

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-818-827

## THE INVESTIGATION OF OPERATION PULSE VOLTAGE REGULATOR FOR SUPPLYING CATHODIC PROTECTION OF OFFSHORE RIGS

**S. Yu. Trudnev, A. O. Shuvaeva**

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

*The structure of work of the device allowing to provide cathodic protection of oil platforms and constructions is considered. The existing system of pulse cathodic protection is improved, new circuit decisions which allow to provide uninterrupted operation of giving of electric energy in system of a protected construction are offered and to increase service life of power supplies and all system as the whole. The urgency of the offered device is proved by imperfection of maintained systems of protection on the oil platforms extracting hydrocarbonic raw materials, lying down under an ocean floor, the sea or other water space. Corrosion of metal parts of a sea platform is natural spontaneous process, to stop which or completely to supervise it is practically impossible. Many scientists such as Garaev I.G., Anashkin A.A., Chuljuchkin V.V. and many other in their works have reflected a considerable quantity of variants of perfection of systems, but any of them has not developed the independent automated system which is not requiring service. Therefore a question of perfection of systems of protection against corrosion of metal constructions of sea platforms till now remains opened and actual. The offered system will provide protection against aggressive influence of the sea environment of oil metal constructions and platforms. One of the vulnerable parts of system of protection is the source of uninterrupted giving by electric energy on which constancy of a signal quality of cathodic protection depends also. Accordingly, authors offer to improve a source of electric energy of cathodic protection. Visually to present work of the offered scheme, authors of article offer to create computer model in program MATLAB. For creation of separate blocks of computer model the review of the mathematical equation describing work of a power part of a pulse voltage stabilizer is executed. The mathematical model of work of a pulse voltage stabilizer on which input the store is connected capacitor is developed. The block diagramme of a pulse voltage stabilizer and equivalent circuit of intervals of time when the stabilizer transistor is in an open condition is developed. On the basis of mathematical model the imitating model of the offered device in program MATLAB is developed and investigated. Teamwork of a pulse voltage stabilizer and the capacitor store is considered, characteristics of dependence of pressure of the category from an operating time are investigated.*

*Keywords: corrosion, model, voltage, capacitive storage, voltage stabilizer, capacity.*

### For citation:

Trudnev, Sergey Yu., and Alena O. Shuvaeva. "The investigation of operation pulse voltage regulator for supplying cathodic protection of offshore rigs." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.4 (2018): 818–827. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-818-827.

УДК 621.311:629.12

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ

**С. Ю. Труднев, А. О. Шуваева**

ФГБОУ ВО «КамчатГТУ», Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация

*Рассмотрена структура работы устройства, позволяющего обеспечить катодную защиту нефтяных платформ и сооружений. Усовершенствована существующая система импульсной катодной защиты, предложены новые схемные решения, которые позволят обеспечить бесперебойность подачи электрической энергии в систему защищаемого сооружения и увеличить срок службы источников питания и всей*

системы в целом. Актуальность предложенного устройства обоснована несовершенством эксплуатируемых систем защиты нефтяных платформ, добывающих углеводородное сырье, залегающее под дном океана, моря или иного водного пространства. Коррозия металлических частей морской платформы является естественным самопроизвольным процессом, остановить который или полностью контролировать практически невозможно. Отечественные ученые, такие как И. Г. Гараев, А. А. Анашкин, В. В. Чулючкин и многие другие в своих трудах отразили большое количество вариантов совершенствования систем, но ни один из них не разработал автономную автоматизированную систему, не нуждающуюся в обслуживании. Поэтому вопрос совершенства систем защиты от коррозии металлических сооружений морских платформ до сих пор остается открытым и актуальным. Предлагаемая система обеспечит защиту от агрессивного влияния морской среды нефтяных металлических сооружений и платформ. Одной из наиболее уязвимых частей системы защиты является источник бесперебойной подачи электрической энергии, от постоянства сигнала которой зависит и качество катодной защиты. В связи с этим авторами предлагается усовершенствовать источник электрической энергии катодной защиты. Чтобы наглядно представить работу предлагаемой схемы, авторами статьи предлагается создать компьютерную модель в программе MATLAB. Для создания отдельных блоков компьютерной модели выполнен обзор математических уравнений, описывающих работу силовой части импульсного стабилизатора напряжения. Разработана математическая модель работы импульсного стабилизатора напряжения, на вход которого подключен емкостной накопитель. Разработана структурная схема импульсного стабилизатора напряжения и схема замещения интервалов времени, когда транзистор стабилизатора находится в открытом состоянии. На основании математической модели разработана и исследована имитационная модель предлагаемого устройства в программе MATLAB. Рассмотрена совместная работа импульсного стабилизатора напряжения и емкостного накопителя, исследованы характеристики зависимости напряжения разряда от времени работы.

*Ключевые слова:* коррозия, модель, напряжение, емкостной накопитель, стабилизатор напряжения, емкость.

**Для цитирования:**

Труднев С. Ю. Исследование работы импульсного стабилизатора напряжения для питания катодной защиты морских платформ / С. Ю. Труднев, А. О. Шуваева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 818–827. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-818-827.

### **Введение (Introduction)**

При разработке и внедрении в производство оборудования, изделий, сооружений и конструкций различного типа значительную роль играет их коррозионная стойкость. Коррозия на морских месторождениях ежегодно приводит к значительным убыткам. Основной ущерб, причиняемый коррозией, заключается в огромной стоимости изделий, которые подвергаются данному виду разрушения, и стоимости проведения восстановительных операций. Увеличение срока между восстановительными операциями за счет совершенствования технической части источника бесперебойной подачи электрической энергии для поддержания работы устройства катодной защиты является главной целью данной статьи.

Ведущими специалистами в области судостроения, а также научными школами под руководством отечественных Заслуженных деятелей науки: А. А. Фатхуллина, И. Г. Гараева [1], А. А. Анашкина [2] и В. В. Чулючкина [3] регулярно проводятся исследования по совершенствованию системы катодной защиты от коррозии морских платформ. Поэтому работы, направленные на модернизацию системы катодной защиты, остаются актуальными.

В рамках данной статьи были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие системы катодной защиты, имеющие автономный источник питания и выявить недостатки.
2. На основе проведенного анализа разработать структурную усовершенствованную схему источника питания.
3. Разработать и исследовать компьютерную модель источника питания катодной защиты.
4. Провести анализ полученных результатов.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Импульсная катодная защита относится к области электрохимической защиты подземных металлических сооружений (ПМС) и используется, как правило, для защиты от почвенных коррозий [4]. Большинство современных устройств катодной защиты представляют собой катодные станции, включающие блоки автоматического регулирования электрических параметров защиты [5]. На рис. 1 представлена блок-схема предлагаемого устройства для катодной защиты металлических сооружений с автономным питанием.

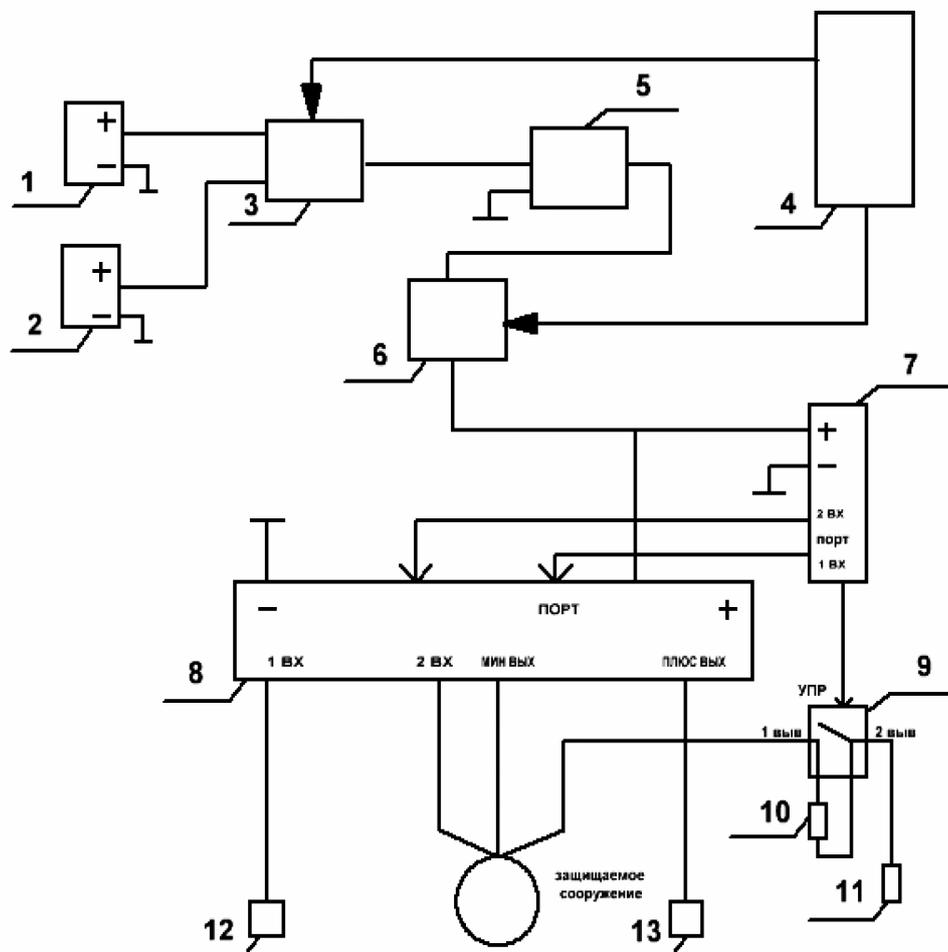


Рис. 1. Блок-схема устройства катодной защиты с автономным питанием и ионисторным модулем

