

Свойства звезды и треугольника

Остановимся теперь на важнейшем вопросе о мощности при соединениях в звезду и треугольник, так как для работы каждого механизма, приводимого в действие электродвигателем или получающего питание от генератора или трансформатора, в конечном итоге важна именно мощность.

В сетях переменного тока различают:

полную (кажущуюся) мощность $S = EI$ или $S = UI$;

активную мощность $P = EI\cos\varphi$ или $P = UI\cos\varphi$;

реактивную мощность $Q = EI\sin\varphi$ или $Q = UI\sin\varphi$,

где E - ЭДС; U - напряжение на зажимах электроприемника; I - ток; φ - угол сдвига фаз между током и напряжением.

При определении мощности генераторов в формулы входят ЭДС, при определении мощности электроприемников - напряжения на их зажимах. При определении мощности электродвигателей учитывают также коэффициент полезного действия, так как на табличке электродвигателя указывается мощность на его валу.

Если мощности фаз $S_a(P_a, Q_a)$; $S_b(P_b, Q_b)$; $S_c(P_c, Q_c)$ одинаковы и соответственно равны S_ϕ , P_ϕ и Q_ϕ , то мощность трехфазной системы, выраженная через фазные величины, равна сумме мощностей трех фаз и составляет:

полная $S = 3S_\phi$;

активная $P = 3P_\phi$;

реактивная $Q = 3Q_\phi$.

Мощность при соединении в звезду. При соединении в звезду линейные токи I и фазные токи I_ϕ равны, а между фазными и линейными напряжениями существует соотношение $U = U/\sqrt{3}$, откуда $U_\phi = U/\sqrt{3}$. Сопоставляя эти формулы, видим, что выраженные через линейные величины при соединении в звезду мощности равны:

полная $S = 3S_\phi = \sqrt{3}UI$;

активная $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$;

реактивная $Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi$.

Мощность при соединении в треугольник. При соединении в треугольник линейные U и фазные U_ϕ напряжения равны, а между фазными и линейными токами существует соотношение $I = \sqrt{3}I_\phi$, откуда $I_\phi = I/\sqrt{3}$. Поэтому выраженные через линейные величины при соединении в треугольник мощности равны:

полная $S = 3S_\phi = \sqrt{3}UI$;

активная $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$;

реактивная $Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi$.

Важное замечание. Одинаковый вид формул мощности для соединений в звезду и треугольник иногда служит причиной недоразумений, так как наталкивает недостаточно опытных людей на неправильный вывод, будто вид соединений всегда безразличен. Покажем на одном примере, насколько ошибочен такой взгляд.

Электродвигатель был соединен в треугольник и работал от сети 380 В при токе 10 А с полной мощностью

$$S = 1,73 \cdot 380 \cdot 10 = 6574 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Затем электродвигатель пересоединили в звезду. При этом на каждую фазную обмотку пришлось в 1,73 раза более низкое напряжение, хотя напряжение в сети осталось тем же. Более низкое напряжение привело к тому, что ток в обмотках уменьшился в 1,73 раза. Но и этого мало. При соединении в треугольник линейный ток был в 1,73 раза больше фазного, а теперь фазный и линейный токи равны.

Таким образом, линейный ток при пересоединении в звезду уменьшился в $1,73 \cdot 1,73 = 3$ раза.

Иными словами, хотя новую мощность нужно вычислять по той же формуле, но подставлять в нее следует иные значения, а именно:

$$S = 1,73 \cdot 380 \cdot 10/3 = 2191 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Из этого примера следует, что при пересоединении электродвигателя с треугольника в звезду и питания его от той же электросети мощность, развиваемая электродвигателем, снижается в 3 раза.

Что происходит при переключении со звезды в треугольник и обратно в наиболее распространенных случаях? Оговариваем, что речь идет не о внутренних пересоединениях (которые выполняют в заводских условиях или в специализированных мастерских), а о пересоединениях на щитках аппаратов, если на них выведены начала и концы обмоток.

1. При переключении со звезды в треугольник обмоток генераторов или вторичных обмоток трансформаторов напряжение в сети понижается в 1,73 раза, например с 380 до 220 В. Мощность генератора и трансформатора остается такой же. Почему? Потому что напряжение каждой фазной обмотки остается таким же и ток в каждой фазной обмотке такой же, хотя ток в линейных проводах возрастает в 1,73 раза.

