

1. Гауси М., Лакер К. Активные фильтры с переключаемыми конденсаторами: Пер. с англ. - М., 1986. 2. Мулявка Я. Схемы на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами: Пер. с польск. - М., 1992. - 416 с. 3. А.с. 949663 СССР. Способ определения логарифма/ З.Р. Мычуда, В.Б. Дудыкевич // Открытия. Изобрет. 1982. №29. 4. А.с. 1157551 СССР. Логарифмический аналого-цифровой преобразователь / В.Б. Дудыкевич, З.Р. Мычуда, В.И. Нечепоренко // Открытия. Изобрет. 1985. №19. 5. А.с. 1425726 СССР. Логарифмический аналого-цифровой преобразователь/ З.Р.Мычуда, В.П.Лукашевич // Открытия. Изобрет. 1988. №35. 6. С.С.Lefas. A serial charge redistribution logarithmic A/D converter. "Int. Journal of Circuit Theory and Applications", Vol.17, 1989, pp.47-54. 7. Mychuda Z.R., Piskożub A.Z. A charge redistribution analog-to-digital converters modelling // International Workshop on ADC MODELLING. PROCEEDINGS. House of Scientists, Smolenice Castle, Slovak Republic, May 7-9, 1996, P.100-105. 8. Мичуда З.Р. Логарифмічний АЦП із ступінчато наростаючою розгорткою // Вісник ДУ "Львівська політехніка". 1998. №324. С.106-110. 9. Мичуда З.Р. Логарифмічний АЦП із проміжним перетворенням напруга-струм // Вісник ДУ "Львівська політехніка". 1998. №324. С.101-106. 10. Мичуда З.Р. Порозрядний логарифмічний аналого-цифровий перетворювач // Вимірювальна техніка та метрологія. 1998. №53. С.114-118. 11. Заявка 96114193 Україна. Спосіб логарифмічного аналого-цифрового перетворення / З.Р.Мичуда // Бюл. ПВ. 1997. №3.

УДК 621 .317 .3/4

П. М. Сопрунюк, В. М. Юзевич, Я. Є. Підгірняк
Фізико-механічний інститут НАН України

ЗМЕНШЕННЯ ЧАСОВОГО ДРЕЙФУ КОНТАКТНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

© Сопрунюк П. М., Юзевич В. М., Підгірняк Я.Є., 2001

Описується метод і засоби покращання параметрів морських електродів, зокрема їх часового дрейфу. Ефект досягають завдяки організації вимірювання квазіпостійного поля на змінному струмі.

The article deal with the method of improvement sea electrode. The result is gane with aid of the alternative current meassuring of the quasiconstant field.

Геофізичні дослідження морського дна та пошукові геологічні роботи є важливим науковим і практичним завданням. Розроблено різноманітні методи вивчення структури морського дна [1]. У ряді таких методів інформативним параметром є квазіпостійне електричне поле. Існують різноманітні методи і засоби його вимірювання [2]. Зокрема, застосовують сенсори електричного поля з контактними електродами. Основною вадою електродів є наявність у них подвійного електричного шару, нестабільність якого викликає зміни контактної різниці потенціалів електродів. Під час вимірювань постійних або дуже повільно змінних сигналів виникає серйозна проблема розділення змін власного потенціалу електродів і корисного сигналу. Для покращання чутливості сенсорів поля застосовуються різноманітні способи. Подальше вдосконалення морських сенсорів електричного поля може бути досягнуто зменшенням зміни у часі власного потенціалу електродів, яка зумовлена

різноманітними причинами. Це можна здійснити двома шляхами – вдосконаленням або електродів, або процесу вимірювання.

