

普通高等教育“十二五”规划教材

DIANLU (XIACE) XUEXI ZHIDAOSHU

电路(下册)学习指导书

孟 尚 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材



DIANLU (XIACE) XUEXI ZHIDAOSHU

电路(下册)学习指导书

主 编 孟 尚

副主编 朱玉冉 周芬萍

编 写 段辉娟 王培峰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《电路(下册)》的配套辅导教材,是为了帮助学生更好学习电路理论知识和分析方法而编写的。全书按照知识点的相关性,将每章分为几个课题,每个课题均包括“内容提要”“典型例题”和“自测题”三部分,“内容提要”总结课堂学习要点,并以“典型例题”抛砖引玉,以“自测题”举一反三。例题和自测题部分选自近年多所高等学校的“电路”课程硕士研究生入学考试试题。在每章末配有精选习题,并在书末安排了附录,包括三份模拟试题、答案以及部分自测题答案,供学生自我检测。本书是编者多年“电路”课程教学实践的总结,内容简明扼要,针对性强,注意开拓解题思路。

本书可供学习“电路”课程的本、专科学生自学、复习时使用,也可供报考电气工程、自动化、电子信息等类专业硕士研究生的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路(下册)学习指导书/孟尚主编. —北京:中国电力出版社, 2016. 11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-8612-9

I. ①电… II. ①孟… III. ①电路—高等学校—教学参考资料
IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 229262 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京天宇星印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 11 月第一版 2016 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 369 千字

定价 32.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书是为了满足高等学校电路课程学习需要而编写的辅导教材,内容符合最新的“电路”课程教学大纲的要求。

为便于读者自学和复习,本书每章按照知识点分为几个课题,每个课题分为三部分:

- (1) 内容提要:讲述每个课题的重点内容;
- (2) 典型例题:详细分析并求解典型例题;
- (3) 自测题:供读者自我检测。

每章提供了大量习题作为“习题精选”,包括部分院校近年的“电路”课程研究生入学考试试题,便于读者复习电路理论知识和提高解题能力。附录部分给出了部分自测题答案和三套样题,供读者参考。力求做到选材适当、论述清晰,并遵循由易到难、从简到繁、循序渐进的编写原则。

本书可适应多层次的教学与复习、预习需要,可作为高等学校电气类、自动化类、电子信息类、计算机类专业本科(或专科)学生“电路”课程的自学指导和教师习题课辅导材料,也可作为研究生入学考试的复习参考书,同时可作为其他相关专业技术人员的参考用书。

本书由河北科技大学信息科学与工程学院“电路”课程组的教师共同编写,由孟尚主编并负责统稿,参与编写的还有周芬萍、段辉娟、朱玉冉和王培峰。具体编写分工如下:朱玉冉编写第1、3章,段辉娟编写第2章,周芬萍编写第4章,王培峰编写第5、7章,孟尚编写第6、8章。

鉴于编者水平所限,书中难免有疏漏或不当之处,恳请读者批评指正。

编者

2016年5月

目 录

前言

1 含有耦合电感的电路	1
课题 1 耦合电感电路分析	1
课题 2 空心变压器和理想变压器	15
习题精选	28
2 三相电路	35
课题 1 三相电路的基本概念	35
课题 2 三相电路的分析与计算	41
课题 3 三相电路功率的计算与测量	49
习题精选	56
3 非正弦周期电流电路	59
课题 1 非正弦周期电流电路分析中的基本概念	59
课题 2 非正弦周期电流电路的分析与计算	64
习题精选	73
4 线性动态电路的时域分析	76
课题 1 动态电路及其初始条件	76
课题 2 一阶动态电路的响应	85
课题 3 二阶电路	99
习题精选	106
5 线性动态电路的复频域分析	112
课题 1 拉普拉斯变换及反变换	112
课题 2 线性动态电路的复频域分析法	118
课题 3 网络函数	133
习题精选	141
6 电路方程的矩阵形式	147
课题 1 基本回路、基本割集和网络矩阵	147
课题 2 节点电压方程的矩阵形式	152
课题 3 回路电流方程的矩阵形式	158
习题精选	163
7 二端口网络	166
课题 1 二端口的概念及其 4 种参数矩阵	166
课题 2 二端口的等效电路及二端口的连接	173
课题 3 常见的二端口元件及含有二端口电路的计算	178
习题精选	194

8 非线性电路分析	197
习题精选	202
附录 A 样卷及答案	203
附录 B 部分自测题答案	220
参考文献	236

1 含有耦合电感的电路

重点：互感、同名端、自阻抗、反映阻抗、全耦合等概念；耦合电感电路的分析；空心变压器电路的等效法分析；理想变压器的四个特性。

难点：耦合电感电路中互感电压的确定。

要求：熟练掌握基本概念——互感、同名端、反映阻抗；熟练运用方程法和去耦等效法分析含有耦合电感的电路；掌握空心变压器电路的等效法分析；牢固掌握理想变压器的四个特性。

