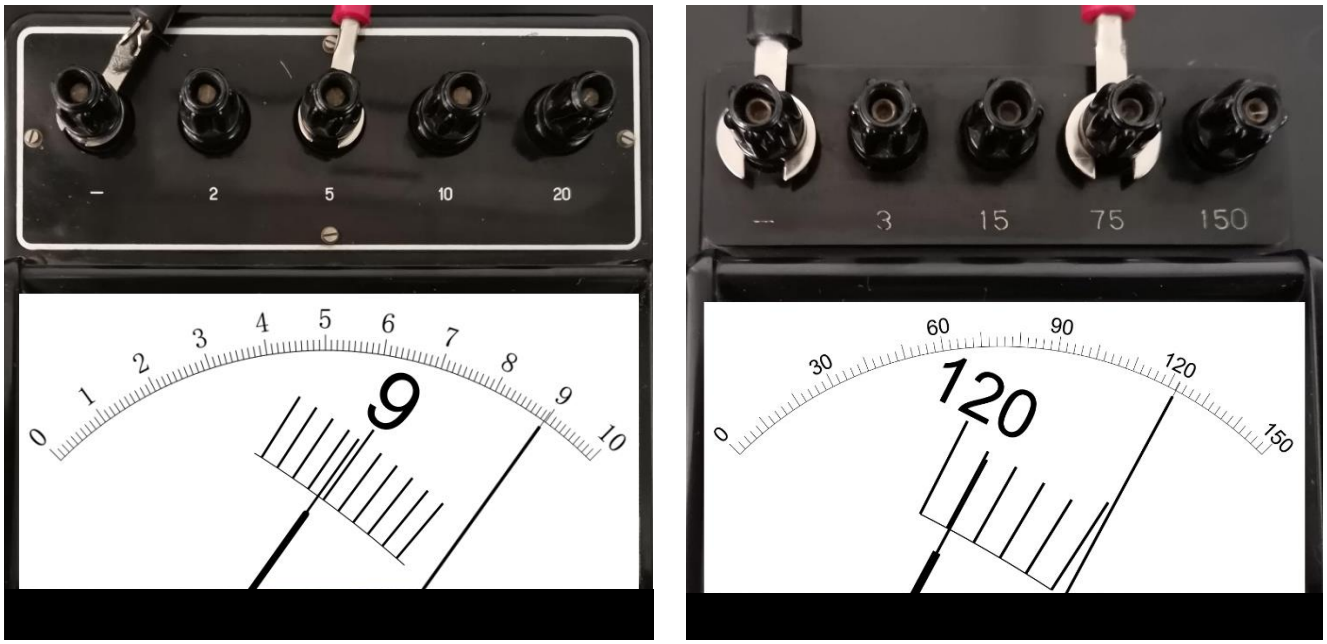
实验试题一

A.（11 分）

A1.（2 分）采用伏安法测量一个待测电阻。从图 1 中分别读出伏特表电压和毫安表电流，并填写在答题纸指定位置。如果测量中采用的是电流表外接法，并且毫安表所用档位内阻为 5.7 Ω、伏特表的内阻可以表示为 1 kΩ/V，请在答题纸指定位置给出待测电阻的阻值。



伏特表　　毫安表

图 1　伏特表和毫安表的量程和示数

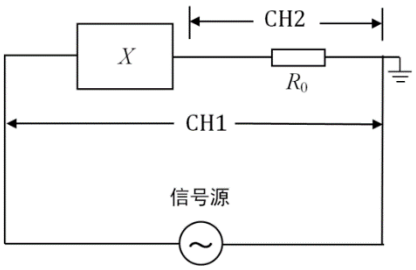


图 2　用一台双踪示波器测量一未知元件阻抗

A2.（2 分）图 2 是用一台双踪示波器测量一个待测线性元件的交流特性的电路图，其中信号源输出标准正弦信号，X 表示待测元件，R_0 为一标准电阻，$R_0 = 100\ \Omega$。图 3 给出了双踪示波器显示的波形，其中横向的每格扫描时间为 200 μs，CH1、CH2 通道的偏转因数分别为 1 V/格、500 mV/格。请在答题纸上指定位置填写由图 3 读出的示波器 CH1 和 CH2 通道所测信号的电压峰峰

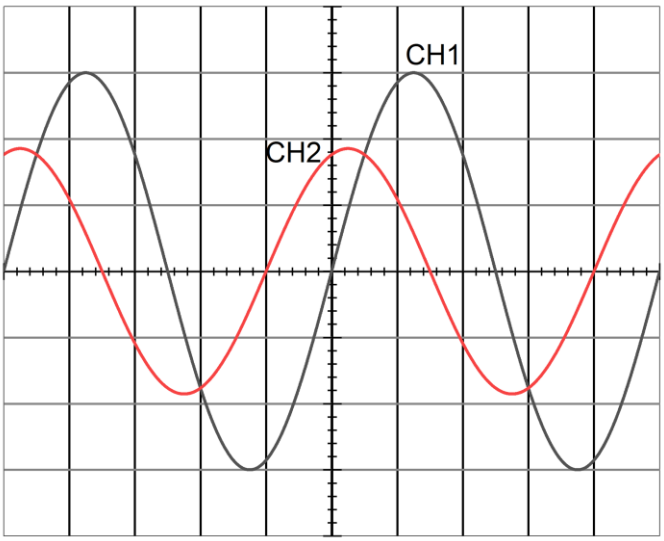


图 3　双踪示波器显示波形

值、两路信号之间的相位差（以度为单位表示）、并由此求出待测元件 X 的复阻抗（用实部虚部表示）。若待测元件 X 是纯电感、纯电容或纯电阻中的一种，请根据上述测量结果将你的判断填写在答题纸指定位置。

