

成绩	
教师签字	

通 信 工 程 学 院

实 验 报 告

( 信 号 与 系 统 )

实验题目：线性系统的频率特性

专业：	通信工程	年级：	2022 级
姓名：	苏睿杰	学号：	20220826
实验时间：	2023 年 10 月 27 日	班级：	42

## 实验十九 线性系统的频率特性

### 一、实验目的

1. 熟练掌握测频谱的方法。
2. 加深对矩形脉冲频谱特点的掌握。

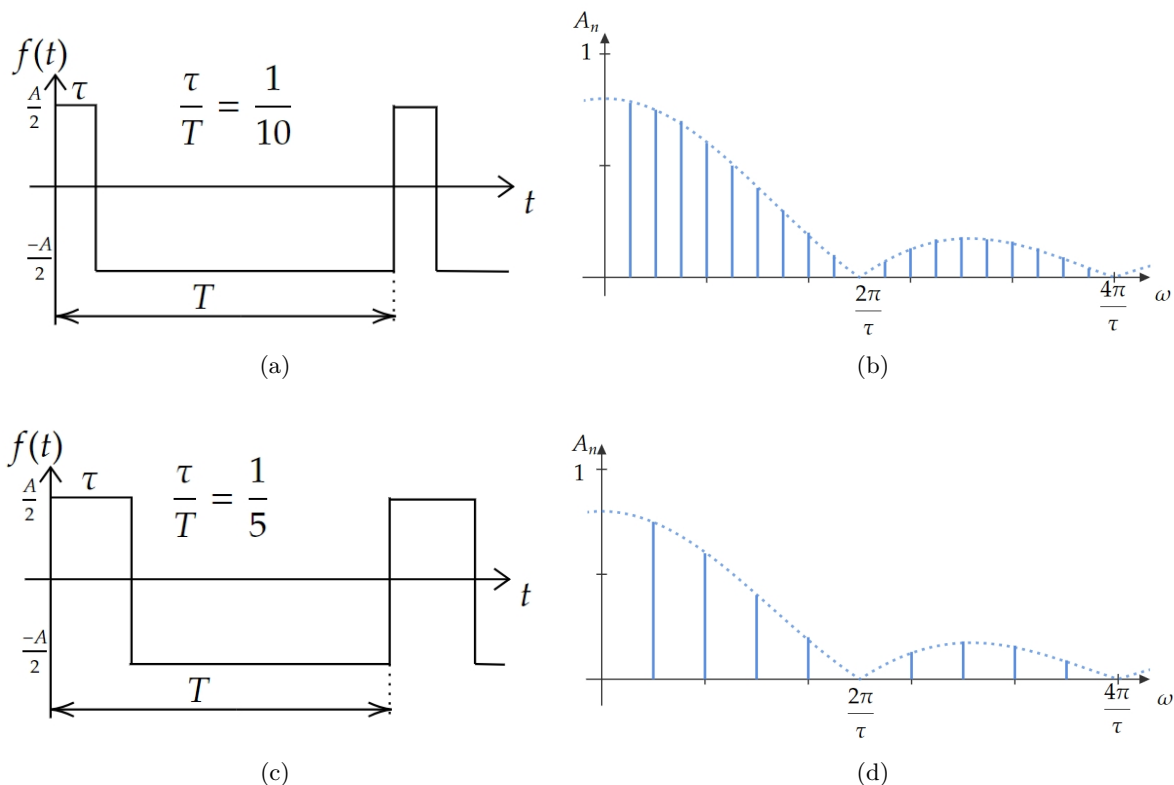


图 1

### 二、实验原理

1. 矩形脉冲的频谱与脉冲宽度  $\tau$  及重复周期  $T$  之间有着密切的关系，本实验的任务就研究这种关系。测量频谱的方法同实验十四。矩形脉冲由数字信号发生器提供，矩形脉冲的宽度与幅度均用数字示波器来测量。
2. 矩形脉冲谐波的幅度是按下式规律变化：

$$A_m = \frac{2A\tau}{T} \left| \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T}}{\frac{n\pi\tau}{T}} \right|$$

其中  $A_m$  表示第  $n$  谐波的幅度， $A$  表示脉冲的幅度， $\tau$  表示脉冲宽度， $T$  表示脉冲重复周期。从上式可知，周期性矩形脉冲的频谱有几个重要的特点：

