

д 688

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Аспирант А. Г. ДОРМ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПРИ МАЛЫХ НАГРУЗКАХ

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических
наук.

Научный руководитель—кандидат тех-
нических наук доцент В. А. ЛИФАНОВ.

Челябинск, 1966

ЧПИ

Экспериментальная часть работы выполнялась на кафедре электрических машин и аппаратов Челябинского политехнического института, на Челябинской ГРЭС и на Южно-Уральской ГРЭС.

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертации Дорм А. Г. на тему: «Разработка и исследование устройств для индикации режимов работы турбогенераторов при малых нагрузках», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Совета, посвященном защите, или прислать свои отзывы в 2-х экземплярах. О дне и времени защиты за 10 дней будет опубликовано в газете «Челябинский рабочий».

Защита намечена на 18 мая 1966 года.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Адрес института: г. Челябинск, 44, проспект им. В. И. Ленина, 76, телефон 9-39-64.

Автореферат разослан « . . » апреля 1966 г.

Ученый секретарь совета В. Н. ГОНЧАР.

В В Е Д Е Н И Ё

В Советском Союзе около 80% всей электроэнергии вырабатывается на тепловых электрических станциях. Дальнейшее развитие энергетики и электрификации всей страны связано с переходом от строительства тепловых электростанций в 600—2400 тыс. квт с турбогенераторами в 100—300 мвт к сооружению электростанций мощностью 2500—4000 мвт с агрегатами 500—800 мвт и выше до 1000 мвт. Это выдвигает ряд весьма серьезных проблем научно-технического и производственного характера.

Одним из проблемных вопросов, связанных с обеспечением эксплуатационной надежности блочных турбогенераторов, является контроль режимов работы их при малых нагрузках.

Необходимость такого контроля вызвана тем, что с целью исключения разноса агрегата вследствие неплотного закрытия стопорных клапанов турбины от действия технологических защит блока отключение турбогенератора от сети должно производиться лишь после перехода генератора в двигательный режим. С другой стороны, допускаемая продолжительность этого опасного для турбины режима мала ($1 \div 3$ мин.) и тем меньше, чем выше параметры пара и больше мощность агрегата.

Таким образом, для безопасного отключения блока от сети при указанных условиях необходимо осуществлять автоматический контроль перехода турбогенератора в двигательный режим.

В связи с этим основной задачей реферируемой работы является создание и исследование устройств, обеспечивающих наиболее точную информацию о режимах работы мощных турбогенераторов при останове их от действия технологических защит блока.

Как показал анализ, известные способы и устройства не позволяют успешно решить указанную задачу. В результате воз-

никла необходимость поиска и разработки принципиально новых, более надежных средств.

В процессе выполнения работы предложен способ измерения относительно малых нагрузок турбогенераторов по углу нагрузки Θ , т. е. одному из основных показателей энергетического процесса синхронной машины. Для практического осуществления рассматриваемого способа требуются достаточно точные и надежные устройства регистрации угла Θ , этого неэлектрического параметра синхронной машины.

Вопросу измерения угла Θ посвящено значительное число работ советских и зарубежных авторов. Однако большинство известных устройств для регистрации угла Θ основано на измерении временного интервала между моментами перехода исследуемого и опорного сигналов через нулевой уровень, что требует относительно сложной и громоздкой аппаратуры. Кроме того, применяемые устройства не обладают достаточной надежностью, необходимой для их длительной эксплуатации в производственных условиях.

В работе предложены два принципиально новых устройства регистрации угла Θ — дискретного и непрерывного измерения. Установка этих устройств на турбогенераторе типа ТВФ-200-2 не требует конструктивных изменений каких-либо деталей агрегата.

Другой весьма важной задачей, связанной с повышением эксплуатационной надежности турбогенераторов, является их синхронизация с сетью. Процесс включения методом точной синхронизации с использованием существующих автосинхронизаторов, основанных на дискретном измерении, относительно сложен и может затянуться во времени. Включение по методу самосинхронизации имеет ряд преимуществ, но всегда сопровождается толчком тока и возникновением в конструктивных деталях агрегата динамических усилий, величина которых в основном определяется величиной сдвига по фазе между напряжением сети и напряжением на зажимах включаемой машины.

Следовательно, по изменению во времени величины фазового угла Θ и его знаку можно определить благоприятный момент включения синхронной машины на параллельную работу.

В реферируемой работе предложены новые датчики синхронизма, отличительная особенность которых состоит в том, что с их помощью осуществляется непрерывное измерение фазового угла и частоты синхронизируемого генератора в одном полупроводниковом элементе э. д. с. Холла. Поэтому продолжительность синхронизации может быть сокращена.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Г л а в а I.

Обзор и анализ основных существующих устройств для регистрации угла Θ синхронных машин

В § 1 изложены общие соображения об угле нагрузки Θ . Подчеркнуто, что этот параметр характеризует энергетический процесс синхронной машины.

