

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՈՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԿԻԱ

Գալստյան Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Ալոնց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ալեքսենովի Վ. Վ.,
Անանյան Ա. Կ., Գոսցյան Տ. Ա., Զաղոյան Մ. Ա., Նազարով Ա. Կ., Տեր-Ազարե Ի. Ա., Փինաժ-
յան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ)
Պատասխանատու քարտուղար Ստեփանյան Զ. Կ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кисьян М. В. (ответ. редактор), Алоян Г. Г. (зам. ответ. редактора), Алексеевский
В. В., Ананян А. К., Гороян Т. А., Задоян М. А., Назаров А. Г., Пинаджян В. В. (зам.
ответ. редактор), Тер-Азарьев Н. А.
Ответственный секретарь Степанян З. К.

Խմբագրության հասցեն՝ Երևան—19, Բարեկամության, 24-դ
Адрес редакции: Ереван-19, ул. Барекимутян, 24-я

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНИЦ, А. М. ЮЗБАШЯН, А. С. ГАПЛАНЯН

К ИССЛЕДОВАНИЮ ТРЕХ СПОСОБОВ ОБРАЩЕНИЯ МАТРИЦЫ
КОМПЛЕКСНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Исследования показывают, что расчеты установившихся и переходных режимов энергосистем, а также оптимизацию этих режимов целесообразно выполнять путем предварительного эквивалентного преобразования открытых схем замещения систем в многополюсники [1]. При этом процедура преобразования описывается формулой

$$[Y_{mk}^*] = [Y_{mk}] - [Y_{mc}] \cdot [Y_{fc}]^{-1} [Y_{fk}], \quad (1)$$

где $[Y_{mk}^*]$ — матрица комплексной проводимости эквивалентного многополюсника;

$[Y_{mk}]$ — квадратная подматрица, соответствующая выделяемым m, k узлам многополюсника;

$[Y_{fc}]$ — квадратная подматрица, соответствующая исключаемым (внутренним) f, c узлам многополюсника;

$[Y_{mc}]$, $[Y_{fk}]$ — прямоугольные (в общем случае) подматрицы, соответствующие электрическим связям выделяемых m, k и исключаемых f, c узлов схемы замещения.

Для реализации на ЭВМ формулы (1) могут быть предложены различные способы.

Целью настоящей статьи является изложение результатов исследований трех различных способов реализации на ЭВМ указанной формулы.

Первый способ реализации состоит в использовании при определении числовых значений элементов обращенной подматрицы $[Y_{fc}]^{-1}$ метода Гаусса [2]. Все прочие вычислительные операции, связанные с получением $[Y_{mk}^*]$, являются одинаковыми во всех трех исследуемых способах реализации (1).

Второй способ реализации состоит в использовании при определении $[Y_{fc}]^{-1}$ метода Ершова [3] с проверкой условия

$$[Y_{fc}] \cdot [Y_{fc}]^{-1} = [I], \quad (2)$$

Третий (предлагаемый) способ реализации отличается от первых двух тем, что процедура (1) последовательно повторяется $f=c$ раз путем выделения в качестве подматрицы $[Y_{fc}]$ только одного элемента (диагонального) последовательно получаемой эквивалентной

матрицы. Например, если $m + f = k + c$ есть порядок исходной матрицы узловых проводимостей открытой схемы замещения, то после первого эквивалентирования получаем матрицу $(m + f - 1)$ -го порядка. Далее, получаем эквивалент для схемы $(m + f - 2)$ -го порядка и т. д. На

последнем этапе получается исходная матрица эквивалентного m -полюсника с $m - k$ независимыми узлами. На рис. 1 приводится блок-схема вычислительных процедур, связанных с реализацией на ЭВМ Урал-14 Д формулы (1) по третьему (предлагаемому) способу.

Представляет интерес исследование преимуществ и недостатков указанных трех способов реализации формулы (1) на ЭВМ. Простой анализ показывает, что третий способ обладает наибольшей точностью. Объясняется это тем, что в этом способе по существу нет операции обращения матрицы. Здесь имеет место вычисление с любой точностью величины $\frac{1}{Y_{fc}}$, где Y_{fc} — диагональный элемент подматрицы $[Y_{fc}]$ и всех последующих подматриц, получаемых в результате последовательного эквивалентирования.

К сожалению, трудно оценить погрешности при обращении матриц методами Гаусса и Егорова. А между тем, в практике расчетов матриц Y эквивалентных m -полюсников важно пользоваться способом, обеспечивающим наибольшую точность. Для оценки этого вопроса обратимся к примеру расчета.

Пример. Дана схема замещения системы с 28 генераторными и нагрузочными узлами и 18 внутренними узлами [4]. Заданы величины $\frac{1}{Y}$ всех ветвей указанной схемы. Требуется вычислить элементы матрицы эквивалентного m -полюсника с 28 независимыми генераторными и нагрузочными узлами.

С учетом обозначений формулы (1) для этого примера имеем: $m = k = 28$; $f = c = 18$.

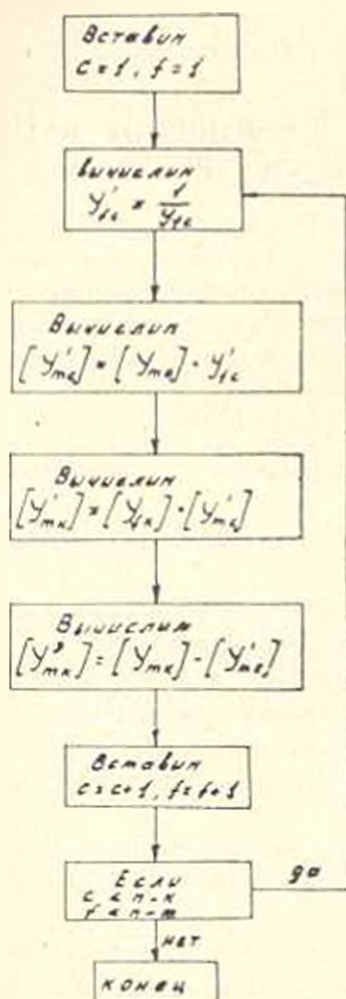


Рис. 1. Блок-схема вычислительных операций

Задача была решена перечисленными тремя способами. Были получены одинаковые результаты по множеству узлов и расхождению по ряду узлов. В табл. 1 приводятся параметры g_{mk} , b_{mk} для ряда узлов схемы по результатам расчетов.

Из данных табл. 1 видно, что имеют место значительные расхождения между данными, полученными способами 1 и 3, с одной стороны, и способом 2, с другой.

В заключение целесообразно оценить значения числа вычислительных операций при реализации на ЭВМ способов 1 и 3.

Формулы для расчета числа вычислительных операций по способам 1 и 3 имеют следующий вид:

$$N_{(1)} = m^2 + 2mc^2 + 2m^2c + \frac{2}{3}c(c+1)(c+2) + c(c-1); \quad (3)$$

Таблица 1

Узел m, k	$g_{mk} \times 10^{-4}$			$b_{mk} \times 10^{-4}$		
	по Гауссу	по Ершову	по предлага- емому спо- собу	по Гауссу	по Ершову	по предлага- емому спо- собу
6,6	54,6474	13,9956	54,6475	352,8262	339,4690	352,8282
6,7	1,5660	-0,3014	1,5689	39,326	38,3802	-39,3257
6,19	-6,5796	-1,5334	6,5796	32,448	31,0822	-32,4483
6,20	-40,1386	9,8445	-40,1386	-225,789	-217,0031	-225,7895
6,22	-9,9425	-2,1819	-9,9425	40,884	38,9788	-40,8840
6,23	0,4473	-0,1342	0,4473	-14,380	-14,0246	-14,380
7,7	36,3538	19,2381	36,4362	341,015	336,4780	341,0185
7,19	-5,0349	-1,6252	-5,0337	-14,677	-13,9347	-14,6774
7,20	-20,4893	-6,4905	-20,4853	-50,874	-48,1579	-50,875
7,22	-11,0964	-3,7774	-11,0935	-37,814	-36,0953	-37,814
7,23	-1,2992	-7,1036	-1,2841	198,324	199,909	198,324
11,13	-5,1621	-4,2951	-5,1588	-46,732	-46,5167	-46,7184
11,16	-0,3013	-0,1199	-0,3014	-2,786	-2,7588	-2,787
13,13	150,660	148,8655	150,6527	838,819	838,494	838,7916
16,18	-7,6722	-5,6754	-7,6721	-178,7901	-178,5287	-178,7917
18,18	60,676	54,4599	60,6742	1214,019	1213,2267	1214,0131

Таблица 2

Число $m-f$	Число m	$N_{(1)}$	$N_{(3)}$
46	28	52018	27130
13	8	1264	722
17	14	1670	1063
100	65	491495	251620

$$N_{(3)} = \frac{1}{2}m(m-1) + \frac{1}{2}c(c+1) + \sum_{l=1}^{c-1}(n-l)(n-l-1) + \sum_{l=1}^{c+1}(n-l). \quad (4)$$

Выше, в табл. 2, приводятся значения N_1 и N_3 для ряда примеров эквивалентирования.

В ы в о д ы

1. Предлагаемый способ для расчета узловых проводимостей эквивалентного m -полюсника предпочтительнее как по точности, так и по скорости реализации на ЭВМ, по сравнению с методом Ершова.

2. Предлагаемый способ, обладая точностью метода по Гауссу, для своей реализации на ЭВМ требует меньшего числа вычислительных операций.

АрмНИИЭ

Поступило 13.IX.1973.

Ն. Տ. ԱԴՈՆԵՑ, Ա. Մ. ԳՈՐԶՈՒՇԵԱՆ, Ա. Ս. ԳԱՓԼԱՆԻԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՀԱՎՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻ ՇՐՋՄԱՆ ՆՐԵՔ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ՇՈՒՐՋՐ

Ա Ա Վ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում շարադրված է (1) բաճառի էՀՄ-ի վրա երեք եղանակներով իրացնելիս ստացվող արդյունքների հետազոտությունները:

Իրացման առաջին եղանակը Գաուսի մեթոդի [2] սպտագործումն է $[Y_{fc}]^{-1}$ շրջված ենթամատրիցայի էլեմենտների թվային արժեքների որոշման համար: Իրացման երկրորդ եղանակը $[Y_{fc}]^{-1}$ որոշման համար երշովի մեթոդի [3] ոգտագործումն է:

Իրացման երրորդ՝ առաջարկվող, եղանակը առաջին երկուսից տարբերվում է նրանով, որ (1) պրոցեդուրան հաջորդաբար կրկնվում է $f = \infty$ անգամ, հաջորդաբար ստացվող համարժեք մատրիցայից անջատելով որպես $[Y_{fc}]$ ենթամատրիցա միայն մեկ էլեմենտ (անկլոնազմային):

Համարժեք m -բևեռանու հանգույցային հաղորդականությունների հաշվարկման համար առաջարկվող եղանակը, համեմատած երշովի մեթոդի հետ, զերադատելի է ինչպես ըստ ճշտության, այնպես էլ ըստ արագության: Առաջարկվող եղանակը, տենենալով Գաուսի մեթոդի ճշտությունը, էՀՄ-ի վրա իրացնելիս պահանջում է ավելի քիչ թվով հաշվողական գործողություններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоиц Г. Т. Многополюсник. Изд. АН Арм. ССР, 1965.
2. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. Физматгиз, 1970.
3. Фидеел Д. К., Фидеева В. Н. Вычислительные методы линейной алгебры. Физматгиз, 1960.
4. Адоиц Г. Т., Гамбурян К. А., Мурадян С. Г. Об одной тестовой задаче расчета установившегося режима энергосистемы. «Электрические станции», 1971, № 12.

ЭНЕРГЕТИКА

А. С. МАКСУДЯН, А. Г. БОЯДЖЯН

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИКЛА
ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С
АККУМУЛИРОВАНИЕМ ВОЗДУХА

Развитие энергосистем сопровождается увеличением неравномерности режима электропотребления и несоответствием ему маневренной способности основного генерирующего энергооборудования. Поэтому выявление энергоустановок, приспособленных для покрытия пиковых нагрузок и прохождения их почных провалов, приобретает особый интерес.

Основными источниками пиковой энергии предполагаются гидроаккумулирующие (ГАЭС) и обычные газотурбинные (ГТУ) электростанции. Обычные ГТУ удовлетворяют требованиям достаточной маневренности при сравнительно небольших капиталовложениях. К числу же их недостатков следует отнести не только существенно более низкий, чем у паротурбинных, к. п. д., но и ограничения по предельной мощности.

ГАЭС характеризуются высокой маневренностью и большей единичной мощностью агрегатов. Кроме того, заряжаясь в часы спада нагрузки, ГАЭС отдают энергию в часы пик, когда в системе имеет место дефицит мощности. Таким образом, энергетической особенностью ГАЭС по сравнению с другими типами электростанций, в том числе и обычными ГТУ, является способность работать не только для покрытия пиков, но и для заполнения провалов суточных графиков нагрузки энергосистем.

Принцип аккумуляирования энергии, используемый в ГАЭС, может быть успешно осуществлен и в газотурбинном цикле, предполагающем аккумуляирование сжатого воздуха в хранилище в периоды спада нагрузок с последующим его использованием в часы пик. Предварительные исследования энергетической эффективности электростанции, работающей по такому циклу, проведены в Арм. НИИЭ.

Тепловая схема газотурбинной воздушно-аккумулирующей электростанции (ВАЭС) с изображением цикла в $T-S$ координатах приведена на рис. 1. Компрессора, сжимающие воздух при остановленных газовых турбинах, приводятся от электродвигателей, потребляющих внепиковую энергию. Сжатый воздух аккумуляруется в хранилище, специально созданном для этой цели. Газовые турбины включаются в часы пик и отдают всю мощность электрическим генераторам. Под-

Термодинамический цикл ВАЭС, изображенный в координатах $T-S$ на рис. 1, состоит из процесса многоступенчатого сжатия воздуха $33', 44', \dots, nn'$, его охлаждения и конечном охладителе $n'b'$, подогрева в камере сгорания $b'1$ и расширения в газовой турбине 12 . Параметрам рабочего тела будем приписывать индексы, соответствующие нумерации точек цикла. Термодинамические соотношения выразим через наивысшую температуру цикла и наибольшее давление с помощью температурного коэффициента $\tau = T_3/T_1$ и общей степени повышения давления $\pi_k = p_n/p_1$. Удельные теплоемкости рабочего тела c_p будем считать постоянными и соответствующими средней температуре цикла. Для упрощения выводов можно принять, что в камере сгорания воздух поступает из воздухохранилища будучи уже охлажденным до температуры окружающей среды ($T_b = T_1$). С этой же целью температуру воздуха в конце охлаждения в промежуточных охладителях будем принимать одинаковой и равной температуре окружающего воздуха ($T_3 = T_4 = \dots = T_n$). Тогда оптимальные степени повышения давления во всех ступенях, соответствующие минимальной работе n -ступенчатого изэнтропийного сжатия, одинаковы и равны $\pi_k = \sqrt[n]{\pi_k} [1]$. Потери давления в промежуточных охладителях $\Delta p_1 = p_3 - p_4, \dots, \Delta p_n = p_n - p_b$ и на выходе из газовой турбины целесообразно учитывать через к. п. д. компрессора η_k и турбины η_t вместе с внутренними потерями в проточной части. Отдельно учтем дополнительные потери давления $\Delta p_b = p_b - p_1$, возникающие при хранении воздуха и его поступлении в камеру сгорания. Назовем относительной потерей давления величину $\gamma = (p_b - p_1)/p_1$ и коэффициентом потерь давления $\gamma = 1 - \gamma = p_1/p_b$. Можно принять: $\gamma \approx \tau_1/\tau_k$; $m \approx 1/(m' + 1)$, где τ_1 — степень расширения газов в турбине. С учетом приведенных соображений удельную работу изэнтропийного сжатия l_k , расширения l_t и удельный расход тепла q можно представить в виде:

$$l_k = c_p [(T_3 - T_1) + \dots + (T_n - T_n)] = c_p T_3 n (\tau_k^m - 1) \text{ кДж/кг};$$

$$l_t = c_p (T_1 - T_b) = c_p T_1 (\tau_k^m - m' - 1) \tau_k^{-m} \text{ кДж/кг};$$

$$q = c_p (T_1 - T_b) = c_p T_1 (1 - \tau) \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

где $m = \frac{k-1}{k}$; k — показатель изэнтропы.

