

第3章 网络分析方法和网络定理

3.1 支路电流法

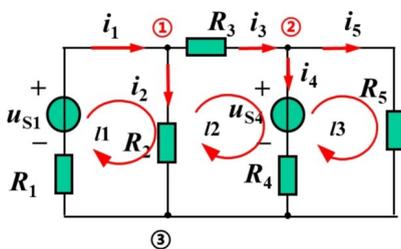
基本要求：掌握支路电流法列写方程的方法

1. 支路电流法 (branch current method)

以一组支路电流为网络变量，根据KCL、KVL列写方程并求解的分析方法。

设给定的电路具有 **b** 条支路、 **n** 个节点，那么支路电流法就是以 **b** 个未知的支路电流作为待求量，对 **$n-1$** 个独立节点列出KCL方程，再对 **$b-(n-1)$** 个独立回路列出KVL方程，这 **b** 个方程联立便可解得 **b** 个支路电流。

列出图示电路的支路电流方程。



分析：图中共有5个支路电流，参考方向已标在图中。需列出5个独立方程。现有2个独立节点，对应2个KCL方程；3个网孔，对应3个KVL方程。

对 **$n-1$** 个独立节点列KCL方程

节点①: $-i_1 + i_2 + i_3 = 0$

节点②: $-i_3 + i_4 + i_5 = 0$

对网孔列KVL方程，其中电阻电压用支路电流来表示

网孔11: $R_1 i_1 + R_2 i_2 = u_{S1}$

网孔12: $-R_2 i_2 + R_3 i_3 + R_4 i_4 = -u_{S4}$

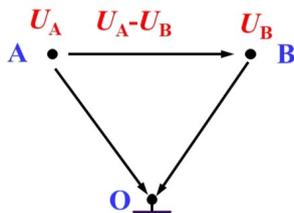
网孔13: $-R_4 i_4 + R_5 i_5 = u_{S4}$

如何减少方程数量?

支路电流法需要 **$b-n+1$** 个KVL方程， **$n-1$** 个KCL方程。



假定存在一组变量，使之自动满足KVL方程，从而减少联立方程的个数。



任意选择参考点

其他点电位定义为节点电压

关键思路：
求解支路量 → 求解节点量

如果选择节点电压作变量

1、支路电压可由节点电压表示

$$U_{AB} = U_A - U_B, \quad U_{OA} = -U_A, \quad U_{BO} = U_B$$

2、KVL自动满足

$$-U_A + (U_A - U_B) + U_B = 0$$

3、只需列写KCL方程即可

以支路电流为变量，根据KCL、KVL列写方程并求解的分析方法。

设给定的电路具有 b 条支路、 n 个节点，那么支路电流法就是以 b 个未知的支路电流作为待求量，对 $n-1$ 个独立节点列出KCL方程，再对 $b-(n-1)$ 个独立回路列出KVL方程，这 b 个方程联立便可解得 b 个支路电流。

独立节点：所有节点中，任意除去一个节点，其余节点为独立节点。

独立回路：满足如下条件的若干个回路为独立回路。

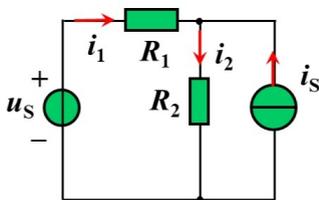
- (1) 数目为 $b-(n-1)$
- (2) 每个回路至少包含一条其它回路所没有的支路(独立性)
- (3) 所有回路包含电路所有支路(全面性)

• 3.2 回路电流法

• 3.3 节点电压法

• 3.4 叠加定理

• 1. 叠加定理 (superposition theorem)



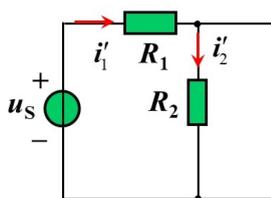
由KCL和KVL列出方程

$$i_1 = i_2 - i_s$$

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 = u_s$$

$$i_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s - \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s = k'_1 u_s + k'_2 i_s$$

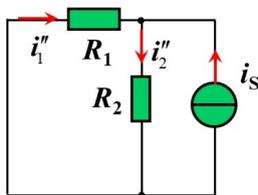
$$i_2 = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s + \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_s = k''_1 u_s + k''_2 i_s$$



令电压源单独作用，电流源不作用。
电流源电流为0，相当于开路

求得 $i'_1 = i'_2$

$$i'_1 = i'_2 = \frac{u_s}{R_1 + R_2}$$



令电流源单独作用，电压源不作用。
电压源电压为0，相当于短路

$$i''_1 = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s \quad i''_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_s$$

$$i_1 = i'_1 + i''_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s - \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s = k'_1 u_s + k'_2 i_s$$

$$i_2 = i'_2 + i''_2 = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s + \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_s = k''_1 u_s + k''_2 i_s$$

一致!

