

电工学实验指导书

上 册

无锡市职工大学
图书资料章

上海纺织工学院

1979年7月



目

录

一、电工学实验须知	1
1. 电工实验守则	1
2. 实验室安全规则	1
二、实验项目	
实验一 直流电路中电位、电压的测量	2
实验二 等效发电机定理	4
实验三 叠加原理	6
实验四 RC 过渡过程的研究(一)	9
RC 过渡过程的研究(二)	11
实验五 R、L、C 串联交流电路	16
实验六 单相功率测量	20
实验七 三相交流电路负载的接法	23
实验八 三相功率测量	27
实验九 直流并激电动机空载特性试验	32
实验十 用接触器控制电动机点动、正转线路	36
实验十一 电动机正、反转控制线路	38
实验十二 延时起动的控制线路	41

电工学实验指导书

一、电工学实验须知：

1. 电工实验守则

- (1) 学生在每次实验前应认真预习，了解实验内容、方法、步骤和应该注意事项。
- (2) 准时到达实验室指定地点，准备实验，不得迟到。保持实验课地严肃和实验室地整洁，室内不得到处涂写、吸烟和喧哗。
- (3) 非本次实验用的设备、仪器，未经教师允许不得动用。实验中仪器设备发生故障或损坏，必须立刻断开电源，向教师报告。
- (4) 实验结束，须经教师检查过实验数据以后，方可拆线。所用工具、设备、仪器整理清楚。
- (5) 因故缺课，须经教师批准，方能补做实验。

2. 实验室安全规则

实验时应保证人身、设备安全，爱护国家财产，节约用电。为此应遵守下列规则。

- (1) 上课前，教师应对学生进行安全教育。
- (2) 实验用的电气设备金属外壳应该接地良好，要按期检查。
- (3) 实验线路接好经过教师检查以后，才能合闭电源。合闸前要向同组同学打好招呼。
- (4) 实验前应该了解实验设备、仪表等的性能和使用方法，实验中必须保持它们在额定、允许的条件下运用。
- (5) 实验过程中要集中思想，细心安静，按规定进行操作，防止触电。实验电机运转时，要防止身体、衣物捲入，发生事故。
- (6) 实验全部结束，实验教师或管理人员对全室进行检查，拉闸总开关，关好窗门。

实验一、直流电路中电位电压的测量

一、目的：

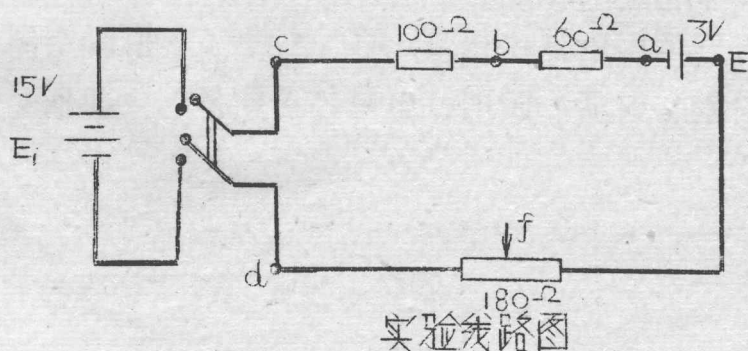
1. 掌握测量电路中各点电位的方法。
2. 通过电路中各点电位的测量来加深电位、电压及它们之间的关系的了解。
3. 学习直流电流表和电压表的使用方法。

二、内容说明：

1. 电路中各点的电位是对参考点而言，如令参考点电位为零，则电路中某点的电位就是这一点到参考点之间的电位差（即电压）电位是一个相对物理量，如参考点的电位升高某一数值，则电路中各点电位也升高同一数值，但是任何两点间的电位差（电压）始终不变。
2. 在一电路中，有可能有两点电位相等，称为等位点，如用一根导线把这两个等位点连接起来，导线中不会有电流通过，而电路的工作情况也不会改变。

