

电 工 学

中 册

广东师范学院物理系编

人民教育出版社

电 工 学

中 册

广东师范学院物理系编

人 民 教 育 出 版 社

电 工 学

中 册

广东师范学院物理系编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

1976年4月第1版 1977年1月第1次印刷

书号 15012·016 定价 1.35 元

关于本书所用汉语拼音字母下标的说明

本书所用下标, 除少数国际上通用者外, 一律采用汉语拼音字母, 现列表如下:

下 标	意 义	举 例	下 标	意 义	举 例
<i>c</i>	磁	P_c 通过磁场作媒介传递的功率	<i>g</i>	气隙	B_g 气隙磁通密度
<i>c</i>	齿	B_c 齿磁通密度	<i>r</i>	热态	R_r 热态电阻
<i>cz</i>	磁滞	P_{cz} 磁滞损耗功率	<i>r</i>	日	η_r 日效率
<i>d</i>	电	P_d 通过电联系直接传递的功率	<i>sc</i>	输出	P_{sc} 输出功率
<i>d</i>	导线	S_d 导线截面积	<i>sr</i>	输入	P_{sr} 输入功率
<i>dc</i>	电磁	P_{dc} 电磁功率	<i>t</i>	填充	k_t 填充系数
<i>dl</i>	短路	U_{dl} 短路电压	<i>w</i>	电网	I_w 电网电流
<i>dx</i>	等效	Z_{dx} 等效阻抗	<i>wg</i>	无功	I_{wg} 无功电流
<i>e</i>	额定	U_e 额定电压	<i>wl</i>	涡流	P_{wl} 涡流损耗功率
<i>e</i>	轭	B_e 轭磁通密度	<i>x</i>	线	U_x 线电压
<i>f</i>	反抗	M_f 反抗转矩	<i>x</i>	谐振	f_x 谐振频率
<i>j</i>	机械	P_j 机械损耗功率	<i>xa</i>	相	U_{xa} 相电压
<i>l</i>	漏	L_l 漏电感	<i>y</i>	永久	Φ_y 永久磁铁磁通
<i>lj</i>	临界	n_{lj} 临界转速	<i>yg</i>	有功	I_{yg} 有功电流
<i>pj</i>	平均	P_{pj} 平均功率	<i>z</i>	杂散	P_z 杂散损耗功率
			<i>zh</i>	制动	M_{zh} 制动力矩

目 录

关于本书所用汉语拼音字母下标的说明

第五章 交流电路	503
§ 5-1 交流电的旋转矢量表示法	503
§ 5-2 分别具有电阻、电感或电容的交流电路	506
§ 5-3 电阻、电感、电容的串联和并联的交流电路	527
§ 5-4 提高功率因数的意义和方法	557
§ 5-5 交流电功率、电功、功率因数和频率的测量	561
实验九 单相交流电功率和电功的测量	580
§ 5-6 正弦交流电的复数表示法	583
§ 5-7 交流电路的欧姆定律和基尔霍夫定律	591
§ 5-8 三相交流电的产生和连接	601
实验十 三相电路的连接法	616
§ 5-9 三相电功率的计算和测量	618
§ 5-10 交流电的整流和谐波	626
第六章 变压器	643
§ 6-1 概述	643
§ 6-2 变压器的工作原理	647
§ 6-3 变压器的等值电路	665
§ 6-4 变压器的功率损耗和效率	668
§ 6-5 小型电源变压器的计算	674
附录七 国产漆包铜线规格表	682
§ 6-6 三相变压器	686
实验十一 变压器绕组始、末端和联结组别的判别	701
§ 6-7 变压器的并联运行	706
§ 6-8 自耦变压器	710
§ 6-9 仪用互感器 钳形电流表	714
§ 6-10 焊接变压器	719

第七章 异步电动机	725
§ 7-1 异步电动机的构造	726
§ 7-2 异步电动机的工作原理	729
§ 7-3 三相异步电动机的定子绕组	740
§ 7-4 异步电动机的电路分析	762
§ 7-5 异步电动机的转矩	775
§ 7-6 异步电动机的使用常识	787
实验十二 异步电动机的使用	799
§ 7-7 单相异步电动机	802
§ 7-8 异步电动机常见故障的分析和检修方法	814
附录八 兆欧表的原理和使用方法	825
§ 7-9 三相异步电动机旧定子铁心重绕线圈的计算	829
第五章习题	843
第六章习题	847
第七章习题	848
附录九	850
一、J 系列异步电动机技术数据	850
二、JO 系列异步电动机技术数据	856
三、J2 系列异步电动机技术数据	862
四、JO2 系列异步电动机技术数据	866
开门办学参考资料之一 中小型异步电动机的测试	874
开门办学参考资料之二 24 槽三相 4 级单层链式绕组穿线法	890

