

М – асинхронный двигатель.
СУ – система управления.
ПРУ – пуско-регулирующее устройство.
ЧЭ – чувствительный элемент.
СФУ – система формирования импульса.
РН – регулятор напряжения.
УО – управляющий орган.

Отсутствие контрольного устройства слабину каната при опускании груза, в момент реверса электродвигателя происходит захват металлоконструкции крана и при этом возникает динамический момент, который выше номинального в 15–20 раз, а это ведет к разрушению механической части подъемного устройства, большим капитальным затратам и простоем техники.

Список литературы:

- [1] Электроснабжение промышленных предприятий. Киев «Высшая школа» 1998 г. 280 с
- [2] Компенсация реактивной мощности. Б.А.Константинов, Г.З.Зайцев. «Энергия» Ленинград 2005. 101 с.
- [3] Курс электротехники. А.С. Касаткин, М.В. Немцов. Высшая школа. Москва. 2005 г. 531 с.

Д.В. Литов, О.С. Хватов, В.В. Гуляев
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ПРОБЛЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГЭУ НА НАПРЯЖЕНИЕ 10 КВ

Ключевые слова: силовой трансформатор, ГЭУ переменного тока.

В докладе приводится обоснование необходимости моделирования трансформатора с учетом его тока намагничивания в переходных процессах при исследовании режимов включения силовых трансформаторов. Приведены модели трехфазных трансформаторов, позволяющие исследовать энергетические показатели трансформаторов в статических и динамических режимах работы при различных параметрах нагрузки.

Впервые в нашей стране ГЭУ полностью на переменном токе была спроектирована в период 2004–2006 г. специалистами ФГУП «ЦНИИ СЭТ» для малого гидрографического судна пр.19910 ОАО КБ «Вымпел». Преобразователи частоты гребных двигателей получают питание от силовых трансформаторов, мощность которых соизмерима с мощностью пропульсивной установки (рис. 1).

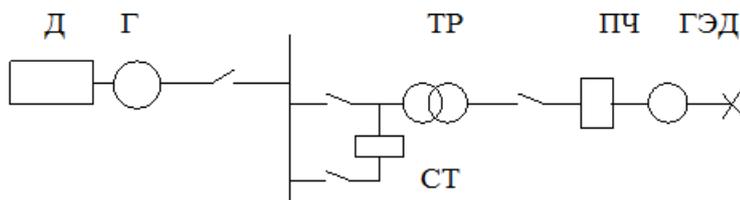


Рис. 1. Структурная схема ГЭУ судна пр.19910

Д – двигатель (дизель)

Г – генератор
 ТР – трансформатор ГЭУ
 ПЧ – преобразователь частоты
 ГЭД – гребной электродвигатель
 СТ – «мягкий пускатель»

При этом задача включения силовых трансформаторов ГЭУ, связанная с бросками токов в судовой сети, решалась специалистами ФГУП «ЦНИИ СЭТ» на тот момент времени эмпирическим путем.

Броски тока при включении мощных высоковольтных силовых трансформаторов, применяемых в ГЭУ, являются существенной проблемой в судовой электроэнергетике. Они представляют опасность для обмоток трансформаторов, а также влияют на точность и надежность работы защиты СЭС. В отличие от токов КЗ, броски намагничивающего тока могут длительно (многократно) воздействовать на обмотки трансформаторов вследствие малого затухания переходного процесса в магнитной системе трансформатора.

Настройка современной системы управляемой коммутации силового трехфазного трансформатора затруднительна без моделирования трансформатора с учетом его тока намагничивания в переходных процессах.

Для формирования модели многообмоточного трансформатора предлагается использовать метод структурных схем, широко распространенный во многих специальных дисциплинах (теория автоматического управления, теория электропривода, системы управления электроприводами и др.) [1]. При этом структурная схема представляется в виде типовых динамических звеньев и является математической моделью реального трансформатора, наглядно отражающей тип динамических звеньев и характер связей между ними, а также направление и последовательность преобразования сигналов информационно-управляющих и энергетических каналов схемы. В качестве платформы для моделирования используем пакет визуального моделирования Simulink. Основные допущения при разработке нелинейной безгистерезисной математической модели трансформатора общеприняты [2, 3].

