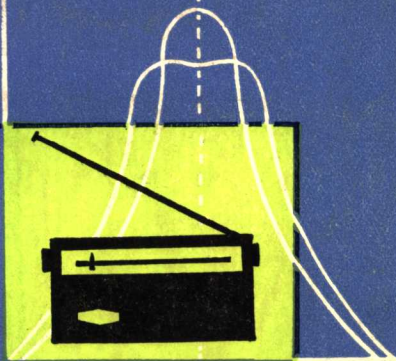




收音机的选择性和谐振电路

陈永全

编著

罗鹏搏

审订

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

选择性是收音机的重要指标之一,但是收音机的选择性的提高一般会
引起其他指标的降低,因此,怎样正确处理选择性、通频带及灵敏度三者
之间的关系,是需要很好地加以全面考虑的。

收音机的选择性主要决定于机中所采用的谐振电路。本书中用较多
的篇幅来讨论各种谐振电路,并对一般收音机中所采用的各种谐振电路,
也进行了具体分析。此外,还介绍一些与选择性有关的指标的定义和一般
测量方法。

收音机的选择性和谐振电路

陈永全 编著

罗鹏搏 审订

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本:787×1092 1/32 1979年4月第一版

印张:2 20/32页数:42 1979年4月天津第1次印刷

字数:58千字 印数:1—301,500册

统一书号:15045·总2289-无665

定价:0.23元

目 录

一、什么叫选择性?	1
二、决定选择性的因素是什么?	2
2.1 具有纯电阻 R 的电路	2
2.2 具有纯电容 C 的电路	4
2.3 具有纯电感 L 的电路	8
2.4 具有良好选择性的电路——电容、电感组合电路	11
2.5 各种调谐回路在收音机中所起的作用	16
三、谐振电路的特性	21
3.1 串联谐振电路的特性	21
3.2 串联谐振电路的品质因数 Q	22
3.3 频带宽度和选择性	23
3.4 串联谐振时的升压作用	27
3.5 并联谐振电路的特性	28
3.6 并联谐振电路的 Q 值	29
3.7 并联谐振电路与串联谐振电路的相似点	31
3.8 并联谐振电路的特殊情况——低 Q 值电路	33
3.9 利用并联谐振电路来作阻抗匹配	34
3.10 谐振电路中电容和电感的关系	35
四、耦合电路	37
4.1 利用共有元件的耦合电路	37
4.2 外电容耦合电路	38
4.3 磁感耦合电路	39
4.4 原电路与一金属屏蔽相接近时的情况	42

4.5 具有一个调谐回路的磁感耦合电路·····	44
4.6 双调谐磁感耦合电路·····	46
4.7 同时具有磁感和电容耦合的复耦合电路·····	50
五、直接放大式和超外差式收音机的选择性 ·····	52
5.1 直接放大式收音机·····	52
5.2 超外差式收音机·····	53
六、收音机里各种选择性电路的设计要点和改进	
选择性的方法 ·····	60
6.1 电子管收音机的天线线圈和中频变压器的设计要 点·····	61
6.2 晶体管收音机天线输入电路和中频变压器的设计 要点·····	66
6.3 陷波器·····	71
6.4 改进收音机选择性的方法·····	76
七、收音机的选择性指标及测量方法 ·····	78
7.1 收音机的选择性指标·····	78
7.2 测量方法·····	79

一、什么叫选择性？

无线电收音机从作用在接收天线上的许多不同频率的电磁波中，选择出它所调谐的某一频率电波的能力，扼要的讲也就是指收音机对各种不同频率信号的辨别能力，称为收音机的选择性。

我们知道在天空中存在着许多无线电台的不同频率的信号，其它还有各种干扰电波（如雷电、发电机、汽车点火系统及电扇、电吹风等所发出的高频波），其频率也各不相同。在这种情况下，如果我们的收音机的选择性很差，那么可能会有很多信号和干扰电波同时进入我们的收音机，发出嘈杂的声音，这样就无法收听好广播。当然在两种信号频率相差很大时，这种情况将不容易发生；但对于一些频率相近的信号，将可能在我们喇叭里同时发出声音来。因此有一些选择性不太好的收音机会同时收到两个或两个以上的广播电台的播音，而且杂音也比较大。如果附近有强力的电台，它甚至可以占满整个刻度盘，简直无法分隔开。因此收音机的选择性是一个很重要的指标。

