

УДК 631.31.539

О.К. Никольский, Н.И. Черкасова

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В статье рассмотрены вопросы электроснабжения сельских потребителей. Сформулировано и дано краткое описание различных факторов риска, включающих аварии в электрических сетях 0,4–10 кВ, снижение качества электроэнергии, техногенную опасность в электроустановках. Предложено оценить эффективность функционирования системы сельского электроснабжения на основе учета и прогнозирования рассматриваемых рисков.

Ключевые слова: риски, качество электроэнергии, техногенная безопасность, эффективность системы электроснабжения.

O.K. Nikolskiy, N.I. Cherkasova

THE ISSUES OF THE COMPLEX EFFICIENCY INCREASE OF THE RURAL CONSUMER POWER SUPPLY

The issues of the rural consumer power supply are considered in the article. The short description of the various risk factors including accidents in electric networks of 0,4–10 kW, decrease in the electric power quality, anthropogenic danger in electric installations is formulated and given. It is offered to assess the functioning efficiency of rural power supply system on the basis of the considered risk accounting and forecasting.

Key words: risks, energy quality, anthropogenic safety, power supply system efficiency.

Рассмотрим систему сельского электроснабжения (ССЭ) как сложную человеко-машинную систему, обладающую свойствами больших систем [1] и предназначенную в общем случае для производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

Для характеристики функционирования ССЭ введем интегральный показатель, включающий надежность электроснабжения (риски отказов), качество электроэнергии, доставляемой потребителю, и техногенную безопасность, определяемую электромагнитной совместимостью [2]. В свою очередь эффективность ССЭ будем характеризовать двумя составляющими, обусловленными, с одной стороны, структурой системы, т.е. составом элементов, их взаимосвязями и пропускной способностью, а с другой – особенностями режимных реализаций, их ограничениями.

Первую составляющую назовем структурной эффективностью (СЭ), вторую – функциональной эффективностью (ФЭ). Отметим, что такое деление является весьма условным, так как взаимосвязи этих составляющих очевидны. Вместе с тем введение показателей СЭ и ФЭ позволяет провести анализ и синтез ССЭ, решать задачи оценки рисков отказов, мониторинга качества электроэнергии и диагностики техногенной безопасности.

Риски отказов. Известно, что риск включает не только вероятность возникновения какого-либо события (например, аварий), но и последствия этого события (недоотпуск электроэнергии, различные виды ущербов). Первая составляющая относится к надежности системы или объекта, которая, в свою очередь, характеризуется такими ее свойствами, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и живучесть [3].

Система электроснабжения проектируется из высоконадежных элементов, отказ более двух независимых элементов в ней – маловероятное событие. В расчетах надежности обычно используются простые вероятностные модели, основанные на средних вероятностных состояниях элементов (потока отказов, вероятностей безотказного состояния и т.п.). Применение этих показателей обеспечивает необходимую точность при расчетах на продолжительных интервалах работы сети.

В настоящее время проблема анализа и прогнозирования риска в электроэнергетике объединяет два направления исследований в этой области [4]:

1. Измерение и моделирование риска, способы его количественной оценки. Здесь должны рассматриваться вопросы создания базы данных по авариям, расчетам надежности систем, оценки исходного состояния и определение остаточного ресурса.

2. Анализ аварий и травмоопасных ситуаций в электроустановках связаны с изучением причин возникновения и развития негативного события, его исхода. С этой целью могут быть использованы дерево событий и дерево отказов [5], позволяющие качественно установить возможные комбинации базисных или

элементарных событий, которые могут обусловить наступление последующего конечного события. Количественный анализ дерева отказов заключается в определении вероятностей наступления конечного события (аварии, электротравмы) на основе данных о вероятностях наступления базисных событий. Использование теории деревьев позволяет находить причинно-следственные связи между различными группами элементарных событий. Так, если необходимо выяснить, к каким последствиям может привести электротравма или авария в ССЭ, – строится дерево событий. Если требуется понять, что может стать причиной травмы или аварии, – строится дерево отказов.

