] 图1为本发明结构示意图;

[0024] 图2为本发明探测器本体的结构示意图;

[0025] 图3为本发明探测器本体内部的结构示意图;

[0026] 图4为本发明PCB基体的结构示意图;

[0027] 图5为本发明磁探针回路线圈的分布结构示意图;

[0028] 图6为本发明磁探针回路线圈的结构示意图;

[0029] 图7为本发明金属垫片的结构示意图;

[0030] 图8是单微脉冲示意图;

[0031] 图9是单脉冲,束流0偏置时,磁探针回路线圈在X+、X-、Y+、Y-各方向的电压响应;

[0032] 图10是单脉冲,束流X+方向4mm偏置时,磁探针回路线圈在X+、X-、Y+、Y-各方向的电压响应;

- [0033] 图11是连续分布的微脉冲示意图；
- [0034] 图12是连续分布的微脉冲，束流0偏置时，磁探针回路线圈在X+、X-、Y+、Y-各方向的电压响应；
- [0035] 图13是连续分布的微脉冲，束流X+方向4mm偏置时，磁探针回路线圈在X+、X-、Y+、Y-各方向的电压响应；
- [0036] 图14是改变连续微脉冲频率，束流0偏置时，磁探针回路线圈在X+、X-、Y+、Y-各方向的共振输出的电压响应；
- [0037] 图15为磁探针回路线圈考虑分布电容C后的等效电路图A；
- [0038] 图16为磁探针回路线圈考虑分布电容C后的等效电路图B；
- [0039] 图17为本发明磁探针回路线圈探测原理图。
- [0040] 附图中标记及对应的零部件名称：
- [0041] 1-束流通道,2-外壳,3-连接筒,4-探测器本体,5-金属垫片,6-接头,7-PCB基体,8-插销孔,9-磁探针回路线圈,10-布线,11-过孔,12-布线焊盘,13-第一弧形片,14-第二弧形片,15-接头焊盘。

## 具体实施方式

[0042] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，下面结合实施例和附图，对本发明作进一步的详细说明，本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明，并不作为对本发明的限定。

### [0043] 实施例

[0044] 如图1至图7所示，本发明一种共振式在线束流位置探测器，包括信号处理件，所述信号处理件为现有技术，可以是示波器，也可以是其他接收时域信号，能够对时域信号进行处理运算，也可以是FPGA；还包括探测器本体4，所述探测器本体4为圆柱结构，内部设有空腔，探测器本体的两个圆面上均设有束流通道1，并且束流通道1与探测器本体4同轴度设置，其中一侧的束流通道1与加速器连接，使得加速器内的束流能够通过束流通道1进入至探测器本体4内，本技术方案中的束流探测器安装在相呼应探测束流的位置上，例如：加速器的束流出口，储能环上、或者对撞机上需要束流测量的地方，凡是能够适用本文技术方案的束流测量环境都可以适用本技术方案，本技术方案并不针对某一具体类型的加速器束流测量。

[0045] 所述探测器本体4的空腔内设有PCB基体7，所述PCB基体7为圆环结构，并且PCB基体7也与探测器本体4保持同轴度，使得束流通道1内的束流能够经过PCB基体7；所述PCB基体7的圆环面上还设有若干插销孔8，插销孔8呈圆环阵均匀地分布在PCB基体7上，所述探测器本体4上还设有数量与插销孔8数量相同的插销，插销为非金属材质，插销插入至插销孔8内，利用设置在插销与插销孔8配合，将PCB基体7固定在探测器本体4的腔体内，避免PCB基体在探测器本体4内的晃动。

[0046] 所述PCB基体7的圆环面上还设有四个扇形结构的磁探针回路线圈9，所述磁探针回路线圈9包括若干布线10、若干布线焊盘12、焊盘15以及若干过孔11，所述布线焊盘12呈上下两组分布在PCB基体7的两个圆环面上，并且每组布线焊盘12呈两排沿着PCB基体7的径向方向分布在PCB基体7的圆环面上，每排上的布线焊盘12到PCB基体7轴线的距离均相

对,形成弧形段,两排之间的相邻两个布线焊盘12的连线经过PCB基体7的轴线,并且两排之间的相邻两个布线焊盘12的距离保证在安全电气距离以上;所述过孔11贯穿在PCB基体7内,并且过孔11的两端将PCB基体7两个圆环面上下两组的布线焊盘12连接,即PCB基体7其中一个圆环面上的布线焊盘12与另一个圆环面上对应的布线焊盘12通过过孔11连接,利用设置的过孔11将PCB基体7的上下两个表面的布线焊盘12连接,所述布线焊盘12上设有通孔,通孔的内径与过孔11的外径一致,过孔11位于布线焊盘12的通孔内,设置的布线焊盘12的外径大于过孔11的外径,使得布线焊盘12与PCB基体7能够有效接触,从而将布线焊盘12稳定固定在PCB基体7上;所述布线10分布在PCB基体7的两个圆环面上,布线10将PCB基体7两排上的过孔11和布线焊盘12一一对应连接,形成依次连通着的回路,即PCB基体7上下表面上的两根布线10和对应的两根过孔11构成一匝线圈,类似于螺旋线圈的一匝,布线10的线宽根据PCB印刷工艺以及需求合理设计,布线厚度与PCB印刷电路电镀工艺相关。

[0047] 磁探针回路线圈9的回路匝数、连接两个布线焊盘12的布线10长度以及宽度、布线焊盘12的大小都影响着线圈的电感以及线圈与探测腔体间的分布电容,因此可以根据实际需要测量束流类型来灵活选择各个尺寸的大小,满足对不同类型的束流的测量。

