

Системный анализ надежности и перспективы её повышения для систем электроснабжения потребителей

М.А. Таранов, П.Т. Корчагин

Азово-Черноморский инженерный институт, Зерноград

Аннотация: Произведен анализ надежности систем электропередачи, в ходе которого, были выявлены основные причины вызывающие отключение электроэнергии у потребителя. С помощью компьютерного моделирования, получены результаты работы автономных инверторов при различном количестве уровней напряжения. Рассмотрены перспективы применения устройств симметрирования неполнофазных режимов на базе многоуровневых инверторов напряжения, позволяющих повысить надежность электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: анализ, поток отказов, электроэнергия, устройство симметрирования, аварийный режим, время восстановления, отказ, надежность, многоуровневый инвертор, линия электропередачи, потребитель.

Постепенное восстановление и совершенствование предприятий агропромышленного комплекса (далее АПК), спровоцированное государственными программами развития, вводимыми правительством, начиная с 2008 года, позволило получить значительный рост производства сельскохозяйственной продукции. Так в 2017 году аграриям удалось собрать рекордный урожай зерновых и зернобобовых культур, который составляет более 135 млн. тонн зерна. Получение таких объемов зерна и зернобобовых, непременно простимулирует дальнейшее развитие предприятий АПК, направленных на глубокую переработку зерна, а так же на получения продукции птицеводства, свиноводства, мясного и молочного животноводства [1-3]. В свою очередь, такие производства не представляются возможными без потребления различных видов энергии, в том числе электрической. Однако, состояние трехфазных систем в сельскохозяйственном секторе и по сегодняшний момент, находится в плачевном состоянии, износ составляет свыше 70% [4], что непременно

оказывает и будет оказывать сдерживающее влияние на развитие предприятий агропромышленного комплекса.

В качестве примера работы существующих систем электроснабжения в сельскохозяйственном секторе, была рассмотрена сеть трехфазных линий напряжением 10 кВ (как наиболее уязвимая из всех классов напряжений), по предоставленным данным восточного района Ростовской области.

Проведенный анализ позволил выявить следующее: поток отказов при вероятности $\alpha = 0,95$ находится в пределах от 6,7 до 10,9 отказов в год на 100 км линии, при этом время восстановления одного отключения, полученное после обработки 1426 случаев, при уровне надежности $\alpha = 0,95$, составляет от 3,2 до 4 часов [5]. Дальнейший детальный анализ, по видам аварийных отключений на линиях 10 кВ, позволил выделить наиболее весомые из них.

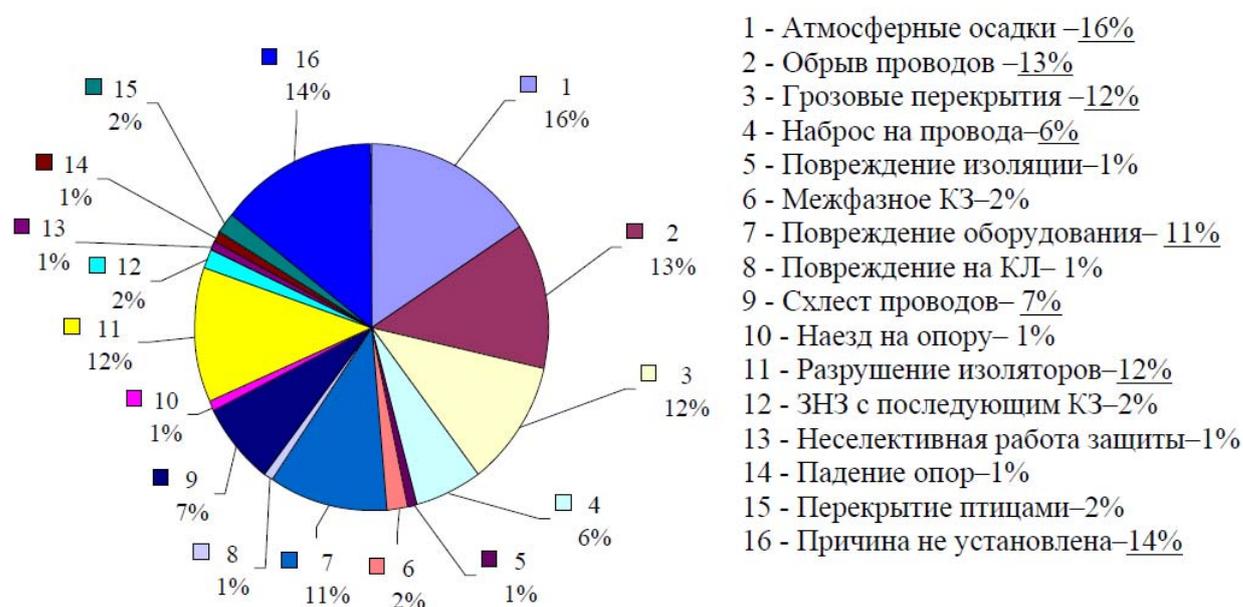


Рис. 1. – Основные причины отключения потребителей

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что наиболее часто встречаются восемь видов причин, вызвавших ограничение электроснабжения потребителей, которые составляют около 90% от общего числа всех отключений, рисунок 1. Подобная ситуация наблюдается не

только в одном рассматриваемом районе, но и в других регионах [6,7], что подтверждает констатацию о значительном износе трехфазных систем электроснабжения.

Учитывая, что отключения потребителей от электросети происходят в большинстве случаев по одним и тем же причинам, то можно выдвинуть следующее предположение: разработка и внедрение устройства или комплекса устройств, позволяющих исключить один или несколько видов аварийных режимов, в значительной мере позволит повысить надежность электроснабжения.

Исходя из результатов выше приведенного анализа, а также выводов проведенных исследований другими авторами [6,7], одним из наиболее распространенных режимов работы является неполнофазный режим, создаваемый вследствие: обрыва одного из проводов на линии, сгорания предохранителя на подстанции, недовключения одного из ножей разъединителей, отгорания шлейфов и т.д.

Для предотвращения подобных аварийных ситуаций на линиях напряжением 10 кВ было разработано устройство, построенное на базе многоуровневого автономного инвертора [8,9]. Принципиальная схема системы электроснабжения для удаленного потребителя с применением предлагаемого устройства симметрирования представлена на рисунке 2.

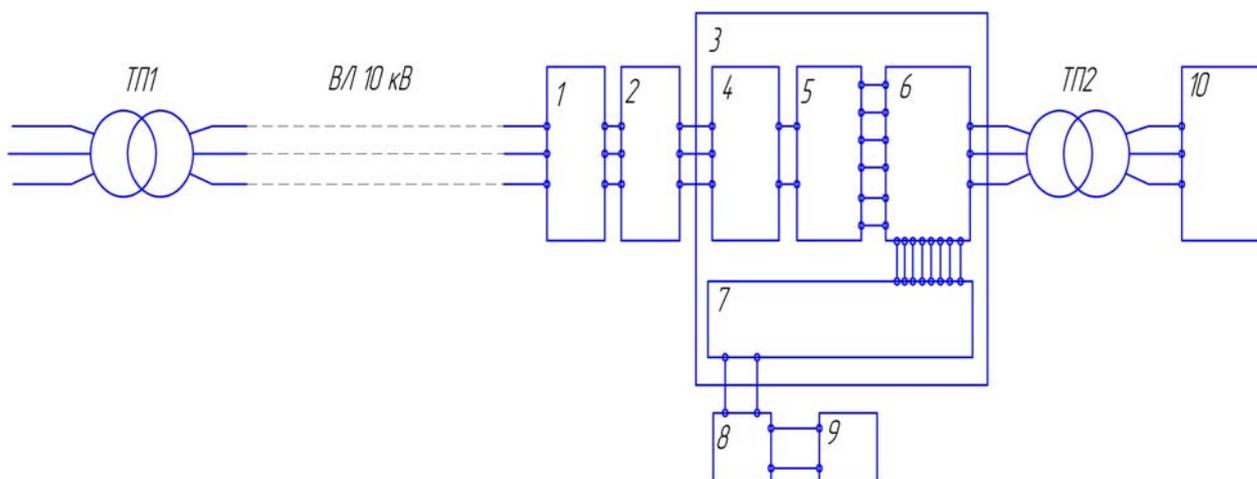


Рис. 2. – Принципиальная схема системы электроснабжения удаленного потребителя с применением устройства симметрирования неполнофазных режимов [10], установленного на ВЛ 10 кВ у трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

Представленная схема на рис. 2, включает в себя следующие основные блоки: 1 – токоограничивающий реактор, 2 – разрядники, 3 – устройство симметрирования, которое состоит из следующих блоков: 4 – трехфазный выпрямитель, 5 – емкостной делитель, 6 – многоуровневый инвертор, 7 – схема управления, 8 – батарея, 9 – фотоэлектрический преобразователь, 10 – сельскохозяйственный потребитель.