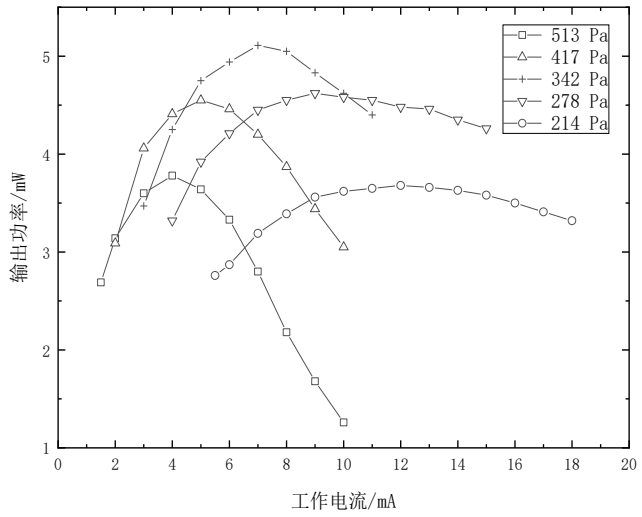


图 4 不同总压下 HeNe 激光器输出功率与工作电流关系

A3. （3 分）在不同 HeNe 混合气体总压下测得一支 HeNe 激光器的激光输出功率随工作电流变化的关系如图 4 所示。请在答题纸指定位置列出所有你能由此图总结出的经验规律。激光器由激光管充入适当比例的高纯 He、Ne 气体制成。如充气前已将激光管内压强抽至 3×10^{-3}Pa，并假定充入的 He、Ne 气量相当，请从下面选项中选择适宜的 He、Ne 气体纯度填在答题纸上。（He、Ne 气体纯度越高，激光器性能越好，但气体价格也会随纯度迅速提高）

a. 99%　　b. 99.9%　　c. 99.99%
d. 99.999%　　e. 99.9999%
f. 99.99999%

A4. （4 分）假设有一电阻型温度传感器，在 0-100℃之间其阻值 R_T 随温度在 100-150 Ω 之间线性变化。利用如图 5 所示的电路可以实现一个数字温度计，在 0-100℃内能方便地由数字多用表电压挡示数 U_T 直接（或需移动小数点）读取温度传感器所测温度（℃为单位）的近似值。已知直流稳压电源的输出电压为 U = 30 V，三个电阻箱 R_1、R_2、R_3 的电阻变化范围为 0.1-99999.9 Ω，且参数调好后，固定 R_1、R_2、R_3 阻值不变，且 R_1=R_2，假设数字多用表所有电压挡最小分辨率均为 0.01 mV。要求 0℃时 U_T=0.00 mV，则 100℃时 U_T 为 1.00 mV、10.00 mV、100.00 mV、1000.00 mV（这几个示数均可视为 100℃，只是温度分辨率不同）中的哪种，才能保证数字温度计在 0-100℃间温度测量误差均不超过 1℃，并且温度分辨率最高？此时 R_1 和 R_3 的阻值为多少？

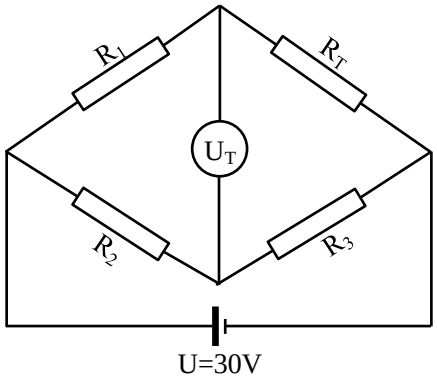


图 5 温度计电路图

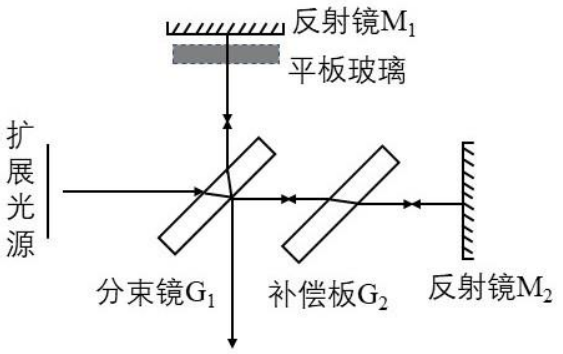


图 6 迈克尔逊干涉仪光路图

B.（14 分）

如图 6 所示，迈克尔逊干涉仪利用分束镜 G_1 将入射光束分成两束，两束光分别经过两个反射镜 M_1 和 M_2 反射到分束镜处合束后，在空间相干叠加形成干涉图样。反射镜 M_1 可沿导轨前后移动改变位置。

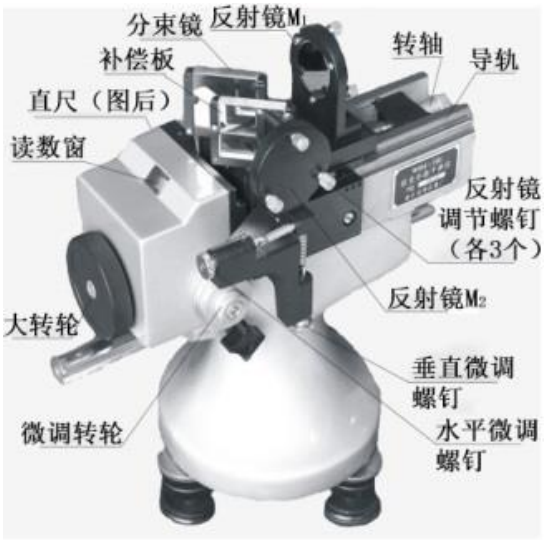


图 7 迈克尔逊干涉仪实物图

图 7 为其实物图。如用白光扩展光源照射并适当调节干涉仪，可实现白光的等厚干涉。

B1. （2 分）在反射镜 M_1 和 M_2 偏离相互垂直状态一个微小角度α时，转动大转轮移动 M_1 镜，在两路光束光程相等（此时 M_1 镜位置为 d_0）附近可观察到白光等厚干涉的彩色直条纹。分别顺时针和逆时针转动转轮寻找出现彩色直条纹的准确位置，这两种情况下图 7 中大转轮读数窗的读数是否相同？请说明原因。在 d_0 位置时，调小夹角α，干涉条纹有何变化？

B2. （7 分）在 d_0 位置时，调节α角尽量小，再在 M_1 镜前平行放置一平板玻璃（忽略平板玻璃反射），白光的干涉条纹消失。此时换成激光扩展光源照明，能观察到圆环条纹，进一步微调α角直至圆环条纹不随眼睛观察位置变动而发生吞吐。在放置平板玻璃前，通过眼睛看到的 M_1 和 M_2 镜的相对位置为：

a. M_1 镜离眼睛更近；b. M_2 镜离眼睛更近；c. M_1 和 M_2 镜重合。

放置平板玻璃后，通过眼睛看到的 M_1 和 M_2 镜的相对位置为：

a. M_1 镜离眼睛更近；b. M_2 镜离眼睛更近；c. M_1 和 M_2 镜重合。

此时，若大范围移动 M_1 镜远离观察者，圆环条纹吞吐情况如何，两臂之间的光程差如何变化？若反方向大范围移动 M_1 镜，结果又是如何？

B3. （5 分） 假定移动 M_1 镜离开 d_0 位置，使得条纹吞进，直至整个视场呈现完全均匀亮度，此时 M_1 镜位置为 d_1，其位移量为$\Delta=|d_1-d_0|$，请给出折射率 n 用玻璃板厚度 t 和Δ表示的关系式。若分别用σ_t和σ_Δ表示 t 和Δ的不确定度，请给出用 t、Δ、σ_t和σ_Δ表示的 n 的不确定度。已测得Δ=(2.776 ± 0.005) mm，平板玻璃厚度 t 用螺旋测微器测量结果如表 1 所示，螺旋测微器零点读数为 0.009 mm，允差为 0.004 mm，允差满足均匀分布。请分别计算出 t 和 n 的测量结果及其不确定度。

