

Б. М. ЧУНАШВИЛИ, докт. техн. наук, проф., Грузинский технический университет, Тбилиси;
М. И. КОБАЛИЯ, канд. техн. наук, проф., Грузинский технический университет, Тбилиси;
А. М. ПЕТРОСЯН, акад. докт., асоц. профессор, Грузинский технический университет, Тбилиси;
Д. Н. ХАРЕБАВА, докторант, ассистент, Грузинский технический университет, Тбилиси.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Введение. В настоящее время в электроэнергетике сложилась парадоксальная ситуация: с одной стороны, постоянно растет ее оснащение электронной и микропроцессорной техникой, а с другой – постоянно растут число и мощность электротехнологических установок и комплексов (ЭТУК), особенно работающих в тяжелом режиме, которые в системе электроснабжения создают различные проблемы, связанные с качеством электроэнергии и электромагнитной совместимостью [1].

Качество электроэнергии – это совокупность свойств, определяющих воздействие на электрооборудование, приборы и аппараты оцениваемых показателями качества электроэнергии, численно характеризующими уровни электромагнитных помех в системе электроснабжения по частоте, действующему значению напряжения, форме его кривой, симметрии и импульсам напряжения [2].

Постановка задачи. Эксплуатационный режим работы большинства современных ЭТУК характеризуются резкими бросками и нелинейной формой нагрузки [3]. Вместе с этим, принцип регулирования параметров многих ЭТУК основан на искажении формы тока нагрузки [4]. Следовательно, в результате протекания таких токов в элементах сети электроснабжения возникают падения напряжения с кривой искаженной формой. Соответственно, форма кривой напряжения на шинах распределительного щита (РЩ) будет несинусоидальной. Вследствие этого, ухудшается качество электроэнергии, потребляемой другими электроприемниками подключенных к шинам РЩ и нарушается электромагнитная совместимость. В результате, ухудшаются энергетические показатели и энергоэффективность, как элементов сети электроснабжения, так и электропотребителей.

Исходя из выше сказанного, главным условием обеспечения надежности электроснабжения, улучшения энергетических показателей и повышения энергоэффективности сети электроснабжения и потребителей, представляет собой, исследование электродинамических процессов, проходящих в элементах сети электроснабжения и электротехнологических установках [5]. Использование полученных результатов позволяет более эффективно проводить соответствующие мероприятия для уменьшения воздействия помех.

Цель работы. Разработать физическую модель нагрузки систем электроснабжения, которая обеспечит имитацию электродинамических процессов, возникающих в результате режимов работы типовых электротехнологических установок и комплексов, входящих в состав электропотребителей. А также изучить, созданные ими в распространенной в сети помехи с целью повышения качества электроэнергии и обеспечения электромагнитной совместимости.

Материалы исследования.

Физическая модель нагрузок систем электроснабжения. Для достижения поставленной цели было проведено экспериментальное исследование режимов работы типовых ЭТУК и на основе полученных результатов разработана физическая модель (стенд) нагрузок систем электроснабжения. Схема стенда представлена на рис. 1. Стенд состоит из системы управления и следующих 5 модулей (блоков):

1. Модуль асинхронного двигателя;
2. Модуль активной нагрузки;
3. Модуль индуктивной нагрузки;
4. Модуль емкостной нагрузки;
5. Модуль электродуговой нагрузки.

Каждый модуль с помощью комплекта автоматических выключателей и магнитных пускателей (контакторов), подключен к сборной шине трехфазной сети напряжением 380 / 220 вольт (рис. 1).

Для подключения к сети стенда предусмотрен входной модуль, который оснащен автоматическим выключателем (Q1) и двумя комплектами трансформатором тока для контроля нагрузки тока. Первый комплект (Т11, Т12, Т13) предназначен для визуального наблюдения измерительных приборов (А1, А2, А3). Второй комплект (Т14, Т15, Т16) предусмотрен для измерения качества электроэнергии и подключения считывающих устройств. Управляя и манипулируя отдельными элементами модуля, можно получить графики типичной нагрузки, которые описывают режимы работы самых распространенных электротехнологических устройств и их комплексов, подключенных к сети электроснабжения.

Модуль асинхронного двигателя. Данный модуль включает в себя две механически связанные между собой асинхронные машины (АМ1, АМ2). АМ1 предусмотрена для двигательного режима работы. Она подключается к шине при помощи автоматического выключателя (Q_{AM1}) и линейного контактора (KM_{AM1}). При этом, для контроля тока нагрузки он оснащен комплектом трансформатора тока и амперметра, которые подключены в од-

ной фазе (TI_{AM1} , A_{AM1}). Второй двигатель (AM2) предназначен для создания момента нагрузки первому (AM1) и работает в режиме динамического торможения. Таким образом, для обеспечения AM2 током динамического торможения, предусмотрено схема управляемого выпрямителя (ACDC) постоянного тока, которая подключена к шине с помощью автоматического выключателя (Q_{AM2}) и контактора (KM_{AM2}). Для контроля тока динамического торможения, в сеть переменного тока выпрямителя подключены комплект трансформатора и амперметра (TI_{AM2} , A_{AM2}). Регулировка тока торможения осуществляется с помощью резистора (R_{AM2}), расположенного на пульте управления.

Модуль активной нагрузки. Данный отдел содержит трехфазную четырехуровневую активную нагрузку (RB) и блоками манипуляции (MB) сопротивлениями. Модуль подключен к шине с помощью автоматического выключателя Q_R и контактора KM_R . Также, для контроля тока симметричного режима нагрузки, предусмотрен подключенный в одной фазе комплект трансформатора и амперметра (TI_R-A_R), а для асимметричного режима комплект, подключенный к сети нейтрала (TI_N-A_N).

Активные сопротивления, включенные в каждой из трех фаз, для каждого уровня секции, одинаковые ($R1=R2=R3$, $R4=R5=R6$, $R7=R8=R9$, $R10=R11=R12$). Сопротивления в разных секциях отличаются друг от друга и равны кратному значению первой секции ($R4=2R1$, $R7=3R1$, $R10=4R1$), для того чтобы осуществилось суммарная нагрузка равно 10%. Каждый уровень оснащен комплектом контакторов (KM_{R1} , KM_{R2} , KM_{R3} , KM_{R4}) и их включение/выключение осуществляется с двумя способами: вручную (студентом) с помощью тумблеров ($TR1$, $TR2$, $TR3$, $TR4$), выведенных на панели управления; Автоматически – программируемым реле Zelio Logic, на основе типовых графиков электротехнологических устройств (комплексов). Таким образом, на панели управления стенда имеется возможность изменения режима работы (тумблер TZ).

Модуль активного сопротивления соединен с модулем манипуляции. Задача этого модулем состоит в создании асимметричного режима и искажение форма тока нагрузки для возникновения высокочастотных гармоник напряжения. Данный модуль способен одновременно обеспечить создание асимметричного режима и искажения форма тока нагрузки в разной степени.

Модуль манипуляции имеет три канала. Первый, прямой канал включения, который представлен в виде контакторов $KM1$ и обеспечивает неограниченное подключение к сети блока сопротивления. В таком случае, форма тока нагрузки не искажается.

Второй, диодный канал. В этом канале, после силовых контактов контактора $KM2$, в каждой фазе подключены диоды с одинаковым направлением $VD1$, $VD2$, $VD3$. Таким образом, канал в каждой фазе пропускает ток только в течении одного полупериода. В результате, канал обеспечивает искажение формы тока на 50%.

Третий, канал тиристорного регулирования напряжения. Канал состоит из контактора $KM3$ и подключенного к нему тиристорного регулирования трехфазного напряжения. Канал с точки зрения искажения тока нагрузки, представляет собой типовой образец самых распространенных преобразователей, используемых в современных электротехнологических устройствах. Регулировка тока нагрузки в большом диапазоне ($0 \div I_{max}$) основана на открытии тиристоры в пределах $0 \div 180^\circ$. Следовательно, третий канал обеспечивает искажение тока нагрузки в диапазоне $0 \div 100\%$.

Блок обеспечивает асимметричный режим с помощью выключения одной фазы. Для этой цели на выходе модуля манипуляции используется нормально закрытый силовой контакт контактора $KM4$.

Таким образом, режим работы активной нагрузки осуществляется с помощью расположенных контакторов $KM1$, $KM2$, $KM3$, $KM4$ в модуле манипуляции.

Модуль реактивной (индуктивной) нагрузки представлен в виде четырех трехфазных секций дросселей с разным индуктивным сопротивлением. Модуль подключен к шине с помощью автоматического выключателя QL и контактора KML , а подключенные индуктивные сопротивления в каждой фазе отдельных секций – одинаковы ($X_{L1}=X_{L2}=X_{L3}$, $X_{L4}=X_{L5}=X_{L6}$, $X_{L7}=X_{L8}=X_{L9}$, $X_{L10}=X_{L11}=X_{L12}$). Каждая из них, оснащена коммутативным аппаратом (KM_{L1} , KM_{L2} , KM_{L3} , KM_{L4} и их включение/выключение осуществляется как вручную (лаборантом) с помощью тумблеров ($TL1$, $TL2$, $TL3$, $TL4$) на пульте управления, так и автоматический – программируемым реле Zelio Logic, на основе типовых графиков нагрузки электротехнологических устройств (комплексов).

Блок реактивной (емкостной) нагрузки выполнен в виде четырех трехфазных конденсаторных батарей с разным емкостным сопротивлением. Блок подключен к шине с помощью автоматического выключателя QL и контактора KML , а подключенные индуктивные сопротивления в каждой фазе отдельных секций – одинаковы ($X_{C1}=X_{C2}=X_{C3}$, $X_{C4}=X_{C5}=X_{C6}$, $X_{C7}=X_{C8}=X_{C9}$, $X_{C10}=X_{C11}=X_{C12}$). Каждая из них, оснащена коммутативным аппаратом (KM_{C1} , KM_{C2} , KM_{C3} , KM_{C4} и их включение/выключение осуществляется как вручную (лаборантом) с помощью тумблеров ($TC1$, $TC2$, $TC3$, $TC4$) на пульте управления, так и автоматический – программируемым реле Zelio Logic, на основе типовых графиков нагрузки электротехнологических устройств (комплексов).

Модуль электрической дуги. Модуль состоит из однофазного двухобмоточного силового трансформатора (TA), к нему со стороны низкого напряжения соединена схема выпрямителя (AC/DC) и электродуговой камеры (EA). Модуль (силовой трансформатор) соединен к двум фазам шины с помощью автоматического выключателя QA и контактора KMA . Для контроля тока нагрузки он оснащен комплектом трансформатора тока и амперметра, которые подключены в одной фазе (TI_{ARC} , A_{ARC}). В камере расположены высоко термостойкие электроды. Один из них жестко зафиксирован, а второй подвижен и оснащен механизмом передвижения, который после касания с неподвижным электродом обеспечивает условие для создания короткого замыкания и в результате загорается дуга. При этом, имеется возможность регулирования дугового промежутка.

Система управления выполнена на основе программированного контролера «Zelio Logic» производства компании «Schneider Electric».

При этом, составлена группа программ всех основных типовых ЭТУК, которые дают возможность представить модель конкретного электропотребителя и выполнить экспериментальное исследование электродинамических процессов, проходящих в элементах сети электроснабжения, вызванные технологическим процессом электропотребителя.

Выводы.

1. На основе исследования режимов работы типовых электротехнологических установок и комплексов разработана физическая модель нагрузок систем электроснабжения, которая обеспечивает имитацию электродинамических процессов, проходящих в элементах сети электроснабжения вызванным технологическим процессом электропотребителя.

2. Разработанная модель дает возможность:

- имитировать изменение активных и реактивных нагрузок по технологическим процессам ЭТУК потребляемых от сети электроснабжения, создание асимметричных режимов;
- изучить характер искажения формы кривого тока нагрузки и определить параметры напряжении высших гармоник, создаваемых искажением формы тока нагрузок;
- изучить характер создаваемых резко изменяющихся (толковых) нагрузок;
- исследовать и экспериментально определить соотношение активных и реактивных нагрузок, уточнить параметры и принцип регулирования компенсационной реактивной мощности;
- уточнить параметры токов прямой, обратной и нулевой последовательности и явление фликера.

Список литературы: 1. Вагин Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов. – Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2014. 2. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шаманов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.-320 с.: ил. 3. Шеховцев В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование. Москва : Форум: Инфра - М.- 407 с. 4. Чунашвили Б.М., Петросян А.М., Гамреклашвили Т.Г. Результаты воздействия распространения в сети электроснабжения высших гармоник, созданных электротехнологическими установками. / Сборник III международной научной конференции «Энергетика: региональные проблемы и перспективы развития» г. Кутаиси (Грузия), 2015. стр. 38-41. 5. Руководство по устройству электроустановок. Технические решения Schneider Electric. Москва: ЗАО «Шнейдер Электрик» 2009, с. 469.

Bibliography (transliterated): 1. Vagin G.YA. Elektromagnitnaya sovmestimost' v elektroenergetike / G.YA. Vagin, A.A. Sevost'yanov. – N. Novgorod: Izd-vo NGTU, 2014. 2. Upravlenie kachestvom elektroenergii / I.I. Kartashev, V.N. Tul'skij, R.G. SHamanov i dr.; pod red. YU.V. SHarova. – M.: Izdatel'skij dom MEI, 2006.-320 s.: il. 3. SHEkhovcev V.P. Elektricheskoe i elektromekhanicheskoe oborudovanie. Moskva : Forum: Infra - M.- 407 s. 4. CHunashvili B.M., Petrosyan A.M., Gamrekelashvili T.G. Rezul'taty vozdejstviya rasprostraneniya v seti elektrosnabzheniya vysshikh garmonik, sozdannykh elektrotekhnologicheskimi ustanovkami. / Sbornik III mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Energetika: regional'nye problemy i perspektivy razvitiya» Kutaisi (Gruziya), 2015. str. 38-41. 5. Rukovodstvo po ustrojstvu elektroustanovok. Tekhnicheskie resheniya Schneider Electric. Moskva: ZAO «SHnejder Elektrik» 2009, s. 469.

Поступила 13.06.2017

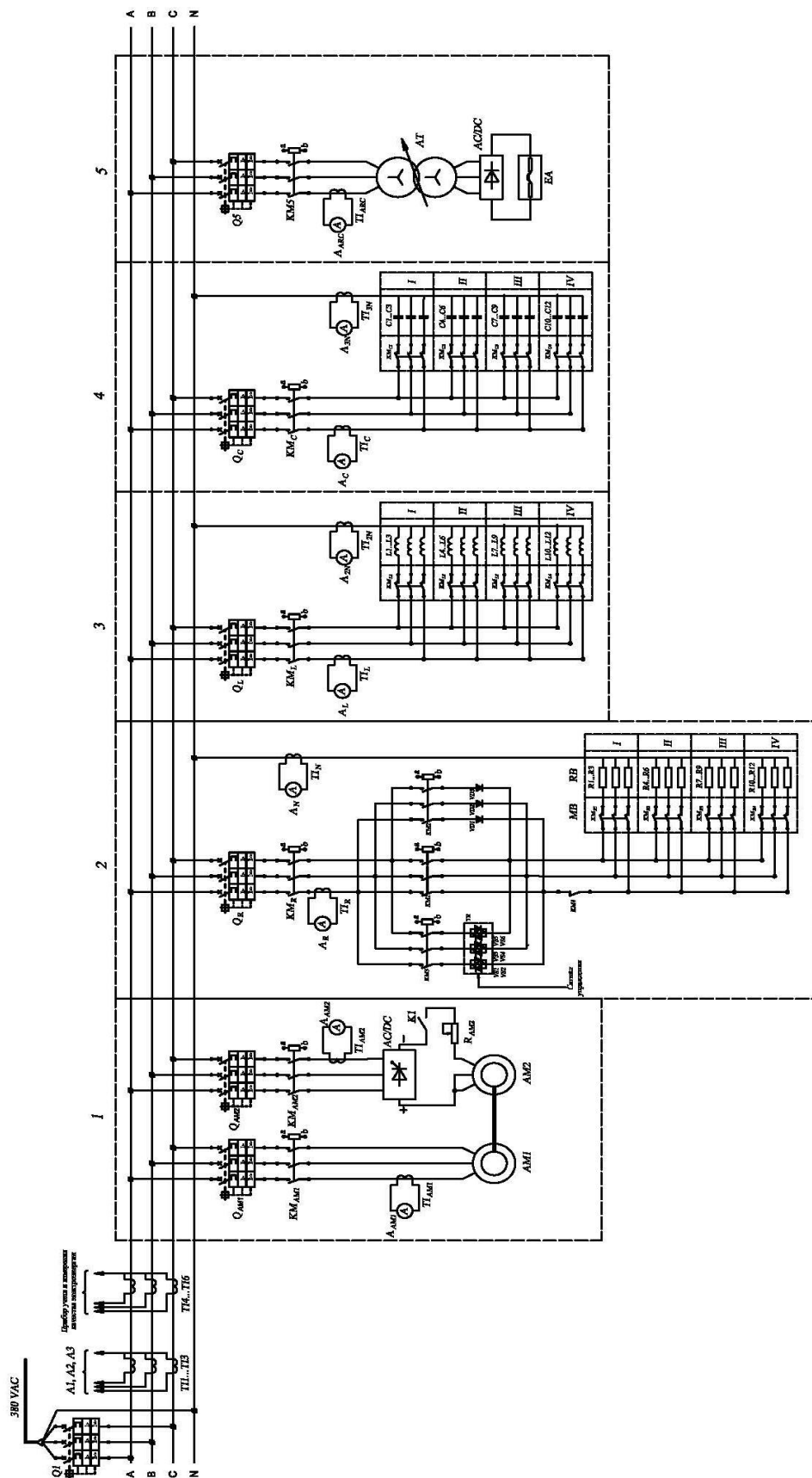


Рис.1. Схема физической модели динамических нагрузок