

# Конспект лекций по электротехнике

**Подготовлен:**

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

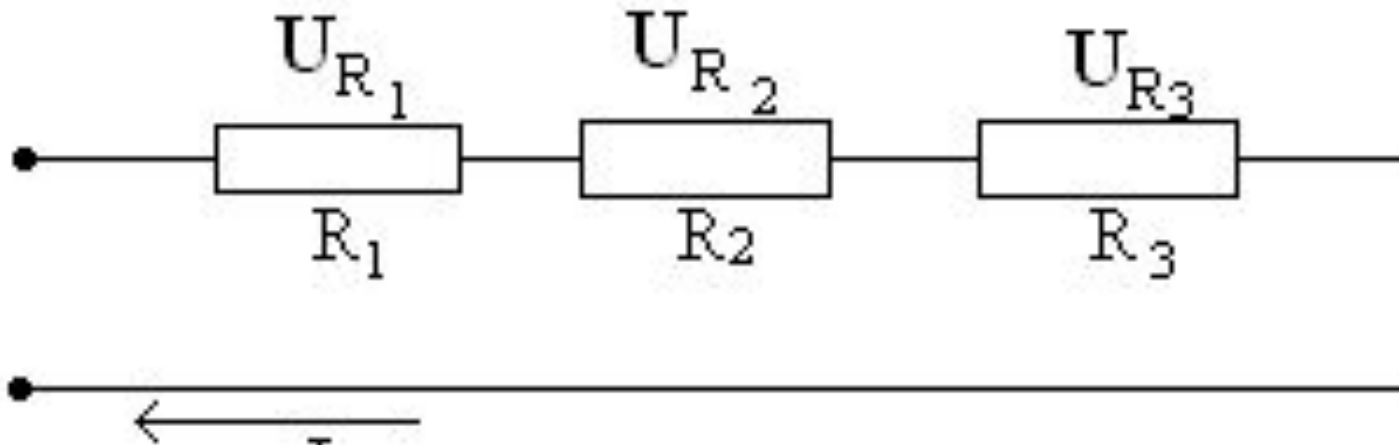
**Кафедра теоретической и общей  
электротехники.**

## **Лекция 3**

# Преобразование электрических цепей



# Последовательное соединение сопротивлений



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

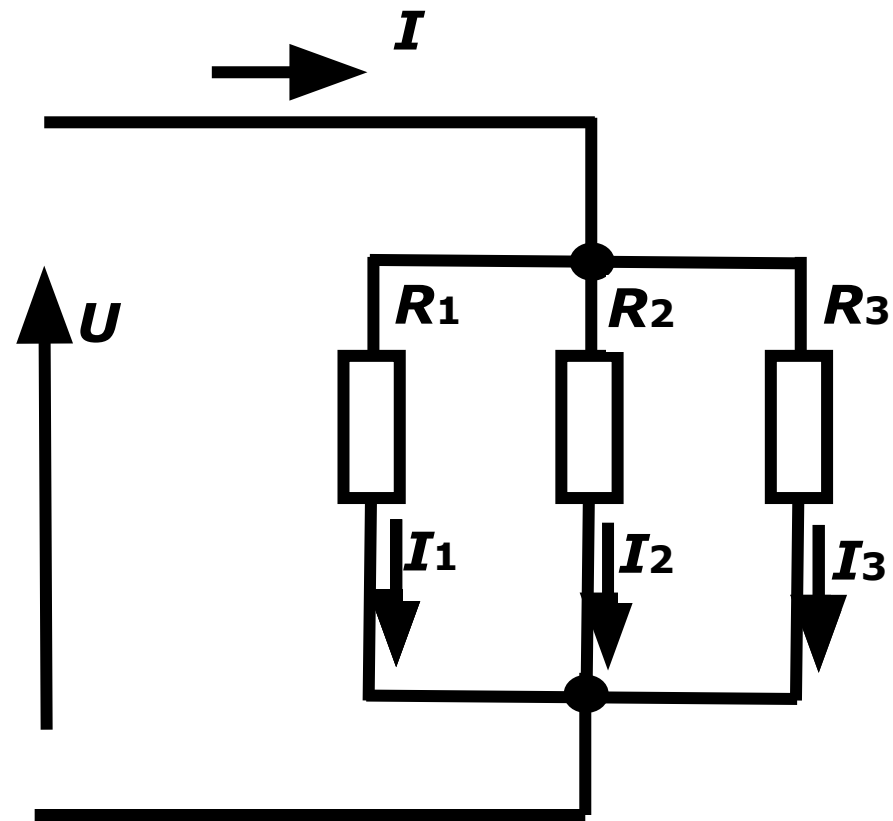
Поделим почленно это уравнение на ток  $I$ .  $U/I = U_{R_1}/I + U_{R_2}/I + U_{R_3}/I$ ,  
получим  $R = R_1 + R_2 + R_3$