Основной энергетической характеристикой цикла любой установки является ее к. п. д. В газотурбинном цикле с аккумулярованием воздуха природа составных частей подводимой к рабочему телу энергии (электроэнергия, затрачиваемая на привод компрессоров, и тепло топлива, подаваемого в камеру сгорания) неодинакова. Здесь однозначная формулировка к. п. д. связана с определенными затруднениями. Поэтому для рассматриваемой установки представляется

целесообразным ввести понятия к. п. д. аккумулярования и к. п. д. тепловой экономичности.

К. п. д. аккумулярования η_a ВАЭС будем определять как отношение действительной работы расширения к действительной работе сжатия, суммированной с работой, которая может быть получена на КЭС энергосистемы при использовании того же количества топлива, что и затрачиваемого в камере сгорания ВАЭС. Тогда, с учетом (1), получим:

$$\eta_a = \frac{p \eta_1 \eta_{a1} l_1}{I_k \eta_k \eta_{a1} \eta_{ac} + 3,6 \cdot 10^3 \cdot q / \eta_{ac} Q_p^a b} = \frac{p \eta_{ac} \eta_{a1} \eta_k \eta_{ac} \eta_{a1} \eta_{ac} b (z_k^m - m^2 - 1)}{z_k^m [m(z_k^{m/2} - 1) b \eta_{ac} + 0,123(1-z) \eta_k \eta_{a1} \eta_{ac}]}, \quad (2)$$

где p — коэффициент расхода, учитывающий изменение количества рабочего тела из-за его утечек и с подачей топлива; $\eta_k, \eta_1, \eta_{ac}, \eta_{a1}, \eta_{a2}, \eta_{ac}$ — к. п. д. электрогенератора, турбины, камеры сгорания, компрессора, электродвигателя и электрических сетей передачи электроэнергии для привода компрессоров; Q_p^a и b — теплотворная способность и удельный расход условного топлива на КЭС.

К. п. д. тепловой экономичности η_e , в отличие от η_a , будем определять как отношение количества тепла, эквивалентного действительной работе расширения, к количеству тепла, затраченному на КЭС энергосистемы для производства приводной энергии компрессоров, суммированному с количеством тепла, затрачиваемого в камере сгорания ВАЭС. Учитывая (1) и (2), получим

$$\eta_e = \frac{p \eta_1 \eta_{a1} l_1}{I_k Q_p^a b \eta_k \eta_{a1} \eta_{ac} + q \eta_{ac}} = 0,123 \frac{\eta_a}{b}. \quad (3)$$

Кроме того, представляет интерес рассмотрение отношения энергии разряда ВАЭС, возвращаемой в энергосистему в период его активной работы, к энергии заряда, потребляемой для сжатия воздуха, т. е.

$$\varphi = \frac{\partial E}{\partial z_k} = \frac{p \eta_1 \eta_{a1} l_1}{I_k \eta_k \eta_{a1} \eta_{ac}} = p \eta_1 \eta_{a1} \eta_k \eta_{a1} \eta_{ac} \frac{z_k^m - m^2 - 1}{m z_k^m (z_k^{m/2} - 1)}. \quad (4)$$

Назовем φ коэффициентом активной энергии.

Дифференцируя (2) и (4) по z_k и приравняв числитель дроби нулю, получим после преобразований выражения для оптимальной по η_a и φ степени повышения давления z_{k1} и z_{k2} в виде трансцендентных уравнений:

$$z_{k1}^{\frac{m}{2} \frac{n+1}{n}} \left[z_{k1}^{m/2} (n+1) + \frac{0,123(1-z) \eta_k \eta_{a1} \eta_{ac}}{z b \eta_{ac}} - n \right] (m^2 + 1) = 0; \\ z_{k2}^{\frac{m}{2} \frac{n-1}{n}} \left[z_{k2}^{m/2} (n+1) - n \right] (m^2 + 1) = 0. \quad (5)$$

Расчеты по (2), (3), (4) и решение уравнений (5) методом деления отрезка пополам [2], проводились на ЭЦВМ при исходной информации: $\mu=0,94$; $\eta_{\text{ис}}=0,92$ или 1,0 (без учета потерь в электрических сетях); $\eta_{\text{эл}}=\eta_{\text{ис}}=\eta_{\text{рег}}=0,98$; $\eta_{\text{ж}}=0,85$; $\eta_{\text{г}}=0,87$; $m=0,27$; $\tau=0,262$ ($T_1=750^\circ\text{C}$); $n=3$, $b=0,32$ кг у. т./квтч. Некоторые результаты расчетов изображены на рис. 2 и 3. К. п. д. $\eta_{\text{эл}}$, характеризующий совершенство самой ВАЭС без учета процесса производства потребля-

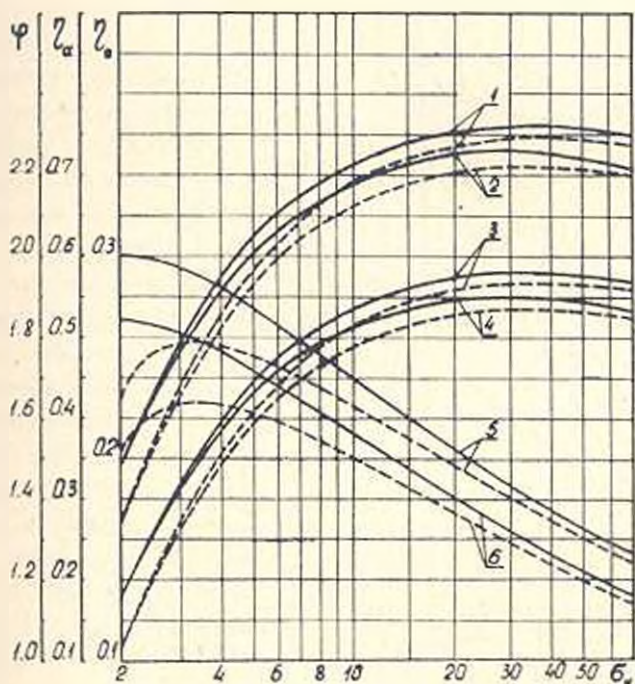


Рис. 2. Зависимость $\eta_{\text{эл}}$, $\eta_{\text{ж}}$ и $\eta_{\text{г}}$ от $B_{\text{ж}}$.
1, 3, 5 — при $\eta_{\text{ис}}=1,0$; 2, 4, 6 — при $\eta_{\text{ис}}=0,92$.
— $\tau=0,11$ — — — $\tau=0,22$

емой для сжатия воздуха электроэнергии, представляется по физическому смыслу удобным для сравнения с к. п. д. ГАЭС. По тем же соображениям к. п. д. $\eta_{\text{ж}}$ пригоден для сравнения с к. п. д. обычных ГТУ или других теплотехнических установок.

К. п. д. ГАЭС равен $0,70 \div 0,75$ без учета потерь в электрических сетях. Из рис. 2 очевидно, что $\eta_{\text{эл}}$ ВАЭС может превосходить эту величину даже при принятых равными 8 % потерях в электрических сетях и завышенной до 22% относительной потере давления. Что касается $\eta_{\text{ж}}$, то его величина превосходит или находится на уровне к. п. д. лучших современных пиковых ГТУ обычного типа. Отметим, что сооружение ВАЭС, как и ГАЭС, в зависимости от месторасположения может привести в целом по энергосистеме не только к увеличению, но и к уменьшению потерь в электрических сетях, спо-

собствуя их равномерной работе без перегрузки в течение суток.

Кривые к. п. д. ВАЭС имеют сходный характер: в широком диапазоне изменения τ (приблизительно от 15 до 60) происходит весьма небольшое изменение к. п. д., сохраняющегося почти на максимальном уровне. Следовательно, вынужденное отклонение от оптимальной степени повышения давления не окажет заметного воздействия на энергетическую эффективность ВАЭС. Это свойство, желательное для любой газотурбинной

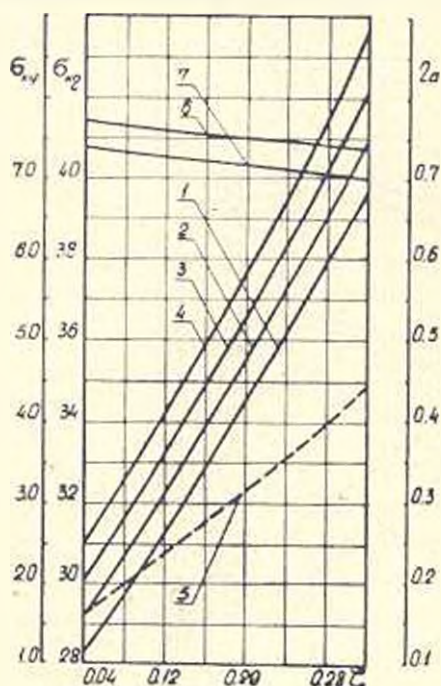


Рис. 3. Зависимость $\eta_{\text{к.п.д.}}$, $\eta_{\text{к.п.д.}}$ и $\eta_{\text{к.п.д.}}$ от $t_{\text{сж}}$.
1, 2, 3, 4 — $\eta_{\text{к.п.д.}}$ при $\tau_{\text{сж}} = 0,82; 0,84; 0,86; 0,88$.
5 — $\eta_{\text{к.п.д.}}$; 6, 7 — $\eta_{\text{к.п.д.}}$ при $\tau_{\text{сж}} = 1,0$ и $\tau_{\text{сж}} = 0,92$.

для любой газотурбинной установки, приобретает особую ценность для ВАЭС, где $\tau_{\text{сж}}$ обусловлена глубиной расположения подземной емкости, существенно меняющейся в зависимости от природно-географических условий. Значения $\tau_{\text{сж}}$ значительно превосходят $\tau_{\text{к.п.д.}}$ и возрастают с увеличением τ и $\tau_{\text{к.п.д.}}$. Величина коэффициента η достигает 1,3–1,5 при $\tau_{\text{к.п.д.}}$ и близлежащей области, соответствующей уровню максимальных к. п. д. Это значит, что ВАЭС возвращает в энергосистему в 1,3–1,5 раза больше энергии, чем потребляет для заряда в периоды спада нагрузок. Понятно, что в ВАЭС дополнительно расходуется топливо.

Достоинством ВАЭС является также способность работы,

при необходимости, без дополнительного потребления электроэнергии из энергосистемы — на режиме обычной ГТУ или для самозаряда. При этом воздух полностью, минуя хранилище, или частично поступает непосредственно к камерам сгорания. В первом случае ВАЭС вырабатывает электроэнергию как обычная ГТУ, а во втором — часть воздуха поступает в хранилище и используется для производства электроэнергии в пиковое время.

Потребные объемы хранилищ ВАЭС получаются в десятки раз меньше, чем объемы водохранилищ ГАЭС одинаковой мощности. Из уравнения состояния сжатого воздуха и (1) можно для удельного полезного объема хранилища v м³, приходящегося на 1 кВт·ч генерируемой электроэнергии, получить выражение:

$$v = \frac{9,6 \tau_{\text{сж}}^m}{\tau_{\text{сж}} \tau_{\text{к.п.д.}} (1 - \tau_{\text{к.п.д.}}) (\tau_{\text{к.п.д.}}^m - m - 1)} \quad (6)$$

Расчеты показали, что величина η сильно уменьшается с увеличением λ , и не превосходит 0,1 м³/квт·ч в области, соответствующей максимальным к. п. д. Это снижает капиталовложения в ВЛЭС, уровень которых получается значительно ниже, чем в обычных ГТУ и, тем более, в ГАЭС [3]. Следовательно, по экономическим показателям ВЛЭС может оказаться вполне конкурентоспособной с известными видами пиковых энергоустановок.

Армения

Поступило 14 VII.1973.

И. А. ИСАХАНЯН, И. Г. АНДЖАНИ

ՕՂԻ ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ ԴԱՋԱՏՈՒՐՈՒՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՏԱՆԻ ՑԻՎԻ ԷՆԵՐԴԵՏԻԿ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

И. А. И с а х а н я н

Հոդվածում դիտվում են օդի կուտակումով աշխատող զսպատորրինային էլեկտրակայանի աշխատանքի սկզբունքը և ցիկլի էներգետիկ առանձնահատկությունները: Ստացված են էներգետիկ արդյունավետության հիմնական ցուցանիշների արտահայտությունները և յետադրված է սեղմման աստիճանի ազդեցությունը: Բացահայտված է, որ էներգետիկ արդյունավետությունը «պտիմալ» սեղմման աստիճանի դեպքում չի զիջում այլ տիպի հայտնի պիկային էներգատեղակայանների արդյունավետությանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андрущенко А. И. Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок. М., «Высшая школа», 1968.
2. Демидович Б. П. и Мороз Н. А. Основы вычислительной математики. М., «Наука», 1966.
3. E. K. A. Olsson. Air storage power plant. "Mechanical Engineering", Now., 1970.

ЭНЕРГЕТИКА

Э. Л. ОГАНЕСЯН

МЕТОД КВАЗИЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА
ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ АКТИВНЫМИ
СОПРОТИВЛЕНИЯМИ

В работе излагается метод расчета электрической цепи при периодических напряжениях. Цепь постоянного тока может быть рассмотрена как частный случай цепи при периодических воздействиях. Обычно для нахождения периодических решений нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих нелинейные цепи переменного тока, наиболее часто используется классический метод гармонического баланса, а также метод Галеркина и реже — метод коллокаций [1]. Эти методы эквивалентны в смысле получаемого решения. Наиболее существенным недостатком указанных методов является необходимость предварительного произвольного выбора числа членов тригонометрического полинома, принимаемого обычно за искомое решение. При этом выбор недостаточного числа членов ведет к недопустимо большим ошибкам и необходимости выполнения повторных громоздких вычислений для большего числа членов. Одновременно выбор большого числа членов с выполнением заведомо излишних громоздких вычислений.

В работе [2] изложен метод квазилинейных уравнений гармонических составляющих для расчета электрических цепей со сталью, который позволяет формализовать расчет сложной цепи и свести его к расчету цепи по квазилинейным комплексным уравнениям баланса напряжений отдельных гармоник. В данной статье метод квазилинейных уравнений гармонических составляющих распространяется также и на цепи, содержащей нелинейные активные сопротивления. Как и в случае цепей со сталью здесь используется принцип гармонического баланса для предварительно определенных э. д. с. и падений напряжений гармоник. При этом учитывается также влияние друг на друга стольких гармоник, сколько нужно для достижения требуемой точности расчета.

Изложим метод на примере простой последовательной цепи из R , L и C . Пусть для общности R будет представлен двумя сопротивлениями: линейным R_1 и нелинейным $r(i)$. Так как ток есть некоторая периодическая функция времени, то $r(i)$ также некоторая функция $r[i(t)]$.

Пусть уравнение цепи

$$L \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t) + r[i(t)] \cdot i(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt = E_0 + E_m \sin \omega t, \quad (1)$$

где E_0 — постоянная составляющая приложенного напряжения. Дифференцируя (1), получим

$$L \frac{d^2 i(t)}{dt^2} + R \frac{di(t)}{dt} + r[i(t)] \frac{di(t)}{dt} - i(t) \frac{dr[i(t)]}{dt} = \omega E_m \cos \omega t. \quad (2)$$

Члены $r[i(t)] \frac{di(t)}{dt}$ и $i(t) \frac{dr[i(t)]}{dt}$ приобретают определенный физический смысл в предположении, что периодический ток $i(t)$ может быть разложен на гармонические составляющие. Их сумма, очевидно, представляет собой скорость изменения падения напряжения на нелинейном сопротивлении $r[i(t)]$. Первый член можно сопоставить со скоростью изменения падения напряжения на нелинейном сопротивлении $r_{\text{ли}}[i(t)] \frac{di(t)}{dt} = \frac{du_{\text{ли}}}{dt}$. Это слагаемое можно принять за падение напряжения на некотором расчетном нелинейном сопротивлении с $r_{\text{ли}}[i(t)] = r[i(t)]$. Второе слагаемое с обратным знаком может рассматриваться как скорость изменения некоторой параметрической э. д. с. высших гармоник и поправок к э. д. с. гармоник. Источником э. д. с. высших гармоник здесь является нелинейное сопротивление, а причиной возникновения этих э. д. с. — изменение величины параметра нелинейного сопротивления под действием приложенного напряжения и тока через это сопротивление.