三、实验步骤：

1. 按实验线路接线：



2. 以a点为电位参考点, 测a, b, c, d, E各点电位 $\phi_a, \phi_b, \phi_c, \phi_d, \phi_E$, 测a与b, b与c, c与d, d与E之间的电位差, $U_{ab}, U_{bc}, U_{cd}, U_{de}$.
3. 以C点为电位参考点, 重复测(2)的内容。
4. $\because \phi_E > \phi_a, \phi_d < \phi_a, \therefore E, d$ 之间必有一点与a点同电位, 找与a点等电位的方法是: 移动滑线变阻器中心点f, 直到a, f两点间的电压是零为止, 用导线将a, f两点连起来, 按实验步骤(2)再次测量各点的电位及电压, 观察结果是否相同, 最后用直流毫安表测量流过af的电流为多少:
记录

	ϕ_a	ϕ_b	ϕ_c	ϕ_d	U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{de}
步骤(2)								
步骤(4)								

四、实验设备和仪器

滑线变阻器一只

直流电压表一只

电阻二只

直流毫安表一只

单刀开关一只

直流电源 二台

五、思考、讨论题:

1. 怎样用直流电压表决定某点电位是正还是负?
2. 从实验步骤(2)与(3)说明电位的单值性, 相对性以及电压与参考点选择无关。
3. a点与f点用导线相连以后, 为什么不影响电路中各点的电位和电流? 如用一电阻将其连接, 则如何?

实验二. 等效发电机定理

一. 目的:

用实验方法来验证等效发电机定理。

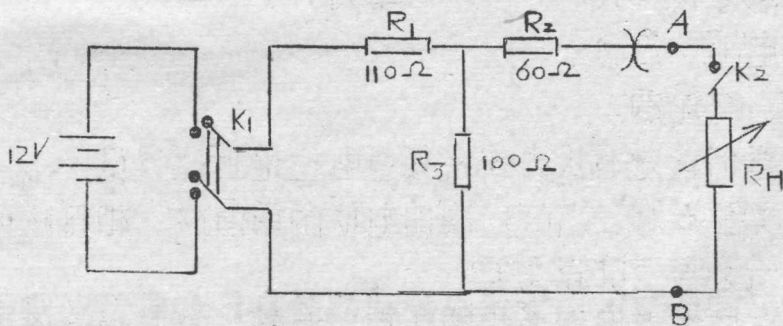
用实验方法来确定等效发电机定理中的等效电阻 R_0 和等效电势 E_0 。

二. 内容说明:

任何一个有源二端网络可用一个恒定的电动势和一个电阻串联的等效电路(即含有内阻的发电机)来等效。这个恒定的电势 E_0 的值等于该网络引出端在开路时的端电压, 其电阻 R_0 等于该有源二端网络所对应的无源二端网络的总的输入电阻。即此有源二端网络的外特性曲线的斜率。

三. 实验步骤.

1. 按实验线路连线



实验线路

2. 合上开关1 } 测量A,B 间的电压 U_{AB} 及流过AB支路的电流 I_{AB}
开关2打开 }
3. 合上开关1,2,当 $R_H=0$ 时, 测量 U_{AB} 及电流 I_{AB} .
然后逐步增大 R_H , 测量 U_{AB} 及电流 I_{AB} 。

记录:

$R_H (\Omega)$							
$I_{AB} (mA)$							
$U_{AB} (V)$							

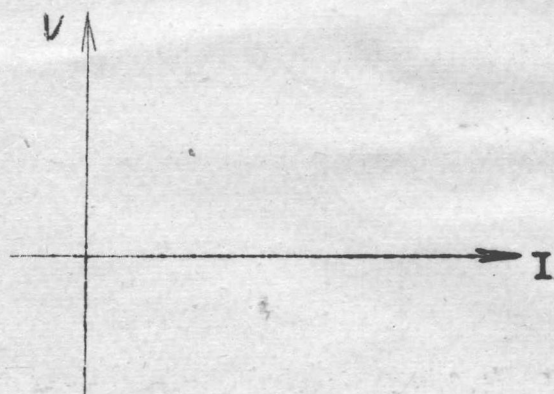
四、实验设备:

- | | |
|-------------|---------------|
| 1. 稳压电源一台 | 5. 电阻三只 |
| 2. 直流电流表一只 | 6. 电流插口, 插座一只 |
| 3. 直流电压表一只 | 7. 单刀开关 二只 |
| 4. 十进式电阻箱一只 | |

五、报告要求:

- (1) 根据实验测得的数据作出有源二端网络的外特性曲线,

$$V = f(I)$$



- (2) 根据该曲线求出等效发电机的电动势 E_0 和等效内阻 R_0

$$E_0 =$$

$$R_0 =$$

- (3) 根据理论计算,

$$E_0 =$$

$$R_0 =$$

- (4) 将(2)与(3)相比较, 产生误差的原因何在?

