

电工学-电工技术 实验指导书

电工电子实验教学中心

2018年8月

实验一 戴维南定理与诺顿定理

一、实验目的

- (1) 用实验来验证戴维南定理和诺顿定理
- (2) 学习常用直流仪器仪表的使用方法

二、内容说明

(1) 任何一个线性网络，如果只研究其中一个支路的电压和电流，则可将电路的其余部分看作一个含源一端口网络，而任何一个线性含源一端口网络对外部电路的作用，可用一个等效电压源来代替，该电压源的电动势 E_s 等于这个含源一端口网络的开路电压 U_K ，其等效内阻 R_s 等于这个含源一端口网络中各电源均为零时（电压源短接，电流源断开）无源一端口网络的入端电阻 R ，这个结论就是戴维南定理。

(2) 如果用等效电流源来代替，其等效电流 I_s 等于这个含源一端口网络的短路电流 I_d ，其等效内电导等于这个含源一端口网络各电源均为零时无源一端口网络的入端电导，这个结论就是诺顿定理。本实验用图 1 所示线性网络来验证以上两个定理。

三、实验任务

(1) 按图 1 接线，改变负载电阻 R ，分别测量出 U_{AB} 和 I_R 的数值，记于表 1 中。特别注意要测出 $R=\infty$ 及 $R=0$ 时的电压和电流值。

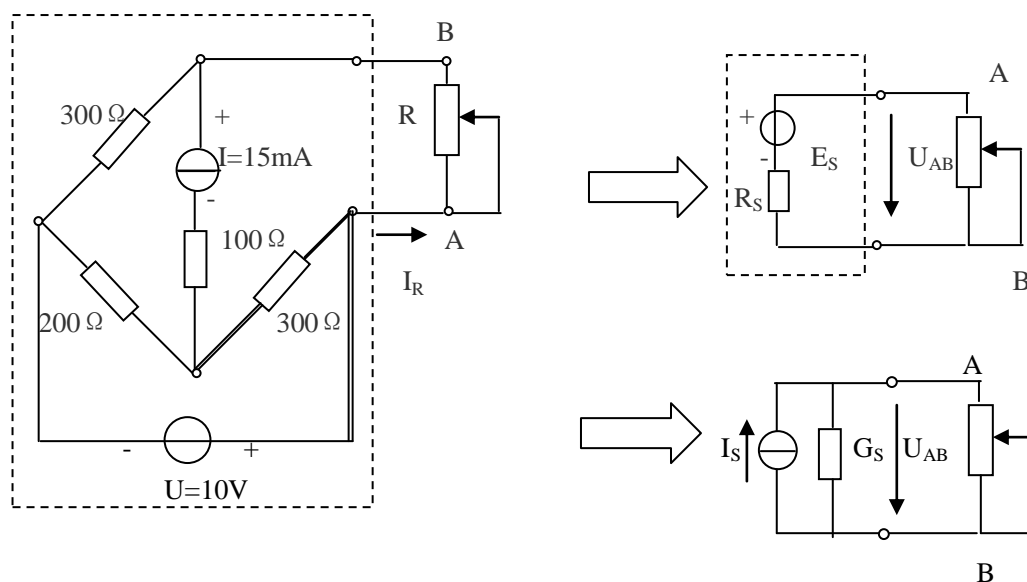


图 1

表 1

$R_L (\Omega)$	0	100	300	∞
$U_{AB} (V)$				
$I_R (mA)$				

(2) 测量无源一端口网络的入端电阻

将电流源去掉（开路），电压源去掉，然后用一根导线代替它（短路），再将负载电阻开路，用伏安法或直接用万用表电阻档测量 AB 两点间的电阻 R_{AB} ，该电阻即为网络的入端电阻。

(3) 调节电阻箱的电阻，使其等于 R_{AB} ，然后将稳压电源输出电压调到 U_K （步骤 1 时所得的开路电压）与 R_{AB} 串联如图 (b) 所示，重复测量 U_{AB} 和 I_R 的数值记于表 2 中，并与步骤 1 所测得的数值进行比较，验证戴维南定理。

表 2

$R (\Omega)$	0	100	300	∞
$U_{AB} (V)$				
$I_R (mA)$				

(4) 验证诺顿定理

用一电流源，其大小为实验步骤 1 中 R 短路时的电流与一等效电阻 R_S 并联后组成的实际电流源，接上负载电阻，重复步骤 1 的测量将数据记于表 3 中。与步骤 1 所测得的数值进行比较，是否符合诺顿定理。