Основною причиною зміни власного потенціалу електродів є протікання через них струму. Коли такий струм довго протікає в один бік через електрод, електрохімічні процеси, що відбуваються на його подвійному шарі, накопичуються, що приводить до зміни контактного потенціалу середовище – електрод, а отже, і до різниці потенціалів між такими електродами. Деяке зменшення цієї різниці потенціалів досягається попереднім підбором електродних пар і їх тренуванням – витримуванням певний час в середовищі, де проводитиметься вимірювання. Застосування високоомного підсилювача під час вимірювання сигналу електродів приводить до зменшення величини струму, який протікає через електроди, що зменшує поляризаційні зміни потенціалів електродів [3]. Низькі дрейфові характеристики підсилювачів постійного струму обмежують можливості такого шляху.

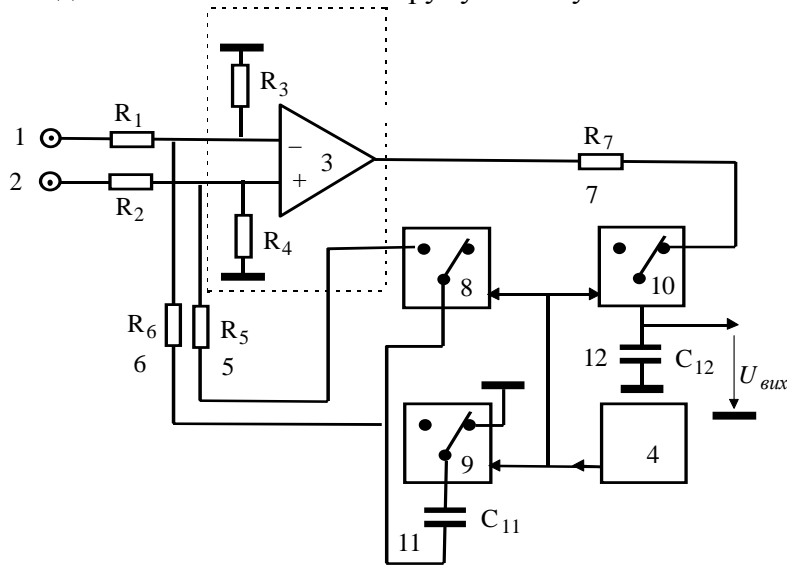


Рис. 1.

Ефективнішим методом зменшення дрейфу власного потенціалу електродів є така реалізація процесу вимірювання потенціалу в електричному середовищі, при котрій струм, що протікає через електроди, в середньому дорівнює нулю [4]. На практиці це можна реалізувати такою організацією процесу вимірювання, коли через електроди періодично протікає в різні боки рівна кількість електрики. Сенсори, що реалізують цей спосіб вимірювання, дозволяють вимірювати різницю потенціалів з більшою точністю, вони мають вищу чутливість. Можливі різноманітні реалізації цього способу. На рис. 1 показано схему одного з них. Тут електроди 1,2 під'єднані до входів диференціального підсилювача 3 з входними опорами R_3 , R_4 . Коефіцієнт підсилення диференціального підсилювача $K > 1$ – постійний. Вихід диференціального підсилювача 3 підключений до розмикаючого контакту перемикача 8 і через резистор R_7 – до такого самого контакту перемикача 10. Перемикаючий контакт останнього перемикача через конденсатор C_{12} з'єднаний із землею. Розмикаючий контакт перемикача 8 з'єднаний через конденсатор C_{11} з таким же контактом перемикача 9, розмикаючий контакт котрого з'єднаний із землею. Замикаючі контакти перемикачів 8,9 з'єднані відповідно через резистори 5,6 з опорами R_5 , R_6 , з неінвертуючим й

інвертуючим входами диференціального підсилювача. Управління перемикачами здійснюється тактовими імпульсами генератора 4. Необхідною умовою роботи такого пристрою є забезпечення щільності імпульсів 0,5. Також необхідно забезпечити принципово важливе співвідношення:

$$R_{1,2} \ll R_{3,4}, R_{5,6} = (K-1) R_{4,3} \quad (1)$$

де $R_{1,2}$ – вихідний опір електродів 1,2.