[0048] 所述PCB基体7的两侧还均设有四个金属垫片5,四个金属垫片5均呈圆环阵列分布在探测器本体4的空腔内壁上,所述金属垫片5包括第一弧形片13和第二弧形片14,第一弧片13的弧长大于第二弧形片14的弧长,所述第二弧形片14位于第一弧形片13上,整体形状凸字结构,所述第一弧形片13上设有螺栓,并且螺栓与探测器本体4固定,利用设置的螺栓将第一弧形片13固定在探测器本体4上,并且束流管道1与第一弧形片13连接,第二弧形片14位于探测器本体4的空腔内,并且各个第二弧形片14与PCB基体7上的各个磁探针回路线圈9对应,第一弧形片13和第二弧形片14与束流管道1同轴心,并且第二弧度片14的弧长大于磁探针回路线圈9形成的扇形面积,保证扇形的第二弧度片14有足够的余量来与磁探针回路线圈9对正;所述第二弧形片13的厚度影响线圈与束流管道接地的距离,进而直接影响探测线圈与束流管道的分布电容,因此,在后期探测腔体谐振频率的调节上,可以更换不同厚度的金属垫片以满足实际需要的谐振频率。

[0049] 所述磁探针回路线圈9还包括数量与磁探针回路线圈9数量相同的接头6,磁探针回路线圈9还包括接头焊盘15,接头焊盘15与布线10连接,所述接头6沿探测器本体4的径向方向插入至探测器本体4内与接头焊盘10连接,并且接头6与信号处理件连接,使得磁探针回路线圈9产生的感应电动势能够通过接头6传递至信号处理件,对磁探针回路线圈9产生的感应电动势大小进行测量。

[0050] 还包括圆柱结构的外壳2,所述探测器本体4位于外壳2内,设置的外壳用于内探测器本体4进行保护,使其能够放置于外壳内,所述探测器本体4的外周外壁上还设有四个与接头6一一对应的连接筒3,连接筒3一端与探测器本体4连接,另一端插入在外壳2的外周外壁上,所述接头3插入在连接筒3内。

[0051] 磁探针回路线圈的匝数、线宽影响回路电感值L,线圈回路相当于螺旋线圈,线圈匝数越大,螺旋线圈电感值越大,线圈匝数越小,螺旋线圈的电感值也就越小。

[0052] 线宽以及金属片厚度影响了线圈与管道壁之间的距离,金属片厚度越大,线圈与管道壁之间的距离也就越小。此处,可以考虑平行电容板的公式:

$$[0053] C = \frac{\epsilon \cdot S}{4k\pi d}$$

[0054] 当金属片与管道壁之间距离d减小时,电容C就增大。另外,该束流探测束流可以考虑集成电路模型:

[0055] 当束流在束流传输管道中传输时,如果磁探针回路线圈回路线圈的尺寸远小于电子束回旋波长时,磁探针回路线圈可以当做集总参数元件,可以将磁探针回路线圈的回路线圈考虑为电感L。并且,当束流流过管道,在磁探针回路线圈上产生了感应电动势,该电动势驱动电感L,并通过外部长线缆传输至示波器,考虑长线缆特性阻抗为R。那么,磁探针回路线圈可以进行集总参数元件分析,探头可以等效为一个与电阻串联,感应电动势驱动的电感。

[0056] 对磁探针回路线圈谐振电路分析,如图15-16所示,磁探针回路线圈考虑分布电容C后的等效电路图所示,分布电容C与电缆特性阻抗R并联后的阻抗 $Z_0 = \frac{R}{1 + j\omega RC}$ ,因此得到回路总阻抗为:

$$[0057] Z = j\omega L + \frac{R}{1 + j\omega RC} = \frac{R}{1 + \omega^2 R^2 C^2} + j(\omega L - \frac{\omega R^2 C}{1 + \omega^2 R^2 C^2}) \quad (1)$$

[0058] 谐振时,电路中电场能和磁场能相互转化,感抗和容抗性能并不耗能,因此谐振时式虚数部分为零:

$$[0059] \omega L = \frac{\omega R^2 C}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \quad (2)$$

[0060] 因此得到谐振时,谐振角频率 $\omega$ 满足:

$$[0061] \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{R^2 C^2}} \quad (3)$$

[0062] 因此也就得到磁探针回路线圈集成电路分析中, $S_{21}$ 参数的谐振频率f满足:

$$[0063] f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{R^2 C^2}} \quad (4)$$

[0064] 线圈匝数影响电感L、线圈宽度以及金属垫片厚度影响电容C,两者共同如公式(4)影响 $S_{21}$ 参数的谐振频率f。上述 $S_{21}$ 表示:当其余所有端口都接到匹配负载时,束流通道1一端端口到另一端端口的传输系数。

[0065] 图17所示,图中共有4个磁探针回路线圈探测器,分别为:Probe1-4。束流管道半径为R,束流流强为I流经束流管道,并且距离管道轴线横向偏置为r的距离,θ为所测位置(Probe1)与束流径向位置的夹角。管道壁上的磁感应强度可以通过束流I,以及假想的镜像束流-I叠加得到,并且,镜像束流与管道轴向的偏置距离为 $R^2/r$ ,得到角向磁感应强度为:

$$[0066] B(R, \theta) = B_0 \cdot \frac{1 - \rho^2}{1 + \rho^2 - 2\rho \cdot \cos \theta} \quad (4-1)$$

[0067] 其中, $\rho = r/R$ 表示束流相对于传输管道的横向偏置的归一化幅度值, $B_0$ 为束流在

管道中心时的磁感应强度值:  $B_0 = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ , 公式 (4-1) 可以展开为:

[0068]  $B(R, \theta) = B_0 \cdot (1 + 2\rho \cos \theta + \dots)$  (4-2)

[0069] 当  $\rho$  较小时, 忽略高阶项, 4个磁探针回路线圈上产生的角向磁感应强度分别为:

[0070] 
$$\begin{cases} B_1 \approx B_0(1 + 2\rho \cos \theta) \\ B_2 \approx B_0(1 + 2\rho \sin \theta) \\ B_3 \approx B_0(1 - 2\rho \cos \theta) \\ B_4 \approx B_0(1 - 2\rho \sin \theta) \end{cases}$$
 (4-3)

[0071] 设计磁探针回路线圈放置于图17的4个探测器位置, 当脉冲束流通过磁探针回路线圈附近时, 在磁探针回路线圈的上产生变化的磁通量, 因此会在磁探针回路线圈上产生感生电动势, 并且根据公式 (4-3), 束流偏置时在 Probe 1-4 上产生的磁感应强度不同, 因此 Probe 1-4 上的感生电动势也就不同, 对 Probe 1-4 上的感生电动势进行处理就可以得到束流信息。

[0072] 无论磁探针回路线圈是工作在自积分还是工作在微分情况, 磁探针回路线圈测量得到的电压信号  $V(t)$  与束流流强信号  $I(t)$  可以写为如下关系:

[0073]  $V(t) = k \cdot (N \cdot S) \cdot B_\theta(t) = k \cdot A \cdot B_\theta(t) = k \cdot A \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi R} \cdot \frac{1 - \rho^2}{1 + \rho^2 - 2\rho \cdot \cos \theta}$  (4-10)

[0074] 公式 (4-10) 中,  $k$  表示测试回路的积分或者微分分压系数。当  $\omega L \gg R$  时,  $k$  表示积分系数, 当  $\omega L \ll R$  时,  $k$  表示分压系数。对 Probe 1-4 上的磁感应强度信息进行处理得到:

[0075] 
$$\begin{cases} V_1 = kAB_1 = kAB_0(1 + 2\rho \cos \theta) = kA(1 + 2\rho \cos \theta) \cdot \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi R} \\ V_2 = kAB_2 = kAB_0(1 + 2\rho \sin \theta) = kA(1 + 2\rho \sin \theta) \cdot \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi R} \\ V_3 = kAB_3 = kAB_0(1 - 2\rho \cos \theta) = kA(1 - 2\rho \cos \theta) \cdot \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi R} \\ V_4 = kAB_4 = kAB_0(1 - 2\rho \sin \theta) = kA(1 - 2\rho \sin \theta) \cdot \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi R} \end{cases}$$
 (4-11)

[0076] 根据公式 (4-11) 得到:

[0077] 
$$\begin{cases} I(t) = \frac{2\pi R}{4kA\mu_0} \cdot V_{total} \\ V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \\ \Delta x = R \cdot (V_1 - V_3) / V_{total} \\ \Delta y = R \cdot (V_2 - V_4) / V_{total} \end{cases}$$
 (4-12)

[0078] 因此, 获得测到的电压信号  $V_1, V_2, V_3, V_4$  根据公式 (4-12) 进行处理, 根据标定装置获得系数  $k$  后, 就可以获得束流的流强  $I(t)$  以及横向偏置  $\Delta x$  和  $\Delta y$ 。

[0079] 另外, 采用差比和、幅度-相位转换、对数比方法也能得到束流的偏置信息。上述束流处理方法均是公开的。

[0080] 本技术方案对于连续微脉冲需要调节  $S$  参数, 首先需要通过网络分析仪调整整个探测元件的  $S$  参数, 保证该探测器的谐振频率为束流微脉冲频率的整数倍。探测腔体固定情

况下,能够调整磁探针回路线圈匝数、线宽、金属垫片厚度等参数调整整个探测元件的频率,使该探测器的S21参数带通谐振频率为连续微脉冲频率的整数倍。将共振参数测量好后,需要在标定平台对该发明的探测器进行标定,标定好后本探测器安装到加速器的束流探测部分。当带电粒子束通过探测器后就会在束流前进的角向方向产生角向磁感应强度,当脉冲束流通过磁探针回路线圈附近时,在磁探针回路线圈的线圈回路上产生变化的磁通量,因此会在磁探针回路线圈上产生感应电动势,通过同轴连接线可以将感应电动势传递到外部信号处理部分,对信号分析处理,就能得出束流的偏置以及流强。

**[0081]** 通过本发明,可以将发明的磁探针回路线圈应用于加速器的束流位置以及束流流强测量,对加速器的研发调试起到非常重大的作用,并且对于纳秒级单脉冲以及纳秒级的连续微脉冲,该发明能够快速响应。如附图8的单脉冲通过本专利设计的磁探针回路线圈,以图1为例,垂直于圆环形PCB基体的圆形平面为圆柱坐标系的轴向Z方向建立坐标系,过孔与Z轴方向平行,水平方向垂直于Z轴方向为X轴,竖直方向垂直于Z轴为Y轴,在束流0偏置时,通过CST粒子工作室模拟,得到各个探测器的电压响应如附图9所示,当束流偏置向X方向偏置4mm时,得到的结果如附图10所示;如附图11的连续微脉冲通过本专利设计的探测器,在束流0偏置时,通过CST粒子工作室模拟,得到各个探测器的电压响应如附图12所示,当束流偏置向X方向偏置4mm时,得到的结果如附图13所示,模拟结果表明,当束流0偏置时,磁探针回路线圈在各个方向电压输出相同,当束流X+方向4mm偏置时,磁探针回路线圈在X+、X-、Y+、Y-四个方向上的电压输出不同,因此可以对四个方向的电压信号进行分析处理而得到加速器中粒子束流的位置以及强度。通过调节线圈匝数、金属垫片厚度等手段,调节单脉冲输出信号频谱,可以使得单脉冲输出频谱与连续微脉冲共振。在连续微脉冲测量时,单脉冲输出频谱与连续微脉冲频谱在相应频率下共振,进而增加信号幅度,实现共振式测量,提高信噪比,如图14所示,测量信号一个比一个强。

**[0082]** 从附图9以及附图10可以看出,对于该发明的探测器,能量会在磁探针回路线圈探测线圈以及探测腔体间进行振荡,因此,电压输出是有相应的周期的,当调好谐振频率后,对于连续分布的微脉冲,探测器对后面脉冲的电压输出会叠加在前面脉冲的电压输出上,如果保证探测器的带通谐振频率为连续微脉冲频率的整数倍能够实现共振式增强测量。并且,附图9、附图10、附图12、附图13以及附图14表明该探测器输出型号是带有自积分性质的,所以该发明为在线自积分共振式的束流探测器。特别需要说明的是图9和图12以及图14中四个方向上的电压重合在一起,因为束流偏置为0,且四个探测器90°中心旋转对称。

**[0083]** 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

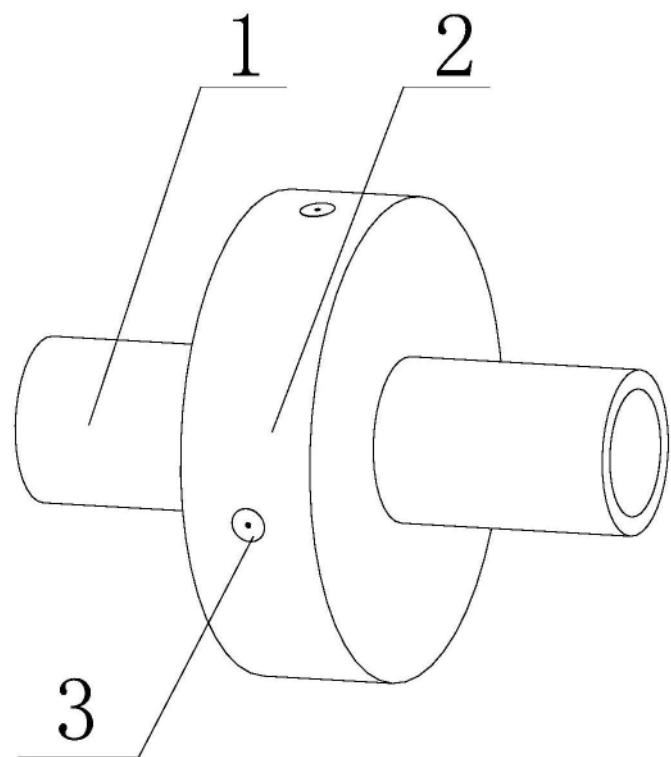


图1

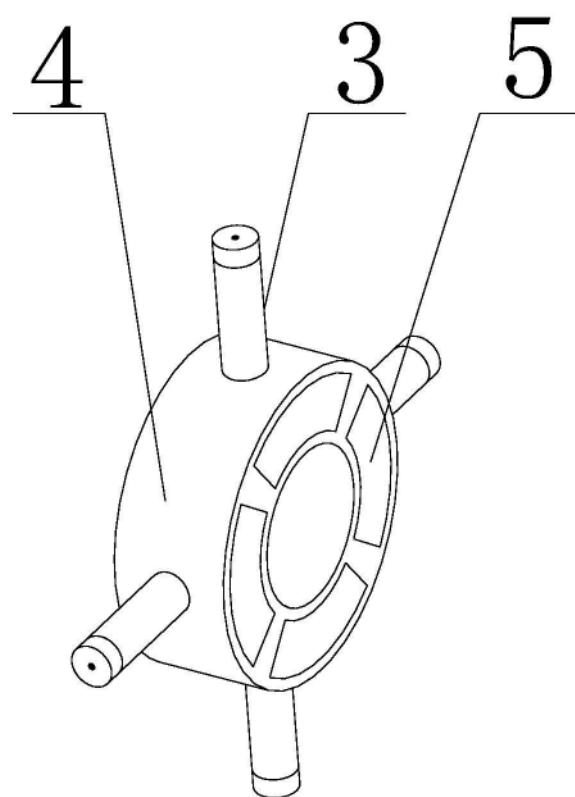


图2

