

# 7 Вибір струмоведучих частин

## Типи провідників, які застосовуються на головних ділянках

*В РП 35 кВ і вище* струмоведучі частини, як правило, виконуються сталю-алюмінієвими проводами АС.

*Ділянка трансформатора власних потреб (ТВП).* Від стіни ГРП до виводів ТВП, встановленого поблизу ГРП, з'єднання виконується жорсткими алюмінієвими шинами. Якщо трансформатор ВП встановлюється біля фасадної стіни головного корпусу, то ділянка до виводів ТВП виконується гнучким струмопроводом. Від трансформатора до розподільного пристрою ВП застосовується кабельне з'єднання.

*В колах ліній 6-10 кВ* вся ошиновка до реактора і за ним, а також в шафах комплектних РП виконується прямокутними алюмінієвими шинами або жорстка ошиновка. Безпосередньо до споживачів відходять кабельні лінії.

*В блоці генератор-трансформатор* на КЕС ділянка від генератора до блочного трансформатора та відпайка до трансформатора ВП виконуються комплектним пофазно-екранованим струмопроводом.

*На ділянці від ТВП до РП ВП* застосовується закритий струмопровід 6 кВ.

*Резервний трансформатор ВП з РП* високої напруги може бути зв'язаний кабелем або гнучким проводом. Так само ошиновка в РП 35 кВ і вище виконується проводом АС.

## 7.1 Вибір збірних шин

*За економічною густиною струму перевіряються* гнучкі проводи напругою більше 35 кВ, проводи довгих зв'язків блочних генераторів з ВРП, гнучкі струмопроводи генераторної напруги. Переріз округлюється до найближчого стандартного.

*Перевірки за економічною густиною струму не підлягають :*

- мережі промислових підприємств та споруд напругою до 1 кВ при  $T_{\max}$  до 4000 год.;
- відгалуження до окремих електроприймачів  $U < 1$  кВ, а також освітлювальні мережі;
- **збірні шини** електроустановок і ошиновка в межах відкритих та закритих РП всіх напруг

**Вибір шин здійснюється:**

*Перевірка перерізу на нагрівання (за допустимим струмом)*

за струмом обтяженого режиму:  $I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}$

## Визначення струму обтяженого

**режиму  
Приєднання**

Приєднання	Розрахункова формула для визначення $I_{p.max}$
Генератор	$\frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 0,95 \cdot \cos \varphi_{ном}}$
Двообмотковий трансформатор	$1,5 \cdot \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$
Триобмотковий трансформатор або автотрансформатор:	$1,5 \cdot \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$
- на електростанції	
- на підстанції	$\frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$
Лінія:	$\frac{S_{навант.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$
- одна	
- n паралельних ліній	$\frac{n}{n-1} \cdot \frac{S_{навант.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$
Збірні шини, шиноз'єднувальний вимикач	Струм найпотужнішого генератора або трансформатора
Груповий здвоєний реактор з лініями, підключеними до однієї вітки реактора	$\frac{n}{n-1} \cdot \frac{S_{навант.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$

## Визначимо струми обтяжених режимів

ЛЕП:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} \quad I_{\text{НОМ}} = \frac{900}{\sqrt{3} \cdot 500 \cdot 0,9} = 1,154 \text{ (кА)}$$

$$K = \frac{n}{n-1} = \frac{4}{4-1} = 1,333 \quad I_{\text{НОМ}} = K \cdot I = 1,333 \cdot 1,154 = 1,538 \text{ (кА)}$$

Генератор:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad I_{\text{НОМ}} = \frac{1111}{\sqrt{3} \cdot 500} = 1,282 \text{ (кА)}$$

$$I_{\text{НОМ}} = K \cdot I = \frac{1}{0,95} \cdot 1,282 = 1,349 \text{ (кА)}$$

АТ  
3:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad I_{\text{НОМ}} = \frac{3 \cdot 167}{\sqrt{3} \cdot 500} = 0,578 \text{ (кА)}$$

$$I_{\text{НОМ}} = K \cdot I = 1,5 \cdot 0,578 = 0,867 \text{ (кА)}$$

Вибираємо по струму найбільш потужного приєднання - ЛЕП=1,538 (кА)

## Вибір збірних шин

Вибираємо шини з проводу  $3 \times \text{АС } 600/72$

$$I_{\text{доп}} = 3 \times 1050 \text{ А}; \quad d = 33,2 \text{ мм.}$$

Перевірка по допустимому струму:

$$I_{\text{доп}} = 3 \cdot 1050 = 3150 \text{ А} > I_{\text{р.мах}} = 1,538 \text{ А.}$$

*Перевірка за умовами корони* необхідна для гнучких провідників при напрузі 35 кВ і вище.

Розряд у вигляді корони виникає біля проводів при високих напруженостях електричного поля. Процеси іонізації повітря біля проводу призводять до додаткових втрат енергії, до виникнення радіозавад та утворення озону, який негативно впливає на контактні поверхні.

Проводи не будуть коронувати, якщо найбільша напруженість поля біля поверхні будь-якого проводу не більше  $0,9 \cdot E_0$

Таким чином, умову виникнення корони можна записати у вигляді

$$0,9 \cdot E_0 \geq 1,07 \cdot E$$

## Перевірка за умовами корони

Розряд у вигляді корони виникає при максимальному значенні початкової критичної напруженості електричного поля, кВ/см:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right),$$

де  $m$  - коефіцієнт, який враховує шорсткість поверхні проводу (для багатопроволочних проводів  $m = 0,82$ );  $r_0$  - радіус проводу, см

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,66}} \right) = 30,611 \text{ (кВ/см)}$$

$$r_0 = d / 20 = 1,66 \text{ см} - \text{радіус проводу} \quad d = 33,2 \text{ мм}$$

Провід марки АС – алюмінієвий зі стальними жилами



## Перевірка за умовами корони

Напруженість електричного поля біля розщеплених проводів

$$E = K \cdot \frac{0,354 \cdot U}{n \cdot r_0 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_{ek}}}, \quad \text{кВ/см}$$

де **K** - коефіцієнт, який враховує кількість проводів в фазі;

**U<sub>max</sub>** - максимальна допустима напруга установки, кВ;

**r<sub>ек</sub>** - еквівалентний радіус розщеплених проводів, см;

**D<sub>cp</sub>** - середня геометрична відстань між проводами фаз, см

(при горизонтальному розташуванні фаз **D<sub>cp</sub> = 1,26 · D**);

**n** - кількість проводів в фазі

## Перевірка за умовами корони

Показник	Число проводів у фазі			
	1	2	3	4
Коефіцієнт К	1	$1 + 2 \cdot \frac{r_0}{a}$	$1 + 2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{r_0}{a}$	$1 + 3 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{r_0}{a}$
Еквівалентний радіус $r_{ек}$ , см	$r_0$	$\sqrt{r_0 \cdot a}$	$\sqrt[3]{r_0 \cdot a^2}$	$\sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r_0 \cdot a^3}$

Відстань між проводами в розщепленій фазі  $a$  приймається в установках 220 кВ рівною 20-30 см, в установках 330-750 кВ - 40 см



## Перевірка за умовами корони

Розрахунок напруженості електричного поля біля розщеплених проводів

$K$  – коефіцієнт, що враховує кількість проводів  $n=3$  в фазі

$$K = 1 + 2 \sqrt{3} \cdot r_0 / a \qquad K = 1 + 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,66 / 40 = 1,143$$

$r_{ек}$  – еквівалентний радіус розщеплених проводів у фазі

$$r_{ек} = \sqrt[3]{r_0 \cdot a^2} \qquad r_{ек} = \sqrt[3]{1,66 \cdot 40^2} = 13,848(\text{см})$$

$D_{ср}$  – середня геометрична відстань між проводами фаз, см

$$D \text{ – відстань між фазами, см} \qquad D_{ср} = 1,26 \qquad D_{ср} = 1,26 \cdot 600 = 756(\text{см})$$

Показник	Струмопроводи генераторної напруги	Збірні шини ВРП, кВ						
		35	110	150	220	330	500	750
D, м	3,0	1,5	3,0	3,5	4,0	4,5	6,0	10

## *Перевірка за умовами корони*

Напруженість електричного поля біля розщеплених проводів

$$E = 1,143 \cdot \frac{0,354 \cdot 525}{3 \cdot 1,66 \cdot \lg\left(\frac{756}{13,848}\right)} = 24,571 \text{ (кВ/см)}$$

$$0,9 \cdot 30,973 = 27,549 \text{ (кВ/см)} > 1,07 \cdot 24,571 = 26,29 \text{ (кВ/см)}$$

Умова виконується, отже, проводи не будуть коронувати

## *Вибраний переріз не перевіряється на термічну дію струму КЗ*

Так як шини виконані голими проводами на відкритому повітрі

## *Перевірка на електродинамічну стійкість*

На електродинамічну дію струму КЗ перевіряються гнучкі шини РП при

$$I_{п,о}^{(3)} \geq 20 \text{ кА і проводи повітряних ліній при } I_y \geq 50 \text{ кА}$$

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	$I_{п0}$ , кА	$I_{пт}$ , кА	$i_{ат}$ , кА	$I_y$ , кА
$K_1$	Сума	17,773	14,917	16,16	48,754

Перевірку шин на електродинамічну стійкість не виконуємо оскільки

$$I_{п0} = 17,773 \text{ кА} < 20 \text{ кА}; \quad I_y = 48,754 < 50 \text{ кА}$$

## *Перевірка на електродинамічну стійкість*

При великих струмах КЗ проводи в фазах в результаті динамічної взаємодії можуть настільки зближуватися, що відбудеться схрещення або пробій між фазами. Найбільше наближення фаз спостерігається при двофазному КЗ між сусідніми фазами, коли проводи спочатку відкидаються в протилежні сторони, а потім після відключення струму КЗ рухаються назустріч один одному. Їх зближення буде тим більшим, чим менша відстань між фазами, чим більша стріла провисання і чим більша тривалість протікання і значення струму КЗ. Зближення гнучких струмопроводів при протіканні струмів КЗ може бути визначено за наступним методом.

Зусилля від тривалого протікання струму двофазного КЗ визначається, Н/м:

$$f = 0,15 \cdot \frac{I_{п,о}^{(3)2}}{D},$$

де  $I_{п,о}^{(3)}$  - періодична складова струму при трифазному КЗ, кА;  
D - відстань між фазами, м

## *Перевірка на електродинамічну стійкість*

Визначають силу тяжіння 1 м струмопроводу з врахуванням розпорок в середині фаз, Н/м:

$$g = 1,1 \cdot 9,8 \cdot m,$$

де  $m$  - маса 1 м струмопроводу, кг

Визначають співвідношення  $\frac{\sqrt{h}}{t_{ек}}$ , де  $h$  - максимальна розрахункова

стріла провисання в кожному прогоні при максимальній розрахунковій температурі, м (для ВРП не більше ніж 2-2,5 м);

$t_{ек}$  - еквівалентний за імпульсом час дії швидкодіючого захисту, с.

Для віток генераторів і трансформаторів в середньому

$$t_{ек} = t_з + 0,05,$$

де  $t_з$  - дійсна витримка часу захисту від струмів КЗ; 0,05 - враховує вплив аперіодичної складової

## Перевірка на електродинамічну стійкість

В залежності від  $\frac{\sqrt{h}}{t_{ек}}$  та  $\frac{f}{g}$

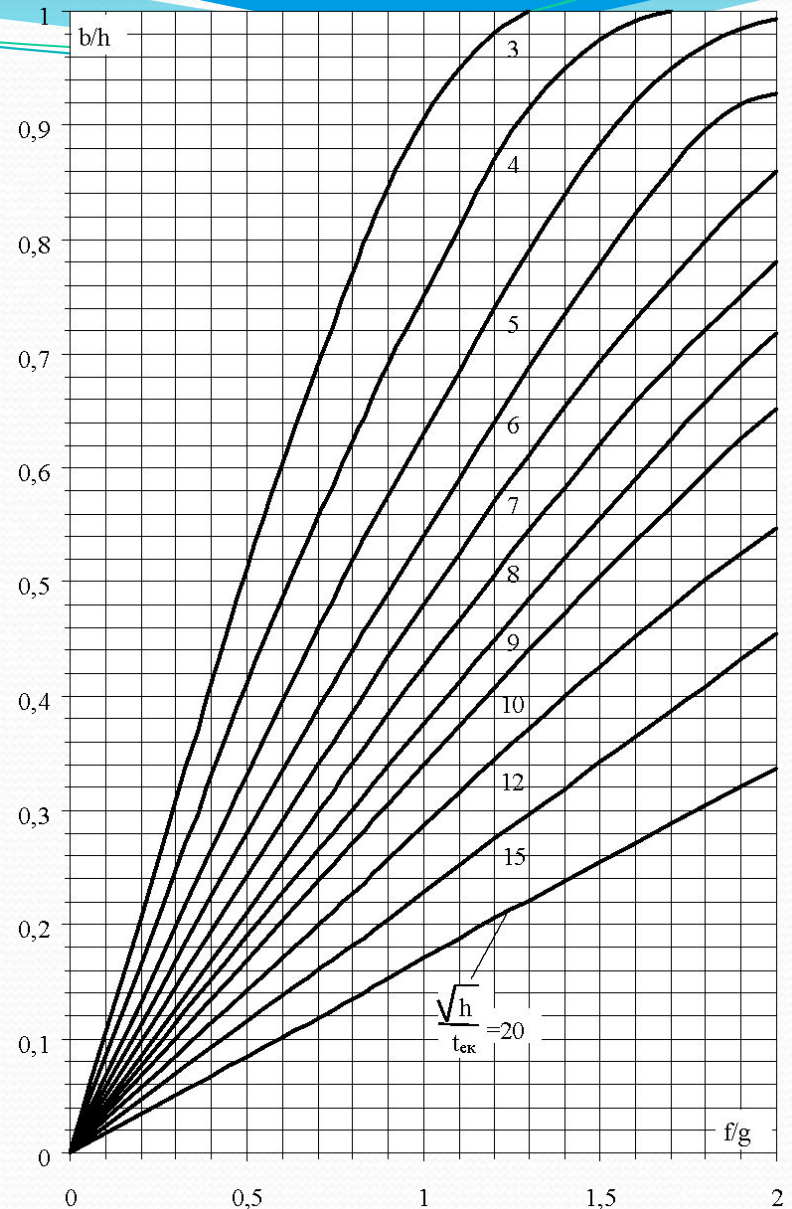
за діаграмою відхилення гнучкого струмопроводу з горизонтальним розташуванням фаз під дією струмів КЗ, визначають відхилення проводу  $b$ , м

Знайдене значення  $b$  порівнюють з максимально допустимим

$$b_{доп} = \frac{D - d - a_{доп}}{2},$$

де  $d$  - діаметр струмопроводу, м

$a_{доп}$  - найменша допустима відстань між сусідніми фазами в момент їх найбільшого зближення, м



## *Перевірка на електродинамічну стійкість*

Якщо з'ясується, що  $b > b_{\text{доп}}$  то необхідно зменшити стрілу провисання або збільшити відстань між фазами. Для зменшення стріли провисання, встановлюють додаткові опори, тобто фактично зменшують прогін.

