

高等职业技术教育教材

电工技术基础

◎ 王运哲 / 主编

(电 类 专 业 通 用)



东南大学出版社

前 言

随着教育改革的深入和现代化建设的需要,高等职业教育得到了迅速发展。为了适应新形势,教材的改革和建设显得十分重要和非常迫切。

高等职业教育虽属大专层次,但其教材建设,不应与普通高校大专完全相同,应显示自身的理论规律与技术特色,其深度、广度、难度的分寸掌握需要认真研究和深入讨论(相应的专业课也理应如此)。高等职业教育的教材建设,应看成是一项新的系统工程!

我们参照了高等学校的电路、电路分析基础等教材和自己的教学实践,编写了这本高等职业技术教育电类专业通用的、相当于《电工原理》的技术基础课《电工技术基础》,以适应大专水平的教学需要。

与传统意义上的《电工原理》或《电工基础》相比,本书编写的指导思想更偏重于“必须、实用、够用、能用”。因此,就不过分强调理论的系统性、严密性和完整性了。在进行电路分析时,简化理论推导,多举实例,突出工程应用,以培养学生的实际工作能力。

本书共分三个部分:第一部分为必修模块,属基本内容;第二部分为选修模块,可根据电类不同专业任选3~4章后纳入必学内容;第三部分为扩充模块,可作为扩大知识面的自学内容。第一部分为80学时,第二部分为40学时。这两部分总学时约120学时。若精减带“*”内容后也可供五年制高职学校使用。

本书由安徽机电职业技术学院王运哲担任主编,编写分工如下:由郑晓峰编1、2章,吴南星编3、4章,周元一编5、6章,其余各章由王运哲编写。储克森担任主审。

书中全部插图由李旭东设计并绘制。

由于水平所限,不妥之处,敬请使用者指正,谢谢!

编 者

目 录

第一部分 必修模块

1 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 实际电路与电路模型	(1)
1.2 电流、电压及其参考方向	(2)
1.3 电阻元件	(7)
1.4 电压源与电流源	(13)
1.5 欧姆定律	(14)
1.6 基尔霍夫定律	(19)
1.7 实际电源的等效变换	(21)
1.8 电功率及电气设备额定值	(24)
1.9 电路运行状态·负载获最大功率条件	(26)
习题 1	(29)
2 直流电阻电路	(33)
2.1 电阻串、并联等效简化法	(33)
2.2 复杂电路简述	(37)
2.3 电阻 Y— Δ 联接的等效变换	(38)
2.4 支路电流法(支路法)	(40)
2.5 网孔电流法(网孔法)	(42)
2.6 节点电压法(节点法)	(44)
2.7 叠加原理	(47)
2.8 戴维南定理和诺顿定理	(49)
习题 2	(54)
3 电容·电感	(58)
3.1 电容器与电容元件	(58)
3.2 电容元件的数学模型	(58)
3.3 电容元件上电流与电压的关系	(59)
3.4 电容的联接	(60)
3.5 常见电容器简介	(63)
3.6 电场能量	(65)
3.7 电感线圈与电感元件	(66)
3.8 电感元件上电压与电流关系	(67)
3.9 常用电感器简介	(68)
3.10 磁场能量	(68)
习题 3	(69)

4 正弦电流电路	(72)
4.1 正弦交流电压的产生	(72)
4.2 正弦交流电“三要素”	(74)
4.3 交流电的有效值和平均值	(77)
4.4 正弦量的相量表示法	(79)
4.5 电阻元件接通正弦交流电	(82)
4.6 电感元件接通正弦交流电	(85)
4.7 电容元件接通正弦交流电	(88)
4.8 电阻、电感串联电路	(91)
4.9 R 、 L 、 C 串联电路	(93)
4.10 多阻抗串联电路	(96)
* 4.11 复数阻抗并联电路及复数导纳	(98)
4.12 正弦电流电路的功率	(102)
4.13 功率因数的提高	(106)
4.14 直流电路网络理论在正弦交流电路中的推广	(108)
* 4.15 交流电路的实际参数	(111)
习题 4	(113)
5 三相交流电路	(116)
5.1 三相交流电压的产生	(116)
5.2 三相电源绕组的联接	(118)
5.3 负载星形接法的三相电路	(120)
5.4 负载三角形接法的三相电路	(128)
5.5 三相电路的功率	(131)
习题 5	(135)
6 线性动态电路时域分析	(137)
6.1 基本概念	(137)
6.2 R - C 串联电路零输入响应	(140)
6.3 直流激励下 R - C 串联电路的零状态响应	(144)
6.4 直流激励下 R - C 串联电路的全响应及三要素法	(147)
6.5 波形变换电路	(150)
6.6 直流激励下 R - L 串联电路的零状态响应	(152)
6.7 R - L 串联电路的零输入响应	(154)
6.8 R - L 电路的全响应及三要素法	(157)
6.9 R - L 串联电路的断开	(159)
* 6.10 正弦激励下 R - L 串联电路的零状态响应	(161)
* 6.11 二阶动态电路简介	(164)
习题 6	(167)

第二部分 选修模块

7 非线性电阻电路	(171)
7.1 基本概念	(171)
7.2 非线性电阻元件的分类	(171)
7.3 静态电阻与动态电阻	(173)
7.4 非线性电阻元件的串、并联	(174)
7.5 具有非线性电阻元件的直流电路的计算	(176)
习题 7	(178)
8 互感耦合电路	(179)
8.1 互感系数与互感电压	(179)
8.2 互感线圈的同名端及互感电压参考方向的标定	(180)
8.3 具有互感的线圈电压平衡方程式	(183)
8.4 两个互感线圈串联	(183)
8.5 两个互感线圈并联	(186)
8.6 可变电感器·无感线圈	(189)
8.7 空心变压器	(190)
8.8 理想变压器	(193)
习题 8	(195)
9 正弦谐振电路	(199)
9.1 串联谐振的条件与特征	(199)
9.2 串联谐振电路的频率特性	(202)
9.3 谐振电路的选择性与通频带	(203)
9.4 并联谐振的条件与特征	(204)
习题 9	(209)
10 非正弦周期电流电路	(211)
10.1 非正弦周期量的产生	(211)
10.2 非正弦量的合成与分解	(212)
10.3 非正弦周期曲线的种类	(213)
10.4 线性非正弦周期电流电路的计算	(216)
10.5 非正弦周期量的有效值、平均值及功率	(219)
10.6 滤波电路简介	(223)
习题 10	(225)
11 铁心线圈电路	(227)
11.1 铁磁材料的磁化	(227)
11.2 磁路定律	(230)
11.3 直流无分支磁路	(233)
11.4 交流铁心线圈中的磁通和电流	(236)

11.5	交流铁心线圈的铁心损耗	(237)
11.6	铁心线圈中电流、电压和磁通的波形	(240)
11.7	交流铁心线圈的等效电路	(241)
11.8	电磁铁	(244)
习题 11		(247)

第三部分 扩充模块

12	受控电源电路分析	(249)
12.1	受控源基本概念及模型的建立	(249)
12.2	受控源电路的一般分析法	(252)
* 12.3	应用叠加原理和戴维南定理求解含受控源电路	(255)
习题 12		(261)
* 13	线性无源双口网络简介	(264)
13.1	基本概念	(264)
13.2	无源双口网络方程式及其参数	(265)
13.3	双口网络等效电路	(272)
13.4	端接双口网络	(275)
习题 13		(277)
* 14	网络图论简介	(278)
14.1	概述	(278)
14.2	电网络的线图	(278)
14.3	电网络割集分析法	(281)
14.4	电网络的回路分析法	(284)
习题 14		(287)
后记		(288)

第二部分 选修模块

7 非线性电阻电路

7.1 基本概念

含有非线性元件的电路称“非线性电路”。如前所述,电路三个主要参数 R 、 L 、 C ,都有线性和非线性问题存在,表征它们的数学模型有直线和曲线之分。今以电阻元件为例,介绍一点非线性电阻电路的基本知识。

所谓非线性电阻,是指该电阻元件的电阻值随着通过它的电流或加于它的电压的变化而变化。电阻值不再是一个永远不变的固定常数。或者说该电阻元件电流与电压之间的关系 $u = f(i)$ 或 $i = F(u)$,不再是一条直线了。

严格地说,理想的线性元件是不存在的,但以前所讲的线性电阻电路,仍然是有实用价值的。能否把非线性近似地看成线性,要具体情况具体分析。例如:金属导体的电阻值是与温度有关的,导体的温度变化又与通过它的电流有关,因此也可以说导体的电阻值是与通过它的电流有关的。但在实用上,由于电流的变化所引起的电阻值的变化比起该电阻的电阻值小得多,这个变化如果可以忽略不计,这时电阻值仍可看成常数。然而在另外一些情况下,当电流通过时,引起的温度变化很大,使其造成的电阻值变化也很大,不能忽略;或者当电流通过气体介质或半导体元件时,电流与电压之间的关系不成正比,离直线相差甚远,就不能再将其看成线性电阻了。