第五章 交流电路

内 容 提 要

交流电路是电工、无线电的电路基础。交流电分单相与三相交流电两类。本章主要介绍以下四个方面：

1. 交流电的表示法。除了第四章中介绍过的用三角函数表示法以外，本章着重介绍旋转矢量法，并对复数法作一简要介绍；

2. 各种交流电路的规律。本章以日光灯电路为线索，重点介绍分别具有 R 、 L 、 C 的三种基本电路，以及由它们组成的串、并联交流电路，并指出在交流电路中并联电容器对提高功率因数的重要意义，然后介绍交流电路的基尔霍夫定律、交流电路的串联谐振和并联谐振，最后介绍交流电的整流和谐波；

3. 三相电的产生和电路连接；

4. 电磁测量。重点介绍单相电功和电功率的测量，然后介绍功率因数和频率的测量，对三相电功率的计算和测量作一般的介绍。

§ 5-1 交流电的旋转矢量表示法

在第四章我们对单相交流电的产生和三角函数表示法已经作了介绍。并在 § 4-2 所举的例中，用正弦电动势的加减法处理交

流电源相串联的问题。由于在那里所举的例子比较特殊，所以进行三角运算也比较容易。当遇到复杂问题时，进行三角运算就比较麻烦。前面曾经指出，正弦量相加减时，其结果仍然是正弦量，只不过它的最大值和初位相与原来不同罢了。这就促使人们去寻找新的方法，达到不经过繁锁的三角运算而能求出总电动势的最大值和初位相。应用旋转矢量表示正弦量，就能实现这个目的。

什么是旋转矢量呢？如图 5-1-1 所示，从原点出发作一矢量 $\vec{E}_m$ (在字母上加一划表示旋转矢量，以示它和用黑体表示的一般空

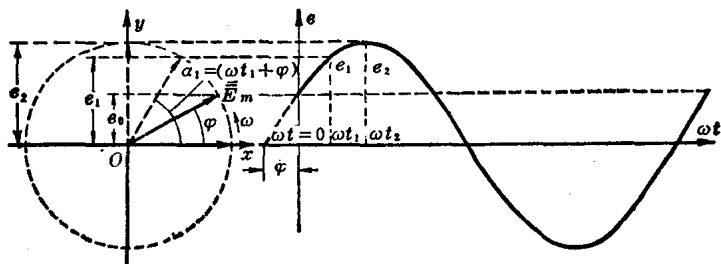


图 5-1-1 用旋转矢量表示正弦量

间矢量相区别)，令它的长度等于正弦量的最大值 E_m ，与水平轴的夹角等于正弦量的初位相角 φ ，并以等于正弦量的角频率的角速度 ω 反时针旋转，则在任一瞬间，该矢量在纵轴上的投影就等于该正弦量的瞬时值 $E_m \sin(\omega t + \varphi)$ 。该矢量就叫做旋转矢量。因此，这一旋转矢量可以代替表示式 $e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$ 。

旋转矢量可以完整地表示任何一个正弦量（即它不仅能表示出一个正弦量的三要素，且能表示任意瞬间的瞬时值），但是必须注意，旋转矢量法只是处理问题的一种方法，旋转矢量不同于在空间有一定方向的空间矢量（如力、电场强度等）。因为，这矢量是旋转的，矢量的位置与时间有关。所以，可以说旋转矢量是时间矢量，它与空间矢量在本质上是不同的。

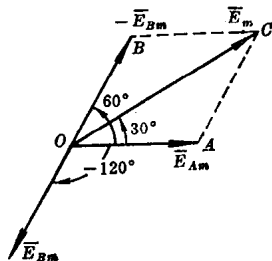
用旋转矢量表示正弦量后，怎样进行正弦量的加减运算呢？下

面应用 §4-2 所举的关于交流电源相串联的例子来说明这个问题。

如图 5-1-2 所示, 作两个旋转矢量分别表示正弦量

$$e_A = E_{m0} \sin \omega t \text{ 和 } e_B = E_{m0} \sin (\omega t - 120^\circ)$$

其中一个矢量 $\vec{E}_{Am}$ 的长度等于 E_{m0} , 与 αx 轴一致 (因 $\varphi = 0$), 另一个矢量 $\vec{E}_{Bm}$ 的长度也等于 E_{m0} , 与 αx 轴的夹角是 -120° , 因为这两个旋转矢量均以角速度 ω 沿逆时针方向转动, 所以这两个矢量是相对静止的。



现在我们作这样的探讨: 应用合成 图 5-1-2 旋转矢量的合成空间矢量的平行四边形法则求旋转矢量 $\vec{E}_{Am}$ 和 $\vec{E}_{Bm}$ 的差, 看看合成旋转矢量的长度和它与 αx 轴的夹角有什么意义。

按照平行四边形法则, 拟求矢量 $\vec{E}_m = \vec{E}_{Am} - \vec{E}_{Bm}$, 只要求出矢量 $\vec{E}_{Am}$ 与 $-\vec{E}_{Bm}$ 的和就行了。从图 5-1-2 中容易看出, 由于 $\angle AOB = 60^\circ$, 所以 $\vec{E}_m$ 与 αx 轴的夹角等于 30° , $\vec{E}_m$ 的长度为:

$$E_m = 2E_{m0} \cos 30^\circ = \sqrt{3} E_{m0} \quad (5-1-1)$$

把这个结果与在 §4-2 中用三角函数进行计算时所得的式 (4-2-26) 比较一下, 我们得出这样的结论: 合成矢量 $\vec{E}_m$ 的长度就是总电动势的幅值, 而 $\vec{E}_m$ 与 αx 轴的夹角就是合成电动势的初位相。

这个例子告诉我们, 要进行正弦量的加减运算时, 可以先作出各正弦量的旋转矢量, 然后按照平行四边形法则求出合成旋转矢量, 这合成旋转矢量的长度就是总的正弦量的幅值, 合成旋转矢量与 αx 轴的夹角就是总正弦量的初位相。

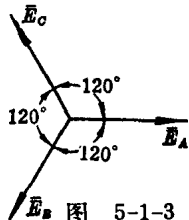
在实际应用中, 还需要注意以下两点:

(1) 因为通常是用有效值来表示交流电大小的, 由于正弦交流电的有效值和最大值只差 $\sqrt{2}$ 倍, 所以以后画矢量图时常常用

有效值表示矢量的长度。这样并不影响各矢量相互间的关系,但是这时矢量在纵轴上的投影就不再等于瞬时值了。在用有效值时,对应于正弦量 e_A 、 e_B 的旋转矢量记作 $\bar{E}_A$ 、 $\bar{E}_B$ 。

(2) 研究各正弦量的相位关系时,初相角的意义是不大的,重要的是各正弦量彼此间的相位差。所以在作矢量图时,我们可以把其中一个矢量画在任意的位置(一般选用水平或垂直位置),其余矢量的位置则按与此矢量的相位差而定出。

如图 5-1-3 所示的三个正弦电动势的矢量 $\bar{E}_A$ 、 $\bar{E}_B$ 、 $\bar{E}_C$ 均表示有效值,它们的相位互差 120° 。在图中我们把 $\bar{E}_A$ 选画在水平位置作为基准,则 $\bar{E}_B$ 和 $\bar{E}_C$ 根据相位差($\bar{E}_B$ 比 $\bar{E}_A$ 落后 120° , $\bar{E}_C$ 比 $\bar{E}_B$ 又落后 120°) 即可画出。这样的图形,我们称为矢量图。



最后,应该指出,用旋转矢量来表示正弦量时,各正弦量的角频率应当相同,这样,各旋转矢量是相对静止的。对于频率不同的正弦量,不能用旋转矢量图来表示。

思 考 题

1. 怎样用旋转矢量表示一个正弦量?
2. 怎样应用旋转矢量进行正弦量的加减运算?

§ 5-2 分别具有电阻、电感或电容的交流电路

交流电路是由交变电源、电阻、电感、电容等元件以及把它们连接成回路的导线组成的。由于交流电路中的电压和电流都是随时间变化的,因而电路中电流和电压的关系及能量(或功率)的分配与转换情况,比之直流电路都较为复杂。为此,在论述交流电路

