

Електродинамічна дія струмів короткого замикання

Відомо, що системи провідників при протіканні по них струмів зазнають електродинамічної взаємодії, що супроводжується значними механічними напруженнями.

Сили впливу провідників з струмом називають електромагнітними чи електродинамічними. Вони пропорційні квадрату струму і досягають найбільших значень при к.з. Дії електродинамічних сил піддаються всі елементи системи і вони повинні мати достатню механічну міцність

При однаковому напрямку струму провідники притягуються, а якщо струми спрямовані в протилежні сторони, то відштовхуються (рис. 1).

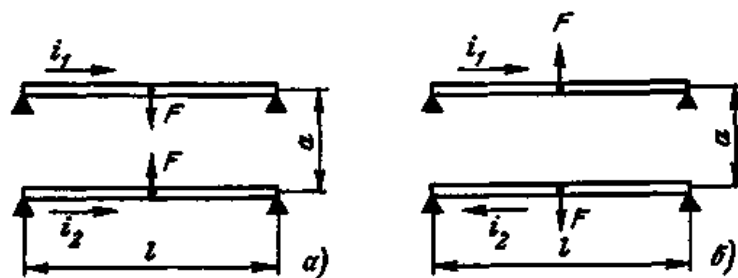


Рисунок 1 – Електродинамічна взаємодія між двома струмоведучими частинами при однаковому (а) і зустрічному (б) напрямках струмів

Сила взаємодії струмів визначається по формулах, що випливають із закону Біо-Савара. Для двох паралельних провідників довжиною l , розташованих на відстані a один від одного, вона може бути знайдена з виразу:

$$F = k k_{\phi} i_1 i_2 \frac{l}{a}.$$

Якщо струми виражені в амперах, а сила F – у ньютонках, то коефіцієнт k дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$; коефіцієнт k_{ϕ} урахує форму провідника й може бути прийнятий рівним одиниці для провідників круглого перетину незалежно від відстані між ними й для провідників будь-якої форми, якщо відстань між ними буде більше периметра поперечного перерізу струмоведучої частини. В іншому випадку кое-

фіцієнт k_ϕ відмінний від одиниці й при обчисленні сил повинен бути попередньо визначений за спеціальними графіками.

Сила F розподілена рівномірно по довжині паралельних провідників. Пито-ме зусилля на одиницю довжини провідника дорівнює:

$$f = 2 \cdot 10^{-7} k_\phi \frac{i_1 i_2}{a}.$$

Електродинамічні взаємодії в трифазних установках змінного струму мають ряд особливостей. На рис. 2 зображені вектори зусиль між провідниками окремих фаз, розташованих в одній площині, у різні моменти часу протягом одного періоду змінного струму. Зусилля змінюються в часі за значенням і напрямком і мають коливальний характер.

