



南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

雷达信号分析与处理实验报告

姓 名: 刘滔滔 学 号: 9161040G1021

队 友: 张锦涛 学 号: 9161040G1034

学 院: 电子工程与光电技术学院

专业(方向): 电子信息工程

指导老师: 张文青

2019 年 12 月

目录

实验一	正交相干检波器.....	3
一、	实验目的	3
二、	实验仪器	3
三、	逻辑框图	3
四、	实验内容及步骤.....	3
1.	实验装置的连接.....	4
2.	幅相不平衡度测量方法.....	4
3.	记录波形.....	5
4.	测数据	8
五、	思考题	9
实验二	匹配滤波器	9
一、	实验目的	9
二、	实验仪器	10
三、	实验原理	10
四、	实验内容与步骤.....	11
五、	思考.....	14
实验三	动目标检测及相参积累	15
一、	实验目的	15
二、	实验仪器	15
三、	实验内容及步骤.....	15
1 .	MTD 滤波器副瓣电平测量计算方法	15
2 .	内容与步骤.....	16
四	思考题.....	18

实验一 正交相干检波器

在雷达信号处理中,由于信号与干扰混合波形的振幅和相位均含有信息,因此 对信号最佳处理应在接收机的中频进行。但是,对信号进行数字处理时,在中频 进行采样是很困难的。由于中频本身并无目标信息,目标信息包含在中频的复包 络中。因此,须将中频信号变成等效的复数视频信号,以利于用数字处理。正交 相干检波器就是一种将中频信号变换成复数视频信号的装置。

一、实验目的

- 1.掌握正交相干检波的基本原理,实现方法和运用它检测信号(例如多普勒信号)
- 2.掌握正交相干检波器幅度一致性和相位正交性(幅度不平衡度)的测量方法。

二、实验仪器

信号源、示波器、直流稳压电源

三、逻辑框图

本实验的原理方框图如图1所示。

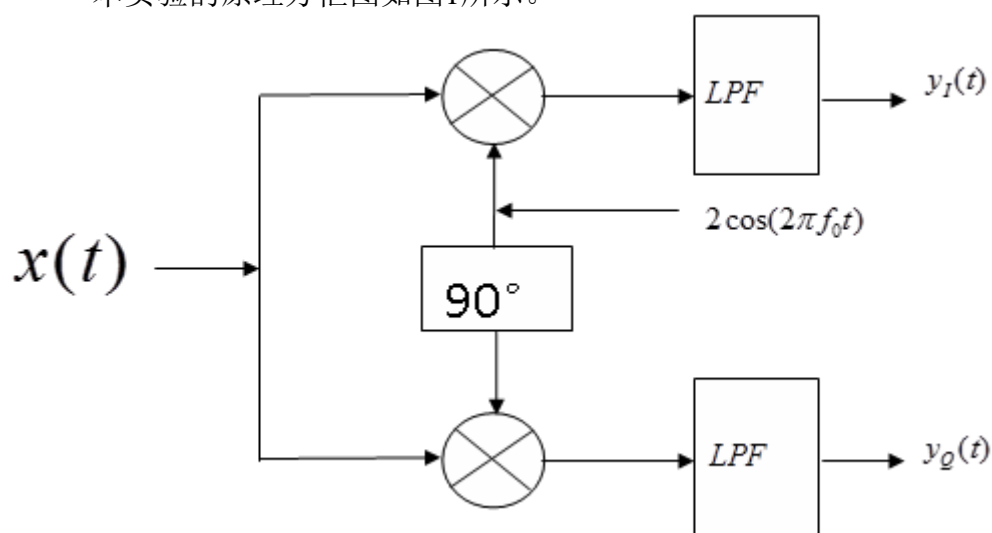


图 1 正交相干检波器原理方框图

四、实验内容及步骤

1.实验装置的连接

(1) 实验装置的 Q9 座“SIN”和“FO”分别连接到两台“DDS 信号产生器实验装置”上，Q9座“OUT1”和“OUT2”分别连接到示波器的两个输入端“CH1”和“CH2”上；正确连接“+5V”和“±12V”电源。

(2) Q9 座“FO”对应的“DDS 信号产生器实验装置”输出频率设置为 10MHz；

(3) Q9 座“SIN”对应的“DDS 信号产生器实验装置”输出频率从 9.6MHz 变到 9.999MHz，分别按“K1”和“K2”键。记录波形，并将测试数据填入表格。

2.幅相不平衡度测量方法

正交信号如图 2 所示，从示波器上读取正交 I、Q 信号的电压幅度值为 A_I 和 A_Q ，按公式：

$$\Delta A = 20 \lg \frac{A_I}{A_Q} (dB)$$

计算幅度平衡值。

测量 T_A 和 T_B 的值，按公式： $\Delta \varphi = |(TA - TB)/(TA + TB)| \times 90^\circ$ 计算相位平衡度。

