

Літаратура

1. OpenStreetMap the free wiki world map. – Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org>. – Дата доступа: 01.03.2022.
2. ПСО «Симуран». – Режим доступа: [https://vk.com/simuran\\_gomel](https://vk.com/simuran_gomel). – Дата доступа: 05.03.2022.
3. Рендеринг. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rendering\\_\(computer\\_graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_(computer_graphics)). – Дата доступа: 10.03.2022.
4. Проекция меркатора. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Oblique\\_Mercator\\_projection](https://en.wikipedia.org/wiki/Oblique_Mercator_projection). – Дата доступа: 15.03.2022.

**СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ  
СИСТЕМ КАТОДНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ**

**В. И. Соболев, М. В. Дравица, А. В. Федорович**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: Ю. В. Крышнёв, С. Н. Кухаренко

Катодная защита – один из видов электрохимической защиты, который реализуется с помощью внешнего источника тока. Натекая на подземное сооружение, данный ток смещает его потенциал в отрицательную сторону.

В настоящее время для достижения смещения потенциала используют постоянный ток, который получают с помощью преобразователя (выпрямителя).

Широкое распространение получили катодные станции с выпрямителями, питание которых производится от сетей переменного тока. При наличии линий электропередач переменного тока с напряжением 0,4, 6 и 10 кВ, применение таких станций целесообразно и экономически оправдано.

В станцию катодной защиты в зависимости от исполнения входят следующие основные элементы: понижающий трансформатор, выпрямительный блок, выходной фильтр, коммутационная аппаратура, аппаратура защиты, счетчик электрической энергии и приборы для измерения выходных параметров.

Преобразователь предназначен для следующего:

- выпрямления сетевого переменного тока;
- регулирования величины тока нагрузки.

Этих двух функций большей частью достаточно для задания нормального режима работы катодной станции, но в условиях повышения энергетической эффективности встает вопрос об увеличении КПД самих станций катодной защиты, а также о повышении эффективности электрохимической защиты в целом. На рис. 1 приведена электрическая схема типового преобразователя с ручным управлением, ранее широко распространенного в практике электрохимической защиты.

Понижающий трансформатор  $T$  предназначен для согласования напряжения сети 220 В с рабочим напряжением катодной станции, которое у разных типов установок колеблется от 24 до 96 В. Трансформатор имеет ряд промежуточных отводов, которые при использовании переключателя  $S2$  позволяют ступенями вручную изменять выходное напряжение. Трансформатор связан с выпрямителем  $V$ , собранным из силовых диодов, например, по мостовой схеме. На выходе выпрямителя включают амперметр  $A$  с внешним шунтом, калиброванным сопротивлением на ток до 100 А.

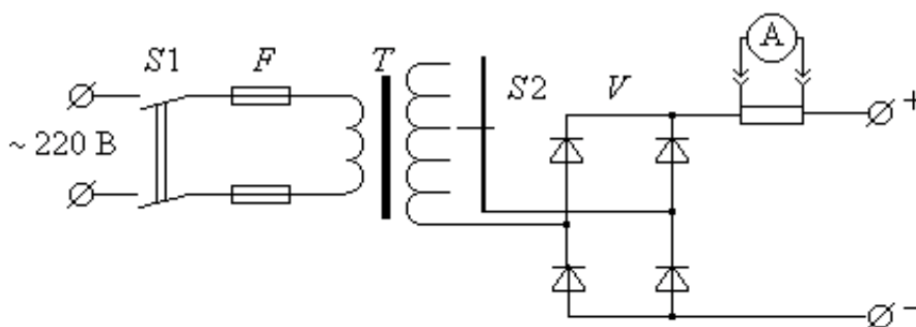


Рис. 1. Схема типового преобразователя катодной станции с ручным управлением:  $S1$  – выключатель двухполюсный;  $F$  – плавкие предохранители;  $T$  – трансформатор понижающий с отводами;  $S2$  – переключатель многопозиционный;  $V$  – выпрямитель мостовой;  $A$  – шунт с амперметром

Некоторые преобразователи могут выполнять ряд дополнительных функций:

- поддерживать в автоматическом режиме защитный потенциал трубопровода в точке подключения катодной станции или ток ее нагрузки;
- снижать уровень радиопомех, возникающих при работе электронных цепей автоматической катодной станции;
- обеспечивать возможность подключения средств телеизмерения и телеуправления.

