

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

В. М. ФИШ, Ю. М. ХОДЖАЯНЦ

О ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ИНТЕГРИРУЮЩЕГО
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ТЕТРОДА

Известные достоинства электрохимических преобразователей определяют их расширяющееся применение. Особый интерес представляет исследование тетродов и соответствующих устройств обработки информации. Сложность физико-химических процессов, протекающих в тетроде, приводит к краевой задаче, решение которой наталкивается на значительные трудности [1, 2, 3]. В связи с этим перспективны исследования, основанные на анализе передаточных функций.

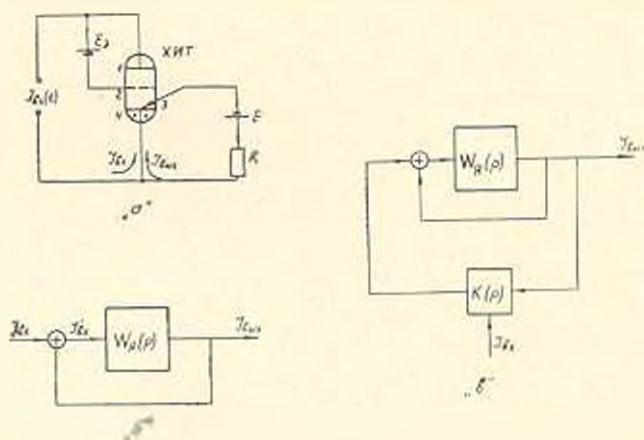


Рис. 1.

В большинстве устройств тетрод [рис. 1а] работает от практического источника тока $I_{bx}(t)$ и в идеальных условиях должен обеспечивать в выходной цепи (электроды 3—4):

$$I_{tx}(t) = k \int_0^t I_{bx}(t) dt, \quad (1)$$

где K —чувствительность прибора [3].

Для получения передаточной функции тетрода, работающего в таком интегрирующем режиме, удобно воспользоваться его структурной схемой (рис. 1б) в виде звена W_0 , охваченного полной положительной обратной связью. Физически функции звена W_0 выполняет

интегральная камера тетрода. В ней при действии входной окислительно-восстановительной системы (электроды 1—4 с электролитом) происходит преобразование $I_{\text{вх}}(t)$ в соответствующее количество окислителя [3]. Выходная окислительно-восстановительная система (электроды 3—4 с электролитом) создаёт ток $I_{\text{вых}}(t)$, пропорциональный концентрации C окислителя в интегральной камере, при одновременной компенсации его количества, затрачиваемого на образование выходного тока. Конструкция тетрода такова, что преобразование входного сигнала и сигнала стопроцентной обратной связи в соответствующее количество реагента происходит в области одного и того же электрода 4. Такое истолкование работы тетрода представляется достаточно полно отвечающим сущности процессов.

В соответствии с предложенной структурной схемой передаточная функция интегрирующего тетрода имеет вид

$$W_{\text{ит}}(p) = \frac{W_*(p)}{1 - W_*(p)}, \quad (2)$$

где $W_*(p)$ — передаточная функция разомкнутой системы.

Для определения $W_*(p)$ необходимо решить уравнение нестационарной диффузии

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2}, \quad \begin{matrix} 0 \leq x \leq \delta, \\ t \geq 0 \end{matrix}, \quad (3)$$

при граничных условиях

$$\left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{1}{FDS} I_{\text{вх}}(t) \quad t \geq 0; \quad (4)$$

$$C(x, t)|_{x=0} = 0 \quad t \geq 0; \quad (5)$$

$$C(x, t)|_{t=0} = 0 \quad 0 \leq x \leq \delta, \quad (6)$$

где F — число Фарадея,

D — коэффициент диффузии окислителя,

δ — расстояние между электродами 3 и 4,

S — площадь электродов 3 или 4.

В результате, в силу (2), получим:

$$W_{\text{ит}}(p) = \frac{I_{\text{вх}}(p)}{I_{\text{вх}}(p)} = \frac{1}{\text{ch } \delta \sqrt{\frac{p}{D} - 1}}. \quad (7)$$

Заметим, что это выражение совпадает с полученным в [2] для изменения выходного тока в интегральном режиме. По передаточной функции нетрудно получить необходимые для анализа свойств тетрода выражения его логарифмических частотных характеристик.

Амплитудно-частотная характеристика

$$A = 20 \lg \sqrt{\left\{ \sin \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}} \sin \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}} \right\}^2 + \left\{ 1 - \operatorname{ch} \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}} \cos \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}} \right\}^2}$$

фазо-частотная характеристика (8)

$$\varphi = \arctg \frac{\operatorname{sh} \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}} \sin \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}}}{1 - \operatorname{ch} \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}} \cos \delta \sqrt{\frac{\omega}{2D}}}. \quad (9)$$

На рис. 2 приведены рассчитанные в соответствии с приведенными соотношениями характеристики тетрода при $\delta = 250 \text{ мк}$ и $D = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{сек}$. Там же пунктиром показаны характеристики "идеального интеграла".