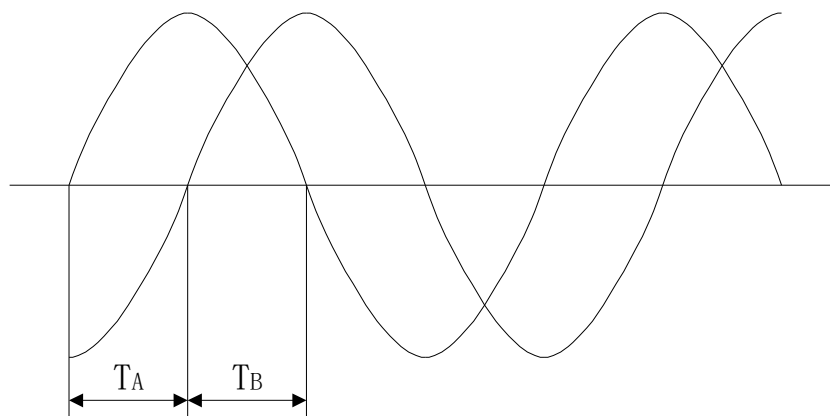


图 4 正交信号波形

3.记录波形

分别按“K1”和“K2”键;“OUT1”和“OUT2”将循环输出表1信号，并通 过对应发光二极管指示，记录得到的波形如下：

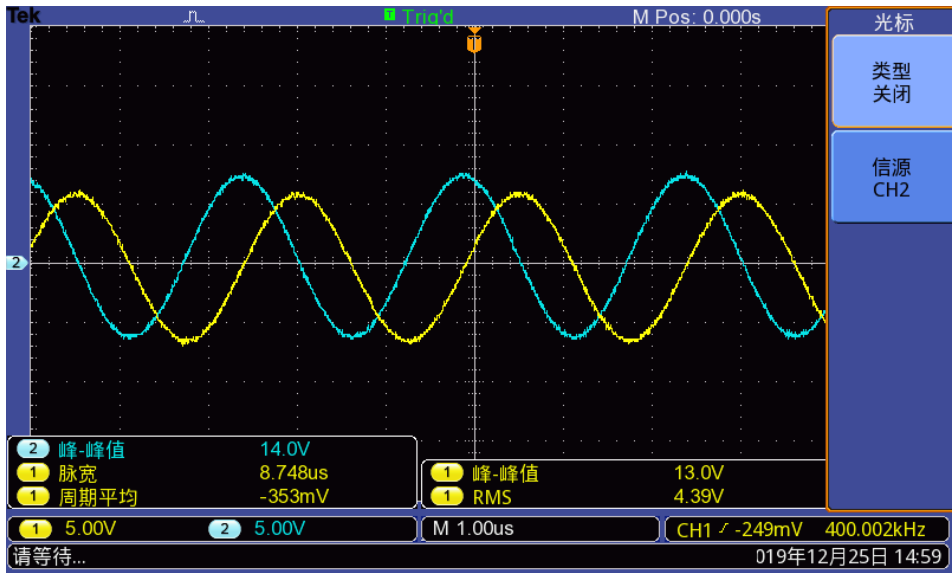


图 1.1 输入频率 9.6MHz

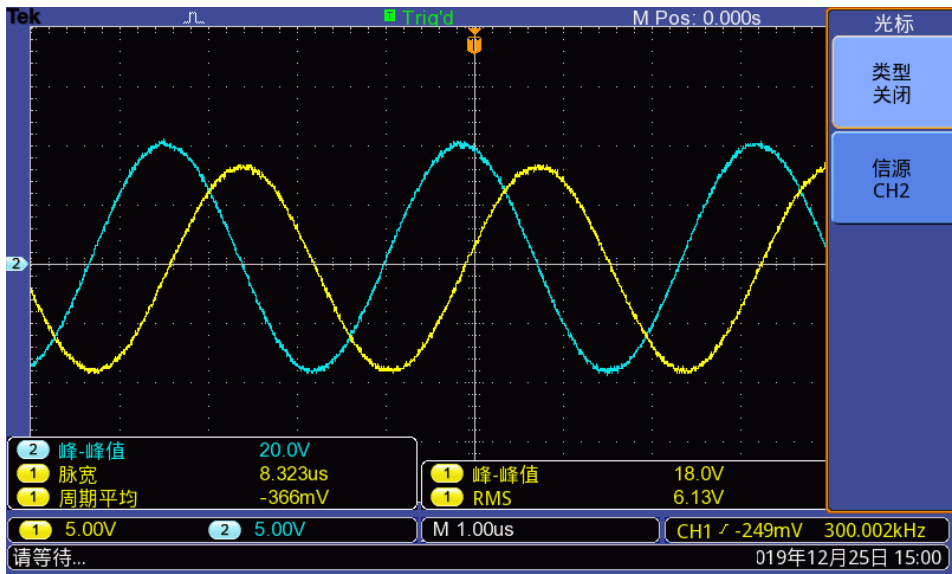


图 1.2 输入频率 9.7MHz

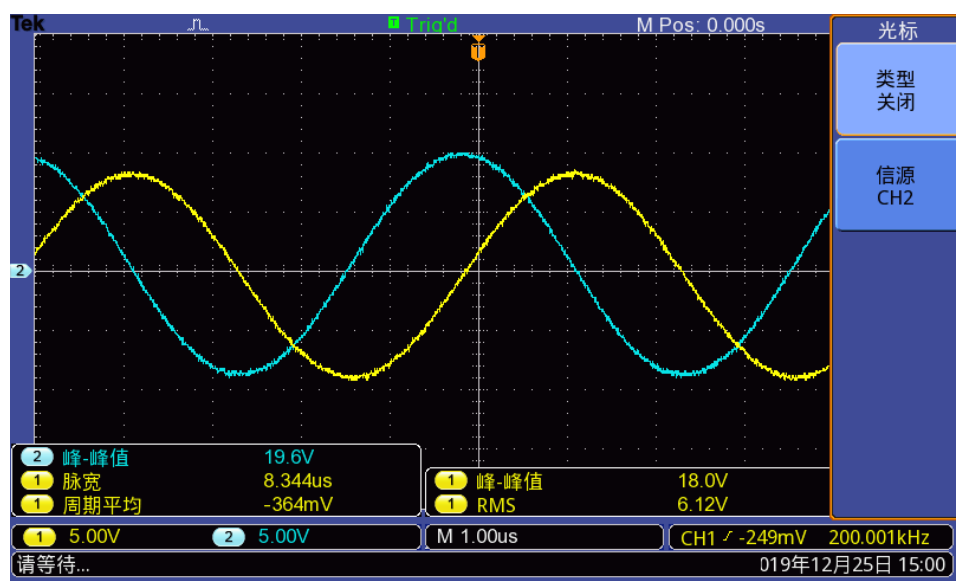


图 1.3 输入频率 9.8MHz

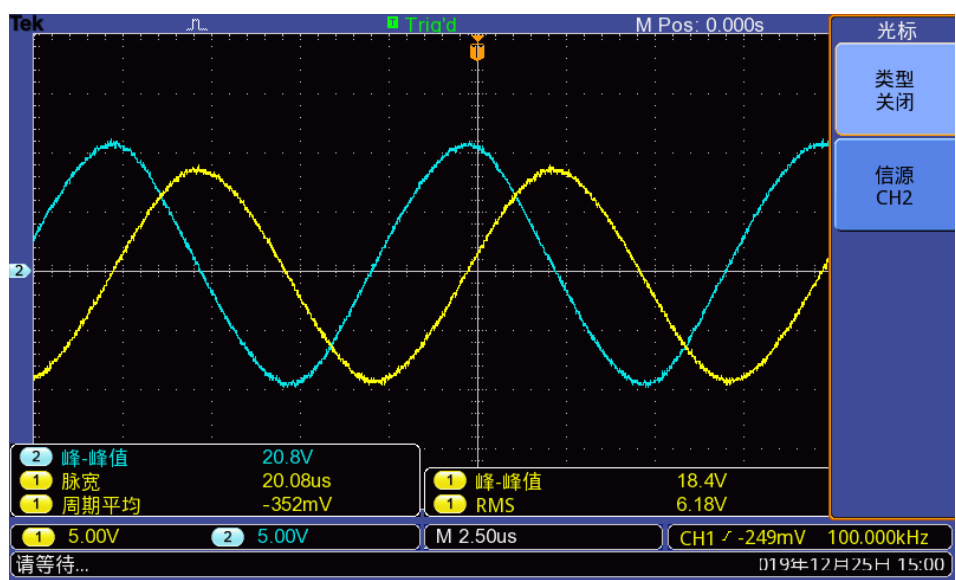


图 1.4 输入频率 9.9MHz

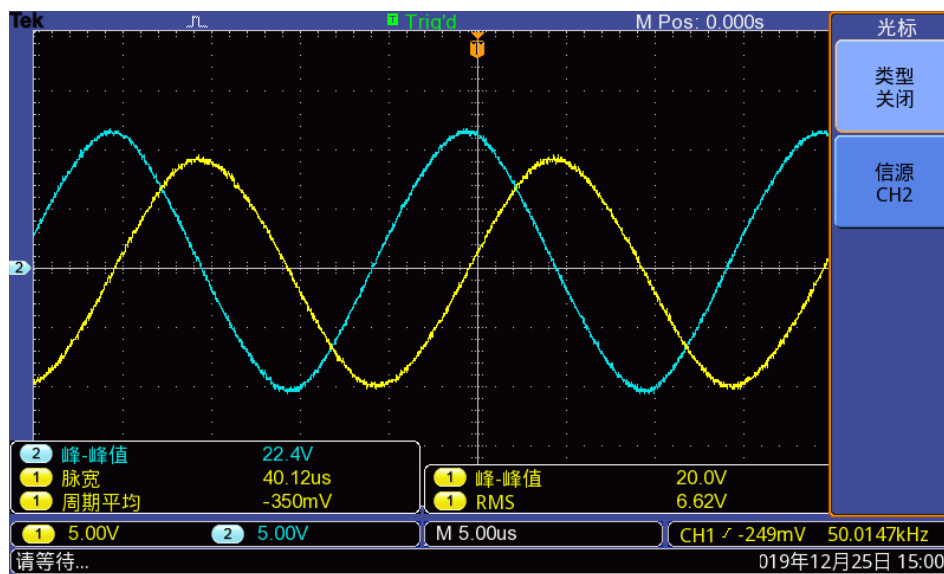


图 1.5 输入频率 9.95MHz

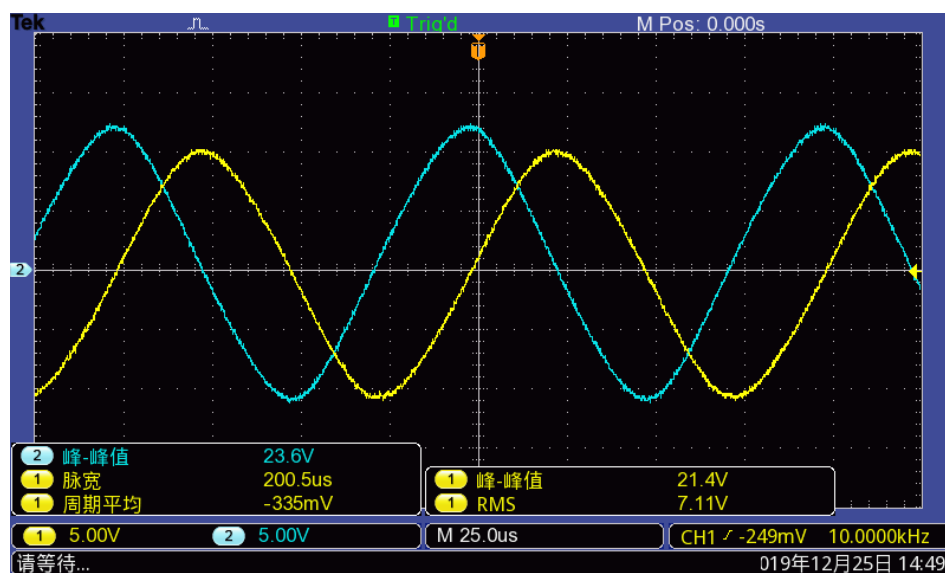


