

电子管在工业中的应用

亨萊 范尼斯托克 合編

李 士 雄 等譯



人民邮电出版社

电子管在工业中的应用

亨萊 范尼斯托克 合編

李士雄 等譯

人民邮电出版社

ELECTRON TUBES IN INDUSTRY

Henney and Fahnestock

Third edition 1952

内 容 提 要

本書首先从电工学中的一些基本概念談起，介紹电子管的基本常識和各种形式的电子管电路。因此，对一般非电信專業的工程技術人員，也能通过這本書了解电子管在工業中的应用，取得关于电子学在工業实用方面的广泛知識。全書共分11章，其中介紹电子管应用的有8章，比較詳細地介紹了电子管在整流、穩压、光电控制、閘流管控制、电子管繼电电路、电动机电子控制、电子测量与自动控制、电子計算机，以及高频电热、电焊等方面的应用。

电子管在工業中的应用

編 者：(美) 凱 斯·亨 萊 德 姆 士·
D. 范 尼 斯 托 克

譯 者：李士雄 黃慧娜 梁家佑 婁良京

出版者：人 民 郵 電 出 版 社

北京東四六條13號

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

發行者：新 華 書 店

开本850×1168 1/32

印張9 6/32 頁數147

印刷字數246,000字

1959年9月北京第一版

1959年9月北京第一次印刷

印數1—3,800册

統一書号：15045·总1068-有231

定价：(10)1.45元

目 录

1. 基本的电路元件.....	1
电阻。电压, 电流, 功率。电流的方向。交流电。非线性电阻器。电感。直流电路中的电感。交流电路中的电感。电容。直流电路中的电容。容抗。电感和电容的比较。谐振。串联谐振。并联谐振电路。RC 电路。电容器放电。时间常数。时间常数特性曲线。RC 电路中的时间关系。RC 电路的波形。电感器的应用。	
2. 电子管的基础.....	19
电子管的类型。真空管和充气管。电子管的特性。热离子管。电子速度。二极管。二极管的电阻。空间电荷。三极管。栅极控制。电子管的特性曲线。电子管特性曲线的应用。充气管的栅极控制。稳压管。多极管。阴极射线管。射线的偏转。光敏器件。光电管。充气光电管。光电倍增管。光导管。光伏管。	
3. 电子管的基本电路.....	38
电子管整流器。电子管放大器。放大的分类。栅偏压电源。负载线。真空管放大器的倒相。继电器运用。电子管参数。跨导。板阻。放大系数。典型的放大器问题。阻抗匹配。功率输出。阴极输出器。多级放大器。级联电路。级间耦合。改变波形的电路。限幅器。钳压器。鉴频器。直流放大器。负反馈。振荡器。电子管振荡器。时间常数的效应。检波, 调制。检波器。调制。混频器。真空管伏特计。直流量测。交流量测。其他型式的伏特计。	
4. 整流器和电源供给器.....	71
整流电路。全波整流器。按照所需的电流选择电路。滤波电路。放电电阻。滤波电路的设计。电源供给器各元件的选择。电路选择。减低电容器的充电电流。电源变压器的选择。	

顏色標記法。电子管的选择。濾波电容器的选择。濾波扼流圈的选择。洩放电阻的选择。分压。电子稳压器。輝光放电稳压管。电压可变的稳压器。串联或減生稳压器。复式稳压器。簡單減生稳压器。三極管——五極管稳压器。寬范围穩压器。半导体整流器。整流片的構造。整流片特性。效率。运行。过载的影响。备用性的应用。典型电路。各种半导体整流器的比較。高压电源供給器。60週电源供給器。高頻高压电源供給器。脉冲式高压电源供給器。充电电容器式供給器。900伏0—4微安电源供給器。可調输出的60週电源供給器。用閘流管將直流轉換成交流。携帶式設備用的直流电源。倍压整流电路。