В основу преобразовательного узла был выбран многоуровневый автономный инвертор напряжения (далее МАИН) – блок 3, по ряду причин: высокий К.П.Д. и надежность, возможность преобразования больших мощностей, качество выходного напряжения и т.д. Однако, типология построения многоуровневых инверторов позволяет решить не только все выше озвученные проблемы, но и произвести рациональный выбор количества уровней устройства, основанный на качестве выходного напряжения и значении коммутируемого напряжения. На рисунке 3 представлена зависимость значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих от числа уровней инвертора.



Рис. 3 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих в зависимости от числа уровней инвертора

Основываясь на полученных значениях, для линии напряжением 10 кВ, достаточно применять инвертор с числом уровней семь, что в полной мере будет удовлетворять требованиям ГОСТ к качеству напряжения. Дальнейшее увеличение числа уровней допустимо, но является нецелесообразным с экономической точки зрения.

Блоки 1 и 2 обеспечивают защиту преобразовательного блока 3 от различных причин возникновения перенапряжений и бросков токов. Блоки 8 и 9 обеспечивают питание схемы управления инвертора, именно такое схемотехническое решение, позволяет гарантированно обеспечить работу устройства вне зависимости от того, какая из фаз на линии будет отключена.

Расположение устройства симметрирования, так как представлено на рисунке 2, в конце линии, перед понижающей трансформаторной подстанцией (далее ТП) потребителя, является наиболее рациональной, поскольку снижается вероятность возникновения аварийного режима на незащищенном участке линии, между преобразователем и ТП-2. При этом

остаётся возможность установки данного устройства на любом участке сети в случае необходимости.

Работа, предлагаемой системы электроснабжения удаленного потребителя с применением устройства симметрирования, рассматривается в двух вариантах: первый – непосредственное подключение потребителя; второй – подключение в случае возникновения несимметричного или неполнофазного режима. В первом случае реализуется система, представленная на рисунке 2, преобразователь включен последовательно с ТП-2, при этом обеспечивает потребителя необходимым уровнем качества электроэнергией и работает постоянно, как в полнофазном, так и в неполнофазном режимах. Во втором случае, работа преобразователя построена следующим образом: дополнительно вводится блок контроля, обеспечивающий мониторинг за наличием симметричного полнофазного режима, преобразователь в нормальном режиме не подключен. В случае возникновения неполнофазного или несимметричного режима, блок контроля, подает сигнал на подключение участка цепи от линии до входа преобразователя и отключения сети от входа преобразователя до ТП-2, тем самым обеспечивается подключение устройства симметрирования в систему электроснабжения. Отключение преобразователя производится уже обслуживающим персоналом, при проведении диагностических мероприятий позволяющих определить причину срабатывания устройства.

Учитывая тот факт, что продолжительность времени затрачиваемой на устранение причины отключения, можно рассматривать как сумму двух составляющих: 1 – поиск места аварии и 2 – ликвидация неисправности, то применение устройства симметрирования неполнофазных режимов во втором варианте позволит сократить время продолжительности отключения. Этого возможно достичь за счет того, что потребитель будет обеспечен электроэнергией, с соблюдением всех требований к её качеству, в период

времени затрачиваемого на поиск места возникновения неисправности и отключаться только на время непосредственного устранения аварии.

На основании вышеизложенного материала, можно сделать следующее заключение:

1. Анализ существующей системы центрального электроснабжения для восточного района Ростовской области при вероятности $\alpha=0,95$ находится в пределах от 6,7 до 10,9 отказов в год на 100 км линии, что определяет выраженную тенденцию к увеличению данного показателя.

2. На базе многоуровневых инверторов разработано устройство, преобразующее двухфазное напряжение в трехфазное. Исследование преобразователя позволило получить уравнение, описывающее зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих от числа уровней инвертора.

3. Произведенный анализ гармонических составляющих выходного напряжения с помощью компьютерного моделирования и экспериментальных исследований показал, что для удовлетворения требований ГОСТ по суммарному коэффициенту гармонических составляющих, для однопроводной линии напряжением 10 кВ, необходимо применение инверторов с числом уровней выходного напряжения не менее семи.