表 3

$R_L (\Omega)$	0	100	300	∞
$U_{AB} (V)$				
$I_R (mA)$				

四、实验报告

(1) 根据实验测得的 U_{AB} 及 I_R 数据，分别绘出曲线，验证它们的等效性，并分析误差产生的原因。

(2) 根据步骤 1 所测得的开路电压 U_K 和短路电流 I_d ，计算有源二端网络的等效内阻，与理论计算的 R_{AB} 进行比较。

实验二 日光灯电路及功率因数提高方法的研究

一、实验目的

- (1) 熟悉日光灯的接线，做到能正确迅速联接电路
- (2) 通过实验了解功率因数提高的意义
- (3) 学习功率表的使用

二、内容说明

日光灯由灯管 A，镇流器 L（带铁芯电感线圈），启动器 S 组成。当接通电源后，启动器内发生辉光放电，双金属片受热弯曲，触点接通，将灯丝预热使它发射电子，启动器接通后辉光放电停止，双金属片冷却，又把触点断开，这时镇流器感应出高电压加在灯管两端使日光灯管放电，产生大量紫外线，灯管内壁的荧光粉吸收后幅射出可见的光，日光灯就开始正常工作。启动器相当一只自动开关，能自动接通电路（加热灯丝）和开断电路（使镇流器产生高压，将灯管击穿放电）镇流器的作用除了感应高压使灯管放电外，在日光灯正常工作时，起限制电流的作用，镇流器的名称也由此而来，由于电路中串联着镇流器，它是一个电感量较大的线圈，因而整个电路的功率因数不高。

负载功率因数过低，一方面没有充分利用电源容量，另一方面又在输电电路中增加损耗，为了提高功率因数，一般最常用的方法是在负载两端并联一个补偿电容器，抵消负载电流的一部分无功分量。在日光灯接电源两端并联一个可变电容器，当电容器的容量逐渐增加时，电容支路电流 I_c 也随之增大，因 I_c 超前电压 U 90° ，可以抵消电流 I_c 的一部分无功分量 I_{Cl} ，结果总电流 I 逐渐减小，但如果电容器 C 增加过多（过补偿）。 $I_{Cs} > I_{Cl}$ 总电流又将增大（ $I_3 > I_2$ ）。

四、实验任务

首先设计一个电路，能提高日光灯电路的功率因数，并研究提高电路功率因数的方法，并用仿真软件进行仿真，电路正常运行后，按下述步骤进行：

- (1) 将日光灯及可变电容箱元件按参考的实验图 1 所示电路连接。在各支路串联接入电流表插座，

再将功率表接入线路，按图接线并经检查后，接通电源，电压增加至 220V。

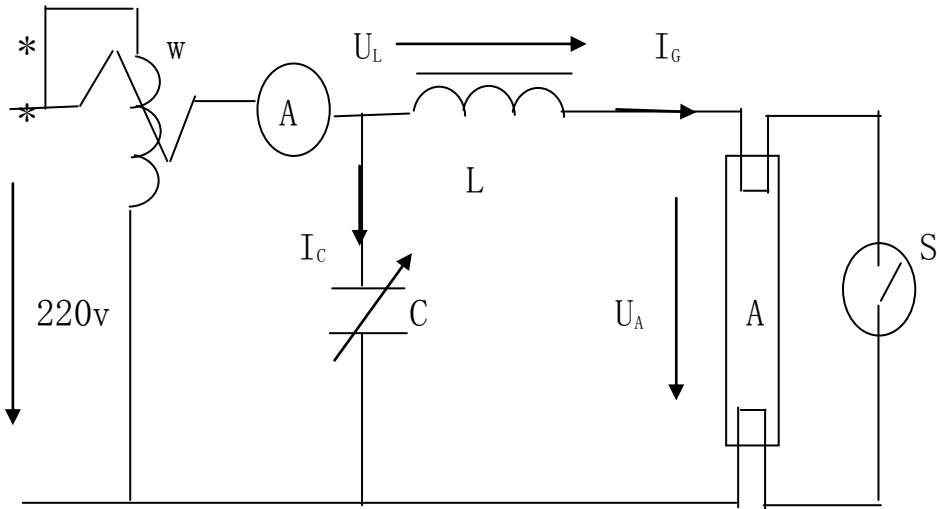


图 1

(2) 改变可变电容箱的电容值，先使 $C=0$ ，测日光灯单元（灯管、镇流器）二端的电压及电源电压，读取此时灯管电流 I_G 及功率表读数 P 。

(3) 逐渐增加电容 C 的数值，测量各支路的电流和总电流。电容值不要超过 $6\mu F$ ，否则电容电流过大。

(4) 绘出 $I=f(c)$ 的曲线，分析讨论。

五、实验结果

电容 (μF)	总电压 U (V)	U_L (V)	U_A (V)	总电流 I (mA)	I_C (mA)	I_G (mA)	功率 P (W)	$\cos\Phi$
0								
1								
2								
4								
6								