5. 光敏电子管..... 115

光敏元件的評價。光敏元件的类型。光电效应。光电管的基本原理。充气光电管与真空光电管的比較。光电管的額定数据。光电管电路的設計。光电管电路。光电管—繼电器电路。与光电管合用的簡單閘流管电路。光电管—放大器—閘流管电路。其他簡單的光电管电路。从远处耦合到光电管。光电倍增管。光电倍增管电路。稳压的控制。避免用直流放大器的方法。遮断器。光的比較。光电管的特殊应用。頻率的測定。簡化的电视系統。波形發生器。录音。

6. 閘流管电路..... 142

閘流管特性。蒸气管和充气管的比較。溫度效应。管子的型式。屏蔽柵閘流管。三極充气管的定額方法。陰極保护。陽極电流的控制。直流控制。自己停止的直流电路。用真空管控制充气管。电子管控制的电路。陽極电流的相位控制。得到相位控制的电路。由变压器和移相电路控制电流。电桥电路相位控制。用閘流管当做开关。可控整流器用作繼电器。换流器。换流方法。單管换流器的应用。引燃管。

7. 繼电器和繼电器电路..... 164

有关繼电器的几种常用术语。繼电器符号。触点电弧。交流和直流繼电器的比較。諧振繼电器。直流繼电器的使用。延时繼电器。延时繼电器的用处。事故保安的动作。超敏直流繼电器。

超敏繼电器的应用。 灵敏繼电器。 灵敏繼电器的調整。 真空管电路中的繼电器。 特殊繼电器。 繼电器的維護。 电容繼电器电路。 由射頻操作的遙控繼电器。

8. 电动机的电子控制..... 180

直流并激电动机的控制。 并激电动机的原理。 速率控制。 典型的速率控制电路。 移相方法。 采用飽和电抗器的移相电路。 电阻的改变。 連續控制。 速率調整。 IR 降的补偿。 电动机的反轉。 一些补充的細节。 电动机的可逆控制。 測速計式的速率調整。

9. 电子测量与控制..... 185

电子测量尺。 测量光强。 尺寸控制。 厚度量計与控制。 放射性厚度計。 超声学的应用。 携帶式超声波厚度計。 X-光厚度計。 接触厚度計。 弯曲程度的控制。 綫或管子的粗細。 磁阻測試厚度計。 电梯的定位。 恰合于正确位置的控制。 光电管外形描画器。 机械移动量計。 差动变压器。 电阻式移动計。 应变計。 测量电阻的电路。 韋斯登电桥电路。 差别电阻計。 关于IR 降的补偿。 RCA三極管換能器。 电力綫故障定位器。 換向器粗糙程度的測量。 表声放大器。 溫度的測量。 热偶。 电阻溫度計。 双金屬条。 輻射高溫計。 电子控制。 光电管系統。 自动平衡电位器。 充气管电压表。 拉綫的电子管控制。 傳送帶的同步。 电子管撞击計。 柵压不定电路。 照明控制。 反饋电路。

10. 計数器与分数器电路..... 239

扰动存儲。 电子計数器。 脉冲發生器。 計数器的应用。 基本电路。 依克思·乔教电路。 触發。 触發不灵。 計数器的輸出。 五極管触發电路。 閘流管計数器。 环形計数器。 二进位計数單元組成的十进制計数器。 計数的指示。 充气管計数器。 另一种十进制一位計数器。 三进环形計数器。 插入式計数器。 多諧振盪器。 多諧振盪器的同步。 一击多諧振盪器。 一击多諧振盪器的应用。 阶梯式計数器。 脉冲放大器。

11. 高频电热和电焊..... 275

电子电热。 感应电热。 頻率。 磁滯效应。 工作綫圈的设计。

介質电热。近代应用。介質电热的基本原理。高频發生电路。
电焊的电子控制。阻焊。电焊的种类。电源。电焊机的控制。
引燃管电路。同步和异步控制。电容器放电的电焊机。

第一章 基本的电路元件

所有的电子设备都是由几个基本的元件组成。正是这些基本单元的适当结合，才有可能出现电子学的奇妙作用。适当地将这些基本元件组成电路，就能使人们差不多能完善地，而且实际上是瞬时地控制电子的运动，而对电子运动的控制就是电气工业和电子工业的基础。

