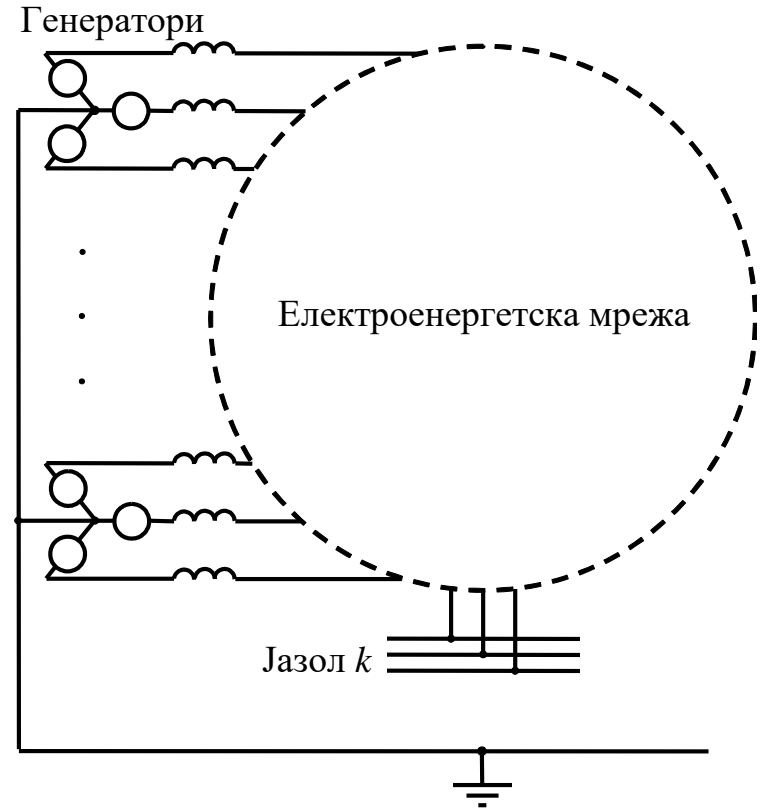
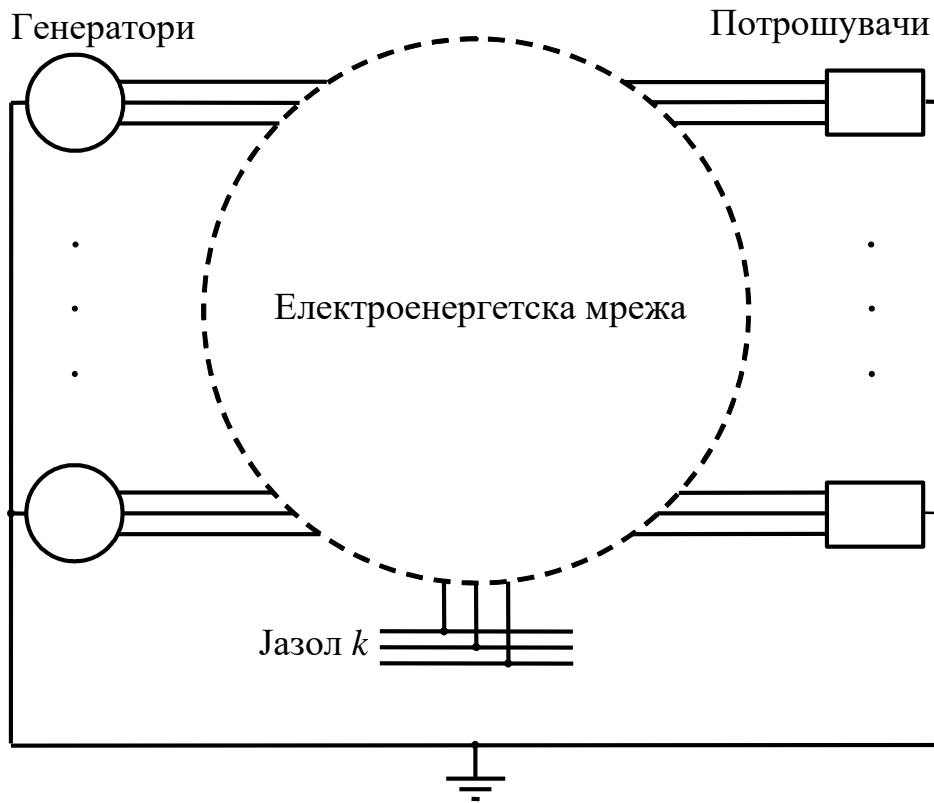


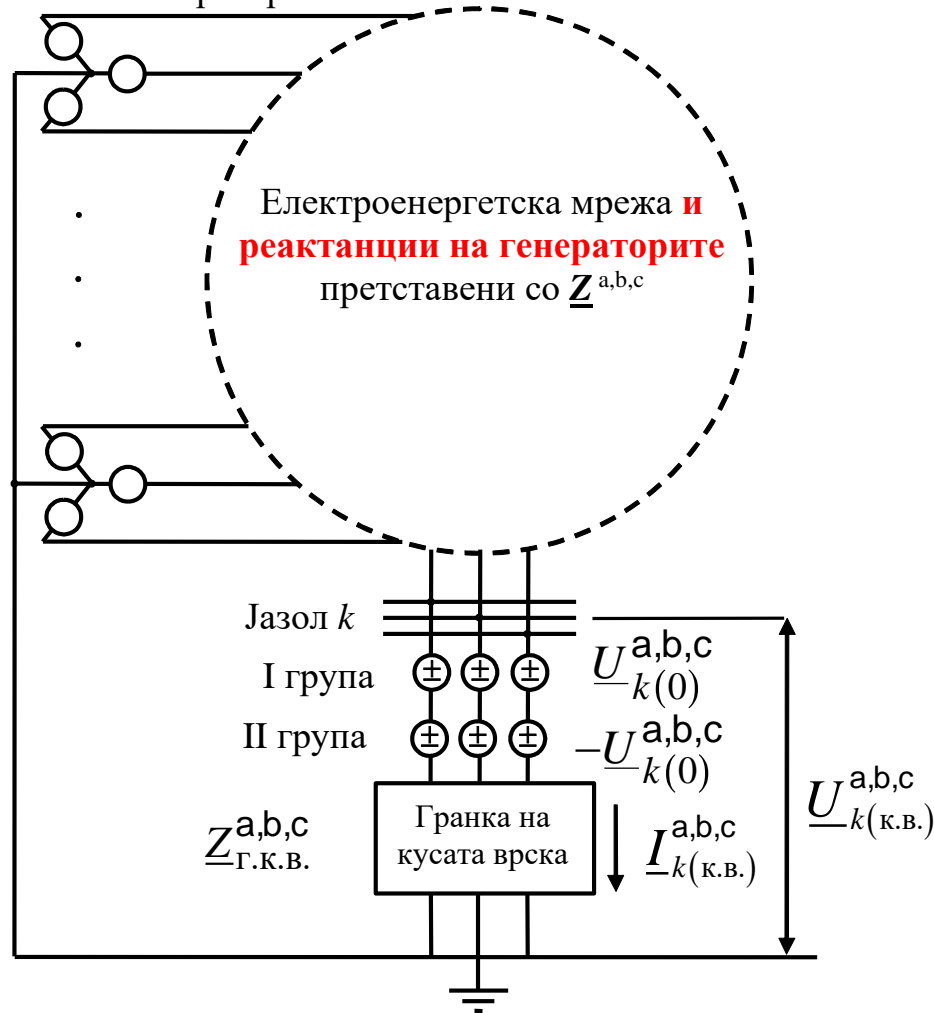
КУСИ ВРСКИ



- генераторите се претставуваат со идеални напонски генератори и реактанција (суптранзиентна, транзиентна и синхрона)
- се занемаруваат сите напречни гранки во мрежата (реактори, кондензатори и потрошувачи)
- сите трансформатори се земаат со номинален преносен однос
- во високонапонските мрежи се занемаруваат и надолжните активни отпорности

КУСИ ВРСКИ

Е.М.С. на генераторите



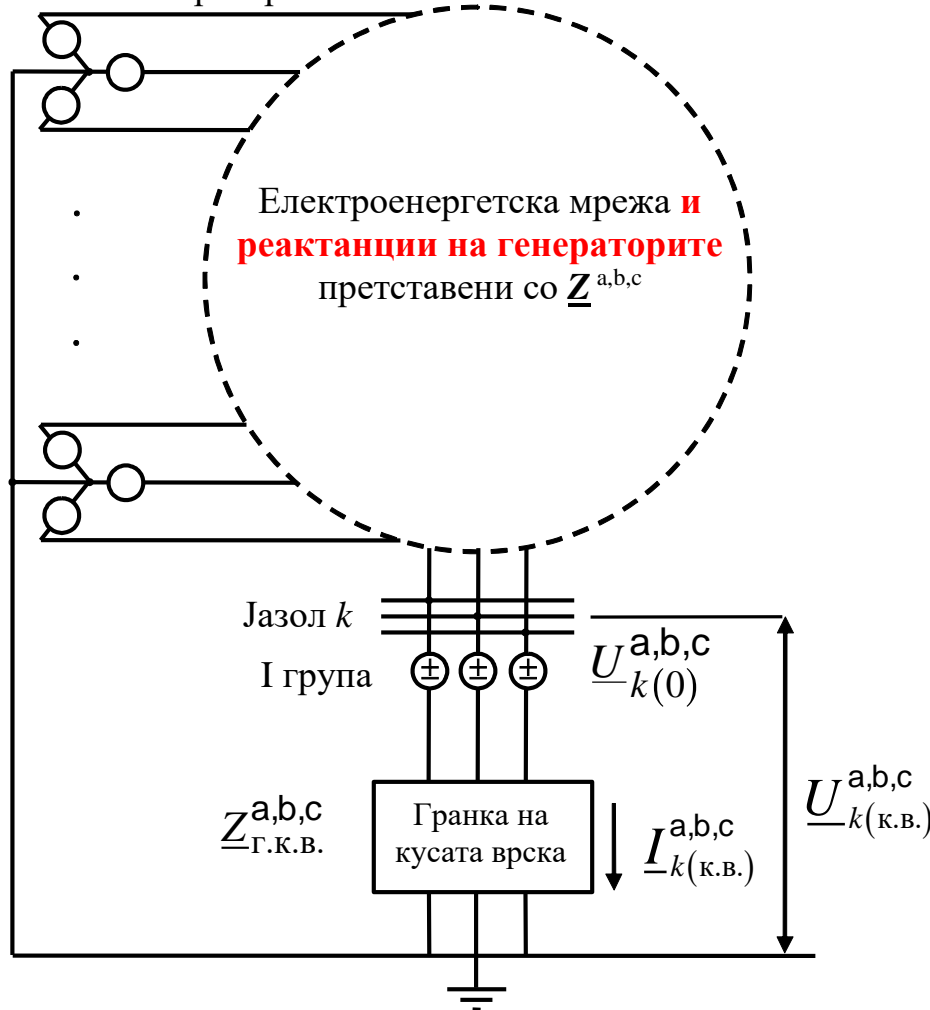
$$\underline{U}_{(к.в.)}^{a,b,c} = \left(\underline{U}^{a,b,c} \right)_I + \left(\underline{U}^{a,b,c} \right)_{II}$$

