# 77．交流电路与直流电路有哪些不同？

交流电，主要是指正弦交流电；直流电，主要是指恒定电流。直流电路中只有电阻起阻碍作用，电容是断路，电感不起作用。交流电路中起阻碍作用的除了电阻以外，还有电感和电容，电阻与频率无关，而电感和电容的阻碍作用（感抗和容抗）都与频率有关。

更重要的是它们对相位的影响：纯电阻电路中电流与电压同相位，纯电感电路中电流落后于电压 90°，纯电容电路中电流超前于电压 90°。电感与电阻串联的电路，电流落后于电压，相差小于 90°。电容与电阻串联的电路，电流超前于电压，相差小于 90°。

交流电路，指的是用交流电源提供交变电动势而产生交变电流的电路，由于使用最多的是正弦交流电，因此一般说的交流电路，指的是正弦交流电路，如果不是正弦交流电，需要予以说明。直流电路，指的是使用直流电源供电的电路，以常用的化学电池为例，在短时间使用时，它具有确定的电动势和内电阻，如果电路的结构和元件都保持不变，则电路中流过的电流是恒定电流，我们中学所讲的直流电路，主要是指通有恒定电流的电路，我们也定性地讨论电路接通及断开后短暂过程中的变化情况。

## 一、直流电路中的电阻、电感和电容

在通有恒定电流的电路中，电阻两端的电压 *U*、通过的电流 *I* 电阻 *R* 间满足部分电路欧姆定律，即 *I* = *U*/*R*。连接在电路中的电感和电容都不起作用。以一个自感系数为 *L* 的线圈为例，它同时具有一定的电阻 *R*，在交流电路中，它是一个电阻与一个电感的串联电路，简称 *L*–*R* 电路，在通有恒定电流的电路中，电感 *L* 不起作用，只有电阻 *R* 起作用。对于连接在电路中的电容器来说，如果电路中通的是恒定电流，并且不考虑漏电的因素，则电容器所在的支路处于断路状态。

但在电路刚接通或者刚断开后的一段短暂时间内，电流从 0 增加到某一个恒定值，或者从某一个恒定值减小到 0，都是电流变化的过程，在这个变化的过程中，电感和电容都起着作用。如图 1 所示，D1 和 D2 是两个相同的小灯泡，分别与线圈 *L* 和定值电阻 *R* 联在两个支路上，线圈 *L* 本身是有电阻的，挑选与 *L* 的电阻值相近的定值电阻 *R*，以提高演示实验的效果。闭合开关 K 接通电路后，可以明显地看到灯 D2 几乎是立即就亮了，而 D1 则延迟一段时间才逐渐变亮，经过一段时间达到稳定状态后，两灯的亮度相同，这就是通电自感的实验，电流达到稳定后两灯亮度相同，说明在电流恒定的条件下，线圈的电感不起作用，只有线圈的电阻起作用。

图 1 自感现象

K

*R*

*L*

D1

D2

*E*

断开开关 K 后的短暂过程，也会发生自感现象，称为断电自感，线圈 *L* 产生自感电动势，在由 *L*、D1、D2 及 *R* 组成的闭合回路中形成电流，只是由于回路的电阻太大，产生的电流较小，不能使灯泡发光，从而看不出明显的现象，但如果把 D1 及 *R* 短路，将可以看到灯 D2 会继续亮一会儿才逐渐熄灭，如果 *L* 的电感较大，还有可能看到灯 D2 闪亮一下而后才逐渐熄灭，演示断电自感的实验就是这么做的。

直流电路中的电容器与此类似，如图 2 所示，上面支路串联一个电容器和一个电流表 1，下面支路串联一个定值电阻和另一个电流表 2，两个电流表都要使用指针位于中央且能向两边偏转的。闭合开关 K 后，下面的电流表 2 示数很快就稳定下来，而上面的电流表 1 的指针则一开始偏转很大而后逐渐减小到零，这是电容器的充电过程。这个过程中两个电流表指针的偏转方向相同，说明电流方向相同，都是从左向右。达到稳定状态以后再断开开关 K，会看到两个电流表的指针都会发生偏转，这是电容器的放电过程，这过程中通过电阻 *R* 及电流表 2 的电流方向不变，而通过电流表 1 的电流方向变为反向。

图 2 电容器的充电和放电

K

*R*

*C*

mA1

*E*

mA2

对于直流电路中的电感和电容，当电流恒定时它们都不起作用，而当电流变化时它们就起作用了，其作用可以概括为“电感线圈电流不能突变，电容器两端电压不能突变”。如图 3 所示是图 1 中开关闭合和断开后通过线圈的电流 *I* 随时间 *t* 变化的情况，如图 4 所示是图 2 中电容器两端电压 *U* 随时间 *t* 变化的情况。

*O*

*I*

*t*

开关断开瞬间

图 3 通过电感线圈的电流变化

*O*

*U*

*t*

充电

图 4 电容器充电和放电过程电压变化

放电

## 二、交流电路中的电阻、电感和电容

以下所说的交流电路，都是指正弦交流电路。

### （1）纯电阻电路

电路中的导线以及电热类用电器，忽略分布电容和电感的影响，就是纯电阻电路。电阻的阻值 *R*、两端电压 *U* 及通过的电流 *I* 间的关系满足部分电路欧姆定律，即 *I* = ，其中 *U* 和 *I* 分别是电压和电流的有效值（下同），电流 *I* 与电压 *U* 的相位相同，与交流电的频率无关。

### （2）纯电感电路

对于一个带铁芯的线圈，如果它的电阻很小可以忽略，则这段电路称为纯电感电路，设它的自感系数为 *L*，交流电的角频率为 *ω*，则它的感抗 *XL* = *ωL*，它的两端电压 *U* 及通过的电流 *I* 间满足的关系是 *I* = = ，*U* 与 *I* 的相位不同，电压 *U* 超前于电流 *I*，相位差为 π/2，即 90°。

### （3）纯电容电路

对于一个连接在电路中的电容器，忽略漏电流，可以称为纯电容电路，设它的电容为 *C*，交流电的角频率为 *ω*，则它的容抗 *XC* = ，它的两端电压 *U* 及通过的电流 *I* 间满足的 *I* = = *ωCU*，*U* 与 *I* 的相位不同，电压 *U* 落后于电流 *I*，相位差为 π/2，即 90°。

感抗和容抗合称电抗，电抗与电阻合称阻抗。电抗与电阻的不同主要有两点：①电阻对交流电的阻碍作用与交流电的频率无关，而电感与电容对交流电的阻碍作用则与交流电的频率有关，频率越小，感抗越小，而容抗则越大。恒定电流可以认为是频率 *ω* 为 0 的交流电，这时感抗为 0，即电感线圈不起作用（线圈内的电阻还是起作用的，只是电感不起作用），而容抗为无穷大，即电容器在通有恒定电流的电路中处于断路状态；②电阻两端的电压 *U* 与电流 *I* 相位相同，而电感两端电压超前于电流 90°，电容两端电压落后于电流 90°。图 5 是以上三种情况的图示。

（a）纯电阻电路

*u*

*i*

*t*

*O*

图 5 电压 *u* 与电流 *i* 的相位关系

（b）纯电感电路

*u*

*i*

*t*

*O*

（c）纯电容电路

*u*

*i*

*t*

*O*

### （4）电阻、电感、电容串联电路

如图 6 所示，电阻 *R*、电感 *L*、电容 *C* 串联在一段电路中。请注意，这是一个等效电路图，即真实的电感线圈既有一定的电感，也有一定的电阻，在图 6 中的线圈是没有电阻的，所有的电阻都集中于 *R* 上，线圈就代表一个纯电感。

*U*

*U*L

*U*R

*U*C

图 6 *R*–*L*–*C* 串联电路

设总电压为 *U*，各段电压分别为 *U*L、*U*R 及 *U*C，但 *U* ≠ *U*L + *U*R + *U*C，原因是相位不同：串联电路中处处电流相等，其中 *U*R 与电流 *I* 相位相同、*U*L超前于电流 90°、*U*C 落后于电流90°，这个关系可以用如图 7（a）所示的旋转矢量图表示（电压和电流都不是矢量，但它们之间的相位关系却可以用旋转矢量图表示），总电压 *U* = ，总电压 *U* 与电流 *I* 间的夹角 *φ* = arctan。

相应的阻抗关系如图 7（b）所示，总阻抗 *Z* = 。

*O*

*U*L − *U*C

*U*L

*U*C

*U*

*I*

*U*R

*φ*

（a）电压关系图

图 7 *R*–*L*–*C* 串联电路旋转矢量

*O*

*X*L − *X*C

*X*L

*X*C

*Z*

*R*

（b）阻抗关系图

如果电路中没有电容，则是一个电阻与电感的串联电路，即 *R*–*L* 电路，它的阻抗 *Z* = ，两端电压 ，电压 *U* 超前于电流 *I*，相位差 *φ* = arctan。

如果电路中没有电感，则是一个电阻与电容的串联电路，即 *R*–*C* 电路，它的阻抗 *Z* = ，两端电压 *U* = ，电压 *U* 落后于电流 *I*，相位差 *φ* = arctan。