电阻。 近代的知識指出，在某些材料的内部，电子可以相当自由地从一个原子移到另外一个原子；而在另外一些材料中，自由电子却是那么少，以至于电子的交换实际上是不可能的。由此，我们称那些对电子运动阻力相当小的材料为**导体**；并且称那些阻止电子运动的材料为**绝缘体**。

每个电子都具有一定的“电荷”，当相当多的电子从一端移动到另外一端时，我们就说有可量测的电流在“流动”。比如说，在电气工程师的术语中一安培就是指：一秒鐘內在兩点之間有 6.28×10^{18} 个电子流动。

电压，电流，功率。 为什么电子能够从一端移动到另外一端呢？这是因为每个电子实际上就是一搬运电荷，它会受到任何带正电的物体的吸引，和受到任何带负电的物体的排斥。电路中兩点間的电荷差（無論这个电荷差是由什么原因产生的）是使电子在电路中移动的动力。我们称这种电荷差为**电位差或者电压**。

电压、电流和电阻（电路的基本特征）之间的关系是决定于欧姆定律，也就是： E 伏的电压会使 I 安的电流流经 R 欧的电阻，所以

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{或} \quad E = IR \quad \text{或} \quad R = \frac{E}{I}$$

換句話說，如果將 1 伏的电位差加到一段电阻等于 1 欧的材料

的两端，就会有 1 安的电流动过这段材料。这种情形用图解表示有如圖 1 A。其中电位差是由电池供給的。

如果用两个 1 欧的电阻代替原来 1 欧的电阻，那么流过的电流就只有 $\frac{1}{2}$ 安培，如圖 1 B 所示。同时每个电阻两端的电压降是外加电压的二分之一。这时將外加电压增大一倍，电流就能够增大到 1 安培。

电子从一个地方移动到另外一个地方将会碰撞原子結構的其他部份，这就是阻碍电子运动的电阻的实质。由于这种碰撞，就会产生热，这些热也就是使电子运动克服阻力所需要的功率的一种量度。在数量上这功率等于

$$P = I^2 R \quad \text{或} \quad \frac{E^2}{R} \quad \text{或} \quad IE$$

这里 P 代表功率，以瓦特为單位； I 代表电流，以安培为單位； R 代表电阻，以欧为單位； E 代表电压，以伏特为單位。

电流的方向。 当电池驅使电流流过电阻时，电阻两端的电压“降落”可以用一个伏特表測量。进行电压測量（或电流測量）时，必須留意正确的極性。电表的正端应当永远接在最接近电池正端的那一点，如圖 1 所示。否則指針就会偏到倒逆的方向。

交流电。 在交流电路中，电压和电流的方向和大小是連續不断地改变着的。由于瞬时电压的改变，在純电阻电路中，电流的瞬时值将会很准确地同相跟着变化。因而如果根据瞬时电压，从欧姆

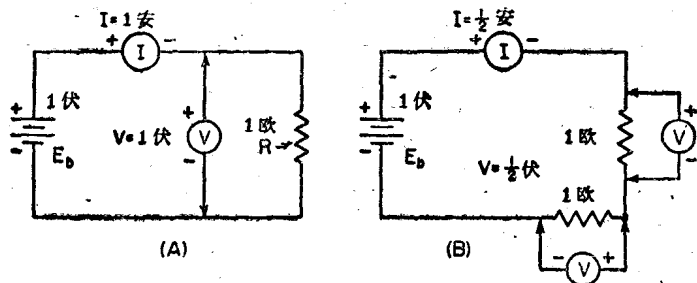


圖 1 包含串联电阻和直流电源的基本电路。用圖解說明欧姆定律的应用。

定律就可以求出电流的数值。另一方面，在电阻电路中的热效应或功率消耗，则是决定于比最大值（或峯值）略微小一些的电流和电压值。事实上，对于正弦波的电压和电流，热效应必须从它们的均方根值（即以 0.707 分别乘以电压和电流的最大值）来求得。

因此，1 安培均方根值的交流电流将与 1 安培的直流电流，如果它们通过同一个电阻，就会产生同样的热效应。

絕大多數的交流电流表和伏特表都是直接讀出均方根值的。

影响电子在电路中流动的因素有好多种，电阻只是其中的一种。在直流电路中，电阻是唯一影响电流的因素。但是討論到交流电路，其他因素就会呈现出来，因此計算电压和电流时，必須將其他的因素考虑进去。

