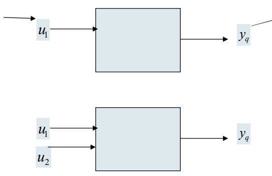
第四章　线性电路的基本定理

§4-1 叠加原理

叠加原理只适合于线性电路。
线性系统特性：齐次性和叠加性

输入量（电压源、电流源）

输出量（某支路电压、电流）

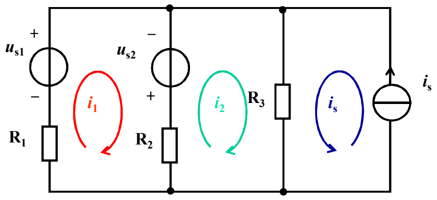


$$y_q = a*u_1$$

$$y_q = a*u_1 + b*u_2$$

在线性电路中，任一支路的电流(或电压)可以看成是电路中每一个独立电源单独作用于电路时，在该支路产生的电流(或电压)的代数和。

证明



$$\begin{cases} (R_1+R_2)i_1 - R_2 i_2 = u_{s1} + u_{s2} \\ -R_2 i_1 + (R_2+R_3)i_2 = -u_{s2} - R_3 i_s \end{cases}$$

$$i_1 = \frac{R_2+R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}u_{s1} + \frac{R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}u_{s2} + \frac{-R_2R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}i_s$$

当u_{s1}单独作用时，令u_{s2}=0，i_s=0

$$i_1' = \frac{R_2+R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}u_{s1}$$

当u_{s2}单独作用时，令u_{s1}=0，i_s=0

$$i_1'' = \frac{R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}u_{s2}$$

当i_s单独作用时，令u_{s1}=0，u_{s2}=0

$$i_1''' = \frac{-R_2R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}i_s$$

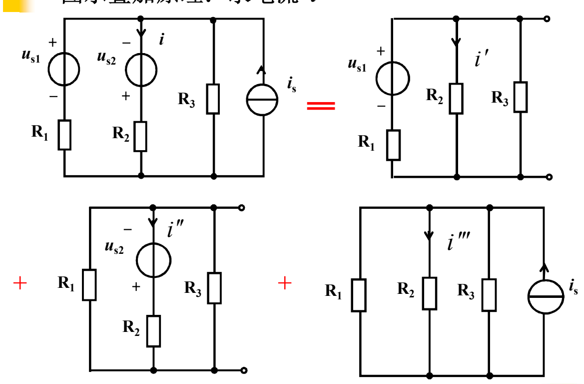
所以　$i_1 = i_1' + i_1'' + i_1'''$

电源为零：

电压源为零：用短路线代替电压源。

电流源为零：用开路代替电流源。

图示叠加原理：求电流 i



那么　　$i = i' + i'' + i'''$

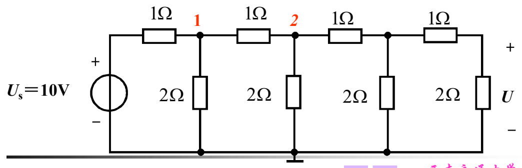
注意：

（1）电流、电压可以叠加，但功率不能用叠加求得。功率为电压和电流的乘积，为电源的二次函数。

（2）叠加时注意电压、电流的参考方向。

（3）受控源不能单独作用，受控源应保留在电路里。

例4-1：求U（梯形电路）



解：利用齐次性 $\dfrac{U}{U_s}=\dfrac{U'}{U_s'}$

设 $U'=2V$ 那么

结点2： $u_2'=1\times(\frac{3}{2}+1)+3=\frac{5}{2}+3=\frac{11}{2}V$

结点1： $u_1'=1\times(\frac{11}{4}+\frac{5}{2})+u_2'=\frac{43}{4}V$

$$U_s'=1\times(\frac{43}{8}+\frac{21}{4})+u_1'=\frac{171}{8}V$$

所以 $U=\dfrac{U'}{U_s'}U_s=0.936V$

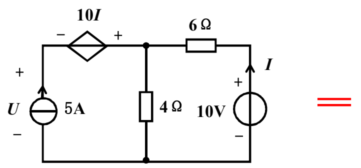
齐次性原理

线性电路中，所有激励(独立源)都增大(或减小)同样的倍数，则电路中响应(电压或电流)也增大(或减小)同样的倍数。

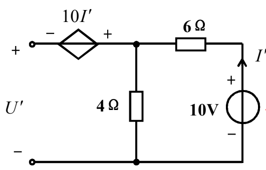
当激励只有一个时，则响应与激励成正比。

叠加性(additivity property)。

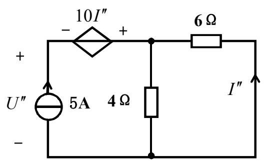
例4-2：用叠加原理求U。



=



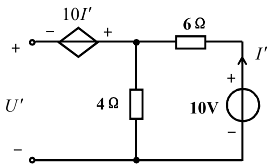
+



解：10V作用时：

$I'=1A$

$U'=-10I'+4I'=-6V$

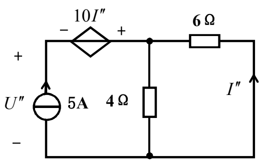


5A作用时：

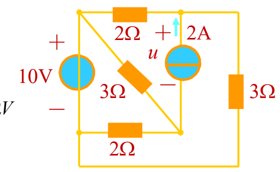
$I''=-\dfrac{4}{6+4}\times5=-2A$

$U''=-10I''-6I''=32V$

所以 $U=U'+U''=26V$



例2 求电流源的电压和发出的功率



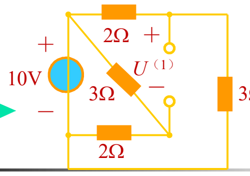
10V电源作用： $u^{(1)}=(\frac{3}{5}-\frac{2}{5})\times10=2V$