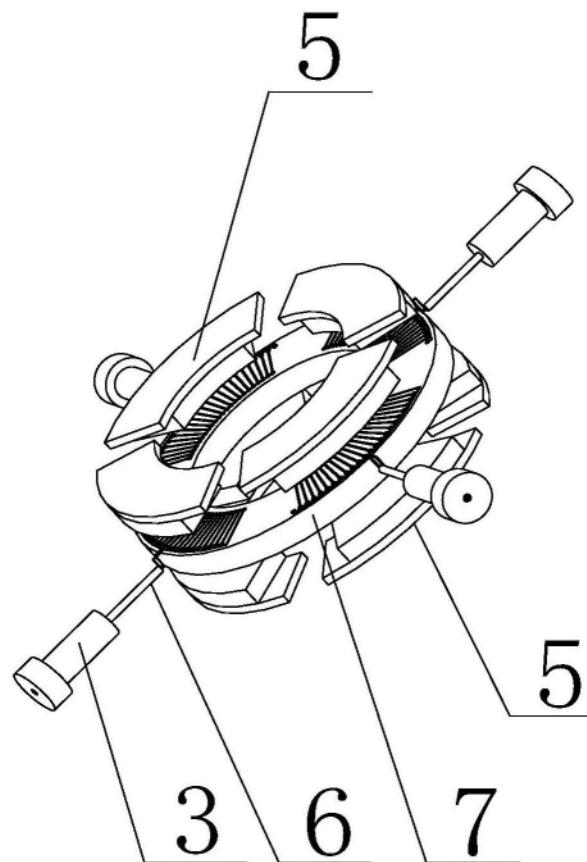


图3

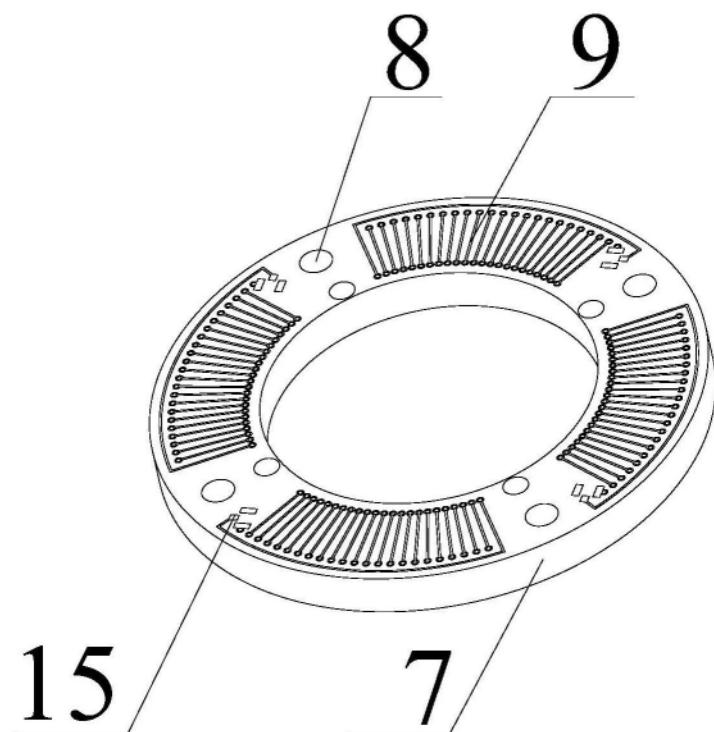


图4

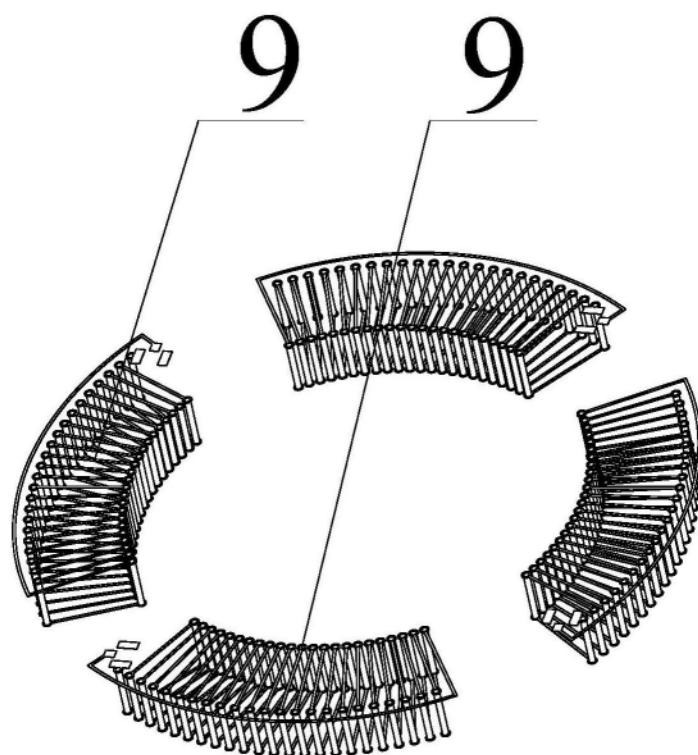


图5

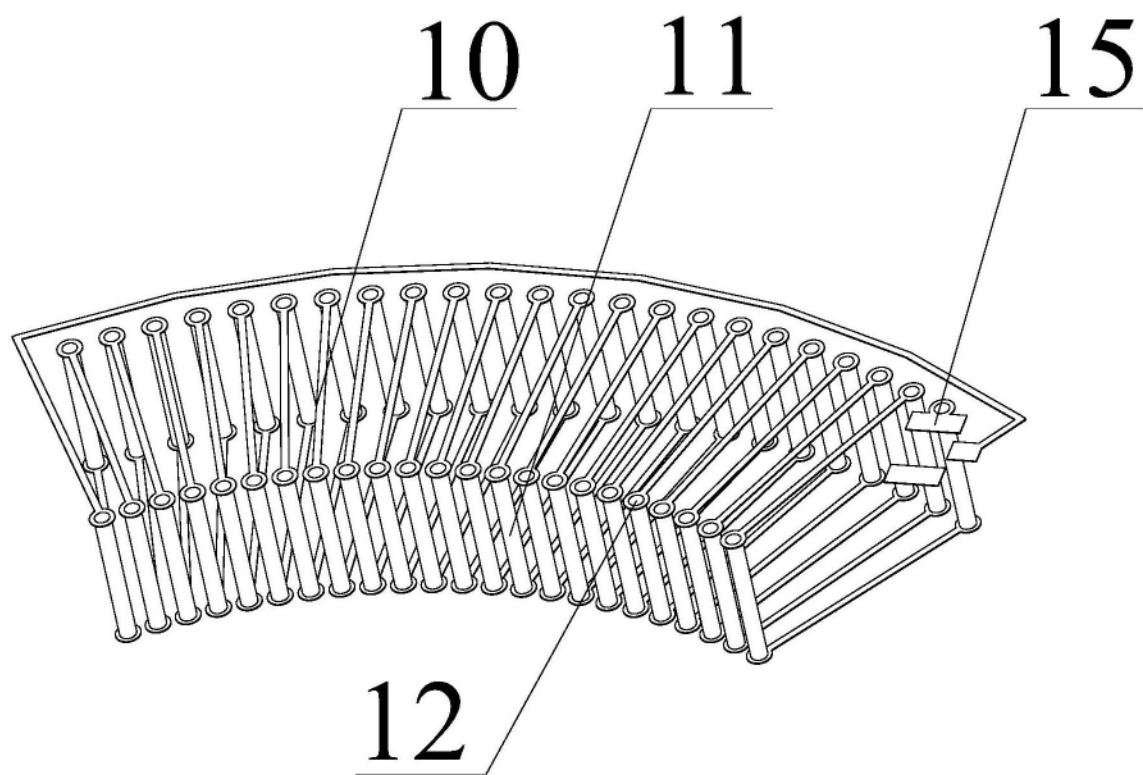


图6