Качество электроэнергии. Под термином «качество электрической энергии» (КЭ) понимается соответствие основных параметров ССЭ установленным нормам производства, передачи и распределения электроэнергии.

К основным показателям качества электроэнергии следует отнести отклонение напряжения, колебание напряжения, несинусоидальность напряжения, несимметрию напряжения и отклонение частоты.

Показатели КЭ, методы их оценки и нормы определяет ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Большинство явлений в системах электроснабжения, ухудшающих качество электроэнергии, происходит в связи с особенностями совместной работы электроприемников и электрической сети. В первую очередь это относится к потребителям. В настоящее время нарушение норм КЭ в системе сельского электроснабжения носит массовый характер. Кризис, переживаемый экономикой России (сельское хозяйство и электроэнергетика), акционирование энергетических компаний, критическая изношенность электрических сетей 0,4–10 кВ при заметном росте нагрузок потребителей и увеличении номенклатуры электрооборудования с нелинейными характеристиками и использование однофазных электроприборов, приводящих к несимметричным режимам, не позволяют достичь нужного эффекта от действующей нормативно-правовой базы, направленной на создание условий для обеспечения электромагнитной совместимости, предотвращения материального ущерба потребителей, обеспечения безопасности жизни и здоровья населения. Поэтому проблема нормализации КЭ остается чрезвычайно актуальной. Рассмотрим основные показатели КЭ и причины их ухудшения.

Отклонение напряжения – отличие фактического напряжения в установившемся режиме работы системы электроснабжения от его номинального значения. Отклонение напряжения, происходящее под воздействием медленного изменения нагрузки, ухудшает технологический процесс, увеличивает себестоимость продукции, повышает потери напряжения, снижает срок службы оборудования, повышает вероятность аварий и несчастных случаев.

Колебание напряжения – быстроизменяющееся отклонение напряжения длительностью от полупериода до нескольких секунд. Колебание напряжения происходит под воздействием быстроизменяющейся нагрузки сети. Их источниками являются электродвигатели при пуске, крупные электроприемники с импульсным, резкопеременным характером потребления активной и реактивной мощности. Колебание напряжения отрицательно влияет на работу сети и электрооборудования, приводит к отключению автоматических систем управления, в частности, магнитных пускателей, вызывают вибрацию электродвигателей и пульсацию светового потока осветительных приборов (фликер).

Несинусоидальность напряжения – искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Электроприемники с нелинейной вольтамперной характеристикой потребляют ток, форма кривой которого отличается от синусоидальной, появляются высшие гармоники тока и напряжения. Протекание несинусоидального тока по элементам сети создает на них падение напряжения, отличное от синусоидального. Источниками несинусоидального напряжения являются трансформаторы, асинхронные электродвигатели, статистические преобразователи, сварочные установки, бытовые электроприборы, газоразрядные осветительные приборы.

Несинусоидальность напряжения, а следовательно, и тока, приводят к потерям электроэнергии, ложным срабатываниям устройств управления и защиты. Фронт напряжения воздействует на изоляцию кабельных линий электропередач – учащаются однофазные короткие замыкания на землю. Несинусоидальность напряжения вызывает недоучет электроэнергии из-за тормозящего воздействия на индукционные счетчики гармоник обратной последовательности, а также выводит из строя компьютеры.

Несимметрия напряжения – несимметрия трехфазной системы напряжений, происходящая под воздействием неравномерного распределения нагрузок по ее фазам. Источниками несимметрии напряжения являются однофазные и двухфазные потребители, в том числе бытовые приборы, а также несимметричные трехфазные электроприемники. Несимметрия приводит к увеличению потерь, вызванных протеканием тока в нулевом проводе. Последнее в свою очередь может вызвать появление опасных потенциалов на металлических частях и конструкциях. Напряжения питания однофазных и двухфазных потребителей трехфазной

сети отличаются от номинальных напряжений, что вызывает те же последствия, как и при отклонении напряжения. Снижается срок службы электрических машин, в частности, возникают магнитные поля, вращающиеся встречно вращению ротора.

Отклонение частоты – разность, усредненная за 10 мин между фактическим значением основной частоты и ее номинальным значением, возникающая из-за баланса между мощностью, вырабатываемой генератором энергосистемы, и мощностью, требуемой предприятиями и потребителями. Основной причиной возникновения колебания частоты являются мощные приемники электроэнергии с резкопеременной активной нагрузкой. Активная мощность этих приемников изменяется от нуля до максимального значения за время менее 0,1 с, вследствие чего колебания частоты могут достичь больших значений. Однако изменение частоты даже в небольших пределах отрицательно влияет на работу сети и потребителей, в частности, приводит к потерям мощности.

В настоящее время ГОСТ 13109-97 предусматривает комплекс мероприятий по повышению качества электроэнергии. Вместе с тем представляет интерес исследование эффективности электрических сетей 10–0,4 кВ при пониженном качестве электроэнергии, так как большинство систем сельского электроснабжения работают и в обозримом будущем будут работать в режиме искажения КЭ. Как показано [2], работа трехфазных систем при несимметричных и несинусоидальных режимах в большинстве случаев сопровождается серьезными отрицательными последствиями, в первую очередь, ухудшением режима работы систем электроснабжения. Это в свою очередь может приводить к ухудшению технико-экономических показателей работы сетей, что в конечном итоге сказывается на результатах хозяйственной деятельности сельскохозяйственных предприятий. Кроме того, нарушение технических условий функционирования сетей приводит в ряде случаев к невозможности нормальной эксплуатации устройств управления, релейной защиты и т.д. На наш взгляд, ущерб, наносимый предприятиям АПК от искажения КЭ со стороны электроснабжающих предприятий, должен быть компенсирован скидками на тарифы с предъявлением штрафных санкций.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ №1013 от 13.08.1997 г. отпускаемая потребителям электроэнергия подлежит обязательной сертификации. Вместе с тем важная роль в обеспечении КЭ отводится ее потребителям. В этой связи появилась необходимость оценивать и контролировать КЭ не только в данной точке присоединения потребителя к энергоснабжающей организации, но и в различных удаленных узловых точках электрической сети. Как уже отмечалось, в настоящее время нарушение норм ЭМС, в том числе и отдельных показателей КЭ, носит массовый характер как для сельских распределительных сетей, так и для предприятий и объектов инфраструктуры села. Выбор эффективных мероприятий по повышению КЭ с целью сохранения условий ЭМС и улучшения функционирования электрических сетей 10–0,4 кВ во многом предопределяется исходной информацией об отдельных ПКЭ. Контроль этих показателей в течение определенного промежутка времени (мониторинг) или эпизодический контроль при проведении энергетических обследований задача нетривиальная. Большинство процессов в электрических сетях являются быстропротекающими, все нормируемые ПКЭ не могут быть непосредственно измерены, их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным данным. Поэтому для определения показателей качества электроэнергии необходимо не только проведение большого объема измерений, но и нужное методическое, аппаратное и программное обеспечение.

Техногенная безопасность. В последние годы в обществе наметились положительные тенденции в понимании актуальности проблемы техногенной безопасности в системах электроснабжения и электроустановок зданий. Эта проблема включает совокупность многофакторных задач обеспечения безопасности (электрической, пожарной и биоэлектромагнитной-экологической) и комфортность среды обитания человека и животного, а также надежного совместного функционирования информационно-технологического оборудования и электроустановок. Распределительные электрические сети 0,4–10 кВ являются наиболее распространенными, на долю которых приходится более 80 % общей протяженности воздушных линий. Последние доминируют в системах сельского электроснабжения. Как уже отмечалось, техническое состояние этих сетей критическое, их моральный и физический износ превышает 70 %, что не удовлетворяет требованиям как эффективности и надежности электроснабжения, так и электробезопасности.