# 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:

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

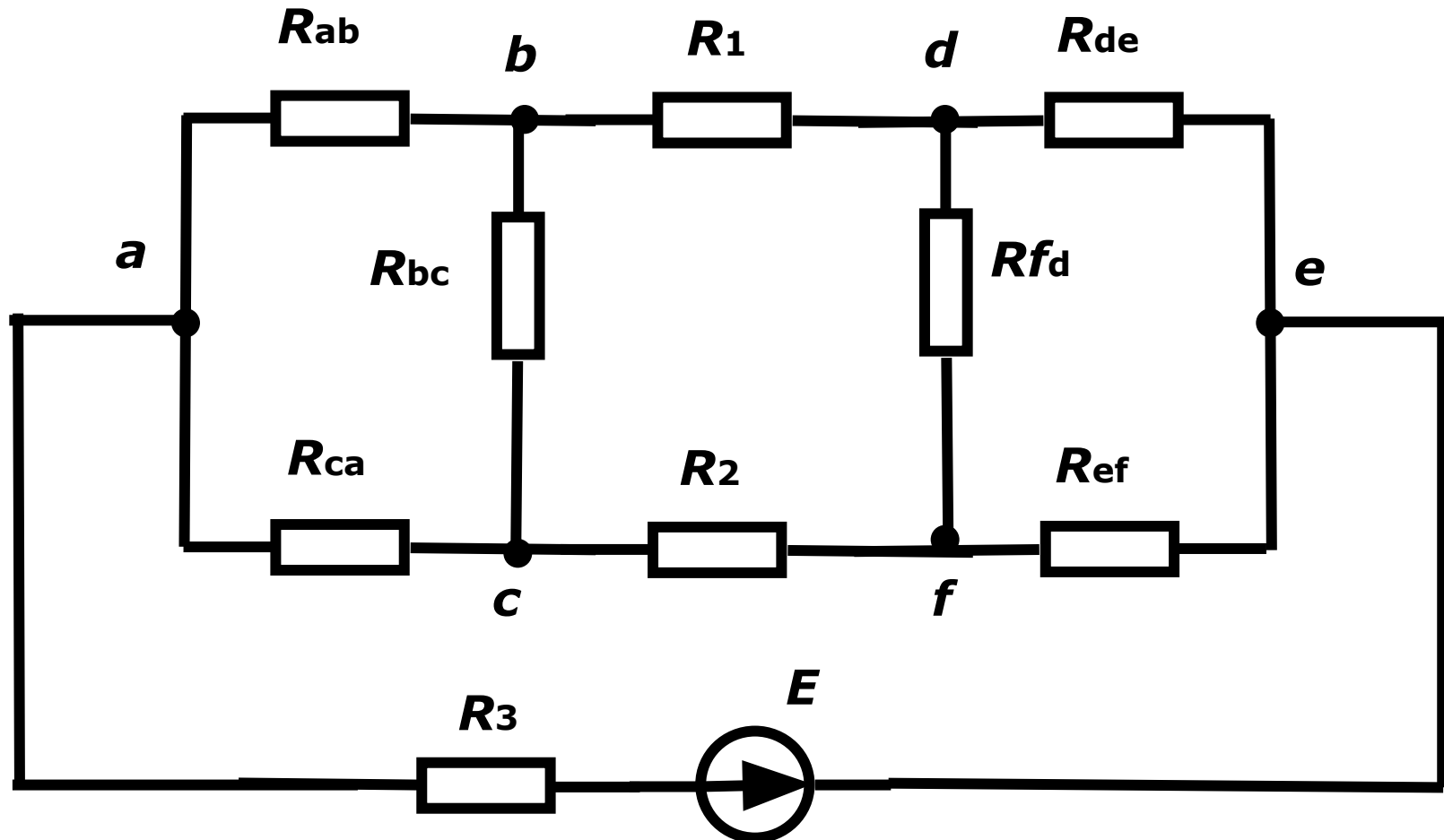
Эквивалентное сопротивление всегда получается меньше наименьшего.



