

НАСТРОЙКА И СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА

О. Г. Захаров

УДК 629.124.791.03-83:621.039

В основу технологии настроечно-сдаточных работ электроэнергетической системы (ЭЭС) ледокола «Арктика» был положен принцип разделения всего их объема на более простые процессы настройки отдельных частей системы. Они, в свою очередь, подразделялись на элементарные операции и приемы, свойственные настройке любого электрооборудования [1]. Операции, входившие в технологический процесс настройки, были разделены на подготовительные и основные. Первые из них выполнялись в ходе монтажа и сразу же после его окончания, а основные — только при работающих генераторных агрегатах (ГА). Так как наибольший объем подготовительных операций приходится на долю главных распределительных щитов, именно от них зависит не только технологичность настройки ЭЭС [2], но и ее успешная эксплуатация.

Принятые для ледокола схемные решения ГРЩ, в основном обеспечивающие технологичность их настройки, позволили выполнить с минимальными трудовыми затратами две операции — проверку правильности выполнения электромонтажных работ и проверку функционирования. Технологичность

первой из них была обеспечена удобной системой маркировки жил кабелей и проводов и идентичностью принципиальных схем обоих ГРЩ. Выполнение операции «проверка функционирования» практически для всех схем управления облегчалось применением оперативного напряжения. Исключением составили лишь цепи моторного привода генераторных и секционных автоматических выключателей, которые питаются от шин генераторов и ГРЩ. В связи с этим проверка функционирования цепей моторного привода оказалась возможна только при работающих генераторных агрегатах, что отодвигало сроки ее выполнения на более поздний и самый напряженный период настроечно-сдаточных работ. Поэтому в подготовительный период было решено «запитать» цепи моторного привода от постороннего источника, соединив между собой выводы подвижных контактов предварительно отключенных выключателей АК-50. Такое решение дало возможность заранее проверить всю коммутационную аппаратуру, установленную на ГРЩ, и устранить обнаруженные неисправности задолго до готовности ГА. Использование оперативного напряжения в ЭЭС ледокола позволило, кроме того, проверить функционирование схем защиты генераторных агрегатов от перегрузки и обратной мощности путем имитации срабатывания соответствующих датчиков при неработающих ГА.

Вслед за подготовительными предусматривалось выполнение основных операций, главными из

которых являются те, которые составляют технологический процесс настройки систем автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов. Примененные в данном случае синхронные генераторы имеют однофазные компаундирующие трансформаторы (ТФК), а в качестве компаундирующего элемента — дроссель с регулируемым зазором, включенный последовательно в цепь обмотки напряжения ТФК (рис. 1). Начальное возбуждение генераторов осуществляется включением цепи обмотки напряжения ТФК с помощью контактора начального возбуждения на шины ГРЩ, минуя генераторный автомат. Удобство выполнения настроечно-сдаточных работ достигалось введением вспомогательной схемы: цепи начального возбуждения генераторов были отключены от шин ГРЩ и получали питание от постороннего источника.

Технологический процесс настройки системы автоматического регулирования напряжения на холостом ходу состоял из следующих операций: проверки функционирования; контроля работоспособности; регулировки; поиска неисправности. Первая операция не представляла особых трудностей и заключалась в проверке начального возбуждения генератора и его совместной работы с системой регулирования напряжения на холостом ходу. «Контроль работоспособности» и «регулировка» существенно усложнились из-за того, что генераторы подобного типа ранее на судах не применялись и их настроечные характеристики (т. е. зависимость выходных параметров генератора от положения регу-

лировочных элементов) были неизвестны. Пришлось исследовать влияние регулировочных органов на выходные параметры генератора и определить значения параметров в основных точках системы регулирования напряжения. Эта работа проводилась совместно с инж. Ю. С. Лившицем.

Для выполнения операции «регулировка» в системе регулирования напряжения предусмотрены следующие регулировочные элементы: регулируемый зазор в компаундирующем дросселе; секционированная обмотка управления дросселя отсоса; обмотка обратной связи в промежуточном магнитном усилителе; резистор изменения величины «статизма» системы по напряжению. Режим холостого хода генератора определяется величиной тока возбуждения $I_{в}$, равного

$$I_{в} = I_{дл}k - I_{до},$$

где k — коэффициент трансформации ТФК из обмотки напряжения во вторичную обмотку;

$I_{дл}$ — ток линейного дросселя;

$I_{до}$ — ток дросселя отсоса.