2A电源作用： $u^{(2)}=\frac{2\times3}{5}\times2\times2=4.8V$

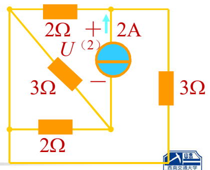
$u=6.8V$ $P=6.8\times2=13.6W$

为两个简单电路

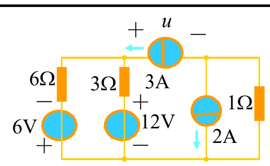
画出分电路图



+



例3 计算电压u。



3A电流源作用：

$u^{(1)}=(6//3+1)\times3=9V$

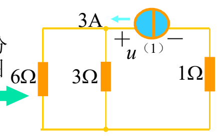
其余电源作用：

$i^{(2)}=(6+12)/(6+3)=2A$

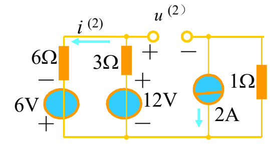
$u^{(2)}=6i^{(2)}-6+2\times1=8V$

$u=u^{(1)}+u^{(2)}=9+8=17V$

画出分电路图



+

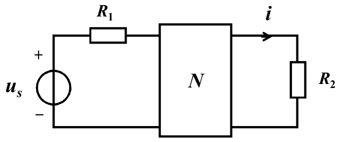


说明：叠加方式是任意的，可以一次一个独立源单独作用，也可以一次几个独立源同时作用，取决于使分析计算简便。

例： 网络N为含有独立电源的线性网络，且参数不变。

当u_s=8V时，i=5A；当u_s=16V时，i=7A。

问u_s=20V时，i=?



解：设网络N中的独立电源作用时，流过R_2的电流为i'

$$i = i' + Ku_s$$

依题知
$$\begin{cases} 5 = i' + K8 \\ 7 = i' + K16 \end{cases}$$

$$\begin{cases} i' = 3A \\ K = 0.25 \end{cases}$$

∴当u_s=20V时

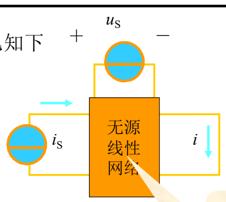
$$i = 3 + 0.25 \times 20 = 8A$$

例5　封装好的电路如图，已知下列实验数据：

当 $u_S = 1V$， $i_S = 1A$ 时，响应 $i = 2A$

当 $u_S = -1V$， $i_S = 2A$ 时，响应 $i = 1A$

求 $u_S = -3V$， $i_S = 5A$ 时，响应 $i = ?$



研究激励和响应关系的实验方法

解　根据叠加定理，有： $i = k_1 i_S + k_2 u_S$

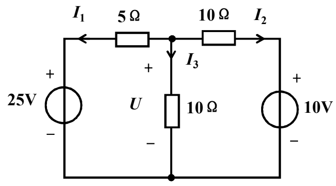
代入实验数据，得：
$$k_1 + k_2 = 2 \qquad k_1 = 1$$
$$2k_1 - k_2 = 1 \qquad k_2 = 1$$

$$i = u_S + i_S = -3 + 5 = 2A$$

§4-2 替代定理

替代定理： 电路中的任何一条支路，如其端压u_k或电流i_k已知，那么这条支路可以用电压为u_k的电压源或电流为i_k的电流源替代，替代后不会影响电路各支路的电流和电压。

图示替代定理：

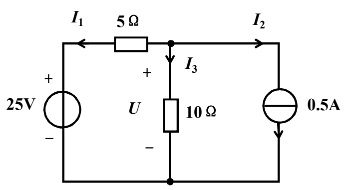


经计算知

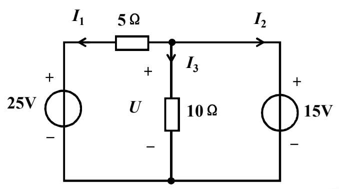
$I_2 = 0.5A$

$U = 15V$

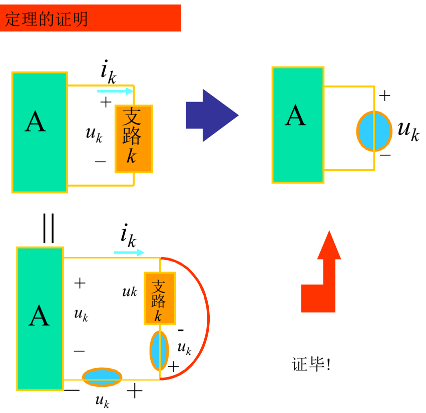
右侧支路用电流源替代



右侧支路用电压源替代



2. 定理的证明



证毕!

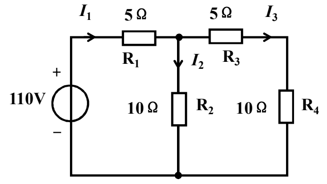
原因

替代前后KCL,KVL关系相同，其余支路的u、i关系不变。用u_k替代后，其余支路电压不变(KVL)，其余支路电流也不变，故第k条支路i_k也不变(KCL)。用i_k替代后，其余支路电流不变(KCL)，其余支路电压不变，故第k条支路u_k也不变(KVL)。

注：

1. 替代定理既适用于线性电路，也适用于非线性电路。
2. 替代后电路必须有唯一解 { 无电压源回路；无电流源节点(含广义节点)。
3. 替代后其余支路及参数不能改变。

例4－3：求各支路电流。



解得 $I_1 = \dfrac{110}{5+\dfrac{10\times 15}{10+15}} = 10A$

$I_2 = 6A \qquad I_3 = 4A$

（1）把R_4用电流源替代

结点法：

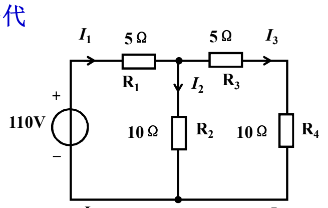
$(\frac{1}{5}+\frac{1}{10})U = \frac{110}{5} - 4$

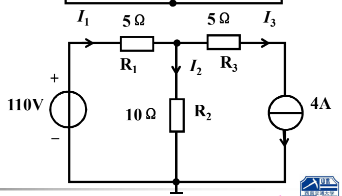
得： $U = 60V$

$I_1 = \dfrac{110-60}{5} = 10A$

$I_2 = \dfrac{60}{10} = 6A$

$I_3 = 4A$





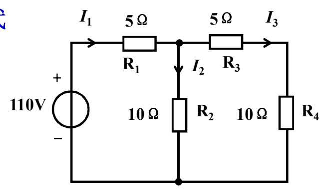
（2）把R_2用电压源替代

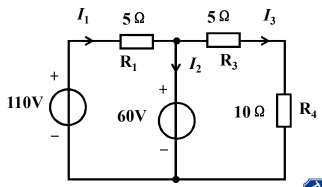
解得：

$I_1 = \dfrac{110-60}{5} = 10A$

$I_3 = \dfrac{60}{15} = 4A$

$I_2 = I_1 - I_3 = 6A$





（3）R_2用电流源、R_4用电压源替代

结点法：

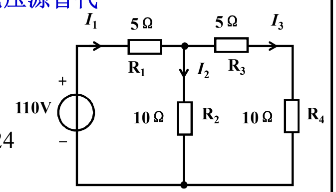
$(\frac{1}{5}+\frac{1}{5})U = \frac{110}{5} - 6 + \frac{40}{5} = 24$

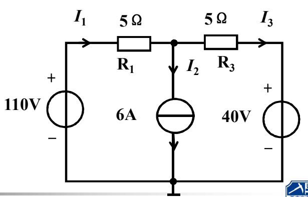
得 $U = 60V$

$I_1 = \dfrac{110-60}{5} = 10A$

$I_2 = 6A$

$I_3 = \dfrac{60-40}{5} = 4A$

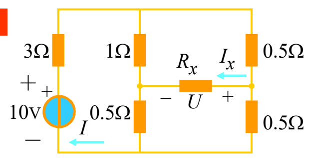


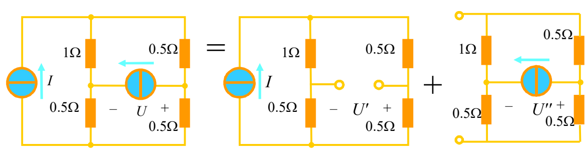


3. 替代定理的应用

例1 若要使 $I_x = \frac{1}{8}I$，试求R_x。

解 用替代：



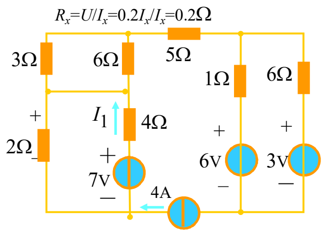


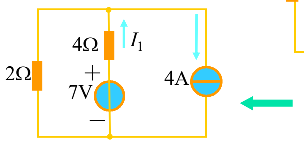
$U=U'+U''=(0.8-0.6)I_x=0.2I_x$

$R_x=U/I_x=0.2I_x/I_x=0.2\Omega$

例2 试求i_1。

解 用替代：





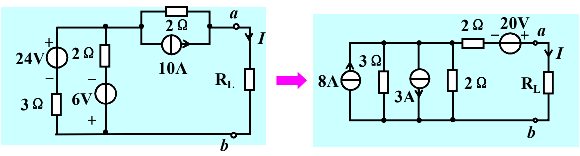
$$I_1=\frac{7}{6}+\frac{2\times4}{2+4}=\frac{15}{6}=2.5A$$

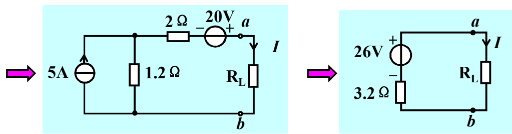
§ 4-3 戴维南定理与诺顿定理

工程实际中，常常碰到只需研究某一支路的电压、电流或功率的问题。对所研究的支路来说，电路的其余部分就成为一个有源二端网络，可等效变换为较简单的含源支路(电压源与电阻串联或电流源与电阻并联支路)，使分析和计算简化。戴维南定理和诺顿定理正是给出了等效含源支路及其计算方法。

二端网络： 对外具有两个端钮的网络，又称单口网络、一端口网络。

负载R_L分别取2Ω和4Ω时，求流过该负载的电流。

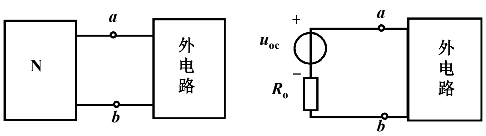


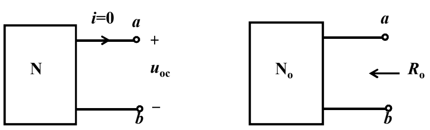


当 $R_L=2\Omega$时， $I=\dfrac{26}{3.2+2}=5A$

当 $R_L=4\Omega$时， $I=\dfrac{26}{3.2+4}=3.75A$

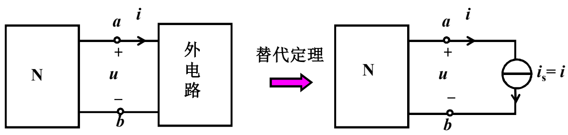
戴维南定理： 任何一个含有独立电源的线性电阻二端网络，对外电路来说，总可以等效为一个电压源串电阻的支路，该电压源等于原二端网络的开路电压u_{oc}，电阻R_o等于该网络中独立电源置零后在端口处的等效电阻。

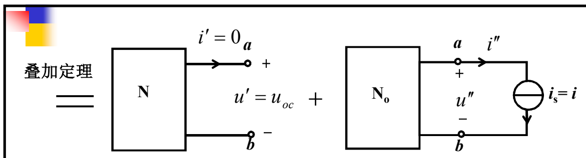




戴维南定理的证明：

端口a、b处的电压为u，电流为i



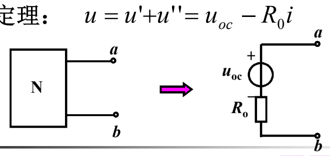


N_0— N中独立电源为零后的网络。

当网络N中的电源作用时： $u'=u_{oc}$ $i'=0$

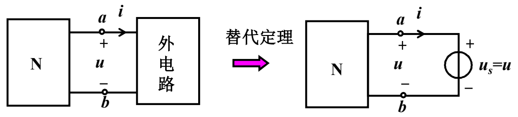
当电流源i_s作用时： $u''=-i''R_{ab}=-iR_0$ $i''=i$

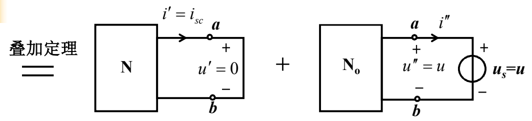
叠加定理： $u=u'+u''=u_{oc}-R_0 i$



诺顿定理： 任何一个含有独立电源的线性电阻二端网络，对外电路来说，总可以等效为一个电流源并电阻的电路，其中电流源等于原二端网络端口处的短路电流i_{sc}，电阻R_0等于该网络中独立电源置零后在端口处的等效电阻。

诺顿定理的证明：





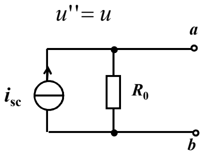
网络N中电源作用：

$i'=i_{sc}$ (短路电流) $u'=0$

u_s作用时：

$$i''=-\frac{u_s}{R_{ab}}=-\frac{u_s}{R_0}=-\frac{u}{R_0} \qquad u''=u$$

所以 $i=i'+i''=i_{sc}-\dfrac{u}{R_0}$



一、电路中不含受控源的情况

(1) 开路电压U_{oc}的计算

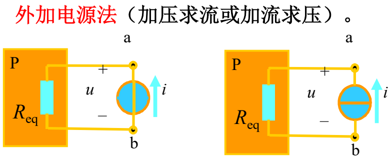
戴维南等效电路中电压源电压等于将外电路断开时的开路电压U_{oc}，电压源方向与所求开路电压方向有关。计算U_{oc}的方法视电路形式选择前面学过的任意方法，使易于计算。