在近代科技领域中,非线性电阻元件的应用日益广泛,对这方面的知识及含非线性电阻元件的简单电路如何分析,应有所了解。

7.2 非线性电阻元件的分类

非线性电阻元件的分类方法不止一种,这里仅以电流、电压关系曲线的形状来分,有以下三种类型。

7.2.1 单调型

如白炽灯泡的灯丝,最初用碳丝,现多用钨丝;它们的电流、电压关系曲线(伏安特性曲线),如图 7.2.1 所示。由曲线可以看出,随着电压的增加(实际电流增加引起温度变化),电灯端口的 $i = f(u)$ 关系不是直线了。实验指出,白炽灯的钨丝,在额定电流下的“热态电阻”比没有通电时的“冷态电阻”大 10 多倍。

又如避雷器中常用的电阻元件(砂砾陶)也是非线性电阻,它是金刚砂(碳化硅)、石

墨混以粘土为主要成分烧制而成,是一种特殊的陶质。它的电流、电压特性曲线如图 7.2.2(a) 所示,图中 U_0 为临界电压。当电压低于 U_0 时电流为零,相当于电阻值为无穷大。当电压超过 U_0 时,电阻值将急剧下降。这种特性非常可贵,在高压技术中可用它制成阀型避雷器,如图 7.2.2(b) 所示。 N 为被保护的电气设备, T 为砂砾陶阀型避雷器, a 为火花间隙。当遭到雷击时,由于电压突然升高,火花间隙首先被击穿,高电压直接加在砂砾陶电阻元件上,电阻值急剧下降,相当于电气设备被短路,分流绝大部分雷击电荷。当雷击高电压消失后,电阻值迅速复原,火花间隙放电停止,一切重归正常。

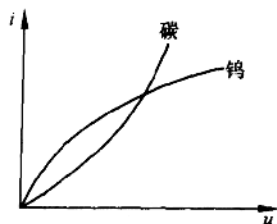


图 7.2.1

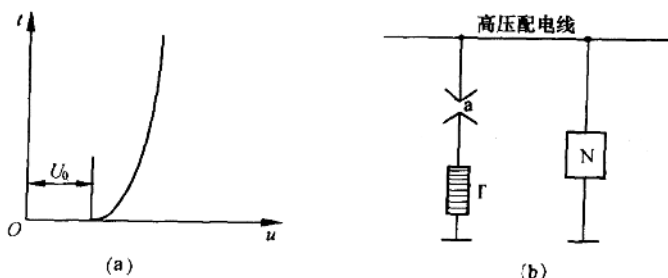


图 7.2.2

再如晶体二极管具有单方向导电性能。它的电流、电压关系曲线如图 7.2.3 所示。正向时随着电压的上升电流也在上升,但不是正比的线性关系。反向时,在一定电压值内电流几乎为零(电阻极大,相当于断路)。二极管特性及原理将在电子技术中讲述。

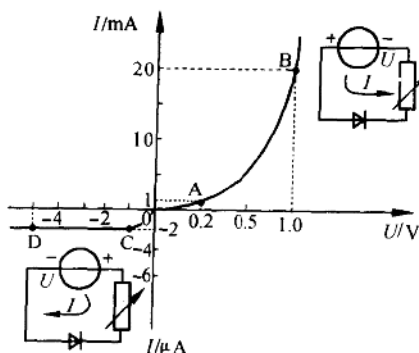


图 7.2.3

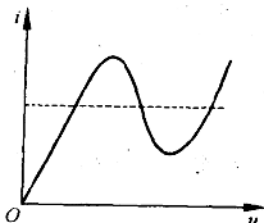


图 7.2.4

上面三个例子中,前两种电压与电流关系曲线是与原点对称的,后一种与原点对称。但它们有一个共同点,就是无论对电压还是对电流来说都是单值函数。一个电压对应一个电流;一个电流对应一个电压。它的表示方法可用 $u = f(i)$ 或 $i = F(u)$,故称“单调型”。

7.2.2 压控型

有一种非线性电阻元件的“压流特性曲线”如图 7.2.4 所示。它的特点是对电压来说

是单值的,给定一个电压就有一个电流。但对电流来说则是多值的,给定一个电流对应多个电压。这种非线性电阻元件的表示法写作 $i(u)$,称“压控型”。电子技术中的隧道二极管就具有这种特性。

7.2.3 流控型

这种非线性电阻元件的“压流特性曲线”如图 7.2.5 所示。对电流是单值的,对电压则是多值的,表示方法为 $u(i)$,称“流控型”。辉光管就具有这种特性。

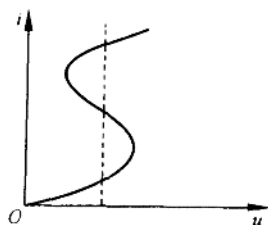


图 7.2.5

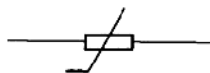


图 7.2.6

非线性电阻元件在电路图中的图形符号如图 7.2.6 所示。

7.3 静态电阻与动态电阻

7.3.1 基本概念

我们把表示恒定电压与恒定电流之间关系的压流特性曲线称“静态特性曲线”,在电流或电压变化相当快时获取的压流特性曲线称“动态特性曲线”。例如热惯性的存在会使这两种曲线不尽相同,只有电流或电压变化较慢时,两者才近于重合。