这里特别指出：被接收来的无线电话信号的频率成份是十分复杂的，因为我们的声音频率很低（约自20赫~20千赫），不能在天空中直接作远距离传送，必须把声音频率加在发射机所发射的载波频率上（一般是很高的频率，从几十千赫到几十兆赫）。所以广播电台发射出的无线电信号是包括一个发射机的载波频率，以及用音频调制载频时所形成的边频。每一个音频都有一个对应的边频（上、下边频），音频音调越高，边频

频率与载波频率相差就越远。当广播语言、音乐时,由于各种不同频率的音频波同时作用于载波,就相应的形成了一连串的边频,假若用 f 来表示载波频率,用 F 来表示调制音频频率,那么边频的频率就是 $f+F$ (上边频)和 $f-F$ (下边频)。一般的无线电广播要求能传送约自最低的50赫到最高的10千赫这一段频带。所有这些频率在发射机中都必须同时发射出去,而收音机也要求尽可能完好地把它们接收下来。在收音机中经过检波以后,所有的边频又重新变为相应的声频。为了使广播不致失真,收音机就要能接收这一整个边频带,并使各个频率得到同等程度的放大。因此,对广播收音机来说,过高地追求选择性是不正确的,因为选择性过高时,它只能接收某一频率(或很窄的频带),而对其它频率则产生很大削弱,以致使还原的声音产生失真,显然这不是我们所希望的。

二、决定选择性的因素是什么?

收音机的选择性最根本的是由机内的谐振回路在起作用。那么什么叫谐振回路,以及它为什么有这样“选择”的本领呢?它的发生过程是怎样的呢?这是我们要详细地探讨的问题。

下面讨论一下几种不同负载的电路,当电源电压一定而频率变化时,流过电路的电流随频率变化的情形,以及电流、电压间的相位关系。

2.1 具有纯电阻 R 的电路 图1(a)是以纯电阻 R 作为负载的电路图,而图1(b)则为它的电压、电流随时间而变化的曲线图。

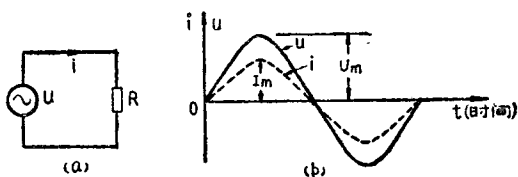


图 1

图中 u 为电压瞬时值， i 为电流瞬时值， I_m 和 U_m 分别为电流的最大值（峰值）和电压的最大值（峰值）。

为了研究方便起见，我们是用电流电压的瞬时值，以便于了解各瞬时的变化情况，但在实际的工程计算中总常用它们的有效值（ $I_{\text{有效}} = \frac{I_m}{1.41}$ ， $U_{\text{有效}} = \frac{U_m}{1.41}$ ），不过这对我们讨论的结果不会有影响的。

由图1(a)可知，流过电路的电流 i ，是与电路中的电阻 R 、电源电压 u 有关，且可根据欧姆定律算出 $i = \frac{u}{R}$ 。因为电源电压是交变的，所以在一个周期中，电压由零开始，随着时间的推移，电压逐渐升高至最大值（ U_m ），然后又逐渐降到零。在后半个周期，电压由零再向反方向（负值）慢慢变大到最大值，再由最大值变到零，如此周而复始，继续下去。如果我们依次用不同瞬时的电压值按欧姆定律即可求得不同瞬时的电流值，把这些相应的电压电流数值按一定的比例用图形表示出来，就可得到如图1(b)的曲线。从图中即可看出，电压为零时电流也为零，电压逐渐增高，而电流也逐渐增加，并同时达到最大值，所以我们说这时的电流与电压的关系是同相位的（简称同相）。

由上分析即可知电流数值的变化是依电压的变化而变化（假使电阻一定），即永远服从于欧姆定律，且这个关系不随电源频率而改变（更准确地说：由于趋肤效应的原因，频率增高，电路电流稍微有些减小），因此在 R 上所呈现的电位降 iR 也是不随频率改变而改变的。

2.2 具有纯电容 C 的电路 当把一只电容器接到具有直流电源的电路中，刚开始时会产生充电电流。这电流逐渐减小，待电容器充满电荷后，就不再有电流流通，这时等于接上一个无穷大的电阻（假定电容没有漏电损失），电路中没有一点电流。可是若把这只电容器接到具有交变电流电源的电路中，情况就完全不同了，见图2(a)。