- Приликите во системот се симулираат со суперпозиција на два режима:
 - I режим – во погон се сите генератори, освен генераторите од II група коишто се кусо врзани
 - II режим – во погон се генераторите од II група, а кусо се врзани сите останати генератори

КУСИ ВРСКИ

- I режим – во погон се сите генератори, освен генераторите од II група коишто се кусо врзани

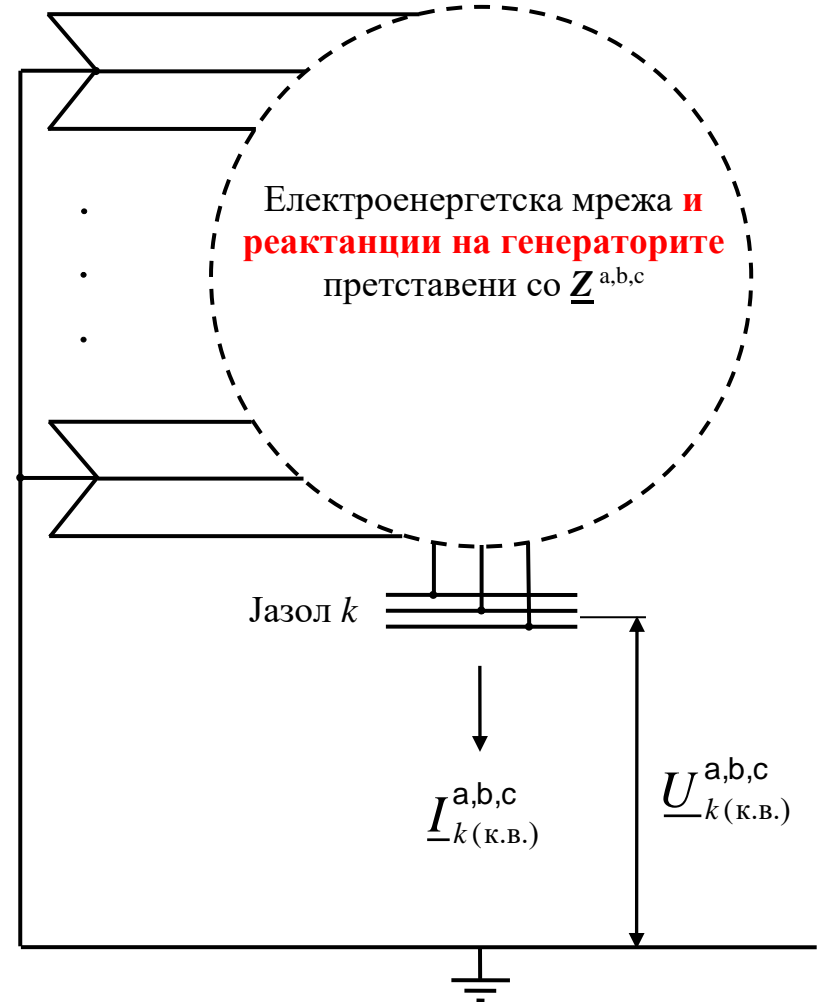
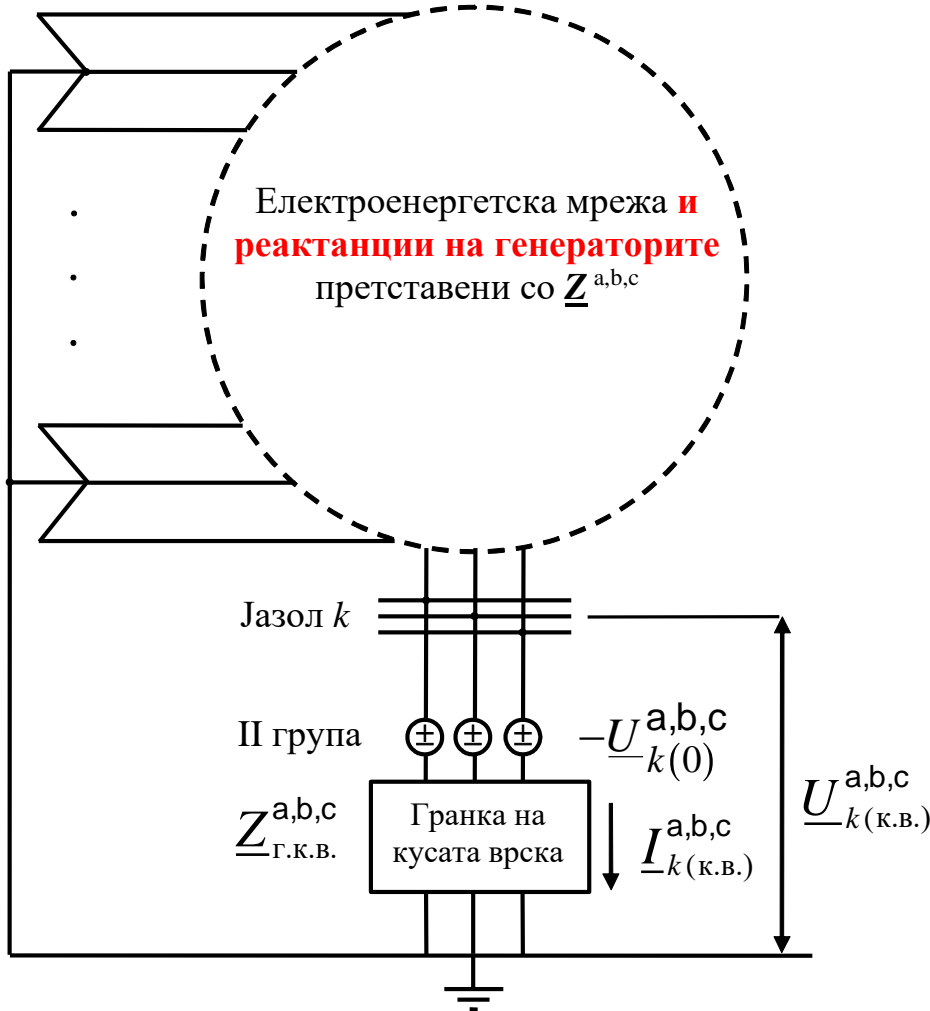
Е.М.С. на генераторите



$$\left(\underline{U}^{a,b,c} \right)_I = \underline{U}_{(0)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} \underline{U}_{1(0)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ \underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ \underline{U}_{n(0)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

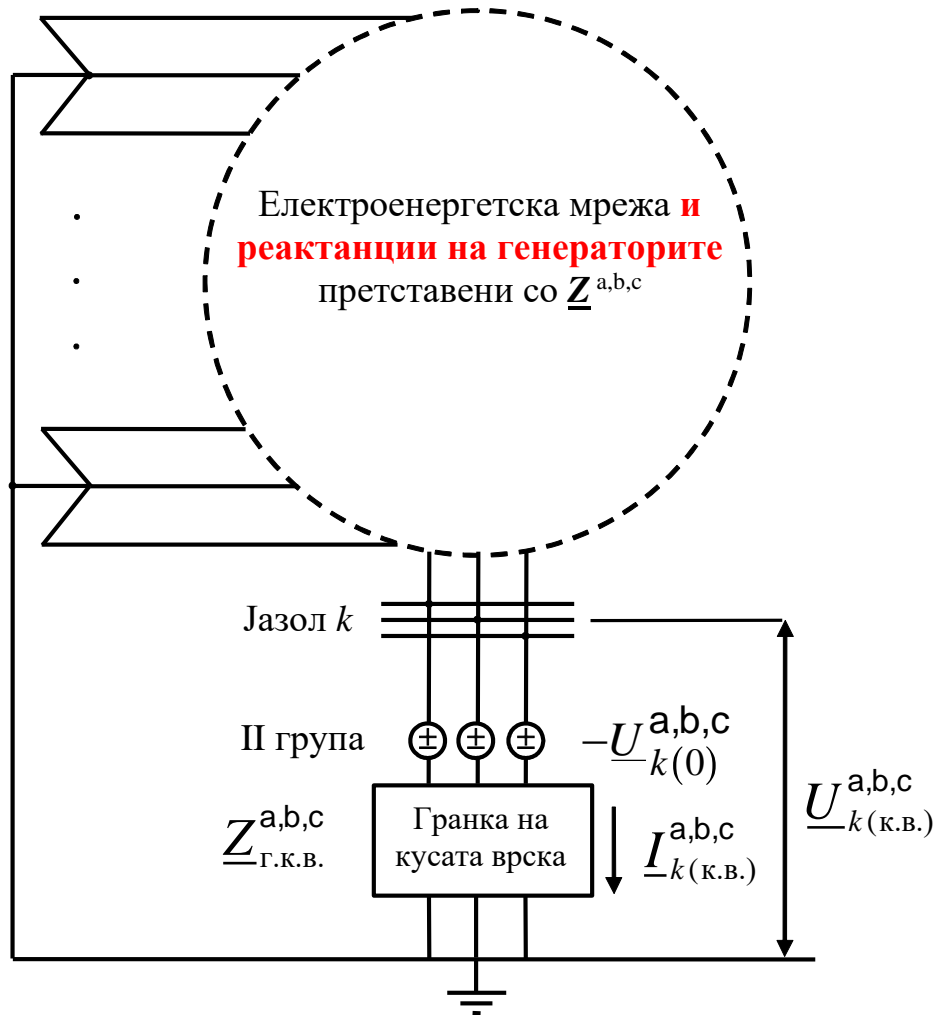
КУСИ ВРСКИ

- II режим – во погон се генераторите од II група, а кусо се врзани сите останати генератори
 - гранката со грешка ја заменуваме со идеален струен генератор со струја еднаква на струјата на кусо врска; практично, овој струен генератор е единствена екситација во системот во II режим