线性电阻是不受电流或电压影响的常数,它的数学模型是一条在 $u \sim i$ 直角坐标系中通过坐标原点的直线。其电阻就是该直线的斜率。

从概念上说电阻 $R = \frac{du}{di}$,如果是直线也可写成 $R = \frac{u}{i}$ 。但对非线性电阻元件,上面两种表示法一般是不相等的。则

$$R_i = \frac{u}{i}$$

称静态电阻;

$$R_d = \frac{du}{di}$$

称动态电阻。

7.3.2 利用压流特性曲线求 R_i 和 R_d

当非线性电阻的工作点确定后,如图 7.3.1(a) 和(b) 中所示的 M 点,静态电阻 R_i 和动态电阻 R_d 可用作图法求取。

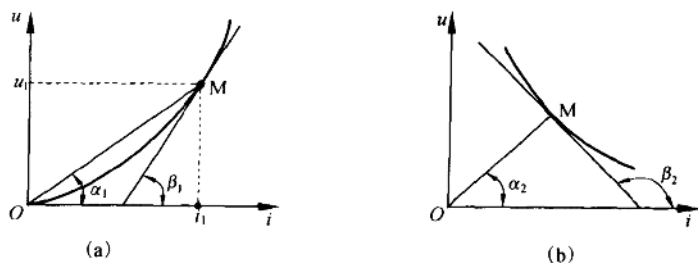


图 7.3.1

静态电阻可用 M 点与原点 O 联线的斜率计算, 即

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{u}{i} = R_s$$

动态电阻可用通过 M 点作曲线切线的斜率计算, 即

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{du}{di} = R_d$$

从图 7.3.1 可以看出静态电阻永为正值, 而动态电阻则可正可负。图(b) 的曲线斜率为负, 也就是动态电阻值为负。

如果非线性电阻元件已经工作在固定(不变的)电压之下, 求电流(或反之由电流求电压)可用该点的静态电阻。如果要研究在变动情况下, 电压改变了 du , 要计算电流的改变量 di 就要用该点的动态电阻。具体用法将在有关专业课中讲述。

7.4 非线性电阻元件的串、并联

非线性电阻元件, 很少能有函数关系式, 大部分是通过实验获取数据绘成 $u(i)$ 或 $i(u)$ 曲线。因此, 计算非线性电阻电路常采用图解法。下面介绍用图解法来求非线性电阻串联和并联等效总电阻的 $u(i)$ 曲线。

7.4.1 非线性电阻元件的串联

如图 7.4.1 为两个非线性电阻 $u_1(i)$ 和 $u_2(i)$ 串联。在串联电路中

$$i = i_1 = i_2; \quad u = u_1 + u_2$$

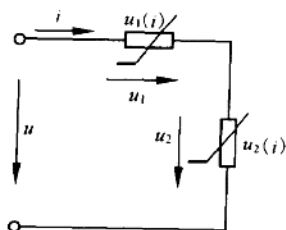


图 7.4.1

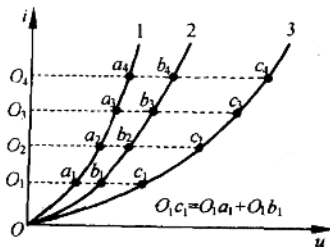


图 7.4.2

两个非线性电阻元件的压流曲线是已知的,如图 7.4.2 中的曲线 1 和曲线 2。在同一电流下逐点将对应的电压坐标相加,便得到等效非线性电阻元件的压流特性曲线 3。若有三个串联,将两个相加后再与第 3 个相加。依此类推,几个非线性电阻串联,总等效电阻的 $u(i)$ 曲线也是可以作出的。