В § 2 рассмотрены основные методы измерения, принципы действия и формы конструктивного исполнения составных узлов и элементов известных устройств непосредственного измерения угла Θ . Указанные устройства состоят из следующих основных узлов: датчика фазы ротора, датчика фазы сети, схемы сравнения и формирования выходного сигнала устройства.

В § 3 произведен обзор известных датчиков фазы ротора синхронной машины. Как показал анализ, использование существующих датчиков фазы ротора для решения поставленных задач затруднительно, т. к. индукционные датчики чувствительны к вибрациям и внешним магнитным полям, электромеханические — недостаточно точны, а фотоэлектрические — маломощны и требуют введения усилителей, значительно усложняющих схему.

В § 4 проведен анализ схем сравнения и формирования выходного сигнала существующих устройств непосредственного измерения угла Θ . В настоящее время для измерения угла нагрузки Θ синхронных машин преимущественно применяются электронно-импульсные фазометры, принцип действия которых основан на измерении временного интервала между моментами перехода исследуемого сигнала и опорного напряжения сети через нулевой уровень один раз за период последнего.

В § 5 рассмотрены основные известные устройства измерения и регистрации угла Θ , которые принципиально могут

быть применены для измерения угла нагрузки турбогенератора. Как показал анализ, использование известных устройств для указанной цели затруднительно.

Глава II.

Индикация режимов работы турбогенераторов с целью повышения эксплуатационной надежности блока

В § 1 дано обоснование необходимости контроля режимов работы, выбран критерий безопасного отключения турбогенератора от сети при действии технологических защит блока котел-турбина. Отмечено, что отключение блока от сети при указанных условиях безопасно производить лишь после перехода турбогенератора в двигательный режим.

В § 2 произведен обзор применяемых способов для определения режимов работы блочных турбогенераторов при относительно малых нагрузках. Показано, что абсолютная погрешность применяемых способов затрудняет контроль режимов работы турбогенераторов.

В § 3 приведено обоснование предложенного автором совместно с другими сотрудниками кафедры электромашин ЧПИ способа измерения малых активных нагрузок мощных синхронных машин. Отличительная особенность этого способа состоит в том, что с целью упрощения и обеспечения безопасного отключения турбогенератора от сети осуществляется индикация режимов работы синхронной машины путем непрерывной регистрации величины и знака угла Θ .

В § 4 дано описание конструкции и принципа действия нового устройства индикации режимов работы турбогенератора типа ТВФ-200-2.

Конструктивными элементами устройства являются: два электромагнитных смесителя, схема сравнения и исполнительное реле (рис. 1). Электромагнитные смесители (ЭМС-1 и ЭМС-2) состоят из двух П-образных электромагнитов переменного тока и двух ярем (шунтов). Электромагниты установлены над муфтой, соединяющей генератор с возбудителем и расположены друг относительно друга под углом 90° . На одном стержне каждого электромагнита размещены измерительная и силовая обмотки. Последние соединены последовательно и подключены через трансформатор напряжения (ТН) на шины генератора. Ферромагнитные шунты укреплены на муфте с взаимным углом 180° и с таким расчетом, чтобы при вращении ротора (шунтов) магнитное сопротивление магнитопроводов ЭМС из-

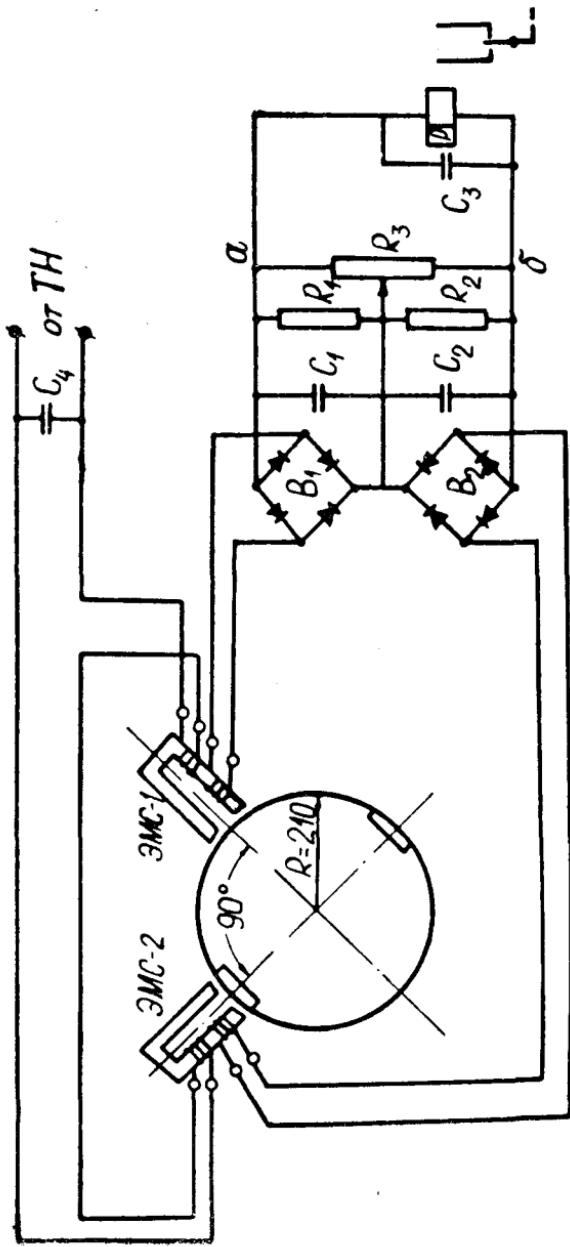


Рис. 1. Схема устройства.