КУСИ ВРСКИ

- II режим – во погон се генераторите од II група, а кусо се врзани сите останати генератори



$$\left(\underline{U}^{a,b,c}\right)_{II} = \underline{Z}^{a,b,c} \cdot \left(\underline{I}^{a,b,c}\right)_{II}$$

$$\left(\underline{I}^{a,b,c}\right)_{II} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ -\underline{I}_{k(К.В.)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

$$\underline{U}_{(К.В.)}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} \underline{U}_{1(К.В.)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ \underline{U}_{i(К.В.)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ \underline{U}_{k(К.В.)}^{a,b,c} \\ \vdots \\ \underline{U}_{n(К.В.)}^{a,b,c} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{(К.В.)}^{a,b,c} = \left(\underline{U}^{a,b,c} \right)_I + \left(\underline{U}^{a,b,c} \right)_{II}$$

$$\underline{U}_{(К.В.)}^{a,b,c} = \left(\underline{U}^{a,b,c} \right)_I + \left(\underline{U}^{a,b,c} \right)_{II} = \underline{U}_{(0)}^{a,b,c} + \underline{Z}^{a,b,c} \cdot \left(\underline{I}^{a,b,c} \right)_{II}$$

$$\underline{U}_{1(К.В.)}^{a,b,c} = \underline{U}_{1(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{1k}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(К.В.)}^{a,b,c}$$

⋮

$$\underline{U}_{i(К.В.)}^{a,b,c} = \underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{ik}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(К.В.)}^{a,b,c}$$

⋮

$$\underline{U}_{k(К.В.)}^{a,b,c} = \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{kk}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(К.В.)}^{a,b,c}$$

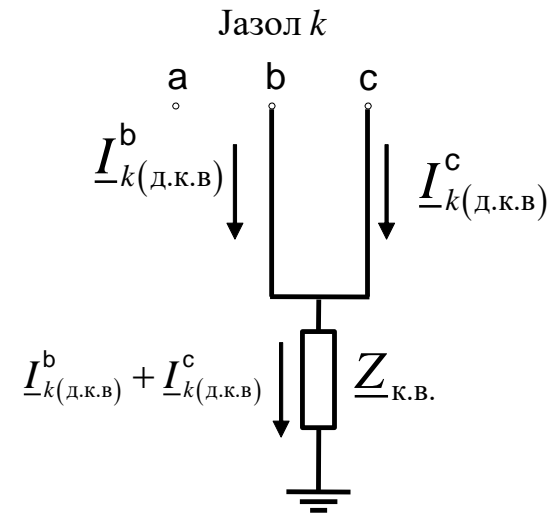
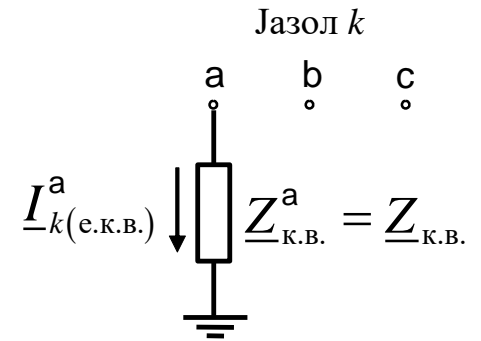
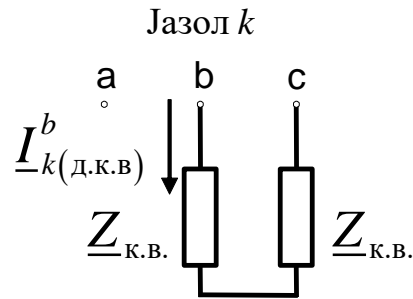
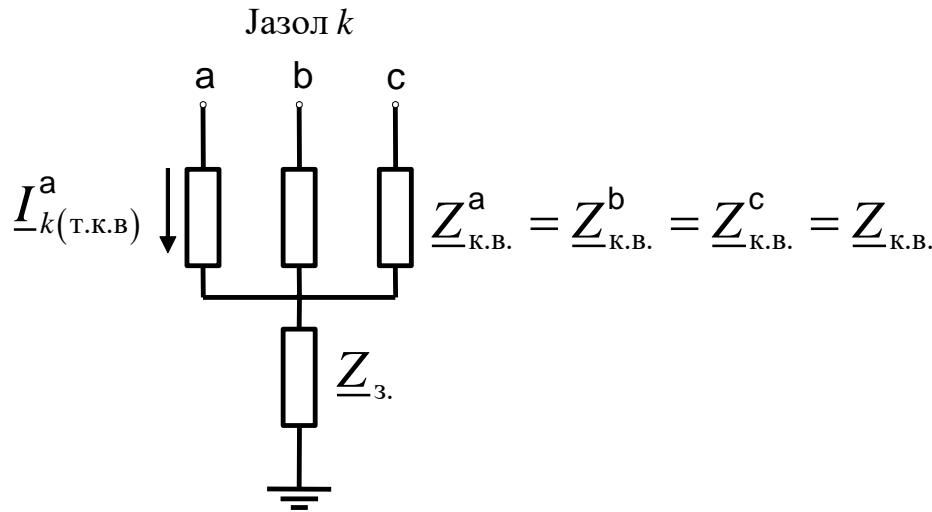
⋮

$$\underline{U}_{n(К.В.)}^{a,b,c} = \underline{U}_{n(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{nk}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(К.В.)}^{a,b,c}$$

$$\underline{U}_{k(К.В.)}^{a,b,c} = \underline{Z}_{Г.К.В.}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(К.В.)}^{a,b,c}$$

КУСИ ВРСКИ

- Во трифазните системи постојат четири типа куси врски
 - трифазна куса врска (симетричен режим)
 - во гранката на куса врска нема бесконечно големи импеданции
 - еднофазна куса врска и двофазна куса врска (со и без врска со земја)
 - во гранката на куса врска има бесконечно големи импеданции



КУСИ ВРСКИ

- Пресметка на струјата и напонот на кусата врска
 - Матрицата на импеданции на гранката на куса врска нема бесконечно големи елементи
 - најнапред се определува струјата на грешка, а потоа напонот во јазолот на грешка

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{kk}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

$$\underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{kk}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \left(\underline{Z}_{kk}^{a,b,c} + \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c}$$

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

- Напони во останатите јазли

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{ik}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}, \quad i = 1, \dots, n$$

КУСИ ВРСКИ

- Пресметка на струјата и напонот на кусата врска
 - Матрицата на импеданции на гранката на куса врска има бесконечно големи елементи
 - најнапред се определува напонот во јазолот на грешка, а потоа струјата на грешка

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}} = \underline{U}_{k(0)}^{\text{a,b,c}} - \underline{Z}_{kk}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}} = \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}}$$

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}} = \underline{U}_{k(0)}^{\text{a,b,c}} - \underline{Z}_{kk}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}}$$

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}} = \left(\underline{E} + \underline{Z}_{kk}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{\text{a,b,c}}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}} = \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}} = \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \cdot \left(\underline{E} + \underline{Z}_{kk}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{\text{a,b,c}}$$

- Напони во останатите јазли

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}} = \underline{U}_{i(0)}^{\text{a,b,c}} - \underline{Z}_{ik}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{\text{a,b,c}}, \quad i = 1, \dots, n$$

КУСИ ВРСКИ

- Пресметка на струите во останатите гранки

$$\underline{I}_{i-l(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \left(\underline{Z}_{i-l}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \left(\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{a,b,c} - \underline{U}_{l(\text{К.В.})}^{a,b,c} \right)$$

$$\underline{U}_{1(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{1(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{1k}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

⋮

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{ik}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

⋮

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{kk}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

⋮

$$\underline{U}_{n(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{n(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{nk}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{ik}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

$$\underline{U}_{l(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{l(0)}^{a,b,c} - \underline{Z}_{lk}^{a,b,c} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

$$\underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} \approx \underline{U}_{l(0)}^{a,b,c}$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \left(\underline{Z}_{i-l}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{lk}^{a,b,c} - \underline{Z}_{ik}^{a,b,c} \right) \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c}$$

КУСИ ВРСКИ

- Резултатите за струите на куса врска, напоните во јазлите и струите во гранките значително зависат од коректноста на претпоставките и занемарувањата при дефинирање на моделот на ЕЕС, приликите во ЕЕС пред настанување на кусата врска, како и од големината на импеданцијата на гранката на куса врска
 - ако пресметките на кусите врски се прават за најнеповолните случаи (најголеми струи на куси врски), што најчесто и се прави, коректни се следниве претпоставки
 - напоните на јазлите пред настанување на кусата врска се земаат дека се повисоки за 10÷15% од номиналните напони
 - импеданцијата на гранката на грешка се зема дека е еднаква на нула
 - ако импеданцијата на гранката на грешка е споредлива со влезната импеданција кај јазолот во кој настанала кусата врска, резултатите нема да бидат коректни затоа што во моделот се занемаруваат (гранките на) потрошувачите
 - при моделирање на ЕЕС се занемаруваат потрошувачите, што практично значи дека пред настанување на кусата врска, струите во елементите на мрежата се еднакви на нула
 - во реалност, струите во елементите би можеле да се претстават со две компоненти
 - струја како резултат на работа на ЕЕС пред настанување на кусата врска
 - струја како резултат на кусата врска, пресметана со претходните формули
 - пресметаните струи во елементите во случај на куса врска можат да се сметаат за прифатливи само ако елементот е електрично близок до јазолот во кој настанала грешката, т.е. компонентата како резултат на струјата на куса врска е значително поголема од струјата во елементот пред настанување на кусата врска
 - кај останатите елементи влијанието на струјата на кусата врска е значително помало и како резултат на тоа двете претходно споменати компоненти се споредливи

КУСИ ВРСКИ

- Врз струјата на куса врска, покрај напонот на јазолот пред настанување на кусата врска и импеданцијата на гранката на кусата врска, (најголемо) влијание има и влезната импеданција кај јазолот во кој настанала грешката
 - упростувањата што се прават при моделирање на ЕЕС се заради
 - поедноставување на пресметките
 - мало влијание врз точноста на пресметките
 - упростените модели на елементите на ЕЕС влијаат врз влезната импеданција
 - занемарувањата на напречните гранки и сметајќи дека трансформаторите имаат преносен однос еднаков на единица доведуваат до незначително помали влезни импеданции, а со тоа и незначително помали струи на куси врски
 - занемарувањето активните отпорности на надолжните гранки влијае врз зголемување на пресметаните струи на куси врски
 - занемарувањето на напречните гранки на потрошувачите влијае врз намалувањето на пресметаните струи на куси врски
 - потрошувачите се занемаруваат не заради тоа што нивното моделирање е сложено
 - нивното влијание е значително помало од влијанието на гранките на генераторите, конфигурацијата на мрежата (особено во близина на јазолот со грешка) пред настанување на кусата врска и влијанието на соседните ЕЕС, особено ако јазолот во кој настанала грешката е електрично блиску до интерконективен вод
 - за да се уважат потрошувачите е потребно да се знае нивната инјектирана моќност во режимот пред настанување на грешката

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \left(\underline{Z}_{kk}^{a,b,c} + \underline{Z}_{\text{Г.К.В.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{Y}_{\text{Г.К.В.}}^{a,b,c} \cdot \left(\underline{E} + \underline{Z}_{kk}^{a,b,c} \cdot \underline{Y}_{\text{Г.К.В.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c}$$