图 1.6 输入频率 9.99MHz

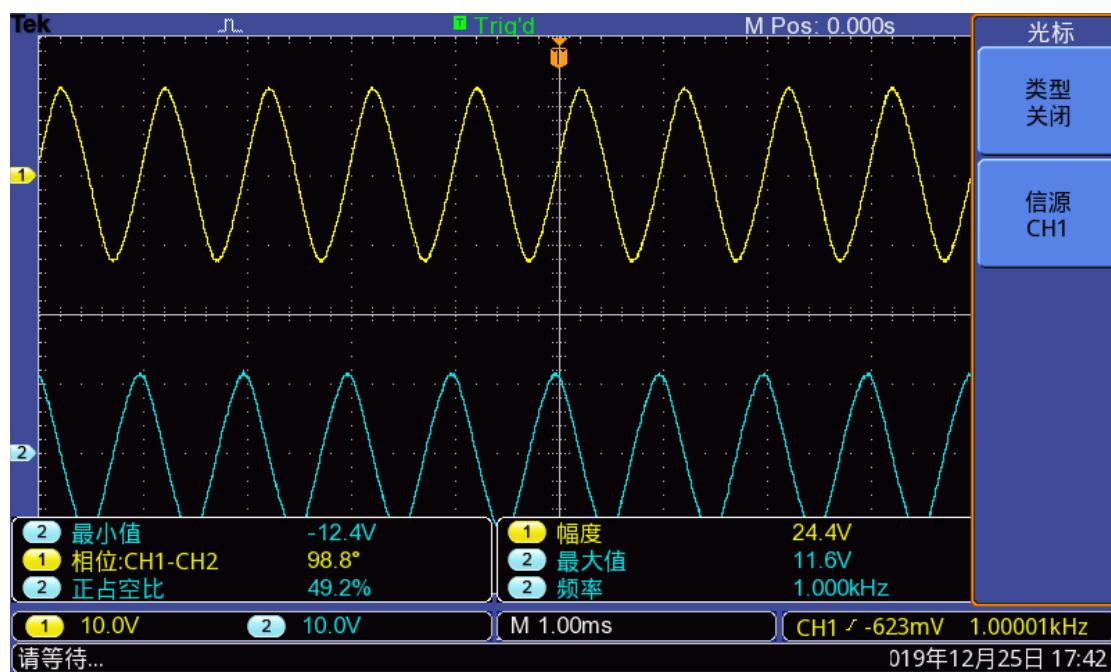


图 1.7 输入频率 9.999MHz

4.测数据

改变“SIN”输入频率，测量数据填入下表 2

表 2 测试数据

输入频率 (MHz)	9.600	9.700	9.800	9.900	9.950	9.970	9.990	9.999
检波器输出 频率 (KHz)	400	300.001	200	100	50	30	10	1
ΔA 幅度 平 衡	-0.607	-0.786	-0.630	-1.003	-1.005	-0.828	-0.807	-0.743
$\Delta \phi$ 相位 平 衡	10.32	2.19	4.43	1.84	1.83	4.29	1.84	0

测试中频本振（/FO、FO）的幅相不平衡度，填入下表3。

表 3 测试数据

性能	ΔA 幅度平衡 (dB)	$\Delta \varphi$ 相位平衡 ($^{\circ}$)
数据	-0.92	5.3

五、思考题

(1) 幅相不平衡是什么原因造成的？

答: 原因来自两个方面:

A. 本振信号由模拟信号产生, 模拟移相器输出正交的 SIN 和 COS 信号, 很难完全保证幅度完全相同, 相位相差 90° 。采用这样的本振信号与输入信号相乘以后, 必然导致幅相不平衡。

B. 实验中解调乘法完成以后, 采用模拟低通滤波器滤波后, 再经放大处理得到视频 I 路和 Q 路信号。由于模拟滤波器和放大器不可能做到电路元件参数完全一致。再加上温度等外界环境的影响, 使得输出也不能致。

(2) 幅相不平衡如何进行调整？

答: 可以采用误差校正技术接收机 IQ 检波前注入一个已知的理想信号, 该信号必须是已知特性的合成多普勒信号, 这个合成的多普勒信号经 IQ 检波和 FFT 处理器处理, 有号在镜题出的响应反以了 IQ 通道的幅相不平衡。分析所行的误差数据, 并记录储存在校准文件里, 系统工作时, 调用该校准文件即可

实验二 匹配滤波器

一、实验目的

- 1.了解匹配滤波器的工作原理。
- 2.掌握二相编码脉压信号的压缩比、主旁瓣比、码元宽度的测量方法。
- 3.加深和巩固课堂所学有关距离分辨力、横向滤波器和匹配滤波方面知识。

