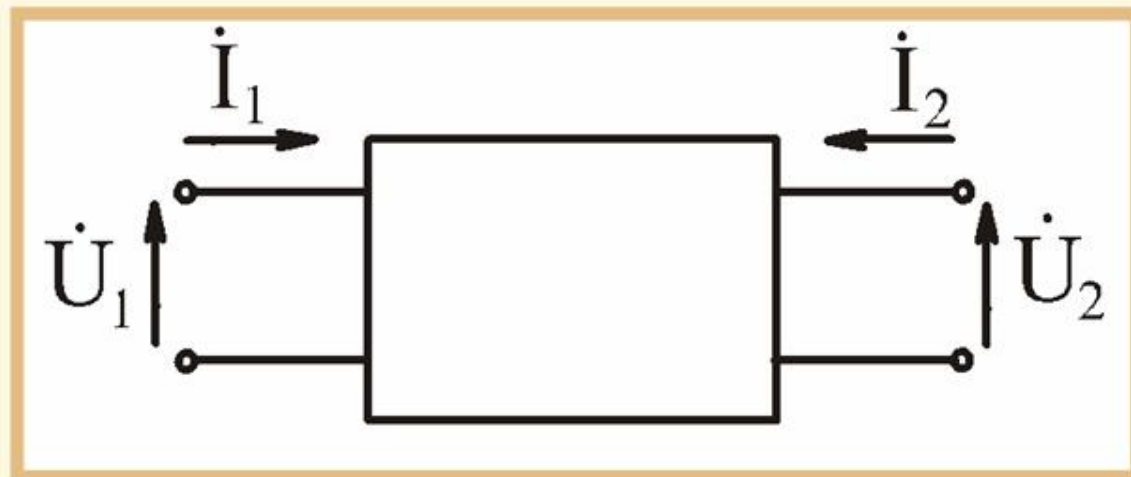


2.9. Изследване на четириполюсни параметри с помощта на програми от типа на PSpice. Изследване на устойчивостта на електронни схеми при високи честоти с помощта на програми от типа на PSpice.

2.9.1. Изследване на четириполусни параметри с помощта на програми от типа на PSpice

При изследване на линейни пасивни и активни схеми е удобно представянето им във вид на **четириполусници с две двойки полюси – входна и изходна**. В този случай схемата се характеризира чрез съотношението между входните величини (напрежение и ток) и изходните величини (напрежение и ток).



- **Четириполюсните параметри са характеристики, които могат да се изразят като:**
 - **отношения на съответни адюнгирани количества на $[Y]$ матрицата**
 - **като отношения на елементите на обратната матрица $[Y]^{-1}$.**
- **При съвременните CAD системи с цел ускоряване на симулацията на схеми с голям брой възли се използват методи за решаване на системи алгебрични уравнения, които позволяват да се отчита "разредеността" на схемната матрица.**
- **При тези методи четириполюсните параметри не могат да се изчислят непосредствено от симулатора. Налага се определянето им да се извършва от потребителя **въз основа на токовете и напреженията на четириполюсника.****

- **За целта всеки четириполюсен параметър трябва да се представи като отношение на съответни входни и изходни величини в съответствие с дефиницията му.**
- **Възможностите на *Cadence PSpice*, заедно с графичния анализатор *Probe*, позволяват лесно да се преодолееят проблемите по определяне на четириполюсните параметри.**

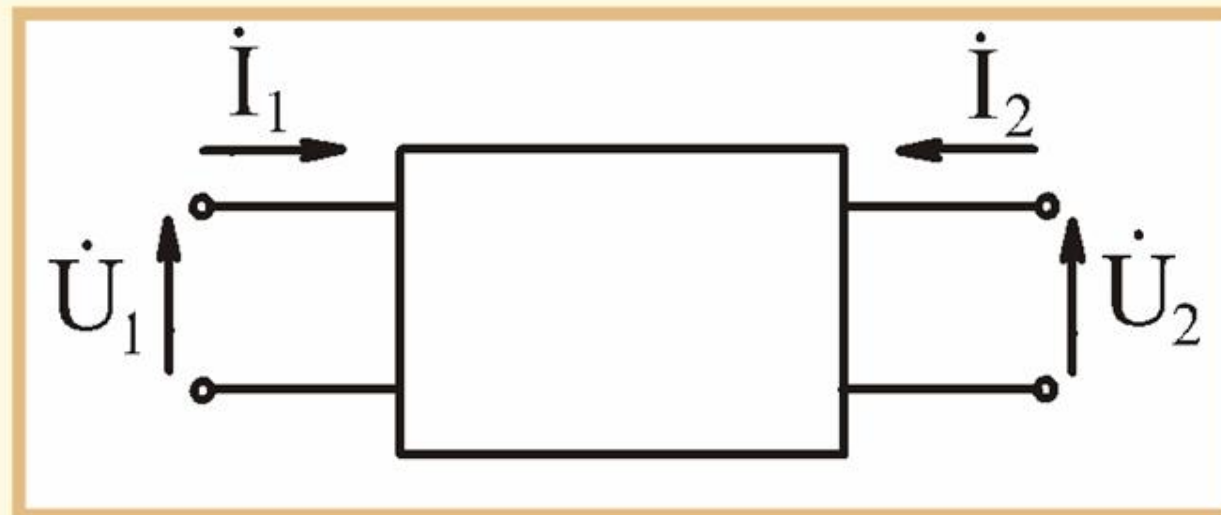
С помощта на *Cadence PSpice* и *Probe* могат да се решат **широк кръг задачи:**

- ❑ **Изчисляване и визуализиране в Probe** на основните четириполюсни параметри: $[Y]$, $[Z]$, $[H]$, $[A]$, $[B]$, $[S]$ и др., с техните реални и имагинерни части;
- ❑ **Преминаване от една система четириполюсни параметри в друга** с използване на възможностите за постпроцесорна обработка в Probe;
- ❑ **Изследване на устойчивостта** въз основа на получените четириполюсни параметри и дефинирани в *Probe* критерии за устойчивост.

**Четириполюсните Y-параметри
се дефинират от уравненията:**

$$\dot{I}_1 = Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2$$

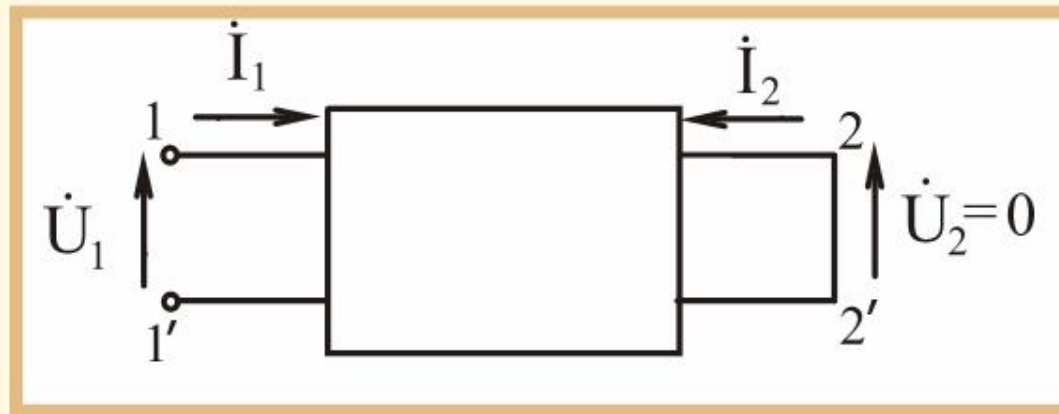
$$\dot{I}_2 = Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2$$



Y-параметрите се определят чрез опитите на късо съединение:

Параметри Y_{11} и Y_{21}

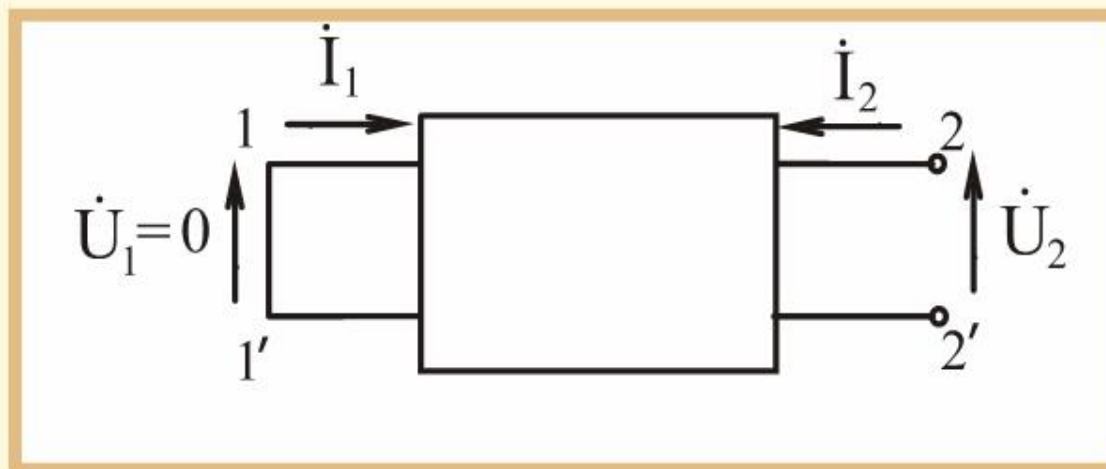
I



$$Y_{11} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2 = 0} \quad ; \quad Y_{21} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1} \right|_{\dot{U}_2 = 0}$$