Следующим поколением стали станции трансформаторного или тиристорного типа, в которых регулирование силы защитного тока производится электронными блоками фазового управления состоянием тиристоров. Одна из схем, позволяющая плавно и автоматически регулировать ток нагрузки преобразователя [1], дана на рис. 2.

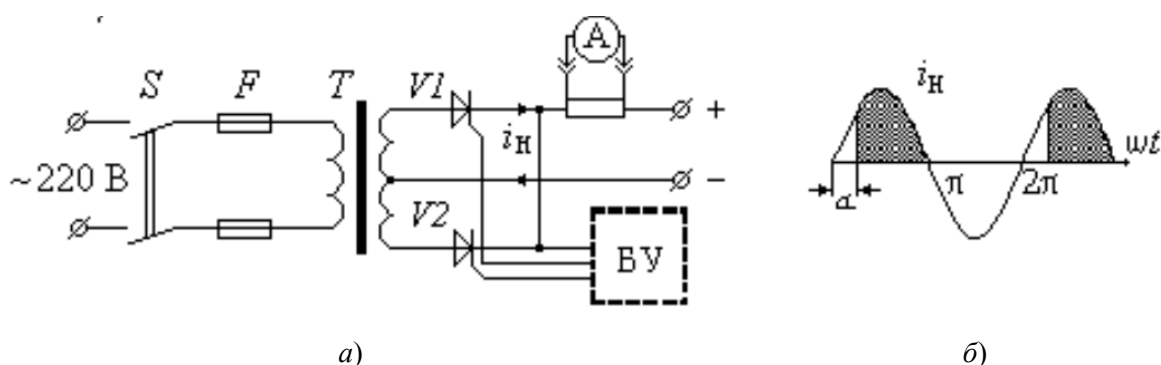


Рис. 2. Схема управляемого преобразователя (выпрямителя) на тиристорах (а) и временная диаграмма тока нагрузки тиристора  $V1$  (б):  $S$  – выключатель двухполюсный;  $F$  – плавкие предохранители;  $T$  – трансформатор понижающий;  $V1, V2$  – тиристоры; БУ – блок управления

Формирование управляющего импульса и обеспечение его сдвига по фазе выполняется автоматически в зависимости от заданного уровня защиты трубопровода. Этот процесс можно описать следующим образом:

- а) заданная при пуске катодной станции величина защитного потенциала беспрерывно сравнивается с фактическим значением потенциала на измерительном

электроде (в точке дренажа). Как только нарушается их равновесие, возникает сигнал рассогласования;

б) сигнал рассогласования включает фазосдвигающее устройство, меняющее в ту или иную сторону угол отсечки  $\alpha$ , т. е. устанавливает момент подачи управляющего импульса на тиристор;

в) подается команда о формировании управляющего импульса, который тут же поступает на управляющий электрод тиристора;

г) ток катодной станции изменяется и равновесие восстанавливается.

С целью исключения лишних потерь мощности, а также снижения массы преобразователя наметилась тенденция применения преобразователей без силовых трансформаторов на входе. Они называются инверторными, поскольку используется процесс инвертирования [2].

Регулирование тока нагрузки осуществляют в инверторе, который собран из полупроводниковых ключей. На рис. 3 показана типовая схема преобразователя, названная в литературе [1] транзисторной высокочастотной станцией катодной защиты.

Переменное напряжение 220 В, 50 Гц предварительно выпрямляется в диодном выпрямителе 1, затем снова с помощью инвертора 2 преобразуется в переменное напряжение примерно того же уровня, но повышенной частоты около 20–40 кГц. В этом участвует блок управления 3, который попеременно открывает и закрывает транзисторы  $VT1$  и  $VT2$ , создавая тем самым переменное напряжение на трансформаторе  $T1$ , который предназначен для согласования сетевого напряжения с напряжением нагрузки катодной станции.