表 1 平板玻璃厚度测量实验数据

序号	1	2	3	4	5	6
t (mm)	7.975	7.973	7.976	7.975	7.974	7.975

C.（15 分）

图 8 是采用转动法测量刚体转动惯量的示意图。被测刚体是一个塔轮，可以绕固定轴 OO'转动，且相对 OO'轴的转动惯量为 I，并在转动中受到一个固定摩擦力矩 M_μ。质量为 m 的砝码通过定滑轮 C 拉动刚体，假设实验中砝码下落的加速度远远小于重力加速度g_0（为了与质量单位 g 进行区分，本题统一用g_0表示重力加速度，取g_0= 9.800 m/s^2），则刚体受到的拉力为mg_0。塔轮的绕线半径为 r = 2.500 cm，忽略滑轮及绳子的质量、滑轮轴摩擦力等，则刚体受到的拉力矩为mg_0r。每次让砝码从静止开始下落，固定下落高度 h = 85.65 cm，下

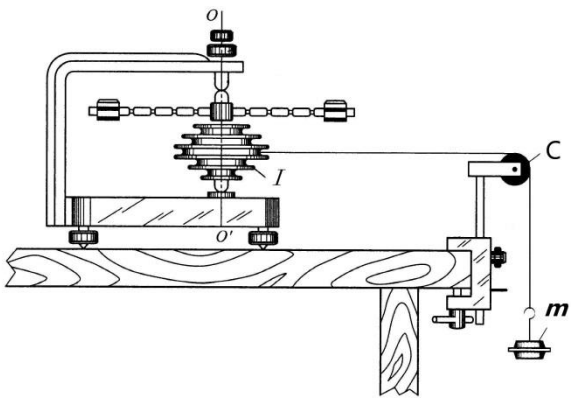


图 8 刚体转动惯量测量

落时间为 t，可以推出 $mg_0r - M_\mu = \frac{2hI}{rt^2}$。保持其它条件不变，测量不同 m 下的 t，结果如表 2 所示，其中 t 是多次重复测量的平均值，假设 t 之外其它数据误差均可忽略。

表 2 改变砝码质量 m，测量下落时间 t 的实验数据

m (g)	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
t (s)	16.70	11.37	9.26	7.89	7.02	6.37

C1. （1 分）对表 2 测量结果进行数据处理，计算不同 m 下的$\frac{1}{t^2}$，将结果填入答题纸的数据表 1 中。

C2. （3 分）用最小二乘法对$\frac{1}{t^2}$和 m 的关系做线性拟合，计算拟合斜率 k 和截距 b，并通过相关系数计算斜率 k 的拟合不确定度 σ_k。不需求 b 不确定度，直接保留两位有效数字。

C3. （9 分）通常情况，用最小二乘法拟合的前提假设之一是各数据点的 y_i 精度相等，利用所有数据点相对拟合直线的 y 残差平方和 $Q^2 = \sum_{i=1}^{n}(y_i - b - kx_i)^2$ 取最小值为判据，得出 k 和 b 的表达式。本实验中，假设不同 m 下测得的时间 t 具有相同的不确定度 σ_t = 0.03 s，请计算不同 m 下$\frac{1}{t^2}$的不确定度，并填入答题纸的数据表 1 中，不难看出各$\frac{1}{t^2}$的不确定度不同。对于这种不等精度的情况，为了更合理地衡量 y 方向不同精度的数据点对拟合结果的贡献，需要按不同的权重对残差平方求和，以 $Q'^2 = \sum_{i=1}^{n}(\frac{y_i-b-kx_i}{\sigma_{y_i}})^2$ 取最小值为判据，得出 k 和 b 的表达式。为方便计算，设$A = \sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{\sigma_{y_i}^2}$，$B = \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\sigma_{y_i}^2}$，$C = \sum_{i=1}^{n}\frac{y_i}{\sigma_{y_i}^2}$，$D = \sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^2}{\sigma_{y_i}^2}$，$E = \sum_{i=1}^{n}\frac{x_iy_i}{\sigma_{y_i}^2}$，$F = \sum_{i=1}^{n}\frac{y_i^2}{\sigma_{y_i}^2}$，请给出$Q'^2$用 A、B、C、D、E、F 表示的表达式，并根据Q'^2取最小值这一条件，给出 k 和 b 用 A、B、C、D、E、F 表示的表达式。根据数据表 1 中的数值（以数据表 1 中给定的单位为准），计算出 A、B、C、D、E 的数值（不要求不确定度和单位，保留到个位），并由此求出 k 和 b 的结果（均不要求不确定度。最终结果 k 有效数字按 C2 中 σ_k 保留、b 保留两位有效数字）。

C4. （2 分）给出转动惯量 I 和摩擦力矩 M_μ用 C3 中的斜率 k 和截距 b 表示的表达式，并用 C3 中拟合结果计算 I 和 M_μ（不要求不确定度， I 和 M_μ的有效数字根据 k 和 b 的有效数字保留）。

实验试题一参考答案和评分标准

1A.（11 分）

1A1. （2 分）

电压（0.5 分）：**4.485 V（或 4.480/4.490/4.48/4.49）**；电流（0.5 分）：**61.1 mA（或 61.0/61.2）**。

阻值（1 分）：**74.5 Ω（或 74.3/74.4/74.6/74.7）**。

结果没有单位、有效数字不对均每处扣 0.25 分。

1A2. （2 分）

CH1 电压（0.25 分）：**6.0 V (5.9-6.1)**； CH2 电压（0.25 分）：**1.85 V（1.80-1.90）**。

相位差（0.5 分）：**72° (69-75)**；

实部（0.25 分）：**0 Ω（±20 之间）**；

虚部（0.25 分）：**−308 Ω（290-330）**；

类型（0.5 分）：**电容**。

CH1、CH2 电压、复阻抗实部、虚部没有单位每处扣 0.1 分。

1A3. （3 分）

经验规律（每一条 0.5 分，共 2 分）：

1. **每一压强下功率随工作电流变化存在一极值；**
2. **上述功率极值随压强变化亦存在一极值；**
3. **极值功率对应的电流随压强下降而上升；**
4. **功率随电流变化关系随压强下降而趋于平缓。**