Уравнения магнитного состояния одной фазы трёхобмоточного трансформатора, записанные в операторной форме при нулевых начальных условиях будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 w_1 \cdot I_1(p) + w_2 \cdot I_2(p) + w_3 \cdot I_3(p) &= H \cdot I; \\
 U_1(p) &= L_{S1.1} \cdot p \cdot I_1(p) + L_{S1.2} \cdot p \cdot I_2(p) + L_{S1.3} \cdot p \cdot I_3(p) + w_1 \cdot p \cdot \Phi + R_1 \cdot I_1(p); \\
 U_2(p) &= L_{S2.2} \cdot p \cdot I_2(p) + L_{S2.1} \cdot p \cdot I_1(p) + L_{S2.3} \cdot p \cdot I_3(p) + w_2 \cdot p \cdot \Phi + R_2 \cdot I_2(p); \\
 -U_3(p) &= L_{S3.3} \cdot p \cdot I_3(p) + L_{S3.1} \cdot p \cdot I_1(p) + L_{S3.2} \cdot p \cdot I_2(p) + w_3 \cdot p \cdot \Phi + R_3 \cdot I_3(p); \\
 U_3(p) &= R_H (1 + pT_{HL} + 1/pT_{HC}) I_3(p);
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $w_k i_k$ – намагничивающий силы k -й обмотки,

HI – зависимость падения напряжения ферромагнитных участков магнитной цепи от потока этих участков,

Φ – магнитный поток;

l – длина магнитопровода;

U_n – напряжение соответствующей обмотки;

$L_{Sm,m}$ – собственные индуктивности обмоток;

$L_{Sm,n}$ – индуктивности рассеяния пары обмоток;

L_H – индуктивность нагрузки;

C_H – емкость нагрузки;

R_H – активное сопротивление нагрузки;

R_n – активные сопротивления обмоток;

w_n – число витков обмоток;
 $T_{HL}=L_H/R_H$, $T_{HC}=R_H C_H$ – электромагнитные постоянные времени.

Нелинейные свойства материала магнитопровода предлагается учесть с помощью кусочно-линейной интерполяции заданной табличной функции основной кривой намагничивания. Структурная схема одной фазы трансформатора, построенная по уравнениям (1) показана на рис. 2.

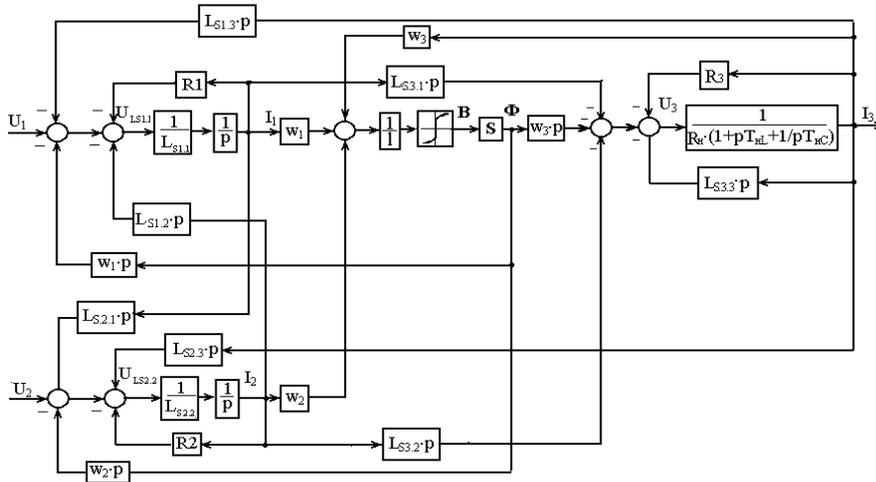


Рис. 2. Структурная схема одной фазы трансформатора

Для формирования структурной схемы трансформатора в Simulink необходимо сделать ряд преобразований. Представим звено $R_H(1+pT_{HL}+1/pT_{HC})$ его детализированным эквивалентом. Затем перенесем точки съема входных сигналов звеньев L_{S13}/p , L_{S31}/p , L_{S12}/p , L_{S21}/p , L_{S23}/p , L_{S32}/p на входы соответствующих интеграторов. Введем в прямой канал вычисления потока последовательно с элементом S аperiodическое звено с коэффициентом передачи равным единице и малой (фиктивной) постоянной времени T_ϕ (рис. 3).

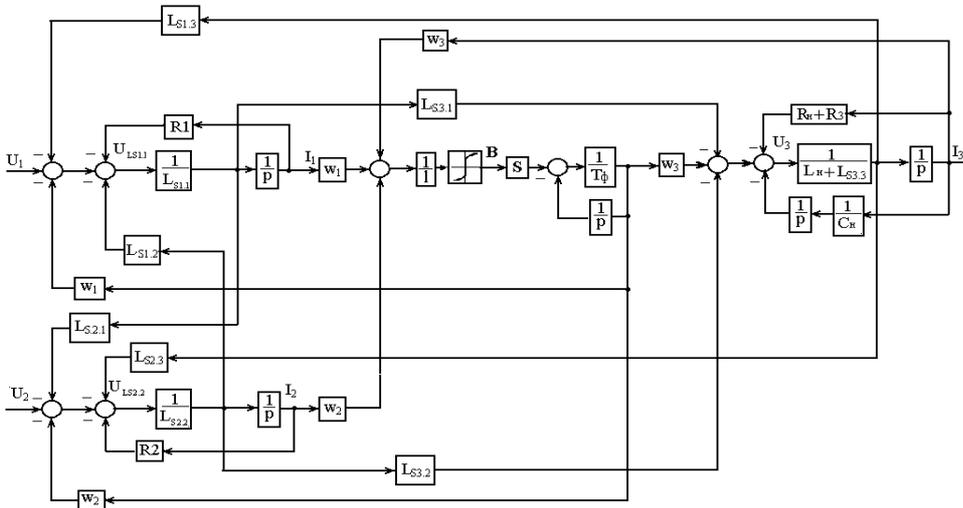


Рис. 3 Детализированная структурная схема одной фазы трансформатора

При использовании пакета Simulink синтезируем на рабочем поле монитора полученную выше структурную схему, заменив в ней оператор «r» на «s» (рис. 4) [4–10].

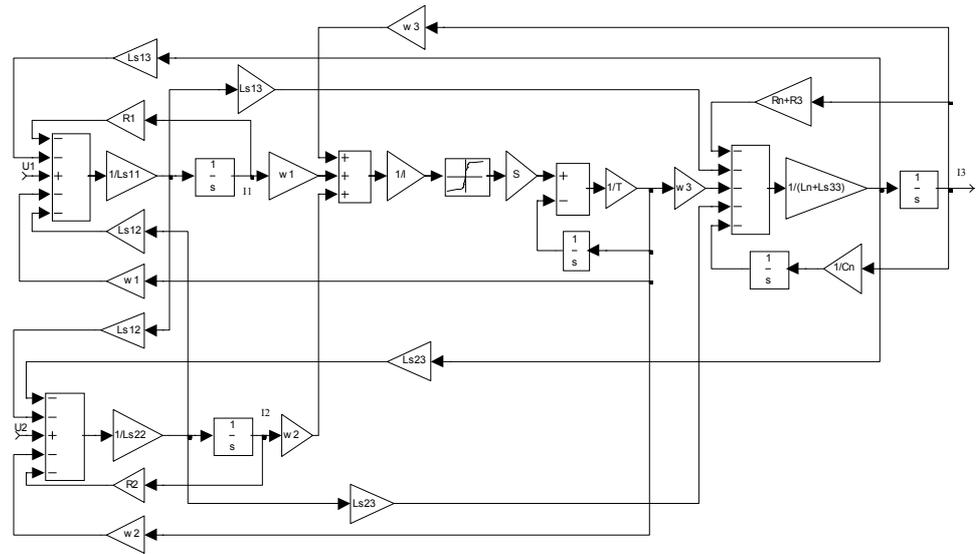


Рис. 4. Структурная схема трансформатора в SIMULINK

Разработанная модель трансформатора предназначена для моделирования устройств содержащих в своем составе многообмоточные трансформаторы со стержневой конструкцией магнитопровода, предназначенные для регулирования параметров электроэнергии. Модель позволяет исследовать важнейшие энергетические показатели трансформаторов в динамических и статических режимах работы при различных параметрах нагрузки, реализуя следующие функции: отображение переходных электромагнитных величин, таких как ток, напряжение, магнитная индукция, магнитный поток трансформатора.

В настоящее время одним из поставщиков трансформаторов, используемых в судовых ГЭУ является отечественный производитель ООО «Проектэлектротехника», г. Шумерля. Производство имеет собственное КБ, способное проектировать изделия с заданными характеристиками и выпускает трансформаторы мощностью до 12500 кВА и напряжением до 35 кВ. Дальнейшие научные исследования по данной проблеме предполагается проводить совместно со специалистами КБ ООО «Проектэлектротехника».

Список литературы:

- [1] Иванушкин Ф.Н. Структурное моделирование электромеханических систем и их элементов [Текст]: Монография / Ф.Н. Иванушкин, В.А. Сарапулов, П. Шимчак. – Щецин: ЩГУ, 2000.– 310 с.
- [2] Алтунин Б.Ю., Туманов И.М. Математическое моделирование тиристорных устройств РПН трёхфазных трансформаторов [Текст] // Электротехника, 1996. – №6. – С. 22–25.
- [3] Алтунин Б.Ю. Исследование режимов работы нелинейного трехфазного трансформатора в пакете Simulink [Текст]/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин, В.В. Гуляев // Вестник волжской государственной академии водного транспорта, 2012. – № 32. – С.195-198.
- [4] Гульятев А.К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows [Текст]. – СПб.: КОРОНА принт, 1999. - 288 с.
- [5] Хватов О.С. Математическое описание алгоритма управления топливоподачей дизель-генераторной электростанции переменной скорости вращения [Электронный ресурс] / О.С. Хватов, А.Б. Дарьенков, И.С. Поляков // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3. – Режим дос-

тура: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1869> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

[6] Титов В.Г. Управление энергосберегающими полупроводниковыми преобразователями [Электронный ресурс] / В.Г. Титов, А.С. Плехов, К.А. Бинда, Д.Ю. Титов // «Инженерный вестник Дона», 2013, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1909> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

[7] Алтунин Б.Ю. Исследование несимметричных режимов работы трансформаторно-тиристорного регулятора напряжения и мощности [Текст] / Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин, И.А. Карнавский // Промышленная энергетика, 2013. – № 12. – С. 13-16.

[8] Лоскутов А.Б. Имитационная модель активного фильтра для четырех проводной сети [Текст] / А.Б. Лоскутов, Б.Ю. Алтунин, И.А. Карнавский, А.А. Кралин // Промышленная энергетика, 2013. – № 10. – С. 40–44.

[9] Bhuyan K. Surge Modelling of Transformer Using Matlab-Simulink / Bhuyan K, Chatterjee S // India Conference (INDICON), december 2009 Annual IEEE pp 1-4.

[10] Singh B. Integrated three-leg VSC with a zig-zag transformer based three-phase four-wire DSTATCOM for power quality improvement / Singh B, Jayaprakash P., Somayajulu T.R., Kothari D.P., Chandra A., Al-Haddad K. // Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE, pp 796–801.

С.В. Попов, Е.М. Бурда
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Ключевые слова: котельная, газо-поршневой генераторный агрегат, электрическая мощность, система утилизации, потребление электроэнергии.

В статье приводится обоснование необходимости установки систем отбора тепловой энергии в автономных источниках электроэнергии. Приведен алгоритм эффективной работы электростанции, работающей как в автономном режиме, так и параллельно с сетью. Даны объяснения эффективного расхода энергоресурса при работе генераторных агрегатов параллельно с сетью.

Наряду с многочисленными постройками жилищного фонда, подключенными к городскому энергоснабжению, существуют объекты, к которым может быть подведено газовое обеспечение (в основном котельные). Автономные котельные обеспечивают комфортное пребывание в жилых помещениях, путем регулирования температуры воды в системе отопления на протяжении всего отопительного сезона. Регулирование температуры производится в соответствие с графиком, в зависимости от температуры окружающей среды, поэтому расход газа, сжигаемого в котле, также изменяется.

В ряде случаев, для обеспечения электропитанием потребителей таких объектов, при отключении основного электроснабжения устанавливаются газо-поршневые генераторные агрегаты [1]. Схема единой энергосистемы такого объекта показана на рис. 1. Она включает в себя газовый котел, водяной насос, два газо-поршневых двигателя №1 и №2 с синхронными генераторами №1 и №2, а также сетевой ввод электроэнергии, поступающей от понижающей трансформаторной станции через соответствующий выключатель. Как правило, выделенная электрическая мощность сети для питания таких объектов ограничивается на определенном уровне. Контроль за потреблением электроэнергии из сети осуществляет служба Энергонадзора, которая в случае превышения максимально отведенного значения мощности, может наложить штрафные санкции. Оплата за потребляемую мощность, чаще всего, производится по