Параметри Y_{22} и Y_{12}

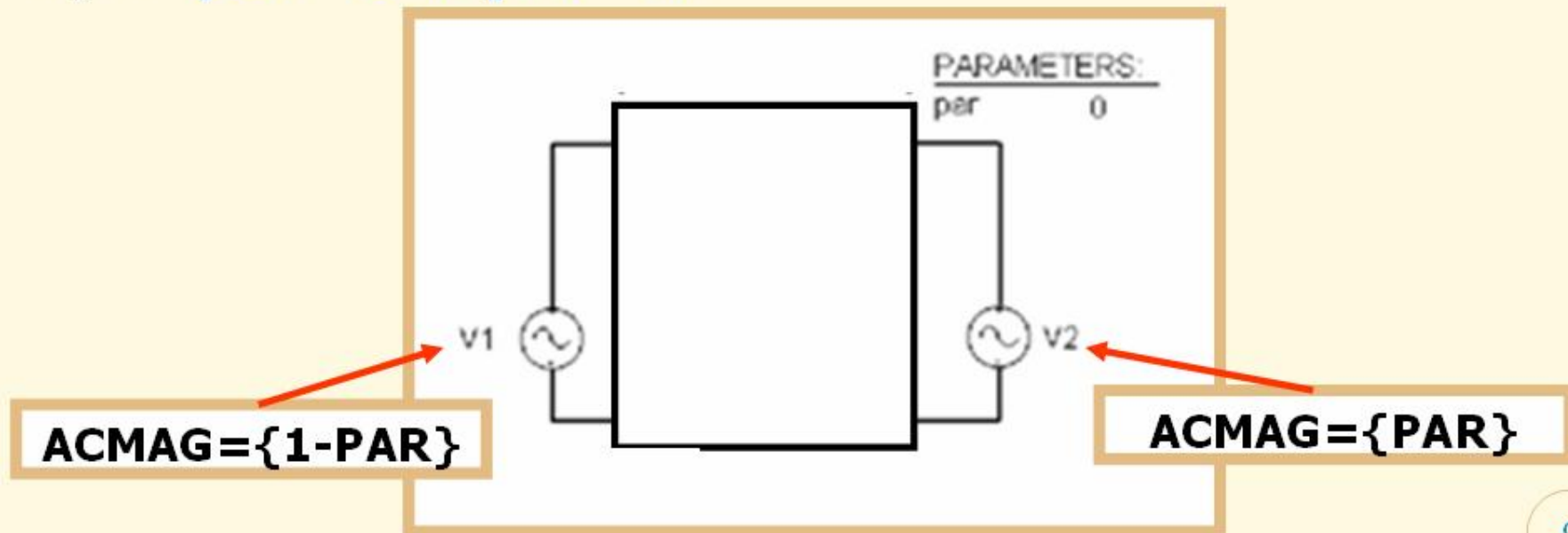
II



$$Y_{12} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \Big|_{\dot{U}_1 = 0} \quad ; \quad Y_{22} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \Big|_{\dot{U}_1 = 0}$$

Двата опита на късо съединение могат да бъдат съвместени при симулацията с PSpice с използване на **параметричен анализ**.

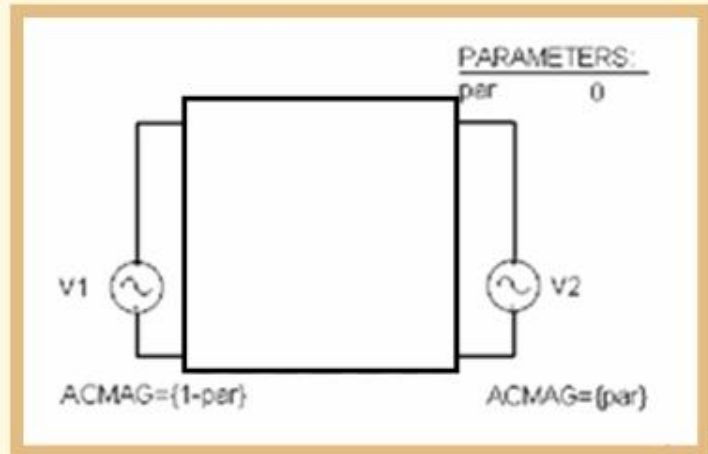
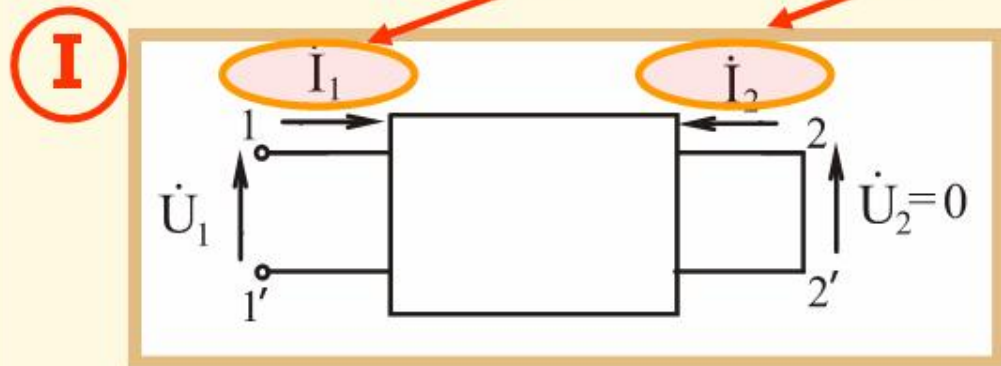
Към входната и изходната двойка полюси се свързват независимите източници на напрежение със стойности **$E1=1-par$** и **$E2=par$** и се задава параметричен анализ при **$par=0$** и **$par=1$** .



При $\text{par}=0$ се реализира опитната постановка **I**.

$$Y_{11} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} \Big|_{\dot{U}_2 = 0} \quad ; \quad Y_{21} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1} \Big|_{\dot{U}_2 = 0}$$

$$\dot{U}_1 = 1V; \quad \dot{U}_2 = 0; \quad Y_{11} = \dot{I}_1 / 1; \quad Y_{21} = \dot{I}_2 / 1$$

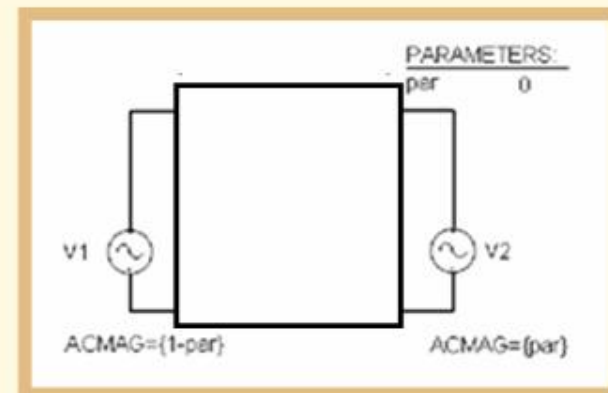
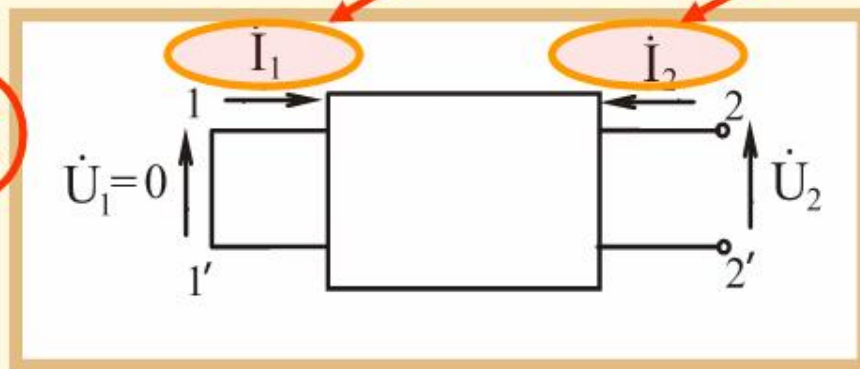


При $\text{par}=1$ се реализира опитната постановка от **II**.

$$Y_{12} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \Big|_{\dot{U}_1 = 0} \quad ; \quad Y_{22} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \Big|_{\dot{U}_1 = 0}$$

$$\dot{U}_1 = 0; \quad \dot{U}_2 = 1\text{V}; \quad Y_{12} = \dot{I}_1 / 1; \quad Y_{22} = \dot{I}_2 / 1$$

II



Процедура за изследване на четириполюсните Y-параметри:

1. Към изследваната четириполюсна схема се добавят независимите източници на напрежение V1 и V2 от тип **VAC**.

