

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКАМИ РАЗНОГО ТИПА

Ербаев Е.Т.¹, Артюхов И.И.², Степанов С.Ф.², Молот С.В.²

¹ГКП «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, Республика Казахстан (090000, Уральск, ул. Жангир хана, 51), e-mail: erbol.erbaev@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия (410054, Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: epp@sstu.ru

Для электроснабжения потребителей децентрализованных зон широкое применение получили дизельные генераторы (ДГ). Основной недостаток этих генераторов как источников электроэнергии – высокий удельный расход дизельного топлива при неравномерном графике нагрузки. Для уменьшения эксплуатационных затрат на приобретение и доставку топлива для работы дизель-генераторов их дополняют возобновляемыми источниками энергии, в частности генераторами, использующими энергию ветра. В статье проведен анализ схем построения ветро-дизельных электростанций, отличающихся составом оборудования и организацией режимов работы. Предложены технические решения, позволяющие повысить надежность систем автономного электроснабжения на основе ветро-дизельных электростанций, в которых суммирование мощности источников энергии осуществляется на шине постоянного тока. Предлагается осуществлять оперативный контроль нагрузочной способности источников энергии, разделять во времени пусковые режимы электродвигателей и ограничивать токи в этих режимах за счет динамической компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: дизель-генератор, ветрогенератор, преобразование энергии, гибридная электростанция

FEATURES OF STAND-ALONE WIND-DIESEL POWER SYSTEM CONSTRUCTION WITH DIFFERENT TYPE ELECTRICAL RECEIVERS

Erbaev E.T.¹, Artyukhov I.I.², Stepanov S.F.², Molot S.V.²

¹West Kazakhstan Agrarian-Technical University named Zhangir khan, Uralsk, Republic of Kazakhstan (090000, Uralsk, Zhangir khan str., 51), e-mail: erbol.erbaev@mail.ru;

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russian Federation, Saratov (410054, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77), e-mail: epp@sstu.ru

Power supply of decentralized zones widely uses diesel generators. The main demerit of these generators as energy sources is high specific diesel fuel rate when load curve is nonlinear. Diesel generators are complemented with renewable power sources, in particular, with wind turbines, to reduce operating costs on buying and delivery the fuel. The article deals with the analysis of wind-diesel power plant scheme construction. These power plants are differed list of equipment and organization operating modes. The technical solutions to improve the reliability of stand-alone power systems based on wind-diesel power plants in which the sum of power energy sources is carried out on the DC bus are proposed in it. The article proposes to exercise in-process control of power source load capacity, to split time starting operating modes of electric motors and limit the currents in them at the expense of dynamic reactive power compensation.

Keywords: diesel generator, wind turbine, energy conversion, hybrid power plant

Для электроснабжения потребителей децентрализованных зон широкое применение получили дизельные генераторы (ДГ). Эти генераторы обычно выбирают по суммарной присоединенной мощности одновременно работающих электроприемников, которая определяется за получасовой максимум в интервале времени с наибольшей нагрузкой с учетом их среднего коэффициента мощности. При создании технологического графика сначала рассматривают процессы, которые необходимо обеспечить в полном объеме, затем те, которые могут обслуживаться в ограниченном диапазоне мощности. Следует также

стремиться уменьшать расчетную нагрузку, снижая требуемую мощность по некоторым процессам, переносить отдельные процессы на другое время суток и т.п.

Состав электропотребляющего оборудования объектов автономного электроснабжения (например, автозаправочной станции, коттеджного поселка, фермерского хозяйства и т.п.) отличается значительным разнообразием по мощности и времени использования. Электропотребление носит очень неравномерный характер в течение суток, месяца, сезона и года в целом. Если рассчитать средневзвешенную мощность, потребляемую хозяйством, то она окажется не очень высокой. Основное внимание следует уделить пиковой потребляемой мощности.

Пиковая мгновенная потребляемая мощность определяется суммарной мощностью всех электроприемников, которые могут быть включены одновременно, т. е. наихудшим случаем с точки зрения нагрузки на источник электропитания. Суточные пики потребления электроэнергии бывают обычно утром и вечером. Особенно это характерно для зимнего периода, когда к эксплуатации обычных приборов прибавляются электрические обогреватели.

Однако, несмотря на значительное количество электрооборудования в том же фермерском хозяйстве ситуация, когда все оборудование или большая часть его включаются одновременно, не возникает. Так, например, среднегодовая мощность для семьи из 4 человек составляет 0,7 кВт. При этом средний пик потребления небольшого дома составляет чуть более 3 кВт.

Более сложная ситуация имеется в фермерском хозяйстве из-за наличия дополнительного специализированного электрооборудования: зернодробилки, электроплуга, установки приготовления кормов, насосов, ряда другого оборудования. Например, электроплуг мощностью 10 кВт используется всего несколько раз в год. Некоторые из видов оборудования принципиально не будут работать одновременно (скажем, снегоуборщик и газонокосилка используются в разные сезоны).

Если потребитель не хочет даже и задуматься об экономии и обычно никогда не считает деньги, то можно принять решение по приобретению оборудования максимальной мощности, которая будет способна выдать постоянную мощность 12–15 кВт (в соответствии с пиковым потреблением), и тогда вопрос — включать или не включать какое-либо оборудование — не возникает. Однако это будет преждевременный, неоправданный шаг, приводящий к абсолютно лишним финансовым затратам. Ведь на самом деле максимальная мощность будет использоваться только в течение 1–2 ч в день, причем не каждый день. При этом не следует забывать, что чем больше мощность электрогенерирующего оборудования,

тем больше денег необходимо потратить на покупку, а затем — на его дальнейшее обслуживание.

Основной недостаток ДГ как источников электроэнергии — высокий расход дизельного топлива, которое зачастую необходимо доставлять в удаленные районы. Немаловажным является также то обстоятельство, что использование ДГ, мощность которого выбрана по суммарной присоединенной мощности одновременно работающих электроприемников, приводит к существенному увеличению удельного расхода топлива.

Одним из способов уменьшения эксплуатационных затрат на приобретение и доставку топлива для работы ДГ является применение возобновляемых источников энергии в системах автономного электроснабжения. Причем одна и та же надежность поставки электроэнергии может быть обеспечена различными автономными системами электроснабжения на основе ВИЭ, отличающимися параметрами и составом. При этом стоимость электроэнергии зависит от параметров и состава этих систем, и функция этой зависимости имеет минимум [2].

Наличие в регионе такого энергоносителя, как ветер, делает целесообразным применение гибридных электростанций [4], в которых дизель-генераторы дополняются ветрогенераторами (ВГ).

Возможны различные варианты построения ветро-дизельных электростанций (ВДЭС), отличающиеся не только составом оборудования, но организацией режимов работы [1, 5]. В настоящее время наиболее часто применяют схему, в которой источники подключаются непосредственно к шине переменного тока нагрузки без промежуточного преобразования электроэнергии. Благодаря отсутствию дополнительных преобразований электроэнергии в такой схеме обеспечивается высокий КПД в целом. Определенной проблемой схемы с суммированием мощности на шине переменного тока является включение на параллельную работу двух и более генераторов различной мощности и распределение нагрузки между ними.

Структурная схема ВДЭС без накопителя энергии показана на рисунке 1. Суммирование мощности ДГ и ВГ осуществляется на шине переменного тока, к которой подключается нагрузка Н. ДГ в этой схеме работает с фиксированной частотой вращения выходного вала при любой нагрузке, что необходимо для получения заданной частоты 50 Гц. ВГ может работать с изменяемой частотой вращения вала, для чего его выход подключен к шине переменного тока через выпрямитель В и инвертор И.

В период безветрия и ураганов ВГ отключается, и ДГ берет на себя всю нагрузку. Соотношение мощностей ВГ и ДГ может быть различным, однако мощность ВГ не должна превышать мощность ДГ более чем на 20 %.

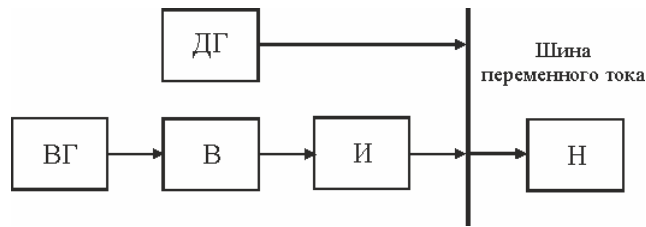


Рис. 1. Блок-схема ВДЭС без накопителя энергии и суммированием мощности на шине переменного тока

На рисунках 2 и 3 представлены блок-схемы ВДУ с накопителями энергии в виде аккумуляторных батарей АБ, причем в первой из них суммирование мощностей ДГ и ВГ осуществляется на шине переменного тока, а во второй – на шине постоянного тока.

В схеме на рисунке 2 заряд-разряд АБ производится через двунаправленный преобразователь ДП, который подключен к выходу выпрямителя В. В схеме на рисунке 3 заряд АБ осуществляется через ДП от напряжения на шине постоянного тока при совместной или раздельной работе ДГ и ВГ. В случае необходимости АБ отдает энергию в нагрузку через ДП и инвертор И.

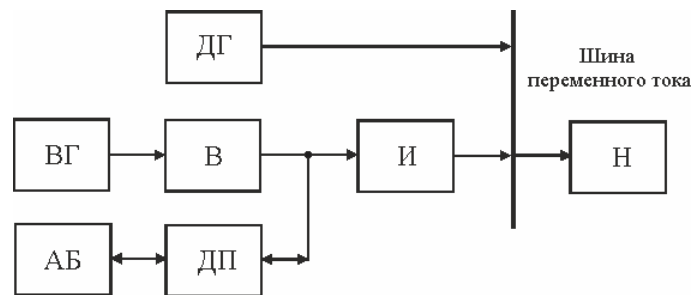


Рис. 2. Блок-схема ВДЭС с накопителем энергии и суммированием мощности на шине переменного тока

В схеме на рисунке 3 ДГ и ВГ могут работать в режимах переменной частотой вращения вала и, следовательно, переменной генерируемой мощности. Для ДГ такой режим позволяет уменьшать частоту вращения вала агрегата с уменьшением необходимой генерируемой мощности с целью снижения расхода топлива. Для ВГ появляется возможность реализовать режим максимального использования энергии ветра [6].

Схемы на рисунках 2 и 3 применимы для высокопотенциальных ветровых зон, когда ВГ может являться основным источником энергии. При этом мощность ДГ может быть значительно меньше мощности ВГ, а для создания запаса энергии подключается АБ большой емкости. Однако такое техническое решение сопровождается увеличением стоимости системы и затрат на ее эксплуатацию.

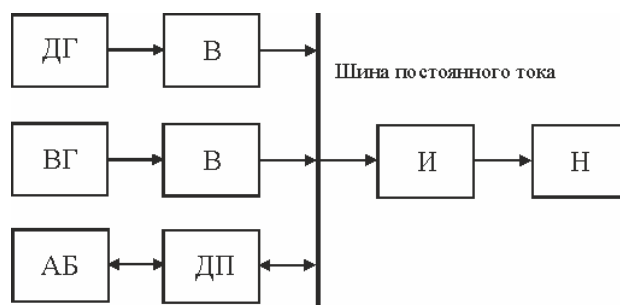


Рис. 3. Блок-схема ВДЭС с накопителем энергии и суммированием мощности на шине постоянного тока

Особенностью ВГ является крайне непостоянный характер выработки электроэнергии, который полностью зависит от скорости ветра. Максимальная мощность, выдаваемая ВГ, определяется выражением

$$P_{ВЭУ \text{ макс.}} = 0,5 \cdot \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген},$$

где ξ – коэффициент использования энергии ветра (в номинальном режиме для оптимальной быстроходности ВЭУ достигает максимум, равный 0,4–0,5), безмерная величина; R – радиус ротора, м; V – скорость воздушного потока, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $\eta_{ред}$, $\eta_{ген}$ – КПД редуктора и генератора соответственно, %.

При изменении скорости ветра в 2 раза мощность изменится в 8 раз. При этом очень значительно будут изменяться величина и частота генерируемого напряжения.

В технических условиях на ВГ указывается скорость ветра, при которой будет получена номинальная мощность. Как правило, это скорость ветрового потока, равная 10–12 м/с. Это достаточно сильный ветер, который бывает ограниченное количество дней в году. Например, ВЭУ-1, имеющая номинальную мощность 1 кВт, на самом деле при скорости ветра 6 м/с развивает мощность всего 200 Вт. Среднегодовой коэффициент использования мощности ВГ составляет 10–15 % при среднегодовой скорости ветра 4,5–5 м/с.

При определении необходимой мощности ВГ и ДГ необходимо учитывать не только состав и режим работы электроприемников, но и их электромеханические характеристики. Так, если в составе электроприемников имеются мощные асинхронные электродвигатели (АД), то при их пуске возникают токи, в 5–7 раз превышающие номинальные значения.

Если ДГ в процессе работы был уже загружена на 50–60 % и требуется произвести пуск мощного электродвигателя, то следует учитывать, что его пуск приведет к сильной просадке напряжения и частоты. При этом сработает защита ДГ, и электроснабжение всех потребителей будет нарушено. В данной ситуации возможны поломки некоторого оборудования у потребителей.

Возможны следующие направления решения данной проблемы:

- 1) увеличение мощности ДГ и ВГ;
- 2) увеличение емкости АБ.

Надо сразу отметить, что реализация технических мероприятий по указанным направлениям требует существенных дополнительных материальных затрат. Поэтому более целесообразным может оказаться подход, который основан на оперативном контроле нагрузочной способности источников электроэнергии, разделении во времени пусковых режимов электродвигателей и ограничении токов в этих режимах. Схема ВДЭС, при построении которой применен этот подход, показана на рисунке 4.

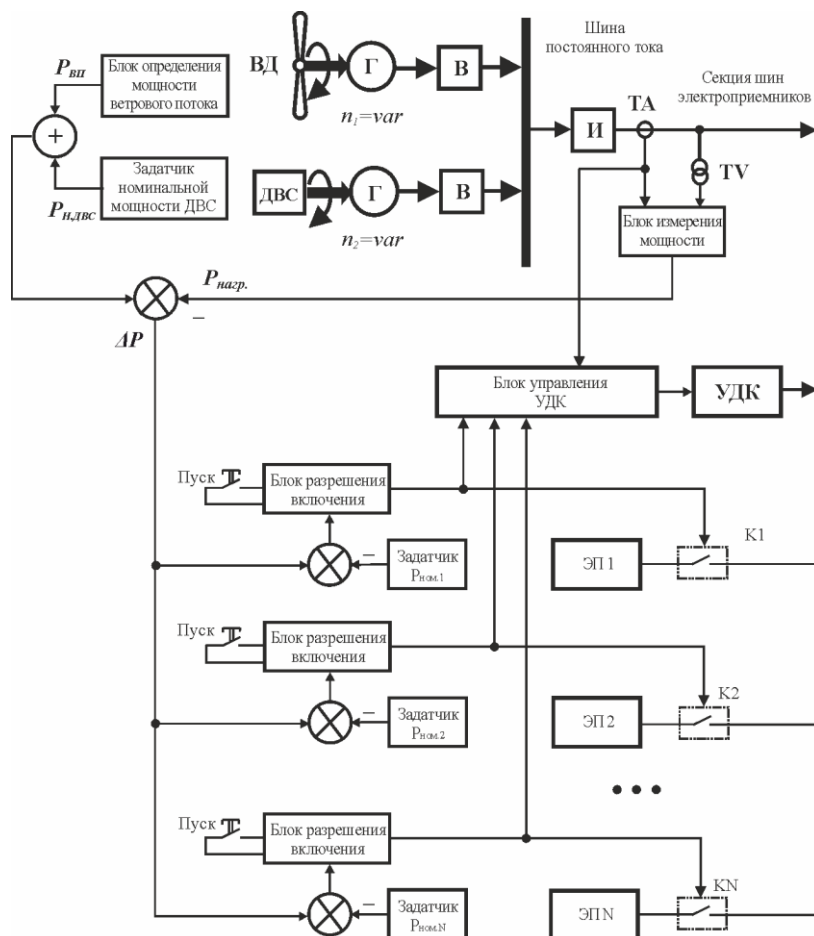


Рисунок 4. Схема ветро-дизельной электростанции с контролем нагрузочной способности и ограничением пусковых токов

В состав установки входят два источника электроэнергии:

- 1) ветрогенератор с ветродвигателем ВД и синхронным генератором на постоянных магнитах;
- 2) дизель-генератор с двигателем внутреннего сгорания ДВС и синхронным генератором с электромагнитным возбуждением и блоком управления.