КУСИ ВРСКИ

- Пресметките на струите на куси врски се прават, најчесто, за два карактеристични режима во кој се наоѓа ЕЕС пред настанување на кусата врска
 - „максимален режим“ што најчесто одговара на режимот со најголемо оптоварување во ЕЕС и во кој во погон се сите, или најголем број генератори, независно од нивните инјектирани моќности
 - „минимален режим“ што најчесто одговара на режимот со најмали оптоварување во ЕЕС и во кој во погон се сите генератори што вообичаено работат во тој режим
 - струите на куса врска пресметани во овој режим, по правило, се помали од струите пресметани за „максималниот режим“, освен во случаите, на пример, кога во близина на јазолот на грешка е во погон (релативно голем) генератор што не е во погон во „максималниот режим“
- Пресметките на кусите врски, за разлика од пресметките на напоните во стационарни режими, се прават многу поретко
 - операторите на системите (пренос и дистрибуција) прават пресметки на очекуваните струи на куси врски во своите системи за секој јазол од мрежата
 - очекуваните струи на куси врски се меродавни за димензионирање опремата во трафостаниците и изборот и подесување на заштитата
 - врз основа на струите на куси врски (со релативно голема точност) можат да се определат влезните импеданции на ЕЕС во соодветниот јазол
 - очекуваните струи на куси врски е неопходно да се ажурираат (за целиот систем или за одделни јазли) ако во режимите за кои се пресметуваат кусите врски има значителни промени
 - во погон влегува нов генератор или нов елемент (вод или трансформатор)

КУСИ ВРСКИ

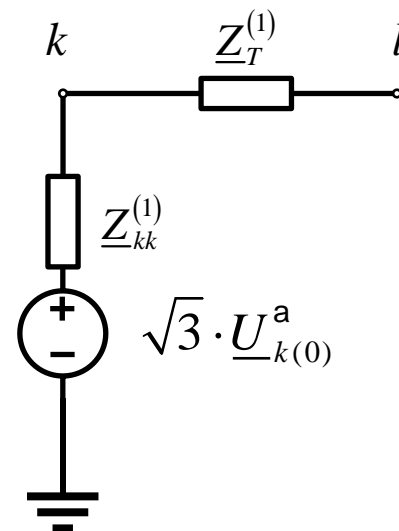
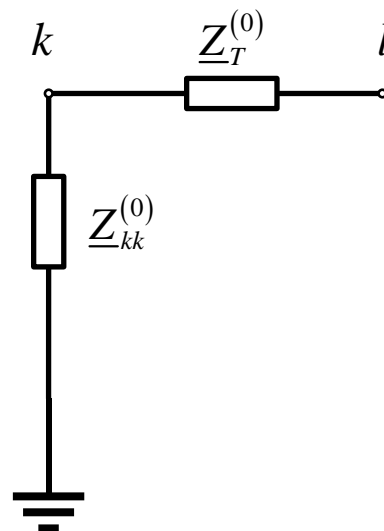
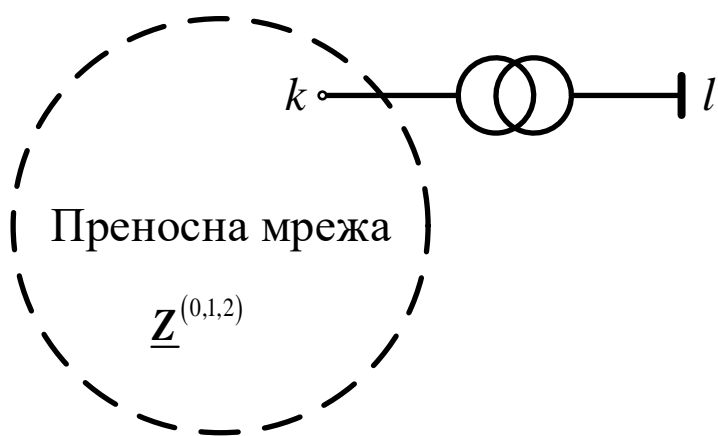
- Ако се знаат струите на трифазна и еднофазна куса врска во јазолот k , можат да се пресметаат влезните импеданции за преносната мрежа за директен и нулти редослед
 - при пресметка на куси врски во јазли од дистрибутивните мрежи, преносната мрежа се еквивалентира со соодветните влезни импеданции

$$\underline{I}_{k(\text{Т.К.В.})}^{a,b,c} = \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{Е.К.В.})}^{a,b,c} = \frac{3 \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_{\text{К.В.}} = 0 \quad \underline{Z}_{kk}^{(1)} = \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{I}_{k(\text{Т.К.В.})}^a} \approx \frac{\underline{U}_{k_{\text{НОМ.}}}^a}{\underline{I}_{k(\text{Т.К.В.})_{\text{очекувана}}^a}}$$

$$\underline{Z}_{kk}^{(0)} = \frac{3 \cdot \underline{U}_{k_{\text{НОМ.}}}^a}{\underline{I}_{k(\text{Е.К.В.})_{\text{очекувана}}^a}} - 2 \cdot \underline{Z}_{kk}^{(1)}$$



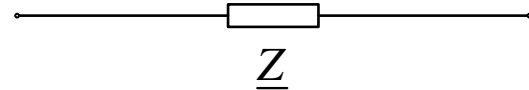
КУСИ ВРСКИ

- Режимите на работа при куса врска се, по правило, несиметрични режими
 - напоните на јазлите и струите на куса врска и струите во гранките од мрежата ќе ги определиме со користење на симетрични компоненти
 - елементите од системот (генератори, водови и трансформатори) се претставуваат со соодветни модели во имеданциска форма
 - единствено за генераторите постојат идеални напонски генератори и тоа само во системот за директен редослед
 - за секој систем се формира соодветна матрица $\underline{Z}^{(0,1,2)}$
 - матриците за директен и инверзен редослед се еднакви $\underline{Z}^{(1)} = \underline{Z}^{(2)}$
 - сите елементи имаат еднакви еквивалентни шеми и нивните импеданции за директен и инверзен редослед се еднакви
 - ако не се располага со подетални информации, реактанциите на генераторите за инверзен редослед се земаат дека се еднакви на суптранзиентните реактанции на генераторите
 - матрицата $\underline{Z}^{(0)}$ за нулти редослед може да има различен граф од графовите на мрежите за директен и индиректен редослед затоа што
 - еквивалентните шеми на трансформаторите за нулти редослед не мора да имаат еднакви реактанции и шема како и за директен редослед

КУСИ ВРСКИ

- Еквивалентни шеми на генератори, водови и двомотни трансформатори за директен и инверзен редослед

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{\text{ген.}}^{(1)} \approx \underline{Z}_{\text{ген.}}^{(2)} \approx jX_d''$$



$$\underline{Z} = \underline{Z}_{\text{трансф.}}^{(1)} = \underline{Z}_{\text{трансф.}}^{(2)} \approx jX_{\text{трансф.}}$$

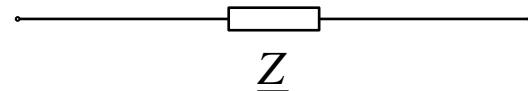


$$\underline{Z} = \underline{Z}_{\text{вод}}^{(1)} = \underline{Z}_{\text{вод}}^{(2)} = R_{\text{вод}} + jX_{\text{вод}} \approx jX_{\text{вод}}$$

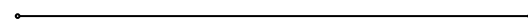
- Еквивалентни шеми на генератори и водови за нулти редослед

– генератори (намотки врзани во свезда и директно заземјена неутрална точка), а блок трансформаторите најчесто се изведени како DYz или DYn

$$\underline{Z} = jX_{\text{ген.}}^{(0)} \approx j(15\% \div 60\%) X_d''$$



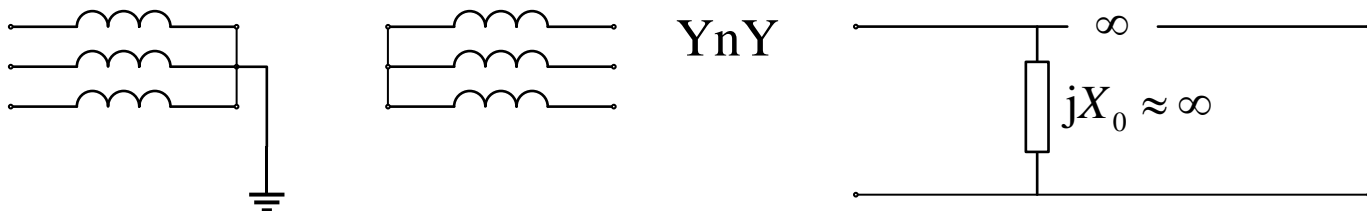
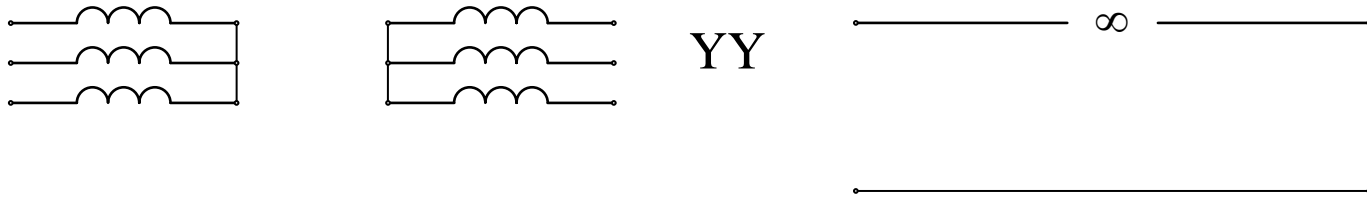
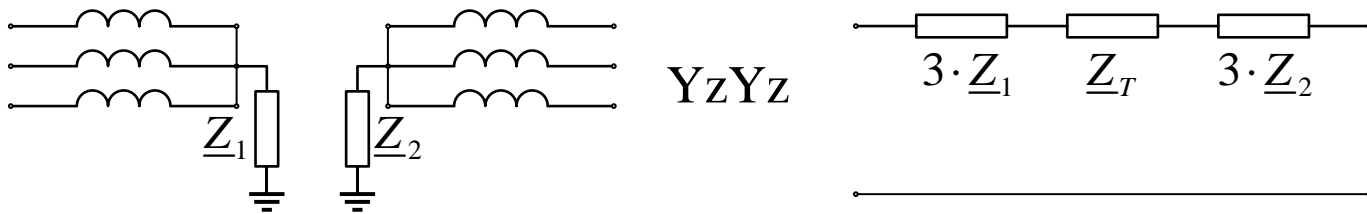
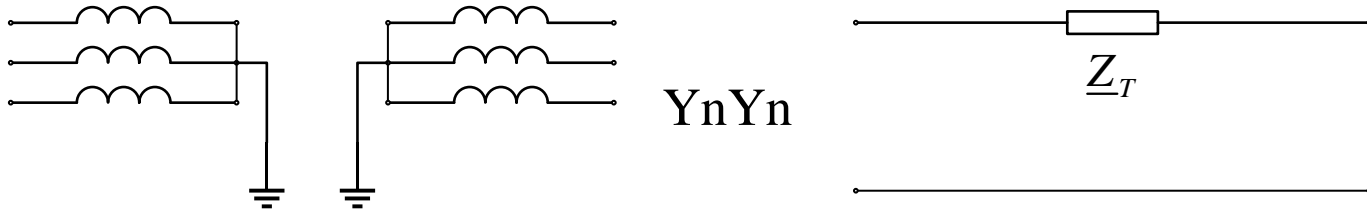
$$\underline{Z} = R_{\text{вод}} + jX_{\text{вод}}^{(0)} \approx j3 \cdot X_{\text{вод}}^{(1)}$$