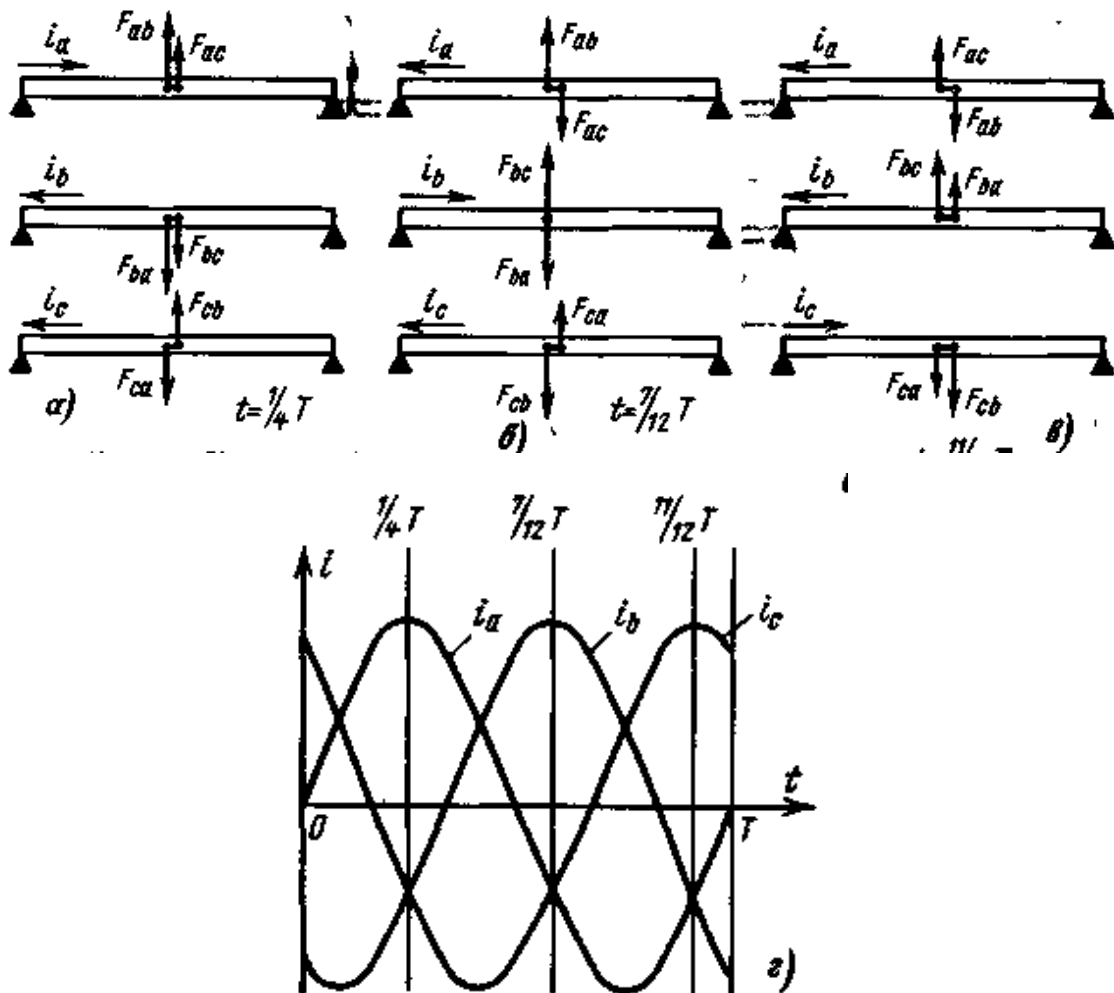


Рисунок 2

Сила, що діє на провідник зі струмом, визначається як результат взаємодії його зі струмами в провідниках двох інших фаз, при цьому в найбільш важких умовах знаходиться провідник середньої фази.

Найбільше питоме зусилля на провідник середньої фази може бути визначене з виразу, Н/м,

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} k_{\phi} \frac{I_m^2}{a},$$

де I_m – амплітуда струму у фазі, А;

a – відстань між сусідніми фазами, м;

коефіцієнт $\sqrt{3}$ ураховує фазові зсуви струмів у провідниках.

Взаємодія провідників істотно зростає в режимі КЗ, коли повний струм КЗ досягає свого найбільшого значення – ударного. При оцінці взаємодії фаз необхідно розглядати двофазне й трифазне КЗ.

Питоме зусилля при трифазному КЗ у системі провідників, розташованих в одній площині:

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} k_{\phi} \frac{i_y^{(3)2}}{a},$$

де $i_y^{(3)}$ – ударний струм трифазного КЗ, А.

У випадку двофазного КЗ вплив третьої (неушкодженої) фази мізерно малий, тому для визначення питомого зусилля використовують вираз:

$$f^{(2)} = 2 \cdot 10^{-7} k_{\phi} \frac{i_y^{(2)2}}{a},$$

де $i_y^{(2)}$ – ударний струм двофазного КЗ, А.

Оскільки $i_y^{(2)} / i_y^{(3)} = 0,87$, міжфазне зусилля при трифазному КЗ більше, ніж при двофазному. Тому розрахунковим видом КЗ при оцінці електродинамічних сил вважають трифазне.

Для запобігання механічних ушкоджень під дією зусиль, що виникають у провідниках при протіканні по них струмів КЗ, всі елементи струмоведучої конструкції повинні мати достатню електродинамічну стійкість.

Електродинамічна стійкість – здатність апаратів або провідників витримувати механічні зусилля, що виникають при протіканні струмів КЗ, без деформацій, що перешкоджають їх подальшій нормальній роботі.