气体纯度是（1 分）：**d**。

1A4. （4 分）

U_T（1 分）：**100.00 mV**；

R_1 阻值（2 分）：**14749.0 Ω**； R_3 阻值（1 分）：**100.0 Ω**。

电阻箱分辨率不对或缺单位每个扣 0.5 分。

1B.（14 分）

1B1. （2 分）

是否相同？（0.5 分）__不同__，原因（0.5 分）：转轮变换方向转动有回程差。

干涉条纹的变化（1 分）：会变粗、变疏。

1B2. （7 分）

放置平板玻璃前，相对位置为（1 分）__C__；

放置平板玻璃后，相对位置为（1 分）__A__。

M_1 镜远离观察者，吞吐为（2 分）__先吞进后吐出__，

两臂之间光程差变化情况为（1 分）__增大__；

反方向移动 M_1 镜，吞吐情况为（1 分）__吐出__，

两臂之间光程差变化情况为（1 分）__先减小后增大__。

1B3. （5 分）

n 表达式（1.5 分）：$\frac{t}{t-\Delta}$ 或 $\frac{1}{1-\frac{\Delta}{t}}$。

不确定度公式（1.5 分）：$\frac{1}{(t-\Delta)^2}\sqrt{(t\sigma_\Delta)^2+(\Delta\sigma_t)^2}$ 或 $\frac{t\Delta}{(t-\Delta)^2}\sqrt{\left(\frac{\sigma_\Delta}{\Delta}\right)^2+\left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2}$。

平板玻璃厚度测量结果（1 分，中心值、不确定度各 0.5 分）

t =(7.9657 ± 0.0023) 或者 (7.966 ± 0.002) mm；

折射率测量结果（1 分，中心值、不确定度各 0.5 分）

n = (1.5349 ± 0.0015) 或者 $(1.535\pm0.001$ 或$0.002)$。

1C.（15 分）

1C2. （3 分）

拟合斜率 *k* = (0.842 ± 0.007) $10^{-3}s^{-2}g^{-1}$ 。

截距 *b*= −0.74 ($10^{-3}s^{-2}$)。

k、σ_k、*b* 各 1 分（最后一位数字可相差 1），有效数字错、缺单位每个扣 0.5 分。横纵坐标反了得分除以 2。

1C3. （8 分）

表达式Q'^2（1 分）= $k^2D+2kbA+b^2B-2kE-2bC+F$ 。

表达式 *k*（1 分）= $\frac{BE-AC}{BD-A^2}$，　*b*（1 分）= $\frac{CD-AE}{BD-A^2}$。

计算数值（3 分，ABCDE 每个 0.6 分，要求保留到个位，前两位数字正确即可）：

A、B、C、D、E 数值为 41001、6821、30158、312003、235598，

进一步计算出：　*k* = 0.829 ($10^{-3}s^{-2}g^{-1}$)，*b* = -0.56 ($10^{-3}s^{-2}$)。

按不确定度留一位则 A、B、C、D、E 为 **61969、10931、45246、425781、318253、178361**，算得 **$k = 0.829\ (10^{-3}s^{-2}g^{-1})$**，**$b = -0.56\ (10^{-3}s^{-2})$**不变。

k 和 b 各 1 分（最后一位数字可差 1），缺单位、有效数字错误均每处扣 0.25 分。

1C4. （2 分）

表达式 I（0.5 分）= $\frac{g_0 r^2}{2hk}$，表达式 M_μ（0.5 分）= $-\frac{2hIb}{r}$ 或 $-\frac{g_0 rb}{k}$。

算得I（0.5 分）= **4.31 (g•m^2)**，M_μ（0.5 分）= **0.17 (g•m^{2}s^{-2})。**

I和M_μ最后一位数字可差 1。缺单位、有效数字错误均每处扣 0.25 分。

数据表 1（2 分）。作为电脑计分系统中最后一个小题单独打分，故计分系统中 1C3 满分只有 8 分，和答题纸上标注的 9 分不同，另外 1 分和 1C1 的 1 分都在这个表里。

m (g)	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
t (s)	16.70	11.37	9.26	7.89	7.02	6.37
$\frac{1}{t^2}$ (10^{-3}s^{-2})	**3.586**	**7.735**	**11.66**	**16.06**	**20.29**	**24.64**
$\sigma_{\frac{1}{t^2}}$ (10^{-3}s^{-2})	**0.013**	**0.04**	**0.08**	**0.12**	**0.17**	**0.23**
或 σ 留一位	**0.01**	**0.04**	**0.08**	**0.1**	**0.2**	**0.2**

$\frac{1}{t^2}$数据共 1 分。每个数据点错误扣 0.2 分，最多扣 1 分。本行数据出现在第一小题，此时没有不确定度，应按有效数字规则保留结果，有效数字不对每个扣 0.1 分。

$\sigma_{\frac{1}{t^2}}$数据共 1 分。每个数据点错误扣 0.2 分，最多扣 1 分。有效数字不对每个扣 0.1 分。

试题二：测试同轴电缆的等效电路参数

1. 引言

在普通电路中，当电流或电压信号的频率较低时，电信号基本上是沿着导线回路传输的。如果信号频率高达几百 kHz 以上，即是所谓的射频信号，普通导线就会像天线一样向空间发射电磁波，因而不能成为电信号传输的有效通道。为了传输射频信号，通常采用一类特殊结构的传输线，如同轴电缆。同轴电缆的形状和结构如图 1 所示，中心导体通常为铜质导线，中心导体外面有一层介质绝缘层，绝缘层外面是外层导体，外层导体外面是塑料护套。使用时，一端接信号源，另一端接负载。输入射频信号时，由于同轴电缆内、外导体上的电流方向相反，二者的电磁场在同轴电缆外部大致抵消，仅在同轴电缆内部以横波模式沿着中心导体上的电流方向传播，随之传播的是同轴电缆中内、外导体之间的电压。

