

6П2.13

К 265

Библиотека ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Ф. Ф. Карпов

КАК ПРОВЕРИТЬ
ВОЗМОЖНОСТЬ
ПОДКЛЮЧЕНИЯ
К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
КОРОТКОЗАМКНУТОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

с 950.765

Ф. Ф. КАРПОВ

КАК ПРОВЕРИТЬ
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОДКЛЮЧЕНИЯ
К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
КОРОТКОЗАМКНУТОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Демков Е. Д., Долгов А. Н., Ежков В. В., Смирнов А. Д.,
Устинов П. И.

В книге приведены в элементарной форме пояснения и расчеты, необходимые для решения вопроса о допустимости подключения к электрической сети трехфазного короткозамкнутого электродвигателя. Изложение методов расчета поясняется решениями числовых примеров.

Назначение книги — служить пособием электротехнику и квалифицированному электромонтеру при выборе типа электродвигателей, присоединяемых к коммунальной или промышленной электросети.

Автор — Карпов Федор Федорович

КАК ПРОВЕРИТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
СЕТИ КОРТОКЗАМКНУТОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ*

Редактор Е. Д. Демков

Техн. редактор Н. И. Борунов

Сдано в набор 10/VII 1959 г.

Подписано в печать 3/XI 1959 г.

T-12142

Бумага 84×108¹/₃₂

2,46 печ. л.

Уч.-изд. л. 3,4

Тираж 20 000 экз.

Цена 1 р. 70 к.

Заказ 409

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПУБЛИЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
И. Г. БЕННИКОВА
С. С. СЕРГЕЕВА

0950765

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Всякий приемник электроэнергии выполняется на вполне определенное напряжение, при котором обеспечивается его нормальная работа. Это напряжение называют номинальным напряжением приемника и указывают на его корпусе и в паспорте. Номинальному напряжению соответствует номинальный ток I_n , мощность P_n и другие номинальные технические данные приемника. Повышение или понижение напряжения на зажимах приемника по сравнению с номинальным вызывает ухудшение его работы¹.

Для обеспечения наилучших технико-экономических показателей работы присоединенных к сети приемников электрической энергии идеальным решением было бы сооружение такой сети, которая гарантировала бы для всех приемников работу при номинальном напряжении.

Однако на практике это невыполнимо. Провода и кабели линий электрической сети всегда обладают активными и индуктивными сопротивлениями. При протекании в линии электрического тока в сопротивлениях происходит потеря напряжения, благодаря чему напряжение в начале линии бывает выше, чем напряжение в ее конце.

Потеря напряжения в трехфазной линии определяется по известной формуле:

$$\Delta U_{12} = 1,73 (R_{12} \cos \varphi_{12} + X_{12} \sin \varphi_{12}) I_{12}, \quad (1)$$

где ΔU_{12} — потеря напряжения в линии между точками 1 и 2, в;

R_{12} и X_{12} — активное и индуктивное сопротивления фазы линии между точками 1 и 2, ом;

I_{12} — ток линии на участке 1 — 2, а;

$\cos \varphi_{12}$ — коэффициент мощности нагрузки на участке 1 — 2.

¹ В дальнейшем изложении все величины, относящиеся к электродвигателю, если не сделано специальной оговорки, даются для номинального напряжения.

На рис. 1 представлена трехфазная линия с тремя токовыми нагрузками, присоединенными в точках С, С₁ и Ш.

Определив потери напряжения на участках линии по формуле (1), можно построить график распределения напряжения вдоль линии, который на рис. 1 обозначен линией I. Токоприемники вблизи источника питания будут находиться под напряжением выше номинального, а токоприемники в конце линии — под напряжением ниже номинального. Лампы, присоединенные к точке С линии, будут гореть ярче ламп, подключенных к точке Ш.

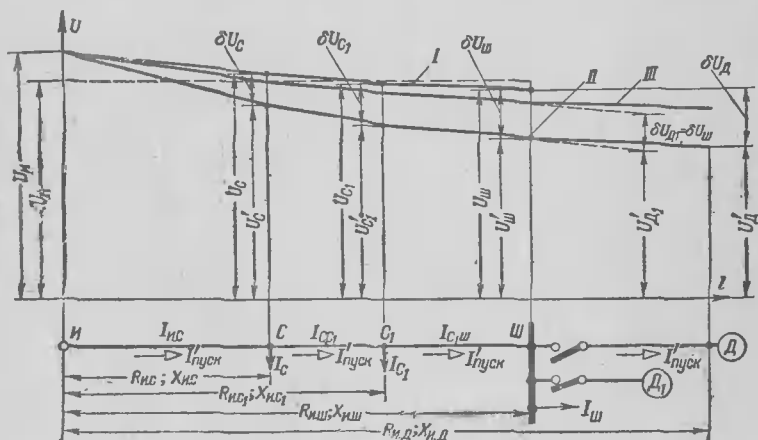


Рис. 1.

Если бы напряжение в начале линии и ее токовые нагрузки оставались неизменными, то неизменными были бы также напряжения на зажимах приемников, присоединенных к этой линии. Однако в действительности токовые нагрузки линии непрерывно меняются. Например, нагрузка освещения вечером больше, чем днем или поздней ночью. Вместе с нагрузками меняются потери напряжения в линии, а следовательно, и напряжения на зажимах токоприемников.

При наличии регулирования напряжения у источника питания отклонения напряжения на зажимах приемников для режима минимальной нагрузки уменьшаются.

Изменения напряжения на зажимах приемников электроэнергии, связанные с изменением нагрузок сети по графику, происходят настолько медленно, что глаз не мо-

жет заметить изменения накала ламп, хотя световой поток лампы непрерывно меняется. Разница в накале лампы даже при специальном наблюдении может быть обнаружена только после большого промежутка времени.

Нас в этой книге будут интересовать резкие изменения напряжения в сети, при которых накал ламп меняется скачком и легко обнаруживается глазом в виде «мигания света».

2. ЧТО ТАКОЕ КОЛЕБАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

В электрической сети бывают резкие изменения нагрузки, связанные главным образом с включением в сеть токоприемников большой мощности. В момент включения приемника электроэнергии он, как правило, забирает из сети больший ток, чем при его нормальной работе.

Токи включения для ламп накаливания, бытовых и тепловых приборов и других токоприемников малой мощности невелики и не оказывают заметного влияния на работу других подключенных к сети приемников.

Иное дело электродвигатели. Для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором ток включения, который для электродвигателей носит название пускового тока, превышает номинальный ток в 4—7 раз. Отношение пускового тока электродвигателя ($I_{\text{пуск}}$) к его номинальному току ($I_{\text{н}}$) носит название кратности пускового тока (k_i):

$$k_i = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}. \quad (2)$$

Непосредственное включение крупных электродвигателей оказывает существенное влияние на работу присоединенных к сети токоприемников. Это объясняется тем, что пусковой ток вызывает увеличение потерь напряжения в сети, вследствие чего напряжение на зажимах приемников дополнительно снижается, лампы накаливания при этом резко снижают световой поток («мигание света»), а работающие электродвигатели замедляют ход и при некоторых условиях могут совсем остановиться. Кроме того, может случиться, что сам пускаемый электродвигатель не сможет при пуске развернуть присоединенный к нему механизм.

Понятно, что необходим расчет, который позволил бы решить вопрос о том, допустимо ли при заданных усло-

виях непосредственное включение на сеть короткозамкнутого электродвигателя. Этот вопрос, который составляет содержание настоящей книги, имеет большое практическое значение, так как короткозамкнутый электродвигатель при прямом включении на сеть является наиболее простым, дешевым и надежным электроприводом.

Предположим, что к линии, питающей сборные шины распределительного щита $Ш$ (см. рис. 1), присоединяется короткозамкнутый электродвигатель $Д$ при помощи рубильника. За источник питания этой линии принимаются шины распределительного устройства подстанции или электростанции, на которых напряжение практически не меняется при пуске электродвигателя. Буквами $С$, $С_1$ и $Ш$ обозначены точки сети, для которых нужно определить влияние пуска электродвигателя на работу присоединенных к этим точкам приемников электроэнергии.

В последующем изложении величины, относящиеся к одной из намеченных точек, будут снабжаться соответствующими индексами.

Например, $U_{ш}$ — напряжение на шинах $Ш$, v ; $R_{н.с}$ — активное сопротивление от источника питания до точки $С$, $ом$; $X_{н.с}$ — то же, но индуктивное сопротивление, $ом$; $R_{н.д}$, $X_{н.д}$ — активное и индуктивные сопротивления от источника питания до зажимов электродвигателя $Д$.

После включения рубильником электродвигателя по линии потечет пусковой ток электродвигателя $I'_{пуск}$, который наложится на существующий ток нагрузки линии. Этот дополнительный пусковой ток электродвигателя вызовет в линии дополнительную потерю напряжения, вследствие чего во всех точках сети напряжения почти мгновенно понизятся. Чем дальше от источника питания, тем больше будет изменение напряжения и график напряжений в момент пуска электродвигателя будет соответствовать линии II .

Наибольшее отклонение напряжения при пуске электродвигателя будет, когда линия работает с максимальной нагрузкой.

Напряжение в точке $С$, равное до пуска U_c , в момент пуска упадет до величины U'_c , а напряжение на шинах $Ш$ изменится с $U_{ш}$ до $U'_{ш}$.

Такие быстротекающие изменения напряжения носят название *колебаний напряжения*. Под этим понятием

подразумевается разность между начальным значением напряжения в какой-либо точке сети и минимальным значением напряжения в той же точке при внезапном изменении режима работы сети.

Так, например, для точки *С* колебание напряжения при пуске электродвигателя будет равно:

$$\delta U_c = U_c - U'_c \quad (3)$$

Читатель, вероятно, уже обратил внимание на значок штриха, которым снабжаются величины напряжения и тока, относящиеся к моменту пуска электродвигателя. В дальнейшем изложении все величины, относящиеся к моменту пуска электродвигателя, будут снабжаться таким значком.

При нормальных условиях через короткий промежуток времени после начала пуска, измеряемый секундами или десятками секунд, электродвигатель разовьет нормальную скорость вращения и пусковой ток уменьшится до величины рабочего тока электродвигателя. При этом напряжение во всех точках сети возрастет до значений, соответствующих линии *III*, которая будет ниже линии напряжения сети до пуска электродвигателя за счет рабочего тока последнего.

В дальнейшем будем рассматривать режим первого момента пуска электродвигателя при максимальной нагрузке линии, так как именно при этих условиях создаются наиболее неблагоприятные условия для работы присоединенных к сети приемников электроэнергии.

3. ПРИ КАКИХ УСЛОВИЯХ ДОПУСТИМ ПУСК КОРТОКЗАМКНУТОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Пуск короткозамкнутого электродвигателя прямым включением на сеть следует считать допустимым при выполнении следующих условий:

а) если пускаемый электродвигатель сможет сдвинуть с места и развернуть до нормальной скорости вращения присоединенный к нему механизм;

б) если снижение напряжения в сети при пуске не вызовет остановку присоединенных к сети работающих электродвигателей;

в) если колебание напряжения при пуске не будет оказывать заметного влияния на работу ламп освещения.

Рассмотрим по порядку эти условия.

а) Пускаемый электродвигатель может развернуть присоединенный к нему механизм без перегрева своих обмоток, если развиваемый им при пуске начальный момент будет не менее, чем на 10%, выше начального момента сопротивления приводимого механизма.

Это требование будет удовлетворено при условии выполнения следующего соотношения:

$$U_{*д}' m_n \geq 1,1 k_{н.з} m_{нач. мех}, \quad (4)$$

где m_n — кратность начального (пускового) момента электродвигателя относительно номинального; для электродвигателей серии А и ДАМСО значения m_n приведены в столбце 10 табл. 1 и 2*;

$k_{н.з}$ — номинальный коэффициент загрузки электродвигателя, т. е. отношение номинального момента (или мощности) приводимого механизма к номинальному моменту (или мощности) электродвигателя;

$m_{нач мех}$ — кратность начального момента сопротивления механизма, т. е. отношение начального момента к номинальному;

$U_{*д}'$ — напряжение на зажимах электродвигателя в момент пуска в долях от номинального, т. е.

$$U_{*д}' = \frac{U_{*д}'}{U_n}, \quad (5)$$

где $U_{*д}'$ — напряжение на зажимах электродвигателя в момент его пуска, в;

U_n — номинальное напряжение электродвигателя, в.

В дальнейшем величина напряжения, выраженная в долях относительно номинального напряжения, будет обозначаться со звездочкой без дополнительных разъяснений.

Момент, развиваемый двигателем, зависит от величины напряжения на его зажимах и изменяется прямо пропорционально квадрату этого напряжения, поэтому факти-

* В настоящей брошюре все таблицы в соответствии с их порядковыми номерами для удобства пользования ими при решении конкретных задач размещены в конце.

ческая кратность начального момента электродвигателя равна $U_{*д}^{*2} m_n$.

Например, если напряжение на зажимах электродвигателя $U_{*н}' = 0,7$, то кратность начального момента электродвигателя уменьшится больше, чем в два раза, и будет равна:

$$U_{*д}^{*2} m_n = 0,7^2 m_n = 0,49 m_n,$$

или, если выразить в процентах, фактическая кратность начального момента электродвигателя будет составлять только 49% кратности при номинальном напряжении.

