

ПЛАВНЫЙ ПУСК МОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Введение. Задача пуска мощных синхронных и асинхронных электродвигателей напряжения 6-10 кВ с токоограничением на уровне 1...3 In не теряет своей актуальности, в первую очередь, в условиях питания двигателей от «слабой» электрической сети, характерной для приводов механизмов буровых установок нефте- и газодобывающей промышленности, турбокомпрессоров, нефте- и газоперекачивающих станций.

В частности, характерна ситуация, когда электропитание буровой осуществлялось с помощью «временки» длиной более 20 км. При прямом пуске бурового насоса мощностью 630 кВт и работающих при этом приводах других механизмов буровой посадка напряжения собственных нужд составляла более 50%, что приводило к «отпаданию» коммутационных аппаратов на стороне напряжения 0,38 кВ и остановке буровой в целом.

Постановка задач исследования. Характерными особенностями эксплуатации электрооборудования буровой являются: редкие пуски приводов основных механизмов; применение в этих приводах, как правило, синхронных электродвигателей; пуск насосов на холостом ходу (с подключением нагрузки после достижения двигателем синхронной скорости); высокие кратности пусковых токов (6...7 In); наружная установка оборудования и его работа круглогодично в широком диапазоне изменения температуры окружающего воздуха (от -40°C до +40°C), его влажности (до 100%), в условиях высокой запыленности воздуха нетокопроводящей пылью; наличие полевых грызунов, проникающих в шкафы с комплектной аппаратурой и уничтожающих электрическую изоляцию; зачастую, низкая квалификация эксплуатирующего персонала; периодические (1...3 раза в год) переезды буровой установки с места на место.

Перечисленные выше факторы формируют типовой комплекс требований к техническим характеристикам и конструктивному исполнению требуемого устройства для пуска двигателя: ограничение пускового тока на уровне 1...3 In, климатическое исполнение УХЛ1, степень защиты не ниже IP54, мобильность, устойчивость к частым погрузочно-разгрузочным крановым операциям и транспортировкам автомобильным и автотракторным транспортом, высокая надежность, простота устройства и обслуживания, высокая ремонтпригодность и малое (не более часа) время восстановления после аварий.

Материалы исследования. Исходя из этих требований, становится ясным, что ставшие в настоящее время традиционными пусковые устройства, выполненные на базе силовых полупроводниковых приборов (тиристоров, IGBT, IGCT), достаточно сложные и не дешевые даже в общепромышленном исполнении, в случае пуска синхронного двигателя на холостом ходу не являются необходимыми. С другой стороны, комплектные устройства реакторного пуска отсутствуют на рынке.

Для решения поставленной задачи было разработано, изготовлено и успешно испытано высоконадежное и достаточно простое по своей конструкции трехфазное реакторное пусковое устройство (РПУ).

Следует отметить, что реакторный пуск мощных синхронных и асинхронных двигателей, наряду с автотрансформаторным пуском, известен давно, широко применялся вплоть до середины прошлого века, но был постепенно вытеснен из практики после появления полупроводниковых устройств. Как показывает анализ, это не всегда обосновано. Традиционно применявшиеся для пуска двигателей бетонные реакторы имеют значительные массогабаритные показатели, достаточно высокую цену, сопоставимую с ценой тиристорного пускового устройства, и принадлежат к числу стационарных устройств, не предназначенных для частых транспортировок.

С другой стороны, неоспоримыми преимуществами РПУ по сравнению с тиристорным пусковым устройством являются его простота и надежность.

При пуске двигателя с применением реактора величину пускового тока находят из соотношения:

$$I_{\text{п}} = \frac{U_{\text{с}}}{(X_{\text{с}} + X_{\text{р}} + X_{\text{д}})}, \quad (1)$$

где $U_{\text{с}}$ – сетевое напряжение,

$X_{\text{с}}$, $X_{\text{р}}$, $X_{\text{д}}$ – реактивные сопротивления сети, реактора и двигателя соответственно.

При этом напряжение, приложенное к статорной обмотке двигателя, будет равно:

$$U_{\text{п}} = U_{\text{с}} - I_{\text{п}} \cdot (X_{\text{с}} + X_{\text{р}}). \quad (2)$$

Так как пуск синхронных двигателей происходит в асинхронном режиме, важным обстоятельством, которое необходимо учитывать при проектировании устройства, обеспечивающего пуск синхронного двигателя, является нагрев пусковой (демпферной) обмотки машины.