实验三 叠加原理

一、目的、

- (1) 了解叠加原理。
- (2) 应用叠加概念分析电路。

二、内容说明、

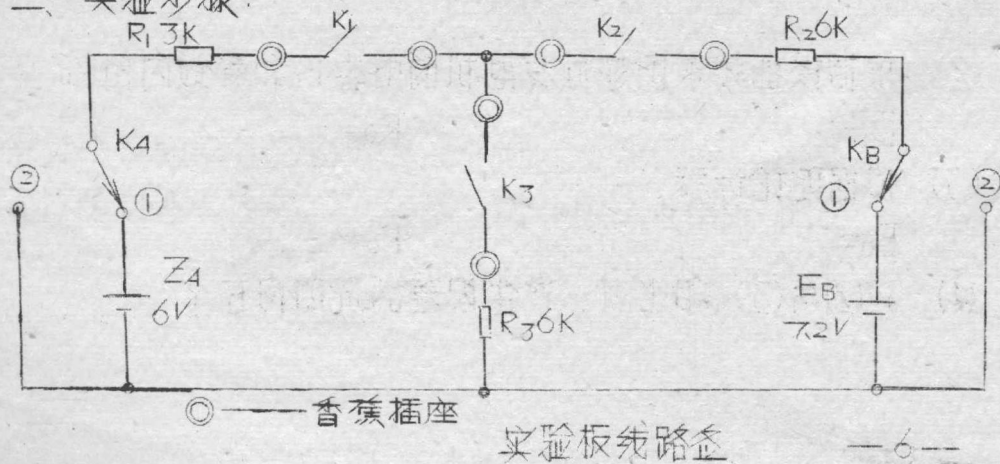
可叠加性是线性电路的重要性质之一。对于具有多电源的线性电路，任何支路中的电流或该支路两端间的电压应等于各电源分别（或分组）作用之和。这就是所谓的“叠加原理”。

利用叠加原理时应注意：

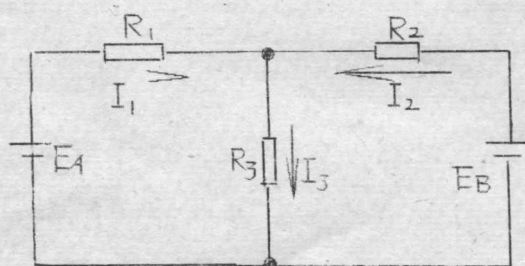
- (1) 计算和分析各电源分别（或分组）作用时，应将其它电源去掉，但应保留其内阻，因此，对于内阻如另的定电压源，应开路；对于电流源应开路。
- (2) 电路中任一支路中的电流或某两端间的电压等于各电源分别（或分组）作用时的代数和，即相加时应注意各电流或电压的方向。

利用叠加原理进行计算，有时并不一定简单方便，但对于分析问题和加深对线性电路的理解大有帮助。

三、实验步骤、



- (1) 将实验板上 K_1, K_2, K_3 合上, 并将 K_4, K_B 都拨到位置①, 接成两个电流同时作用的电路, 如釜 (a) 所示, 然后测量各支路电流 I_1, I_2, I_3 (注意各电流方向)。

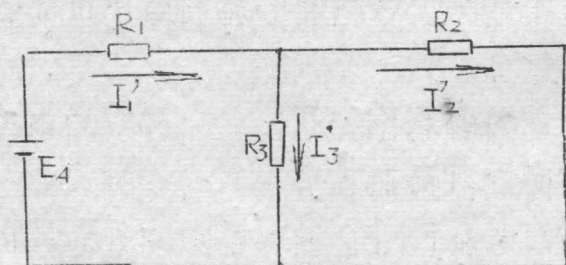


釜 a

时, 先断开 K_1 , 然后将表棒插入 K_1 两旁的香蕉插座中, 电流表的读数即为 I_1 。 I_1 测量完毕后, 应将 K_1 至新台上。同理可测 I_2, I_3 。