7.4.2 非线性电阻元件的并联

如图 7.4.3 所示,为两个非线性电阻元件 $i_1(u)$ 和 $i_2(u)$ 并联。在并联电路中

$$u = u_1 = u_2; i = i_1 + i_2$$

与串联相比,总等效电阻 $u(i)$ 曲线的获得,应是将同一电压下的电流相加,如图 7.4.4 所示。

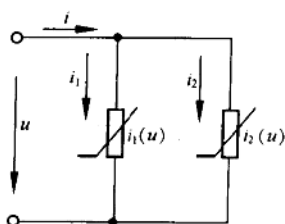


图 7.4.3

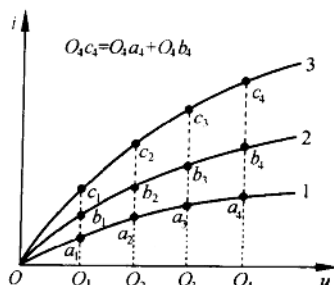


图 7.4.4

非线性电阻元件的混联,是在串联或并联的基础上逐步进行的,不难却很烦,不再详述。

7.4.3 非线性电阻与电压源串联组合

所谓有源非线性元件可看成一个电压源和一个非线性电阻的串联组合,如图 7.4.5 所示。当已知 $u_1(i_1)$ 非线性电阻特性曲线和电压源 U_s 的大小和方向,便可以求总的 $u(i)$ 等效曲线。与线性电路的概念一样,电路中电压平衡方程式与电流、电压的参考方向有关,当选取电流 i 与总电压 u 方向一致时, U_s 的方向有两种可能,分别说明如下:

1) U_s 方向与所选电流方向相同

如图 7.4.5 非线性电阻元件 $u_1(i_1)$ 与电压源 U_s 串联。其中 $u_1(i_1)$ 关系曲线如图 7.4.6 曲线 1,电压源 U_s 不随电流变化,是一条平行于电流轴的一条直线。 U_s 的正负可按以前学过的有源支路欧姆定律确定,按图 7.4.5 所设参考方向即这时 U_s 为正值,立于正电压轴上,如图 7.4.6 曲线 2。

总串联组合后的压流曲线,是由曲线 1 和曲线 2 按串联法则复合而成,如图 7.4.6 曲线 3。即曲线 1 向正的方向平移了 U_s 电压值。

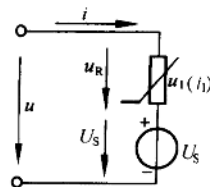


图 7.4.5

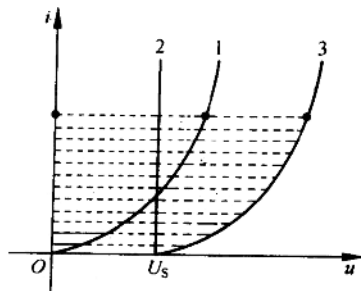


图 7.4.6

2) U_S 方向与所选电流方向相反

如图 7.4.7 所示的参考方向, 可以写出:

$$u = u_R - U_S$$

这时 U_S 为负值, 为一条立于负电压轴上的一条直线。与图 7.4.7 对应的压流曲线如图 7.4.8 所示。

至于电流源与非线性元件的并联组合, 如何求总的等效压流曲线, 仍然可用曲线复合的办法, 不再详述。

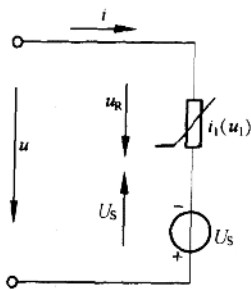


图 7.4.7

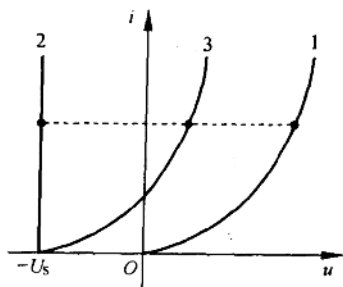


图 7.4.8

7.5 具有非线性电阻元件的直流电路的计算

与线性电路一样, 在给定电路参数的情况下, 已知电压求电流, 或已知电流求电压。

1) 具有非线性电阻的无分支电路

如图 7.5.1 所示, 整个无分支电路可分成两部分:

A、B 的左边, U_S 为理想电压源, R 是线性电阻, 两者组成一段有源支路;

A、B 的右边, $u(i)$ 为一个非线性电阻。当 U_S 、 R 及 $u(i)$ 特性曲线已知时, 便可以计算电路中的电流。

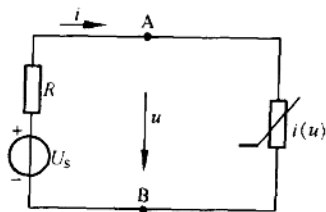


图 7.5.1

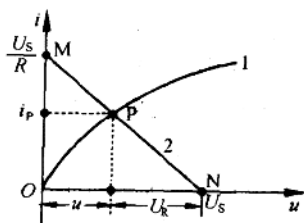


图 7.5.2

因 $u(i)$ 已知的是函数曲线而不是函数式, 所以这里只能采用图解法, 而图解法常常是求解非线性电路的有效方法。

先将 A、B 右边非线性电阻的 $u(i)$ 曲线按比例在坐标纸上画出, 如图 7.5.2 中曲线 1。再来研究另一段电路, 即 A、B 左边一段有源支路的电流、电压关系, 按图 7.5.1 所选参考方向不难写出:

$$u = U_s - iR$$

式中 U_s 和 R 都是已知常量。

u 和 i 的关系是一条直线,只要找到两个点,就可将直线画出:当 $u = 0$ 时 $i = \frac{U_s}{R}$ 可得 M 点;当 $i = 0$ 时 $u = U_s$ 可得 N 点。