Ефективните им стойности са зададени чрез израз във функцията от параметъра **par**:

за V1: **ACMAG = {1-par}**

за V2: **ACMAG = {par}**

2. Дефинира се основният анализ: симулация в честотна област чрез менюто

PSpice/Edit Simulation Profile/

AC Sweep/Noise

3. Дефинира се и допълнителен параметричен анализ **Parametric Sweep със следните данни:**

□ **тип на параметъра – глобален **Global Parameter****

□ **име **Name: par****

□ **начин на изменение – със списък стойности **Value list: 0, 1****

4. Стартира се симулацията;

5. В Probe се дефинират и изобразяват четириполюсните Y-параметри в съответствие с изразите:

$$\dot{U}_1 = 1V; \dot{U}_2 = 0; Y_{11} = \dot{I}_1 / 1; Y_{21} = \dot{I}_2 / 1$$

$$\dot{U}_1 = 0; \dot{U}_2 = 1V; Y_{12} = \dot{I}_1 / 1; Y_{22} = \dot{I}_2 / 1$$

За улесняване на работата, те могат да бъдат дефинирани като макроси чрез менюто Trace/Macros във вида:

$$Y11 = I(V1)@1*(-1)$$

$$Y12 = I(V1)@2*(-1)$$

$$Y21 = I(V2)@1*(-1)$$

$$Y22 = I(V2)@2*(-1)$$

$$\begin{array}{ll} Y_{11}=I(V1)@1*(-1) & Y_{12}=I(V1)@2*(-1) \\ Y_{21}=I(V2)@1*(-1) & Y_{22}=I(V2)@2*(-1) \end{array}$$

- Означението **$I(V1)@1$** се използва за указване да се вземат данни за тока на източника **$I(V1)$** при първата стойност на параметъра (**$par=0$**).
- Означението **$I(V1)@2$** се използва за указване да се вземат данни за тока на източника **$I(V1)$** при втората стойност на параметъра (**$par=1$**).
- Тъй като в PSpice положителната посока на тока през източника на напрежение е от (+) към (-), за да се определи токът се налата умножаването на **$I(V1)$** по (-1).

**Реалните и имагинерни части на
Y-параметрите се определят с макросите:**

$$Y_{11r}=R(Y_{11})$$

$$Y_{11i}=IMG(Y_{11})$$

$$Y_{21r}=R(Y_{21})$$

$$Y_{21i}=IMG(Y_{21})$$

$$Y_{12r}=R(Y_{12})$$

$$Y_{12i}=IMG(Y_{12})$$

$$Y_{22r}=R(Y_{22})$$

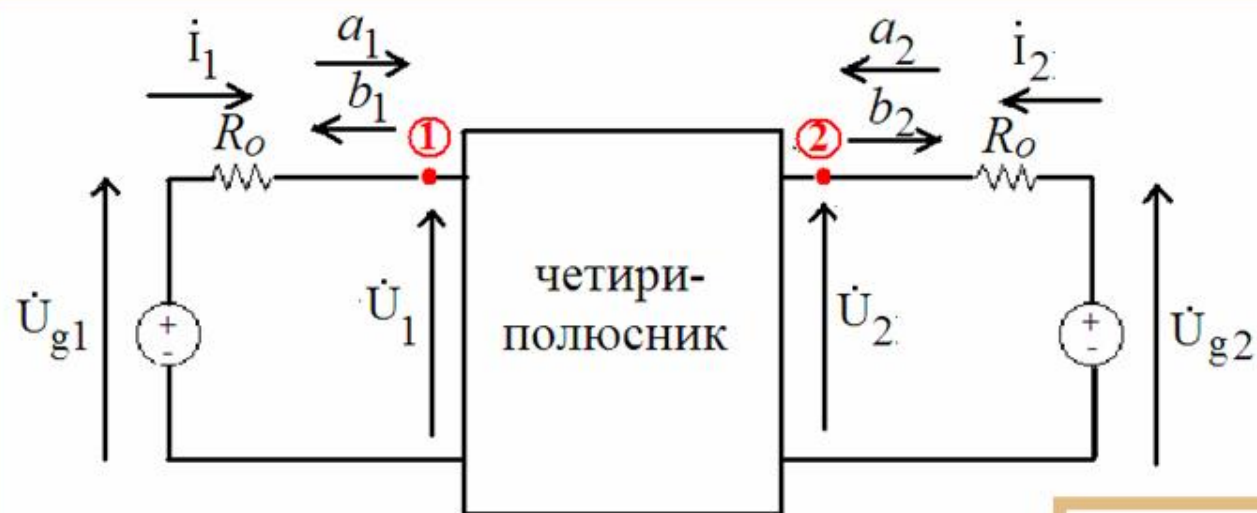
$$Y_{22i}=IMG(Y_{22})$$

Изчисляване и визуализация на четириполюсни S-параметри

- Четириполюсните S-параметри позволяват да се описва поведението на схемите при СВЧ, да се изследват техните усилвателни характеристики, устойчивост и др.
- Анализът се основава на описание на четириполюсници в честотна област с помощта на вълнови уравнения на разсейването:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$



$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2$$

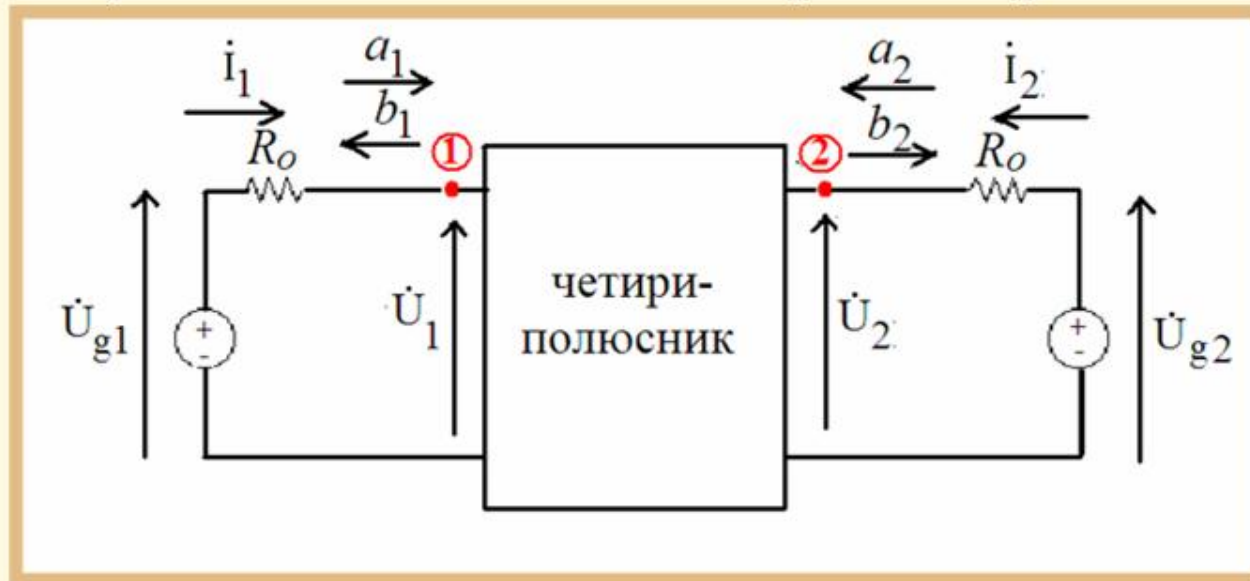
$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$

a_1, a_2 – падащи вълни;
 b_1, b_2 – отразени вълни;

S_{ij} са **вълнови коефициенти на разсейване**:

- S_{11} – входен коефициент на отражение;
- S_{21} – коефициент на право предаване;
- S_{12} – коефициент на обратно предаване;
- S_{22} – изходен коефициент на отражение.

