

ХИМОТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ

О. К. МЕЛИК-СААКЯН

В статье описывается принцип работы химотронного умножителя. Выведены основные расчетные формулы и описываются принципы построения конструкции. Приводятся результаты экспериментальных исследований основных параметров химотронного умножителя и обсуждаются области его использования.

Умножение двух электрических величин широко используется для решения многих задач измерительной техники, автоматики и радиотехники. Оно реализуется либо методом преобразования умножаемых двух величин, выполняя другие математические операции — суммирование, возведение в квадрат и т. п., либо методом прямого перемножения (умножители на основе электродинамических, индукционных и т. д. приборов; умножители, использующие каскадные соединения потенциометров; множительные устройства на электронных лампах и т. д.). Ко второму методу относится и умножение двух величин с помощью датчика Холла.

Развитие химотронной техники привело к созданию умножителей, использующих специфические свойства диффузионных электрохимических преобразователей. Известные недостатки исполнений, построенных по типу датчиков [1], обусловили целесообразность дальнейших поисков в этом направлении. Представляет интерес разработка и исследование умножителя, основанного на использовании магнитогидродинамического эффекта в электролитах [2] и представляющего собою сочетание преобразователя I и считывающего устройства II (рис. 1).

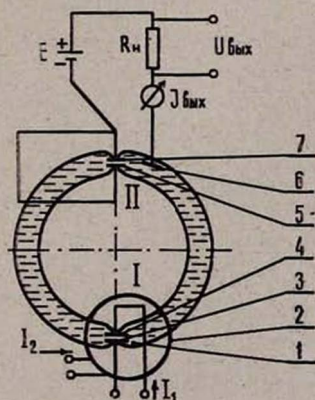


Рис. 1. Принципиальная схема умножителя.

Собственно умножение токов I_1 и I_2 осуществляется в преобразователе I, так как только при воздействии поперечного магнитного

поля катушки 2, созданного током I_2 , на проходящий через электролит ток I_1 , действует сила Лоренца, приводящая в движение электролит [3]. Считывающее устройство (электроды 5, 6, 7), сопротивление R_n и источник питания (E) преобразует поток жидкости в электрическую выходную величину ($I_{\text{вых}}$; $U_{\text{вых}}$).

Гидравлическое давление P , возникающее под действием силы Лоренца, расходуется в основном на преодоление гидросопротивлений каналов прямоугольной формы преобразователя и считывающего устройства [4], т. е.

$$P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (1)$$

где ΔP_1 и ΔP_2 — соответственно падения давления в канале преобразователя и считывающего устройства.

Обозначив соответственно ширину, высоту и длину канала преобразователя через b_1 , δ_1 и l_1 , а канала выходного устройства через b_2 , δ_2 и l_2 , уравнение расхода жидкости можно записать в виде [1, 4]

$$V = \frac{\Delta P_1 \delta_1^3 b_1}{12 \mu l_1} = \frac{\Delta P_2 \delta_2^3 b_2}{12 \mu l_2}, \quad (2)$$

где V — объемный расход жидкости в секунду,

μ — коэффициент динамической вязкости электролита.

Решая совместно уравнения (1) и (2) и учитывая, что

$$P = \frac{I_1 B}{\delta_1}, \quad (3)$$

находим

$$V = \frac{I_1 B \delta_1^2 b_1 \delta_2^3 b_2}{12 \mu (l_2 \delta_1^3 b_1 + l_1 \delta_2^3 b_2)}. \quad (4)$$

Подставив значение V в известное выражение выходного тока линейного химотронного преобразователя (1)

$$I_{\text{вых}} = F C_0 V, \quad (5)$$

получим статическую характеристику умножителя

$$I_{\text{вых}} = k_1 I_1 B, \quad (6)$$

где

$$k_1 = \frac{F C_0}{12 \mu} \cdot \frac{\delta_1^2 b_1 \delta_2^3 b_2}{l_2 \delta_1^3 b_1 + l_1 \delta_2^3 b_2},$$

F — число Фарадея,

C_0 — концентрация реагирующего компонента.

Если учесть, что $B = k I_2$ (k — коэффициент пропорциональности), то формула (6) примет вид

$$I_{\text{вых}} = k_2 I_1 I_2, \quad (7)$$

где

$$k_2 = k k_1.$$

Сравнение постоянной времени гидродинамического процесса, возникающего после скачкообразного изменения входного параметра, с

постоянной времени конвективно-диффузионного процесса в химотронном считывающем устройстве показывает, что гидравлический переходной процесс затухает гораздо быстрее (на два—три порядка) [4]. В силу малой инерционности преобразователя (1) работа умножителя в динамическом режиме в основном определяется свойствами химотронного считывающего устройства.

Характерной особенностью химотронного умножителя (ХУ) является его работа в диапазоне низких и инфранизких частот. Верхняя граничная частота считывающего устройства и умножителя в целом определяется соотношением

$$f_{rp} = \frac{\pi D}{2\delta_z^2}, \quad (8)$$

где D — коэффициент диффузии.

Приведенные соотношения позволяют произвести инженерный расчет умножителя на заданные технические параметры. Нетрудно видеть, что ХУ в определенном смысле электрохимический аналог датчика Холла. Действительно, оба умножителя работают на основе использования силы Лоренца и для них входными величинами являются ток и индукция поля [3, 6]. Все параметры, характеризующие датчик Холла, типичны и для ХУ. Отличительной особенностью собственно ХУ является то, что по выходу он представляет собой генератор тока, а не э.д.с., как датчик Холла. Однако выходным сигналом может служить и падение напряжения на включенном последовательно с выходным катодом сопротивлении,

$$U_{\text{вых}} = R_4 I_{\text{вых}}. \quad (9)$$

При выходном устройстве, показанном на рис. 1, умножитель не знакочувствителен. При переменном IB выходной ток имеет форму двухполупериодно-выпрямленного тока, т. е. химотронный умножитель обладает выпрямительными свойствами и при необходимости о результате умножения можно судить по среднему значению выходного тока или напряжения. Это свойство ХУ может оказаться полезным, так как в ряде конкретных случаев применения исключается необходимость в использовании дополнительного выпрямляющего устройства.

При необходимости получения знакопеременного выходного сигнала считывающее устройство ХУ выполняется на двух электродах (рис. 2). Выходным сигналом умножителя является напряжение ($U_{\text{вых}}$). Правда и в этом случае не исключается возможность получения выхода по постоянному току, так как токи в цепях сопротивлений R_1 и R_2 имеют форму однополупериодно-выпрямленных токов.

Основными параметрами ХУ являются чувствительность, входное и выходное сопротивления, а также коэффициент выпрямления.

Чувствительностью химотронного умножителя (δ_0) условимся называть величину тока, возникающего в выходной цепи при прохождении через входную цепь умножителя единичного тока и воздействии на

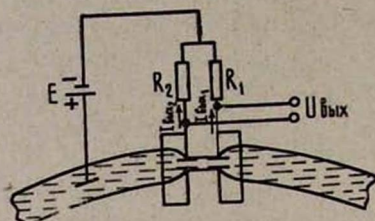


Рис. 2. Принципиальная схема знакочувствительного считывающего устройства.

умножитель единичного магнитного поля. Чувствительность умножителя определяется по формулам (6), (7) или (9) и имеет размерность

$$\frac{a}{a \cdot r c} \text{ или } \frac{b}{a \cdot r c}.$$

В ряде случаев удобнее рассчитывать чувствительности по каждому входу отдельно по формулам

$$\delta_I = \left. \frac{\Delta I_{\text{ВМХ}}}{\Delta I_{\text{ВХ}_1}} \right|_{B = \text{const} \atop (\Delta I_{\text{ВХ}_2} = 0)}, \quad (10)$$

$$\delta_B = \left. \frac{\Delta I_{\text{ВМХ}}}{\Delta B} \right|_{I_{\text{ВХ}_1} = \text{const}}. \quad (11)$$

Чувствительность умножителя при конкретных значениях конструктивных размеров щели выходного считывающего устройства, обусловленных другими параметрами умножителя (частотный диапазон, максимальное значение выходного тока и т. д.), определяется параметрами щели входных электродов (расстояние между электродами, высота щели и т. д.) и концентрацией электролита.

Анализ формулы (6) показывает, что при заданных значениях параметров щели выходного считывающего устройства (b_2 , δ_2 , l_2) максимальная чувствительность имеет место при $l_1 \rightarrow 0$; $b_1 \geq 2b_2$ и $\delta_1 = \delta_2$. Однако выполнение этих условий не всегда возможно, поскольку уменьшение l_1 и δ_1 приводит к уменьшению площадей рабочих торцов входных электродов, ограничивая максимальное значение входного тока I_1 . Может оказаться, что при больших значениях входного тока реализация максимальной чувствительности нецелесообразна.

Это обстоятельство, в частности, указывает на эффективность использования ХУ при оперировании малыми токами, что не всегда удается осуществить на умножителях других типов.

Входное сопротивление умножителя легко определить, вычислив удельное сопротивление электролита. Как показали исследования в реальных образцах, $R_{\text{ВХ}}$ составляет не более десятка ом. Как известно [1], химотронные преобразователи являются источниками тока, поэтому выходное сопротивление умножителя составляют десятки и сотни килоом.