六、实验报告

绘出总电流 $I=f(C)$ 曲线， $\cos\Phi=f(c)$ 曲线，并分析讨论提高日光灯电路功率因数的方法。

七、注意事项

(1) 日光灯电路是一个复杂的非线性电路，原因有二，其一是灯管在交流电压接近零时熄灭，使电流间隙中断，其二是镇流器为非线性电感。

(2) 日光灯管功率（本实验中日光灯标称功率 20W）及镇流器所消耗功率都随温度而变，在不同环境温度及接通电路后不同时间中功率会有所变化。

(3) 电容器在交流电路中有一定的介质损耗。

(4) 日光灯启动电压随环境温度有所改变，一般在 180V 左右可启动，日光灯启动时电流较大(约 0.6A)，工作时电流约 0.37A,注意仪表量限选择.

(5) 本实验中日光灯电路标明在 D04 实验板上，实验时将双向开关扳向“外接 220V 电源”一侧，当开关扳向“内接电源”时由内部已将 220V 电源接至日光灯作为平时照明光源之用。灯管两端电压及镇流器两端电压可在板上接线插口处测量。

(6) 功率表的同名端联结在一起，否则功率表中模拟指针反向偏转。

(7) 使用功率表测量必须按下相应电压、电流最限开关。

(8) 本实验如数据不符理论规律首先检查供电电源波形是否过份畸变，因目前电网波形高次谐波份量相当高，如能装电源进线滤波器是有效措施。

实验三 三相交流电路

一、实验目的

(1) 学会三相负载星形和三角形的连接方法，掌握这两种接法的线电压和相电压，线电流和相电流的测量方法。

(2) 观察分析三相四线制中，当负载不对称时中线的作用。

二、内容说明

将三相阻容负载（实验图 1）各相的一端 X、Y、Z 连接在一起接成中点，A、B、C

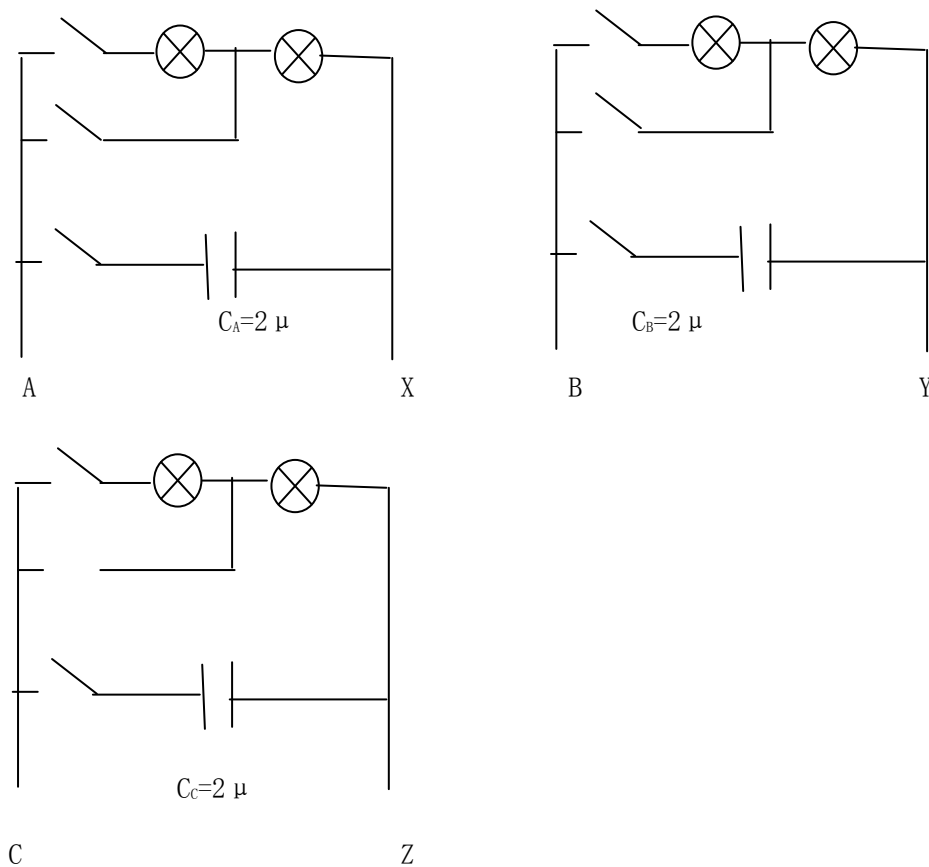