# Смешанное соединение сопротивлений

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

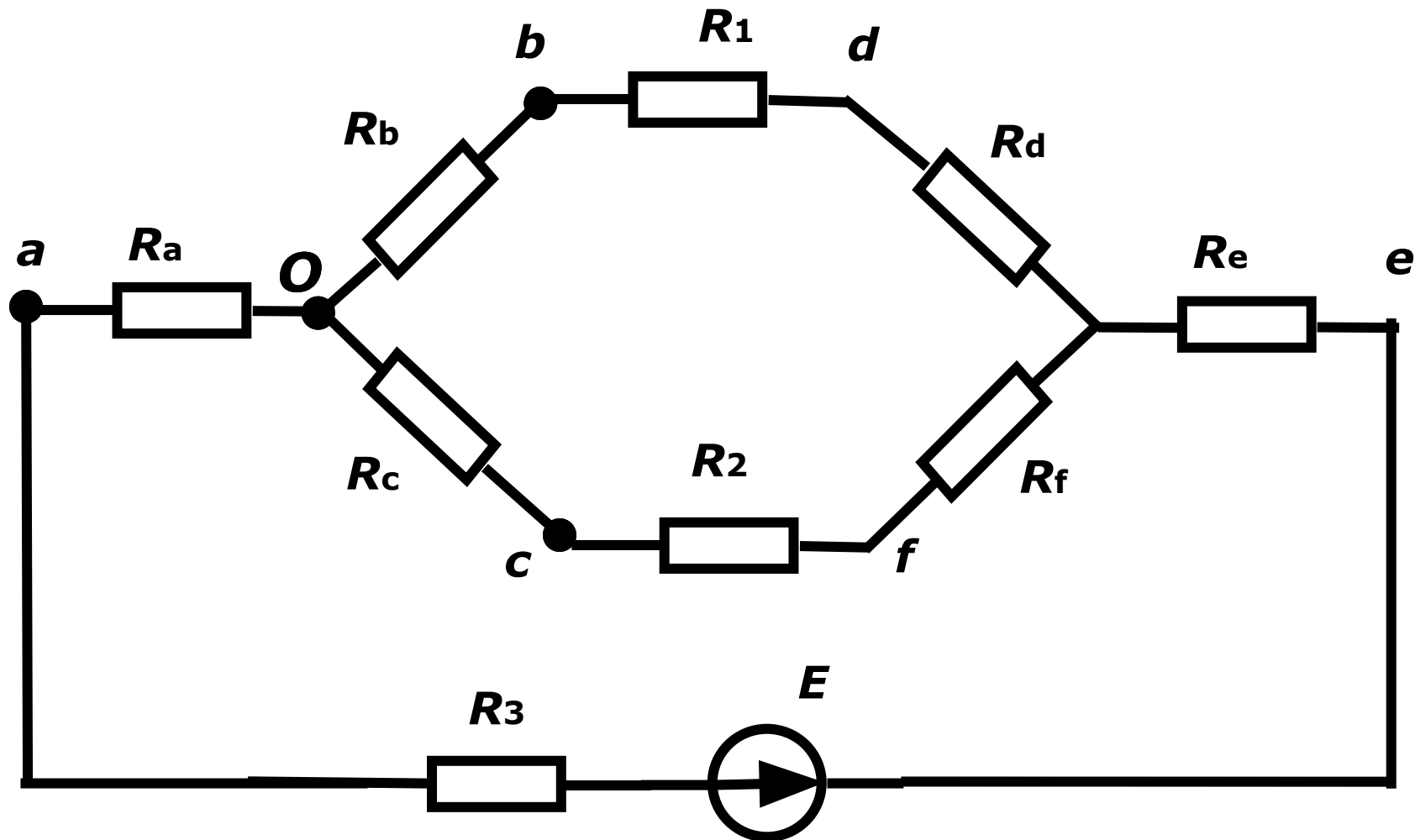
# Смешанное соединение сопротивлений



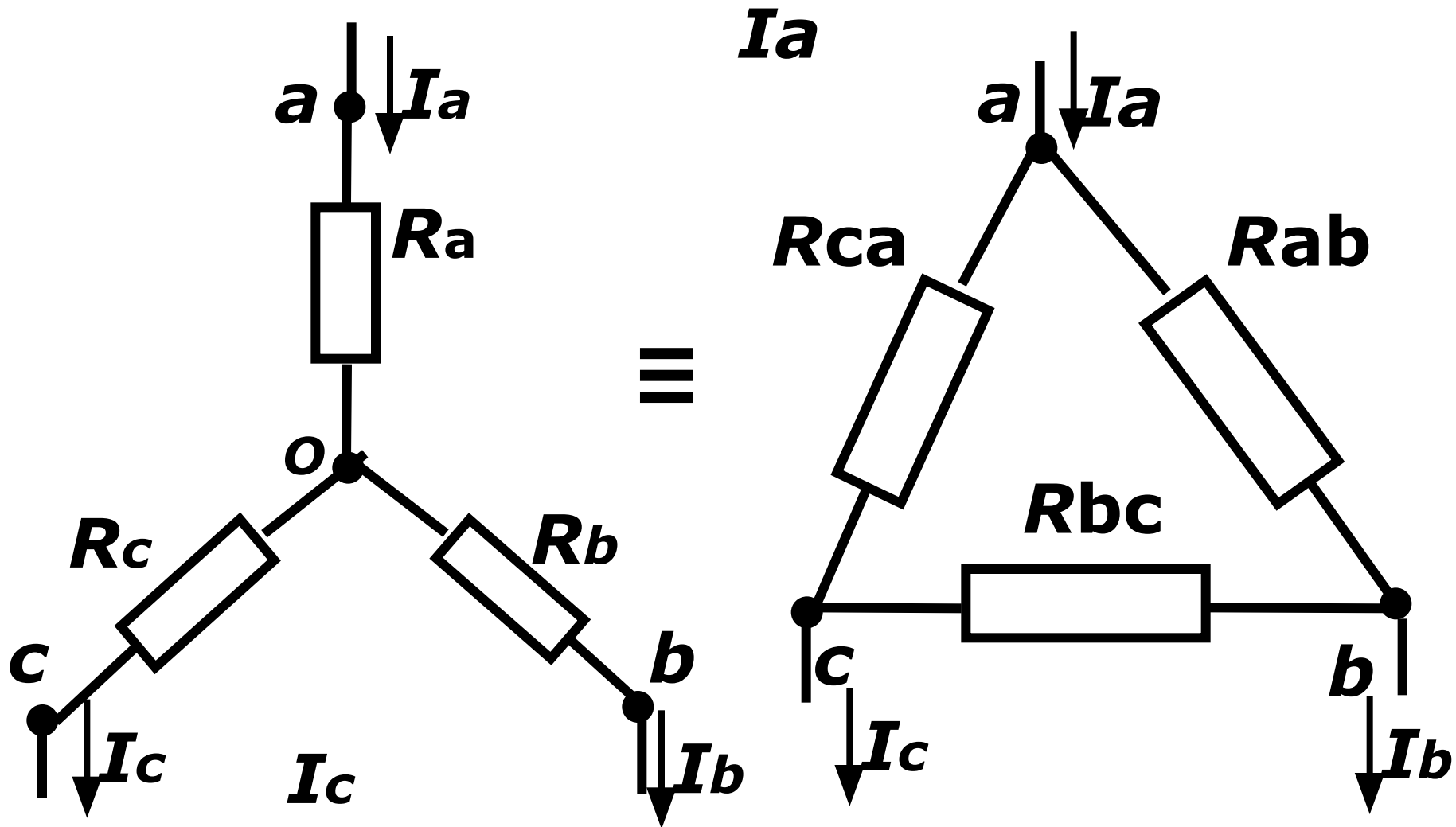
# Смешанное соединение сопротивлений

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)