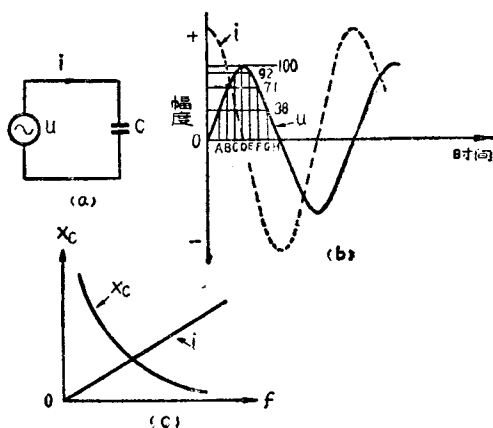


图 2

按照图2(a)的接法，把一只电容器 C 和交流电源相连接，假定交流电源的电压 u 按照图2(b)所示的正弦曲线变化，这时就会在电路里产生交流电流 i 。交流电源和电容器之间能够产生电流是因为电容器充电和放电的缘故。因为电容器的两极片

之间是绝缘的,电子不能够从电容器内部直接通过。要想了解交流电流进入电容器的情况,首先要懂得正弦曲线的特性,懂得交流电流按正弦曲线变化时的陡度变化特性。因为交流电源对电容器充电电流的大小不是由它瞬时的电压高、低来决定,而是由它瞬时电压变化的程度大小来决定的。对正弦曲线来说,当它接近零值时,上升或下降的速度最大、曲线的陡度最大;当它接近最大值时,陡度却接近零了。如果用解析几何来说明的话,曲线在某一点的陡度就是在那一点的切线的斜率。如果把一个正弦曲线的陡度变化也绘成一条曲线的话,这条曲线的外形也与正弦曲线完全一样,而相关的位置却向左移动了 $1/4$ 周期,也就是移前了 90° 。这样的曲线是可以用数学证明出来的,图2(b)里的虚线就是这样的曲线。交流电源对电容器充电电流的大小,就是按这样的曲线规律变化的。

我们还可以用具体数字来说明正弦曲线变化的情况。假设图2(b)所示的交流电压曲线 u 的最大值是100伏,我们把交流电的一个周期等分为16个区间,每个区间为 22.5° ,在图2(b)中用 $A、B、C、D、\dots$ 等字母来表明。按照正弦曲线的特性,在 $A、B、C、D、E、\dots$ 等点的交流电压分别为38伏、71伏、92伏、100伏、92伏 $\dots$ 。在第一区间 OA 时,交流瞬时电压由零上升为38伏,总的电压变化为38伏,因此有38伏的电压对电容器 C 进行充电。在第二区间 AB 时,交流电压由38伏上升至71伏,增加了33伏;由于电容器原来已经充电到具有38伏的电压了,所以只有净33伏电压对电容器充电,因此充电电流就比第一阶段少些。在第三区间 BC 时,交流电压由71伏上升至92伏,增加21伏,又比上一区间少了,因此对电容器充电的电流就更少。在第四区间 CD 时,电压由92伏增高至100伏,上升得更少了,对电容器充电的电流更加少。在第四区间末期的 D 点附近,交流电压已到

最大值100伏，不再变化了，因此也不能再给电容器 C 充电，充电电流降为零。超过了 D 点以后，交流电压由 100 伏开始下降，而电容器本身的充电电压仍维持在100伏那么高，比电源电压高，因此电流反向朝电源流去，在 DE 区间的充电电流变为负值，也就是电容器放电了。放电的速度随着电源电压的降低而逐渐加快，至电源瞬间电压为零值时，放电速度最快，电流最大，达到负向的最大值。这时电容器里所存的电荷也放尽了。然后随着交流电源的转变，又开始对电容器进行负方向的充电。在交流电源的负半周里，电容器的充、放电情况和正半周时一样，只是方向倒转而已。如果我们把交流电的一个周期细分为更多等分的话，就更能够看出电容器充、放电流变化的情形，完全是和图 2(b) 里的曲线 i （虚线所绘）所示一样。