менялось в зависимости от пространственного положения шунта. Схема сравнения состоит из двух мостовых выпрямителей и двух фильтров RC.

Принцип действия нового устройства состоит в следующем. Силовая обмотка каждого ЭМС создает переменный магнитный поток, который при нешунтированном состоянии П-образного сердечника является по существу потоком рассеяния указанной обмотки и замыкается вблизи основания электромагнита (рис. 2). Таким образом, в рассматриваемом случае лишь незначительная часть потока силовой обмотки сцепляется с измерительной обмоткой.

Во время прохождения шунта мимо электромагнита происходит увеличение магнитного потока как силовой, так и особенно измерительной обмоток, что вызывает появление импульсной э. д. с. в этих обмотках. Продолжительность импульсов определяется шириной сердечника и шунта, а амплитуда, для данного ЭМС, — величиной мгновенного значения тока в силовых обмотках в момент шунтирования магнитопровода.

Если на муфте турбогенератора расположить один магнитный шунт, то при синхронной скорости вращения моменты шунтирования будут соответствовать одной и той же фазе φ тока i_1 в силовой обмотке.

Изменение угла нагрузки Θ турбогенератора сопровождается изменением фазы φ в момент шунтирования и соответствующим изменением амплитуды импульса э. д. с.

Таким образом, описанный электромагнит при синхронной скорости вращения турбогенератора выполняет роль симсителя, амплитуда импульса э. д. с. которого является функцией положения ротора синхронной машины относительно фазы напряжения сети. При этом изменение угла нагрузки Θ турбогенератора аналогично смещению синусоиды тока силовой обмотки относительно моментов шунтирования электромагнитов.

После выпрямления и усреднения импульсов э. д. с. смесителя получается однополярный сигнал U , являющийся функцией угла φ . При этом предполагается, что э. д. с. основной частоты измерительной обмотки скомпенсирована.

Для повышения уровня сигнала ЭМС и динамического уравновешивания муфты установлен второй магнитный шунт со сдвигом относительно первого на 180° . В этом случае при синхронном вращении ротора и при $\Theta = \text{const}$ шунтирование магнитопровода электромагнита происходит при той же абсолютной величине мгновенного значения тока в силовой обмот-

ке, но дважды за один оборот ротора. Поэтому в измерительной обмотке будет удвоенное число одинаковых по амплитуде импульсов и сигнал U смесителя возрастет.

Для получения разнополярного сигнала в зависимости от генераторного или двигательного режима работы турбогенератора установлены два ЭМС с таким расчетом, чтобы при $\Theta = 0^\circ \varphi_1 = +45^\circ$, а $\varphi_2 = -45^\circ$, т. е. сдвинутых друг относительно друга на 90° . Зависимости выпрямленных и усредненных сигналов U_1 и U_2 ЭМС-1 и ЭМС-2 от угла φ оказываются при этом одинаковыми по форме, но сдвинутыми относительно начала отсчета на угол $\varphi_1 = +45^\circ$ и $\varphi_2 = -45^\circ$. Если измерять разность этих сигналов, то можно получить разнополярную зависимость $U = f(\Theta)$.

Выходная характеристика устройства по форме близка к синусоиде, но с периодом, равным не 360 электрических градусов, а 180° .

Импульсы э. д. с. обоих электромагнитных смесителей сравниваются в измерительной части схемы. Ввиду сдвига импульсов э. д. с. во времени на четверть периода (при угле между ЭМС-1 и ЭМС-2 90° и скорости вращения ТГ 3000 об/мин.) для сравнения их амплитуд необходимо запоминание импульсов.

Накопительные емкости $C_1 = C_2$ заряжаются от электромагнитных смесителей ЭМС-1 и ЭМС-2 через двухполупериодные мостовые выпрямители на полупроводниковых диодах.

Сопротивление $R_3 >> R_1$ позволяет произвести симметрирование схемы.

Разность напряжений между точками «а» и «б» создает ток в цепи реле Р.

Отличительной особенностью нового устройства является возможность определения угла Θ путем сравнения по величине двух импульсов э. д. с., которые индуцируются в ЭМС-1 и ЭМС-2 при поочередном шунтировании последних. Такой принцип позволяет повысить точность и надежность измерения.

Глава III.

Теоретические и экспериментальные исследования нового устройства индикации режимов работы турбогенератора

В § 1 произведен анализ работы устройства при условии компенсации э. д. с. основной частоты в измерительной обмотке. Компенсационная обмотка с числом витков W_k размещает-

ся на сердечнике ЭМС так, чтобы она пронизывалась большим магнитным потоком, чем измерительная обмотка с числом витков W_2 (рис. 2).