非线性电阻器。 电阻器（具有电阻而做成便于使用形状的一种器件）的形状、大小和式样有許多种，其中有一些并不遵从欧姆定律；也就是說，它們的电阻与通过它們的电流，或与跨于它們兩端的电压或者它們的工作溫度有关。譬如，整流器就可以認為是一种只能按一定方向通过电流的电阻器。因此可以將整流器当作一种單向电阻器使用。

非线性变阻器是一种器件，它的电阻对电压或溫度有高度的灵敏性。它是由几种金屬化合物組成的，氧化銅和碳化硅就是典型的例子。利利特（碳化硅）有非常陡的特性，这种特性指出，在正常的电压下，它的电阻很高，但是只要电压升高到相当值，电阻就会降到非常低的数值。因此，它可以用来作一种保护裝置，接在可能發生高电压浪湧的兩点間。

热敏电阻具有很大的負溫度系数；也就是它們的电阻随着溫度的升高而降低。它們在量測和控制溫度中很有用处。

必須注意，所有的电阻器多少都会有些正的或負的溫度系数，只不过这种电阻变动是極其微弱罢了。

电感。 一段 100 呎長的 20 号銅綫大約有 1 欧的直流电阻。如果將同样長的銅綫繞成綫圈形状，对于直流电，它的电阻还是保

持1欧，但是它对交流电的反抗作用却增大了。交流电的频率愈高，线圈显示出的反抗作用愈大。这种现象是由于所谓的电感作用所引起的。电感是线圈的一种特性，它企图阻止流经它的电流的任何变化。这种现象是由于所有载有电流的导线都会在它的周围建立磁场而产生的。电流开始流通的那一时刻，磁场就建立起来。这个磁场可以用许多看不见的同心磁力线表示，这些磁力线由导线向外扩展。当电流增大时，磁力线就由导线向外扩张，并且使任何处于磁力线移动途径上的导线中产生电势。在线圈中，相邻的线圈就正好位于这些磁力线移动的途径上。线圈所感应出的电压的极性是企图反抗原有电流的变化。一旦电流增加到某个固定值之后，电感的效应就消失了，因为磁力线现在已固定不变，因此再也没有反抗电压或反抗电势的产生了。

直流电路中的电感。 研究图2所示的基本电路。如果它只含有电阻，那么在开关 SW_1 投到位置A的瞬间，电流就会立刻升到它的最终值。但是，有了 L 之后情形就不同了。这时由于电感的效应，当电池接入电路时，电流缓慢地升高。这种情形可以用 SW_1 开始投到A点和B点时，电阻电压 V_R 、线圈电压 V_L 和电路电流 I 对时间的关系曲线来说明。当开关 SW_1 投到B点时，在电路中流动的电流不会即时降到零，而是按照曲线(I)所示下降。

要注意到，跨在线圈两端的电压的最大值是发生在电流变化最快的时候。用数学式子表示就是

$$e = L \frac{di}{dt}$$

这里 e 是瞬时电压，以伏为单位； L 是线圈的电感，以亨为单位；

$\frac{di}{dt}$ 则是测量电压那一瞬间电流的变化率。

当流经线圈的稳定电流，由于与线圈串联的闸刀的拉开而突然中断时，电感力图维持电流继续流通。电路中断时，电流的变化是那么快，以致于线圈的电压非常高——高到在电路断开时足够使电子以火花的形式从断开的两个触头间跳过去。这电压可能比原先加

