

电路分析解题指南

王摇楚摇余道衡摇编著

摇图书在版编目(悦孕)数据

摇电路分析解题指南 王楚,余道衡编著 援-北京 北京大学出版社 圆园缘年

摇阳晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

摇 I 圆电...摇 II 圆王...援 圆余...摇 III 圆电路分析 圆高等学校 圆教材 摇 IV 圆裁员裁源

摇中国版本图书馆 悦孕数据核字 (圆园缘年) 第 圆裁员裁号

摇书 名: 电路分析解题指南

著作责任者: 王摇楚摇余道衡摇编著

责任编辑: 王摇艳

标准书号: 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷 圆裁员裁

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内摇员裁员裁

网 址: 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

电 话: 邮购部 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷 摇发行部 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷 摇编辑部 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

电子信箱: 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

排版者: 兴盛达打字服务社摇圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

印刷者:

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷 摇开本摇员裁员裁 摇张摇员裁源千字

圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷 摇圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

印 数: 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

定 价: 圆晨苑 圆园缘年 圆月 第 员次印刷

内 容 提 要

本书是《电路分析》(王楚、余道衡编著,北京大学出版社,2005年9月)一书的辅助参考书,对《电路分析》共十章~~源~~题~~道~~思考题和习题进行了精要的解答和说明。编排顺序与《电路分析》完全相同。每章题解之前都有内容摘要。

本书适合电子与信息科学类专业学生作为学习“电路分析”课程参考,也可供其他专业大学生、研究生及从事电子与信息科学方面工作的工程技术人员参考。

序

本书是北京大学电子学系第二学年第一学期设置的“电路分析”课程的参考书。在第一学年中,学生已学完“电磁学”和“热学”。在“电磁学”中已系统地讨论了麦克斯韦的电磁场理论,论证了电路是电磁波的有线传输,介绍了简单电路的微分方程解法与复数解法。在“热学”中已介绍了利用载流子的扩散与迁移组成的二极管、热电偶等器件,介绍了热噪声、闪烁噪声及固体的表面结构。与“电路分析”并行的有“光学”。按照现代的认识,光学应是电磁波的波动学。在“光学”中介绍了激光器、光纤与波导、光调制器、衍射波导元件与天线、几何光学天线,这对于扩展电路系统的概念是有益的。

电路理论起源于“旋转电机”时代的“电工学”,后来叫做“网络理论”。“网络”已不局限于狭义的、直观的电电路,可以是光机电一体化化的系统。网络理论大致可划分为网络分析与网络综合两个层次。早期的网络分析主要是用微分方程和复数解法求解交流电路。到 20 世纪 50 年代末,又引进拉氏变换与信号分析,并形成了用矩阵代数分析复杂网络的系统理论。由于这是一门发展中的技术科学,各校按自己的教学计划设置课程,内容与名称不尽相同。

美国的大学已普及化,长期以来,他们的“电路分析”保持了早期的格局。后来为了体现科技的进展,增设了“信号与系统”,又叫做“信号与电路”。

《电路分析》一书是以北京大学信息科学技术学院电子学系在 20 世纪 80 年代初建立的课程格局为框架,以我国大学生可能具有的数学和物理素养为基础,建立的大学层次的“网络分析”参考书,其中调整和充实了近期才完善的非线性电路模型,也包含若干我们的论述。因此,书的取材与论述方法与常见的《电路分析》教材不同。由于书中所举的例子都是直观的电电路,所以书名为《电路分析》。但书中的分析方法,对其他线性与非线性系统也适用。

《电路分析》一书中的思考题与习题是书的重要组成部分,其中大部分是作者编的,也有一些是引用其他著作的。这些题大致体现出对学生的引导,但不是按某种考试要求的练习。显然,在校生不可能全做,也不要求全做。在作者执教时,总是鼓励学生阅读其他参考书,选做适合自己磨炼和钻研的题。