Различные значения кратностей начальных моментов сопротивления механизмов приведены в табл. 3.

Для насосов и вентиляторов $m_{нач.мех} = 0,1 - 0,3$, поэтому их пуск легко осуществляется даже при значительных снижениях напряжения на зажимах электродвигателя. Напротив, мельницы для угля имеют тяжелый пуск, так как для них $m_{нач.мех} = 1,5$.

Если условие (4) не выполняется, электродвигатель не сможет развернуть механизма. В этом случае следует или увеличить мощность короткозамкнутого электродвигателя, или применить электродвигатель с фазным ротором, для которого начальный момент может быть значительно повышен по сравнению с короткозамкнутым электродвигателем при одновременном уменьшении пускового тока.

б) Работающий электродвигатель не остановится при снижении напряжения на его зажимах в момент пуска другого электродвигателя, если максимальный момент работающего электродвигателя останется выше момента сопротивления соединенного с ним механизма.

Это условие выражается соотношением:

$$U_{*д1}^{*2} m_m \geq 1,1 k_3, \quad (6)$$

где m_m — кратность максимального (опрокидывающего) момента электродвигателя относительно номинального; эта величина приведена в столбце 11 табл. 1 и 2;

$U_{*д1}'$ — напряжение на зажимах работающего электродвигателя в долях от номинального;

k_3 — коэффициент загрузки работающего электродвигателя в момент пуска проверяемого электродвигателя; 1,1 — коэффициент запаса;
 $U'_{*д1} m_m$ — фактическая кратность максимального момента работающего электродвигателя при снижении напряжения на его зажимах.

Если условие формулы (6) для какого-либо работающего электродвигателя не выполняется, он может остановиться.

Для предотвращения остановки работающих электродвигателей необходимо уменьшить колебание напряжения в сети, что достигается применением пуска через реактор или автотрансформатор или заменой короткозамкнутого электродвигателя на электродвигатель с фазным ротором.

в) Колебание напряжения в сети при частых пусках электродвигателей может вызвать утомительное и вредное для глаз мигание света.

В то же время, если большое по величине колебание напряжения происходит редко, его можно допустить.

В связи с этим Правила устройства электроустановок (ПУЭ) устанавливают величину допустимого колебания напряжения для осветительной сети в зависимости от частоты пуска электродвигателей (см. ПУЭ, § VI-1-25).

Величина колебания напряжения у ламп рабочего освещения не ограничивается, если оно происходит не чаще 1 раза в 1 ч. При колебаниях напряжения в пределах 1,5—4% их частота не должна превышать 10 раз в 1 ч. Частота колебаний напряжения может быть любой, если их величина не превышает 1,5%.

Величина колебания напряжения, вызванная пуском электродвигателя какого-либо механизма или станка, не проверяется для ламп местного освещения, обслуживающих этот механизм или станок.

Колебания напряжения у ламп при пуске электродвигателей будут наибольшими в случае совместного питания силовой и осветительной нагрузок от общей линии.

Если при этом величины колебания напряжения выходят за допустимые пределы, необходимо выделить силовую и осветительную нагрузки на самостоятельные линии. Эта мера значительно снизит колебания напряжения на лампах. Влияние колебания напряжения при пуске электродвигателей на работу ламп практически почти полностью устраняются при питании силовой и осветительной нагрузок от отдельных трансформаторов.

4. КАК ОПРЕДЕЛИТЬ КОЛЕБАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПУСКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Чтобы проверить возможность пуска короткозамкнутого электродвигателя, необходимо подсчитать напряжение на его зажимах в момент пуска и напряжение на зажимах другого работающего электродвигателя при пуске проверяемого электродвигателя, а также колебание напряжения у ламп.

Для определения этих величин обратимся снова к рис. 1.

Колебание напряжения при пуске электродвигателя в основном определяется его пусковым током. Следует отметить, что снижение напряжения на зажимах присоединенных к сети приемников при колебании напряжения вызывает некоторое изменение потребляемого ими из сети тока, что, в свою очередь, дает изменение в ту или другую сторону величины колебания напряжения. Однако для практических расчетов в большинстве случаев изменением нагрузок сети можно пренебречь по следующим соображениям.

Ток нагрузки освещения, тепловых приборов, радио-приемников и телевизоров, а также ток слабонагруженных электродвигателей уменьшается при снижении напряжения. Напротив, ток электродвигателей при полной нагрузке с понижением напряжения возрастает. Таким образом, в сети эти изменения частично или полностью компенсируются и их влияние на величину колебания напряжения обычно незначительно.

Пренебрегая изменением нагрузок линии, найдем, что колебание напряжения в какой-либо точке сети при пуске электродвигателя будет равно дополнительной потере напряжения в сети до рассматриваемой точки от пускового тока электродвигателя. Определим напряжение на зажимах электродвигателя в момент его пуска.

Из рис. 1 видно, что напряжение на зажимах электродвигателя в момент его пуска U'_d можно получить, если из напряжения на шинах до включения пускаемого электродвигателя $U_{ш}$ вычесть дополнительную потерю напряжения в линии от пускового тока $\Delta U_{и.д.}$, т. е.

$$U'_d = U_{ш} - \Delta U_{и.д.} \quad (7)$$

Потеря напряжения в линии от источника питания до электродвигателя от его пускового тока может быть оп-

ределена из формулы (1) при условии, что активное сопротивление линии не превосходит индуктивное более чем в 3—3,5 раза. Чем больше активное сопротивление линии по сравнению с индуктивным, тем больше ошибка при вычислении потери напряжения по формуле (1).

Если $\frac{R_{и.д}}{X_{и.д}} > 3,5$, в расчет необходимо вносить поправку. Как это делается, будет показано в § 5.

Если $\frac{R_{и.д}}{X_{и.д}} < 3,5$, то дополнительная потеря напряжения от пускового тока электродвигателя в соответствии с формулой (1) будет равна:

$$\Delta U_{и.д} = 1,73 (R_{и.д} \cos \varphi_{п} + X_{и.д} \sin \varphi_{п}) I'_{пуск},$$

где $R_{и.д}$, $X_{и.д}$ — суммарное активное и индуктивное сопротивления линии от источника питания до зажимов электродвигателя, *ом*;

$\varphi_{п}$ — фазный угол пускового тока;

$I'_{пуск}$ — фактический пусковой ток электродвигателя, *а*.

Значение пускового тока электродвигателей при номинальном напряжении определяется из столбца 9 табл. 1 и 2 по кратности пускового тока k_i . При снижении напряжения на зажимах пусковой ток уменьшается прямо пропорционально напряжению. Следовательно, фактическая его величина может быть выражена так:

$$I'_{пуск} = U'_* I_{пуск}$$

или с учетом формулы (2) имеем:

$$I'_{пуск} = U'_* k_i I_{н}. \quad (8)$$

Введем для сокращения записи обозначение:

$$A_{и.д} = R_{и.д} \cos \varphi_{п} + X_{и.д} \sin \varphi_{п}. \quad (9)$$

Тогда дополнительная потеря напряжения может быть выражена следующим образом:

$$\Delta U_{и.д} = 1,73 A_{и.д} I'_{пуск} = 1,73 A_{и.д} U'_* k_i I_{н}. \quad (10)$$

Подставив в формулу (7) значение $U'_{*д}$ из формулы (5) и $\Delta U_{н.д}$ из формулы (10), получим:

$$U'_{*д} U_n = U_{ш} - 1,73 A_{н.д} U'_d k_i I_n,$$

откуда получаем величину напряжения на зажимах электродвигателя в долях от номинального в момент пуска:

$$U'_{*д} = \frac{U_{ш}}{U_n + 1,73 A_{н.д} k_i I_n}. \quad (11)$$

Для этой формулы величины номинального напряжения U_n , номинального тока I_n и кратности пускового тока k берутся по табл. 1 и 2 или из справочника.

Напряжение на шинах $U_{ш}$, к которым подключается электродвигатель, может быть определено расчетом или для действующей установки взято по показанию вольтметра. Во многих случаях его можно без расчета принять равным номинальному напряжению электродвигателя, так как всякая установка, как правило, должна обеспечивать для потребителей нормальные условия работы. На шинах распределительного щита напряжением 380—500 в, установленного далеко от трансформатора, для осторожности можно принять $U_{ш} = 0,95 U_n$.

Величина $A_{н.д} = R_{н.д} \cos \varphi_n + X_{н.д} \sin \varphi_n$ зависит от сопротивления линии и фазного угла пускового тока (φ_n).

Активное ($R_{н.д}$) и индуктивное ($X_{н.д}$) сопротивления должны быть взяты от шин «источника питания» до зажимов электродвигателя.

Под «источником питания», как уже упоминалось выше, понимается та точка сети, в которой напряжение остается неизменным при пуске электродвигателя. Для маломощных электродвигателей низкого напряжения за источник питания можно принять шины распределительного щита 380—500 в. Если мощность электродвигателя составляет 15—20% от мощности понижающего трансформатора, следует принимать во внимание сопротивление обмоток трансформатора и за источник питания считать шины высшего напряжения понижающей трансформаторной подстанции. В большинстве случаев в расчете на колебание напряжения при пуске электродвигателей низкого напряжения сопротивлением сети высшего напряжения можно пренебречь. При пуске крупных высоко-

вольтных электродвигателей 3 кВ и 6 кВ, помимо сопротивления линий сети, к которой они присоединены, и сопротивлений понижающих трансформаторов, приходится принимать во внимание сопротивление линий питающей сети высшего напряжения (35 кВ или 10 кВ) и иногда при малой мощности трансформаторов районных подстанций учитывать также сопротивление и этих трансформаторов.

Если мощность электродвигателя составляет 5—10% от мощности питающей электростанции, необходимо учитывать реактивное сопротивление генераторов.

Величины активных и индуктивных сопротивлений воздушных и кабельных линий приведены в табл. 4 и 5, а сопротивления обмоток трансформаторов в табл. 6 (сопротивления трансформаторов даны по отношению к стороне низшего напряжения).

При расчете сопротивлений всех элементов питающей сети последние должны быть приведены к ступени напряжения, к которой подключен электродвигатель. Сопротивления линии со стороны высшего напряжения пересчитываются по отношению к напряжению низшей стороны по формулам:

$$R_n = \frac{R_B}{n^2}; \quad X_n = \frac{X_B}{n^2}, \quad (12)$$

где R_B и X_B — сопротивления сети со стороны высшего напряжения, Ом;

R_n и X_n — приведенные значения этих сопротивлений по отношению к стороне низшего напряжения, Ом;

n — коэффициент трансформации понижающего трансформатора.

Значения коэффициента трансформации и его квадрата для понижающих трансформаторов в зависимости от установленного отклонения обмотки высшего напряжения +5%, 0% или —5% приведены в табл. 7.

Значение коэффициента мощности при пуске короткозамкнутого электродвигателя ($\cos \varphi_n$) определяется как среднее арифметическое значений, подсчитанных по двум следующим формулам:

$$\cos \varphi'_n = \cos \varphi_n \left[\frac{m_n}{(1 - s_n)^2 k_i} + \frac{1}{3} k_i (1 - \eta_n) \right]; \quad (13)$$

$$\cos \varphi''_n = \frac{\eta_n \cos \varphi_n}{1 - s_n} \cdot \frac{m_n + 0,025 k_i^2}{k_i}. \quad (14)$$

Все величины, входящие в эти формулы, указываются в каталогах на электродвигатели и относятся к номинальным условиям их работы, т. е. даны для номинального напряжения на зажимах и для номинальной нагрузки. Для электродвигателей серий А и ДАМСО эти величины ($\cos \varphi_n$ — коэффициент мощности, η_n — коэффициент полезного действия, m_n — кратность начального момента, k_i — кратность пускового тока, s_n — скольжение) приведены в табл. 1 и 2. В этих же таблицах даны для удобства вычислений значения $\cos \varphi_n$, подсчитанные как средние из формул (13) и (14), и соответствующие значения $\sin \varphi_n$.

Определим величину колебания напряжения на шинах III.

Из рис. 1 находим, что величина колебания напряжения равна величине дополнительной потери напряжения в сети от пускового тока электродвигателя,

$$\delta U_{III} = \Delta U_{и.ш} = U_{III} - U'_{III}.$$

Колебание напряжения на шинах III в долях от номинального напряжения определяется, если разделить величину дополнительной потери напряжения в линии до шин III, найденную из формулы (10), на номинальное напряжение:

$$\delta U_{*III} = \frac{\Delta U_{и.ш}}{U_n} = \frac{1,73 A_{и.ш} I'_{пуск}}{U_n} = \frac{1,73 \cdot A_{и.ш} U'_{*д} k_i I_n}{U_n}. \quad (15)$$

Для любого токоприемника, получающего питание от шин III, например для электродвигателя D_1 (см. рис. 1), колебание напряжения будет равно колебанию напряжения на шинах III и, следовательно, напряжение на зажимах этого электродвигателя может быть получено по формуле:

$$U'_{*д1} = U_{*д1} - \delta U_{*III}, \quad (16)$$

где $U_{*д1}$ — относительное напряжение на зажимах электродвигателя D_1 до пуска электродвигателя D .