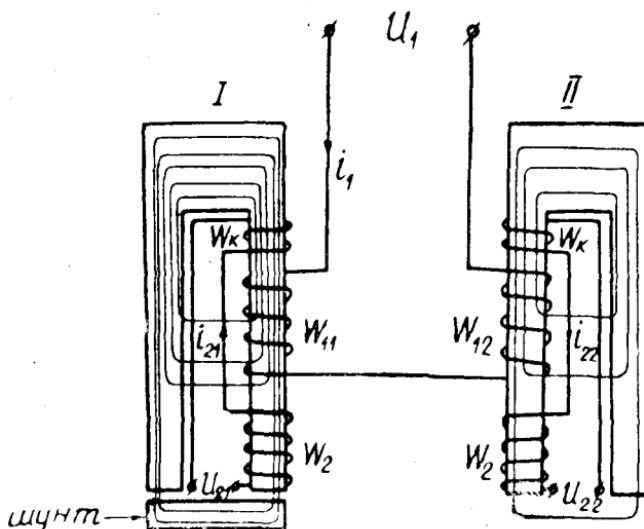


Рис. 2. Схема соединений обмоток и их размещение на стержнях ЭМС.

При значительном удалении шунта от сердечника ЭМС соответствующим подбором витков W_2 и W_k можно добиться практически полной компенсации основной гармоники э. д. с. этих обмоток. При этом всегда W_k меньше W_2 . Это значит, что при отсутствии шунта взаимная индуктивность между силовой (первичной) обмоткой и вторичной обмоткой равна нулю.

При приближении шунта к сердечнику ЭМС увеличивается поток, пронизывающий измерительную обмотку, приближаясь к потоку, пронизывающему компенсационную обмотку. Поэтому взаимная индуктивность между первичной и вторичной обмотками становится не равной нулю и тем больше, чем меньше магнитное сопротивление зазора ЭМС и чем больше разность витков измерительной и компенсационной обмоток. Одновременно несколько возрастает и индуктивность первичной обмотки.

При прохождении шунта вблизи сердечника во вторичной обмотке ЭМС индуцируются э. д. с. по двум причинам.

1. Вследствие появления взаимоиндуктивности между вторичной и первичной обмотками. Если бы шунт при этом остался неподвижным, т. е. $M_1 = \text{const}$, то во вторичной обмотке наводилась бы синусоидальная э. д. с. за счет изменения тока первичной обмотки, включенной в сеть переменного тока. При движении шунта наведенная э. д. с. будет несинусоидальной.

2. Вследствие изменения взаимоиндуктивности M_1 . При неизменном токе в первичной обмотке эта э. д. с. пропорциональна скорости изменения M_1 .

Эти э. д. с. носят импульсный характер, так как изменения M_1 , связанные с движением шунта под сердечником ЭМС, укладываются в короткий интервал времени, значительно меньший периода основной гармоники.

Соотношение между первой и второй составляющими э. д. с. зависит от того, в какой момент времени шунт проходит под сердечником ЭМС, т. е. от значения тока в первичной обмотке в момент шунтирования. Если шунтирование происходит в момент когда ток в первичной обмотке далек от нулевого значения, то вторая составляющая значительно больше первой.

Как уже указывалось, первичные обмотки двух ЭМС соединяются последовательно. В момент шунтирования одного из них ток в первичных обмотках отклоняется от синусоидальной формы за счет изменения индуктивности обмотки, расположенной на шунтируемом сердечнике. При синусоидальном подведенном напряжении U_1 , в напряжения на каждой из первичных обмоток появляются импульсные составляющие. Импульсная составляющая напряжения на первичной обмотке шунтируемого сердечника обусловлена изменениями ее индуктивности, а на обмотке нешунтируемого сердечника — за счет отклонения формы тока от синусоидальной. Однако все эти отклонения не вызывают появления импульсной э. д. с. во вторичной обмотке нешунтируемого сердечника, так как M между вторичной и первичной обмотками данного ЭМС остается равной нулю.

Пренебрегая вихревыми токами в шунтах составлены следующие уравнения, описывающие электромагнитные процессы в ЭМС:

$$u_1 = r_1 \cdot i_1 + \frac{d\Psi_{11}}{dt} + \frac{d\Psi_{12}}{dt}, \quad (1)$$

$$u_{21} = r_2 \cdot i_{21} + \frac{d\Psi_{21}}{dt}, \quad (2)$$

$$u_{22} = r_2 \cdot i_{22} + \frac{d\Psi_{22}}{dt}, \quad (3)$$

где

u_1 — напряжение, приложенное к силовым (первичным) обмоткам ЭМС;

i_1 — ток в первичных обмотках ЭМС;

r_1 и r_2 — активные сопротивления первичных и вторичных обмоток ЭМС;

i_{21} и i_{22} — токи во вторичных обмотках ЭМС-1 и ЭМС-2;

u_{21} и u_{22} — напряжение на вторичных обмотках ЭМС-1 и ЭМС-2;

Ψ_{11} — потокосцепление первичной обмотки ЭМС-1;