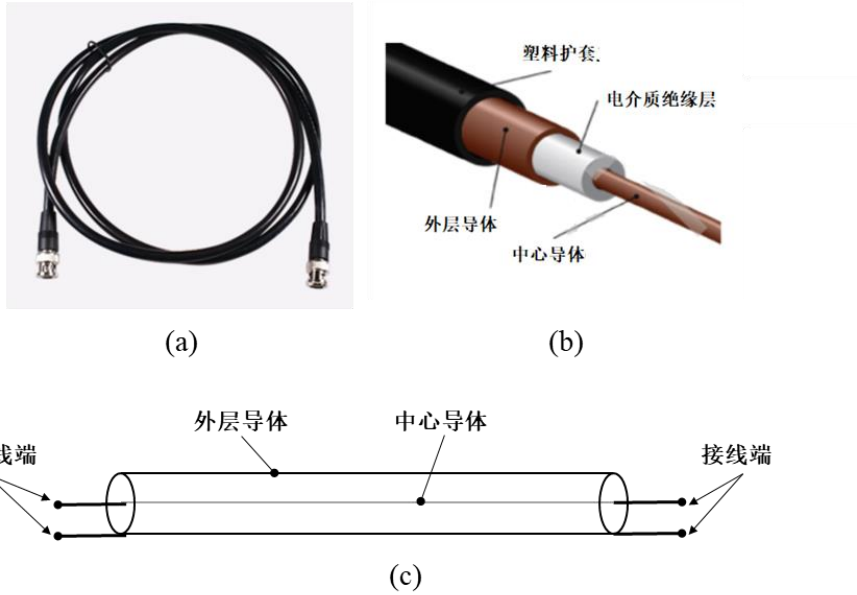


图 1　同轴电缆(a)及其结构(b)和示意图(c)。为简便起见，示意图(c)中只画出了中心导体和外层导体。在同轴电缆两端，中心导体和外层导体都可与导线、负载等相连接。

本实验用不同的方法测量同一根均匀同轴电缆的多个特征参数。**忽略同轴电缆的损耗**。所有结果都**不评估**不确定度。

2. 实验装置

长度为 5.00 米的待测同轴电缆、信号源（内阻为 R_0，可以产生不同频率、不同波形的信号）、交流电压表（可以测量交流电压的有效值）两台、双通道数字示波器、电阻、导线等。

3. 实验内容

A. 用低频正弦信号测量同轴电缆的等效电容与等效电感（8 分）

当正弦信号的频率f_0很低、波长远大于待测同轴电缆的长度时，待测同轴电缆可近似用图 2 所示电路等效，其中C_1、L_1分别是低频条件下整条待测同轴电缆的等效电容和等效电感，且满足以下关系：

$$\frac{1}{2\pi f_0 C_1} \gg 2\pi f_0 L_1 \qquad (1)$$

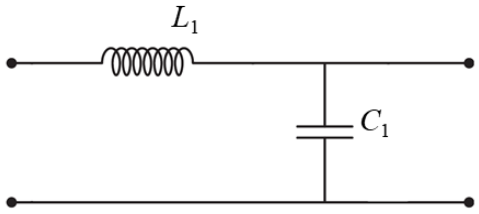


图 2　低频条件下待测同轴电缆的等效电路

请在答题纸上完成问题 2A1—2A4。

B. 用脉冲方波信号测量同轴电缆的特征阻抗、波速、单位长度的等效电容和等效电感（32 分）

当信号频率较高、波长接近或远小于同轴电缆的长度时，流过中心导体的电流和内外导体间的电压沿电缆呈现波动性变化。如果将同轴电缆分成若干小段，使得每一小段的长度Δx都远小于其传输的电磁波波长（即流动在电缆上的电流波长），则每一小段Δx内各处的电流近似相等，这一小段同轴电缆就可以用一个等效电感$L\Delta x$和一个等效电容$C\Delta x$来表示，其中L和C分别为同轴电缆**单位长度**的等效电感和等效电容。一条长的同轴电缆可以等效成图 3 所示的电路模型。电磁波在同轴电缆中可以以波速v_p沿$+x$和$-x$两个相反的方向传输。对于沿每一个方向传输的电磁波，中心导体上一点相对于外层导体的电压与流经此处的电流之比为一个常数：

$$\frac{V^+(x)}{I^+(x)}=\frac{V^-(x)}{I^-(x)}=Z_0 \qquad (2)$$

其中$V^+(x)$和$I^+(x)$为沿$+x$方向传输的电压、电流波，$V^-(x)$和$I^-(x)$为沿$-x$方向传输的电压、电流波，Z_0被称为同轴电缆的**特征阻抗**，可以证明$Z_0=\sqrt{L/C}$。由同轴电缆中电压或者电流的波动方程可以得到波速$v_p=1/\sqrt{LC}$。

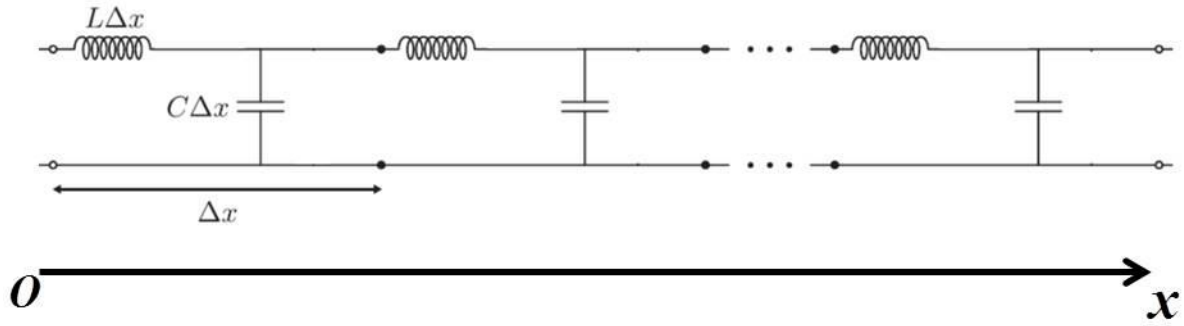


图 3　高频条件下同轴电缆的等效电路

特征阻抗是同轴电缆的一个基本参数。如果将两根特征阻抗分别为Z_0和Z_1的同轴电缆连接在一起，如图 4(a)所示，则在连接两者的界面上会发生透射和反射。设输入信号通过特征阻抗为Z_0的同轴电缆到达界面处的电压为V_i。之后，部分信号透射到第二根同轴电缆中继续向前传输，透射信号在界面处的电压为V_t；部分信号可能被反射，在第一根同轴电缆中反向传输，反射信号在界面处的电压为V_r。在界面处，两根同轴电缆上的电压应连续，即$V_i+V_r=V_t$。此外，电流在界面处满足：$V_i/Z_0=V_r/Z_0+V_t/Z_1$。由这两式可得界面处的电压反射系数Γ和透射系数T为：

$$\Gamma=\frac{V_r}{V_i}=\frac{Z_1-Z_0}{Z_1+Z_0} \qquad (3)$$

$$T=\frac{V_t}{V_i}=\frac{2Z_1}{Z_1+Z_0} \qquad (4)$$

可以证明，将图 4(a)中任意一段同轴电缆替换为一个电阻后，例如将特征阻抗为Z_1的同轴电缆替换为电阻R_3之后，如图 4(b)所示，（3）式和（4）式仍适用（需将式中的Z_1替换为R_3）。