Химотронные умножители характеризуются также такими параметрами как постоянная умножителя, мощность рассеяния, коэффициент неэквивалентности (для умножителя на рис. 2), температурные коэффициенты постоянной и сопротивлений умножителя, шумы и т. д.

Смысл большинства из этих параметров, их количественные показатели, а также методика испытаний аналогичны соответствующим показателям датчиков Холла. Необходимо подчеркнуть, что при других равных параметрах (кроме частотного диапазона) химотронные умножители обладают чувствительностью, превышающей чувствительность датчика Холла на несколько порядков. Это гарантирует большую перспективность и широкое внедрение химотронных умножителей в технику.

Для экспериментальных исследований эффекта умножения и проверки расчетных соотношений был изготовлен и испытан макет химотронного умножителя, имеющий форму кольца с наружным диаметром $\varnothing 30$ мм, выполненный из стеклянной трубки с внутренним диаметром $\varnothing 4$ мм. Электроды были изготовлены из платины. Канал преобразователя образовывался противоположно расположенными рабочими торцами входных электродов и имел размеры $b_1 = 0,5$ мм; $\delta_1 = 1,0$ мм; $l_1 = 2,0$ мм. Канал считывающего устройства образовывался рабочими торцами считывающих электродов и имел размеры $b_2 = 4,0$ мм; $\delta_2 = 0,03$ мм; $l_2 = 0,3$ мм (длина каждого считывающего электрода составляла 0,1 мм). Умножитель был включен по схеме рис. 2 и испытан при напряжении питания 0,7 в и сопротивлениях $R_1 = R_2 = 3000$ ом. Магнитное поле создавалось электромагнитом с воздушным зазором 3,0 мм и сечением зазора 5,0 мм $\times$ 8,0 мм.

Макет вначале был залит водным раствором $2NKI + 0,075NI_2$, а далее раствором $2NKI + 0,75NI_2$, на котором и проводились дальнейшие исследования. При заливке умножителя раствором требуемой концентрации, близкой к концентрации насыщения (скажем, $2NI_2$), выходные токи увеличиваются в 2,7 раза. В то же время увеличение концентрации электролита приводит и к увеличению значений фоновых токов, т. е. токов в выходных цепях при отсутствии входного тока или магнитного поля (см. рис. 3, 4, 5). Правда наличие фоновых токов не влияет на характеристики умножителя, но при необходимости его можно уменьшить вплоть до нуля соответствующим решением конструкции выходного считывающего узла умножителя.

Расчетная чувствительность испытанного умножителя составила $72 \frac{\mu a}{a \cdot r c}$, а чувствительность, определенная экспериментально (по логарифму из приведенных кривых), $100 \frac{\mu a}{a \cdot r c}$. Это подтверждает пригодность расчетных формул для расчета конкретных умножителей.

Некоторые результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 3+5.

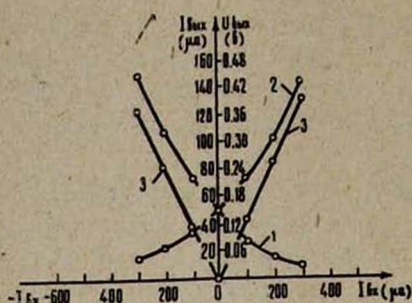


Рис. 3. Зависимости выходных токов (кривые 1, 2) и выходного напряжения (кривая 3) от полярности входного тока при $B = 3000$ Гс.

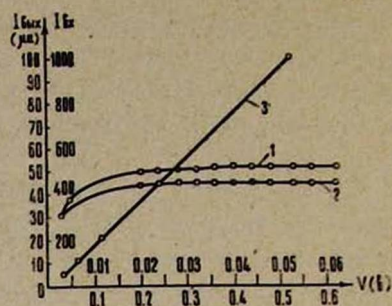


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики цепей выходных токов (кривые 1, 2) и входного тока (кривая 3) при $B = 0$.

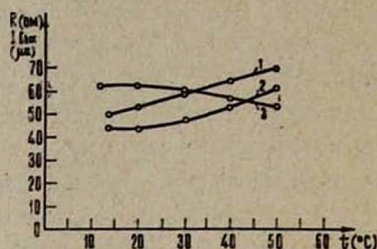


Рис. 5. Зависимости выходных токов (кривые 1, 2) и сопротивления входной цепи (кривая 3) от температуры окружающей среды при $B = 0$.

Для сравнения в табл. 1 приведены некоторые характеристики датчиков Холла и испытанного химотронного умножителя.

