

■: 普通文本 ■: 强调文本 ■: 注释/吐槽 □: 强调用注释 [...]: 相关资料

■: 前置知识/解释【较简单或非定量, 解答可能的疑惑和防止思路脱节/卡壳】

■: 并不重要但懂多点总归是好的【通常较难且(应该)无需掌握, 偏牛角尖】

笔者也是大二学生, 同步学习中, 可能会有错漏, 请谨慎查看本文档。欢迎纠错~

本笔记旨在回顾整理难点和对一些细节刨根问底, 很多是额外的! 不过除了满足好奇心外, 它们对本课程的学习也是有帮助的, 毕竟理解不够深刻的应用只是无根之萍。

Week 2

这次 ppt 前半部分的前半比较简单, 是有关交流电的基础知识和整流的技术实现。比如 Half wave rectifier 和 **FULL BRIDGE RECTIFIER!!!** (玩个梗别介意)

就从 RC 电路开始吧。

通过电容的电流与电压变化速度的关系: $I_C = C \frac{dV_C}{dt}$

I_C 流入 R , 其方向与电容内部相反, 于是有 $C \frac{dV_C}{dt} = -\frac{V_C}{R}$

整理得 $\frac{dV_C}{dt} = -\frac{V_C}{RC}$, 结合电路条件 V_M , 算出 $V_C = V_M e^{-\frac{t}{RC}}$

- The smallest output voltage is

$$V_L = V_M e^{-\frac{T'}{RC}}$$

- The ripple voltage is the difference between V_M and V_L

$$V_r = V_M - V_L = V_M(1 - e^{-\frac{T'}{RC}})$$

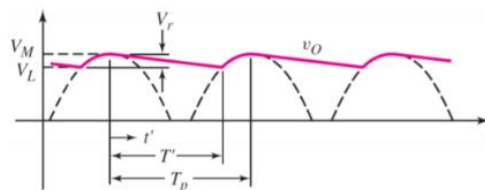
- $T' \ll RC$

$$e^{-\frac{T'}{RC}} \cong 1 - \frac{T'}{RC}$$

$$V_r \cong V_M \frac{T'}{RC}$$

- Assume the ripple effect is small, then as an approximation, let $T' = T_P$, T_P is one-half the signal period

$$f = \frac{1}{2T_P} \quad V_r = \frac{V_M}{2fRC}$$



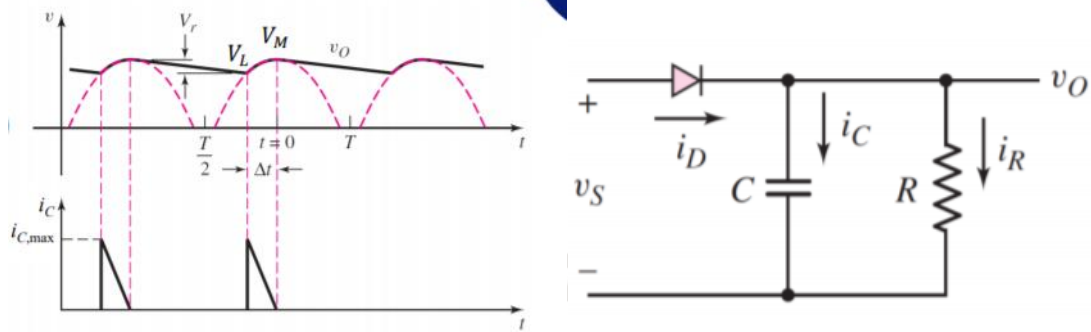
为了让直流电流的波动尽量小, 这里 RC 肯定会很大, 所以 $T' \ll R$, 可以使用近似。

于是 $V_r = V_M \frac{T'}{RC}$, T' 和 T_P 可以说相当接近, 所以可以忽略上升的波动阶段,

$$V_r = V_M \frac{T_P}{RC} = \frac{V_M}{2fRC}$$

这是近似。但其实那一小块波动阶段相当重要——

那再好好看看涟漪区域的细节 *ppt 又打错了, 左图下面的纵坐标在书上是 I_D



在 $T_P - T' = \Delta t$ 这一小段里, 使用泰勒展开来近似是极好的:

$$V_L = V_M \left[1 - \frac{1}{2}(-\omega\Delta t)^2 \right], \quad \frac{1}{2}(-\omega\Delta t)^2 = \frac{V_M - V_L}{V_M} = \frac{V_r}{V_M}, \quad \omega\Delta t = \sqrt{\frac{2V_r}{V_M}}$$

因为 $I_C = C \frac{dv_C}{dt}$, 在泰勒展开下 $V = V_M \left[1 - \frac{1}{2}(-\omega\Delta t)^2 \right] = -CV_M\omega^2 t$

$$\omega T_P = \pi, \quad T_P = \frac{\pi}{\omega}, \quad V_r = V_M \frac{T_P}{RC} = \frac{V_M \pi}{RC\omega}, \quad C\omega = \frac{V_M \pi}{V_r R}$$

$$\text{所以 } I_{C \max} = -CV_M\omega^2 \Delta t = CV_M\omega \sqrt{\frac{2V_r}{V_M}} = \frac{V_M \pi}{V_r R} V_M \sqrt{\frac{2V_r}{V_M}} = \frac{V_M \pi}{R} \sqrt{\frac{2V_M}{V_r}}$$

$$I_{C \text{ avg}} = \frac{I_{C \max}}{2} = \frac{V_M \pi}{2R} \sqrt{\frac{2V_M}{V_r}}$$

他就是想把这些物理量都只通过常数, R , V_M 和 V_r 这几个量表达出来。

下面还计算了通过二极管的电流两种不一样意义的平均电流

在忽略波纹电压的情况下, 负载两端的电压就是 V_M , 于是 $I_R = \frac{V_M}{R}$

$$I_D \text{ 二极管导通时间内平均} = I_R + I_{C \text{ avg}} = \frac{V_M}{R} \left(1 + \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2V_M}{V_r}} \right)$$

因为当二极管导通时会同时给电容和负载供电, 二极管截止时电容给负载供电, 所以二极管导通的时间就是电容充电的时间, 也就是 Δt 。这一点点时间内的电量分摊在全部时间内就是另一个平均值:

$$I_D \text{ 全体时间平均} = (I_R + I_{C \text{ avg}}) \frac{\Delta t}{T_P} = \frac{V_M}{R} \left(1 + \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2V_M}{V_r}} \right) \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2V_r}{V_M}}$$

化的更简:

$$I_D = \frac{\sqrt{2V_M 2V_r}}{R\pi} \left(1 + \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2V_M}{V_r}} \right)$$

好，接下来是齐纳二极管稳压 (V°)σ

齐纳这块概念很简单，计算也不难，但是不仔细理解又可能会在某时某刻突然想不明白……挺神秘的。现在这里捋捋细节，给迷路的脑子一条回家的思路。

齐纳二极管稳压利用了反向击穿附近的伏安特性，“电压不怎么变但电流变化极大”。为什么这个特性可以稳压？这其实需要配合其他用电器/电阻的普通伏安特性来使用。

当电源电压升高，假设所有用电器还没反应过来，电流上升，此时 r_i 两侧电压相应升高，齐纳二极管由于伏安特性，电压基本无变化，还有多余的电压无处安放，于是电流进一步上升，二极管不为所动，直到 r_i 几乎分走多余的所有电压。

由于齐纳二极管不是未来科技，其稳压工作电流/电压是有上下限的。所以需要选用合适的限流电阻。

而这个合适的值当然就由电路中的其他量推出，比如要满足下面第二张 ppt 截图里的最大最小电流与齐纳二极管最大电流的关系。反正题目里的都能用就对了！

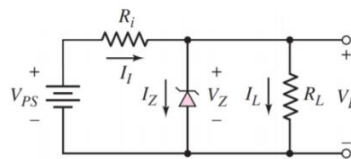
Zener Voltage Regulator Circuit



- The output voltage V_L remains constant
- The variation in V_{PS} may be the ripple voltage from a rectifier circuit

$$R_i = \frac{V_{PS} - V_Z}{I_i} = \frac{V_{PS} - V_Z}{I_Z + I_L}$$

$$I_Z = \frac{V_{PS} - V_Z}{R_i} - I_L \quad I_L = \frac{V_Z}{R_L}$$



- For proper operation, diode remain in breakdown region

$$I_{Z(\min)} = \frac{V_{PS(\min)} - V_Z}{R_i} - I_{L(\max)} \quad I_{Z(\max)} = \frac{V_{PS(\max)} - V_Z}{R_i} - I_{L(\min)}$$

在 $I_Z = \frac{V_{PS} - V_Z}{R_i} - I_L$ 中， V_Z 是这个电路控制的量，不变。 $I_L = \frac{V_Z}{R_L}$ ， R_L 可变，所以 I_L 可变，式中 V_{PS} 和 I_L 是自变量。因此，齐纳二极管最大/最小电流的表达如上。

再加上“最大电流通常是最低电流的 10 倍”这种……条件，最大 I_Z 电流的值就可算了：

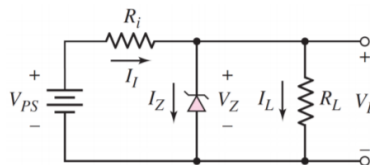
- Usually set minimum Zener current is one-tenth the maximum,

$$I_{Z(\min)} = 0.1 I_{Z(\max)}$$

$$R_i = \frac{V_{PS(\min)} - V_Z}{I_{Z(\min)} + I_{L(\max)}} = \frac{V_{PS(\max)} - V_Z}{I_{Z(\max)} + I_{L(\min)}}$$



$$I_{Z(\max)} = \frac{I_{L(\max)}[V_{PS(\max)} - V_Z] - I_{L(\min)}[V_{PS(\min)} - V_Z]}{V_{PS(\min)} - 0.9V_Z - 0.1V_{PS(\max)}}$$



然后 R_i 就也能算了，好耶！

要注意的是，PPT 里一笔带过的带电阻齐纳二极管可以看作一个理想无电阻齐纳二极

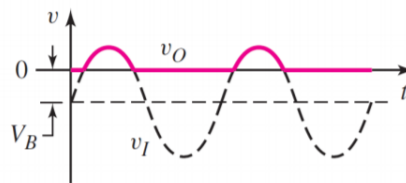
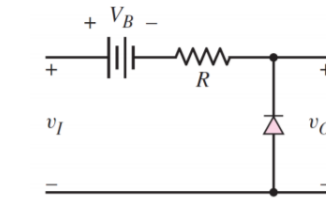
管和电阻的串联，其中，理想无电阻齐纳二极管两端电压不变，电阻两端电压会随着电流改变而改变，所以二者整体的电压也会随之改变。

接下来是二极管在电路中的更多应用

Clipper and Clamper Circuits 削波(限幅)和钳位电路

Series-Based Diode Clipper

- dc power supply is in **series** with the input signal
- The input signal is **superimposed** on the V_B dc voltage
- When $v_I - V_B < 0$
 - Diode is on
 - $v_O = 0$
- When $v_I - V_B \geq 0$
 - Diode is off
 - $v_O = v_I - V_B$



削波其实就是偏移了的整流。本来，交流电里加个二极管，正通反截，电流只剩下一个方向，所以叫整流。现在加上一个直流电源，相当于附上一个电压，于是正通反截的位置从0变到了 V_B 处，此时波就被“削”了，也叫限幅。所以最简单的二极管整流就是把某一方向的电流削没了。在 $V-t$ 图上，这种模型里的直流电源效果就是：

1. 和交流电源**并联**的直流电源会上下平移**限制电压位置**(比如上图粉色的横线)
2. 和交流电源**串联**的直流电源会上下平移**电压图像**

这些图像常常是简化的重点。第一次看可能摸不着头脑，学会了那叫一个爽！

这第二个效果用二极管操作一下也可以做到，这种使整个电压信号平移一个直流电平的效果的电路，就叫钳位电路。

Diode Clamper Circuit

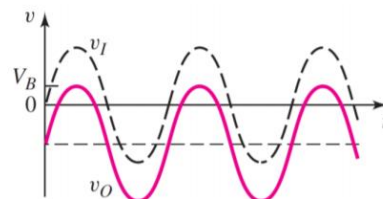
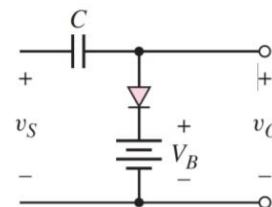
- The circuit includes an independent voltage source V_B
- The capacitor voltage is $V_M - V_B$

$$v_O = v_s - v_C$$

$$= V_M \sin \omega t - (V_M - V_B)$$

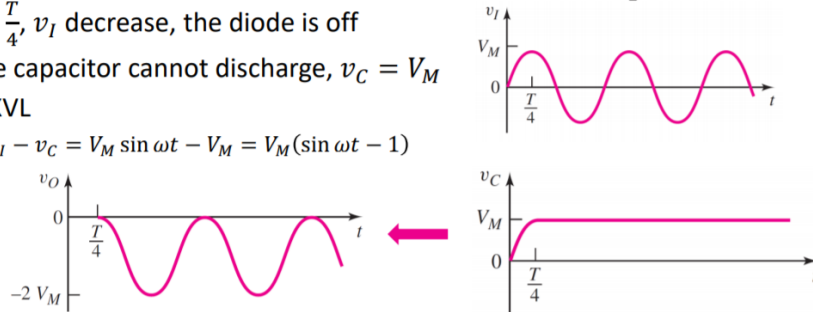
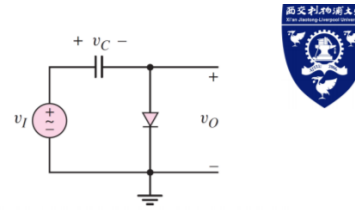
$$= V_M (\sin \omega t - 1) + V_B$$

$$v_O(\max) = V_M(1 - 1) + V_B = V_B$$
- The output is **clamped** at V_B



Diode Clamper Circuit

- Assume the capacitor is initially uncharged, $V_C = 0$ and $r_f = 0$
- When $t \leq \frac{T}{4}$, $v_C = v_I$, the diode is on
- When $t > \frac{T}{4}$, v_I decrease, the diode is off
- Ideally, the capacitor cannot discharge, $v_C = V_M$
- Applying KVL
 - $v_O = v_I - v_C = V_M \sin \omega t - V_M = V_M(\sin \omega t - 1)$



利用二极管单向导通的性质配合其他元件总可以有各种操作,比如上图用二极管单向导通的性质和电容打了一波配合锁死了电压 V_M , 做到了钳位电路的效果。

接下来的一系列二极管电路没什么好说的, 只需要记住一条规则:

二极管若能导通, 则两端电压恒为导通压降电压 V_f , 无论电流多小, 无论电流多大。若不能导通, 截止断路一条龙。

好, 那么, 我们的 week2 笔记就到此为止了, 感谢各位观看。

接下来是 week3 了, 尽请期待。°∇°σ

相信本文档会多有错漏与不足, 也请各位看官 dalao 与我们交流提问纠错指正。

……交流渠道……



西浦科协唯一指定关注二维码

你可以把文档相关的问题发给公众号, 我们会及时查看回复。

[本章无 source]

2020.10.16 醜坦