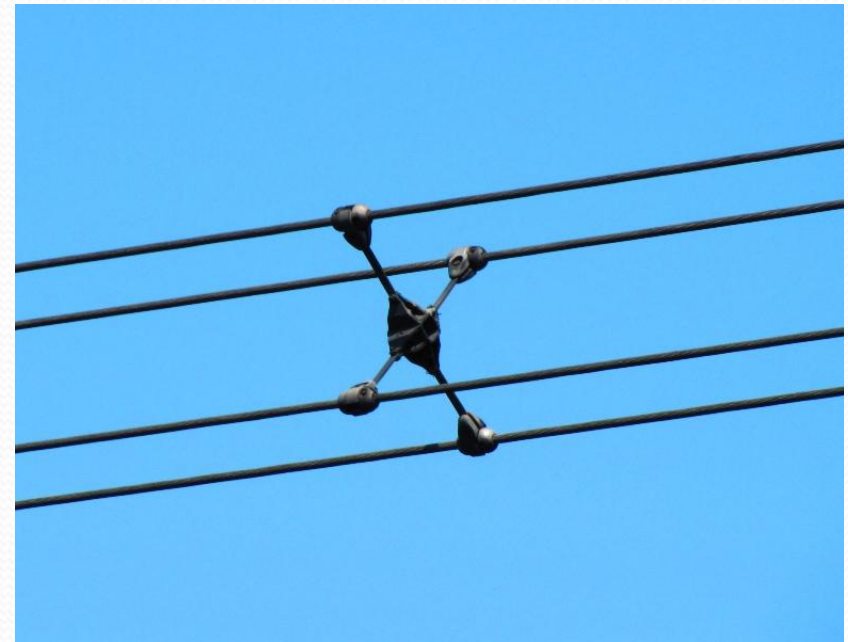
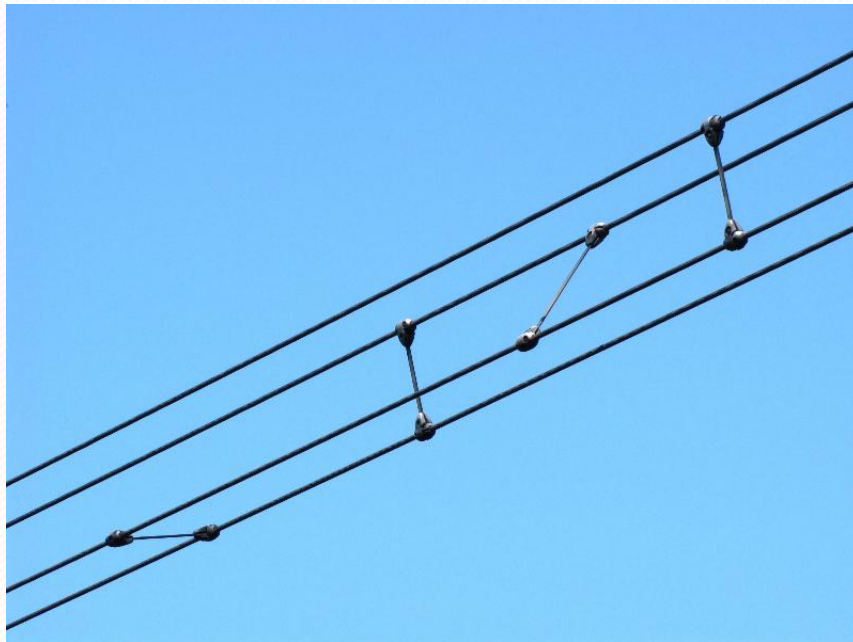
*Гнучкі струмопроводи з розщепленими фазами перевіряють також на електродинамічну взаємодію провідників однієї фази. Зусилля на кожний провід від взаємодії з рештою  $n-1$  проводів складає, Н/м*

$$f_{\text{ц}} = \frac{n-1}{n^2} \cdot 0,2 \cdot \frac{I_{\text{п,о}}^{(3)2}}{d},$$

де  $n$  - число проводів в фазі;  $d$  - діаметр фази, м

Для фіксації проводів та зменшення імпульсних зусиль в них встановлюють внутрішньофазові (дистанційні) розпірки

## *Встановлення розпорок всередині розщепленої фази*



Під дією імпульсних зусиль  $f_{\text{ц}}$  провідники прагнуть наблизитися до центру. Для фіксації проводів та зменшення імпульсних зусиль в них встановлюють внутрішньофазові (дистанційні) розпірки. На ділянках проводу поблизу джерел живлення відстань між ними може скласти 3-5 м, а на віддалених прогонах по мірі зменшення струмів КЗ ця відстань збільшується. Якщо за умовою електродинамічної стійкості дистанційних розпорок не потрібно, то їх встановлюють через 15 м для фіксації проводів розщепленої фази

## 7.2 Вибір гнучких шин

За економічною густиною струму перевіряються гнучкі проводи напругою більше 35 кВ, проводи довгих зв'язків блочних генераторів з ВРП, гнучкі струмопроводи генераторної напруги.

$$q_{ек} = \frac{I_{роб.н}}{j_{ек}};$$

Економічна густина струму  $j_{ек}$ , А/мм<sup>2</sup>

Провідник	T <sub>max</sub> , год.		
	до 3000	3000 ... 5000	понад 5000
<b>Неізольовані проводи і шини:</b>			
з міді	2,5	2,1	1,8
з алюмінію	1,3	1,1	1,0
<b>Кабелі з паперовою, провід з гумовою ізоляцією і жилами:</b>			
з міді	3,0	2,5	2,0
з алюмінію	1,6	1,4	1,2
<b>Кабелі з гумовою і пластмасовою ізоляцією і жилами:</b>			
з міді	3,5	3,1	2,7
з алюмінію	1,9	1,7	1,6



## *Перевірка за економічною густиною струму*

- Гнучкими шинами виконують приєднання від ВРП до
- автотрансформатора зв'язу АТЗ
  - блоку генератор-трансформатор
  - пуско-резервного трансформатора власних потреб ПРТВП (якщо є)
  - лінію електропередачі ПЛЕП

Ділянка ВРП-500 кВ – БТ 4

*по економічній густині струму*

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{НОМ.Г}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad I_{\text{норм}} = \frac{1111}{\sqrt{3} \cdot 500} = 1,282 \text{ (кА)}$$

$$\sigma_{\text{ек}} \Rightarrow \frac{1282}{1} = 1282 \text{ (}^2\text{)}$$

Отриманий економічний переріз є мінімально допустимим для даного приєднання

## *Перевірка за економічною густиною струму*

Вибираємо шини з проводу 3×АС 600/72

Отриманий економічний переріз є мінімально допустимим для даного приєднання

$$q = 3 \cdot 600 = 1800 \text{ мм}^2 > q_{\text{ек}} = 1282 \text{ мм}^2$$

Умова виконується

## *Перевірка по допустимому струму*

$$I_{\text{доп}} = 3 \times 1050 \text{ А} \quad I_{\text{доп}} = 3 \cdot 1050 = 3150 \text{ А} > I_{\text{р.мак}} = 1,538 \text{ А.}$$

Інші перевірки виконуються аналогічно до вибору збірних шин.

А саме:

- перевірка за умовами корони;
- перевірка на електродинамічну стійкість.

# *Приклади застосування гнучких шин*



### 7.3 Вибір жорстких шин

В РП 6-10 кВ ошиновка і збірні шини виконуються жорсткими алюмінієвими шинами. При струмах до 2000 А застосовуються одно- та двохполосні шини. При великих струмах рекомендуються шини коробчастого перерізу

Згідно з ПУЕ збірні шини електроустановок і ошиновка в межах відкритих і закритих РП всіх напруг *за економічною густиною не перевіряються.*

*Вибір перерізу шин здійснюється за нагрівом* (за допустимим струмом) Умова вибору

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$$

$$I_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{\text{ном.ПРТВП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,887$$

## *Перевірка жорстких шин за нагрівом*

За умовами експлуатації беремо алюмінієві шини коробчатого перерізу

2(100×45×6),  $I_{\text{доп}} = 3500 \text{ (А)}$ ;  $q = 2 \times 1010 = 2020 \text{ (мм}^2\text{)}$

По умовам нагріву в тривалому режимі шини проходять

$$I_{\text{max}} = 2887 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 3500 \text{ А}$$

## *Приклади використання жорстких шин*



## *Перевірка шин на електродинамічну стійкість*

Жорсткі шини, закріплені на ізоляторах, є динамічною коливальною системою, яка знаходиться під впливом електродинамічних сил. В такій системі виникають коливання, частота яких залежить від маси і жорсткості конструкцій. Якщо власні частоти менші за 30 і більше 200 Гц, то механічного резонансу не виникає. При проектуванні нових конструкцій РП з жорсткими шинами визначення частоти власних коливань здійснюється за виразом

$$f_0 = \frac{K}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}},$$

де **K** - коефіцієнт, що враховує матеріал шин  
(для алюмінія - 173,2; для міді - 125,2);

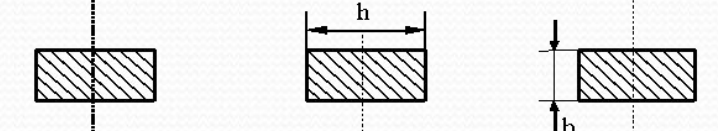
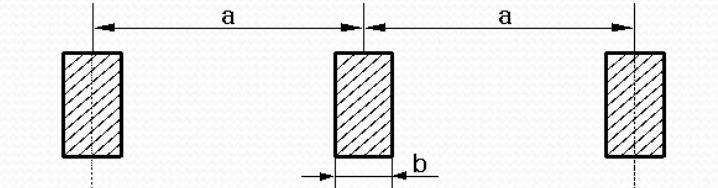
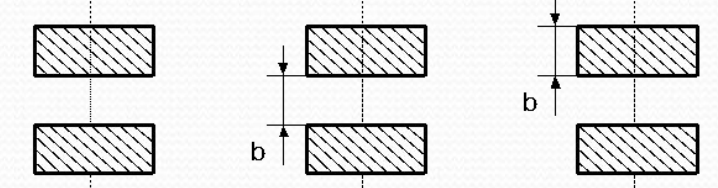
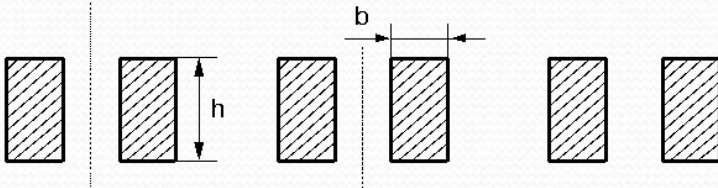
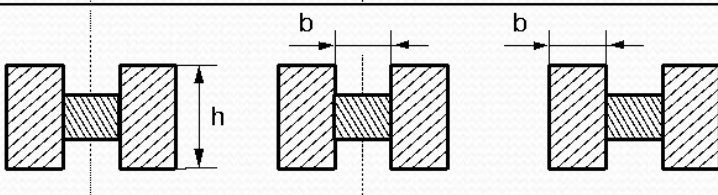
**l** - довжина прогону між ізоляторами, м;

**J** - момент інерції поперечного перерізу шини відносно осі, яка перпендикулярна до напрямку згинальної сили, см<sup>4</sup>;

**q** - поперечний переріз шини, см<sup>2</sup>

# Перевірка шин на електродинамічну стійкість

## Моменти опору і інерції

Розташування шини	Момент інерції	Момент опору
	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	$\frac{b \cdot h^2}{6}$
	$\frac{h \cdot b^3}{12}$	$\frac{h \cdot b^2}{6}$
	$\frac{b \cdot h^3}{6}$	$\frac{b \cdot h^2}{3}$
	$\frac{h \cdot b^3}{6}$	$\frac{h \cdot b^2}{3}$
	$0,72 \cdot b^3 \cdot h$	$1,44 \cdot b^2 \cdot h$

## Механічний розрахунок шин

Шини механічно міцні, якщо

$$\sigma_{розр} \leq \sigma_{доп}$$

$\sigma_{розр}$   $\sigma_{доп}$  - розрахункові і допустимі механічні напруги в матеріалі шин

Механічні характеристики матеріалу шин

Матеріал	Марка	Допустима напруга $\sigma_{доп}$ , МПа	Модуль пружності E, Па
Алюміній	АДО	40	$7 \cdot 10^{10}$
Алюмінієвий сплав	АДЗІТ	75	-
	АДЗІТІ	90	-
Мідь	МГТ	140	$10 \cdot 10^{10}$
Сталь	Ст3	160	$20 \cdot 10^{10}$



## *Механічний розрахунок шин*

### *Однополосні шини*

Напруга в матеріалі шин, яка виникає під впливом згинального моменту, МПа

$$\sigma_{\text{розр}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{i_y^2 \cdot l^2}{W \cdot a'}$$

де  $i_y$  - ударний струм КЗ, кА;