Известно также, что уровень травматизма зависит от множества случайных факторов технического, организационного, экономического и физиологического характера. Что касается биологического влияния электрических и магнитных полей линий передач промышленной частоты на организм людей и животных, то несмотря на достаточно большой объем проведенных исследований, полученные результаты в ряде случаев противоречивы, неясны и трудно поддаются интерпретации. В этом случае затрудняется задача по выбору адекватных электрозащитных мероприятий. Важным, на наш взгляд, является использование многокритериальных моделей, при этом оценка эффективности системы электробезопасности может быть проведена путем анализа совокупности технических, экономических и других показателей.

Выводы

Для многих потенциально опасных объектов, к которым принадлежит ССЭ, характерны старение основных фондов, выработка сроков службы остаточного ресурса. Все это приводит к тому, что растет число аварий, приводящих к перерывам электроснабжения потребителей, травматизму людей и электропатологии животных. Система сельского электроснабжения в настоящее время не удовлетворяет условиям электромагнитной совместимости, как следствие, ухудшаются показатели качества электроэнергии. Для поддержания высокой эффективности функционирования ССЭ требуется мониторинг и диагностика основных ее показателей, анализ опасностей и рисков, связанных с эксплуатацией системы сельского электроснабжения. Это требует в свою очередь поиска новых нетривиальных подходов, направленных на выработку оптимальных решений в области управления рисками человеко-машинных систем.

Литература

1. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972.
2. *Основы электромагнитной совместимости: учеб. для вузов / под ред. Р.Н. Карякина; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова.* – Барнаул: Алт. полиграф. комбинат, 2007.
3. *Руденко Ю.Н., Ушаков И.А.* Надежность систем энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. *Анализ рисков отказов при функционировании потенциально опасных объектов/ Н.А Махутов, М.М. Гаденин, А.О. Чернявский [и др.] // Проблемы анализа риска.* – 2001. – Т. 9. – № 3.
5. *Рябинин И.А., Черкесов Г.Н.* Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981.



УДК 669.715

Р.М. Христинич, А.Р. Христинич, Е.В. Христинич

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКЦИОННОЙ МАШИНЫ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ

В статье приведены результаты математического моделирования индукционной машины с жидкометаллическим рабочим телом на основе электромагнитного перемешивателя жидкой сердцевины слитка. Проведен анализ характеристик индукционной машины и определены пути повышения эффективности ее работы.

Ключевые слова: индукционная машина, жидкометаллическое рабочее тело, эффективность работы, характеристики индукционной машины.

R.M. Khristinich, A.R. Khristinich, E.V. Khristinich

ENERGY CHARACTERISTICS OF THE INDUCTION MACHINE WITH THE LIQUID-METAL WORKING BODY

The results of mathematical modeling of the induction machine with the liquid-metal working body on the basis of the electromagnetic mixer of the bar liquid core are given in the article. The analysis of the induction machine characteristics is conducted and the ways of its work efficiency increase are defined.

Key words: induction machine, liquid metal working body, work efficiency, induction machine characteristics.

Индукционная машина с жидкометаллическим рабочим телом имеет свои особенности, отличные от классического асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Распределение усилий в жидкометаллическом рабочем теле носит неравномерный характер, что вызывает образование течений электропроводной жидкой фазы. Скорость течения и траектории движения электропроводной жидкой фазы в рабочем теле индукционной машины возникают под действием электродинамических сил, обусловленных электромагнитным полем индуктора (статора). Многокомпонентный характер движения слоев жидкометаллического рабочего тела накладывает особенности на работу такой электрической машины в целом, поэтому важно исследовать