Для точек С и C_1 сети можем при расчете на колебание напряжения пользоваться теми же формулами (15) и (16) с соответствующей заменой индексов III на С или C_1 .

В заключение укажем общий ход расчета сети на колебание напряжения:

1. Определяется величина напряжения на зажимах электродвигателя в момент его пуска из формулы (11) и проверяется из условия (4), развернет ли электродвигатель присоединенный к нему механизм.

2. Определяется величина колебания напряжения по формуле (15) для тех точек сети, от которых питается осветительная нагрузка, и проверяется в зависимости от частоты пуска, не выходит ли колебание напряжения за допустимые пределы, установленные ПУЭ.

3. Определяется величина напряжения на зажимах работающих электродвигателей в момент пуска электродвигателя из формулы (16) и проверяется устойчивость их работы из соотношения (6).

Если все три условия удовлетворены, пуск электродвигателя следует считать допустимым.¹

Пример 1. От источника *И* по кабелю 6 кв марки ААБ сечением $3 \times 70 \text{ мм}^2$ питается ряд городских трансформаторных пунктов (см. рис. 2). В точке *С* на расстоянии 1,8 км от источника питания к кабелю присоединена промышленная подстанция с трансформатором

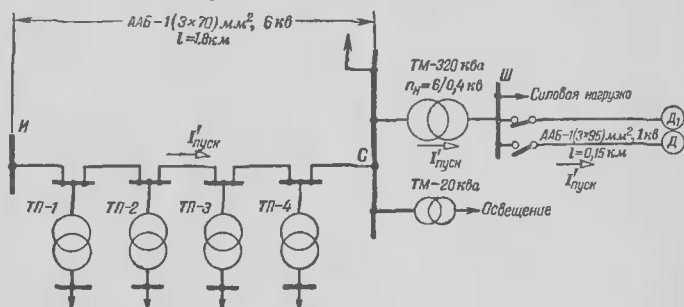


Рис. 2.

мощностью 320 кВа для силовой нагрузки с номинальным коэффициентом трансформации 6/0,4 кв с установленным ответвлением 0% и с отдельным трансформатором 20 кВа для освещения. К шинам III присоединен кабелем марки ААБ сечением $3 \times 95 \text{ мм}^2$, длиной 0,15 км электродвигатель Д типа А92-4 мощностью 100 кВт на напряжение 380 в. Коэффициент загрузки электродвигателя $k_{н.з} = 0,85$ и кратность начального момента сопротивления присоединенного к нему механизма $m_{нач.мех} = 0,7$. Напряжение на шинах III до пуска электродвигателя Д равно $U_{III} = 390 \text{ в}$.

¹ При очень частых пусках возможен перегрев обмоток электродвигателя или питающего его трансформатора. Тепловой расчет, необходимый в этом случае для решения вопроса о допустимости пуска, выходит за рамки настоящей книги.

В момент пуска электродвигателя D работает подключенный к шинам III электродвигатель D_1 типа А82-2 мощностью 75 квт с напряжением на зажимах $U_{д1} = 370$ в и с коэффициентом загрузки $k_s = 0,9$.

Проверить:

- а) возможность пуска электродвигателя D ;
- б) влияние колебания напряжения при пуске электродвигателя D на работу электродвигателя D_1 ;
- в) влияние колебания напряжения при пуске электродвигателя D на работу осветительной нагрузки города и промышленного предприятия.

Решение. а) Определяем напряжение на зажимах электродвигателя D по формуле (11):

$$U'_{*д} = \frac{U_{ш}}{U_n + 1,73 A_{н.д} k_i I_n}.$$

В нашем случае по условию задачи напряжений на шинах III до пуска электродвигателя $U_{ш} = 390$ в и номинальное напряжение электродвигателя $U_n = 380$ в.

Из табл. 1 находим для электродвигателя типа А-92-4 кратность пускового тока $k_i = 5$, номинальный ток $I_n = 185$ а, коэффициент мощности электродвигателя при пуске $\cos \varphi_n = 0,287$ и значение $\sin \varphi_n = 0,958$.

Остается определить величины активного и индуктивного сопротивлений линии от источника питания $И$ до зажима электродвигателя D .

Из табл. 4 и 5 находим сопротивление 1 км алюминиевого кабеля марки ААБ сечением 3×70 мм² на напряжение 6 кв:

$$R_b = 0,45 \text{ ом/км}; X_b = 0,075 \text{ ом/км}.$$

Эти сопротивления необходимо привести к стороне низшего напряжения трансформатора, так как электродвигатель подключен к сети низшего напряжения. Из табл. 7 для номинального коэффициента трансформации 6/0,4 кв и ответвления 0% находим значение $n^2 = 225$. По формуле (12) определяем активное и индуктивное сопротивления 1 км кабеля по отношению к сети низшего напряжения:

$$R_n = \frac{0,45}{225} = 0,002 \text{ ом/км};$$

$$X_n = \frac{0,075}{225} = 0,000333 \text{ ом/км}.$$

Сопротивления кабеля 6 кв длиной $l = 1,8$ км от источника питания $И$ до промышленной подстанции (точка C) будут равны:

$$R_{ис} = R_n l = 0,002 \cdot 1,8 = 0,0036 \text{ ом};$$

$$X_{ис} = X_n l = 0,000333 \cdot 1,8 = 0,0006 \text{ ом}.$$

Находим сопротивление обмоток трансформатора 320 кВа, 6/0,4 кВ из табл. 6:

$$R_T = 9,7 \cdot 10^{-3} = 0,0097 \text{ ом};$$

$$X_T = 25,8 \cdot 10^{-3} = 0,0258 \text{ ом}.$$

Определяем сопротивление линии от источника питания И до шин низшего напряжения подстанции:

$$R_{г.ш} = R_{н.с} + R_T = 0,0036 + 0,0097 = 0,0133 \text{ ом};$$

$$X_{г.ш} = X_{н.с} + X_T = 0,0006 + 0,0258 = 0,0264 \text{ ом}.$$

Сопротивления 1 км кабеля марки ААБ 3X95 мм² до 1 кВ находим из табл. 4 и 5:

$$R_1 = 0,33 \text{ ом};$$

$$X_1 = 0,06 \text{ ом}.$$

Учитывая длину кабеля, питающего электродвигатель Д ($l = 0,15 \text{ км}$), находим сопротивления линии от источника питания И до зажимов электродвигателя:

$$R_{н.д} = R_{н.ш} + R_1 l = 0,0133 + 0,33 \cdot 0,15 = 0,0628 \text{ ом};$$

$$X_{н.д} = X_{н.ш} + X_1 l = 0,0264 + 0,06 \cdot 0,15 = 0,0354 \text{ ом}.$$

Отношение $\frac{R_{н.д}}{X_{н.д}} = \frac{0,0628}{0,0354} = 1,78 < 3,5$. Таким образом, в нашем случае точность формулы (11), как указывалось выше в § 4, достаточна.

Подставляя числовые значения в формулу (9), находим:

$$\begin{aligned} A_{н.д} &= R_{н.д} \cos \varphi_n + X_{н.д} \sin \varphi_n = \\ &= 0,0628 \cdot 0,287 + 0,0354 \cdot 0,958 = 0,0514 \text{ ом}. \end{aligned}$$

Напряжение на зажимах электродвигателя Д в момент его пуска равно:

$$U'_{*д} = \frac{U_{ш}}{U_n + 1,73 A_{н.д} k_i I_n} = \frac{390}{380 + 1,73 \cdot 0,0514 \cdot 5 \cdot 185} = 0,845.$$

Проверяем из соотношения (4), развернет ли электродвигатель Д присоединенный к нему механизм:

$$U'^2_{*д} m_n \geq 1,1 k_{н.з} m_{нач.мех.}$$

Из табл. 1 находим для электродвигателя типа А92-4 кратность начального момента $m_n = 1,0$. По условию задачи $k_{н.з} = 0,85$ и $m_{нач.мех.} = 0,7$. Подставляя числовые значения в (4), находим: $0,845^2 \times 1 = 0,714 > 1,1 \cdot 0,85 \cdot 0,7 = 0,654$.

Как видим, условие (4) выполняется и электродвигатель Д при пуске сможет развернуть присоединенный к нему механизм в нор-

мальных условиях без перегрева своих обмоток выше температуры, допустимой по нормам.

б) Для определения влияния пуска электродвигателя D на работу присоединенного к шинам III электродвигателя D_1 типа А82-2 найдем величину колебания напряжения на шинах III из формулы (15):

$$\delta U_{*III} = \frac{1,73 A_{и.ш} I'_{пуск}}{U_N}$$

В нашем случае

$$A_{и.ш} = R_{и.ш} \cos \varphi_{II} + X_{и.ш} \sin \varphi_{II} = 0,0133 \cdot 0,287 + \\ + 0,0264 \cdot 0,958 = 0,0291 \text{ ом}; U_N = 380 \text{ в.}$$

Величину фактического пускового тока электродвигателя находим из (8):

$$I'_{пуск} = U'_{дi} I_N = 0,845 \cdot 5 \cdot 185 = 782 \text{ а.}$$

Подставляя числовые значения, получаем:

$$\delta U_{*III} = \frac{1,73 \cdot 0,0291 \cdot 782}{380} = 0,104.$$

По условию задачи до пуска напряжение на зажимах работающего электродвигателя $U_{д1} = 370 \text{ в}$ или в долях от номинального

$$U_{*д1} = \frac{U_{д1}}{U_N} = \frac{370}{380} = 0,974.$$

В момент пуска электродвигателя D на зажимах работающего электродвигателя D_1 относительное напряжение согласно (16) уменьшится на величину колебания напряжения δU_{*III} , откуда получаем:

$$U'_{*д1} = U_{*д1} - \delta U_{*III} = 0,974 - 0,104 = 0,87.$$

Проверяем устойчивость работы электродвигателя D_1 при пуске электродвигателя D по формуле (6):

$$U'^2_{*д1} m_M \geq 1,1 k_3.$$

Из табл. 1 находим для электродвигателя типа А82-2 кратность максимального момента $m_M \approx 2,4$. По условию задачи $k_3 = 0,9$.

Подставляя числовые значения, получаем:

$$0,87^2 \cdot 2,4 = 1,81 > 1,1 \cdot 0,9 = 0,99.$$

Как видим, устойчивость работы электродвигателя типа А82-2 обеспечивается с большим запасом.

в) Проверяем влияние пуска электродвигателя D на работу осветительной нагрузки. Для этого находим колебание напряжения в точке C на шинах 6 кв промышленной подстанции по формуле (15).

В нашем случае

$$A_{н.с} = R_{н.с} \cos \varphi_{п} + X_{н.с} \sin \varphi_{п} = 0,0036 \cdot 0,287 + \\ + 0,0006 \cdot 0,958 = 0,0016 \text{ ом};$$

$$I'_{п\text{ус}} = 782 \text{ а};$$

$U_{п} = 380 \text{ в}$, откуда колебание напряжения равно:

$$\delta U'_{*с} = \frac{1,73 \cdot 0,0016 \cdot 782}{380} = 0,0057 \text{ (или } 0,57\% \text{)*}.$$

Следует указать, что при определении колебания напряжения в точке *С* величины сопротивления кабеля и пускового тока электродвигателя были приведены по отношению к напряжению низковольтной сети. Для определения фактической величины пускового тока в кабеле высокого напряжения следует его величину в сети низкого напряжения разделить на коэффициент трансформации понижающего трансформатора $n = \frac{6}{0,4} = 15$.

Как показал расчет, колебание напряжения для точки *С* равно 0,57%. Такое колебание будет на зажимах ламп промышленного предприятия, так как осветительный трансформатор включен на шины *С*, и в городской осветительной сети, получающей питание транзитом через шины *С*. Для сети, обслуживаемой городским ТП, расположенным между источником питания *И* и шинами промышленной подстанции *С*, колебание напряжения будет меньше. Согласно ПУЭ-VI 1-25 допускается колебание напряжения до 1,5% для любой частоты колебаний. Таким образом, пуск электродвигателя *Д* вполне допустим по условию его влияния на осветительную сеть города и предприятия.

Если бы нагрузка освещения на предприятии получала питание от силового трансформатора, колебание напряжения на лампах было бы равно колебанию напряжения на шинах *Ш*, т. е. $\delta U_{ш}^* = 0,104$ (или 10,4%) и пуск электродвигателя *Д* по условию его влияния на осветительную сеть был бы допустим только при условии, что электродвигатель включается не чаще 1 раза в 1 ч.

Пример 2. От мощной системы по линии 35 кВ питаются несколько районных подстанций (рис. 3).

К шинам 6,3 кВ одной из них присоединяется по воздушной линии насосная станция, в которой установлены два агрегата с высоковольтными короткозамкнутыми электродвигателями типа ДАМСО-1512-4, из которых один агрегат находится в резерве.

Кратность начального момента насоса $m_{\text{нач.мех}} = 0,25$.