课题1 耦合电感电路分析



内容提要

1. 耦合电感的伏安关系

耦合电感是具有磁耦合的多个线圈的电路模型，如图 1-1 所示。

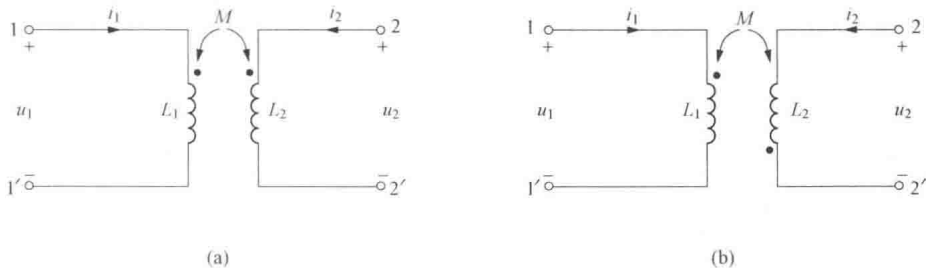


图 1-1 耦合电感

图 1-1 中， L_1 和 L_2 分别为线圈 1 和线圈 2 的自感， M 为两线圈的互感。耦合因数 k 将这三个参数联系起来，描述两个耦合线圈的耦合紧疏程度

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

“·”表示两线圈的同名端。两线圈的电压、电流分别取关联参考方向，其伏安关系为

$$\begin{cases} u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = \pm M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases} \quad (1-1)$$

耦合电感伏安关系的具体形式与同名端的位置和两线圈上电压、电流的参考方向有关。

在一般情况下,可通过下面步骤正确写出:

(1) 设耦合线圈 $k(k=1, 2)$ 的自感为 L_k , 其上电压、电流分别为 u_k 、 i_k 。线圈电压 u_k 为自感电压 u_{Lk} 和互感电压 u_{Mk} 两部分的代数和, 即

$$u_k = u_{Lk} + u_{Mk}$$

(2) 写出自感电压 u_{Lk}

$$u_{Lk} = \pm L_k \frac{di_k}{dt}$$

当线圈上 u_k 、 i_k 为关联参考方向时, 式中 L_k 前取“+”号, 否则取“-”号。

(3) 写出互感电压 u_{Mk}

$$u_{M1} = \pm M \frac{di_2}{dt} \quad u_{M2} = \pm M \frac{di_1}{dt}$$

当线圈上电流从同名端流入时, 互感电压与线圈中自感电压同号; 相反地, 当线圈上电流从异名端流入时, 互感电压与线圈中自感电压异号。

综上, 对于图 1-1 (a) 所示电路, 式 (1-1) 中 M 前为“+”号; 对于图 1-1 (b) 所示电路, 式 (1-1) 中 M 前为“-”号。

若在正弦稳态激励下, 耦合电感伏安关系的相量形式为

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 \pm j\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \pm j\omega M \dot{I}_1 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \end{cases} \quad (1-1')$$

根据耦合电感元件的伏安关系, 两线圈的互感电压可用 CCVS 等效代替。

2. 耦合电感的同名端

同名端概念描述了两个耦合线圈之间的位置和线圈的绕向关系。当两个电流分别从两个线圈的对应端子同时流入或流出时, 若产生的磁通相互增强, 则这两个对应端子称为两互感线圈的同名端; 相反地, 若产生的磁通相互削弱, 则这两个对应端子称为异名端。

关于同名端, 有以下几方面注意:

(1) 如果两线圈电流从同名端 (或异名端) 流入时, 产生的磁场相互增强 (或减弱), 自感磁通和互感磁通方向一致 (或相反), 称为互感“增助” (或“削弱”) 或者磁通“增助” (或“削弱”)。磁通“增助” (或“削弱”) 时, 互感电压与自感电压的方向相同 (或相反)。

(2) 如果在一线圈的 a 端流入随时间增大的电流, 在另一线圈的 b 端产生随时间升高的电压, 称 a、b 端钮为耦合线圈的同名端。

(3) 一线圈电流的入端与耦合线圈互感电压的“+”极性端为一对同名端。

(4) 当有两个以上的线圈彼此之间耦合时, 同名端应当一对一对地加以标记, 每一对宜用不同符号, 如成对的“·”“*”等。

3. 耦合电感电路的分析

耦合电感的串联有顺接串联和反接串联两种方式, 如图 1-2 所示。串联后等效电感 L_{eq} 为

$$L_{eq} = L_1 + L_2 \pm 2M \quad (1-2)$$

式 (1-2) 中, $2M$ 前“+”号对应于顺接串联, “-”号对应于反接串联。

耦合电感的并联连接有同侧并联和异侧并联两种形式, 如图 1-3 所示。并联后等效电感 L_{eq} 为

$$L_{\text{eq}} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 中, 分母中 $2M$ 前 “-” 号对应于同侧并联, “+” 号对应于异侧并联。

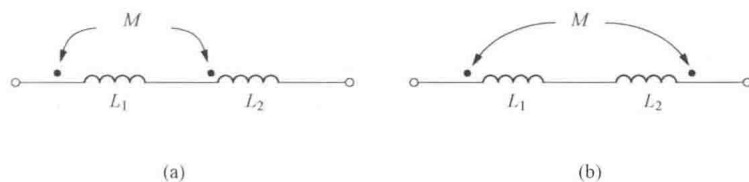


图 1-2 耦合电感串联

(a) 顺接串联; (b) 反接串联

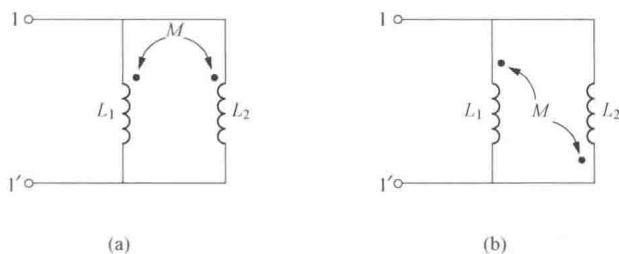


图 1-3 耦合电感并联

(a) 同侧并联; (b) 异侧并联

耦合电感以 T 形 (三端) 连接时, 分为同名端为共同端和异名端为共同端两种情况, 如图 1-4 (a) 和 (b) 所示, 对应去耦等效电路如图 1-4 (c)、(d) 所示。

