

ACOUSTIC ENVELOPE DETECTOR FOR CRISPNESS ASSESSMENT OF BISCUITS

JIANSHE CHEN¹, CATHRINE KARLSSON and MALCOLM POVEY

*Procter Department of Food Science
University of Leeds Leeds
LS2 9JT
U.K.*

Received for Publication October 10, 2004
Accepted for Publication February 17, 2005

ABSTRACT

The crispness of food materials based on the force/displacement behavior and their acoustic nature was assessed using an Acoustic Envelope Detector (AED) attached to the Texture Analyzer, wherein six kinds of biscuits were used: Carr's Table Water, Crackerbread, Digestive, Dutch Crispbakes, Rich Tea fingers and Shortbread. The force/displacement and acoustic signals were simultaneously recorded during the breakup of biscuits. For each detected acoustic signal, there was a sudden drop in the compression force. The analysis of the force/displacement curve demonstrated the links between the second derivative of force curve and the acoustic event, indicating the energy released through the air of these crack events. The acoustic behavior of the biscuits was assessed in terms of maximum sound pressure level and the number of acoustic events, which were further interpreted as the acoustic events per unit area of newly created surface area and the acoustic event per unit time. The acoustic ranking of biscuits from instrumental assessment was in very good agreement with that from sensory panel tests. The normal integration time (1.25 ms) for the AED was generally effective in detecting acoustic signals for crisp biscuits, but a shorter integration time (0.25 ms) was found advantageous in detecting acoustic signals that occur within a very short time period and gave better differentiation of crisp biscuits.

KEYWORDS

Acoustic Envelope Detector, bending-snapping, biscuits, crispness, sensory, sound

¹ Corresponding author. TEL: (00) 44-113-3432748; FAX: (00) 44-113-3432982; EMAIL: j.chen@food.leeds.ac.uk

INTRODUCTION

Crispness is an important sensory attribute in many types of foods, and “crisp” is the most frequently used English word describing a textural attribute. However, its meaning is imprecise and the perception of crispness greatly varies from individual to individual and from country to country (Bourne 2002). The large variation of crispness perception is reflected in various taste panel results and gives food scientists great difficulty in defining a parameter that is scientifically meaningful and easy to measure. Nevertheless, there are two features we all agree about crisp foods: they are mechanically brittle and acoustically noisy.

Extensive researches on food crispness have attempted to establish correlations between crispness and mechanical properties of food materials, in particular, force/displacement. Crisp foods give sequential low-degree fractures once the load exceeds a critical value (Dobraszczyk and Vincent 1999). Such mechanical brittleness was referred as the jaggedness of force/displacement curves of puffed cereal particles (Suwonsichon *et al.* 1997) and was also observed from the force deflection curves of starch-based crisp foods (Vincent 1998). It was believed that a large number of small fracture events suppressed the development of large fracture events by competing for the available energy, thus creating the sensation of crispness (Vincent 1998). Here, we recognize the ambiguity of the English language with regard to “crispness” by referring to it alternatively as crispness or crispy/crunchiness.

The acoustic nature of crispness has also been extensively investigated by two different approaches: one is to measure the perception of air-conducted sounds to establish the contribution of these sounds to the sensation of food crispness, and the other is to record the sounds produced during the application of a force to a crisp food product to obtain quantitative information regarding the crisp, crunchy or crackly sounds (Duizer 2001). The former adopts sensory tests technique (Christensen and Vickers 1981; Vickers 1985) and the latter requires the development of acoustic detection devices (Edmister and Vickers 1985; Seymour and Hamann 1988; Tesch *et al.* 1995; Duizer 2001; Srisawas and Jindal 2003). Although these reports indicated positive correlations between acoustic measurements and the sensation of crispness, the precise interpretation of acoustic data is still difficult.

