

УДК 621.311

Магистрант ЭФ Д.Ю.Лосев,
науч. рук. д.т.н., проф., акад. АН РУз К.Р.Аллаев, ТашГТУ

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В данной статье анализируется процесс самораскачивания, который может возникнуть из-за неправильного выбора настроечных параметров автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) синхронных генераторов. Сделана цифровая модель Сырдарьинской ТЭС с помощью программного обеспечения DigSilent Power Factory. Рассмотрены режимы работы синхронного генератора Г-1 при различных значениях настроечных параметров АРВ. На основании произведённого расчёта получены переходные характеристики параметров режима. В заключение сделаны выводы по обеспечению статической устойчивости электрических систем.

Ушбу мақолада синхрон генераторлардаги қўзғатишни автоматик ростлаш (ҚАР) ускунасининг созлаш параметрлари тўғри танланмаганлиги натижасида вужудга келиши мумкин бўлган ўз-тебраниш жараёни таҳлил қилинди. DigSilent Power Factory дастур таъминоти ёрдамида Сырдарё ИЭСнинг рақамли модели қилинди. Г-1 синхрон генераторининг ҚАР ускунасидаги турли қийматларда бўлган созлаш параметрлари билан ишчи режимлар кўриб чиқилган. Бажарилган ҳисоб-китоблар натижасида режим параметрларининг уткинчи тавсифлар олинган. Натижада электр тизимларнинг статик турғунлигини таъминлаш бўйича хулосалар қилинган.

This article analyzes the process of self-oscillation, which can arise due to incorrect selection of the configured parameters of automatic excitation regulators (AER) of synchronous generators. The digital model of the Syrdarya TPP is made using software package DigSilent Power Factory. The operating modes of the synchronous generator G-1 are considered for different values of the tuning parameters of the AER. On the basis of the calculation, it was obtained the variable characteristics of the parameters of the regime.

Для удовлетворения всё возрастающей потребности в электроэнергии и обеспечения надёжного и экономичного электроснабжения потребителей создаются сложные энергосистемы. Развитие энергосистем идет по пути создания крупных межгосударственных энергообъединений, охватывающих значительные территории, в состав которых входит большое число электростанций, потребителей, внутрисистемных и межсистемных связей. При проектировании и эксплуатации таких сложных энергообъединений возникает ряд проблем, связанных с обеспечением их безопасности, надёжного и устойчивого функционирования.

Электроэнергетическим системам (ЭЭС) также присуща проблема обеспечения устойчивости. Это связано с тем, что она постоянно испытывает возмущающие факторы, связанные с изменением нагрузок, архитектуры сети, повреждением оборудования, воздействием окружающей среды и ошибочными действиями ремонтного и оперативного персонала. Нарушение устойчивости приводит к большим изменениям и колебаниям режимных параметров, вызывающим повреждение оборудования электростанций и сетей,

отключение и погашение большого количества потребителей. Такие аварии сопровождаются тяжелыми экономическими и социальными последствиями [1].

Поэтому расчёт и анализ устойчивости энергосистем является неотъемлемой частью работы организаций, занимающихся их проектированием, эксплуатацией и управлением. От достоверности оценки устойчивости во многом зависит правильность принимаемых решений, обеспечивающих надежность и экономичность функционирования энергосистем.

Оценка статической устойчивости электрических систем заключается в определении возможности существования устойчивого режима при малых возмущениях параметров режима с заданными значениями параметров энергосистемы, в режиме генерирующих источников, в нагрузках узловых точек и в настройке автоматических устройств регулирования режима [2].

В общем случае для определения статической устойчивости требуется анализ знака вещественных частей корней характеристического уравнения, системы уравнений первого приближения [3]:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n = 0, \quad (1)$$

где a_i – коэффициенты, зависящие от параметров режим Ψ и системы.

При этом условием статической устойчивости является наличие отрицательного знака вещественных частей всех корней характеристического уравнения:

$$p_{i,i+1} = \alpha_i \pm j\beta_i, \quad \alpha_i < 0, \quad i=1-n. \quad (2)$$

Появление новых каналов информации и учет дополнительных элементов системы АРВ увеличивают трудоемкость составления характеристических уравнений, повышает их порядок и, самое главное, делают невозможным получение их обобщенного аналитического выражения, даже в случае одного синхронного генератора [4].

Например, АРВ-с, реагирующая на отклонение напряжения (ΔU_T), первую и вторую производные тока генератора (ΔI), при условии равенства постоянных времени дифференцирующего и дважды дифференцирующих элементов регулятора $T_1=T_2=T_p$, имеет характеристическое уравнение седьмой степени. Если же инерционность измерительного и усилительного элементов не будем учитывать ($T_y=T_u=0$), то получим характеристическое уравнение пятой степени (3) [5]:

$$a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5 = 0, \quad (3)$$

где

$$a_0 = T_j T_d' T_e T_p;$$

$$a_1 = T_j (T_d' T_e + T_d' T_p + T_e T_p) + k_{2i} h_1;$$

$$a_2 = T_j (T_d' + T_e + T_p) + T_d' T_e T_p c_2 k_{li} h_1;$$

$$a_3 = T_j + T_e T_p c_1 + T_d' (T_e + T_p) c_2 + k_{0u} T_j \frac{b_1}{b_3} + k_{0i} h_1 + k_{2i} h_2;$$

$$a_4 = (T_e + T_p) c_1 + T_d' c_2 + k_{li} h_2;$$

$$a_5 = c_1 + k_{0u} c_3 + k_{0i} h_2;$$

$$h_1 = -T_j \frac{(E_q - U \cos \delta)}{I \cdot X_{d\Sigma}^2};$$

$$h_2 = b_1 \frac{U}{X_{d\Sigma}} (I_q \cdot \cos \delta + I_d \sin \delta);$$

$$I_d = \frac{E_q - U \cos \delta}{I \cdot X_{d\Sigma}}; I_q = \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta.$$

Параметры режима, входящие в коэффициенты (I , I_d , I_q), определяются из векторной диаграммы синхронного генератора. Здесь k_{oi} – коэффициент усиления по каналу отклонения тока статора генератора [ед.возб./ед.ном.тока], k_{1i} – коэффициент усиления по каналу первой производной тока статора [ед.возб./ед.ном.тока/сек], k_{2i} – коэффициент усиления по каналу второй производной тока статора [ед.возб./ед.ном.тока/сек²], k_{ou} – коэффициент усиления по отклонению напряжения [ед.возб.холостого хода/ед.напряжения].

Наличие корней с положительной вещественной частью служит признаком неустойчивости, которая может проявляться в нарастающих колебаниях параметров режима — так называемом «самораскачивании» или в «сползании» — аperiodическом уходе от положения равновесия.

Современные электроэнергетические системы состоят из высокоэффективных синхронных генераторов, оснащенных высокотехнологичными регулирующими устройствами, в том числе различными быстродействующими автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ). Эффективность АРВ сильного действия (АРВ-с) объясняется тем, что они обеспечивают работу синхронного генератора далеко за пределами естественной устойчивости, повышают запасы устойчивости, подавляют колебания параметров режима и могут выполнять функции системных стабилизаторов [6].

Значение АРВ в обеспечении устойчивости электрической системы, в том числе статической, повышается в связи с усложнением структуры ЭЭС, частыми возникновениями пиковых и аварийных режимов, в условиях внедрения рыночных основ управления энергетикой. Однако некорректная настройка АРВ может привести к нарушению статической устойчивости электрических систем. Такой вид нарушения статической устойчивости называется самораскачиванием [7].

Самораскачивание – это процесс электромеханической неустойчивости генератора, когда у его ротора, вращающегося с основной эксплуатационной скоростью при некотором значении угла, появляются колебательные изменения скорости и угла с увеличивающейся амплитудой до выпадения из синхронизма [1].

В энергосистеме могут также происходить колебательные изменения скоростей и углов роторов генераторов с невозрастающими амплитудами. Такие изменения известны под названием как *синхронные качания генераторов*.

Самораскачивание генераторов может появиться по различным причинам. Из них выделяют три обобщенные причины, а именно:

- наличие большого активного сопротивления в статорной цепи;
- наличие зоны нечувствительности или запаздывание действия устройства АРВ;
- некорректная настройка устройства АРВ.

На рис. 1 приведена принципиальная схема Сырдарьинской тепловой электростанции (ТЭС), состоящая из 10 турбоагрегатов мощностью по 300 МВт. Проанализируем на цифровой модели DigSilent Power Factory процесс электромеханического вида нарушения статической устойчивости, при некорректной настройке устройства АРВ синхронного генератора Г-1 Сырдарьинской ТЭС. В нормальном исходном режиме генераторы ТЭС выдавали $1917 + j932.88$ МВА полной мощности, при этом нагрузка турбогенератора Г-1 составила 183 МВт (61%).

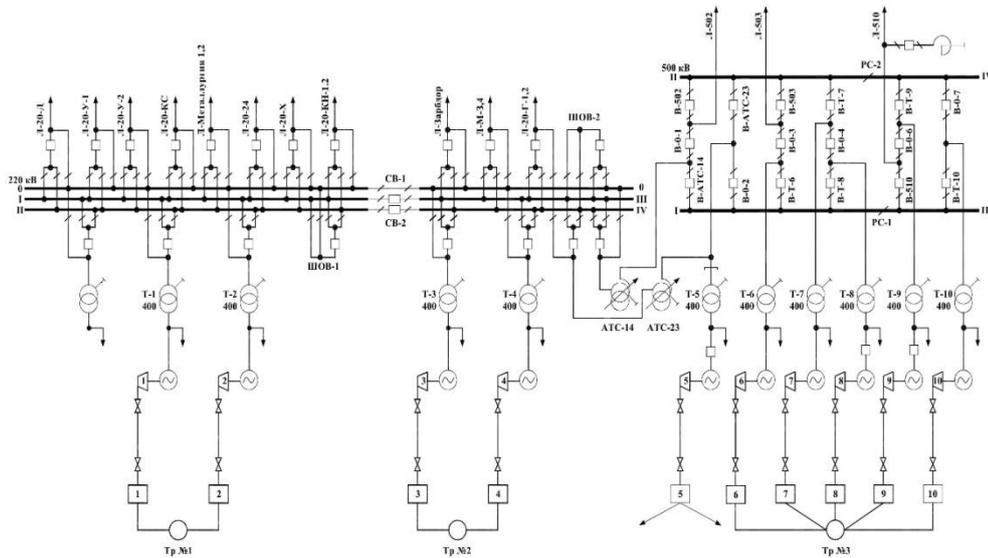


Рис. 1. Принципиальная схема Сырдарьинской ТЭС.

В целях сравнения влияния выбора настроечных параметров АРВ автоматических регуляторов на статическую устойчивость был analyzed переходный процесс постепенного увеличения нагрузки на шинах станции при различных настроечных параметрах АРВ генератора Г-1.

На рис. 2 приведены характеристики изменения параметров режима при настроечных параметрах равных $k_{0u}=50$ ед. возб./ед. напр, $k_{1u}=0$ ед.возб. сек./ед. напр; $k_{0f}=0$ ед. возб./ед. част.; $k_{1f}=0$ возб. сек./ед. част.; где k_{0f} , k_{1f} , k_{0u} , k_{1u} – соответствующие коэффициенты усиления по отклонению и первой производной частоты и напряжения.

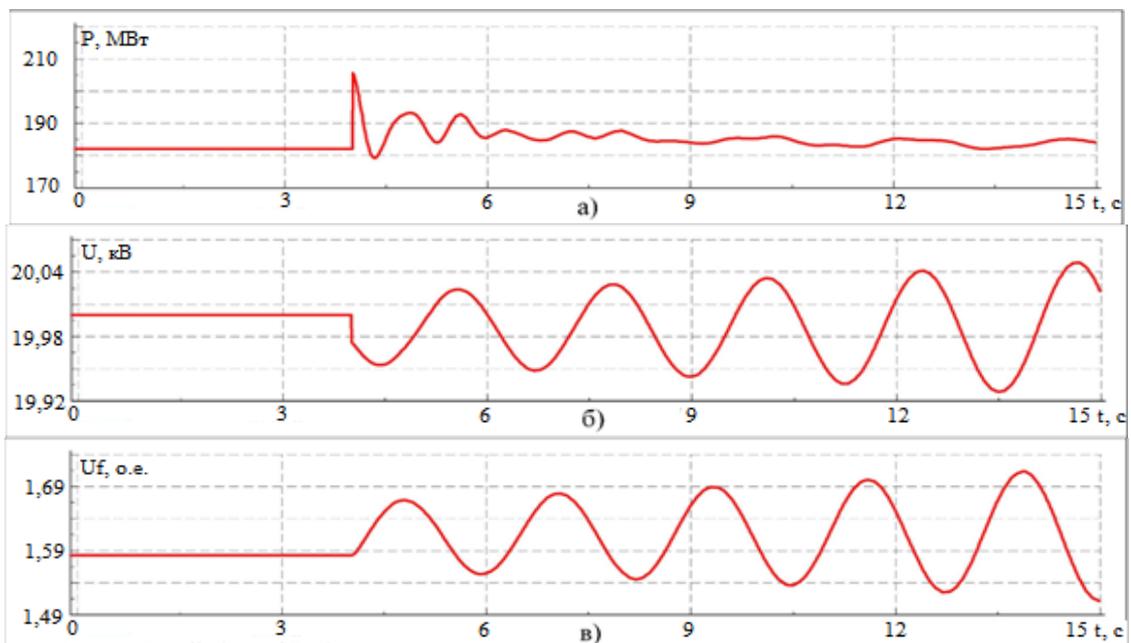


Рис. 2. Характеристики изменения параметров режима в нормальном режиме:
 а) активная мощность, вырабатываемая турбогенератором; б) напряжение на шинах генератора; в) напряжение возбуждения

На рис. 3 приведены характеристики изменения параметров режима при настроечных параметрах равных $k_{0u}=50$ ед.возб./ед.напр, $k_{1u}=5$ ед.возб.сек./ед. напр; $k_{0f}=10$ ед. возб./ед. част.; $k_{1f}=1$ возб. сек./ед. част.