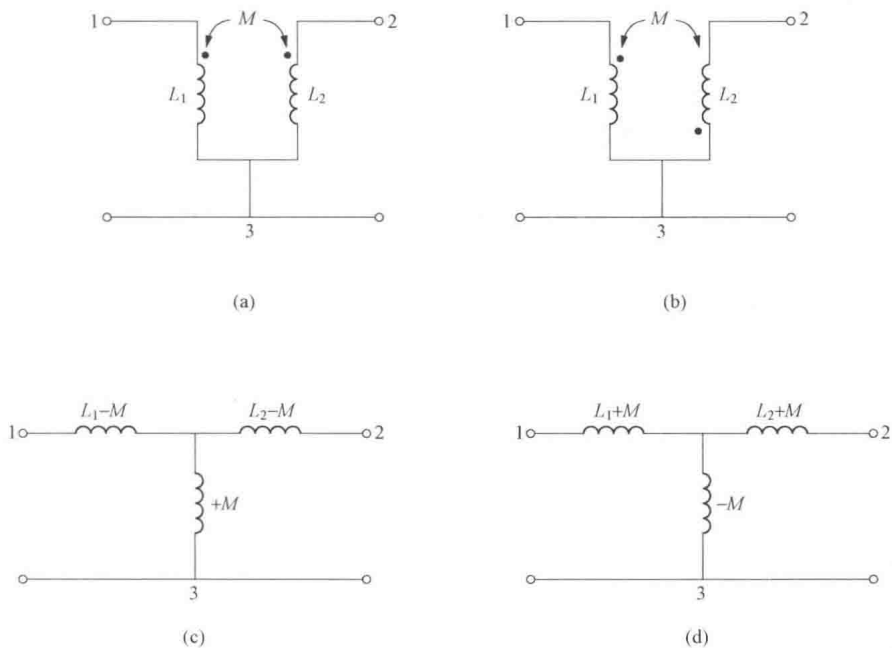


图 1-4 耦合电感 T 形连接及其去耦等效

(a) 同名端为共同端; (b) 异名端为共同端; (c) 同名端为共同端时去耦等效; (d) 异名端为共同端时去耦等效



典型例题

【例 1-1】 含耦合线圈的电路如图 1-5 所示, 试列写耦合线圈的伏安关系式, 并按顺时针方向列写线圈 2 回路的 KVL 方程。

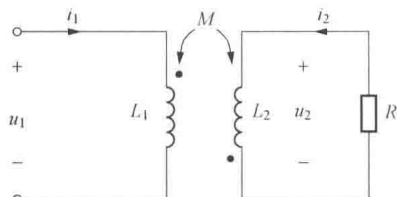


图 1-5 例 1-1 图

解 此耦合电感电路中两施感电流 i_1 、 i_2 从异名端流入, 磁通“削弱”, 线圈自感电压与互感电压方向相反。

线圈 1 端电压 u_1 与 i_1 为关联参考方向, 其上自感电压 $L_1 \frac{di_1}{dt}$ 方向向下, 而互感电压的正极性端与 i_2 的入端是同名端, 因此互感电压 $M \frac{di_2}{dt}$ 的方向向上。同理, 线圈

2 自感电压 $L_2 \frac{di_2}{dt}$ 方向向下, 互感电压 $M \frac{di_1}{dt}$ 方向向上。综上, 两线圈的伏安关系为

$$\begin{cases} u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = -M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

按照顺时针方向, 线圈 2 回路的 KVL 方程为

$$-Ri_2 + M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} = 0$$

【解题指导与点评】 耦合电感线圈的伏安关系与同名端位置及电压、电流参考方向有关。耦合电感的端电压包含自感电压和互感电压。自感电压的参考方向与施感电流方向一致; 互感电压的“+”极性端与产生此互感电压的电流入端为一对同名端。

【例 1-2】 图 1-6 (a) 所示为含有耦合电感的一端电路, 角频率 $\omega=2\text{rad/s}$ 。(1) 试求一端口电路的输入阻抗 Z_{ab} ; (2) 判断一端口电路的性质; (3) 画出串联等效电路。

解 对图 1-6 (a) 中的耦合电感同名端为共同端的 T 形连接进行去耦等效, 如图 1-6 (b) 所示。

在角频率 $\omega=2\text{rad/s}$ 的电源作用下, 其相量模型如图 1-6 (c) 所示。

(1) 输入阻抗 $Z_{ab} = 8 + j2 + \frac{j1 \times (j2 - j1)}{j1 + (j2 - j1)} = 8 + j2.5(\Omega)$

(2) 输入阻抗的虚部大于 0, 该一端口电路呈感性。

(3) 串联等效电路如图 1-6 (d) 所示。其中 $R_{eq} = 8\Omega$, $L_{eq} = \frac{2.5}{2} = 1.25(\text{H})$