* Отношение $\frac{R_{н.с}}{X_{н.с}} = \frac{0,0036}{0,0006} = 6 > 3,5$ и для точного определения

величины $\delta U'_{*с}$ следовало бы применить метод, излагаемый ниже, в § 5, г. Однако в нашем случае такое уточнение не имеет практического смысла, так как значение $\delta U'_{*с} = 0,57\%$ много меньше допустимого (1,5%).

Технические данные электродвигателя (из табл. 2): $P_H = 1\,050\text{ кВт}$; $U_H = 6\,000\text{ в}$; $I_H = 120\text{ а}$; $k_i = 5$.

Коэффициент мощности при пуске: $\cos \varphi_{\text{п}} = 0,271$; $\sin \varphi_{\text{п}} = 0,963$.

Кратность начального момента $m_H = 1$.

Номинальный коэффициент загрузки электродвигателя $k_{H.з} = 0,95$.

Данные сети и нагрузки, а также напряжения в различных точках сети для режима ее работы до пуска электродвигателя указаны на рис. 3 (все величины приведены к ступени напряжения шин III, от которых питается электродвигатель).

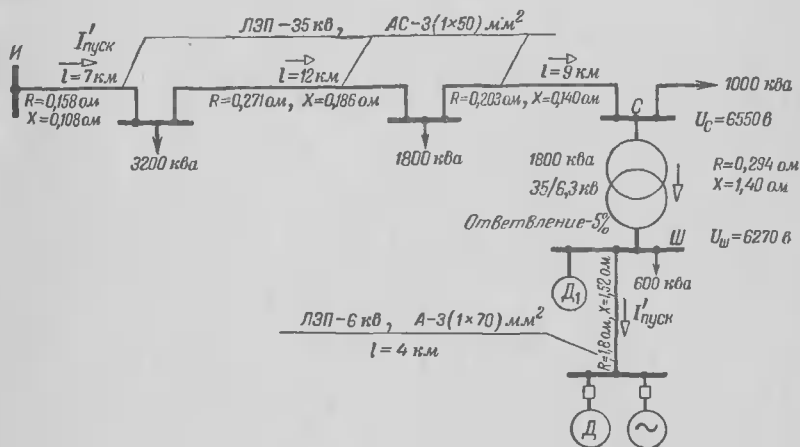


Рис. 3.

Проверить возможность пуска электродвигателя D и влияние колебания напряжения при его пуске на работу электродвигателя D_1 типа А-113-4, $P_H = 250\text{ кВт}$, $U_H = 6\text{ кВ}$, получающего питание от шин III подстанции при напряжении на зажимах $U_{д1} = 6\,100\text{ в}$ и работающего с коэффициентом загрузки $k_3 = 1,0$. Кратность максимального момента электродвигателя D_1 при напряжении — 6 кВ (см. табл. 2); $m_H = 2,5$.

Пуск электродвигателя D производится редко, так как насос работает круглосуточно, и влиянием колебания напряжения на освещение можно пренебречь.

Решение. Сопротивления воздушных линий 35 кВ и 6 кВ и понижающего трансформатора $1\,800\text{ кВА}$ находим из табл. 4, 5 и 6. Сопротивления линии 35 кВ пересчитываем по отношению к ступени напряжения 6 кВ при помощи формулы (12), в которой n^2 взято из табл. 7 для ответвления — 5%. Последовательность расчета при определении сопротивлений линий и трансформаторов была подробно изложена в примере 1 и здесь не повторяется. Результаты расчета указаны на рис. 3.

Для точки C находим:

$$R_{H.с} = 0,158 + 0,271 + 0,203 = 0,632\text{ ом};$$

$$X_{н.с} = 0,108 + 0,186 + 0,140 = 0,434 \text{ ом};$$

$$A_{н.с} = R_{н.с} \cos \varphi_{п} + X_{н.с} \sin \varphi_{п} = 0,632 \cdot 0,271 + 0,434 \times \\ \times 0,963 = 0,589 \text{ ом}.$$

Подобным же образом находим для шин III:

$$R_{н.ш} = 0,632 + 0,294 = 0,926 \text{ ом};$$

$$X_{н.ш} = 0,434 + 1,4 = 1,834 \text{ ом}.$$

$$A_{н.ш} = 0,926 \cdot 0,271 + 1,834 \cdot 0,963 = 2,02 \text{ ом}$$

и для зажимов электродвигателя Д:

$$R_{н.д} = 0,926 + 1,8 = 2,726 \text{ ом};$$

$$X_{н.д} = 1,834 + 1,52 = 3,354 \text{ ом};$$

$$A_{н.д} = 2,726 \cdot 0,271 + 3,354 \cdot 0,963 = 3,97 \text{ ом}.$$

Определяем относительное напряжение на зажимах электродвигателя в момент пуска по формуле (11):

$$U_{д}^{\prime} = \frac{U_{ш}}{U_{н} + 1,73 A_{н.д} k_i I_{н}}.$$

В нашем случае $U_{ш} = 6\,270 \text{ в}$ (см. рис. 3); $U_{н} = 6\,000 \text{ в}$;

$$A_{н.д} = 3,97 \text{ ом}; k_i = 5; I_{н} = 120 \text{ а}.$$

Подставляя числовые значения, получаем:

$$U_{д}^{\prime} = \frac{6\,270}{6\,000 + 1,73 \cdot 3,97 \cdot 5 \cdot 120} = 0,617.$$

Проверим из (4) возможность пуска электродвигателя Д:

$$U_{д}^{\prime 2} m_{н} \geq 1,1 k_{н.з} m_{нач.мех}.$$

В нашем случае $m_{н} = 1$; $k_{н.з} = 0,95$; $m_{нач.мех} = 0,25$, получаем:

$$0,617^2 \cdot 1 = 0,38 > 1,1 \cdot 0,95 \cdot 0,25 = 0,262.$$

Как видим, кратность момента, развиваемого электродвигателем при пуске, оказывается вполне достаточной для преодоления начального момента насоса.

Проверяем влияние пуска электродвигателя Д на работу электродвигателя Д₁, присоединенного к шинам III.

Определяем колебание напряжения на шинах III из (15):

$$\delta U_{ш} = \frac{1,73 A_{н.ш} I'_{пуск}}{U_{н}}.$$

В нашем случае $A_{н.ш} = 2,02 \text{ ом}$; $U_{н} = 6\,000 \text{ в}$.

Величину пускового тока электродвигателя D определяем из (8):

$$I'_{\text{пуск}} = U'_{*Д} k_t I_H = 0,617 \cdot 5 \cdot 120 = 370 \text{ а},$$

откуда

$$\delta U_{ш} = \frac{1,73 \cdot 2,02 \cdot 370}{6\,000} = 0,216.$$

Относительное напряжение на зажимах электродвигателя D_1 при пуске электродвигателя D находим из (16).

В нашем случае

$$U_{*Д1} = \frac{6\,100}{6\,000} = 1,0167; \delta U_{ш} = 0,216,$$

откуда

$$U'_{*Д1} = 1,0167 - 0,216 = 0,8.$$

Проверяем устойчивость работы электродвигателя D_1 из (6):

$$U'^2_{*Д1} m_M \geq 1,1 k_3.$$

В нашем случае $m_M = 2,5; k_3 = 1$.

Получаем:

$$0,8^2 \cdot 2,5 = 1,6 > 1,1 \cdot 1 = 1,1,$$

откуда заключаем, что устойчивость работы электродвигателя D_1 типа А113-4 обеспечивается.

Отметим, что линия электропередачи 6 кВ в нашем случае по отношению к шинам III играет роль пускового реактора для электродвигателя D .

Для оценки влияния пуска электродвигателя D на работу сети 35 кВ найдем колебание напряжения в точке С:

$$\delta U_{*c} = \frac{1,73 A_{н.с} I'_{\text{пуск}}}{U_H} = \frac{1,73 \cdot 0,589 \cdot 370}{6\,000} = 0,063 \text{ (или 6,3\%)}. \quad \delta U_{ш}$$

5. РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ КОНКРЕТНЫХ ЗАДАЧ РАСЧЕТА СЕТИ НА КОЛЕБАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

В дополнение к изложенному выше в настоящем параграфе приводятся решения еще некоторых задач, относящихся к расчету сети на колебание напряжения.

а) Как определить максимальную мощность короткозамкнутого электродвигателя при заданной величине колебания напряжения

При расчете сети на колебание напряжения может встретиться задача, когда дана допустимая величина колебания напряжения на шинах III $\delta U_{ш}$ и требуется определить максимальную мощность P_M короткозамкнутого

электродвигателя, при включении которого на шины III колебание напряжения на этих шинах не будет превосходить допустимой величины.

Допустимая величина колебания напряжения для осветительной нагрузки установлена ПУЭ в зависимости от частоты пуска электродвигателей. Для силовой нагрузки допустимая величина колебания напряжения может быть получена из формулы (16):

$$\delta U_{*ш} = U_{*д1} - U'_{д1}, \quad (17)$$

где $U'_{д1}$ — минимально допустимая величина напряжения на зажимах работающего электродвигателя, определяемая из условия (6):

$$U'_{д1} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot k_3}{m_m}}. \quad (18)$$

Максимальная мощность короткозамкнутого электродвигателя в *квт* определяется из выражения:

$$P_m = \frac{\delta U_{*ш} U_n^2 \eta_n \cos \varphi_n}{k_i (U_{*ш} A_{н.ш} - \delta U_{*ш} A_{н.д})} \cdot 10^{-3}, \quad (19)$$

которое может быть легко выведено из формул (8), (11) и (15) и из известной формулы мощности трехфазного электродвигателя. Все обозначения величин в формулах (17), (18) и (19) читателю уже знакомы.

Пример 3. Определить максимально допустимую мощность короткозамкнутого электродвигателя, питающегося от трансформатора 560 *кВа*, 6/0,4 *кВ* из учета его влияния на работающие электродвигатели при следующих условиях:

1) Технические данные пускаемого электродвигателя $U_n = 380$ в; $\eta_n = 0,93$; $\cos \varphi_n = 0,90$; $k_i = 5$; $\cos \varphi_{п} = 0,3$; $\sin \varphi_{п} = 0,954$; $m_n = 1$; $k_{н.з} = 1$.

2) Для электродвигателей, питающихся от того же трансформатора, кратность максимального момента не ниже $m_m = 1,9$ при коэффициенте загрузки $k_3 = 1$ и при относительном напряжении на зажимах $U_{д1} = 1,0$.

3) Напряжение на шинах щита низкого напряжения равно номинальному напряжению $U_{ш} = 1,0$.

4) Сопротивлениями сети высокого и низкого напряжения можно пренебречь по сравнению с сопротивлением трансформатора.

Решение. Определяем из (18) минимально допустимую величину напряжения на зажимах работающего электродвигателя:

$$U'_{*д1} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot k_3}{m_m}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1}{1,9}} = 0,762,$$

откуда допустимое колебание напряжения на шинах III из (17)

$$\delta U_{*ш} = U_{*д1} - U'_{*д1} = 1,0 - 0,762 = 0,238.$$

Сопротивления трансформатора 560 кВа, 6/0,4 кВ равны:

$$R_T = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; X_T = 15 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

По условию задачи следует принимать во внимание только эти сопротивления. Следовательно, можно считать:

$$A_{н,д} = A_{н,ш} = 4,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 + 15 \cdot 10^{-3} \cdot 0,954 = 15,74 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Подставляя числовые значения в формулу (19), находим максимальную мощность электродвигателя с короткозамкнутым ротором, пуск которого удовлетворяет поставленным в задаче условиям:

$$P_M = \frac{\delta U_{*ш} U_{*н}^2 \eta_n \cos \varphi_n}{k_i (U_{*ш} A_{н,ш} - \delta U_{*ш} A_{н,д})} \cdot 10^{-3} =$$

$$= \frac{0,238 \cdot 380^2 \cdot 0,93 \cdot 0,9}{5 (1 \cdot 15,74 \cdot 10^{-3} - 0,238 \cdot 15,74 \cdot 10^{-3})} \cdot 10^{-3} = 480 \text{ кВт}.$$

Определим, при какой кратности начального момента механизма, соединенного с электродвигателем, будет обеспечен его нормальный пуск. Из (4) находим:

$$m_{\text{нач.мех}} \leq \frac{U'^2_{*д} m_n}{1,1 k_{н.з}}$$

В нашем примере

$$U'_{*д} = U'_{*д1} = 0,762; m_n = 1; k_{н.з} = 1,$$

откуда

$$m_{\text{нач.мех}} \leq \frac{0,762^2 \cdot 1}{1,1 \cdot 1} = 0,528.$$

б) Как выбрать пусковой реактор для электродвигателя

В тех случаях, когда при включении короткозамкнутого высоковольтного электродвигателя на шины колебание напряжения на этих шинах выходит за пределы допустимого, применяют пуск через реактор. Пусковой реактор представляет собой трехфазную обмотку на железном сер-

дечнике, помещенную в наполненный маслом кожух. Схема включения электродвигателя при пуске через реактор представлена на рис. 4. При пуске электродвигателя замыкается выключатель 1 при разомкнутом выключателе 2 и электродвигатель подключается к шинам III через реактор. Благодаря этому напряжение на зажимах электродвигателя понижается и вместе с тем уменьшается пусковой ток и колебание напряжения на шинах III.