二、实验仪器

示波器、直流稳压电源、万用表。

三、实验原理

二相编码信号的匹配滤波器为：

$$H(f) = \mu_1(f) \cdot \mu_2(f)$$

式中， $\mu_1(f)$ 为子脉冲匹配滤波器， $\mu_2(f)$ 为横向滤波器（即抽头加权延时线求和网络）。二相编码信号的匹配滤波器结构如图1 所示。

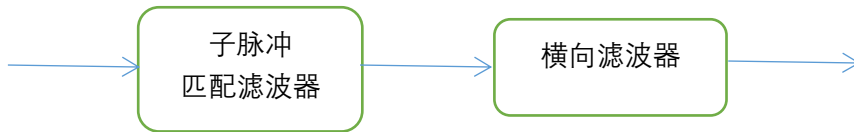


图 1 二相编码信号的匹配滤波器结构

子脉冲匹配滤波器频率特性为：

$$\mu_1(f) = \sqrt{\frac{T}{P}} \text{sinc}(fT) e^{j\pi f T}$$

横向滤波器频率特性为：

$$\mu_2(f) = \sum_{k=0}^{p-1} c_{(p-1)-k} e^{-j2\pi f (KT)}$$

式中，P 为码长；T 为码元宽度；CK 为二相编码信号。

在此，采用数字信号处理省略了子脉冲匹配滤波器，所以脉压输出不再是三角波而是方波。横向滤波器（即抽头加权延时线求和网络）的结构如图 2 所示，在此采用超大规模集成电路完成。

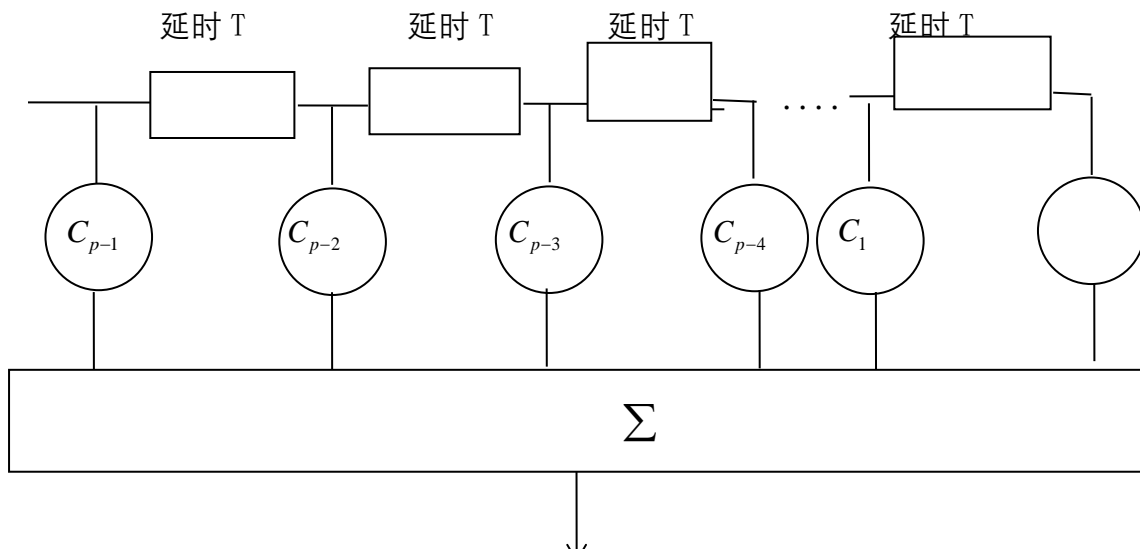


图 2 横向滤波器（即抽头加权延时线求和网络）结构示意图

四、实验内容与步骤

1. 检查实验箱电源以及信号输出的连接方式。
2. 打开实验箱电源以及示波器，调整示波器使观察信号最佳。
3. 按键 K1，数码管显示 P，观察 OUT1 输出的单脉冲信号以及 OUT2 输出的匹配滤波信号，记录输出波形。
4. 用示波器测量压缩比、主旁瓣比、码元宽度等参数。
5. 再次按键 K1，改变单脉冲信号码元宽度，LED4 显示带小数点。观察信号及匹配滤波输出的改变，测量各项参数。
6. 依次按键 K2~K7。选择不同的输入信号，重复步骤2~4，观察波形，记录数据。
7. 关闭实验电源，总结实验数据。
8. 将实验记录数据填入表1，进行分析。
9. 各波形及其脉压后的图形如下