Little research has been done on the combination of force/displacement measurement and acoustic detection of food materials. This combination possesses the advantages of both techniques and should be able to reveal much more information about the crispness of food than either technique alone. An Acoustic Envelope Detector (AED) has recently been developed by the manufacturer of the Texture Analyzer, Stable Micro Systems (Surrey, U.K.). The device can be easily attached to the Texture Analyzer as an additional fixture

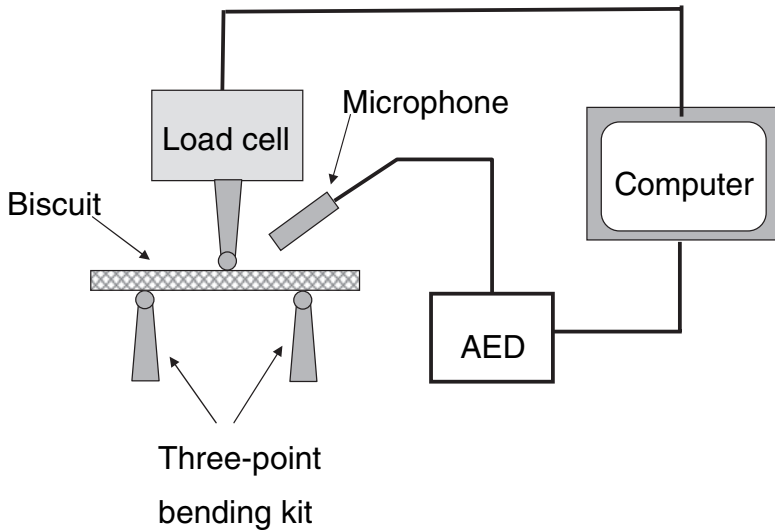


FIG. 1. A SCHEMATIC DIAGRAM OF INSTRUMENTAL SETUP OF THE TEXTURE ANALYZER CAPABLE OF DETECTING FORCE/DISPLACEMENT AND ACOUSTIC SIGNALS AED, acoustic envelope detector.

(Fig. 1), so that both mechanical force and acoustic signals can be detected at the same time. In this work, we will assess the applicability and reliability of the device in assessing the crispness/crunchiness of food materials. A number of biscuits was assessed for their acoustic characteristics together with the force/displacement information during the breakup of these materials. The instrumental test results were further assessed by comparison with taste panel tests. It is hoped that the results from this work could enhance our understanding of the acoustic and mechanical characteristics of crisp food materials and help us to establish a reliable and simple method for discerning the crispness of food products.

MATERIALS AND METHODS

Testing Materials

Six kinds of biscuits were purchased from supermarkets: Carr's Table Water ([CTW] Carr's of Carlisle, PA), Crackerbread ([CBD] Ryvita Co., Poole, Dorset, U.K.), Digestive ([McD] McVitie's, Ashby-De-La-Zouch, Leicestershire, U.K.), Dutch Crispbakes ([DCB], Safeway, Hayes, U.K.), Rich Tea fingers ([RTF] Safeway) and Shortbread ([SBD] Safeway). The geometric dimensions of the biscuits are given in Table 1. The samples were unpacked

子设计自动化(EDA)软件,属于 Electronics workbench 系列软件的高版本,是由加拿大 IIT 公司 1988 年推出的,目前最新的版本是 V7。它的主要特点有:

(1) 采用直观的电路图输入方式。绘制电路图需要的元件、电路仿真需要的虚拟仪器都可以直接从图形界面的工作平台上选取。

(2) 具有丰富的元件库。按照逻辑关系分为 14 个元件箱,而每个元件箱内又包含大量元件模型。用户还可以自行编辑或创建新的元件。

(3) 充足的虚拟仪器。Multisim 不但提供 11 种常用测试仪表,并且所有仪器都与实物相似,所有仪器都可以多台同时调用。

(4) 完整的分析方法。Multisim 提供了 15 种常用的电路仿真分析方法。这些分析方法基本能满

足一般电路分析设计的要求。

(5) 操作方便,易学易用。Multisim 与时间元件对应的元件模型非常丰富,增强了仿真的实用性。并且给用户提供了自行创建和修改元件的工具。

3 电路设计与仿真分析应用实例

全响应分析:当一个初始状态不为零的动态电路加入外加激励时,电路产生的响应称为全响应。对于线性电路,全响应是零输入响应和零状态响应之和。在 Multisim 7 仿真环境下绘制出的电路如图 1 所示。其中 V1、V2 为直流电压源, J1 为单刀双掷开关, R1、R2、R3 是阻值分别为 1K Ω 、1K Ω 和 2K Ω 的电阻, C1 为 1 μ F 的电容器, XSC1 为示波器。我们对电路的全响应进行仿真。