Через некоторый промежуток времени скорость вращения электродвигателя приблизится к номинальной, пусковой ток уменьшится и тогда замыкается выключатель 2, шунтирующий реактор, и электродвигатель включается на полное напряжение сети. Следует отметить, что при пуске электродвигателя через реактор необходимо проверить, окажется ли он способным при понижении напряжения развернуть присоединенный к нему механизм.

Индуктивное сопротивление пускового реактора X_p в омах может быть определено по формуле:

$$X_p = \frac{1}{\sin \varphi_n} \left(\frac{U_{III} A_{н.ш}}{\delta U_{ш}^*} - \frac{U_n}{1,73 k_i I_n} - R_{н.д} \cos \varphi_n \right) - X_{н.д} \quad (20)$$

где X_p — индуктивное сопротивление пускового реактора, ом;

$X_{н.д}$ — индуктивное сопротивление сети до зажимов электродвигателя без учета реактивного сопротивления пускового реактора, ом;

$\delta U_{ш}^*$ — допустимое колебание напряжения на шинах III.

Формула (20) выводится из (9), (11) и (15).

Технические данные пусковых масляных реакторов приведены в табл. 8. Активным сопротивлением реактора в практических расчетах всегда пренебрегают.

Пример 4. От шин III распределительного устройства 6 кв питается несколько электродвигателей высокого напряжения.

Требуется обеспечить возможность пуска наиболее крупного из них типа ДАМСО 1512-6, если допустимое колебание напряжения на шинах III $\delta U_{ш}^* = 0,2$.

Технические данные электродвигателя и приводимого им механизма $P_n = 780 \text{ кВт}$; $U_n = 6000 \text{ в}$; $I_n = 92 \text{ а}$; $k_i = 5,9$; $m_n = 1,2$; $\cos \varphi_n = 0,294$; $\sin \varphi_n = 0,955$; $m_{нач.мех} = 0,3$; $k_{н.з} = 0,9$.

Напряжение на шинах III $U_{ш} = 6100 \text{ в}$.

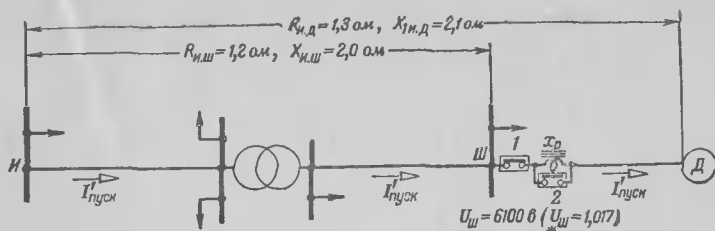


Рис. 4.

Сопротивления от источника питания до шин Ш и до зажимов электродвигателя Д без учета сопротивления реактора указаны на рис. 4.

Решение. Определяем $A_{и,ш} = 1,2 \cdot 0,294 + 2,0 \cdot 0,955 = 2,26 \text{ ом}$ и $A_{и,д} = 1,3 \cdot 0,294 + 2,1 \cdot 0,955 = 2,38 \text{ ом}$.

Из (11) находим напряжение на зажимах электродвигателя при его непосредственном включении на шины:

$$U'_{*д} = \frac{6100}{6000 + 1,73 \cdot 2,38 \cdot 5,9 \cdot 92} = 0,74$$

и из (15) колебание напряжения на шинах Ш:

$$\delta U_{ш} = \frac{1,73 \cdot 2,26 \cdot 0,74 \cdot 5,9 \cdot 92}{6000} = 0,262,$$

что превышает заданную допустимую величину.

Для уменьшения колебания напряжения на шинах Ш принимаем для электродвигателя Д реакторный пуск.

Индуктивное сопротивление реактора находим из формулы (20):

$$X_p = \frac{I}{\sin \varphi_{п}} \left(\frac{U_{*ш} A_{и,ш}}{\delta U_{ш}} - \frac{U_{н}}{1,73 \cdot k_i I_{н}} - R_{и,д} \cos \varphi_{п} \right) - X_{и,д}$$

Подставляя числовые значения, получаем:

$$X_p = \frac{1}{0,955} \left(\frac{1,017 \cdot 2,26}{0,2} - \frac{6000}{1,73 \cdot 5,9 \cdot 92} - 1,3 \cdot 0,294 \right) - 2,1 = 2,85 \text{ ом}.$$

Из табл. 8 выбираем пусковой реактор типа ПРТМ-1000/6 на номинальный пусковой ток 320 а с реактивностью $X_p = 3,3 \text{ ом}$.

Определяем значение $A_{и,д}$ с учетом сопротивления реактора:

$$\begin{aligned} A_{и,д} &= R_{и,д} \cos \varphi_{п} + (X_{и,д} + X_p) \sin \varphi_{п} = \\ &= 1,3 \cdot 0,294 + (2,1 + 3,3) 0,955 = 5,53 \text{ ом}. \end{aligned}$$

Напряжение на зажимах электродвигателя Д при его пуске через реактор будет равно:

$$U'_{*д} = \frac{6100}{6000 + 1,73 \cdot 5,53 \cdot 5,9 \cdot 92} = 0,545.$$

Величина пускового тока из (8):

$$I'_{\text{пуск}} = U'_d k_i I_n = 0,545 \cdot 5,9 \cdot 92 = 296 \text{ а.}$$

Колебание напряжения на шинах III при пуске электродвигателя D через реактор получается равным:

$$\delta U_{\text{ш}} = \frac{1,73 A_{\text{и.ш}} I'_{\text{пуск}}}{U_n} = \frac{1,73 \cdot 2,26 \cdot 296}{6\,000} = 0,193.$$

Проверяем из (4), сможет ли электродвигатель D при пуске через реактор развернуть присоединенный к нему механизм:

$$U_d'^2 m_n \geq 1,1 k_{\text{н.з}} m_{\text{нач.мех.}}$$

Подставляя числовые значения, убеждаемся, что условие (4) выполняется:

$$0,545^2 \cdot 1,2 = 0,356 > 1,1 \cdot 0,9 \cdot 0,3 = 0,297.$$

Реактор выбран правильно, так как колебание напряжения на шинах III не выходит за пределы допустимого, пусковой ток электродвигателя не превышает ток реактора и вместе с тем обеспечивается пуск электродвигателя D .

в) Расчет на колебание напряжения замкнутой сети

При включении короткозамкнутого электродвигателя на замкнутую сеть с двусторонним и многосторонним питанием снижение напряжения на его зажимах определяется по той же формуле (11), в которой под $R_{\text{и.д}}$ и $X_{\text{и.д}}$ следует понимать эквивалентные сопротивления замкнутой сети по отношению к зажимам пускаемого электродвигателя. Колебания напряжения при пуске электродвигателей в замкнутой сети будут меньше колебаний при включении тех же электродвигателей на разомкнутую сеть, так как для замкнутой сети пусковой ток распределяется между несколькими источниками питания.

Пример 5. В конце магистрали 380/220 в, обслуживающей осветительную и бытовую нагрузку города, должен быть присоединен электродвигатель типа А71-4 мощностью 20 квт с частотой пуска 5—7 раз в 1 ч. Проверить допустимость его подключения к радиальной линии (рис. 5,а) и к замкнутой сети с трехсторонним питанием (рис. 5,б), если напряжение источников питания замкнутой сети одинаковы и для каждой линии значение $A_{\text{и.ш}} = 0,135 \text{ ом}$. Напряжение в точке III $U_{\text{ш}} = 380 \text{ в}$, линия от точки III до зажимов электродвигателя короткая и ее сопротивлением можно пренебречь.

Решение. В табл. I для электродвигателя типа А71-4 находим $I_n = 39$ а; $k_i = 5$. Из формулы (11) находим напряжения на зажимах электродвигателя при подключении его к радиальной линии (рис. 5, а):

$$U'_{*д} = \frac{380}{380 + 1,73 \cdot 0,135 \cdot 5 \cdot 39} = 0,893$$

и колебание напряжения в точке Ш из (15):

$$\delta U_{*ш} = \frac{1,73 \cdot 0,135 \cdot 0,893 \cdot 5 \cdot 39}{380} = 0,107 \text{ (или } 10,7\%).$$

При частоте включения 5—7 раз в 1 ч допустимая величина колебания напряжения равна 4% и подключение электродвигателя к точке Ш при питании его по радиальной линии не может быть разрешено.

При подключении электродвигателя к замкнутой сети с трехсторонним питанием (рис. 5, б), пользуясь равенством напряжений источников питания, можем их объединить (рис. 5, в). Как видно из рис. 5, в, линии от источников питания до точки Ш можно считать включенными параллельно. Общее сопротивление нескольких параллельно включенных цепей с равными сопротивлениями уменьшается пропорционально числу цепей. То же справедливо для пропорциональной сопротивлению величины $A_{н.ш}$. В нашем случае получим:

$$A_{н.ш} = \frac{A_{н.ш}}{3} \approx \frac{0,135}{3} = 0,045 \text{ ом,}$$

откуда

$$U'_{*д} = \frac{380}{380 + 1,73 \cdot 0,045 \cdot 5 \cdot 39} = 0,962;$$

$$\delta U_{*ш} = \frac{1,73 \cdot 0,045 \cdot 0,962 \cdot 5 \cdot 39}{380} = 0,038 \text{ (или } 3,8\%).$$

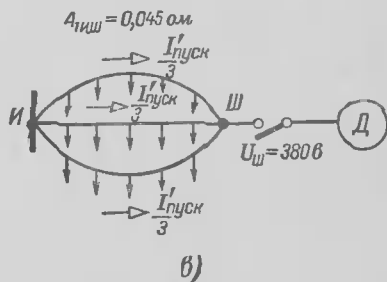
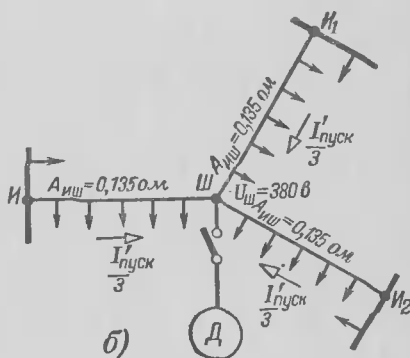
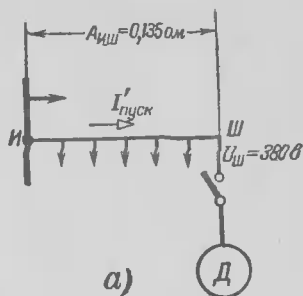


Рис. 5.

Колебание напряжения не выходит за допустимый предел, и подключение электродвигателя к замкнутой сети может быть разрешено.

г) Как определить колебание напряжения для случая, когда $\frac{R_{н.д}}{X_{н.д}} > 3,5$

Выше упоминалось, что формула (1), на которой основывается вывод всех последующих формул расчета сети на колебание напряжения, для соотношения сопротивлений $\frac{R_{н.д}}{X_{н.д}} > 3,5$ дает неточные результаты.

Для внесения в расчет поправки в этом случае вычисляют значение $U'_{*д}$ по приближенной для данного случая формуле (11) и затем уточняют величину потери напряжения от пускового тока до зажимов электродвигателя по формуле:

$$\Delta U''_{н.д} = 1,73 A_{н.д} I'_{пуск} + \frac{3 (X_{н.д} \cos \varphi_{п} - R_{н.д} \sin \varphi_{п})^2 I'^2_{пуск}}{2 (U'_{*д} U_{н} + 1,73 A_{н.д} I'_{пуск})}. \quad (21)$$

Полученное уточненное значение $\Delta U''_{н.д}$ позволяет внести поправку в величину $U'_{*д}$;

$$U''_{*д} = \frac{U_{ш} - \Delta U''_{н.д}}{U_{н}}. \quad (22)$$

Повторяя вычисление еще один или два раза, получают практически точное значение величины $U''_{*д}$:

Пример 6. Электродвигатель типа А91-4 с техническими данными $P = 75 \text{ кВт}$; $U_{н} = 500 \text{ в}$; $I_{н} = 106 \text{ а}$; $k_t = 5,5$; $\cos \varphi_{п} = 0,285$; $\sin \varphi_{п} = 0,958$ подключается к шинам щита, напряжение на которых $U_{ш} = 520 \text{ в}$. Сопротивления линии $R_{н.д} = 0,20 \text{ ом}$; $X_{н.д} = 0,02 \text{ ом}$. Определить напряжение на зажимах электродвигателя при его пуске.