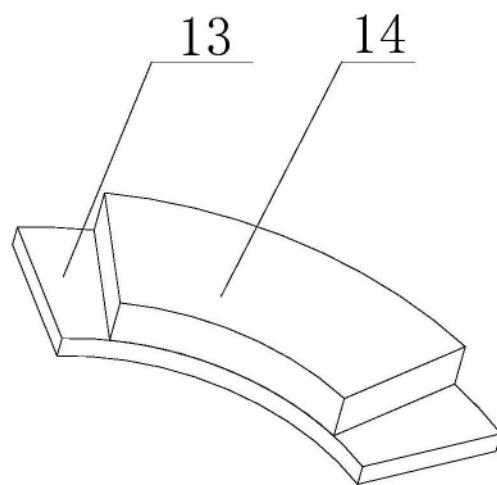


图7

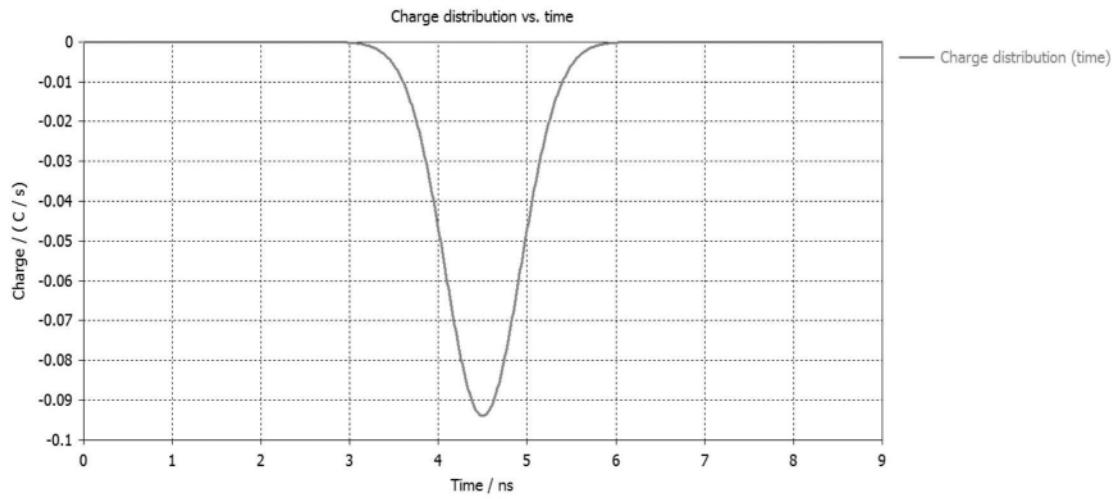


图8

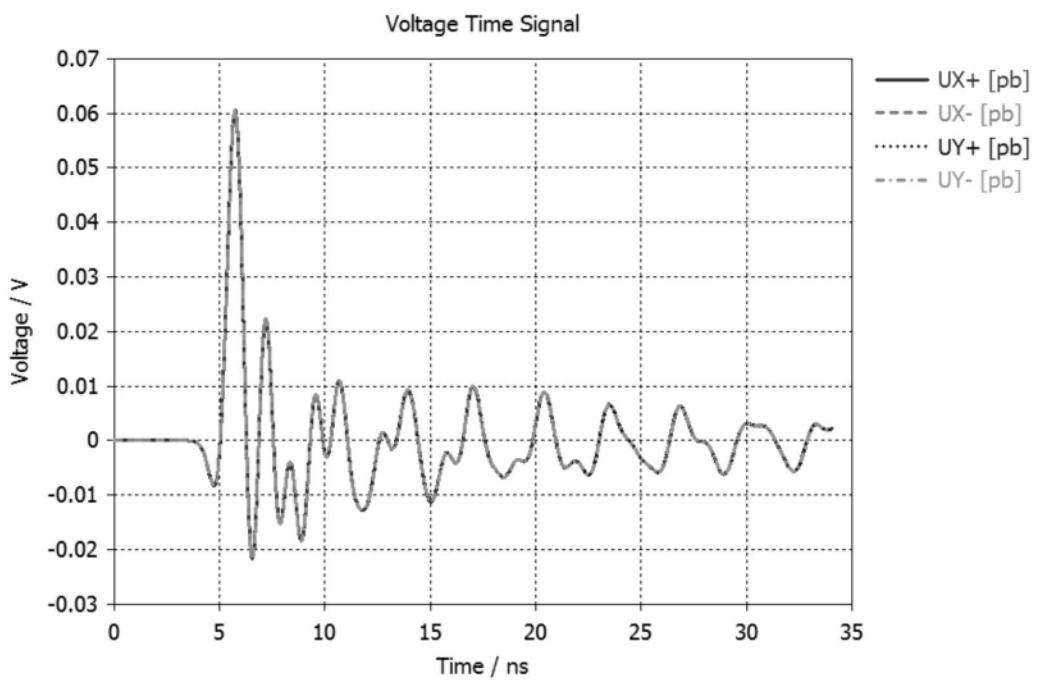


图9

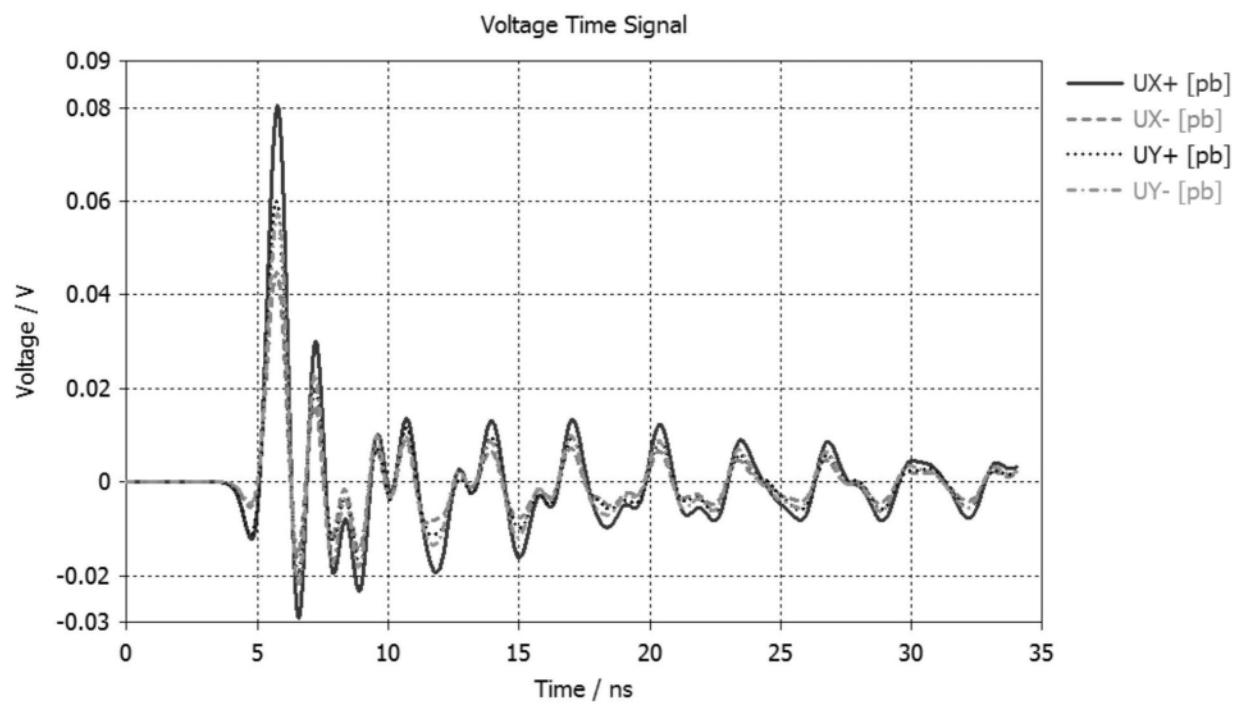