КУСИ ВРСКИ

Еквивалентни шеми на двомотни трансформатори – нулти редослед

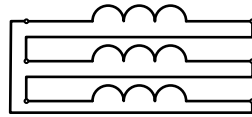
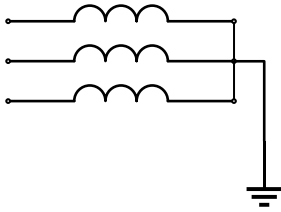
$$\underline{Z}_T = R_T + jX_T \approx jX_T$$



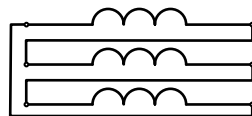
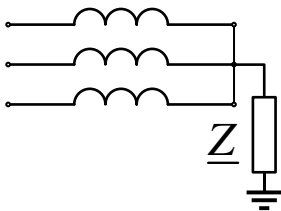
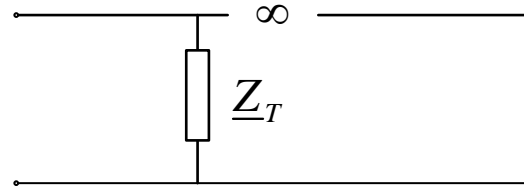
КУСИ ВРСКИ

Еквивалентни шеми на двомотни трансформатори – нулти редослед

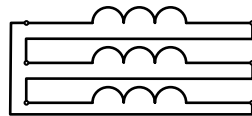
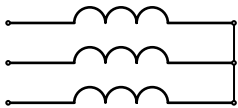
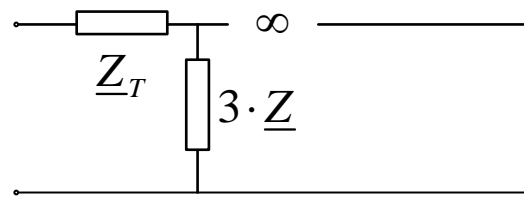
$$\underline{Z}_T = R_T + jX_T \approx jX_T$$



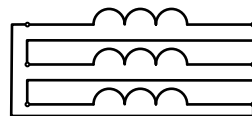
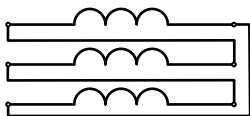
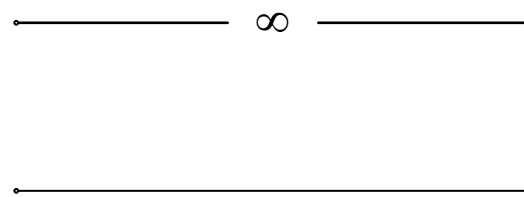
YnD



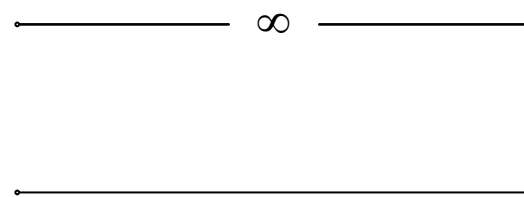
YzD



YD



DD



КУСИ ВРСКИ

Симетрични компоненти

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \left(\underline{Z}_{kk}^{a,b,c} + \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c}$$

$$\underline{Z}_{\text{екв.}}^{a,b,c} = \underline{Z}_{kk}^{a,b,c} + \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{a,b,c}$$

$$\underline{T} = \underline{T}_{\text{сим.}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{k(0)}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{T} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{T} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{T} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{T} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2} / \underline{T}^{-1} \cdot$$

$$\underline{T}^{-1} \cdot \underline{T} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{Z}_{\text{екв.}}^{a,b,c-1} \cdot \underline{T} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{T} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2} \quad \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2} \right)^{-1} = \underline{T}^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{a,b,c} \right)^{-1} \cdot \underline{T}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрични компоненти

$$\left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2}\right)^{-1} = \underline{T}^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{\text{a,b,c}}\right)^{-1} \cdot \underline{T}$$

$$(\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})^{-1} = \mathbf{B}^{-1} \cdot \mathbf{A}^{-1}$$

$$\left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2}\right)^{-1} = \left[\left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{\text{a,b,c}}\right) \cdot \underline{T}\right]^{-1} \cdot \underline{T}$$

$$\mathbf{A} = \left(\mathbf{A}^{-1}\right)^{-1} \quad \underline{T}_{\text{сим.}} = \left[\underline{T}_{\text{сим.}}^{-1}\right]^{-1}$$

$$\left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2}\right)^{-1} = \left[\left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{\text{a,b,c}}\right) \cdot \underline{T}\right]^{-1} \cdot \left[\underline{T}^{-1}\right]^{-1}$$

$$\left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2}\right)^{-1} = \left[\underline{T}^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{\text{a,b,c}}\right) \cdot \underline{T}\right]^{-1} \quad \underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{\text{екв.}}^{\text{a,b,c}}\right) \cdot \underline{T}$$

$$\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{kk}^{\text{a,b,c}} + \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}}\right) \cdot \underline{T}$$

$$\underline{Z}_{\text{екв.}}^{0,1,2} = \underline{Z}_{kk}^{0,1,2} + \underline{Z}_{\Gamma\text{КВ.}}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{Z}_{kk}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{T} + \underline{T}^{-1} \cdot \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{T}$$

$$\underline{Z}_{kk}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{Z}_{kk}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{T}$$

$$\underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{\text{a,b,c}} \cdot \underline{T}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрични компоненти

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left[\underline{T}^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{kk}^{a,b,c} + \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{a,b,c} \right) \cdot \underline{T} \right]^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{kk}^{0,1,2} + \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{kk}^{0,1,2} + \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left(\underline{E} + \underline{Z}_{kk}^{0,1,2} \cdot \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{Z}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{Y}_{\Gamma.\text{К.В.}}^{0,1,2} \cdot \underline{U}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}$$

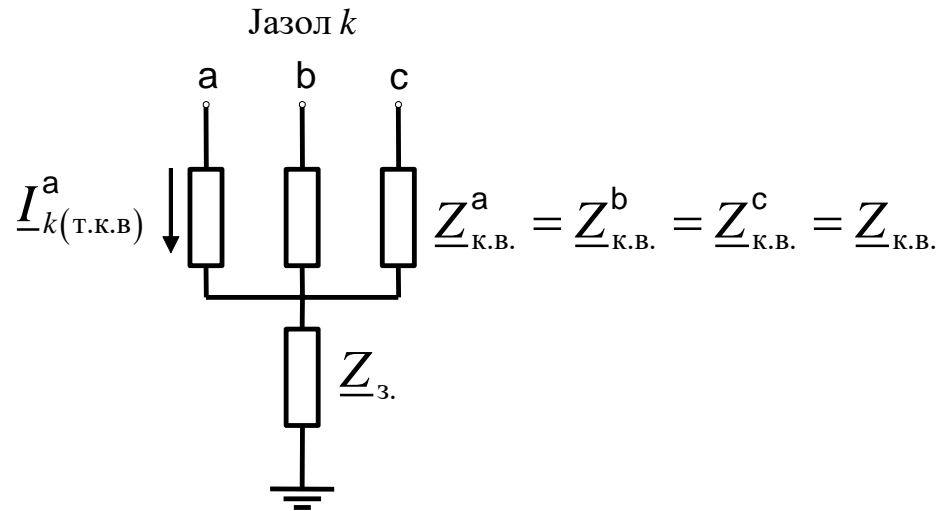
$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2} ; \quad i = 1, \dots, n; \quad i \neq k$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{i-l}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \left(\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{0,1,2} - \underline{U}_{l(\text{К.В.})}^{0,1,2} \right)$$

$$\underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} \approx \underline{U}_{l(0)}^{0,1,2} \Rightarrow \underline{I}_{i-l(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{i-l}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{lk}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \right) \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куца врска



$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^a = \underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^a + \underline{Z}_3 \cdot \left(\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^a + \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^b + \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^c \right)$$

$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^b = \underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^b + \underline{Z}_3 \cdot \left(\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^a + \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^b + \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^c \right)$$

$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^c = \underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^c + \underline{Z}_3 \cdot \left(\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^a + \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^b + \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^c \right)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^a \\ \underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^b \\ \underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{\text{K.B.}} + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_3 & \underline{Z}_{\text{K.B.}} + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 & \underline{Z}_{\text{K.B.}} + \underline{Z}_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^a \\ \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^b \\ \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^c \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куса врска

$$\underline{Z}_{\Gamma.K.B.}^{a,b,c} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{K.B.} + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_3 & \underline{Z}_{K.B.} + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 & \underline{Z}_{K.B.} + \underline{Z}_3 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_{\Gamma.K.B.}^{0,1,2} = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{Z}_{\Gamma.K.B.}^{a,b,c} \cdot \underline{T}$$

$$\underline{T} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{T}^{-1} = \underline{T}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_{\Gamma.K.B.}^{0,1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{Z}_{K.B.} + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_3 & \underline{Z}_{K.B.} + \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_3 & \underline{Z}_3 & \underline{Z}_{K.B.} + \underline{Z}_3 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_{\Gamma.K.B.}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{K.B.} + 3 \cdot \underline{Z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{K.B.} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{K.B.} \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куса врска

Струја на грешка

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{kk}^{0,1,2} + \underline{Z}_{\text{Г.К.В.}}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{Z}_{kk}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{kk}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{kk}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{kk}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_{\text{Г.К.В.}}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{\text{К.В.}} + 3\underline{Z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{\text{К.В.}} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{\text{К.В.}} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \left(\begin{bmatrix} \underline{Z}_{kk}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{kk}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{kk}^{(2)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{Z}_{\text{К.В.}} + 3\underline{Z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{\text{К.В.}} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{\text{К.В.}} \end{bmatrix} \right)^{-1} \cdot \underline{U}_{k(0)}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} = \underline{T}^* \cdot \underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \underline{U}_{i(0)}^a = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \underline{U}_{i(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \left(\begin{bmatrix} \underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{\text{К.В.}} + 3\underline{Z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{К.В.}} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{\text{К.В.}} \end{bmatrix} \right)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куса врска