（2）等效电阻的计算

等效电阻为将一端口网络内部独立电源全部置零(电压源短路，电流源开路)后，所得无源一端口网络的输入电阻。常用下列方法计算：

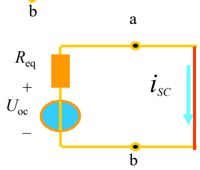
1 当网络内部不含有受控源时可采用电阻串并联和△－Y互换的方法计算等效电阻；

2 外加电源法（加压求流或加流求压）。



$$R_{eq}=\frac{u}{i}$$

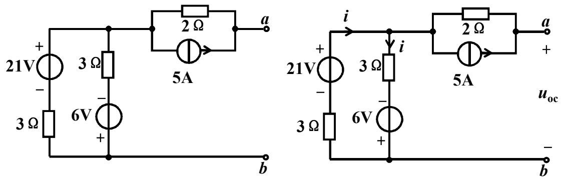
3 开路电压，短路电流法。



$$R_{eq}=\frac{u_{oc}}{i_{sc}}$$

2 3 方法更有一般性。

例4－4：求a、b端的戴维南及诺顿等效电路。



解：（1）求开路电压u_{oc}

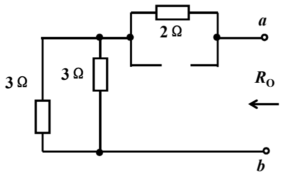
$$i=\frac{21+6}{3+3}=4.5A$$

$$u_{oc}=2\times5+3i-6=17.5V$$

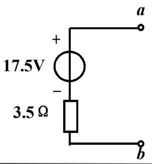
（2）求R_0

将独立电源置零

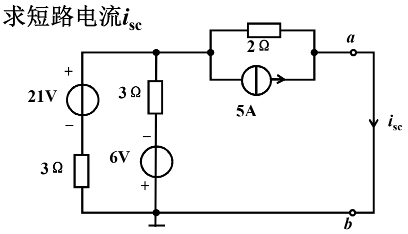
$$R_o = 2 + \frac{3\times 3}{3+3} = 3.5\Omega$$



戴维南等效电路如图

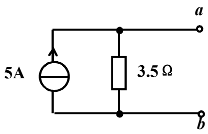


（3）求短路电流i_{sc}



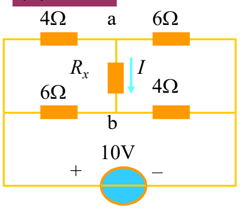
$$(\frac{1}{3}+\frac{1}{3}+\frac{1}{2})u = \frac{21}{3} - \frac{6}{3} - 5$$

$$u = 0 \qquad i_{sc} = \frac{u}{2} + 5 = 5A$$



等效电阻R_0的求法同前

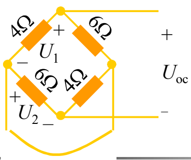
例1.



计算R_x分别为1.2Ω、5.2Ω时的I；

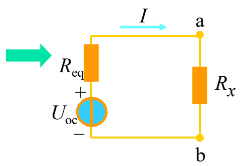
解

保留R_x支路，将其余一端口网络化为戴维南等效电路：



(1) 求开路电压

$U_{oc} = U_1 + U_2$
$= -10\times4/(4+6)+10\times6/(4+6)$
$= -4+6=2V$



(2) 求等效电阻R_{eq}

R_{eq}=4//6+6//4=4.8Ω

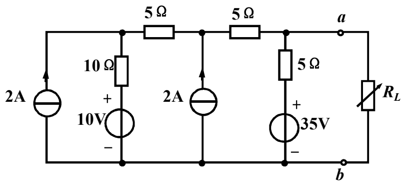
(3) R_x =1.2Ω时，

$I = U_{oc}/(R_{eq}+R_x) = 0.333A$

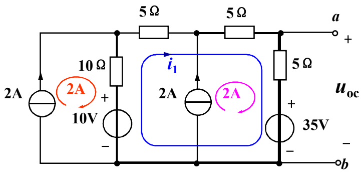
R_x =5.2Ω时，

$I = U_{oc}/(R_{eq}+R_x) = 0.2A$

例4－5：问R_L取何值可获最大功率？最大功率是多少？



解：先求R_L左侧电路的戴维南等效电路。



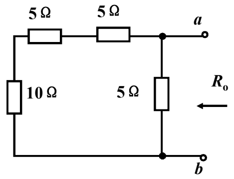
（1）求开路电压：

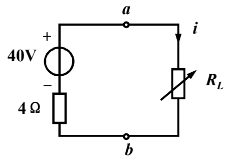
采用回路法

$$5i_1 + 5(i_1+2) + 5(i_1+2) + 35 - 10 + 10(i_1-2) = 0$$

得 $\quad i_1 = -1A$

所以 $\quad u_{oc} = 5(i_1+2) + 35 = 40V$





（2）求等效电阻R_o

$$R_o=\frac{5\times 20}{5+20}=4\Omega$$

（3）负载R_L所消耗的功率

$$P=i^2R_L=(\frac{u_{oc}}{R_0+R_L})^2R_L$$

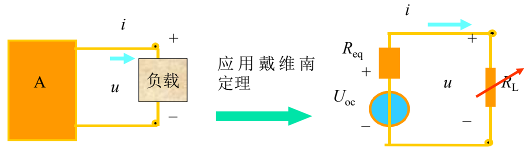
$$\frac{dP}{dR_L}=0$$

$R_L=R_0=4\Omega$ 可获最大功率

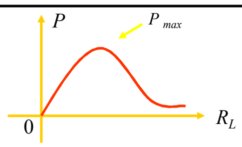
$$P_{\max}=i^2R_L=\frac{u_{oc}^2}{4R_0}=100W$$

最大功率传输定理

一个含源线性一端口电路，当所接负载不同时，一端口电路传输给负载的功率就不同，讨论负载为何值时能从电路获取最大功率，及最大功率的值是多少的问题是有工程意义的。



$$P=R_L(\frac{u_{oc}}{R_{eq}+R_L})^2$$



对P求导：

$$P'=u_{oc}^2\frac{(R_{eq}+R_L)^2-2R_L(R_{eq}+R_L)}{(R_{eq}+R_L)^4}=0$$

$$\boldsymbol{R_L=R_{eq}} \qquad \boldsymbol{P_{\max}=\frac{u_{oc}^2}{4R_{eq}}}$$

最大功率匹配条件

注

(1) 最大功率传输定理用于一端口电路给定，负载电阻可调的情况;

(2) 一端口等效电阻消耗的功率一般并不等于端口内部消耗的功率,因此当负载获取最大功率时,电路的传输效率并不一定是50%;

(3) 计算最大功率问题结合应用戴维南定理或诺顿定理最方便.