图 1

（或 U、V、W）分别接于三相电源即为星形连接，这时相电流等于线电流，如电源为对称三相电压，则因线电压是对应的相电压的矢量差，在负载对称时它们的有效值相差 $\sqrt{3}$ 倍，即

$$U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$$

这时各相电流也对称，电源中点与负载中点之间的电压为零，如用中线将两中点之间连接起来，中线电流也等于零，如果负载不对称，则中线就有电流流过，这时如将中线断开，三相负载的各相相电压不再

对称，各相电灯出现亮、暗不同的现象，这就是中点位移引起各相电压不等的结果。

如果将实验图 1 的三相负载的 X 与 B、Y 与 C、Z 与 A 分别相连，再在这些连接点上引出三根导线至三相电源，即为三角形连接法。这时线电压等于相电压，但线电流为对应的两相电流的矢量差，负载对称时，它们也有 $\sqrt{3}$ 倍的关系，即

$$I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}}$$

若负载不对称，虽然不再有 $\sqrt{3}$ 倍的关系，但线电流仍为相应的相电流矢量差，这时只有通过矢量图方能计算它们的大小和相位。

三、实验任务

电路图：

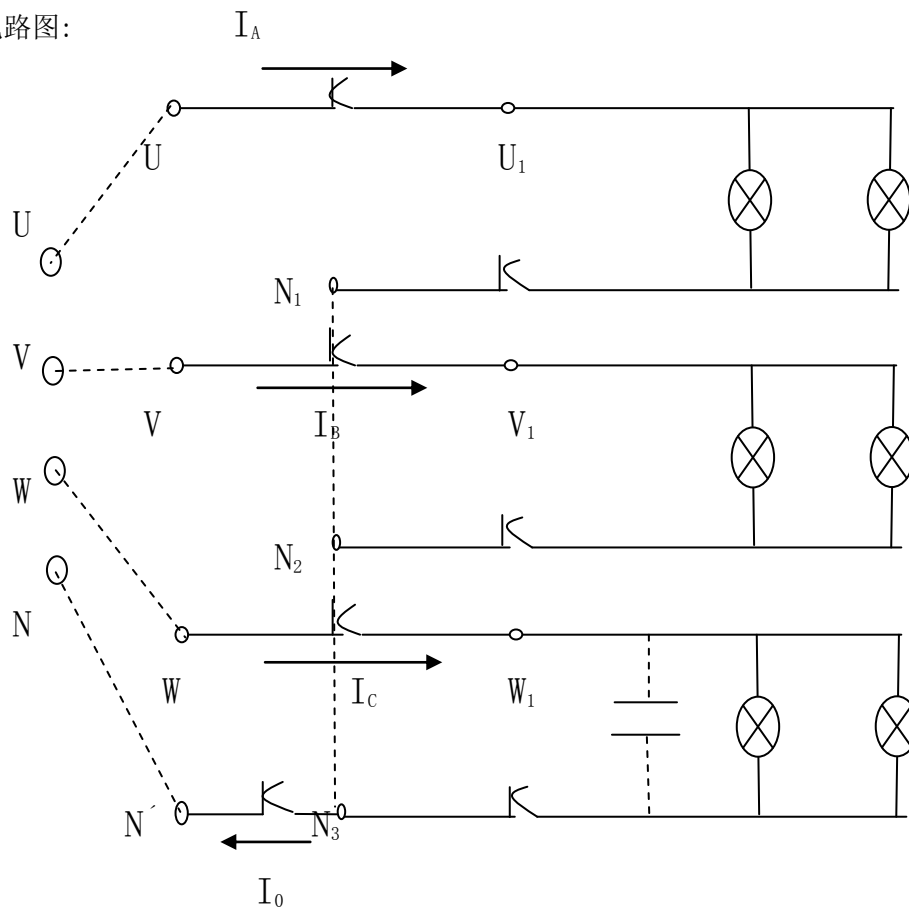


图 2

- (1) 将三相阻容负载按星形联接(如图 2 所示), 接至三相对称电源。
- (2) 测量有中线时负载对称和不对称的情况下, 各线电压、相电压、线电流、相电流和中线电流的数值。
- (3) 拆除中线后, 测量负载对称和不对称, 各线电压、相电压、线电流、相电流和中线电流的数值。

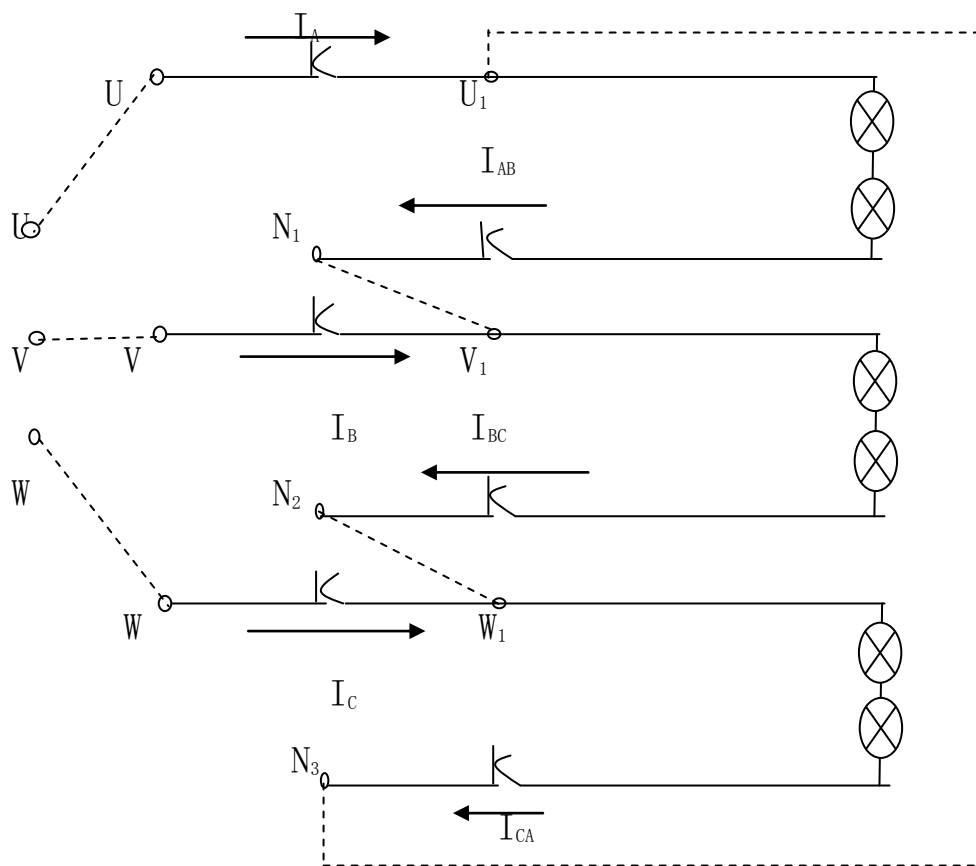


图 3

观察各相灯泡的亮暗，测量负载中与电源中点之间的电压，分析中线的作用。

(4) 将三相灯泡接成三角形连接(如图 3 所示)，测量在负载对称及不对称时的各线电压、相电压、线电流、相电流的读数，分析它们互相间的关系。

四、实验结果

(1) 星形连接

测量值 负载状态		线电压(V)			相电压(V)			线(相)电流(A)			中线 电流	中点 电压
		U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	I_0	$U_{NN'}$
负载 对称	有 中线											
	无 中线											
负载 不对称	有 中线											
	无 中线											

(2) 三角形连接

负载 情况	线电压 V			相电流 A			线电流 (A)			线电流/相电流 (A)		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_A/I_{AB}	I_B/I_{BC}	I_C/I_{CA}
负载 对称												
负载 不对 称												

五、实验报告

(1) 由实验数据分析中线的作用；

(2) 根据三角形连接，在负载对称及不对称时的各线电压、相电压、线电流、相电流读数，分析它们互相间的关系。

六、注意事项

(1) 阻容负载中每相有 1 只 $2\mu\text{F}$ 电容和 2 只 220V 25W 白炽灯泡，分别由三只开关控制变换接线，两

只灯泡可通过开关接成串联或后 1 只灯泡被短接，前 1 只灯泡与电容并联，串联接法用于 380/220V 系统中三角形负载连接。

(2) 作负载不对称连接时，可同时控制电容与灯泡的各种联接。

(3) 如使用电流表插头应控制插头快速进出，同时电流表量程适当选大一些，防止电容负载电流瞬态冲击使过载记录器启动。

(4) 因本实验操作电压高，所以必须小心接线，改接线路必须断电，特别注意不使电流表插头线没接好时插入有电插座。

(5) 由于电灯泡灯丝是非线性电阻，因此在同一灯泡上当电压变化 $\sqrt{3}$ 倍时，电流改变不会是 $\sqrt{3}$ 倍。

实验四 一阶 RC 电路的暂态响应

一、实验目的

- 1、测定一阶 RC 电路的零输入响应，零状态响应。并从响应曲线中求出 RC 电路的时间常数 τ 。
- 2、熟悉用一般电工仪表进行上述实验测试的方法。

二、实验原理说明

(1) 图 1 所示电路的零状态响应为

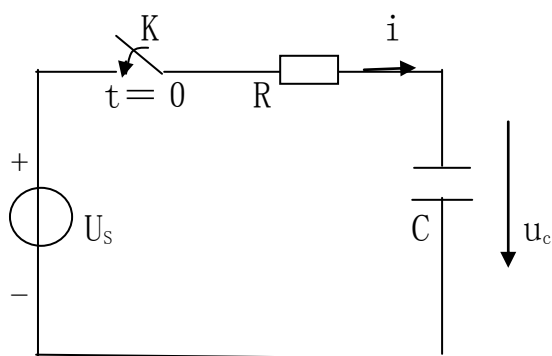


图 1

$$i = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad u_c = U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

其中： $\tau = RC$ 是电路的时间常数。

图 2 所示电路的零输入响应为：

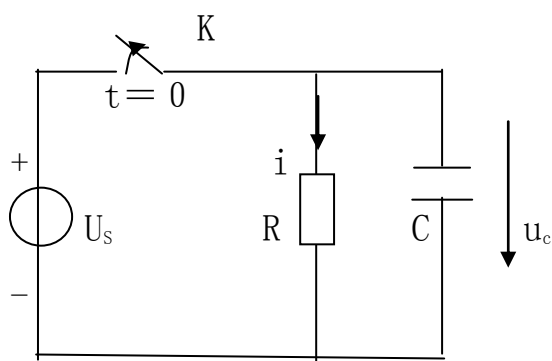


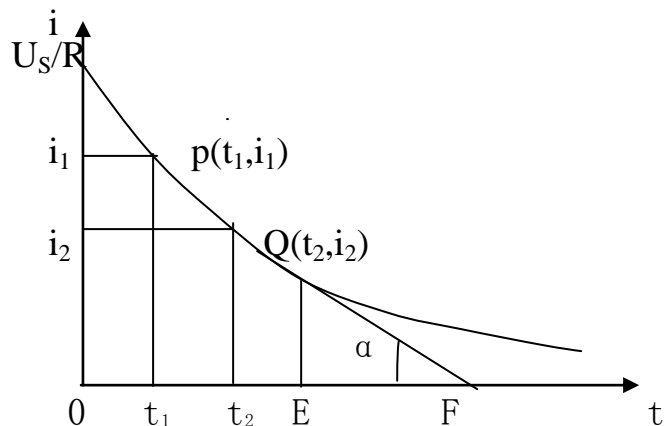
图 2

$$i = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad u_c = U_s e^{-\frac{t}{\tau}}$$

在电路参数中,初始条件和激励都已知的情况下,上述响应的函数式可直接写出,如果用实验方法来测

定电路的响应,可以用示波器等记录仪器记录响应曲线.但如果电路时间常数足够大(如 10 秒以上),则可用一般电工仪表逐点测出电路在换路后各给定时刻的电流或电压值,然后画出 $i(t)$ 和 $u_C(t)$ 的响应曲线.

