

【我是工程师】从模拟到数字：深入理解一阶RC低通滤波 已更新~



为幸福而奋斗66 图书馆



6 馆藏 39

2015-07-14 为幸福而... 来源 阅 8759 转 46

分享： 微信 ▼ 转藏到我的图书馆

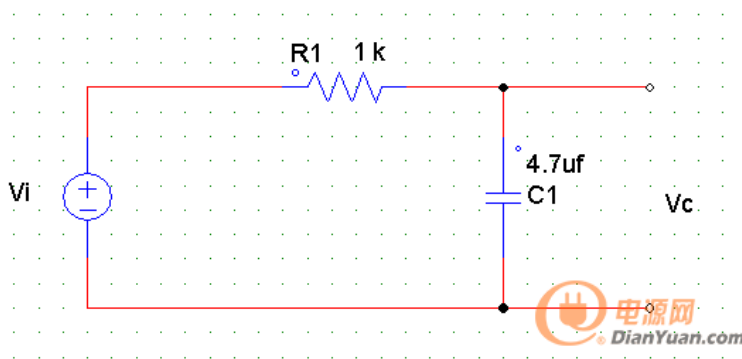
第一次发帖，跟在公司写报告一样，不知道如何从最简单的部分展开以及组织语言，大概列个框架，写写自己的理解，如果纰漏还请大神们指正~

- 1、RC低通滤波时域分析
- 2、RC低通滤波频域分析
- 3、软件上常用滤波算法
- 4、Z变换（离散化）

没人看，自己继续~

1、RC低通滤波时域分析

不废话，先上图，典型的RC滤波电路如下：



电工们对此电路都极为熟悉吧，不管直流、交流、脉冲信号都可以用它，不管什么产品原理图上必定都有这个玩意，先从我们最初认识它的时域开始吧，尽管现在已经退化到看见一阶微分方程就想死的地步^^。

首先电容电流：

$$I_C = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CV_C)}{dt} = C \frac{dV_C}{dt}$$

根据基尔霍夫电压定律写出如下微分方程：

$$RC \frac{dV_C}{dt} + V_C = V_i$$

由于Vi 的单位是V，所以RC的单位则是时间，也就是大家熟知的时间常数 $\tau = RC$ 。

OK，至此大家是不是觉得一阶系统还是相当简单吧，那么如何求解这一阶微分方式还是交给数字本身吧，结果如下：

$$V_C(t) = V_i(1 - e^{-t/RC}),$$

假设电容初始电压为0.

Mathcad 计算如下：

TA的最新馆藏

- [转] 笛子指法表
- [转] 经典的人生哲理图片，学不完这辈...
- [转] 常用数字滤波算法
- c语言结构体用法
- 【我是工程师】从模拟到数字：深...
- 一阶高通滤波器的实现

喜欢该文的人也喜欢

更多

- 90后小伙创业开早餐店，茶叶蛋每...
- 几步快速制作U盘安装电脑系统，...
- 5款能勾起你食欲的家常菜，不经意...
- 经典美文：美到让人想哭，收藏之...
- 中医基础笔记，想入门先搞懂这些！
- 此方治坐骨神经痛数百人均显特效
- 《佳方集锦》脑血栓祖传绝密秘方
- 对十二种客户的不同销售方法
- 城市竞争力的关键在哪里

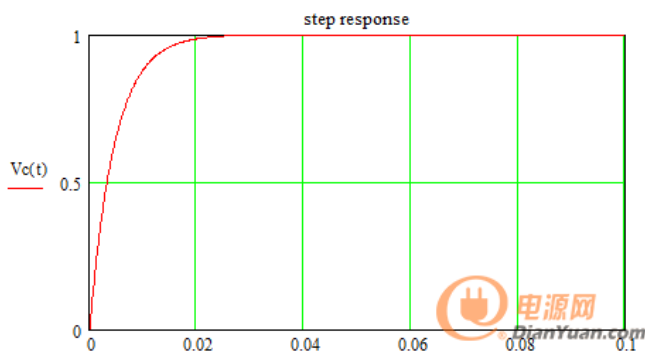
$$t := 0, 0.0001 \dots 0.1$$

$$\tau := R \cdot C \quad \tau = 4.7 \times 10^{-3}$$

$$V_c(x) := V_i \left(1 - e^{-\frac{x}{R \cdot C}} \right)$$

$$V_c(\tau) = 0.632$$

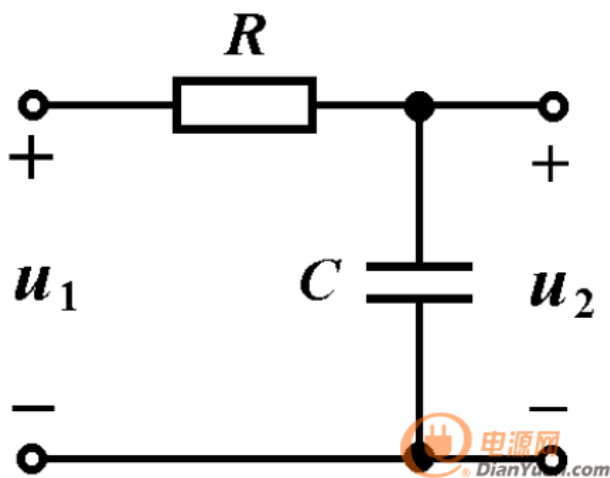
一阶RC系统的阶跃响应曲线如下：



5.1 这么快就过去了，哎，放假的日子总是这么短暂，忧伤之余还是赶紧来更帖子~

2、RC低通滤波频域分析

图1简化如下，



以电容电压为输出，电路的网络函数为：

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

令：

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = \frac{1}{t}$$

ω_c 即为截止频率。

则幅值和相角函数如下：

$$\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}$$

$$\theta(\omega) = -\arctan \frac{\omega}{\omega_c}$$

根据上边公式画出一阶RC低通滤波的幅频和相频特性曲线，Mathcad计算如下：

$$R := 1000 \quad C := 4.7 \mu\text{F}$$

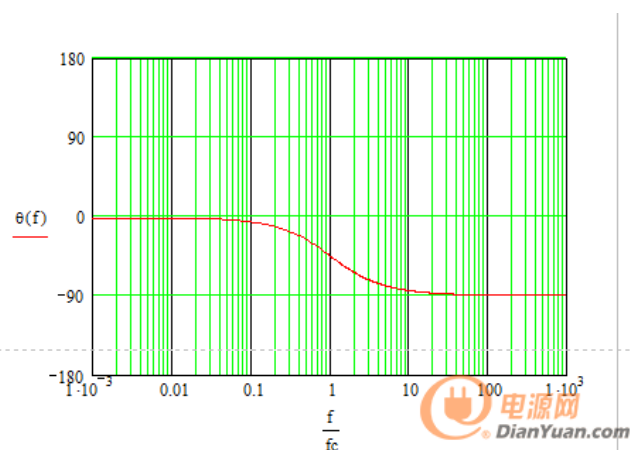
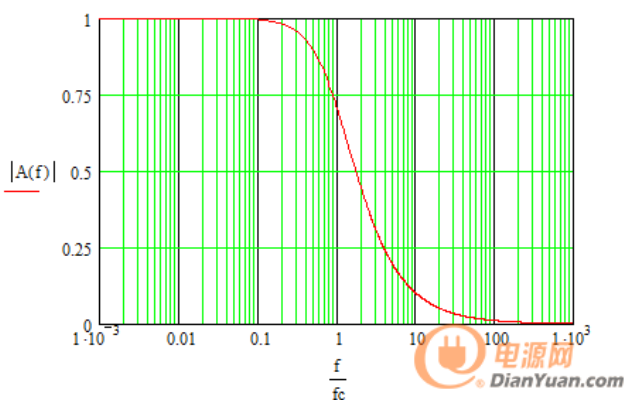
$$j := \sqrt{-1}$$

$$\omega := \frac{1}{R \cdot C} \quad f_c := \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

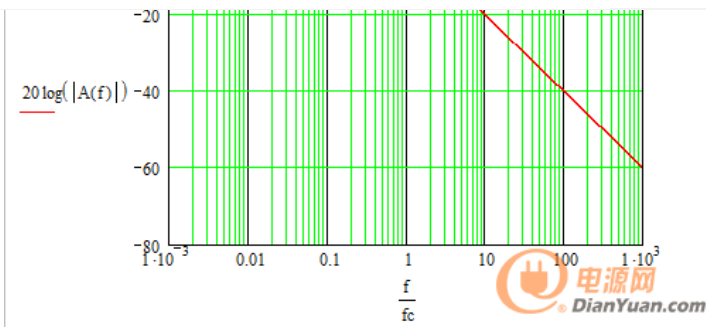
$$A(f) := \frac{1}{j \cdot 2\pi f \cdot R \cdot C + 1} \quad |A(f_c)| = 0.707$$

$$\theta(f) := \frac{180 \cdot \arg(A(f))}{\pi} \quad \theta(f_c) = -45$$

$$f := 0.001, 1 \dots 100000$$



幅频特性曲线改用对数坐标如下：



如上幅频和相频特性曲线，

当 $\omega < \omega_c$ 时，幅值是平行与横坐标的直线，基本没有衰减。

当 $\omega \gg \omega_c$ 时，是斜率与-20dB/十倍频成比例的一条直线。

当 $\omega = \omega_c$ 时，增益衰减至0.707，即-3dB，相位滞后45°，对于低通滤波器，该频率通常被称为截止频率。

人气不多，谢谢娜姐给上了首页，动力十足呀 😊~😊

频域大家搞电源的接触比较多，相对熟悉，我就埋个坑先从软件上常用的滤波算法说起吧。

3、软件上常用滤波算法

当年还是菜鸟时，在网上流传有常用的10种软件滤波算法（最初源自21ic匠人之手），简单介绍如下：

1) 限幅滤波法

先根据经验判断，确定两次采样允许的最大偏差值，设为A。

每次检测到新采样值时进行判断：

（1）如果本次新采样值与上一次滤波效果之差 $\leq A$ ，则本次采样值有效，令本次滤波结果=新采样值；

（2）如果本次采样值与上次滤波结果之差 $> A$ ，则本次采样值无效，放弃本次采样值，本次滤波结果=上次滤波结果。

2) 中位值滤波法

连续采样N次值，把采样值按大小排列，取中间值为本次有效值。

3) 算术平均滤波法

连续取N个值进行算术平均运算。

N较大时，信号平滑度较高，但灵敏度较低；N较小，信号平滑度低，但灵敏度较高。

4) 递推平均滤波法

把连续N个采集值看成一个队列，每次采集到的新数据放入队尾，并扔掉原来队首的数据。把队列中的N个数据进行平均计算，即可获得新的滤波结果。

5) 中位值平均滤波法

中位值平均滤波法又称脉冲干扰平均滤波法，相当于“中位值滤波法”+“算术平均滤波法”。

连续采集N个数据，去掉一个最大和最小值，然后计算N-2个数的平均值。

伯三丁 中位值滤波法 + 递推平均滤波法。

这种方法把连续N个值看成一个队列，每次采集到一个新数据放入队尾，并扔掉原来队首的值。

把队列中的N个数据先去掉一个最大值和最小值，然后计算N-2个数据的平均值。

7) 限幅平均滤波法

相当于“限幅滤波法” + “递推平均滤波法”。

每次采样先进行限幅处理，再进行队列平均滤波处理。

8) 一阶滞后滤波法

本次结果滤波结果 = a*本次采样值 + (1-a)*上次结果。

a代表滤波系数，a = 0~1。

只列出8个吧，有兴趣的朋友可以参考附件。仔细看上述8种方法，基本都很好理解。

后边我会针对 中值平均滤波 和 一阶滞后滤波 2种重点分析。

不过分析之前，先提出个问题：在一阶滞后滤波算法中，

为什么a的值必须在0~1之间？

在0~1之间，a的值到底该怎么选取，如何跟硬件上的RC参数对应起来呢？

这个问题当年困惑了我好久(别笑话俺额)，网上也没有深入讲解，这个就是俺发此帖子的初衷，希望大家多讨论哈~

上边的坑先埋着，先从Z变换说起吧~ 😊

4、Z变换（离散化）

频率分析中一阶RC低通滤波在S域的传递函数如下：

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{RCs + 1}$$

这里我们采用一阶后向差分法进行z变换。

（注：Z变换方式有很多种，如一阶前向差分、一阶后向差分、双线性变换法等，不多说了）

Z变换：

$$s = \frac{1-z^{-1}}{T}, \quad T \text{表示采样周期。}$$

代入S域传递函数中：

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{RC \frac{1-z^{-1}}{T} + 1} = \frac{T}{RC(1-z^{-1}) + T}$$

继续推导如下：

$$X(z) = \frac{RC}{T} Y(z) - \frac{RC}{T} Y(z)z^{-1} + Y(z)$$

$$X(z) = \left(1 + \frac{RC}{T}\right) Y(z) - \frac{RC}{T} Y(z)z^{-1}$$

继续转化为差分方程：

$$X(n) = \left(1 + \frac{RC}{T}\right) Y(n) - \frac{RC}{T} Y(n-1)$$

$$Y(n) = \frac{1}{1 + \frac{RC}{T}} X(n) + \frac{\frac{RC}{T}}{1 + \frac{RC}{T}} Y(n-1)$$

$$Y(n) = \frac{T}{T + RC} X(n) + \frac{RC}{T + RC} Y(n-1)$$

至此，通过Z变换我们把S域的传递函数转化为时域的差分方程。

这里通过最简单的一阶系统，给大家展现出从模拟到数字转化的基本过程，后边所有的开关电源的环路设计无不是在此基础上延伸展开。

分享到：

标签：[电容](#) [开关电源](#) [电阻](#) [仿真](#) [滤波器](#)

[复制地址](#)

[收藏该贴](#)

[回复1帖](#)

[转藏到我的图书馆](#)

[献花 \(1\)](#)

[分享：](#)

[微信](#) ▼

来自：[为幸福而奋斗66](#) > [《嵌入式知识》](#)

[以文找文](#) | [举报](#)

[上一篇：C语言中extern的用法\(转摘\)](#)

[下一篇：c语言结构体用法](#)

猜你喜欢

类似文章

[更多](#)

精选文章

[十大滤波算法程序大全 \(Arduino精编无错...](#)

[实现种软件滤波方法及其示例程序c](#)

[AD转换中常用的十种数字滤波法](#)

[一分钟速算及十大速算技巧 \(完整版 \)](#)

[10种软件滤波方法](#)

[神童心算口诀--速算技巧](#)

[平均值滤波之鬼斧神工算法](#)

[基于AVR单片机PWM功能的数控恒流源研制](#)

[\[豆腐宴\]--豆腐的做法](#)

[特感人的千字诗：爸爸存在的理由](#)

[四海之内的“四海”究竟指什么？](#)

[成功,先学会失败](#)

[棒针基础----“精致的波”图案](#)

[世界名表欣赏](#)

[那些千年绝对，让人拍案叫绝](#)

[中医的秘密：观察耳朵颜色可知身体健康状况 ...](#)

发表评论

请 [登录](#) 或者 [注册](#) 后再进行评论

社交帐号登录：