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

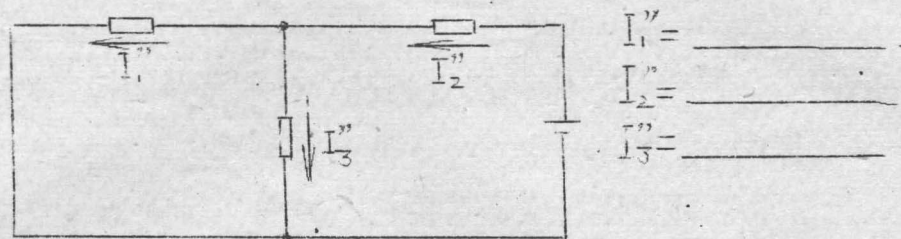
- (2) K_1, K_2, K_3 仍合上, 并将 K_4 拨到位置①, K_B 拨到位置②, 接成 E_A 单独作用电路, 如釜 (b) 所示, 然后测量各支路电流 I'_1, I'_2, I'_3 (注意各电流方向)。



釜 (b)

$$\begin{aligned} I'_1 &= \underline{\hspace{2cm}} \\ I'_2 &= \underline{\hspace{2cm}} \\ I'_3 &= \underline{\hspace{2cm}} \end{aligned}$$

- (3) K_1, K_2, K_3 仍合上, 并将 K_4 拨到位置②, K_B 拨到位置①, 接成 E_B 单独作用电路, 如釜 (c) 所示, 然后测量各支路电流 I''_1, I''_2, I''_3 (注意各电流方向)。



图(C)

(4) 将(2)(3) 两项的结果叠加后与(1) 的结果相比较。

四、仪器设备。

叠加原理实验板	1 块
0~30V 稳压电源	2 只
毫安表 (3~5毫安)	1 只 (或用万用表代替)
30V 电压表	1 只

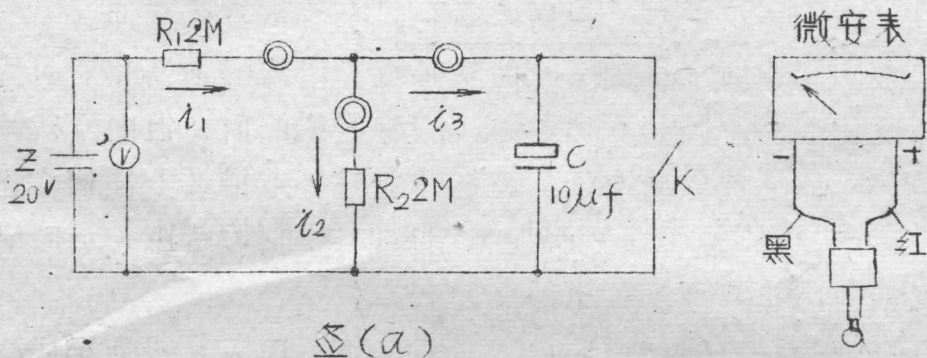
五、思考题：

- (1) 为什么线性电路的任一支路的电流和电压可以叠加而功率却不能叠加？
- (2) 若图(a)中右方的电流源 E_B 用 $I_0 = 0.4mA$ 的电流源代替，试说明如何进行叠加？
- (3) 如图(a) 电路中电流源 E_A, E_B 的电压同时减半，问结果如何？若只有 E_B 减半，其结果又如何？

实验四 RC 电路过渡过程的研究(一)

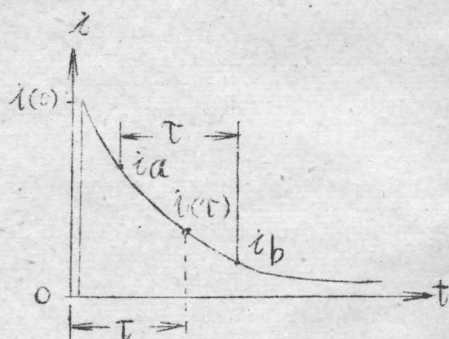
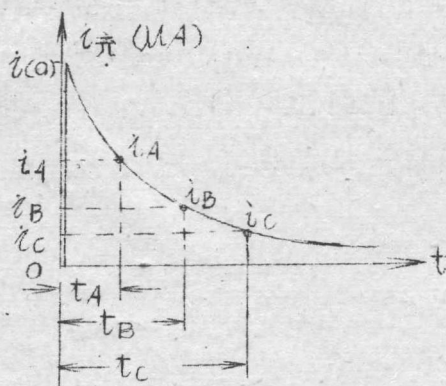
一、目的 观察RC 电路的过渡过程并测定其时间常数。