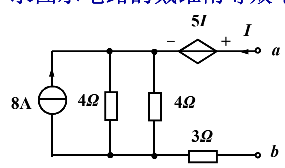
二、电路中含有受控源

戴维南定理与诺顿定理同样适用。

开路电压u_{oc}：求法同前，如结点法、回路法、叠加定理等。

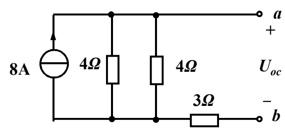
等效电阻R_0：外加电源法和开短路法。

例4-6：求图示电路的戴维南等效电路。



解：开路电压

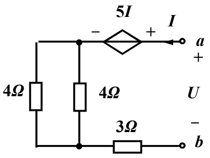
$$U_{oc}=2\times 8=16V$$



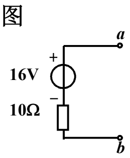
等效电阻:外加电源法

$$U = 5I + 2I + 3I = 10I$$

$$R_0 = \frac{U}{I} = 10\Omega$$



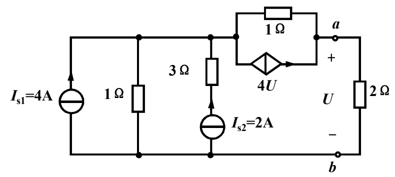
等效电路如图



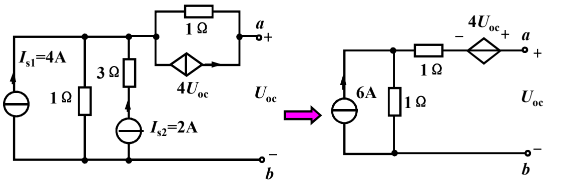
例4-7 电路如图所示，求

（1）*ab*左侧电路的戴维南等效电路。

（2）电流源I_{s2}吸收的功率。



解：（1）求开路电压U_{oc}



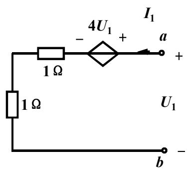
根据KVL可得 $U_{oc} = 4U_{oc} + 6$

所以 $U_{oc} = -2V$

等效电阻R_0：用外加电源法

因为 $U_1 = 4U_1 + 2I_1$

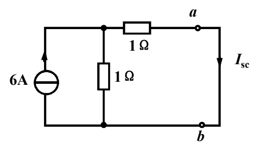
所以 $R_0 = \dfrac{U_1}{I_1} = -\dfrac{2}{3}\Omega$



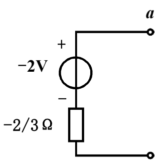
另：开短路法求等效电阻R_0

短路电流 $I_{sc} = 3A$

所以 $R_o = \dfrac{U_{oc}}{I_{sc}} = -\dfrac{2}{3}\Omega$



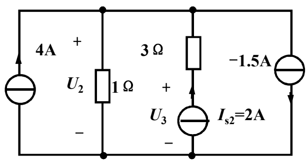
戴维南等效电路如图



$$I = \frac{-2}{2 - \frac{2}{3}} = -1.5A$$

（2） 回原电路求得电流源I_{s2}两端电压U_3

为简化运算，将右侧支路用电流源替代。



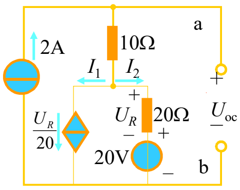
$$U_2 = 1 \times (4 + 2 + \frac{3}{2}) = 7.5V$$

$$U_3 = 2 \times 3 + U_2 = 13.5V$$

电流源I_{s2}吸收的功率：

$$P = -2U_3 = -27W$$

例 R_L为何值时其上获得最大功率，并求最大功率。

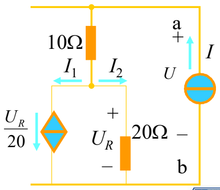


(1) 求开路电压U_{oc}

$I_1 = I_2 = U_R/20 \qquad I_1 + I_2 = 2A$

$\longrightarrow I_1 = I_2 = 1A$

$U_{oc} = 2\times 10 + 20 I_2 + 20 = 60V$



(2) 求等效电阻R_{eq}

$I_1 = I_2 = I/2$

$U = 10I + 20\times I/2 = 20I$

$R_{eq} = \frac{U}{I} = 20\Omega$

(3) 由最大功率传输定理得:

$R_L = R_{eq} = 20\Omega$

$P_{max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_{eq}} = \frac{60^2}{4\times 20} = 45W$