Такое разделение скорости изменения падения напряжения на нелинейном сопротивлении как и в [2] произвольное. Э. д. с. обычно необходимо рассматривать как причину тока, а падение напряжения как его следствие. При этом из приравнивания нулю выражения, принятого за э. д. с., должно следовать равенство нулю токов, продолжительно ею вызываемых. Действительно, из приравнивания нулю предполагаемого выражения для э. д. с. высших гармоник и, следовательно, ее изменений, т. е. из

$$i(t) \frac{dr[i(t)]}{dt} = 0,$$

следует, что $r[i(t)] = \text{const}$, т. е. в конечном счете равенство нулю токов высших гармоник. Приравнивание же нулю падения напряжения на ненулевом сопротивлении при ненулевых токах должно привести и приводит в нашем случае к противоречию и нарушению равенства (1).

Отметим, что поправкой к э. д. с. гармоник мы называем некоторую расчетную часть э. д. с. данной гармоники, идущую на образование токов высших гармоник [2].

* E_0 введено для общности. В случае пренебрежения токами утечки конденсатора, очевидно, E_0 может быть опущено.

Полагаем, что характеристики нелинейных активных сопротивлений могут быть выражены аналитически [1], а именно, согласно аппроксимационной теореме Вейерштрасса [3], степенным полиномом некоторого порядка. При выводе расчетных формул в дальнейшем мы не ограничиваем порядок полинома. Более того, мы можем нелинейную зависимость выразить рядом Маклорена. Однако, из-за необходимого ограничения вычислительных операций, на практике приходится ограничиваться некоторым порядком степенного полинома n . Очевидно, порядок полинома n будет зависеть от типа нелинейной характеристики и требуемой точности аппроксимации.

В большинстве случаев можно ограничиваться значениями $n \leq 6$ [1].

Пусть напряжение на нелинейном сопротивлении

$$u_n(i) = \sum_{p=0}^n a_p i^{p+1}, \quad (3)$$

или

$$r(i) = \frac{u_n(i)}{i} = \sum_{p=0}^n a_p i^p. \quad (4)$$

Уравнение (1) с учетом вышеизложенного можно записать в виде

$$L \frac{di(t)}{dt} R i(t) + u_r - e_n + \frac{1}{C} \int i(t) dt = E_0 + E_m \sin \omega t, \quad (5)$$

где $u_r = \int r(i) di$ — падение напряжения на расчетном нелинейном сопротивлении; $e_n = - \int i dr(i)$ — э. д. с. высших гармоник и поправки к э. д. с. гармоник. С учетом выражения (4) получаем, что

$$u_r = \int r(i) di = \sum_{p=0}^n \frac{1}{p+1} a_p i^{p+1} + C_1 = \sum_{p=0}^n a_p' i^{p+1} + C_1 = r'(i) \cdot i + C_1, \quad (6)$$

а параметрическая э. д. с.

$$e_n = - \int i dr(i) = - \sum_{p=0}^n \frac{p}{p+1} a_p i^{p+1} + C_2 = - \sum_{p=0}^n a_p' i^{p+1} + C_2 = -r''(i) \cdot i + C_2$$

Так как $u_n(i) = u_r - e_n$, то из выражений (3), (6) и (7) получаем

$$C_1 - C_2 = 0. \quad (8)$$

Постоянная интегрирования C_2 может быть определена из выражения (7) для случая, когда принимается, что нелинейное сопротивление $r(i) = r_0 = \text{const}$. Тогда параметрическая э. д. с. $e_{n,0}$, обусловленная нелинейностью $r(i)$, равна нулю. При этом постоянные составляющие будут: от $r'(i)$

$$r'_0 = r_0,$$

а от сопротивления $r''(i)$, согласно выражению (7),

$$r''_0 = 0. \quad (9)$$

Соответственно параметрическая э. д. с. при $r(t) = \text{const}$

$$e_{a,0} = r_0 \cdot i + C_2 = 0 \cdot i + C_2 = 0.$$

Из выражений (8) и (10) следует, что

$$C_1 = C_2 = 0. \quad (11)$$

Тогда выражение расчетного падения напряжения на нелинейном сопротивлении будет

$$u_r = \sum_{p=0}^{\infty} \frac{1}{p+1} a_p i^{p+1} = \sum_{p=0}^{\infty} a_p i^{p+1} = r'(i) \cdot i, \quad (12)$$

а выражение параметрического э. д. с. соответственно

$$e_c = r'(i) \cdot i. \quad (13)$$

Разлагая периодический ток на гармонические, заменяя синусоидальные токи эквивалентными косинусоидальными и учитывая, что произведения гармоник дают новые гармоники с частотами, равными сумме и разности частот гармоник, входящих в произведение, выделим из получаемого множества гармоник падений напряжения k -ую гармонику. Тогда

$$\begin{aligned} u_{mr,k} \sin(k\omega t + \varphi_k) = & a_0 I_{m,k} \cos(k\omega t + \varphi_k) + \\ & + \frac{1}{2} a_1 \sum_{x_1 \in N_1} \sum_{x_2 \in N_1} \frac{1}{2} I_{m,x_1} I_{m,x_2} \cos(k\omega t + \varphi_{x_1} + \varphi_{x_2}) + \dots + \\ & + \frac{1}{p+1} a_p \sum_{x_1 \in N_{p+1}} \sum_{x_2 \in N_{p+1}} \sum_{x_{p+1} \in N_{p+1}} \left(\frac{1}{2}\right)^p I_{m,x_1} I_{m,x_2} \dots I_{m,x_{p+1}} \times \\ & \times \cos(k\omega t + \varphi_{x_1} + \dots + \varphi_{x_{p+1}}) + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

где $N_p = \{(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_p) | x_i = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots; \sum_{i=1}^p x_i = k\}$,
($p = 0, 1, 2, \dots, n$)

Поскольку синусоидальные токи нами заменены косинусоидальными, то

$$\varphi_{x_i} = \pi/2 - \varphi_{x_i}, \quad (15)$$

где φ_{x_i} — фазы синусоидального тока. Постоянную составляющую мы рассматриваем как нулевую гармонику и распространяем на нее все операции расчета; отсюда и ± 0 . Величина индекса x_i , как и в [2], есть номер гармоники, знак индекса — знак суммирования угла гармоники, поэтому должно иметь место

$$\varphi_{-x_i} = -\varphi_{x_i}. \quad (16)$$

Разлагая ток $i(t)$ на гармонические составляющие, из выражения (4) можем выделить k -ую гармонику нелинейного сопротивления. Тогда будем иметь



$$\begin{aligned}
 r_{m,k} \sin(k\omega t + \varphi_k) = & a_1 I_{m,k} \cos(k\omega t + \varphi_k) + \\
 & + a_2 \sum_{x_1 \in N_1} \sum_{x_2 \in N_2} \frac{1}{2} I_{m,x_1} I_{m,x_2} \cos(k\omega t + \varphi_{x_1} + \varphi_{x_2}) + \dots + \\
 & + a_p \sum_{x_1 \in N_p} \sum_{x_2 \in N_p} \dots \sum_{x_p \in N_p} \left(\frac{1}{2}\right)^{p-1} I_{m,x_1} I_{m,x_2} \dots I_{m,x_p} \cos(k\omega t + \varphi_{x_1} + \varphi_{x_2} + \\
 & + \dots + \varphi_{x_p}) + \dots
 \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь

$$N_p = \{(x_1, x_2, \dots, x_p), x_i = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm k; \sum_{i=1}^p x_i = k\}.$$

Ограничение $|x_i| \leq k$ налагается из-за причинно-последовательной связи в образовании высших гармоник тока и гармоник изменения нелинейного сопротивления, согласно которой, гармоники изменения параметра нелинейных элементов электрических цепей не могут быть образованы гармониками тока более высокого порядка, чем гармоника изменения параметра нелинейного элемента [3]. Исходя из того же принципа причинно-последовательной связи, т. е. последовательности «э. д. с. — ток — падение напряжения», можно утверждать, что высшие гармоники э. д. с. также могут быть образованы только гармониками тока и изменениями сопротивления более низкого порядка, чем гармоники э. д. с. Поэтому из выражения (13) для k -ой гармоники э. д. с. получим

$$e_{n,k} = -\frac{1}{2} \sum_{q=0}^{k-1} \frac{p}{p-1} I_{m,q} r_{m,k-q} \sin(k\omega t + \varphi_c + \varphi_{k-q}). \quad (18)$$

Поправка к э. д. с. k -ой гармоники, являющаяся функцией всех гармоник тока, будет

$$\begin{aligned}
 \Delta e_{n,k} = & -\frac{1}{2} \sum_{q=0}^{\infty} \frac{p}{p-1} [I_{m,q} r_{m,k-q} \sin(k\omega t + \varphi_q + \varphi_{q+k}) - \\
 & - I_{m,k-q} r_{m,q} \sin(k\omega t + \varphi_{k-q} + \varphi_q)].
 \end{aligned} \quad (19)$$

В соответствии с выражениями (9) и (13) r_0 исключается из (18) и (19). При этом для собственно э. д. с. высших гармоник $e_{n,k}$ должно быть $k > 1$, а для поправок к э. д. с. гармоник $\Delta e_{n,k}$ k может принимать значения $k = 0, 1, 2, \dots$. Появляющуюся в цепях с несимметричными нелинейными активными сопротивлениями постоянную составляющую э. д. с. при $E_0 = 0$, обуславливающую протекание постоянных токов в цепи, следует считать поправкой к э. д. с. гармоник как по соображениям причинно-последовательной связи в образовании гармоник, так и в соответствии с расчетной формулой (19). При $E_0 \neq 0$ указанная постоянная составляющая, естественно, будет рассматриваться как поправка к E_0 .

Приведенное расчетное сопротивление по k -ой гармонике может

быть определено как отношение соответствующих гармоник напряжения и тока [1]

$$r_k = \frac{U_{m,k}}{I_{m,k}} = \frac{U_{r,k}}{I_k} = \frac{U_{cr,k}}{I_{cr,k}}. \quad (20)$$

Уравнение баланса напряжений по k -ой гармонике в рассматриваемой цепи в комплексной форме запишется в виде

$$\dot{U}_{r,k} + (R + jX) \dot{I}_k = \dot{E}_k + \Delta \dot{E}_k. \quad (21)$$

Для постоянной составляющей, очевидно, индуктивное сопротивление $X_L = 0$, а емкость при необходимости может быть представлена сопротивлением утечки.

Гармоника тока рассчитывается итерациями с разделением на два этапа: 1) на приближенную итерацию — без учета гармоник тока выше k -ой, следовательно, без учета $\Delta e_{n,k}$; 2) на точную итерацию — с учетом также и гармоник выше k -ой, следовательно с учетом и $\Delta e_{n,k}$. При этом в уравнении (21) при приближенных итерациях не учитываются член $\Delta \dot{E}_k$ и гармоники выше k -ой при определении $\dot{U}_{r,k}$, т. е. в этом случае множество N ограничивается значениями $|x_i| \leq k$.

Для сложной цепи уравнения контурных токов k -ой гармоники в матричной форме имеют вид [2]:

$$[Z_{p,q,k}] [\dot{I}_{q,k}] = [\dot{E}_{p,k} + \Delta \dot{E}_{p,k}]. \quad (22)$$

Здесь и $Z_{p,q,k}$ входят приведенные сопротивления по k -ой гармонике, активные и реактивные сопротивления контуров. Следует учесть, что смежные нелинейные сопротивления являются функциями суммы токов, протекающих через эти сопротивления.

Точность каждой рассчитываемой гармоники будет зависеть от точности аппроксимации нелинейных характеристик $r(i)$ аналитическим выражением — степенным полиномом — и от числа учитываемых гармоник n_1 , которое следует брать несколько больше числа рассчитываемых гармоник n_2 . При достижении необходимой точности общего решения с учетом резонансных условий на какой-либо гармонике, когда величиной последующих гармоник можно пренебречь, вычисления прекращаются. При этом следует различать точность общего решения от точности расчета отдельных гармоник и точности итераций, т. е. совпадения $R_k^{(n)}$ и $R_k^{(n+1)}$.

Алгоритм расчета цепей, содержащих нелинейные активные или индуктивные сопротивления и емкости определенной величины, т. е. цепей, в которых возможен резонанс на какой-либо высшей гармонике, несколько будет отличаться от алгоритма расчета цепей, не содержащих емкостей. Это отличие заключается в необходимости приближенного и уточненного определения резонансной частоты и величины тока резонансной гармоники. Соответственно, отличается и блок-схема расчета такой цепи на ЭЦВМ (рис. 1). Как и в [2], метод квазилинейных комплексных уравнений гармонических составляющих позволяет

формализовать расчет сложной электрической цепи, содержащей нелинейные активные сопротивления, т. е. позволяет исключить операции по составлению и упорядочению нелинейных дифференциальных уравнений баланса напряжений и токов, применить к этим цепям методы

линейной электротехники и использовать программы расчета линейных цепей [4] в качестве подпрограмм для ЭЦВМ.

Метод квазилинейных уравнений и в случае цепей, состоящих только из активных линейных и нелинейных сопротивлений, позволяет избежать излишних операций, так как эти цепи хотя и описываются алгебраическими уравнениями, но они нелинейны, и здесь непосредственно нельзя применить методы линейной электротехники. При наличии резонанса на какой-либо гармонике возможно в некоторой степени увеличение числа вычислительных операций, так как для достижения требуемой точности общего решения может быть потребуется рассчитать большее число гармоник. Очевидно, количество вычислительных операций связано с точностью расчета, однако анализ такой связи представляет собой отдельный сложный вопрос и выходит за рамки рассматриваемой здесь задачи.

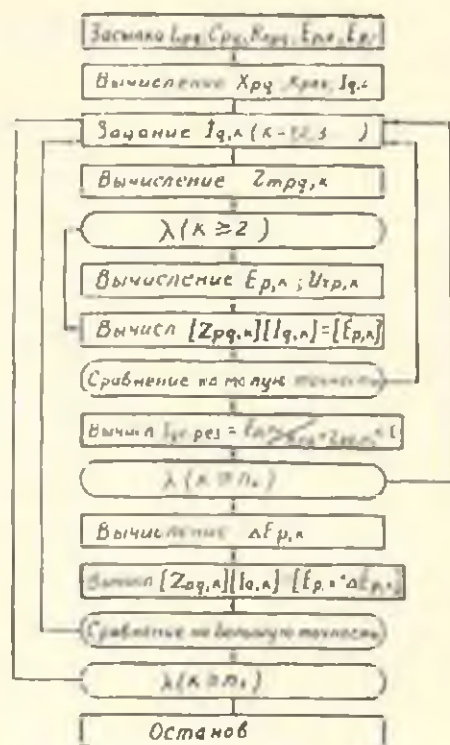


Рис. 1.

Метод апробирован на примере простой цепи из линейного R и нелинейного $r(i) = \alpha i^2$ сопротивлений. Результаты сравнения с классическим методом гармонического баланса и известным графическим методом аналогичны приведенным в [5].

В ы в о д ы

1. Предлагаемый метод представляет собой развитие принципа гармонического баланса для расчета сложной цепи с нелинейными активными сопротивлениями по квазилинейным рекуррентным уравнениям гармонических составляющих.

2. Метод позволяет формализовать расчет сложных цепей и избежать излишних вычислений, возможных при применении метода гармонического баланса.

3. Метод дает возможность получать решения с любой заданной точностью, не ограничиваясь ни степенью аппроксимирующего полинома, ни точностью и числом рассчитываемых гармоник.

4. Расчет цепи общего случая с нелинейными активными сопротивлениями сводится к решению квазилинейных комплексных уравнений контурных токов или узловых напряжений.