Решение. Отношение активного сопротивления к индуктивному в нашем случае $\frac{R_{н.д}}{X_{н.д}} = \frac{0,20}{0,02} = 10 > 3,5$ и формула (11) может дать лишь приближенный результат. Определяем значение $A_{н.д} = 0,2 \cdot 0,285 + 0,02 \cdot 0,958 = 0,076 \text{ ом}$. Подставляя числовые значения в формулу (11), находим в первом приближении:

$$U'_{*д} = \frac{520}{500 + 1,73 \cdot 0,076 \cdot 5,5 \cdot 106} = 0,902.$$

Определяем приближенную величину пускового тока из (8):

$$I'_{\text{пуск}} = 0,902 \cdot 5,5 \cdot 106 = 526 \text{ а.}$$

Из формулы (21) получаем величину потери напряжения в линии от пускового тока:

$$\Delta U''_{\text{и.д}} = 1,73 \cdot 0,076 \cdot 526 + \frac{3 (0,02 \cdot 0,285 - 0,2 \cdot 0,958)^2 \cdot 526^2}{2 (0,902 \cdot 500 + 1,73 \cdot 0,076 \cdot 526)} = 97 \text{ в.}$$

Из (22) находим уточненное значение напряжения на зажимах электродвигателя:

$$U''_{*д} = \frac{U_{\text{ш}} - \Delta U''_{\text{и.д}}}{U_{\text{н}}} = \frac{520 - 97}{500} = 0,847.$$

Повторяя расчет, находим последовательно значения $U''_{*д} : 0,863; 0,86 \dots$

Как видим, третье приближение $U''_{*д} = 0,863$ дает достаточную точность и дальнейшее уточнение не имеет практического интереса.

Ошибка при вычислении $U'_{*д}$ по приближенной для данного соотношения сопротивления линии формуле (11) равна:

$$\frac{0,902 - 0,863}{0,863} 100 = 4,52\%$$

и ошибка при вычислении $\delta U_{*д}$

$$\frac{(1 - 0,902) - (1 - 0,863)}{1 - 0,863} 100 = -28,5\%.$$

д) Как учесть влияние на колебание напряжения изменения нагрузок сети

Как указывалось в § 4, в большинстве случаев при расчете на колебание напряжения изменениями нагрузок сети можно пренебречь. В тех случаях, когда известна зависимость рабочих нагрузок сети от напряжения и когда требуется особая точность расчета, учет влияния изменения нагрузок сети на величину колебания напряжения может быть произведен следующим образом.

Определяют приближенную величину снижения напряжения на зажимах электродвигателя из (11) и соответствующие значения относительного напряжения на зажимах у потребителей из (15) и (16). По изменению напряжения на зажимах у потребителей находят изменения токовых нагрузок сети.

Определяют дополнительную потерю напряжения от изменения токовых нагрузок сети из формулы:

$$\Delta U''_{\text{и.ш}} = 1,73 [(R_{12} \cos \varphi_{12} + X_{12} \sin \varphi_{12}) \Delta I'_{12} + (R_{23} \cos \varphi_{23} + X_{23} \sin \varphi_{23}) \Delta I'_{23} + \dots], \quad (23)$$

где R_{12} ; X_{12} — активное и индуктивное сопротивления участка 1—2, *ом*;

$\Delta I'_{12}$ — приращение токовой нагрузки на участке 1—2, *а*;

φ_{12} — значение фазного угла для участка 1—2;

R_{23} ; X_{23} ; $\Delta I'_{23}$; φ_{23} — те же величины для участка 2—3 и т. д.

Суммирование в формуле (23) должно быть произведено для всех участков от источника питания *И* до шин *Ш*, к которым подключается электродвигатель *Д*.

Находят значение потери напряжения до зажимов электродвигателя с учетом изменений нагрузок от сети:

$$\Delta U''_{\text{и.д}} = 1,73 A_{\text{и.д}} I'_{\text{пуск}} + \Delta U''_{\text{и.ш}}. \quad (24)$$

Уточняют величину $U''_{*д}$ из формулы (22).

Повторив расчет один или два раза, получают практически точное значение величины $U''_{*д}$.

Пример 7. Электродвигатель типа ДАМСО 158-6, для которого $P_{\text{н}} = 550 \text{ квт}$; $U_{\text{н}} = 6000 \text{ в}$; $I_{\text{н}} = 66 \text{ а}$; $k_i = 5$; $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,272$; $\sin \varphi_{\text{н}} = 0,962$, включается на шины *Ш*, к которым подключена токовая нагрузка $I = 300 \text{ а}$ при $\cos \varphi = 0,93$ (рис. 6). Напряжение на шинах *Ш* до пуска электродвигателя $U_{\text{ш}} = 6000 \text{ в}$.

Спротивлением кабеля от шин до электродвигателя можно пренебречь. Сопротивления линии $R_{\text{и.д}} = R_{\text{и.ш}} = 0,8 \text{ ом}$; $X_{\text{и.д}} = X_{\text{и.ш}} = 1,2 \text{ ом}$. Определить колебание напряжения на шинах *Ш* с учетом изменения подключенной к этим шинам нагрузки, если известно, что на каждый процент понижения напряжения токовая нагрузка возрастает на 0,75%.

Решение. Подставляя числовые значения, находим

$$A_{\text{и.д}} = A_{\text{и.ш}} = 0,8 \cdot 0,272 + 1,2 \cdot 0,962 = 1,37 \text{ ом}.$$

Определяем из (11) величину напряжения на шинах *Ш* при пуске электродвигателя без учета изменения нагрузки:

$$U'_{*ш} = U'_{*д} = \frac{6000}{6000 + 1,73 \cdot 1,37 \cdot 5 \cdot 66} = 0,885.$$

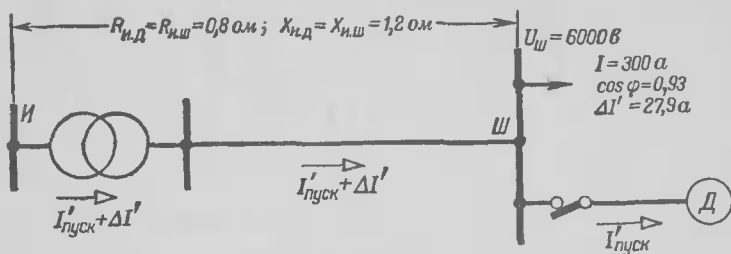


Рис. 6.

Величина пускового тока электродвигателя

$$I'_{\text{пуск}} = 0,885 \cdot 5 \cdot 66 = 292 \text{ а.}$$

Напряжение на шинах понизилось на $(1 - 0,885) 100 = 11,5\%$ (колебание напряжения на шинах $\delta U_{\text{ш}} = 0,115$). По условию приращение токовой нагрузки составит $11,5 \cdot 0,75 = 8,62\%$ или в амперах:

$$\Delta I' = 300 \frac{8,62}{100} = 25,8 \text{ а.}$$

Определяем дополнительную потерю напряжения от изменения токовой нагрузки из формулы (23):

$$\Delta U''_{\text{нш}} = 1,73 (R_{\text{нш}} \cos \varphi + X_{\text{нш}} \sin \varphi) \Delta I',$$

где

$$\cos \varphi = 0,93; \sin \varphi = 0,368.$$

Получаем:

$$\Delta U''_{\text{нш}} = 1,73 (0,8 \cdot 0,93 + 1,2 \cdot 0,368) 25,8 = 53 \text{ в.}$$

Общая дополнительная потеря напряжения от пускового тока и изменения нагрузки из (24):

$$\Delta U''_{\text{нд}} = 1,73 A_{\text{нд}} I'_{\text{пуск}} + \Delta U''_{\text{нш}} = 1,73 \cdot 1,37 \cdot 292 + 53 = 745 \text{ в,}$$

откуда получаем колебание напряжения в относительных единицах:

$$\delta U'_{*д} = \delta U'_{*ш} = \frac{\Delta U''_{\text{нд}}}{U_{\text{н}}} = \frac{745}{6000} = 0,124.$$

Относительное напряжение на зажимах электродвигателя с учетом изменения нагрузки получается равным:

$$U'_{*д} = 1 - 0,124 = 0,876.$$

Уточненное значение пускового тока из (8):

$$I'_{\text{пуск}} = U'_{*д} k_i I_{\text{н}} = 0,876 \cdot 5 \cdot 66 = 289 \text{ а}$$

и значение приращения токовой нагрузки

$$\Delta I' = 300 \cdot 0,124 \cdot 0,75 = 27,9 \text{ а.}$$

Уточненное значение потери напряжения от тока приращения нагрузки сети из (23):

$$\Delta U''_{\text{и.ш}} = 1,73 (0,8 \cdot 0,93 + 1,2 \cdot 0,368) \cdot 27,9 = 57,3 \text{ в.}$$

Общая потеря напряжения

$$\Delta U''_{\text{и.д}} = 1,73 \cdot 1,37 \cdot 289 + 57,3 = 742 \text{ в} \quad (\delta U'_{\text{ш}} = 0,124).$$

Как видим, повторение расчета практически не дает уточнения снова получаем ту же величину колебания напряжения 12,4%.

Ошибка при вычислении $\delta U'_{\text{ш}}$ без учета изменения нагрузки составляет:

$$\frac{0,115 - 0,124}{0,124} 100 = -7,25\%.$$

Для большинства встречающихся на практике случаев отказ от учета изменения нагрузки дает значительно меньшую ошибку.

е) Самозапуск электродвигателей

При эксплуатации электрической сети возможны аварийные отключения отдельных ее участков. Если длительность перерыва в электроснабжении превышает несколько десятков секунд, все присоединенные к обесточенному участку сети электродвигатели остановятся. При возобновлении подачи напряжения электродвигатели, не имеющие защиты минимального напряжения, одновременно пускаются в ход.

Для увеличения надежности питания в электросети применяется автоматическое включение резерва (сокращенно АВР) и автоматическое повторное включение (сокращенно АПВ). Действие АВР заключается в том, что потерпевший аварию элемент сети (линия или трансформатор) автоматически заменяется резервным.

В случае применения АПВ элемент сети, отключенный действием защиты от коротких замыканий, автоматически повторно включается на короткое замыкание один или два раза. Опыт показал, что во многих случаях за время перерыва в питании между отключением и повторным включением повреждение ликвидируется и электроснабжение возобновляется.

Перерыв в питании электроэнергией при действии АВР и при успешном действии первого цикла АПВ не превышает 0,5—2,5 сек. За такой короткий промежуток времени электродвигатели не успевают остановиться полностью и

лишь снижают скорость вращения. Толчок пускового тока при возобновлении подачи напряжения в этом случае будет меньше, чем при пуске полностью остановившихся электродвигателей.

Снижение скорости вращения присоединенных к сети электродвигателей будет иметь место также при коротком замыкании, во время которого напряжение в сети понижается тем больше, чем ближе рассматриваемый участок к месту повреждения. Снижение скорости вращения и величина пускового тока электродвигателей зависят от быстроты отключения короткого замыкания максимальной защитой. Чем быстрее будет отключен поврежденный участок, тем меньшее влияние окажет снижение напряжения в сети на работу присоединенных к ней электродвигателей. Одновременный успешный самозапуск всех присоединенных к сети электродвигателей часто бывает невозможным, так как из-за большого снижения напряжения многие электродвигатели не могут преодолеть моментов сопротивления присоединенных к ним механизмов.

Поэтому электродвигатели должны быть разделены на две группы. В одну из этих групп включаются электродвигатели, обслуживающие механизмы, остановка которых не влечет за собой нарушения ответственного технологического процесса или опасности для здоровья и жизни людей. Электродвигатели этой группы снабжаются защитой минимального напряжения (в виде реле, катушки контактора или расцепителя автомата) и при временном прекращении питания отключаются от сети.

Поочередное включение этих электродвигателей производится вручную после возобновления подачи напряжения. Отключение первой группы электродвигателей облегчает самозапуск электродвигателей второй группы, обслуживающих ответственные механизмы. К таким механизмам относятся подъемники и вентиляторы шахт, некоторые электроприводы металлургических и химических заводов и т. п.

Электродвигатели второй группы не снабжаются защитой минимального напряжения и после прекращения подачи или временного снижения напряжения остаются подключенными к сети, благодаря чему обеспечивается возможность их самозапуска при возобновлении подачи нормального напряжения.

