

Конспект лекций по электротехнике

Подготовлен:

Степановым К.С., Беловой Л.В.,
Кралиным А.А., Панковой Н.Г.

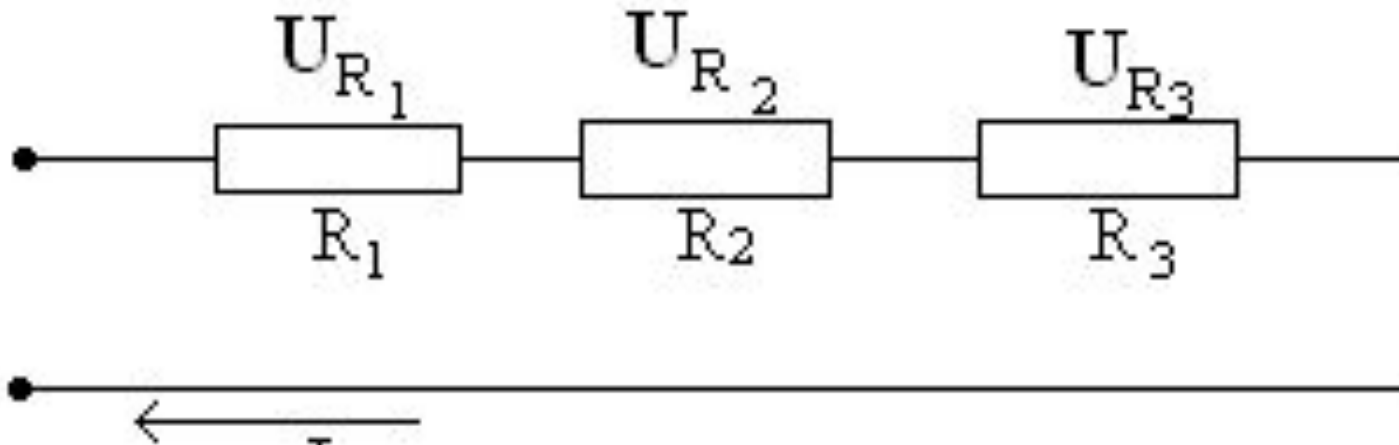
**Кафедра теоретической и общей
электротехники.**

Лекция 3

Преобразование электрических цепей



Последовательное соединение сопротивлений



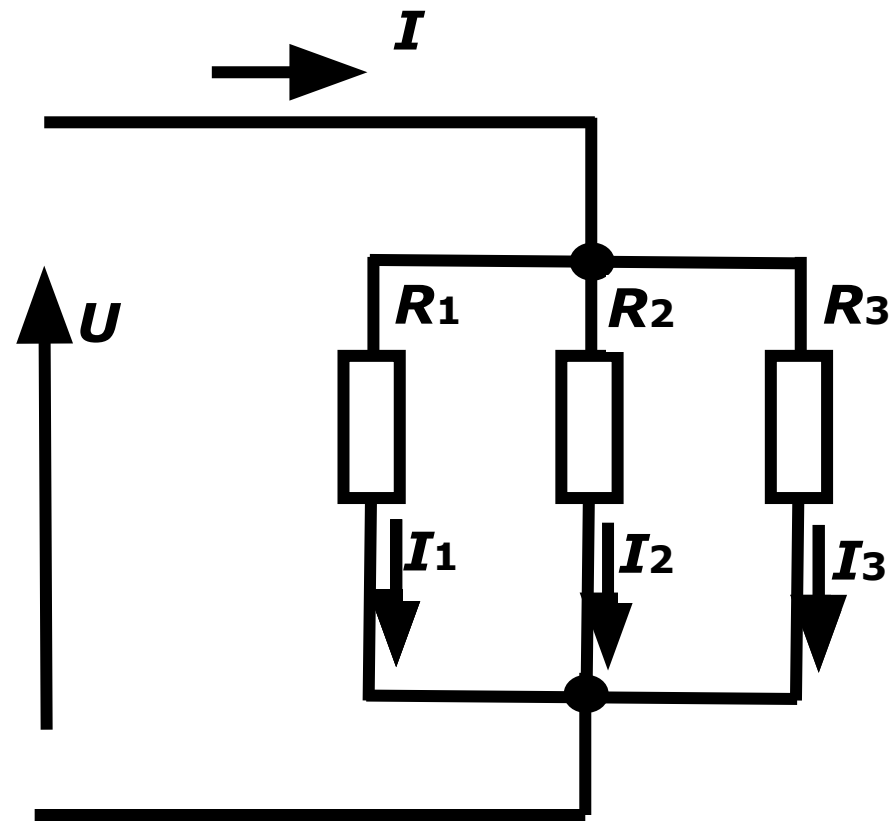
Второй закон Кирхгофа для этой схемы имеет вид $U = U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3}$.

Поделим почленно это уравнение на ток I . $U/I = U_{R_1}/I + U_{R_2}/I + U_{R_3}/I$,
получим $R = R_1 + R_2 + R_3$

Последовательное соединение сопротивлений

- Таким образом,
при последовательном соединении сопротивлений эквивалентное сопротивление равно сумме последовательно соединенных сопротивлений R , а эквивалентное сопротивление всегда получается больше наибольшего.

Параллельное соединение сопротивлений



Параллельное соединение сопротивлений

- Первый закон Кирхгофа для этой схемы выглядит так: $I = I_1 + I_2 + I_3$.
 - По закону Ома: $I = U/R_{\text{э}}$,
 $I_1 = U/R_1, I_2 = U/R_2, I_3 = U/R_3$.
- Тогда: $U/R_{\text{э}} = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3$ и
- $$1/R_{\text{э}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3,$$
- $$G_{\text{э}} = G_1 + G_2 + G_3.$$

Параллельное соединение сопротивлений

- Таким образом, при параллельном соединении сопротивлений эквивалентная проводимость равна сумме проводимостей, а выражение для эквивалентного сопротивления имеет вид:

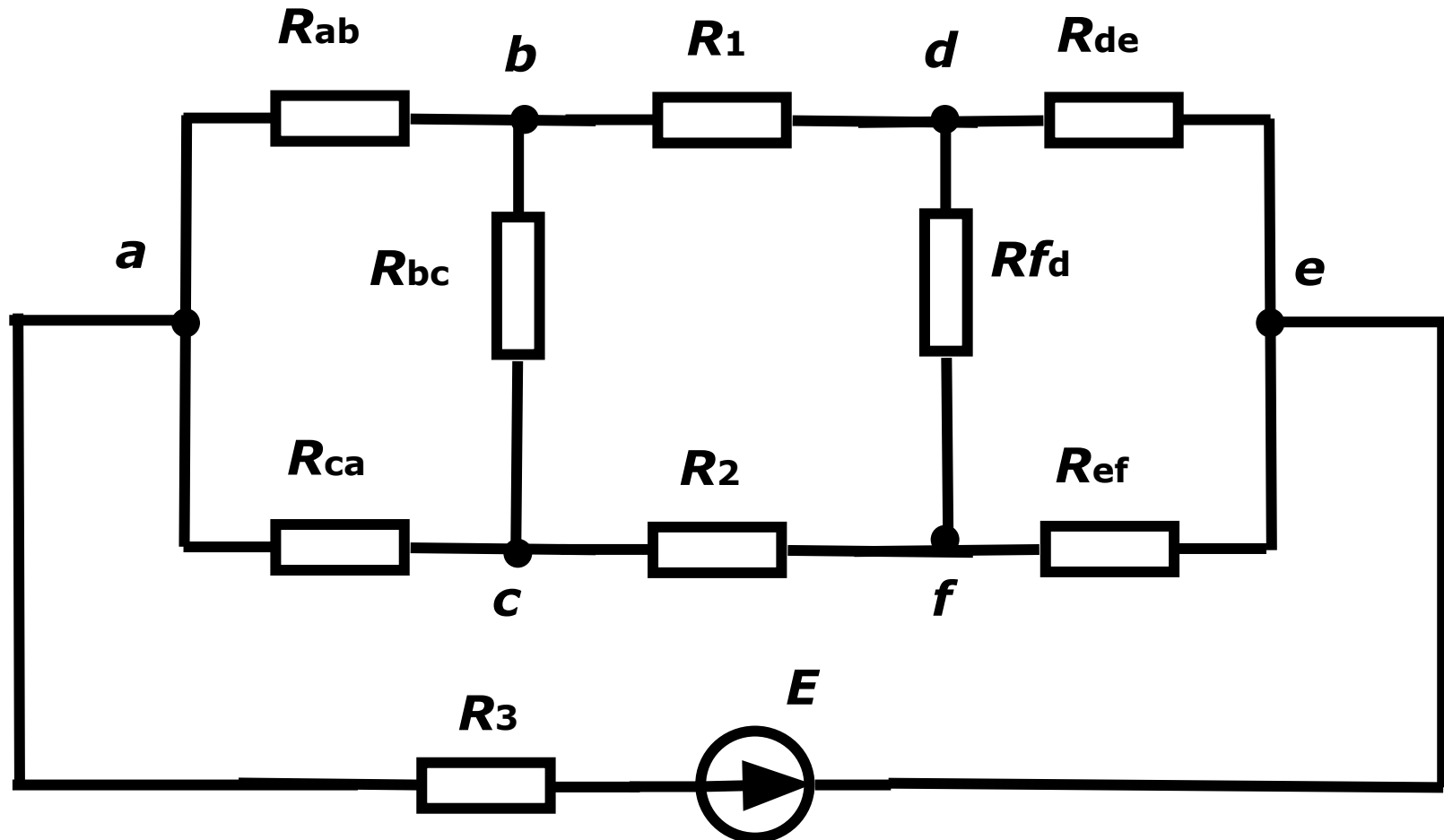
$$R_{\text{Э}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3} .$$

Эквивалентное сопротивление всегда получается меньше наименьшего.

Смешанное соединение сопротивлений

- Иногда нельзя определить параллельно или последовательно соединены сопротивления. Например, как показано на нижеприведенной схеме.