§4-4 特勒根定理

特勒根定理1

对于一个具有*n*个结点、*b*条支路的网络，假设各支路电压（u_k）和支路电流（i_k）取关联参考方向，则有：

$$\sum_{k=1}^{b} u_k i_k = 0$$

物理意义：各支路吸收的功率之和等于零。

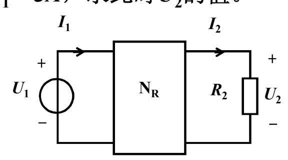
特勒根定理2

具有同一拓扑图的两个网络*N*和*N'*，它们的支路电压为 u_k 和 u_k'，支路电流为i_k 和 i_k'(均取关联参考方向），则对任何时刻*t*，有：

$$\sum_{k=1}^{b} u_k i_k' = 0 \qquad \sum_{k=1}^{b} u_k' i_k = 0$$

另外有 $\sum_{k=1}^{b} u_k(t_1) i_k(t_2) = 0$

例4-8：N_R网络由纯电阻组成。已知$R_2=2\Omega$，$U_1=6V$时，测得$I_1=2A$，$U_2=2V$；$R_2=4\Omega$，$U_1=10V$时，测得$I_1=3A$，求此时U_2的值。



解：根据特勒根定理2

$$-U_1' I_1 + U_2' I_2 + \sum_{k=3}^{b} U_k' I_k = 0$$

$$-U_1 I_1' + U_2 I_2' + \sum_{k=3}^{b} U_k I_k' = 0$$

因为 $U_k I_k' = R_k I_k I_k' = R_k I_k' I_k = U_k' I_k$

所以 $-U_1' I_1 + U_2' I_2 = -U_1 I_1' + U_2 I_2'$

由题知

$U_1' = 6V \quad I_1' = 2A \quad U_2' = 2V \quad I_2' = \frac{U_2'}{R_2'} = \frac{2}{2} = 1A$

$U_1 = 10V \quad I_1 = 3A \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_2}{4}$

则 $-6\times 3 + 2\times(\frac{U_2}{4}) = -10\times 2 + U_2\times 1$

$U_2=4V$

应用特勒根定理需注意：

（1）电路中的支路电压必须满足KVL；

（2）电路中的支路电流必须满足KCL；

（3）电路中的支路电压和支路电流必须满足关联参考方向；
（否则公式中加负号）

（4）定理的正确性与元件的特征全然无关。

§ 4-4　特勒根定理

特勒根定理1

对于一个具有n个结点、b条支路的网络，假设各支路电压（u_k）和支路电流（i_k）取关联参考方向，则有：

$$\sum_{k=1}^{b} u_k i_k = 0$$

物理意义：各支路吸收的功率之和等于零。

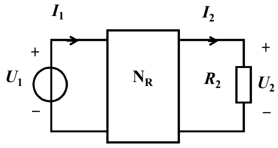
特勒根定理2

具有同一拓扑图的两个网络N和N'，它们的支路电压为u_k和u_k'，支路电流为i_k和i_k'（均取关联参考方向），则对任何时刻t，有：

$$\sum_{k=1}^{b} u_k i_k' = 0 \qquad \sum_{k=1}^{b} u_k' i_k = 0$$

另外有　$$\sum_{k=1}^{b} u_k(t_1) i_k(t_2) = 0$$

例4-8：N_R网络由纯电阻组成。已知R_2=2Ω，U_1=6V时，测得I_1=2A，U_2=2V；R_2=4Ω，U_1=10V时，测得I_1=3A，求此时U_2的值。



解：根据特勒根定理2

$$-U_1'I_1 + U_2'I_2 + \sum_{k=3}^{b} U_k'I_k = 0$$

$$-U_1I_1' + U_2I_2' + \sum_{k=3}^{b} U_kI_k' = 0$$

因为　$U_kI_k' = R_kI_kI_k' = R_kI_k'I_k = U_k'I_k$

所以　$-U_1'I_1 + U_2'I_2 = -U_1I_1' + U_2I_2'$

由题知

$U_1' = 6V \quad I_1' = 2A \quad U_2' = 2V \quad I_2' = \dfrac{U_2'}{R_2'} = \dfrac{2}{2} = 1A$

$U_1 = 10V \quad I_1 = 3A \quad I_2 = \dfrac{U_2}{R_2} = \dfrac{U_2}{4}$

则　$-6\times 3 + 2\times(\dfrac{U_2}{4}) = -10\times 2 + U_2\times 1$

U_2=4V

§ 4-5 互易定理

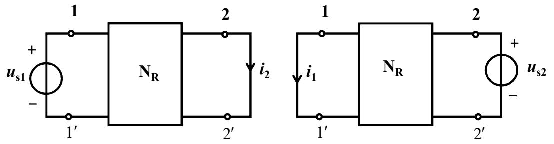
互易性是一类特殊的线性网络的重要性质。一个具有互易性的网络在输入端（激励）与输出端（响应）互换位置后，同一激励所产生的响应并不改变。具有互易性的网络叫互易网络，互易定理是对电路的这种性质所进行的概括，它广泛的应用于网络的灵敏度分析和测量技术等方面。