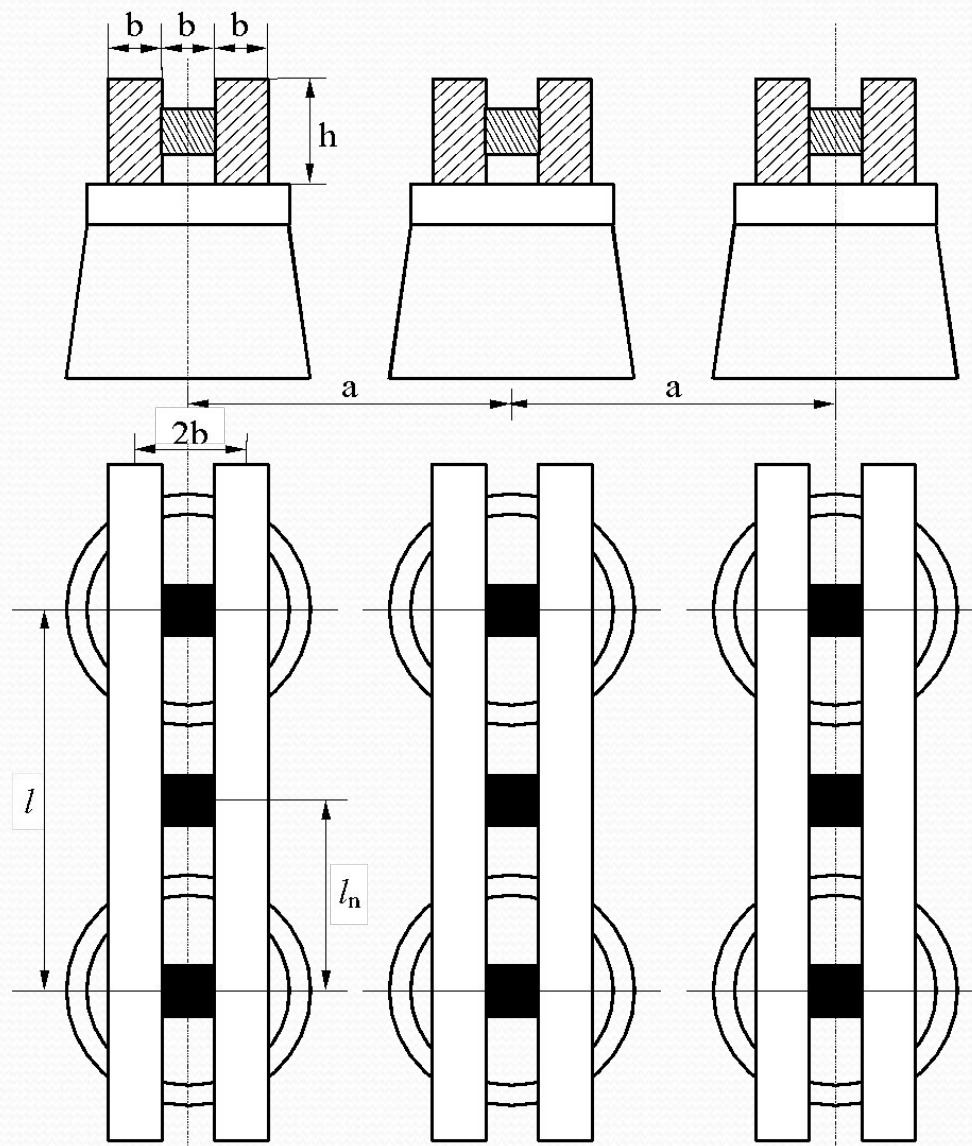
$a$  - відстань між фазами, м;  $a=0,8$  м

$W$  - момент опору шини відносно осі, перпендикулярної до дії зусилля, см<sup>3</sup>

### *Двохполосні шини*

Якщо кожна фаза виконується з двох полос, то виникають зусилля між полосами і між фазами. Для того щоб зменшити це зусилля, в прогоні між полосами встановлюють прокладки. Прогін між прокладками  $l_{\text{п}}$  вибирається таким, щоб електродинамічні сили, що виникають при КЗ, не викликали дотику полос

# Механічний розрахунок шин



Ескіз розташування двополосних шин

# Механічний розрахунок шин

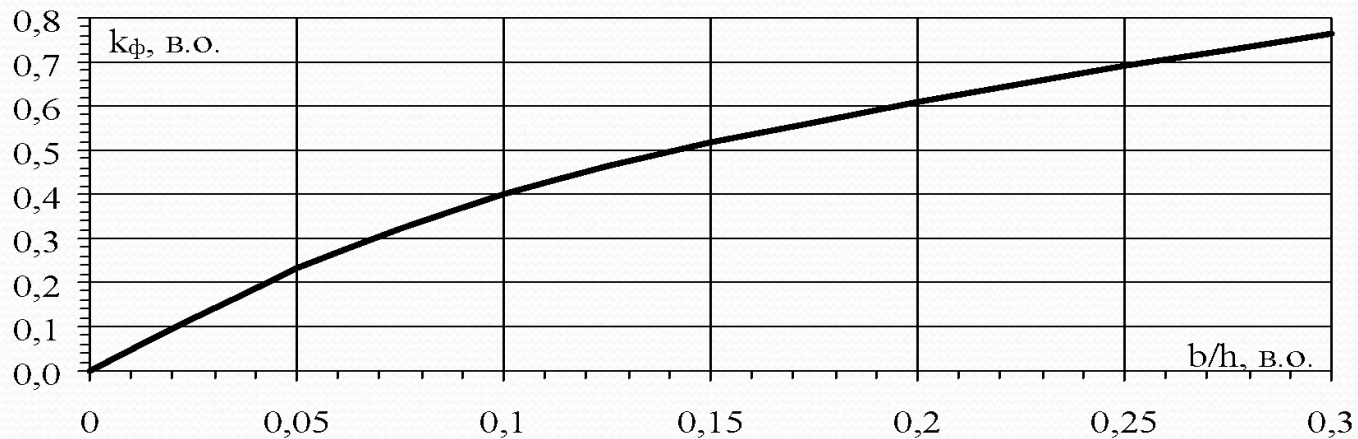
## Двохполосні шини

Прогін  $l_n$ , м визначається як  $l_n \leq 0,216 \cdot \sqrt{\frac{a_n}{i_y^{(3)}}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_n}{K_\phi}}$ ,

де  $a_n$  - відстань між осями полос, см;

$$J_n = \frac{h \cdot b^3}{12} \quad - \text{момент інерції полоси, см}^4$$

$K_\phi$  - коефіцієнт форми;  $E$  - модуль пружності матеріалу шин, Па



Криві для визначення коефіцієнта форми для двохполосних шин при  $a = 2 \cdot b$

# Механічний розрахунок шин

## Двохполосні шини

Механічна система дві полоси-ізолятори повинна мати частоту власних коливань більшу за 200 Гц, щоб не виникало різкого збільшення зусилля в результаті механічного резонансу. Виходячи з цього величина  $l_{\Pi}$  вибирається ще за однієї умови

$$l_{\Pi} \leq 0,133 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_{\Pi}}{m_{\Pi}}},$$

де  $m_{\Pi}$  - маса полоси на одиницю довжини, кг/м

Розрахунок ведеться за меншою з двох величин

Сила взаємодії між полосами в пакеті з двох полос, Н/м

$$f_{\Pi} = \frac{K_{\phi}}{4} \cdot \frac{i_y^2}{b} \cdot 10^{-1}.$$

## *Механічний розрахунок шин*

### *Двохполосні шини*

Напруга в матеріалі шин від взаємодії полос, МПа

$$\sigma_{\Pi} = \frac{f_{\Pi}}{12} \cdot \frac{l_{\Pi}^2}{W_{\Pi}},$$

де  $W_{\Pi}$  - момент опору однієї полоси, см<sup>4</sup>;

$l_{\Pi}$  - відстань між прокладками, м

Напруга в матеріалі шин від взаємодії фаз, МПа

$$\sigma_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{l^2}{a \cdot W_{\Phi}} \cdot i_y^2$$

де  $l$  - довжина прогону між ізоляторами, м

$W_{\Phi}$  - момент опору пакету шин

### *Шини механічно міцні, якщо*

$$\sigma_{\text{розр}} = \sigma_{\Phi} + \sigma_{\Pi} \leq \sigma_{\text{доп}}.$$

# Механічний розрахунок шин

## Коробчасті шини

В шинах коробчатого перерізу частота власних коливань значно більша, ніж для шин прямокутного перерізу. Це дозволяє здійснювати розрахунок без врахування механічних коливань.

Напруга в матеріалі шин від взаємодії фаз визначається за формулою, МПа

$$\sigma_{\phi} = K_p \cdot \frac{i_y^2 \cdot l^2}{W_a} \cdot 10^{-2},$$

де  $K_p$  - коефіцієнт, який враховує розташування шин

Значення  $K_p$  та  $W$

Розташування шин	$K_p$	$W, \text{см}^3$
Горизонтальні:		
швелери, жорстко з'єднані між собою	$\sqrt{3}$	$W_{y_0-y_0}$
жорстке з'єднання швелерів відсутнє	$\sqrt{3}$	$2W_{y-y}$
Вертикальне	$\sqrt{3}$	$2W_{x-x}$
По вершинах рівностороннього трикутника	2,5	$W_{y_0-y_0}$
По вершинах прямокутного трикутника	2,5	$W_{y_0-y_0}$

# Механічний розрахунок шин

## Коробчасті шини

Сила взаємодії між швелерами, Н/м  $f_{\Pi} = 0,05 \cdot \frac{i_y^2}{h}$ ,

де  $h$  - висота шин, м

Напруга в матеріалі шин від дії сили  $f_{\Pi}$ , МПа  $\sigma_{\Pi} = \frac{f_{\Pi} \cdot l_{\Pi}^2}{12 \cdot W_{\Pi}}$   $W_{\Pi} = W_{y-y}$ .

Якщо шини жорстко з'єднані по всій довжині, то  $\sigma_{\Pi} = 0$ .

Шини механічно міцні, якщо

$$\sigma_{\text{розр}} = \sigma_{\phi} + \sigma_{\Pi} \leq \sigma_{\text{доп}}.$$

Якщо ця умова не витримується, то потрібно зменшити  $\sigma_{\phi}$  або  $\sigma_{\Pi}$ , а це можна зробити, зменшивши  $l$  або  $l_{\Pi}$ . Прогін  $l$  визначається конструкцією РП, а величину  $l_{\Pi}$  можна змінити, збільшивши кількість прокладок в прогоні, якщо швелери не з'єднані жорстко по всій довжині. Максимально допустима відстань між прокладками, м

$$l_{\Pi, \text{max}} = \sqrt{\frac{12 \cdot (\sigma_{\text{доп}} - \sigma_{\phi}) \cdot W_{\Pi}}{f_{\Pi}}}.$$

# Механічний розрахунок шин

## Коробчасті шини

Для прикладу, що розглядається прийнято до встановлення алюмінієві шини коробчатого перерізу

$$2(100 \times 45 \times 6), I_{\text{доп}} = 3500 \text{ (А)}; q = 2 \times 1010 = 2020 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Приймаємо, що швелери шин з'єднані жорстко по всій довжині зварювальним швом, тоді момент опору  $W_{y0-y0} = 58 \text{ см}^3$ . Приймаємо розташування шин у вершинах прямокутного трикутника

Напруженість в матеріалі шин від взаємодії фаз, МПа

$$\sigma_{\phi, \text{max}} = 2,2 \cdot \frac{l^2 \cdot i_y^2}{a \cdot W_{y0-y0}} \cdot 10^{-8} \quad \sigma_{\phi, \text{max}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2^2 \cdot 130281^2}{0,8 \cdot 58} = 32,19 \text{ (МПа)},$$

де  $l$  – відстань між опорними ізоляторами, приймаємо  $l = 2 \text{ м}$

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	$I_{\text{но}}, \text{ кА}$	$I_{\text{пт}}, \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}, \text{ кА}$	$I_y, \text{ кА}$
К6	Сума	51,98	16,98	26,98	<b>130,281</b>

$$\sigma_{\text{расч}} = \sigma_{\phi, \text{max}} = 32,19 \text{ МПа} < \sigma_{\text{доп}} = 40 \text{ МПа}$$



# Приклад встановлення жорстких шин в системі власних потреб від робочих та пускорезервних трансформаторів



# Приклад встановлення жорстких шин в системі власних потреб від робочих та пускорезервних трансформаторів



## *Вибір перерізу шин також здійснюється за термічною стійкістю*

При приблизних розрахунках мінімальний переріз провідника, який відповідає вимозі його термічної стійкості при КЗ, можна визначити за формулою

$$Q_{\min} = \sqrt{\frac{B_{\text{к}}}{C}},$$

### Значення функції С

Провідник	$C, \text{А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$	$\theta_{\text{к. доп.}}, \text{°C}$
<b>Шини:</b>		
з міді	170	300
<b>з алюмінію</b>	<b>90</b>	200
з сталі, не з'єднані безпосередньо з апаратом	65	400
з сталі, з'єднані безпосередньо з апаратом	60	300
<b>Кабелі:</b>		
з міді	160	200
з алюмінію	90	200

## Перевірка за термічною стійкістю

Для прикладу, що розглядається прийнято до встановлення алюмінієві шини коробчастого перерізу

$$2(100 \times 45 \times 6), I_{\text{доп}} = 3500 \text{ (А)}; q = 2 \times 1010 = 2020 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Очевидно, що провідник перерізом  $q$  буде термічно стійким, якщо виконується умова  $q \geq q_{\text{min}}$

$$q_{\text{min}} = \sqrt{379,095 \cdot 10^6 / 90} = 216,337 \text{ мм}^2,$$

Точка КЗ	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$B_{\text{к}}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	157,939	167,536	57987,05	25193,02	358,992	<b>379,095</b>

$$q = 2020 \text{ мм}^2 > q_{\text{min}} = 216,337 \text{ мм}^2 \text{ шини термічно стійкі.}$$

## 7.4 Вибір ізоляторів

В РП шини закріплюються на опорах, прохідних та підвісних ізоляторах. Жорсткі шини закріплюються на *опорних ізоляторах*, вибір яких відбувається за такими умовами:

- за номінальною напругою  $U_{\text{уст.}} \leq U_{\text{ном.}}$ ;

- за допустимим навантаженням  $F_{\text{розн.}} \leq F_{\text{доп.}}$ ,

де  $F_{\text{розн.}}$  - розрахункова сила, яка діє на ізолятор, Н;

$F_{\text{доп.}}$  - допустиме навантаження на головку ізолятора.

$$F_{\text{доп.}} = 0,6 \cdot F_{\text{розн.}}$$

де  $F_{\text{розн.}}$  - руйнівне навантаження на вигинання.