Выходы ВГ и ДГ через выпрямители В подключены к шине постоянного тока, от которой получает питание инвертор И. Накопитель энергии в рассматриваемой схеме ВДЭС отсутствует.

К выходу инвертора И могут быть подключены электроприемники ЭП1 – ЭПН через коммутаторы К1 – КN, которые имеют управляющие входы, соединенные с блоками разрешения включения.

ВГ оснащен блоком определения мощности ветрового потока, ДГ – задатчиком номинальной мощности ДВС. На выходе инвертора И установлен блок измерения мощности с датчиками тока ТА и напряжения TV. Электроприемники ЭП1 – ЭПН снабжены задатчиками номинальной мощности $P_{ном.k}$.

Функционирование ВДЭС осуществляется следующим образом. Электрическая энергия, вырабатываемая ВГ и ДГ, после преобразования выпрямителями В в энергию постоянного тока поступает на общую шину постоянного тока. Далее она с помощью инвертора И преобразуется в электроэнергию трехфазного переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 380 В.

В системе осуществляется оперативный контроль нагрузочной способности источников электроэнергии. Для исключения аварийных ситуаций, обусловленных перегрузкой ВГ и ДГ, подключение электроприемников ЭП1 – ЭПН к сборной шине производится только в том случае, когда в системе электроснабжения имеется определенный запас мощности, который определяется следующим образом:

$$\Delta P = P_{ВП} + P_{Н.ДВС} - P_{НАГР.},$$

где $P_{ВП}$ – мощность ветрового потока; $P_{Н.ДВС}$ – номинальная мощность ДВС; $P_{НАГР.}$ – активная мощность нагрузки.

После нажатия кнопки «Пуск» блок разрешения включения выдает сигнал на запуск соответствующего электроприемника, если выполняется условие:

$$\Delta P - P_{ном.k} > P_0,$$

где P_0 – некоторая наперед заданная величина.

Таким способом исключаются ситуации, когда одновременно включаются мощные электроприемники, при которых происходит перегрузка ВДЭС. При этом разделение во времени пусковых режимов мощных электроприемников позволяет уменьшить установленную мощность электрогенерирующего оборудования, что способствует снижению стоимости электрооборудования.

Если среди электроприемников имеются АД, то одновременно с процессом их пуска начинает работать устройство динамической компенсации УДК. Это устройство

контролирует реактивную составляющую тока электроприемников и генерирует реактивный ток, равный по величине этому току, но имеющий противоположную фазу [3]. За счет компенсации реактивной составляющей тока АД может быть достигнуто уменьшение пускового тока в 1,5–2 раза.

Список литературы

1. Артюхов И.И., Ербаев Е.Т. Варианты построения схем автономных ветро-дизельных установок / Новые технологии и технические средства в АПК: материалы Междунар. конф., посвященной 105-летию со дня рождения профессора Красникова В.В. (Саратов, 23–24 мая 2013 г.). – Саратов: Изд-во «КУБиК», 2013.– С. 9–11.
2. Воронин, С.М. Возобновляемые источники энергии в автономных системах энергоснабжения сельских объектов / С.М. Воронин. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2005. – 118 с.
3. Динамическая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения аппаратов воздушного охлаждения газа / И.И. Артюхов, С.Ф. Степанов, И.И. Аршакян и др. // Промышленная энергетика. – 2004. – № 6. – С. 47–50.
4. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
5. Обухов С.Г., Плотников И.А. Сравнительный анализ схем автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергии // Промышленная энергетика. – 2012. – №7. – С. 46–51.
6. Степанов С.Ф., Павленко И.М., Ербаев Е.Т. Обеспечение эффективной работы мультимодульной ветроэлектростанции при изменении скорости ветра и нагрузки // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-11407 (дата обращения: 02.03.2015).

Рецензенты:

Митяшин Н.П., д.т.н., профессор кафедры «Системотехника» Института электронной техники и машиностроения Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов;

Фурсаев М.А., д.т.н., профессор кафедры «Электротехника и электроника» Энергетического факультета Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов.