**Тема: Электрические станции и подстанции**

**Лекция№10. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОВОДНИКОВ С ТОКАМИ В СХЕМАХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК.**

Оглавление

[10.1 Силы взаимодействия двух проводников. 1](#_Toc427418373)

[10.2 Силы в трехфазной системе проводников 3](#_Toc427418374)

[10.3 Электродинамическая стойкость жёстких проводников*.* 4](#_Toc427418375)

[10.4 Выбор изоляторов 5](#_Toc427418376)

[10.5 Электродинамическая стойкость гибких проводников 6](#_Toc427418377)

[10.6 Электродинамическая стойкость аппаратов 7](#_Toc427418378)

При КЗ проводники и аппараты подвергаются воздействию значительных электродинамических сил, которые могут достигать 4000 – 16000 Н. Эти силы могут вызвать остаточную деформацию жёстких проводников , схлестывание гибких проводников, вызвать отказ во включении выключателей или самопроизвольное отключение разъединителей. Чтобы этого не случилось, все системы токоведущих частей и электрические аппараты проверяются на электродинамическую стойкость при проектировании первичной электрической схемы.

Из физики известно, что на элемент проводника ***dl*** с током***i***в магнитном поле с индукцией ***B***действует сила ***dF=iBdlsinα***. Магнитное поле может быть создано другим проводником с током, тогда говорят о взаимодействии двух проводников с токами.

Магнитную индукцию от проводника с током можно определить с помощью закона Био-Савара, но иногда бывает удобнее определить ***В*** с помощью закона полного тока: .

# 10.1 Силы взаимодействия двух проводников.

Часто взаимодействие между проводниками в схемах энергоустановок сводится к взаимодействию двух параллельных проводников с токами. Рассмотрим этот случай подробнее (Рис.10.1). Пусть проводники длиной *l* находятся на расстоянии *а*. Ток в одном проводнике *i1* , в другом *i2*. Будем считать, что *l»а* (это часто имеет место на практике), тогда для вычисления индукции *В1*  от первого проводника в районе второго воспользуемся законом полного тока.

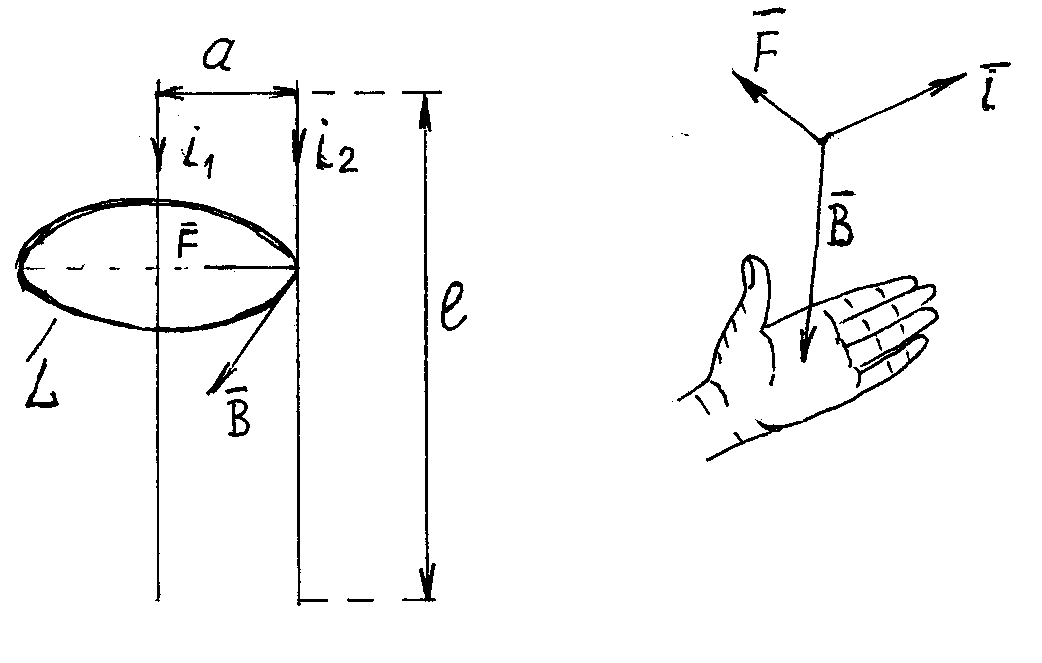


Рис. 10.1 Взаимодействие двух проводников с токами и определение направления силы с помощью правила левой руки