При горизонтальному або вертикальному розташуванні ізоляторів всіх фаз розрахункова сила, Н:

$$F_{\text{розн.}} = 0,173 \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l \cdot K_h,$$

## Вибір опорних ізоляторів

$K_h$  - поправний коефіцієнт на висоту шини, якщо вона розташована на ребрі,

$$K_h = \frac{H_{i3} + C + \frac{h}{2}}{H_{i3}},$$

При розташуванні шин у вершинах трикутника, Н:

$$F_{розр} = K_h \cdot F_u = 0,162 \cdot \frac{i_y^2 \cdot l}{a} \cdot K_h.$$



## Вибір прохідних ізоляторів

Прохідні ізолятори вибираються:

- за напругою,  $U_{\text{уст.}} \leq U_{\text{ном.}}$ ;
- за номінальним струмом,  $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном.}}$ ;
- за допустимим навантаженням,  $F_{\text{расч.}} \leq F_{\text{доп.}}$ .

Для прохідних ізоляторів розрахункова сила, Н:

$$F_{\text{розр}} = 0,0865 \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l.$$

При розташуванні шин у вершинах трикутника, Н:

$$F_{\text{розр}} = 0,5 \cdot F_u = 0,081 \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l.$$



## 7.5 Вибір кабеля

Кабелі ліній, які відходять до споживачів, прокладають звичайно в траншеях в землі. Кабелі генераторних, трансформаторних кіл, РП та ліній до двигунів ВП, як правило, мають невелику довжину і прокладаються в кабельних каналах, тунелях та відкритих шахтах. Їх вибір за умовами тривалого нагрівання здійснюється як для кабелів, прокладених на відкритому повітрі. Для кабелів, які прокладаються до механізмів ВП в котлотурбінному цеху, слід враховувати високу температуру повітря в цьому приміщенні.

Для кабелів таблиці тривало допустимого струму складені в розрахунку на одиночний кабель, прокладений в землі при температурі ґрунту 15°C або в повітрі при температурі 25°C. При інших умовах прокладання кабелю, необхідно вводити поправні коефіцієнти на температуру ґрунту або повітря  $K_1$  та на число кабелів в траншеї  $K_2$ , тобто

$$I'_{\text{доп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\text{доп}}$$



## Вибір кабеля для живлення електродвигуна в системі власних потреб

Обираємо двигун АН-14-49-6. Його параметри:

$$kV_{\text{НОМ}} = 6 \quad P_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ кВт} ; \cos \varphi = 0,88 ; T_{\text{max}} = 6641,42 \text{ год};$$

Знаходимо номінальний струм двигуна

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \varphi} ; \quad I_{\text{НОМ}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,88} = 109,35 \text{ (А)};$$

*За економічною густиною струму*

$$j_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{роб.н}}}{j_{\text{ек}}};$$

Економічна густина струму  $j_{\text{ек}}$ , А/мм<sup>2</sup>

Провідник	T <sub>max</sub> , год.		
	до 3000	3000 ... 5000	понад 5000
Кабелі з паперовою, провід з гумовою ізоляцією і жилами:			
з міді	3,0	2,5	2,0
з алюмінію	1,6	1,4	<b>1,2</b>

## Вибір кабеля для живлення електродвигуна в системі власних потреб

*Перевірка за економічною густиною струму (економічний переріз)*

$$q_{\text{ек}} \Rightarrow \frac{109,35}{1,2} = 91,125 \text{ ( } \text{ }^2 \text{ )}$$

*Перевірка за термічною стійкістю*

При приблизних розрахунках мінімальний переріз провідника, який відповідає вимозі його термічної стійкості при КЗ, можна визначити за формулою

$$q_{\text{min}} = \sqrt{\frac{B_{\text{к}}}{C}},$$

Значення функції С

Провідник	С, А · с <sup>1/2</sup> / мм <sup>2</sup>
Кабелі:	
з міді	160
з алюмінію	<b>90</b>

## Вибір кабеля для живлення електродвигуна в системі власних потреб

### Перевірка за термічною стійкістю

$$S_{\text{ном}} \approx \frac{\sqrt{124,873 \cdot 10^6}}{98} = 114,027 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Точка КЗ	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$B_{\text{к}}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	157,939	167,536	57987,05	25193,02	358,992	<b>379,095</b>

Приймаємо кабель ААШ-В  $3 \times 120 \text{ мм}^2$   $I_{\text{доп}} = 340 \text{ кА}$ .

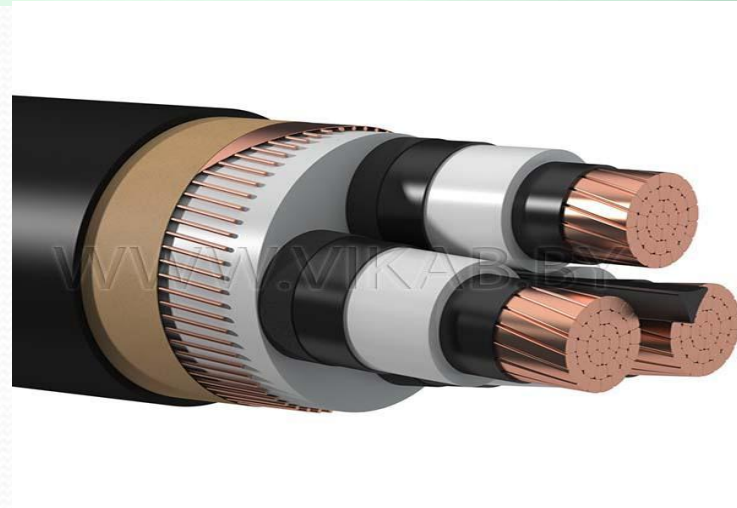
Поправний коефіцієнт на температуру повітря  $K_2 = 0,87$ , тоді

$$I_{\text{доп}} = 0,87 \cdot 340 = 265,2 \text{ (кА)};$$

$$\text{Отже, } I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{доп}} = 265 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 109 \text{ А}$$

# Приклади кабельної продукції



## 7.6 Вибір пофазно-екранованого струмопроводу

Для з'єднання виводів потужних генераторів з підвищувальними силовими трансформаторами та ТВП в наш час застосовуються комплектні пофазно екрановані струмопроводи, кожна фаза яких знаходиться в закритому металевому (алюмінієвому) кожусі. Згідно з нормами технологічного проектування, застосування комплектних екранованих струмопроводів обов'язкове для всіх генераторів потужністю 160 МВт і вище. Рекомендується застосовувати екрановані струмопроводи в межах машинного залу і для генераторів 60-100 МВт, а на відкритому просторі - в тому випадку, якщо підвищувальний трансформатор віддалений від машинного залу не більше ніж на 15 м. При більших відстанях на відкритому просторі рекомендується застосовувати гнучкі шинопроводи.

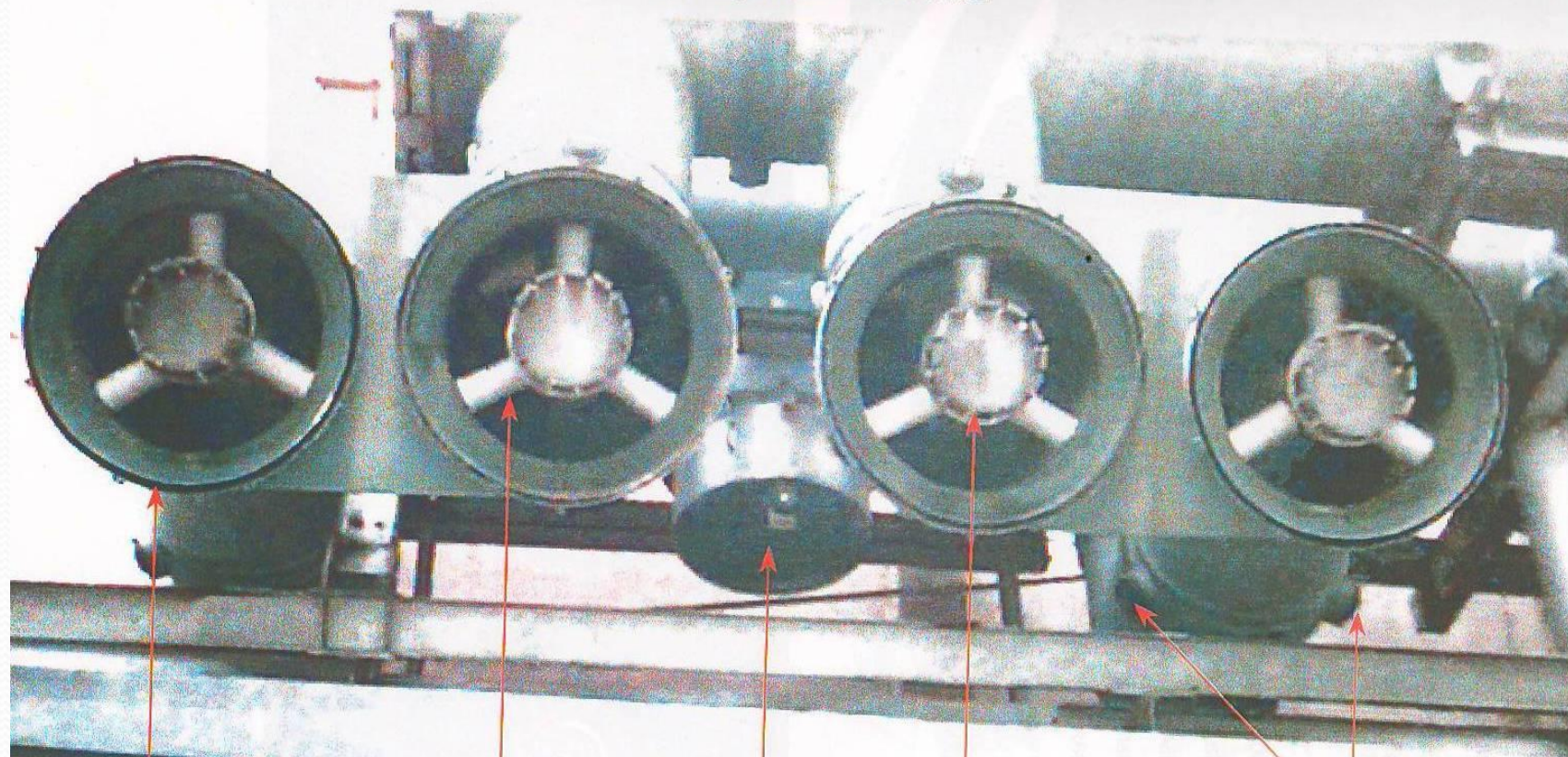
Характеристики комплектних екранованих струмопроводів вибираються за номінальними параметрами генератора. Електродинамічна стійкість характеризується амплітудним струмом електродинамічної стійкості, який повинен бути більший за розрахунковий ударний струм КЗ приєднання.

# Приклади екранованих струмопроводів



## Приклад экранованого струмопроводу для генератора ТВВ-1000

Токопровод ТЭКНП-24кВ



Экран токопровода

Опорные изоляторы

Место установки защитного разрядника

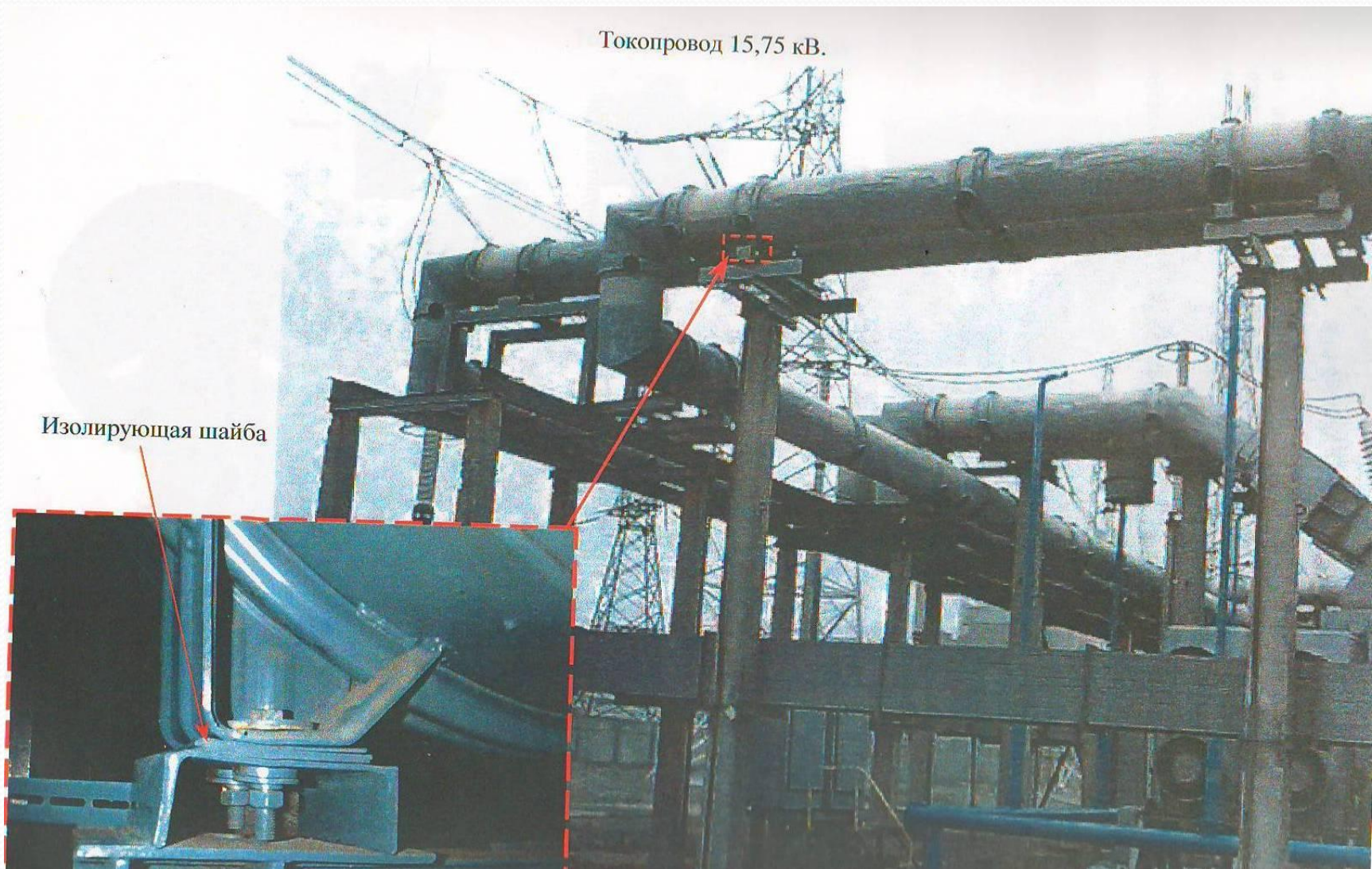
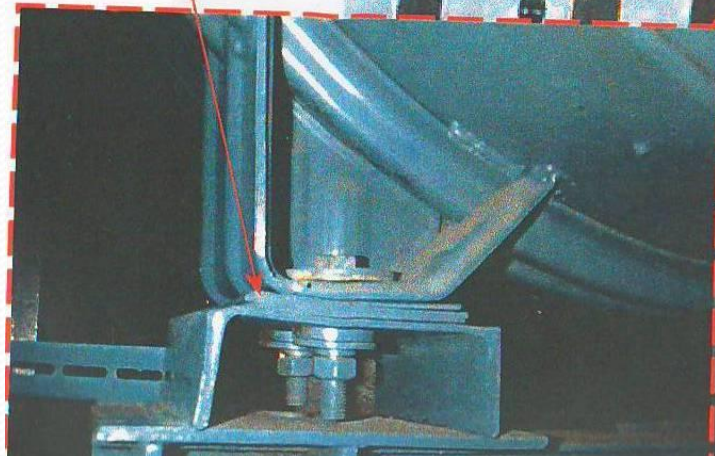
Токоведущая часть

Места установки опорных изоляторов

# Приклад экранированного ступопроводу для генератора ТВВ-220

Токопровод 15,75 кВ.

