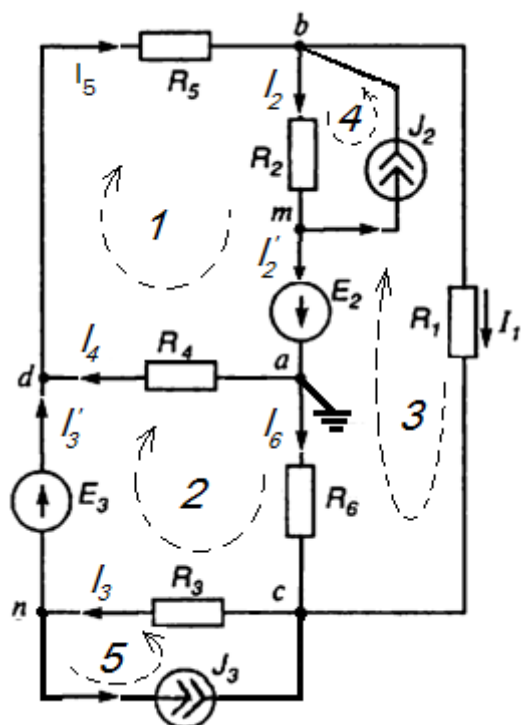


1,1  $R'_4$  және  $R''_4$  тізбектей, осыдан  $R_4 = R'_4 + R''_4$

1,2  $R'_6$  және  $R''_6$  тізбектей, осыдан  $R_6 = \frac{R'_6 \cdot R''_6}{R'_6 + R''_6}$

Схеманы ықшамдау арқылы келесідей түрге келтіруге болады.  
Тармақтардағы төк бағытын белгілеп аламыз.



## Кирхгоф ережелері арқылы

2,1 Бірінші ереже бойынша

$$a: I'_2 - I_4 - I_6 = 0$$

$$b: I_5 - I_2 + J_2 - I_1 = 0$$

$$c: I_6 + I_1 + J_3 - I_3 = 0$$

$$d: I'_3 + I_4 - I_5 = 0$$

$$m: I_2 - J_2 - I'_2 = 0$$

$$n: I_3 - J_3 - I'_3 = 0$$

немесе

$$a: I_2 - J_2 - I_4 - I_6 = 0$$

$$b: I_5 - I_2 + J_2 - I_1 = 0$$

$$c: I_6 + I_1 + J_3 - I_3 = 0$$

$$d: I_3 - J_3 + I_4 - I_5 = 0$$

2,2 Екінші ереже бойынша

$$adba: I_4 R_4 + I_5 R_5 + I_2 R_2 = E_2$$

$$adnca: I_4 R_4 - I_3 R_3 - I_6 R_6 = -E_3$$

$$abca: -I_2 R_2 + I_1 R_1 - I_6 R_6 = -E_2$$

## Контурлық токтар әдісі арқылы

$$1: I_{11} (R_4 + R_5 + R_2) - I_{22} R_4 + J_{22} R_2 - I_{33} R_2 = E_2$$

$$2: I_{22} (R_4 + R_6 + R_3) - I_{11} R_4 + J_{33} R_3 - I_{33} R_6 = E_3$$

$$3: I_{33} (R_2 + R_6 + R_1) - I_{11} R_2 - J_{11} R_2 - I_{22} R_6 = -E_2$$

$$I_1 = I_{33}$$

$$I_2 = I_{11} + J_{22} - I_{33}$$

$$I_3 = I_{22} + J_{33}$$

$$I_4 = I_{11} - I_{22}$$

$$I_5 = I_{11}$$

$$I_6 = I_{22} - I_{33}$$

$$I'_2 = I_2 - J_2$$

$$I'_3 = I_3 - J_3$$

## Түйіндік потенциалдар әдісі арқылы

С түйінін жерге жалғаймыз ( $\varphi_a = 0$ ).  $ma$  және  $nd$  тармақтары үшін:

$$\varphi_d - \varphi_n = E_3$$

$$\varphi_a - \varphi_m = E_2 = -\varphi_m$$

Тармақтардағы төктерді потенциалдар арқылы өрнектесек:

$$I_1 = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_b - \varphi_m}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_c - \varphi_n}{R_3}$$

$$I_4 = \frac{\varphi_a - \varphi_d}{R_4} = -\frac{\varphi_d}{R_4}$$

$$I_5 = \frac{\varphi_d - \varphi_b}{R_5}$$

$$I_6 = \frac{\varphi_a - \varphi_c}{R_6} = -\frac{\varphi_c}{R_6}$$

Кирхгоф бірінші ережесінен:

$$\text{a: } \frac{\varphi_b - \varphi_m}{R_2} + \frac{\varphi_d}{R_4} + \frac{\varphi_c}{R_6} = J_2$$

$$\text{b: } \frac{\varphi_d - \varphi_b}{R_5} - \frac{\varphi_b - \varphi_m}{R_2} - \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R_1} = -J_2$$

$$\text{c: } \frac{\varphi_c}{R_6} - \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R_1} + \frac{\varphi_c - \varphi_n}{R_3} = J_3$$

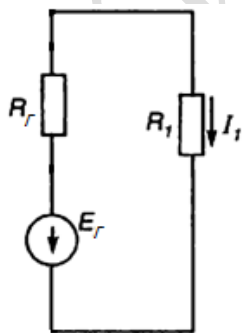
$$\text{d: } \frac{\varphi_c - \varphi_n}{R_3} - \frac{\varphi_d}{R_4} - \frac{\varphi_d - \varphi_b}{R_5} = J_3$$

$$\text{m: } I_2 - J_2 = I'_2$$

$$\text{n: } I_3 - J_3 = I'_3$$

### Эквивалент генератор әдісі

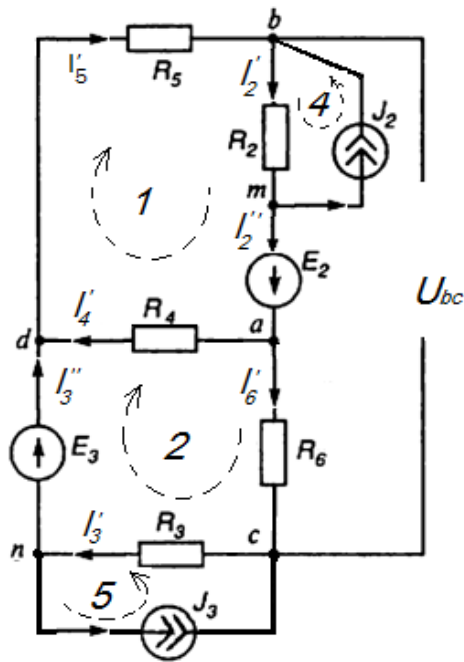
$R_1$  кедергі арқылы өтетін  $I_1$  төк күшін анықтау керек.



$$I_1 = \frac{E_2}{R_2 + R_1}$$

$E_2 = U_{bc}$ , ал  $U_{bc}$  келесідей анықталады:

$$E_2 = I'_6 R_6 - U_{bc} + I'_2 R_2$$



$I'_2$  және  $I'_6$  төк күштері кирхгоф ережелері арқылы анықталады.

Бірінші ереже бойынша

$$a: I'_2 - J_2 - I'_4 - I'_6 = 0$$

$$b: I'_5 - I'_2 + J_2 = 0$$

$$c: I'_6 + J_3 - I'_3 = 0$$

$$d: I'_3 - J_3 + I'_4 - I'_5 = 0$$

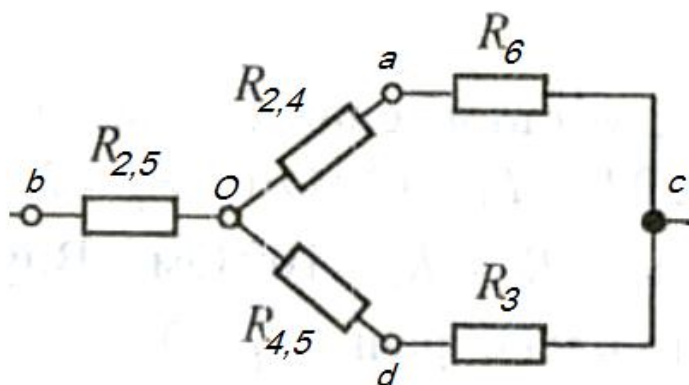
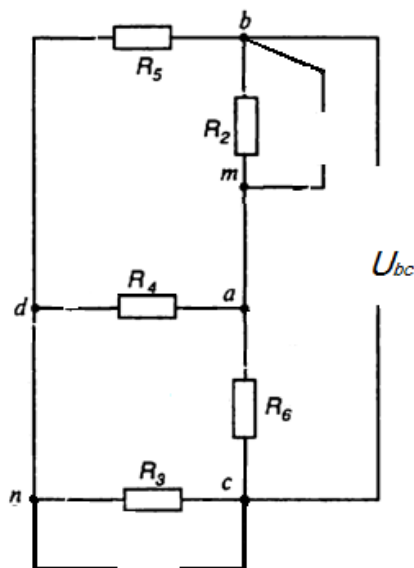
Екінші ереже бойынша

$$1 \text{ контур: } I'_4 R_4 + I'_5 R_5 + I'_2 R_2 = E_2$$

$$2 \text{ контур: } -I'_4 R_4 + I'_3 R_3 + I'_6 R_6 = E_3$$

b және c түйіндерінің арасындағы жалпы кедергі  $R_2$  болып табылады.

adb үшбұрышын жұлдызшаға түрлендіру арқылы жалпы кедергіні есептеуді оңайлатуға болады.



$$R_{2,5} = \frac{R_2 R_5}{R_2 + R_4 + R_5}$$

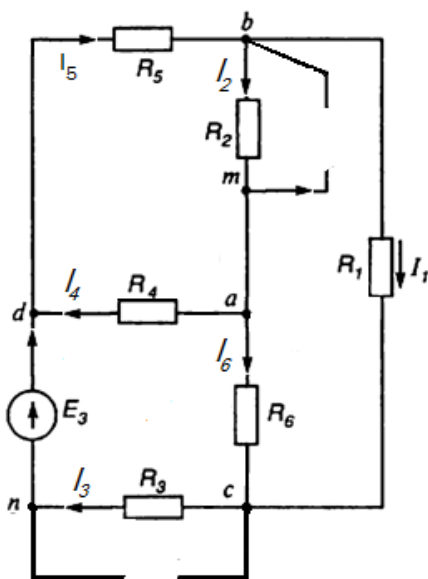
$$R_{2,4} = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4 + R_5}$$

$$R_{4,5} = \frac{R_4 R_5}{R_2 + R_4 + R_5}$$

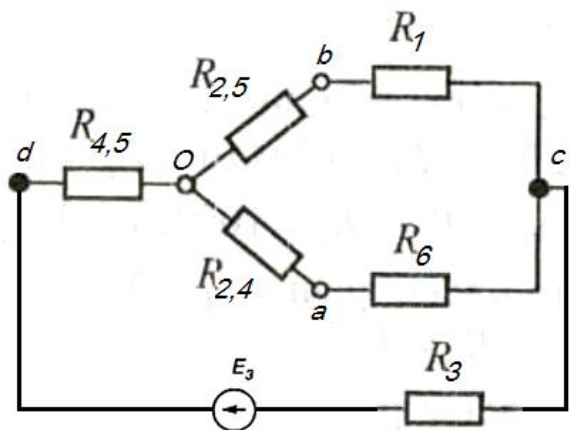
$$R_{bc} = R_{2,5} + \frac{(R_{2,4} + R_6)(R_{4,5} + R_3)}{R_{2,4} + R_6 + R_{4,5} + R_3}$$

**Беттестіру әдісі арқылы**

$E_3$  қалдырамыз. Осыдан шыққан схеманы түрлендіру арқылы:



$\Rightarrow$



Тізбектің жалпы кедергісі:

$$R_{\text{жс}} = R_3 + R_{4,5} + \frac{(R_{2,5} + R_1)(R_{2,4} + R_6)}{R_{2,5} + R_1 + R_{2,4} + R_6}$$

$$I_3 = \frac{E_3}{R_{\text{жс}}}$$

$$U_{oc} = E_3 - I_3(R_3 + R_{4,5})$$

$$I_1 = \frac{U_{oc}}{R_{2,5} + R_1}$$

$$I_6 = I_3 - I_1$$

$$U_{dc} = E_3 - I_3 R_3$$

$$U_{db} = U_{dc} - I_1 R_1$$

$$I_5 = \frac{U_{db}}{R_5}$$

$$U_{da} = U_{dc} - I_6 R_6$$

$$I_4 = \frac{U_{da}}{R_4}$$

$$I_2 = I_6 - I_4$$

$E_2$  қалдырамыз. Алдыңғыға ұқсас жолмен төк күштерін табуға болады.

$$I_2 = \frac{E_2}{R_{\text{жс}}}$$

$$I_1 = \frac{U_{ob}}{R_{3,6} + R_1}$$

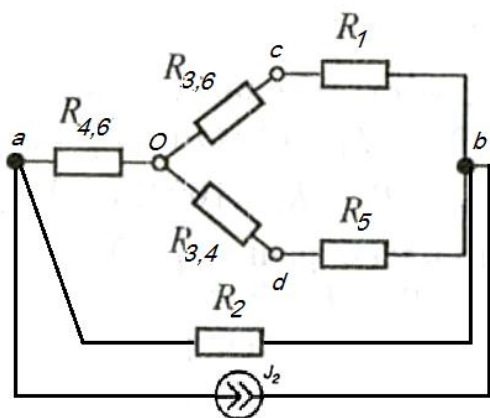
$$I_5 = I_2 - I_1$$

$$I_4 = \frac{U_{ad}}{R_4}$$

$$I_6 = \frac{U_{ac}}{R_6}$$

$$I_3 = I_1 - I_6$$

$J_2$  қалдырамыз



$$I_{1-6} = I_2 \frac{R_2}{R_{1-6}}$$

$$I_2 = J_2 - I_{1-6}$$

$$I_2 = J_2 \frac{R_{1-6}}{R_{1-6} + R_2}$$

$$R_{1-6} = R_{4,6} + \frac{(R_{3,6} + R_1)(R_{3,4} + R_5)}{R_{3,6} + R_1 + R_{3,4} + R_5}$$

$$I_1 = I_{136} = I_{345} \frac{R_{345}}{R_{136}}$$

$$I_{136} = I_{1-6} - I_{345}$$

$$I_5 = I_{345} = I_{1-6} \frac{R_{136}}{R_{345} + R_{136}}$$

$$I_6 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{R_6}$$

$$I_4 = \frac{I_2 R_2 - I_5 R_5}{R_4}$$

$$I_3 = I_1 - I_6$$

$J_3$  алдыңғыға ұқсас жолмен

$$I_3 = J_3 \frac{R_{1-6}}{R_{1-6} + R_3}$$

$$I_1 = I_{125} = I_{246} \frac{R_{246}}{R_{125}}$$

$$I_6 = I_{1-6} \frac{R_{125}}{R_{246} + R_{125}}$$

$$I_5 = \frac{I_3 R_3 - I_1 R_1}{R_5}$$

$$I_4 = \frac{I_3 R_3 - I_6 R_6}{R_4}$$

$$I_2 = I_1 - I_5$$

Төк күштері (индекстар есептелу реті бойынша)

$$I_1 = I_{11} - I_{12} + I_{13} - I_{14}$$

$$I_2 = I_{21} + I_{22} + I_{23} + I_{24}$$

$$I_3 = I_{31} - I_{32} + I_{33} + I_{34}$$

$$I_4 = I_{41} - I_{42} + I_{43} - I_{44}$$

$$I_5 = I_{51} + I_{52} - I_{53} - I_{54}$$

$$I_6 = I_{61} + I_{62} - I_{63} - I_{64}$$