В случае пуска на холостом ходу, как показано в [1], тепло, выделяемое в пусковой обмотке, определяется исключительно величиной кинетической энергии ротора машины и не зависит от времени пуска. Учитывая короткую продолжительность пускового процесса (как правило, до 10 сек), процесс нагрева как пусковой обмотки двигателя, так и обмотки пускового реактора можно считать практически адиабатическим, что, с одной стороны, соответствует допущению, используемому при проектировании демпферной обмотки машины, а с другой стороны, используется при проектировании обмотки пускового реактора.

Как показывают расчеты и эксперименты, превышение температуры демпферной обмотки за счет растянутого во времени процесса теплоотдачи с поверхности ротора над температурой обмотки при прямом пуске не превышают 10...15%, что можно считать допустимым с точки зрения нагрева пусковой обмотки.

Учет адиабатического режима нагрева пусковой обмотки реактора при его проектировании применительно к механизмам, запускаемым на холостом ходу, позволяет спроектировать пусковой реактор с массой и габаритами, многократно меньшими массы и габаритов пусковых бетонных реакторов, применяемых в стационарных установках для двигателей, подверженных относительно частым пускам.

При определении величины пускового тока и пускового напряжения при пуске синхронных двигателей с помощью соотношений (1) и (2) необходимо учитывать наличие в механической характеристике двигателя паразитного асинхронного момента, приводящего к провалу момента на половине синхронной скорости [1]. Глубина провала уменьшается пропорционально квадрату пускового напряжения, зависит от параметров машины и должна определяться для каждого типа машины отдельно. Неучет этого фактора при снижении пускового напряжения с целью одновременного снижения кратности пускового тока может привести к «залипанию» двигателя при достижении им половины синхронной скорости, что наблюдалось на практике.

Ниже приводятся результаты пуска через РПУ синхронного двигателя типа СДБМ 90/46-8-УХЛ2 мощностью 630 кВт привода бурового насоса. Номинальное напряжение двигателя 6000В, номинальный ток 71А, номинальная частота вращения 750 об/мин. Время прямого пуска двигателя от сети током 450А составляет 1,8 сек.

Параметры РПУ выбирались таким образом, чтобы согласованная с заказчиком кратность пускового тока двигателя не превышала 3 при времени пуска, не превышающем 7 сек. После завершения пуска пусковой реактор РПУ шунтируется встроенным в устройство комплектным высоковольтным выключателем. Команда на подачу возбуждения формируется блоком управления РПУ автоматически после достижения двигателем подсинхронной скорости.

Ниже показана осциллограмма пускового тока двигателя при его пуске через РПУ.

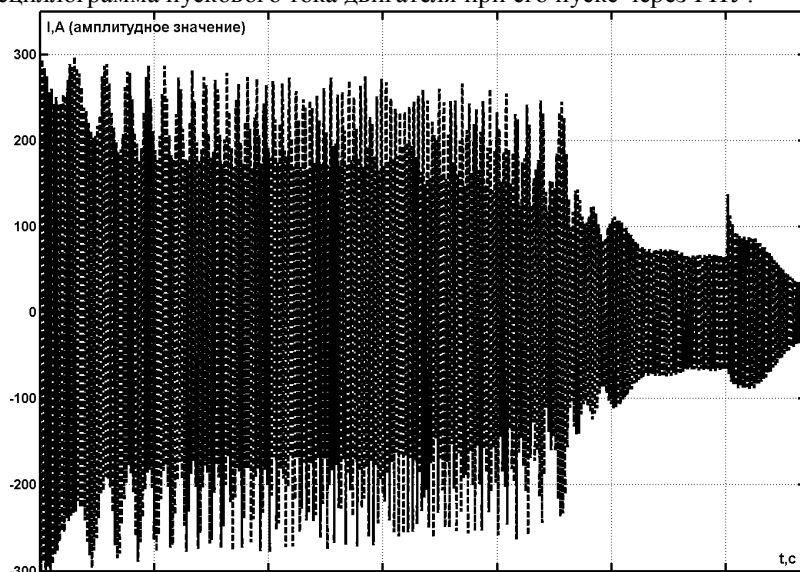


Рис.1. Осциллограмма тока двигателя при пуске через РПУ

Выводы. Из полученных результатов видно, что действующее значение пускового тока составляет около 200А при времени пуска около 6 сек., что позволяет считать поставленную задачу успешно решенной.

Габариты шкафа РПУ – 800 x 800 x 2200 мм, масса 450 кг. Степень защиты оболочки – IP54, климатическое исполнение устройства УХЛ 1.

В настоящее время разработана и подготовлена к промышленному производству серия РПУ для асинхронных и синхронных двигателей мощностью от 160 до 5000 кВт напряжением 6000 В и 10000 В.

Литература.

1. Костенко М.П., Пиотровский А.М. Электрические машины. т.2., М., Энергия, 1964.