根据实验所得响应曲线,确定时间常数 τ 的方法如下:



1. 在图 3 中曲线任取两点 (t_1, i_1) 和 (t_2, i_2) , 由于这两点都满足关系式:

$$I = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

所以得时间常数:

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{I_n(i_1 / i_2)}$$

2. 在曲线上任取一点 D, 作切线 \overline{DF} 及垂线 \overline{DE} , 则次切距为

$$\overline{DF} = \frac{\overline{DE}}{\tan \alpha} = \frac{i}{(-di/dt)} = \frac{i}{i(-\frac{1}{\tau})} = \tau$$

3. 根据时间常数的定义也可由曲线求 τ , 对应于曲线上 i 减小到初值 $I_0 = U_s/R$ 的 36.8% 时的时间即为 τ .

t 为不同 τ 时 i 为 I_0 的倍数如下表:

t	1τ	2τ	3τ	4τ	5τ	∞
i	$0.368 I_0$	$0.135 I_0$	$0.050 I_0$	$0.018 I_0$	$0.007 I_0$	0

三、实验内容:

(1) 测定 RC 一阶电路零状态响应, 接线如图 4 所示

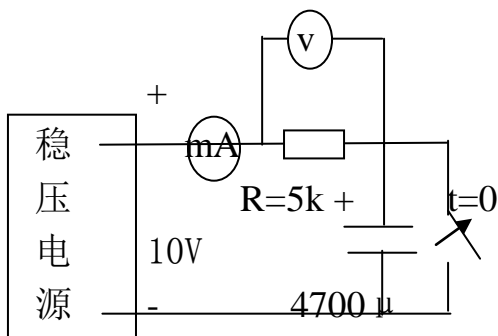


图 4

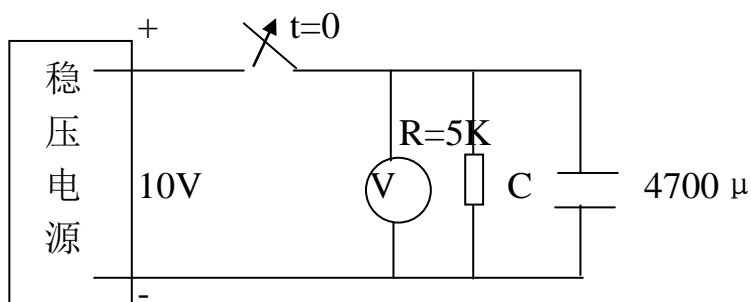


图 5

图中 C 为 $4700\ \mu\text{F}/50\text{V}$ 大容量电解电容器，实际电容量由实验测定 τ 后求出 $C = \tau/R$ ，因电解电容器的容量误差允许为 -5% 至 $+10\%$ ，且随时间变化较大，以当时实测为准。另外，电解电容器是有正负极性的，如果极性接反了漏电流会大量增加甚至会因内部电流的热效应过大而炸毁电容器，使用时必须特别注意。

测定 $u_C = f(t)$ ， $i_C = f(t)$ 曲线步骤：

1. 闭合开关 K 。
2. 调节直流电压 U 至 10V 。
3. 打开 K 的同时进行时间计数，每隔一定时间迅速记 u_R 值（也可每次读数均从 $t=0$ 开始），响应起始部分电流变化较快时间间隔可取 5 秒，以后电流缓慢变化部分可取更长时间间隔。

测定时间常数 τ ：

为了能较准确直接读取时间常数 τ ，可重新闭合开关 K ，打开 K 后读取 $u_R = 3.68\text{V}$ 的 t 值，则 $t = \tau$ 。

实验结果: U= V

t 秒)								
U_R								
U_C								
I_C								

$U_R=3.68$ 伏时: $t=$

(2)测定 RC 一阶电路零输入响应

接线如图 5

测定 $i_C=f(t)$ 及 $u_C=f(t)$ 曲线步骤

1. 闭合 K,调节 $U=10V$.
2. 打开 K 的同时进行时间计数,每隔一定时间迅速记 u_C 值(也可每次读数均从 $t=0$ 开始),响应起始部分电流变化较快时间间隔可取 5 秒,以后电流缓慢变化部分可取更长时间间隔。

实验结果

t 秒)								
U_C								
I_C								

$U_C=3.68$ 伏时: $t=$

四、实验报告

- (1) 完成 RC 一阶电路两种响应的实验测试。
- (2) 绘制 $i_C=f(t)$ 及 $u_C=f(t)$ 两种响应曲线。

实验五 三相异步电动机正反转控制

一、实验目的

1. 熟悉按钮、交流接触器和热继电器的构造和各部件的作用。
2. 学习异步电动机正反转启动的继电器、接触器控制电路的接线及操作。

二、实验原理

继电器接触器控制大量应用于对电动机的起动、停转、正反转、调速、制动等控制，从而使生产机械按既定的要求动作；同时也能对电动机和生产机械进行保护。

交流接触器有一个线圈，还有三个主触点和四个辅助触点。主触点接在主电路中，对电动机起接通或断开电源的作用，线圈和辅助触点接在控制电路中，可起接通或断开控制电路某分支的作用。接触器还可起欠压保护作用。