Струја на грешка

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \left(\begin{bmatrix} \underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}} + 3\underline{Z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}} \end{bmatrix} \right)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(0)} = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a$$

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\underline{U}_{k(0)}}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\underline{U}_{k(0)}$ е меѓуфазен напон пред настанување на кусата врска

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{a,b,c} = \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{a,b,c} = \frac{\frac{\underline{U}_{k(0)}}{\sqrt{3}}}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix}$$

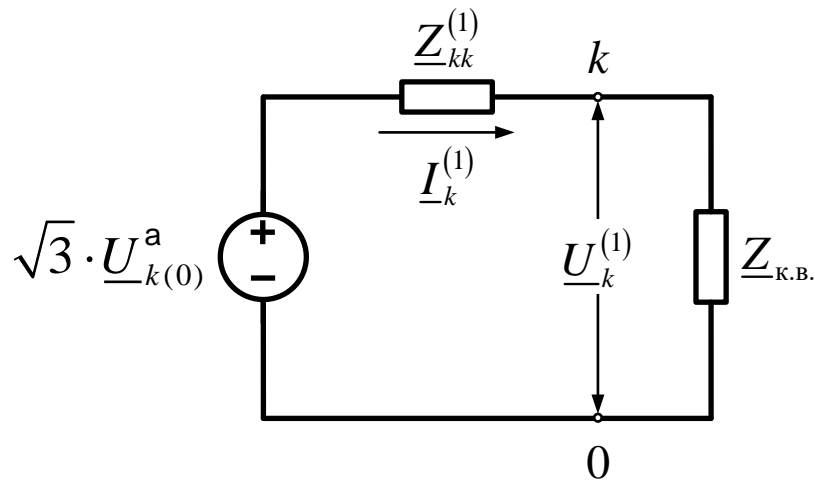
КУСИ ВРСКИ

- Симетрична трифазна куца врска

- ефективните вредности на фазните струи во гранката на грешка се еднакви, а нивниот збир е еднаков на нула
- во инверзниот и нултиот систем струите и напоните се еднакви на нула (нема генератори)

$$\underline{I}_k^a + \underline{I}_k^b + \underline{I}_k^c = 0 \quad \underline{U}_k^a = \underline{Z}_{\text{к.в.}} \cdot \underline{I}_k^a$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_k^a \\ \underline{U}_k^b \\ \underline{U}_k^c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_k^a \\ 0 \end{bmatrix}$$



$$\underline{I}_k^{(1)} = \underline{I}_{k(\text{Т.К.В.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{к.в.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куса врска

Напон во јазолот на грешка

$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \underline{Z}_{\Gamma.\text{K.B.}}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} \quad \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \underline{Z}_{\Gamma.\text{K.B.}}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{\text{K.B.}} + 3\underline{Z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{\text{K.B.}} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{\text{K.B.}} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{\text{K.B.}} + 3\underline{Z}_3 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{\text{K.B.}} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{\text{K.B.}} \end{bmatrix} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{T.K.B.})}^{a,b,c} = \frac{\underline{Z}_{\text{K.B.}} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куса врска

Напони во останатите јазли

$$\underline{U}_{i(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} ; \quad i = 1, \dots, n; \quad i \neq k$$

$$\underline{Z}_{ik}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{ik}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix} \quad \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \underline{U}_{i(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} \quad \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} \approx \underline{U}_{k(0)}^{a,b,c}$$

$$\underline{U}_{i(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \underline{U}_{i(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{ik}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} ; \quad i = 1, \dots, n; \quad i \neq k$$

$$\underline{U}_{i(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \cdot \left(1 - \frac{\underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \right) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} ; \quad i = 1, \dots, n; \quad i \neq k$$

$$\underline{U}_{i(\text{T.K.B.})}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{U}_{i(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} ; \quad i = 1, \dots, n; \quad i \neq k$$

$$\underline{U}_{i(\text{T.K.B.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{k(0)}^a \cdot \left(1 - \frac{\underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \right) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix} ; \quad i = 1, \dots, n; \quad i \neq k$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куса врска

Струи низ гранките од мрежата

$$\underline{I}_{i-l(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{i-l}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{lk}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \right) \cdot \underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{I}_{k(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{i-l}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{i-l}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{i-l}^{(2)} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \left(\begin{bmatrix} \underline{Z}_{lk}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{lk}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{lk}^{(2)} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{ik}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix} \right) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{T.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \frac{\underline{Z}_{lk}^{(0)} - \underline{Z}_{ik}^{(0)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(0)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(1)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\underline{Z}_{lk}^{(2)} - \underline{Z}_{ik}^{(2)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(2)}} \end{bmatrix} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{K.B.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Симетрична трифазна куса врска

Струи низ гранките од мрежата

$$\underline{I}_{i-l(Т.К.В.)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} \frac{\underline{Z}_{lk}^{(0)} - \underline{Z}_{ik}^{(0)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(0)}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(1)}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\underline{Z}_{lk}^{(2)} - \underline{Z}_{ik}^{(2)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(2)}} \end{bmatrix} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{К.В.}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(Т.К.В.)}^{0,1,2} = \frac{\underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(1)}} \cdot \underline{I}_{k(Т.К.В.)}^{0,1,2} = \frac{\underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(1)}} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{К.В.}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(Т.К.В.)}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{I}_{i-l(Т.К.В.)}^{0,1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \frac{\underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(1)}} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{К.В.}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(Т.К.В.)}^{a,b,c} = \frac{\underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)}}{\underline{Z}_{i-l}^{(1)}} \cdot \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{К.В.}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix}$$

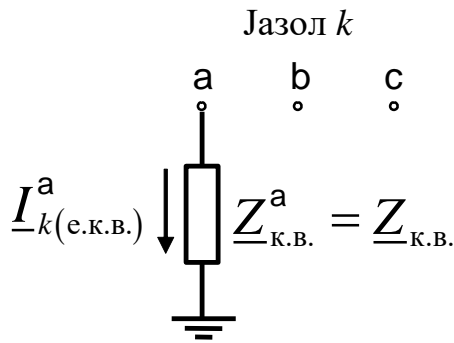
КУСИ ВРСКИ

- Еднофазна куса врска

- Пресметка на струјата на грешка

- симетричните компоненти на струите во гранката на грешка се еднакви

- бидејќи во нултиот и инверзниот систем нема генератори, тие системи треба да бидат поврзани со директниот систем за да се постигне струите во овие три система да бидат еднакви



$$\begin{bmatrix} \underline{I}_k^{(0)} \\ \underline{I}_k^{(1)} \\ \underline{I}_k^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_k^a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\underline{I}_k^a}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{i(к.в.)}^{0,1,2} = \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(к.в.)}^{0,1,2}, \quad i = k$$

$$\underline{U}_k^a = \underline{Z}_{к.в.} \cdot \underline{I}_k^a = \sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{к.в.} \cdot \underline{I}_k^{(1)}$$

$$\underline{U}_k^a = \frac{\underline{U}_k^{(0)} + \underline{U}_k^{(1)} + \underline{U}_k^{(2)}}{\sqrt{3}}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_k^{(0)} \\ \underline{U}_k^{(1)} \\ \underline{U}_k^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{Z}_{kk}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{kk}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{kk}^{(2)} \end{bmatrix} \cdot \underline{I}_k^{(1)} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{к.в.} \cdot \underline{I}_k^{(1)} = \frac{-\underline{Z}_{kk}^{(0)} \cdot \underline{I}_k^{(1)} + \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a - \underline{Z}_{kk}^{(1)} \cdot \underline{I}_k^{(1)} - \underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot \underline{I}_k^{(1)}}{\sqrt{3}}$$

КУСИ ВРСКИ

- Еднофазна куса врска

- Пресметка на струјата на грешка

- симетричните компоненти на струите во гранката на грешка се еднакви

- бидејќи во нултиот и инверзниот систем нема генератори, тие системи треба да бидат поврзани со директниот систем за да се постигне струите во овие три система да бидат еднакви

$$\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}} \cdot \underline{I}_k^{(1)} = \frac{-\underline{Z}_{kk}^{(0)} \cdot \underline{I}_k^{(1)} + \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a - \underline{Z}_{kk}^{(1)} \cdot \underline{I}_k^{(1)} - \underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot \underline{I}_k^{(1)}}{\sqrt{3}}$$

$$\underline{I}_k^{(1)} \cdot \left(3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} \right) = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a$$

$$\underline{I}_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}$$

$$\underline{I}_{k(\text{е.к.в.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_k^a \\ \underline{I}_k^b \\ \underline{I}_k^c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_k^{(0)} \\ \underline{I}_k^{(1)} \\ \underline{I}_k^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{3 \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