Изолирующая шайба





## Вибір пофазно-екранованого струмопровода

Від виводів генераторів до фасадної стіни головного корпусу станції струмоведучі частини виконаємо комплектним пофазно-екранованим струмопроводом.

Виберемо пофазно-екранований струмопровід

ТЭКН-П-24-3000-560  $I_{ном} = 30000$  А;  $U_{ном} = 24$  кВ;  $i_{дин} = 560$  кА.

Тип вбудованого трансформатора напруги: ЗНОЛ.06-24 У3;

Тип вбудованого трансформатора струму: ТШВ-24-30000/5

*Перевірка по напрузі*

$$U_{ном} \leq U_{ном.стр}$$

*Перевірка по допустимому струму*

$$I_{ном} \leq I_{ном.стр}$$

# Вибір пофазно-екранованого струмопровода

*Перевірка по допустимому струму*

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ.Г}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМГ}}} \quad I_{\text{НОМ}} = \frac{1111}{\sqrt{3} \cdot 24} = 26,727 \text{ (кА)}$$

*Параметри обраного турбогенератора*

Марка	Потужність		Напруга $U_{\text{нп}}, \text{кВ}$	п, об/хв	$I_{\text{н}}, \text{кА}$	$\cos\phi_{\text{н}}$	$x''_{\text{d}}$	К-ть штук
	$S, \text{МВА}$	$P, \text{МВт}$						
ТВВ-1000-4 УЗ	1111	1000	24	1500	26,73	0,9	0,324	2

*Перевірка по динамічній стійкості*

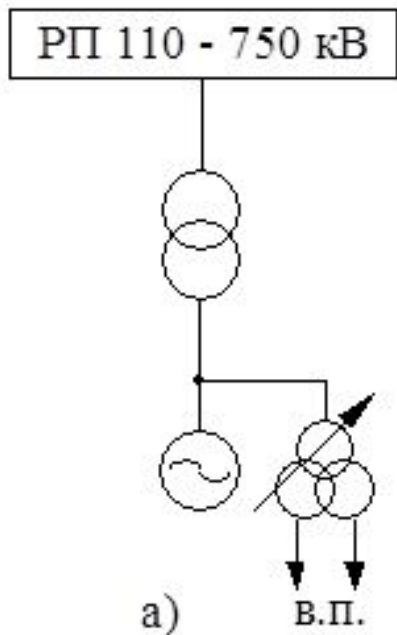
$$i_{\text{уд}} \leq I_{\text{дин.стр}}$$

$$I_{\text{уд}}=390 \text{ кА} \leq I_{\text{дин.ст}}=560 \text{ кА}$$

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	$I_{\text{но}}, \text{кА}$	$i_{\text{ат}}, \text{кА}$	$I_{\text{пт}}, \text{кА}$	$I_{\text{у}}, \text{кА}$
КЗ	Сума	142,512	85,414	135,797	390,932
Виводи G	Генератор 1 (КЗ)	93,212	91,616	73,637	260,745

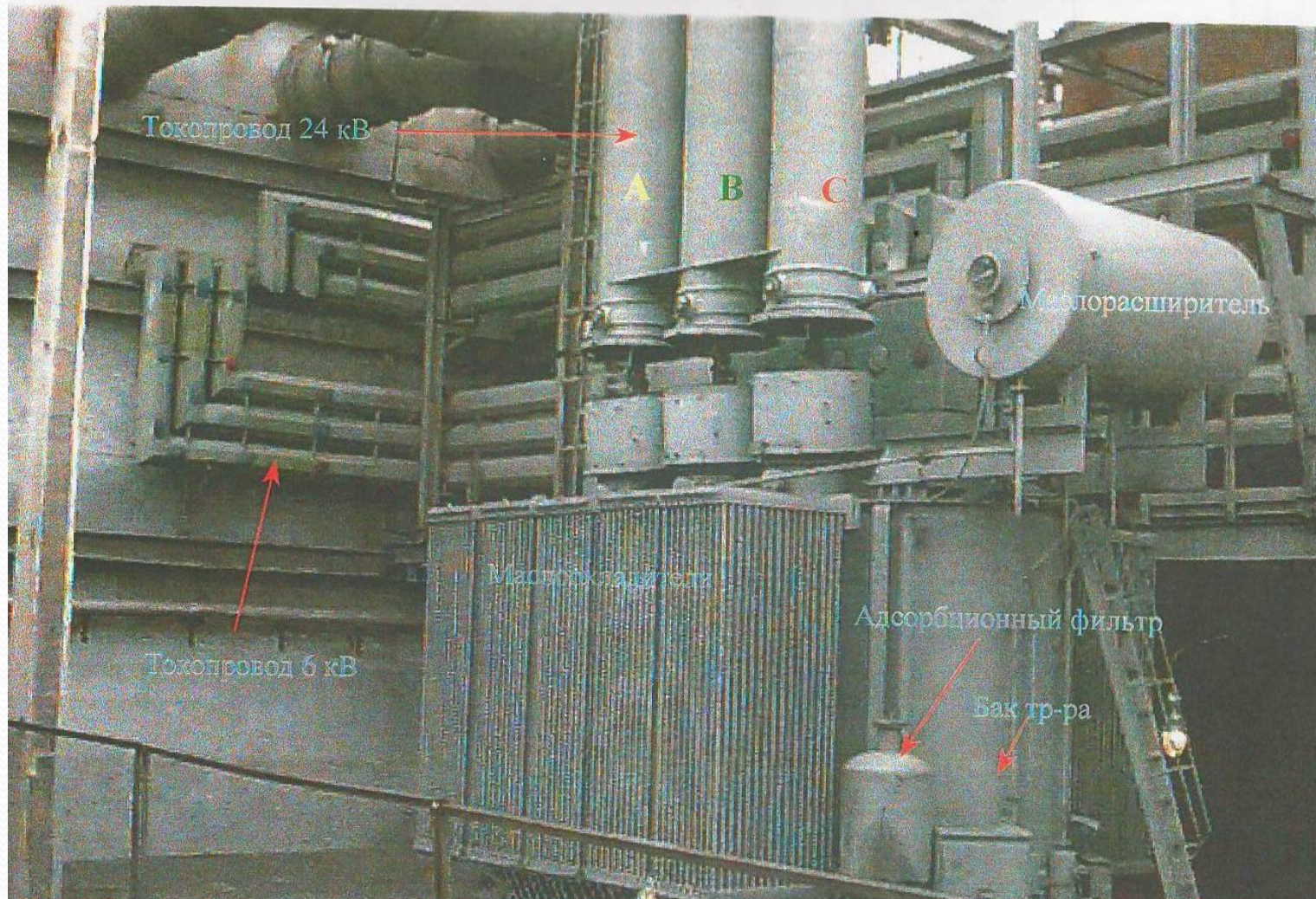
## Вибір пофазно-екранованого струмопровода

Пофазно-екраниваним струмопроводом також виконується відгалуження від генератора до робочого ТВП та пуско-резервного ПРТВП трансформаторів власних потреб



# Приклад встановлення екранованого струмопроводу для ТВП

Силовой трансформатор собственных нужд ТРДНС-63000/35-У1  
(Обмотки ВН и НН расшинуваны)

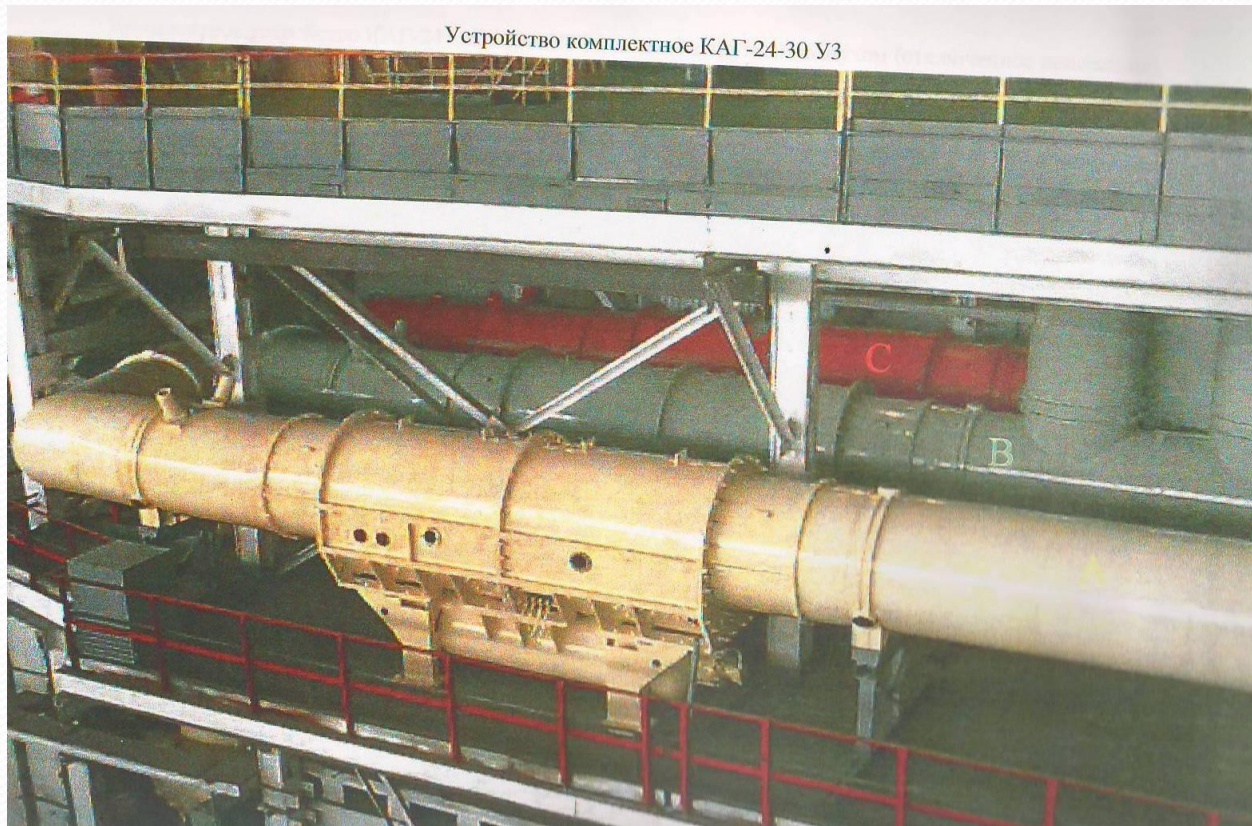


## Вибір пофазно-екранованого струмопроводу

Параметри	ТЭКН-П-24-3000-560
Тип турбогенератора	ТВВ – 1000
Номинальна напруга, кВ:	
турбогенератора	24
струмопроводу	24
Номинальний струм, А:	
турбогенератора	26700
струмопроводу	30000
Електродинамічна стійкість, кА	560
Струмоведача шина $d \times S$ , мм	650×15
Кожух (екран) $D \times \delta$ , мм	1160×7
Між фазна відстань, мм	1400–1500
Тип опорного ізолятора	ОФР-24-750
Крок між ізоляторами, мм	3000
Тип застосованого трансформатора напруги	ЗНОЛ.06-24
Тип вбудованого трансформатора струму	ТШВ-24-30000/5
Гранична довжина монтажного блоку або секції, м	6,5
Маса 1 м однієї фази, кг	210

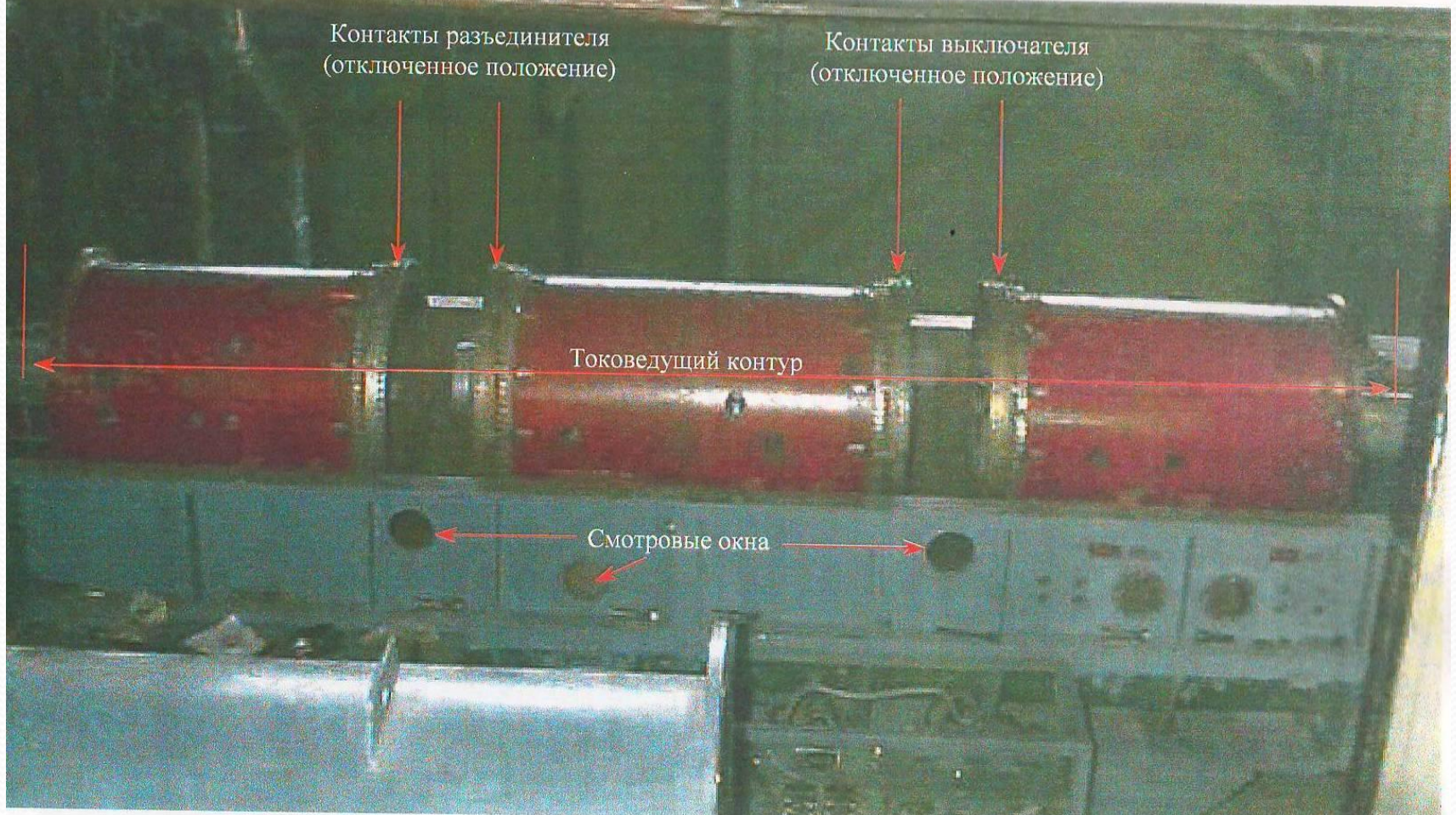
## **Вбудований вимикач навантаження КАГ-24 в струмопровід ТЭЖН**

Вимикач навантаження КАГ-24 комутує лише робочі струми. Короткі замикання вимикаються вимикачами, розташованими зі сторони високої напруги блочного трансформатора – на ВРП ВН



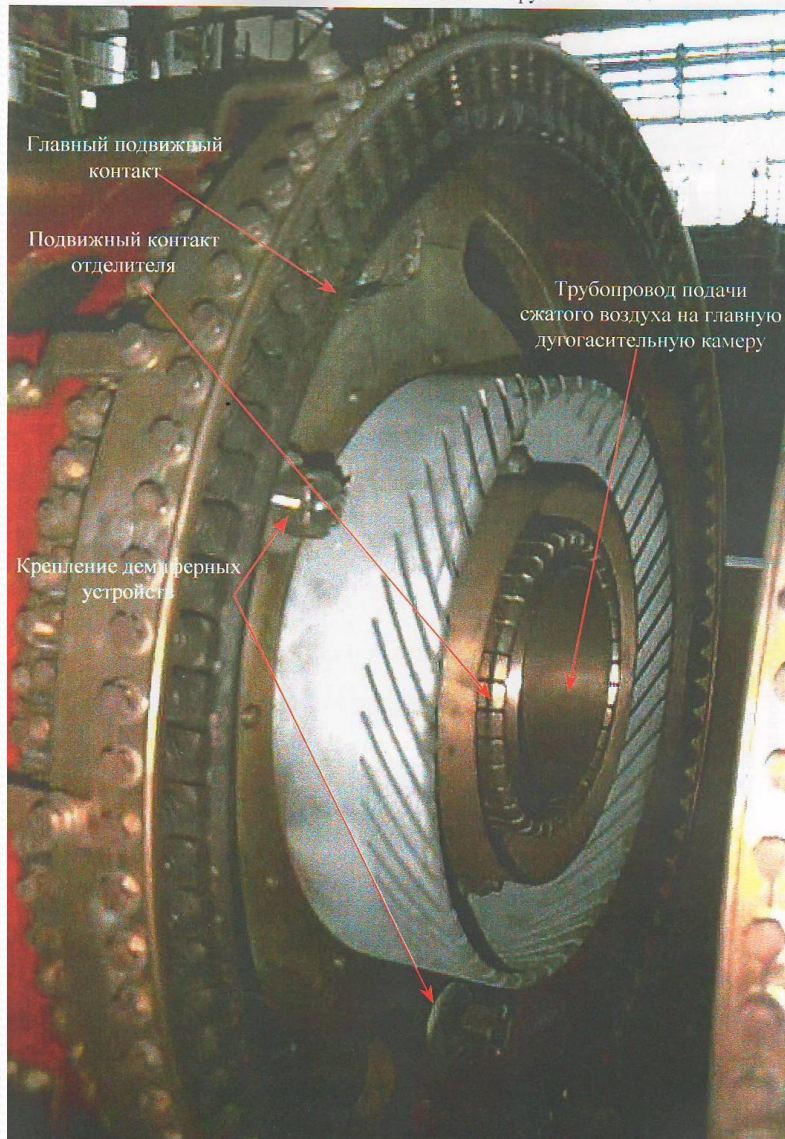
# Вбудований вимикач навантаження КАГ-24 в струмопровід ТЭЖН

Комплектное устройство КАГ-24 –30/30000У3 со снятым защитным кожухом (отключенное положение).

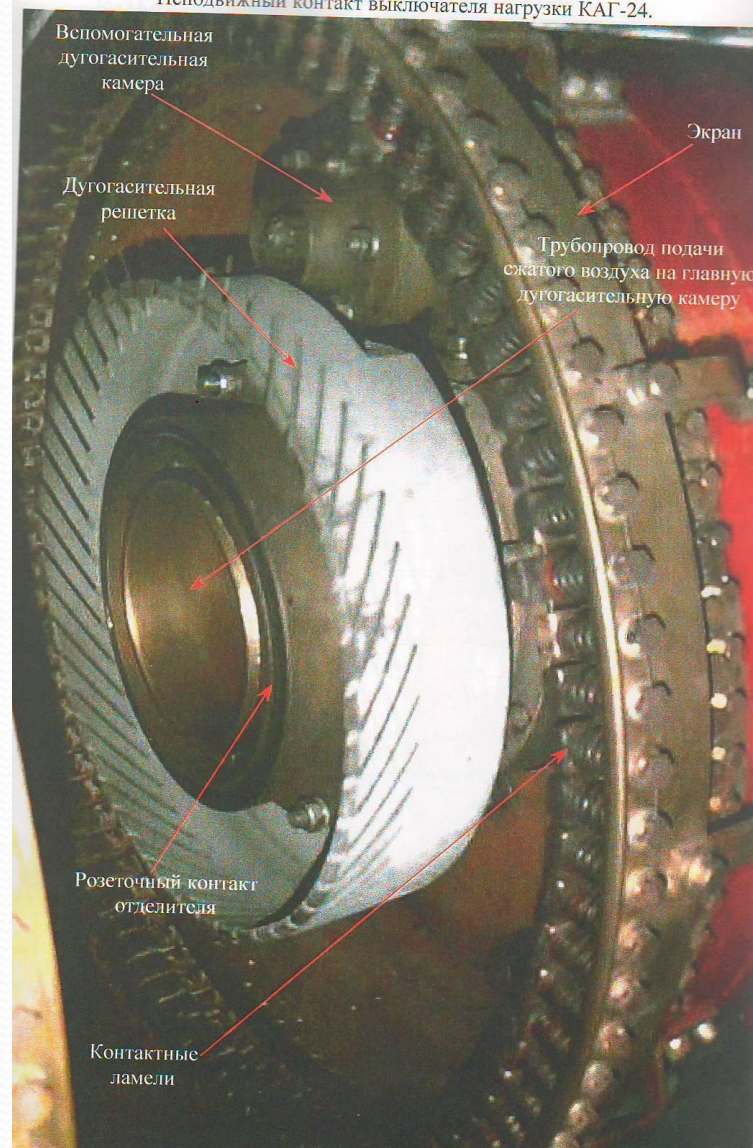


# Контакты выключателя навантаження КАГ-24

Подвижный контакт выключателя нагрузки КАГ-24.



Неподвижный контакт выключателя нагрузки КАГ-24.





## 8 Вибір комутаційного обладнання

Всі елементи РП електричної станції або підстанції повинні надійно працювати в умовах тривалих нормальних режимів, а також мати достатню термічну та динамічну стійкість при виникненні найскладніших коротких замикань. Надійність роботи апаратів гарантується заводом-виробником тільки у випадку їх правильного вибору.

Основними параметрами обладнання, які повинні відповідати умовам робочого (тривалого) режиму, є номінальні струм та напруга.

Після цього здійснюється перевірка апаратів за параметрами режиму короткого замикання. За розрахунковий вид приймається трифазне КЗ.

## 8.1 Вибір вимикачів

Розглянемо вибір вимикачів та роз'єднувачів для ВРП-500 кВ.

Визначаємо робочий максимальний струм елементів, які приєднані до ВРП-500 кВ

струм через БТ: 
$$I_{p.\max} = \frac{S_{\text{НОМ.Г}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot 0,95};$$

$$I_{p.\max} = \frac{1111}{\sqrt{3} \cdot 500 \cdot 0,9} = 1,425 \text{ (кА)};$$

струм від ЛЕП: 
$$I_{p.\max} = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi};$$

$$I_{p.\max} = \frac{900}{\sqrt{3} \cdot 500 \cdot 0,9} = 1,154 \text{ (кА)}.$$

## Вимикачі серій HPL та LTB виробництва АВВ



## Параметри вимикачів серії HPL виробництва АВВ

		HPL 72.5B1	HPL 170B1	HPL 245B1	HPL 420B2	HPL 550B2	HPL 800B4
Число разрывов на полюс		1	1	1	2	2	4
Номинальное напряжение	кВ	35	150	220	330	500	750
Наибольшее рабочее напряжение	кВ	40,5	172	252	363	525	787
Номинальная частота	Гц	50	50	50	50	50	50
<b>Испытательное напряжение промышленной частоты</b>							
относительно земли	кВ	95	300	440	560	760	950
между контактами	кВ	95	300	440	560	760	950
<b>Испытательное напряжение грозового импульса</b>							
относительно земли	кВ	190	650	900	1175	1550	2100
между контактами	кВ	190	750	1050	1380	1550	2100
<b>Испытательное напряжение коммутационного импульса</b>							
относительно земли	кВ	-	-	-	950	1230	1425
между контактами	кВ	-	-	-	1245	1660	2000
Удельная длина пути утечки	Мм/кВ	25	25	25	25	25	25
Номинальный ток	А	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Номинальный ток отключения	кА	50/63	50/63	50/63	50/63	50/63	50
Коэффициент первого гасящего полюса	-	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3
Ток динамической стойкости	кА	160	160	160	160	160	128
Время протекания тока термической стойкости	с	3	3	3	3	3	3
Собственное время включения	мс	< 65	< 65	< 65	< 65	< 65	< 65
Собственное время отключения	мс	< 22	< 22	< 22	< 22	< 22	< 22
Полное время отключения	мс	40	40	40	40	40	40

## Розріз полюсу вимикача серії LTB виробництва АВВ



## Параметри вимикачів серії ЗАР1-4 виробництва SIEMENS

Тип		ЗАР1					ЗАР2				ЗАР4	
Номинальное напряжение	[кВ]	72.5	123	145	170	245	300	362	420	550	800	
Количество дугогасительных камер на полюс		1					2				4	
Испытательное напряжение промышленной частоты	[кВ]	140	230	275	325	460	460	520	610	800	830	
Испытательное напряжение грозового импульса	[кВ]	325	550	650	750	1 050	1 050	1 175	1 425	1 550	2 100	
Испытательное напряжение коммутационного импульса	[кВ]	-	-	-	-	-	850	950	1 050	1 175	1 425	
Номинальный ток, не более	[А]	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	5 000	5 000	5 000	5 000	
Ток термической стойкости (1с / 3 с)	[кА <sub>(СКЗ)</sub> ]	40	40	40	40	50	40	50	50	63	63	
Ток электродинамической стойкости	[кА <sub>(пик.знач.)</sub> ]	108	108	108	108	135	108	170	170	170	170	
Номинальный ток отключения, не более	[кА <sub>(СКЗ)</sub> ]	40	40	40	40	50	40	63	63	63	63	
Температурный диапазон	[°C]	- 30 или - 40 ... + 40 или + 50										
Коммутационный цикл		0-0.3 с-BO-3 мин-BO или BO-15 с-BO										
Номинальное время отключения		3 цикла					2 цикла					
Номинальная частота	[Гц]	50/60									50	
Напряжение цепей управления	[В, DC]	48 ... 250										
Напряжение питания привода	[В, DC] [В, AC]	48/60/110/125/220/250 120 ... 240, 50 Гц; 120 ... 280, 60 Гц										
Габариты	высота	[мм]	3 810	4 360	4 360	4 810	6 050	6 870	6 200	6 200	7 350	9 740
	ширина	[мм]	3 180	3 880	3 880	4 180	6 640	8 235	8 847	9 847	13 050	19 400
	длина	[мм]	660	660	660	660	880	880	4 380	4 380	5 050	10 470
Междуфазное расстояние (мин.)	[мм]	1 350	1 700	1 700	1 850	2 800	3 600	4 000	4 500	6 000	9 000	
Масса выключателя	[кг]	1 350	1 500	1 500	1 680	2 940	3 340	5 370	5 370	7 160	16 200	
Техническое обслуживания после		25 лет										

# Вимикачі серії ZAP4 (800 кВ) та ZAP1 (145 кВ) виробництва SIEMENS



## Вибір вимикача

Вибираємо вимикач типу HPL-550B2-53/4000 на базі головних параметрів

$$\text{по напрузі установки: } U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} : 500 \text{ кВ} = 500 \text{ (кВ)}$$

$$\text{по тривалому струму: } I_{\text{роб.мах}} \leq I_{\text{ном}} : 1425 \text{ А} < 4000 \text{ (А)}.$$

Виконуємо перевірку

*на симетричний струм відключення:*

$$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{від.ном}} \quad 16,16 \text{ кА} < 53 \text{ кА}, \text{ – умова виконується}$$