由此可知，所谓交流电流“通过”电容器的现象，只不过是充电和放电的作用，使电流从电容器里流进、流出而已，并不是真正地通过了电容器。但是从电容器以外的电路里电流流动的情况看来，却如同交流电流是从电容器里通过的现象一样，所以习惯上常常说成是交流电能够“通过”电容器。但有一个极其重要的现象必须指出，即在电容器里，电流的变化比电压的变化早 $1/4$ 周期，也就是 90° ，这从图 2(b) 里两条曲线的相互位置可以很明显地看出来。在电工学里我们把这个时间关系叫做“相位”，因此说在电容器里电流的相位比电压的相位早 90° 或叫做“超前” 90° ，两者之间具有相位的差异。对于纯电阻电路来说，电压和电流之间是没有相位差的，也就是“同相位”的。

电容器里所贮存的电荷多少与它的容电量成正比，也与外加电压的大小成正比。由于电流就是单位时间内流过的电荷

量，因此电流也与电容器的容电量、外加电压成正比。又由于同量的电荷如果在单位时间里流进、流出电容器的次数愈多，则总的电荷流动量愈大，因此电流也与交流电的频率（即每秒的交变次数）成正比。看到了在电容器里电流与外加电压成正比这一关系，使我们联想到电流在流经电阻时也具有这样的关系（欧姆定律），一定是电容器与电阻有些相象的地方。那就是对于一定的外加电压来说，电容器也同样具有限制电流的作用，而且这种限制电流的作用与电容器的容量、交流频率有关。从而我们不难推出，电流与电容、频率和电压关系的表达式：即

$$i = KfCu。$$

式中 K 为常数，根据计算 $K = 2\pi$ ，所以可写成：

$$i = 2\pi fCu = \frac{u}{\left(\frac{1}{2\pi fC}\right)}$$

回顾欧姆定律 $i = \frac{u}{R}$ ，就可知上式中的 $\frac{1}{2\pi fC}$ 相当于电阻 R 的意义，即有“阻力”之意。所以电容也随 C 和 f 的不同对电流具有阻力，这里我们称电容对电流的阻力为容抗，以 X_c 表示，即

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}。$$

此式说明电源频率愈高，电容器所呈现的容抗愈小，反之则大。

例如当电源频率 $f = 50$ 赫(周/秒)，电容的容量 $C = 1$ 微法 $= 10^{-6}$ 法拉时，则得：

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 10^{-6}} \approx 32000 \text{ 欧} \approx 3.2 \text{ 千欧}。$$

但当电源频率 $f = 1$ 兆赫 $= 10^6$ 赫, $C = 10^{-6}$ 法拉时,

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 10^6 \times 10^{-6}} \approx 0.16 \text{ 欧}。$$

显然, 如果 C 的值不变, 变动 f , 就可以得到电流 i 、容抗 X_C 与频率 f 的关系图形如图 2(c)。

到现在为止, 大家已能看到, 具有电容的电路, 对频率是有选择性的。不过这样的选择能力远不能满足要求, 它只能够非常粗略地把高频和低频分开, 而且只有当这些频率相差很大, 才可能分隔开来。在无线电电路中常利用它作为旁路电容, 或隔直流之用。

2.3 具有纯电感 L 的电路 一般的电感是由一根导线绕成连续的线圈而构成的。一般高频电路里所用的电感是空心的。

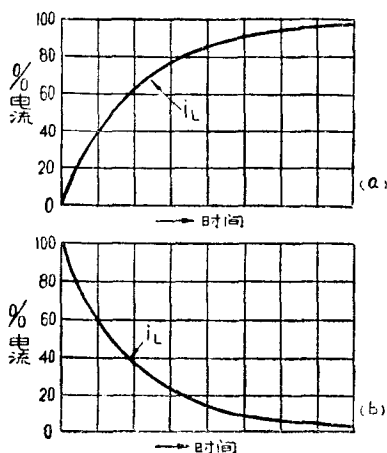


图 3

如果在线圈中心加入具有高导磁率的高频铁粉心或磁性瓷心的话, 可以使电感量增加很多。电感的特性是当有电流从它里面通过时, 就会产生磁场, 而且具有保持磁场不变化的倾向, 很像力学上所说的惯性。当有一个直流电压加在电感上时, 电感的作用是不让它立刻产生电流, 只能逐渐地上升, 延迟一定时间以后, 才能够

到达稳定状态。这时电流变化的情形如图3(a)的曲线所示，最后到达的电流值由电感本身的直流电阻来决定。待电流增大到稳定状态后，如果突然把电源短路的话，电感里的电流也不能立即消失，而是延后一些时间，逐渐地减弱至零。电流衰减的曲线见图3(b)，它与图3(a)的电流上升曲线的形状恰好相反。