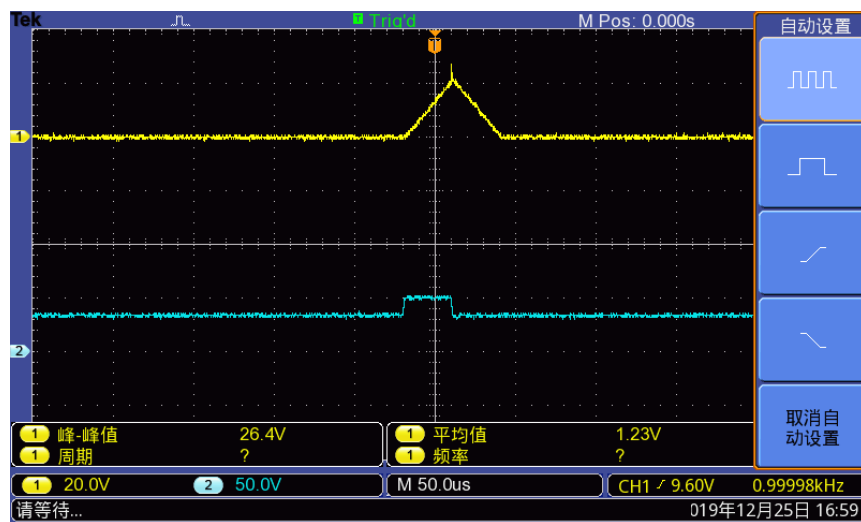


图 2.1 单脉冲

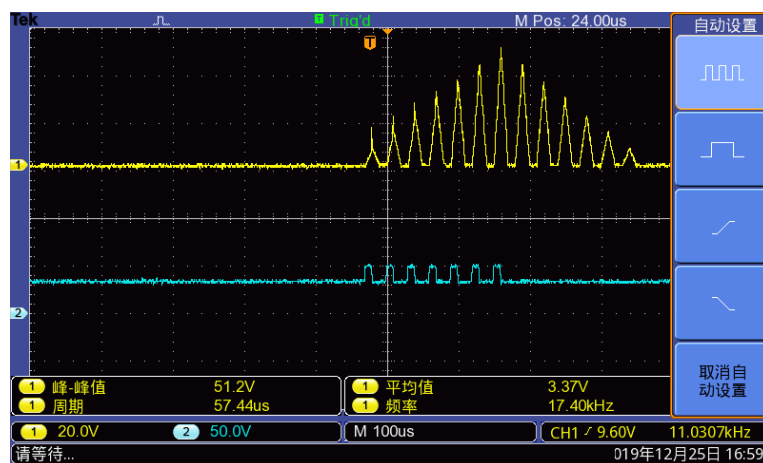


图 2.2 脉冲串

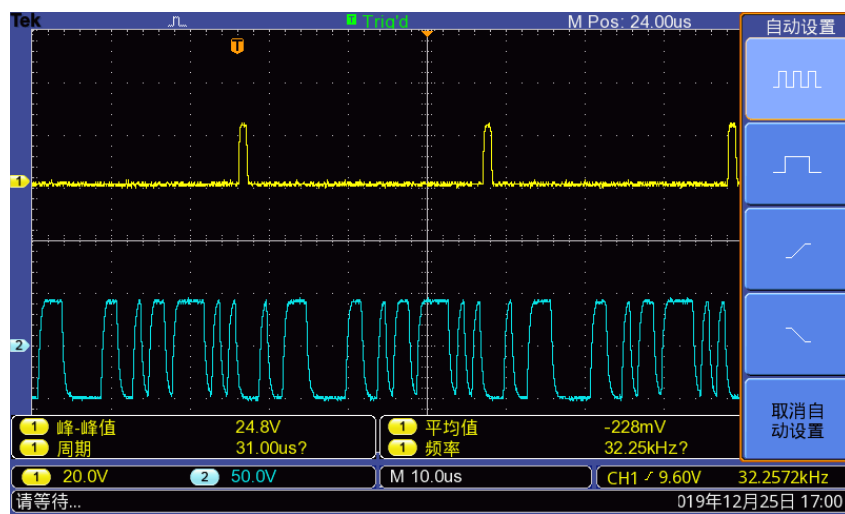


图 3.3 31 位 m 序列

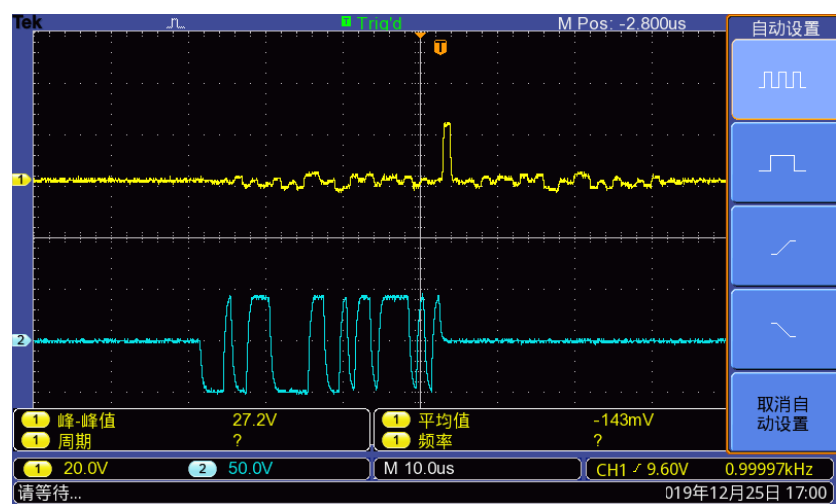


图 3.4 31 位 PN 截断码

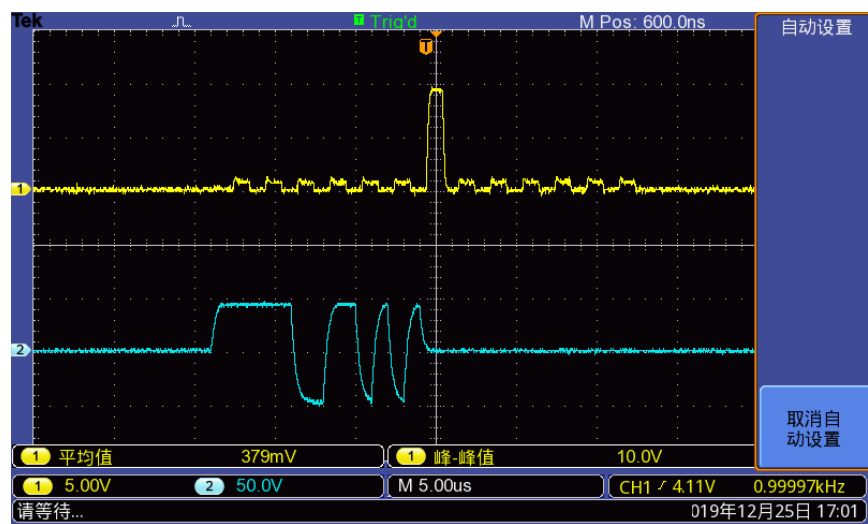


图 3.5 13 位巴克码

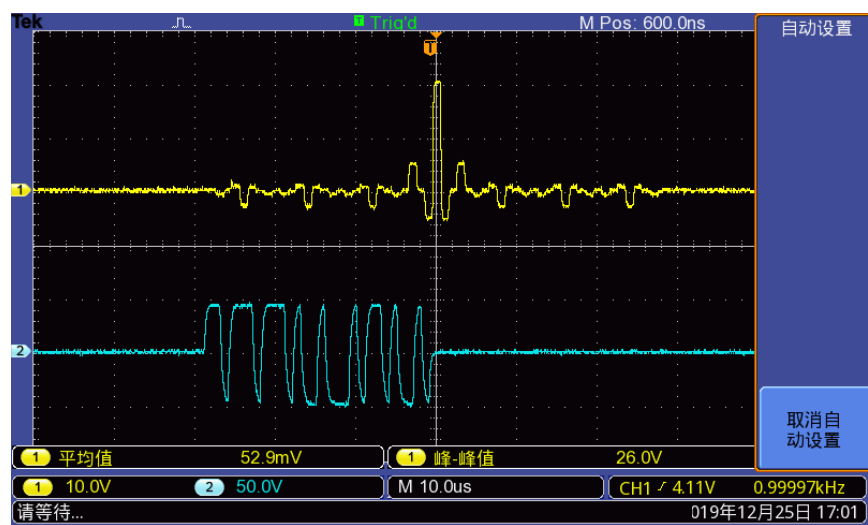


图 3.6 4 位/7 位组合巴克码

将各波形测试数据填入下表：

表 1 测试数据

序号	信号波形	码元宽度	压缩比	主旁瓣比
1	单脉冲	30us	0.5	无
		60us	0.5	无
2	脉冲串	28us	0.51	无
		54.3us	0.5	无
3	31 位 M 序列	1	39	无
		无	无	无
4	31 位 PN 截断码	1	19.75	7.06
		无	无	无
5	13 位巴克码	2.23us	12	8
		无	无	无
6	4 位/7 位组合巴克码	5.2us	28.6	3.7

五、思考

1 为什么脉冲压缩输出波形为方波而不是三角波？

1. 因为滤波阶数不够，滤波效果不佳，没有把基波滤掉，从波形上可见，基波分量比三次谐波分量还大。方波的基波/三次谐波分量比为 1/3，尚能对付，三角波为 1/9，谐波分量太小了。

2. 主副瓣比的测量方法有哪些？

2. 幅度最大的值作为主瓣，幅度仅次于主期的作为副瓣，三者比值为 主副瓣比。

3. 31 位 PA 截断码(m 序列中截取个周期)与 31 位 m 序列的脉冲压缩输出波形为何不一样？

实验三 动目标检测及相参积累

一、实验目的

- 1、了解动目标检测（MTD）及相参积累的工作原理。
- 2、掌握动目标检测（MTD）及相参积累的性能测试方法。

二、实验仪器

示波器、万用表。

三、实验内容及步骤

MTD 性能的测试方法非常复杂，一般通过测量 MTD 的滤波器特性来间接得到 MTD 性能。

1 . MTD 滤波器副瓣电平测量计算方法

(1)MTD 线性输出 16bit 经过对数电路变为 8bit。按照如下关系运算：

$$M=52.9433\log N$$

式中，M：8bit 数据，N：16bit 数据。