*на здатність вимикача до відключення аперіадичної складової струму кз*

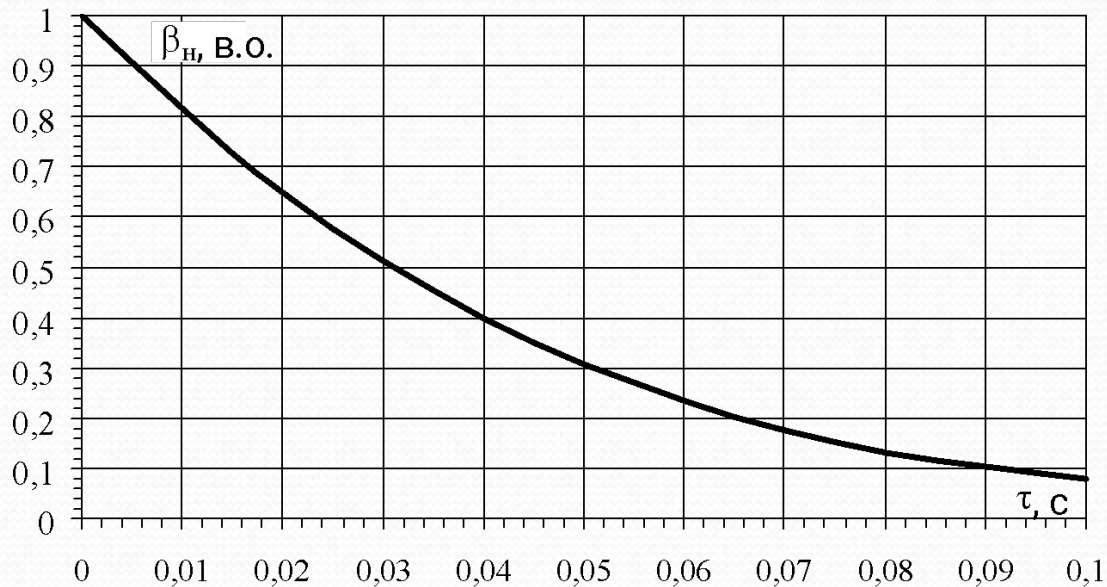
$$i_{\text{ат}} \leq \sqrt{2} I_{\text{ном.відк}} \cdot \beta_{\text{н}} / 100,$$

$$15,9892 \text{ кА} \leq 35,5 \sqrt{0,45} \cdot 22,592 \text{ (кА)} \quad \text{– умова виконується.}$$



## Вибір вимикача

$\beta_H$  – нормативне значення наявності аперіодичної складової у струмі, що відключає, яке визначається по кривій, або дається в довіднику  
 $\beta_H = 45$



Нормоване відносне значення аперіодичної складової у струмі КЗ

Значення  $\beta_H$  можна також визначити за виразом:

$$\beta_H \approx e^{-\tau/0,045}.$$

## Вибір вимикача

Виконуємо перевірку

на електродинамічну стійкість:

$$I_{\text{по}} \leq I_{\text{дин}}; \quad i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$$

де  $I_{\text{дин}}$  – діюче значення періодичної складової граничного струму КЗ;  
 $i_{\text{дин}}$  – найбільший пік (струм електродинамічної стійкості).

$$I_{\text{по}} = 17,773 \text{ кА} < I_{\text{дин}} = 53 \text{ (кА)};$$

$$i_{\text{у}} = 48,974 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 160 \text{ (кА)},$$

умови виконуються.

на термічну стійкість вимикач перевіряється за тепловим імпульсом струму КЗ:

$$W_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}$$

де  $W_{\text{к}}$  - розрахунковий тепловий імпульс струму КЗ;  $I_{\text{т}}$  – середньоквадратичне значення струму за час його протікання (струм термічної стійкості) за каталогом;  $t_{\text{т}}$  - тривалість протікання струму термічної стійкості за каталогом, с.

$$202,162 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} < 53^2 \cdot 3 = 3780 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}, \quad \text{умова виконується.}$$

## Вибір вимикача

Значення складових струму КЗ на ВРП ВН 500 кВ

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	$I_{по}, \text{кА}$	$I_{пт}, \text{кА}$	$i_{ат}, \text{кА}$	$I_y, \text{кА}$
$K_1$ (ВРП 500 кВ)	Сума	17,773	14,917	16,16	48,754

Значення теплового імпульсу (виділено при КЗ на ВРП ВН 500 кВ)

Точка КЗ	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	<b>157,939</b>	167,536	57987,05	25193,02	358,992	379,095

Каталожні дані вимикача

Розрахункові дані	Вимикач
ВРП – 500 кВ	HPL-550B2-53/4000
$U_{ном} = 500 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 500 \text{ кВ}$
$I_{роб.мах} = 1425 \text{ А}$	$I_{ном} = 4000 \text{ кА}$
$I_{п.т} = 14,917 \text{ кА}$	$I_{н.відк} = 53 \text{ кА}$
$i_{а.т} = 16,16 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{н.відк} \beta_n = 22,592 \text{ кА}$
$I_{п.0} = 17,773 \text{ кА}$	$I_{дин} = 53 \text{ кА}$
$i_y = 48,974 \text{ кА}$	$i_{дин} = 160 \text{ кА}$
$B_k = 157,939 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 3780 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

## Вибір вимикачів

Рекомендованим до встановлення є елегазове комутаційне обладнання. В усіх класах високої напруги 110-750 кВ та в колах генераторної напруги 10-24 кВ.

В класах напруг 6-35 кВ, що відповідає системам власних потреб електричних станцій, а також частині генераторних напруг 6-10 кВ для генераторів невеликої потужності, рекомендованим до встановлення є вакуумне комутаційне обладнання. Віднедавна вакуумні вимикачі складають конкуренцію елегазовим вимикачам в класі напруги 110 кВ.



Приклад  
встановленого  
вакуумного  
вимикача серії  
ВРС 110 кВ

## Вибір вимикачів

*В системі власних потреб використовуються комплектні розподільчі пристрої внутрішньої установки з викатною частиною.*



## УСТРОЙСТВО ШКАФОВ КОММУТАЦИОННЫХ

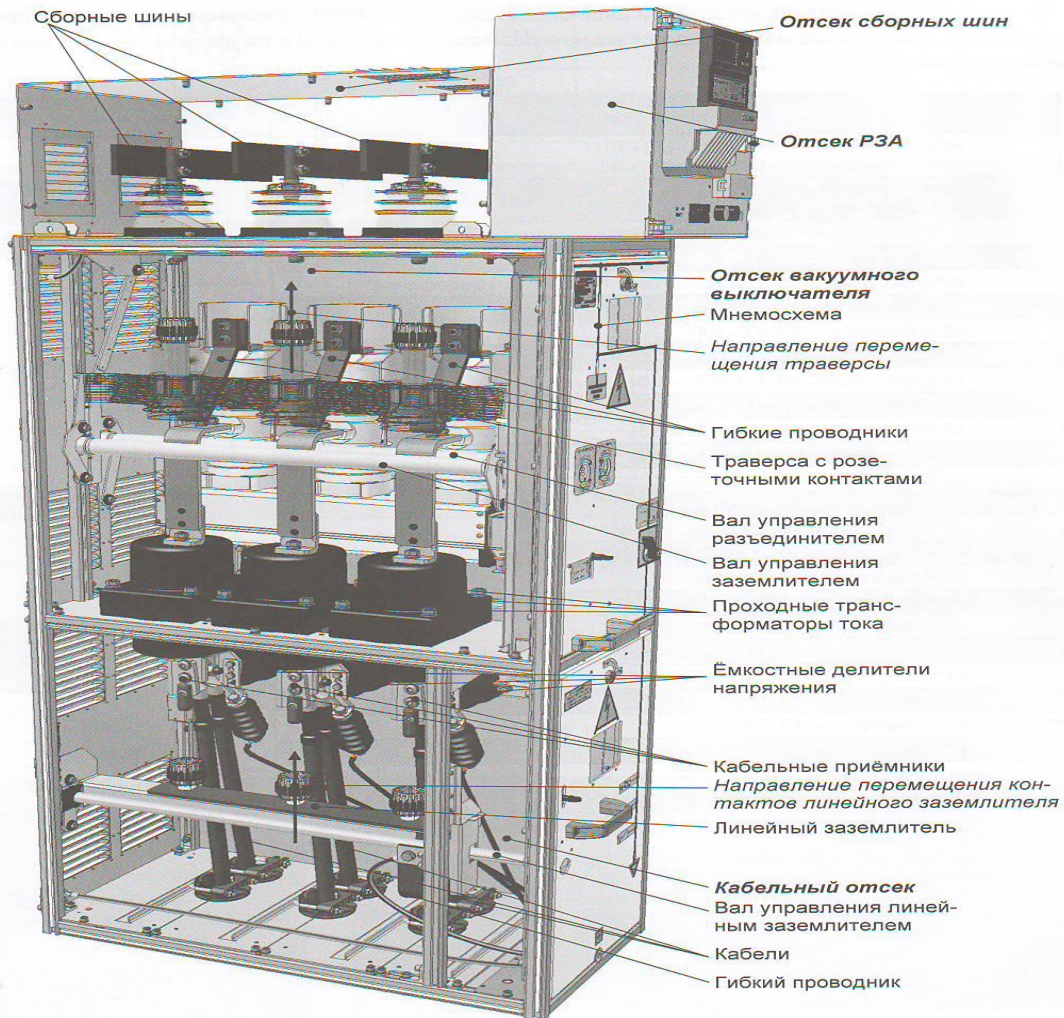


Рис. 6. КРУ/Вертикаль-10-20/1000-13. Боковая обшивка шкафа условно не показана

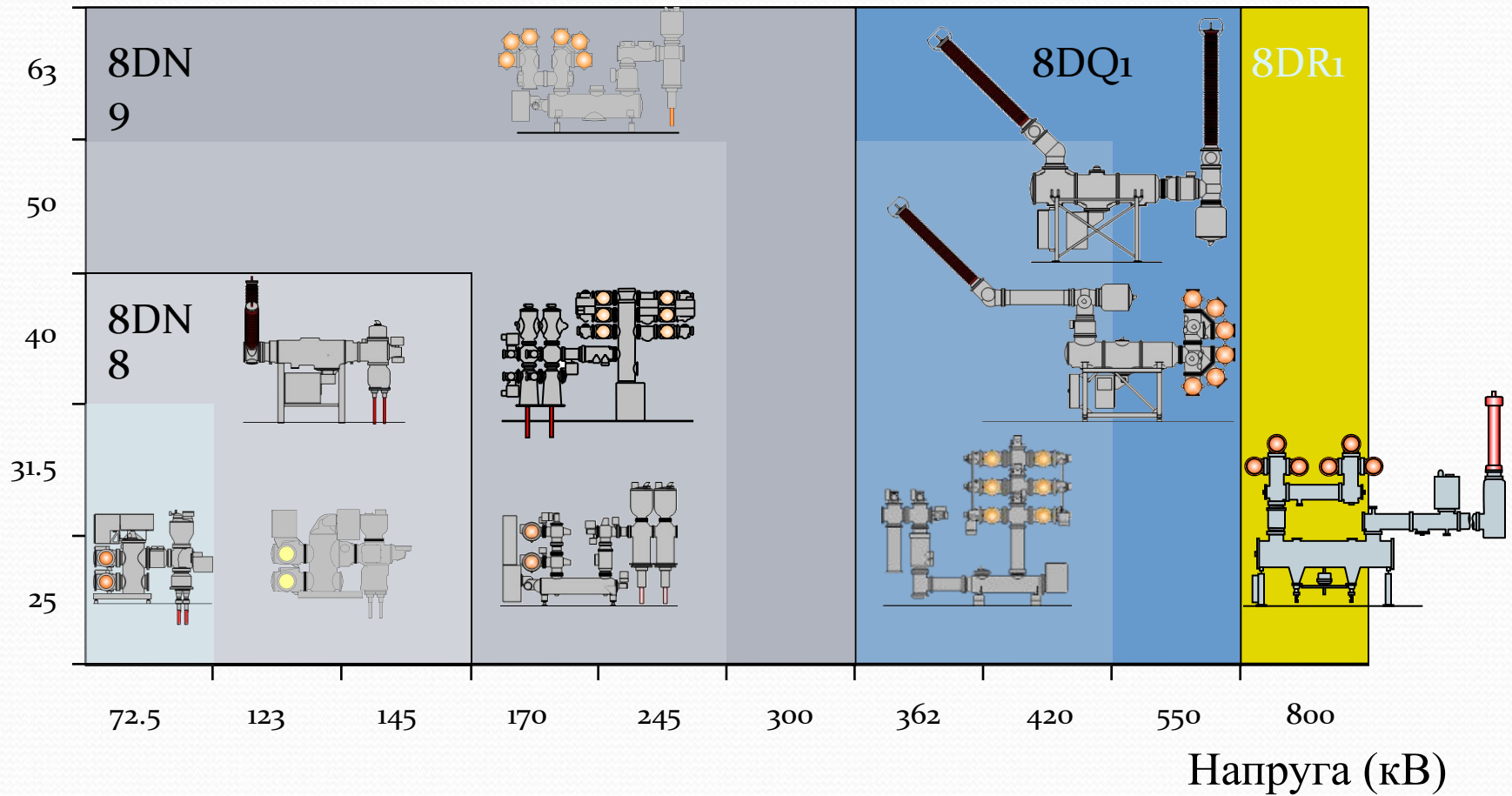
## Вибір вимикачів

Для розподільчих пристроїв електричних станцій також рекомендовані комплектні розподільчі установки з елегазовою ізоляцією КРУЕ



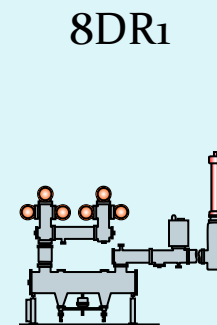
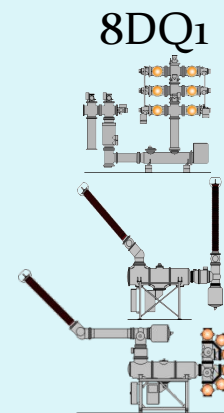
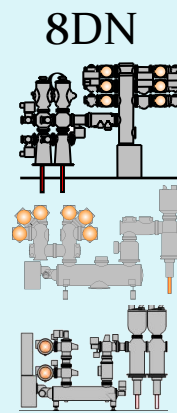
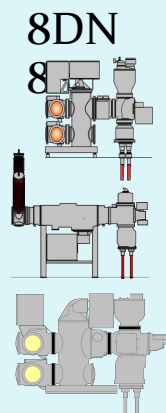
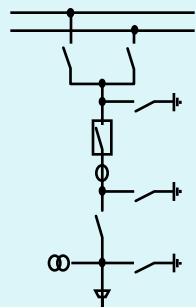
# КРУЕ – спектр продукції