【解题指导与点评】 耦合电感 T 形连接, 即两耦合支路 (自感 L_1 、 L_2 , 互感 M) 仅和第三条支路连接, 如果连接点处两耦合支路同名端为共同端, 则去耦后第三支路为“+M”, 原两支路变为“ $L_1 - M$ ”和“ $L_2 - M$ ”; 如果异名端为共同端, 则去耦后第三支路为“-M”, 原两支路变为“ $L_1 + M$ ”和“ $L_2 + M$ ”。

【例 1-3】 正弦稳态电路图 1-7 (a) 所示, 已知 $\dot{U}_S = 20 \angle 0^\circ \text{V}$, $R_1 = R_2 = 10\Omega$, $\omega L_1 =$

10Ω , $\omega L_2 = 20\Omega$, $\omega M = 12\Omega$, $\frac{1}{\omega C} = 26\Omega$ 。(1) 求两线圈的耦合因数 k ; (2) 求开关 S 断开时的电流 $\dot{I}$ 和电压 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$; (3) 求开关 S 闭合时的电流 $\dot{I}$ 。

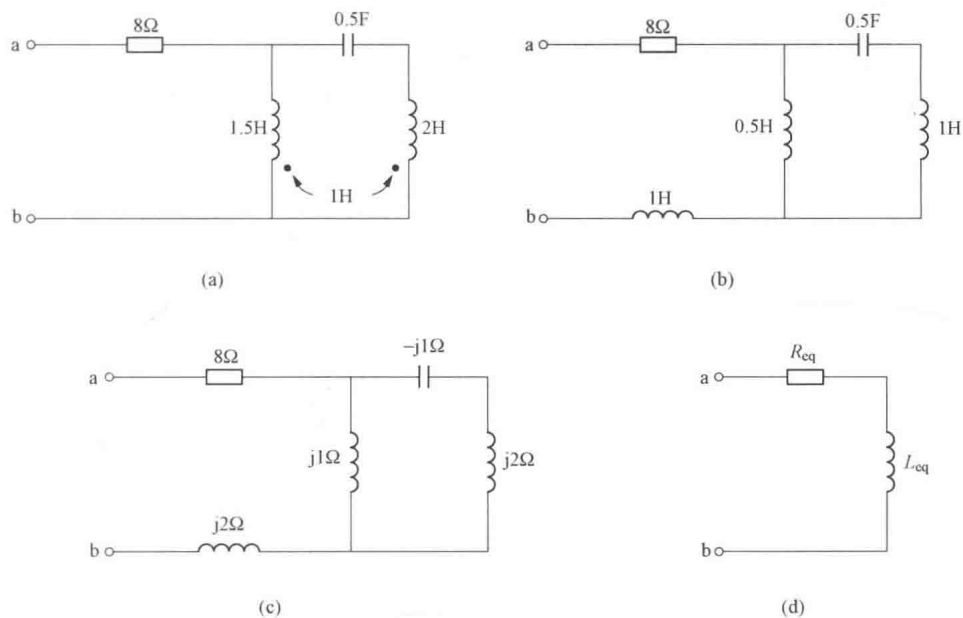


图 1-6 例 1-2 图

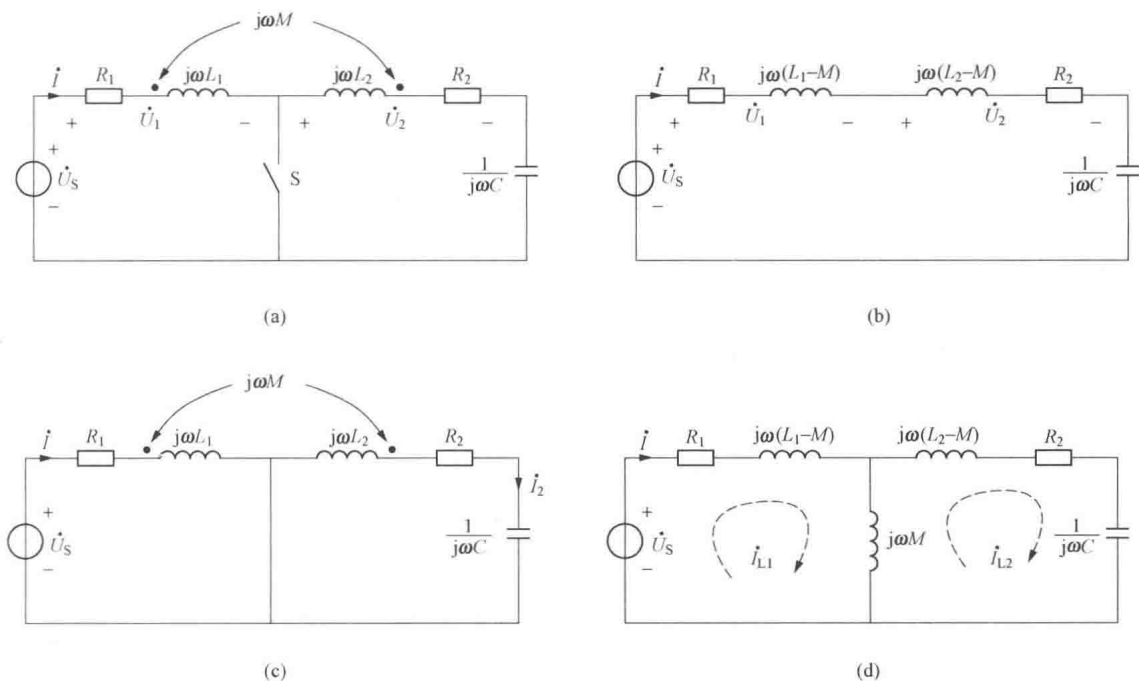


图 1-7 例 1-3 图

解 (1) 耦合因数

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{\omega M}{\sqrt{\omega L_1 \cdot \omega L_2}} = \frac{12}{\sqrt{10 \times 20}} \approx 0.85$$