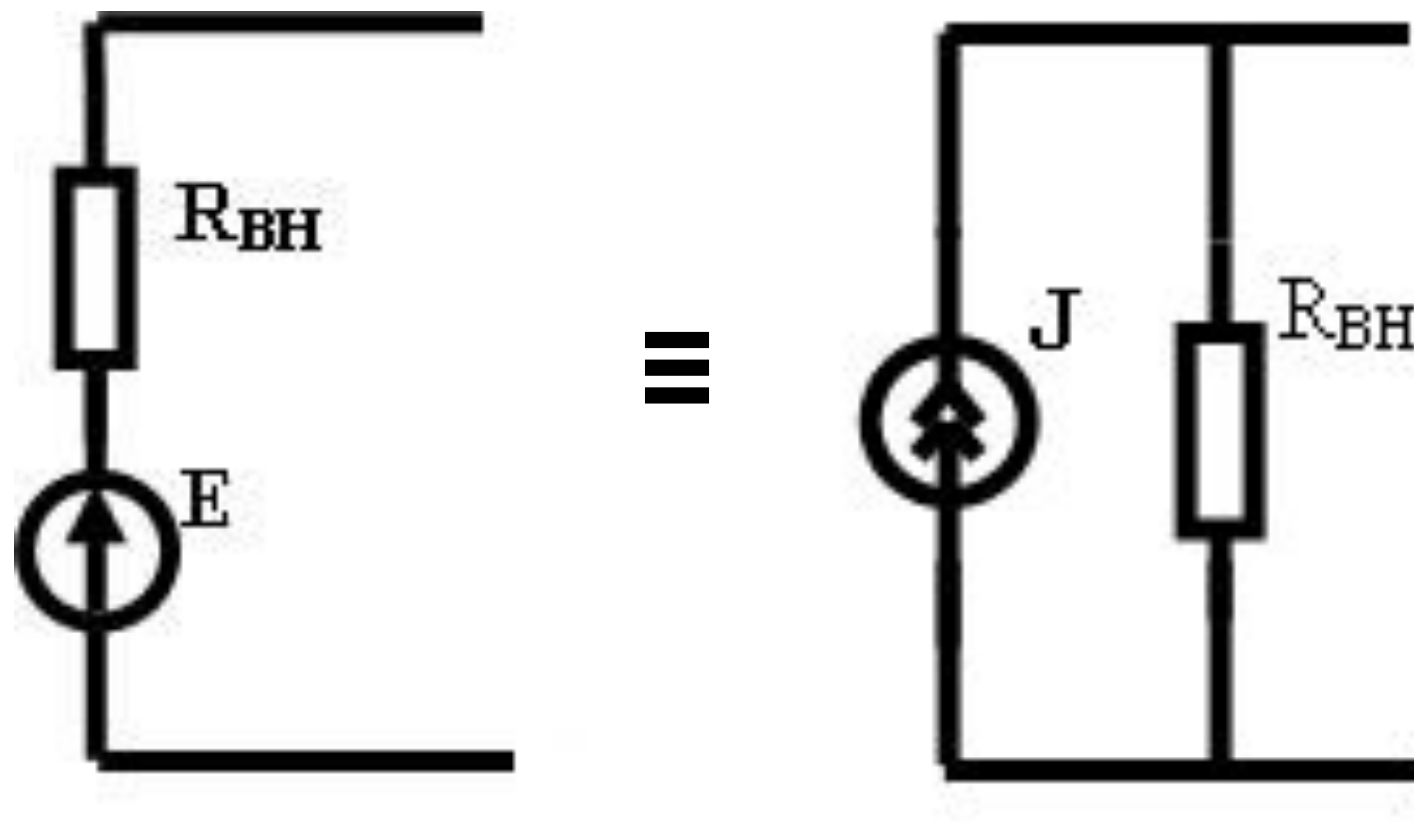


# **Преобразование активных элементов**

# 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  $J = E / R_{вн}$ .

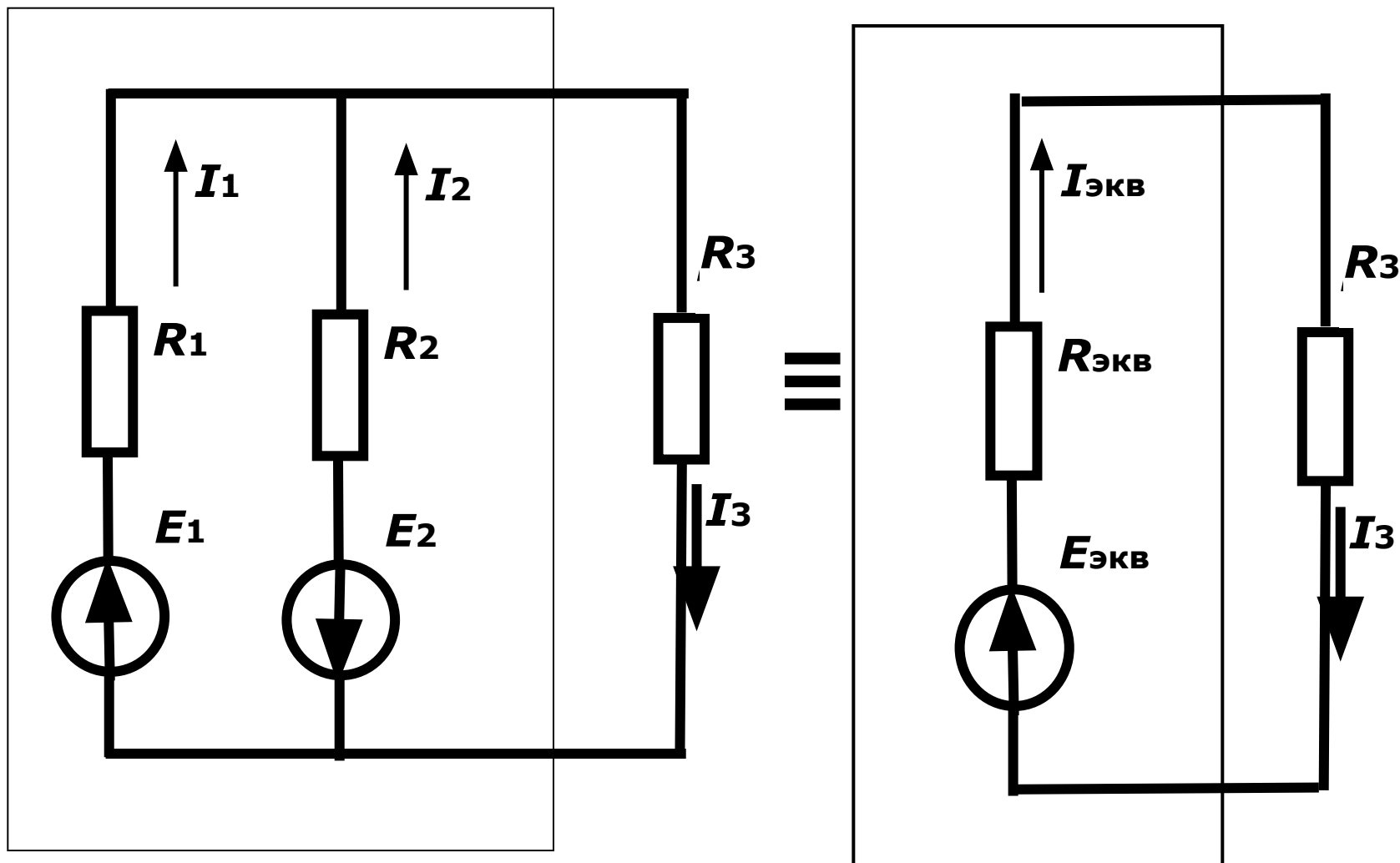
# Замена реального источника ЭДС реальным источником тока



# 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



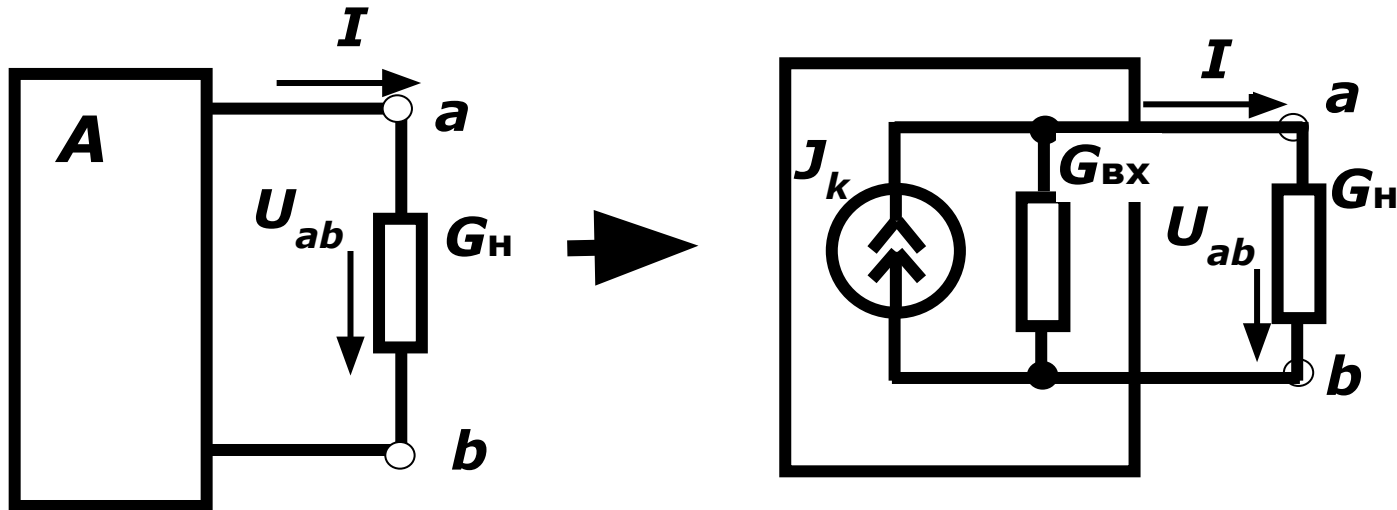
# Теорема об эквивалентном источнике ЭДС