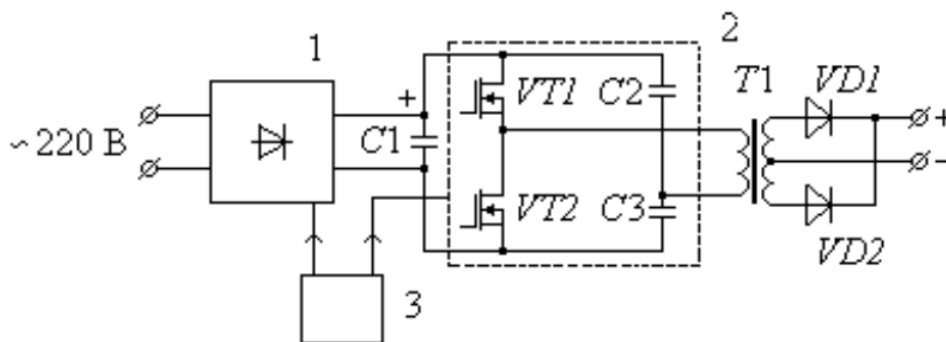


Рис. 3. Катодная станция с промежуточным преобразованием частоты:

1 – выпрямитель сетевой; 2 – инвертор; 3 – блок управления;

$VT1$ ,  $VT2$  – транзисторы силовые;  $T1$  – высокочастотный понижающий трансформатор;  $VD1$ ,  $VD2$  – силовые диоды

Частоту переключения транзисторов выбирают такой, чтобы передаваемая мощность из сети в нагрузку была максимальной и без лишних потерь. Станции катодной защиты с промежуточным преобразованием частоты имеют значительно меньшие габаритные показатели и более высокий коэффициент полезного действия. Еще одним плюсом данных станций является меньшая зависимость КПД от режима работы. Коэффициент полезного действия так называемых тиристорных станций составляет 80–86 %, в свою очередь, инверторные станции позволили достичь значений 90–92 %.

Несмотря на достижения последних лет в плане совершенствования преобразователей, отметим, что данные станции на выходе имеют постоянный ток, не учитывают характеристики нагрузки в виде эффекта последействия катодной поляризации.

Рассматривая системы катодной защиты, используемые в других странах и описанные в работах [3]–[5], видно, что при организации катодной защиты подземных сооружений нагрузка рассматривается с учетом реализации эффекта после действия поляризации.

Учитывая данный эффект, возможно изменить режим электролиза, применив не постоянный ток, а импульсный. Было доказано, что импульсное напряжение источника постоянного тока с рабочим циклом около 10 % обеспечивает гораздо больший охват станцией протяженности подземного трубопровода. Такие импульсные системы считаются особенно эффективными, поскольку при среднем токе, по-прежнему находящемся на уровне нескольких десятков ампер, обеспечивают такой пиковый ток, который способен вызвать защитные реакции в заданных местах. Импульсные системы постоянного тока также вызывают большее перераспределение тока по такой структуре, как трубопровод, из-за индуктивных и емкостных сопротивлений анода и структуры системы.

Одной из важнейших проблем в условиях подземного трубопроводного парка является коррозионное растрескивание труб под напряжением. В ряде работ говорится о зависимости возможного развития водородного коррозионного растрескивания ферритно-перлитных сталей от потенциала катодной защиты при поляризации постоянным током и при одновременном воздействии механических напряжений. В очаговых зонах стресс-коррозионных трещин вблизи катодно-защищаемой поверхности на расстоянии 150–300 мкм концентрация водорода в процессе эксплуатации газопровода накапливается до 80–130 мг/100 г, в то время как фоновое значение не превышает 7–10 мг/100 г [6]. Экспериментально установлено, что увеличение непрерывного тока приводит к ускорению процесса выделения водорода, который включается в электродный материал (наводороживание). Скорость распределения водорода в материале зависит от природы электрода и его структуры и определяется коэффициентом диффузии [7]–[9].

Включение водорода в материал электрода приводит к изменению его твердости  $H$  и соответственно предела прочности  $\sigma_B$  согласно уравнению (1) [10]:

$$\sigma = 0,3H. \quad (1)$$

Следовательно, для направленного воздействия на протекание электродных процессов и через них – на достигаемый технологический эффект необходимо задавать параметры импульсов тока с учетом особенностей формирования потенциала границы раздела «металл – электролит» (М – Э) в нестационарных условиях.

Использование импульсного тока приводит к снижению наводороживания изделий и соответственно положительно влияет на физико-механические свойства материалов.

Рассмотренные выше проблемы показывают, что необходимо совершенствовать подходы к активной защите подземных трубопроводов, поэтому актуально применение импульсного тока при катодной поляризации. Полученные результаты исследований подтверждают его перспективность и позволяют комплексно решать задачи повышения энергоэффективности и сохранения механической прочности.

#### Литература

1. Ткаченко, В. Н. Электрохимическая защита трубопроводов : учеб. пособие / В. Н. Ткаченко. – Волгоград : Авторское перо, 2005. – 234 с.
2. Лабунцов, В. А., Энергетическая электроника : справ. пособие / В. А. Лабунцов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.

3. Roberge, P. R. Handbook of Corrosion Engineering / P. R. Roberge. – New York : McGraw-Hill, 1999. – 1128 p.
4. Stears, C. D. Use of Coupons to Monitor Cathodic Protection of an Underground Pipeline / C. D. Stears, O. C. Moghissi, L. Bone III // Materials Performance. – 1998. – № 37 (2). – P. 23–31.
5. Thomas, J. G. N. The Mechanism of Corrosion/Corrosion Control / J. G. N. Thomas. – Oxford : Butterworths Heinemann, 1994. – P. 17:40–17:65.
6. Хижняков, В. И. Выбор режимов электрохимической защиты подземных трубопроводов, исключаящих электролитическое наводороживание / В. И. Хижняков // Физико-химические аспекты технологии наноматериалов, их свойства и применение : сб. тез. Всерос. конф. – М., 2009. – 132 с.
7. Грилихес, М. С. Взаимодействие водорода с металлами при электрохимических процессах в растворах электролитов / М. С. Грилихес // Журн. приклад. химии. – 1995. – № 3. – С. 353–365.
8. Медведева, М. Л. Коррозия и защита атмосферной колонны при повышении агрессивности перерабатывающей нефти / М. Л. Медведева, А. А. Горелик // Защита металлов. – 2002. – Т. 38, № 5. – С. 557.
9. Мустафин, Ф. М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями / Ф. М. Мустафин // Нефтегазовое дело. – 2003. – Режим доступа: <http://www.Ogbus.ru>.
10. Гоник, А. А. Предотвращение сульфидно-коррозионного растрескивания отремонтированных стальных резервуаров / А. А. Гоник // Защита металлов. – 2004. – Т. 40, № 3. – С. 325.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТОДНЫХ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ**

**А. Е. Запольский, М. В. Дравица, Р. С. Бондаренко**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, Л. А. Захаренко

Проводимые энергетические обследования предприятий, занимающихся транспортировкой природного и нефтяного попутного газов, позволяют говорить о высокой доле в их сводном энергетическом балансе расходов электрической энергии, связанных с необходимостью защиты газопроводов от коррозии [1]. Обследования показывают, что 30 % от их общего электропотребления приходится на долю станций катодной защиты. Поэтому снижение прямых и косвенных затрат при эксплуатации станций катодной защиты является одной из актуальных задач энергосбережения.

В настоящее время наиболее широко используются выпрямительные, тиристорные и инверторные станции катодной защиты (СКЗ).

Рассмотрим тиристорные станции катодной защиты.

К достоинствам тиристорных СКЗ можно отнести:

- простоту конструкции;
- сравнительно высокую надежность (при соответствии режима эксплуатации номинальному);
- возможность организации ремонта эксплуатирующей организацией на местах силами специалистов службы ЭХЗ.

К недостаткам относятся:

- невысокий коэффициент полезного действия (КПД) (60–80 % на номинальной мощности);
- большой вес и габариты станции;
- высокие пульсации выходного тока (без применения фильтра);
- отсутствие корректоров мощности;
- критичность короткого замыкания на выходе.