《电路分析》每一章的习题大致与相应章的主题对应,其中有些具有实际意义的背景,有些题要求综合运用读者的诸方面知识解题。显然,某些题对在校

是难了一些。作者的目 的,仅在于提示学生还有继续钻研与思考的必要。大学的主要课程,并不是学一遍就能穷其尽的。现在有些大学生,常对这个问题缺乏应有的思想准备。

《电路分析》一书中的思考题大致有以下三类:

(夙) 复习基本概念。要求严格地按准确的概念分析问题。

(圆) 引导深入理解。进一步发掘书中论述的命题的内涵,养成深入有序地分析问题的习惯。

(獭) 提出一些应予以关注的实际知识,但不一定能用对应章节求解。这类题目的目的,仅是提示学生注意可能观察到的实际现象(最好记录在案),适时地联系课程思考,但又不要急于得到完整的解答。作者认为这是一种应有的学风。

作者不提倡在校生盲目地多做题,但鼓励学生做好若干题。所谓做好题是指不论经过什么摸索过程,必须把思路与算法整理得有条理、简捷、明快,并认真书写。解答应包含以下三项:

(夙) 扼要地说明立论与分析的依据;

(圆) 简捷明快的演算;

(獭) 对某些题还可以对结论作分析讨论,也可以简要地说明作题者的感受,当然,这一项常是仁者见仁、智者见智,没有标准答案。

总之,做题的要点在于练习“思路”,力戒急躁盲动。

编 者

圆园零年冬

第一章摇摇线性电路的复数解法

摘摇摇要

这一章介绍线性电路的复数解法援这个主题在《电磁学》^①中已有初步论述,本章可以认为是复习与提高,其特点在于:

(员) 全面介绍元件的概念,包括正元件与负元件、常参量与时变参量元件、线性与非线性元(器)件援

(圆) 较完整地介绍了电源与受控源的概念,尤其是电抗元件上的初值等效源与噪声源,可能与其他的《电路分析》有所不同援

(猿) 初步介绍不稳定电路的概念援

作者认为,以上是认识现代电路系统的基本概念援本章只是介绍基本概念,以后还要进一步论述援

《电路分析》另几章和另几章介绍了几种常用的单元电路,要求读者逐渐熟悉用特征参量认识基本电路的方法,诸如通频带、半功率点等援与《电磁学》中论述的不同之处在于:

(员) 引入了关于电路稳定性的论述,说明含受控源或负元件的基本电路也可能是不稳定的;

(圆) 引用了受控源与有源滤波器的概念援

以上两点对于理解集成电路有重要意义援这里只是引进概念,以后还要再论述援这一章的基本要求,仅是引导读者练习含受控源电路的分析与计算援

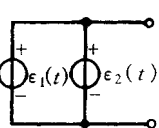
在《电路分析》另几章小节中介绍了石英振子和陶瓷滤波器,这是一类已广泛使用的电路元件援作为常用的滤波器还有声表面波元件,限于篇幅这里不能详述援专业工作者可以阅读有关资料,做到能够理解和应用援

思 考 题

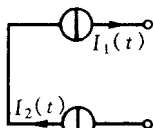
员摇摇有人想制成如图 员摇摇所示的两种二端装置援你认为这种想法是否可

① 王楚,李椿,周乐柱援电磁学援北京大学出版社,圆园园年 圆月援

行?



(a)



(b)

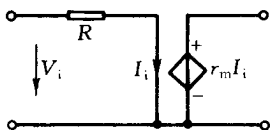
解摇这两种装置皆由同性质的理想源组成,因而也是电源援图员源的输出端电压,按两电压源计,应分别为 $\epsilon_{\text{源}}$ (贼和 $\epsilon_{\text{圆}}$ (贼援若 $\epsilon_{\text{源}}$ (贼 \neq $\epsilon_{\text{圆}}$ (贼,则是不可能实现的装置援图员源的输出电流,按两电流源计,应分别为 $I_{\text{源}}$ (贼和 $I_{\text{圆}}$ (贼援若 $I_{\text{源}}$ (贼 \neq $I_{\text{圆}}$ (贼,则

图摇员源

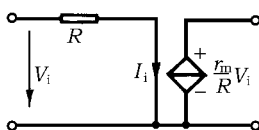
是不可能实现的装置援

该题的意义在于:源电压不同的电压源不能并联,源电流不同的电流源不能串联援

员源图员源是电阻砸和电流控制电压源组成的电路,其中砸和 I_i 是已知量,试将该电路表示为电压控制电压源,并画出它的等效电路援



图摇员源



图摇员源

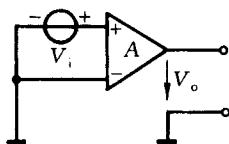
摇摇解摇摇按图员源有

阻越砸灾,

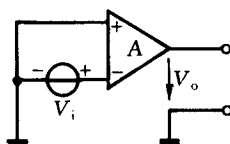
即受控源的控制信号 I_i 可以用输入电压 V_i 表示援因此,该电路可表示为电压控制电压源,如图员源所示援

该题的意义在于:受控源的控制信号,可按便于分析问题的需要,表示为系统中某一个有确定关系的物理量援

员源图员源是两种差分电压放大器组成的电路援试画出它们的等效电路,并说明二者的差异援



(a)



(b)

图摇员源

解摇摇图员源的输出端电压,是同相放大器;图员源的输出端电压,是反相放大器援

的等效电路如图 1.1.10 所示,是反相放大器接

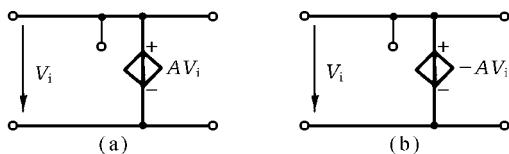


图 1-15

该题的意义在于：熟悉理想差分放大器的等效电路，并说明它也可用作单输入端口放大器，这是一种通用放大器的模型。

在正电阻和负电阻上，电压与电流的相角差是多少？在正电容和负电容上，电压与电流的相角差是多少？

解 本题讨论“相角差”，故电压和电流都应为简谐信号。电阻的方程为

$$V = R I$$

若 R 为正实数（正电阻），则电阻上的电压与电流同相；若 R 为负实数（负电阻），则电阻上的电压相对于电流的相角差为 π 。

电容的方程为

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

若 C 为正实数（正电容），则电容上的电压相对于电流的相角差为 $-\frac{\pi}{2}$ ；若 C

为负实数（负电容），则电容上的电压相对于电流的相角差为 $\frac{\pi}{2}$ 。

本题的意义在于：复习复数运算与复数解法的基本概念。

试依据二极管的特性曲线，说明它的微变电阻何处大？何处小？你能想出一个把二极管当作可变电阻使用的方案吗？

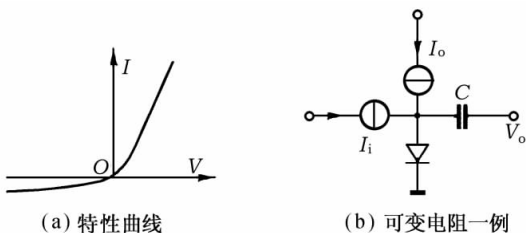


图 1-16

解 二极管的伏安特性曲线如图 1-16(a) 所示，其微变电阻等于特性曲线的切线的斜率的倒数，因此，通过二极管的正向电流越大，微变电阻越小。若给

二极管以反向电流,则微变电阻是大电阻援

设想以直流电流源 I_0 激励二极管,使二极管有相应的正向电压和电流援再注入较小的交流电流 i_1 ,令通过二极管的电流随之改变(如图 10-1-10)援对于交流,电流二极管是微变电阻,其阻值因 I_0 不同而异援二极管上的交流电压正比于微变电阻,因而可利用 I_0 控制交流电压的大小援交流电压可通过耦合电容输出援

该题说明非线性器件的微变参量常不是常量援利用这种效应组成受电信号控制的电路援

援列举几个你知道的(或设想的)非线性电容和非线性电感的例子援解磁滞磁性材料的 $B-H$ 曲线不是直线(磁滞回线),有铁芯的线圈和变压器,都有不同程度的非线性效应援晶体的 $P-Q$ 曲线不是直线(电滞回线),以单晶为介质的电容,常有不同程度的非线性效应援二极管的结电容是非线性电容援

该题要求回顾基本的物理知识,对非线性元件有进一步的认识援

援到实验室观察几种实际的元件的结构,例如滑线电阻、金属膜电阻、金属膜纸介质电容等援结合元件的实际结构,扼要地说明你对分布参数的认识援

说明援该题要求认真地观察元件、传输线的结构,用物理概念直观地认识分布参数援对于每一种元件,只有在一定的频率范围内,才可以当作集总参量元件使用援

援扼要地说明:线性常参量电路的微分方程的特征根与电路稳定性的关系援

解常参量线性电路的方程是以时间为自变量的常系数线性微分方程(或方程组)援它的一组解是以方程的特征根为指数系数的指数函数援若特征根的实部是正指数,则相应的指数函数必随时间增长趋于无穷大,这种电路是不稳定的;若特征根的实部是负指数,则相应的解必随时间增长而衰减至零,这种电路是稳定的援

该题要求回顾关于微分方程的理论,并把方程的性质与电路(或系统)的性质联系起来援

援在什么条件下,常参量线性电路可以用复数解法?

解复数解法只求电路启动足够长时间后的解,叫做稳态解援稳态解应是有界的(不为无穷大),因而只适用于稳定的电路援

援图 10-1-11 是一种含电流控制电流源的电路,已知在开关运闭合前电容上的电荷为零援

(员) 求开关闭合后电容上的电压；

(圆) 说明在什么情况下电路是不稳定的, 并定性地描述不稳定电路中的充电现象？

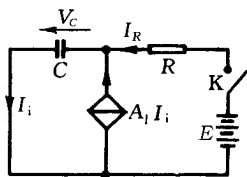


图 1-1-1

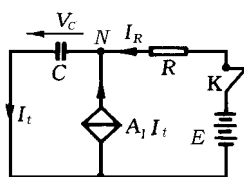


图 1-1-2

解 (员) 该题求电容上的电压 V_c , 故以 V_c 为所求的未知函数。规定 V_c 和通过电阻的电流 I_R 的参考方向如图 1-1-1 所示。按电容和电阻的方程得

$$V_c = \frac{1}{C} \int I_i dt + V_{c0} \quad (1)$$

$$I_R = \frac{V_c}{R} \quad (2)$$

由节点电压法知

$$I_i = I_R + A_1 I_i \quad (3)$$

消去以上三式中的 I_i 和 I_R , 可以解得

$$V_c = \frac{1}{C} \int \frac{I_R}{1 - A_1} dt + V_{c0} \quad (4)$$

用积分算符的反演公式可解得

$$V_c = \frac{1}{C} \int I_R e^{-\lambda t} dt + V_{c0} \quad (5)$$

式中 λ 为待定常数,

$$\lambda = \frac{1}{C} (1 - A_1) \quad (6)$$

因 $t=0$ 时, $V_c = V_{c0}$, 可由式 (5) 解得 λ , 故有

$$V_c = \frac{1}{C} \int I_R e^{-\lambda t} dt + V_{c0} \quad (7)$$

(圆) 若 $\lambda > 0$, 则在 $t \rightarrow \infty$ 时, V_c 将收敛于 V_{c0} , 电路是稳定的。按这种情况与由正元件组成的阻容电路的充电过程相似, 只是等效电容量为 $\frac{1}{C(1 - A_1)}$: 受控源与电容组成有源电容。

若 $\lambda < 0$, 则在 $t \rightarrow \infty$ 时, V_c 将发散至 ∞ (设 $V_{c0} = 0$), 电路是不稳定的。在这种情况下, 若 R 和 A_1 是正元件, 只要 $A_1 > 1$ (实数), 电路就是不稳定的, 或者说这里的有源电容将是负电容。

本题说明负元件可以由正元件和受控源组成。受控源的作用是把某种能量转化为控制信号形态的电能。因此, 在特定的控制信号作用下, 可使电路中的能量持续地增长, 从而使电路成为不稳定电路。

在躁园)越砸援

摇摇按照串联电路的分压公式,谐振时电阻、电感和电容上的电压分别为

$$灾(躁园)越\frac{砸}{在躁园}\varepsilon(躁园)越\varepsilon(躁园), \quad (4)$$

$$灾(躁园)越\frac{躁蕴}{在躁园}\varepsilon(躁园)越躁蕴\varepsilon(躁园), \quad (5)$$

$$灾(躁园)越\frac{(躁悦)^{\text{原}}}{在躁园}\varepsilon(躁园)越原躁悦\varepsilon(躁园)援 \quad (6)$$

以上三式证明了命题援

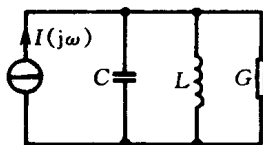
员缘缘图员缘园是并联谐振电路证明:

(员)在谐振时通过电导的电流等于电流源的源电流;

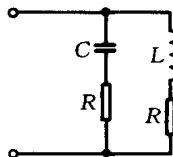
(圆)在谐振时通过电感或电容的电流等于电流源的源电流的匝倍援

说明参照思考题员缘源用并联电路的导纳和分流公式求解援

思考题员缘缘和员缘源要求读者复习谐振电路的基本性质,尤其是注意理解电压源、电流源、串联电路和并联电路的对偶性原理援



图摇员缘园



图摇员缘员

摇摇员缘缘图员缘员是用三种元件组成的二端电路援问:砸、蕴、悦三个量满足什么条件,可以使二端电路的阻抗是与频率无关的常量?

解摇摇该电路由电容性支路与电感性支路并联组成,因而宜直接分析其导纳援按图员缘员,该电路的导纳为

$$\begin{aligned} \text{再越} & \frac{员}{(躁悦)^{\text{原}}}垣\frac{员}{躁蕴垣砸} \\ \text{越} & \frac{[躁蕴垣(躁悦)^{\text{原}}]垣圆砸}{[躁蕴垣(躁悦)^{\text{原}}]砸垣(砸垣躁蕴)^{\text{原}}} \text{援} \end{aligned} \quad (1)$$

摇摇在①式中,角频率皆蕴涵在其分子和分母的虚部中援要再与频率无关,其分子与分母的虚部之比应等于实部之比援即:再应等于分子和分母的实部比援

按上述分析,由①式得

$$\frac{员}{砸}越\frac{圆垣躁蕴}{砸垣躁蕴}, \quad (2)$$

由②式解得

$$\dot{V}_o = \frac{R}{R + j\omega L} \dot{V}_i \quad (3)$$

用③式消去①式中的 \dot{V}_o 得

$$\dot{V}_i = \frac{R + j\omega L}{R} \dot{V}_o$$

即：在满足③式的条件下，该电路的阻抗等于电阻 R

该题的意义在于：理解复数的性质，并说明低阻谐振电路可以呈现某些特殊的属性

图 10-10 是一种低通滤波器

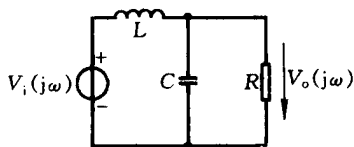


图 10-10

(1) 证明在 ω 小于一临界值时，其幅频特性曲线无极大值；

(2) 设 ω 等于临界值，将该电路与低通滤波器比较，说明低通滤波器的特点

解 (1) 在形式上，该电路是电感与阻容并联支路组成的分压电路。直观地看，在频率升高时感抗随之增大，容抗随之减小，可以看做是二阶低通滤波器，按分压公式

得其传递函数为

$$H(j\omega) = \frac{R}{R + j\omega L} \quad (演算过程略去)$$

为便于讨论其幅频特性曲线，先讨论 $|H(j\omega)|$ 。由上式可以导出

$$|H(j\omega)| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad (1)$$

式中 $\omega_0 = \frac{1}{L}$ ， R 为常数， ω 为自变量

$|H(j\omega)|$ 是以 ω 为自变量的抛物线型函数，其开口向上。在 ω 越小时，

$|H(j\omega)|$ 越大。用微分法可以证明：在

$$\omega = \frac{1}{L} \quad (2)$$

时， $|H(j\omega)|$ 有极小值，即 $|H(j\omega)|$ 有极大值。因

$|H(j\omega)|$ 不能为负数，故由②式解得 $|H(j\omega)|$ 有极大值的条件为

$$\omega \geq \frac{1}{L}, \text{ 即 } \omega \geq \omega_0$$

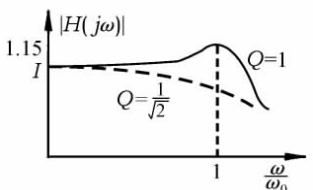


图 10-11

将②式代入①式,得 $\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ 的极小值为

$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} \left(1 - \frac{R^2}{L^2}\right)^{-1/2}$$

即 $|H(\omega)|$ 的极大值为

$$|H(\omega)|_{\max} \approx \frac{1}{R} \left[\frac{1}{\sqrt{LC}} \left(1 - \frac{R^2}{L^2}\right)^{-1/2} \right]^2$$

作为定性的估计,在 $\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 时, $|H(\omega)|$ 的极大值出现在 ω_0 处,此条件下幅频特性曲线已无极大值,在上半功率点 ω_0 处,极大值较平缓。可以想到,对于实际的低通滤波器,宜取 $R \approx \sqrt{L/C}$ 或 R 略小于 $\sqrt{L/C}$,使在通频带内有较平坦的幅频特性曲线。

该题说明:对实用的低阻谐振电路,必须作具体的分析才能恰当地选择参数。

该题说明:对实用的低阻谐振电路,必须作具体的分析才能恰当地选择参数。

该题说明:对实用的低阻谐振电路,必须作具体的分析才能恰当地选择参数。

(1) 求该电路的通频带;

(2) 若要求在通频带内有较平坦的幅频特性,可以采取哪些改进的措施?

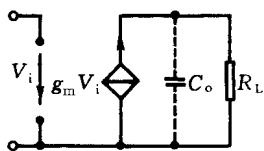


图 1-1-1

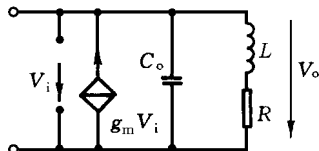


图 1-1-2

解: (1) 该电路是电流源激励的阻容并联电路,它与《电路分析》中图 1-1-1 中的一阶低通滤波器对偶,也是一阶低通滤波器。据此判断,其上半功率点(即通频带)为

$$\omega_{0.707} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} \left(1 - \frac{R^2}{L^2}\right)^{-1/2} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

(上述结论也可以通过电路计算得到)

(2) 为使该电路有比图 1-1-2 低通滤波器在通频带内更平坦的幅频特性曲线,参照思考题 1-1-1 和 1-1-2,可与图 1-1-2 串联电感 L 组成低阻谐振电路(见图 1-1-3)。电感的值可通过具体的分析计算确定。

任何实际电路总有分布参量,故实际电路总是一种滤波器,分布参量可能是影响频率响应的重要因素

解:设想用并联谐振电路与受控源组成一带阻滤波器,画出电路图并简述其工作原理

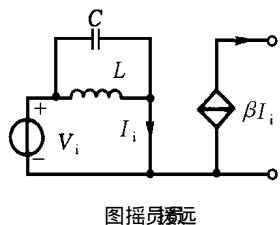


图 1

解:并联谐振电路(高通)在谐振时阻抗呈极大值。若以电压源激励,则在谐振频率处其电流有极小值。以其电流为输出信号,则电压源激励的并联谐振电路本身就是带阻滤波器。便于取得输出信号,可用电流控制电流源作输出级,电路如图 1 所示。使用这种输出级的作用,在于避免负载直接接入而影响滤波器的特性。当然,若以电流控制电压源为输出级,则输出信号可转换成电压信号。

该题要求能灵活地运用基本知识,同时也说明受控源的一种用途。解:如图 2 是用电流源激励的有源带通滤波器:

(1) 砸值取多大才可以使电路保持稳定?

(2) 通过调节 砸,可使稳定电路的 匝在什么范围内变化?

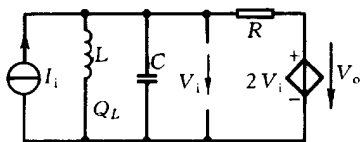


图 2

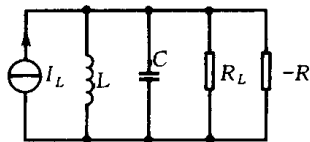


图 3

解:(1) 该电路为并联谐振电路,由有源电阻与输入电阻并联组成。输入电阻为

$$R_{in} = \frac{R}{1 + Q_L^2} \quad (1)$$

为便于分析,将有耗电感化为电感、电阻并联等效电路。等效电阻为

$$R_{eq} = \frac{R}{1 + \omega^2 L^2} \quad (2)$$

综上所述,该电路的等效电路如图 3 所示,电路等效于典型的并联谐振电路和 R_{in} 与 R_{eq} 并联组成的等效电导。再并联若再是正电导,则电路是稳定的。因此,电路稳定的条件可以表示为

$$R_{in} > R_{eq} \quad (3)$$

由(1)式与(2)式解得

$$\omega < \omega_{cutoff} \quad (4)$$

摇摇(圆) 按照②式, 等效电路的 匝值为

$$\text{匝越} \left(\frac{\text{员}}{\text{匝}} \right) \omega \text{ 跃园援}$$

以①式代入得

$$\text{匝越} \left(\frac{\text{员}}{\text{匝}} \right) \omega \text{ 跃园援} \tag{4}$$

由④式看出: 在 匝越园时 匝有最小值 匝, 在 匝向 匝 趋近时 匝趋于无穷大援

该题说明: 可以利用有源电路的负阻抗提高谐振电路的 匝值援

摇摇已知 孕 结的微分电容与电压的关系可以表示为

$$\text{悦越} \eta (\text{灾} \text{ 原灾})^{\text{圆}}, \text{ 灾约灾援}$$

式中 η 和 灾 为常量援 孕 结上的电荷与电压的关系援

解摇在非线形电容上, 电荷与电压的关系式可以表示为

$$\text{匝越枣灾}, \tag{1}$$

枣灾是待定函数援 参照线性电容的方程, 其微变电容可定义为

$$\text{悦越} \frac{\text{匝}}{\text{灾}} \text{ 越枣灾援} \tag{2}$$

按题意, 对于 孕 结的结电容有

$$\text{枣灾} \text{ 越} \eta (\text{灾} \text{ 原灾})^{\text{圆}}, \text{ 灾约灾援}$$

按照①式有

$$\text{匝越} \int_{\text{灾}}^{\text{灾}} \eta (\text{灾} \text{ 原灾})^{\text{圆}} \text{ 灾越} \frac{\text{圆}}{\text{缘}} \eta (\text{灾} \text{ 原灾})^{\text{圆}}, \text{ 灾约灾援}$$

摇摇该题要求理解非线性元件的微变参数的定义, 并介绍一种常用的非线性电容援

摇摇图 员 怨 是一个载流线圈的示意图援

(员) 若线圈附近还有其他导体, 问对线圈的状态会产生什么影响?

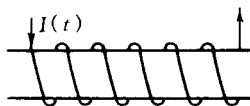
(圆) 定性地说一个实际线圈的分布参数援

解摇(员) 在线圈中有交变电流时线圈不是等位线,

每匝线圈都有电场线(电力线)发散出来援其中有部分电场线作用于周围的导体, 构成线圈与导体间的分布电容及通过分布电容的相互作用援

线圈的磁场线(磁力线)也要发散到空间, 并有一部分作用于导体产生涡流, 构成线圈和导体间的分布互感及通过分布互感的相互作用援

导体中的涡流耗损可用分布电阻描述援这种耗损呈现为分布电阻通过分布互感耦合到线圈中, 从而降低了线圈的 匝值援



图摇员 怨