При проверке способности электродвигателя развернуть неполностью остановившийся механизм вместо на-

чальных моментов механизма $m_{\text{нач. мех}}$ и электродвигателя m_n следует учитывать моменты механизма и электродвигателя, соответствующие их скорости вращения при возобновлении подачи нормального напряжения; эти моменты определяются по кривым зависимости моментов механизма и электродвигателя от скорости вращения. Проверка возможности самозапуска электродвигателей расчетом ввиду своей сложности выходит за рамки настоящей брошюры.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Технические данные асинхронных короткозамкнутых электродвигателей в защищенном исполнении на напряжение до 500 в единой серии А

Тип электродвигателя	Номинальная мощность, <i>квт</i>	Скорость вращения, <i>об/мин</i>	Номинальный ток статора I_H , а при напряжении:		Коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке η_H	Коэффициент мощности при номинальной нагрузке $\cos \varphi_H$	Скольжение при номинальной нагрузке s_H	Кратность пускового тока $k_i = \frac{I_{пуск}}{I_H}$	Кратность начального момента $\frac{M_{нач}}{M_H} = \frac{M_{нач}}{M_H}$	Кратность максимального момента $\frac{M_{макс}}{M_H} = \frac{M_{макс}}{M_H}$	Коэффициент мощности при пуске электродвигателя $\cos \varphi_D$	$\sin \varphi_H$
			380 в	500 в								
3 000 об/мин (синхронных)												
A52-2	10	2 890	19,5	15	0,875	0,89	0,0365	6,5	1,6	2,4	0,399	0,916
A61-2	14	2 920	27,5	21	0,875	0,89	0,0266	5,5	1,2	2,5	0,341	0,940
A62-2	20	2 920	38	29	0,885	0,9	0,0266	6,0	1,3	2,7	0,352	0,936
A71-2	28	2 930	53	40,5	0,89	0,9	0,0234	5,0	1,1	2,2	0,345	0,939
A72-2	40	2 930	74	56	0,90	0,91	0,0234	5,5	1,1	2,4	0,336	0,942
A81-2	55	2 930	101	77	0,905	0,91	0,0234	5,0	1,0	2,2	0,318	0,948
A82-2	75	2 930	136	104	0,91	0,92	0,0234	5,5	1,1	2,4	0,331	0,944
A91-2	100	2 950	180	137	0,915	0,92	0,0167	5,5	1,0	2,2	0,310	0,951
A92-2	125	2 950	225	171	0,92	0,92	0,0167	5,5	1,0	2,2	0,306	0,952
A101-2	160	2 955	291	221	0,933	0,89	0,0150	5,3	1,3	2,1	0,316	0,949
A102-2	200	2 960	355	270	0,94	0,91	0,0133	5,8	1,3	2,3	0,316	0,949
A103-2	250	2 965	440	334	0,944	0,91	0,0117	6,5	1,4	2,6	0,326	0,946
1 500 об/мин (синхронных)												
A61-4	10	1 450	19,7	15,0	0,875	0,88	0,0334	5,0	1,2	2,0	0,345	0,939
A62-4	14	1 450	27,5	20,8	0,885	0,88	0,0334	5,5	1,3	2,0	0,350	0,937
A71-4	20	1 450	39,0	29,6	0,89	0,88	0,0334	5,0	1,1	2,0	0,321	0,947
A72-4	28	1 450	54,0	41,0	0,90	0,88	0,0334	5,5	1,2	2,0	0,326	0,946
A81-4	40	1 460	76,0	57,5	0,905	0,89	0,0267	6,0	1,1	2,0	0,305	0,952
A82-4	55	1 460	103	78,5	0,91	0,89	0,0267	6,0	1,2	2,0	0,317	0,948

Тип электро- двигателя	Номинальная мощность, <i>квт</i>	Скорость вра- щения, <i>об/мин</i>	Номинальный ток статора I_H , <i>а</i> , при на- пряжении:		Коэффициент по- лезного действия при номинальной нагрузке η_H	Коэффициент мощности при номинальной на- грузке $\cos \varphi_H$	Скольжение при номинальной на- грузке s_H	Кратность пуско- вого тока $k_i = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	Кратность на- чального момента $\frac{M_{\text{нач}}}{M_H}$	Кратность макс- мального момента $\frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	Коэффициент мощности при пуске электро- двигателя $\cos \varphi_{\text{п}}$	$\sin \varphi_H$
			380 <i>в</i>	500 <i>в</i>								
A91-4	75	1 460	140	106	0,915	0,89	0,0267	5,5	1,0	2,0	0,285	0,958
A92-4	100	1 460	185	141	0,92	0,89	0,0267	5,0	1,0	2,0	0,287	0,958
A101-4	125	1 470	227	173	0,931	0,9	0,0200	5,3	1,3	2,2	0,330	0,944
A102-4	160	1 470	291	221	0,936	0,9	0,0200	5,2	1,3	2,2	0,328	0,944
A103-4	200	1 475	356	270	0,944	0,91	0,0167	5,9	1,5	2,4	0,342	0,940
A111-4	250	1 470	455	346	0,938	0,89	0,0200	4,6	0,9	1,9	0,263	0,965

1 000 *об/мин* (синхронных)

A62-6	10	970	21,5	16,5	0,865	0,82	0,0309	4,5	1,1	1,8	0,316	0,949
A71-6	14	970	29,6	22,4	0,87	0,83	0,0300	4,5	1,2	1,8	0,336	0,942
A72-6	20	970	41,3	31,4	0,88	0,84	0,0300	4,5	1,2	1,8	0,335	0,942
A81-6	28	975	56,5	43,0	0,89	0,85	0,0250	5,0	1,2	1,8	0,325	0,946
A82-6	40	975	79,8	59,8	0,90	0,86	0,0250	5,5	1,3	1,8	0,330	0,944
A91-6	55	980	106	80	0,91	0,87	0,0200	5,0	1,0	1,8	0,285	0,958
A92-6	75	980	141	107	0,92	0,88	0,0200	5,0	1,0	1,8	0,282	0,959
A101-6	100	985	184	140	0,927	0,895	0,0150	5,4	1,0	2,4	0,280	0,960
A102-6	125	985	228	173	0,933	0,9	0,0150	5,9	1,0	2,6	0,272	0,962
A103-6	160	985	286	217	0,936	0,905	0,0150	5,7	1,0	2,5	0,271	0,963
A104-6	200	985	357	272	0,943	0,935	0,0150	6,3	1,2	2,7	0,291	0,957
A113-6	250	980	450	342	0,94	0,895	0,0200	5,5	1,4	2,4	0,334	0,942

Тип электро- двигателя	Номинальная мощность, <i>квт</i>	Скорость враще- ния, <i>об/мин</i>	Номинальный ток статора, <i>I_н</i> , а при на- пряжении:		Коэффициент полезного дейст- вия при номин- альной нагруз- ке η_n	Коэффициент мощности при но- минальной на- грузке $\cos \varphi_n$	Скольжение при номинальной на- грузке s_n	Кратность пуско- вого тока $k_I = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$	Кратность на- чального момента $\frac{M_{\text{нач}}}{M_n}$	Кратность максим- ального момента $\frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	Коэффициент мощности при пуске электро- двигателя $\cos \varphi_p$	$\sin \varphi_p$
			380 в	500 в								
750 об/мин (синхронных)												
A71-8	10	730	22,0	16,5	0,85	0,80	0,0267	4,0	1,1	1,7	0,323	0,947
A72-8	14	730	30,0	23,0	0,87	0,81	0,0267	4,0	1,1	1,7	0,320	0,943
A81-8	20	730	42,0	32,0	0,88	0,82	0,0267	4,5	1,1	1,7	0,309	0,951
A82-8	28	730	58,0	44,0	0,89	0,83	0,0267	4,5	1,2	1,7	0,326	0,946
A91-8	40	730	81,0	61,0	0,90	0,84	0,0267	4,5	1,1	1,7	0,307	0,952
A92-8	55	730	109	83	0,91	0,84	0,0267	4,5	1,1	1,7	0,302	0,953
A101-8	75	730	145	110	0,92	0,855	0,0267	4,3	1,0	2,0	0,289	0,958
A102-8	100	730	191	145	0,923	0,86	0,0267	4,3	1,0	2,0	0,288	0,958
A103-8	125	730	236	180	0,928	0,87	0,0267	4,3	1,0	2,0	0,290	0,957
A104-8	160	735	302	230	0,935	0,865	0,0200	4,8	1,0	2,2	0,272	0,962
A113-8	200	730	364	276	0,941	0,89	0,0267	5,3	0,95	2,3	0,262	0,965
A114-8	250	730	452	344	0,946	0,89	0,0267	5,4	0,95	2,3	0,258	0,966

600 об/мин (синхронных)

A101-10	55	585	114	87	0,907	0,805	0,0250	4,2	1,0	1,8	0,279	0,960
A102-10	75	585	155	118	0,912	0,81	0,0250	4,0	1,0	1,8	0,283	0,959
A103-10	100	590	202	154	0,923	0,82	0,0167	4,2	0,95	1,8	0,266	0,964
A112-10	125	590	237	180	0,928	0,86	0,0167	5,2	1,0	2,3	0,268	0,964
A113-10	160	590	304	231	0,935	0,85	0,0167	5,0	0,9	2,2	0,247	0,969
A114-10	200	590	373	283	0,936	0,87	0,0167	4,9	0,9	2,1	0,252	0,968

**Технические данные асинхронных короткозамкнутых электродвигателей
высокого напряжения серий А и ДАМСО**

Тип электродвигателя	Номинальная мощность, кВт	Скорость враще- ния, об/мин	Номинальное напряжение, в	Номинальный ток статора, I _н , а	Коэффициент по- лезного действия при номинальной нагрузке η_n	Коэффициент мощности при но- минальной на- грузке $\cos \varphi_n$	Скольжение при номинальной нагрузке s_n	Кратность пуско- вого тока $k = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$	Кратность на- чального момента $\frac{M_{\text{нач}}}{M_n}$	Кратность макси- мального момента $\frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	Коэффициент мощности при пуске электро- двигателя $\cos \varphi_p$	$\sin \varphi_n$
3 000 об/мин (синхронных)												
A102-2	160	2 960	3 000	38	0,913	0,88	0,0133	5,6	1,2	2,2	0,298	0,955
A103-2	200	2 960		46	0,922	0,91	0,0133	6,2	1,3	2,5	0,325	0,946
A104-2	250	2 960		57	0,926	0,91	0,0133	5,6	1,2	2,3	0,312	0,950
A112-2	320	2 960		74,5	0,929	0,89	0,0133	5,1	1,2	1,9	0,312	0,950
A113-2	320	2 970	6 000	37,1	0,921	0,90	0,0100	6,4	1,4	2,6	0,333	0,943
A114-2	400	2 970		46,2	0,93	0,92	0,0100	7,2	1,5	3,0	0,342	0,940
1 500 об/мин (синхронных)												
A101-4	100	1 470	3 000	24,7	0,897	0,87	0,0200	5,1	1,3	2,2	0,340	0,940
A102-4	125	1 470		30,4	0,906	0,87	0,0200	5,6	1,4	2,4	0,345	0,939
A103-4	160	1 470		38,2	0,914	0,88	0,0200	5,6	1,5	2,3	0,358	0,934
A111-4	200	1 470		47,2	0,915	0,885	0,0200	5,0	1,1	2,1	0,304	0,953
A112-4	250	1 475	6 000	58	0,926	0,9	0,0167	5,4	1,3	2,3	0,329	0,944
A113-4	320	1 480		73	0,93	0,9	0,0133	6,0	1,4	2,4	0,332	0,943
A112-4	200	1 480		24,1	0,912	0,875	0,0133	6,6	1,5	2,9	0,317	0,948
A113-4	250	1 480		29,4	0,92	0,89	0,0133	5,8	1,3	2,5	0,323	0,947
A114-4	320	1 480		37,1	0,928	0,895	0,0133	6,5	1,6	2,8	0,354	0,935
ДАМСО 147-4	360	1 485		43	0,915	0,87	0,0100	6,0	1,2	2,5	0,303	0,953
ДАМСО 148-4	440	1 485		52	0,925	0,88	0,0100	5,7	1,1	2,4	0,286	0,958
ДАМСО 1410-4	500	1 485		59	0,925	0,88	0,0100	6,0	1,2	2,2	0,298	0,955

Тип электродвигателя	Номинальная мощность, кВт	Скорость вращения, об/мин	Номинальное на- пряжение, в	Номинальный ток статора I_H , а	Коэффициент по- лезного действия при номинальной нагрузке η_H	Коэффициент мощности при но- минальной на- грузке $\cos \varphi_H$	Скольжение при номинальной нагрузке s_H	Кратность пуско- вого тока $k_I = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	Кратность на- чального момента $m_H = \frac{M_{\text{нач}}}{M_H}$	Кратность макси- мального момента $m_M = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	Коэффициент мощности при пуске электро- двигателя $\cos \varphi_P$	$\sin \varphi_P$
ДАМСО 158-4	680	1 485	6 000	79	0,93	0,88	0,0100	4,8	1,0	1,9	0,277	0,961
ДАМСО 1510-4	850	1 485		98	0,935	0,89	0,0100	5,3	1,0	2,0	0,270	0,963
ДАМСО 1512-4	1 050	1 485		120	0,94	0,89	0,0100	5,0	1,0	2,0	0,271	0,963
1 000 об/мин (синхронных)												
A102-6	100	980	3 000	25,4	0,893	0,86	0,0200	5,1	1,0	2,3	0,290	0,957
A103-6	125	980		30	0,905	0,89	0,0200	5,0	1,0	2,2	0,295	0,955
A104-6	160	980		37,7	0,913	0,9	0,0200	5,3	1,1	2,3	0,307	0,952
A113-6	200	985		47,7	0,921	0,88	0,0150	5,3	1,4	2,3	0,342	0,940
A114-6	250	985		58	0,928	0,89	0,0150	5,3	1,4	2,3	0,341	0,940
A114-6	200	985	6 000	24,5	0,90	0,875	0,0150	6,6	1,5	2,6	0,336	0,942
ДАМСО 148-6	310	985		39	0,91	0,85	0,0150	6,0	1,2	2,6	0,300	0,954
ДАМСО 1410-6	380	985		46	0,92	0,87	0,0150	5,8	1,1	2,5	0,287	0,958
ДАМСО 157-6	460	985		55	0,92	0,87	0,0150	4,7	1,0	1,9	0,282	0,959
ДАМСО 158-6	550	985		66	0,93	0,87	0,0150	5,0	1,0	2,0	0,272	0,962
ДАМСО 1510-6	650	985		77	0,93	0,87	0,0150	5,8	1,2	2,4	0,293	0,956
ДАМСО 1512-6	780	985		92	0,935	0,88	0,0150	5,9	1,2	2,4	0,294	0,955
750 об/мин (синхронных)												
A103-8	75	735	3 000	19,2	0,893	0,845	0,0200	5,5	1,3	2,4	0,328	0,944
A104-8	100	735		25,1	0,897	0,855	0,0200	5,2	1,3	2,3	0,333	0,943
A112-8	125	735		31,1	0,911	0,85	0,0200	5,9	1,2	2,7	0,297	0,955
A113-8	160	735		38,9	0,917	0,86	0,0200	5,6	1,2	2,4	0,302	0,953