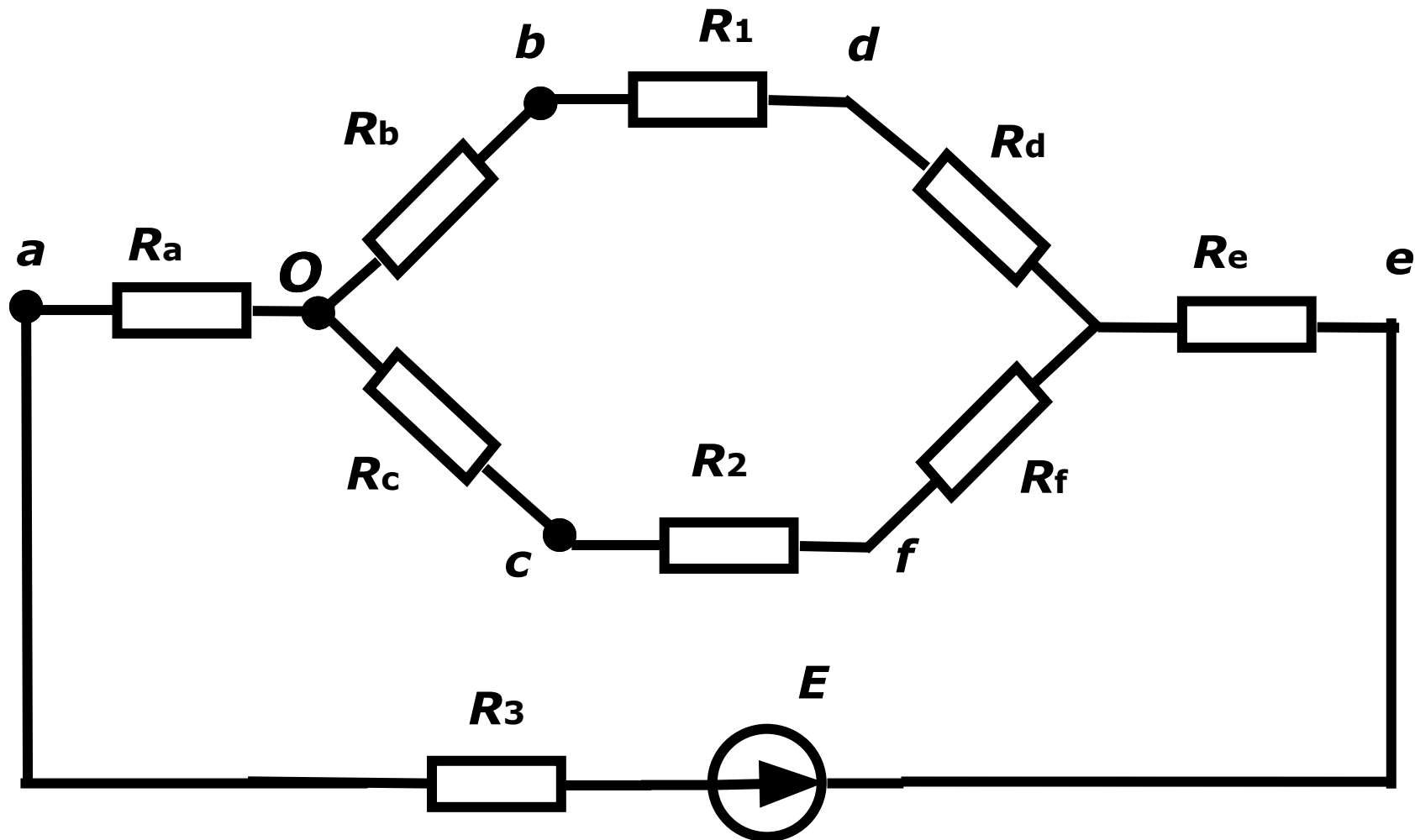
Смешанное соединение сопротивлений



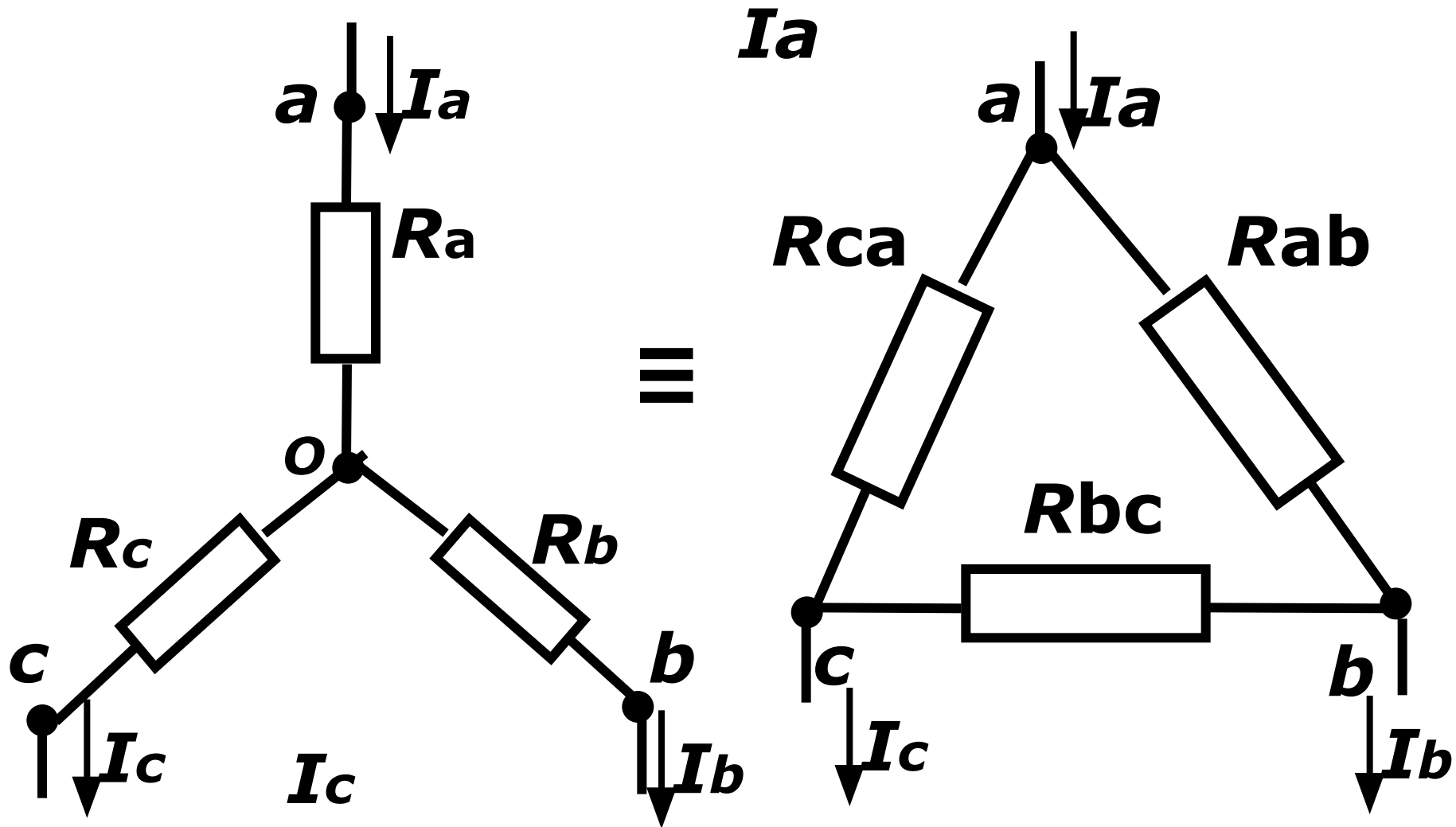
Смешанное соединение сопротивлений

В этом случае заменим треугольник *abc* звездой *abc* с соблюдением условия эквивалентности - так чтобы параметры (токи ветвей и межузловые напряжения) схемы вне преобразуемой цепи остались без изменения.

Замена треугольника эквивалентной звездой



Замена треугольника эквивалентной звездой



Замена треугольника эквивалентной звездой

- $I_a=0$ $R_b+R_c=R_{bc}$ ·
 $(R_{ab}+R_{ca})/(R_{ab}+R_{bc}+R_{ca})$ (1)
- $I_b=0$ $R_a+R_c=R_{ca}$ ·
 $(R_{ab}+R_{bc})/(R_{ca}+R_{ab}+R_{bc})$ (2)
- $I_c=0$ $R_a+R_b=R_{ab}$ ·
 $(R_{bc}+R_{ca})/(R_{ab}+R_{bc}+R_{ca})$ (3)
- Решая систему относительно R_a, R_b, R_c . Находим их выражения

Замена треугольника эквивалентной звездой

- $R_a = R_{ab} \cdot R_{ca} / (R_{ab} + R_{bc} + R_{ca})$ (4)

- $R_b = R_{bc} \cdot R_{ab} / (R_{ca} + R_{ab} + R_{bc})$ (5)

- $R_c = R_{ca} \cdot R_{bc} / (R_{ab} + R_{bc} + R_{ca})$ (6)

- Для замены звезды треугольником надо решить систему уравнений 4,5,6 относительно R_{ab} , R_{bc} и R_{ca} :

Замена звезды эквивалентным треугольником

- **$R_{ab} = R_a + R_b + R_a R_b / R_c$** (7)

- **$R_{dc} = R_b + R_c + R_b R_c / R_a$** (8)

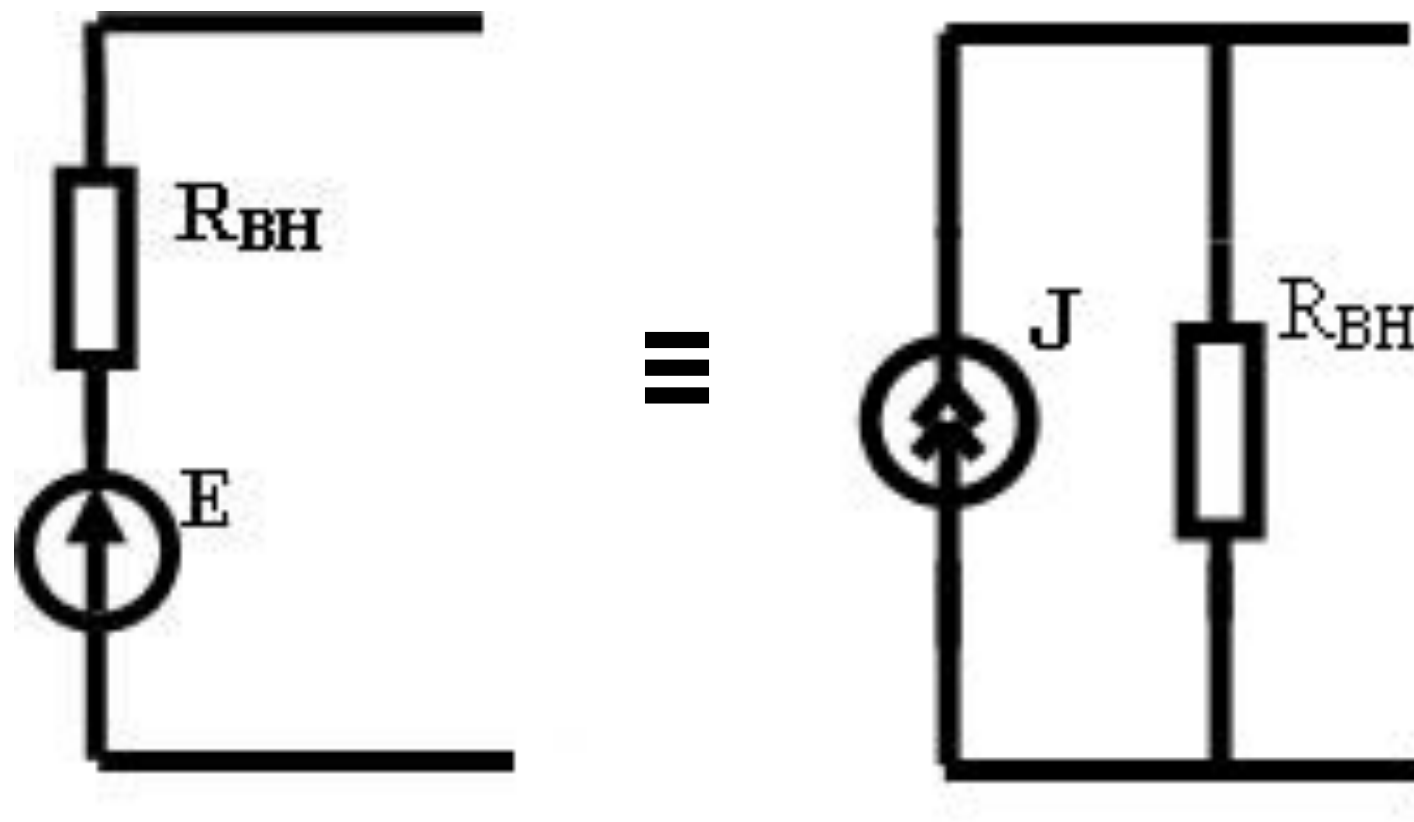
- **$R_{ca} = R_a + R_c + R_a R_c / R_b$** (9)