Допустимий струм короткого замикання (кА)





# КРУЕ – технічні характеристики



Напряжение	кВ	72,5/145	245/300	420/550	800
Выдерживаемое напр. пром. частоты	кВ	140/275	460	650/740	950
Норм. напр. полн. гроз. импульса	кВ	325/650	1050	1425/1800	2100
Норм. напр. коммутац. импульса	кВ	-	850	1050/1250	1550
Рабочий ток (шина)	А	2500/3150	3150/4000	5000/6300	8000
Рабочий ток (ответвл.)	А	2500/3150	3150/4000	5000	5000
Ток отключения	кА	31,5/4050/63	50/63	63	
Кратковременный ток	кА	31,5/4050/63	50/63	63	
Ударный ток (ANSI)	кА	85/108	135/170	135/170	170
Ширина ячейки	мм	650/800	1500/2200	2200/3600	4500

\* прочие значения – по запросу

## 8.2 Вибір роз'єднувачів

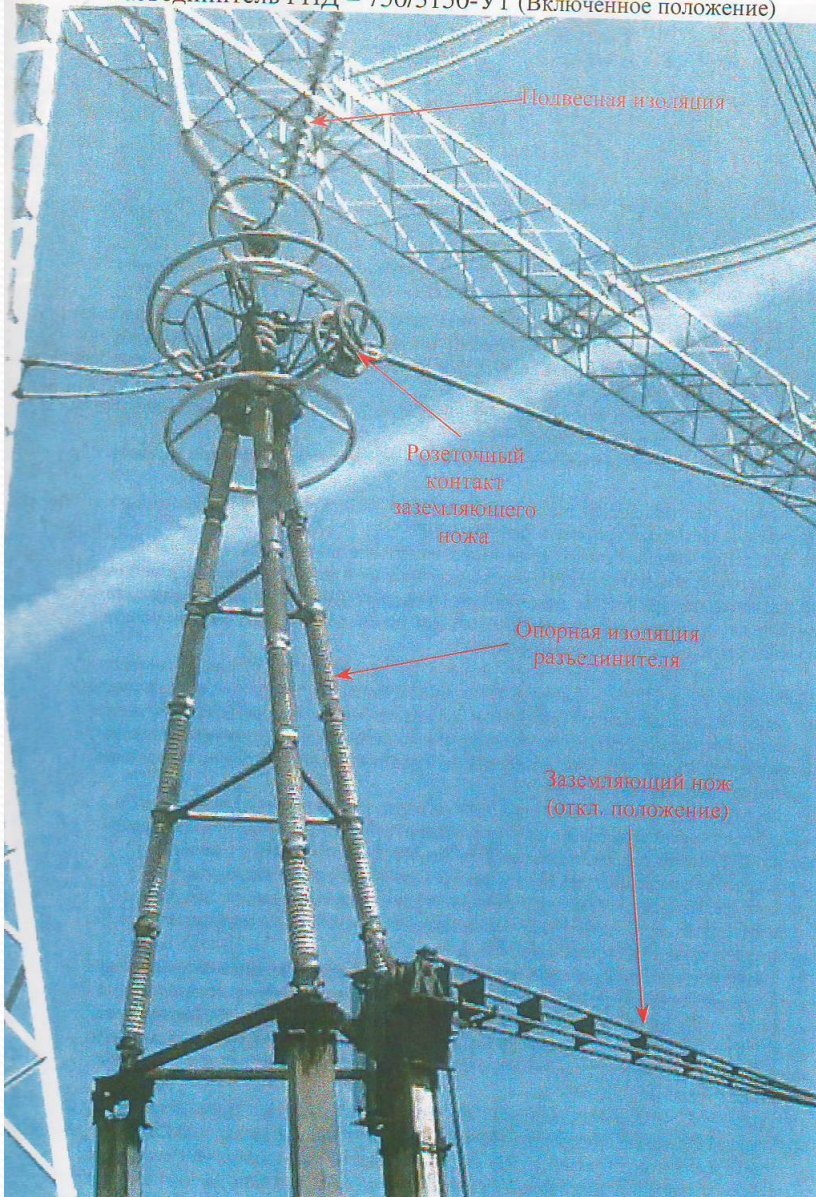
Вибір роз'єднувачів значно простіший, ніж вибір вимикачів, тому що роз'єднувачі не пристосовані для відключення ні нормальних, ні тим паче аварійних струмів. В зв'язку з цим при їх виборі обмежуються визначенням необхідних робочих параметрів: номінальної напруги  $U_{\text{ном}}$  і тривалого номінального струму  $I_{\text{ном}}$ , а також перевіркою на термічну та динамічну стійкість при наскрізних струмах КЗ.

Особливу увагу при виборі роз'єднувачів слід звертати на їх конструкцію. Для електроустановок всіх напруг, в тому числі і невеликих, слід вибирати виключно триполюсні роз'єднувачі.

Вимикачі і роз'єднувачі зручно вибирати одночасно. Розрахункові значення потрібних для вибору величин, а також каталожні дані вимикачів і роз'єднувачів записуються в таблицю. Для вимикачів у колах власних потреб замість типів роз'єднувачів вказують типи комірок КРП.

# Приклади встановлених роз'єднувачів на ВРП ЗАЕС

Разъединитель РПД – 750/3150-У1 (Включенное положение)

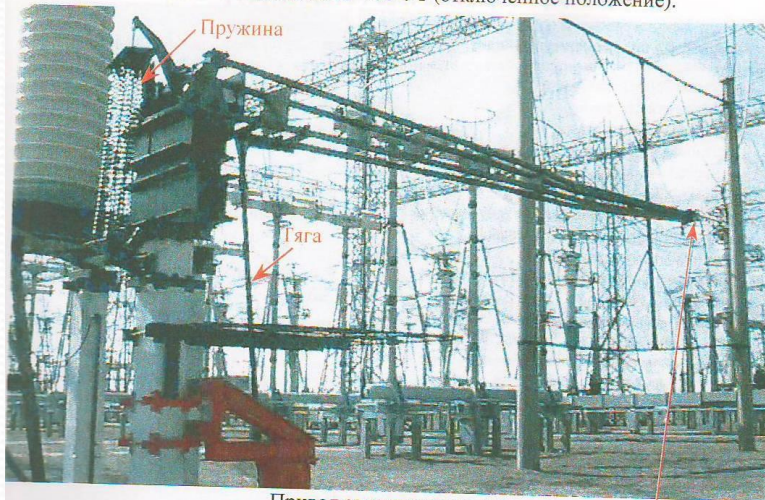


Разъединитель РПД – 750/3150-У1 (Отключенное положение)



# Приклади встановлених роз'єднувачів на ВРП ЗАЕС

Заземлюючий нож ЗР-750-У1 (отключенное положение).



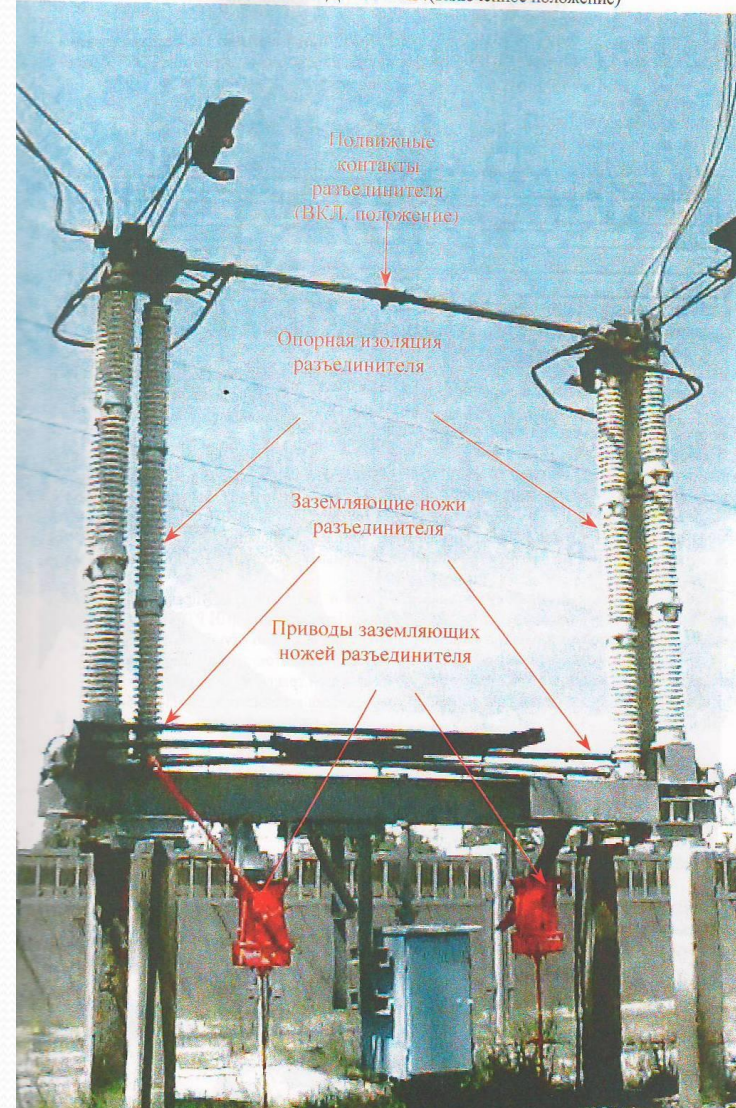
Привод заземляющего ножа



Контактная часть заземляющего ножа

Металлический защитный козырек от воздействия электрического поля

Разъединитель РПД – 330 кВ.(включенное положение)



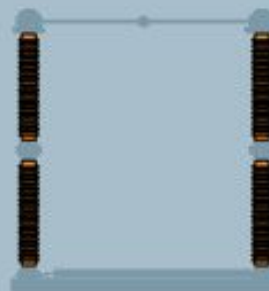
## Приклади роз'єднувачів виробництва SIEMENS



Роз'єднувач горизонтально-поворотної дії тип D BF

# Роз'єднувачі типу D BF виробництва SIEMENS

Технические данные



Тип разъединителя	<b>D BF</b>		Горизонтально-поворотный								
Номинальное напряжение		72.5	126	145	170	252	300	362	363	420	550
Испытательное напряжение промышленной частоты (1 мин)											
Относительно земли	[кВ]	140	230	275	325	460	380	450	450	520	760
Между контактами	[кВ]	160	265	315	375	530	435	520	520	610	1030
Испытательное напряжение грозового импульса											
Относительно земли	[кВ]	325	550	650	750	1050	1050	1175	1175	1425	1550
Между контактами	[кВ]	375	630	750	860	1200	1050 (+170)	1175 (+205)	1450	1425 (+240)	2050
Испытательное напряжение коммутационного импульса											
Относительно земли	[кВ]	-	-	-	-	-	850	950	950	1050	1230
Между контактами	[кВ]	-	-	-	-	-	700 (+245)	850 (+245)	1245	900 (+345)	1660
Номинальный ток	[кА]	4000									
Ток электродинамической стойкости	[кА]	160									
Ток термической стойкости	[кА]	63									
Длительность протекания тока термической стойкости	[с]	1/3									

## Приклади роз'єднувачів виробництва SIEMENS



Роз'єднувачі вохрозривної дії та напівпанторгаф


## Приклади роз'єднувачів виробництва SIEMENS



Роз'єднувач панторгафної дії типу P RF\RL



# Роз'єднувачі типу P RF\RL виробництва SIEMENS

Технические данные										
Тип разъединителя	P RF\RL	Пантографный								
Номинальное напряжение		126	145	170	252	300	362	363	420	550
Испытательное напряжение промышленной частоты (1 мин)										
Относительно земли	[кВ]	230	275	325	460	380	450	450	520	760
Между контактами	[кВ]	265	315	375	530	435	520	520	610	1030
Испытательное напряжение грозового импульса										
Относительно земли	[кВ]	550	650	750	1050	1050	1175	1175	1425	1550
Между контактами	[кВ]	630	750	860	1200	1050 (+170)	1175 (+205)	1450	1425 (+240)	2050
Испытательное напряжение коммутационного импульса										
Относительно земли	[кВ]	-	-	-	-	850	950	950	1050	1230
Между контактами	[кВ]	-	-	-	-	700 (+245)	850 (+245)	1245	900 (+345)	1660
Номинальный ток	[кА]	5000								
Ток электродинамической стойкости	[кА]	200								
Ток термической стойкости	[кА]	80								
Длительность протекания тока термической стойкости	[с]	1/3								

## Вибір роз'єднувача

Значення складових струму КЗ на ВРП ВН 500 кВ

Точка КЗ	Джерела струмів КЗ	$I_{по}, \text{кА}$	$I_{пт}, \text{кА}$	$i_{ат}, \text{кА}$	$I_{у}, \text{кА}$
$K_1$ (ВРП 500 кВ)	Сума	17,773	14,917	16,16	48,754

Значення теплового імпульсу (виділено при КЗ на ВРП ВН 500 кВ)

Точка КЗ	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$B_{к}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	<b>157,939</b>	167,536	57987,05	25193,02	358,992	379,095

Каталожні дані вимикача і роз'єднувача

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	Вимикач	Роз'єднувач
ВРП – 500 кВ	HPL-550B2-53/4000	D BF-550/4000 T1
$U_{ном} = 500 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 500 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 500 \text{ кВ}$
$I_{роб.мах} = 1425 \text{ А}$	$I_{ном} = 4000 \text{ А}$	$I_{ном} = 4000 \text{ А}$
$I_{п.т} = 14,917 \text{ кА}$	$I_{н.відк} = 53 \text{ кА}$	—
$i_{а.т} = 16,16 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{н.відк} \beta_{н} = 22,592 \text{ кА}$	—
$I_{п.0} = 17,773 \text{ кА}$	$I_{дин} = 53 \text{ кА}$	—
$i_{у} = 48,974 \text{ кА}$	$i_{дин} = 160 \text{ кА}$	$i_{дин} = 160 \text{ кА}$
$B_{к} = 157,939 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 3780 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 t_{тер} = 512 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$