



# 哈尔滨工业大学（深圳）

## 可见光通信实验报告

### 实验二：单载波调制-归零和非归零码

姓 名： 张三

专 业： 通信工程

学 号： 000000000

日 期： 2022 / 8 / 13

# 实验一

## 一、实验原理

普通功率放大器非线性可以用 Solid State Power Amplifier (SSPA) 模型来描述：

$$v_{out}(v_{in}) = \frac{v_{in}}{\left(1 + \left(\frac{v_{in}}{v_{max}}\right)^{2k}\right)^{\frac{1}{2k}}} \quad (1)$$

其中， $v_{in}$  代表放大器输入电压； $v_{out}$  是放大器输出电压； $v_{max}$  是最大输出（饱和）电压； $k$  为膝盖因子（knee factor），控制 LED 顶部线性区域到非线性（饱和）区域过渡的平滑程度。

LED 作为可见光通信的发送端，类似功率放大器，也存在明显的非线性特性。借鉴 SSPA 模型，LED 非线性伏安模式  $i_{LED}(v_{LED})$  表示如下：

$$i_{LED}(v_{LED}) = \begin{cases} h(v_{LED}), & v_{LED} \geq 0 \\ 0, & v_{LED} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中， $v_{LED}$  和  $i_{LED}$  分别表示 LED 的输入电压和驱动电流，

$$h(v_{LED}) = \frac{f(v_{LED})}{\left(1 + \left(\frac{f(v_{LED})}{i_{max}}\right)^{2k}\right)^{\frac{1}{2k}}} \quad (3)$$

其中， $i_{max}$  表示经过 LED 的最大驱动直流电流， $f(v_{LED})$  是 LED 伏安特性函数，表示为：

$$f(v_{LED}) = \frac{v_{LED}}{R} \quad (4)$$

其中，电阻  $R = 1 \Omega$ 。

## 二、仿真实现

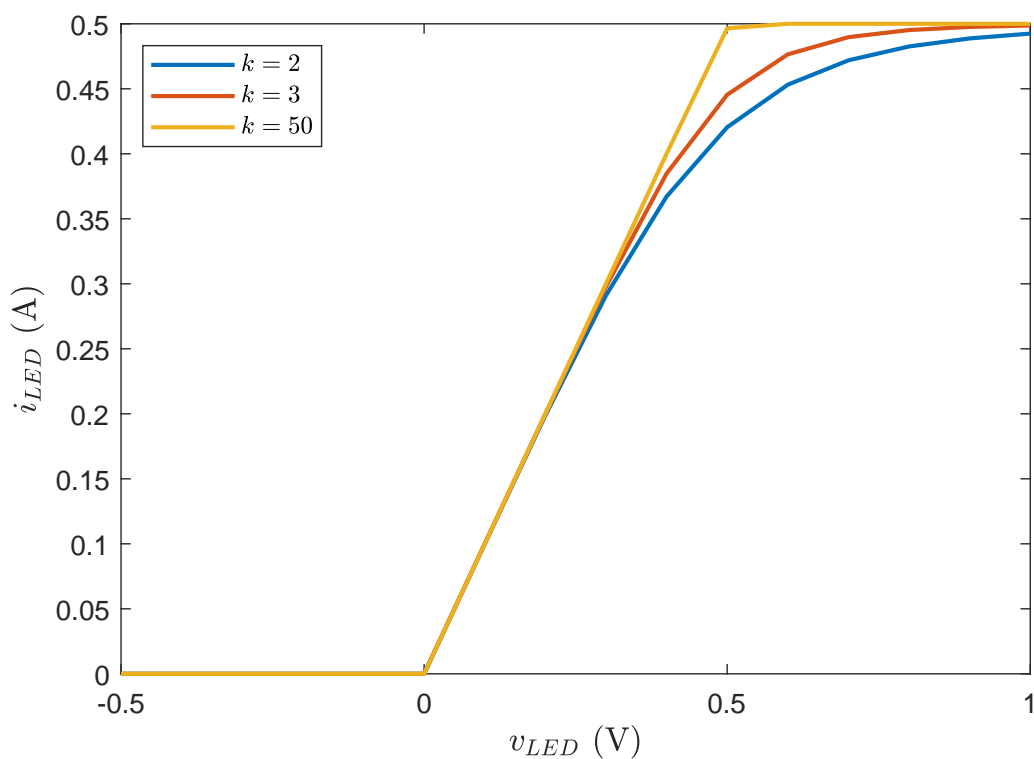
备注：

1. 回答实验指导书的相关问题。
2. 仿真代码，并附上关键代码分析。
3. 仿真结果图。

## 1. 问题 1

已知  $i_{\max} = 0.5 \text{ A}$ ，在膝盖因子  $k = 2, 3, 50$  情况下（在一个仿真图里显示），要求用 MATLAB 模拟仿真出 LED 非线性伏安模型（输入电压  $v_{LED}$  和经过 LED 电流  $i_{LED}$  之间的关系）。注意  $v_{LED}$  取值在  $-0.5\text{V}$  和  $1\text{V}$  范围内，步长设置为  $0.1\text{V}$ 。

### 仿真结果



### 程序代码

```
1 % Setting Parameters
2 R = 1;
3 k = [2 3 50];
4 v = [-0.5:0.1:1];
5 vlen = length(v);
6 imax = 0.5;
7 % Calculating Results
8 res = zeros(3, vlen);
9 for kk = 1:3
```

```

10     res(kk, :) = get_est(v, imax, k(kk));
11 end
12 % Plotting Figures
13 plot(v, res(1,:), v, res(2,:), v, res(3,:), 'linewidth', 1.5);
14 legend('$k=2$', '$k=3$', '$k=50$', 'interpreter', 'latex', 'location', ...
        'northwest');
15 xlabel('$v_{LED}$ (V)', 'interpreter', 'latex', 'fontsize', 12);
16 ylabel('$i_{LED}$ (A)', 'interpreter', 'latex', 'fontsize', 12);
17
18 % Getting i_LED by v_LED vector
19 function a_est = get_est(vec, imax, k)
20     a_est = vec;
21     for j = 1:length(vec)
22         a_est(j) = h(vec(j), imax, k);
23     end
24 end
25 % Function f(v)
26 function g = f(v)
27     global R
28     g = v./R;
29 end
30 % Function h(v)
31 function i = h(v, imax, k)
32     if v >= 0
33         g = f(v);
34         i = g./((1+(g./imax).^(2.*k)).^(1./(2.*k)));
35     else
36         i = 0;
37     end
38 end
    
```

## 2. 问题 2

- a) 根据 OSRAM Golden DRAGON W5AM 的 Data Sheet 数据，回答此型号 LED 的开启电压是多少？

答：此型号 LED 的开启电压是 2.77V。

- b) LED 的非线性模型可以展示 LED 顶部的非线性特性，却不能够体现出 LED 底部开启电压之后的非线性特性。一个常用的改进方法是使用拟合的方式得到  $f(v_{LED})$ 。根据 Data Sheet 数据，用 MATLAB 拟合工具找到最佳匹配的公式来表示 LED 非线性模型中的伏安特性函数，代替公式 (4)，以此得到新的 LED 伏安特性函数。在 MATLAB 上拟合出实际 LED 灯的伏安特性曲线并与 Data Sheet 的数据进行对比，给出拟合出来的 LED 灯的伏安特性函数表达式，并回答最大驱动直流电流  $i_{\max}$  和膝盖因子  $k$  各为多少？

答：用二次多项式拟合出来的 LED 灯的伏安特性函数表达式为

$$f(x) = 1.1985x^2 + 0.2519x + 0.0016$$

如实验结果图所示，最大驱动直流电流  $i_{\max}$  和膝盖因子  $k$  可以有多种取值组合使得与拟合曲线的均方差最小，比较典型的一组为  $i_{\max} = 2.21 \text{ A}$ ,  $k = 4.11$ 。（图中列出了三组，分别为膝盖因子  $k$  取值最小化、中间取值以及最大驱动直流电流  $i_{\max}$  取值最小化对应的情况。）

c) 注意：

- 拟合的时候推荐二次多项式，并需要把 Data Sheet 中的电压去除开启电压值之后再拟合，最后再加上开启电压值。
- 最大驱动直流电流  $i_{\max}$  和膝盖因子  $k$  需要重新调整，可以使用最小均方差方法搜索，最大驱动直流电流  $i_{\max}$  处于 0-3A 范围之内，步长为 0.01A；膝盖因子  $k$  位于 0-5 之间，步长为 0.01；电压取值范围为 0-5 V 之间，步长为 0.01。

### 三、仿真结果分析与总结

备注：

1. 对仿真结果进行分析。
2. 对本次实验进行总结和思考。

#### 1. 对 SSPA 模型一些结论的推导

根据公式 (1)，我们有以下结论

1.  $0 \leq v_{out}(v_{in}) < v_{\max}$

**证明:** 要证明以上结论，即要证  $0 \leq \frac{x}{(1+x^k)^{\frac{1}{k}}} < 1$ , ( $x \geq 0$ )

- 对于  $\frac{x}{(1+x^k)^{\frac{1}{k}}} \geq 0$ ，由  $x \geq 0$  易得。同时，要使  $\frac{x}{(1+x^k)^{\frac{1}{k}}} = 0$  当且仅当  $x = 0$ 。
- 对于  $\frac{x}{(1+x^k)^{\frac{1}{k}}} < 1$ ，即

$$\Rightarrow x < (1+x^k)^{\frac{1}{k}}$$

$$\Rightarrow x^k < 1+x^k$$

- 同时有结论  $\lim_{v_{in} \rightarrow \infty} v_{out}(v_{in}) = v_{\max}$ , 即  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{(1+x^k)^{\frac{1}{k}}} = 1 \implies \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^k}{1+x^k} = 1$

□

2.  $v_{out}(v_{in}) < v_{in}$

证明: 要证明以上结论, 即要证  $\frac{x}{(1+x^k)^{\frac{1}{k}}} < x, \quad (x \geq 0)$

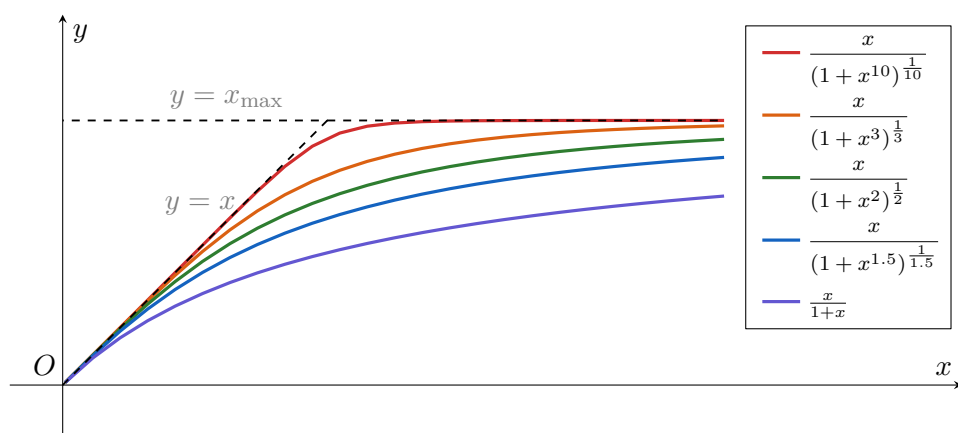
$$\implies \frac{1}{(1+x^k)^{\frac{1}{k}}} < 1$$

$$\implies 1 < (1+x^k)^{\frac{1}{k}}$$

$$\implies 1 = 1^k < 1 + x^k$$

□

由函数图像可以直观看出以上结论的特点。



## 2. 仿真结果分析

### 分析：问题 1

- 由仿真结果, 可以验证上面对 SSPA 模型一些结论的推导的正确性。
- 在开启电压附近的范围内, 曲线斜率大、上升速度快; 达到一定的电压值后曲线上升速度减缓, 且逐渐趋近于  $i_{\max}$  值。
- 同时, 当  $k$  越小, 曲线变化越平滑; 当  $k$  越大, 曲线变化速率越快, 很快就达到  $i_{\max}$  值。

## 分析：问题 2

- 由拟合出的二次曲线是一条开口向上、顶点近似在横轴上的抛物线。
- 如图（“ $\sigma$  changes by  $i_{\max}$  and  $k$ ”）所示，与拟合曲线的均方差随着最大驱动直流电流  $i_{\max}$  和膝盖因子  $k$  的增加而单调递减，但递减幅度逐渐减小，使得均方差收敛为固定值。
- 如实验结果图所示，最大驱动直流电流  $i_{\max}$  和膝盖因子  $k$  可以有多种不同的取值组合得到满足要求的拟合效果，比较典型的一组为  $i_{\max} = 2.21$  A,  $k = 4.11$ 。（实验结果图中列出了三组，分别为膝盖因子  $k$  取值最小化、中间取值以及最大驱动直流电流  $i_{\max}$  取值最小化对应的情况。）

## 3. 实验总结

本次实验总体难度不大，拟合部分主要在于使用 MATLAB 中的 `p = polyfit(x,y,n);` 语句进行多项式曲线拟合，以及 `y = polyval(p,x);` 语句进行多项式计算；寻找最大驱动直流电流  $i_{\max}$  和膝盖因子  $k$  则是简单的循环遍历以及用 `S = std(A);` 语句计算标准差，以便找到最小均方误差的取值；在实验过程中进一步熟悉了 `function` 函数、画图以及其他 MATLAB 使用方法。感谢老师和助教的悉心指导。

附件：Data Sheet  
附：

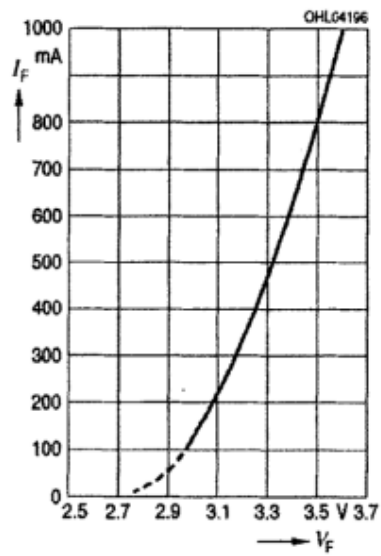


图 1. OSRAM Golden DRAGON W5AM 的伏安特性曲线

Data Sheet 数据：

电压 (V) :	电流 (A) :
2.76	0
2.77	0.00001
2.8	0.015
2.85	0.03
2.9	0.055
2.95	0.09
3	0.12
3.05	0.15
3.08	0.19
3.1	0.21
3.2	0.35
3.3	0.475
3.4	0.65



附件：Data Sheet

3.5	0.8
3.58	1