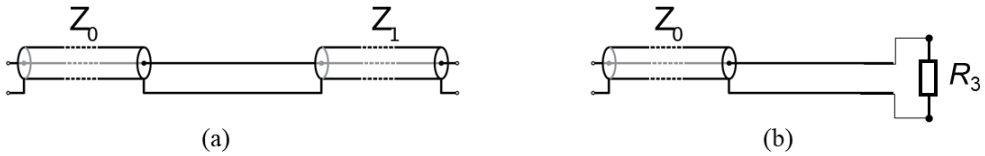


图 4 (a)特征阻抗分别为Z_0和Z_1的同轴电缆的连接，(b)特征阻抗为Z_0的同轴电缆与电阻R_3的连接。图中连接线的长度被放大了，实际的连接线很短、长度可忽略不计。

以下利用脉冲方波信号测量电磁波在同轴电缆中传输的波速v_p和同轴电缆的特征阻抗Z_0。测试电路如图 5 所示，待测同轴电缆长为$l = 5.00\text{m}$，末端开路，始端的中心导体与交流电阻$R_g = 1000\Omega$相连。信号源内阻$R_0 = 50.0\Omega$，可产生幅度$V_0 = 10.0\text{V}$、脉宽$\tau = 50.0\mu\text{s}$、频率为100Hz的脉冲信号。脉冲信号的脉宽远大于信号在同轴电缆中往返一次的时间，即$\tau \gg 2l/v_p$。设图 5 中连接电路所用导线很短、长度可忽略不计。

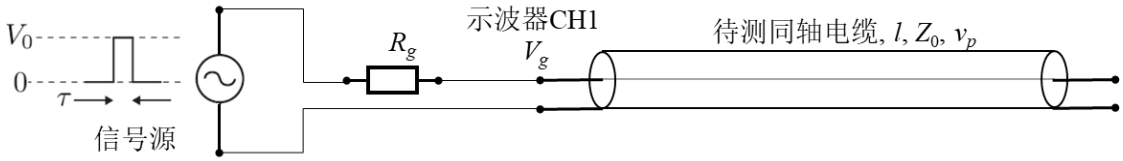


图 5 测试电路

用示波器的通道 1（CH1）测试同轴电缆始端的电压波形V_g，结果如图 6 所示。

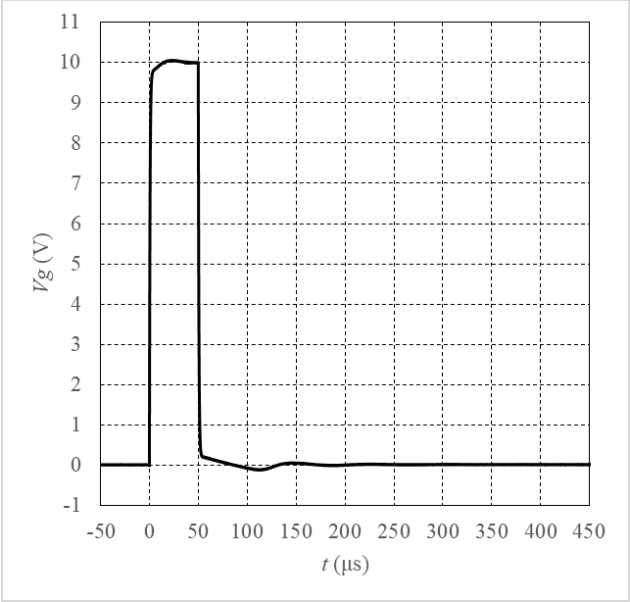


图 6 示波器测试到的脉冲信号的波形

请在答题纸上完成问题 2B1。

将图 6 中$-0.1 \sim 1.0\ \mu\text{s}$范围内上升沿波形展开放大，得到图 7 所示的台阶状波形。对该波形的说明如下：

（1）第一个台阶电压V_{g1}，为信号源幅度V_0在同轴电缆特征阻抗Z_0上的分压，即：

$$V_{g1} = V_0 \cdot Z_0/(R_0 + R_g + Z_0);$$

（2）幅度为V_{g1}的信号进入同轴电缆后，沿同轴电缆$+x$方向（图 5 中沿同轴电缆向右）无损耗地传输至

末端。在末端反射后沿$-x$方向传输。由于同轴电缆末端开路，相当于末端负载为无穷大，由（3）式可知对应的反射系数为 1。末端反射的信号沿$-x$方向传输至始端后，透射出去的部分被信号源内阻R_0和交流电阻R_g消耗，反射的部分在同轴电缆中沿$+x$方向传输。由（3）式可知，此时始端的反射系数Γ_1为：

$$\Gamma_1 = \frac{(R_0 + R_g) - Z_0}{(R_0 + R_g) + Z_0} \qquad (5)$$

所以，第二个台阶电压$V_{g2} = V_{g1} + V_{g1} + V_{g1}\Gamma_1$，其中第一个$V_{g1}$仍为信号源幅度在同轴电缆特征阻抗$Z_0$上的分压，这是由于脉冲方波信号的脉宽远大于信号在同轴电缆中往返一次的时间，此时信号源仍在输出信号并进入同轴电缆；第二个V_{g1}是第一个台阶电压传输至同轴电缆末端被反射后又传输到同轴电缆始端的幅度；$V_{g1}\Gamma_1$为第二个V_{g1}在同轴电缆始端被反射后的幅度。