В качестве контура интегрирования *L* выберем окружность с радиусом *а*. Тогда получим , т.к. в силу симметрии *В1=const* на контуре *L*, то можно записать . Из последнего выражения можно записать для индукции от первого проводника в районе второго: . Зная индукцию *В1*, можно определить силу *dF2* действующую на элемент *dl2* второго проводника с током *i2*.

.

В нашем случае *sin α=1*, т.к. *α=π/2*, поэтому сила, действующая на весь второй проводник:

.

В практических расчетах динамической стойкости пользуются понятием погонной силы *fпог=F/l [Н/м]*. Для нашего случая с учётом того, что *μ0=4π10-7Гн/м*, выражение для погонной силы примет вид:

.

Т.е. погонная сила пропорциональна произведению токов во взаимодействующих проводниках и обратнопропорциональна расстоянию между ними.

В предыдущих формулах предполагалось, что взаимодействующие проводники бесконечно тонкие. Для проводников конечного сечения:

, где *кф* – коэффициент формы проводника, значения которого приводится в справочниках.

# 10.2 Силы в трехфазной системе проводников

Рассмотрим наиболее частый случай, когда проводники фаз располагаются в одной плоскости (Рис.10.2).

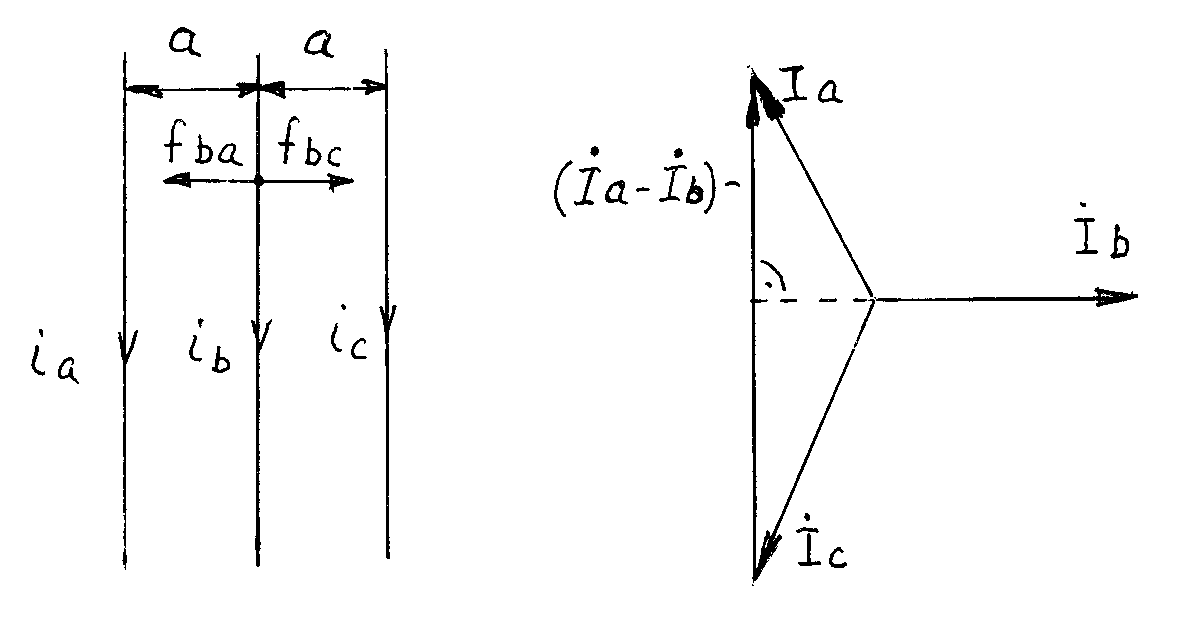


Рис. 10.2 Силы в трёхфазной системе токов.

