

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

И. А. РУНИЧ, Ю. М. ХОДЖАЯНЦ

ПОГРЕШНОСТЬ ИНТЕГРАТОРОВ НА ХИМОТРОННЫХ
ТЕТРОДАХ ИЗ-ЗА КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ Э. Д. С.

При разработке интеграторов особое значение придается точности работы проектируемого устройства. В связи с этим возникла необходимость в оценке погрешности интегратора в целом в зависимости от конструктивных особенностей применяемого интегрирующего элемента. В статье дается анализ погрешности простейшего интегрирующего звена, выполненного на химотронном тетроде, возникающей из-за появления на входе тетрода концентрационной э. д. с.

Конструктивно химотронный тетрод состоит из двух камер — интегральной (вблизи общего электрода) и резервуара (вблизи входного электрода), отделенных друг от друга измерительным и экранирующим электродами, создающими диффузионный барьер, позволяющий перетекание окисленных ионов из одной камеры в другую свести к величине, близкой к нулю [1].

При условии, что объем резервуара намного больше объема интегральной камеры, уравнение концентрационной э. д. с., возникающей за счет протекания через входную щель некоторого количества электричества, примет вид:

$$u_c = \frac{RT}{nF} \ln \left[\frac{C_1}{C_0} + \frac{2Q}{ntVC_0} \right], \quad (1)$$

где u_c — концентрационная э. д. с. (в); R — универсальная газовая постоянная (дж); T — температура ($^{\circ}K$); Q — количество электричества (кул); F — постоянная Фарадея (кул/г-экв); V — объем интегральной камеры ($см^3$); C_0 — исходная концентрация окисленных ионов (моль/см 3); C_1 — концентрация окисленных ионов в интегральной камере при $t = 0$; n — валентность реакции на электродах.

Практически осуществлен тетрод, у которого внутренняя утечка заряда близка к нулю. В связи с этим эквивалентная схема входной части интегратора будет иметь вид, представленный на рис. 1. Сопротивление r представляет собой сумму внутреннего сопротивления источника входного сигнала и входного сопротивления тетрода (ом), а E — напряжение источника входного сигнала (в).

Электрическая цепь, изображенная на рис. 1, описывается уравнением:

$$ir = E - u_c, \quad (2)$$

где

$$i = \frac{dQ}{dt}. \quad (3)$$

Поскольку выражение (1) написано для стационарной диффузии, дальнейшие расчеты могут иметь место только при условии, что время интегрирования значительно превышает время релаксации.

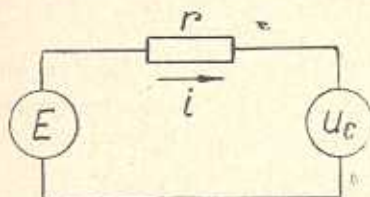


Рис. 1.

Из (1), (2) и (3) можно получить дифференциальное уравнение, выражающее зависимость концентрационной э. д. с. от времени интегрирования t :

$$\frac{e^{pu_c} du_c}{E - u_c} = A dt, \quad (4)$$

где

$$p = \frac{nF}{RT}, \quad (5)$$

$$A = \frac{2}{prnFVC_0}. \quad (6)$$

Интегрирование (4) в замкнутом виде неосуществимо. Рассмотрим частные случаи, при которых возможно интегрирование (4) в замкнутом виде.

Случай 1. Если u_c во всем диапазоне интегрирования остается абсолютно малой величиной, допустимо упрощение:

$$e^{pu_c} \approx 1 + pu_c.$$

Тогда решение уравнения (4) с учетом начальных условий $t = 0$, $u_c = U_0$ можно представить в виде:

$$u_c = U_0 + \frac{(E - U_0)(1 - pU_0)(e^{Bt} - 1)}{p(E - U_0)e^{Bt} - (1 - pU_0)}, \quad (7)$$

где

$$B = (pE - 1)A. \quad (8)$$

Из (2) и (7) можно получить уравнение входного тока во всем диапазоне интегрирования:



$$i = \frac{E - U_0}{r} \left[1 - \frac{(1 - pU_0)(e^{Bt} - 1)}{p(E - U_0)e^{Bt} - (1 - pU_0)} \right]. \quad (9)$$

В соответствии с первым законом Фарадея количество окисленных ионов, привнесенных в интегральную камеру под действием входного тока, прямо пропорционально количеству электричества Q , прошедшему через раствор электролита, т. е.