（3）后续的台阶电压可以以此类推得到。

由以上说明可知，图 7 所示波形中相邻台阶的时间间隔与同轴电缆的长度l和波速v_p有关，相邻两个台阶的电压之差与始端反射系数Γ_1有关。

请在答题纸上完成问题 2B2—2B5。

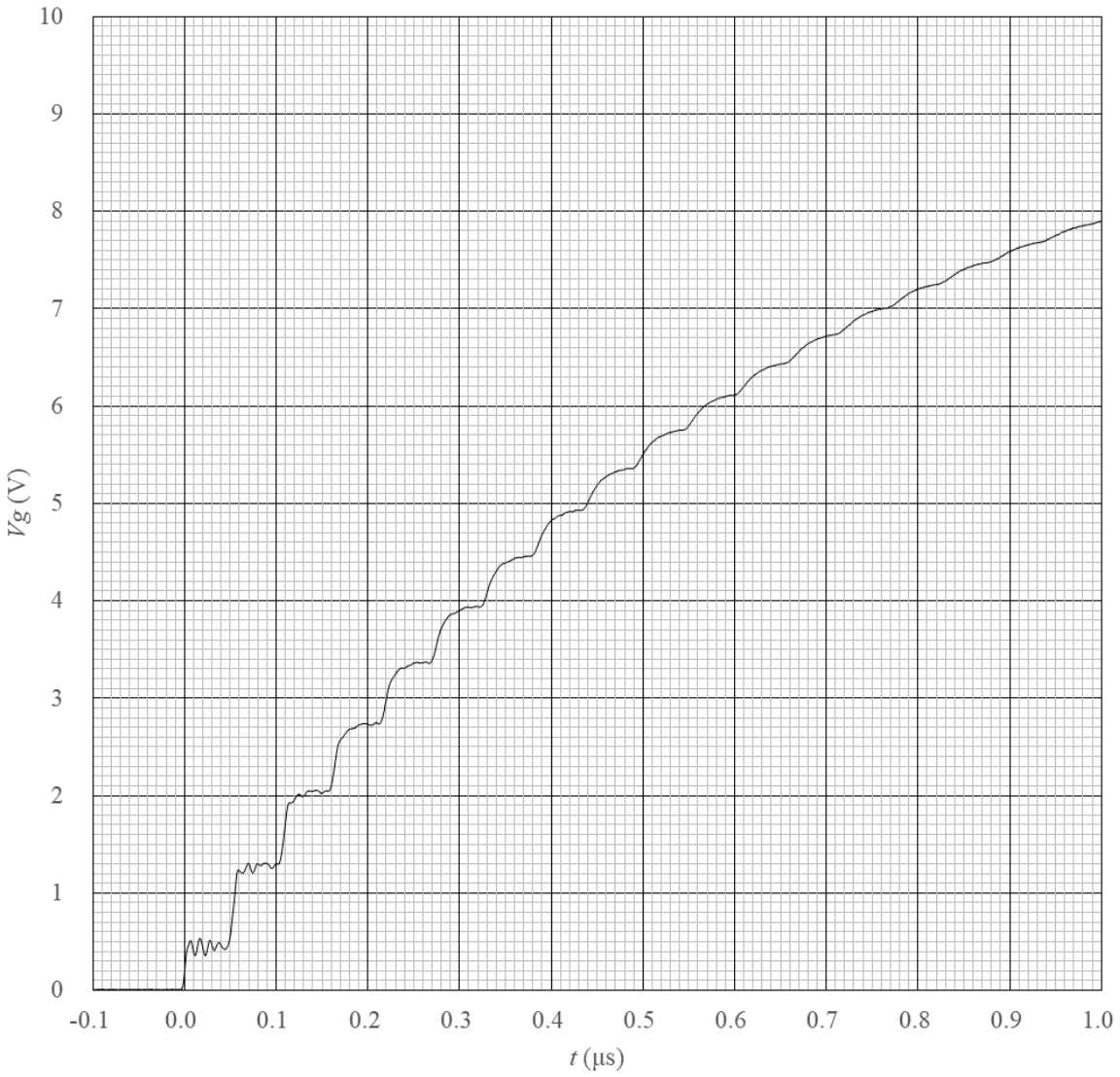
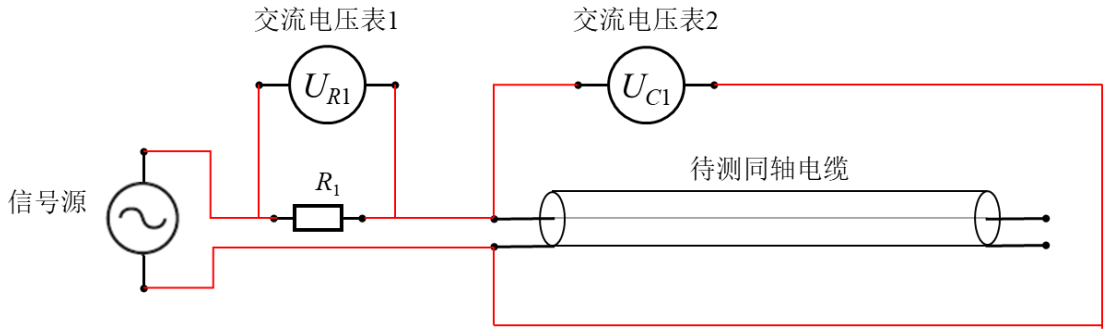


图 7　脉冲信号的上升沿波形

实验试题二：测试同轴电缆的等效电路参数

参考答案和评分标准

2A1（2 分）

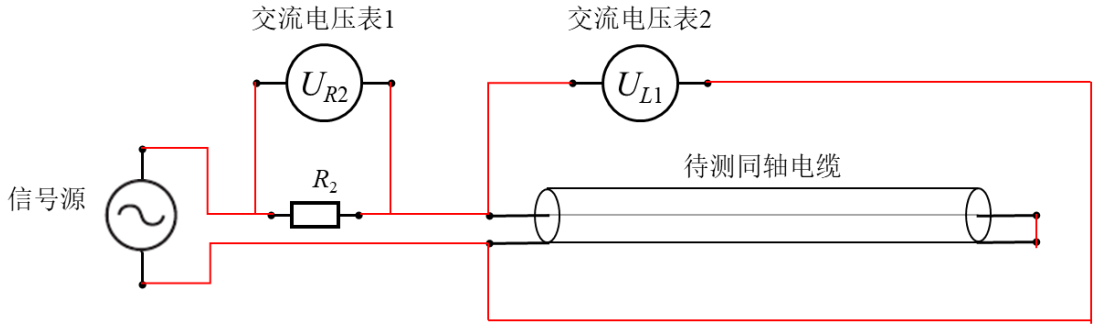


评分：电路正确，2 分。

2A2（2 分） $C_1 = \frac{U_{R1}}{2\pi f_0 R_1 U_{C1}}$

评分：表达式正确，2 分。$2\pi f_0$写成ω_0或ω，扣 0.5 分。

2A3（2 分）



评分：电路正确，2 分。

2A4（2 分） $L_1 = \frac{U_{L1} R_2}{2\pi f_0 U_{R2}}$

评分：表达式正确，2 分。$2\pi f_0$写成ω_0或ω，扣 0.5 分。

2B1（3 分） ②③④

评分：每对 1 个得 1 分，全对 3 分，错 1 个 0 分。

2B2（4 分）

过程：

$$V_{g1} = V_0 \frac{Z_0}{Z_0 + R_0 + R_g}$$

$$V_{g2} = V_{g1} + V_{g1}(1 + \Gamma_1)$$

$V_{g3} = V_{g1} + V_{g1}(1+\Gamma_1) + V_{g1}\Gamma_1(1+\Gamma_1)$

$V_{g4} = V_{g1} + V_{g1}(1+\Gamma_1) + V_{g1}\Gamma_1(1+\Gamma_1) + V_{g1}\Gamma_1^2(1+\Gamma_1)$