(2) 开关 S 打开, 两耦合线圈为反接串联。

解法一: 根据耦合情况直接列方程

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I} + j\omega L_1 \dot{I} - j\omega M \dot{I}$$

$$\dot{U}_2 = R_2 \dot{I} + j\omega L_2 \dot{I} - j\omega M \dot{I}$$

$$\dot{U}_S = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \frac{1}{j\omega C} \dot{I}$$

代入数据, 方程组为

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = 10\dot{I} + j10\dot{I} - j12\dot{I} \\ \dot{U}_2 = 10\dot{I} + j20\dot{I} - j12\dot{I} \\ 20\angle 0^\circ = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 - j26\dot{I} \end{cases}$$

解得

$$\dot{I} = 0.5\sqrt{2}\angle 45^\circ \text{A}, \dot{U}_1 = 7.21\angle 33.69^\circ \text{V}, \dot{U}_2 = 9.06\angle 83.66^\circ \text{V}$$

解法二: 去耦等效电路如图 1-7(b) 所示。两线圈的等效阻抗和电路的输入阻抗分别为

$$Z_1 = R_1 + j\omega(L_1 - M) = 10 - j2(\Omega)$$

$$Z_2 = R_2 + j\omega(L_2 - M) = 10 + j8(\Omega)$$

$$Z_{in} = Z_1 + Z_2 + \frac{1}{j\omega C} = 10 - j2 + 10 + j8 - j26 = 20 - j20(\Omega)$$

则

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_S}{Z_{in}} = \frac{20\angle 0^\circ}{20 - j20} = 0.5\sqrt{2}\angle 45^\circ (\text{A})$$

$$\dot{U}_1 = Z_1 \dot{I} = (10 - j2) \times 0.5\sqrt{2}\angle 45^\circ = 7.21\angle 33.69^\circ (\text{V})$$

$$\dot{U}_2 = Z_2 \dot{I} = (10 + j8) \times 0.5\sqrt{2}\angle 45^\circ = 9.06\angle 83.66^\circ (\text{V})$$

(3) 开关 S 闭合。

解法一: 设流过线圈 2 的电流为 $\dot{I}_2$, 方向如图 1-7(c) 所示。列方程

$$\begin{cases} \dot{U}_S = R_1 \dot{I} + j\omega L_1 \dot{I} - j\omega M \dot{I}_2 \\ 0 = R_2 \dot{I}_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 - j\omega M \dot{I} + \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_2 \end{cases}$$

代入数据, 方程组为

$$\begin{cases} 20\angle 0^\circ = (10 + j10) \dot{I} - j12 \dot{I}_2 \\ 0 = (10 + j20 - j26) \dot{I}_2 - j12 \dot{I} \end{cases}$$

解得

$$\dot{I} = 0.76\angle -38.46^\circ (\text{A})$$

解法二: T 形去耦等效电路如图 1-7(d) 所示, 列回路电流法方程

$$\begin{cases} [R_1 + j\omega(L_1 - M) + j\omega M] \dot{I}_{L1} - j\omega M \dot{I}_{L2} = \dot{U}_S \\ -j\omega M \dot{I}_{L1} + [R_2 + j\omega(L_2 - M) + j\omega M + \frac{1}{j\omega C}] \dot{I}_{L2} = 0 \end{cases}$$

代入数据并整理, 方程组为

$$\begin{cases} (10 + j10) \dot{I}_{L1} - j12 \dot{I}_{L2} = 20 \angle 0^\circ \\ -j12 \dot{I}_{L1} + (10 - j6) \dot{I}_{L2} = 0 \end{cases}$$

解得

$$\dot{I} = \dot{I}_{L1} = 0.76 \angle -38.46^\circ \text{ A}$$

解法三: T形去耦等效电路如图 1-7(d) 所示。电路输入阻抗

$$\begin{aligned} Z_{in} &= R_1 + j\omega(L_1 - M) + \frac{j\omega M \times [j\omega(L_2 - M) + R_2 + \frac{1}{j\omega C}]}{j\omega M + [j\omega(L_2 - M) + R_2 + \frac{1}{j\omega C}]} \\ &= 10 - j2 + \frac{j12 \times (j8 + 10 - j26)}{j12 + (j8 + 10 - j26)} \\ &= 26.30 \angle 26^\circ (\Omega) \end{aligned}$$

则

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_S}{Z_{in}} = \frac{20 \angle 0^\circ}{26.30 \angle 26^\circ} = 0.76 \angle -38.46^\circ (\text{A})$$

【解题指导与点评】 耦合因数 $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ ($k \leq 1$) 将两耦合电感的参数—— L_1 、 L_2 、 M 联