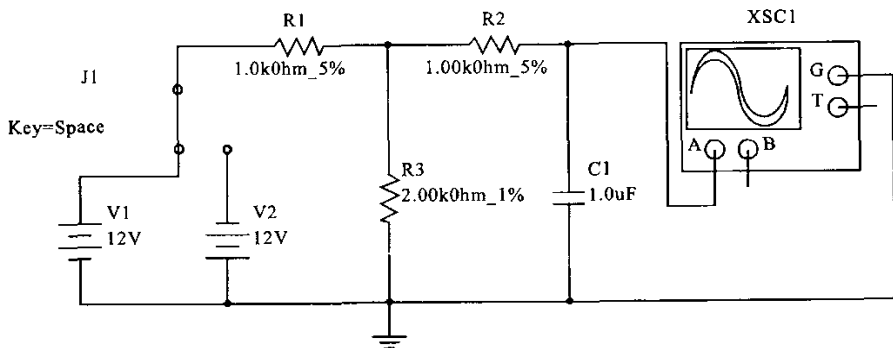


图 1 全响应电路图

当 V1 接入电路时电容充电,当 V2 接入电路时电容放电(或反方向充电),其响应是初始储能和外加激励同时作用的结果,即为全响应。反复按下空格键使 J1 反复接入 V1 或 V2,实现对电容 C1 的充放电过程。通过 Multisim 7 仿真软件中的示波器就可观察到电路全响应波形,如图 2 所示。

注意:在同一电路中,各元件参数保持不变的条件下,开关的开、闭时间不同,会导致电路的充放电时间不同,因此示波器所显示的各时间段响应也不同。其中各上升波形体现开关 J1 置于电源 V1 上的充电响应,而下降波形体现开关 J1 置于电源 V2 上的放电响应。学生可以根据实验电路图、三要素公式:

$$u_c(t) = [u_c(t_0) - u_c(\infty)] \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} + u_c(\infty),$$

以及换路时间,计算出该响应的理论值,再与示波器显示波形和读数相互比较,加深理解。

当学生重新调整电容 C1 的值,使它增加到 10 μ F 时,从相应的仿真波形可以明显地看到电路的

暂态过程比图 1 所示电路在 C1 为 1 μ F 时经历的时间变长了。在相同充放电时间下,波形与图 2 相比变得更加平缓,这可以更好地帮助学生理解动态电路时间常数的概念。我们还可以鼓励学生尝试将电源

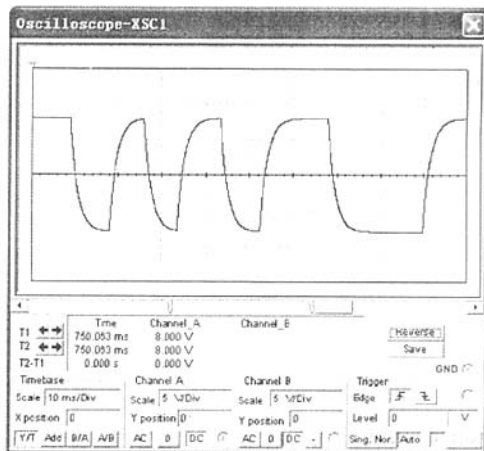


图 2 电容 C1 电压的波形图

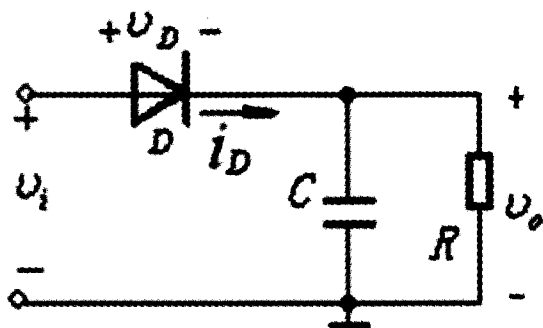


图1 二极管包络检波电路

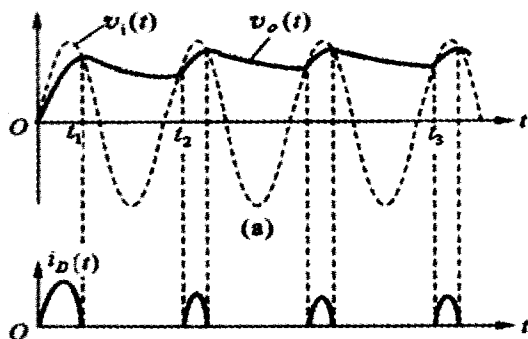


图2 输出电压和电流波形

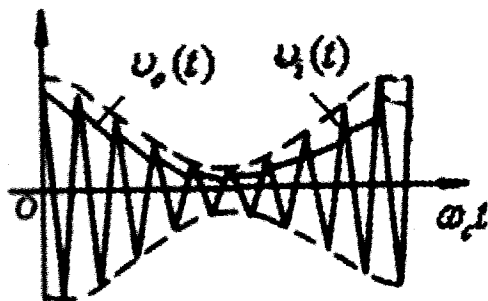


图3 调幅波包络检波波形

1.2 检波器的性能指标

检波效率 η_d ：是检波器输出电压与输入电压幅度的比值，即 $\eta_d = \frac{V_{om}}{M_a V_m} = \frac{V_o}{V_m} = \cos \theta \approx 1$ ，其值为 η_d 小于1，而近似等于1，实际电路当中 η_d 在80%左右，当 R 足够大时， $\theta \rightarrow 0$ ， $\cos \theta \rightarrow 1$ 。即检波效率 η_d 接近于1这是包络检波的主要优点[3]

等效输入阻抗 R_i ：检波电路相当于一个负载，此负载就是检波电路的输入电阻 R_i ，它定义为输入高频电压振幅对二极管电流中基波分量振幅值比。根据输入检波电路的高频功率与检波负载所获得的平均功率近似相等。即根据功率守恒定律可得

$$\text{输入功率为 } \frac{V_{im}^2}{2R_i} = P_i$$

$$\text{输出功率为 } \frac{V_{av}^2}{R_L} = \frac{(\eta_d V_{im})^2}{R} = P_o$$

$$\frac{V_{im}^2}{2R_i} \approx \frac{(\eta_d V_{im})^2}{R_L} \quad \text{所以} \quad R_i \approx \frac{R}{2}$$

极大信号二极管的输入电阻约等于负载电阻的一半，由于二极管的输入电阻的影响，使输入谐振回路的 Q 值降低，消耗一些高频功率。这是二极管检波器的主要缺点。

2 非线性失真的分析

二极管包络检波器工作在大信号检波状态下时，具有理想的线性解调性能，输出电压能够不失真的反映输入调幅波的包络变化规律。但是如果电路元件参数选择不当，将会出现惰性失真和负峰切割失真。

2.1 惰性失真

产生的原因：它是在调幅波包络下降时，由于时间常数 RC 太大（图中时间 t_1-t_2 内）电容 C 的放电速度跟不上输入电压包络的下降速度。这种非线性失真由于 RC 太大引起的，所以称为惰性失真。如图4所示

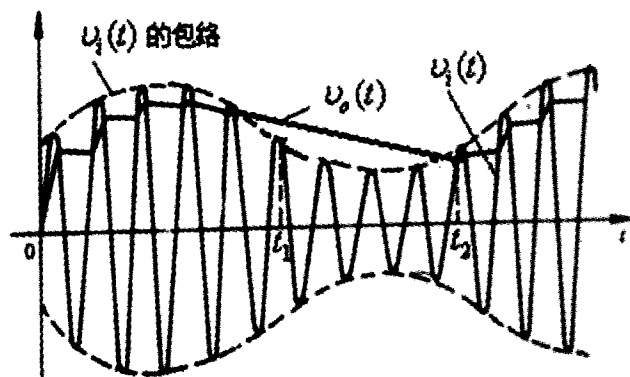


图4 失真波形图

包络下降的速度与调制信号频率 Ω 和调幅系数 m_a 有关，即 Ω 越高， m_a 越大，包络下降速度越快，惰性失真越严重。为避免惰性失真必须减小 RC 值，即

$$RC \leq \frac{\sqrt{1-m_a^2}}{\Omega m_a}$$

2.2 负峰切割失真

在实际电路中要求隔直电容 C_C 比较大，即电容对低频信号阻抗很小，这样检波电路对于低频的交流负载变为 $R_L' \approx R_L \parallel R$ 而直流负载仍然为 R ，且 $R_L' < R$ 。当检波电路输入为单

频调制的调幅信号如图5所示

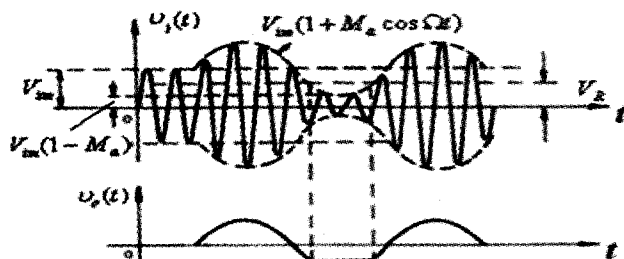


图5 负峰切割失真

如调幅系数 m_a 比较大时,就有可能使输出的低频电压在负峰值被削平,根据实验分析

$$\frac{R_L'}{R} \geq m_{a\max}$$

就可以避免失真。 $m_{a\max}$ 为多频调制时的最大调幅系数,因此当调幅系数 $m_{a\max}$ 一定, R_L 越大, R 越小,负峰切割失真就越不容易发生。

3 实例分析

如图 6 某收音机二极管检波器的实际电路

3.1 检波二极管的选择

为了提高检波电压传输系数,应选用正向导通电阻和极间电容小(或最高工作频率高)的晶体二极管。为了克服导通电压的影响,一般都需外加正向偏置,提供(20 ~ 50) μA 静态工作点电流,具体数值由实验确定。[4]

3.2 $R_L C$ 和 C 的选择

从提高检波电压传输系数和高频滤波能力考虑, R_L 应尽可能大。工程上,要求它的最小值满足下列条件

$$R_L C = \frac{5 \sim 10}{\omega_c}$$

从避免惰性失真考虑,允许 $R_L C$ 的最大值满足下列条件

$$R_L C \leq \frac{\sqrt{1 - M_{a\max}^2}}{\Omega_{\max} M_{a\max}}$$

工程分析时,取 $R_L C \Omega_{\max} \leq 1.5$ 即可。因此 $R_L C$ 可选用的数值范围由下式确定

$$\frac{5 \sim 10}{\omega_c} \leq R_L C \leq \frac{1.5}{\Omega_{\max}}$$

4 结论

二极管包络检波电路是从调幅波中还原原调制信号的重要方法之一,只要选择合适的电路参数能够获得非常理想的调制信号。

参考文献

- [1] 通信原理(第六版)樊昌信 曹丽娜 主编 国防工业出版社
- [2] 高频电子线路(第二版)胡宴如 主编 高等教育出版社
- [3] 高频电子线路(第三版)张肃文 陆兆熊 主编 高等教育出版社
- [4] 信号与系统(第二版)郑君里 应启珩 杨为理 主编 高等教育出版社

作者简介

姓名:常亮 性别:男 出生年月:1977年7月 民族:汉族 籍贯:辽宁辽阳人 学历:本科 职称:讲师 研究方向:电气

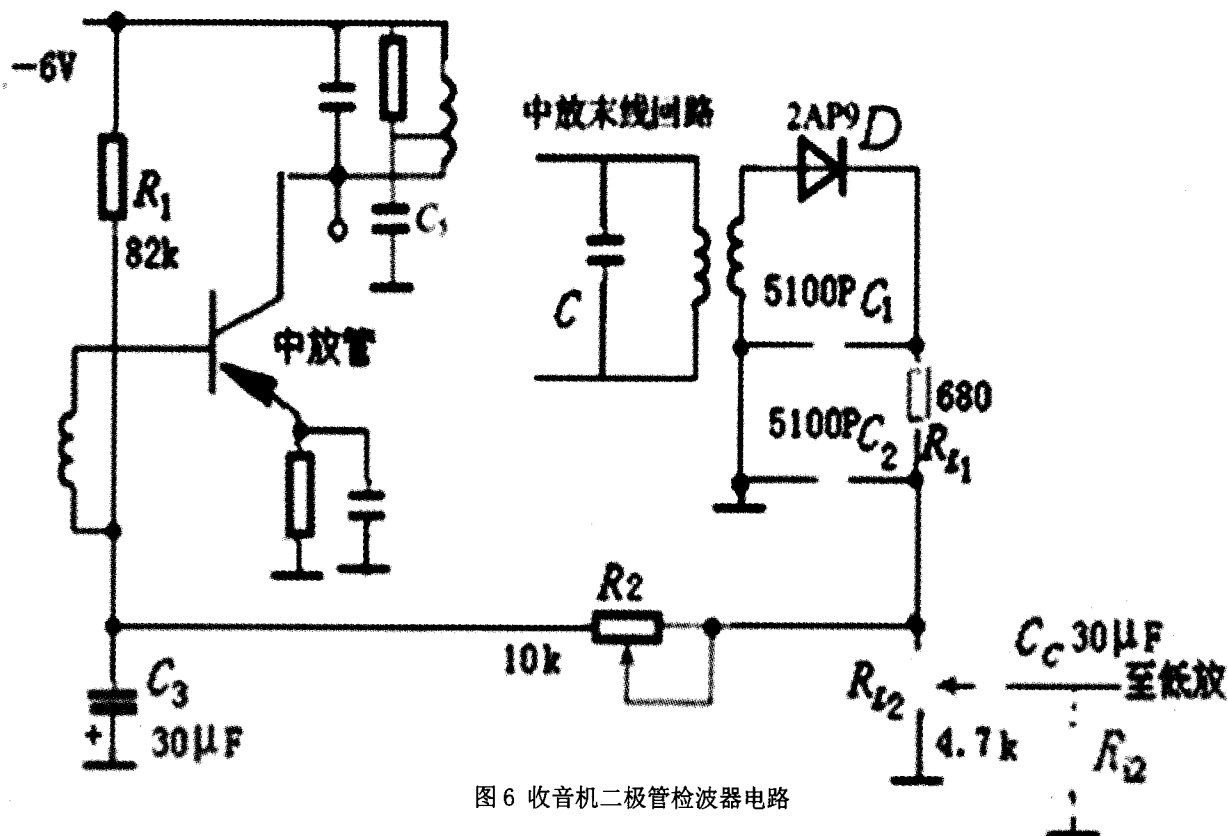


图6 收音机二极管检波器电路

基于 Multisim13 的高频电子线路实验设计与仿真

徐佳

(大连科技学院,辽宁 大连 116052)

摘要:针对高频电子线路课程在实践教学中的局限性,如受到课时、实验地点、实验仪器设备、实验调试困难等各因素的影响。依靠于 Multisim 高效、直观、方便等特点,能够很好地解决传统高频实验教学中存在的问题,同时具有激发学生的自主学习能力和探索精神。文中通过实例介绍 Multisim 13 在基础性实验和综合性实验环节的应用,符合实际教学的要求,具有很高的实用价值。

关键词:高频电子线路;Multisim13;仿真

中图分类号:TN0,TP391.6

文献标识码:A

文章编号:2096-4390(2020)33-0105-02

1 概述

随着高校教育理念不断从知识教育转变为素质教育,实验教学成为培养学生创新能力的重要途径。传统的高频电路实验教学中存在许多的弊端,比如,学生人数多但实验场地和仪器设备数量有限;学生对实验仪器的功能不熟悉,在操作中会造成仪器损坏,干扰实验的正常进行,降低实验效率;在仿真过程中对电容电感的精度调试比较困难;随着电子技术的推陈出新,实验室原有的仪器设备不能适应新的实验教学等。而将美国国家仪器 NI 有限公司推出的 Multisim 引入高频电路实验教学能很好的解决这些问题^[1]。

基于 Multisim 的高频电路实验设计与仿真主要是通过一台计算机和一个仿真软件完成的。它不受时间地点的限制,随时随地都能仿真;实验环境是在虚拟条件下进行的,使用的元器件和虚拟仪器设备也不会损坏,而且仿真结果能准确、真实、形象地体现出实验的本质;由于软件可以随时更新到最新版本,其中的元器件库和虚拟仪器设备都能适应最新的仿真^[2]。所以,设计研究基于 Multisim 的高频电路实验设计与仿真有着一定的实践指导意义。

2 Multisim13 软件简介

Multisim 13 拥有一个非常大的虚拟元件数据库,能根据原理图仿真出一些实际实验的效果,具有丰富的仿真分析能力。具有如下特点^[3]:

(1)直观的图形界面;(2)丰富的元器件:根据种类型号的不同可以分为 26000 多种,也可以用现有数据库中的元器件去建立封装一些新的元器件;(3)丰富的测试仪器:比如高频电路测试中常用的函数发生器、示波器、逻辑分析仪、频谱分析仪、波特图仪、失真度分析仪等等;(4)详细的电路分析功能:不仅能够提供时域的分析、而且还能提供频谱特性和失真度的分析以及元器件线性和非线性的分析等;(5)强大的 MCU 模块:具有很好的编程调试仿真功能;(6)完善的后处理:可以对分析的结果进行多种数学运算;(7)详细的报告;(8)兼容性好的信息转换:可以将仿真结果输出到 LabVIEW 中去,可以通过互联网共享文件,可以将输出原理图到 PCB 布线等。

3 基于 Multisim13 的高频电子线路实验研究实例

3.1 基于 Multisim13 的基础性高频实验仿真—模拟乘法器 AM 调幅电路

3.1.1 调幅原理

调幅是用需传送的信息(调制信号) $u_{\Omega}(t)$ 去控制高频载波 $u_c(t)$ 的振幅,使其随调制信号 $u_{\Omega}(t)$ 的规律而变化。若载波信号为 $u_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t$,调制信号为 $u_{\Omega}(t)$ 。则普通调幅波的振幅为: $U_{cm}(t) = U_{cm} + k_a u_{\Omega}(t)$ 式中, k_a 是一个与调幅电路有关的比例常数。 $U_{cm}(t)$ 称为包络函数,它反映了 $u_{\Omega}(t)$ 的变化规律。因此,调幅波的数学表达式为:

$$u_{AM}(t) = U_{cm}(t) \cos \omega_c t = [U_{cm} + k_a u_{\Omega}(t)] \cos \omega_c t \quad [4]$$

3.1.2 设计思路及仿真电路

a. 在 sources 组中的 power-sources 系列下选择两个信号源 V1、V2,其中,V1 作为载波信号,V2 作为调制信号;在 sources 组中的 control-function-blocks 系列下选择乘法器;在虚拟仪表中选择示波器;在确定完所有元器件后,在 Multisim 13 仿真电路窗口建立模拟乘法器实现信号调幅原理电路图如图 1 所示。画完电路图后设置参数,载波信号 V1 的电压幅值设置为 1V,频率设置为 20KHz;调制信号 V2 的电压幅值设置为 1V,频率设置为 1000Hz;电压源 VCC 设置为 2V,此时调幅指数就为 0.5。仿真输出调幅波形如图 2 所示。

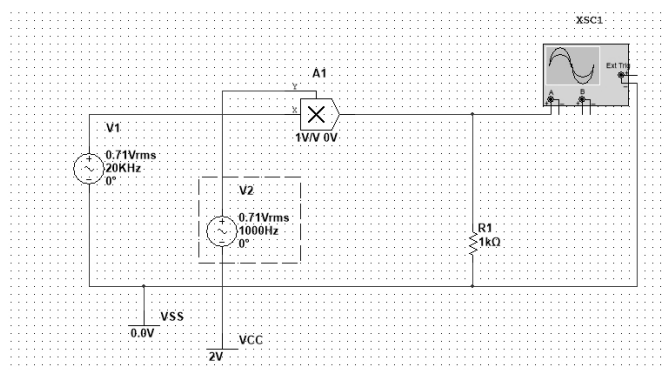


图 1 VCC 为 2V 的模拟乘法器 AM 调幅电路

b. 最后将电路中的输入 V1 和乘法器的输出连接到频谱分析仪的输入端和输出端,然后双击频谱分析仪图标并设置参数,最终得到如图 3 的仿真结果。

3.1.3 仿真分析

a.由图 2 调幅电路输出波形可以看出,高频载波信号的振幅变化规律是随着调制信号变化的。

课题来源:大连科技学院院教改 XJG201933“基于 Multisim 构建高频电路实验虚拟仿真平台的研究与实践”。

作者简介:徐佳(1984-),女,满族,辽宁省抚顺市人,副教授,硕士研究生,研究方向:无线通信。