Устройство содержит: блок автономного источника питания, состоящий из ветрогенератора 1 и волновой электростанции 2; блок регулирования тока заряда 3, связанного с управляющим микроконтроллером 4; блок контроля работы генератора высокочастотных колебаний — импульсный модулятор 5; систему стабилизации напряжения 6; блок управления резервом 7; блок формирования амплитуды импульсов 8; размыкатель 9; резистор 10; протектор 11; электрод сравнения 12; анодный заземлитель 13. В качестве питающего элемента системы выступает ионисторный модуль, состоящий из суперконденсаторов, который имеет ряд преимуществ по сравнению с аккумулятором, а именно:

- 1) отсутствие изнашиваемых химических элементов;
- 2) большое количество циклов заряда и разряда;
- 3) большие токи отдачи;
- 4) суперконденсаторы достаточно быстро заряжаются (практически моментально — зависит от того, какой ток может обеспечить зарядное устройство);

5) суперконденсаторы намного меньше обычных конденсаторов и в то же время имеют намного большую емкость;

б) широкий рабочий диапазон температур (от  $-50$  до  $+50$  °С).

При использовании ионисторного модуля в системе необходима установка стабилизатора напряжения, который обеспечивает постоянный стабильный питающий электрохимический потенциал защищаемого сооружения, поддерживающийся, как правило, в пределах  $0,85 - 1,15$  В. Также стабилизатор сглаживает скачки и небольшие колебания питающего напряжения.

По принципу функционирования стабилизаторы напряжения делятся на следующие виды:

- феррорезонансные;
- сервоприводные (электродинамические и электромеханические);
- ступенчатые (релейные);
- электронные.

В основе функционирования феррорезонансных стабилизаторов заложен эффект феррорезонанса, который обеспечивает постоянное регулирование напряжения на выходе. В настоящее время применение данного вида стабилизаторов ограничено из-за слишком высокой стоимости.

Стабилизаторы напряжения сервоприводного типа базируются на трансформаторе вариационном, который через первичную обмотку соединен с бустерным. Подключенная к входящему напряжению и нагрузке вторичная обмотка обеспечивает необходимое выходное напряжение. Достоинством сервоприводных стабилизаторов является невысокая цена, небольшая погрешность на выходе и плавность регулировки.

Ступенчатые приборы работают по принципу контроля напряжения с автотрансформатора через электронные коммутаторы, которые управляются микропроцессорными схемами. Релейные коммутаторы самые дешевые, но имеют много недостатков: они недолговечны, не обеспечивают необходимой точности и быстродействия, несовместимы с электронной техникой и т. д.

Электронные стабилизаторы симисторного типа на микропроцессорной схеме управления, где в качестве ключей применяются симисторы или тиристоры, характеризуются быстродействием, высокой точностью стабилизации, отсутствием шума, непрерывностью напряжения, неискаженной синусоидой и длительным сроком службы [6]. В обобщенном виде стабилизатор напряжения — это регулирующий компонент, подсоединяемый параллельно нагрузке [7].

Предлагается в среде *Matlab R2014a* исследовать выходные характеристики импульсного стабилизатора постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), на вход которого подключен нелинейный сигнал разряда суперконденсатора. На рис. 2 приведена структурная схема подключения ионисторного модуля и импульсного стабилизатора постоянного напряжения (ИСН). Силовая часть стабилизатора состоит из полевого транзистора *VT*, сглаживающего фильтра и активной нагрузки  $R_H$ .

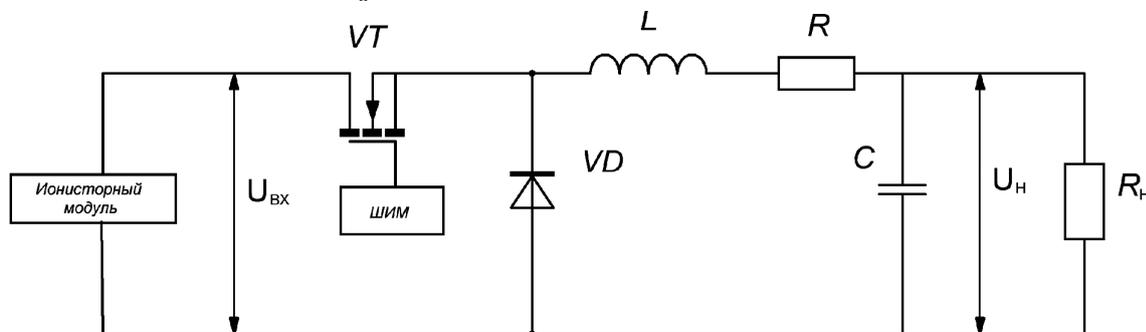


Рис. 2. Структурная схема подключения ионисторного модуля и импульсного стабилизатора постоянного напряжения