Ψ_{12} — потокосцепление первичной обмотки ЭМС-2;

Ψ_{21} — потокосцепление вторичной обмотки ЭМС-1;

Ψ_{22} — потокосцепление вторичной обмотки ЭМС-2;

Так как измерительная и компенсационная обмотки каждого сердечника соединены последовательно, то в общем случае получается:

$$\Psi_{11} = L_{11} \cdot i_1 + M_1 \cdot i_{21}; \quad (4)$$

$$\Psi_{12} = L_{12} \cdot i_1 + M_2 \cdot i_{22}; \quad (5)$$

$$\Psi_{21} = M_1 \cdot i_1 + L_{21} \cdot i_{21}; \quad (6)$$

$$\Psi_{22} = M_2 \cdot i_1 + L_{22} \cdot i_{22}. \quad (7)$$

M и L — взаимоиндуктивность и индуктивность соответствующих обмоток.

В уравнениях (4, 5, 6 и 7) индуктивности обмоток и взаимоиндуктивности между обмотками являются переменными параметрами, зависящими от положения шунтов относительно сердечников ЭМС. При постоянной скорости вращения ротора генератора их можно считать известными функциями времени.

Ввиду невозможности строгого аналитического определения этих параметров в дальнейшем используются зависимости их от времени (положения шунтов), полученные экспериментально.

Слабая зависимость между L_{11} и первичным током дает основание считать магнитную цепь ЭМС линейной, т. е. г., L и M — не зависящими от тока.

Так как ЭМС-1 и ЭМС-2 шунтируются магнитными шунтами поочередно, то можно рассматривать процесс шунтирования только одного из них.

Для случая работы ЭМС-1 имеем:

$$L_{11} = f_1(t); M_1 = f_2(t); L_{21} = f_3(t), \text{ а} \\ L_{22} = \text{const}; M_2 = \text{const}; L_{12} = \text{const}.$$

Кроме того, в этот момент времени $i_{22} = 0$.

Поэтому

$$\frac{d\Psi_{11}}{dt} = L_{11} \frac{di_1}{dt} + i_1 \frac{dL_{11}}{dt} + M_1 \frac{di_{21}}{dt} + i_{21} \frac{dM_1}{dt}; \quad (8)$$

$$\frac{d\Psi_{12}}{dt} = L_{12} \frac{di_1}{dt}. \quad (9)$$

Строгое решение этих уравнений с учетом работы вторичных обмоток ЭМС на выпрямительные схемы оказывается невозможным, в связи с чем в дальнейшем принимаются определенные упрощения, допустимость которых подтверждается экспериментально.

Из приведенных уравнений получены выражения для определения тока в первичных обмотках ЭМС, э. д. с. и тока во вторичной обмотке шунтируемого ЭМС, внешней характеристике одного ЭМС и выходной характеристики устройства.

Использование в расчетах экспериментальной зависимости $M = f(\alpha')$ (α' — пространственный угол между осями сердечника ЭМС и шунта) позволяет получить частные результаты, хорошо согласующиеся с данными опыта.

С целью получения более общих соотношений, необходимых для качественного анализа влияния отдельных параметров устройства на его выходную характеристику, экспериментальная зависимость $M = f(\alpha')$ аппроксимируется аналитической функцией следующего вида:

$$M = \frac{M_{\max}}{2} \left(1 + \sin \alpha' k \right) = \frac{M_{\max}}{2} \left(1 + \sin \alpha \right), \quad (10)$$

при $-\frac{\pi}{2} > \alpha' k > \frac{3}{2} \pi$,

где $\alpha = \alpha' k$.

В этом случае э. д. с. вторичной обмотки с учетом допущений, принятых выше будет:

$$\begin{aligned} e_2 &\approx i_{10} \frac{dM}{dt} = i_{10} \frac{M_{\max}}{2} \cdot \cos \alpha \frac{dx}{dt} = \\ &= i_{10} \frac{k \cdot \omega \cdot M_{\max}}{2} \cdot \cos \alpha = E_m \cdot \cos \alpha, \\ E_m &= i_{10} \cdot \frac{k \cdot \omega \cdot M_{\max}}{2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где К—представляет собой отношение периода напряжения сети к длительности импульса э.д.с. и определяется в основном шириной шунта и внешним диаметром окружности, описываемой шунтом при вращении;
 ω —угловая частота сети.

Особенностью работы выпрямительного устройства совместно с ЭМС является то обстоятельство, что на вход устройства поступает короткий однопериодный импульс э.д.с., чередующийся с длинными паузами. В связи с этим при применении мостовой выпрямительной схемы возможны три режима работы выпрямительного устройства одного ЭМС.

С учетом указанных особенностей получено следующее выражение для мощности, выделяемой на обмотке реле данного устройства:

$$P_p = 27,2 \frac{M_{\max}^2 \cdot I_{\max}^2}{L_2} \cdot \theta^2, \quad (12)$$

где I_{\max} —амплитуда тока в силовых обмотках ЭМС.