- $E_{\text{ЭК}} = (E_1 \cdot G_1 - E_2 \cdot G_2) / (G_1 + G_2) = U_{\text{ХХ}},$   
где  $G$  - проводимость,  $G = 1/R$
- $R_{\text{ЭКВ}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = R_{\text{ВХ12}}$
- $I_{\text{ЭК}} = I_3 = E_{\text{ЭК}} / (R_{\text{ЭКВ}} + R_3)$

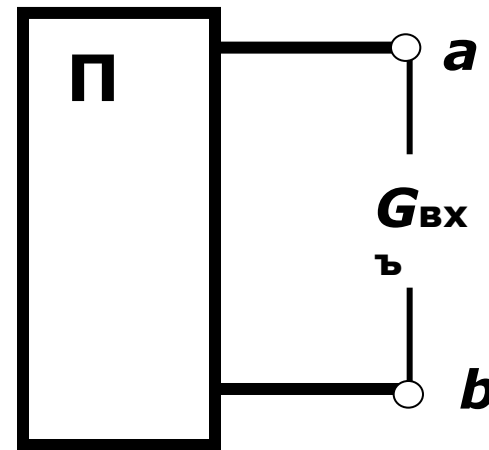
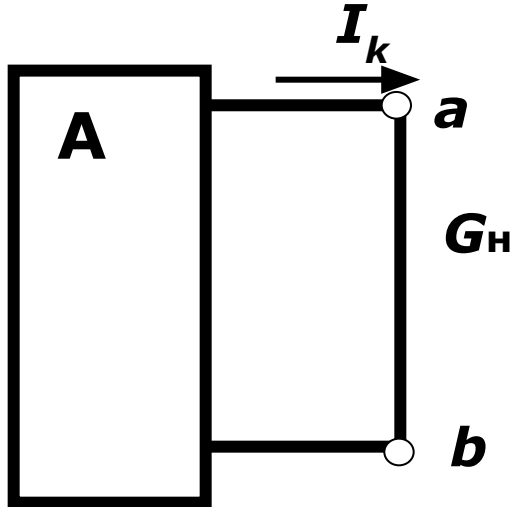
# Теорема об эквивалентном источнике тока