В фазных проводниках протекают токи, которые представляют собой синусоиды с амплитудами *Im*:





.

Сила, действующая на проводник средней фазы, больше сил действующих на крайние фазы, поэтому рассмотрим силу, действующую на среднюю фазу. Эта сила будет складываться из двух сил – силы действующей на фазу *b* со стороны фазы *a* и силы действующей на фазу *b* со стороны фазы *c*:

.

Окончательно, с учетом формулы двойного угла и коэффициента *кф*, для погонной силы, действующей на среднюю фазу, можно записать:

. Таким образом, сила изменяется с частотой в два раза большей частоты сети. Максимальное значение погонной силы будет равно:

.

В переходном процессе КЗ наибольшее мгновенное значение тока равно его ударному значению *iу*, поэтому приближенно можно записать:

.

Наибольшие усилия между проводниками возникают при трёхфазном КЗ, поэтому этот вид КЗ является расчётным при проверке проводников и аппаратов на электродинамическую стойкость.

# 10.3 Электродинамическая стойкость жёстких проводников*.*

Электродинамическая стойкость жёстких проводников будет обеспечена, если будет выполнено условие:

*σрасч≤σдоп*.

Здесь *расч* – расчётное механическое напряжение в материале проводника;

*доп* – допустимое механическое напряжение в материале проводника (согласно ПУЭ *доп=0,7 разр*).

В качестве примера рассмотрим расчёт электродинамической стойкости проводников из жёстких однополосных шин (Рис.10.3). Жёсткие шины, как правило, жестко крепятся только к одному изолятору в пролёте. На остальных изоляторах шины крепятся с помощью накладок, обеспечивающих возможность продольного перемещения шин. Это необходимо для того, чтобы не развивались механические напряжения в шинах и изоляторах при изменении температуры.

Расчет проводится для фазы *b*, причём т.к. в практических конструкциях *a»b+h*, то *kф=1*.

Равномерно распределенная сила  создаёт изгибающий момент , где *Коп* – коэффициент, зависящий от способа закрепления шин на опорных изоляторах. На основе практики в общем случае принимают *Коп=10*.