Анализ уравнения (12) позволяет сделать следующие выводы:

1. Мощность, выделяемая на обмотке реле, не зависит от числа витков вторичной обмотки, так как индуктивность вторичной обмотки L_2 пропорциональна квадрату числа витков вторичной обмотки, а взаимная индуктивность M пропорциональна первой степени. Это позволяет производить согласование выходного сопротивления и сопротивления реле за счет изменения числа витков вторичной обмотки. Соответственно ток реле I_p будет меняться обратно пропорционально числу витков вторичной обмотки, а сопротивление реле должно быть изменено пропорционально квадрату числа витков.

2. Изменение числа витков первичной обмотки не вызывает изменения тока и мощности, выделяемой на обмотке реле, если одновременно изменять и ток первичной обмотки обратно пропорционально числу витков с таким расчетом, чтобы величина магнитной индукции в сердечнике оставалась неизменной.

Выбор величины индукции в сердечнике ЭМС определяется содержание высших гармонических в кривых э.д.с., индуцируемых в измерительной и компенсационной обмотках, и, следовательно, условия их компенсации при значительном удалении магнитного шунта от сердечника.

Значительное содержание высших гармоник может вызвать погрешность в рассматриваемом устройстве. Однако уменьшение индукции приводит при прочих равных условиях к уменьшению мощности, выделяемой в обмотке реле. С этой точки зрения необходимо выбирать максимальные индукции, но такие, чтобы ни в одном сечении сердечник ЭМС не насыщался.

Естественно, что при изменении числа витков первичной обмотки необходимо оставлять индукцию прежней. При этом изменяется как напряжение, так и ток в первичной обмотке, а мощность остается постоянной. Выбор числа витков первичной обмотки необходимо согласовывать с напряжением источника питания.

3. Увеличение диаметра внешней окружности, описываемой шунтом, т. е. увеличение «К» при неизменных размерах ЭМС, не вызывает изменения мощности на обмотке реле, хотя амплитуда э.д.с. во вторичной обмотке возрастает. Следовательно, диаметр окружности, описываемой шунтом, не оказывает влияния на чувствительность устройства. Однако при увеличении диаметра уменьшается влияние некомпенсированных высших гармоник во вторичной обмотке ЭМС.

Максимальное значение диаметра ограничивается механической прочностью узлов крепления магнитных шунтов устройства.

4. Одновременное пропорциональное увеличение всех линейных размеров ЭМС, в том числе и зазора, при неизменных индукциях, вызывает увеличение мощности, выделяемой в обмотке реле при прочих равных условиях, пропорционально кубу линейного размера.

531889

Если уравнение (12) представить в виде

$$P_p = 27,2 \frac{\left(\frac{M_{max}}{W_1}\right)^2 \cdot (W_1 \cdot I_{max})^2}{L_2} \cdot \theta^2 \quad (13)$$

и учесть, что ампервитки первичной обмотки $W_1 I_{max}$, индуктивность вторичной обмотки L_2 и величина $\frac{M_{max}}{W_1}$ растут пропорционально линейному размеру, то указанный вывод становится очевидным.

Мощность, потребляемая в первичной обмотке ЭМС, увеличится также пропорционально кубу линейных размеров последнего. Поэтому габариты ЭМС и, следовательно, чувствительность устройства ограничиваются мощностью источника, от которого он питается.

Для увеличения чувствительности устройства целесообразно применять компенсацию реактивной мощности, потребляемой ЭМС.

5. Уменьшение зазора вызывает увеличение M_{max} в то время, как I_{max} и L_2 остаются практически неизменными. Поэтому уменьшение зазора вызывает увеличение чувствительности устройства. Однако при малых зазорах любые изменения положения шунта и сердечника ЭМС вызывают значительные погрешности. Следовательно, выбор величины зазора определяется допустимой погрешностью устройства.

В § 2 проведен анализ погрешностей устройства для индикации режимов работы блочного турбогенератора типа ТВФ-200-2. В расчет принимались следующие погрешности:

1) погрешности, вызванные изменением амплитуд и фазы тока силовых обмоток ЭМС-1 и ЭМС-2;

2) погрешности выпрямительной схемы;

3) погрешности, обусловленные размещением ЭМС и шунтов.

Получена формула для расчета параметров силовых обмоток ЭМС по допускаемой угловой погрешности устройства.

В § 3 изложены методика и результаты экспериментальных исследований предложенного устройства.

Лабораторные исследования устройства проводились на испытательном стенде, позволяющем испытывать устройство в натуральную величину и имитировать эксплуатационную работу блока. Основной целью этих исследований являлось изучение главных факторов, влияющих на выходную характеристи-

стику устройства, и отработка шунтов и сердечников ЭМС, которые могут быть установлены на турбогенераторе.

По результатам этих исследований составлены практические рекомендации, позволившие изготовить шунты и сердечники ЭМС, установка которых на турбогенераторе типа ТВФ-200-2 не требует каких-либо изменений деталей агрегата.

Промышленные испытания проводились на блоке № 9 Южно-Уральской ГРЭС и дали положительные результаты.

Глава IV.