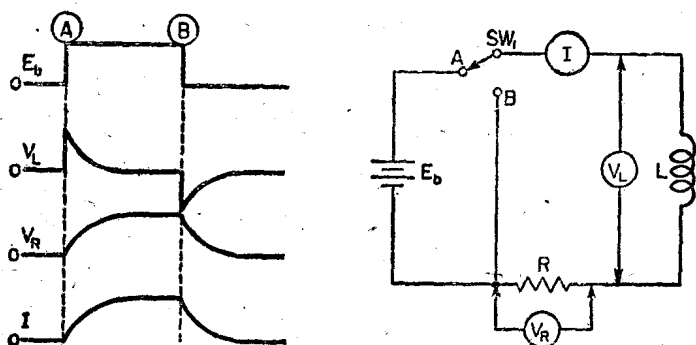


圖 2 电阻和电感电路的瞬变效应。当 SW_1 投向位置 A 时，电池电势加到线圈和它的电阻的两端。当 SW_1 投向位置 B 时，电池断开，电感被短接。

到电路的电压大过许多倍。这种由于断开含有相当大的电感的电路而产生的高电压称为感应激动。因此设计这种电路时，必须要留意使开关的触头和线圈的绝缘完全能够经受得起这样高的电压湧浪。

交流电路中的电感。

将电感接入含有交流电源的电路时，电感的效应也反抗电流的变化。但是在这种情形下，电流是连续不断地改变，所以电感对电流的反抗作用也是连续的。其结果使电流和电压的最大值不会同时出现，事实上，电流的最大值是滞后于电压的最大值。对

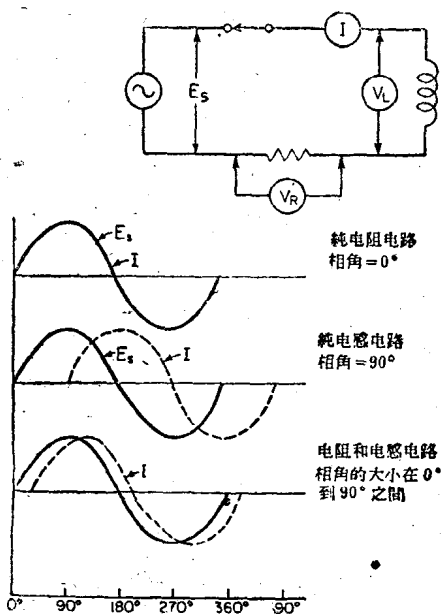


圖 3 在純电感的交流电路中，电压最大值比电流最大值超前90度。

于純电感——無电阻——电路，滯后的時間为交流电的 $\frac{1}{4}$ 週期，或90度。如果电路中同时有电阻和电感（圖3），那么电流和电压之間的时滯或相位差就会小于90度。滯后的角度可由圖4.4所示的矢量圖来决定。

电感对电流流动的反抗效应称为**感抗**，并可按下式計算：

$$X_L = 2\pi f L$$

这里 X_L 是感抗，以欧为單位； f 是頻率，以每秒週数为單位； L 是电感，以亨为單位。

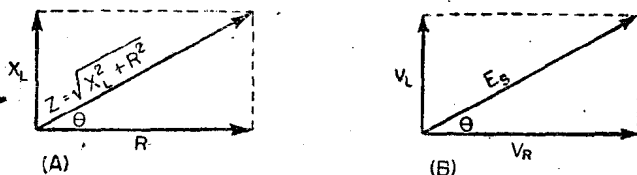


圖 4 感抗 X_L 和电阻 R 的向量和等于阻抗 Z 。

电阻和电感的合成效应称为**阻抗**(Z)，并可按圖4.4所示計算。必須注意，合成的效应总是小于电阻和电抗直接相加的效应。例如將1欧的电阻和1欧的电抗接到电路里，它們的合成效应是1.41欧。

应用欧姆定律解含有电阻和电感的交流电路，如果电压已知，求电流时必须用阻抗，也就是

$$I = \frac{E}{Z}$$

这里

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

电容。 交流电路的另一元件就是**电容**。电容是电容器或儲电器所具有的性能，电容器是由兩片或兩片以上彼此間用絕緣体隔开的导体做成的。举例說，兩片鋁片由一片玻璃隔开就構成一个电容器。如果將这样一个电容器接到电池，一片接在电池的正端，另一片接在負端，那么，接在电池正端的电容器極板上的任何自由电

子，由于受到正电荷的吸引，将会经过连接电路向电池移动。这样的电子运动就形成电流。不过必须注意，电子并没有真正流过电容器的玻璃片。在有电容器的电路中，电子不需要穿过电容器介质所形成的障碍层就能使电流在外电路流动。