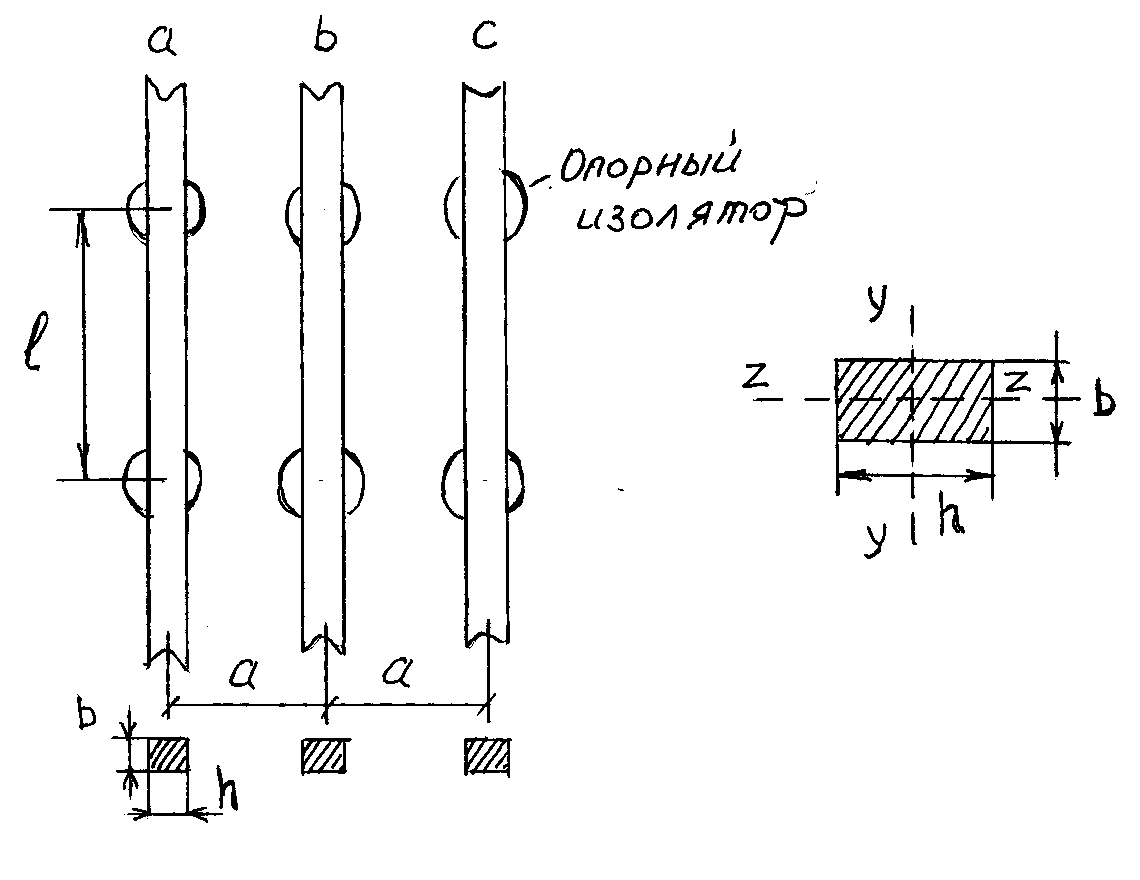


Рис. 10.3 Динамическая стойкость жёстких шин: *а* – расстояние между фазами; *l –* расстояние между изоляторами; *b,h –* размеры сечения проводника

Воздействие момента вызывает в материале шин механическое напряжение , где *W* – момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию силы [м3]. *W* зависит от формы и соотношения размеров в сечении проводника. В нашем случае , .

Т.к. , то, изменяя *a* и *l,* добиваются выполнения условия *σрасч≤σдоп*. Увеличение *а* приводит к возрастанию габаритов установки, поэтому чаще прибегают к уменьшению *l*.

Из условия *σрасч=σдоп* можно определить пролет, который будет удовлетворять условию электродинамической стойкости для жёсткой однополосной шины:

. (1)

Полученная формула справедлива при статическом действии силы. Но, как отмечалось выше, электродинамическая сила является переменной во времени. Это может привести к механическому резонансу в системе жесткие шины-изоляторы, когда собственные частоты системы будут близки к 50 и 100 Гц. Если же собственные частоты системы будут меньше 30 или больше 200 Гц, то механический резонанс не возникает и проверка шин на электродинамическую стойкость производится как в статическом случае.

Частота собственных колебаний можно вычислить на основе следующих выражений:

- для алюминиевых шин 

- для медных шин , где *l* – расстояние между изоляторами, м; *J* – момент инерции поперечного сечения шины относительно оси, перпендикулярной направлению изгибающей силы, см4; *S* – площадь сечения шины, см2.

Изменяя *l*, добиваются того, чтобы механический резонанс был исключен, и одновременно выполнялось условие (1). Если только вариация *l* не позволяет выполнить требуемые условия, то изменяют еще и форму сечения шины.

# 10.4 Выбор изоляторов

Т.к. шины крепятся на опорных изоляторах, то необходима проверка их электродинамической стойкости (Рис.10.4). В общем случае выбор опорных изоляторов производится по следующим условиям:

* по номинальному напряжению *Uуст≤Uном*;
* по электродинамической стойкости *Fрасч≤Fдоп*, где *Fрасч* – сила, действующая на изолятор; *Fдоп* – допустимая нагрузка на головку изолятора (*Fдоп=0,6Fразр, Fразр –* разрушающая нагрузка на изгиб).

При горизонтальном или вертикальном расположении изоляторов расчетная сила *Fрасч=fbmlkh*, где *kh* – поправочный коэффициент на высоту шины , , где *Низ* – высота изолятора.