Определяне на S-параметрите



$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

$$U_{g2}=0$$

$$S_{11} = \frac{2\dot{U}_1}{\dot{U}_{g1}} - 1$$

$$S_{21} = \frac{2\dot{U}_2}{\dot{U}_{g1}}$$

$$U_{g1}=0$$

$$S_{12} = \frac{2\dot{U}_1}{\dot{U}_{g2}}$$

$$S_{22} = \frac{2\dot{U}_2}{\dot{U}_{g2}} - 1$$



$$U_{g2}=0$$

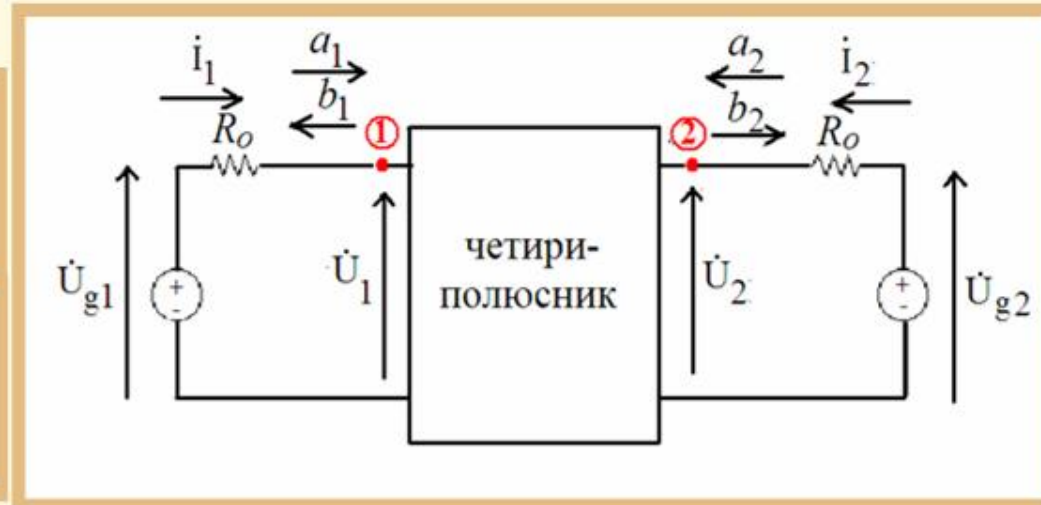
$$U_{g1}=0$$

$$S_{11} = \frac{2\dot{U}_1}{\dot{U}_{g1}} - 1$$

$$S_{12} = \frac{2\dot{U}_1}{\dot{U}_{g2}}$$

$$S_{21} = \frac{2\dot{U}_2}{\dot{U}_{g1}}$$

$$S_{22} = \frac{2\dot{U}_2}{\dot{U}_{g2}} - 1$$



Определянето на S-параметрите чрез PSpice е аналогично на това за Y-параметрите. Дефинира се параметричен анализ при $V_{g1}=1-\text{par}$ и $V_{g2}=\text{par}$, където **par** заема стойности **par = 0** и **par = 1**.

S-параметрите се получават в Probe чрез макросите:

$$\begin{aligned} S11 &= 2*V(1)@1-1 \\ S12 &= V(1)@2 \\ S21 &= V(2)@1 \\ S22 &= 2*V(2)@2-1 \end{aligned}$$

Модулът, фазата, реалната и имагинерна част на параметъра S11 се определят с макросите:

$$S11m = M(S11)$$

$$S11p = P(S11)$$

$$S11r = R(S11)$$

$$S11i = \text{Img}(S11)$$

2.9.2. Изследване на устойчивост чрез четириполюсни S-параметри

С помощта на получените четириполюсни S-параметри може да се изследва устойчивостта по **критерия на Rollett**:



$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}||S_{21}|}$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

Условието за безусловна устойчивост е:

$$K > 1$$

$$\text{и } |\Delta| < 1$$

Макроси на Probe за изследване на устойчивост по критерия на Rollett:

$$\text{DET} = S_{11} * S_{22} - S_{12} * S_{21}$$

$$Dm = M(\text{DET})$$

$$K = (1 - S_{11m} * S_{11m} - S_{22m} * S_{22m} + Dm * Dm) / (2 * S_{21m} * S_{12m})$$

Друг критерий за оценка на устойчивостта е μ - критерият за безусловна устойчивост:

!

$$\mu = \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{22} - S_{11}^* \Delta| + |S_{21} S_{12}|} > 1$$

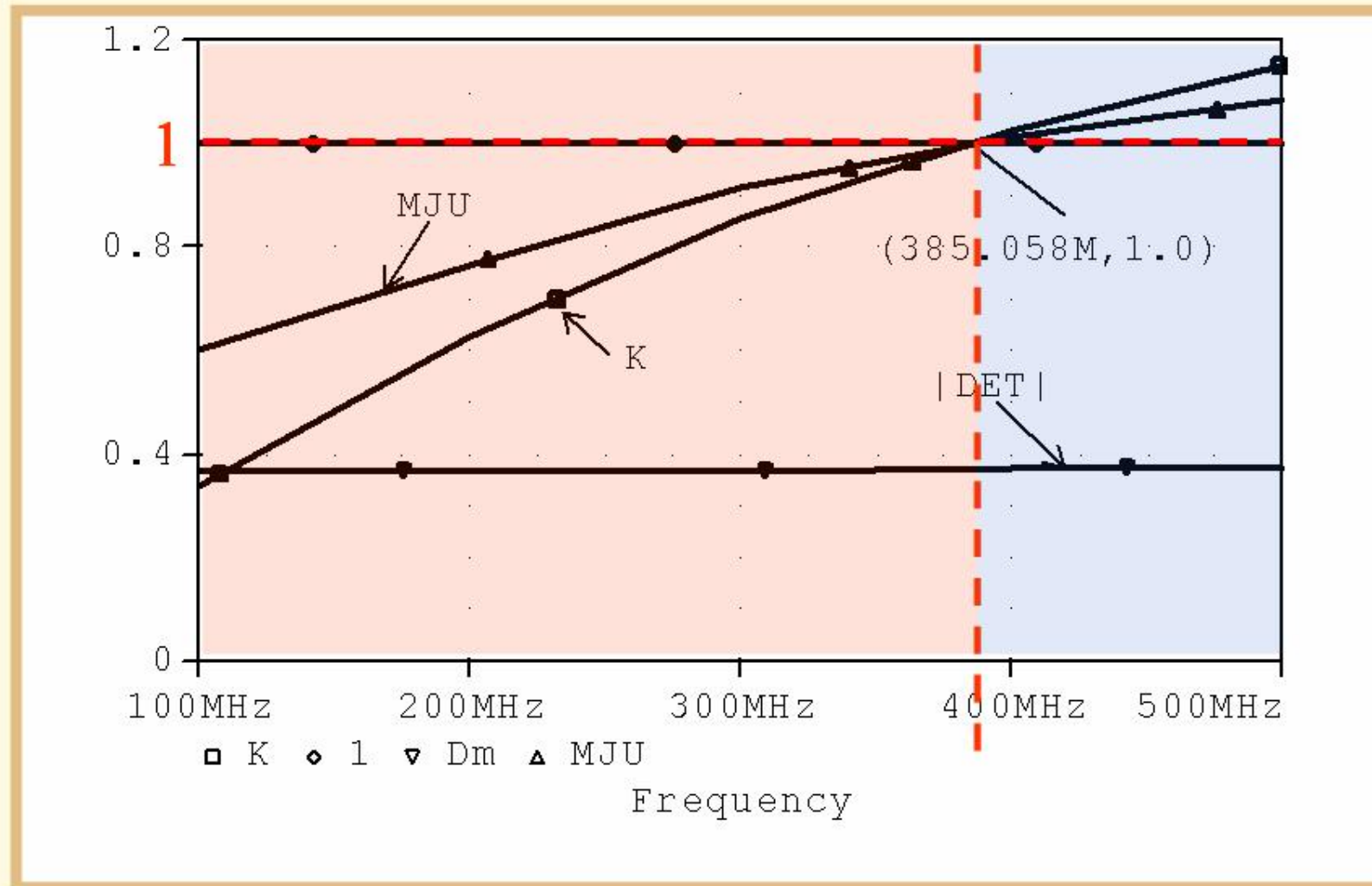
$$S_{11}^* = \frac{|S_{11}|^2}{S_{11}}$$

Макросите на Probe за изследване на устойчивост по μ -критерия

$$S11zv = S11m * S11m / S11$$

$$MJU = (1 - S11m * S11m) / (M(S22 - S11zv * DET) + S21m * S12m)$$

Резултати в Probe от изследване на устойчивост на база на S-параметри по критерия на Rollett и по μ -критерия



Други важни схемни характеристики,
определени чрез S-параметри

- Коефициент на усилване **MAG**
(Maximum Available Gain), дефиниран за
устойчив четириполусник ($K > 1$)

$$\text{MAG} = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \cdot \left(K - \sqrt{K^2 - 1} \right)$$



Макрос в Probe:

$$\text{MAG} = \text{M}(S21/S12) * (K - \text{sqrt}(K * K - 1))$$

- ❑ **Коефициент на усилване MSG (Maximum Stable Gain), дефиниран за потенциално неустойчив четириполюсник ($K < 1$)**

$$\text{MSG} = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| !$$

Макрос в Probe:

$$\text{MSG} = \text{M}(S_{21}/S_{12})$$