- *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



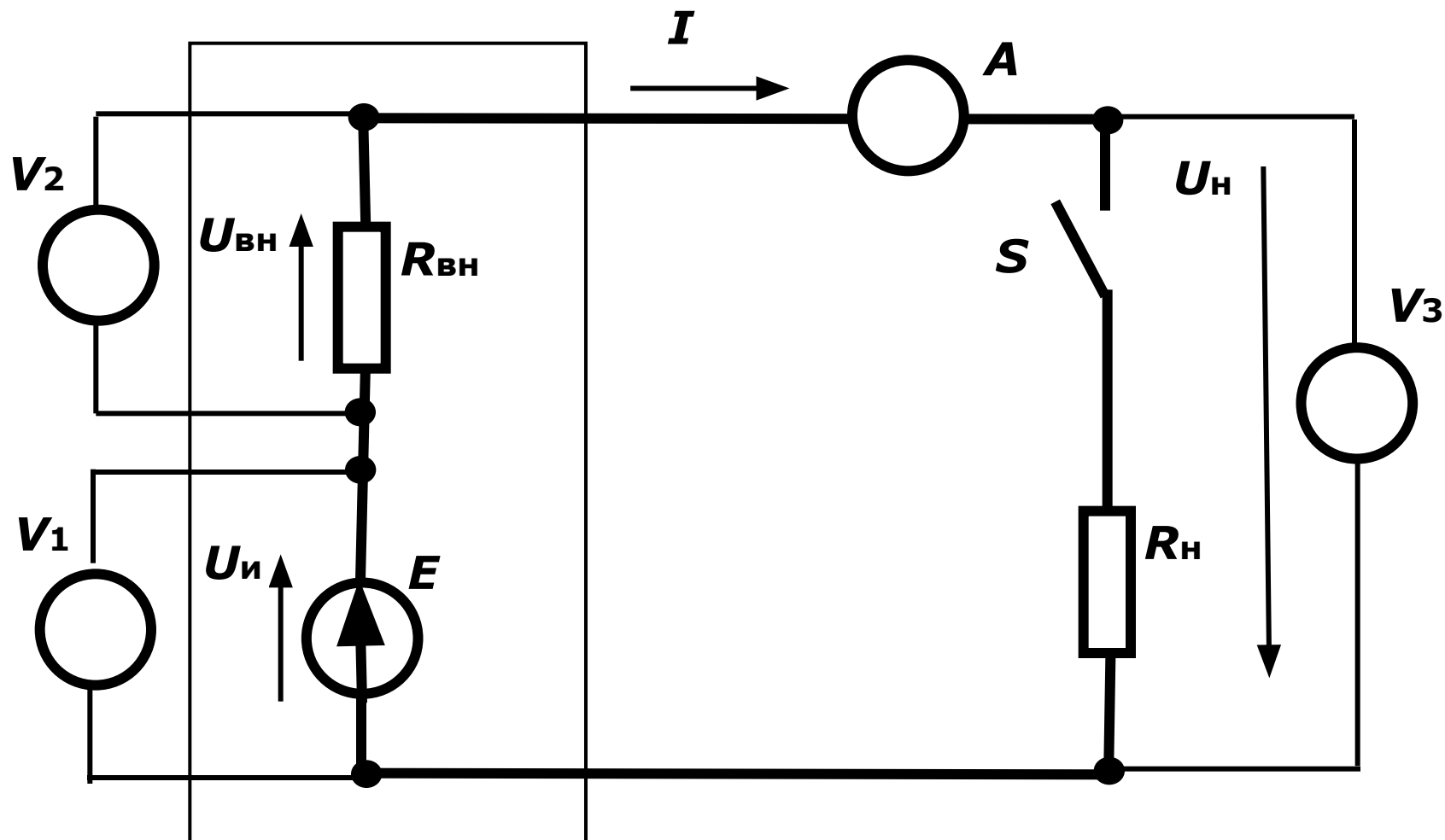
$$I = I_k G_{ВХ} / (G_{ВХ} + G_H)$$





# **Режимы работы реального источника ЭДС**

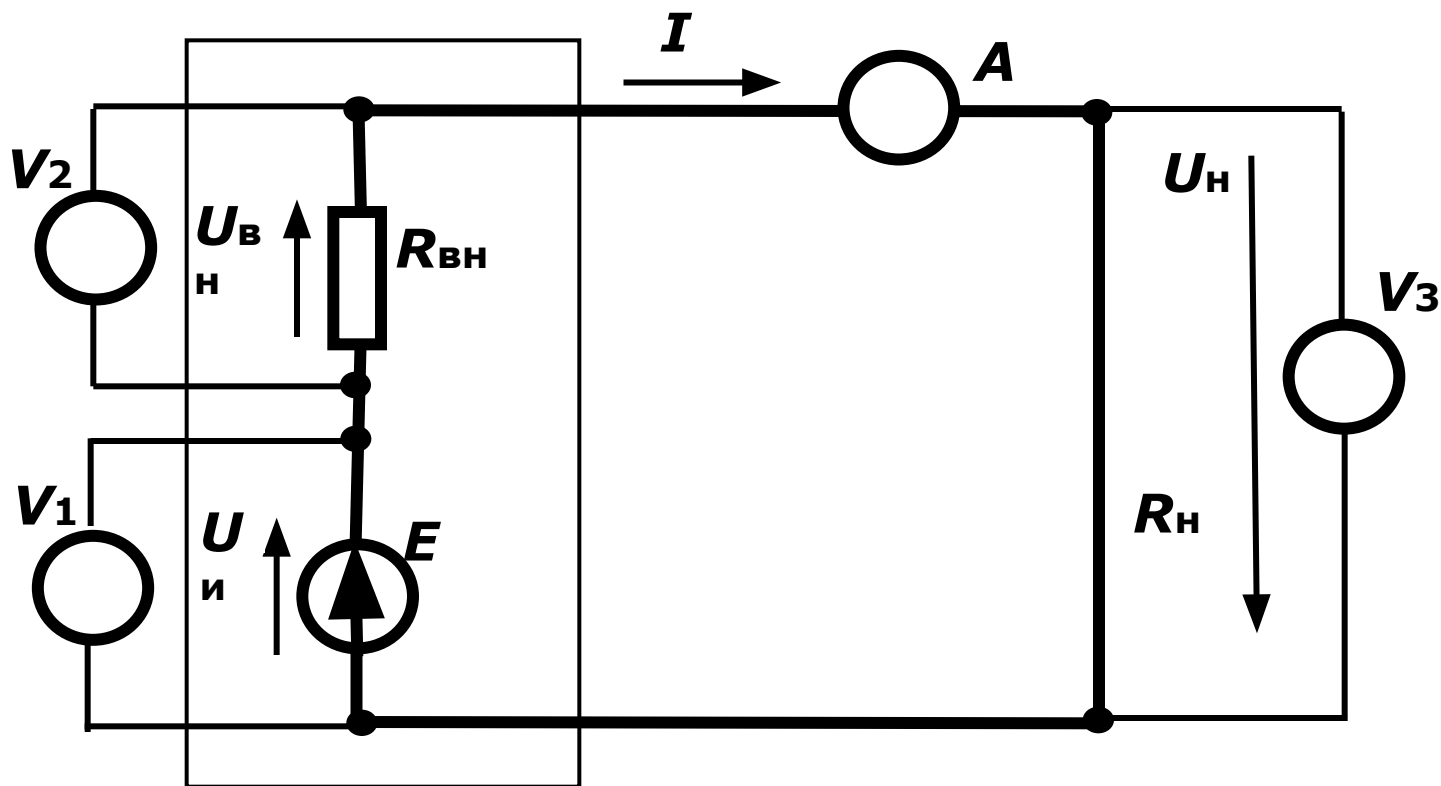
# Режим холостого хода



# 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



- $R_H=0, U_H=0, I_{к.