Полевой транзистор *VT* работает в двух ключевых режимах: открытом и закрытом. В момент открытия регулирующего транзистора *VT* входное напряжение  $U_{ВХ}$  первичного источника,

которым является ионисторный модуль, поступает на вход сглаживающего фильтра. Ток протекает через первичный источник, дроссель и нагрузку, так как полупроводниковый диод  $VD$  не пропускает ток в другую сторону. В закрытом состоянии транзистора  $VT$  напряжение на входе сглаживающего фильтра отсутствует. Через полупроводниковый диод  $VD$  проходит ток, который поддерживается за счет накопленной энергии в дросселе.

Система управления транзистором содержит ШИМ, определяющий режим переключения транзистора с периодом  $T$  и относительной длительностью открытого состояния [8]. Для получения математической модели стабилизатора напряжения необходимо применить *метод усреднения переменных для линейных моделей*. Для этого заменим значения пульсирующего напряжения и тока значениями, средними за период. Такая модель дает результаты с малыми отклонениями от установившегося режима. Допустим, что в ИСН установился периодический процесс с периодом  $T$  и относительной длительностью замкнутого состояния ключа [9]. Различают три положения ключа для данного периодического процесса, которые представлены на рис. 3.

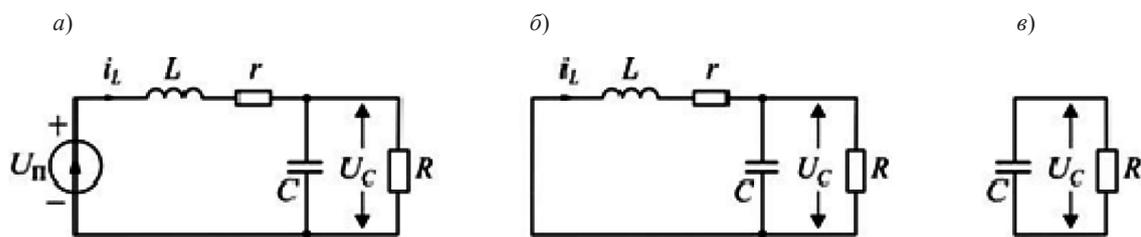


Рис. 3. Схемы замещения ИСН:

*a* — ключ замкнут; *б* — ключ разомкнут и  $i_L > 0$ ;  
*в* — ключ разомкнут и  $i_L = 0$

Схема замещения ИСН для интервалов времени, когда транзистор  $VT$  находится в открытом состоянии, показана на рис. 3, *a*. Уравнения силовой части ИСН в переменных состоянии в этом случае имеют вид [10]:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{r}{L}i_L - \frac{1}{L}U_c + \frac{1}{L}U_n; \quad (1)$$

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{C}i_L - \frac{U_c}{RC}. \quad (2)$$

Для интервалов времени, когда транзистор  $VT$  закрыт, схемы замещения представлены на рис. 3, *б* и *в*, соответственно, для  $i_L > 0$  и  $i_L = 0$ . При  $i_L > 0$  уравнения силовой части ИСН в переменных состоянии принимают вид:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{r}{L}i_L - \frac{1}{L}U_c; \quad \frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{C}i_L - \frac{U_c}{RC}. \quad (3)$$

В ИСН процесс описывается уравнением, представленным для случая, если  $i_L = 0$

$$\frac{dU_c}{dt} = -\frac{U_c}{RC}. \quad (4)$$

Исключив из уравнений (3) и (4) ток дросселя  $i_L$ , можно получить уравнения типа «вход-выход» силовой части ИСН:

– при открытом транзисторе

$$\frac{d^2U_c}{dt^2} + a_1 \frac{dU_c}{dt} + a_0 U_c = b_0 U_n; \quad (5)$$

– при закрытом транзисторе

$$\frac{d^2U_c}{dt^2} + a_1 \frac{dU_c}{dt} + a_0 U_c = 0. \quad (6)$$

Здесь  $a_1 = \frac{LC_r}{RLC}$ ;  $a_0 = \frac{R+L}{RLC}$ ;  $b_0 = \frac{1}{LC}$ .

Объединив уравнения (5), (6) и заменив входное напряжение в виде импульсов со средним значением, получим

$$\overline{\overline{U}} = \gamma U_n, \quad (7)$$

где  $U_n$  — относительная длительность открытого состояния транзистора.

Получим

$$\frac{d^2U_c}{dt^2} + a_1 \frac{dU_c}{dt} + a_0 U_c = \overline{\overline{U}}. \quad (8)$$

По уравнению (8) найдём передаточную функцию силовой части ИСН:

$$W_c(s) = \frac{U_c}{U_n} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}. \quad (9)$$

На рис. 4, а изображена операторно-структурная схема модели силовой части ИСН с ШИМ. Схема содержит два нелинейных элемента. ШИМ, который преобразует напряжения управления  $U_y$  в относительную длительность, представлен звеном с насыщением, а уравнение (7) — элементом умножения.

а)

б)

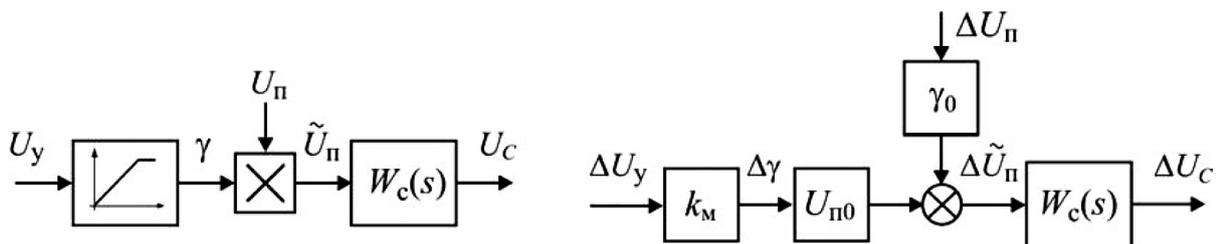


Рис. 4. Структура моделей ШИМ и силовой части ИСН:  
 а — нелинейная модель; б — линеаризованная модель

Таким же образом необходимо произвести линеаризацию нелинейных элементов. Для этого входные и выходные переменные нелинейных элементов запишем в приращениях относительно их значений в установившемся режиме:

$$\Delta\gamma = \gamma - \gamma_0; \quad (10)$$

$$\Delta U_n = U_n - U_{n0}; \quad \Delta \overline{\overline{U}} = \overline{\overline{U}} - \overline{\overline{U}}_{n0}. \quad (11)$$

Линеаризованные уравнения ШИМ и элемента умножения имеют вид:

$$\Delta\gamma = k_m \Delta U_y; \quad (12)$$

$$\Delta \overline{\overline{U}} = U_{n0} \cdot \Delta\gamma + \gamma_0 \cdot \Delta U_n. \quad (13)$$

Операторно-структурная схема линеаризованной модели силовой части ИСН с ШИМ представлена на рис. 4, б [11]. Для верификации совместной работы ИСН и ионисторного модуля в программе *Matlab* была разработана компьютерная модель (рис. 5) согласно предложенной структурной схеме (см. рис. 2).

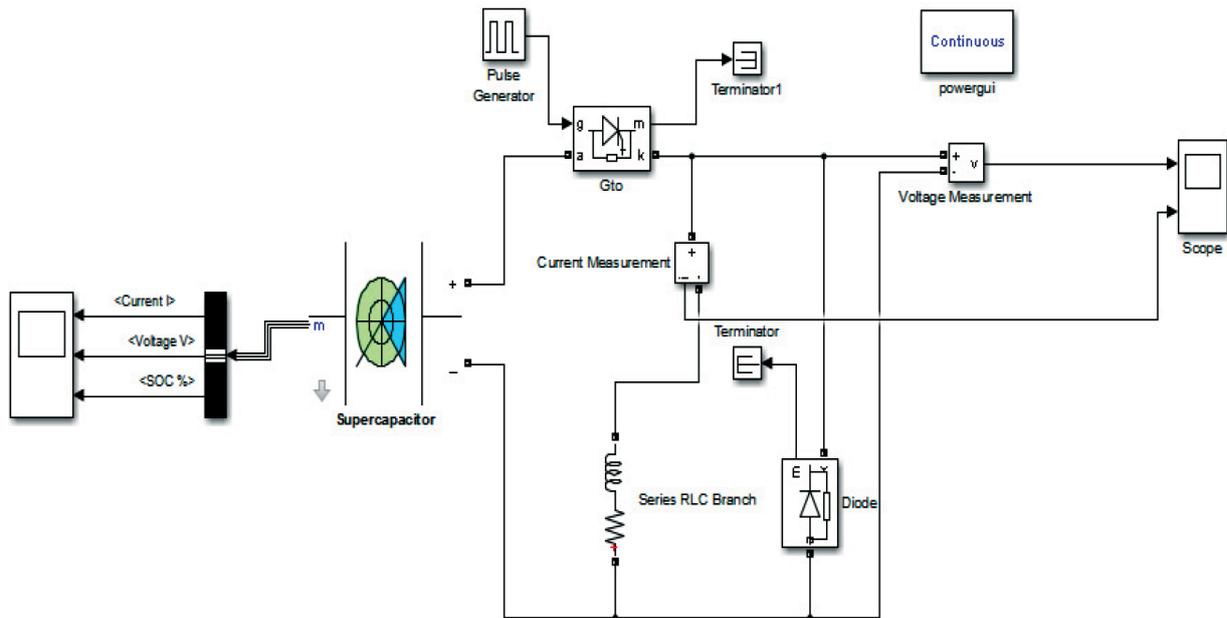


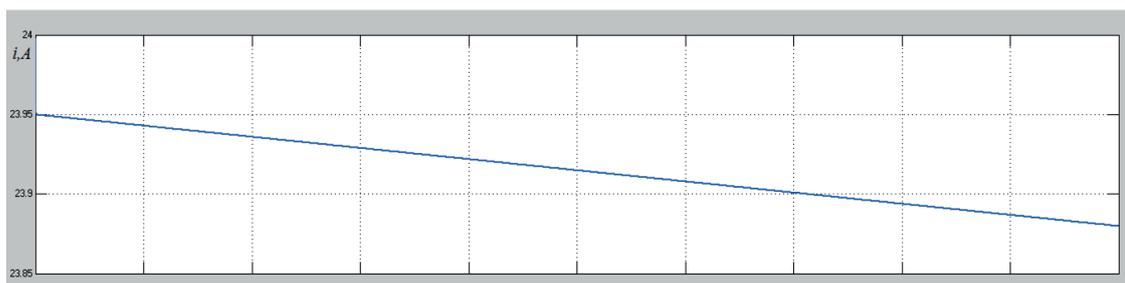
Рис. 5. Компьютерная модель ИСН в программе Matlab

Был проведен следующий эксперимент: на вход ИСН был подключен ионистор емкостью  $C = 3000 \text{ Ф}$  и номинальным напряжением  $U = 27 \text{ В}$ , имитирующий десять последовательно подключенных ионисторных батарей. Для этой цели может быть использован ионистор *Maxwell BCAP3000P270K04*. Устройство для катодной защиты с автономным питанием содержит в качестве блока формирования амплитуды импульсов импульсную катодную станцию с максимальной амплитудой выходного напряжения  $24 \text{ В}$ .

### Результаты (Results)

В результате эксперимента был получен ряд зависимостей на входе и на выходе ИСН (рис. 6 и 7).

а)



б)

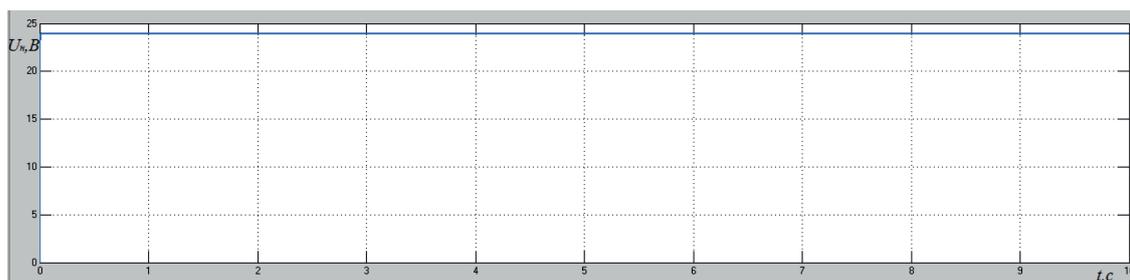


Рис. 6. Зависимость выходного тока с транзистора:

а — значение тока  $i(t)$ ; б — значение выходного напряжения стабилизатора  $U_H(t)$

По выходным характеристикам ионистора (см. рис. 7) видно, что с течением времени напряжение снижается на 0,1 В, так как ионистор разряжается и отдает энергию для поддержания работы ИСН.

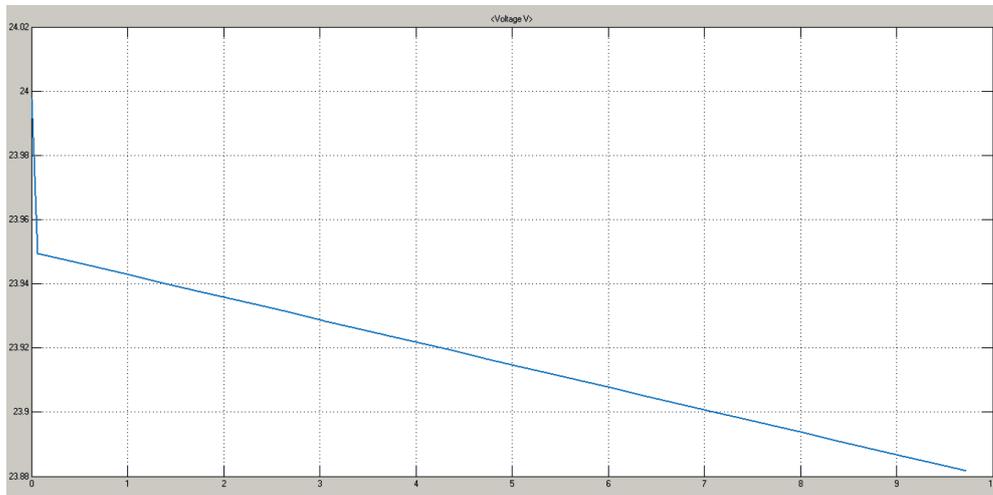


Рис. 7. График зависимости выходного напряжения разряда ионистора от времени  $U(t)$

Значение выходного напряжения стабилизатора остается на заданном уровне  $U = 24$  В (см. рис. 6). Поддержание напряжения стабилизатором напряжения на заданном уровне осуществляется за счет снижения выходного тока транзистора.

### Обсуждение (Discussion)

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что ионисторный модуль в комплексе со стабилизатором напряжения способен обеспечить станцию катодной защиты напряжением 24 В. С помощью внедрения в систему катодной защиты таких устройств, как ионистор, который позволяет обеспечить основным и резервным питанием всю систему в целом, и стабилизатора напряжения, который позволяет получить необходимое выходное напряжение, был выявлен факт снижения выходного тока транзистора, и, как следствие, поддержания напряжения на заданном уровне.

Сопоставив существующее устройство импульсной катодной защиты с автономным питанием А. А. Анашкина и устройство катодной защиты, описанное в данной статье, можно сделать вывод о том, что принципиальным отличием является наличие аккумулятора вместо ионисторного модуля в схеме А. А. Анашкина.

На основе ранее изложенного можно сделать вывод о том, что ионистор имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с аккумулятором. Поэтому наличие аккумулятора в системе катодной защиты металлических сооружений влечет большие финансовые и административные затраты в обслуживании по сравнению с системами катодной защиты, в структуру которых входит ионисторный модуль.

### Выводы (Summary)

1. Полученный источник электрической энергии будет иметь стабильный выходной электрический сигнал и по сравнению с существующими аналогами обладает следующим рядом преимуществ:

- широкий температурный диапазон (способен сохранять работоспособность до  $-60$  °С);
- высокий срок эксплуатации;
- низкие массогабаритные показатели;
- отсутствие необходимости постоянного обслуживания.

2. Для верификации полученных результатов в дальнейшем необходимо разработать испытательный макет предлагаемого устройства, исследование которого позволит в полной мере объективно оценить работоспособность предлагаемого технического решения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатхуллин А. А. Новые перспективные материалы для анодов катодной защиты от коррозии / А. А. Фатхуллин, И. Г. Гараев // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17. — № 8. — С. 296–299.
2. Пат. 2011133651 Российская Федерация, МПК C23F 13/00. Устройство для импульсной катодной защиты / А. А. Анашкин, В. В. Чулючкин; заяв. и патентообл. Анатолий Александрович Анашкин. — № 2011133651/02; заявл. 11.08.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.
3. Пат. 2011133653 Российская Федерация, МПК C23F 13/00. Устройство для катодной защиты с автономным питанием / А. А. Анашкин, В. В. Чулючкин; заяв. и патентообл. Анатолий Александрович Анашкин. — № 2011133653/02; заявл. 11.08.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.
4. ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения: Сооружения подземные: Общие требования к защите от коррозии. — М.: Стандартинформ, 2006. — 55 с.
5. Зайнуллин Р. С. Оценка технического состояния и ресурса нефтегазохимического оборудования / Р. С. Зайнуллин, А. Г. Гумеров, А. Г. Халимов. — М.: Недра, 2004. — 286 с.
6. Скуридин Н. Н. Определение оптимальных режимов работы станций катодной защиты системы электрохимической защиты магистральных трубопроводов / Н. Н. Скуридин, А. А. Кузнецов, Д. А. Неганов, С. Ю. Глушков // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2011. — № 4. — С. 90–94.
7. Импульсный стабилизатор напряжения с пропорционально-интегральным регулятором: метод. указания к выполнению лаб. работы для студентов, обучающихся по направлениям: 210100 «Электроника и нанoeлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» / сост. О. С. Вадутов. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 10 с.
8. Никулин С. А. Оптимизация режимов установок электрохимической защиты / С. А. Никулин, Е. Л. Карнавский // Системы управления и информационные технологии. — 2014. — Т. 57. — № 3. — С. 64–68.
9. Ермаков А. В. Разработка и испытания композиционных анодных заземлителей для электрохимической защиты от коррозии / А. В. Ермаков [и др.] // Территория Нефтегаз. — 2013. — № 11. — С. 30–37.
10. Кочешкова Л. Г. Модель исследования электронной и ионной проводимостей в системе катодной защиты / Л. Г. Кочешкова [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2013. — № 9. — С. 88–90.
11. Белоусов И. В. Сравнительный анализ методов широтно-импульсной модуляции / И. В. Белоусов, В. Ф. Самосейко, Л. М. Бровцинова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 420–429. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-420-429.

#### REFERENCES

1. Fatkhullin, A.A., and I.G. Garaev. "Novye perspektivnye materialy dlya anodov katodnoi zashchity ot korrozii." *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* 17.8 (2014): 296–299.
2. Anashkin, A.A., and V.V. Chulyuchkin. RU 2011 133 651 A, IPC C 23 F 13/00. *Ustroistvo dlya impul'snoi katodnoi zashchity*. Russian Federation, assignee. Publ. 20 Feb. 2013.
3. Anashkin, A.A., and V.V. Chulyuchkin. RU 2011 133 653 A, IPC C 23 F 13/00. *Ustroistvo dlya katodnoi zashchity s avtonomnym pitaniem*. Russian Federation, assignee. Publ. 20 Feb. 2013.
4. Russian Federation. State Standard GOST 9.602-2005. *Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya: Sooruzheniya podzemnye: Obshchie trebovaniya k zashchite ot korrozii*. M.: Standartinform, 2006.
5. Zainullin R.S., Gumerov A.G., Halimov A.G. *Estimation of a technical condition and a resource oil and gas chemical the equipment* - M: Nedra, 2004.

6. Skuridin, N.N., A.A. Kuznetsov, D.A. Neganov, S.Y. Glushkov. "Determining optimal operating modes of cathodic protection stations used in electrochemical protection systems of main pipelines." *Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation* 4 (2011): 90–94.

7. Vadutov, O.S. *Impul'snyi stabilizator napryazheniya s proporsional'no-integral'nyim regul'yatorom: metod. ukazaniya k vypolneniyu lab. raboty dlya studentov, obuchayushchikhsya po napravleniyam 210100 «Elektronika i nanoelektronika» i 201000 «Biotekhnicheskie sistemy i tekhnologii»*. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2014.

8. Nikulin, S.A., and E.L. Karnavskii. "Optimizatsiya rezhimov ustanovok elektrokhimicheskoi zashchity." *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* 57.3 (2014): 64–68.

9. Ermakov, A.B., C.B. Nikiforov, M.S. Igumnov, E.S. Studenok, V.A. Popov, V.A. Zhelobetskii, and A.B. Popov. "Razrabotka i ispytaniya kompozitsionnykh anodnykh zazemlitelei dlya elek-trokhimicheskoi zashchity ot korrozii." *Territoriya Neftegaz* 11 (2013): 30–37.

10. Kocheshkova, L.G., D.V. Suvorov, V.V. Palashov, and M.A. Kocheva. "Model' issledovaniya elektronnoi i ionnoi provodimostei v sisteme katodnoi zashchity." *International journal of applied and fundamental research* 9 (2013): 88–90.

11. Belousov, Igor V., Veniamin F. Samosejko, and Ludmila M. Brovtsinova. "Comparative analysis of the pulse width modulation methods." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 10.2 (2018): 420–429. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-420-429.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Труднев Сергей Юрьевич** —  
кандидат технических наук  
ФГБОУ ВО « КамчатГТУ»  
683980, Российская Федерация,  
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35  
e-mail: [trudnev@mail.ru](mailto:trudnev@mail.ru)  
**Шуваева Алена Олеговна** — аспирант  
*Научный руководитель:*  
Пюкке Георгий Александрович —  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО « КамчатГТУ»  
683980, Российская Федерация,  
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35  
e-mail: [alena.kozyrkova@gmail.com](mailto:alena.kozyrkova@gmail.com)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Trudnev, Sergey Yu.** —  
PhD  
Kamchatka State Technical University  
35 Kluchevskaia Str., Petropavlovsk-Kamchatsky,  
683980, Russian Federation  
e-mail: [trudnev@mail.ru](mailto:trudnev@mail.ru)  
**Shuvaeva, Alena O.** — Postgraduate  
*Supervisor:*  
Pykke Georgy Aleksandrovich  
Kamchatka State Technical University  
35 Kluchevskaia Str., Petropavlovsk-Kamchatsky,  
683980, Russian Federation  
e-mail: [alena.kozyrkova@gmail.com](mailto:alena.kozyrkova@gmail.com)

*Статья поступила в редакцию 27 июня 2018 г.*

*Received: June 27, 2018.*