…

$\Delta V_{g,N} = V_{g,N} - V_{g,N-1} = V_{g1}\Gamma_1^{N-2}(1+\Gamma_1)$ 或$\Delta V_{g,N} = \frac{1-\Gamma_1^2}{2}\Gamma_1^{N-2}V_0$ $(N \geq 2)$

评分：写出$V_{g,N}$，$N \geq 3$：1 分；直接写出答案，4 分。

2B3（10 分）

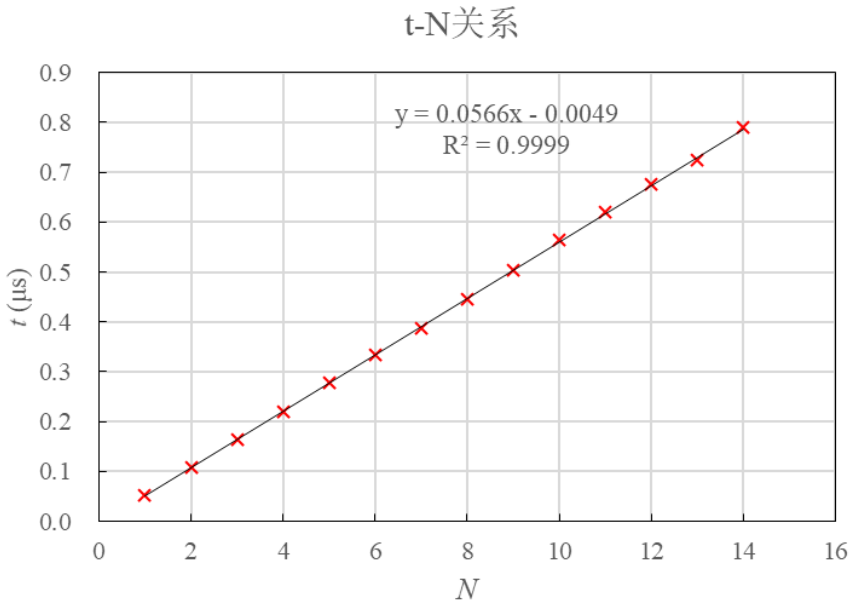
数据表 2

N	t (μs)	$V_{g,N}$ (V)	$\Delta V_{g,N}$ (V)	ln($\Delta V_{g,N}$) （ln(V)）
1	0.053	0.45		
2	0.109	1.30	0.85	-0.1625
3	0.164	2.06	0.76	-0.2744
4	0.221	2.74	0.68	-0.3857
5	0.278	3.37	0.63	-0.4620
6	0.334	3.94	0.57	-0.5621
7	0.388	4.46	0.52	-0.6539
8	0.446	4.90	0.44	-0.8210
9	0.505	5.35	0.45	-0.7985
10	0.565	5.75	0.40	-0.9163
11	0.620	6.10	0.35	-1.0498
12	0.675	6.41	0.31	-1.1712
13	0.724	6.70	0.29	-1.2379
14	0.790	6.97	0.27	-1.3093

作$t - N$图，对数据进行最小二乘法直线拟合得：$t = 0.0566N - 0.0049$

斜率= $2l/v_p$ = 0.0566 μs

由l = 5.00 m，得v_p = 1.77*10^8 m/s = 0.590c



评分：

数据表 2 第 2 列（2 分）：

少于 4 个数据不得分，从第 4 个数据始，每个 0.5 分，最高 2 分（7 个数据满分）；

没有时间单位，-0.5 分；

≥3 个数据的小数点后面的位数少于或多于 3，-0.5 分。

t-N关系图（4 分）：

图标题、坐标轴名称、单位正确，图占据 2/3 以上坐标纸幅面：共 1 分，每缺 2 项-0.5 分；

正确标出 7 个数据点，2 分，少一个数据点-0.5 分；

画出直线拟合趋势线，1 分。

拟合斜率（2 分）：在 0.0475~0.0648 μs 范围内，2 分，其他不得分。

v_p计算（2 分）：写出v_p计算式，1 分；v_p在$(1.54\sim2.11)\times10^8$ m/s 或 $0.514c$~$0.704c$范围内，1 分，其它不得分。

2B4（11 分）

由$\Delta V_{g,N}=\frac{1-\Gamma_1^2}{2}\Gamma_1^{N-2}V_0=\frac{1-\Gamma_1^2}{2\Gamma_1^2}\Gamma_1^N V_0\ (N\geq 2)$，得：$\ln(\Delta V_{g,N})=\ln\left(\frac{1-\Gamma_1^2}{2\Gamma_1^2}V_0\right)+N\ln\Gamma_1$

评分（2 分）：关系式正确，2 分。

数据表 2 评分（6 分）：

第 3 列：少于 4 个数据不得分，从第 4 个数据开始，每个 0.5 分，最高 2 分（7 个数据满分）；

第 4 列：少于 3 个数据不得分，从第 3 个数据开始，每个 0.5 分，最高 2 分（6 个数据满分）；

第 5 列：少于 3 个数据不得分，从第 3 个数据开始，每个 0.5 分，最高 2 分（6 个数据满分）；

没有第 4 列，只有正确的第 5 列，少于 3 个数据不得分，从第 3 个数据开始，每个 1 分，最高 4 分（6 个数据满分）；

第 3 列单位错或无单位，-0.5 分；

第 3 列中有≥3 个数据的小数点后面的位数少于或多于 2，-0.5 分。

直线拟合 $\ln(\Delta V_{g,N}) = -0.0959N + 0.0131$

斜率$\ln(\Gamma_1) = -0.0959$，$\Gamma_1 = 0.909$

评分（3 分）：

$\ln(\Gamma_1)$在-0.121 ~ -0.0487 范围内，1 分，其他不得分；

Γ_1在 0.886-0.952 范围内，2 分，其它不得分。

2B5（4 分）

$Z_0 = (R_0 + R_{g)}\dfrac{1-\Gamma_1}{1+\Gamma_1} = 50.1\Omega$

$L = Z_0/v_p = 0.283\mu\text{H/m}$

$C = 1/(Z_0 v_p) = 113\text{pF/m}$

评分：

Z_0在 25.8 ~ 63.5Ω 范围内，2 分。给出正确公式，但计算错误-0.5 分，单位错误-0.5；

L在 0.122~0.412μH/m 范围内，1 分。给出正确公式，但计算错误-0.5 分，单位错误-0.5；

C在 74.6~252pF/m 范围内，1 分。给出正确公式，但计算错误-0.5 分，单位错误-0.5。