图10

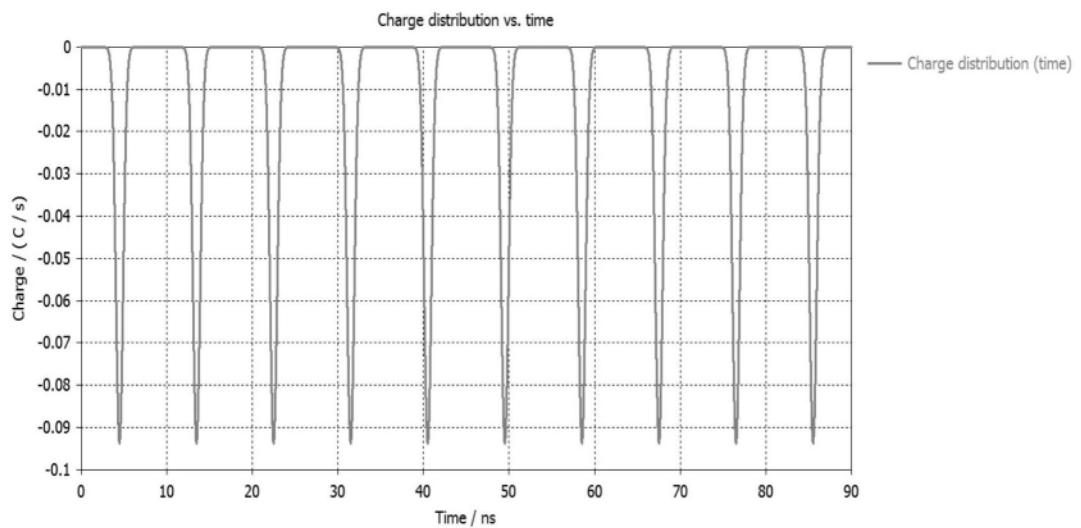


图11

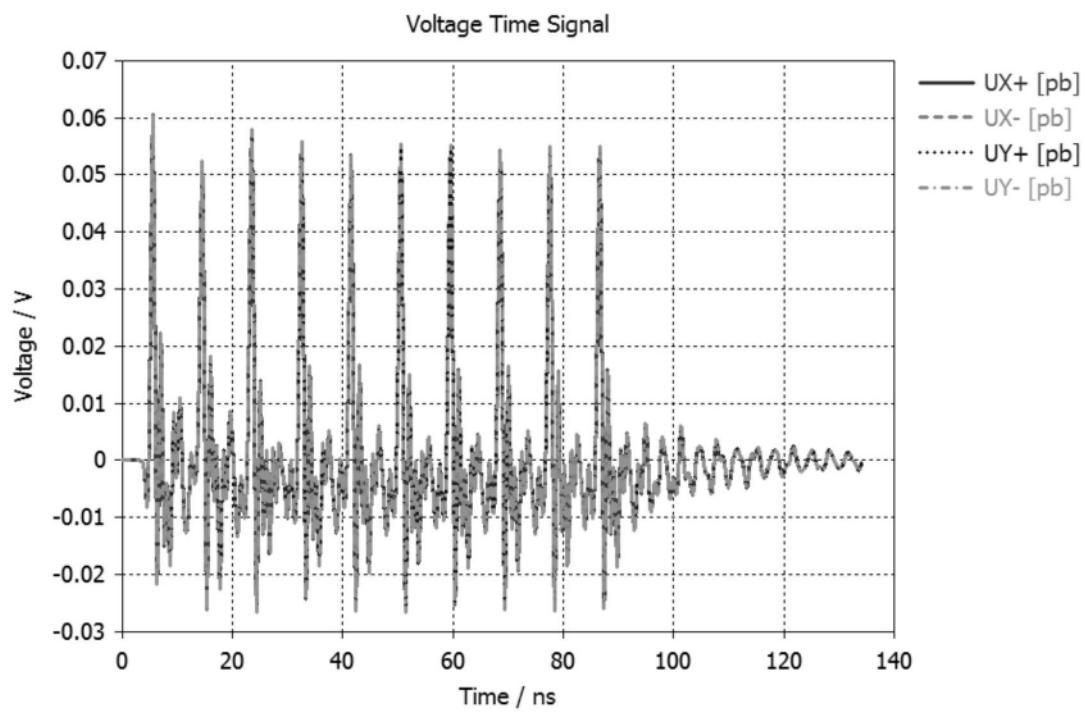


图12

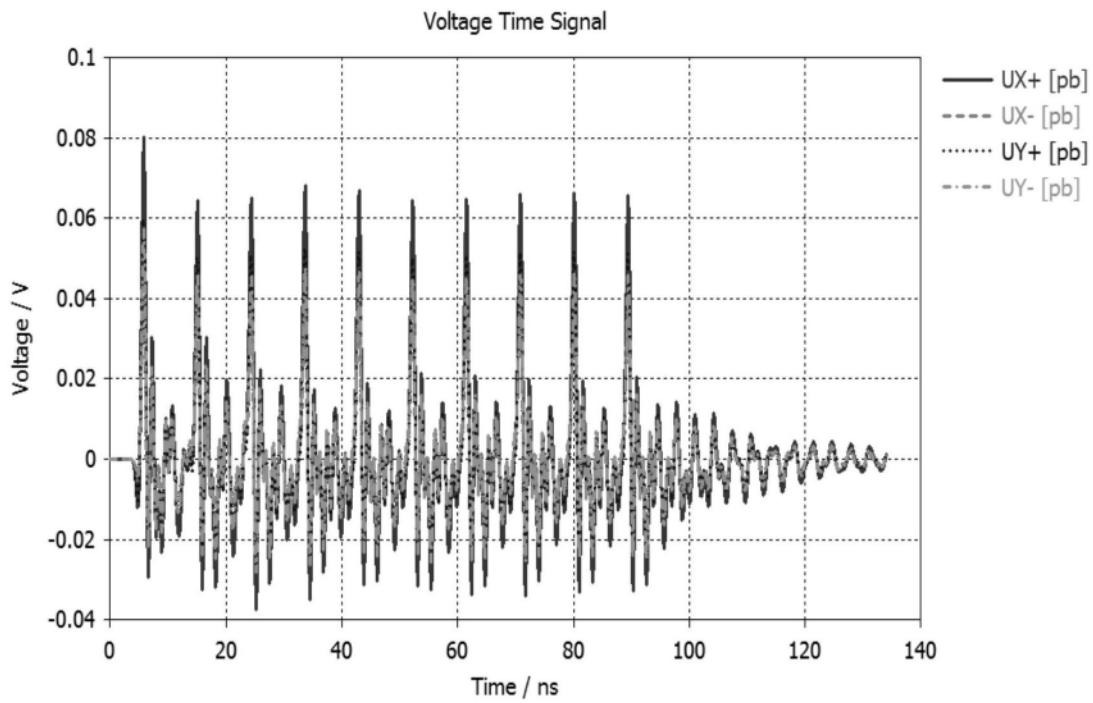


图13