Преобразование активных элементов

Замена реального источника ЭДС реальным источником тока

- Источник ЭДС можно получить из источника тока, если последовательно с источником ЭДС ($E = J * R_{вн}$) включить сопротивление, равное внутреннему сопротивлению источника тока. Соответственно значение тока источника тока определяют по формуле $J = E / R_{вн}$.

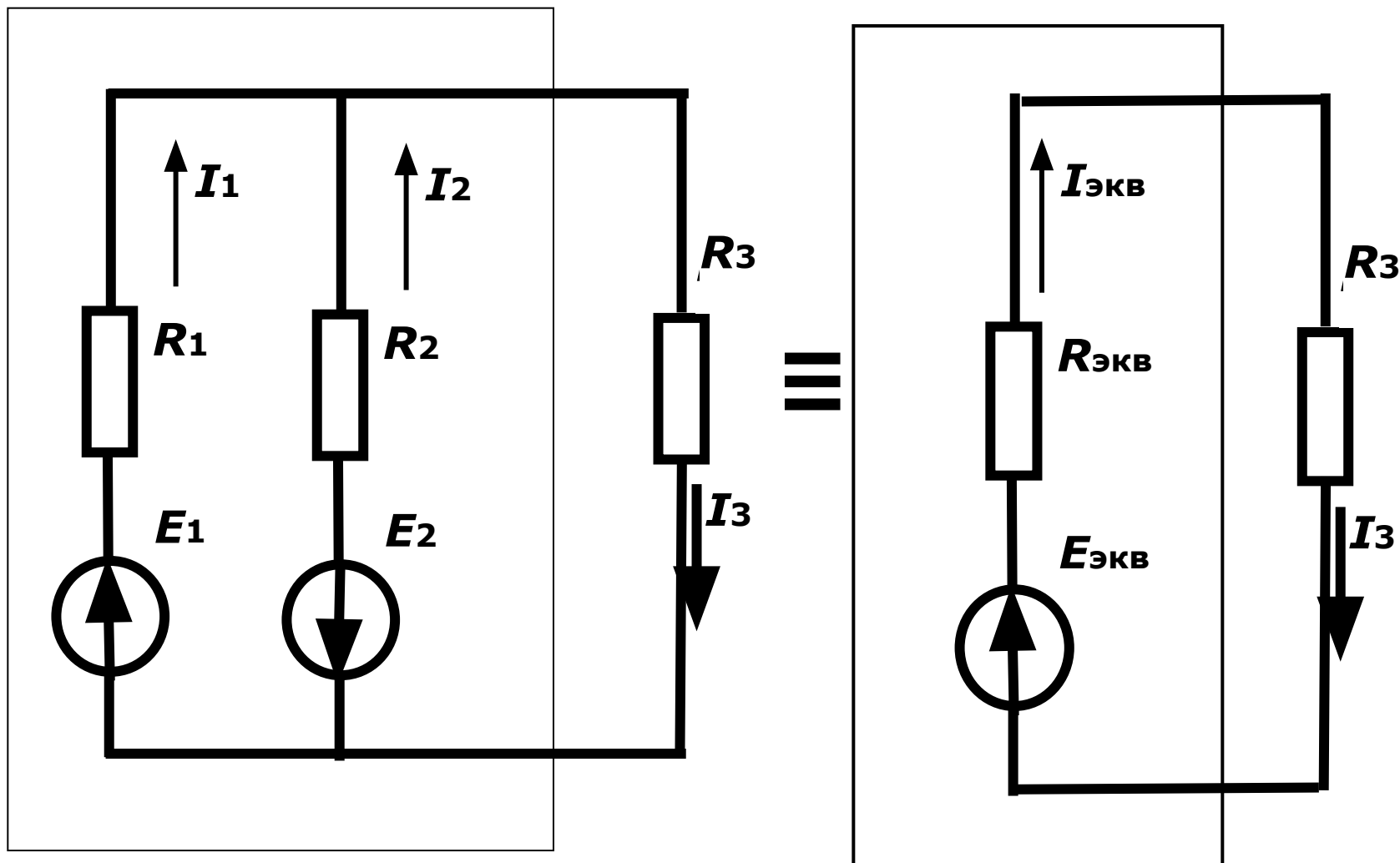
Замена реального источника ЭДС реальным источником тока



Теорема об эквивалентном источнике ЭДС

- ***Теорема Гельмгольца – Те Ве Нена.***
- Активный двухполюсник по отношению к рассматриваемой цепи можно заменить эквивалентным источником напряжения, ЭДС которого равна напряжению холостого хода на зажимах этой ветви, а внутренне сопротивление равно входному сопротивлению двухполюсника.