Электромашинное устройство для непрерывного измерения угла Θ

В § 1 изложены общие замечания о регистрации угла Θ устройством дискретного измерения.

В § 2 дано описание принципа действия нового, предложенного автором совместно с В. А. Лифановым, электромашинного устройства для непрерывного измерения угла нагрузки турбогенератора в диапазоне от 0° до $\pm 90^\circ$, базирующегося на использовании эффекта Холла. Предложенное устройство, которое в дальнейшем именуется как вспомогательная машина (ВМ), по размерам и наружному виду аналогична дифференциальному сельсину. Основными узлами ВМ являются: трехфазный ротор с контактными кольцами, кольцевой магнитопровод (статор) без пазов и обмотки и германиевый элемент э. д. с. Холла, который приклеен к внутренней поверхности расточки статора.

Для регистрации угла Θ турбогенератора при помощи ВМ необходимо механически соединить роторы указанных машин. Цель управляющего тока элемента э. д. с. Холла подключается к источнику постоянного тока, а электроды Холла — к шлейфу осциллографа. Обмотка ротора ВМ присоединяется к той же сети, что и исследуемая машина, причем подводимое к ней напряжение должно иметь обратное следование фаз. В результате этого возникающее в воздушном зазоре магнитное поле будет неподвижно относительно элемента э. д. с. Холла.

При нагрузке турбогенератора ось поля ВМ смещается на угол Θ относительно своего исходного положения, что приводит к появлению на выходе устройства постоянного напряжения, пропорционального индукции в месте расположения элемента э. д. с. Холла.

В § 3 изложены цели, методика и результаты эксперимен-

тальных исследований электромашинного устройства непрерывного измерения угла Θ . Конструктивно устройство было разработано применительно к условиям установки его на турбогенераторе типа ТВФ-200-2. По результатам лабораторных исследований получены практические рекомендации по изготовлению устройства.

Промышленные испытания предложенного устройства проводились на турбогенераторе типа ТВФ-200-2. Результатами этих испытаний подтверждена возможность применения электромашинного устройства для индикации режима работы турбогенератора.

Глава V.

Новые датчики синхронизма

В § 1 изложены общие сведения о методах синхронизации синхронных машин. Отмечается, что уравнительный ток, возникающий в момент включения синхронной машины на сеть, зависит, в основном, от величины фазового угла Θ . Это обстоятельство явилось принципиальной основой вновь созданных датчиков синхронизма.

Для непрерывной регистрации в трехфазных машинах фазового сдвига Θ и преобразования его в релейный сигнал применен полупроводниковый элемент э. д. с. Холла.

В § 2 дано описание и представлена схема нового датчика синхронизма. Принцип действия устройства состоит в следующем:

Элемент э. д. с. Холла помещается в воздушном зазоре ненасыщенного дросселя рис. 3, обмотка которого приключается к фазному напряжению сети, например, U_b . Токовая цепь элемента э. д. с. Холла подключается на линейное напряжение синхронизируемого генератора U_{ca} . В процессе разгона, по мере приближения скорости вращения генератора к синхронной, амплитуда и частота его напряжения будет увеличиваться. В соответствии с этим будет уменьшаться угловая скорость вращения вектора напряжения U_{ca} относительно вектора напряжения U_b , т. е. $\omega = \omega_c - \omega_r$, где ω_c — угловая частота сети, а ω_r — угловая частота генератора.

Напряжение на выходе элемента э. д. с. Холла будет:

$$U_x = i_y \cdot B_0 = K_0 B_{0m} \cdot \sin \omega_c t \cdot \sqrt{2} I_y(t) \cdot \sin \omega_2 t =$$

$$= \frac{1}{2} K_0 B_{0m} \cdot \sqrt{2} I_y(t) \cos(\omega_c - \omega_r)t - \\ - \frac{1}{2} K_0 B_{0m} \sqrt{2} I_y(t) \cos(\omega_c + \omega_r)t$$

или $U_x = A(t) \cos(\omega_c - \omega_r)t - A(t) \cos(\omega_c + \omega_r)t,$

где $A(t) = \frac{1}{2} K_0 B_{0m} \sqrt{2} \cdot I_y(t).$

Вторая составляющая уравнения, имеющая при $\omega_c = \omega_r$ двойную частоту сети, легко отфильтровывается.

Отличительная особенность рассматриваемого датчика синхронизма состоит в том, что с его помощью осуществляется не-

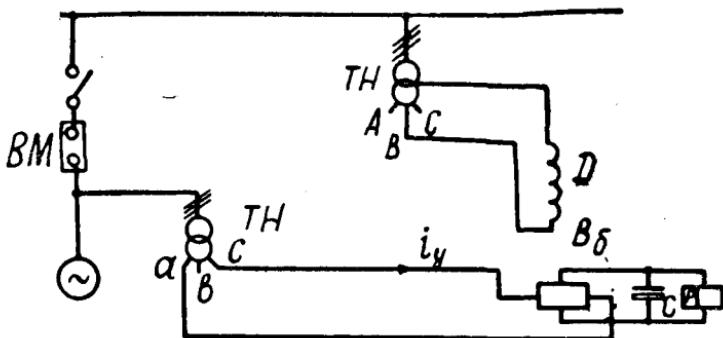


Рис. 3. Схема включения статического датчика синхронизма.

прерывное измерение угла Θ и частоты синхронизируемого генератора.

В § 3 приведены результаты экспериментальных исследований статического датчика синхронизма.

Промышленные испытания предложенного датчика проводились на Челябинской ГРЭС. Результатами этих испытаний подтверждена работоспособность испытуемого датчика синхронизма.

В § 4 изложен принцип работы электромашинного датчика синхронизма, предложенного автором совместно с В. А. Лифановым и М. И. Ротенберг, который включает в себя вспомогательную машину (ВМ) и фотоэлектрическое реле (ФЭР).

Основными конструктивными элементами ФЭР являются магнитоэлектрический микроамперметр (МЭМ) с встроенным, ближе к концу шкалы, фотосопротивлением типа ФСК-1. На

стрелке МЭМ закреплен флагок, который при перемещении передвижной системы МЭМ может изменять освещенность ФСК-1.

Для фазовой настройки датчика синхронизма необходимо предварительно одним из доступных способов включить синхронную машину и ВМ на сеть. Затем поворотом элемента э. д. с. Холла (статора) установить максимальное значение выходного напряжения и закрепить статор. Найденное положение статора ВМ будет при всех последующих включениях соответствовать совпадению мгновенных полярностей синхронизируемой машины и сети.

Принцип действия датчика синхронизма состоит в следующем. Если на вход ФЭР подать сигнал ВМ, то стрелка-флагок будет совершать колебания с частотой скольжения синхронизируемой машины. Максимальное отклонение (отброс стрелки), вследствие инерционности подвижной системы МЭМ, происходит при частоте, близкой к нулевой, и при равенстве фазовых углов между напряжениями сети и включаемого генератора. При этом в результате изменения освещенности ФСК будет выдан сигнал на включение синхронизируемой машины.

В § 5 указана цель экспериментального исследования электромашинного датчика синхронизма и приведены осциллограммы тока реле РПС-5 и тока синхронизируемого генератора.

Промышленные испытания предложенного датчика синхронизма проводились на Челябинской ГРЭС. Точность срабатывания устройства контролировалась с помощью синхронизатора АС-2. При этом было установлено, что устройство срабатывает лишь при выполнении условий включения турбогенератора в сеть.

Основные результаты работы

1. Предложен и осуществлен в условиях эксплуатации способ индикации режимов работы турбогенератора типа ТВФ-200-2 по величине и знаку угла нагрузки Θ . Это необходимо для обеспечения безопасного отключения турбогенератора от сети при действии технологических защит блока.

2. Разработано принципиально новое устройство дискретного измерения малых углов Θ турбогенераторов, пригодное для практического осуществления предложенного способа.

3. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование этого устройства. Предложена инженерная методика расчета его.

4. Разработано электромашинное устройство непрерывного и безынерционного измерения угла нагрузки Θ турбогенератора.

5. Разработан новый полупроводниковый датчик синхронизма, основанный на непрерывном измерении угла Θ и частоты синхронизируемой машины.

6. Производственные испытания разработанных устройств и датчиков дали положительные результаты.

Материалы, опубликованные по теме диссертации

1. А. Г. Дорм, Исследование распределения магнитных полей в воздушном зазоре машины постоянного тока с помощью датчика Э. д. с. Холла, Тезисы докладов XIV научно-технической конференции, Челябинск, 1961.

2. В. А. Лифанов, А. Г. Дорм, Применение датчиков Холла для измерения угла Θ в синхронных машинах, Тезисы докладов XV научно-технической конференции, Челябинск, 1962.

3. В. А. Лифанов, А. Г. Дорм, Применение датчика Холла для измерения роторного угла синхронных машин, «Вестник электропромышленности», № 2, 1963.

4. В. А. Лифанов, А. Г. Дорм и М. И. Ротенберг, Способ автоматической синхронизации синхронных машин, «Известия вузов» (Электромеханика) № 10, 1964.

5. В. А. Лифанов, А. Г. Дорм, Датчик синхронизма для автоматической синхронизации синхронных машин, Автоматизация энергосистем и энергоустановок промышленных предприятий, Челябинск, 1965.

6. А. Г. Дорм, В. А. Лифанов, Устройство для регистрации угла Θ синхронных машин, Авторское свидетельство № 155868, «Бюллетень изобретений и товарных знаков», № 14, 1963.

7. А. Г. Дорм, В. А. Лифанов и М. И. Ротенберг, Устройство для измерения угла Θ синхронных машин, Авторское свидетельство № 163251, Бюллентень № 12, 1964.

8. А. Г. Дорм, В. А. Лифанов, Э. А. Сигалов и М. И. Ротенберг, Способ определения режимов работы синхронных машин, Авторское свидетельство № 174707, Бюллентень № 18, 1965.

Сообщения по материалам диссертационной работы были сделаны на четырех научно-технических конференциях ЧПИ в 1961—1965 гг.