

УДК 621.3

## ЖЁСТКИЕ ШИНЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ЖЁСТКИХ ШИН

Лугачёв В. М.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Гапанюк С. Г.

Общие сведения. Шина – это жёсткий неизолированный проводник с низким сопротивлением. Шины служат для подвода и распределения электрической энергии в распределительных устройствах, трансформаторных подстанциях, вводах энергии в здания, подключения электрического оборудования и т. п.

В зависимости от подключаемого оборудования шины могут быть разной формы и выполняться из разного материала. В частности, шины могут изготавливаться из меди, алюминия и стали. Шины из меди обладают низким сопротивлением, хорошей теплоотдачей, однако для экономической целесообразности их используют только в ответственных, высоконагруженных установках. Шины из стали имеют более низкую стоимость, однако могут использоваться только в маломощных установках при токе 200-300 А. Оптимальными, по экономическим и техническим соображениям, являются шины из алюминия и его сплавов. Шины могут изготавливаться разнообразного сечения: сплошного прямоугольного и круглого, полового квадратного, круглого, п-образного и т. д.

К земле, полу, потолку, стенам или корпусу оборудования шины крепятся на изолятор с помощью шинодержателя. Крепление к изолятору производится шпилькой с пружинной шайбой в продольное овальное отверстие. Возможно присоединение алюминиевых шин к медным, однако оно осуществляется с помощью переходных зажимов, для предотвращения образования электрической пары.

Выбор шин. Основным критерием выбора служит площадь сечения шины. Она определяется исходя из экономической плотности тока, по следующей формуле:

$$q_э = \frac{I_{ном}}{i_э},$$

где  $I_{ном}$  – ток нормального режима, А;

$i_э$  – нормированная экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup> (табличное значение).

Однако, следует отметить, что по данной формуле не определяются: сечения главных (сборных) шин (т. к. нагрузка в этих шинах неравномерна по длине), временные или резервные шины (т. к. нагрузка на них эпизодическая) и шины под напряжение до 1000 В при  $T_{max} < 4500$  ч. Все вышеперечисленные шины следует выбирать по допустимому току.

После выбора сечения шины проверяются:

- по допустимому току из условий нагрева;
- на термическую стойкость при воздействии токов КЗ;
- на динамическую стойкость при КЗ;

- на механическую прочность.

Проверка по допустимому току. Выбранные шины должны удовлетворять условиям нагрева. Расчёт проводят при токах, больших чем штатные, т. е. при максимальных нагрузках в ремонтном или послеаварийном режиме. Исходя из этого должно выполняться следующее условие:

$$I_{max} \leq I_{доп},$$

где  $I_{доп}$  – допустимый ток на шины выбранного сечения, с учётом поправки на температуру охлаждающей среды или варианта расположения шин, А. Он находится по следующей формуле:

$$I_{доп} = I_{доп. ном.} \sqrt{\frac{\vartheta_{дл.доп} - \vartheta_0}{\vartheta_{дл.доп. ном.} - \vartheta_0 ном.}} = I_{доп. ном.} \sqrt{\frac{70 - \vartheta_0}{45}} [A],$$

где  $I_{доп. ном.}$  – допустимый ток при температуре окружающей среды  $\vartheta_0 ном. = 25^\circ C$  (табличное значение, зависит от площади сечения и формы);

$\vartheta_{дл.доп} = 70^\circ C$  – для шин любого материала формы и сечения;

$\vartheta_0 ном. = 25^\circ C$  – табличная температура окружающей среды;

$\vartheta_0$  – действительная температура охлаждающей среды,  $^\circ C$ .

Проверка шин на электродинамическую стойкость при КЗ Подбираемые шины должны соответствовать следующему условию:

$$\vartheta_k \leq \vartheta_{к. доп},$$

где  $\vartheta_k$  – температура шин при нагреве током к. з. ;

$\vartheta_{к. доп}$

– допускаемая температура нагрева шин при к. з. (табличное значение).

$\vartheta_k$  находят по графику (рис. 1), исходя из величины  $f_k = f_n + k \frac{B_k}{q^2}$ , которая описывает термическое состояние шины.

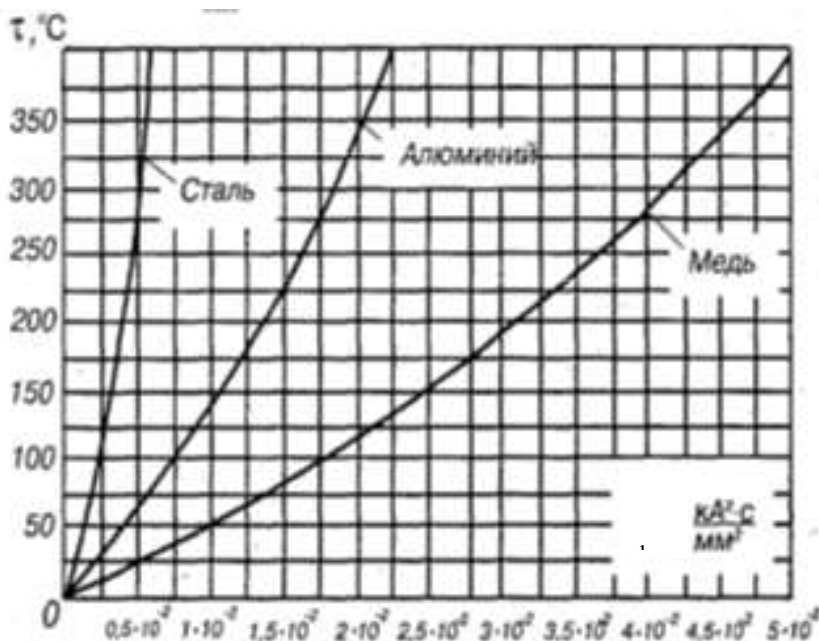


Рисунок .1 Кривые для определения температур нагрева проводников при КЗ

Проверка шин на электродинамическую стойкость. Металлические шины, закреплённые на изоляторах представляют собой динамическую колебательную