$I_{дл}$ зависит от индуктивного сопротивления компаундирующего дросселя, величина которого, в свою очередь, изменяется в зависимости от зазора. Исследование показало, что эффективность этого регулировочного элемента практически равна нулю. Хотя увеличение зазора дросселя приводит к увеличению напряжения холостого хода и соответственно к расширению пределов изменения

уставки напряжения реостатом уставки РУ, но одновременно с этим в системе автоматического регулирования напряжения возникают незатухающие колебания напряжения при любом изменении нагрузки, а также при изменении уставки напряжения реостатом РУ из-за незначительного запаса устойчивости системы по электромагнитному контуру. Результаты исследования позволили сделать вывод о том, что в конструкции дросселя нет необходимости предусматривать устройство, позволяющее плавно и точно изменять зазор с помощью регулировочных винтов, а достаточно применять немагнитные прокладки.

Величина тока $I_{до}$ зависит от магнитно-движущей силы обмотки управления, питаемой корректором напряжения. Эту МДС можно регулировать изменением коэффициента усиления промежуточного магнитного усилителя встречным или согласным включением обмотки обратной связи $ОУ_1$, а также изменением числа витков обмотки управления $ДО$ без изменения силы тока $I_{у}$. Обмотка обратной связи незначи-

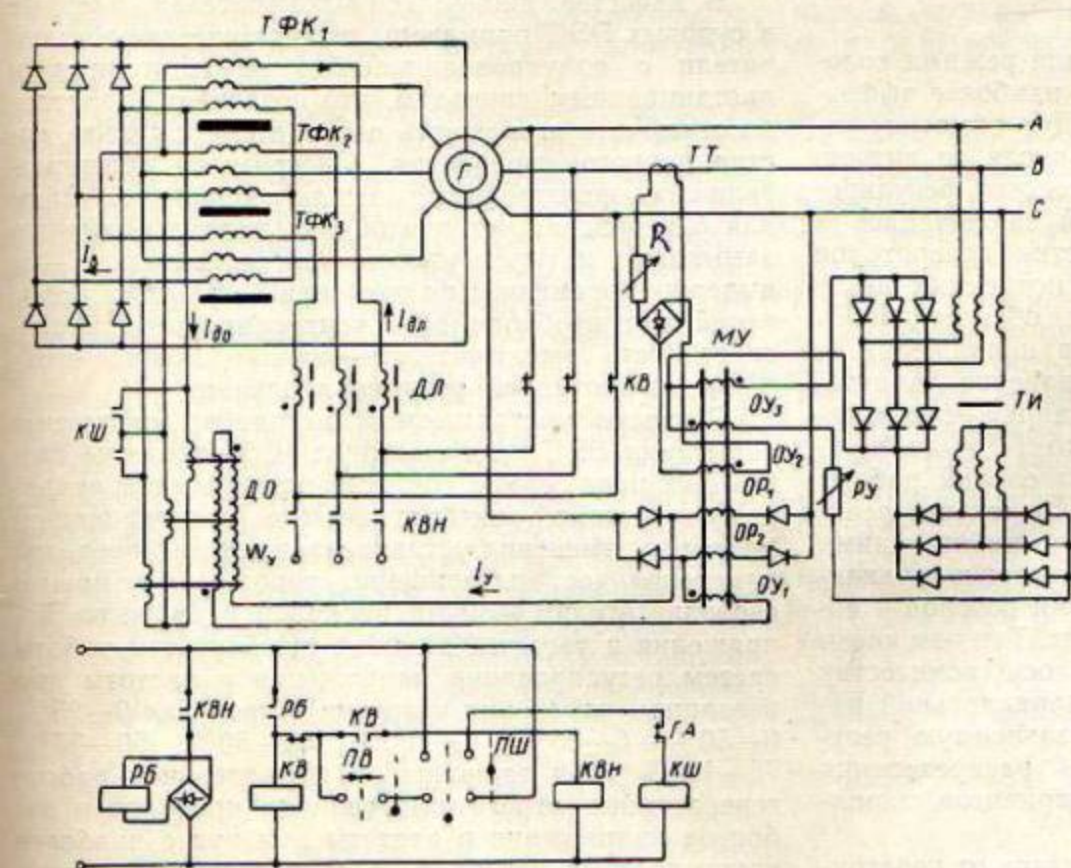


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема системы автоматического регулирования напряжения.