Литература

1. Корчагин П.Т. Перспективы развития сельскохозяйственных предприятий Ростовской области и проблемы их энергосбережения // Инженерный вестник Дона, 2014, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2014/2224/.

2. Цвиль М.М., Колесникова И.В. Эконометрический анализ инвестиционных проектов Ростовской области // Инженерный вестник Дона, 2016 №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3591.

3. Совекон. Анализ аграрных рынков с 1991 года. «Ход уборки на 30 октября». URL: sovecon.ru/analytics/market/2017/10/30/news_15302.html?showcomments=1.

4. Таранов М.А., Медведько А.Ю. Возобновляемые энергоносители для автономного энергообеспечения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. - №8. – С.2.-3.

5. Корчагин П.Т., Таранов Д.М. Надежность электроснабжения удаленных потребителей // Сельский механизатор. – 2014. - №3- С.28-30.

6. Горбина Е.В. Уменьшение климатических воздействий на ЛЭП // Приоритетные научные направления: от теории к практике. Издательство: ООО «Центр развития научного сотрудничества». – 2016. – 26-1. С.177-182.

7. Хренников А.Ю., Гольдштейн В.Г., Складчина А.А. Анализ состояния воздушных линий электропередачи 6 – 500 кВ Самарского региона // Электрические станции. – 2010. - № 5. – С.42 - 46.

8. Laskody T., Kascak S. Space vector PWM for two-phase inverter in matlab-simulink // URL: dsp.vscht.cz/konferene_matlab/MATLAB13/prispevky/.

9. Diego, S. A comparison of high-power converter topologies for the implementation of FACTS controllers // IEEE transactions on power electric. – 2002. - №5. - Vol.49, pp.1072-1080.

10. Пат. 2516461 Российская Федерация, МПК7 Н 02 Н 7/09. Устройство симметрирования неполнофазных режимов на линии 10 кВ для удаленных потребителей / Таранов М.А., Корчагин П.Т.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования



«Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия» – 2012134359/07, заявлен 10.08.2012; опубликован 20.02.2014.

References

1. Korchagin P.T. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine.archive.n1y2014.2224](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014.2224).
2. Cvil' M.M., Kolesnikova I.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine.archive.n2y2016.3591.
3. Sovekon. Analiz agrarnyh rynkov s 1991 goda. «Hod uborki na 30 oktjabrja» [Sowecon. Analysis of agricultural markets since 1991. "The course of cleaning on October 30"]. URL: sovecon.ru/analytics/market/2017/10/30/news_15302.html?show_comments=1.
4. Taranov M.A., Medved'ki A.Ju. Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2008. №8. p.2.3.
5. Korchagin P.T., Taranov D.M. Sel'skij mehanizator. 2014. №3 p.28.30.
6. Gorbina E.V. Umen'shenie klimaticeskikh vozdeystvij na LJeP. Prioritetnye nauchnye napravlenija: ot teorii k praktike. Izdatel'stvo: OOO «Centr razvitija nauchnogo sotrudnichestva». 2016. 26.1. p.177.182.
7. Hrennikov A.Ju., Gol'dshtejn V.G., Skladchina A.A. Jelektricheskie stancii. 2010. № 5. p.42. 46.
8. Laskody T., Kascak S. Space vector PWM for two-phase inverter in matlab.simulink. URL: [dsp.vsch.cz/konferene.matlab.MATLAB13.prispevky](http://dsp.vsch.cz/konferene/matlab/MATLAB13.prispevky).
9. Diego, S. IEEE transactions on power electrics. 2002. №5.Vol.49. pp.1072-1080.
10. Pat. 2516461 Rossijskaja Federacija, MPK7 H 02 N 7.09. Ustrojstvo simmetrirovaniya nepolnofaznyh rezhimov na linii 10 kV dlja udalennyh potrebitelej. [The device of symmetrization of non-full-phase modes on the 10 kV line for remote consumers]. Taranov M.A., Korchagin P.T.; zajavitel' i



patentооbладател': Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija «Azovo-Chernomorskaja gosudarstvennaja agroinzhenernaja akademija». 2012134359.07, zajavlen 10.08.2012; opublikovan 20.02.2014.