Таблица 1

№№ п/п	Наименование параметра	Единица измере- ния	Датчики Холла $\times 200 \div 511$ по ЦМТУ— —05—71—67	Датчики Холла $\times 101 \div 114$ по ЦМТУ— —05—71—67	Химотрон- ный умно- житель по схеме рис. 2
1	Входное сопротивление . . .	ом	0,5÷7	18÷180	60
2	Выходное сопротивление . .	ом	0,5÷7	18÷180	6000
3	Рабочий входной ток . . .	Ма	90÷400	10÷50	0,05÷1
4	Чувствительность	$\frac{Мкв}{а. эрст}$	20÷130	400÷1800	420000

Возможные применения химотронных умножителей определяются основными режимами его работы, сведенными в табл. 2, которые аналогичны режимам работы датчиков Холла. Нетрудно видеть, что химотронные умножители обеспечивают более широкий выбор измерителя выходного сигнала. Не вызывает сомнений, что химотронные умножители можно использовать в схемах измерений (токов, напряжений, мощностей, магнитных полей и т. д.), в качестве преобразователя

Таблица 2

№ п.п.	Входной ток	Входное поле	Выход	
			по схеме рис. 1	по схеме рис. 2
1	Постоянный	Постоянное	1. Постоянный ток. 2. Напряжение пост. тока.	1. Постоянный ток. 2. Напряжение пост. тока.
2	Переменный	Постоянное	1. Двухполупериодно-выпрямленный ток. 2. Двухполупериодно-выпрямленное напряжение.	1. Однополупериодные выпрямленные токи. 2. Переменное напряжение.
3	Постоянный	Переменное	"	"
4	Переменный ω_1	Переменное ω_1	1. Постоянный ток + переменный $2\omega_1$ 2. Постоянное напряжение + переменное $2\omega_1$	1. Постоянный ток + переменный $2\omega_1$ 2. Постоянное напряжение + переменное $2\omega_1$
5	Переменный ω_1	Переменное ω_2	1. Переменный ток $(\omega_2 - \omega_1)$ и $(\omega_1 + \omega_2)$. 2. Переменное напряжение $(\omega_2 - \omega_1)$ и $(\omega_1 + \omega_2)$.	1. Однополупериодно-выпрямленные токи $(\omega_2 - \omega_1)$ и $(\omega_1 + \omega_2)$. 2. Переменное напряжение $(\omega_2 - \omega_1)$ и $(\omega_1 + \omega_2)$.

электрических сигналов (преобразования постоянного тока в переменный, модуляция сигналов переменного тока, анализ спектра частот, усиление сигналов переменного тока) и функциональных элементов (суммирование, умножение, деление, переключение и т. д.) и т. д.

В силу большой чувствительности и обеспечения более мощного выходного сигнала применение химотронного умножителя позволит упростить схемы устройств, повысить точность измерений. Кроме того, способность химотронного умножителя работать на низких и инфранизких частотах, а также наличие широкой номенклатуры выходного сигнала расширит область применения умножителей.

Гос. конструкторское бюро
приборов и элементов автоматики

Поступила 18.IV.1970

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. А. Фиш, Химотронные приборы в автоматике. Изд. Техника, Киев, 1967.
2. Е. З. Гак, К вопросу о магнитогидродинамическом эффекте в сильных электролитах. Электрохимия, т. III, вып. 1 (1967).
3. Патент ФРГ, № 108299, Электрохимия. Электролитический усилитель.
4. С. М. Тарг, Основные задачи теории ламинарных течений. Гостехтеориздат, 1951.
5. В. Д. Олейник, А. И. Линецкий, Некоторые вопросы теории и расчета химотронных линейных преобразователей. Сб. Приборостроение, вып. 2, Киев (1966).
6. В. Г. Савенко, Применение эффекта Холла в технике связи, Связьиздат, 1963.

7. М. А. Фиш, А. И. Линецкий, Химотронный линейный преобразователь. Сб. Приборостроение, вып. 1, Киев (1965).

ԽԻՄՍԱՏՐՈՆԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱՊԱՏԿԻԶ

Ն. Կ. ՄԵԼԻԿ-ՍԱԶԱԿՅԱՆ

Աշխատանքում տրվում է խիմատրոնային բազմապատկիչի աշխատանքի սկզբունքը, դուրս
են բերված հիմնական հաշվարկային բանաձևերը, ինչպես նաև կառուցվածքի իրազորման
սկզբունքները, զխալոր պարամետրերի փորձնական հետազոտությունների արդյունքները և
ընդհանուր տեղեկություններ նրա կիրառման ասպարեզների մասին:

CHIMOTRONIC MULTIPLIER

O. K. MELIK-SAAKIAN

The article describes the operation principles of the chimotronic multiplier; Fundamental design formulae are derived and constructing principles are laid down. The results of experimental research of the main parameters, as well as the information on their application are given.