АрмИИИЭ

Поступило 18 VI 1973

Է. Լ. ՇՈՎԱՆԱԹՅԱՆ

ՀԱՐՄՈՆԻԿ ԲԱՂԱԳԻՐՁՆԵՐԻ ՉԵՂՈՎ ԿԵՂՇ ԳԻՄԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒԹՅՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴ՝ ՈՉ-ԳԻՄԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎ ԳԻՄԱԳԻՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՎ ՇՂԹԱՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՀԱՄԱՐ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Առաջարկվում է հաշվարկի մեթոդ, որն իրենից ներկայացնում է հարմարեցված լինելով սկզբունքի պարզացումը ոչ-զծային ակտիվ դիմադրությունների պարունակող բարդ էլեկտրական շղթաների հաշվարկ կատարելու համար ըստ առանձին հարմոնիկաների լարման բալանսի ձևով զծային կոմպլեքսային հավասարումներով: Մեթոդը թույլ է տալիս ֆորմալիզացնել և պարզեցնել հավասարումների կազմելը և լուծելը և հարմարեցված թաղադրիչների լուծման համար օգտագործել զծային էլեկտրատեխնիկայի մեթոդները, օրինակ՝ կոնտուրային հոսանքների մեթոդը: Մեթոդը թույլ է տալիս կատարել հաշվարկ նաև որևէ մի հարմոնիկայի վրա սկզբնական դեպքում: Ոչ-զծային ակտիվ դիմադրությունների բնութագրերը մոտարկվում են ցանկացած կարգի տոտիսան բանցող բազմանդամով: Մեթոդը հաշվի է առնում հոսանքի հարմոնիկաների փոխազդեցությունը մեկը մյուսի վրա: Հնարավոր է թվային հաշվիչ մեքենայի անմիջական օգտագործումը հաշվարկի համար:

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л. А., Нелинейные электрические цепи. Изд. «Высшая школа», 1964.
2. Оганесян Э. Л. Метод квазилинейных уравнений гармонических составляющих при расчете цепей со сталью. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. II)», т. XXV, № 1, 1972.
3. Ахизер Н. П. Лекции по теории аппроксимаций. Изд. «Наука», 1965.
4. Адоныч Г. Т. Многополосник. Изд. АН Арм. ССР, 1965.
5. Атабеков Г. И., Гиммфеев А. Б., Хухриков С. С. Теоретические основы электротехники, ч. 2. Изд. «Энергия», 1970.

ЭНЕРГЕТИКА

В. С. ХАЧАТРЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ Z ОБОБЩЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ЭНЕРГОСИСТЕМ

Предполагается, что рассматриваемую электрическую схему можно представить в виде линейного графа с $M+1$ вершинами. После выбора базисного узла и приписания ему нулевого индекса, заданный граф будет состоять из M независимых вершин. Процесс определения обобщенных параметров полученного графа можно представить с помощью следующих матричных соотношений [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} Z &= Z_{k-1} + Z_k^d, \\ Z_{k-1} &= Z_{k-2} + Z_{k-1}^d, \\ &\vdots \\ Z_2 &= Z_1 + Z_2^d, \\ Z_1 &= Z_0 + Z_1^d. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

По выражению (1) процесс построения искомой матрицы обобщенных параметров начинается из построения матрицы Z_0 , поскольку элементы матрицы Z_1^d являются функциями от элементов Z_0 , т. е. $Z_1^d = Z_1^d(Z_0)$.

Исходя из этого, было бы удобнее представить матричное соотношение (1) в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} Z &= Z_{k-1} + Z_k^d(Z_{k-1}), \\ Z_{k-1} &= Z_{k-2} + Z_{k-1}^d(Z_{k-1}), \\ &\vdots \\ Z_2 &= Z_1 + Z_2^d(Z_1), \\ Z_1 &= Z_0 + Z_1^d(Z_0). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь:

$Z = Z_k$ — искомая матрица обобщенных параметров графа;

Z_0 — матрица обобщенных параметров дерева;

$Z_1^d, Z_2^d, \dots, Z_k^d$ — дополнительные матрицы, учитывающие подключение удаленных главных ветвей, с целью построения исходного графа.

Исходным при определении Z параметров является построение матрицы Z_0 дерева непосредственно из заданной матрицы узловых проводимостей графа. Для построения матрицы Z_0 ставится вопрос об определенной нумерации узлов графа.

Исследование показало, что при этом возможны четыре типа нумерации узлов [3]. Наиболее общим случаем является IV случай, поскольку

ку другие являются частными случаями последнего. Для ясности проиллюстрируем последний случай на конкретном примере. Рассмотрим граф, состоящий из 10 узлов (вершин). После выбора базисного узла введем нумерации соответствующих узлов. Основная суть нумерации узлов раскрыта в работе [3]. Поэтому в настоящей статье, без дополнительных пояснений, на рис. 1 показывается одна из возможных нумераций узлов. Для рассматриваемого графа матрица узловых проводимостей принимает следующий вид:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline Y_{11} & -Y_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline Y_{22} & -Y_{23} & -Y_{24} & 0 & 0 & -Y_{27} & 0 & -Y_{29} & \\ \hline Y_{33} & -Y_{34} & 0 & -Y_{36} & 0 & 0 & 0 & & \\ \hline Y_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ \hline Y_{55} & -Y_{56} & 0 & -Y_{58} & 0 & & & & \\ \hline Y_{66} & -Y_{67} & -Y_{68} & 0 & & & & & \\ \hline Y_{77} & 0 & 0 & & & & & & \\ \hline Y_{88} & -Y_{89} & & & & & & & \\ \hline Y_{99} & & & & & & & & \\ \hline \end{array} \end{array} \quad (3)$$

В матрице узловых проводимостей (3) вместо диагональных элементов напомним сумму соответствующих строк:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline Y_{01} & -Y_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & -Y_{23} & -Y_{24} & 0 & 0 & -Y_{27} & 0 & -Y_{29} & \\ \hline 0 & -Y_{34} & 0 & -Y_{36} & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ \hline Y_{05} & -Y_{56} & 0 & -Y_{58} & 0 & & & & \\ \hline 0 & -Y_{67} & -Y_{68} & 0 & & & & & \\ \hline 0 & 0 & 0 & & & & & & \\ \hline 0 & -Y_{89} & & & & & & & \\ \hline 0 & 0 & & & & & & & \\ \hline \end{array} \end{array} \quad (4)$$

Теперь необходимо проиллюстрировать логику построения матрицы узловых сопротивлений дерева непосредственно из матрицы узловых

проводимостей графа. Следует отметить, что на основании этой же логики составлена программа на АЦВМ. Процесс построения искомой матрицы начинается с элемента Y_{01} . Z_{01}^0 непосредственно определяется путем нахождения Y_{01}^{-1} , т. е. $Z_{01}^0 = Y_{01}^{-1}$. Затем проверяется второй диагональный элемент. Если этот элемент равняется нулю, то обращается элемент Y_{12} , находящийся над ним, и суммируется с Y_{01}^{-1} , в результате получается $Z_{02}^0 = Z_{01}^0 + Y_{02}^{-1}$. Аналогичным образом определяются:

$$Z_{03}^0 = Z_{02}^0 + Y_{03}^{-1}$$

$$Z_{04}^0 = Z_{03}^0 + Y_{04}^{-1}$$

Если при проверке диагональный элемент оказывается не нулем, то обращая его, непосредственно определяется соответствующее узловое сопротивление $Z_{11}^0 = Y_{11}^{-1}$, затем $Z_{06}^0 = Z_{11}^0 + Y_{06}^{-1}$; $Z_{12}^0 = Z_{11}^0 + Y_{12}^{-1}$. Если чередуются друг за другом несколько диагональных элементов, то их непосредственно необходимо обращать и установить соответствующие значения узловых сопротивлений. Когда после диагонального элемента снова чередуется нуль, то процесс выбора элементов производится вышеотмеченным принципом.

Как нетрудно заметить из рис. 1, при данной нумерации узлов не было возможности по порядку охватить все узлы (8, 9), как это получается в предыдущих трех случаях [3]. Поэтому вышеприведенная логика выбора элементов полностью не определяет построение дерева. Для этого необходимо учитывать и те элементы, которые не были охвачены последовательностью нумерации. При этом необходимо ориентироваться элементами тех столбцов, номера которых соответствуют вышеотмеченным узлам. В данном случае этими столбцами являются 8 и 9. В столбце 8 имеются два элемента Y_{58} , Y_{68} , которые показывают их связанность с узлами 5 и 6. Достаточно учесть один из них, например, Y_{68} , т. е. учитывать связь элемента Y_{68} с узлом 6. При этом узловое сопротивление Z_{68}^0 определяется как

$$Z_{68}^0 = Z_{66}^0 + Y_{68}^{-1}$$

Поскольку узел 8 связан с узлом 6, то появляются общие сопротивления между узлом 8 и только теми узлами, которые пронумерованы по второму направлению: 0—5—6—7. Общие сопротивления между узлом 8 и остальными по порядку пронумерованными узлами, включая узел примыкания элемента Y_{58} (т. е. узел 6), являются теми же входными узловыми сопротивлениями соответствующих узлов, как, например, $Z_{08}^0 = Z_{06}^0$, $Z_{58}^0 = Z_{56}^0$. Общие сопротивления тех узлов, которые пронумерованы после узла примыкания, являются входным сопротивлением этого же узла примыкания, т. е. $Z_{98}^0 = Z_{96}^0$. После подключения ветви Y_{58} с узлом 6 переходим к столбцу 9. В столбце 9 также имеются два элемента Y_{89} и Y_{29} , которые показывают их связанность с узлами 8 и 2. В данном случае учитывается элемент Y_{89} , при котором входное сопротивление узла 9 определяется как $Z_{99}^0 = Z_{88}^0 + Y_{89}^{-1}$. Аналогично,

матрицу узловых сопротивлений полученного дерева (сплошные линии на рис. 1) можно представить в следующем виде:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Z_{11}^0	Z_{12}^0	Z_{13}^0	Z_{14}^0	0	0	0	0	0
2		Z_{22}^0	Z_{23}^0	Z_{24}^0	0	0	0	0	0
3			Z_{33}^0	Z_{34}^0	0	0	0	0	0
4				Z_{44}^0	0	0	0	0	0
5					Z_{55}^0	Z_{56}^0	Z_{57}^0	Z_{58}^0	Z_{59}^0
6						Z_{66}^0	Z_{67}^0	Z_{68}^0	Z_{69}^0
7							Z_{77}^0	Z_{78}^0	Z_{79}^0
8								Z_{88}^0	Z_{89}^0
9									Z_{99}^0

Нетрудно заметить, что можно было подключить элемент Y_{20} в узле 2, тогда рассуждение остается тем же. Поскольку при этом узлы 8 и 9 не находятся в одном и том же направлении, то общие сопротивления между ними приравниваются нулю. На основании вышеприведенного алгоритма составлена программа на АЦВМ «УРАЛ-14Д», которая позволяет определить Z_0 -матрицу и подключить удаленные ветви и в результате построить Z -матрицу для заданного графа (сети). Блок-схема составленной программы показана на рис. 2. Программа составлена без учета нулевых элементов, что обеспечивает резкое снижение числа вычислительных операций. При этом вместо матрицы узловых проводимостей достаточно задавать элементы двух диагоналей (главная и рядом находящаяся):

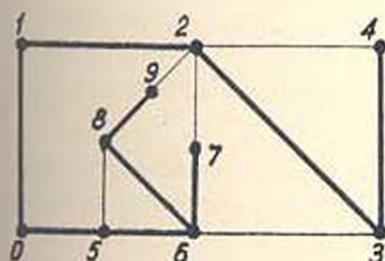


Рис. 1.

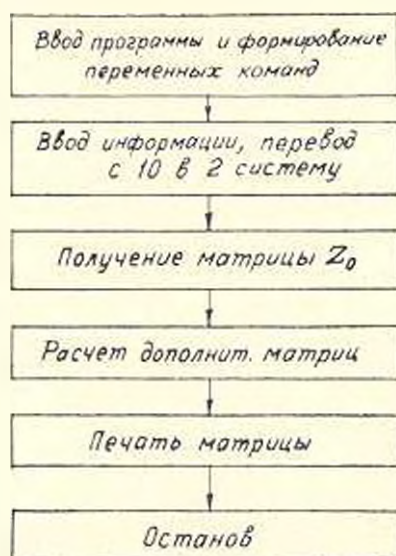


Рис. 2.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Re}(Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n}; Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2n-1,n}) \\ \text{Im}(Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n}; Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2n-1,n}) \end{array} \right\} \quad (6)$$

и таблицу остальных ненулевых элементов с соответствующими индексами:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Re}(Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{n-1,n}) \\ \text{Im}(Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{n-1,n}) \end{array} \right\} \quad (7)$$

Таким образом, задавая матрицу узловых проводимостей графа в виде (6) и (7), остальные операции производятся согласно вышеизложенному. При построении искомой Z -матрицы одновременно можно подключить две главные ветви или два элемента.

На основании составленной программы, пользуясь только оперативной памятью, можно построить Z -матрицу обобщенных параметров для схем, состоящих из 200 независимых узлов. Исследование показало, что, пользуясь полной возможностью данной АЦВМ, можно построить Z -матрицы для схем, состоящих свыше 1000 узлов. С помощью составленной программы были построены Z -матрицы для схем различных сложностей.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета на АЦВМ «УРАЛ-14Д»

№ схем	Число независимых узлов	Число ветвей	Время построения Z -матрицы в сек	Время построения Z -матрицы в мин
1	25	31	3	5
2	45	55	4	17
3	65	87	24	70
4	90	118	26	130
5	100	134	30	160

Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что предложенный метод построения Z_0 -матрицы узловых сопротивлений дерева непосредственно из Y -матрицы узловых проводимостей графа, действительно, обеспечивает резкое снижение машинного времени.

Основное время при построении Z -матрицы расходуется на подключение удаленных главных ветвей.

Вышеприведенные результаты также показывают, что при построении Z -матрицы более высокого порядка резко возрастает требуемое машинное время. Поэтому при построении Z -матрицы для схем замещения больших порядков необходимо пользоваться новыми идеями диакоптики, предлагаемыми в работе [3].

Вывод. При построении Z -матрицы современных больших энергосистем необходимо пользоваться идеями диакоптики с применением быстродействующих АЦВМ.

Վ. Ս. ԿԱԶԱՏՅԱՆ

ԷՆԵՐԳԱԿԱՐԿՈՒՄԻ 2 ԸՆԳՆԱՆՐԱՅՎԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՇՈՒՐՋԸ

Ս. մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում առաջադրված խնդիրը լուծվում է երկու էտապով: Առաջին էտապում առաջարկվում է մի մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս գրաֆի հաղորդականությունների մատրիցայից անմիջապես կառուցել ծառի հանգույցային դիմադրությունների մատրիցան: Երկրորդ էտապում առաջարկված մեթոդը հնարավորություն է տալիս միացնել ծառից հեռացված հիմնական ուղիները և վերականգնել տրված գրաֆի և այդ երկու էտապների իրականացման հետևանքով կառուցվում է տրված գրաֆի որոնելի հանգույցային (կամ հիմնական) դիմադրությունների (կամ պարամետրի) մատրիցան: Կազմված է ծրագիր «Ուրալ—14» հաշվիչ մեքենայի վրա, որը հնարավորություն է տալիս ստանալու նշված մատրիցան մինչև 200-րդ կարգի:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хачатрян В. С. Метод расчета условных сопротивлений сложных схем. «Электричество», 1968, № 7.
2. Хачатрян В. С. Об одном методе обращения матриц, встречающихся в электротехнике. «Известия АН СССР, Энергетика и транспорт», 1969, № 5.
3. Хачатрян В. С. Динамика и проблема расчета режимов больших энергосистем. Научно-техническая конференция «Основные направления и технические решения по созданию АСУ энергетикой и применение вычислительной техники», Киев, 1972.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

К. Х. ШАХБАЗЯН, Л. А. ДЖАԢԱՅԱՆ

О НОВОЙ МОДИФИКАЦИИ ИНВЕРСОРА КРАУФОРДА

На рис. 1 изображена схема инверсора Артоболевского, являющегося модификацией инверсора Крауфорда [1].