二、内容说明



实验电路如图(a)所示。开始时K处于闭合位置。断开K，电容C充电，于是出现过渡过程。过程中各支路电流随时间的变化曲线可由微安表指示来。与变化电流相对应的时间可由秒表读出；具体作法如下。

我们知道电容充电时的电流变化曲线如图(b)所示。



为了测定各瞬时的电流值 $i_A, i_B, \dots$ 和所对应的时间，应当在断开 K_1 的同时启动秒表，于微安表指示值达 i_A 时，立即停住秒表，表上所记录的值就是 τ_A 。闭合 K_1 使 C 放电，然后再断开 K_1 重复上述测量步骤，便可逐次测得 $\tau_B, \tau_C, \dots$ 等。测七、八点即可作曲线，但每点须测两次，取其平均值。

关于时间常数 τ 可由实验曲线定出。因为时间常数 τ 可定义为 i 充由 $i(0)$ 下降到 $36.8\% i(0)$ 时所需的时间，但由于 $i(0)$ 不易测量，故通常采用下述方法进行测量：取曲线上任何一点 i_a 为起始点，如 $i_b = 36.8\% i_a$ (即 $\frac{i_a}{e}$)，则电流由 i_a 下降到 i_b 所需的时间也等于 τ (见图(c))。

应该注意到，同一电路中，各部分电压电流一般有相同的时间常数。

(A) 计算图(a)的时间常数。

(B) 证明图(c)曲线上只要比值 $\frac{i_a}{i_b} = e$ ，则两电流值 i_a 和 i_b 之间的时间间隔就等于 τ 值。

三、实验步骤

(A) 在如图(a)所示的实验板上，测 K_1 断开后 $i_1(t), i_2(t), i_3(t)$ 的曲线数据，并测定各曲线的时间常数 τ 。

(B) 将图(a)中的 C 值改为 $15\mu f$ ，测 $i_3(t)$ 及 τ 。

四、实验设备

RC 电路过渡过程实验板 (一)	1 块	
稳压电源	0 ~ 30V	1 只
电压表	25V 或 30V	1 只
微安表	25 μA	1 只
秒表		1 只

五、报告要求

(A) 画 $i_1(t), i_2(t), i_3(t)$ 曲线。

(B) 将所测 τ 值与计算值比较。

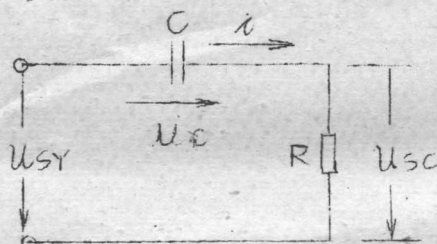
实验四 RC 电路过渡过程的研究 (二)

一、目的 研究 RC 微分电路和积分电路的过渡过程。

二、内容说明

(1) 微分电路

微分电路在脉冲技术中有着广泛的应用。在图(a)所示微分电路中, 输出电压 U_{sc} 为:



图(a)