之前我们首先要明确两个问题：

(1) 在第一章我们介绍了直流电路的规律，这些规律在交流电路中能否应用？在什么条件下才能应用？我们知道，产生电流的外因是导体内有电场存在，而电场是以波的形式传到导体上来的，从图 4-10-8 可知，在电磁波的传播中，电场强度 E 是随距离 r 及时间 t 而变化的，因此在某一时刻，线路中各处的 E 的相位是不同的，因而各处的电流的大小甚至方向也不相同，在这种情况下，直流电的规律不能应用到交流电路中来（因为单回路的直流电路中，电流的大小和方向都是处处相同的）。但是当电磁波的波长 λ 很长，比我们所研究的电路的最大距离 Δr 大得多（ $\lambda \gg \Delta r$ ）时，则可以看作在 Δr 范围内各处 E 的相位是几乎不变的（图 5-2-1），这时在同一时刻，电路各处的电流的大小和方向都几乎是相同的，因此，在同一瞬时，直流电的规律还可以应用到交流电路中来（亦即交流电路中的电流、电压、功率等瞬时值均满足直流电的规律）。下面我们举一个具体例子

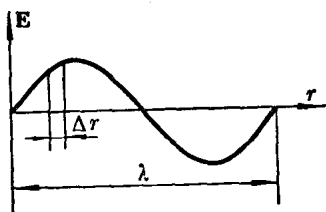


图 5-2-1

来作比较，设电路最大距离为 1000 米，交流电的频率为 50 赫，此交变电流所激发的电磁场的波长为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 \text{ 米} = 6000 \text{ 公里}$$

由此可见，在 $f = 50\text{Hz}$ 时， $\lambda \gg \Delta r$ 的条件得到满足。但如果改用 $f = 10\text{MHz}$ 的高频电流，与 f 对应的波长为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^7} = 30 \text{ 米}$$

此时 $\lambda < \Delta r$ ，直流电的规律失效。

综上所述，凡是满足 $\lambda \gg \Delta r$ 的交流电流称为似稳电流（近似

于稳定电流的意思), $\lambda \gg \Delta r$ 称为似稳条件。这是我们在本章以后讨论交流电路(适于电工范围内)的前提。根据 $\lambda = \frac{c}{f} = cT$, 似稳条件又可改写为:

$$cT \gg \Delta r$$

或

$$T \gg \frac{\Delta r}{c}$$

上式表明, 电磁场从电路的一端传到另一端时所需的时间 $\frac{\Delta r}{c}$ 比电流变化的周期 T 小得多时, 换句话说, 当电流变化充分缓慢(频率很低)时, 才能看作是似稳电流。

(2) 任何交流电路必具有电阻 R 、电感 L 及电容 C , 即使是最简单的交流输电线路亦不例外; 输电线路中必有电阻, 而两根导线之间隔了绝缘物质相当于一个电容器; 电路中通过交流电时必在导线周围产生交变的磁场, 也就必然存在着电感。复杂的电路更是如此。但是, 在一个电路中这三个参数不是任何时候, 任何情况下都是同等重要的, 毛主席教导我们: “任何过程如果有多数矛盾存在的话, 其中必定有一种是主要的, 起着领导的、决定的作用, 其他则处于次要和服从的地位”。例如电灯电路可以认为电阻 R 是主要的。既然如此, 我们可以抓住主要矛盾, 按照从简单到复杂, 由特殊到一般的认识规律, 先研究仅含电阻、仅含电感或仅含电容的基本电路(分别称为纯电阻、纯电感或纯电容电路), 然后再研究比较复杂的电路, 例如包含电阻、电感与电容三个参数的日光灯电路等。

一、纯电阻电路

最简单的交流电路是纯电阻电路。例如白炽灯、电炉、电烙铁等的电路都可看作纯电阻电路, 如图 5-2-2 所示(图中的箭头表示各个量的正方向)

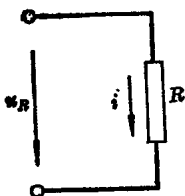


图 5-2-2 纯电阻电路

向, 以下类同不再特别说明)。当电路接通时, 电阻 R 在交流电压

$$u_R = U_m \sin \omega t \quad (5-2-1)$$

的作用下, 将通过交变电流 i , 则在每一瞬时电流和电压的关系应满足欧姆定律, 故有

$$i = \frac{u_R}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (5-2-2)$$

比较式(5-2-1)和式(5-2-2)可知, 流过电阻负载的电流 i 与加在电阻两端的电压都按正弦规律随时间变化, 且位相相同, 其波形图和矢量图如图 5-2-3 所示。由式(5-2-2)得 I_m 与 U_m 的关系为