- (1) 频谱包络线的零点仅取决于  $\tau$ ，而与  $T$  无关，第一个零点的角频率为  $\frac{2\pi}{\tau}$ ， $\tau$  越小，则第一个零点的角频率越高。
- (2) 频谱的密度仅取决于  $T$ ，而与  $\tau$  无关， $T$  越大，则谱线愈密。
- (3) 谐波的幅度取决于  $A$  及  $\frac{\tau}{T}$ ， $\frac{\tau}{T}$  愈小，则幅度愈小。
- (4) 各种周期信号频谱的共同点为：离散性，谐波性和收敛性。

由上式可知：谐波的次数及幅度与  $\frac{\tau}{T}$  有关，下面给出了脉冲宽度  $\tau$  不变，而改变脉冲周期  $T$  及脉冲周期  $T$  不变，而改变脉冲宽度  $\tau$ ，这二种情况下的振幅频谱图如图 1 所示。

三、实验内容及要求

1. 测量重复频率  $f = 20KHz$ ，脉冲宽度  $\tau$  与周期  $T$  之比  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}$ ，脉冲幅度  $A = 2V$  的矩形脉冲的频谱，数据记录于表 1，并且绘制频谱图于图 2。

表 1:  $f = 20KHz, \frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}, A = 2V$

谐波频率 $f_n$ (kHz)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
谐波幅度 $P_n$ (dB)	-2.7	-4.8	-8.3	-15.1	-28.2	-19.6	-15.5	-16.7	-18.4	-34.8
谐波电压 $U_n = 0.775 \times 10^{\frac{P_n}{20}}$	0.57	0.45	0.30	0.14	0.03	0.08	0.13	0.11	0.09	0.01

[H]

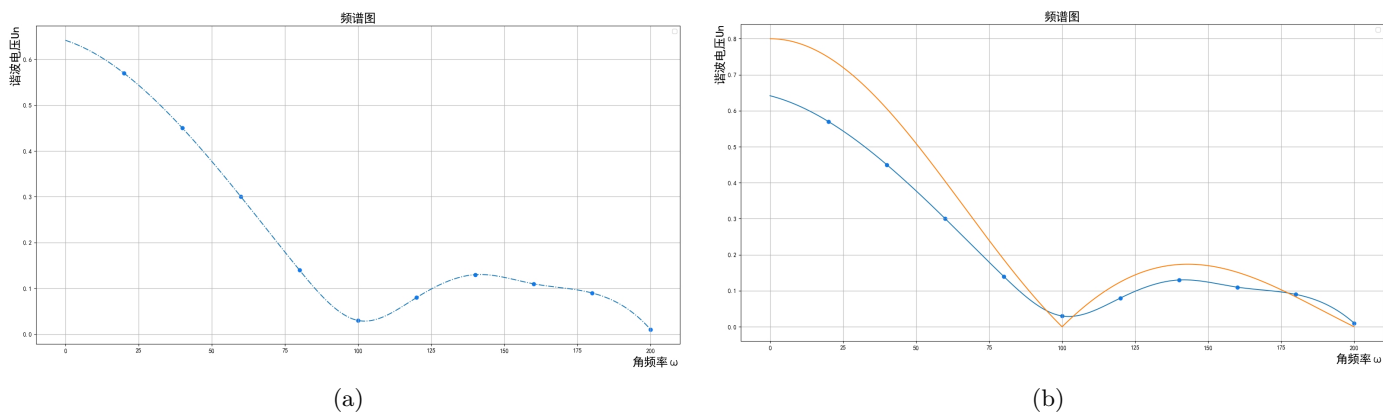


图 2: 实际图样以及实际，理想对比图

2. 测量重复频率  $f = 10KHz$ ，脉冲宽度  $\tau$  与周期  $T$  之比  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}$ ，脉冲幅度  $A = 2V$  的矩形脉冲的频谱，数据记录于表 2，并且绘制频谱图于图 3。

表 2:  $f = 10KHz, \frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}, A = 2V$

谐波频率 $f_n$ (kHz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
谐波幅度 $P_n$ (dB)	-2.9	-4.7	-8.3	-14.9	-51.2	-18.5	-15.7	-16.8	-23.1	-37.7	-24.8	-21.1	-21.4	-30.6	-51.2
谐波电压 $U_n = 0.775 \times 10^{\frac{P_n}{20}}$	0.56	0.45	0.30	0.14	0.002	0.09	0.13	0.11	0.054	0.01	0.045	0.07	0.06	0.02	0.002