如果把交流电压加在电感线圈上的话，如图4(a)的电路，电流也不是紧随着交流电压的交替升降而变化的，而是比电压延迟 $\frac{1}{4}$ 周期。电流变化的曲线见图4(b)虚线所示。

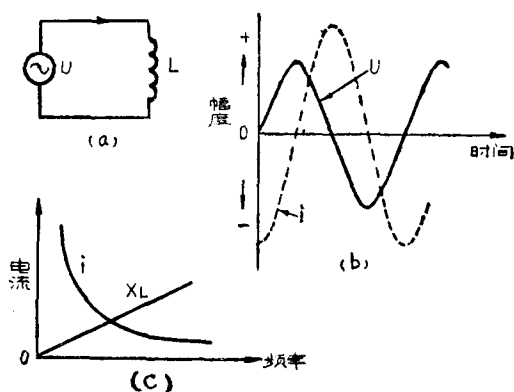


图 4

根据电磁感应原理我们可以知道：线圈电感量愈大，则抗拒电源电压增加或减小的本领愈强，从而流过电路中的电流就愈小；另一方面，在同一时间内这种作用过程的次数愈多（即电源频率愈高），电路中的电流也就更小。

这一结果很明显地告诉我们：在具有电感的电路里，电感量的大小，电源频率的高低会影响电路中电流的数值，而且显然和电感量的大小成反比，和频率(f)的高低成反比，这恰恰与

具有电容的电路情况相反。从而我们也不难推出电流与电感、频率、电压关系的表达式，即

$$I = \frac{U}{2\pi fL}$$

式中 $2\pi fL$ 相当于电阻 R 的意义，所以电感也随 L 和 f 值的不同对电流具有不同的阻力。这里我们称电感对电流的阻力为感抗（以 X_L 表示之）。故得：

$$X_L = 2\pi fL$$

此式即说明电源频率愈高，电感所呈现的感抗就愈大，反之则小。

例如：当电源频率 $f = 50$ 赫，电感量 $= 1$ 毫亨 $= 10^{-3}$ 亨时，则得：

$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-3} \approx 0.31$ 欧姆，但当电源频率 $f = 1$ 兆赫， $L = 10^{-8}$ 亨时，

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 10^6 \times 10^{-8} \approx 6.3 \text{千欧}。$$

显然如果使 L 为一定，变动 f ，就可以得到 I 、 X_L 与 f 的关系图形，见图4(c)。此图形恰恰和图2(c)的图形相同。用不着更多的叙述和证明我们可知道，具有纯电感 L 的电路也和具有纯电容 C 的电路一样，也是没有很好的频率选择性。正因为它与电容的作用原理相反，所以它的用处也刚好相反，它只能在无线电电路中，作为高频或低频的扼流圈（作低频扼流圈时，为了增加电感，常在线圈内装入导磁系数很高的铁心），以阻止较高的一段频率的或交流的电流通过，而让较低的一段频率或直流通过。它对直流来说，就完全没有阻力（指理想的纯电感的的情况，事实上是不存在有纯电感的，所以要考虑导线的直流阻力），等于短路。

通过上面对具有电阻、电容或电感的电路的研究，可以比

较清楚地知道：第一种电路对频率毫无选择性，第二、三种电路，虽有一些对频率的选择性，但性能很差，不能满足一般选择电路中的要求。理想的选择电路是能使在某一电源频率 f 时电路的电流最大（或最小），而稍微离开这一频率（低于或高于）时，电路的电流就急剧减小（或增加）。具有这样一种性能的电路才能获得优良的选择性，这情况可用图5(a)或(b)的 $I-f$ 曲线关系来表示。由图可知曲线愈尖锐，则选择性愈好，反之，则愈差。