Теорема об эквивалентном источнике ЭДС



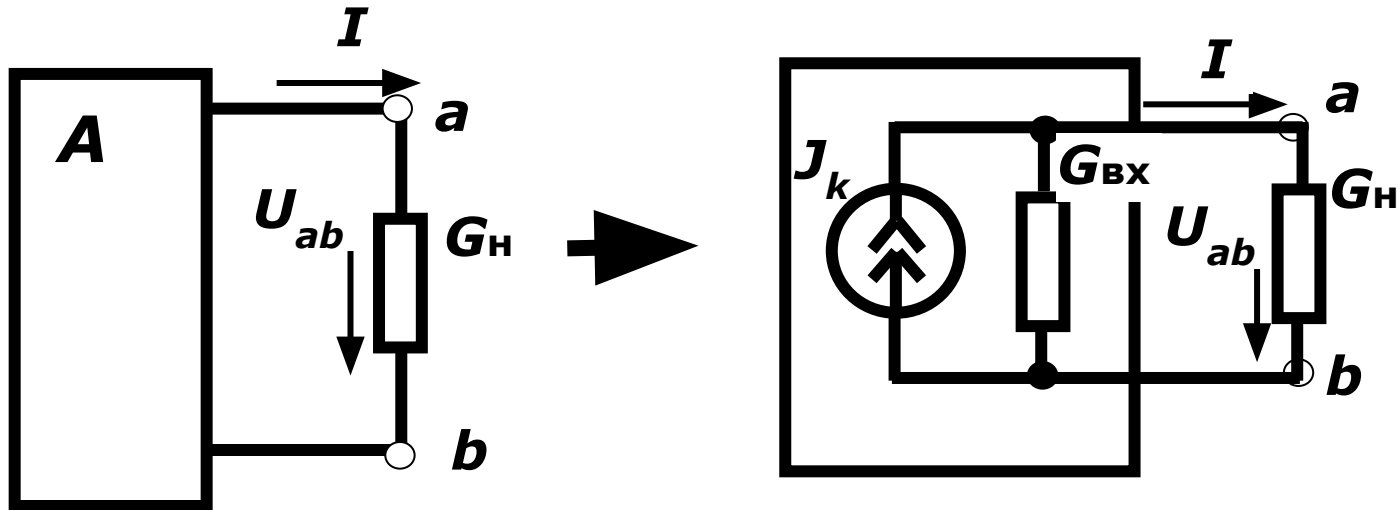
Теорема об эквивалентном источнике ЭДС

- $E_{\text{эк}} = (E_1 \cdot G_1 - E_2 \cdot G_2) / (G_1 + G_2) = U_{\text{хх}},$
где G - проводимость, $G = 1/R$
- $R_{\text{экв}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = R_{\text{вх12}}$
- $I_{\text{эк}} = I_3 = E_{\text{эк}} / (R_{\text{экв}} + R_3)$

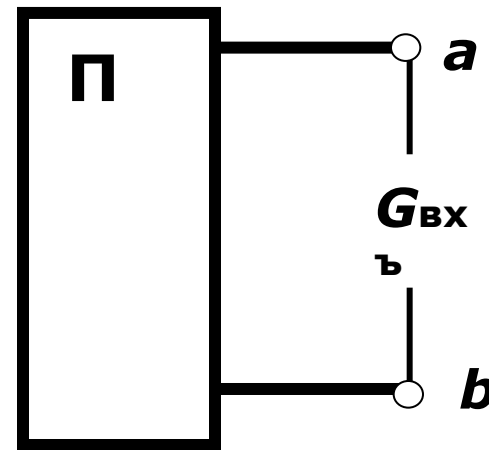
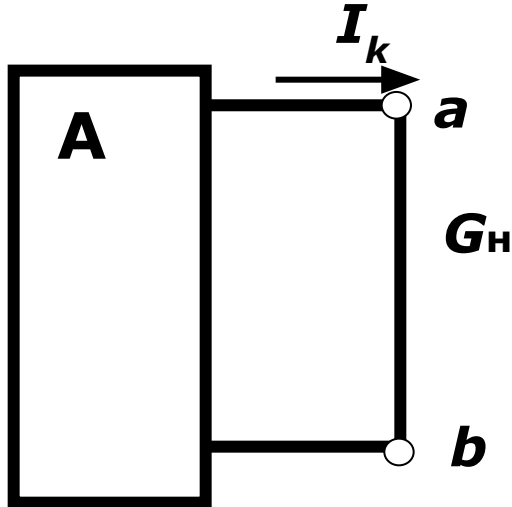
Теорема об эквивалентном источнике тока

- *Теорема Нортона.*
- Активный двухполюсник по отношению к рассматриваемой ветви можно заменить эквивалентным источником тока, ток которого равен току в этой ветви, замкнутой накоротко, а внутренняя проводимость источника – входной проводимости источника.