Инверсор состоит из прямоугольного рычага 3, вращающегося вокруг точки O . Сторона рычага скользит в ползуне 6, который входит во вращательную пару с ползуном 7, скользящим по звену 2. В точке A со звеном 3 входит во вращательную пару звено 4. Звенья 4 и 2 входят в поступательные пары со звеном 5, представляющим собой крестообразный ползун со взаимно перпендикулярными осями. Из рис. 1 непосредственно следует, что

$$OP \cdot OQ = a^2 = \text{const.} \quad (1)$$

Точка Q звена 5 относительно звена 3 совершает круговое движение по окружности диаметром $OA = a$. Следовательно, точку Q жестким звеном длиной $a/2$ можно соединить с серединой отрезка OA . После такого построения можно удалить звено 4 и крестообразный ползун 5 заменить обычным ползуном (рис. 2, а). При этом не

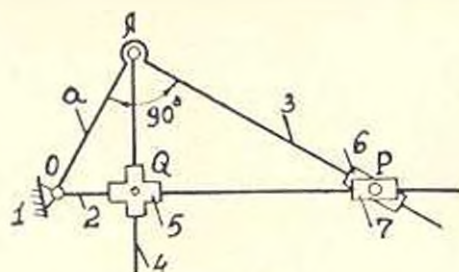


Рис. 1

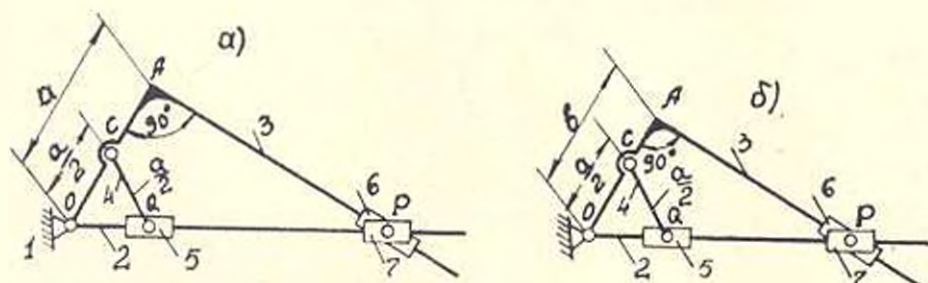


Рис. 2

нарушается зависимость (1). Следовательно, кинематическая цепь, показанная на рис. 2,а, является инверсором.

На схеме рис. 2,а отношение длин CA и звена 4 взято равным единице. В общем случае, это отношение может быть произвольным. Тогда $OA=b$ (рис. 2,б) и выражение (1) примет вид:

$$OP \cdot OQ = ab = \text{const.} \quad (2)$$

Таким образом, получаем две новые модификации инверсора Крауфорда (рис. 2, а и б).

Инверсоры могут быть использованы для образования большого класса кривых. Наиболее известно использование инверсоров для преобразования движения по окружности в движение по прямой.

На рис. 3 показан механизм, имеющий в своем составе инверсор, изображенный на рис. 2,б, для воспроизведения прямой $p-p$, перпендикулярной к прямой Oe .

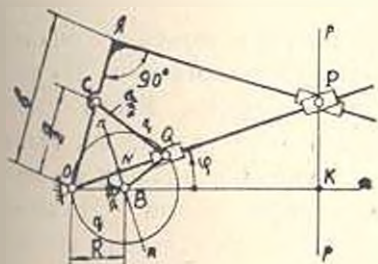


Рис. 3

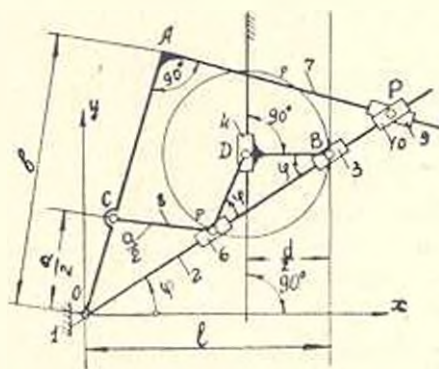


Рис. 1

Для получения точного прямолинейно-направляющего механизма (рис. 3) в точке Q инверсора присоединяем звено BQ длиной R . При этом центр инверсии (точка O) должен находиться на окружности $q-q$. Следовательно, центр вращения B звена BQ должен быть выбран на перпендикуляре $n-n$ к отрезку OQ , проведенному через точку N (середина отрезка OQ).

При движении точки Q по окружности $q-q$ точка P движется по прямой $p-p$, перпендикулярной к направлению OB . Уравнение окружности $q-q$ будет:

$$OQ = 2R \cos \varphi, \quad (3)$$

Подставляя значение OQ из (3) в уравнение (2), получим:

$$OP = \frac{ab}{R 2 \cos \varphi} = \frac{h}{\cos \varphi}, \quad (4)$$

$$\text{где } h = OK = \frac{ab}{2R} = \text{const.}$$

При $b=a$ уравнение (4) примет вид:

$$OP = \frac{a^2}{2R \cos \varphi} = \frac{h_1}{\cos \varphi}, \quad (5)$$

$$\text{где } h_1 = \frac{a^2}{2R}.$$

Из значения h_1 видно, что в основе данного прямолинейно-направляющего механизма лежит инверсор, изображенный на рис. 2, а.

Если окружность не проходит через центр инверсии O , то точка P воспроизводит окружность радиуса r с центром K на линии Oe . Положение центра K и радиус r при заданных значениях a и b , и положение центра инверсии O определяются из нижеследующих условий:

$$\frac{OK}{OB} = \frac{R}{r}; \quad (6) \quad OB = \frac{ab}{OK^2 - R^2}. \quad (7)$$

При $b=a$ выражение (7) примет вид:

$$OB = \frac{a^2}{OK^2 - R^2}. \quad (8)$$

Используя свойство циссоиды круга инвертироваться в конические сечения, можно получать различные виды коникографов. На рис. 4 изображен коникограф, построенный на этом принципе. В его основе лежит шестизвенный механизм для воспроизведения циссоиды. Рычаг 2 качается около точки O и скользит в ползуне 3, входящем во вращательную пару с поступательно движущимся звеном 4. К этому четырехзвенному механизму присоединена двухповодковая группа, состоящая из звеньев 5 и 6. При этом $OD = DB$.

Обозначим расстояние от центра O до прямой $q-q$, описываемой точкой B , через l . Далее построим окружность $p-p$ диаметра $d = 2QD = 2DB$ с центром в точке D . Тогда радиус-вектор qQ траектории, описываемой точкой Q , будет равен

$$qQ = OQ = OB - QB = \frac{l}{\cos \varphi} - d \cos \varphi. \quad (9)$$

Выражение (9) будет полярным уравнением циссоиды круга.

Присоединим к механизму циссоиды круга инверсор, изображенный на рис. 2, б, так, чтобы ползун 6 инверсора совпал с ползуном 6 механизма для воспроизведения циссоиды. Учитывая условие инверсии (2), выражение (9) представим в виде:

$$r_p l - r_p d \cos^2 \varphi - ab \cos \varphi = 0. \quad (10)$$

Последнее выражение является полярным уравнением кривой, воспроизводимой точкой P (рис. 4). Очевидно, что выражение (10) является уравнением конического сечения. Переходя к прямоугольной системе координат, получим:

$$y^2 - 2px - (1 - e^2)x^2, \quad (11)$$

где

$$p = \frac{ab}{2l}, \quad e = \sqrt{\frac{d}{l}}.$$

Зависимость (11) является уравнением конического сечения относительно его вершины. Если $e < 1$, то кониграф чертит эллипс, при $e = 1$ кониграф вычертит параболу, а при $e > 1$ — гиперболу.

Ерл'У

Поступило 19.IV 1973.

Կ. Խ. ՇԱՀԻՉՅԱՆ, Գ. Ա. ԶԱԿԱՅԱՆ

ԿՐԱՈՒՖՈՐԴԻ ԻՆՎԵՐՍՈՐԻ ՆՈՐ ՄՈԴԻՖԻԿԱՅԻՆԱՅԻ ՎԵՐԱԵՐՅԱՆՈՒ

Ա Մ Փ Ն Փ Ն ՈՒ Մ

Հոդվածում տրված է Կրաուֆորդի ինվերսորային կոնիստ-իդակային մեխանիզմի երկու մոդիֆիկացիա և կոնիկոցրաֆ ու ուղղադի-ուղղորդ մեխանիզմների սխեմաները: Վերջիններիս հիմքում ընկած է նշված ինվերսորի մոդիֆիկացիան:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Артоблевский Н. Н. Теория механизмов для воспроизведения плоских кривых. Изд. АН СССР, 1959.
2. Артоблевский Н. Н. Механизмы в современной технике, том II, М., 1971.
3. Шахбизян К. Х., Джагацпоян Д. А. Синтез механизмов на основе определенных соответствий между пучками прямых. «Известия АН Арм. ССР, Механика», т. XXVI, № 6, 1973.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

К. А. ГУЛГАЗАРЯН, К. В. ГАЛОЯՆ,
Г. А. ЕРАПОСЯՆ, К. М. ХАЧАТРՅԱՆ

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ МОДУЛЯЦИИ ФОТОТОКА ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ВНЕШНИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Управление фототоком фотоумножителей (ф. э. у.) внешними электродами [1, 2] нашло широкое применение в различных областях техники. При этом управляющее напряжение подается на внешний кольцевой электрод, прикладываемый к торцевому стеклу ф. э. у., и манжету. Достоинствами этого способа управления являются малые управляющие напряжения и возможность работы на сверхвысоких частотах (СВЧ). Однако, из-за конечного сопротивления фотокатода ухудшается проникаемость низкочастотных полей через фотокатод, в результате чего управление фототоком в области низких частот малоэффективно. При работе же на СВЧ требуется большая мощность. Эти недостатки могут быть исключены путем разрезки фотокатода по окружности, что и рассматривается в настоящей статье.

На рис. 1 показана схема катодной области ф. э. у., где круглый полупрозрачный фотокатод 2 узким слоем фотокатода (длиной l и шириной h) соединен с цилиндрической манжетой 3. Между внешним кольцевым электродом 1 и фотокатодом 2 имеется емкость C_0 , в которой диэлектриком является стекло, а фотокатод имеет большое сопротивление. Известно, что электрическую схему тонких пленок можно представить в виде цепочки r, R, C (рис. 2), поэтому эквивалентная схема узкого слоя фотокатода представляется в виде такой цепочки. Тогда сопротивление между внешним электродом и манжетой можно представить как последовательное включение конденсатора C_0 и цепочки r, R, C . На эти электроды подается напряжение $U_{\text{вн}}$, что и создает переменный потенциал $U_{\text{вых}}$ на круглом фотокатодe 2. Этот потенциал создает поле, которое управляет током ф. э. у.

Для исследований будем пользоваться: удельными параметрами сопротивления и емкости между противоположными сторонами квадратного фотокатода R_y, r_y, C_y ; емкостью между внешним электродом и фотокатодом C_0 , приходящуюся на единичную площадь. Легко заметить, что между величинами, указанными на рис. 2, и удельными параметрами имеется связь:

$$C_0 = C_{01}S; r = r_y \frac{l}{h}; R = R_y \frac{l}{h}; C = C_y \frac{h}{l}, \quad (1)$$

где S — площадь внешнего электрода.

Измерения показали, что для фотокатода ФЭУ-51 имеем:

$$R_y = 17 \text{ Мом}; r_y = 80 \text{ ком}; C_y = 1 \text{ нф}; C_{01} = 5 \text{ пф см}^2.$$

Из-за большого R_y и малого C_y на низких частотах сопротивление цепочки r, R, C будет равно $\sim R$, а схема, представленная на рис. 2, примет вид последовательного включения R и C_0 . Тогда коэффициент передачи будет

$$K_p = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{\omega R C_0}{\sqrt{1 + (\omega R C_0)^2}}, \quad (2)$$

где ω — частота управляющего сигнала.

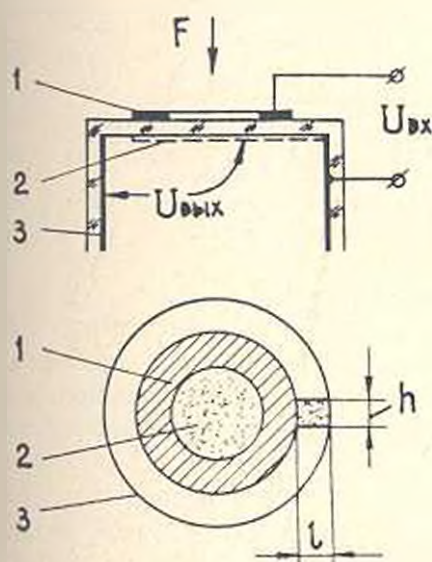


Рис. 1. Схема катодной области с разрезанным фотокатодом. 1 — внешний кольцевой электрод, 2 — полупрозрачный фотокатод, 3 — манжета; F — световой поток; $l = 3 \text{ мм}$, $h = 2,5 \text{ мм}$.

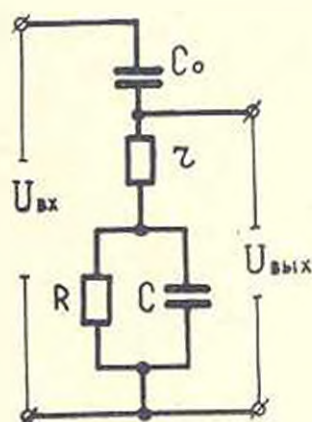


Рис. 2. Эквивалентная схема сопротивления между внешним электродом и манжетой

Для обычных же фотокатодов, которые по окружности соединены с манжетой, известно [3], что в рассматриваемых нами условиях в диапазоне низких частот

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \left(1 - \frac{4}{4 + j\omega R_y C_{01} R_{\text{фк}}^2} \right),$$

откуда коэффициент передачи

$$K_0 = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{\omega R_y C_{01} R_{\text{фк}}^2}{\sqrt{16 + (\omega R_y C_{01} R_{\text{фк}}^2)^2}}, \quad (3)$$

где $R_{\text{фк}}$ — радиус фотокатода.

Сравнивая (2) с (3), заключаем, что при одинаковых параметрах фотокатода полное проникновение поля наступает на более низких частотах в случае разрезанного фотокатода. Это существенно при создании многих оптико-электронных устройств.

На рис. 3 приведены зависимости коэффициента передачи от частоты для ФЭУ-51, полученные экспериментально. Кривые были построены

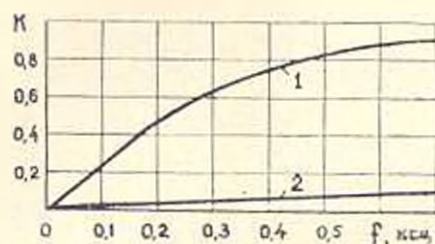


Рис. 3 Частотно-модуляционная характеристика ФЭУ-51: 1—с разрезанным фотокатодом; 2—до разрезки фотокатода

ны следующим образом. На разных частотах подбирались такие величины модулирующих напряжений $U_{мк}$, подача которых приводит к одинаковому приращению постоянной составляющей выходного тока ф. э. у.. Можно показать, что зависимость $1/U_{мк}$ от частоты представляет собой искомую функцию.

Представляет практический интерес определение величины входного сопротивления на СВЧ, так как оно является нагрузкой модулирующего генератора. В случае разрезанного фотокатода на частотах свыше нескольких МГц входное сопротивление приближается к r . Для ФЭУ-51 с узким слоем фотокатода при $l=3$ мм и $h=2,5$ мм нами экспериментально определено, что $r \approx 100$ ком.

Когда фотокатод не разрезан, а диаметр внешнего электрода $D_{вн}$ равен диаметру фотокатода $D_{фк}$, входное сопротивление, равное [2]

$$= D_{вн} \sqrt{\frac{r_y}{2\omega C_{01}}},$$

резко уменьшается с повышением частоты. Для увеличения этого сопротивления уменьшают диаметр внешнего электрода. Тогда входное сопротивление увеличивается [1] до величины

$$\frac{r_y}{2\pi} \ln \frac{D_{фк}}{D_{вн}}.$$

Например, при $D_{фк}=25$ мм, $D_{вн}=12,5$ мм, $r_y=80$ ком входное сопротивление будет 8,8 ком. Даже при этом оно почти в 11 раз мень-

ше, чем в случае разрезанного фотокатода. Увеличение входного сопротивления приводит к уменьшению мощности модуляции — 11 раз. Это весьма существенно на СВЧ.