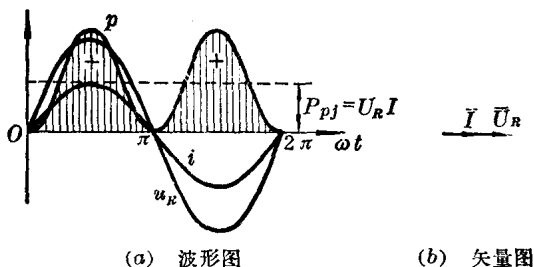


图 5-2-3 纯电阻电路电流与电压的关系

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

即

$$U_m = I_m R$$

两边各除以 $\sqrt{2}$, 把最大值化为有效值, 得

$$U_R = IR \quad (5-2-3)$$

上式与直流电路的欧姆定律形式上是一致的, 不同的只是上式中的 U_R 与 I 都是有效值而已。

下面再计算纯电阻电路的功率, 由于交流电路的电压及电流均随时间而变, 故功率也随时间而变, 在任意瞬间, 电压瞬时值 u 与电流瞬时值 i 的乘积, 称为瞬时功率, 用小写字母 p 代表, 即

$$p = p_R = u_R i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t$$

$$= \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) = U_R I (1 - \cos 2\omega t) \quad (5-2-4)$$

由上式可见, p 是由两部分组成: 第一部分是常数 $U_R I$ (图 5-2-3a 中的虚线所示), 第二部分是幅值为 $U_R I$ 并以 2ω 的角频率随时间而变化的交变量 $U_R I \cos 2\omega t$ 。 p 随时间而变化的曲线亦表示于图 5-2-3(a) 中。如果交流电的频率为 50 周/秒, 则 p 在一秒内将变化 $2 \times 50 = 100$ 次。

由于在纯电阻电路中, u_R 与 i 同相, 它们同时为正或同时为负, 所以瞬时功率总是正值, 即 $p \geq 0$ 。瞬时功率为正, 这表示外电路从电源取用能量。在这里就是电阻从电源取用能量而转换为热能。在一周期内, 转换成的热能为

$$W = \int_0^T p dt$$

即相当于图中被功率曲线与横轴所包的那块面积 (图 5-2-3a 中画斜线的部分, 此时需把横坐标转换为时间 t)。

通常所说电路中的功率并不是指瞬时功率而是指瞬时功率在一周期内的平均值, 此平均值称为平均功率 (用 P_{pj} 表示), 习惯上常将“平均”二字省去, 直接称为功率 (用 P 表示), 例如我们说某电灯泡的功率是 40 瓦即表示该灯泡所消耗的平均功率为 40 瓦的意思。

纯电阻电路中平均功率为

$$P_R = \frac{1}{T} \int_0^T p_R dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_R I (1 - \cos 2\omega t) dt = U_R I = I^2 R = \frac{U_R^2}{R} \quad (5-2-5)$$

上式中各量的关系与直流电路中功率的表示式完全一致, 不同的只是功率、电压、电流等均用有效值表示。

例 1 有一 220 伏、200 瓦的灯泡, 接在交流电源上, 电源电压随时间变化的规律为 $u = 220\sqrt{2} \sin 314t$ 伏, 求电源的频率和通

过灯泡的电流的有效值以及灯泡的热态电阻。

解 已知电源电压的瞬时值

$$u = 220\sqrt{2} \sin 314t$$

即 u 随时间作正弦变化, 对照 $u = U_m \sin \omega t$, 可知 $U_m = 220\sqrt{2}$ 伏
 $\omega = 2\pi f = 314$, 因此电源变化的频率为

$$f = \frac{314}{2\pi} = 50 \text{ 周/秒}$$

电压的有效值应为 $U_R = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 220$ 伏, 故电流的有效值为

$$I = \frac{P}{U_R} = \frac{200}{220} = 0.909 \text{ 安}$$

$$\text{灯泡电阻 } R = \frac{U_R}{I} = \frac{220}{0.909} = 242 \text{ 欧}$$

综上所述, 在纯电阻电路中有如下几点规律:

- (1) 电流与电压同相, 它们的有效值满足欧姆定律 $U_R = IR$;
- (2) 瞬时功率随时间变化规律如图 5-2-3(a) 所示, 频率加倍且 $P \geq 0$, 表示负载从电源取得能量转变为热能;

$$(3) \text{ 平均功率 } P = U_R I = I^2 R = \frac{U_R^2}{R}.$$

二、纯电感电路

一个忽略了电阻且不带铁心的线圈和交流电源组成的电路称为纯电感电路, 如图 5-2-4 所示。当然, 完全的纯是没有的, 任何线圈都有电阻, 但如果线圈的电感比之其电阻对交流电流的影响要大得多, 就可以把线圈近似地看成纯电感负载。我们分析纯电感电路的目的是要弄清电路中电流与电压之间的关系 (包括数量关系及相

