

СЪВРЕМЕННИ ИЗИСКВАНИЯ, НА КОИТО ТРЯБВА ДА ОТГОВАРЯ УРЕДБА ЗА КАТОДНА ЗАЩИТА НА ПОДЗЕМНИ МЕТАЛНИ СЪОРЪЖЕНИЯ И КАБЕЛИ

Стефан Стефанов¹, Теодора Христова¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail teodora@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В статията е направен обзор на станциите за катодна защита и методите на управлението им. Въз основа на този обзор са дефинирани критерии, на които трябва да отговаря една съвременна катодна станция. Предложена е катодна станция, която покрива голяма част от критериите за съвременна катодна станция. Предложена е схема на автоматично устройство, което работи в импулсен режим.

CONTEMPORARY REQUIREMENTS TO DEVICE FOR CATHODE PROTECTION OF UNDERGROUND METAL EQUIPMENTS AND CABELS

Stefan Stefanov¹, Teodora Hristova²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail teodora@mgu.bg

ABSTRACT. The article presents a survey of stations for cathode protection and the methods for their control. On the base of the survey are defined criteria, in parallel with which has to be constructed any contemporary cathode protection. The author suggests cathodic station that fulfils the most of the criteria for such kind of temporary cathode protection. A scheme of automatic device, working in impulse regime, is applied too.

Въведение

Станцията за катодна защита е едно от ефикасните средства за защита от електрохимична и почвена корозия на металните съоръжения, комуникации, тръбопроводи и газопроводи в зоната на повишена киселинност и влажност на почвата, а също в местата на пресичането им с пътя на електрифициран транспорт. С необходимостта от такава защита се сблъскват предприятията на нефтената, газова, химическата промишленост, енергетичните комплекси, разполагащи мрежи от тръбопроводи, подземни метални съоръжения и комуникации; предприятията на комуналното стопанство, обслужващи градските тръбопроводи, силовите и информационни кабели с метална обвивка, градските служби на електростопанството и електротранспорта, селскостопанските предприятия, имащи метални съоръжения и комуникации в почви с повишена агресивност или в зоната на действие на блуждаещи токове.

Номенклатурата на действащите на обектите понастоящем (у нас и в чужбина) станции за катодна защита е много широка. Една от друга станциите се различават с голямо разнообразие по принципа на регулиране на изходната мощност и конструктивното изпълнение.

Класификация, предимства и недостатъци

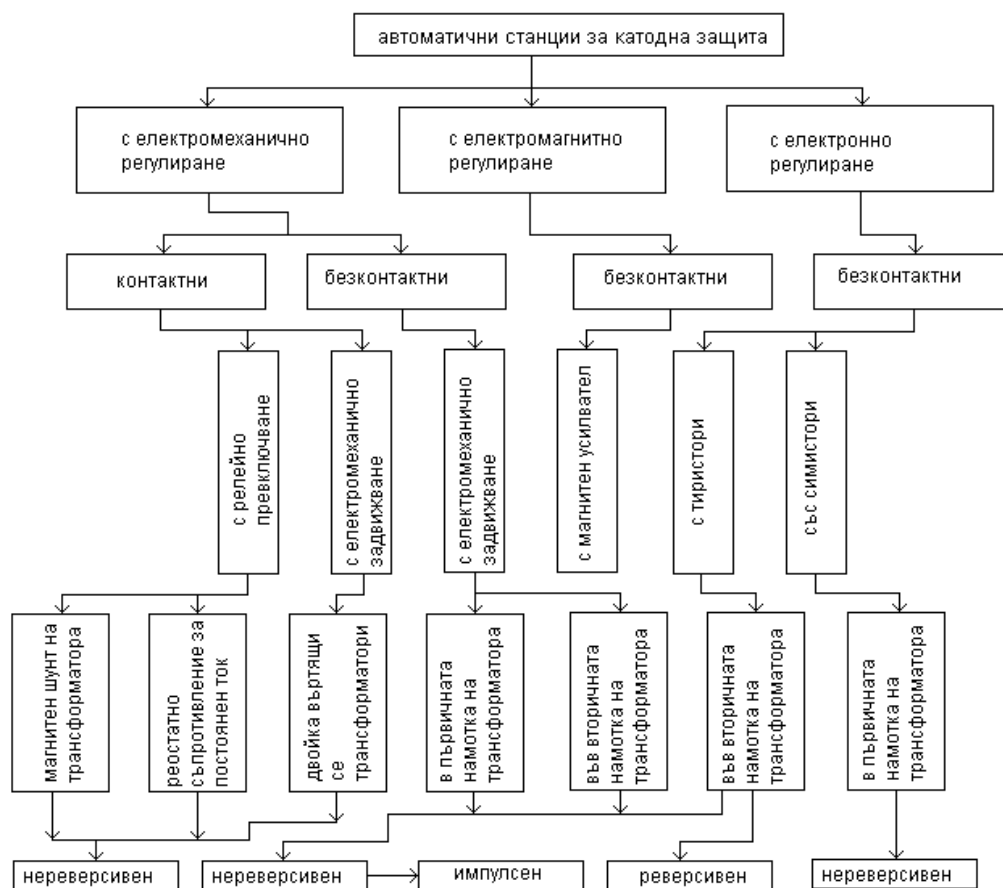
Производството на катодни станции е добре развит отрасъл в Русия, Европа и САЩ. По вида на регулиращия орган автоматичните станции за катодна защита на

подземни комуникации (АСКЗ) се класифицират в съответствие с фиг.1.

Автоматичните регулатори на потенциалната разлика „подземно съоръжение-земля“, включени във веригата на променливия ток са статични. Те се състоят от устройства за установяване на зададената стойност на потенциалната разлика (задаващи устройства), устройства за измерване на фактическата потенциална разлика (измервателни устройства със стационарен медносулфатен електрод за сравнение), усилватели на мощност, изпълнителен орган, изменящ силата на тока във веригата на СКЗ.

Стационарният неполяризиращ медносулфатен електрод за сравнение е неотделима част от датчика за потенциала, както в автоматичните станции за катодна и дренажна защита, така и при телеконтрол на потенциала на подземните съоръжения.

Понастоящем болшинството от работещите станции са изпълнени или на изправители с директно изменение на изходното напрежение по пътя на превключване на коефициента на трансформация на силовия трансформатор, или във вид на тиристорно регулиране на изправителя със схема на стабилизация на изходния ток или напрежение. Двата вида станции съдържат голям понижаващ трансформатор, работещ на промишлена честота.



фиг.1. класификация на видовете катодни станции

Към станциите от първия тип (станции от ранно поколение) се отнасят (Бекман, 1984; Притула, 1996; Никитенко Е. А., 1976; Волков Б. Г., 1975; Стрижевский И. В., 1968; Мелютин А. А., 2001; Фрейман Л. И., 1999; Палашов В. В., 1998):

1. АСКЗ с релейно превключване на тока

В схемата на такава станция се използва релеен блок, който автоматично я изключва при определена потенциална разлика на съоръжението, превишаваща допустимата стойност $[-(1,3-1,5)V]$, по медносулфатния електрод за сравнение и я включва при неголеми отрицателни $[-(0,5-0,6)V]$ и положителни потенциални разлики (Никитенко Е. А., 1976). Горната и долна граници на потенциалната разлика „подземно съоръжение-земя“ се установява с контактен волтметър.

2. АСКЗ с електромагнитно задвижване на регулиращия орган.

Тук се отнасят станциите с:

- а) магнитен шунт на трансформатора;
- б) с въртящи се трансформатори;
- в) с реостатно съпротивление във веригата на изправения ток.

И в трите случая преместването (на шунта на трансформатора, завъртането на двойката трансформатори и изместването на плъзгача на реостатното съпротивление) се осъществява с помощта на електродвигател, който се включва при крайните стойности на тока на СКЗ, съответстващи на диапазона на регулиране.

3. АСКЗ с магнитен усилвател.

В този случай предназначението на електромагнитното устройство е да регулира променливия ток със значителна мощност, с помощта на постоянен ток с малка мощност, тъй като с изменение на стойността на потенциалната разлика „тръба-земя“ се изменя големината на постоянния ток в управляващата намотка на усилвателя.

Силвата намотка на магнитния усилвател може да бъде включена в първичната или вторичната намотка на трансформатора. Вторият вариант е по-рационален.

Станциите от първия тип не могат да осигурят стабилност на защитния потенциал на съоръжението при изменение на проводимостта на почвата, при позиционно регулиране на СКЗ в зона на блуждаещи токове. В този случай се забелязва неустойчива работа на поляризованото реле за постоянен ток, изискващо фина регулировка, причиняващо трептене и нагар на контактите и свързани с това откази в работата. Затова способства малкият диапазон на регулировка на релето (по-малък от 1 V). Това е причина блока за автоматизация на СКЗ с релейно превключване да има ограничено разпространение.

При регулиране на изправения ток на АСКЗ с помощта на реостатно съпротивление възникват загуби на електроенергия в реостата и се изменя общото съпротивление във веригата на АСКЗ. Катодната станция,

приведена в автоматично регулиране, работи със завишена мощност.

Магнитните усилватели с постоянен ток на изхода, могат да се използват в схемите за АСКЗ със средна мощност. С увеличаване на изходната мощност на СКЗ с магнитни усилватели забележимо отстъпват на тиристорните по редица енергийни и експлоатационни параметри. Например, к.п.д. на двутактен магнитен усилвател с постоянен ток на изхода е примерно 17% (Никитенко Е. А., 1976). 3]. Това означава, че за осигуряване на товара на мощност 1 kW, реверсивна АСКЗ трябва да съдържа два магнитни усилвателя с мощност примерно 6 kW и силов трансформатор със същата мощност. Това изисква увеличаване на габаритните размери и маса на уредите до граници, изключващи възможността от тяхното използване в качествено СКЗ.

Трябва да се отбележи обаче, че регулатор с реостатно съпротивление във веригата за постоянен ток може да бъде монтиран на катодна мрежова станция от всякакъв тип. При АСКЗ с магнитен усилвател отсъстват движещи се части, надеждни са и при работа продължително време, нечувствителни са към претоварване.

Анализът на АСКЗ на подземни комуникации по принципа на регулиране позволява да се открият някои общи тенденции на автоматизацията и преди всичко отдаване в товара на значителна мощност, при неголеми габаритни размери на станциите, добри енергийни показатели и висока надеждност. Тези изисквания са продиктувани от условията за експлоатация на устройствата за защита от корозия. Особено актуални са те понастоящем във връзка със значителния ръст на дължината на магистралните газопроводи и други подземни съоръжения, развитие на много тръбопроводни системи, а също и стареенето на изолационните покрития.

Увеличаването на изходната мощност на СКЗ при ограничаване на габаритните им размери и маса неизбежно води до използването в силовите блокове на полупроводникови елементи. Експлоатационните и технически параметри на съвременните управляеми изправители са на такова ниво, което позволява с успех използването им в АСКЗ, създавайки висока надеждност, дълъг живот, удобство при експлоатация и сравнително не скъпи устройства. Те се използват в схемите на АСКЗ с предпочитание, пред електроконтактната силова апаратура. Това са СКЗ от втория тип т.е. от по-късното поколение. Те допускат работа в автоматичен режим и могат да осигурят достатъчна стабилност на защитния потенциал даже на силно изменяща се във времето агресивност на почвата или при въздействие на блуждаещи токове. Към тези станции се отнасят:

1. АСКЗ с електронно регулиране. В качеството на регулиращ орган се използват управляеми полупроводникови изправители – тиристори. Включването на тиристора се извършва с помощта на сигнал за управление, подаван от управляващия електрод. При изменение на поляриността на външното напрежение тиристорът може да се превключва от запушено състояние в отпушено и обратно. Изключването се извършва с премахването на

положителната потенциална разлика на главните електроди на тиристора. В някои АСКЗ като регулатор вместо тиристори се използват симистори.

2. Реверсивни АСКЗ. Тяхното създаване е във връзка с особеностите на корозията на оловото и алуминия. Но реверсивните АСКЗ са универсални и намират приложение и при защита от електрокорозия на стоманени съоръжения. Създаването на реверсивни АСКЗ, отговарящи на съвременните е чрез използването на тиристорите.

3. АСКЗ от импулсен тип. Едно от направленията за повишаване на икономическата ефективност на катодната станция е използването на метода на прекъсната катодна поляризация и понижаване на разхода на електроенергия. Ако при действието на непрекъсната катодна защита стойността на защитния потенциал на подземното съоръжение се осигурява с постоянна плътност на тока, то методът на прекъсната защита се състои в това, че АСКЗ периодично се изключва с автоматично устройство – електронно реле за време.

От направения анализ като недостатъци на съществуващите станции за катодна защита могат да се посочат:

- нисък к.п.д;
- големи габарити и маса;
- ограничен диапазон на изменение на входното напрежение, чрез което се осигуряват основните технически параметри на станцията;
- нисък коефициент на използване на мощност на входа, при което той значително намалява при понижаване на натоварването на станцията.

Съвременните катодни станции трябва да осигуряват възможност за работа в два режима:

- автоматично поддържане на зададената стойност на защитния потенциал на защитаваното съоръжение;
- стабилизация на напрежението на изходните клеми на станцията.

Съвременната станция за катодна защита трябва да притежава редица качества, отличаващи я от станциите на предишните поколения, а именно:

- висок коефициент на използване по мощност на входа, което ще намали енергопотреблението на станцията;
- основните електрически параметри да се запазват в широк диапазон на изменение на напрежението на захранващата електрическа схема;
- станцията да съдържа елементи, предотвратяващи излизането от строя на нейни възли при атмосферни пренапрежения и мощни електромагнитни смущения, както във веригата на мрежовото напрежение, така и във веригата на товара;
- да съдържа устройство за защита, изключващо силовите преобразуватели при продължително претоварване във веригата на защитния ток, което предотвратява нарушаването на топлинния режим на елементите на станцията;
- станцията да може да работи в режим на късо съединение на товара без ограничения във времето и

автоматично да влиза в зададения режим на работа след отстраняване на късото съединение на товара;

- да осигурява автоматично включване в работа в зададения режим при възстановяване на захранващото напрежение в случай на прекъсване на електроснабдяването;

- станцията да съдържа вграден термоизлъчвател, изключващ силовата част на електромерната в случай на превишаване на температурата на въздуха в корпуса по-висока от прието ниво (например $+80^{\circ}\text{C}$), при това да се осигури нейното автоматично включване на работа в зададения режим при нейното автоматично включване при спадане на температурата на въздуха по-ниска от прието ниво (например $+40^{\circ}\text{C}$);

- да осигурява отвеждане на блуждаещите токове от захранващото съоръжение към анодния заземител при отсъствие на захранващо напрежение на станцията;

- станцията да е снабдена с измервателни уреди, позволяващи измерване на напрежението на изходните й клеми, на защитния потенциал на съоръжението по отношение на електрода за сравнение и на защитния ток;

- станцията да е комплектувана с електромер, с помощта на който потребителят да заплаща електроенергията не по номинална мощност на устройството, а за фактическата консумация на електроенергията;

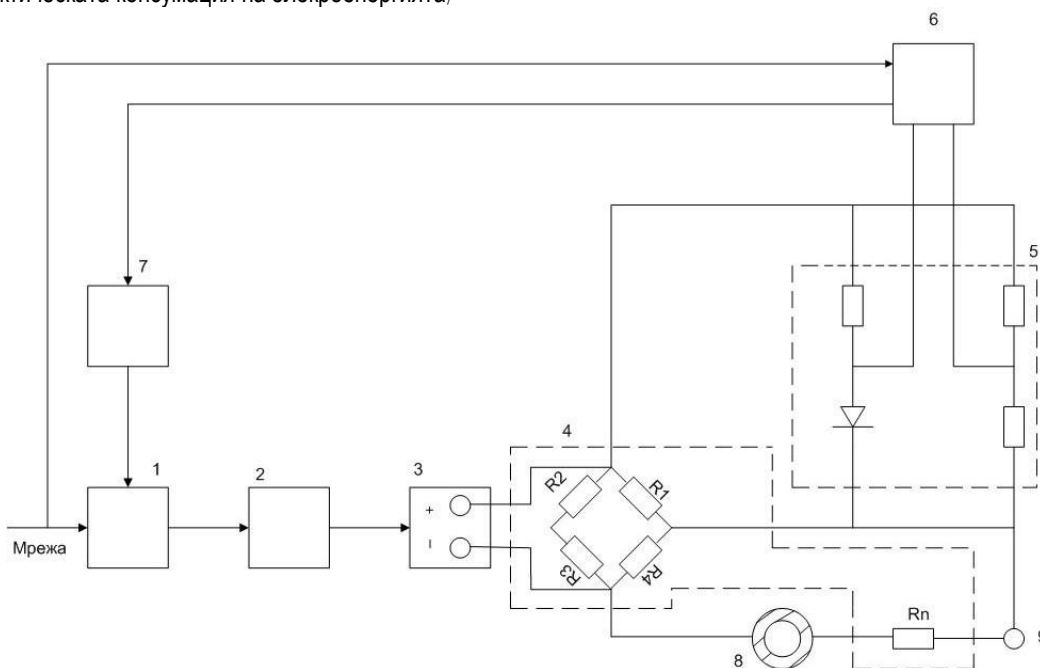
- станцията да може да се комплектова със степенно режимно устройство за превключване на изходния ток, което допълнително ще позволи икономия на консумираната електроенергия;

- Станцията да е с възможности за включване на устройство за дистанционно задаване, регулиране и контрол на режима на работа на параметрите.

Автоматична катодна станция

В статията се предлага схема на автоматична катодна станция с уравнивяване на измервателен мост чрез съпротивлението на почвата, включено в едно от рамената на моста.

На фиг. 2 е дадена схема на АСКЗ, където: 1 е регулатор на напрежение; 2-трансформатор; 3 - изправителен мост; 4 - уравнивесен мост, състоящ се от съпротивленията R_1, R_2, R_3, R_4 и R_n (съпротивление на почвата); 5 – блок за сравнение; 6 - усилвател; 7 - блок за управление на тиристор; 8 - защитавано съоръжение; 9 - анодно заземление.



фиг.2. Автоматична станция за катодна защита

АСКЗ работи по следния начин. При включване в мрежата на регулатора на напрежение 1, регулируемото напрежение постъпва в понижавачия трансформатор 2, който понижава и галванично разделя пониженото напрежение от мрежата. Изправителният мост (по схемата на Грец) 3, преобразува вторичното напрежение в постоянно, с което се захранва мостът 4. Последният се уравнивява при ефективна защита с участието на съпротивлението на почвата R_n . В блока за сравнение 5 постъпва сигнал, само в случай, когато уравнивесеният мост се разбалансира. Това става под въздействието на промяна на съпротивлението на почвата R_n , независимо от това, от кого е предизвикано (почвени, атмосферни,

топлинни, подводни и други смущаващи фактори). В едно от рамената на моста са включени последователно анодното заземление, съпротивлението на почвата R_n и защититаваното съоръжение. Това рамо е свързано паралелно със съпротивлението R_4 . Посредством кабел, анодното заземление 9 е свързано с плюсовата клема на изправителя, а защитното съоръжение – към минусовата.

Сигналят на изхода на измервателния мост се съгласува със стойността на съпротивлението на почвата. При неговото намаляване сигналят нараства, при увеличаване – намалява. По такъв начин, всяко изменение на съпротивлението на почвата във веригата на катодната

защита, шунтиращо едно от рамената на измервателния мост, предизвиква неговото разбалансиране, при което сигналът постъпва в блока за управление 5 на усилвателя 6, блока за управление на тиристора 7, който въвежда регулатора на напрежение 1 в необходимия режим.

Така, в зависимост от съпротивлението на почвата, катодната станция работи в автоматичен режим.

В разгледаните по-преди АСКЗ автоматичното поддържане на катодната защита се осъществява, като сигналът за обратна връзка се избира по потенциала на медносулфатния електрод за сравнение, намиращ се в контакт с корозионната среда. Това е трудно изпълнимо в условията на почва и водна среда, не е удобно в работата. При това не се достига напълно стойността на потенциала за катодна защита, доколкото ефективно действие на електрическия ток във веригата на катодната станция не може да бъде съгласувано. Причината за това е, че

$I = \frac{U}{Z}$ е токът във веригата на катодната станция, а

$I = \delta \cdot dS$ е токът в почвата. Токът I е скаларна величина, а плътността на тока δ - векторна величина. Затова при един и същи ток I във веригата на катодната защита, неговата ефективност на действие във фазата „почва“ зависи от вектора на плътността на тока и може рязко да се изменя при различните измервания в зависимост от почвените и атмосферни условия. Така, при един и същи ток или напрежение на катодната защита, ефективната стойност на тока в почвата за различни почвени и атмосферни условия ще е различно, макар потенциалът на защитаваното съоръжение да е съхранен.

Предложената схема на АСКЗ, работеща със стабилизация посредством съпротивлението на почвата, не отговаря на всички изисквания на една съвременна катодна станция, но тя има следните предимства пред някои от съществуващите:

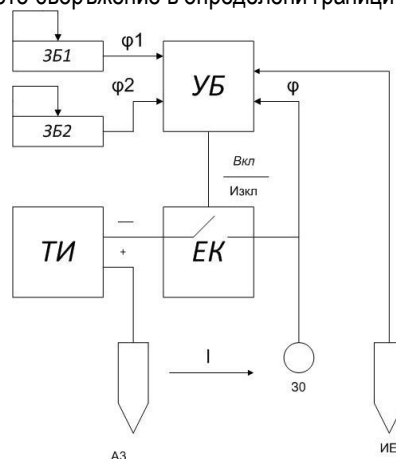
1. Просто устройство;
2. Безконтактен начин на регулиране на управляващия сигнал;
3. Липсва медносулфатен датчик за сравнение, поставен в почвения електролит, работата на който може да се прекъсне заради разкопка на почвата, или да се наруши точността поради изменение на концентрацията в самия медносулфатен електрод;
4. Представената катодна станция е с възможност и за контрол на изменението на омическото съпротивление на защитаваното съоръжение, предизвикващо електрохимичната корозия.

Посочените предимства показват перспективност и ефективност на предложената схема за автоматична катодна станция със стабилизация посредством съпротивлението на почвата.

Катодна защита с прекъснато подаване на тока

За осигуряване на импулсно подаване на ток на защитаваното подземно метално съоръжение се предлага устройство, което може да се монтира във всяка станция

за катодна защита. Схемата на автоматизираната система за регулиране режима на работа на катодната станция чрез контрол върху големината на защитния потенциал на защитаваното подземно съоръжение е дадена на фиг.3, където: ТИ е токоизправител; ЗС – защитавано съоръжение; ИЕ – измервателен електрод за сравнение; ЕК – електронен ключ; УБ – управляващ блок; ЗБ1 и ЗБ2 - задаващи блокове за поддържане на потенциала на защитаваното съоръжение в определени граници.



фиг.3. Автоматично устройство с прекъснато действие

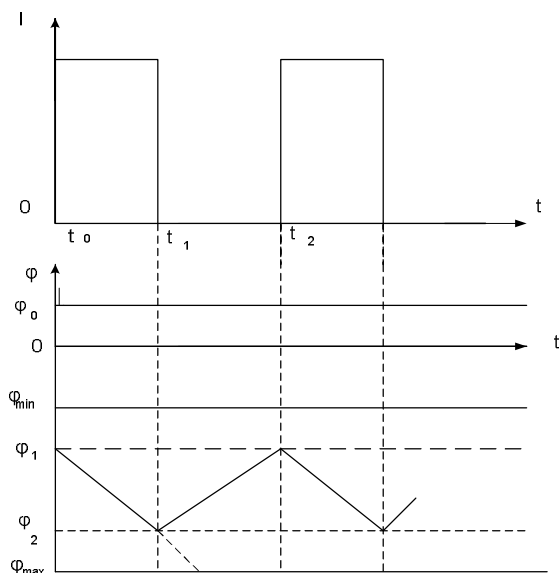
Токоизправителят ТИ е свързан с плюсовия си извод към анодния заземител АЗ, а с минусовия – през електронния ключ ЕК към защитаваното съоръжение ЗС. Електронният ключ се управлява от управляващия блок УБ, който следи потенциала ϕ на защитаваното съоръжение, измерван с помощта на измервателния електрод ИЕ. Чрез блоковете ЗБ1 и ЗБ2 се задават границите ϕ_1 и ϕ_2 , в които трябва да се поддържа големината на потенциала ϕ на защитаваното съоръжение.

При затворен ЕК протича ток по веригата: плюсов извод на ТИ, АЗ, ЗС, ЕК, минусов извод на ТИ. При това потенциалът ϕ на ЗС спрямо земя е отрицателен и нараства по абсолютна стойност до ϕ_2 (фиг.4) в интервала от време t_0 до времето t_1 . Ако токът I е достатъчно голям и не се прекъсва, потенциалът ϕ може да стане по-голям от максималнодопустимия ϕ_{\max} , при който започва разрушаване на антикорозионното покритие на защитаваното съоръжение. При $\phi = \phi_2$ чрез УБ се задейства ЕК и се прекъсва веригата на тока. Защитният потенциал започва да намалява по абсолютна стойност от горната зададена граница ϕ_2 до долната ϕ_1 в интервала от време от t_1 до време t_2 . При $\phi = \phi_1$ чрез УБ се задейства ЕК и отново се възстановява веригата на тока I и т.н. процесът се повтаря. Ако в момента от време t_2 не се възстанови веригата на ток I потенциалът ϕ на ЗС продължава да намалява под долния защитен минимум ϕ_{\min} до нула и се стреми към ϕ_0 , т.е. защитаваното съоръжение добива положителен потенциал, какъвто би имало ако липсваше катодна защита.

Продължителността на превключванията зависи от параметрите на системата „подземно съоръжение-земя“.

В морска вода процесът на изменение на потенциала става много бавно и може да продължи няколко часа. В почва понижаването на потенциала след изключване на защитата става сравнително бързо, в някои случаи може

да се измерва в минути. Съотношението между първия стадий на процеса - времето на поляризацията на подземното съоръжение $T_{п}$ (АСКЗ е включена и $I'_{АСКЗ}=I_{п}$) и втория стадий – времето на неговата деполяризация $T_{д}$ (АСКЗ е изключена и $I'_{АСКЗ}=0$) характеризира ефекта на метода. Практически $T_{п}/T_{д}=0,1\div 0,9$ (Никитенко Е. А., 1976).



Фиг.4. времедиаграма на работа на импулсното устройство

На стойността на $T_{д}$ значително влияние оказва състоянието на изолацията на съоръжението и природата на почвата. Настройката на АСКЗ се извършва по данни от експериментални включения на конкретен участък по трасето на защитаваното съоръжение.

Изводи:

1. Предложена е автоматизирана система за регулиране на работата на катодна станция, при което големината по абсолютна стойност на защитния потенциал ϕ на защитаваното съоръжение автоматично се поддържа в границите $\phi_1 > \phi_{min}$ до $\phi_2 < \phi_{max}$.

2. Превключването се извършва по безконтактен начин от електронен ключ, който се управлява от управляващ блок. При съществуващи катодни станции превключванията се извършват от волтметрово реле

Препоръчана за публикуване от
Катедра „Електротехника“, МЕМФ

(контактен волтметър), а времето се отчита от реле за време.

3. При повреда в изолацията на съоръжението цикличността на работа на катодната станция се променя. По такъв начин, изменението на цикличността на работа на импулсната катодна защита представлява допълнителен контрол за състоянието на изолацията на подземното съоръжение.

4. Системата с прекъснат режим на работа по ток, осигурява по-висок к.п.д на катодната станция по отношение на катодните станции работещи при непрекъснат режим.

5. Подобен режим на работа на катодната станция увеличава не само икономията на електроенергия, но и срока на служба на анодните заземители и позволява сравнително бързо да се изкупят допълнителните капиталови разходи.

Литература

- Бекман В, Швенк К, „Катодная защита от коррозии“, Москва, изд. Металургия, 1984г
- Притула “Перспективы развития и совершенствования в России электрохимической защиты стальных трубопроводов и резервуаров от почвенной коррозии” – Защита металлов, 1996, том 32, №4 с. 406-411
- Никитенко Е. А. „Автоматизация и телеконтроль электрохимической защиты магистральных газопроводов“, М. Недра, 1976
- Волков Б. Г., Н. И. Тесов, В. В. Шуванов, „Справочник по защите подземных металлических сооружений от коррозии“, Л., Недра, 1975г.
- Стрижевский И. В., В.М. Левин, М. В. Тарнижевский „Методы борьбы с электрокоррозией городских трубопроводов“, М., 1968
- Мелютин А. А., А. А. Метельский, В.П. Алявден, Б.А. Тоболтанев „Система катодной защиты магистральных трубопроводов от коррозии“, RU 02161663,2001
- Фрейман Л. И., Ремезкова Л. В., Кузнецова Е. Г., Солодченко Н. М., RU 214107 “Устройство для контроля степени локальной коррозии металлических сооружений” публ. 20.12.1999г.
- Палашов В. В., Светлов А.Н., RU 2102532, “Автоматическая катодная станция” публ. 20.01.1998г.