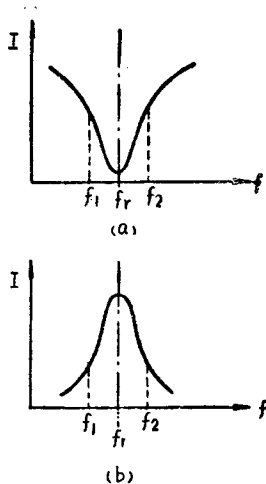


图 5

2.4 具有良好选择性的电路——电容、电感组合电路 是否有这样一种电路能满足上述要求呢？在没有研究这种电路以前，我们不妨再回忆一下具有电容和具有电感这两种电路。这两种电路对频率的反应刚好是相反的，前者是随频率增加而阻力减小，而后者则是随频率增加而阻力加大；一个是电流超前电压 90° ，而另一个则是电流滞后电压 90° 。所以这两者的电流正好相差 $\frac{1}{2}$ 周期，即相差 180° 。这样看来，我们完全可以这样设想：如果能把这两种电路组合在一起，可能获得上述特性的电路。从物理观点来看，这两种电路组合在一起时，只有如此一个频率，才是电路中总电流最小（或最大）的频率，而稍微离开这一频率，这两种电路的电流均按相反方向变化着，电路的组合电流就增加（或减小）。这可用图6来表示。图6(a)是表示在这个频率时电感所呈现出来的阻力正好与电容所呈现出来的阻力相同，所以这时通过电感的电流 I_L 的大小正

好与通过电容的电流 I_C 的大小相同。但它们相互相差 180° ，即正负方向相反，如果电路安排成图6(c)那样，结果电路中的总电流 I_0 就等于零。如果通过电路的电流的频率变了（例如变低了），那么电感所呈现出的感抗就变小， I_L 就变大；而电容的容抗却变大， I_C 就减小，这时 I_L 与 I_C 的方向虽仍相反，但大小就不一样了，也就是说 I_0 将不等于零了，这情况正如图6(b)所示。

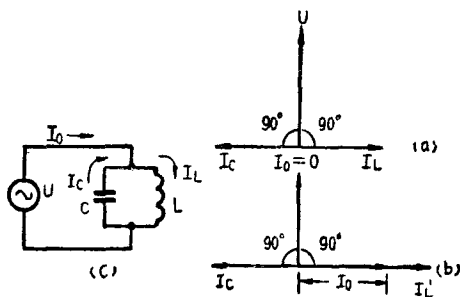


图 6

用数学的方法，只要联立解出下列两式 $I = 2\pi fCU$ 和 $I = \frac{U}{2\pi fL}$ 即可求得这样一个共同频率 f_r 。

$$2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} = 0$$

$$\text{即 } f_r = f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}。$$

频率 f_r 就是对这两种电路能够具有相等阻抗（或电流）的一个频率，而且这个阻抗（或电流）在组合起来的电路中，它是最大（或最小）值。这里，我们称这样的一个频率为谐振频率（或共振频率）。在无线电技术中，就是运用了这一个可贵的

原理，使一些无线电设备能够具有很好的选择性。

现在让我们实际来看看电容和电感组合成的电路到底有怎样的性能。在图7(a)里把电容 C 和电感 L 接成串联。在这个电

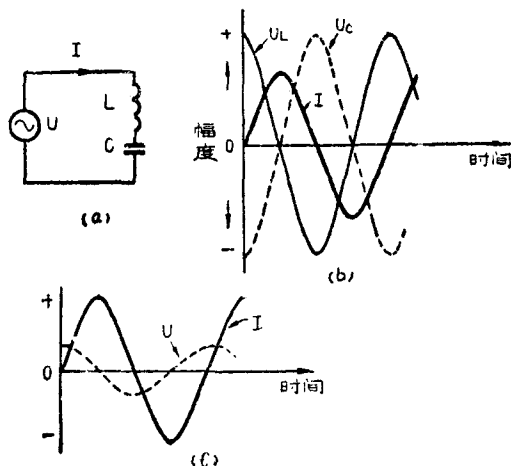


图 7

路里既有容抗，又有感抗，而且电路里电流只有一条路可走，没有其它的路径，因此经过整个电路的电流都是一样的。可是在电感和电容上的电压降与电流的相位则不同，它们比电流 I 导前或滞后 90° 。不过电压降的大小可以用欧姆定律来计算。在电容 C 上的电压降是：

$$U_C = IX_C = \frac{I}{2\pi fC}。$$

在这里我们对电流都采用有效值。我们假设在图7里，在某一频率下，其感抗和容抗不相等且 $X_L > X_C$ ，因此跨在电感和电容上的电压降 U_L 和 U_C 也不相等。在图7(b)里分别用细线、虚线和粗线来绘出 U_L 、 U_C 和 I 的曲线。从三条曲线的相互位置