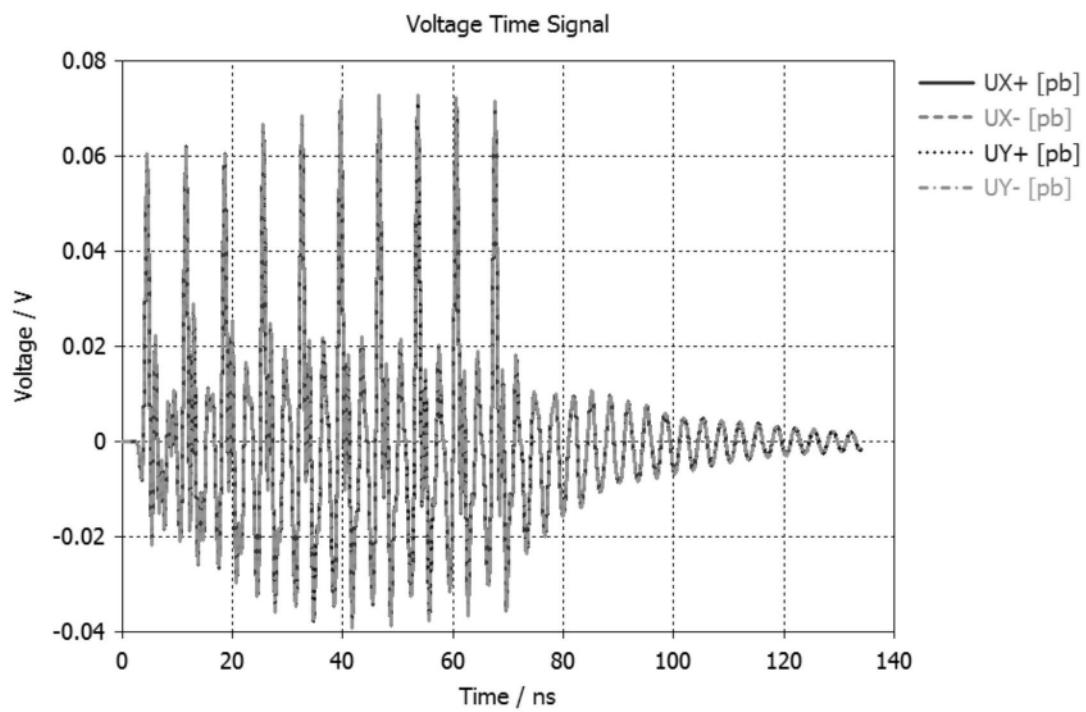


图14

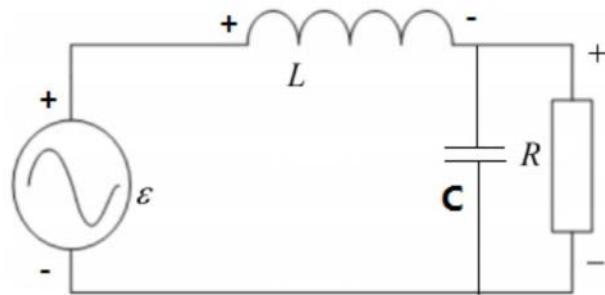


图15

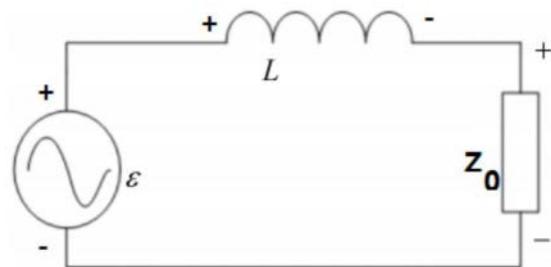


图16

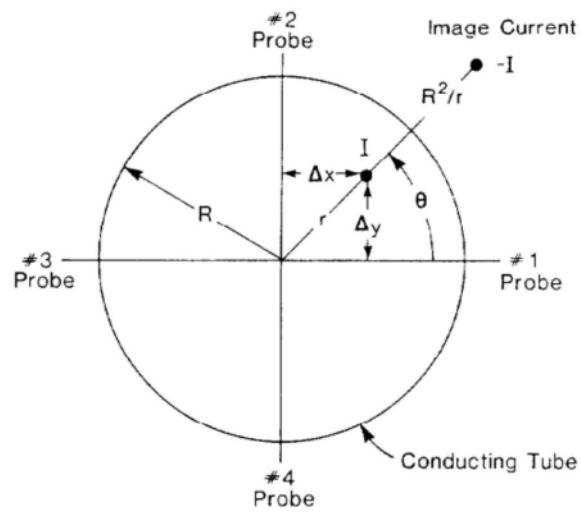


图17