систему на которую оказывают действие электродинамические силы, кроме того эта система имеет и собственную частоту колебаний. При КЗ могут возникнуть такие силы, составляющие которых будут изменяться с частотой 50 и 100 Гц. Таким образом, может возникнуть резонанс, что вызовет значительные дополнительные нагрузки на шины и изоляторы. Однако, резонанс не наступает, если собственные частоты колебаний менее 30 Гц или более 200 Гц. Частота собственных колебаний определяется по формуле:

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}} \text{ — для алюминиевых шин,}$$

$$f_0 = \frac{125,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}} \text{ — для медных шин,}$$

где  $l$  – длина пролёта между изоляторами, м;

$q$  – поперечное сечение шины, см<sup>2</sup>;

$J$  – момент инерции поперечного сечения шины относительно оси, перпендикулярной направлению изгибающей силы (зависит от формы шины, в таблицах приведены данные для его расчёта, исходя из размеров шин, их формы и взаимного расположения), см<sup>4</sup>.

Изменяя длину пролёта, стараются попасть в безрезонансный интервал, если это сделать не удаётся, то проводят специальный расчёт, учитывающий действия сил, возникающих при резонансных колебаниях.

Механический расчёт. Механический расчёт рассмотрим на примере однополосных шин. Для шин других сечений рассчитываются аналогично, за исключением поправок на форму, количество шин в пакете, взаимное расположение и т. п. Наибольшее электродинамическое усилие возникает при трёхфазном КЗ, исходя из этого в расчётах будем принимать ударный ток трёхфазного КЗ.

Шины считаются механически прочными, если выполняется следующие условие:  $\sigma_{\text{расч}} \leq \sigma_{\text{доп}}$ ,

где  $\sigma_{\text{доп}}$  – допустимое механическое напряжение в материале шин (табличное значение), МПа;

$\sigma_{\text{расч}}$  – механическое напряжение в материале шины, вычисляется оно по следующей формуле, МПа.

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W} = \frac{fl^2}{10W} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot k_{\Phi} \frac{i_y^2 l^2}{W a},$$

где  $M = \frac{fl^2}{10}$  – изгибающий момент, Н·м;

$f$  – равномерно распределённая сила, Н;

$l$  – длина пролёта между изоляторами, м;

$W$  – момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия (зависит от формы шины, в таблицах приведены данные для его расчёта, исходя из размеров шин, их формы и взаимного расположения), см<sup>3</sup>;

$i_y$  – ударный ток трёхфазного КЗ, А;

$a$  – расстояние между шинами, м;

$k_\phi = 1$  – коэффициент формы, т. к. расстояние между шинами значительно больше их периметра.

*Выбор изоляторов.* Шины крепятся к опорам на изоляторах, выбор которых осуществляется по следующим критериям:

- соответствие номинального напряжения установки номинальному напряжению изолятора:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;

- номинальный ток меньше максимального расчётного:  $I_{max} \leq I_{ном}$ ;

- допускаемая нагрузка на головку изолятора не превосходит расчётную нагрузку на него:  $F_{расч} \leq F_{доп}$ ;

$$F_{доп} = 0,6F_{разр},$$

где  $F_{разр}$  – разрушающая нагрузка на изгиб, Н;

$F_{расч} = f_\phi l k_h$  – при горизонтальном или вертикальном расположении изоляторов всех фаз, Н; где  $k_h = H/H_{из}$ ;

$$H = H_{из} + b + h/2;$$

$H_{из}$  – высота изолятора, мм;

$b$  – ширина шины, мм;

$h$  – высота шины, мм.

*Вывод.* Таким образом, подбор варианта ошиновки установок представляет собой последовательный проверочный расчёт, с постоянным корректированием параметров шин для соответствия их характеристик техническим нормам. Расчёт, также осложнён большим количеством данных, получаемых из графических зависимостей, и сложных математических выкладок, что негативно сказывается на его точности. Кроме этого, необходимо учитывать большое количество параметров подключаемого оборудования, большое разнообразие форм шин, вариантов их расположения и материалов изготовления.

#### Литература

1. Виды шин и проводов // forca.ru: интернет-портал. URL: <https://forca.ru/spravka/shiny-i-tokoprovody/vidy-shin-i-provodov.html> (дата обращения: 15.05.2020).

2. Режим нагрева элементов электрических установок токами- термическое действие токов короткого замыкания// studbooks.net: онлайн библиотека. URL: [https://studbooks.net/2078905/matematika\\_himiya\\_fizika/rezhim\\_nagreva\\_elementov\\_elektricheskikh\\_ustanovok\\_tokami\\_termicheskoe\\_deystvie\\_tokov\\_korotkogo\\_zamykaniya](https://studbooks.net/2078905/matematika_himiya_fizika/rezhim_nagreva_elementov_elektricheskikh_ustanovok_tokami_termicheskoe_deystvie_tokov_korotkogo_zamykaniya) (дата обращения: 15.05.2020).

3. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций: [учебник для энергетических и энергостроительных техникумов]/ Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – 2-е изд., перераб.- Москва: энергия, 1980.