Научная статья
Original article
УДК 621.316

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

USING FREQUENCY CONVERTERS IN A HIGH VOLTAGE DRIVE

Петров Вадим Евгеньевич, Магистратура 2 курс, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова
Научный руководитель: Скурятин Юрий Васильевич, Доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

Petrov Vadim Evgenievich, Master 2 course, Belgorod State Technological University. V.G. Shukhova
Scientific adviser: Skuryatin Yury Vasilyevich, Assistant professor, Belgorod State Technological University. V.G. Shukhova

Аннотация. В статье анализируются особенности использования преобразователей частоты в высоковольтном электроприводе. Рассматриваются понятие и разновидности преобразователей частоты, такие как прямые преобразователи и преобразователи с явно выраженным звеном постоянного тока. Выявляется специфика подбора преобразователей частоты для высоковольтных электроприводов, приводятся характерные черты многоуровневых преобразователей частоты. Рассматриваются особенности некоторых современных преобразователей.

Annotation. The article analyzes the features of the use of frequency converters in a high-voltage electric drive. The concept and varieties of frequency converters are considered, such as direct converters and converters with a pronounced DC link. The specificity of the selection of frequency converters for high-voltage electric drives is revealed, the characteristic features of multilevel frequency converters are given. The features of some modern converters are considered.

Ключевые слова: электроэнергия, высоковольтный электропривод, преобразователи частоты, частотно-регулируемые преобразователи, инвертор напряжения.

Key words: electric power, high-voltage electric drive, frequency converters, frequency-controlled converters, voltage inverter.

Постоянное увеличение тарифов на энергоносители и их возрастающий дефицит актуализировали проблему экономии всех видов энергоресурсов и обусловили переход к энергосберегающим технологиям [1]. В разных странах на долю промышленности приходится до 60 % от совокупного электропотребления, в различных отраслях затраты на электроэнергию образуют от 10 % до 80 % себестоимости производимой продукции, причём в среднем до 60 % от всего промышленного электропотребления приходится на электродвигатели. По этой причине востребованным является применение частотно-регулируемых преобразователей, способных существенно повысить эффективность систем высоковольтного электропривода [2]. Преобразователи частоты дают возможность резко сократить потребление энергии и затраты на неё, эксплуатационные и ремонтные расходы, повысить надёжность эксплуатации оборудования и оптимизировать технологические процессы, что обуславливает значимость исследования особенностей их применения.

Целью работы является изучение особенностей использования преобразователей частоты в высоковольтном электроприводе. Для её

достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

Преобразование частоты представляет собой процесс преобразования переменного тока одной частоты в переменный ток, имеющий другую частоту [3]. Выделяют преобразователи частоты с непосредственной связью, называемые так же прямыми, и преобразователи с явно выраженным звеном постоянного тока. Существенным признаком классификации прямых преобразователей является число фаз выходного и входного напряжения, во многом определяющее структуру формирования схемы преобразователя. В силу своих технико-экономических свойств большее распространение получили многофазные преобразователи частоты с непосредственной связью.

В прямых преобразователях каждая фаза двигателя снабжена парой комплектов встречно включённых выпрямителей, за счёт управления которыми обеспечиваются условия, при которых на всех фазах двигателя в положительный полупериод выходного напряжения функционирует один комплект тиристоров, а в отрицательный – другой [4]. Период и частота выходного напряжения определяются моментом переключения комплектов тиристоров и могут быть изменены в широких пределах. Принципиальной особенностью прямых преобразователей является связь с сетью переменного тока, формирующая условия и определяющая моменты закрытия тиристоров. Однако данная сеть ограничивает возможности регулирования преобразователя, в связи с чем на практике чаще используются преобразователи с явно выраженным звеном постоянного тока.

В данных устройствах переменное напряжение питающей сети сперва выпрямляется управляемым выпрямителем, а после преобразуется в переменное напряжение с требуемым количеством фаз и регулируемой частотой при помощи автономного инвертора. Расширение возможностей применения преобразователей частоты в мощных высоковольтных электроприводах различного назначения возможно посредством использования тиристоров с высоким рабочим напряжением и током [5].

Одной из разновидностей подобного полностью управляемого полупроводникового ключа выступает тиристор IGCT, имеющий интегрированное управление.

На практике важной задачей является подбор преобразователя частоты, соответствующего конкретному высоковольтному электроприводу и аналогичного ему по мощности [6]. В качестве одного из ключевых энергетических показателей, который характеризует технический уровень высоковольтных преобразователей частоты, рассматривается степень искажения формы выходного напряжения и тока преобразователя в электроприводе [7]. Проблема электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей частоты высокой мощности с примыкающими сетями электроснабжения определяется искажениями формы тока в питающей сети и потреблением реактивной мощности на основной частоте.