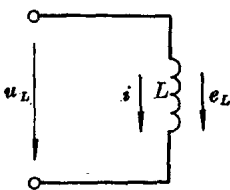


图 5-2-4 纯电感电路

位关系), 并讨论该电路中能量的转换和功率问题。

在 §4-5 中我们曾经对一个带铁心的线圈进行分析, 线圈在交变电压作用下激发了交变电流, 交变电流激励了交变磁通, 因而在线圈中又产生了自感电动势, 自感电动势又反过来阻碍电流的变化。这就是一个电阻很小的线圈对交流电有限流作用的原因所在, 当忽略线圈的电阻时, 自感电动势在每一瞬时都应与外加电压等值反向, 即

$$u_L = -e_L \quad (5-2-6)$$

在不带铁心的线圈中, 上面的分析仍然成立, 但由于线圈中的磁介质不是铁磁物质, 其磁导率 μ 是常数, 自感系数 L 是恒定的, 问题可以大大简化, 根据 $\Phi = Li$ 得

$$e_L = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{di}{dt} \quad (5-2-7)$$

设电流

$$i = I_m \sin \omega t \quad (5-2-8)$$

代入上式则有

$$u_L = LI_m \frac{d(\sin \omega t)}{dt} = I_m \omega L \cos \omega t = I_m \omega L \sin(\omega t + 90^\circ)$$

可见 u_L 也是一个正弦量, 令其幅值为 U_m , 则有

$$U_m = I_m \omega L \quad (5-2-9)$$

$$u_L = U_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (5-2-10)$$

下面我们来讨论所得到的结果:

1. 电压与电流的数量关系

根据式(5-2-9), 两边除以 $\sqrt{2}$, 变为有效值, 则有

$$U_L = I \omega L \quad (5-2-11)$$

此式表示 U_L 与 I 有线性关系, 与纯电阻电路的欧姆定律 $U_R = IR$ 相比较, 量 ωL 有类似于电阻 R 的作用, 当电压一定时, ωL 愈大, 则电流愈小, 可见量 ωL 具有阻止电流通过的性质, 所以称为电感的

电抗, 简称感抗, 用 X_L 代表, 即

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (5-2-12)$$

式中, 感抗 X_L 的单位是欧姆, f 为电源频率, 单位是周/秒, L 为线圈的电感, 单位为亨利。

感抗 X_L 与电感 L 、频率 f 成正比, 这是因为线圈的电感愈大或通过的电流的频率愈高 $\left(\frac{di}{dt}\right)$ 大, 则线圈中的自感电动势也就愈大, 而自感电动势对电流的阻力就是通过感抗 X_L 反映出来的。因此, 电感线圈对高频电流的阻力很大, 而对直流电($f=0$)则可看作短路($X_L=0$)。

式(5-2-11)中, 用 X_L 代替 ωL 即得

$$U_L = IX_L \quad (5-2-13)$$

此式即为纯电感电路中的欧姆定律。

例2 把一感抗为 0.1 毫亨的纯电感线圈分别接在电压相同($U=0.1V$)但频率不同($f_1=1000Hz$, $f_2=10MHz$)的交流电源上, 求两种情况下线圈通过的电流是多少?

解 (1) 对低频电源 $f_1=1000Hz$, 线圈的感抗为

$$X_1 = \omega_1 L = 2\pi f_1 L = 2 \times 3.14 \times 1000 \times 0.1 \times 10^{-3} = 0.628\Omega$$

所以

$$I_1 = \frac{U}{X_1} = \frac{0.1}{0.628} = 0.16 \text{ A} = 160 \text{ mA}$$

(2) 对高频电源, $f_2=10^7Hz$, 线圈的感抗为

$$X_2 = \omega_2 L = 2\pi f_2 L = 2 \times 3.14 \times 10^7 \times 0.1 \times 10^{-3} = 6280\Omega$$

所以

$$I_2 = \frac{U}{X_2} = \frac{0.1}{6280} = 16 \times 10^{-6} \text{ A} = 16 \mu\text{A}$$

由此可见, 同样的电感线圈, 对低频交流电的阻力很小, 可以通过较大的电流, 而对高频交流电, 则阻力很大, 通过的电流就很