Теорема об эквивалентном источнике тока

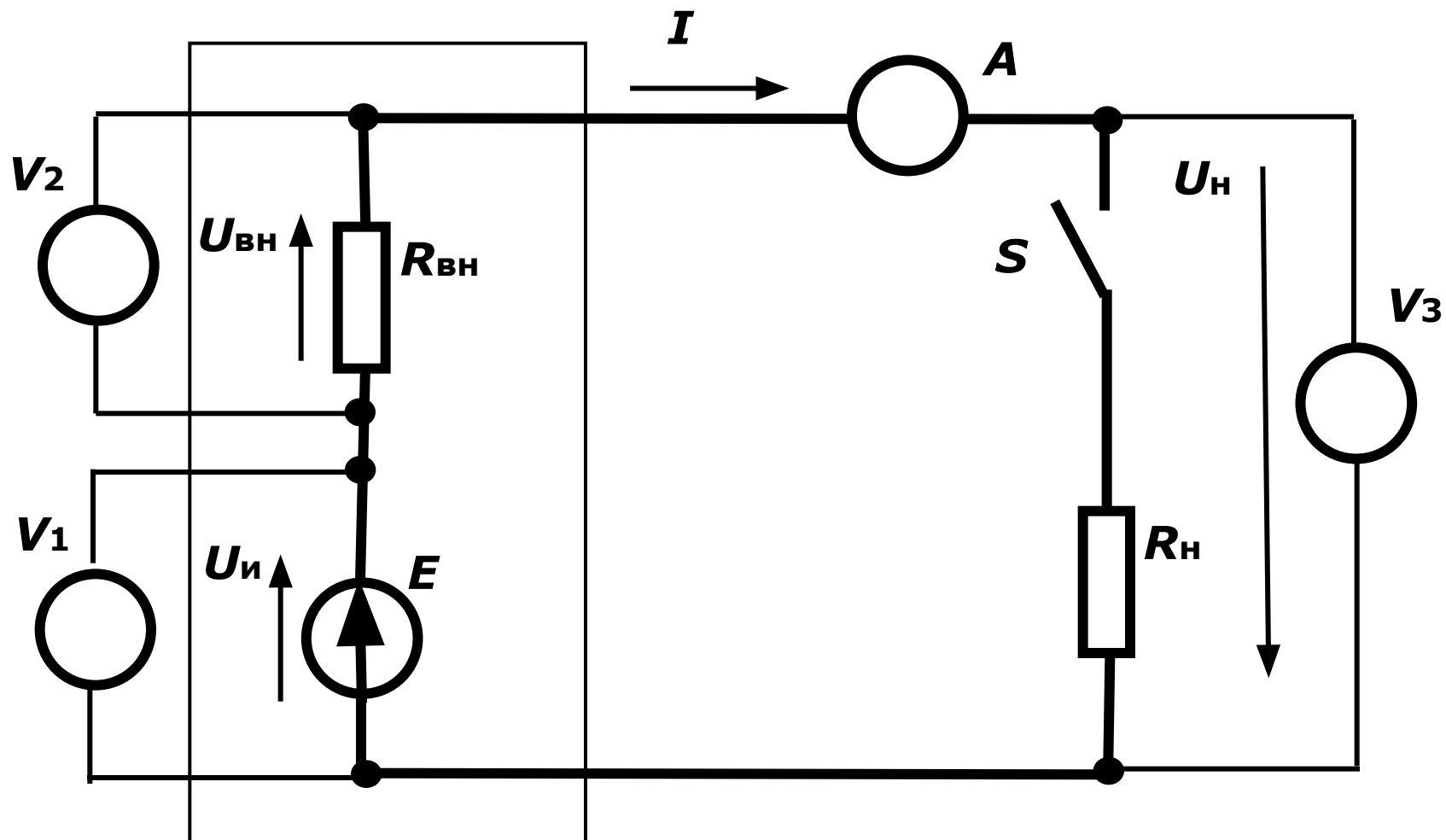


$$I = I_k G_{ВХ} / (G_{ВХ} + G_H)$$



Режимы работы реального источника ЭДС

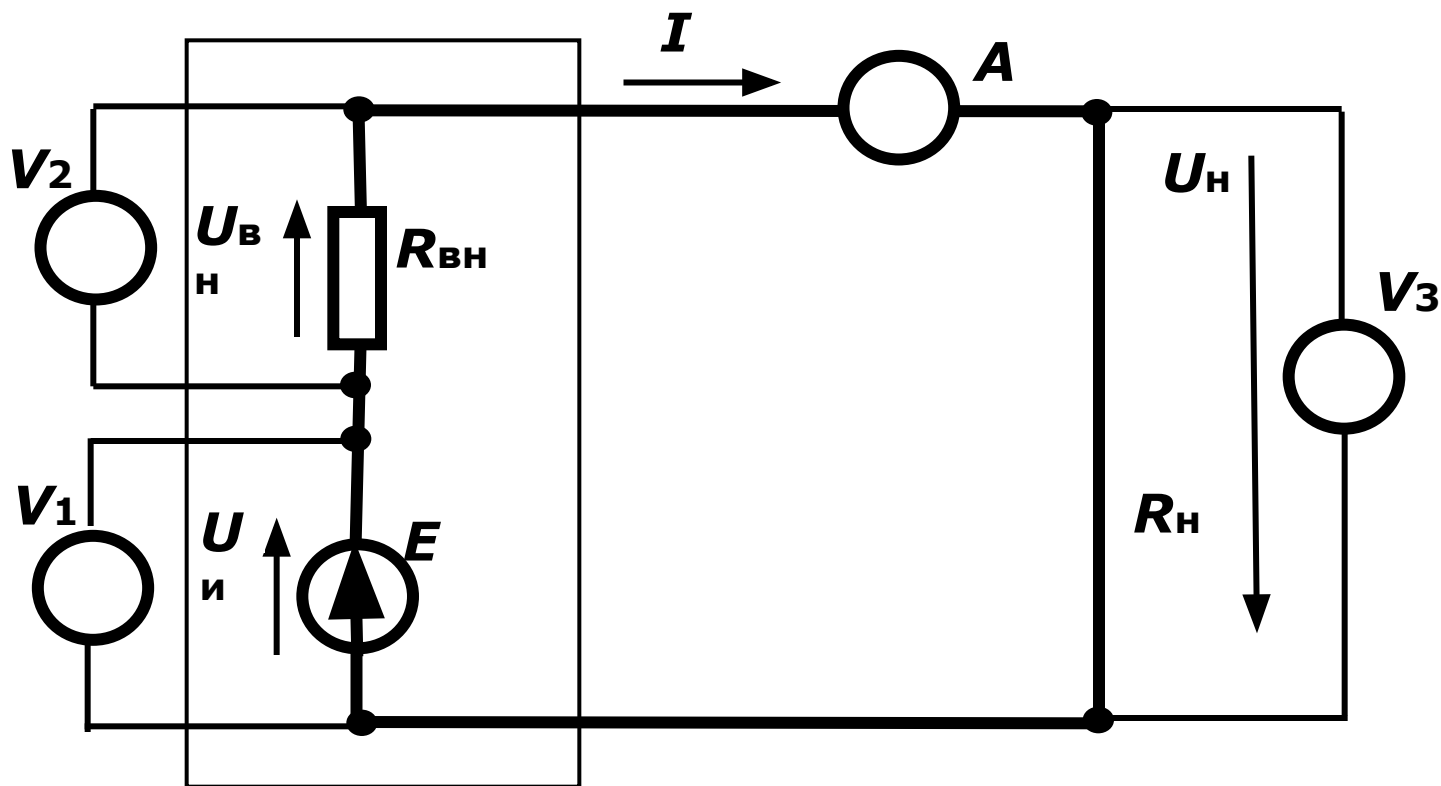
Режим холостого хода



1. Режим холостого хода

- Ключ S разомкнут,
- Напряжение холостого хода на выходе источника равно его ЭДС ($U_{xx} = E$),
- ток холостого хода равен нулю ($I_{xx} = 0$),
- сопротивление нагрузки равно бесконечности ($R_H = \infty$),
- коэффициент полезного действия (К.П.Д.) при идеальном источнике ЭДС в этом режиме стремится к единице ($\eta = 1$).

2. Режим короткого замыкания



- $R_{н}=0, U_{н}=0, I_{к.з}=E/R_{вн}, \eta=0$

3. Номинальный режим

- режим, на который рассчитывается источник, (ключ S замкнут). В этом режиме источник E работает эффективно с точки зрения надёжности и экономичности.

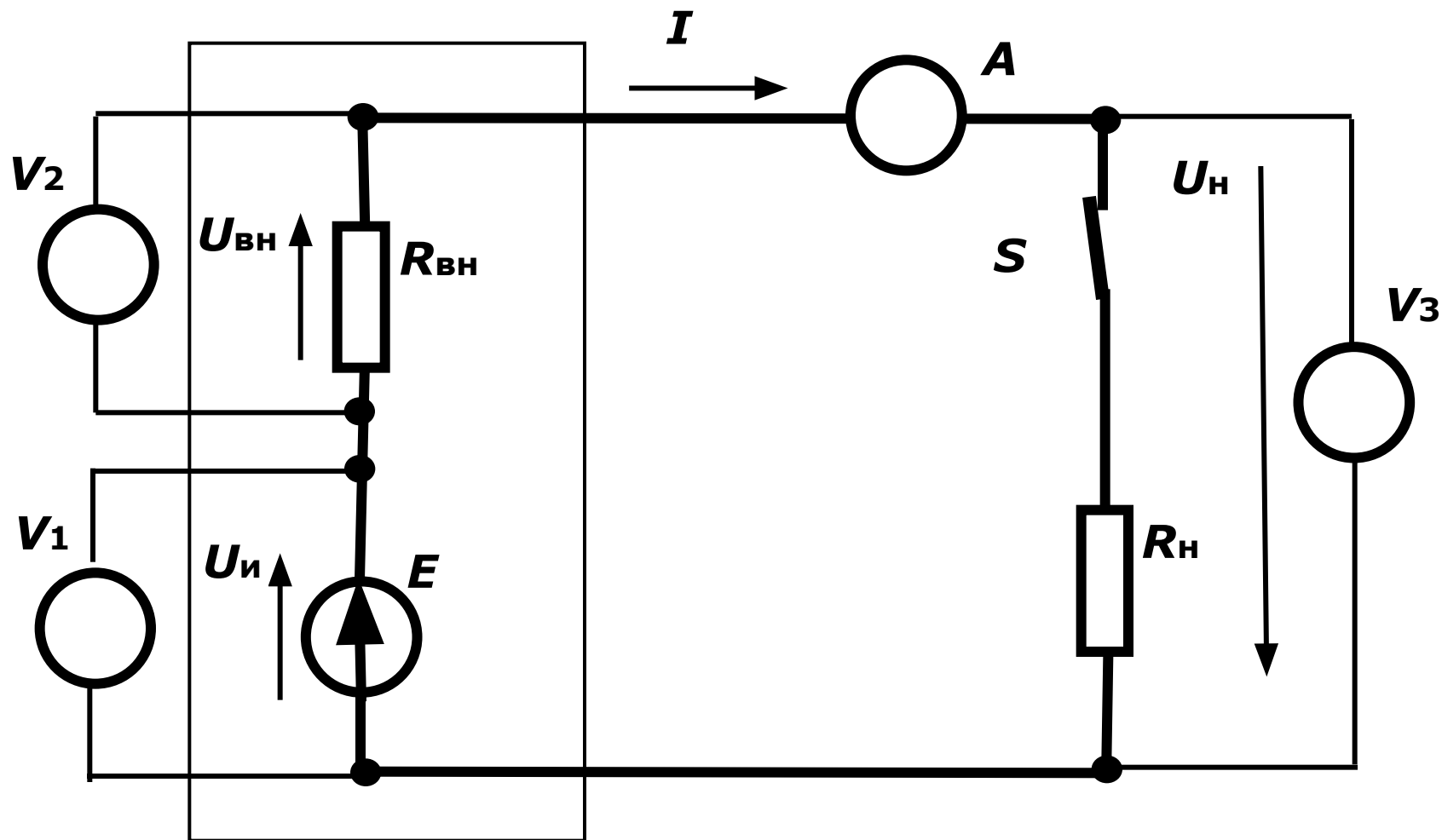
$$I_H = I_{\text{НОМ}} = \frac{E}{R_{\text{ВН}} + R_H}, \quad U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{НОМ}},$$

$$\eta = \frac{P_H}{P_{\text{И}}} = \frac{E^2 \cdot R_H}{(R_{\text{ВН}} + R_H)^2} \cdot \frac{(R_{\text{ВН}} + R_H)}{E^2} = \frac{R_H}{R_{\text{ВН}} + R_H} = \frac{1}{1 + \frac{R_{\text{ВН}}}{R_H}}$$

$$\eta < 1.$$



3. Номинальный режим



4. Согласованный режим

- - это режим, при котором в нагрузку отдаётся максимальная мощность.

- **Мощность источника: $P_{\text{И}} = E \cdot I$.**

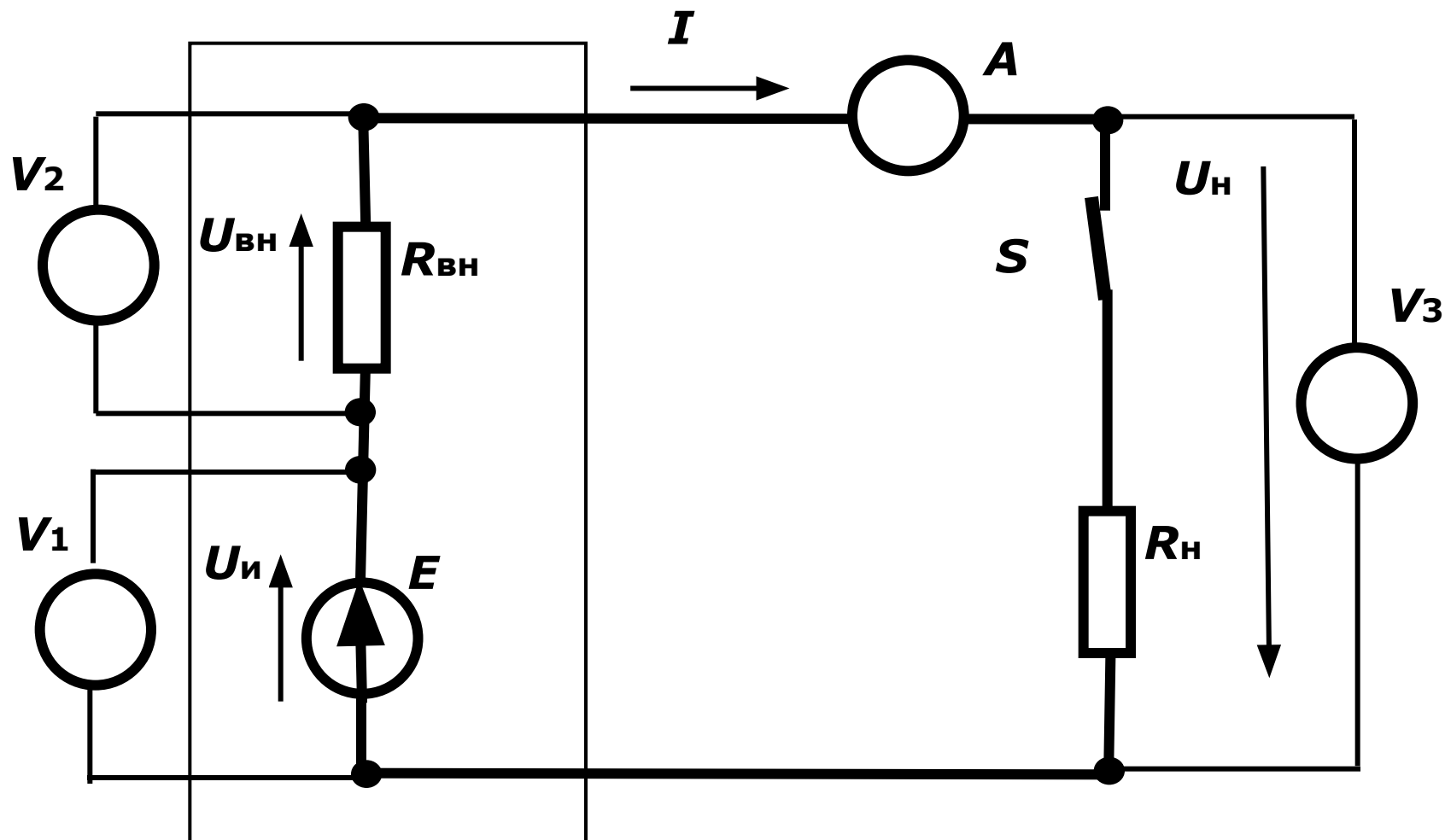
- **Мощность нагрузки:**

$$P_{\text{Н}} = U_{\text{НАГР}} \cdot I_{\text{НАГР}} = I_{\text{нагр}}^2 \cdot R_{\text{н.}}$$

- $I_{\text{НАГР}} = \frac{E}{R_{\text{ВН}} + R_{\text{Н}}}$, тогда

- $P_{\text{Н}} = \left(\frac{E}{R_{\text{ВН}} + R_{\text{Н}}} \right)^2 R_{\text{Н}}$

4. Согласованный режим



4. Согласованный режим

- Вопрос: «При какой величине R_H мощность в нагрузке будет иметь максимальное значение?», т.е. нужно определить экстремум функции. Для этого возьмем

частную производную $\frac{\partial P_H}{\partial R_H} = 0$

4. Согласованный режим

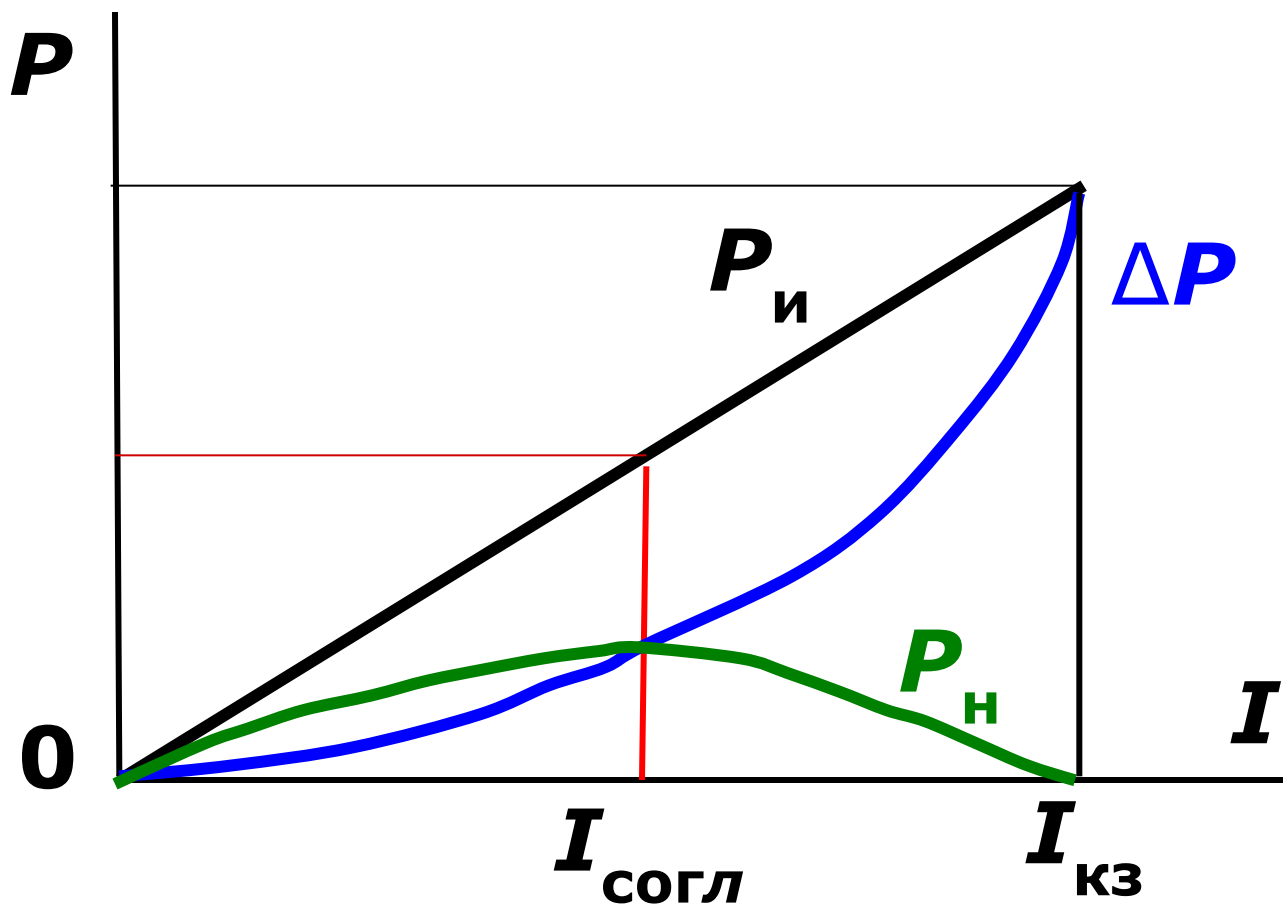
- **К.П.Д:** $\eta = P_H / P_{\text{и}} =$
 $= [E^2 \cdot R_H / (R_{\text{вн}} + R_H)^2] \cdot [(R_{\text{вн}} + R_H) / E^2] =$
 $= R_H / (R_H + R_{\text{вн}}) = 1 / (1 + R_{\text{вн}} / R_H) = 0,5.$

4. Согласованный режим

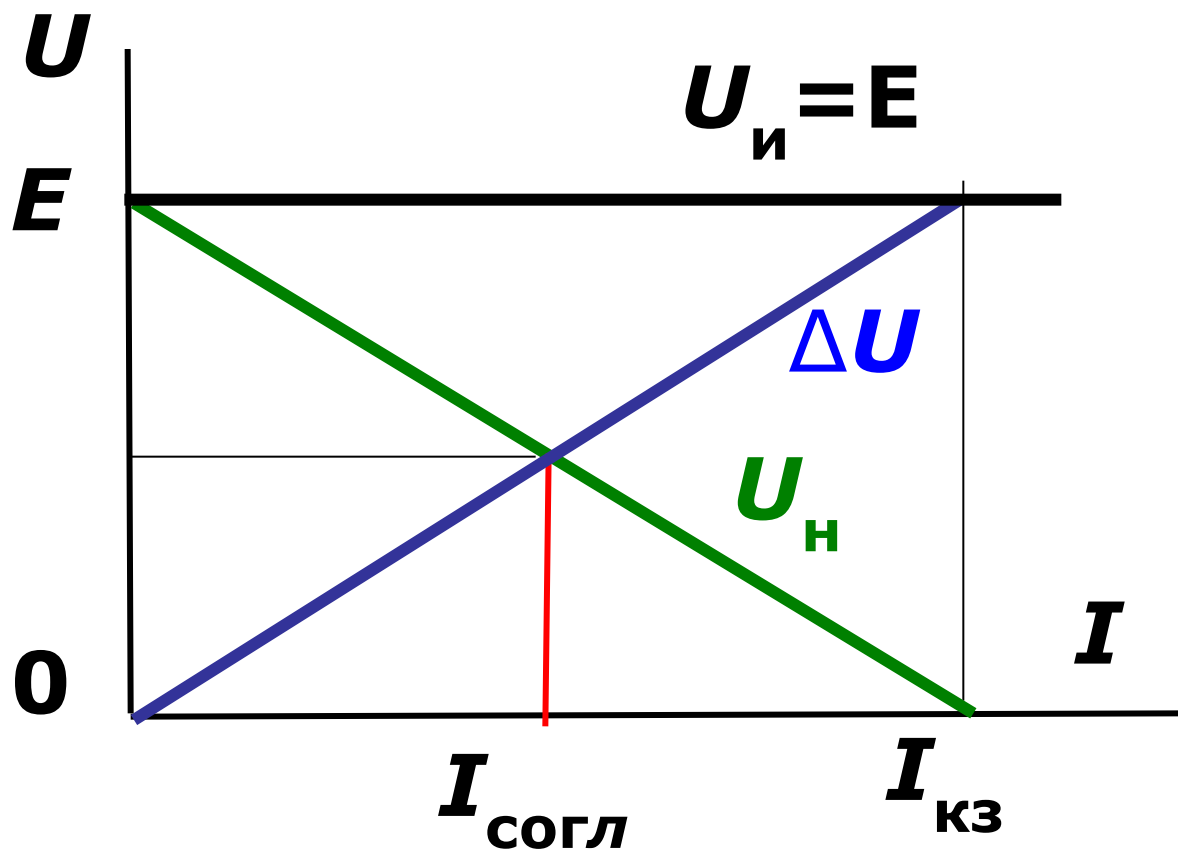
- Таким образом в согласованном режиме:

- $R_H = R_{вн};$
- $P_{нагр} = P_{max} = P_{ист} / 2;$
- $U_H = E / 2;$
- $I_H = I_{к.з} / 2;$
- $\eta = 0.5$

Зависимость мощностей источника, приемника и потерь от тока.



Внешняя характеристика реального источника Э.Д.С.



**Благодарю
за
внимание**