$$Q = \int_0^t i dt. \quad (10)$$

Путем подстановки (9) в (10) можно получить уравнение заряда как функцию времени интегрирования:

$$Q = \frac{1}{rpA} \ln \left| \frac{p(E - U_0)e^{Bt} - (1 - pU_0)}{pE - 1} \right|. \quad (11)$$

Погрешность интегрирования, обусловленная наличием концентрационной э. д. с., будет:

$$\Delta\%_0 = \frac{\frac{Et}{r} - Q}{\frac{Et}{r}} 100\%. \quad (12)$$

Из (11) и (12) имеем:

$$\Delta\%_0 = \left[1 - \frac{1}{pAEt} \ln \left| \frac{p(E - U_0)e^{Bt} - (1 - pU_0)}{pE - 1} \right| \right] 100\%. \quad (13)$$

Вследствие принятого допущения ошибка в вычислениях по формулам (7), (9), (11) и (13) в случае $0 < u_c \leq 3 \cdot 10^{-3}$ в не превышает 10% при обеспечении режима работы тетрода, близкого к режиму стационарной диффузии ($i \leq 1 \cdot 10^{-6}$ а).

Случай 2. Если удовлетворяется условие $E \gg u_c$ во всем диапазоне интегрирования, решение уравнения (4) с учетом допущения $E - u_c \approx E - U_0$ и начальных условий $t = 0$ $u_c = U_0$ можно представить в виде

$$u_c = \frac{1}{p} \ln(e^{pU_0} + Mt), \quad (14)$$

где

$$M = pA(E - U_0). \quad (15)$$

Уравнение входного тока примет вид:

$$i = \frac{E}{r} - \frac{1}{rp} \ln(e^{pU_0} + Mt), \quad (16)$$

а уравнением входного заряда во времени будет

$$Q = \frac{E}{r} t - \frac{e^{pU_0} (1 - pU_0) - (e^{pU_0} + Mt) [1 - \ln(e^{pU_0} + Mt)]}{rpM} \quad (17)$$

Путем подстановки (17) в (12) вычисляется формула погрешности интегрирования как функция концентрационной э. д. с.

$$\Delta\% = \frac{e^{pU_0} (1 - pU_0) - (e^{pU_0} + Mt) [1 - \ln(e^{pU_0} + Mt)]}{pMEt} 100\% \quad (18)$$

Вследствие принятого допущения ошибка в вычислениях по формулам (14), (16), (17) и (18) в случае $u_0 \leq 0,05 (E - U_0)$ не превышает 10% при обеспечении режима работы тетрода, близкого к режиму стационарной диффузии.

Таким образом, найдены соотношения между рядом электрических параметров интегратора: временем интегрирования информации, внутренним сопротивлением источника входного сигнала, входным зарядом, температурой и погрешностью интегрирования и некоторыми конструктивно-технологическими параметрами химотронного тетрода: объемом интегральной камеры и исходной концентрацией электролита.

Подставляя в формулу для определения погрешности интегрирования конструктивно-технологические параметры имеющегося в наличии тетрода, можно определить максимально допустимые требования к интегратору в целом. Возможно и решение обратной задачи, в результате чего выявляются требования к изготовлению химотронного тетрода, удовлетворяющего требованиям технического задания на разработку интегрирующего устройства.

Поступило 27.II.1970.

Ի. Ա. ՌՈՒՆԵԳ, ՅՈՒ. Մ. ԽՈՂԱՅԱՆՑ

ՔԻՄՈՏՐՈՆԵ ՏԵՏՐՈՂՆԵՐՈՎ ԻՆՏԵԳՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՍԽԱՎԱՆՔԸ
ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻՈՆ Է. Շ. ՈՒ.-Ի ՊԱՏՃԱՌՈՎ

Ա մ փ ո փ ու ի մ

Քերված է քիմոտրոնե տետրոդով փրականացված պարզագույն ինտեգրող շղակի սխալանքի վերլուծությունը, որն առաջանում է տետրոդի մուտքում կոնցենտրացիոն է. շ. ու.-ի պատճառով: Արտածված են բանաձևեր կոնցենտրացիոն է. շ. ու.-ի պատճառով առաջացող ինտեգրման սխալի հաշվարկի համար՝ կախված ստացիոնար դիֆուզիայի ռեժիմում աշխատող քիմոտրոնե տետրոդի մուտքի շղթայի պարամետրներից ու կոնստրուկտիվ առանձնահատկություններից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фаш М. А. Химотронные приборы в автоматике. Изд. „Техника“, Киев, 1967.