热继电器主要由热元件和触点组成。热元件接在主电路中，触点接在控制电路中。当电动机过载一定时间，主电路中的热元件动作，使接在控制电路中的动断（常闭）触点断开，使电动机主电路断开，起到过载保护作用。

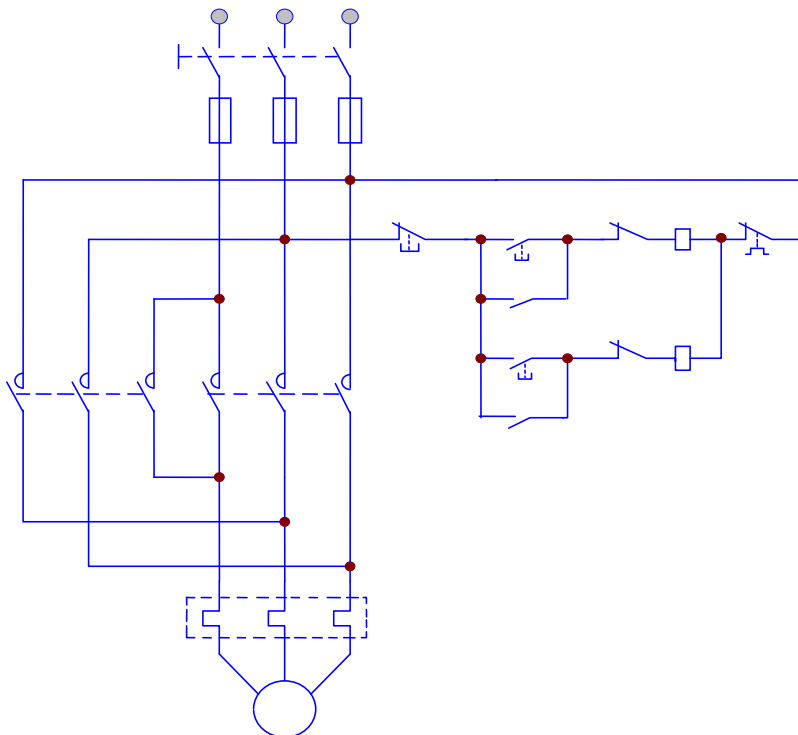


图 1

图 1 是异步电动机正反转的控制电路，先接通电源开关 Q_1 ，为电动机起动作做好准备，按下起动按钮 SB_1 时，交流接触器线圈 KM_1 通电，其主触点闭合，使电动机 M 起动。 KM_1 动合（常开）辅助触点起自锁作用，以保证松开按钮 SB_1 时，电动机仍能继续运转。若需电动机停转，可按停止按钮 SB_3 。图中熔断器 FU 起短路保护作用，热继电器 FR 起过载保护作用。

为了避免接触器 KM_1 （正转）、 KM_2 （反转）同时得电吸合造成三相电源短路，在 KM_1 （ KM_2 ）线圈支路中串接有 KM_2 （ KM_1 ）动断触头，它们保证了线路工作时 KM_1 、 KM_2 不会同时得电（如图 1），以达到电气互锁目的。

三、实验内容

按图 1 接线，经指导教师检查后，方可进行通电操作。

- (1) 开启控制电源总开关。
- (2) 按正向起动按钮 SB_1 ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (3) 按反向起动按钮 SB_2 ，观察并记录电动机和接触器的运行情况。
- (4) 按停止按钮 SB_3 ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (5) 再按 SB_2 ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (6) 实验完毕，按控制屏停止按钮，切断三相交流电源。

四、预习要求

1. 读懂异步电动机正反转控制电路的工作原理，说明哪些辅助触点起自锁或联锁作用。
2. 如何用万用表判断交流接触器的线圈、动合（常开）触点及动断（常闭）触点？
3. 交流接触器线圈的额定电压为 220V，若将两个接触器的线圈串联后接到交流 220V 电源上，会产生什么后果，为什么？
4. 在电动机正、反转控制线路中，为什么必须保证两个接触器不能同时工作？采用什么措施可解决此问题？
5. 在控制线路中，短路、过载、失、欠压保护等功能是如何实现的？在实际运行过程中，这几种保护有何意义？

五、实验总结

1. 讨论自锁触头和联锁触头的作用。
2. 主电路的短路、过载和失压三种保护功能是如何得到的。
3. 主电路中保险丝、热继电器是否可以只采用任一种就能起到短路及过载保护的作用。