比如，当 $N=65535$ 时， $M=52.9433\log 65535=255$ ； $N=32768$ 时，

$$M=52.9433\log 32768=239.$$

(2)MTD 滤波器副瓣电平计算

$$(a) \text{ 线性: } 20\log \frac{N_1}{N_2}$$

式中， N_1 :16bit 主峰数据， N_2 ：16bit 副瓣数据。

$$(b) \text{ 对数: } C (M_1-M_2)$$

式中，M1: 8bit 主峰数据，M2:8bit 副瓣数据，C 为常数。下面给出 C 的数据：

$$20\log\frac{N_1}{N_2} = C(M1 - M2) = 52.9433C\log\frac{N_1}{N_2}$$

故 $C=20/52.943=0.38$

(3)通过示波器测量副瓣电平

8 脉冲和 16 脉冲 MTD 实测对数特性曲线如图 5、6 所示，关键在于找到主峰和副瓣的幅度，如果示波器测得 D/A 满幅度值为 F，主峰值为 M，副瓣值为 S，则副瓣电平为：

$$255C\frac{M-S}{F} = 96.9\frac{M-S}{F}$$

本实验装置 D/A 满幅度值为 $F=4V$ ，则副瓣电平为 $24.2x(M-S)dB$ 。

凹口相对宽度为凹口宽度 W1 与总底部宽度 W2 之比：

$$\frac{W1}{W2} = 100\%$$

2 . 内容与步骤

(1) 实验装置的连接

实验装置上的 Q9 座“OUT1”和“OUT2”分别连接到示波器的两个输入端“CH1”和“CH2”上；Q9 座“OUT3”连接到示波器的外部触发输入端“Trigger”；插上侧面 220v 电源线到插座上，打开示波器电源和实验装置电源（电源开关在实验装置侧面）。

(2) 将“S1”地址开关设置为“11111111”，“S2”和“S3”设置为“00”和“10”，记录波形、测试和计算数据，对应位置的发光二极管将点亮。

(3) 改变“S2”和“S3”为“00”和“00”，再记录波形、测试和计算数据。

(4) 改变“S2”和“S3”为“10”和“01”，再记录波形、测试和计算数据。

(5) 将“S1”地址开关分别设置为“10111111”，“11011111”，“10011111”，“11101111”，“10101111”，“11001111”，“10001111”，重复上述（2）～（4）步骤，“S1”，“S2”和“S3”的功能见表 1.