Для разрезки фотокатода был использован рубиновый лазер длиной волны излучения 0,694 мкм, выходной энергией 1,5–2 Дж и длительностью импульса 0,5 мсек. Это излучение фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 80 мм.

При нахождении торцевого стекла в фокусе, ф. э. у. выходил из строя из-за нарушения вакуума. Во избежание этого фотокатод был установлен вне фокуса так, чтобы диаметр светового пятна составлял ~ 2 мм.

Следует отметить, что процесс разрезки фотокатода сопровождается уменьшением чувствительности фотокатода, причем, оно зависит от типа ф. э. у.. Это уменьшение иногда составляет несколько порядков. Поэтому фотокатод указанной конфигурации целесообразно получить в процессе изготовления ф. э. у., что является нетрудной задачей.

ЕрПН

Поступило 10. I. 1973.

Կ. Ա. ԳՈՐԿԱՋՐԱՅԱՆ, Կ. Վ. ԳԱՐՅԱՆ, Կ. Ա. ԵՐԱՆՈՍՅԱՆ,
Կ. Լ. ԿԱԶԱՏՔՅԱՆ

ՅՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ԼԱՎԱՅՈՒՄԸ ՀԱՏՈՐԱԶՄԱԳԱՏԿԻՉՆԵՐԻ ՀՈՏՈՇՈՒՄՆԵՐԸ
ԱՐՏԱՔԻՆ ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԵՐԻ ՄԵԶՈՑՈՎ ՄՈԳՈՒԼԱՅՆԵԼՈՒ

Ա. Վ. Գ. Կ. Ա. Կ.

Հոդվածում դիտված է ֆոտոբաղմասպատկիչ, որի կիսաթափանց ֆոտոկատոդը լազերի ճառագայթով շրջապծով կտրված է մանժետից ու վերջինիս հետ միացված ֆոտոկատոդի նեղ շերտով: Դրա շնորհիվ ֆոտոհոսանքը կարելի է մոդուլացնել նաև ցածր հաճախություններով: Բացի այդ, մեծանում է արտաքին էլեկտրոդի և մանժետի միջև եղած լրիվ դիմադրությունը, որը դերադր հաճախությունների զեպրում բերում է մոդուլացնող հզորության փոքրացման:

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулгазьян К. А. ИТЭ, 1970, № 5.
2. Гулгазьян К. А. «Раднотехника», 1970, № 10.
3. Гулгазьян К. А. «Радиозлектроника», 1970, № 7.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

А. П. ШОРЫГИН, Э. В. КАЗАРЯН, Л. Л. ГВАРАМАДЗЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ КАПИЛЛЯРНЫХ
РТУТНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ИНТЕГРАТОРНЫХ
ТРИНДОВ С РЕЗИСТИВНЫМ НЕРАЗРУШАЮЩИМ
СЧИТЫВАНИЕМ

В интеграторных электрохимических триодах с параметрическим электрическим считыванием выходной величиной служит линейное сопротивление, которое монотонно изменяется в зависимости от электрического заряда, протекшего в цепи управления, и сохраняется неизменным в течение длительного времени после прекращения управляющего воздействия. В этих триодах сопротивление увеличивается или уменьшается в результате переноса металла с одного рабочего электрода на другой при протекании тока управления [1-4].

Электрохимические интеграторные элементы с резистивным считыванием отличаются простотой устройства, малым потреблением энергии, малыми габаритами. Они хорошо сочетаются с интегральными схемами. Указанные триоды могут использоваться в устройствах автоматического контроля, в адаптивных системах, в классификаторах, устройствах связи и др.

Рассматриваемые элементы могут работать при очень больших длительностях непрерывных или дискретных сигналов управления. Кроме того, они могут управляться импульсными сигналами с частотами следования до сотен мегагерц. Хранение информации происходит без потребления энергии. Отключение источника питания не приводит к потере информации. Легко осуществляется неразрушающее считывание. Для опроса не требуется дополнительного времени. Поэтому после завершения интегрирования, обучения или настройки, быстроедействие элемента во многих случаях ограничивается только временем распространения сигнала в опорных цепях. Считывание возможно как переменным током частотой от сотен герц до мегагерц, так и униполярными импульсами длительностями от десятков миллисекунд до сотен наносекунд [5, 6]. Известны два метода резистивного считывания, представляющие практический интерес, а именно:

1. По электрическому сопротивлению резистивного электрода (твердофазные капиллярные электрохимические триоды — ТКЭ-триоды или ЭУР);
2. По электрическому сопротивлению междуэлектродного проме-

жутка — «электролитного зазора» (капиллярные ртутно-электрические триоды — КРЭ-триоды).

Наряду с такими достоинствами как относительно высокое быстродействие, большая кратность изменения выходной величины, известные элементы на основе ТКЭ-триодов обладают существенной нелинейностью, гистерезисом характеристик управления и их разбросом [3]. Поэтому для тех случаев, когда нужны большие времена интегрирования, представляют существенный практический интерес элементы со считыванием по сопротивлению междуэлектродного промежутка, у которых, при соблюдении определенных требований к конструкции и технологии изготовления, можно обеспечить высокую линейность и повторяемость характеристик управления в широком диапазоне выходных величин при практическом отсутствии гистерезиса и дрейфа.

Капиллярный ртутно-электролитический интеграторный триод с резистивным считыванием (рис. 1, а) состоит из трех капилляров 1, 2 и 3 с нижними с одного конца выводами.

Другие концы капилляров открыты в общую камеру 4, образующую вместе с капиллярами изолирующую герметическую оболочку, залитую электролитом. Короткий капилляр со ртутью 3 служит электро-

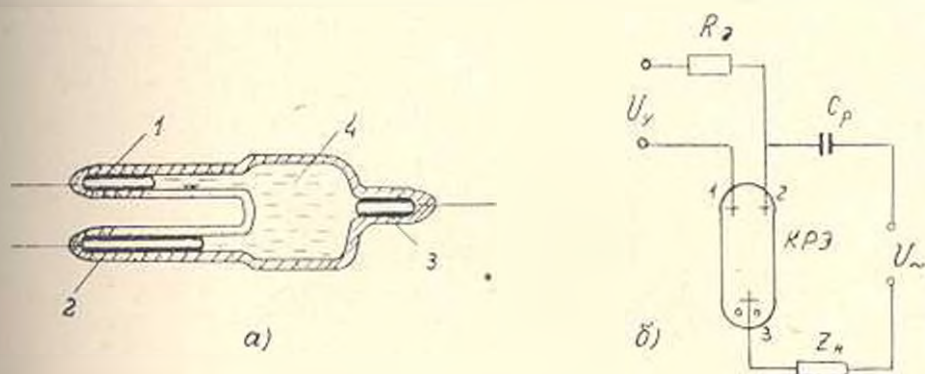


Рис. 1. а—Схема устройства капиллярного ртутно-электролитического интеграторного триода с резистивным считыванием; б—Схема интеграторного элемента с непосредственным преобразованием (со считыванием заданным напряжением) КРЭ—капиллярный ртутно-электролитический триод; 1 и 2—электроды управления; 3—электрод считывания; R_2 —добавочное сопротивление в цепи управления; C_p —разделительный конденсатор; U_y —напряжение управления; U_x —напряжение считывания.

дом считывания. Другие два капилляра 1, 2 заполнены ртутью лишь частично, что позволяет осуществлять электролитический перенос ртути с одного рабочего электрода на другой.

У исследованного нами элемента электролитом служил раствор йодистой ртути с добавкой избытка постороннего электролита (йодистого калия). Так как удельное сопротивление применяемого электролита почти на два порядка величины превышает удельное сопротивление ртути, то при электролитическом переносе ртути с одного рабочего электрода на другой соответственное изменение значения выходного

сопротивления между любым из двух рабочих электродов 1, 2 и электродом считывания 3 происходит практически только за счет изменения длины столбиков электролита.

Сопротивление считывания на переменном токе для простейшей схемы по рис. 1, б при достаточно большой для выбранной частоты разделительной емкости (конденсатор C_p) приблизительно равно (при малости реактивных сопротивлений триода):

$$Z_{cs} = \frac{Z_{23}(Z_{12} - Z_{23} + R_1)}{Z_{12} + R_1} \quad (1)$$

где Z_{12} — сопротивление триода по цепи управления (между рабочими электродами 1 и 2); Z_{23} — то же между электродом считывания и одним из рабочих электродов.

В отличие от ТКЭ-триода [5] у рассматриваемого элемента сопротивление электродов везде мало по сравнению с последовательно соединенными с ними столбиками электролита на участках капилляров, свободных от ртути. Кроме того, сопротивление общей камеры также мало, и им можно пренебречь ввиду относительно большого поперечного сечения камеры. В результате эквивалентная электрическая схема для рассматриваемого триода существенно упрощается (рис. 2).

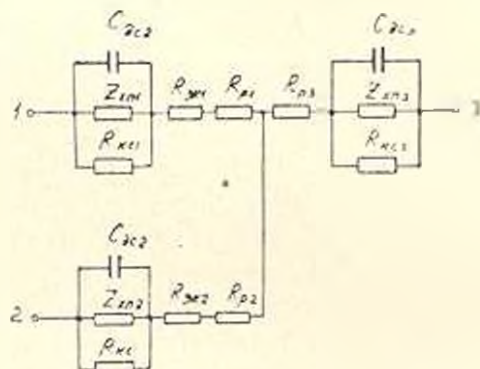


Рис. 2. Эквивалентная схема КЭ-триода: 1 и 2 — электроды управления; 3 — электрод считывания; Z_{12c} — сопротивление нестационарной диффузии (соответствующими индексами помечены параметры элементов схемы).

Тогда, пользуясь [6], для цепи считывания можно написать:

$$Z_{cs} = R_s + \frac{R_{кc}A}{A + R_{2к} + \frac{R_{кc}A}{j\omega + R_{кc}AC_{2c}/A}} \quad (2)$$

$$R_s = R_{2к} + 2R_{p1}$$

где A — концентрационная постоянная; $R_{ке}$ — сопротивление квазистационарной диффузии; $C_{дс}$ — емкость двойного слоя; $R_{кв}$ — сопротивление электролита в капилляре; R_p — сопротивление растекания между устьем капилляра и общей камерой с электролитом.

С некоторым приближением, пользуясь известными формулами для стационарного электрического поля,

$$R_{ке} = \frac{1}{\chi_s S_k} \quad \text{и} \quad R_{кв} = \frac{K_k}{\chi_s \sqrt{\pi S_k}}, \quad (3)$$

где χ_s — электропроводность среды (электролита); K_k — коэффициент растекания, зависящий от конфигурации перехода от капилляра к камере*, ($K_k > 1$); S_k — поперечное сечение капилляра.

Для типичных параметров КРЭ-триодов членом, обусловленным проводимостью двойного слоя, можно пренебречь, так как в области низких частот

$$R_{ке} \cdot A \cdot C_{дс} \ll A; R_{кв},$$

а на высоких частотах можно пренебречь вторым слагаемым [6]. Тогда для цепи считывания КРЭ-триода амплитудные и фазо-частотные характеристики в относительных единицах имеют вид:

$$\frac{Z_{сч}}{R_s} = \sqrt{\left| 1 + 2\gamma \frac{1 + \tilde{\epsilon}_1 \omega}{(1 + \tilde{\epsilon}_1 \omega)^2 + (\tilde{\epsilon}_1 \omega)^2} \right|^2 + \left| 2\gamma \frac{\tilde{\epsilon}_1 \omega}{(1 + \tilde{\epsilon}_1 \omega)^2 + (\tilde{\epsilon}_1 \omega)^2} \right|^2}, \quad (4)$$

$$\varphi_{сч}(\omega) = -\arctg \frac{2\gamma \tilde{\epsilon}_1' \omega}{2\gamma(1 + \tilde{\epsilon}_1' \omega) + (1 + \tilde{\epsilon}_1' \omega)^2 + (\tilde{\epsilon}_1' \omega)^2}, \quad (5)$$

где $\gamma = R_{ке}/R_s$ и $\tilde{\epsilon}_1 = R_{кв}/A$.

Параметр γ характеризует ход амплитудно-частотной характеристики в области малых частот, а параметр $\tilde{\epsilon}_1$ — ее спад в области более высоких частот. Максимальное значение сдвига фаз зависит только от γ .

На рис. 3,а приведена амплитудно-частотная характеристика испытанного образца для случая, когда рабочий электрод почти полностью заполняет свой капилляр (выходное сопротивление близко к наименьшему значению).

Расчетная зависимость максимального сдвига фаз от γ представлена на рис. 3,б. Так как при практических конструкциях КРЭ-триодов $\gamma \ll 1/4$, то сдвиг фаз (в отличие от ТКЭ-триодов [8]) не превышает и

* В простейшем случае, при переходе от цилиндрического проводящего тела малого диаметра к телу большого объема, этот коэффициент приблизительно равен единице.

худшем случае нескольких градусов, так что реактивной составляющей в сопротивлении считывания КРЭ-триода и в сопоставлении его по цепи управления можно пренебречь и, исходя из (4), написать:

$$R_{сч} = R_s + \frac{2R_{кэ}(2 + \delta\gamma\omega)}{(1 + \delta\gamma\omega)^2 + (\delta\gamma\omega)^2} \quad (6)$$

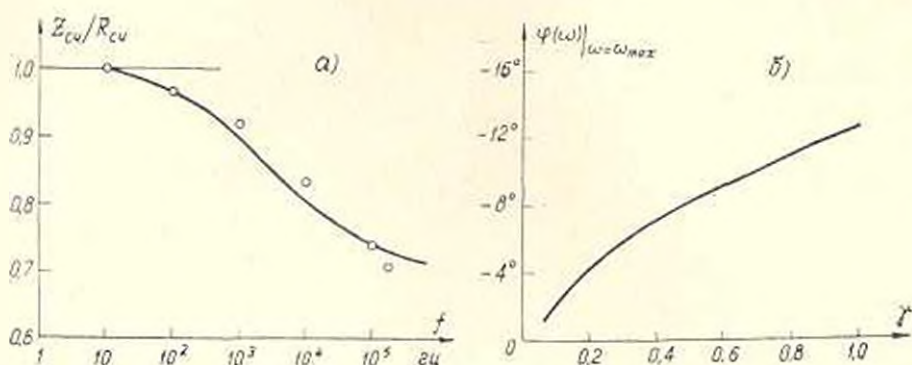


Рис. 3. а—Расчетная амплитудно-частотная характеристика считывания интеграторного триода для наименьшей длины столбика электролита и капилляре (точки—экспериментальные значения); б—расчетная зависимость сдвига фаз по цепи считывания от параметра γ .

При условии равенства площадей поперечного сечения капилляров S_k в их устьях и постоянства этого сечения по всей длине капилляров $1/2 R_s$ является линейной функцией входного заряда, т. е.

$$R_s = \frac{\gamma A_n}{zF\gamma_n} \cdot \frac{1}{x_n S_k^2} \int_{t_0}^t I_x(t) dt + \frac{K_n}{x_n \sqrt{\pi S_k}} \quad (7)$$

где x_n —выход по току $|I_x|$; A_n и γ_n —атомный вес и плотность ртути, z —валентность ионов, участвующих в электродных реакциях; F —число Фарадея; остальные обозначения ясны из выражения (3).

На рис. 4 приведены характеристики управления образцов КРЭ-триодов, снятые при соблюдении условия $R_s \gg Z_s$ (см. выше). Как видно, зависимости близки к линейным, а гистерезис практически отсутствует. Погрешности, обусловленные поляризацией постоянным током управления, здесь существенно меньше, чем у КРЭ-диодов с оптоэлектронным считыванием [9, 10], так что в большинстве случаев необходимость в дополнительных компенсационных контурах здесь отпадает.

Динамический диапазон изменения выходных сопротивлений КРЭ-триодов существенно шире, чем у ТКЭ-триодов. Остаточное сопротивление считывания, обусловленное, главным образом, сопротивлением растекания, у упомянутых образцов составляет несколько десятков см, а максимальная кратность изменения сопротивления по цепи считывания может изменяться в широких пределах в зависимости от выбранной длины рабочих капилляров (у упомянутых образцов она составляет от 1:50 до 1:100).