$$U_{sc} = Ri = RC \frac{dU_c}{dt}$$

即输出电压 U_{sc} 与电容两端电压 U_c 对时间的导数成正比。

当电路的时间常数 $\tau = RC$ 很小时, $U_c \gg U_{sc}$, 输入电压 U_{SY} 与电容两端电

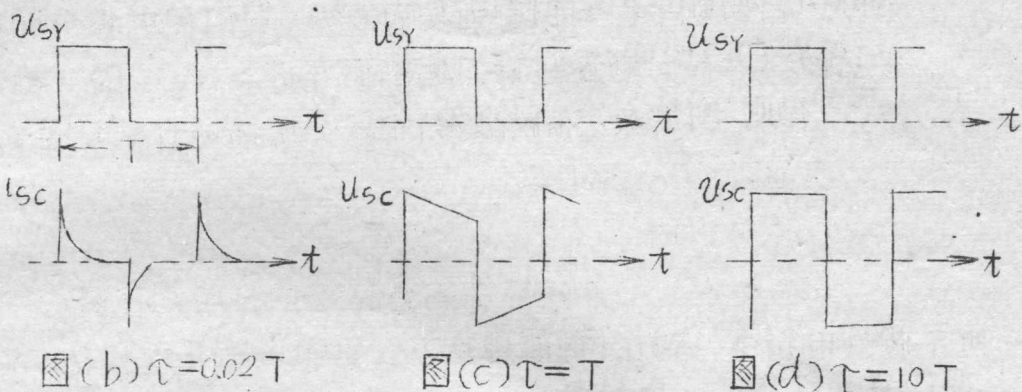
压 U_c 近似相等, 即

$$U_{SY} \approx U_c$$

$$\therefore U_{sc} \approx RC \frac{dU_{SY}}{dt}$$

即: 当 τ 很小时, 输出电压 U_{sc} 近似与输入电压对时间的导数成正比, 所以称图(a)电路为“微分电路”。

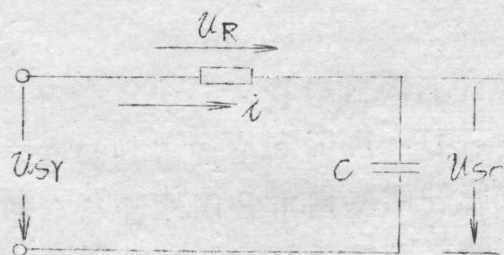
当输入电压 U_{SY} 为矩形脉冲, 而且电路的时间常数 τ 远小于矩形脉冲的周期 T (即 $\tau \ll T$) 时, 输出电压 U_{sc} 是一时负向的 (即极性相反的) 指数脉冲 (尖脉冲) 见图(b) 所示。



注意，并不是在任何条件下，图(a)所示电路都能起微分作用。有、无微分作用的关键是 τ 与 T 的相对大小。当 $\tau \ll T$ 时，微分作用显著；当 $\tau = T$ 时，微分作用不显著（见图c）；当 $\tau \gg T$ 时， U_{sc} 的波形基本上与 U_{gr} 的波形一致，只是将波形平移了一段距离使波形的正负面积相等（见图d），这时电路完全失去了微分作用，而是起了隔直流分易的作用（这种“隔直”作用在放大线路中是常用的）。

(2) 积分电路

将图(a)中的 RC 的位置对调，就得到图(e)所示积分电路，此时输出电压 U_{sc} 为：



图(e)

$$\begin{aligned}
 U_{sc} &= \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int \frac{U_R}{R} dt \\
 &= \frac{1}{RC} \int U_R dt
 \end{aligned}$$

即输出电压 U_{sc} 与电阻两端电压 U_R 对时间的积分成正比。

当电路的时间常数 $\tau = RC$ 很大、 $U_R \gg U_{sc}$ 时，输入电压 U_{sr} 与电阻电压 U_R 近似相等，即

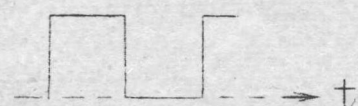
$$U_{sr} \approx U_R$$

$$\therefore U_{sc} \approx \frac{1}{RC} \int U_{sr} dt$$

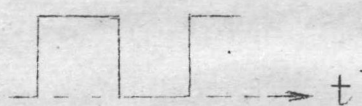
即：当 τ 很大时，输出电压 U_{sc} 近似与输入电压 U_{sr} 对时间的积分成正比，所以图(e)电路称为“积分电路”。

当输入电压 U_{sr} 为矩形脉冲，而且电路的时间常数 τ 远大于脉冲的周期 T ($\tau \gg T$) 时，输出电压 U_{sc} 是三角波，如图(f)所示。