表 1 按键“S1”、“S2”和“S3”的功能

S1	功 能	S2	OUT1 输出	S3	OUT2
11111111	16 脉冲 MTD 特性曲线	00	I 通道输出	00	线性
10111111	8 脉冲 MTD 特性曲线	10	Q 通道输出	10	Q 通道输
11011111	16 脉冲 FFT 特性曲线	01	线性输出	01	对数输
10011111	8 脉冲 FFT 特性曲线	11	——	11	——
11101111	16 脉冲 MTD 输出				
10101111	8 脉冲 MTD 输出				
11001111	16 脉冲 FFT 输出				
10001111	8 脉冲 FFT 输出				

其中，测试 MTD 和 FFT 特性曲线，I&Q 通道信号源采用扫频信号；测试 MTD 和 FFT 的输出，I&Q 通道信号源采用模拟动目标和静止目标信号。

实验得到的图像如下

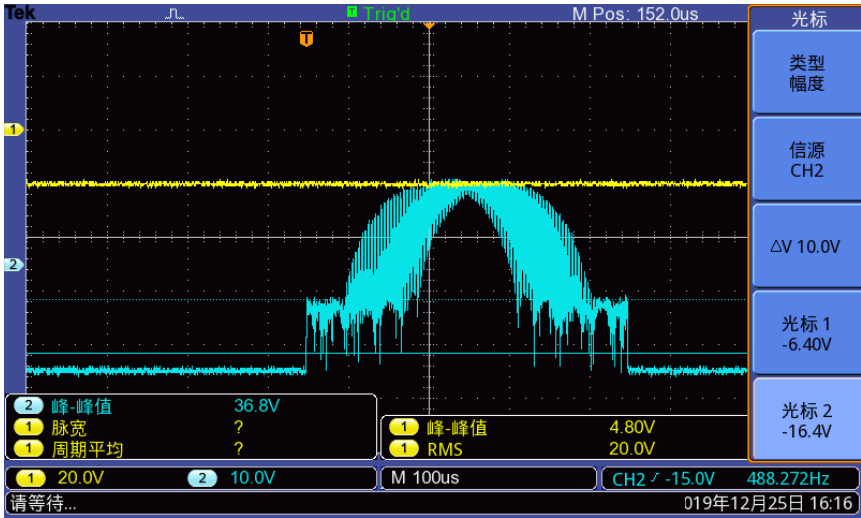


图 3.1 16 点 MTD

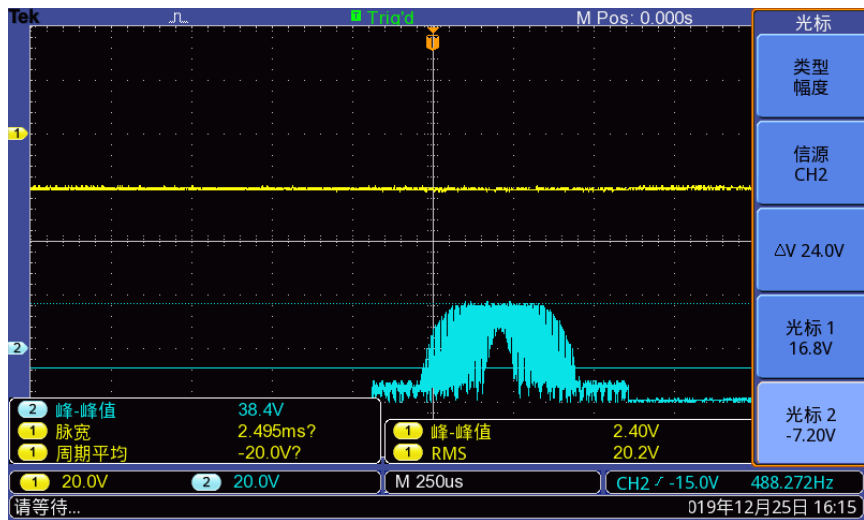


图 3.2 8 点 MTD

将测量计算结果填入表 2。

表 2 测试数据

	副瓣电平	凹口相对宽度
16 点 MTD	28.8	0.187
8 点 MTD	22	0.143

四 思考题

1.为什么 FFT 等效于脉冲相参积累？

答: FFT 和 IFFT 的信号处理是在频域里对信号处理的。具有 N 个输出的横向滤波器(N 个重复周期和 N-1 根延迟线), 经过各重复周期的不同加权并求和后, 实现 N 个相邻的窄带滤波器组。全部滤波器响应覆盖了从零到 f_s 的频率范围, 输入信号经延迟排列等待:当信号全部输入完毕才同时输出, 这样相参的信号幅度叠加输出为最大值, 不相参信号则幅度相减。通过该滤波器后, 它将 N

个相参脉冲积累，使信噪比提高 N 倍。这就是 FFT 等效于相参积累的原因。

2.为什么要加权，如何选择窗函数？

答:加权是为了抑制旁瓣，即把旁瓣电平降低，使得弱回波目标能够检测出来。FFT 滤波器组各个滤波器的旁瓣较高，止带衰减小，对数据进行加窗处理降低旁瓣电平，但压低副瓣的同时并引起了失配损失，目前常用的窗的主要有汉宁窗、海明窗、布莱克曼窗、泰勒窗、切比雪夫窗等。一要求窄的主瓣和低的副瓣是矛盾盾的，折中考虑，海明窗的综合性能最佳，但具体使用那个窗函数 则要视具体情况而定，