因为现在电子已经离开电容器的一个极板，电容器两端出现不平衡或位差，一个极板的电子比另外一个极板的多。电子的这种不平衡就形成电压，并且可应用适当的仪器将它测量出来。离开一个极板的电子愈多，电容器两端可测量的电压就愈大。

直流电路中的电容。 在图5中，当开关投向位置A时，电子经过连接电路而移动，电容器开始被充电，于是电容器的两端就有电压出现。随着通过电路的电子愈多，电容器两端的电压愈大，电路中的电流便减少，这表示电容器两端的电压是反对电流的流动。事实上，这时电容器的极性和电池的相反，好像另外有一个电池和原来的电池串联似的，只不过它的接法是抵消原来的电池的效应。

电容器的电压继续升高，一直到它两端的电压等于电池的电压为止，到那时候两个电压正好大小相等、作用相反，电流就停止流动。电容器现在就被充满电了。如果将电池拿掉，而且没有通路让电子移动，跨在电容器两端的电压就将永远保存下去。

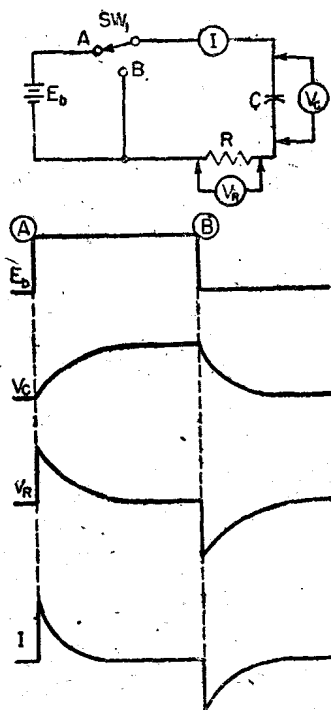


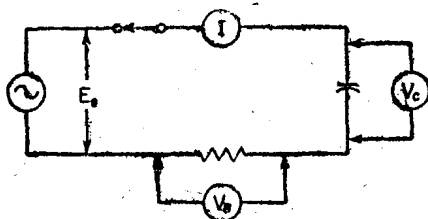
图5 电阻和电容电路的瞬变效应。当 SW_1 投到位置A时，电容器开始被电池充电。当 SW_1 投到位置B时，电容器开始通过电阻放电。

电容器的基本特性就是它的电容，这特性阻止电容器兩端的电压發生任何变化。它所起的作用就好像一个貯藏器，在它兩組極板上的电子数目可能完全不同，所以有位能可以貯存在这种設備里面。

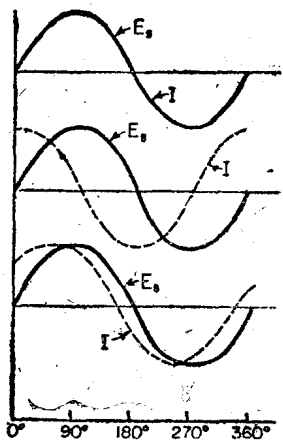
改变电容器兩端的电压是需要時間的，而改变电压及电容器內部所貯存的能量所需要的時間的長短則是决定于电容。

圖 5 所示的曲線表示电容器反抗外加电压的情形。当电路第一次由于 SW_1 投到 A 点而形成閉合迴路时，电容器兩端的电压 V_c 逐漸升高到充电电源的电压值 E_b 。由于开始时，阻碍电子运动的只有串联的电阻，所以电路的起始电流很大。但是随着电容器兩端电压愈来愈大，电流就逐漸降低。