Пристрій працює так. В першому основному положенні ключів 8,9,10, показаному на рис.2, різниця потенціалів

$$U_{\text{вх}} = (\varphi_2 - \varphi_1) + (e_2 - e_1) \quad (2)$$

де $\varphi_{1,2}$ – потенціал середовища в точках встановлення електродів 1,2; $e_2 - e_1$ – різниця власних потенціалів електродів 1,2.

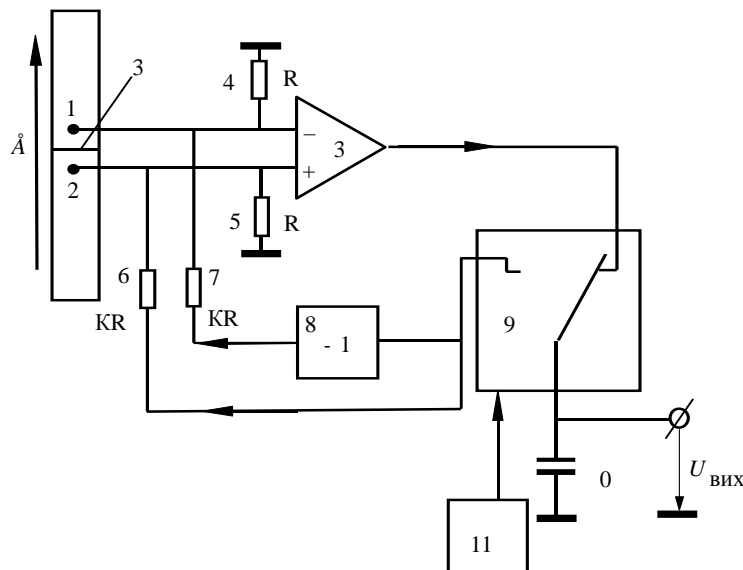


Рис. 2.

Ця напруга надходить на вхід підсилювача і через електроди протікає струм:

$$I_1 \cong \frac{U_{\text{вх}}}{R_3 + R_4}, \quad (3)$$

який за час Δt_n тривалості поточного n -го тактового імпульсу, наприклад, непарного, переносить через електроди 1,2 заряд Δq_n :

$$\Delta q_n = I_1 \cdot \Delta t_n = \frac{U_{\text{вх}}}{R_3 + R_4} \cdot \Delta t_n \quad (4)$$

Одночасно підсилювач 3 заряджає конденсатор 11 до напруги $U_n = K \cdot U_{\text{вх}}$ і через резистор 7 підзаряджає вихідний конденсатор 12. Заряд Δq_n , що протікає через електроди 1,2 та середовище, викликає зміну власних потенціалів контактних електродів, яка зростає в міру збільшення заряду. Після надходження чергового імпульсу від тактового генератора 4 і переходу ключів 8,9,10 у друге основне положення конденсатор 12 відключається від виходу підсилювача 3, зберігаючи потенціал, що встановився на ньому. Конденсатор 11 відключається від виходу підсилювача 3 та від електрода з нульовим потенціалом, зберігаючи на собі попередню різницю потенціалів, через контакти ключів 8,9 і резистори 6

підключається до електродів 1,2. При цьому через електроди протікає струм I_2 , протилежний до I_1 ,

$$I_2 \cong \frac{U_{\text{вх}} \cdot (1 - K)}{R_5 + R_6} \approx -\frac{U_{\text{вх}}}{R_3 + R_4} \quad (5)$$

Цей струм за час тривалості Δt_{n+1} наступного тактового інтервалу, наприклад, парного переносить через електроди 1,2 додатковий заряд Δq_{n+1} оберненого знака до заряду Δq_n

$$\Delta q_{n+1} = I_2 \cdot \Delta t_{n+1} \approx -\frac{U_{\text{вх}}}{R_3 + R_4} \cdot \Delta t_{n+1} \quad (6)$$

Заряд Δq_{n+1} , що протікає через електроди 1,2, викликає обернені зміни власних потенціалів електродів, які також зростають в міру протікання заряду. При щільності тактового генератора 4, близькій до 0,5:

$$S = \frac{\Delta t}{\Delta t_n + \Delta t_{n+1}} \cong 0,5 \quad (7)$$

або, що те саме, при $\Delta t_n = \Delta t_{n+1}$, сумарний заряд q , що пройшов через електроди 1,2 за повний цикл роботи тактового генератора і ключів, стає істотно меншим:

$$0 \leq |q| = |q_n + q_{n+1}| \ll q_{n,n+1}, \quad (8)$$

завдяки чому зменшується сумарна зміна власних потенціалів контактних електродів.