При переключении обмоток генераторов или вторичных обмоток трансформаторов с треугольника в звезду происходят обратные явления, т. е. линейное напряжение в сети повышается в 1,73 раза, например с 220 до 380 В, токи в фазных обмотках остаются теми же, токи в линейных проводах уменьшаются в 1,73 раза.

Значит, и генераторы, и вторичные обмотки трансформаторов, если у них выведены все шесть концов, пригодны для сетей на два напряжения, отличающихся в 1,73 раза.

2. При переключении ламп со звезды в треугольник (при условии их присоединения к той же сети, в которой лампы, включенные звездой, горят нормальным накалом) лампы перегорят.

При переключении ламп с треугольника в звезду (при условии, что лампы при соединении в треугольник горят нормальным накалом) лампы будут давать тусклый свет. Значит, лампы, например, на 127 В в сеть напряжением 127 В должны включаться треугольником. Если же их приходится питать от сети 220 В, необходимо соединение в звезду с нулевым проводом (подробнее см. § 2). Соединять в звезду без нулевого провода можно только лампы одинаковой мощности, равномерно распределенные между фазами, как, например, в театральные люстры.

3. Все сказанное о лампах относится и к резисторам, электрическим печам и тому подобным электроприемникам.

4. Конденсаторы, из которых собирают батареи для повышения $\cos\varphi$, имеют номинальное напряжение, которое указывает напряжение сети, к которой конденсатор должен присоединяться. Если напряжение сети, например, 380 В, а номинальное напряжение конденсаторов 220 В, их следует соединять в звезду. Если напряжение сети и номинальное напряжение конденсаторов одинаковы, конденсаторы соединяют в треугольник.

5. Как объяснено выше, при переключении электродвигателя с треугольника в звезду мощность его снижается примерно втрое. И наоборот, если электродвигатель переключить со звезды в треугольник, мощность резко возрастает, но при этом электродвигатель, если он не предназначен для работы при данном напряжении и соединении в треугольник, сгорит.

Пуск короткозамкнутого электродвигателя с переключением со звезды в треугольник применяют для снижения пускового тока, который в 5-7 раз превышает рабочий ток двигателя. У двигателей сравнительно большой мощности пусковой ток настолько велик, что может вызвать перегорание предохранителей, отключение автоматического выключателя и привести к значительному снижению напряжения. Уменьшение напряжения снижает накал ламп, уменьшает вращающий момент электродвигателей, может вызвать отключение контакторов и магнитных пускателей. Поэтому стремятся уменьшить пусковой ток, что достигается несколькими способами. Все они в итоге сводятся к понижению напряжения в цепи статора на период пуска. Для этого в цепь статора на период пуска вводят реостат, дроссель, автотрансформатор либо переключают обмотку со звезды в треугольник. Действительно, перед пуском и в первый период пуска обмотки соединены в звезду, поэтому к каждой из них подводится напряжение, в 1,73 раза меньшее номинального, и, следовательно, ток будет значительно меньше, чем при включении обмоток на полное напряжение сети. В процессе пуска электродвигатель увеличивает частоту вращения и ток снижается. Тогда обмотки переключают в треугольник.

Предупреждения: 1. Переключение со звезды в треугольник допустимо лишь для двигателей с легким режимом пуска, так как при соединении в звезду пусковой момент примерно вдвое меньше момента, который был бы при прямом пуске. Значит, этот способ снижения пускового тока не всегда пригоден, и если нужно снизить пусковой ток и одновременно добиться большого пускового момента, то берут электродвигатель с фазным ротором, а в цепь ротора вводят пусковой реостат.

2. Переключать со звезды в треугольник можно только те электродвигатели, которые предназначены для работы при соединении в треугольник, т. е. имеющие обмотки, рассчитанные на линейное напряжение сети.

Переключение с треугольника в звезду. Известно, что недогруженные электродвигатели работают с очень низким коэффициентом мощности $\cos\varphi$. Поэтому рекомендуется недогруженные электродвигатели заменять менее мощными. Если, однако, выполнить замену нельзя, а запас мощности велик, то не исключено повышение $\cos\varphi$ переключением с треугольника в звезду. Нужно при этом измерить ток в цепи статора и убедиться в том, что он при соединении в звезду не превышает при нагрузке номинального тока; в противном случае электродвигатель перегреется.

1 Активная мощность измеряется в ваттах (Вт), реактивная в вольт-амперах реактивных (вар), полная - в вольт-амперах (В·А). Величины, в 1000 раз большие, соответственно называются киловатт (кВт), киловар (квар), киловольт-ампер (кВ·А).