КВН — контактор начального возбуждения; ПШ — переключатель гашения поля; КВ — контактор возбуждения; РБ — реле блокировки; КШ — контактор гашения поля; ДЛ — линейный дроссель; ТН, МУ — измерительный трансформатор и магнитный усилитель корректора напряжения; ПВ — переключатель начального возбуждения.

ДЛ — дроссель обрыва магнитности

А. Баранов

тельно влияет на режим холостого хода генератора и пределы изменения уставки напряжения. Более эффективна эта обмотка в роли стабилизирующего элемента, уменьшающего колебания переходного процесса и его длительность при изменении нагрузки. Таким образом, из перечисленных

как следствие, высокий к. п. д. При работе такого ГА в двигательном режиме мощность, идущая на покрытие разных потерь, незначительна и не может вызвать перегрузки работающего параллельно с ним генераторного агрегата.

При применении реле обратной мощности на

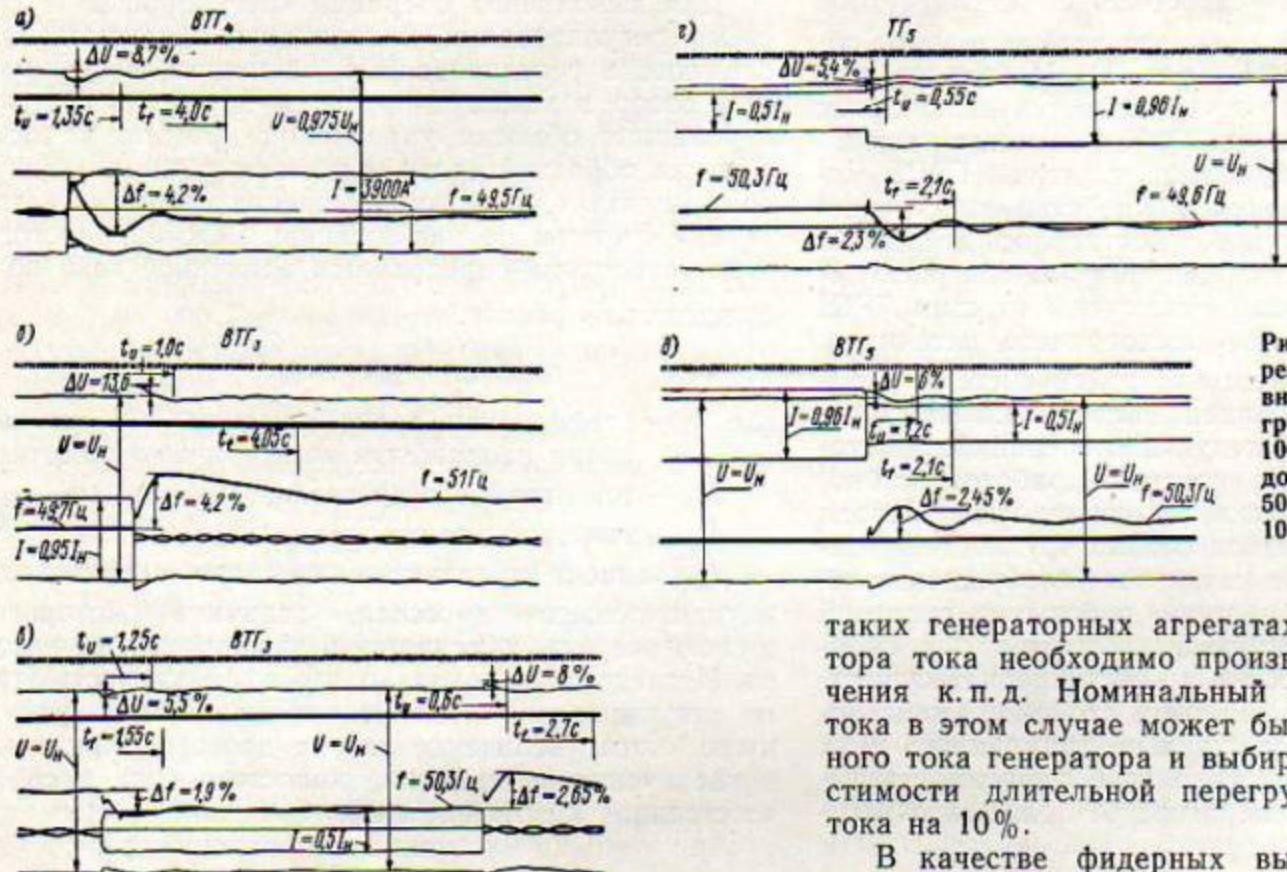


Рис. 2. Осциллограммы переходных процессов при внезапном изменении нагрузки: а — наброс от 0 до 100%; б — сброс от 100% до 0; в — наброс от 0 до 50%; г — наброс от 50 до 100%; д — сброс от 100 до 50%.

выше регулировочных элементов для режима холостого хода и уставки напряжения наиболее эффективным оказалось изменение МДС обмотки управления за счет регулирования числа ее витков.

Настройка системы автоматического регулирования напряжения под нагрузкой заключалась в регулировке внешних характеристик генераторов с помощью перечисленных и рассмотренных выше регулировочных элементов. Этим обеспечивалась одинаковая точность поддержания напряжения и, следовательно, максимальное совпадение характеристик, а также регулировка по напряжению «статизма» системы, величина которого (4%) выбиралась из условия устойчивой параллельной работы генератора с береговой сетью. Распределение реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами осуществлялось с помощью уравнительных соединений между кольцами роторов и добавочных уравнительных резисторов. Так как число уравнительных резисторов равнялось количеству генераторов, а не вариантам их параллельной работы, не удалось осуществить независимую регулировку степени неравномерности распределения реактивных нагрузок для двух вариантов параллельной работы генераторов.