注意，在积分电路中，必须 $\tau \gg T$ ，当 $\tau \ll T$ 时， U_{sc} 的波形如图(g)所示，电路完全失去了积分作用。



图(f) $\tau = 5T$



图(g) $\tau = 0.1T$

(3) 如何用示波器观察电路的过渡过程

电路中的过渡过程，一般经过一段时间后便达到稳态。由于这一过程不是重复的，所以无法用普通示波器来观察（普通示波器只能显示重复出现的，即周期性的波形）。为了能用普通示波器研究一个 RC 电路接到直流电压时的过渡过程，可以采用下面的方法。

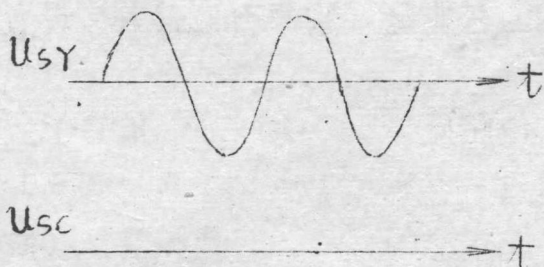
在电路上加一个周期性的“矩形波”电压，如图(k)所示。它对电路的作用可以这样来理解：在 $t_1, t_3, t_5, \dots$ 等时刻，输入电压由零跳变为 U ，这相当于使电路突然与一个直流电压 U 接通；在 $t_2, t_4, t_6, \dots$ 等时刻，输入电压由 U 跳变为零，这相当于使电路输入端突然短路。由于不断地使电路接通与短路，电路中呈现重复性的过渡过程，就可以用普通示波器来观察了。注意，应适当选择矩形波的周期 T ，以满足实验电路的要求。

要求预习以下各项。

(A) 已知图(a)中， U_{SY} (矩形脉冲) 周期 $T=1ms$ ，电阻 $R=100k\Omega$ ，计算 $\tau=0.02T, \tau=0.1T, \tau=T, \tau=10T$ 四种情况下的电容值。

τ	$0.02T$	$0.1T$	T	$10T$
C				

(B) 已知图(a) 微分电路的输入电压 U_{SY} 为正弦电压，定性画出 U_{SC} 的波形。



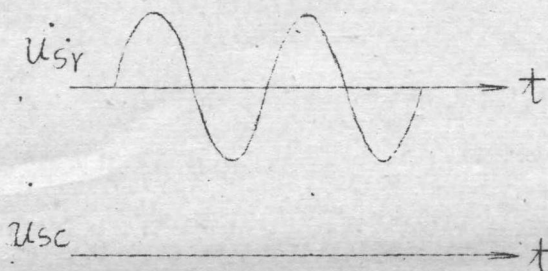
(C) 已知图(e) 电路中， U_{SY} (矩形波) 的周期 $T=1ms$ ， $R=100k\Omega$ ，计算 $\tau=5T, \tau=0.1T$ 两种情况下的电容值。



91444540

τ	$5T$	$0.1T$
C		

(D) 已知图(e) 积分电路的 U_{SY} 为正弦电压, 定性画出 U_{SC} 的波形。



三、实验步骤:

(A) 按图(a) 电路接线, $R=100K\Omega$, 接入 $T=1ms$ 的矩形脉冲。观察并描绘 $\tau=0.02T$, $\tau=0.1T$, $\tau=T$, 及 $\tau=10T$ 四种情况下的 U_{SY} 及 U_{SC} 的波形, 并观察过于减小 τ , U_{SC} 的波形有什么缺点。

(B) 令上述电路中的 $C=200p$, $R=100K\Omega$, 组成微分电路。接入 $f=1000Hz$ 的正弦电压, 观察并描绘 U_{SY} 及 U_{SC} 的波形。注意它们的相位关系。

(C) 按图(e) 电路接线, $R=100K\Omega$, 接入 $T=1ms$ 的矩形脉冲。观察并描绘 $\tau=5T$, $\tau=0.1T$ 两种情况下的 U_{SY} 及 U_{SC} 波形, 并观察过于减小 τ 时, U_{SC} 的波形有什么缺点。

(D) 令上述电路中的 $C=0.05\mu f$, $R=100K\Omega$, 组成积分电路。接入 $f=1000Hz$ 的正弦电压, 观察并描绘 U_{SY} 及 U_{SC} 的波形, 注意它们间的相位关系。

四、实验设备: