

第十五章 非线性电阻电路

非线性电路：含有非线性元件的电路。

非线性电路中有时存在一些不同于线性电路的现象：多值现象、跳跃现象、滞回现象、变频现象、混频现象、自激振荡等。

不适用于非线性电路的分析方法：叠加原理，相量法与拉氏变换法，代维南定理和诺顿定理，非线性的端口不能使用互易原理，也没有 Z 、 Y 、 H 、 T 参数。

适用于非线性电路：KCL、KVL。

分析方法：图解法、分段线性化法、小信号法。

15.1 非线性元件

非线性电阻

伏安关系：一般可表示为 u 、 i 的非线性方程：

$$f(u, i) = 0$$

若 i 是 u 的单值函数 $i = g(u)$ ，称为**压控型电阻**。

若 u 是 i 的单值函数 $u = f(i)$ ，称为**流控型电阻**。

非线性电阻在任何工作点上都有两类电阻，即静态电阻 R_s 和动态电阻 R_d ：

静态电阻：工作点 Q 处电压与电流之比：

$$R_s = \frac{u_Q}{i_Q}$$

动态电阻：工作点 Q 处电压对电流的导数（伏安特性曲线上 Q 点切线斜率）：

$$R_d = \left. \frac{du}{di} \right|_{u=u_Q}$$

一般， R_s 、 R_d 是 u 、 i 的函数，对于不同的工作点，可以有不同的 R_s 和 R_d ，若伏安特性非单调， R_d 可能出现负值。

15.2 非线性电阻的图解法

15.2.1 曲线相加法

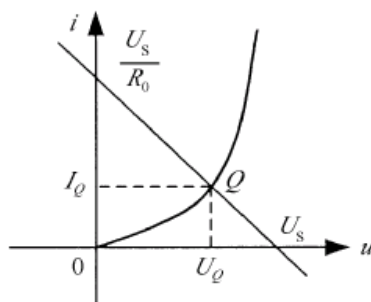
作图法很直观，但烦琐，且适用范围有限。对较复杂电路无能为力。此处略。

15.2.2 曲线相交法

确定直流工作点的图解法:

由非线性 R 和线性 R_0 作出串联 DP 图, 再由 $u = U_s$ 确定 i , (I_Q 再由 I_Q 确定 U_R);

曲线相交法: 由非线性伏安关系曲线 $i = g(u)$ 与实际电压源伏安关系 $u = U_s - R_0 i$ 曲线同作于同一坐标点, 相交点表明满足 KVL, 电路平衡。



有时非线性电阻的伏安关系是非单调的, 就可能有不只一个曲线。若非线性元件为一个隧道二极管, 可能三个交点 Q_1 , Q_2 , Q_3 , 其中有稳定的工作点, 也有不稳定的。但在一个时刻只能有一个工作点, 具体哪个要由外电路和初始状态决定。

15.3 分段线性化方法

求解步骤:

- ① 对每一个非线性电阻元件用分段线性函数 (折线) 逼近其伏安特性曲线。
- ② 对每一个分段线性元件求出其每一个工作区间的戴维南 (诺顿) 等效电路的参数。
- ③ 对每一种可能的组合进行线性电路分析, 求出所有可能的解。
- ④ 对于所有各组求得的解逐一检验, 选出所得解位于设定工作区间内的真实解。

用分段线性化法求解, 分段越多, 越逼近真实伏安特性, 求解误差越小。分段线性化法不仅可以用于非线性电阻电路的求解, 也可应用于非线性动态电路。

15.4 小信号分析法

求解步骤:

- ① 令 $u_s(t) = 0$, 求得非线性电阻 R 上的静态工作点 (U_Q, I_Q) 。
- ② 将非线性电阻 R 等效为静态工作点处的动态电阻, 动态电阻为 $R_d = \left. \frac{du}{di} \right|_{(U_Q, I_Q)}$ 。令 $U_s = 0$, 在 $u_s(t)$ 的作用下, 求得 R 上的 $u_1(t)$ 和 $i_1(t)$ 。
- ③ 由于 $|u_s(t)| \ll U_s$, 所以电路的解为 $u(t) = U_Q + u_1(t)$, $i(t) = I_Q + i_1(t)$ 。