Для защиты генераторных агрегатов от перегрузок предусмотрены устройства типа УТЗ, а от обратной мощности — реле РОМ. Настройка УТЗ аналогична настройке устройства УРГ [2].

Характерное отличие генераторных агрегатов ледокола — безредукторный привод от турбины и,

таких генераторных агрегатах выбор трансформатора тока необходимо производить с учетом значения к. п. д. Номинальный ток трансформатора тока в этом случае может быть меньше номинального тока генератора и выбирается с учетом допустимости длительной перегрузки трансформатора тока на 10%.

В качестве фидерных выключателей впервые в судовых ЭЭС применены автоматические выключатели с полупроводниковыми расцепителями и дистанционным приводом, что позволяет оперативно отключать и включать потребители с пульта дистанционного управления. Программой предусматривалось испытание всех выключателей этой серии для определения уставки по току в зоне короткого замыкания и перегрузки, а для селективных — и выдержки времени. Как показали результаты испытаний, нет необходимости контролировать работоспособность выключателей — вполне можно ограничиться проверкой функционирования.

Согласно программам и методикам сдаточные испытания ЭЭС предусматривали определение следующих параметров: точности поддержания напряжения системой автоматического регулирования; пределов изменения уставки напряжения; пределов изменения частоты вращения турбины с помощью серводвигателя; величин провалов и забросов напряжения и частоты, а также устойчивости работы систем регулирования напряжения и частоты при внезапном изменении нагрузки в пределах 0—25%, 0—50%, 0—75%, 0—100%, 25—50%, 50—75%, 75—100% (при одиночной и параллельной работе генераторных агрегатов); величин провалов и забросов напряжения и частоты при пуске наиболее крупного потребителя от предварительно загруженного на 25 и 75% генераторного агрегата и от двух параллельно работающих агрегатов; степени неравномерности распределения активных и реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами; величины сопротивления изоляции.