叠加定理

在线性电路中，电路某处的电流或电压（即响应）等于各独立源（即激励）分别单独作用时该处产生的电流或电压的代数和，可表示为

$$x = \sum_{j=1}^n k_j e_j$$



线性电路：电路中各元件为线性

独立电源：电源电流或电压，不受其它支路电流或电压控制，受控源不能当独立电源

单独作用：唯一电源作用，其它电源不作用，电量置零

代数和：与原电路参考方向为准，在单个电源作用时，与原方向一致为正，相反为负。不作用的电压源电压为0相当于短路，不作用的电流源电流为0相当于开路。

- 2. 齐性原理 (homogeneity property)

在线性电路中，当所有激励（独立电流源或电压源）都同时增大或减小若干倍时，响应（电流或电压）也将增大或缩小同样倍数。



- 不能用叠加定理求功率

应用：1. 定理的证明; 2. 谐波分析法

总结

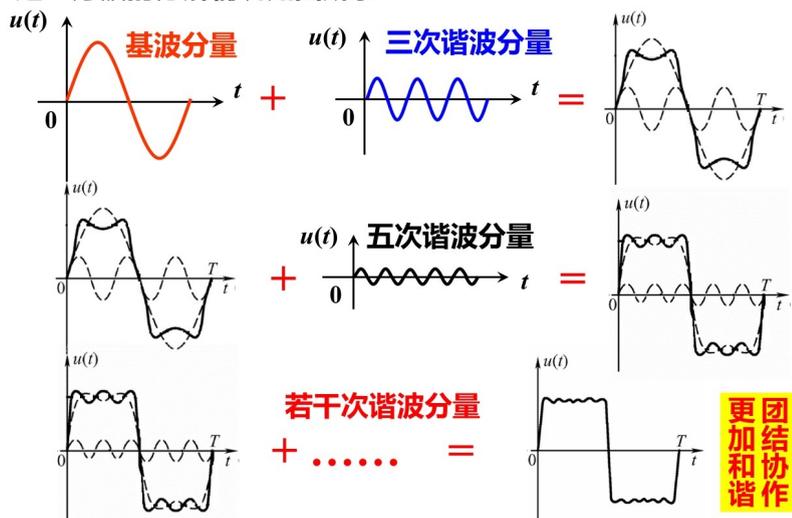
重点：

难点：

线 适用范围：线性电路
独 独立电压源电流源
单 单独作用或者成组作用，但是每个电源只能作用一次
代 代数和

注意： 控不变，率不加

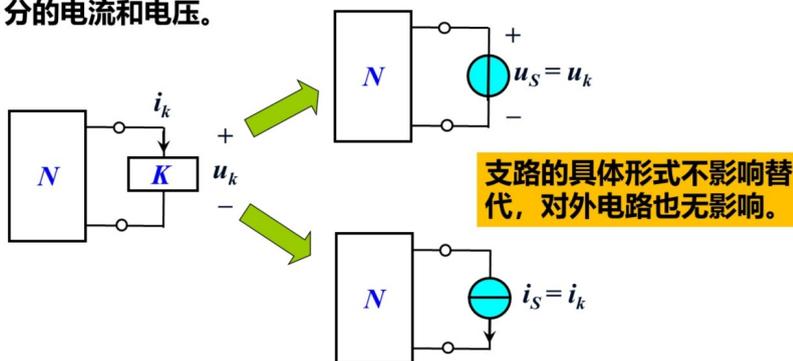
这一方波的分解情况如图所示



3.5 替代定理

替代定理 (substitution theorem)

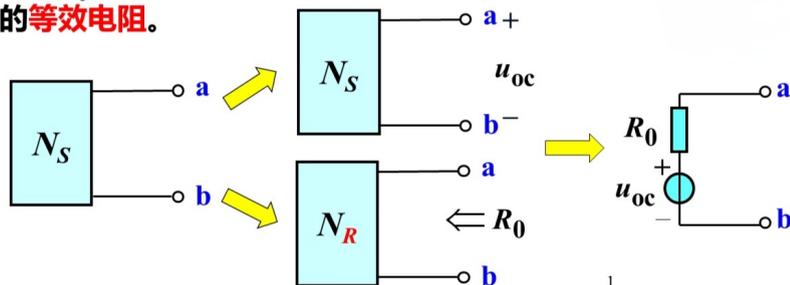
在一个任意 (线性和非线性) 电路中, 若某一支路的电压和电流为 u 和 i , 则不论该支路是如何构成的, 总可以用一个 $u_s = u$ 的电压源或一个 $i_s = i$ 的电流源来替代, 而不影响电路中其他部分的电流和电压。



3.6 戴维南定理与诺顿定理

1. 戴维南定理 (Thevenin theorem)

一个含有独立源的线性二端电阻网络, 对外可以等效为一个独立电压源 u_{oc} 和一个电阻 R_0 的相串联的电路。此电压源的电压 u_{oc} 等于二端网络端口的开路电压; 电阻 R_0 等于该二端网络中所有独立源置零后端口的等效电阻。