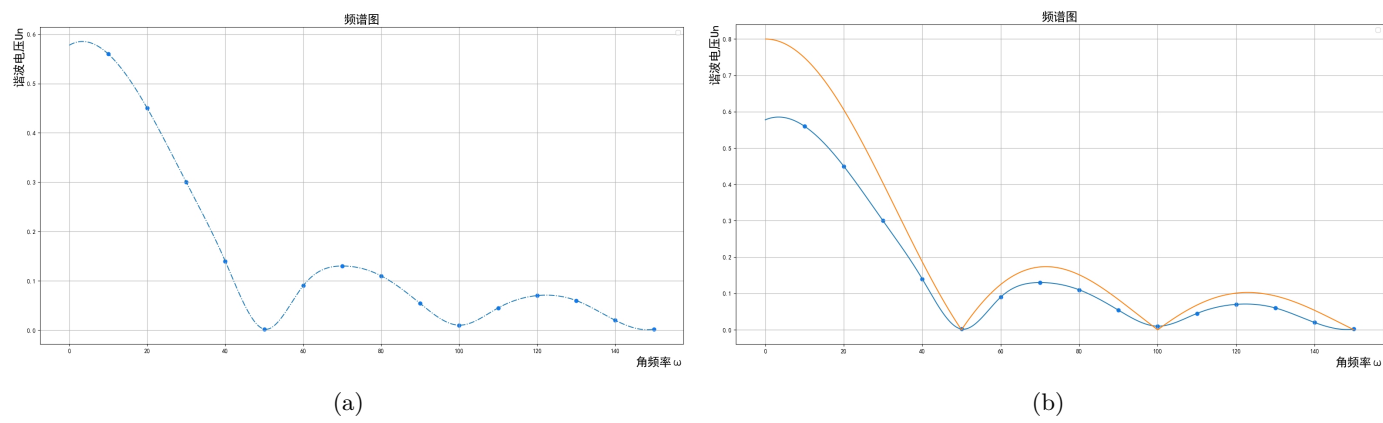


图 3: 实际图样以及实际，理想对比图

3. 测量重复频率  $f = 10KHz$ , 脉冲宽度  $\tau$  与周期  $T$  之比  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{10}$ , 脉冲幅度  $A = 2V$  的矩形脉冲的频谱, 数据记录于表 3, 并且绘制频谱图于图 4。

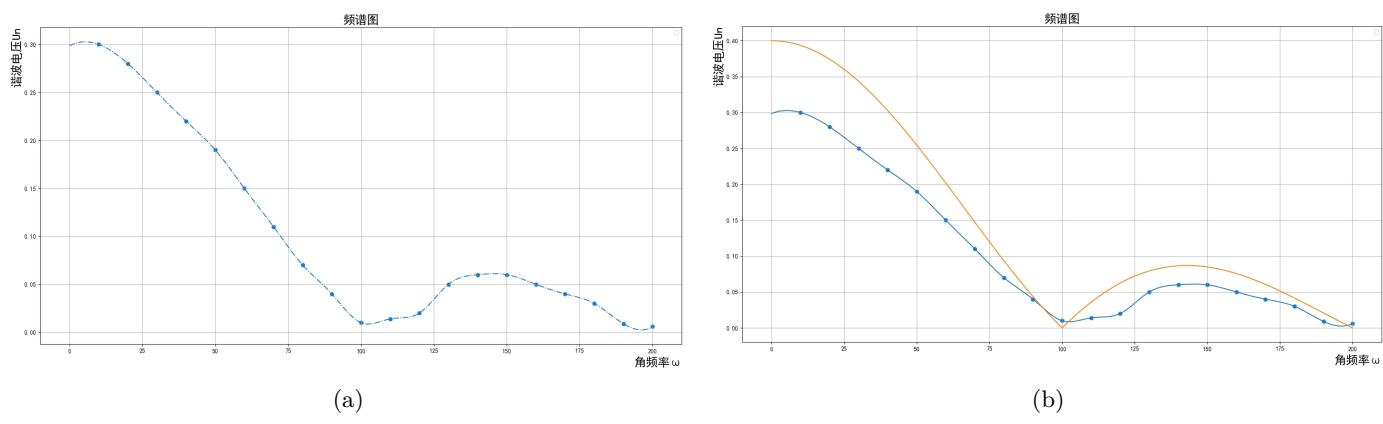


图 4: 实际图样以及实际，理想对比图

表 3:  $f = 10KHz, \frac{\tau}{T} = \frac{1}{10}, A = 2V$

谐波频率 $f_n$ (kHz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
谐波幅度 $P_n$ (dB)	-8.5	-8.8	-9.7	-10.9	-12.4	-14.3	-17.0	-20.9	-26.4	-38.8
谐波电压 $U_n = 0.775 \times 10^{\frac{P_n}{20}}$	0.30	0.28	0.25	0.22	0.19	0.15	0.11	0.07	0.04	0.01
谐波频率 $f_n$ (kHz)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
谐波幅度 $P_n$ (dB)	-34.6	-30.7	-23.8	-22.8	-22.9	-23.6	-25.3	-28.2	-38.5	-41.7
谐波电压 $U_n = 0.775 \times 10^{\frac{P_n}{20}}$	0.014	0.02	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.009	0.006