Измерения, проведенные в диапазоне длительностей импульсов от нескольких миллисекунд до долей микросекунды, показали возможность длительного неразрушающего считывания униполярными импульсами без искажения формы импульса.

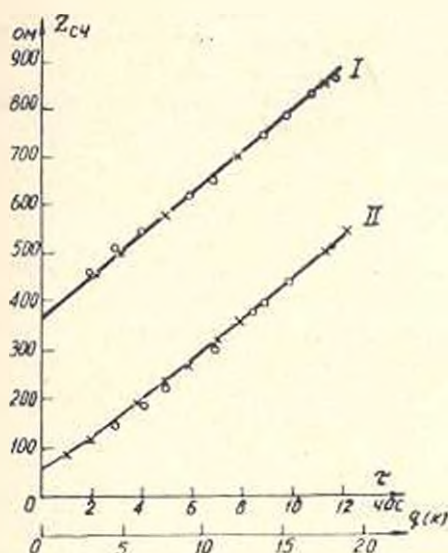


Рис. 4. Экспериментальная зависимость сопротивления считывания от времени (и входного заряда) для двух образцов КРЭ-триодов. (Кривые сняты при постоянном токе управления $I_k = 0,4$ мА в комнатных условиях, без термостабилизации. Кружками отмечены точки, снятые при прямом ходе, крестиками — при обратном).

Температурный коэффициент выходного сопротивления этих триодов в 2—2,5 раза меньше, чем у эквивалентных по назначению конденсаторных интеграторов, причем, в отличие от последних, на КРЭ-триодах могут быть реализованы простые схемы включения с очень малой температурной погрешностью.

Поступило 22.V.1972.

В. Ф. ЗЕРНОВИЧ, Е. Ф. ЧУДОВИЦКАЯ, Л. Л. ЧУДОВИЦКАЯ

ՌԵԶԻՍՏԻՎ ԶՔԱՅՔԱՅՎՈՂ ՀԱՇՎՈՒՄՈՎ ՄԱԶԱԿԱՆ ՄԱԿԻՆԱ-
ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱՅԻՆ ԻՆՏԵՐՎՈՂ ՏՐԻՈԴՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ա ռ Վ Ո Վ Ո Ւ Մ

Հոդվածում ցույց է տրված, որ մաղական սնդիկա-էլեկտրոլիտային արիդների որոշակի կոնստրուկցիայի և պատրաստման տեխնոլոգիայի ղեկավարում կարելի է հասնել նրան, որ էջի դիմադրություն կախումը ժամանակից և մասերի լիցքից լինի ցածր:

ЛИТЕРАТУРА

1. Шорыгин А. П. Электрохимические элементы; классификация, общие особенности. Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации, вып. 8, 1967.
2. Луковцев П. Д. Электрохимические преобразователи информации. «Журнал ВХО им. Менделеева», 16, вып. 8, 1971.
3. Шорыгин А. П. Сравнительные свойства и основные характеристики электрохимических преобразователей. IV конгресс ИФАК, Варшава, ПИИР, изд. ИАН, 1969.
4. Казарян Э. В., Шорыгин А. П. Сравнительные свойства электрохимических счетчиков времени и разботки. «Известия АН Арм. ССР (серия техн. наук)», т. XXI, № 4, 1968.
5. Шорыгин А. П. Исследование входных, выходных и передаточных характеристик твердофазных канальных электрохимических триодов. «Электрохимия», 8, вып. 12, 1968.
6. Шорыгин А. П., Балашев А. П. Характеристики твердофазных канальных электрохимических триодов при импульсном управлении и импульсном неразрушающем считывании. «Приборы и системы управления», № 12, 1969.
7. Боровак В. С., Грифов Б. Н., Добрынин Е. Н., Луковцев П. Д., Новицкий М. А., Новиков А. А., Соколов Л. А., Цикалов В. А. Электрохимические преобразователи перпендикулярной информации. Изд. «Машиностроение», М., 1969.
8. Шорыгин А. П. О фазовых частотных характеристиках электрохимических ячеек с резистивным электродом. «Электрохимия», 7, вып. 3, 1971.
9. Казарян Э. В., Шорыгин А. П. Исследование концентрационной погрешности капиллярных ртутно-электролитических преобразователей с фотоэлектрическим считыванием. «Известия АН Арм. ССР (серия техн. наук)», т. XXIV, № 3, 1971.
10. Шорыгин А. П., Казарян Э. В., Гяромадзе Л. Л. О связи электрических процессов и оптических эффектов в ртутно-капиллярных ячейках. «Электрохимия», 7, вып. 3, 1971.

ГИДРАВЛИКА

А. А. КАРАНФИЛЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ НАПОРА
И ВЫСОТЫ ПОРОГА ШАХТНОГО ВОДОСЛИВА
ПРАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

К гидравлическому профилю водосливной поверхности шахтного водослива обычно предъявляются следующие требования: профиль должен быть безвакуумным и должен обладать максимальным коэффициентом расхода. Иначе говоря, этот профиль должен совпадать с профилем нижней поверхности струи, переливающейся через водослив с острым горизонтальным гребнем и вертикальной напорной гранью, расположенной нормально к потоку. Давление под переливающейся струей равно атмосферному.

Расход воды при шахтном водосливе с острым гребнем определяется по формуле

$$Q_c = m_c 2\pi R_c \sqrt{2g} H_c^{3/2},$$

а при шахтном водосливе практического профиля —

$$Q_p = m_p 2\pi R_p \sqrt{2g} H_p^{3/2},$$

где m_c , R_c , H_c и m_p , R_p , H_p — соответственно коэффициент расхода, радиус кривизны гребня и напор над гребнем шахтных водосливов с тонкой стенкой и практического профиля.

Имея в виду, что $Q_p = Q_c$ при совпадении практического профиля с профилем нижней поверхности струи, переливающейся через водослив с острым гребнем, а $R_p < R_c$ и $H_p < H_c$ (рис. 1, а), то m_p должен быть больше коэффициента расхода m_c во столько раз, во сколько раз произведение $R_p H_p^{3/2}$ меньше $R_c H_c^{3/2}$.

Обозначим отношение коэффициентов расхода шахтных водосливов практического профиля и с тонкой стенкой через $K = m_p/m_c$ и назовем его коэффициентом пропорциональности, который, после подстановки значений m_p и m_c , будет:

$$K = \frac{R_p H_p^{3/2}}{R_c H_c^{3/2}}. \quad (1)$$

Обработка результатов модельных исследований Вагнера В. Е. [1], проведенная Мойсом П. П. [2], показала, что, в отличие от водосливов с тонкой стенкой с прямолинейным в плане гребнем, при перели-

ве воды через кольцевой водослив с тонкой стенкой относительные максимальные величины подъема нижней поверхности струи над гребнем стенки ($z_0 = y_0/H_c$) и удаления высшей точки подъема поверхности от гребня ($x_0 = x_0'/H_c$) не остаются постоянными (рис. 1, а и б); z_0 и x_0 изменяются в зависимости от относительного напора H_c/R_c , а точки наивысшего подъема струи во всех случаях лежат на одной прямой, проходящей через гребень водослива. Таким образом, при любых значениях H_c/R_c

$$y_0 = x_0' \operatorname{tg} \delta, \quad (2)$$

где δ —угол между вышеуказанной прямой и осью x .

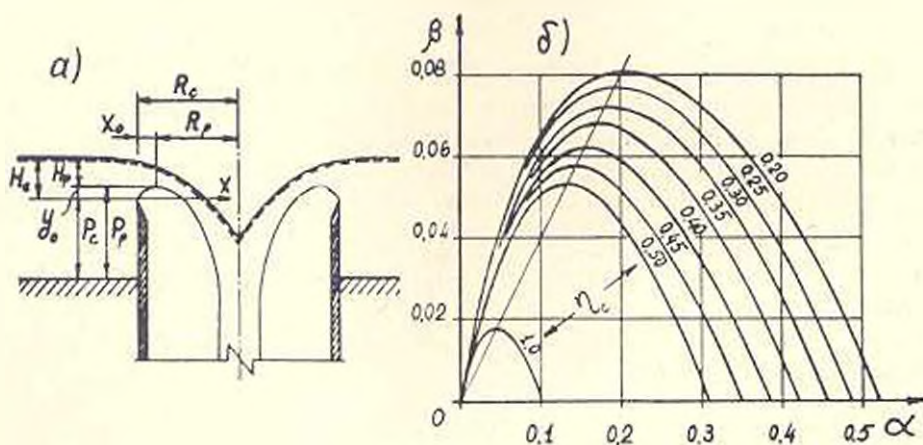


Рис. 1. а. Схема шахтного водослива с тонкой стенкой и практического профиля; б. Графики относительного подъема нижней поверхности струи $z = f(x_c)$ над гребнем и ее удаления $x = x_c$ от гребня при $R_c/R_p = 0.3$.

Имея в виду (рис. 1, а), что

$$R_p = R_c + x_0, \quad H_p = H_c + x_0 \operatorname{tg} \delta \quad (3)$$

и обозначив $H_p/R_p = \gamma_{np}$, $H_c/R_c = \gamma_c$ и $x_0/H_c = z_0$, после некоторого преобразования, уравнение (1) запишется в виде:

$$K = \frac{1}{(1 - z_0 \gamma_c)(1 - z_0 \operatorname{tg} \delta)^{3/2}} \quad (4)$$

Проведенная нами обработка результатов модельных исследований В. Г. Скрыги [3] и В. Е. Вагнера [1], проведенных при равномерном подходе воды по периметру к шахте с тонкой стенкой, показала, что зависимость $z_0 = f(\gamma_c)$ линейная (рис. 1, б) в интервале $0 < \gamma_c \leq 0.6$. Этот интервал, как указано в [3], соответствует незатопленным и затопленным режимам истечения воды через шахтный водослив, а значения $\gamma_c > 0.6$ —режиму истечения из отверстия. На основании графика рис. 2, а нами получено уравнение прямолинейной части этой зависимости в виде:

$$z_0 = \gamma_0(\gamma_{c0} - \gamma_c), \quad (5)$$

где γ_0 и γ_{c0} — коэффициенты, зависящие (как и $\operatorname{tg} \theta$) от относительной высоты порога p_c/R_c шахтного водослива с тонкой стенкой. Кривые зависимостей $\operatorname{tg} \theta$, γ_0 и γ_{c0} от p_c/R_c приведены на рис. 2, б.

Подставляя значение γ_0 из (5) в (4), для коэффициента пропорциональности окончательно получим:

$$K = \frac{1}{[1 - \gamma_0 \gamma_c (\gamma_{c0} - \gamma_c)] [1 - \gamma_0 (\gamma_{c0} - \gamma_c) \operatorname{tg} \theta]^{1/2}} \quad (6)$$

На рис. 3, а приводятся кривые зависимости коэффициента пропорциональности K от относительного напора γ_c и относительной высоты порога p_c/R_c шахтного водослива с тонкой стенкой.

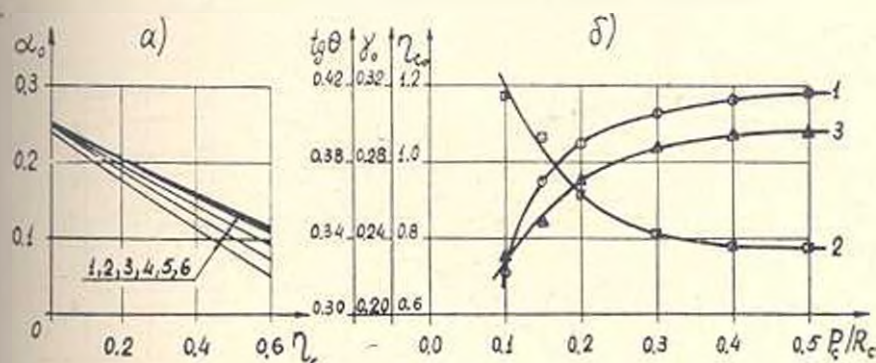


Рис. 2. а. Графики зависимости $\gamma_c = f(\gamma_c, p_c/R_c)$ при значениях p_c/R_c : 1—0,1; 2—0,15; 3—0,2; 4—0,30; 5—0,4; 6—0,5.

б. Графики зависимостей: 1— $\operatorname{tg} \theta = f_1(p_c/R_c)$; 2— $\gamma_0 = f_2(p_c/R_c)$; 3— $\gamma_{c0} = f_3(p_c/R_c)$.

Как видно из рис. 3, б, где приводятся кривые зависимости $m_p = K m_c$ [значения $m_c = f(\gamma_c, p_c/R_c)$ взяты из экспериментальных данных В. Г. Скряги [3]], величины коэффициента расхода водослива практического профиля m_p получаются тем больше, чем меньше относительный напор γ_c шахтного водослива с тонкой стенкой. С другой стороны, как известно, для получения экономичного профиля А. И. Ахутиным [4] предложен предел изменения относительного напора шахтного водослива практического профиля $\gamma_p = 0,2 \div 0,5$ (т. е. $5H_p > R_p > 2H_p$). Таким образом, в качестве оптимального значения относительного напора можно принять: $\gamma_p^{opt} \approx \gamma_p^{min} = 0,2$. При этом коэффициент расхода шахтного водослива практического профиля достигает до $m_p = 0,524$. Следует отметить, что γ_p весьма мало отличается от γ_c : при изменении γ_c от 0,1 до 0,6 отношение γ_p/γ_c изменяется от 0,91 до 1,02.

Из рис. 3, б видно также, что при любых значениях γ_c максимальное значение коэффициента расхода m_p получается при значениях относительной высоты порога $p_c/R_c \geq 0,2$. Таким образом, оптимальное значение относительной высоты порога можно принять $(p_c/R_c)^{opt} = 0,2$.

При переходе к p_p/R_p будем иметь $(p_p/R_p) = 0,225$.

При оптимальных значениях относительного напора и относительной высоты порога коэффициент расхода шахтного водослива практического профиля имеет значение $m_p = 0,522$. На основании вышесказанного анализа получены переходные формулы от основных параметров шахтного водослива с тонкой стенкой к основным параметрам шахтного водослива практического профиля, а именно:

$$H_p = H_c [1 - \gamma_0 (\gamma_c - \gamma_k) \lg 9], \quad (7)$$

$$R_p = R_c [1 - \gamma_0 (\gamma_c - \gamma_k) \gamma_c], \quad (8)$$

$$p_p = p_c + \gamma_0 (\gamma_c - \gamma_k) H_c \lg 9. \quad (9)$$

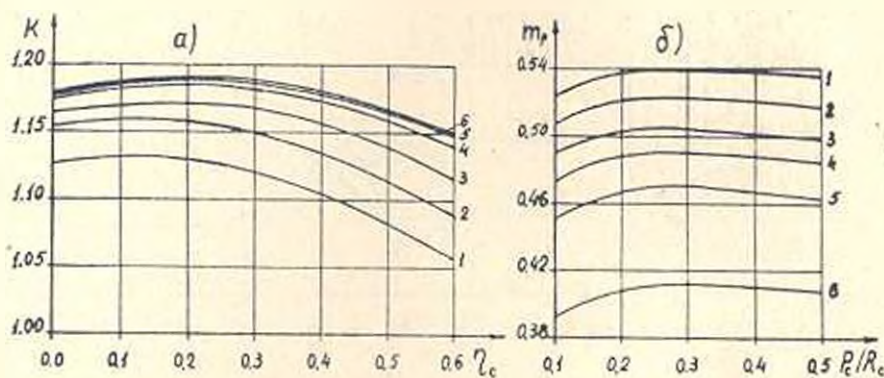


Рис 3. а) Кривые зависимости $K = f(\gamma_c, p_c/R_c)$ при значениях p_c/R_c : 1—0,1; 2—0,15; 3—0,2; 4—0,3; 5—0,4; 6—0,5

б) Кривые зависимости $m_p = f(p_c/R_c, \gamma_c)$ при значениях γ_c : 1—0,1; 2—0,2; 3—0,3; 4—0,4; 5—0,5; 6—0,6.

Вывод. Для достижения высоких значений коэффициента расхода шахтного водослива практического профиля очертание его должно совпадать с очертанием нижней поверхности струи, переливающейся через шахтный водослив с тонкой стенкой, принимая при этом значения относительного напора и относительной высоты порога оптимальными.