Первые три параметра определяются достаточно просто. Для определения же величин провалов и забросов напряжения и частоты пришлось произвести осциллографирование переходных процессов при изменении нагрузки. Полученные данные (рис. 2) показали, что испытания ГА на долевых

стояние генераторных агрегатов устанавливается уже через три часа работы на долевых нагрузках, не изменяясь потом во всех режимах, исключая режим перегрузок.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о существенном сокращении продолжитель-

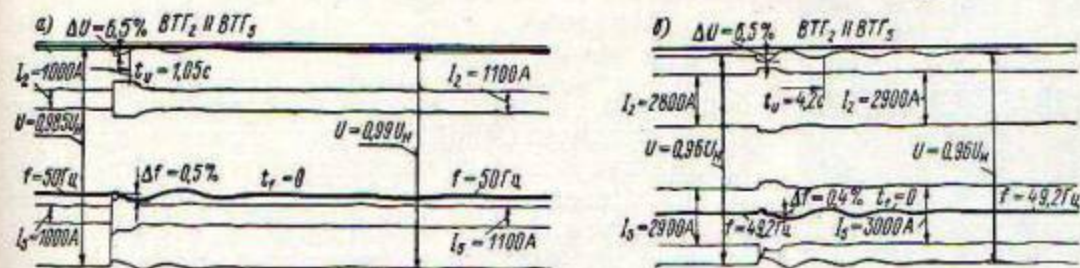


Рис. 3. Осциллограммы переходного процесса при запуске кренового насоса от предварительно нагруженных генераторов: а — на 25%; б — на 75%.

Л
Е
Я
возможна

нагрузках не дают дополнительной информации о качестве работы систем регулирования. Об устойчивости системы регулирования напряжения по электромагнитному контуру легко судить по переходному процессу, возникающему при скачкообразном изменении величины сопротивления реостата уставки напряжения. При отсутствии систем автоматического распределения активных нагрузок испытания в динамических режимах на долевых нагрузках нецелесообразны и при параллельной работе ГА, так как даже при 100%-ном изменении нагрузки величины провалов и забросов существенно меньше, чем при одиночной работе. В связи с тем, что мощность самого большого потребителя (кренового насоса) составляет 300 кВт (15% мощности одного ГА), запуски насоса для определения провала напряжения и частоты нецелесообразны, что подтверждается результатами испытаний (рис. 3).

ности испытаний без ущерба для точности и достоверности результатов. В связи с тем что перегрузки допустимы только на прогретых генераторных агрегатах, программа испытаний может выглядеть примерно так: полчаса работы на всех долевых нагрузках для определения характеристик ГА и замера всех параметров; два с половиной часа работы на 100%-ной нагрузке для установления теплового состояния ГА и фиксации параметров; работа в течение часа при 110%-ной нагрузке по мощности, что необходимо для проверки качества сборки обслуживаемых ГА систем и в период испытаний важнее работы при номинальной нагрузке. Перегрузочная способность генератора по току определяется конструкцией системы возбуждения и не зависит от качества выполнения монтажных и настроечных работ, в связи с чем нет необходимости в ее проверке.

Сокращения трудоемкости измерения сопротивления изоляции можно достичь устройством специальных контрольных гнезд. В связи с применением в этой ЭЭС «оперативного напряжения» судить о величине сопротивления изоляции всей цепи управления можно по сопротивлению изоляции питающих проводов, так как каждый элемент схемы обязательно соединен с одним из проводов питания.

Выводы

Кроме определения перечисленных и рассмотренных выше параметров, предусматривалось испытание ГА на нагревание в следующих режимах: холостой ход (15 мин); работа по одному часу на каждой из нагрузок (25, 50 и 75%); шестичасовая 100%-ная нагрузка; часовая десятипроцентная перегрузка; получасовая работа при 125% нагрузки по мощности; пятиминутная нагрузка током 150% номинального. Однако столь обширная программа испытаний, как показали исследования, может быть значительно сокращена. Тепловое со-

При проектировании новых ЭЭС ледоколов и ледокольных судов необходимо уделять внимание обеспечению технологичности настройки, что позволит существенно сократить трудовые затраты и сроки проведения настроечно-сдаточных работ, а также упростить эксплуатацию. При разработке программ и методик следует максимально сокращать объем испытаний, учитывая опыт их проведения на других судах. Для сложных объектов настройки (генераторов, устройств автоматики и т. д.) в документации необходимо предусматривать настроечные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров О. Г. Настройка аппаратуры и систем судовой электроавтоматики. Л., «Судостроение», 1975.
2. Воронков Б. И., Захаров О. Г., Лившиц Ю. С. Унифицированный ГРЩ электростанции переменного тока. — «Судостроение», 1975, № 3.