注:  $U_n = 0.775 \frac{P_n}{20}$

四、数据处理

1. 理想情况电压的计算过程

(a) 重复频率  $f = 20KHz$  (即  $f = 20n$  ), 脉冲宽度  $\tau$  与周期  $T$  之比  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}$ , 脉冲幅度  $A = 2V$  的矩形脉冲的频谱, 利用公式

$$A_m = \frac{2A\tau}{T} \left| \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T}}{\frac{n\pi\tau}{T}} \right|$$

代入数值可计算出理想状况:

表 4:  $f = 10KHz, \frac{\tau}{T} = \frac{1}{10}, A = 2V$

谐波频率 $f_n$ (kHz)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
理想谐波电压	0.75	0.61	0.40	0.19	$3.1 \times 10^{-17}$	0.12	0.17	0.15	0.08	$3.1 \times 10^{-17}$

(b) 重复频率  $f = 10KHz$  (即  $f = 10n$  ), 脉冲宽度  $\tau$  与周期  $T$  之比  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}$ , 脉冲幅度  $A = 2V$  的矩形脉冲的频谱, 利用公式

$$A_m = \frac{2A\tau}{T} \left| \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T}}{\frac{n\pi\tau}{T}} \right|$$

代入数值可计算出理想状况:

表 5:  $f = 10KHz, \frac{\tau}{T} = \frac{1}{10}, A = 2V$

谐波频率 $f_n$ (kHz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
理想谐波电压	0.75	0.61	0.40	0.19	$3.1 \times 10^{-17}$	0.12	0.17	0.15	0.08	$3.1 \times 10^{-17}$	0.07	0.1	0.09	0.05	$3.1 \times 10^{-17}$

(c) 重复频率  $f = 10KHz$  (即  $f = 10n$  ), 脉冲宽度  $\tau$  与周期  $T$  之比  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{10}$ , 脉冲幅度  $A = 2V$  的矩形脉冲的频谱, 利用公式

$$A_m = \frac{2A\tau}{T} \left| \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T}}{\frac{n\pi\tau}{T}} \right|$$

代入数值可计算出理想状况:

表 6:  $f = 10KHz, \frac{\tau}{T} = \frac{1}{10}, A = 2V$

谐波频率 $f_n$ (kHz)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
理想谐波电压	0.40	0.37	0.34	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.04	$1.6 \times 10^{-17}$
谐波频率 $f_n$ (kHz)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
理想谐波电压	0.036	0.062	0.079	0.086	0.085	0.076	0.061	0.042	0.021	$1.6 \times 10^{-17}$

2. 第一个零点处角频率的比较

- (a) 实验一, 根据公式  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau}$ , 代入数据  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}, f = 20KHz$ , 得到  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau} = 2 \times 10^5\pi$ , 实际测量第一个零点频率  $f \approx 1 \times 10^5\pi$ , 由  $\omega = 2\pi f$  可知, 与实际测量值比较近似相等。
- (b) 实验二, 根据公式  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau}$ , 代入数据  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{5}, f = 10KHz$ , 得到  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau} = 1 \times 10^5\pi$ , 实际测量第一个零点频率  $f \approx 0.5 \times 10^5\pi$ , 由  $\omega = 2\pi f$  可知, 与实际测量值比较近似相等。
- (c) 实验三, 根据公式  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau}$ , 代入数据  $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{10}, f = 10KHz$ , 得到  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau} = 2 \times 10^5\pi$ , 实际测量第一个零点频率  $f \approx 1 \times 10^5\pi$ , 由  $\omega = 2\pi f$  可知, 与实际测量值比较近似相等。

五、实验结论与思考

- 1. 矩形脉中频谱包络线的要点仅取决于  $\tau$ , 与  $T$  无关, 且第一个零点角频率为  $\frac{2\pi}{\tau}$ 。 $\tau$  越小, 第一个零点角频率越高。

2. 实际测量值与理论值存在误差，可能是选频电平表未自较，或使用不当或仪器本身误差。
3. 频谱的密度只与  $T$  有关， $T$  越大，谱线越卡密。