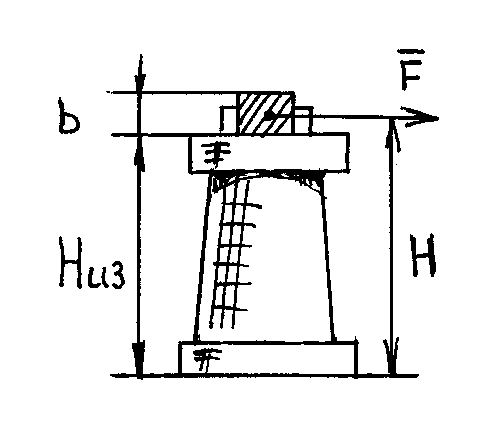


Рис. 10.4 Динамическая стойкость опорного изолятора.

# 10.5 Электродинамическая стойкость гибких проводников

Электродинамическая стойкость гибких проводников подвешенных на подвесных изоляторах сводится к проверке на схлёстывание, при котором может произойти недопустимое сближение соседних фаз и пробой между ними.

Наибольшее сближение наблюдается при двухфазных КЗ (Рис.10.5), когда провода сначала отбрасываются в противоположные стороны, а затем после отключения тока КЗ движутся навстречу друг другу. Сближение будет тем больше, чем меньше расстояние между фазами, больше стрела провеса, больше величина и время протекания тока КЗ.

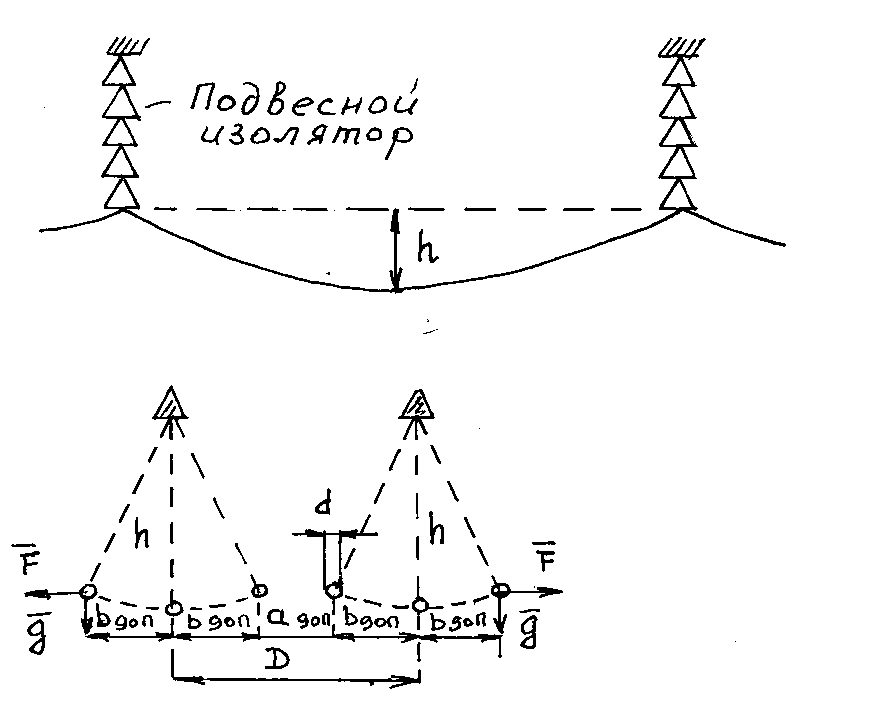


Рис. 10.5 Динамическая стойкость гибких проводников.

Условием динамической стойкости будет выполнение соотношения *b≤bдоп* , (2)

где *b* – отклонение от нормального положения провода, *bдоп* – допустимое отклонение.

Отклонение определяется при известной стреле провеса *h*, массе погонного метра провода *m*, расстояния между проводами *D*.

Допустимое отклонение определяется по наименьшему допустимому расстоянию между соседними фазами в момент их наибольшего сближения *адоп*, диаметру провода *d* и расстоянию между фазами *D*. .

Если условие (2) не выполняется, то увеличивают расстояние между фазами *D* или уменьшают стрелу провеса *h*.

# 10.6 Электродинамическая стойкость аппаратов

будет обеспечена, если будет выполняться условие , где *iдин –* ток динамической стойкости

аппарата, а *iу(3) –* ударный ток при трёхфазном КЗ в цепи аппарата.