系起来, 即 $0 \leq M \leq \sqrt{L_1 L_2}$ 。顺接串联时, 去耦后相当于两个电感 $L_1 + M$ 和 $L_2 + M$ 串联, 等效电感为 $L_1 + L_2 + 2M$; 反接串联时, 去耦后相当于两个电感 $L_1 - M$ 和 $L_2 - M$ 的串联, 等效电感为 $L_1 + L_2 - 2M$, 而 $L_1 + L_2 - 2M \geq 0$ 。当 $L_1 + L_2 - 2M > 0$ 时, 电路呈现感性, $L_1 + L_2 - 2M = 0$ 时, 电路呈现阻性。实际电路中, 常有 $L_1 < M < L_2$ (或者 $L_2 < M < L_1$), 则反接串联去耦后出现 $L_1 - M < 0$ (或者 $L_2 - M < 0$), 此情况称为容性效应, 不影响耦合电感电路呈现感性的结论。

【例 1-4】 正弦稳态电路如图 1-8(a) 所示, 已知 $u_S = 80\sqrt{2} \sin(1000t) \text{ V}$, $L_2 = 0.12 \text{ H}$, $M = 0.02 \text{ H}$, $C_1 = C_2 = 50 \mu\text{F}$, $R = 80 \Omega$ 。试求负载 Z_L 为何值时可获得最大功率, 并求此最大功率。

解 第一步: 对图 1-8(a) 根据耦合线圈绕向判断其同名端, 画出电路相量模型如图 1-8(b) 所示。其中: $j\omega L_2 = j120 \Omega$, $j\omega M = j20 \Omega$, $\frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1}{j\omega C_2} = -j20 \Omega$ 。

设 $\dot{U}_S = 80 \angle 0^\circ \text{ V}$ 。

第二步: 对图 1-8(b) 中耦合电感 T 形连接去耦等效, 电路如图 1-8(c) 所示。其中: $Z_1 = j\omega(L_1 - M) = j(1000L_1 - 20) \Omega$, $Z_2 = j\omega(L_2 - M) = j100 \Omega$, $Z_3 = j\omega M = j20 \Omega$ 。

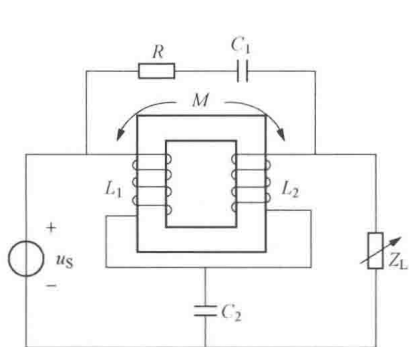
第三步: 将图 1-8(c) 中 ab 左右两部分断开, 求 ab 以左含源网络的戴维南等效电路。

(1) 求开路电压 $\dot{U}_{oc}$, 电路如图 1-8(d) 所示。

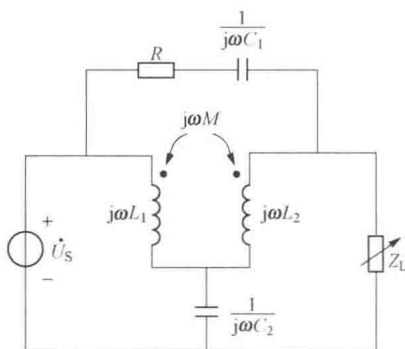
图 1-8(d) 中 $Z_3 + \frac{1}{j\omega C_2} = 0$, 所以 Z_3 与 $\frac{1}{j\omega C_2}$ 发生串联谐振, m、n 两点可以用一条短

路线代替。则

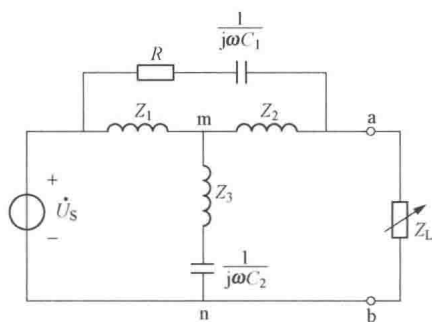
$$\dot{U}_{oc} = \frac{Z_2}{R + \frac{1}{j\omega C_1} + Z_2} \times \dot{U}_s = \frac{j100}{80 - j20 + j100} \times 80 \angle 0^\circ = 50\sqrt{2} \angle 45^\circ (\text{V})$$



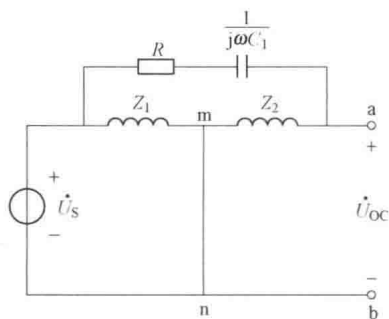
(a)



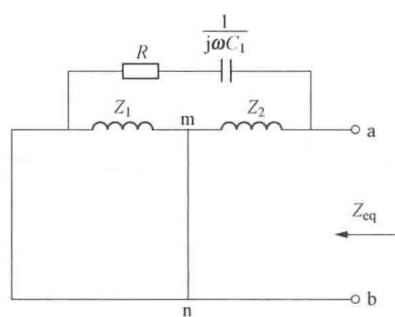
(b)



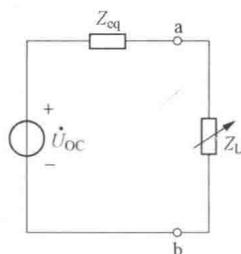
(c)



(d)



(e)



(f)