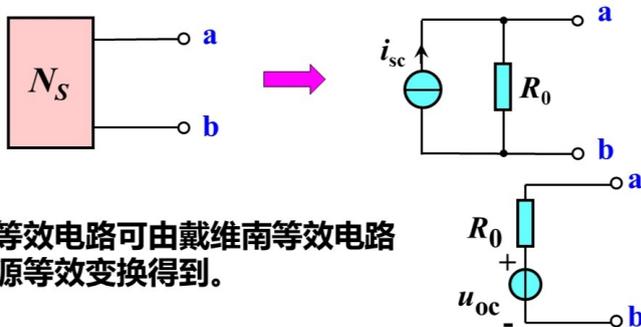


2. 诺顿定理 (Norton theorem)

一个含独立源的线性二端电阻网络,

可以等效成一个**电流源**和一个**电阻相并联**的电路,

此电流源的电流等于该二端网络的**短路电流** i_{sc} ,
电阻等于该二端网络中全部独立电源置零时的等效电阻 R_0 。



诺顿等效电路可由戴维南等效电路
经电源等效变换得到。

理解

线性电路: 电路中各元件为线性

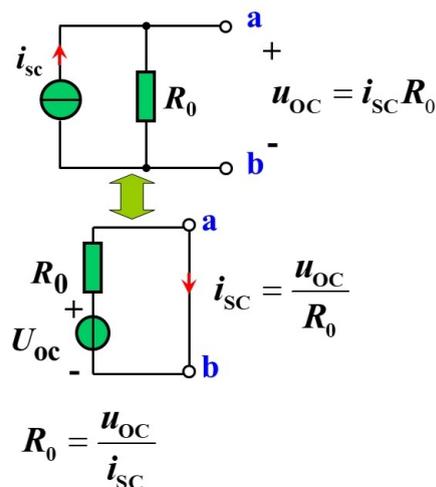
有伴电源: 独立电压源**串联**电阻或独立电流源**并联**电阻

求 u_{oc} , i_{sc} : 可以采用KCL, KVL, 支路电流法, 回路电流法, 节点电压法等计算得到

求等效电阻: 独立电压源**串联**电阻或独立电流源**并联**电阻

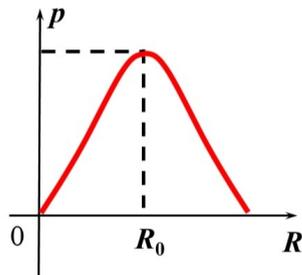
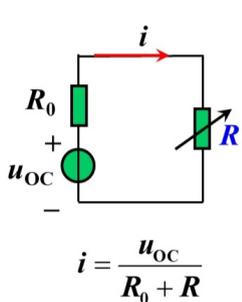
- ① 无受控源时电阻等效变换(独立源置零), 如串并联等效、星形三角形等效
- ② 有受控源时, 外加电压源法或外加电流源法(独立源置零)

③ 开路电压/短路电流



② ③ 都可用于含受控源的线性电路

3.最大功率传输 (Maximum power transmission)



$$i = \frac{u_{OC}}{R_0 + R}$$

$$p = Ri^2 = \frac{RU_{OC}^2}{(R_0 + R)^2}$$

$R = 0$ 时, $p = 0$; $R \rightarrow \infty$ 时, $p = 0$;

当 $\frac{dp}{dR} = 0$ 时, 功率有**最大值**,

工程上称为功率“**匹配**”

此时 $R = R_0$, $p_{\max} = \frac{R_0 U_{OC}^2}{(R_0 + R_0)^2} = \frac{U_{OC}^2}{4R_0}$

$\eta = 50\%$

• 总结

戴维南定理列写步骤:

- 1、何时用: 只求某一支路变量; 最大功率问题
- 2、从哪看: 将待分析支路与原电路分割, 变为有源二端网络;
- 2、怎么求: 求有源二端网络的端口电压 u_{oc} , 可用所有方法, 求有源二端网络内部去掉独立电源后的等效电阻 R_0 , 第2章求等效电阻的所有方法;
- 4、求结果: 画出原电路的戴维南等效电路。

支路电流法列写步骤:

- 1、以 b 条支路设一组支路电流变量;
- 2、列写独立节点 $n_t = n - 1$ 个 KCL 方程;
- 3、列写独立回路 $b - n + 1$ 个 KVL 方程, 并求解

节点电压法列写步骤:

- 1、先设参考节点, 再设独立节点 $n_t = n - 1$ 个节点电压变量;
- 2、根据 KCL 列写节点电压方程, 熟记自电导、互电导、电激流的概念及其正负号规定;
- 3、辨别 4 种特殊情况, 熟悉处理方法;
- 4、辅助方程必须与节点电压变量相关。