1. 互易定理

对一个仅含电阻的二端口电路N_R，其中一个端口加激励源，一个端口作响应端口，在只有一个激励源的情况下，当激励与响应互换位置时，同一激励所产生的响应相同。

设网络N_R仅由线性电阻元件组成，该网络对外有两对端钮。

互易定理1:对于图示两电路有 $\dfrac{i_2}{u_{s1}}=\dfrac{i_1}{u_{s2}}$

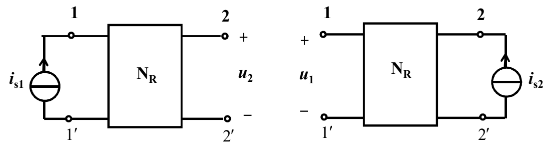


当 $u_{s1}=u_{s2}$ 时，$i_2=i_1$

即电压源和电流表互换位置后，电流表的读数不变。

互易定理2:对于图示两电路有

$$\frac{u_2}{i_{s1}}=\frac{u_1}{i_{s2}}$$

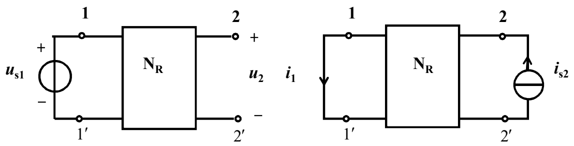


当 $i_{s1}=i_{s2}$ 时，$u_2=u_1$

即电流源和电压表互换位置后，电压表的读数不变。

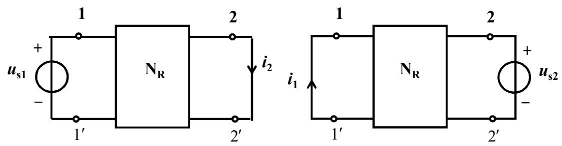
互易定理3:对于图示两电路有

$$\frac{u_2}{u_{s1}}=\frac{i_1}{i_{s2}}$$



互易定理中，如（*a*）图中的端钮1和2为同极性端，那么在图（*b*）中，端钮1和2也为同极性端。

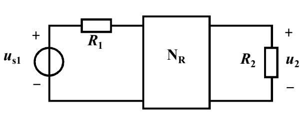
例4-8：已知 $u_{s1}=1V, i_2=2A,\ u_{s2}=-2V$，求$i_1$



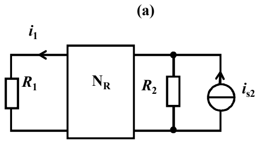
解：$\dfrac{i_2}{u_{s1}}=\dfrac{-i_1}{u_{s2}}$

$$i_1=-\frac{u_{s2}}{u_{s1}}i_2=-\frac{-2}{1}\times 2=4A$$

例4-9：已知图（*a*）电路在电压源u_{s1}的作用下，电阻R_2上的电压为u_2。求图（*b*）在电流源i_{s2}的作用下，电流i_1的值。

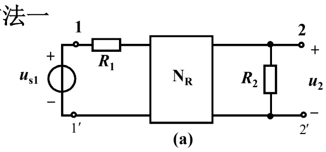


(a)

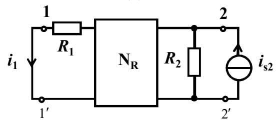


(b)

解：方法一



(a)

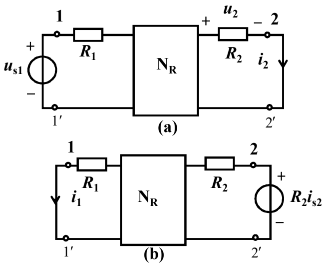


利用互易定理3

(b)

由 $\dfrac{i_1}{i_{s2}}=\dfrac{u_2}{u_{s1}}$ 得 $i_1=\dfrac{u_2}{u_{s1}}i_{s2}$

方法二：改变电路画法，与互易定理1的电路对应。



$$\frac{i_2}{u_{s1}} = \frac{i_1}{R_2 i_{s2}}$$

而 $i_2 = \dfrac{u_2}{R_2}$　得　$i_1 = \dfrac{R_2 i_{s2}}{u_{s1}} \cdot \dfrac{u_2}{R_2} = \dfrac{i_{s2}}{u_{s1}} \cdot u_2$

应用互易定理分析电路时应注意：

(1) 互易前后应保持网络的拓扑结构不变，仅理想电源搬移；

(2) 互易前后端口处的激励和响应的极性保持一致（要么都关联，要么都非关联）；

(3) 互易定理只适用于线性电阻网络在单一电源激励下，两个支路电压电流关系。

(4) 含有受控源的网络，互易定理一般不成立。

§ 4-6 对偶原理

对偶：两个不同的元件特性或两个不同的电路，却具有相同形式的表达式。

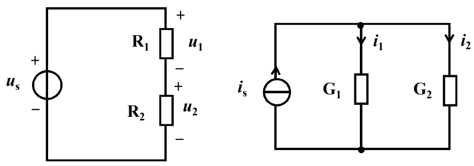
$u = Ri$　　　$u = L\dfrac{di}{dt}$

$i = Gu$　　　$i = C\dfrac{du}{dt}$

对偶元件：***R*与*G***、***L*与*C***、电压源与电流源、开关的开与闭等

对偶变量：***u*与*i***

对偶电路：串联与并联、网孔与结点等。



注意：“对偶”并非“等效”。

对偶电路的意义在于它们具有相同的数学模型。所以分析了其中一个电路，另外一个电路的特性也就知道了。