В преобразователях частоты с автономным инвертором напряжения используются неуправляемые выпрямители, обеспечивающие ограничение потребления реактивной мощности до установленных нормативных значений, при этом реактивная мощность по первой гармонике невелика. В преобразователях с автономным инвертором тока применяются управляемые выпрямители либо дополнительные фильтрокомпенсирующие устройства.

Также на практике применяются многоуровневые преобразователи частоты, отличительной особенностью которых является использование большого количества последовательно включённых вентилей в плече для формирования выходного напряжения с сокращёнными шагами по напряжению [8]. Благодаря этому обеспечивается лучшая форма кривой выходного напряжения и снижаются броски напряжения, что благоприятно сказывается на режиме работы нагрузки и приводит к сокращению уровня излучаемых преобразователем электромагнитных помех. Данный тип преобразователей частоты строится по схеме автономного инвертора напряжения на IGBT-тиристорах. Выделяют два класса схем многоуровневых

преобразователей: с плавающими конденсаторами и с привязкой средней точки через разделительные диоды.

В высоковольтных электроприводах с большой мощностью для целей электроснабжения и управления приводными двигателями переменного тока применяются двухзвенные преобразователи частоты, которые состоят из трёхуровневого автономного инвертора и 12-пульсного выпрямителя [9]. Увеличение единичной мощности преобразователя может быть достигнуто посредством повышения пульсности выпрямителя и уровней выходного напряжения инвертора, пульсности выпрямителя – благодаря повышению числа параллельно либо последовательно включённых диодных мостов, а уровней выходного напряжения автономного инвертора – увеличением числа последовательно включённых тиристоров во всех его плечах.

В современных частотно-регулируемых преобразователях формирование и регулирование основной гармоники выходного напряжения обеспечивается методами импульсной модуляции [10]. Базовым типом преобразователей частоты для регулируемых электроприводов переменного тока во всём диапазоне мощностей выступают трёхфазные автономные инверторы напряжения, в которых управление ключами осуществляется по принципу широтно-импульсной модуляции на высокой несущей частоте. Данная модуляция может осуществляться синусоидальным либо векторным методами, причём более широкое распространение получил первый вариант.

Рассмотрим некоторые современные высоковольтные преобразователи частоты, такие как ACS5000 и PowerFlex 7000 [11]. В ACS5000 основой построения схемы преобразования выступают высоковольтные IGCT-тиристоры. Выходное напряжение этого преобразователя формируется многоуровневым автономным инвертором напряжения, на выходе которого создаётся пяти- либо девятиуровневое выходное напряжение, в зависимости от схемы преобразователя на выходе. Преобразователь PowerFlex 7000 выполнен на основе автономного инвертора тока, в котором режим источника тока обеспечивается входной цепью инвертора. Для достижения такого

режима используются стабилизирующий контур тока и установка большой индуктивности, расположенная в промежуточном звене. В этом случае функция SGCT-тиристоров инвертора заключается в формировании переменного тока на выходе посредством периодического переключения направления этого тока в выходной цепи.

Можно выделить следующие положительные эффектны от применения преобразователей частоты в высоковольтных электроприводах [12]:

- уменьшение расходов электроэнергии;
- сокращение расходов ресурсов;
- уменьшение объёмов объектов капитального строительства при оптимизации энергосистемы и вводе новых мощностей благодаря сокращению пиковой мощности;
- снижение износа гидромеханического и электротехнического оборудования;
- сокращение вероятности возникновения обусловленных гидроударами аварий за счёт плавного изменения режимов работы насосных агрегатов.

Таким образом, применение преобразователей частоты в высоковольтных электроприводах обеспечивает экономию электроэнергии благодаря установлению оптимального уровня КПД технологического процесса, снижение износа и повышение надёжности эксплуатации оборудования. Помимо этого, регулирование скорости высоковольтных электроприводов способствует сокращению затрат на обслуживание и ремонт оборудования и минимизации аварийных простоев производства, что в совокупности с экономическим эффектом от использования оптимальной для каждого технологического процесса производительности механизмов делает применение преобразователей частоты крайне актуальным.

Список литературы

1. Преобразователи частоты серии ЭСН на среднее напряжение 3, 6 И 10 кВ переменного тока мощностью до 12,5 МВт // ЭКРА. – 2018. – № 5. – 15 с.