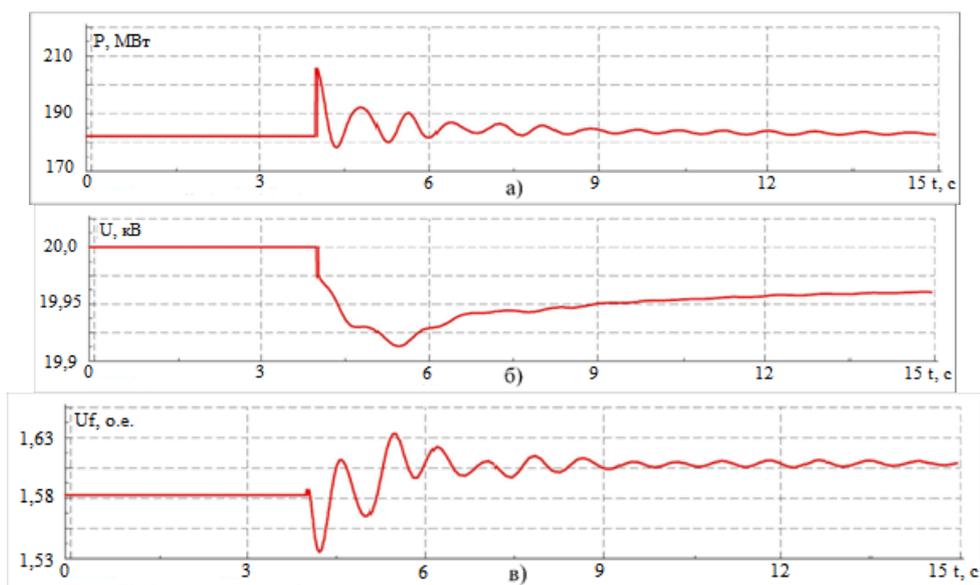


Рис. 3. Характеристики изменения параметров режима в режиме увеличения нагрузки:
а) активная мощность, вырабатываемая турбогенератором; б) напряжение на шинах генератора; в) напряжение возбуждения

Характеристики, приведенные на рис. 2 (а), (б) и (в), показывают колебательный процесс, характеризующий нарушение статической устойчивости электрических систем.

Характеристики, приведенные на рис. 3 (а), (б) и (в), показывают затухание колебательного процесса в течение 3 секунд при увеличении стационарной нагрузки, характеризующей сохранение статической устойчивости.

Таким образом, сравнивая характеристики, приведенные на рис. 2 и 3, можно сделать вывод о необходимости корректной настройки параметров АРВ, которая значительно влияет на переходный процесс и обеспечение устойчивости электрических систем при малых возмущениях. Исходя из полученных характеристик, в данном случае правильная настройка параметров АРВ позволила повлиять на колебательные процессы при малых возмущениях, однако это способствует их затуханию и при сильных возмущениях. Особенно сильное влияние оказывает вторая производная угла. Подбирая коэффициенты регулирования регулятора, можно в пределах добиться апериодического процесса даже при больших возмущениях.

Литература

1. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Малые колебания электрических систем. Матричный подход. Под редакцией проф. В.К. Соколова. –Т.: - Фан ва технология - 2011, –316с.
2. Мисриханов М.Ш. Классические и новые методы анализа многомерных динамических систем. –М.: Энергоатомиздат, 2004. -566с.
3. Аллаев К.Р.Электромеханические переходные процессы: Учебное пособие./ –Т.: Молия - 2007. –280 с.
4. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Матричные методы анализа малых колебаний электрических систем. –Т.: Фан ва технология – 2016. –432с.
5. Mrinal K Pal. Lecture Notes on Power System Stability Edison, New Jersey, 2007. -503 p.
6. Аллаев К.Р., Лосев Д.Ю. Исследование статической устойчивости электрических систем с использованием критерия Гурвица.// Техника юлдузлари, ТДТУ, 2015. № 2-3. С. 3-7.
7. Аллаев К.Р., Лосев Д.Ю. Исследование влияние автоматических регуляторов возбуждения на статическую устойчивость электрических систем// Роль интеллектуальной молодежи в развитии науки и техники. // Сборник докладов республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, ТашГТУ, 2017 г. С. 256-257.

УДК 621.311

Магистрант ЭФ А.Т.Собиров,
науч.рук. д.т.н., проф. М.М.Мухаммадиев, ТашГТУ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В МАЛЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

В статье рассматривается аккумулярование энергии в малых энергетических установках. Подробно проанализированы технико-экономические условия создания комбинированных солнечно – ветровых энергоустановок, приведена методика определения технико-экономических параметров системы, показана необходимость определения емкости аккумуляторных батарей с учетом стохастичности поступления энергии. Отмечена необходимость использования аккумулирующих водоемов, служащих в качестве источников при производстве электроэнергии и для удовлетворения бытовых нужд, приведена технологическая схема гидравлического аккумулярования.

Maqolada quyosh-shamol energetik qurilmalarini birlashtirish uchun texnik va iqtisodiy sharoitlar batafsil tahlil qilinib, tizimning texnik va iqtisodiy parametrlarini aniqlash metodologiyasini taqdim etadi, energiyani tejoyvchi stokastik tabiatni hisobga olgan holda, akkumulyator batareyalari hajmini aniqlash zaruriyati ko'rsatilgan. Ta'kidlash kerakki, elektr energiyasini ishlab chiqarish va uy-ro'zg'or ehtiyojlarini qondirish uchun manbalar sifatida ishlaydigan yig'iladigan suv omborlaridan foydalanish texnologik sxemaning ishlash printsipli berilgan.

The article analyzes in detail the technical and economic conditions for creating combined solar-wind power installations, provides a methodology for determining the technical and economic parameters of the system, shows the need to determine the capacity of storage batteries, taking into account the stochastic nature of energy input. It is pointed out that the use of accumulating reservoirs serving as sources in the production of electric power and for satisfying household needs is indicated, the operating principle of the technological scheme is given.

Эффективность использования источников возобновляемой энергии намного увеличивается, если в системе будут задействованы несколько источников: солнечная, ветровая энергия в комбинации с гидравлической энергией водотоков или традиционным энергоисточником на базе тепловых электрических станций с обязательным условием аккумулярования энергии. Такие системы называют комбинированными или гибридными. Гибридные системы на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в комбинации с дизель – генераторами в настоящее время успешно эксплуатируются и на основе результатов их эксплуатации доказано, что при этом повышается экономическая эффективность использования не только ВИЭ, а также «дизель – генераторов».

Использование комбинированных систем на базе нескольких ВИЭ рассмотрены в работах отечественных ученых. За рубежом, в США, Италии, Испании, Португалии, Франции, Германии комбинированные источники электроэнергии используются для электроснабжения устройств телекоммуникаций, подсобных и фермерских хозяйств.

Мониторинг работы комбинированной солнечно – ветровой системы электроснабжения телевизионного ретранслятора показал, что система позволяет гарантированно обеспечить электроэнергией потребляемую нагрузку в течение года, даже с небольшой дополнительной выработкой энергии.

Автономные ветро – солнечные комплексы могут быть успешно использованы не

только для энергоснабжения, а также для получения пресной воды с помощью дистилляторов, что крайне необходимо в тех населенных пунктах, где нет электричества и пресной воды. В работе подробно проанализированы технико – экономические условия создания комбинированных солнечно – ветровых энергоустановок, приведена методика определения технико – экономических параметров системы, показана необходимость определения емкости аккумуляторных батарей (АБ) с учетом стохастичности поступления энергии.

В работе указано на необходимость использования аккумулирующих водоемов, служащих в качестве источников при производстве электроэнергии и для удовлетворения бытовых нужд, приведен принцип действия технологической схемы. Однако, как показывают результаты анализа работы подобных водохранилищ, для выполнения этих целей требуются большие объемы воды и вопросы аккумулирования энергии осложняются. В работе приведены результаты ресурсных испытаний, комбинированной энергетической установки, состоящей из ФЭБ мощностью 260 Вт, ветровой энергетической установки мощностью 250 Вт, аккумуляторной батареи (щелочной) емкостью 200 А·ч и блока автоматики. Результаты испытаний показали, что при этом намного повышается эффективность энергоснабжения.

В статье подробно проанализированы вопросы аккумулирования гидравлической энергии, доказана эффективность этого способа аккумулирования по сравнению с другими, особо подчеркивается, что объединение в один комплекс установок, использующих несколько различных по характеру возобновляемых источников, даёт возможность выравнивать производимую энергию, как на длительных, так и на коротких временных интервалах. Вместе с тем технология комбинированного использования возобновляемых источников с гидравлическим аккумулированием их энергии недостаточно проработана.

Вопросам аккумулирования энергии возобновляемых источников кроме вышеприведенных работ, посвящены работы Андрианова В.Н., Ахмедова Р.Б., Виссарионова В.И., Зубарева В.В., Салиевой Р.Б., Тарнижевского Б.В., Шефтера Я.И., Уэйра А., Хоффмана Л. И др. Проблемы аккумулирования энергии с помощью водоемов более детально рассмотрены в работах Александровского А.Ю., Асарина А.Е., Васильева Ю.С., Малинина Н.К., Обрезкова В.И., Резниковского А.Ш. и др.[1-14]. Однако выполненные работы были посвящены вопросам перераспределения и аккумулирования водной энергии применительно к работе в крупной энергосистеме, а работы малых автономных ГЭУ с гидравлическим аккумулированием энергии не были рассмотрены.

Больше всего в комбинированных системах предлагают ВЭУ совместно с другими источниками энергии (дизель-генератор, солнечные модули, микроГЭС и т.п.). Эти источники энергии дополняют ВЭУ с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителя в безветренную погоду. Одна из таких систем состоит из ВЭУ и дизель-электрической системы (ДЭС) с оптимально подобранными мощностями. Обычно дизель-генератор используется в сочетании с ВЭУ в случае, когда целью использования последней является экономия дизельного топлива, стоимость которого с учетом расходов на доставку может быть очень высокой. Соотношение мощности компонентов системы зависит от схемы генерирования нагрузки и ресурсов ветра.

Использование комбинированной работы ВЭУ и ДЭС позволяет поднять долю участия ветроустановок до 60 - 70 % и более. При этом система состоит из блока управления, инверторного оборудования и аккумуляторных батарей, которые аккумулируют энергию, вырабатываемую ветроагрегатом при рабочих скоростях ветра для питания нагрузки в безветренную погоду или при небольших скоростях ветра.

Всякий раз, когда это возможно, энергия получается за счет ВЭУ, а АБ непрерывно подзаряжаются. В периоды ветрового затишья, когда заряд АБ падает ниже определенного уровня, для обеспечения потребителей энергией запускается дизель-генератор. Такой режим значительно снижает количество запусков дизель-генератора и, следовательно, ведет к

сокращению затрат на обслуживание и топливные расходы. Как правило, эти комбинированные системы предназначены для надежного электроснабжения автономных потребителей с одновременной экономией жидкого топлива.

Ещё одной разновидностью комбинированной работы ВЭУ с другими источниками являются солнечные фотоэлектрические батареи (ФБ). Несмотря на довольно высокую в настоящее время стоимость ФБ, их использование совместно с ВЭУ в некоторых случаях может быть эффективным. Поскольку зимой существует большой потенциал ветра, а летом в ясные дни максимальный эффект можно получить, используя ФБ, то сочетание этих ресурсов оказывается выгодным для потребителя.

ВЭУ могут использоваться в комбинации с микроГЭС, имеющей резервуар для воды. В таких системах при наличии ветра ветроагрегат питает нагрузку, а излишки энергии используются для закачивания воды с нижнего на верхний бьеф. В периоды ветрового затишья энергия вырабатывается микроГЭС. Подобные схемы особенно эффективны при малых ресурсах гидроэнергии.

Исходя из анализа вышеприведенных работ, можно отметить, что когда речь идет о повышении эффективности ВИЭ и надежности энергоснабжения, во всех работах без исключения подчеркивается необходимость комбинированного использования и аккумулирования вовлекаемых в энергопроизводство видов энергии. Однако вопросы определения основных параметров, выбора рациональной их комбинации, т.е. функциональных, технических и технологических схем установок на базе ВИЭ до настоящего времени мало изучены.

В общем случае аккумулирование энергии можно осуществлять следующими способами:

- аккумулированием химической энергии в электрохимических аккумуляторах;
- аккумулированием тепловой энергии в тепловых аккумуляторах;
- аккумулированием кинетической энергии вращающихся масс или сжатого воздуха в резервуарах;
- аккумулированием гидравлической энергии в водоемах, бассейнах.

Таким образом, первые три способа аккумулирования предусматривают сохранение конечного продукта, т.е. электроэнергии или другой, уже произведенной энергии. Однако более экономичным является аккумулирование первичного ресурса энергии, так как при этом не теряется энергия на перетоки и трансформацию, а водоемы и водохранилища могут быть такими аккумуляторами.

Основные параметры МЭУ являются величинами изменяющимися. Изменение каждого из этих параметров влияет на энергетические и экономические показатели МЭУ. Поэтому важным вопросом является выбор наиболее приемлемых параметров, которые отвечали бы критериям минимума затрат и максимума вырабатываемой энергии.

Выбор оптимального значения параметров МЭУ необходимо производить путем сравнения вариантов на основе технико-экономических расчетов и всестороннего анализа всех факторов, которые влияют в той или иной степени на конечный результат.

Критерием оптимальности параметров МЭУ будем считать минимум целевой функции, которая должна включать не только затраты по МЭУ, но также изменения затрат на случай изменения источника энергоснабжения с вытекающими из этого последствиями:

$$\sum Z \Rightarrow \min ;$$

где $\sum Z$ - суммарные затраты по энергосистеме и МЭУ.

В зависимости от вида параметра и условий, в которых будет работать проектируемая МЭУ, структура целевой функции будет различной. Так, для комбинированной МЭУ с гидравлическим аккумулированием энергии, работающей изолированно от источника традиционного энергоснабжения, целевая функция представляет собой суммарные приведенные

затраты по энергосистеме, обслуживающей предполагаемых энергопотребителей.

Условия оптимальности для выбора параметров МЭУ можно записать в следующем виде

$$Z_{МЭУ} \leq Z_{ЭС}, \quad (1)$$

где $Z_{МЭУ}$ - приведенные расчетные затраты по МЭУ.

$Z_{ЭС}$ - приведенные расчетные затраты по энергосистеме, обслуживаемой другими источниками (теплоэнергетической установкой или генераторами на ДВС).

Таким образом, по (1) затраты по энергосистеме, обслуживаемой МЭУ должны быть меньше, чем затраты по энергосистеме, обслуживаемой другими источниками.

В качестве основных параметров микроэнергетических установок (МЭУ), действующих на базе солнечной, ветровой и гидроэнергии и имеющих возможность аккумулировать гидравлическую энергию в верхнем резервуаре (рис.) можно выделить следующие показатели:

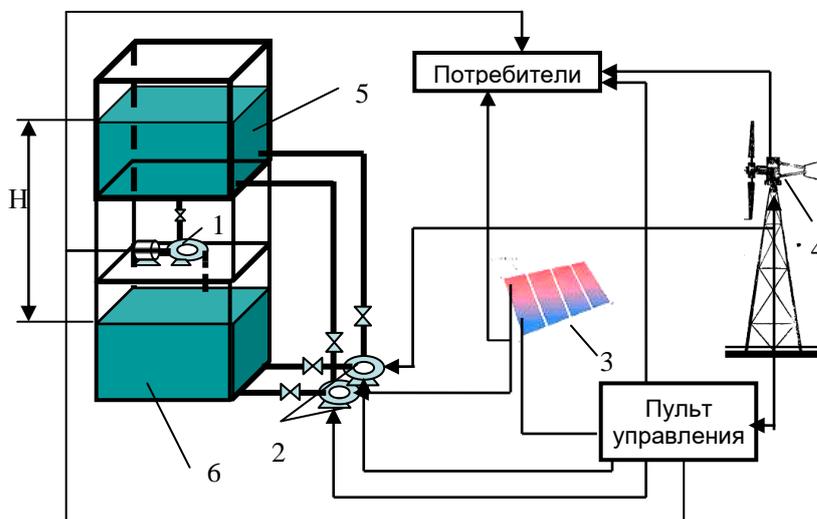


Рис. Схема МЭУ с гидравлическим аккумулярованием энергии:

1 – гидротурбинная установка; 2 – насосная установка; 3 – солнечная установка;
4 – ветроэнергетическая установка; 5 – верхний резервуар; 6 - нижний резервуар.

Основные параметры микроэнергетических установок:

Максимальный объем верхнего резервуара, V_{max} ;

Мощность насосной установки, N_H ;

Мощность гидротурбинной установки, N_T ;

Напор потока воды гидроэнергетического блока МЭУ, $H_б$;

Расход воды гидроэнергетического блока, $Q_б$;

Мощность микроэнергетической установки (МЭУ), $N_{МЭУ}$;

Мощность ветроэнергетической установки, N_B ;

Мощность солнечной энергоустановки, N_C .

Большинство из указанных выше параметров являются динамическими, характеризующими природу ВИЭ как случайный нестационарный процесс, изменяющийся во времени. Поэтому целесообразно выразить эти параметры в виде характеристик, которые наиболее полно отражают суть их зависимости от главных параметров установки или в виде математических моделей, описывающих изменения рассматриваемых показателей во времени.

Литература

1. Захидов Р.А., Кивалов С.Н. Мониторинг работы комбинированной солнечно – ветровой системы электроснабжения // Гелиотехника. – Ташкент, 2004. № 1. С.71-79.
2. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Потаенко К.Д. Стоимости энергии в комбинированных солнечно – ветровых энергоустановках // Гелиотехника. – Ташкент, 2008. №3. С. 37- 40.
3. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Захидов Р.А., Потаенко К.Д. Техничко – экономические условия создания комбинированных солнечно – ветровых энергоустановок// Гелиотехника. – Ташкент, 2007. № 4. С. 25-29.
4. Махкамджанов Б.М., Мухаммадиев М.М., Захидов Р.А., Таджиев У.А. Технологическая модель комбинированной энергосистемы на базе солнечных, ветровых и гидравлических энергоустановок малой мощности // Гелиотехника. – Ташкент, 2003. № 3. С. 88 - 95.
5. Махкамджанов Б.М., Раджабов Б.Ш., Касимов Ф.Ш. Алгоритмизация проектирования автономного источника электроэнергии на основе возобновляемой энергии // Гелиотехника. – Ташкент, 2006, № 1. С. 69-74.
6. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем, СО 153 – 34.20.118 – 2003. Утверждено Минэнерго России от 30.06.03, № 281.
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). – М.: Экономика, 2000. – 121 С.
8. Могиленко А. Деньги на ветер// Мировая энергетика, 2009. №:7(66). С.52-54.
9. Муминов М.И., Сандалов В.Н., Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Автономной ветро – солнечный комплекс для получения электроэнергии и пресной воды// Гелиотехника. – Ташкент, 2003. №:4. – С.76-80.
10. Муминов Р.А., Нурбаев К.М. Исследования в области использования солнечной энергии в Узбекистане // Гелиотехника. – Ташкент, 2005. №1, С. 24 – 27.
11. Муругов В.П., Пинов А.Б. Расширение сферы использования возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве// Москва. – Техника в сельском хозяйстве, 1996. №2.С. 17 – 19.
12. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Мамадиёров Э.К. Использование возобновляемых источников энергии при локальном энергоснабжении// Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2006. № 4. С. 26 -30.
13. GieseppeChimento. Hybrid systems. // Гелиотехника, 1992. № 6. С.53-58.
14. Kolousek Milan. Small energy systems for telecommunications equipment in cold climate remote areas.// INTELEC-86: Int. Telecommun. Energy Conf., Toronto, 19-22 Oct., 1986. -New York, N.Y.1986.P.317-324.

УДК 624.313.333

Магистрант ЭФ Н.Д.Джураева,
науч. рук. д.т.н., проф. К.Т.Алимходжаев, ТашГТУ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПУСКА

В статье рассматривается математическая модель асинхронной машины в режиме пуска. Показано, что при проектировании электрической машины, работающей в переходном режиме, разработанная математическая модель асинхронного двигателя, используемая в указанном режиме позволяет, рассчитать потери и распределить активные и реактивные мощности, составить описывающие их уравнения, преобразовать к удобному виду для применения ЭВМ. Приведено моделирование уравнений асинхронного двигателя в структурной схеме в относительных единицах для ПК в среде MatLab с помощью SIMULINK.

Мақолада асинхрон машинанинг математик модели келтирилган. Ўттиш режимда ишлаётган электр машиналарини лойихалашда, исрофларни хисоблаш, актив ва реактив қувватлар тарқалишини, уларни тенгламаларини тузиши, ЭХМда моделлаш учун тенгламаларни қулай кўринишга келтирилган. АД тенгламаларини моделлаш учун ЭХМда SIMULINK ёрдамида MatLab дастурида нисбий бирликларда қилинди.

Mathematical model of the anisochronous machine is brought In article in mode of the starting. When designing the electric machine, working in connecting mode, it is important it is correct to calculate the loss and distribution active and reactive power, form describing their equations, convert to suitable type for modeling on COMPUTER. Modeling of the equations HELL were provided in structured scheme in relative unit for PC in ambience MatLab by means of SIMULINK.

Математическая модель электрической машины – это система уравнений, описывающих процессы электромеханического преобразования энергии с допущениями, обеспечивающими необходимую точность решения для рассматриваемой задачи. Математические модели электрических машин широко используются для исследования электромеханических систем благодаря применению аналоговых и цифровых вычислительных машин. В настоящее время созданы модели, позволяющие исследовать практически любые задачи, встречающиеся в электромашиностроении[1].

Несмотря на бесконечное конструктивное разнообразие индуктивных электрических машин все электрические машины с круговым полем в воздушном зазоре можно свести к обобщенной электрической машине. Обобщенная электрическая машина – это идеализированная двухполюсная машина с двумя парами обмоток на статоре и роторе. В ней энергия магнитного поля сосредоточена в воздушном зазоре и имеет синусоидальное поле. В воздушном зазоре обобщенной машины вращающееся магнитное поле может создаваться обмотками статора и ротора. Напряжения статора и ротора создают сдвинутые во времени токи, а за счет пространственного сдвига обмоток в зазоре создается вращающееся поле.

Как в машинах переменного, так и в машинах постоянного тока многофазная симметричная обмотка приводится к двухфазной, которая и рассматривается в обобщенной электрической машине. Процессы преобразования энергии в многополюсных машинах приводятся к процессам в двухполюсной машине.

Дифференциальные уравнения, описывающие переходные и установившиеся процессы в обобщенной машине в естественных или фазовых не преобразованных координатах, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} u_a^s &= i_a^s r_a^s + d\Psi_a^s/dt; \\ u_b^s &= i_b^s r_b^s + d\Psi_b^s/dt; \\ -u_a^r &= i_a^r r_a^r + d\Psi_a^r/dt; \\ -u_b^r &= i_b^r r_b^r + d\Psi_b^r/dt; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В (1) потокосцепление обмоток:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_a^s &= L_a^s i_a^s + M(\cos\Theta) i_a^r + M(\sin\Theta) i_b^r; \\ \Psi_b^s &= L_b^s i_b^s + M(\cos\Theta) i_b^r + M(\sin\Theta) i_a^r; \\ \Psi_b^r &= L_a^r i_a^r + M(\cos\Theta) i_a^s - M(\sin\Theta) i_b^s; \\ \Psi_b^r &= L_b^r i_b^r + M(\cos\Theta) i_b^s + M(\sin\Theta) i_a^s; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В (1) и (2) $u_a^s, u_b^s, u_a^r, u_b^r$ – напряжения обмотках статора и ротора; $i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r$ – токи в обмотках статора и ротора; $r_a^s, r_b^s, r_a^r, r_b^r$ – активные сопротивления обмоток статора и ротора; M – взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора; Θ – угол между осями обмоток статора и ротора.

Если выполнить подстановку (1) в (2), то получаются громоздкие уравнения с периодическими коэффициентами. Для упрощения уравнений электромеханического преобразования энергии рассматривается псевдонеподвижная машина, в обмотку ротора которой вводится э.д.с. вращения. При этом в неподвижной и вращающейся машинах токи, активная и реактивные мощности остаются неизменными.

В неподвижной системе координат α, β – уравнения для обобщенной машины, выраженные через потокосцепления, выглядят следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} u_{\alpha}^s &= i_{\alpha}^s r_{\alpha}^s + d\Psi_{\alpha}^s/dt; \\ u_{\beta}^s &= i_{\beta}^s r_{\beta}^s + d\Psi_{\beta}^s/dt; \\ u_{\alpha}^r &= i_{\alpha}^r r_{\alpha}^r + d\Psi_{\alpha}^r/dt + \omega_r \Psi_{\beta}^r; \\ u_{\beta}^r &= i_{\beta}^r r_{\beta}^r + d\Psi_{\beta}^r/dt - \omega_r \Psi_{\alpha}^r; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Подставляя в (3) значения потокосцеплений, получим:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{\alpha}^s &= L_{\alpha}^s i_{\alpha}^s + M i_{\alpha}^r; \\ \Psi_{\beta}^s &= L_{\beta}^s i_{\beta}^s + M i_{\beta}^r; \\ \Psi_{\alpha}^r &= L_{\alpha}^r i_{\alpha}^r + M i_{\alpha}^s; \\ \Psi_{\beta}^r &= L_{\beta}^r i_{\beta}^r + M i_{\beta}^s; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В (3) и (4) $u_{\alpha}^s, u_{\beta}^s, u_{\alpha}^r, u_{\beta}^r, i_{\alpha}^s, i_{\beta}^s, i_{\alpha}^r, i_{\beta}^r$ – соответственно, напряжения и токи в обмотках статора и ротора по осям α и β ; $r_{\alpha}^s, r_{\beta}^s, r_{\alpha}^r, r_{\beta}^r$ – активные сопротивления обмоток статора и ротора; M – взаимная индуктивность; $L_{\alpha}^s, L_{\beta}^s, L_{\alpha}^r, L_{\beta}^r$ – полные индуктивности обмоток статора и ротора по осям α и β ; ω_r – угловая скорость ротора [2].

При исследовании электрических машин используются также уравнения, составленные на базе уравнений теории поля. Они дают возможность решать многие задачи статики. Однако при решении задач динамики уравнения обобщенного электромеханического преобразователя имеют большие преимущества. Развитие теории электрических машин долгое время шло по пути применения отдельно уравнений поля и теории цепей, тогда как наиболее плодотворным является их сочетание в математической модели [3].

Развитие современной теории электромеханического преобразования энергии позволяет составить математическое описание процессов преобразования энергии для любого случая, встречающегося в практике современного электромашиностроения.