Из рассмотрения выражений (8) и (9) и рис. 2 следует, что

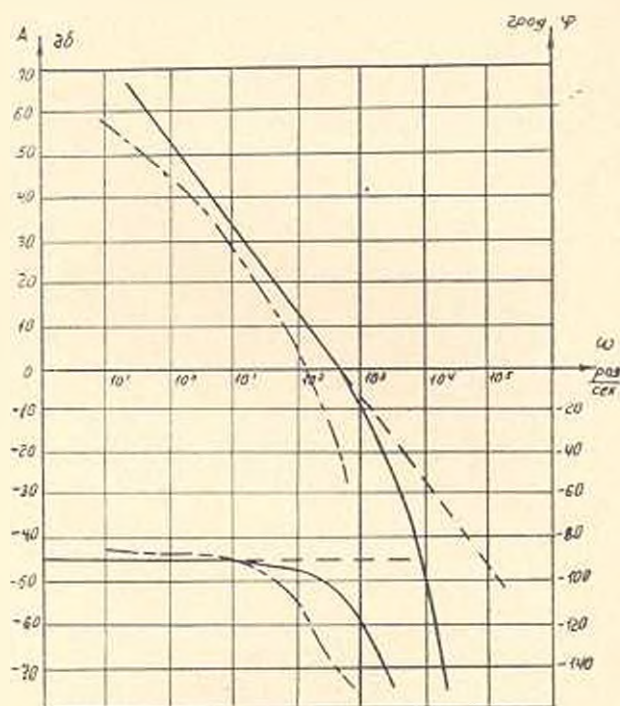


Рис. 2.

имеем дело с интегрирующим звеном, верхняя граничная частота работы которого растет с увеличением коэффициента диффузии D и уменьшением расстояния между электродами δ . До некоторой граничной круговой частоты ω_r интегратор практически идеален. Изменения ω_r пропорциональны изменению D и обратно пропорциональны изменению δ^2 . Считая для нашего случая $\omega_r = 2 \text{ рад/сек}$, можно предложить приближенное выражение для оценки верхней граничной частоты f_r в виде

$$f_1 \approx \frac{10^{-2}}{2\pi} \frac{D}{\tau^2} \quad (10)$$

Этой формулой целесообразно пользоваться при τ в пределах десятков—сотен микрон. Заметим, что мы выбрали f_1 из условий „идеального интегрирования“, если же допустимы малые фазовые искажения, то граничная частота, как это видно из рис. 2, примерно на два порядка выше и равна

$$f_2 \approx \frac{1}{2\pi} \frac{D}{\tau^2} \quad (11)$$

Этой формулой обычно пользуются при оценках частотных возможностей тетродов. Из вида характеристик следует, что при увеличении частоты входного сигнала становятся ощутимыми запаздывания и передаточная функция $W_{in}(p)$ на этих частотах может быть представлена произведением передаточной функции идеального интегратора и апериодического звена. Это можно показать и аналитически, используя выражение (7) и разложение $\text{ch } \sqrt{\frac{p}{D}}$ в ряд.

Сопоставление расчетных результатов с экспериментальными (штрих-пунктирные кривые на рис. 2) подтверждает возможность использования предложенной модели и полученными соотношениями. Экспериментальные характеристики получены обработкой осциллограмм входных и выходных сигналов тетрода, снятых на специальной установке [3]. Как и следовало ожидать, экспериментальная амплитудная характеристика проходит ниже теоретической, вследствие того, что внутреннее сопротивление использовавшегося источника отлично от нуля. Значение предложенной структурной схемы состоит также в том, что ее рассмотрение непосредственно указывает характер дополнительных связей, которые необходимо ввести для целенаправленного синтеза функциональных устройств на основе тетрода. Так, например, введением блока k (рис. 1в), решения которого достаточно разработаны, получаем структурную схему устройств интегральной оценки различного назначения [3].

ГСКБ ИЭА

Поступило 4.VI. 1969.

Л. У. ЗИГ, СОН, И, КОЖАДАН

ԻՆՏԵԳՐԱԿԻՆԵՐԱՅԻՆ ՏԵՏՐՈԴԻ ՓԻՆԱՆՑԻԶ
ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ԳԵՐԱՐԵՐՅԱԼ

Ա. Ս. Փ. Ռ. Փ. Ա. Ս.

Առաջարկված է տետրոդի աշխատանքի մեկնադրանում՝ հիմնված ստրուկ-
տուրալին սխեման որպես հարդարադրողների դրական հետադարձ կապով բնդ-
արկված սղակ պատկերացման վրա: Առաջարկված է արտահայտություն ինտեգր-

րող տետրոդի փոխանցիչ ֆունկցիայի համար ջույք է տրված տեսակա՞ն ու էրուկերիմենաալ հետազոտությունների արդյունքների բաժարար համընկնումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лидоренко Н. С., Солодянкин Ю. И., Фиш М. Л., Фокин А. В. Электрохимическая ячейка как функциональный преобразователь. Радиотехника и электроника, № 6, 1968.
2. Ниематулин Р. Ш. Теоретическое исследование электролитической ячейки и вопросы электроники жидкого тела, (докторская диссертация). Казань, 1965.
3. Фиш М. Л. «Химотронные приборы в автоматике», «Техника», Киев, 1967.