

# 电容抽头在高频电路中的应用与等效计算

吴元亮, 徐 勇, 闵 锐

(陆军工程大学通信工程学院, 南京 210007)

**摘要:**介绍高频电路中电容抽头等部分接入电路设计应用的工程背景,探讨了源和负载接入对LC谐振回路产生的实际影响,及引入部分接入方式解决这些影响的实际价值。利用电路基本理论和阻抗变换公式分别对电容抽头负载部分接入进行等效计算,提出计算误差问题,并通过分析阐明误差产生原因,最后利用Multisim软件完成电路的仿真设计,结果验证了理论分析和计算的准确性。

**关键词:**高频电路;LC回路;电容抽头;等效计算;电路仿真

**中图分类号:** TN752.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-1891(2018)01-0027-03

## The Application and Equivalent Calculation of Capacitor Tap in High Frequency Circuit

WU Yuan-liang, XU Yong, MIN Rui

(Institute of Communication Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing, 210007, China)

**Abstract:** The paper presents the engineering background of capacitor tap in high frequency circuit, and discusses the actual effect of source and load on the LC tank, as well as the practical value of partial access method to solve the problem. Based on the elementary circuit theory and impedance transformation formula, equivalent calculation of capacitor tap is carried out respectively. The paper puts forward the error problem, and illustrates the reason by means of analysis. Finally, Software multisim is used to test the design circuit, and simulating results demonstrate the accuracy of the theory analysis and calculation.

**Keywords:** high frequency circuit; LC tank; capacitor tap; equivalent calculation; circuit simulation

### 1 部分接入的工程背景与教学意义

滤波器和阻抗匹配是高频电路设计的两类重要电路。信号在传输过程受到噪声和干扰,滤波器从众多无用信号和噪声、非线性失真等干扰中选出有用信号,同时抑制和滤除无用信号和噪声干扰。阻抗匹配则实现从信号源到负载的最大可能功率转移,尤其是在高灵敏度接收机的前端<sup>[1]</sup>。这两类电路通常由电感和电容组成,往往以部分接入方式应用在天线、调制器、高放、混频器等电路的输出端。部分接入一是减小源和负载对LC谐振回路的影响,提高高频电路选频能力、解决谐振频率漂移和不稳定问题,二是实现阻抗匹配,方便信号传送到下一级。

### 2 源和负载对LC谐振回路的实际影响

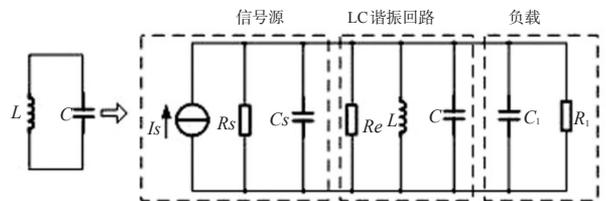


图1 源和负载对LC谐振回路的影响

图1为LC谐振回路空载与有载电路。空载时,  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ , 品质因数为  $Q_0 = \frac{R_0}{\omega_0 L}$ 。

直接插入信源、负载时,谐振频率 $f_0$ 、有载品质因数 $Q_i$ 计算为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_s + C + C_L)}}, Q_L = \frac{R_s}{\omega_0 L} = \frac{R_s // R_0 // R_L}{\omega_0 L} = \frac{Q_0}{1 + R_0 / R_s + R_0 / R_L}$$

$f_0$ 的计算式表明源电容  $C_s$  和负载电容  $C_L$  将导致  $f_0$  减小,若维持  $f_0$  不变,需要减小电感  $L$ ,这必然降低  $Q_L$ ,进而降低回路的选频能力。 $Q_L$  的计算式表明源内阻  $R_s$  和负载电阻  $R_L$  的引入将减小 LC 回路总电阻  $R_s$  和有载品质因数  $Q_L$ ,增大带宽  $B$ ,这使得 LC 回路很难适用于小阻值源和负载时。部分接入是有效解决这个问题方法之一。

### 3 部分接入的阻抗变换与准确计算

部分接入主要有图 2 所示 3 种方式:变压器、电感抽头和电容抽头。对于每一种形式,折算均可使用公式:  $R'_L = \left(\frac{1}{n}\right)^2 R_L$ ,公式可推广应用于  $Z' = \left(\frac{1}{n}\right)^2 Z$ ,  $n$  为接入系数,互感  $n = \frac{N_2}{N_1}$ ,电感抽头  $n = \frac{N_2}{N}$ ,电容抽头  $n = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$ 。部分接入将大大提高电路的品质因

数,是一种行之有效的改进方式。

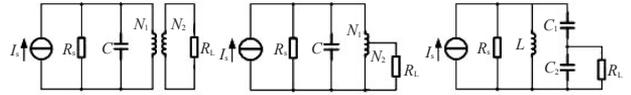


图 2 常用的 3 种部分接入方式

但是高频电路教学对于折算公式的准确运用鲜有提及。图 3 为一道带有负载电容的电容抽头接入电路<sup>[2]</sup>,学生在计算上存在一定争议。

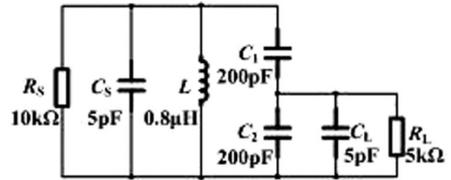


图 3 电容抽头接入电路

学生采取两种计算思路。思路一:负载电阻  $R_L$  与负载电容  $C_L$  标为负载阻抗  $Z_L$ ;思路二:负载电容  $C_L$  与回路电容  $C_L$  直接合并。计算的结果如表 1 所示。

表 1 两种计算思路的结果比较

	回路总电容 $C_s/pF$	谐振频率 $f_0/MHz$	接入系数/ $n$	等效电阻 $R'_L/K\Omega$	折算后电路的 总谐振电阻 $R_s/K\Omega$	有载品质 因数 $Q_L$	通频带 $B/MHz$
思路一	$=C_s$ $+\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ $=105$	$\approx 17.37$	$=\frac{C_1}{C_1 + C_2}$ $=\frac{1}{2}$	$=\frac{1}{n^2} R_L$ $\approx 20$	$=R_s // R_0 // R'_L$ $\approx 3.78$	$=\frac{R_s}{\omega_0 L}$ $\approx 43.3$	$=\frac{f_0}{Q_L}$ $\approx 0.401$
思路二	$=C_s$ $+\frac{C_1(C_2 + C_L)}{C_1 + C_2 + C_L}$ $\approx 106.23$	$\approx 17.26$	$+\frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_L}$ $=\frac{40}{81}$	$=\frac{1}{n^2} R_L$ $\approx 20.5$	$=R_s // R_0 // R'_L$ $\approx 3.78$	$=\frac{R_s}{\omega_0 L}$ $\approx 43.8$	$=\frac{f_0}{Q_L}$ $\approx 0.394$
比较	(1)当 $C_L \ll C_2$ 时, $C_s, f_0, n, R'_L, R_s, Q_L, B$ 的计算结果基本相同,如例题参数。 (2)当 $C_L \gg C_2$ 时,两种计算方法得到的结果差别较大。						

处理负载电容,计算思路一依据电路基本原理,思路二则是高频电路等效计算的常用方法。针对例题,表 1 中两种计算结果相近,但是有差别,而且差别随着负载电容  $C_L$  的增大而增大,当  $C_L$  的直接甚至大于抽头电容  $C_2$  时,差别很大。

通过图 4 所示电容抽头接入方式的阻抗等效过程解释和解决计算争议问题。

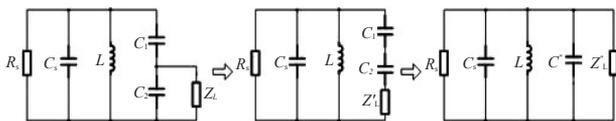


图 4 电容抽头接入方式的阻抗等效计算

根据电路串并联转换的阻抗变换原则,有如下计算。

$$Z_L, C_2 \text{ 并联向 } Z_L, C_2 \text{ 串联转换: } Z_L = Z_L / (1 + Q_{C_2}^2),$$

$$C'_2 = C_2(1 + 1/Q_{C_2}^2), Q_{C_2} = Z_L \omega C_2$$

$$\text{当 } Q_{C_2} \gg 1 \text{ 时, } Z_L \approx Z_L / Q_{C_2}^2 = 1 / Z_L \omega^2 C_2^2, C'_2 \approx C_2$$

$$Z_L, C'_2 \text{ 串联向 } Z'_L, C' \text{ 并联转换: } Z'_L = Z_L(1 + 1/Q_{C'_2}^2), C' = C'(1 + 1/Q_{C'_2}^2), Q_{C'} = 1/Z'_L \omega C'$$

$$\text{当 } Q_{C'} \gg 1 \text{ 时 } Z'_L \approx Z'_L / Q_{C'}^2 = 1/Z'_L \omega^2 C'^2, C' \approx C' \text{ 其中, } C' = C_1 C'_2 / (C_1 + C'_2)$$

所以当满足条件  $Q_{C_2} \gg 1, Q_{C'} \gg 1$  时,  $Z'_L \approx Z_L(1 + C_2^2/C_1^2), C' \approx C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ , 这就是电容抽头部分接入电路所采用的等效计算公式。谐振频率一定时:

$$Q_{C_2} = |Z| \omega C_2 = \sqrt{R_L^2 + \frac{1}{\omega^2 C_L^2}} \omega C_2, Q_{C'} = \frac{(1 + Q_{C_2}^2)}{Z_L} \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_2(1 + Q_{C_2}^2)} \right)$$

负载电容  $C_L$  越大,负载阻抗  $Z_L$  越小,  $Q_{C_2}$  越小;抽头电容  $C_2$  越小,  $Q_{C_2}$  越小。  $Q_{C'}$  情况与  $Q_{C_2}$  相似。而  $Q_{C_2}, Q_{C'}$  越小,根据等效计算公式计算的结果就越不准确。因而,为等效计算准确性高,抽头电容应该

比负载电容取值大一些,表1结果也表明了这一结论。

### 4 电容抽头部分接入 Multisim 电路仿真

图5为纯电阻负载时,LC谐振回路直接接入与部分接入的电路性能对比。仿真结果表明:部分接入方式能够有效提高电路的品质因数,选频曲线更陡峭,带宽变窄<sup>[3-4]</sup>。

图6为负载有电容时,不同负载电容值对电路

性能指标的影响。仿真结果表明:抽头电容为20 pF,负载电容为1 pF时,电路谐振频率、品质因数等各项指标受负载电容的影响很小,谐振频率与LC谐振回路空载时谐振频率相近,品质因数与纯电阻负载越相近;负载电容越大,各项指标受负载电容的影响越明显。从而证明利用高频电路中的折算公式计算谐振频率、谐振电阻、品质因数、带宽等指标时必须充分考虑负载电容与抽头电容在取值方面的关系,以免计算结果误差较大。

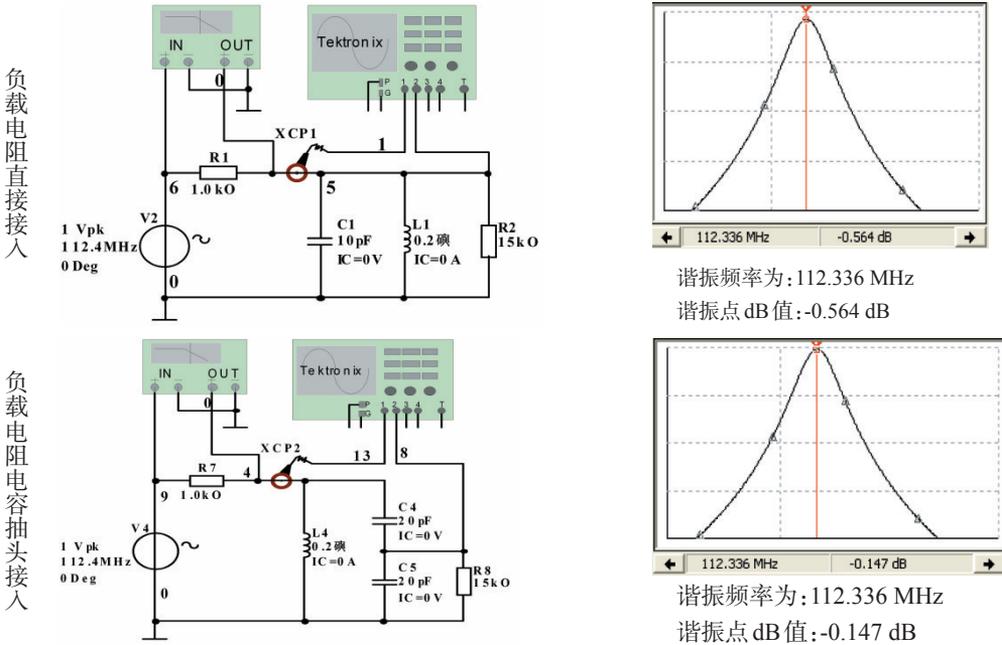


图5 直接接入与部分接入的性能对比

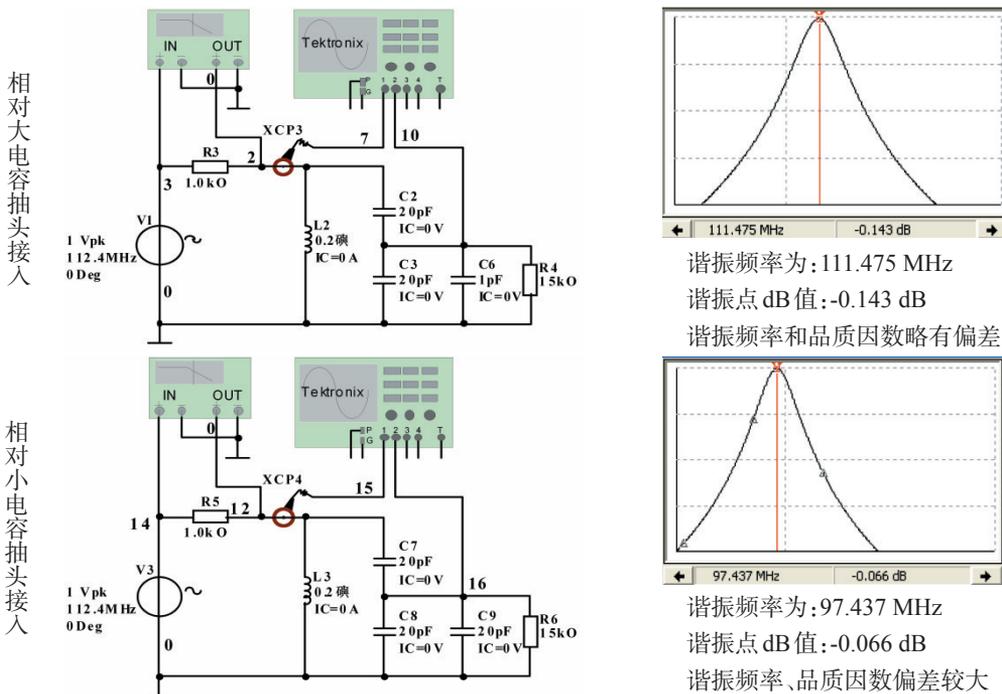


图6 抽头电容一定时不同负载电容对性能指标的影响

人身损害或财产损失,依法应当承担赔偿责任或给付义务的,保险人(保险公司)将根据保险合同的相关约定负责赔偿。对共享单车平台来说,发生交通事故后,交警对事故责任的认定跟社会上普通车辆一样,并不单独处理。处理流程跟正常车辆的程序一样,主要由保险公司来承担赔偿责任。

#### 5.4 尽快出台共享单车的日常管理维护细则

企业自身在追求低成本单车的同时必须保障单车质量,定期对存量车进行安全抽查,对故障车及时处理,为车辆购买保险;积极利用自己在环保、交通方面的贡献争取政府方面的资金支持,在人员密集地区如地铁口、商场门口、大学校门口,多建造

一些共享单车停放处,这可以杜绝乱停乱放的不良现象;厂家可以及时维修,防止大家上私家锁;对不文明行为,一经发现,要加大处罚力度。政府部门出面,完善相关制度。建立个人对共享单车的租用信用体系,加大惩处力度以减少失信行为,利用社会性惩戒制度并且通过信息资源的共享,将共享单车的个人信用应用到生活各领域。

#### 5.5 将共享充电宝使用点与便利店等零售店结合

共享充电宝主要存在的问题是“借还”困难,可以将共享充电宝遍布在城市中众多的加油站、餐馆、便利店等,如 7-11、美宜佳等,既方便使用者借还,也让充电宝得到管理。

#### 参考文献:

[1] 倪云华,虞仲轶.共享经济大趋势[M].北京:机械工业出版社,2016.  
 [2] 刘国华,吴博.共享经济 2.0[M].北京:企业管理出版社,2015.  
 [3] 谭文.互联网金融征信信息共享监管法律制度研究[D].重庆:西南政法大学,2016.

(上接第 9 页)

[5] 杨承,莫江,蹇国友,等.不同海拔烟区覆膜天数对土壤温度及烟株生长的影响[J].安徽农业科学,2013(31):1001-005.  
 [6] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.  
 [7] 罗发健.不同揭膜培土方式对烤烟生长及化学成分的影响[D].长沙:湖南农业大学,2010.  
 [8] 蒋水萍,穆青,毛春堂,等.不同揭膜破膜时间与方式对烤烟生长及品质的影响[J].贵州农业科学,2014(1):36-41.  
 [9] 位辉琴.凉山州不同覆膜期限对烤烟生理特性、营养及产质量的效应[D].郑州:河南农业大学,2006.  
 [10] 杨于峰.揭膜培土对烤烟产质、产量影响的研究[D].长沙:湖南农业大学,2013.  
 [11] 杨峰钢.揭膜等措施对鄂西南烟叶开片影响的研究[D].郑州:河南农业大学,2007.  
 [12] 王天军.金阳县膜下烤烟种植技术研究[D].北京:中国农业科学院,2012.  
 [13] 孔德钧,潘文杰,熊晶,等.地膜覆盖对高海拔地区烤烟产量和品质的影响[J].贵州农业科学,2011,39(6):58-60.  
 [14] 夏明忠,任迎虹.四川烤烟[M].北京:中国农业出版社,2013.  
 [15] 蒋士军,吴元华.烟草病理学[M].北京:中国农业出版社,2013.

(上接第 23 页)

## 5 结语

高频电路中应用 LC 回路时往往采取部分接入方式,以降低源与负载阻抗的影响。针对电容抽头

接入的等效计算问题,讨论根据电路理论和部分接入常用等效公式计算的差别,并分析差别产生的原因,最后利用电路仿真软件验证了理论分析的准确性。

#### 参考文献:

[1] CHRISTOPHER B, JOHN B, CHERYL A.射频电路设计[M].北京:电子工业出版社,2015.  
 [2] 徐勇,吴元亮,徐光辉,等.通信电子线路[M].北京:电子工业出版社,2017.  
 [3] 陶玉贵.Multisim 仿真在高频电子技术教学中的应用[J].西昌学院学报(自然科学版),2015,29(3):150-152.  
 [4] 吴学军.基于 EDA 仿真技术的《模拟电子技术基础》课程教学[J].西昌学院学报(自然科学版),2015,29(1):157-160.