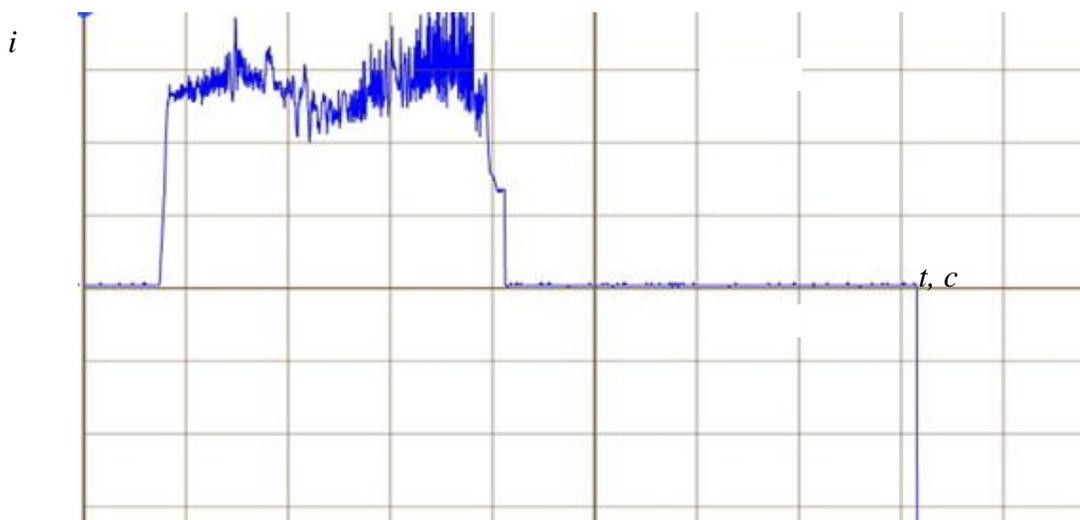


Рис.1. Осциллограмма АД пуска с устройством плавного пуска

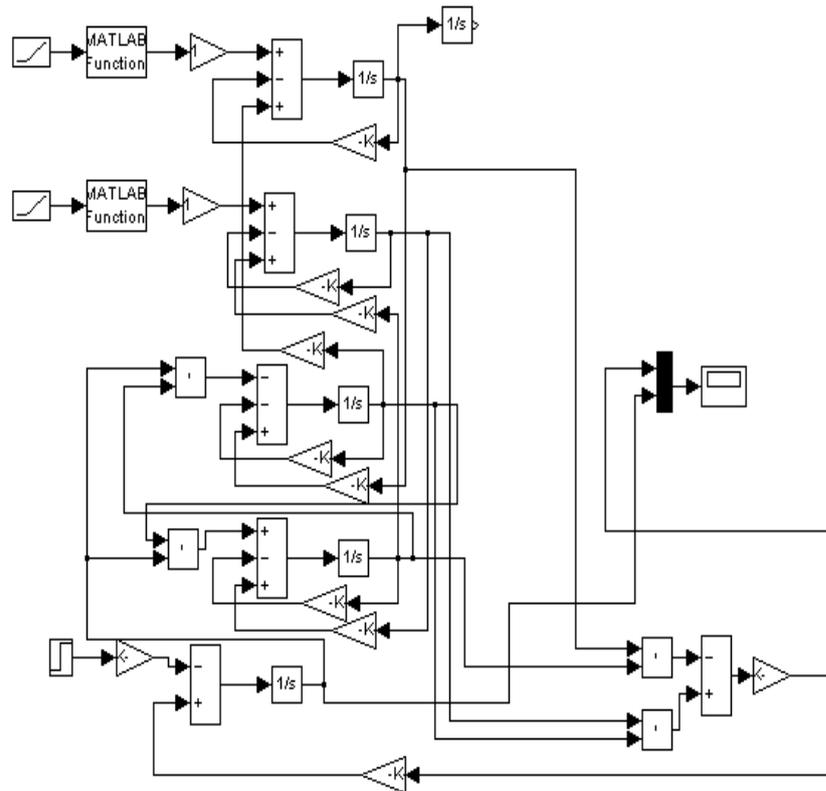
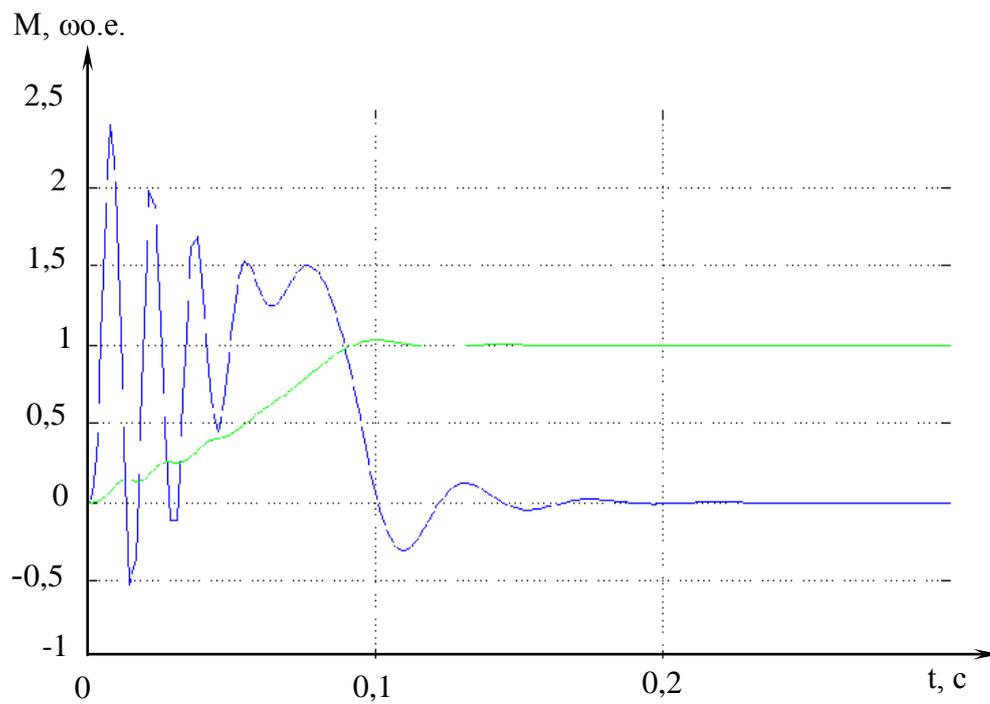


Рис.2. Структурная схема АД при пуске

Рис. 3. Зависимости $M_3=f(t)$ и $\omega_r=f(t)$ при пуске АД

Наиболее общей математической моделью, позволяющей записать уравнения для бесконечного спектра гармоник и любого числа контуров на статоре и роторе, является модель обобщенного электромеханического преобразователя – двухфазной электрической машины с m обмотками на статоре и n обмотками на роторе.

Пусковые характеристики АД, то есть переходные процессы происходят при изменениях напряжений и частоты на выводах машины, а также нагрузки на валу, при включении машины и отключении ее от сети, реверсе, коротких замыканиях, при изменении ее параметров и т.п. В реальных условиях переходные процессы протекают при одновременном изменении нескольких факторов. Комбинации факторов, влияющих на динамику, могут быть весьма разнообразны (изменение напряжения, частоты и параметров, напряжения и нагрузки и т.д.), поэтому надо уметь выбрать «главное», не усложнять без необходимости задачу.

По важности из работ по проектированию ЭМ переходные процессы делятся на процессы при пуске, торможении, реверсе, повторном включении и изменении нагрузки. Эти процессы могут протекать при симметричных и несимметричных напряжениях в симметричных и несимметричных машинах. При проектировании ЭМ, работающих в переходных режимах, важно правильно рассчитывать потери и распределение активной и реактивной мощностей.

На рис. 3 представлены зависимости $M_3=f(t)$ и $\omega_r=f(t)$ при пуске асинхронного двигателя АОЗ-24-4 мощностью 3 кВт, $2p=4$, $U=220$ В, когда нагрузка на валу равна нулю ($M_c=0$).

Как видно из рис. 3, в первые два - три периода токи в статоре и роторе имеют максимальные (ударные) значения, что и обуславливает максимальные значения электромагнитного момента. Затем токи затухают, колебания M_3 сокращаются и значение угловой скорости ротора ω_r приближается к установившемуся. На рис.3 показаны результаты переходного процесса при пуске АД с помощью структурной схемы.

Таким образом, характер переходного процесса зависит от мощности двигателя, а точнее, от параметров, входящих в уравнение электромеханического преобразования энергии. Моделирование уравнений АД приведено в структурной схеме в относительных единицах для ПК в среде MatLab с помощью SIMULINK. Чтобы исследовать переходные процессы, необходимо составить описывающие их уравнения, преобразовать к виду, удобному для моделирования на ЭВМ, и решить их.

Математическая модель позволяет в 2-3 раза увеличить эффективность определения пускового режима асинхронного двигателя.

Литература

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. -М.: Высшая школа, 2012. – 757 с.: ил.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин.- М.: Высшая школа, 2011. – 318 с.
3. Бердиев У.Т., Пирматов Н.Б. Электромеханика.-Т.: Шамс-Аса, 2014.-385 б.

УДК 621.31

EE talabasi M.M.Habibullayev,
ilmiy rahbar– dots. Y.T.Adilov, TIQXMMI

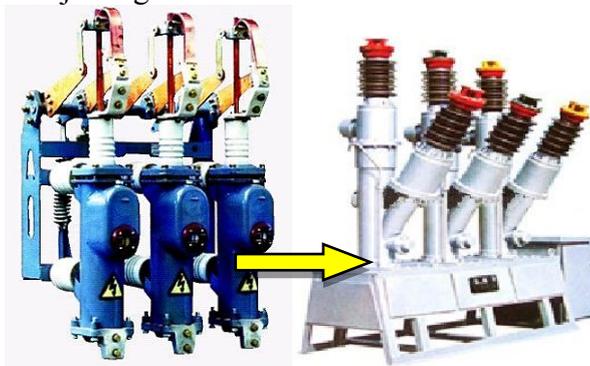
110/35/10 TRANSFORMATOR PODSTANSIYALARIDA SF₆ ELEGAZ UZGICHLARDAN FOYDALANISHDAGI YUTUG‘LARI

Hozirgi kunda elektr energiyaga bo‘layotgan ehtiyojlar kundan kunga oshib borish davrida elektr stansiyalarda taqsimlash qurilmalariga bo‘lgan talablarni kuchaytiradi. Chunki yuqori kuchlanish uzgichlar ishlarining eng o‘g‘ir sharoitlari qisqa tutashuv toklarini uzish va qayta ulash davriga to‘g‘ri keladi. Maqolada 110/35/10 transformatsiya podstansiyalarida keng foydalanilayotgan moyli o‘chirgichlarni zamonaviy elegaz uzgichlarga almashtirish avzalliklari yoritilgan. Bu o‘zgartirishlarning asosiy sabablaridan biri elektr stansiyalarida ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasini iste‘molchilarga sifatli va uzluksiz yetkazib berishdir.

В статье отмечается, что в настоящее время спрос на электроэнергию растет с каждым днем, увеличивая требования к электропитанию. Это связано с тем, что самые экстремальные условия высоковольтных выключателей зафиксированы во время отключения и повторного подключения токов короткого замыкания. В статье обоснованы преимущества замены масляных выключателей на современные элегазовые выключатели. Основной причиной этих изменений является гарантия высокого качества и бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией.

The demand for electricity is increasing day by day, increasing power requirements for power plants. This is because the most extreme conditions of operating high-voltage circuit breakers are in the time of disconnecting and re-connecting the short-circuit currents. The article presents the advantages of replacing oil circuit breakers with modern sulfur hexafluoride circuit breakers at transformer substations 110/35/10. One of the main reasons for these changes is the high quality and uninterrupted supply of electricity produced by power plants to consumers.

Yuqori kuchlanishli uzgichlar ishchi va shikastlanish hamda avariya toklarini tezkorlik bilan uzish va qayta ulash uchun xizmat qiladi. Elektr stansiya va podstansiyalarda qo‘llanadigan elektr jihozlari va qurilmalari orasida qo‘llanadigan eng zaruriy jihoz – bu uzgich (включатель) bo‘lib, uning samarali ishidan elektr ta‘minotining uzluksizligi va puxtaligi to‘la bog‘liq bo‘lib qoladi. Yuqori kuchlanishli uzgichlar o‘zgaruvchan tok zanjirlarining ekspluatatsiya sharoitidagi har xil rejimlarda kommutatsiyalash uchun, ya‘ni nominal qisqa tutashish, salt ishlash toklarini, shuningdek, kondensator batareyalari, uzun elektr uzatish yo‘li toklarini ulash, o‘chirish kabi vazifalarni bajarish uchun mo‘ljallangan.



Rasm – 1. VMG – 10 moy o‘chirgich va Siemens SF₆ HVPCB – 72.5 kV elegaz uzgich

Yuqori kuchlanishli uzgichlar uchun quyidagi talablar qo'yiladi: har qanday toklarni ishonchli uzish va ulash; uzish vaqtining kichikligi; tez ishlovchi avtomatik qayta ulash (АПБ – автоматическое повторное включение) tizimida ishlashni ta'minlay olishi; ishlash puxtaligi; atrof-muhit uchun xavfsizligi; harakat-ishlash tezligi; kichik o'lchamlar va vaznga ega bo'lishi; nazoratining yengilligi va montaj ishlarining soddaligi; foydalanishda shovqin-suron bo'lmasligi; portlash va yong'in xavfsizligi; 110 kV va undan yuqori kuchlanish uzgichlarini faza bo'yicha boshqarish imkoniyati; transportda tashish qulayligi; nisbatan yuqori bo'lmagan narxi.[3]

Moyli uzgichlar – bu kommutatsiya apparati hisoblanib asosan elektr tizimdagi barcha elektr qurilmalar va zanjirlarni avariya holatlarda tez o'chirish va qayta ulash uchun xizmat qiladi. Moyli uzgichlarda elektr yoyni so'ndirish uchun moydan foydalaniladi. Moyli uzgichlar yong'in va portlashga xavfliligi, tez ishlovchi avtomatik qayta ulash (АПБ) tashkil etib bo'lmasligi, moy darajasini doimiy nazorat qilib turish kerakligi va uni tez-tez almashtirib turish zarurligi, katta moy zaxirasining zarurligi, БМГ-10 moyli uzgich nisbatan kichik tokni uzish qobiliyatiga egaligi, metall sarfining kattaligi, montaj qilish, ta'mirlash va sozlashning noqulayligi kabi kamchiliklardan kelib chiqib SF₆ elegaz uzgichlarni joriy qilish kerak.[1]

Elegaz SF₆ sera geksoftorid inert gazlardan bo'lib, uning zichligi havodan 5 marta katta; elektr mustahkamligi $E_{pr} = 72 \text{ kV/sm}$, ya'ni havonikidan 2÷3 marta katta; qaynash harorati $T_{qay} = -62 \text{ }^\circ\text{C}$; dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 1,00191$. Elegazli uzgichlarda siqilgan gaz puflab yoy o'chirish usuli qo'llaniladi va yopiq gaz tizimini tashkil qiladi, ya'ni gaz atmosferaga chiqarilmaydi.

Ishlash prinsipi. Yuqori kuchlanishli elegaz uzgichlar SF₆ gaz yordamida fazalarni bir-biridan ajratish orqali ishlaydi. Elektr qurilmasini uzib qo'yish kerakligi haqida signal kelganida, alohida kameralar (agar uzgich ustunli bo'lsa) kontaktlari ochiladi. Shunday qilib, ichki kontakt yoyni hosil qiladi va bu yoy gaz bosimi ostida bo'ladi. Yoy gazni alohida komponentlarga ajratadi, biroq ayni paytda tankdagi yuqori bosim tufayli u o'zini o'ziso'ndiradi. Agar tizim past bosim ostida bo'lsa, qo'shimcha kompressorlar yordamida kerakli bosim hosil qilinadi.

Ularning hozirda 2 turi mavjud:

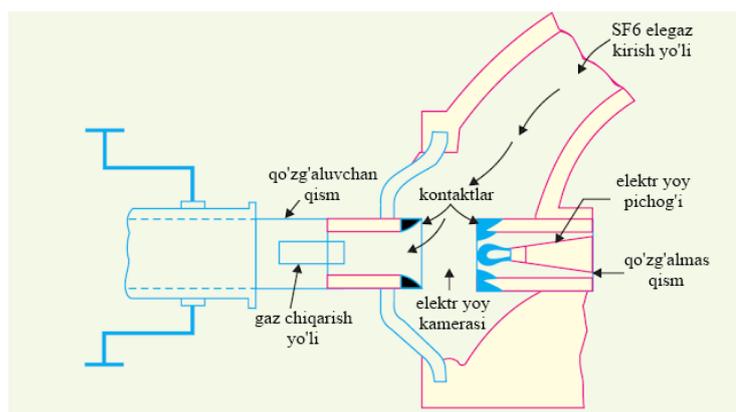
1. Ustunli(Колонковые)(HPL 245B1, MF 24 Schneider Electric);
2. Bakli (Баковые) (ABB 242PMR, DT2-550 F3 –Areva).

Ustunli SF₆ elegaz uzgichlar standart bitta fazaga (masalan, LF 10 Schneider Electric) bilan ishlaydigan uzgich hisoblanadi. Bular faqat 220kV tarmoq kuchlanishida ishlaydi. Konstruksiyasi ikki tizimdan iborat: kontakt va yoy so'ndirish. Ikkalasi ham SF₆ gaz bilan to'ldirilgan idishda joylashgan. Qo'lda (boshqaruv faqat mexanik ravishda amalga oshiriladi) yoki masofadan turib bo'lishi mumkin. Qismlarga ajralishi tufayli ular juda katta o'lchovlarga ega.

Bakli SF₆ elegaz uzgichlar kichik o'lchamlarga ega va ular PPRM 2 harakatga keltiruvchi qurilma bilan jihozlangan. Harakatga keltiruvchi qurilma bir necha fazalarga teng taqsimlangan va bu kuchlanishni yumshoq boshqarishga imkon (ochiq va yopiq). Bundan tashqari, ularning afzalligi shundaki, ular katta yukmalarni tashishi mumkin.

Elegaz uzgichlar yoy so'ndirish prinsipi bo'yicha quyidagi klassifikatsiyalarga bo'linadi:

1. Avtokompressorli yoki havoli (Автокомпрессионныеиливоздушные);
2. Aylanuvchan (Вращающие);
3. Puflanuvchan (Продольногодутья);
4. Qizdirilgan elegaz bilan puflash (Продольного дутья с дополнительным разогревом элегаза).



Rasm – 2. SF₆ elegaz uzgichning kontak sistemasi [6].

Elegaz uzgichlarning asosiy yutug'i elegaz SF₆ sera geksoftorid inert gazining noyobligidadir. Agar to'g'ri ekspluatatsiya qilinsa elegaz eskirmaydi va moyli uzgichga nisbatan uncha ko'p e'tibor talab qilmaydi. Qo'shimcha qilib elegaz uzgichlar hajmi ixchamligi; uzgichni almashtirish vaqti uzoqligi, nominal kuchlanishlar ko'rstakichlari ko'pligi (6 – 1150 kV); yong'in va portlash xavfsizligidir.[2]

Jadval –1. Siemens SF₆ High Voltage Power Circuit Breaker 72.5 kV elegaz uzgichning tavsifi.

Tavsifi	O'lchov birligi	20 kA	31.5 kA	40 kA
Qisqa tutashuv toki	kA	20	31.5	40
Ishchi va maksimal tokka chidamliligi:				
-ishchi	kA	32	50	64
- maksimal	kA	54	85	108
Normal ishlash harorati:				
- standart	°C	-40 dan 55 gacha		
- maxsus	°C	-50 dan 55gacha		
Yopish vaqti	ms	100		
Qayta yopishlar soni	marta	12		

Elegaz uzgichlarining avzalliklari:

- ✓ 1 kV dan yuqori bo'lgan barcha kuchlanish klassifikatsiyalarga ishlatilishi;
- ✓ elektr yoy so'ndirish jarayoni germetik kamera ichida ya'ni atmosferaga hech qanday gaz chiqarmagan holatda ishlashi;
- ✓ boshqa tur uzgichlarga nisbatan hajmi kichikligi va yengilligi;
- ✓ yong'in va portlash xavfsizligi;
- ✓ tez ishlashi;
- ✓ o'chirish qobiliyati yuqoriligi;
- ✓ yoy so'ndirish kontaktlarining yeyilish protsessi sekinligi;
- ✓ shovqinsiz ishlashi;
- ✓ uzgichni tashqi va ichki o'rnatilish qulayligi.

Kamchiliklari:

- * ishlab chiqarish qiyinligi va qimmatligi –elegaz uzgichlarni tayyorlashda yuqori aniqlik va tozalikka rioya qilish;
- * elegaz sifatiga bo'lgan talab kuchliligi;

✗ haroratda kamchiligi ya'ni SF₆ elegazni sovuq sharoitlarda qizdirish uchun azot va maxsus qorishmali gazlar kerakligi

✗ SF₆ elegazni to'ldirish, almashtirish va tozalash uchun maxsus qurilmalar kerakligi;

✗ SF₆ elegazini qimmatligi;

O'chirgichlar asosan mexanik mustahkamligida xarakterlanadi. Bu holatda qancha soda konstruktsiya bo'lsa, shuncha mustahkam bo'ladi. Agar ikki o'chirgichlarni solishtirsak, moyli o'chirgichdan ko'ra elegaz uzgichlar konstruktsiyasi mustahkamroq.

Yana bir asosiy ko'rsatgichlardan biri o'chirib-yoqish sikli. Bu borada 110 kV li moyli o'chirgichlar 7 marta qisqa tutashuvdan keyin kapital remont talab etadi. Siemens kompaniyasida ishlab chiqarilgan 110 kV ga mo'ljallangan elegaz uzgich esa 400 martagacha ishlaydi. Agar nominal tokda ishlatilsa 6000 martagacha ham chidaydi.

Og'irligi bo'yicha solishtirilsa, MKP-110 moyli o'chirgich 17 tonna massaga ega. 110 kV li elegaz uzgich esa bor yo'g'i 3,6 tonna og'irlikka ega.

Xulosa qilib aytganda, yong'in xavfsizligi, ekologiya jihatidan eng samarali, yuqori sifatli, ishonchli va afzal o'chirgichlar– SF₆ yuqori kuchlanishli uzgichlardir. Ushbu turdagi kommutatsiya qurilmalarini ishlab chiqaruvchi yetakchi kompaniyalar har yili o'z mahsulotlarini takomillashtirib, uni ishonchli va samarali qilishadi. Shu sababli, bizning davrimizda moyli o'chirgichlar deyarli ishlab chiqarilmayapti, ular tez orada elegaz uzgichlari bilan almashtiriladi.

Adabiyotlar

1. "Tutorial AC HV Circuit Breakers" (PDF). ewh.ieee.org. July 2017. Retrieved October 21, 2017.
2. "Sulfur hexafluoride (SF₆): global environmental effects and toxic byproduct formation". J Air Waste Manag Assoc. 50 (1): 137–41. January 2000. PMID 10680375.
3. "Stansiya va podstansiyalarning elektr qismi" Q.R.Allayev, I.H.Siddiqov, M.H.Hakimov va boshqalar. O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi – T.: Cho'lpon nomidagi NMIU, 2014. 304 b. ISBN 978-9943-05-676-3.
4. "Станция ва подстанцияларнинг электр асбоб-ускуналари" Л.Д. Рожкова, В.С. Козулиню. Тошкент «Ўқитувчи» 1986.
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride_circuit_breaker
6. <https://www.electrical4u.com/types-and-operation-of-sf6-circuit-breaker>
7. <https://circuitglobe.com/oil-circuit-breaker>

УДК 629.7

Магистрант ЭФ А.А.Умаров,
науч. рук. д.т.н., проф. В.А.Хохлов, ТашГТУ

СИСТЕМЫ ЗАВИСИМОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Статья посвящена разработке средств дистанционного контроля параметров воздушного судна в режиме реального времени. Речь идет о системе дистанционного контроля параметров воздушного судна, которая позволит использовать дискретно-адресный самолетный ответчик не ниже 2-го уровня для передачи информации бортовых систем в наземный пункт в режиме реального времени, что позволит значительно расширить возможности поиска неисправностей бортового радиоэлектронного оборудования современного воздушного судна.

Мақола ҳақиқий вақт ҳолатида ҳаво кемаси параметрларини масофадан текшириш воситаларини ишлаб чиқишга бағишланган. Замонавий ҳаво кемаларининг борт радиоэлектрон қурилмаларидаги носозликларни излаш имкониятларини сезиларли кенгайтиришга ёрдам берадиган, ҳақиқий вақт ҳолатида ер усти пунктида борт тизимларининг ахборотларини узатиш учун 2-даражадан кам бўлмаган дискрет-манзилли самолет жавоб қайтаргичдан фойдаланишга имкон берадиган ҳаво кемаларининг параметрларини масофадан текшириш тизими ҳақида сўз боради.

The article is devoted to the development of means of remote control of aircraft parameters in real time. It is a system of remote control of aircraft parameters, which will allow the use of discrete-address aircraft responder not lower than level 2 to transmit information to the on-Board systems in the ground station in real time, which will significantly expand the Troubleshooting capabilities of onboard electronic equipment of modern aircraft.

Современный этап научно-технического прогресса характеризуется широким применением электроники и микроэлектроники во всех сферах жизни и деятельности человека. Важную роль при этом сыграло появление и быстрое совершенствование элементной базы для разработки и проектирования различных устройств авионики летательных аппаратов.

В настоящее время все большее распространение получают бортовые компьютеры и интегрированные вычислительные комплексы навигации и самолетовождения. В отличие от систем бортового радиоэлектронного оборудования предыдущего поколения они содержат большое число не только аппаратных, но и программных средств. Соответственно, появляются определенные особенности в технической эксплуатации бортового радиоэлектронного оборудования, в частности, в процедурах выявления неисправностей. Несмотря на развитие систем встроенного контроля, появляется все больше различных неисправностей, проявляющихся только на определенных стадиях полета и не определяемых системами встроенного контроля и другими средствами во время выполнения наземного технического обслуживания воздушного судна. Большую актуальность при этом приобретает разработка средств дистанционного контроля параметров воздушного судна в режиме реального времени.

Параметры, подлежащие контролю, можно разделить на следующие группы:

- Характеристики воздушного судна (класс по взлетной массе, тип двигателя, возможности по полетам согласно требованиям RVSM (reduced vertical separation minimum), RNP (required navigation performance), ETOPS);
- Навигационные параметры (координаты воздушного судна, курс, крен, тангаж воздушная скорость и скорость относительно земли);
- Данные о состоянии воздушного судна (количество пассажиров на борту, остаток топлива, работоспособность различных систем и оборудования);
- Данные об экстренном состоянии воздушного судна (захват, потеря радиосвязи, отказы критических систем).

В настоящее время контроль части указанных выше параметров осуществляется с помощью систем вторичной радиолокации. В режиме вторичной радиолокации RBS (Radar beacon system) осуществляется контроль барометрической высоты воздушного судна (код C) и номера рейса (код A). Также предусмотрена передача некоторых кодов экстремального состояния воздушного судна. Характеристики воздушного судна в этом режиме не передаются.

Большими по сравнению с системой RBS возможностями обладают системы селективного вызова (дискретно-адресная система вторичной радиолокации- DABS-discrete address radar beacon system). Данная система также называется системой вторичной

радиолокации режима S (Select). Объем передаваемых данных в этом режиме зависит от уровня бортового и наземного оборудования. К настоящему времени дискретно-адресные системы вторичной радиолокации подразделяются на четыре уровня.

- Уровень 1

Минимальный уровень ответчика режима S. Ответчик такого уровня отвечает на запросы режима S, но не имеет возможности обмена данными (обмен данными в формате). Ответчики режима 1 работают со следующими данными:

- Запрос и ответ в режиме наблюдения воздух-воздух;
- Запрос и ответ кодом высоты;
- Запрос и ответ кодом бортового номера;
- Запрос и ответ индивидуальным адресом в режиме общего вызова.

Таким образом, ответчики уровня 1 обладают теми же возможностями, что и в режиме RBS, только с возможностью адресования самолета.

- Уровень 2

Поддерживает все возможности ответчика уровня 1, с добавлением возможности передачи данных стандартной длины (56 или 112 бит). При этом дополнительно передаются следующие сообщения:

- Расширенное наблюдение, с получением дополнительных данных о координатах самолета

- Запрос и ответ 56-ти или 112-ти разрядным кодом высоты
- Запрос и ответ 56-ти или 112-ти кодом бортового номера

Эти сообщения используются для обмена информацией воздух-воздух для работы системы TCAS (Traffic collision avoidance system- системой предупреждения столкновений в воздухе.).

- Уровень 3

Поддерживает все возможности ответчика уровня 2, но с возможностью приема сообщений увеличенной длины с земли. Сообщение увеличенной длины состоит из 16 сегментов по 80 бит каждый

Уровень 4

Поддерживает все возможности ответчика уровня 3, но с возможностью передачи сообщений увеличенной длины с земли. Сообщение увеличенной длины состоит из 16 сегментов по 80 бит каждый .

Системы вторичной радиолокации, начиная со второго уровня, поддерживают режим автоматического зависимого наблюдения.

Автоматическое зависимое наблюдение- метод наблюдения, в соответствии с которым воздушные суда автоматически предоставляют по линии передачи данных информацию, полученную от бортовых навигационных систем и систем определения местоположения, включая опознавательный индекс воздушного судна, данные о его местоположении в четырёх измерениях и, при необходимости, дополнительные данные.

К настоящему времени наиболее перспективными являются ширококвещательные системы автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В). Основная особенность этих систем в том, что, в отличие от систем вторичной радиолокации, где информация запрашивается наземным локатором, в ширококвещательных системах зависимого наблюдения информация с борта воздушного судна передается циклически, без запроса.

Формат данных системы вторичной радиолокации, используемый для передачи данных в режиме АЗН-В, представлен на рис.1



Рис. 1 Диаграмма сигнала в формате АЗН-В (формат DF17 дискретно-адресного самолетного ответчика)

Сообщение имеет форму стандартного сообщения дискретно-адресного самолетного ответчика и состоит из преамбулы и блока данных. Преамбула состоит из четырех импульсов и предназначена для синхронизации данных с работой приемника.

Блок данных состоит из следующих полей:

- DF (Downlink format)- идентификатор передаваемых данных. Включает в себя 5 разрядов. Сообщение АЗН-В имеет формат DF17, поэтому данное поле имеет вид 10001 (число 17 в двоичной системе счисления)

- CA (transponder capability)-трехбитное поле, характеризующее возможности ответчика:

0-связь не возможна

1,2,3-возможность передачи специальных данных;

4-7-не применяется;

- AA (address announced)- 24-х разрядный адрес воздушного судна, применяемый для его идентификации в дискретно-адресных системах вторичной радиолокации;

- PI (Parity interrogator)- 24 крайних разряда сообщения- определяет правильность адресного кода.

56 бит данных АЗН-В позволяют закодировать значительное количество данных.

В настоящее время система АЗН-В обеспечивает:

- автономную спутниковую навигацию на всех режимах полета;
- нерадиолокационное наблюдение на фоне карты местоположения объектов (воздушных и наземных), оборудованных комплексом АЗН-В в пределах УКВ связи;
- пилотирование ВС с применением дифференциальной спутниковой навигации на всех этапах полета (от взлета до посадки) в условиях отсутствия видимости и ночью;
- непрерывный контроль параметров полета ВС наземными центрами управления воздушным движением (в пределах УКВ связи);
- предупреждения столкновений с ВС и другими объектами, оборудованными комплексами АЗН-В.

В существующих системах автоматического зависимого наблюдения передаются только навигационные параметры воздушного судна. Однако информационная емкость 56-битного поля сообщения АЗН-В позволяет также передавать и сообщения о состоянии систем воздушного судна, а также и другие данные.

Система передачи данных в режиме реального времени с использованием дискретно-адресного самолетного ответчика с возможностью АЗН-В (передачи данных в формате DF17) представлена на рис. 2.

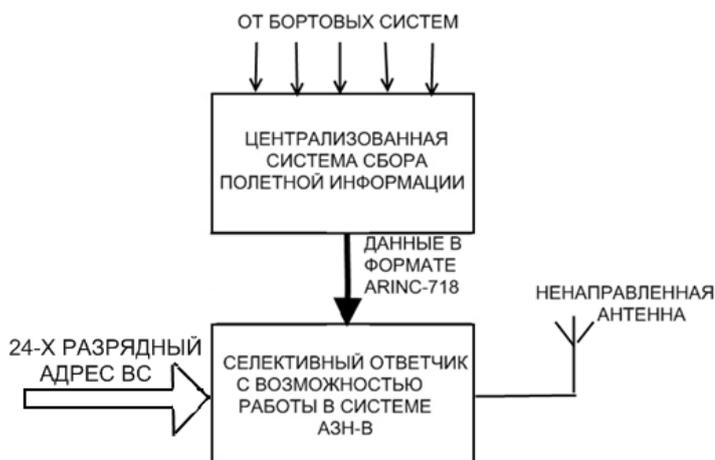


Рис.2. Бортовая часть системы дистанционного контроля параметров воздушного судна

Принцип работы системы заключается в следующем. Информация от бортовых систем поступает в централизованную систему сбора полетной информации. В качестве бортовых систем выступают различные бортовые компьютеры навигационных систем (таких как радиоконпас, позиционные и инерциальные навигационные системы), систем самолетовождения, а также других систем воздушного судна.

В качестве централизованной системы сбора полетной информации может использоваться, например, малогабаритная система бортовых измерений. Назначение системы- преобразование информации, получаемой от различных систем воздушного судна к стандартному формату ARINC 718.

В формате ARINC 718 данные передаются в селективный самолетный ответчик с возможностью работы в режиме АЗН-В, куда также подается 24-х разрядный адрес воздушного судна. Преобразованный в форму DF17 сигнал излучается в пространство через ненаправленную антенну в широковещательном режиме.

Таким образом, система дистанционного контроля параметров воздушного судна позволяет использовать дискретно-адресный самолетный ответчик не ниже 2-го уровня для передачи информации бортовых систем в наземный пункт в режиме реального времени, что позволит значительно расширить возможности поиска неисправностей бортового радиоэлектронного оборудования современного воздушного судна.

Литература

1. Component maintenance manual c12860, 31-32-38 thales avionics sas. apr 16/15 to: holder of cfdiu centralized fault display interface unit pnr: C12860AA0x
2. Sebastian Torhorst, Nico B. Holzel and Volker Gollnick/ Identification and evaluation of the potentials of Prognostics and Health Management in future civil aircraft European Conference of the Prognostics and Health Management Society 2014
3. Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития-К.: ЕКМО, 2009-672с.
4. Дмитриев А.Л. Оптические системы передачи информации/учебное пособие-СПб, СПбГУИТМО, 2007. 96с.
5. Цыбин В.В., Шукуров А.Г., Эшмурадов Д.Э. «Современные методы диагностики бортового радиоэлектронного оборудования». – Ташкент: Материалы республиканской научно-технической конференции "Проблемы развития аэрокосмической отрасли Республики Узбекистан" (часть I), 2007. – 131-134 с.

УДК 53 (072)

**MET magistranti S.O'.Rustamov,
Ilmiy rahbar t.f.n., prof. M.S.Yakubov, ToshTYMI**

BO`YLAMA VA BO`YLAMA-KO`NDALANG KOMPENSATSION USKUNALAR SXEMALARINING TAHLILI

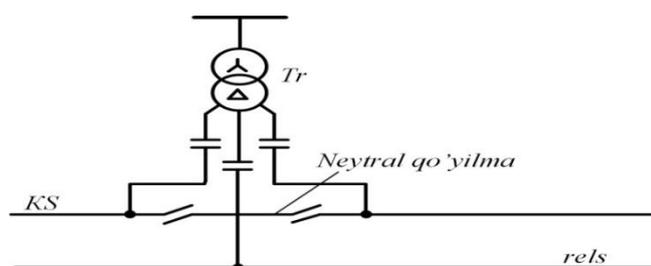
Ishda o'zgaruvchan to'kda ishlaydigan elektr xarakat tarkibining elektr ta'monot o'rnatiladigan bo'ylama va bo'ylama-ko'ndalang kompensatsion uskunalari texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlari tahlil qilinishiga ko'ra va shu asosda temir yo'l tizimidagi mavjud qo'llaniluvchi sxemalarni takomillashtirish, ya'ni iqtisodiy ko'rsatkichlarini hisobga olgan holda to'la foydalanish, aktiv isroflarni kamaytirish maqsadida yuqori ishonchlilikka va keng imkoniyatli kompensatsion uskunadan foydalanishga tavsiya etilgan.

В статье показан сравнительный анализ существующих схем устройств компенсации реактивной мощности, применяемых в системах электроснабжения электрифицируемых железных дорог, рекомендована схема, обеспечивающая высокую надежность и расширенные функциональные возможности, на основе сравнительного анализа технико-экономических показателей рассматриваемых схем.

In the work, a comparative analysis of existing schemes of reactive power compensation devices, used in electric power supply systems for electrified railways, recommended a scheme providing high reliability and extended functionality, based on a comparative analysis of technical and economic indicators of the schemes in question.

O'zgaruvchan to'kda ishlaydigan elektrlashgan temir yo'llar tortuvchi podstansiyalar orasidagi masofa 50-70 km va undan ko'p bo'lgani sababli yuklama oshganda me'yorlangan kuchlanish 27.5 kV kamayib borganligi elektrovozlarni tortish kuchini kamaytiradi. Shu sababli tortish tarmoqda yuklama uzliksiz o'zgargani sababli undagi kuchlanishni oshirish va stabillash uchun bo'ylama sig'imli kompensatsion uskuna (BKU) qo'llaniladi (1-rasm). Bunda tortuvchi transformatoridagi kuchlanish simmetriyalanadi hamda bir yo'la reaktiv quvvat ham ma'lum darajada kompensatsiyalanadi [1].

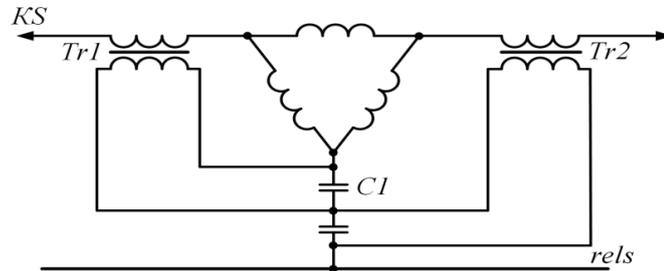
Tortuvchi podstansiyalarda kuchlanishni stabillash va simmetrlash uchun BKU tortuvchi transformatorning 27,5 kV tomoniga bitta, ikkita yoki uchta fazasiga ulanadi. Tortishni texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga ko'ra to'rtta qo'shish sxemasi mavjuddir: so'ruvchi simda o'rnatiladigan bir fazali BKU; so'ruvchi simda va kechikuvchi fazada o'rnatiladigan ikki fazali BKU; so'ruvchi simda va ilgarilovchi fazaga o'rnatiladigan BKU; hamda har bir fazadagi qarshiligi turli bo'ladigan uch fazali BKU (nosimmetrik BKU) [2]. Yuqorida qayd etilgan bir fazali va ikki fazali BKU ulanish sxemalarining mos fazalarda kompensatorlarni ulanmagan sxemalari tasvirlangan.



1-rasm. Tortuvchi podstansiyada BKU ulanish sxemasi:

Tr-transformator; *KS*-kontakt simi.

Bunday liniyalarda elektr tortish tarmog`i simlari, tortuvchi nimstansiyalar, seksiyalash postlari, boshqa liniya qurilmalari va kommutatsion qurilmalari uchun yuklama impulsli xarakterga ega bo`ladi. Bunda tortuvchi nimstansiyalarda maksimal yuklamalar miqdori, tortish elektr ta`minoti qurilmalaridagi kuchlanish yo`qolishlari va energiya isroflari ortadi, tok qabul qilish sharoitlari murakkablashadi hamda kontakt tarmog`i simlarining qizishi kuchayadi.

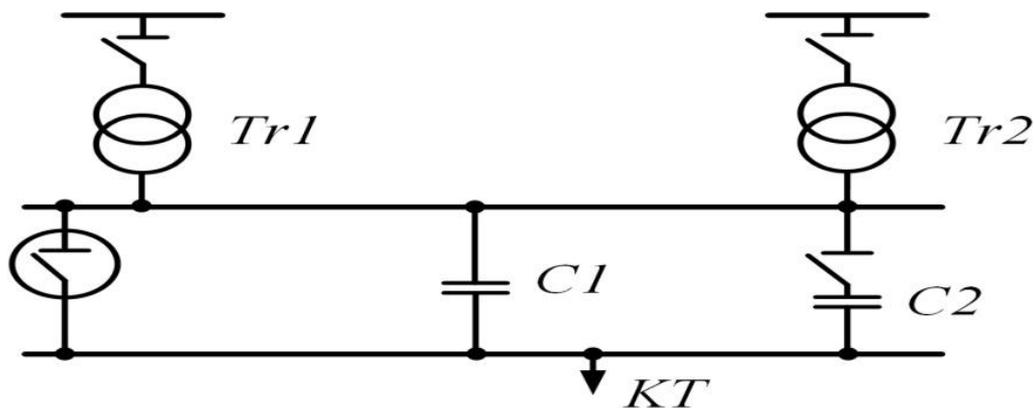


2-rasm. Podstansiyada transformatorli bog`langan BKU ulash sxemasi:

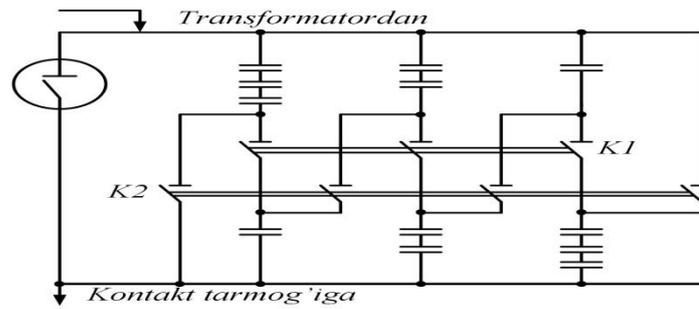
KS-kontakt simi; *Tr1*, *Tr2*-transformatorlar; *C1*-kondensator.

Uch fazali simmetrik BKU ulanishi oziqlantiruvchi havo uzatish liniyalari va tortuvchi podstansiyalarning induktiv qarshiliklarini kompensatsiyalab kuchlanish yo`qolishini kamaytirishga va simmetrlashga imkon beradi. So`ruvchi simga o`rnatilgan bir fazali fazalar-aro transformator bog`lanishli BKU ham shunday samara beradi (2-rasm). *Tr 1* va *Tr 2* transformatorlarning transformatsiya koeffitsienti $k_T = 0.75$, va BKU larning kompensatsiyalash darajasi $k_k = 1.8-1.85$ bo`lganda barcha fazalardagi kuchlanish yo`qolishi to`la kompensatsiyalanadi. Bu sxema *Tr 2* transformatorsiz ham ishlatilishi mumkin, lekin bu holda *Tr 1* ning transformatsiya koeffitsienti $k_T = 2:1$, *C1* seksiyaning kompensatsiyalash koeffitsienti $k_{k1} = 0.5$ va *C2* ni $k_{k2} = 1.5$ bo`lishi kerak bo`ladi. Alohida aytib o`tish joizki simmetrlash va kuchlanish stabilizatsiya saqlangan holda *Tr 1* transformator quvvat uch barobar kam bo`ladi. Amalda *Tr 1* transformator o`rnida ikkita so`ruvchi transformatoridan foydalaniladi, faqat ularni ikki chulg`ami ketma-ket, ikkita boshqa chulg`amlar esa parallel ravishda ulanadi.

Ma`lumki, yuklamalari katta bo`lgan tortuvchi podstansiyalarda ikkinchi transformator ulanadi, natijada oziqlantiruvchi liniyalari va transformatorlarni induktiv qarshiliklari 1.4-1.9 marta kamayadi. Binobarin ikkita transformator ulanganda kompensatsiyalovchi uskuna parametrlari, ya`ni sig`im qarshiligi va nominal tok ham o`zgaradi. Bu esa ularni rostdashni talab etadi. Ikki transformatorli podstansiyada rostdanadigan BKU dan foydalanish 3,a-rasmda ko`rsatilgan sxema ishlatiladi. Bu sxemaning kamchiligi *C2* kondensator quvvati foydalanilmaydi. Bu holda 3,b-rasmdagi sxemada kondensatorni quvvati samarali ishlatiladi.



a)

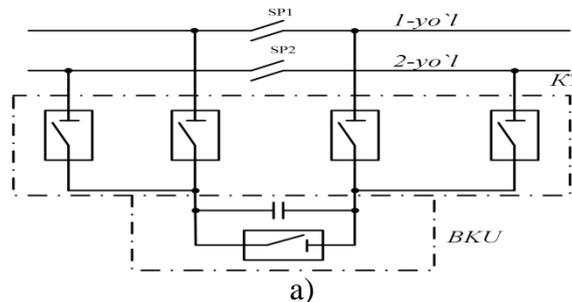


b)

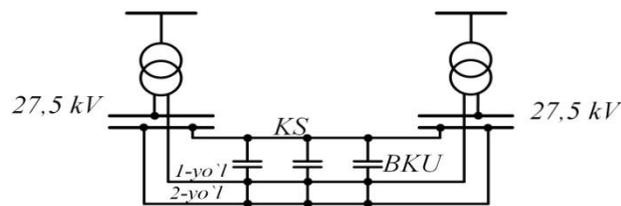
3-rasm. Rostlanadigan BKU da kondensatorlarni ajratib va qayta ulab uzish sxemalari:

3-a. rasm. KT-kontakt tarmog'i; Tr1,Tr2-transformatorlar; C1,C2-kondensatorlar. 3-b.rasm. K1,K2-kalitlar(uzib, ulagichlar).

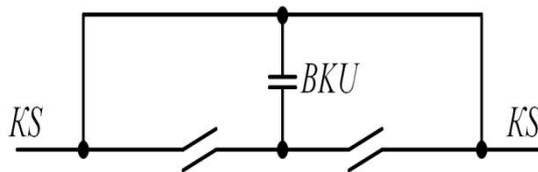
Agar bitta transformator ulansa ajratgich K1 ulanadi va ajratgich K2 ajratiladi ikkita transformator ulanganda esa ajratgich K1 ajratiladi, K2 esa qo`shiladi. Bunday BKU da nominal tok - 1.33 maratta o`zgaradi, sig`imli qarshiligi esa - 1.77 maratta o`zgaradi. Tortuvchi tarmoqdagi aktiv isroflar katta bo`lganda, bir tomonlama oziqlantiriladigan fider zo`nalarda uchraganda BKU tortuvchi tarmoqqa bevosita ulanadi va induktiv qarshilik kompensatsiyalanadi. BKU ni eng sodda ulanishi-bu kontakt tarmog`ining sektsiyalanishi joyiga ulashdir, misol uchun sektsiyalash postlarida (4-a. rasm). Lekin bu holda kontakt tarmog`ining havo oralig`larida yoy paydo bo`lishi mumkin. BKU quvvat oshgan sari yoy jadalligi oshadi[3]. Havo oralig`ining ishonchliligini oshirish uchun ma`lum bo`lgan himoya usullari qo`llaniladi. Shu bilan birga havo oralig`ini o`chirgich bilan shuntlash ham qo`llaniladi. Bunda BKU dagi kuchlanish nol bo`lganda tok qabul qilgich o`tishidan avval qo`shiladi.



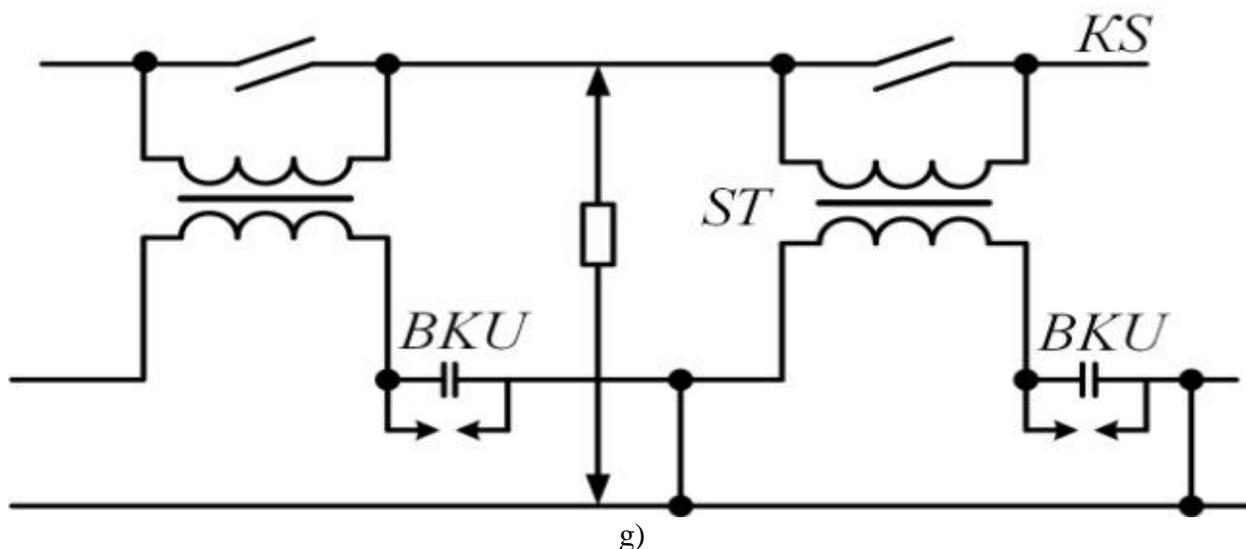
a)



b)



v)



4-rasm. BKU ni kontakt tarmog`iga ulash sxemalari.

a-seksiyalash postining ajratgichiga; *SP1, SP2*-seksiyalash postlari; *BKU*-bo`ylama kompensatsion uskuna; *KT*-kontakt tarmog`i. *b*-qo`shimcha qarshilik bilan foydalanishi; *KS*-kontakt simi; *BKU*-bo`ylama kompensatsion uskuna. *v*-kontakt tarmog`ini chegaralangan uchastkasida; *BKU*-bo`ylama kompensatsion uskuna; *KS*-kontakt simi. *g*-so`ruvchi transformatorning teskari simiga ulangan; *KS*-kontakt simi; *BKU*-bo`ylama kompensatsion uskuna; *ST*- so`ruvchi transformator.

Qo`shimcha sim (QS) bilan ulangan BKU kontakt tarmog`iga ulangan havo oraliqqa, hamda podstansiyalar orasidagi muvozanat toklariga ta`sir etmaydi (4.b-rasm). Elektrovoz BKU yaqin bo`lgan holatda kuchlanish yo`qolishi kompensatsiyalangan sigma bog`liq bo`ladi (4.v-rasm).

Kontakt tarmog`ida so`ruvchi transformator (ST) bo`lganda BKU ni transformatorlarni ikkilamchi cho`lg`amiga ulash mumkin (4-g. rasm). Bu holatda so`ruvchi transformatorning quvvati kamroq bo`lishiga va ular orasidagi masofa kamayishiga erishiladi.

Rostlanmaydigan BKU lar kamchiligi: kuchlanish stabilanmasligi va reaktiv quvvati to`la kompensatsiyalanmasligida bo`ladi. Qo`shimcha sim bilan ulangan BKU sxemani reaktiv tormozlash uchastkalarida qo`llash maqsadga muvofiqdir. Bu holatda intensive rekuperatsiya bo`ladigan kontakt tarmog`ining uchastkasi qo`shimcha sim bilan shuntlanadi, kontakt tarmog`ining shu uchastkasi seksiyalanadi va qo`shimcha sim BKU orqali ulab qo`yiladi. Bunday sxema rekuperatsiyalanayotgan elektrovoz quvvat koeffitsientini oshirishga imkon beradi.

“Yuqori tezlikli temir yo`l magistrallari elektr ta`minoti tizimlarini takomillashtirish” bo`yicha temir yo`l elektr ta`minoti tizimini elektr energiyasi bilan uzluksiz va ishonchli ta`minlashda yangi, zamonaviy va keng imkoniyatli elektr qurilmalardan foydalanish tavsiya etiladi.

Adabiyotlar

1. Amirov S.F. Elektrlashgan temir yo`llar elektr ta`minoti: Oliy temir yo`l o`quv yurtlari talabalari uchun darslik. – Toshkent: «ADAD PLYUS» MChJ, 2016. – 492 b.
2. Amirov S.F., Yakubov M.S., Jabborov N.G`. “Elektrotexnikaning nazariy asoslari”, 1-, 2- va 3-kitoblar. Oliy o`quv yurtlari talabalari uchun o`quv qo`llanma. –Toshkent: “o`zbekiston” nashriyot matbaa ijodiy uyi, 2007 y. -141 b, 128 b, 160 b.
3. Safarov A.M., G`oyibov T.SH., Sulliyev A.X. Elektr tarmoqlari va tizimlari: oliy o`quv yurtlari talabalari uchun o`quv qo`llanma. –Toshkent: tafakkur bo`stoni, 2013.-244 b.

УДК 621.311

Магистрант ЭФ А.Болиев,
науч. рук. д.т.н., проф. М.М.Мухаммадиев, ТашГТУ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье рассматривается необходимость использования гидравлической энергии при эксплуатации гидроэлектростанций. Показано повышение их эффективности за счет использования холостого сброса воды в нижнем бьефе с применением микрогидростанций. Разработана программа определения параметров микроГЭС при использовании их в условиях эксплуатируемых гидроэлектростанций.

Maqolada gidroelektrostansiyalarda eksploatatsiya jarayonida gidravlik energiyani ishlatish majburiyatlari amalga oshiriladi. Ayniqsa quyi befga suvni salt tashlash samaradorligini oshirish uchun mikrogidrostansiyalar qo'llanilishi. Gidroelektrostansiyalarni ekspluatatsiya qilishda mikroGESni parametirlarini aniqlovchi programma ishlab chiqilgan.

The necessity of using hydraulic energy in operation of hydroelectric power stations was carried out in the article. Especially for increasing their effectiveness, due to the use of idle discharge of water into the bottom pools with the use of a microhydro station. A program has been developed for determining parameters of microhydro power plants using operated hydroelectric power stations.

Возобновление интереса к малой гидроэнергетике обусловлено совпадением нескольких факторов:

1. Стратегическими подходами к энергетическим источникам в связи с обостряющимися периодическими топливными кризисами.

2. Ограничением возможностей для строительства крупных гидроэнергетических комплексов во многих странах мира, в основном в развитых странах, связанных с тем, что при их строительстве и эксплуатации возникали значительные негативные экологические последствия.

3. Быстрый прогресс в области создания миниатюрных автономных электронных устройств по контролю и регулированию технологических процессов, в том числе и по дистанционному управлению малыми гидрогенераторами, работающими в сети или автономно.

В настоящее время в развитых странах наблюдаются два основных направления в развитии малой гидроэнергетики.

Первое направление – это энергетическое использование плотин и водохранилищ, созданных для водоснабжения. И хотя многие из них уже используются для выработки электроэнергии, всё ещё велик потенциал подобных неиспользованных схем.

Второе направление – использование малых водотоков с помощью бесплотинных ГЭС или строительство малых ГЭС с традиционной компоновкой в новых створах.

Есть и третье направление – это использование гидропотенциала холостого водосброса, который до настоящего времени не используется.

Указанная выше проблема наиболее интересна и для эксплуатируемых гидроэлектростанций малой мощности: Бозсуйская, Актепинская, Шейхантаурская, Бурджарская, Нижне-Босуйская и др.

Лидером в строительстве малых и микроГЭС является Китай, где за последнее десятилетие построено более 100 000 малых и микроГЭС суммарной мощностью около 10000 МВт. Причем в Китае успешно производятся малые гидроагрегаты, техническая документация «ноу-хау» для которых была закуплена в СНГ 30-40 лет назад.

На канал Даргом введена в строй новая гидроэлектростанция мощностью 3,0 МВт.

Строительство гидроэлектростанции – лишь небольшая часть работы, проводимой в рамках государственной программы по сооружению средних и малых гидроэлектростанций.

В Узбекистане активизировались работы по выполнению государственной программы энергосбережения, важной составляющей которой является строительство малых и средних гидроэлектростанций. Сейчас объединение эксплуатирует пока два таких объекта - Андижанская ГЭС мощностью 140 мВт и Туямуюнская (150 мВт). Их общая годовая выработка составляет порядка 1-1,2 млрд.кВт/часов электроэнергии. Она добавляется в единую энергосистему государственной акционерной компании “Узбекэнерго”.

В 2003 году запущено два агрегата по 15 мВт Туполангской ГЭС, затем будут запущены еще два по 72,5 мВт - здесь предстоит выполнить строительно-монтажных работ на 6 млрд. сум, строится малая ГЭС на Ахангаранском водохранилище (21 мВт). Подобные объекты возводятся в Шахимардане, куда электроэнергия с перебоями поступает из Кыргызстана, а с пуском здесь ГЭС появится возможность, наоборот, туда подавать ток. Ведется строительство малых гидростанций на Андижанском и Гиссаракском водохранилищах, готов к осуществлению проект на Туямуюнском водохранилище, по ряду объектов объявлен тендер на изготовление и закупку оборудования.

Микрогидроэлектростанция ПР5-Г-20 и ПР7-Г-20.

Микрогидроэлектростанции состоят из:

- микрогидротурбины пропеллерной, включающей специально спрофилированный направляющий аппарат и рабочее колесо, позволяющие использовать энергию водотока с высоким к.п.д.;

- энергоблока, включающего генератор, в качестве которого использован трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором;

- автобалластной нагрузки.

- регулятора для автоматической стабилизации напряжения и частоты путем перераспределения электроэнергии между потребителем и автобалластной нагрузкой. Неиспользованная потребителем энергия превращается в тепло в нагревательных элементах автобалластной нагрузки. Полученное тепло можно использовать для хозяйственных нужд. Регулятор оборудован системой индикации режимов работы и защиты микроГЭС и потребителя от аварийных ситуаций;

- водозаборника, который соединяется с турбиной трубопроводом диаметром 250...300 мм.

Основные характеристики микроГЭС ПР5-Г-20:	
Напоры нетто, м	3,0...5,0
Диапазон расходов, м ³ /с	0,12...0,16
Частота вращения, об/мин	1500
Мощность на зажимах генератора, кВт	2,7...5,0
Напряжение на зажимах генератора, В	220/380
Номинальная частота, Гц	50±1/60±1
Габаритные размеры, мм	1600x400x685
Масса, кг	260
Основные характеристики микроГЭС ПР7-Г-20:	
Напоры нетто, м	4,0...7,5
Диапазон расходов, м ³ /с	0,13...0,24
Частота вращения, об/мин	1500
Мощность на зажимах генератора, кВт	3,0...10,0
Напряжение на зажимах генератора, В	220/380
Номинальная частота, Гц	50±1/60±1
Габаритные размеры, мм	1600x400x685

Масса, кг	310
-----------	-----

Для технико-механического обоснования параметров микроГЭС с затворами ГТС разработана следующая программа расчета. На рисунке представлена схема микроГЭС и ГТС с соответствующими расчетными параметрами.

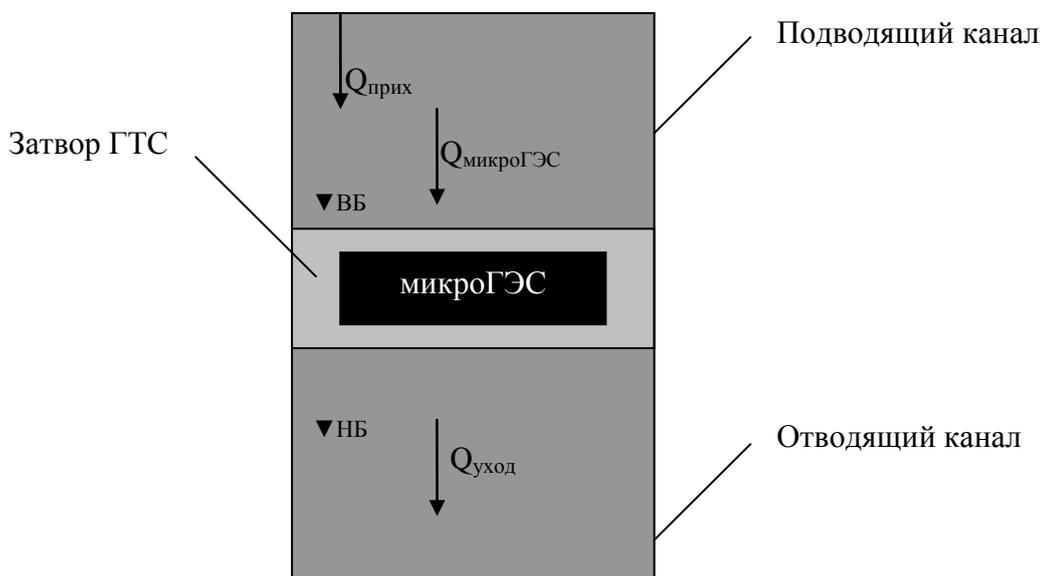


Рис. Схема использования затвора ГТС с микроГЭС:

$Q_{\text{прих}}$ – расход пропускаемой воды по подводящему каналу; $Q_{\text{микроГЭС}}$ – расход ГЭС; $Q_{\text{уход}}$ – расход уходящей воды по отводящему каналу.

Напор в микроГЭС определяется как:

$$H = \left(\Delta_{\text{ВБ}} + \frac{Q_{\text{прих}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} - \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - \left(\Delta_{\text{НБ}} - \frac{Q_{\text{уход}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} + \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - h_w = [M],$$

где ▼ ВБ - отметка воды до затвора, т.е. отметка верхнего бьефа микроГЭС, м;
 ▼ НБ - отметка воды после затвора, т.е. отметка нижнего бьефа микроГЭС, м;
 $S_{\text{дно_вб}}$ и $S_{\text{дно_нб}}$ - площади дна верхнего и нижнего бьефа, м²;
 h_w - потеря напора водопроводящего тракта микроГЭС, м;
 t - время работы микроГЭС, с.

Потеря напора в водопроводящем тракте микроГЭС определяется как:

$$h_{w_{x.вс}} = 1,1 \cdot \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{16 \cdot Q_{x.вс}^2}{\pi^2 g \cdot D^4} = 0,182 \cdot \lambda \cdot \frac{L \cdot Q_{x.вс}^2}{D^5} = [M],$$

где L - длина водопроводящего тракта микроГЭС, м;
 D - диаметр водопроводящего тракта микроГЭС, м;
 λ - коэффициент гидравлического трения определяется:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_3}{D} \right),$$

где Δ_3 - коэффициент шероховатости стенок.

Исходя из того, что приходящий расход равен уходящему расходу воды $Q_{\text{микроГЭС}} = Q_{\text{уход}}$, тогда напор в холостом водосбросе выражается в следующем виде:

$$\begin{aligned} H &= \left(\Delta_{\text{ВБ}} + \frac{Q_{\text{прих}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} - \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - \left(\Delta_{\text{НБ}} - \frac{Q_{\text{уход}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} + \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - h_w = \\ &= \Delta_{\text{ВБ}} - \Delta_{\text{НБ}} + \frac{1}{S_{\text{дно_вб}}} (Q_{\text{прих}} \cdot t - Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t) - h_w = [M] \end{aligned}$$

Будем рассматривать, что $t=1$ с, потому что единица измеренного расхода м³/с и

$Q \cdot t = W = M^3$ даёт объем, в этом случае напор в холостом водосбросе определяется по формуле:

$$H = \Delta BB - \Delta HB + \frac{1}{S_{\text{дно-вб}}} (Q_{\text{прих}} \cdot t - Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t) - h_w = [M]$$

Полная мощность микроГЭС:

$$N_{\text{микроГЭС}} = 9,81 \cdot Q_{\text{микроГЭС}} \cdot H_z = [кВт],$$

где H - геометрический напор микроГЭС, определяемый по следующей формуле:

$$H = \Delta BB - \Delta HB + \frac{1}{S_{\text{дно-вб}}} (W_{\text{прих}} - W_{\text{микроГЭС}}) = [M]$$

Мощность микроГЭС:

$$N_{\text{ГЭС}} = 9,81 \cdot Q_{\text{ГЭС}} \cdot \eta_{\text{ГА}} = [кВт],$$

где $\eta_{\text{ГА}}$ - коэффициент полезного действия гидроагрегата ГЭС, %.

Если микроГЭС пропускает весь проходящий расход через микроГЭС ($Q_{\text{микроГЭС}} = Q_{\text{ход}}$), тогда мощность микроГЭС будет равна:

$$N_{\text{микроГЭС}} = 9,81 \cdot Q_{\text{микроГЭС}} \cdot \eta_{\text{ГА}} = [кВт],$$

Капитальное вложение для создания микроГЭС на имеющемся затворе ГЭС определяется по следующему пути:

$$K_{\text{микроГЭС}} = N_{\text{микроГЭС}} \cdot k_{\text{уд}} = [\text{сум}],$$

где $k_{\text{уд}}$ - удельная капиталовложения на 1 кВт, сум/кВт.

Ежегодная вырабатываемая электроэнергия микроГЭС:

$$\mathcal{E}_{\text{микроГЭС}} = N_{\text{микроГЭС}} \cdot T = 9,81 \cdot Q_{\text{микроГЭС}} \cdot H \cdot \eta_{\text{ГА}} \cdot T = [кВт \cdot ч],$$

T - время использования микроГЭС в течение года.

Эксплуатационные затраты по микроГЭС определяются:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 = [\text{сум}].$$

Z_1 - амортизационные расходы;

$$Z_1 = 0,029 \cdot K = [\text{сум}].$$

Z_2 - ремонтные работы

$$Z_2 = 0,3 \cdot K = [\text{сум}].$$

Z_3 - годовая заработная плата,

$$Z_3 = m \cdot 3 \cdot 12 = [\text{сум}].$$

m - количество работников, $m = 2, 3$ - месячная заработная плата, сум.

Цена выработанной электроэнергии микроГЭС:

$$Ц = \mathcal{E}_{\text{микроГЭС}} \cdot \beta \cdot T = [\text{сум}],$$

β - стоимость 1 кВт-час электроэнергии, сум/ кВт-час.

Экономия условного топлива:

$$П_{\text{топливо}} = \mathcal{E}_{\text{микроГЭС}} \cdot G = [\text{сум}],$$

G - удельный расход условного топлива, кг/(кВт*ч).

Доход от экономии условного топлива:

$$Д_{\text{топливо}} = П_{\text{топливо}} \cdot Ц_{\text{топливо}} = [\text{сум}],$$

$Ц_{\text{топливо}}$ - средняя цена 1 кг условного топлива, сум/кг.

Чистая прибыль:

$$Ч_n = Ц + Д_{\text{топливо}} - З = [\text{сум}].$$

Сопоставительный экономический коэффициент эффективности

$$E = Ч_n / K.$$

Срок окупаемости $T_{\text{ок.}} = 1/E = [\text{лет}]$.

Исходя из выше изложенного, можно сказать, что с помощью микроГЭС можно решить вопрос энергообеспечения, энергоресурсосбережения, улучшения режимов работы энергосистемы, сохранение экологической чистоты и т.д.

Литература

1. Захидов Р.А., Кивалов С.Н. Мониторинг работы комбинированной солнечно – ветровой системы электроснабжения// Гелиотехника. – Ташкент, 2004. № 1. С.71-79.
2. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Потаенко К.Д. Стоимости энергии в комбинированных солнечно – ветровых энергоустановках// Гелиотехника. – Ташкент, 2008. №3. С. 37- 40.
3. Муминов М.И., Сандалов В.Н., Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Автономный ветро – солнечный комплекс для получения электроэнергии и пресной воды// Гелиотехника. – Ташкент, 2003. №4. С.76-80.
4. Муминов Р.А., Нурбаев К.М. Исследования в области использования солнечной энергии в Узбекистане // Гелиотехника. – Ташкент, 2005. №1. С. 24 – 27.
5. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Мамадиёров Э.К. Использование возобновляемых источников энергии при локальном энергоснабжении// Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2006. № 4. С. 26 -30.
6. Gieseppe Chimento. Hybrid systems. // Гелиотехника, 1992. № 6. С.53-58.
7. Kolousek Milan. Small energy systems for telecommunications equipment in cold climate remote areas.// INTELEC-86: Int. Telecommun. Energy Conf., Toronto, 19-22 Oct., 1986. - New York, N.Y,1986.P.317-324.
8. Мухаммадиев М.М, О.Я. Гловацкий, Ф.Ж.Носиров. Некоторые методы экономии энергосбережения при эксплуатации гидравлических машин.// Инновационные технологии. – Карши, 2017. №4. С. 36-40.