Для електричних апаратів завод-виготовлювач указує гарантований струм КЗ, при якому забезпечується електродинамічна стійкість. Найчастіше в каталогах на обладнання задається миттєве значення струму електродинамічної стійкості $i_{\text{дин}}$. При виборі апаратів гарантований заводом-виготовлювачем струм порівнюється з розрахунковим ударним струмом КЗ. Повинна бути виконана умова:

$$i_{\text{дин}} \geq i^{(3)}_{\text{у}}.$$

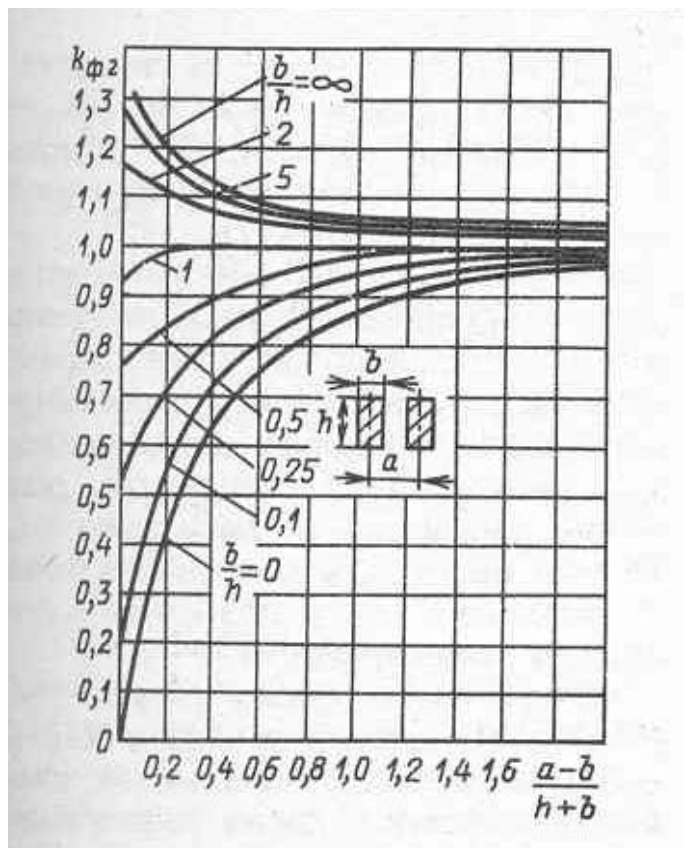
Згідно ПУЕ на електродинамічну стійкість не перевіряють апарати й провідники, захищені запобіжниками із плавкими вставками на струм до 60 А, а також апарати й шини кіл трансформаторів напруги за умови їх розташування в окремій камері. Не розраховують механічні напруги від сил електродинамічної взаємодії в гнучких проводах.

2. Определить наибольшие электродинамические нагрузки на прямоугольные шины, расположенные на ребро, при двухфазном КЗ. Сечение шин 80×8 мм, ударный ток КЗ $i_{уд} = 20$ кА, расстояние между осями шин принято 160, 80, 48, 32 и 16 мм.

Р е ш е н и е. По кривым рис 6.5 [2] найдем коэффициент формы k_{ϕ} для шины прямоугольного сечения при отношении толщины к ее высоте $b/h = 8/80 = 0,1$. Предварительно вычислим отношение $(a-b)/(h+b)$. Результаты сведем в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

a , мм	$(a-b)/(h+b)$	k_{ϕ}	q_{max} , Н/м
160	1,72	0,98	490
80	0,82	0,90	900
48	0,45	0,75	1250
32	0,27	0,65	1625
16	0,09	0,38	1900



Значения максимальных нагрузок находим по (2.2). При a , равных 160 и 16 мм, они составляют соответственно

$$q_{\max} = 0,98 \frac{2 \cdot 10^{-7}}{0,160} 20^2 \cdot 10^6 = 490 \text{ Н/м};$$

$$q_{\max} = 0,38 \frac{2 \cdot 10^{-7}}{0,016} 20^2 \cdot 10^6 = 1900 \text{ Н/м}.$$

Результаты расчетов электродинамических нагрузок при заданных расстояниях a приведены в табл. 2.2. Они показывают, что при малых расстояниях между плоскими шинами коэффициент формы существенно влияет на электродинамические нагрузки. Например, при уменьшении расстояния между полосами шин в десять раз нагрузки возрастают только в четыре раза.