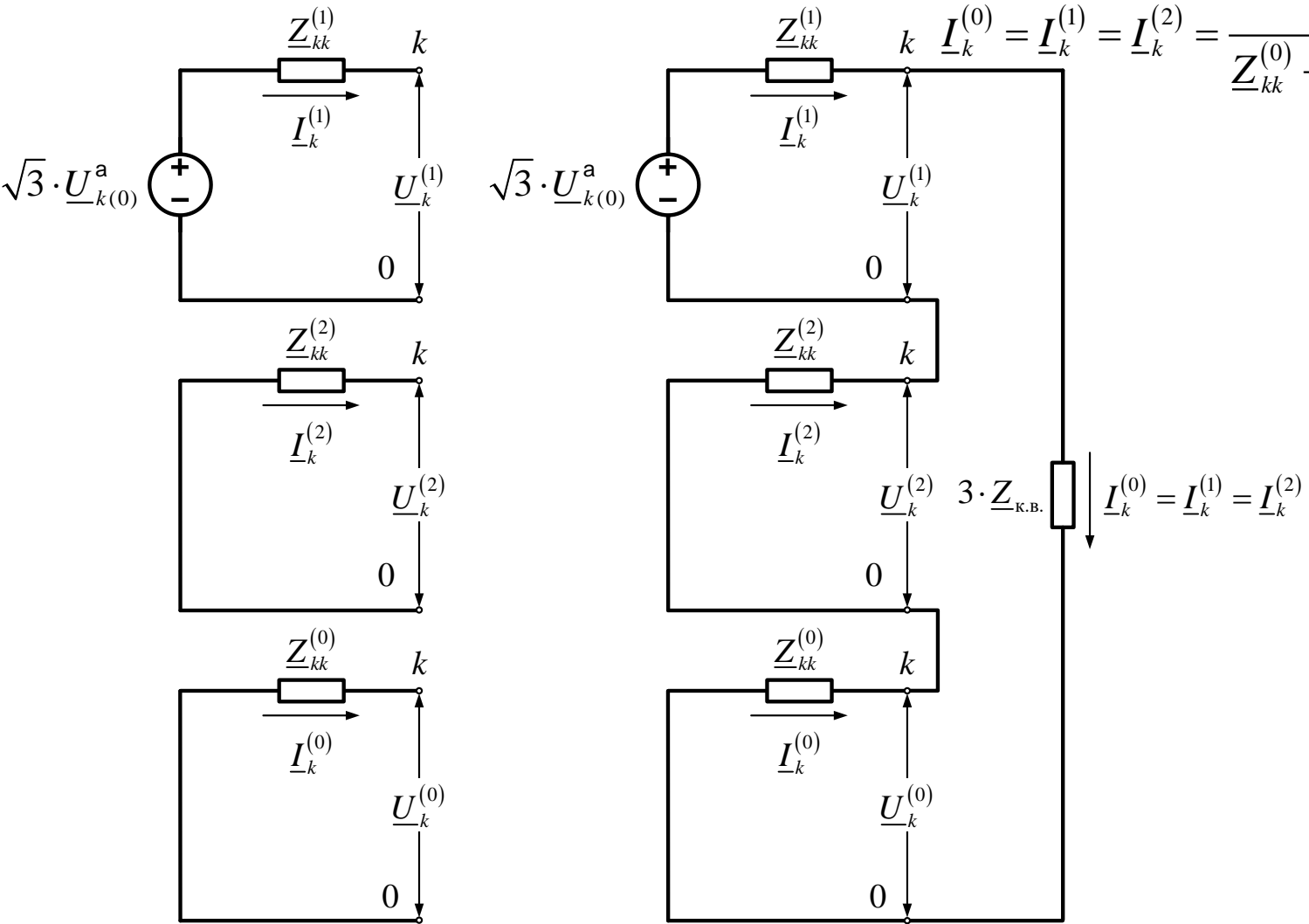
КУСИ ВРСКИ

- Еднофазна куса врска

- Пресметка на струјата на грешка

- еднофазната куса врска може да се симулира со соодветно сериско поврзување на Тевененовите еквиваленти за нулти, директен и инверзен систем со импеданцијата $3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}$, така што струите во овие три системи бидат еднакви

$$\underline{I}_k^{(0)} = \underline{I}_k^{(1)} = \underline{I}_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}$$



КУСИ ВРСКИ

Еднофазна куса врска

Пресметка на напонот во јазолот со грешка

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}, \quad i = k$$

$$\underline{U}_{k(\text{е.К.В.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} -\underline{Z}_{kk}^{(0)} \\ \underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{К.В.}} \\ -\underline{Z}_{kk}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_k^a \\ \underline{U}_k^b \\ \underline{U}_k^c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_k^{(0)} \\ \underline{U}_k^{(1)} \\ \underline{U}_k^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{е.К.В.})}^{a,b,c} = \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 3\underline{Z}_{\text{К.В.}} \\ (\underline{a}^2 - 1)\underline{Z}_{kk}^{(0)} + (\underline{a}^2 - \underline{a})\underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{a}^2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}} \\ (\underline{a} - 1)\underline{Z}_{kk}^{(0)} - (\underline{a}^2 - \underline{a})\underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{a} \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}} \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Пресметка на напоните во останатите јазли

Еднофазна куса врска

$$\underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{e.K.B.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{i(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \underline{I}_{k(\text{e.K.B.})}^{(0)} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{ik}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{i(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(0)} \\ \underline{Z}_{ik}^{(1)} \\ \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{i(0)}^a \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix} - \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(0)} + \underline{Z}_{ik}^{(1)} + \underline{Z}_{ik}^{(2)} \\ \underline{Z}_{ik}^{(0)} + \underline{a}^2 \underline{Z}_{ik}^{(1)} + \underline{a} \underline{Z}_{ik}^{(2)} \\ \underline{Z}_{ik}^{(0)} + \underline{a} \underline{Z}_{ik}^{(1)} + \underline{a}^2 \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Еднофазна куса врска

Пресметка на струите во гранките од мрежата

$$\underline{I}_{i-l(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{i-l}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \left(\underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} - \underline{U}_{l(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} \right)$$

$$\underline{U}_{i(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{i(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(0)} \\ \underline{Z}_{ik}^{(1)} \\ \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{l(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{l(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{lk}^{(0)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(1)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \left(\underline{Z}_{i-l}^{0,1,2} \right)^{-1} \cdot \left(\underline{Z}_{lk}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \right) \cdot \underline{I}_{k(\text{e.K.B.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{i(0)}^{a,b,c} \approx \underline{U}_{l(0)}^{a,b,c}$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{lk}^{(0)} - \underline{Z}_{ik}^{(0)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(2)} - \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

Еднофазна куса врска

Пресметка на струите во гранките од мрежата

$$\underline{I}_{i-l(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{lk}^{(0)} - \underline{Z}_{ik}^{(0)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(2)} - \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{e.K.B.})}^{a,b,c} = \underline{T} \cdot \underline{I}_{i-l(\text{e.K.B.})}^{0,1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{lk}^{(0)} - \underline{Z}_{ik}^{(0)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(1)} \\ \underline{Z}_{lk}^{(2)} - \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{i-l(\text{e.K.B.})}^{a,b,c} = \frac{3 \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + \underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 3\underline{Z}_{\text{K.B.}}} \begin{bmatrix} \underline{Z}_{lk}^{(0)} - \underline{Z}_{ik}^{(0)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

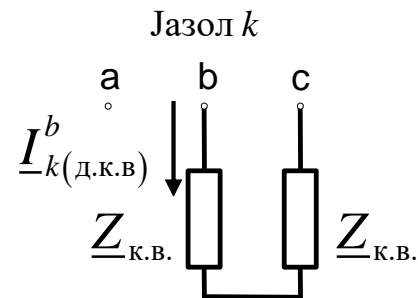
- Двофазна куса врска

- нема струја во нултиот редослед

- двофазната куса врска може да се симулира со соодветно паралелно поврзување на Тевененовите еквиваленти за директен и инверзен редослед, така што струите во овие системи имаат еднаква ефективна вредност, но се со спротивна насока

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_k^{(0)} \\ \underline{I}_k^{(1)} \\ \underline{I}_k^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{I}_k^b \\ -\underline{I}_k^b \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_k^{(0)} &= 0 & \underline{U}_k^b - \underline{U}_k^c &= 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}} \cdot \underline{I}_k^b \\ \underline{I}_k^{(1)} &= -\underline{I}_k^{(2)} & \underline{I}_k^a &= 0 & \underline{I}_k^b &= -\underline{I}_k^c \\ \underline{U}_k^{(0)} &= 0 & & & & \end{aligned}$$



$$\begin{bmatrix} \underline{U}_k^a \\ \underline{U}_k^b \\ \underline{U}_k^c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{U}_k^{(1)} \\ \underline{U}_k^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_k^b - \underline{U}_k^c = \frac{\underline{a}^2 \cdot \underline{U}_k^{(1)} + \underline{a} \cdot \underline{U}_k^{(2)}}{\sqrt{3}} - \frac{\underline{a} \cdot \underline{U}_k^{(1)} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_k^{(2)}}{\sqrt{3}}$$

$$\underline{U}_k^b - \underline{U}_k^c = \frac{(\underline{a}^2 - \underline{a}) \cdot (\underline{U}_k^{(1)} - \underline{U}_k^{(2)})}{\sqrt{3}}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_k^a \\ \underline{I}_k^b \\ \underline{I}_k^c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{I}_k^{(1)} \\ -\underline{I}_k^{(1)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_k^b - \underline{U}_k^c = 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}} \cdot \underline{I}_k^b = \frac{2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}{\sqrt{3}} (\underline{a}^2 - \underline{a}) \cdot \underline{I}_k^{(1)}$$

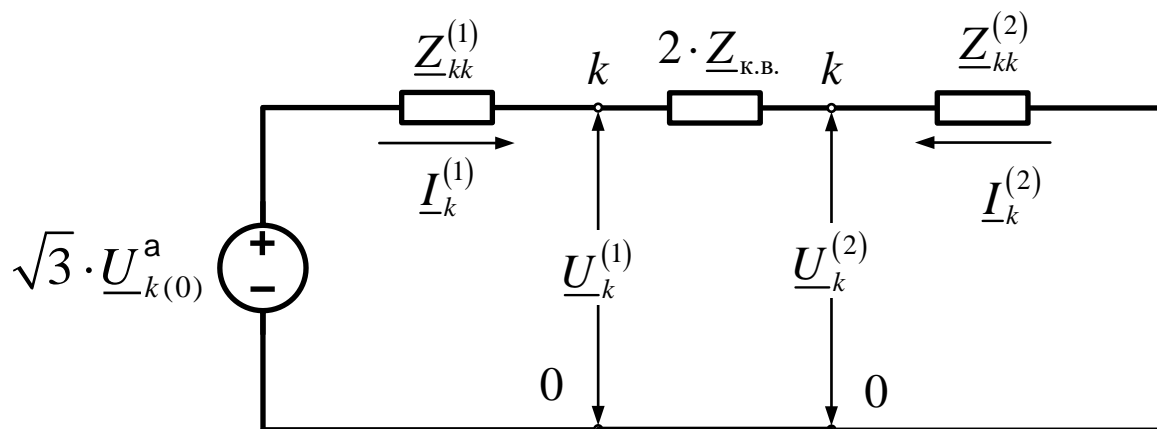
$$(\underline{a}^2 - \underline{a}) \cdot (\underline{U}_k^{(1)} - \underline{U}_k^{(2)}) = 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}} \cdot (\underline{a}^2 - \underline{a}) \cdot \underline{I}_k^{(1)}$$

$$\underline{U}_k^{(1)} - \underline{U}_k^{(2)} = 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}} \cdot \underline{I}_k^{(1)}$$

КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куса врска

- нема струја во нултиот редослед
- двофазната куса врска може да се симулира со соодветно паралелно поврзување на Тевененовите еквиваленти за директен и инверзен редослед, така што струите во овие системи имаат еднаква ефективна вредност, но се со спротивна насока



$$\underline{U}_k^{(1)} - \underline{U}_k^{(2)} = 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}} \cdot \underline{I}_k^{(1)}$$

$$\underline{I}_k^{(1)} = -\underline{I}_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}$$

$$\underline{I}_{k(\text{д.к.в.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{д.к.в.})}^{a,b,c} = \frac{(\underline{a}^2 - \underline{a}) \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куса врска