连接 MN 交 $u(i)$ 曲线 1 于 P 点,可得 i_p 就是所求电流,如图 7.5.2 所示。因为连接 MN 的直线 2 与曲线 1 都是表达同一电路中电压和电流关系的曲线,所求结果对这两条线都应满足,显然,只有交点 P 符合这个条件。

从图 7.5.2 中还可求出电路中各段电压。这种图解法称“曲线相交法”。

图 7.5.2 中的 P 点称该电路的工作点。为了使工作点处在曲线的最佳位置,可以进行工作点调整。如果电路中线性电阻 R 不变,调节 U_s 可使直线 MN 发生平移,如图 7.5.3(a) 所示。如电压源 U_s 不变,可调节线性电阻 R ,使直线 MN 发生偏转,如图 7.5.3(b) 所示。

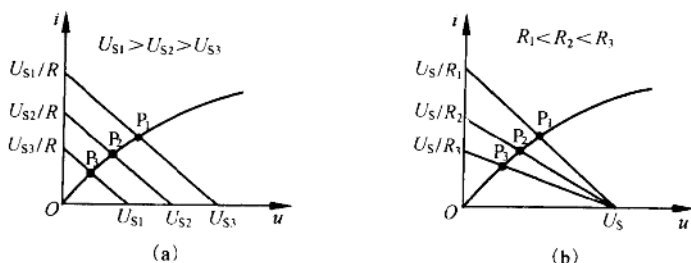


图 7.5.3

2) 只具有一个非线性电阻元件的复杂电路

在图 7.5.4(a) 所示的电路中,只含有一个非线性电阻元件。可以先将除非线性元件以外的线性部分(如虚线框中部分)按照戴维南定理化成图 7.5.4(b) 的等效电路。再用上述的“曲线相交法”求 i_p 和 u_p 。当 i_p 和 u_p 求出后,其他支路电流也就可以计算了。

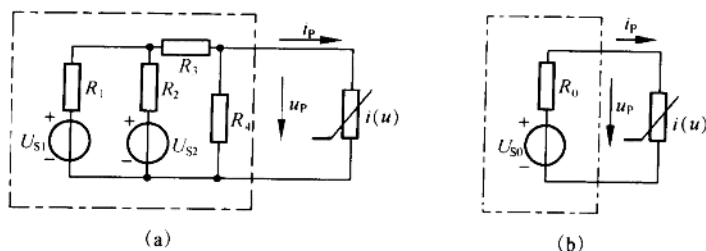


图 7.5.4

需要再次指出,有非线性电阻的电路不能用叠加原理,因为非线性电阻的阻值是随电流或电压变动的,几个电源共同作用与每个电源单独作用时的电阻值不是一个数值。

习题 7

7.1 在电路图中如何用图形符号和文字符号表示非线性电阻?

7.2 非线性电阻的数值是如何表示的?

7.3 什么是静态电阻?什么是动态电阻?如图 7.3 所示某非线性电阻元件的电流与电压关系曲线,求 M 点的静态电阻与动态电阻。

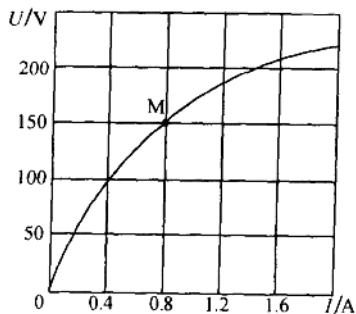


图 7.3

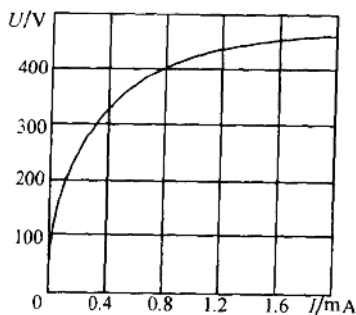


图 7.5

7.4 如何进行对非线性电阻元件的串联和并联?

7.5 如图 7.5 所示为碳化硅圆柱体的电流电压关系曲线。今用一线性电阻 $R_0 = 0.5 \text{ M}\Omega$ 与碳化硅串联, 安在 $U_s = 400 \text{ V}$ 的电压源上, 求: 碳化硅圆柱体中的电流和端电压(画出电路图后进行计算)。

7.6 如图 7.6 所示, 已知: $I_s = 0.4 \text{ A}$, $R_0 = 5 \Omega$, 非线性电阻的电流电压关系为 $U = 2I^2$, 求 I , I_1 和电压 U 。[提示: 对 A 点写 KCL 方程, 求 R_0 支路欧姆定律, 对非线性电阻用 $U = 2I^2$, 列三个方程可求三个未知数。]

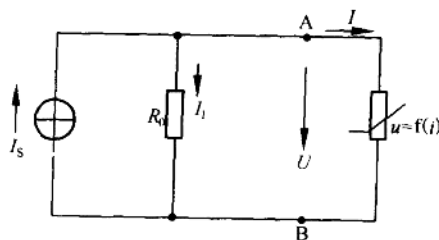


图 7.6

8 互感耦合电路

前面在讨论正弦电流电路时,对一个或几个线圈,只考虑电感 L (本章将称它为自感系数或简称自感),没有考虑线圈之间的相互影响,而实际上这种影响有时是不能忽视的,甚至还要利用这种相互影响。

8.1 互感系数与互感电压

如图 8.1.1(a) 所示,按第 3 章讲的定义,线圈 N_1 通过电流 i_1 在自身线圈中产生的磁链为 $N_1 \phi_{11}$,则线圈 N_1 的自感系数为

$$L_1 = \frac{N_1 \phi_{11}}{i_1} = \frac{\psi_{11}}{i_1} \quad (8.1.1)$$

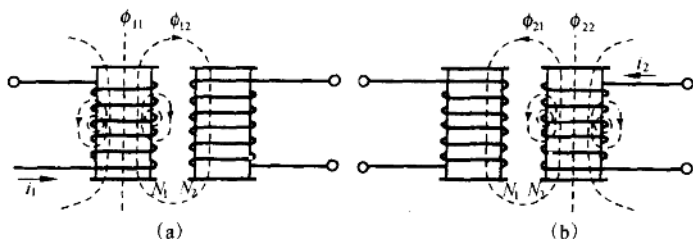


图 8.1.1

对图 8.1.1(b) 线圈 N_2 通过电流 i_2 在自身线圈中产生的磁链 $N_2 \phi_{22}$,则线圈 N_2 的自感系数

$$L_2 = \frac{N_2 \phi_{22}}{i_2} = \frac{\psi_{22}}{i_2} \quad (8.1.2)$$

现在来研究另外一种关系:就是第一个线圈的电流 i_1 产生的磁通 ϕ_{11} 一部分穿过了第二个线圈即 ϕ_{12} ,在第二个线圈 N_2 中产生互感磁链 $\psi_{12} = N_2 \phi_{12}$,令

$$M_{12} = \frac{N_2 \phi_{12}}{i_1} = \frac{\psi_{12}}{i_1} \quad (8.1.3)$$

M_{12} 称第一个线圈对第二个线圈的互感系数(简称互感)。

反之, i_2 在第一个线圈 N_1 中产生的互感磁链 $\psi_{21} = N_1 \phi_{21}$,而

$$M_{21} = \frac{N_1 \phi_{21}}{i_2} = \frac{\psi_{21}}{i_2} \quad (8.1.4)$$

称线圈 N_2 对线圈 N_1 的互感。可以证明,两个线圈之间互感

$$M_{12} = M_{21} = M \quad [\text{单位是亨(H)}]$$

自感系数(自感) L 只与线圈自身的结构有关,而互感系数(互感) M ,除与自身结构有

关外,还与两个线圈的靠近程度及相互位置有关。

为了表征两个线圈的耦合程度,引入了“耦合系数” K ,其定义为

$$K = \sqrt{\frac{\phi_{12}}{\phi_{11}} \cdot \frac{\phi_{21}}{\phi_{22}}} \quad (8.1.5)$$

将式(8.1.1)~式(8.1.4)的关系式代入,得

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (8.1.6)$$

如两个线圈套在一起,即完全耦合。第1个线圈产生的磁通全部穿过了第2个线圈,“耦合系数”最大 $K_m = 1$ 。

通过线圈的变化电流,在自身线圈中引起电压称自感电压,当 u_L 和 i 取关联参考方向

$$u_{L1} = \frac{d\psi_{11}}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$u_{L2} = \frac{d\psi_{22}}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt}$$

在有互感的情况下,第一个线圈电流 i_1 的变化通过互感 M 在第二个线圈中感应电压 u_{M2} 称互感电压,即

$$u_{M2} = \left| \frac{d\psi_{12}}{dt} \right| = \left| M \frac{di_1}{dt} \right|$$

同理,第二个线圈电流 i_2 的变化,将在第一个线圈中产生互感电压,为

$$u_{M1} = \left| \frac{d\psi_{21}}{dt} \right| = \left| M \frac{di_2}{dt} \right|$$

式中暂时采用了绝对值符号,是因为互感电压与相对应的电流,关系到两个线圈,其参考方向问题需要进一步研究。

8.2 互感线圈的同名端及互感电压参考方向的标定

从物理学中得到,线圈通电流后产生磁通(或磁链),其方向不仅与电流通进线圈的方向有关,还与线圈的绕行方向有关。为了表明两个线圈通电流后产生的磁场方向是否一致,可用标注同名端的方法。什么是同名端呢?又怎样依据同名端来标注互感电压的参考方向呢?

8.2.1 关于同名端

当两个线圈分别从各自的一端通进电流,如果产生的磁通方向一致(或磁场相互加强),则这两个通进电流的端钮为同名端,用打点“·”作为记号。当然另两个端钮也是同名端,不再另作记号。

图 8.2.1 中给出了几种绕法不同,相对位置也有所不同的互感线圈,以及所标记的同名端。如图(a)把第一个线圈的 A 端与第二个线圈的 B 端定为同名端,是因为同时从这两个端钮通进电流所产生的磁场相互增强(磁场方向根据电流方向及线圈绕向用右手螺旋

定则判断)。同理图(b)两个线圈的同名端应是 A 与 Y, 因为两个线圈有一个与图(a)绕向不同了。如果两个线圈的绕向尽管一致, 但相对位置变了, 也会引起同名端的变化, 如图(c)、图(d)。

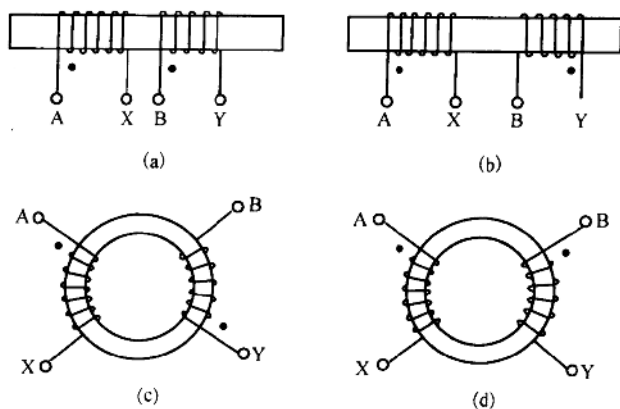


图 8.2.1

同名端的标定实际上是反映互感线圈的绕向及相对位置的。因此, 在电路图中为了方便, 在标定了同名端后, 线圈的具体绕向和相对位置就不再有必要画出了。如图 8.2.2(a)就可画成图 8.2.2(b)。甚至三个线圈都画在水平位置也是可以的, 如图 8.2.2(c)。

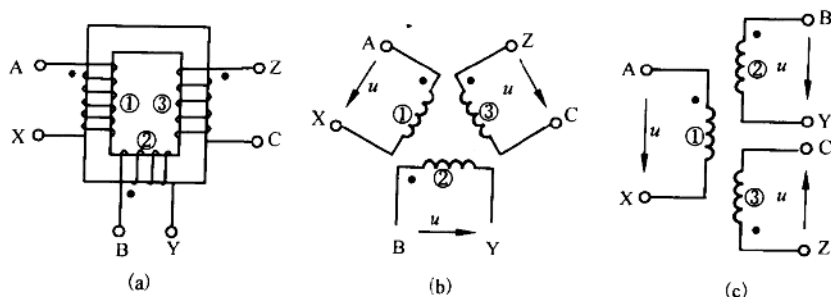


图 8.2.2

8.2.2 互感电压参考方向的标定

有了同名端, 就可以根据电磁感应理论来标互感电压的参考方向。互感电压和自感电压一样也是感应电压, 它也是由于线圈电流的变化引起磁通的变化而感生的电压。下面介绍具体标定方法。

如图 8.2.3 所示, 已知电流 i_1 的参考方向由带点“·”号的 A 端流向无点号的 X 端, 那么在另一个线圈中的互感电压 u_{M2} 的参考方向就是从带点“·”

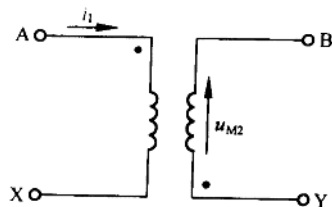


图 8.2.3