现在如果將 SW_1 換接到位置 B ，就会再一次出現电子的起始



冲击，电子从电子过多的極板經過电路移到电子过少的極板，因此出現很大的电流；随着电容器的放电，流經电路的电流就下降，最后完全停止。



純电容电路
电流超前电压 90°

电阻和电容电路
电流超前电压的角度
在 0° 到 90° 之間

圖 6 在电容和电阻电路中，电压最大值滞后于电流最大值的相角是从 0° 到 90° 之間。

容抗。 电容器和电感一样，在交流电路中间阻碍电流的流动。这种阻碍作用是由于它的电抗而引起的，这种电抗的数值可按下面公式求得：

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

这里 X_c 是电抗，以欧为單位； f 是頻率，以每秒週数計算； C 是电容，以法拉为單位。

在一个电感电路中，电感的效应（感抗）正比于电感和频率。而在电容电路中，电容的效应（容抗）却与电容和频率成反比。即

$$I = \frac{E}{X_c} = 2\pi f C E$$

因为电容器反对它的端电压发生任何变化，所以电压和电流最大值之间会有一个时间的滞后。在纯电容的交流电路中，电压的最大值滞后于电流最大值四分之一周期或 90 度。如果电路中同时有电容和电阻，如图 6 所示，那么电压和电流最大值之间的时滞或相位就小于 90 度，真正的数值，可以从图 7 的向量图求得。

电感和电容的比较。 电感和电容，二者都会阻碍电流流动，二者都会延缓电流或电压达到它们的最終值。但是它们对电路的作用，在很多地方却是不相同。

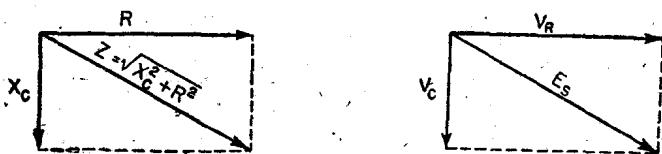


圖 7 容抗和电阻的向量和等于阻抗。不过，这里的电抗是向下画的，和圖 4 中感抗向量向上画的情形不同。

电感器的电抗随着频率的增大而增大；电容器的电抗却随着频率的增大而下降。通过电感器的电流不能够瞬时改变；跨在电容器两端的电压则不能瞬时改变。在电感和电阻串联的电路中，电池刚接入的瞬间，电感两端的电压最大，电流则是最小；而在电容性电路里，起始瞬间的电流最大，电容器两端的电压则是最小。

在交流电路中，如果电路是电感性的，则电流的最大值滞后于电压最大值；如果是电容性的，则电流的最大值超前于电压的最大值。

谐振。 由于电感和电容的作用在许多地方具有相反的特性，所以如果将它们混合接在交流电路中，就会得到许多很有趣的结果。圖 8 表示一个简单的、包含 L 、 C 和 R 和交流电源的电路。

电抗的数值只是对于某一频率是正确的，同样，相位的关系和电压也只是对这个频率才是正确的。注意，容抗抵消了一部份感抗的效应。不过由于后者比较大，电路的电抗仍旧是感性的，所以电流滞后于电压。

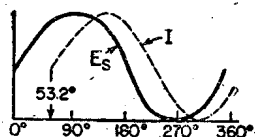
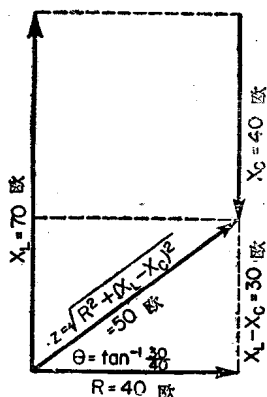
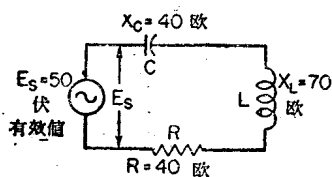


圖 8 在电阻、电容和电感电路中，两种电抗的效应会互相抵消，甚至可能彼此完全抵消。

算这种电路的阻抗时，首先得求出净电抗，然后将这个电抗和电阻用向量法相加。由此，在一个 L 、 C 和 R 电路中，

感抗：

$$X_L = 2\pi f L$$

容抗：

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

在某一个频率下，电路中电感和电容的效应将大小相等，但性质相反，所以它们的电抗互相抵消。这就是所谓的谐振频率，它可以由下面的公式确定：

$$X_L = X_C$$

或

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

或

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

这里 f_r 是谐振频率，以每秒週数为单位； L 是电感以亨为单位； C 是电容以法拉为单位。这种电路中，任何一个特定频率时的实际电抗等于感抗和容抗之差。这差值是用代数的方法，将感抗减去容抗而得到的。要计