– напон на гранката на куса врска и останатите јазли

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{I}_{k(\text{Д.К.В.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{Д.К.В.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}} \\ \underline{Z}_{kk}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{Д.К.В.})}^{a,b,c} = \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 2 \cdot \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}} \\ -\underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{a}^2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}} \\ -\underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{a} \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{i(\text{Д.К.В.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{Z}_{ik}^{(1)} \\ -\underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{i(\text{Д.К.В.})}^{a,b,c} = \underline{U}_{k(0)}^a \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \underline{a}^2 \\ \underline{a} \end{bmatrix} - \frac{\underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)} + 2 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ik}^{(1)} - \underline{Z}_{ik}^{(2)} \\ \underline{a}^2 \cdot \underline{Z}_{ik}^{(1)} - \underline{a} \cdot \underline{Z}_{ik}^{(2)} \\ \underline{a} \cdot \underline{Z}_{ik}^{(1)} - \underline{a}^2 \cdot \underline{Z}_{ik}^{(2)} \end{bmatrix}$$

КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куца врска со земја
 - струи постојат во сите три симетрични системи

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_k^{(0)} \\ \underline{I}_k^{(1)} \\ \underline{I}_k^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{I}_k^b \\ \underline{I}_k^c \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_k^b = \underline{U}_k^c = (\underline{I}_k^b + \underline{I}_k^c) \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}$$

$$\underline{I}_k^{(0)} = \frac{\underline{I}_k^b + \underline{I}_k^c}{\sqrt{3}}$$

$$\underline{U}_k^b = \underline{U}_k^c = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_k^{(0)} \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_k^{(0)} \\ \underline{U}_k^{(1)} \\ \underline{U}_k^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_k^a \\ \underline{U}_k^b \\ \underline{U}_k^c \end{bmatrix}$$

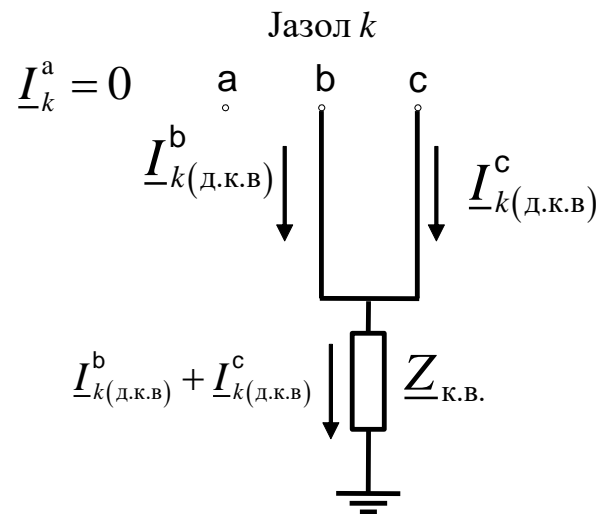
$$\sqrt{3} \cdot \underline{U}_k^{(0)} = \underline{U}_k^a + 2 \cdot \underline{U}_k^b$$

$$\underline{U}_k^{(1)} = \underline{U}_k^{(2)}$$

$$\sqrt{3} \cdot \underline{U}_k^{(0)} = \frac{\underline{U}_k^{(0)} + \underline{U}_k^{(1)} + \underline{U}_k^{(2)}}{\sqrt{3}} + 2 \cdot (\sqrt{3} \cdot \underline{I}_k^{(0)} \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})$$

$$3 \cdot \underline{U}_k^{(0)} = \underline{U}_k^{(0)} + 2 \cdot \underline{U}_k^{(1)} + 2 \cdot (3 \cdot \underline{I}_k^{(0)} \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})$$

$$\underline{U}_k^{(1)} = \underline{U}_k^{(2)} = \underline{U}_k^{(0)} - 3 \cdot \underline{I}_k^{(0)} \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}$$



$$\begin{bmatrix} \underline{I}_k^a \\ \underline{I}_k^b \\ \underline{I}_k^c \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_k^{(0)} \\ \underline{I}_k^{(1)} \\ \underline{I}_k^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_k^a = \underline{I}_k^{(0)} + \underline{I}_k^{(1)} + \underline{I}_k^{(2)} = 0$$

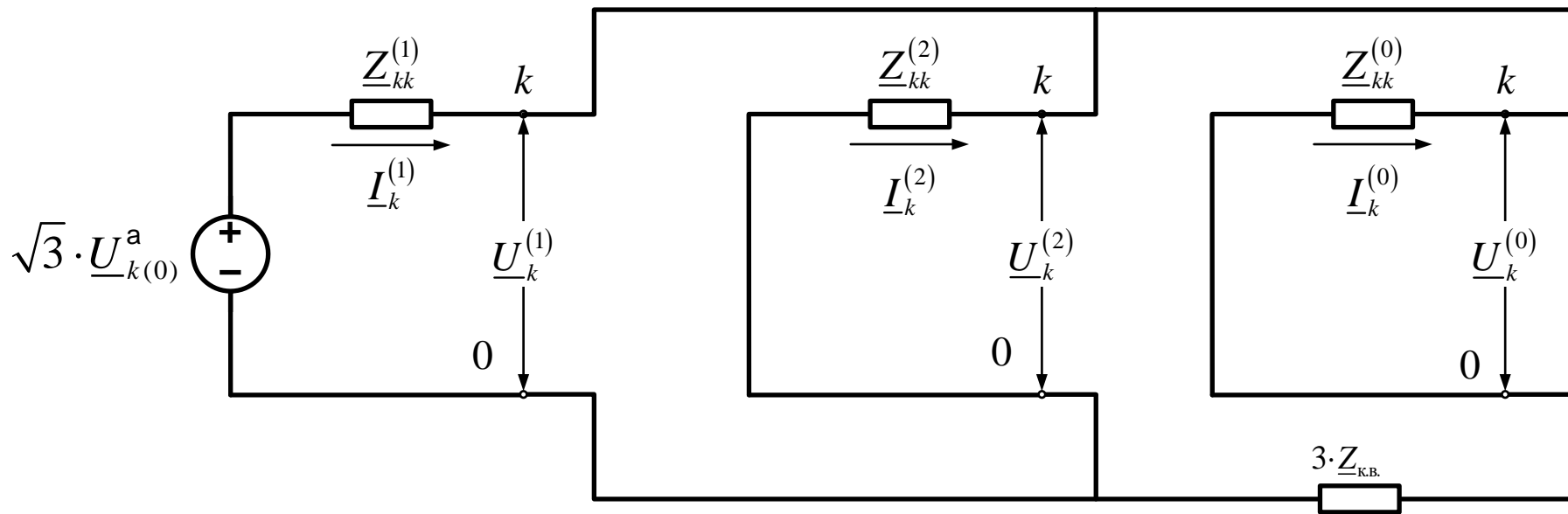
КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куса врска со земја

- кусата врска може да се симулира ако Тевененовите еквиваленти за симетричните системи се поврзат паралелно така што се задоволени следниве релации

$$\underline{I}_k^{(0)} + \underline{I}_k^{(1)} + \underline{I}_k^{(2)} = 0$$

$$\underline{U}_k^{(1)} = \underline{U}_k^{(2)} = \underline{U}_k^{(0)} - 3 \cdot \underline{I}_k^{(0)} \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}$$



$$\underline{I}_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \frac{\underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot (\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{К.В.}}}$$

$$\underline{Z}_{\text{К.В.}} = \underline{Z}_{kk}^{(2)} \parallel (\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}) = \frac{\underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot (\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}}$$

КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куса врска со земја

$$\underline{I}_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{екв.}}}$$

$$\underline{I}_k^{(2)} = -\underline{I}_k^{(1)} \frac{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}$$

$$\underline{I}_k^{(0)} = -\underline{I}_k^{(1)} \frac{\underline{Z}_{kk}^{(2)}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}$$

$$\underline{I}_{k(\text{д.к.в.+3.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{екв.}}} \cdot \begin{bmatrix} -\frac{\underline{Z}_{kk}^{(2)}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}} \\ 1 \\ -\frac{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{к.в.}}} \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_{k(\text{д.к.в.+3.})}^{a,b,c} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \underline{I}_{k(\text{д.к.в.+3.})}^{0,1,2}$$

КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куса врска со земја

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \underline{U}_{i(0)}^{0,1,2} - \underline{Z}_{ik}^{0,1,2} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{I}_{k(\text{Д.К.В.+3.})}^{0,1,2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{КВ.}}}$$

$$\left[\begin{array}{c} \frac{\underline{Z}_{kk}^{(2)}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \\ 1 \\ \frac{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \end{array} \right]$$

$$\underline{U}_{i(\text{К.В.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{Z}_{kk}^{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{kk}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{kk}^{(2)} \end{bmatrix} \cdot \underline{I}_{k(\text{К.В.})}^{0,1,2}$$

$$\underline{U}_{i(\text{Д.К.В.+3.})}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \underline{I}_{k(\text{Д.К.В.+3.})}^{0,1,2} \cdot \begin{bmatrix} \frac{-\underline{Z}_{kk}^{(0)} \cdot \underline{Z}_{kk}^{(2)}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \\ \underline{Z}_{kk}^{(1)} \\ \frac{-\underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot (\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_{\text{КВ.}} = \frac{\underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot (\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}}$$

КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куса врска со земја

$$\underline{U}_{i(\text{Д.К.В.}+3.)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{\text{екв.}}} \cdot \begin{bmatrix} \frac{-\underline{Z}_{kk}^{(0)} \cdot \underline{Z}_{kk}^{(2)}}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \\ \underline{Z}_{kk}^{(1)} \\ \frac{-\underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot (\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \end{bmatrix} \quad \underline{Z}_{\text{екв.}} = \frac{\underline{Z}_{kk}^{(2)} \cdot (\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}})}{\underline{Z}_{kk}^{(2)} + \underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}}$$

$$\underline{U}_{i(\text{Д.К.В.}+3.)}^{0,1,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a \\ 0 \end{bmatrix} - \underline{I}_{k(\text{Д.К.В.}+3.)}^{0,1,2} \cdot \begin{bmatrix} \frac{-\underline{Z}_{kk}^{(0)} \cdot \underline{Z}_{\text{екв.}}}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{К.В.}}} \\ \underline{Z}_{kk}^{(1)} \\ -\underline{Z}_{\text{екв.}} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{k(\text{Д.К.В.}+3.)}^{a,b,c} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \underline{U}_{k(\text{Д.К.В.}+3.)}^{0,1,2}$$

КУСИ ВРСКИ

- Двофазна куса врска со земја

- ако не постои врска со земја, колото за нултиот редослед е отворено и релациите се идентични како тие за двофазна куса врска кога $\underline{Z}_{к.в.} = 0$

$$\underline{Z}_{\text{екв.}} = \underline{Z}_{kk}^{(2)} \quad \underline{I}_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)}} = -\underline{I}_k^{(2)} \quad \underline{I}_k^{(0)} = 0 \quad \underline{I}_{k(\text{д.к.в.+з.})}^{0,1,2} \rightarrow \underline{I}_{k(\text{д.к.в.})}^{0,1,2} = -\frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_{k(0)}^a}{\underline{Z}_{kk}^{(1)} + \underline{Z}_{kk}^{(2)}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$