з}=E/R_{BH}, \eta=0$

# 3. Номинальный режим

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

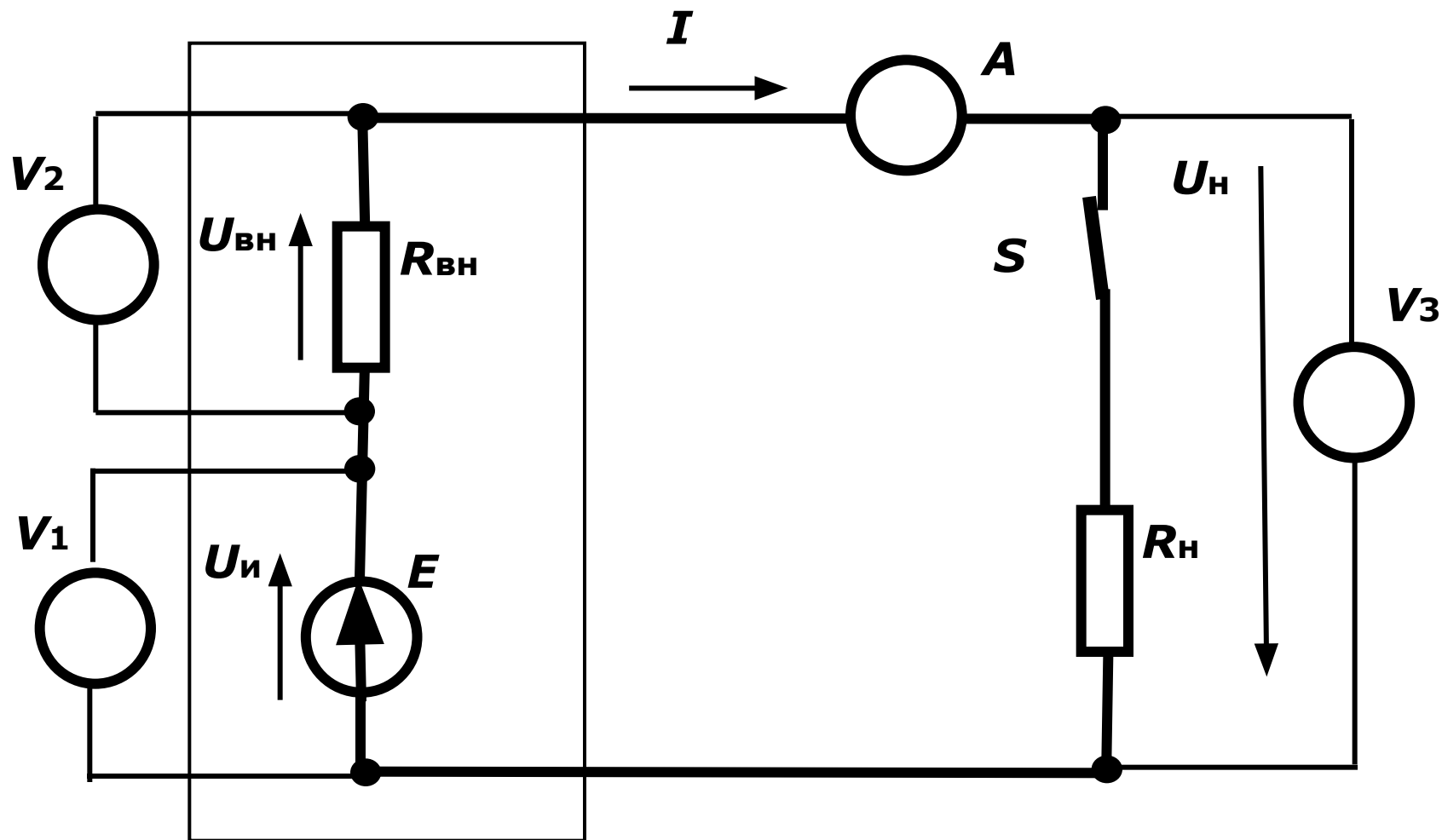
$$I_H = I_{\text{НОМ}} = \frac{E}{R_{\text{ВН}} + R_H}, \quad U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{НОМ}},$$