Тип электродвигателя	Номинальная мощность, kW	Скорость вра- щения, $об/мин$	Номинальное напряжение, v	Номинальный ток статора, I_H, a	Коэффициент полезного дейст- вия при номи- нальной нагрузке η_H	Коэффициент мощности при но- минальной на- грузке $\cos \phi_H$	Скольжение при номинальной на- грузке s_H	Кратность пуско- вого тока $k_I = \frac{I_{пуск}}{I_H}$	Кратность на- чального момента $\frac{M_{нач}}{M_H}$	Кратность макси- мального момента $\frac{M_{макс}}{M_H}$	Коэффициент мощности при пуске электро- двигателя $\cos \phi_n$	$\sin \phi_n$
A114-8	200	735	3 000	47,5	0,924	0,88	0,0200	5,7	1,2	2,4	0,303	0,953
ДАМСО 147-8	200	740	6 000	27	0,895	0,80	0,0133	4,6	1,0	1,9	0,273	0,962
ДАМСО 148-8	240	740		32	0,90	0,80	0,0133	4,6	1,0	2,1	0,270	0,963
ДАМСО 1410-8	280	740		37	0,91	0,80	0,0133	5,2	1,0	2,3	0,259	0,966
ДАМСО 157-8	320	740		41	0,91	0,83	0,0133	4,4	1,0	1,9	0,278	0,961
ДАМСО 158-8	380	740		47	0,915	0,84	0,0133	4,8	1,1	2,0	0,290	0,957
ДАМСО 1510-8	475	740		58	0,92	0,85	0,0133	4,6	1,1	1,9	0,295	0,955
ДАМСО 1512-8	570	740		70	0,925	0,85	0,0133	5,0	1,1	2,1	0,285	0,958
600 об/мин (синхронных)												
A112-10	100	590	3 000	26	0,896	0,83	0,0167	5,5	1,2	2,6	0,306	0,952
A113-10	125	590		32,8	0,903	0,82	0,0167	5,6	1,2	2,6	0,297	0,955
A114-10	160	590		40,7	0,909	0,83	0,0167	5,9	1,2	2,7	0,294	0,956
ДАМСО 147-10	200	585		52	0,905	0,81	0,0250	4,2	1,0	1,8	0,281	0,960
ДАМСО 1410-10	200	590	6 000	27	0,89	0,8	0,0167	5,6	1,1	2,5	0,283	0,959
ДАМСО 157-10	260	590		35	0,90	0,8	0,0167	4,5	1,0	2,0	0,277	0,961
ДАМСО 158-10	310	590		40	0,905	0,83	0,0167	4,2	1,0	1,8	0,286	0,958
ДАМСО 1510-10	400	590		51	0,915	0,83	0,0167	4,5	1,0	1,9	0,275	0,961
ДАМСО 1512-10	480	590		61	0,92	0,83	0,0167	4,8	1,1	2,1	0,286	0,958
500 об/мин (синхронных)												
ДАМСО 1510-12	280	490	6 000	38	0,905	0,78	0,0200	4,3	1,0	1,9	0,266	0,964
ДАМСО 1512-12	330	490		45	0,91	0,78	0,0200	4,4	1,0	2,0	0,263	0,965

Кратности начальных моментов сопротивления различных механизмов $m_{\text{нач. мех.}}$

Наименование механизма	$m_{\text{нач. мех.}}$
Моторгенераторы	0,05—0,15
Центробежные насосы	0,10—0,30
Турбокомпрессоры и вентиляторы (пуск с закрытой задвижкой)	0,10—0,30
Поршневые насосы (пуск без нагрузки)	0,40
Поршневые компрессоры (пуск без нагрузки)	0,20—0,30
Токарные, строгальные, фрезерные и т. п. станки (мелкие)	0,20—0,30
То же (крупные)	0,25—0,35
Мешалки	1,00—2,00
Дробилки (пуск под нагрузкой)	2,00
Мельницы для угля	1,50
Шаровые и трубчатые мельницы мокрого помола	0,05—0,50
То же, сухого помола	1,00—2,00
Блуминги и слябинги	0,35
Рельсо-балочные и трубопрокатные станы	0,40
Непрерывные проволочные станы с групповым приводом	0,75
То же для горячей прокатки полос с индивидуальным приводом	0,25
Листовые и жестокатальные станы горячей прокатки	1,25
То же холодной прокатки	2,00
Меднопрокатные заготовительные станы	0,50
Отделочные станы для медных полос	1,50

Таблица 4

Активные сопротивления проводов и кабелей, $\frac{\text{ОМ}}{\text{км}}$

Сечение, мм ²		1	1,5	2,5	4	6	10	16	25
Активное сопротивление, $\frac{\text{ОМ}}{\text{км}}$	Медные провода и кабели	18,4	12,3	7,35	4,65	3,06	1,84	1,20	0,74
	Алюминиевые кабели, алюминиевые и сталеалюминиевые провода	—	—	12,7	7,93	5,28	3,17	1,96	1,27

Продолжение табл. 4

Сечение, мм ²		35	5	70	95	120	150	185	240
Активное сопротивление, $\frac{\text{ОМ}}{\text{км}}$	Медные провода и кабели	0,54	0,39	0,28	0,20	0,158	0,123	0,103	0,078
	Алюминиевые кабели, алюминиевые и сталеалюминиевые провода	0,91	0,63	0,45	0,33	0,27	0,21	0,17	0,131

Таблица 5

Индуктивные сопротивления одной фазы трехфазной кабельной и воздушной линии, $\frac{\text{ОМ}}{\text{км}}$
(средние значения)

Сечение, мм ²	Кабельная линия на напряжение				Изолированные провода, проложенные			Воздушная линия на напряжение		
	до 1 кв	3 кв	6 кв	10 кв	в трубе	на ро- ликах	на изо- ляторах	до 1 кв	6—10 кв	35 кв

Индуктивные сопротивления, $\frac{\text{ОМ}}{\text{км}}$

1—2,5	—	—	—	—	0,11	0,28	0,32	—	—	—
4—6	0,09	0,1	—	—	0,1	0,26	0,29	0,4	—	—
10—25	0,07	0,08	0,09	0,1	0,09	0,21	0,26	0,36	0,41	—
35—70	0,06	0,07	0,075	0,08	0,08	0,2	0,25	0,33	0,38	0,43
95—120	0,06	0,06	0,07	0,075	0,08	0,19	0,22	0,3	0,36	0,41
150—240	0,06	0,06	0,065	0,07	0,08	0,18	0,21	—	—	—

Таблица 6

Активное и индуктивное сопротивления обмоток понижающих трехфазных трансформаторов
в омах на фазу по отношению к стороне низшего напряжения

Мощность трансформатора, <i>кВА</i>		20	30	50	100	180	320	560	750	1 000	1 800	3 200	5 600
Активное (<i>R</i>) и ин- дуктивное (<i>X</i>) сопро- тивления обмоток трансфор- маторов в омах на фазу при номиналь- ном коэф- фициенте трансфор- мации	6/0,4; 10/0,4 <i>R</i>	0,24	0,15	0,085	0,0384	0,02	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$3,38 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,58 \cdot 10^{-3}$	—
	<i>X</i>	0,369	0,252	0,154	0,0792	0,0446	$25,8 \cdot 10^{-3}$	$15,0 \cdot 10^{-3}$	$10,8 \cdot 10^{-3}$	$8,47 \cdot 10^{-3}$	$4,74 \cdot 10^{-3}$	$2,68 \cdot 10^{-3}$	—
	6/0,525; 10/0,525 <i>R</i>	0,415	0,262	0,147	0,0665	0,0345	0,0165	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$5,85 \cdot 10^{-3}$	$4,15 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	—
	<i>X</i>	0,636	0,435	0,267	0,137	0,077	0,0445	$25,8 \cdot 10^{-3}$	$18,5 \cdot 10^{-3}$	$14,7 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$4,65 \cdot 10^{-3}$	—
	6/3,15; 10/3,15 <i>R</i>	14,9	9,37	5,26	2,38	1,23	0,59	0,298	0,209	0,149	0,076	0,036	—
	<i>X</i>	22,9	15,6	9,56	4,9	2,77	1,6	0,936	0,64	0,525	0,294	0,166	—
	10/6,3 <i>R</i>	59,5	37,5	21,0	9,52	5,02	2,4	1,19	0,84	0,595	0,294	0,144	0,071
	<i>X</i>	91,3	62,4	38,4	19,6	11,0	6,38	3,72	2,78	2,1	1,18	0,667	0,384
	35/3,15 <i>R</i>	—	—	—	2,39	1,26	0,605	0,298	—	0,15	0,074	0,036	0,018
	<i>X</i>	—	—	—	6,02	3,2	1,94	1,11	—	0,63	0,353	0,223	0,132
	35/6,3 <i>R</i>	—	—	—	9,52	5,02	2,41	1,19	—	0,595	0,294	0,143	0,072
	<i>X</i>	—	—	—	24,0	12,7	7,7	4,44	—	2,5	1,4	0,855	0,525

Таблица 7

Коэффициенты трансформации понижающих двухобмоточных трехфазных трансформаторов

Номинальный коэффициент трансформации	Коэффициенты трансформации (n) и их квадраты (n^2) при отклонениях					
	-5%		0		+5%	
	n	n^2	n	n^2	n	n^2
6/0,4	14,25	203	15	225	15,8	248
6/0,525	10,8	117	11,4	130	12,0	143
6/3,15	1,8	3,27	1,9	3,63	1,99	4,0
10/0,4	23,8	563	25	625	26,2	639
10/0,525	18,0	327	19	363	19,9	400
10/3,15	3,01	9,12	3,17	10,1	3,33	11,1
10/6,3	1,51	2,27	1,59	2,52	1,67	2,78
35/3,15	10,5	111	11,1	123	11,65	136
35/6,3	5,28	27,8	5,56	30,9	5,84	34,1

Таблица 8

Технические данные пусковых масляных реакторов типа ПРТМ на номинальное напряжение 6 кв

Тип реактора	Номинальный пусковой ток, а	Пусковая мощность, ква	Реактивность фазы, ом
ПРТМ-320/6 ПРТМ-560/6 ПРТМ-1000/6	180	320 554 970	3,3 5,7 10,0
ПРТМ-320/6 ПРТМ-560/6 ПРТМ-1000/6 ПРТМ-1800/6	320	322 585 1 010 1 750	1,05 1,9 3,3 5,7
ПРТМ-560/6 ПРТМ-1000/6 ПРТМ-1800/6 ПРТМ-3200/6 ПРТМ-5600/6	560	565 990 1 690 3 010 4 050	0,6 1,05 1,8 3,2 4,3

СОДЕРЖАНИЕ

1. Предварительные сведения	3
2. Что такое колебание напряжения	5
3. При каких условиях допустим пуск короткозамкнутого электродвигателя	7
4. Как определить колебание напряжения при пуске электродвигателя	11
5. Решение некоторых конкретных задач расчета сети на колебание напряжения	23
Приложения	37

„БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА“

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- Карпов Ф. Ф. — Как выбрать сечение проводов и кабелей.
- Найфельд М. Р. — Что такое защитное заземление и как его устраивать.
- Хромченко Г. Е. — Соединение и оконцевание медных и алюминиевых проводов.
- Шапиро Е. А. — Пружины электрических аппаратов.
- Славенчинский И. С. и Хромченко Г. Е. — Пробивка отверстий и борозд в бетоне.
- Лившиц Д. С. — Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 в.
- Камиский Е. А. — Изоляция оперативных цепей.
- Черепенин П. Г. — Монтаж асинхронных электродвигателей небольшой мощности.
- Рябкин Б. П. — Скрытые электропроводки.
- Ривлин Л. Б. — Как определить неисправность асинхронного электродвигателя.
- Константинов Б. А., Соколова К. И. и Шулятьева Г. Н. — Коэффициент мощности (cos ϕ) и способы его повышения на промышленных предприятиях.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

- Амосов Б. В. — Устройство и эксплуатация сварочных генераторов и трансформаторов.
- Боярченков М. А. и Шинянский А. В. — Магнитные усилители и их работа в системах автоматики.
- Ильинский Н. В. — Расчет и выбор пусковых сопротивлений для электродвигателей.
- Каминский Е. А. — Как сделать проект простейшей электроустановки.
- Камиев В. С. — Как работают подшипники электрических машин.
- Ларионов В. П. — Грозозащита сооружений и зданий.
- Образцов В. А. — Уход за контактами низковольтных аппаратов.
- Федотов Б. Н. — Схемы включения электрических счетчиков.
- Харионов М. Г. — Опыт обслуживания и ремонта КРУ Запорожского завода.
-

Цена 1 р. 70 к.