Наступний тактовий імпульс генератора 4 повертає пристрій у вихідне положення. Заряд q , що пройшов через електроди за повний цикл, і середній струм I , можуть бути подані у вигляді:

$$q = I_1 \cdot \Delta t_n + I_2 \cdot \Delta t_{n+1} = (\Delta t_n + \Delta t_{n+1}) \cdot [I_1 \cdot S + I_2 \cdot (1 - S)] \quad (9,10)$$

$$I = \frac{q}{(\Delta t_n + \Delta t_{n+1})} = I_1 \cdot S + I_2 \cdot (1 - S)$$

Якщо виконується співвідношення

$$\frac{I_1}{I_2} = -1 \quad (11)$$

права частина попереднього рівняння перетворюється в нуль при значенні щільності

$$S_0 = \frac{I_2}{I_2 - I_1} \quad (12)$$

Необхідне значення S легко можна одержати, попередньо настроївши пристрій підключенням замість електродів 1,2 додаткових електродів 13,14 і регулюванням щільності тактового генератора, при цьому індикатором правильності настройки слугує незмінність вихідної напруги пристрою.

Зменшення струму що протікає через контактні електроди, веде до зменшення часового дрейфу різниці власних потенціалів контактних електродів, тим самим підвищується точність проведених вимірювань. Під час роботи пристрою відбувається зміна напрямку струму, котрий протікає через електрод. Отже, через контактні електроди протікає змінний струм з частотою f і значенням I :

$$f = \frac{1}{(\Delta t_n + \Delta t_{n+1})}; \quad I = I_{1,2}. \quad (13)$$

Протікання через контактні електроди змінного струму сприяє стабілізації різниці власних потенціалів контактних електродів. Резистор R_7 в створює разом з ємністю C_{12} фільтр нижніх частот, який перешкоджає, зокрема, потраплянню на вихід пристрою частоти f . Резистор 7 створює коло для зарядки конденсатора 11 і відділяє його від шунтуючої ємності конденсатора 12. Прийнятна тривалість тактових інтервалів Δt_n визначається співвідношенням між повним циклом $T = \Delta t_n + \Delta t_{n+1}$ роботи пристрою, ємністю C_{11} конденсатора 11 та спектральним складом досліджуваного сигналу, при якому досліджуваний сигнал мало змінився за час T . Час заряду T_3 конденсатора 11 через вихід підсилювача 3 повинен бути набагато меншим, а час його розряду T через опори 5,6 набагато більшим, ніж T :

$$T \ll T_c; \quad T_3 = R_{\text{вих}} C \ll T; \quad T_{\text{розр}} = (R_5 + R_6) C_{11} \gg T, \quad (14)$$

де T_c – оцінка періоду вищої частоти досліджуваного сигналу, $R_{\text{вих}}$ – вихідний опір підсилювача.

При $R_{3,4} = 10^4$ Ом, $K = 10^3$, $R_{5,6} = 10^7$ Ом, $C_{11} = 10^{-5}$ ф, $T = 10^4$ с, виконуються нерівності: 10^{-6} с $\ll T \ll 20$ с, виконання яких задовольняє умову $T \ll T_c$, що відповідає вимогам для реалізації пристрою.

Вибираючи з практичних міркувань значення T приблизно $10^{-3} \div 10^{-4}$ с, використовуючи, наприклад, графітові електроди і вважаючи вхідний сигнал $U_{\text{вх}} = 1$ мВ, матимемо реальний поляризаційний зсув контактної різниці потенціалів приблизно $2,5 \div 25$ нВ. Тобто найбільший за першу половину періоду роботи ключів поляризаційний зсув буде $2,5 \cdot 10^4 \div 2,5 \cdot 10^{-3}$ % від сигналу. За другу половину періоду роботи ключів поляризаційний зсув, спричинений вимірюваною різницею потенціалів, знищується оберненим струмом, що протікає через електроди. Ті самі електроди підключені на вхідний опір $2 \cdot 10^4$ Ом, не захищені описаним пристроєм при вхідному сигналі 1 мВ і часі його прикладання $T_c/2 = 5 \cdot 10^3$ с, дають поляризаційний зсув ~ 1 мкВ. Маємо збільшення стабільності на $2 \div 3$ порядки. Описаний пристрій має меншу похибку вимірювання і простіші вимоги до підсилювачів через відсутність високоомних кіл.

На рис. 2 показано інший пристрій, що реалізує ту саму схему вимірювання. Він складається з електродів 1,2, гідроканалу з діелектричної труби 3, з перегородкою 4, диференціального підсилювача 5 з коефіцієнтом підсилення K , резисторів з опором R - 6,7 і з опором KR - 8,9, інвертора 10, перемикаючого ключа 11, конденсатора 12, тактового генератора 13.

Завдяки перегородці в гідроканалі, при наявності напруженості електричного поля струм вздовж труби не протікає. Результатом цього є те, що нема падіння напруги на об'ємі води у трубі і об'єм між кінцем труби і перегородкою має однаковий потенціал, Тому кожний з електродів, розташованих в цьому об'ємі, має потенціал кінця труби і на входи підсилювача подається напруга:

$$U = El. \quad (15)$$

При цьому через електроди протікає струм:

$$I = \frac{U}{2 \cdot R + 2 \cdot R_i} \approx \frac{U}{2 \cdot R} \quad (16)$$

Після відключення струму потенціал електродів зміниться порівняно з попереднім станом на величину $\Delta\varphi$, яка визначається виразом:

$$\Delta\varphi = -\frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \frac{i}{i_a} \quad (17)$$

де R , T , n , F – сталі; i_a – граничний струм дифузії в подвійному шарі; i – струм у колі електродів.

Для зменшення негативного впливу такого явища необхідно періодично змінювати напрям протікання струму через електрод. В описуваному пристрої це відбувається в такий спосіб, що конденсатор 12 через розмикаючий контакт перемикаючого ключа 11 заряджається до напруги:

$$U_c = KU \quad (18)$$

Після надходження тактового імпульсу ключ 11 через розмикаючий контакт подає цю напругу через резистор 9 на неінвертуючий вхід диференціального підсилювача і через електроди протікає струм

$$I = \frac{K \cdot U - U}{2 \cdot K \cdot R + 2 \cdot R_i} \approx \frac{U}{2 \cdot R} \quad (19)$$

протилежний струму, що протікав перед цим, і дорівнює йому за амплітудою. Це й дає потрібний ефект зменшення поляризаційного потенціалу електродів. Вихідна напруга в такому пристрої:

$$U_c = Kel. \quad (20)$$

Цей вираз дозволяє одержати значення напруженості електричного поля, що вимірюється.

1. Жданов М.С. *Электроразведка*. М., 1986. 2. Зимин Е.Ф., Кочанов Э.С. *Измерение параметров электрических и магнитных полей в проводящих средах*. – М., 1985. 3. А.с. 1821756 Богородский М.М., Жданов М.С., Пятибрат А.О. и др. *Устройство для измерения разности потенциалов в электролитах* // Бюл. изобрет. 1993 №19. 4. А.с. 1817041 Богородский М.М., Сопрунок П.М., Пидгирняк Я.Е. и др. *Устройство для измерения разности потенциалов в ионпроводящих средах* // Бюл. изобрет. 1993. №19.