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

$$\eta < 1.$$



# 3. Номинальный режим



# 4. Согласованный режим

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

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

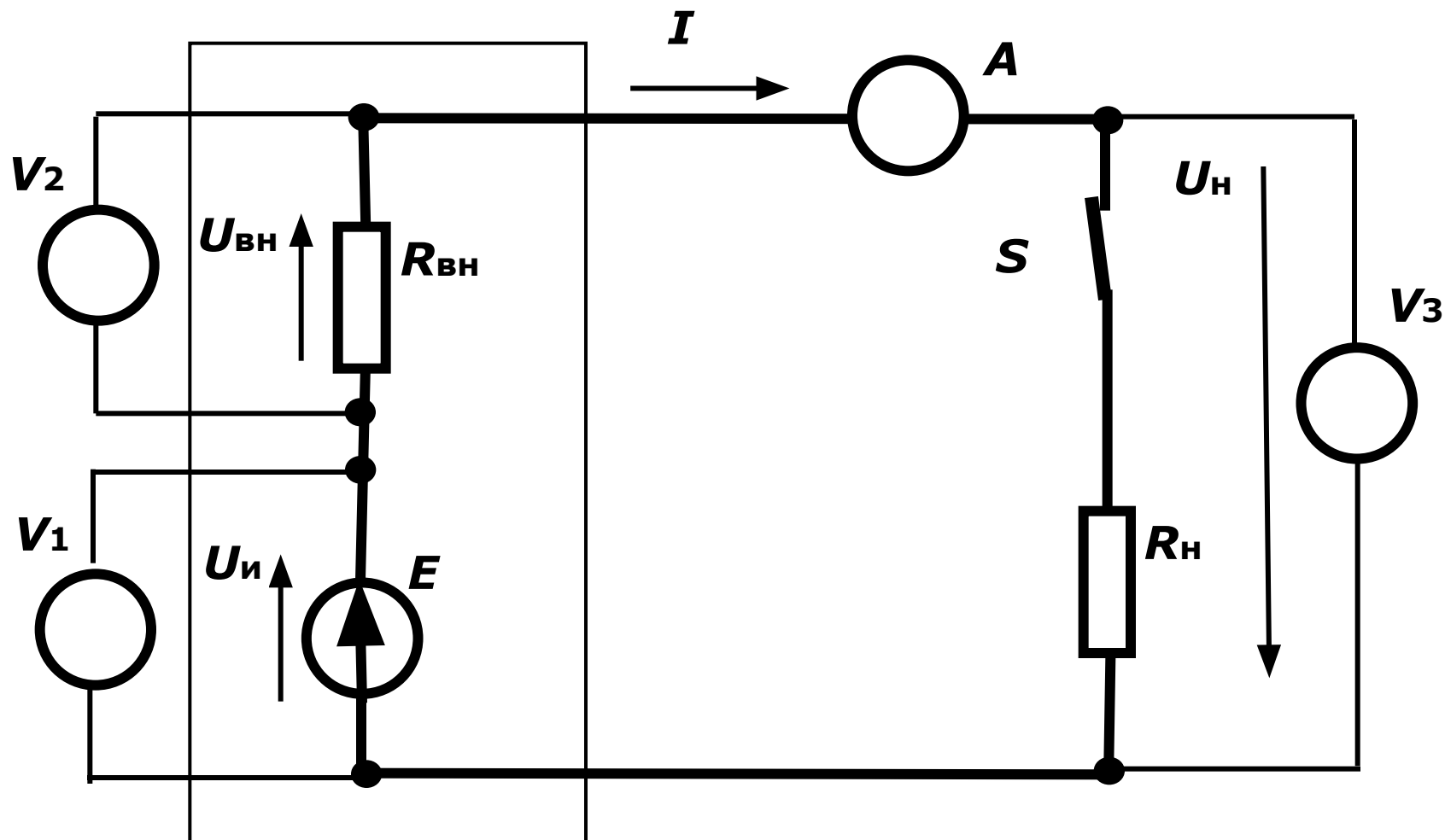
- **Мощность нагрузки:**

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

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

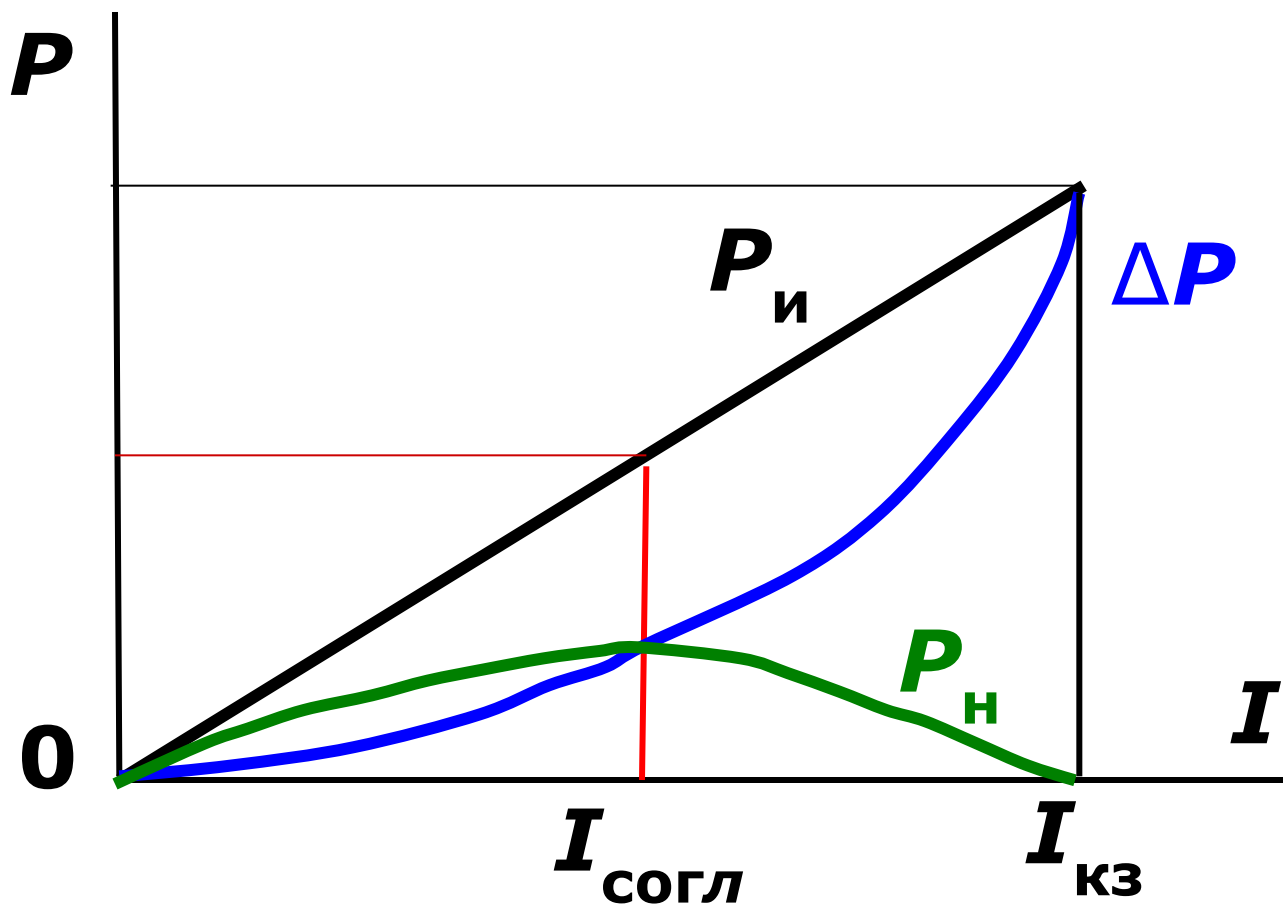
- **К.П.Д:**  $\eta = P_{\text{H}} / P_{\text{И}} =$   
 $= [E^2 \cdot R_{\text{H}} / (R_{\text{BH}} + R_{\text{H}})^2] \cdot [(R_{\text{BH}} + R_{\text{H}}) / E^2] =$   
 $= R_{\text{H}} / (R_{\text{H}} + R_{\text{BH}}) = 1 / (1 + R_{\text{BH}} / R_{\text{H}}) = 0,5.$

# 4. Согласованный режим

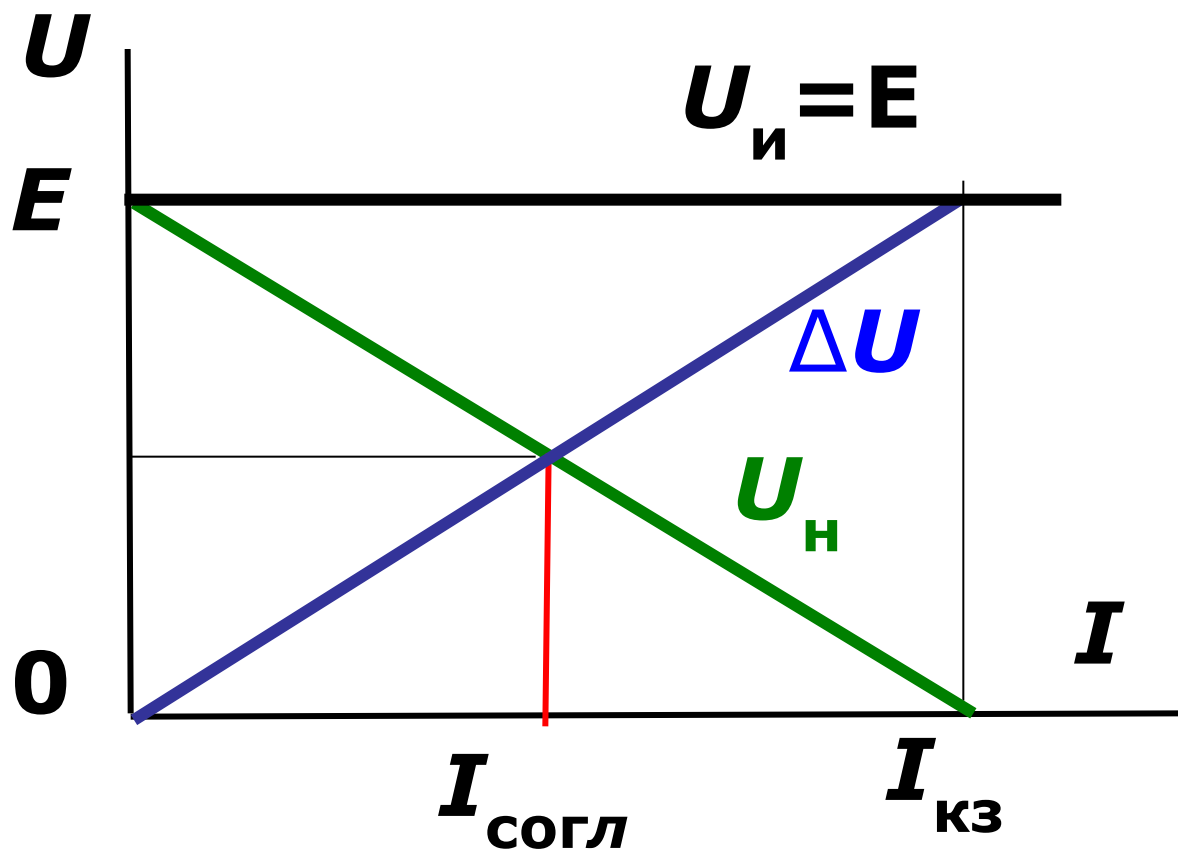
- Таким образом в согласованном режиме:

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

# Зависимость мощностей источника, приемника и потерь от тока.



# Внешняя характеристика реального источника Э.Д.С.



**Благодарю  
за  
внимание**