2. Коротков А.А., Виноградов А.Б. Анализ энергоэффективности алгоритмов управления преобразователем высоковольтного частотно-регулируемого приводарегулируемого привода // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – № 2. – С. 47-52.
3. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учеб. и практ. для вузов / Ю.К. Розанов, М.Г. Лепанов; под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 206 с.
4. Бекишев Р.Ф. Электропривод: учеб. пособие для вузов / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев. – 2-е изд. – М.: Изд-во Юрайт, 2020. – 301 с.
5. Емельянов А.П. Электропривод машин и оборудования: учеб. пособие / Емельянов А.П., Вершинин В.И., Козярук А.Е. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – 300 с.
6. Лицин К.В. Анализ технико-экономических параметров системы высоковольтного электропривода переменного тока с промежуточными трансформаторами // Вестник Чувашского университета. – 2019. – № 3. – С. 142-149.
7. Степанов С.Е. Выбор высоковольтных преобразователей частоты для электроприводного газоперекачивающего агрегата путём моделирования их характеристик // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2017. – № 22. – С. 67-89.
8. Бурдасов Б.К., Нестеров С.А., Федотов Ю.Б. Преобразователи частоты для высоковольтных электроприводов переменного тока // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – № 4. – С. 9-26.
9. Козярук А.Е. Математическое и имитационное моделирование электропривода с преобразователем частоты нефтегазового оборудования / А.Е. Козярук, Б.Ю. Васильев, Ю.О. Яценко, А.И.

Ивановский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 122-132.

10. Садиков Д.Г., Титов В.Г. Разработка оптимизированного алгоритма управления каскадным многоуровневым преобразователем частоты // Труды IX международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2016. – 2016. – С. 292-296.
11. Семёнов А.С. Оценка электромагнитной совместимости высоковольтных преобразователей частоты в электротехнических комплексах / А.С. Семёнов, А.Н. Егоров, Я.С. Харитонов, О.В. Федоров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 4 (44). – С. 64-75.
12. Лазарев С.А. Применение инверторов напряжения в высоковольтном электроприводе // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 1 (26). – С. 31-35.

Bibliography

1. Frequency converters of the ESN series for medium voltage 3, 6 and 10 kV AC with power up to 12.5 MW // EKRA. - 2018. - No. 5. - 15 p.
2. Korotkov A.A., Vinogradov A.B. Analysis of the energy efficiency of control algorithms for the converter of a high-voltage frequency-controlled variable-speed drive. Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University. - 2013. - No. 2. - P. 47-52.
3. Rozanov Yu.K. Power electronics: textbook. and pract. for universities / Yu.K. Rozanov, M.G. Lepanov; ed. Yu.K. Rozanov. – M.: Publishing house Yurayt, 2022. – 206 p.
4. Bekishev R.F. Electric drive: textbook. allowance for universities / R.F. Bekishev, Yu.N. Dementiev. - 2nd ed. – M.: Publishing house Yurayt, 2020. – 301 p.
5. Emelyanov A.P. Electric drive of machines and equipment: textbook. allowance / Emelyanov A.P., Vershinin V.I., Kozyaruk A.E. - St. Petersburg: St. Petersburg Mining University, 2017. - 300 p.

6. Litsin K.V. Analysis of the technical and economic parameters of the high-voltage AC electric drive system with intermediate transformers // Bulletin of the Chuvash University. - 2019. - No. 3. - P. 142-149.
7. Stepanov S.E. The choice of high-voltage frequency converters for an electric gas-pumping unit by modeling their characteristics // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical engineering, information technologies, control systems. - 2017. - No. 22. - P. 67-89.
8. Burdasov B.K., Nesterov S.A., Fedotov Yu.B. Frequency converters for high-voltage AC drives // APRIORI. Series: Natural and technical sciences. - 2015. - No. 4. - P. 9-26.
9. Kozyaruk A.E. Mathematical and simulation modeling of an electric drive with a frequency converter for oil and gas equipment / A.E. Kozyaruk, B.Yu. Vasiliev, Yu.O. Yatsenko, A.I. Ivanovsky // Bulletin of SUSU. Series "Energy". - 2018. - T. 18, No. 1. - S. 122-132.
10. Sadikov D.G., Titov V.G. Development of an optimized control algorithm for a cascade multilevel frequency converter // Proceedings of the IX International (XX All-Russian) Conference on Automated Electric Drive AEP-2016. - 2016. - S. 292-296.
11. Semenov A.S. Evaluation of electromagnetic compatibility of high-voltage frequency converters in electrical engineering complexes / A.S. Semenov, A.N. Egorov, Ya.S. Kharitonov, O.V. Fedorov // Bulletin of the Kazan State Power Engineering University. - 2019. - T. 11, No. 4 (44). - S. 64-75.
12. Lazarev S.A. Application of voltage inverters in a high-voltage electric drive // Oil-Gas Exposition. - 2013. - No. 1 (26). - S. 31-35.

© Петров В.Е., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2022.

Для цитирования: Петров В.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2022.