图 1-8 例 1-4 图

(2) 求等效阻抗 Z_{eq} ，独立源 $\dot{U}_s$ 置零，电路如图 1-8 (e) 所示，其中 Z_1 被短路。

$$Z_{eq} = \frac{\left(R + \frac{1}{j\omega C_1}\right) \times Z_2}{\left(R + \frac{1}{j\omega C_1}\right) + Z_2} = \frac{(80 - j20) \times j100}{(80 - j20) + j100} = 62.5 + j37.5 (\Omega)$$

(3) 画出 ab 以左含源网络的戴维南等效电路, 加入 Z_L , 得到电路如图 1-8 (f) 所示。

第四步: 应用最大功率传输定理。

由共轭匹配条件可知, 当 $Z_L = Z_{eq}^* = 62.5 - j37.5 \Omega$ 时, Z_L 可获得最大功率, 且最大功率为

$$P_{L\max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_{eq}} = \frac{(50\sqrt{2})^2}{4 \times 62.5} = 20(\text{W})$$

【解题指导与点评】当线圈的排列、绕向已知, 若判断耦合线圈的同名端, 可假定两线圈有施感电流流入, 如果在线圈中形成磁通“增助”, 则两施感电流的入端为一对同名端。电路中有耦合电感出现, 通常有两种思路, 即直接列写方程和去耦合。当去耦电路中出现电感与电容的串联或并联时, 一定注意是否发生谐振。如果串联连接, 且阻抗虚部为零, 则发生串联谐振, 电感与电容串联相当于短路; 如果并联连接, 且阻抗虚部为无穷大, 则发生并联谐振, 电感与电容并联相当于开路。最大功率问题一般结合戴维南定理和最大功率传输定理求解。

【例 1-5】正弦稳态电路如图 1-9 (a) 所示, 已知 $u_s(t) = 10\sqrt{2}\cos(2t)\text{V}$, 求电压 $u(t)$ 。

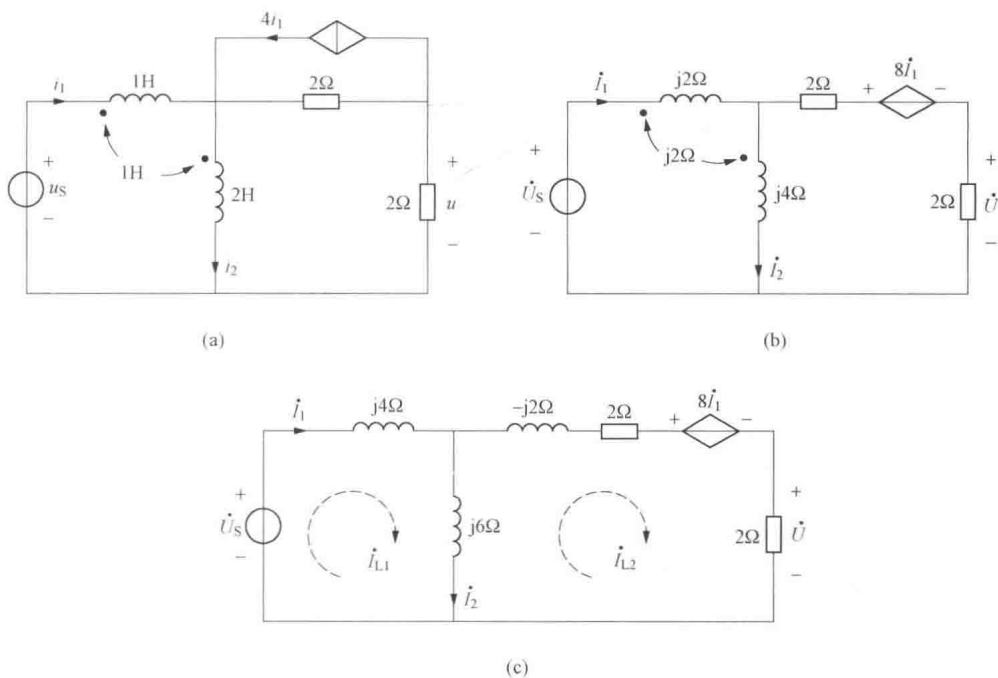


图 1-9 例 1-5 图

解 $\dot{U}_s = 10\angle 0^\circ \text{V}$ 。电阻与受控电流源的并联可以等效为电阻与受控电压源的串联。画出图 1-9 (a) 所对应电路相量模型如图 1-9 (b) 所示。

解法一: 直接列方程。列回路 KVL 方程

$$\begin{cases} j2\dot{I}_1 + j2\dot{I}_2 + j4\dot{I}_2 + j2\dot{I}_1 = \dot{U}_s \\ (2+2)(\dot{I}_1 - \dot{I}_2) + 8\dot{I}_1 - j4\dot{I}_2 - j2\dot{I}_1 = 0 \end{cases}$$

整理方程组,有

$$\begin{cases} j4\dot{I}_1 + j6\dot{I}_2 = 10\angle 0^\circ \\ (12-j2)\dot{I}_1 - (4+j4)\dot{I}_2 = 0 \end{cases}$$

解得

$$\dot{I}_1 = 0.64\angle -47.60^\circ \text{A}, \dot{I}_2 = 1.38\angle -102.06^\circ \text{A}$$

所以

$$\dot{U} = 2(\dot{I}_1 - \dot{I}_2) = 2.27\angle 50.53^\circ \text{V}$$

$$u(t) = 2.27\sqrt{2}\cos(2t + 50.53^\circ) \text{V}$$

解法二:去耦等效法。对图 1-9(b)中耦合电感 T 形去耦,得到图 1-9(c)所示电路。应用回路电流法列方程

$$\begin{cases} (j4+j6)\dot{I}_{L1} - j6\dot{I}_{L2} = \dot{U}_S \\ -j6\dot{I}_{L1} + (-j2+2+2+j6)\dot{I}_{L2} = -8\dot{I}_1 \end{cases}$$

附加方程

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{L1}$$

整理方程组,有

$$\begin{cases} j10\dot{I}_{L1} - j6\dot{I}_{L2} = 10\angle 0^\circ \\ (8-j6)\dot{I}_{L1} + (4+j4)\dot{I}_{L2} = 0 \end{cases}$$

解得

$$\dot{I}_{L1} = 0.64\angle -47.60^\circ \text{A}, \dot{I}_{L2} = 1.135\angle 50.53^\circ \text{A}$$

所以

$$\dot{U} = 2\dot{I}_{L2} = 2.27\angle 50.53^\circ \text{V}$$

$$u(t) = 2.27\sqrt{2}\cos(2t + 50.53^\circ) \text{V}$$

【解题指导与点评】含有耦合电感电路的分析方法主要有两种:一是按原电路应用 KCL、KVL 及耦合线圈的 VCR 建立方程求解;二是在能去耦的情况下先去耦,再按复杂交流电路分析计算,包括应用回路电流法、节点电压法、戴维南定理、诺顿定理、最大功率传输定理等方法。

自测题

一、选择题

1. 下列因素中,互感 M 与 () 无关。

A. 两线圈形状和结构

B. 两线圈几何位置

C. 空间媒质

D. 两线圈电压、电流参考方向

2. 两个自感为 L_1 、 L_2 的耦合电感,其互感 M 的最大值为 ()。

A. $L_1 L_2$

B. $\frac{L_1 + L_2}{2}$

C. $\frac{L_1 - L_2}{2}$

D. $\sqrt{L_1 L_2}$

3. 两耦合线圈的耦合因数 $k = (\quad)$ 。

- A. $\frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ B. $\sqrt{\frac{M}{L_1 L_2}}$ C. $\frac{M}{L_1 L_2}$ D. $\frac{\sqrt{M}}{L_1 L_2}$

4. 两耦合线圈顺接串联时, 其等效电感 $L_{eq} = (\quad)$ 。

- A. $L_1 + L_2 + M$ B. $L_1 + L_2 + 2M$ C. $L_1 + L_2 - M$ D. $L_1 + L_2 - 2M$

5. 两耦合线圈同侧并联时, 其等效电感 $L_{eq} = (\quad)$ 。

- A. $\frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$ B. $\frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$
C. $\frac{L_1 L_2 + M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$ D. $\frac{L_1 L_2 + M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$

6. 两耦合电感参数 $L_1 = 0.8\text{H}$, $L_2 = 0.7\text{H}$, $M = 0.5\text{H}$, 串联接在有效值为 U_s 的正弦电源上, 若 U_s 保持不变, 则顺接串联时电流有效值为反接串联时电流有效值的 $(\quad)$ 倍。

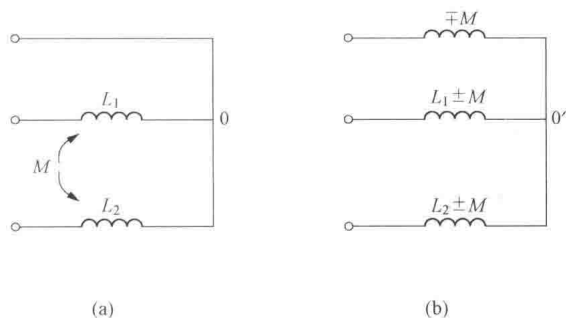
- A. 2 B. 0.2 C. 0.5 D. 5

7. 将题图 1-1 (a) 化为题图 1-1 (b) 所示的去耦等效电路, 取哪一组符号取决于 $(\quad)$ 。

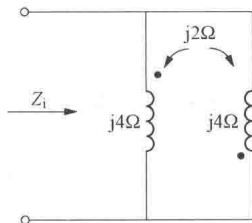
- A. L_1 、 L_2 中电流同时流入还是流出节点 0
B. L_1 、 L_2 中一个电流流入节点 0, 另一个电流流出节点 0
C. L_1 、 L_2 的同名端相对于节点 0 是在同侧还是在异侧, 且与电流参考方向无关
D. L_1 、 L_2 的同名端相对于节点 0 是在同侧还是在异侧, 且与电流参考方向有关

8. 题图 1-2 所示电路中, $Z_i = (\quad)$ 。

- A. $j2\Omega$ B. $j1\Omega$ C. $j3\Omega$ D. $j8\Omega$



题图 1-1



题图 1-2

9. 在题图 1-3 所示电路中, $Z_i = (\quad)$ 。

- A. $j8\Omega$ B. $j6\Omega$ C. $j12\Omega$ D. $j4\Omega$

10. 对于题图 1-4 所示电路, 下列有关电压、电流关系的叙述中, 正确的是 $(\quad)$ 。

- A. $u_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$, $u_2 = -M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt}$
B. $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$, $u_2 = -M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt}$