Армения

Поступило 16.VI.1972.

Ա. Ա. ԿԱՐԱՇՖԻԼՅԱՆ

ԳՈՐԾՆԱԿԱՆ ՊՐՈՖԻԼՈՎ ՇԱԽՏԱՅԻՆ ՋՐԹԱՓՆԵՐԻ ՀՆՇՄԱՆ ԻՎ ՇԵՄՔԻ ԲԱՐՋՐՈՒԹՅԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼ ՄԵԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՎԵՐԱԵՐՅԱԼ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում ուսումնասիրվում է բարակ պատով և գործնական պրոֆիլով շախտային ջրթափների հիդրավլիկական բնորոշ մեծությունների կապը, երբ գործնական պրոֆիլը համընկնում է բարակ պատով շախտային շուրթից թափվող ջրի շիթի ներքին պրոֆիլի հետ:

Վ. Ե. Վահանյան [1] ու Վ. Գ. Սարգսյան [2] մոդելային փորձարկումներն ունորն կատարվել են բարակ պատով շախտաների վրա, երբ չորն մասնորն ունորն արագորն երկարությունը հավասարաշախտ (1) արդյունքներն վերամշակման միջոցով որոշվել են զործնական պրոֆիլով շախտայն մեշման ու շեմորն բարձրության օղորմալ մեծություններն, որոնք պայքում շախտայն ելորն զործնական ստացվում է ամենամեծը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Wagner W. E. Morning Glory shaft spillways: determination of pressure controlled profiles, Proceedings ASCE, 1954, v. 80, sept. №432.
2. Моис П. П. Шахтные водосбросы. Изд. «Энергия», М., 1970.
3. Скрыга В. Г. К гидравлическому расчету шахтных водосбросов. Труды ХИСП, вып. 10, гидравлика и инж. гидрология, Харьков, 1958.
4. Справочник по гидротехнике, М., 1955.

«ՀԱՍՏ 'ԻԱ տեղեկագիր (տեխնիկական գիտությունների սերիա)»
հանդեսի 26-րդ հատորի

ՈՒՆԸՆԱՅԻՆՈՒՐՈՒՄ

Ա. Գ. Աճեմյան, Լ. Ի. Իսախանյան, Բ. Մանգույանի մասին հիշատակական հոդվածներ «Համայն» շաբաթականի 1-ին համարում	1—9
Բ. Ա. Կանաչյան, Հորատման շարժման և շարժման արագության մասին խոսքեր	3—21
Ս. Ն. Գեմալյան, Հնդկական ատոմային-էներգիայի փոխանցման մեխանիզմի սինթեզ	1—20
Ս. Թ. Խաչատրյան, Տրված մասնական-հարթում շարժման շաղկապային կայունության որոշ պայմանների մասին	2—18
Շ. Շ. Կառավարյան, Տեղափոխման մեխանիզմների մասին խոսքեր	1—13
Ս. Վ. Կասյան, Շ. Ս. Բաղդասարյան, Շ. Շ. Հասարակյան, ԴԱՀՀ հասարակ որոշ հանգույցների ատոմայինների բնութագրերը կտրման ժամանակ	2—3
Է. Ա. Հակոբյան, Հարթ հրթիռի հարթ բուխքային մեխանիզմների սինթեզ	5—15
Լ. Ս. Մկրտչյան, Սիստեմային և պլանետար մեխանիզմների պոզիցիոն մոտավոր-հավասարակշռության շարժումը վերաբերողները համար	3—8
Կ. Խ. Շահիրազյան, Շ. Շ. Հովհաննիսյան, Տարածական քառակուսի մեխանիզմի սինթեզը	1—3
Կ. Խ. Շահիրազյան, Գ. Ա. Ջաղացյանյան, Սրբ. կույր-էներգիայի մեխանիզմներում համակարգի պոզիցիոն պոտենցիալի փոխարինելու մեկ մեթոդի վերաբերյալ	3—3
Կ. Խ. Շահիրազյան, Գ. Ա. Ջաղացյանյան, Կրապուտովի ինվերսիոն նոր մոդիֆիկացիայի վերաբերյալ	5—28
Ս. Կ. Պողոսյան, Մ. Ի. Ստեփանյան, Արտաքին չափման սլոգների մոդիֆիկացիան ճշտության համակարգի մասին խոսքեր	3—30
Ի. Ա. Ջաղացյանյան, Կ. Խ. Շահիրազյան, Էլեկտրիկ ուղղադիրքային մեխանիզմների սինթեզի մասին	4—13
Է. Լ. Ջաղացյան, Տարածական-բուխքային և հոսքային բուխքային մեխանիզմների համակարգի մեխանիզմները	2—11
Է. Լ. Ջաղացյան, Շուտովիկա-սողունային մեխանիզմի սողունային արագության էքստրեմալ արժեքների որոշումը	4—17
Յու. Լ. Սաբաթյան, Պարբերական շարժման քառակուսի զենքերի մեխանիզմի վերաբերյալ	5—25
Մ. Գ. Ստեփանյան, Ս. Շ. Գալստյան, Ս. Լ. Մակ, Բնութագրողական ստատիստիկական ռեգրեսիոն լարումների կոնցենտրացիայի էֆեկտի ղեկավարման շուրջը	4—21

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Շ. Տ. Արմենյան, Ս. Մ. Տուրաբյան, Ա. Ս. Կալիպանյան, Էլեկտրական սխեմաների կոմպլեքս հաղորդականությունների մատրիցայի շրջման երեք եղանակների հետազոտության շուրջը	6—3
Բ. Շ. Ամիրխանյան, Էլեկտրական սխեմայի ռեգիստրի պարամետրների մասնակի ածանցյալների ճշգրիտ հաշվման սխեմայի մեթոդ	3—18
Մ. Մ. Բաբայան, Բազմաստիճան ՋԷԿ-ների օպտիմալ ռեգիստրի կառուցման մեթոդիկա	4—40
Շ. Ա. Ստեփանյան, Հիդրոէլեկտրական էներգիայի արտադրության ռեգիստրի կարգավորման շուրջը	1—43
Վ. Մ. Կալիպանյան, Ջրամբարի տեխնոլոգիայի ղեկավարման կազմակերպչական մեթոդիկա	5—48
Վ. Ս. Խաչատրյան, Էներգիայի արտադրության շուրջը	5—22
Է. Լ. Հովհաննիսյան, Հարմարիկ բաղադրիչների ձևով կեղծ զոնային հավասարումների մեթոդ ու զոնային ակտիվ ղեկավարման պարամետրների ղեկավարման համար	6—14

- Ա. Ա. Խախտույան, Ա. Է. Բոյաբյան. Ողի կուտակումով դադարաբեկության իրականացման և հետևանքների մասին հետազոտություններ 6—7
- Ե. Ա. Ներսիսյան, Ի. Ա. Խախտույան. Մաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդների օգտագործումը էլեկտրատրանսմիսի և բեռնափոխակի մեխանիզմների մոդելավորման համար 1—10
- Ե. Ա. Սևուկյան. Հենթադամակարգների կայունացման էլեկտրական ուժի մեծության հաշվարկների խտրացիայի զուգամիտության հետազոտությունների շուրջը 3—24

Էլեկտրատեխնիկա

- Յու. Ա. Բրովման, Կ. Ա. Կեմիրևսկի, Ա. Լ. Դմիտրև. Վերացիայի սպեկտրի կախվածությունը ապակեխառնուրդի էլեկտրադիմացիայի վերաբերյալ 3—14
- Մ. Ա. Կարապետյան, Վ. Վ. Զարուբյան, Վ. Ա. Գրիգորյան. Սինխրոնիզմի դադարի փոքր հոսանքների դիֆուզիայի և ներառման դիֆուզիայի սինխրոնիզմի մոդելավորման մասին հետազոտություններ 1—39
- Ա. Տ. Զուրաբյան. Ավտոմատ էլեկտրաէներգետիկ սինխրոնիզմի մոդելավորման մասին հետազոտություններ 4—33

Տեխնիկական էլեկտրոնիկա

- Վ. Ե. Առուստամյան. Ինտեգրալային սխեմաների զերմաստիճանային դաշտի հաշվարկի մասին վերաբերյալ 2—16
- Կ. Ա. Գուրգաբյան. Էլեկտրոնային հոսքի ըստ արագության մոդելավորման զերմաստիճանային հաշվարկի մասին հետազոտություններ 3—28
- Կ. Ա. Գուրգաբյան, Կ. Վ. Գրիգորյան, Դ. Ա. Սրաճյան, Կ. Ա. Խախտույան. Զուգակցված էներգիայի լավագույն ֆոտոդիոդային սխեմաների ֆոտոդիոդային արտադրության էլեկտրոնիկայի մոդելավորման մասին հետազոտություններ 6—32
- Ա. Գ. Նուրիդին, Է. Վ. Կապաբյան, Լ. Լ. Կախտույան. Էլեկտրոնային լույսի էներգիայի մոդելավորման մասին հետազոտություններ 5—36

Հաշվողական տեխնիկա

- Է. Ե. Մանուկյան, Լ. Ա. Սրաճյան. Մաթեմատիկական անալիզային հաշվի սարքի կառուցման մասին հետազոտություններ 5—9
- Վ. Մ. Մկրտչյան. Ավտոմատ կարգավորման համակարգի որակի դնահատման շուրջը 3—3

Շինարարական մեխանիկա

- Տ. Ա. Գոբյան. Ժկուտի ներքին հարկերով կառուցման շինքների աղյուսակային տարաբնույթի մասին հետազոտություններ 4—28
- Վ. Գ. Սարգսյան, Ա. Ա. Խախտույան. Նախապես բարձր ամրանալիքով ուղղանկյուն հորթի զեֆոմային միջնակի 1—31

Նյութագիտություն

- Վ. Վ. Արսյան, Է. Լ. Տիգրանյան, Լ. Լ. Փանկևանյան. Ֆեռոմագնիսային լցանքով ուղղանկյուն միջնակիի համակարգի մոդելավորման համար 3—16
- Տ. Վ. Խախտույան, Ա. Ա. Խախտույան, Յու. Տ. Ներսիսյան, Վ. Վ. Խախտույան, Ա. Ա. Խախտույան, Դ. Ա. Խախտույան. Բարձր զերմաստիճանային արտադրության կառուցման համար (բեռնակառուցիկ օբյեկտների վրա) 4—3
- Տ. Վ. Փանկևանյան. Բոխու փայտանյութի առանցքային զեֆոմային փորձարարական ուսումնասիրություններ 4—3

Հիդրավիկա. Բիդրոտեխնիկա

- Դ. Ա. Խախտույան. Կոշտ և խառնուրդային հոսքի անհամաձայն ջրարերունների մասին մանրամասն հետազոտություններ 2—35
4. Կ. Ա. Խախտույան

Ա. Մ. Գասպարյան, Ռ. Կ. Հակոբյան, Մա. Ա. Ալմասյան, Ալեքսանդրյանների տեղափոխման հեռագրությունը հրկարացնելու ուղիները խիստ շնորհով պնդմամբ անսպասարկ պարտի գնալուսով	3—41
Վ. Շ. Քալմասյան, Ուրիշվատիկ հուններում ազատ մեկնությունների կրթության կառուցման վերաբերյալ	3—33
Ա. Շ. Կարանֆիլյան, Գործնական պրոֆիտով շախմատի զրաթափների ճանաչման և շեմքի բարձրության օպտիմալ մեծությունների որոշման վերաբերյալ	6—43
Տ. Դ. Կոչարյան, Ա. Մ. Գասպարյան, Ռ. Կ. Հակոբյան, Ն. Ս. Իկարյան, Կրիտիկական արագություններ, իրական ու երթային կոնցենտրացիաները և ճնշման կորուստները հորիզոնական խողովակներում խորոխառնուրդի շարժման ժամանակ	3—13
Դ. Ա. Համբարձումյան, Հիդրավիկի դիմապատիվ միջանցիկ խթանի սխեմայում միջանցիկ սրահների թվի քանակության հարցի շուրջը	2—42
Լ. Դ. Պետրոսյան, Մագնիսական հիդրոդինամիկայի սահմանային շերտի նախաապրումները մոնոմենտային շարժման առկայությամբ	1—23
Վ. Դ. Սանճյան, Սելավային հոսքի անհավասարաչափ շարժումը փոփոխական նատակային թեքություն ունեցող ոչ-պրիզմատիկ հուններում	2—28

Ջերմատեխնիկա

Շ. Մ. Մկրտչյան, Շոգեղազային տեղակայումների ջերմային սխեմաների վերլուծություն	2—56
Է. Ա. Մկրտչյան, Ռ. Ս. Ալվազյան, Գիգելի ինդիկատորային օ.գ.գ. ժերմամբ բառ բեռնվածության բնութագրի	2—48

Իրապական նորեր

Ն. Ա. Կարապետյան, Կ. Ա. Տեր-Հակոբյան, Շրջանային տանգենցիալ մատուցումով բնթաղային և խնդրապահաց շրջատաշման պրոցեսի որոշ առանձնահատկությունները	4—66
Ավանդատված խողովակների ամփոփումներ	2—62

СОДЕРЖАНИЕ

XXVI тома журнала «Известия АН Арм. ССР
(серия технических наук)»

Машиностроение

В. Г. Аджемян, Л. Н. Густин. О защемляющем эффекте гидростатических подшипников в шпиндельных узлах.	1—9
Э. А. Акопян. Синтез плоских кулачковых механизмов с плоским толкателем	5—15
Р. А. Ганджумян. К исследованию либрозащиты шипа буровой колонны	5—21
С. Н. Демурчин. Синтез пятизвездчатого передаточного зубчато-рычажного механизма	1—20
Э. Л. Джавадян. Сравнительный анализ шатуно-кулачковых и трехзвенных кулачковых механизмов	2—11
Э. Л. Джавадян. Определение экстремальных значений скорости ползуна кривошипно-ползунного механизма	4—17
Д. А. Джагацянцян, К. Х. Шахбазян. О синтезе эллиптических привода	1—13
А. А. Касаминян. Анализ перемещений в механизме смесителя системы Шати	1—13
М. В. Касьян, Г. Б. Багдасарян, Г. А. Арутюнян. Характеристика колебаний некоторых узлов станка ТМ36 при резании	2—3
Л. Б. Мкртчян. Сочетание синусного механизма с планетарным механизмом для воспроизведения приближенно-равномерного движения	3—8
А. К. Погосян, М. Г. Стакян. О вероятностной оценке точности процесса внешнего трения	5—30
Ю. Л. Саркисян, Г. А. Саркисян. К синтезу четырехзвездчатого генератора периодического движения	5—25
М. Г. Стакян, С. А. Гаспарян, С. А. Мах. К оценке эффекта концентрации напряжений при стационарном режиме нагружения	4—21
С. Т. Хачатрян. Некоторые условия равномерной устойчивости движения на заданном интервале времени	2—18
К. Х. Шахбазян, Г. О. Оганесян. Синтез пространственного четырехзвездчатого по положениям оси шатуна	1—3
К. Х. Шахбазян, Д. А. Джагацянцян. Об одном методе замены поступательных пар вращательными в некоторых кулачно-рычажных механизмах	3—3
К. Х. Шахбазян, Д. А. Джагацянцян. О новой модификации инверсора Крауфорда	6—28

Энергетика

Г. Т. Адамян, А. М. Юзбашян, А. С. Ганшлян. К исследованию трех способов обращения матрицы комплексных проводимостей электрических схем	6—3
Р. А. Амирян. Аналитический метод точного расчета частных производных параметров режима электрической системы	3—18
Л. М. Бабалян. Методика построения оптимальных режимов многоступенчатых ГЭС	4—10
Г. А. Бурнацян. К вопросу о краткосрочной оптимизации режимов работы гидротепловой энергосистемы	1—13
В. М. Гааридон. Методика составления диспетчерского графика работы водохранилища	5—18
А. С. Миксудян, А. Г. Бояджян. Энергетическая эффективность цикла газотурбинной электростанции с аккумулярованием воздуха	6—7
Е. А. Нерсисян, Р. С. Багтян. Применение методов математической статистики для определения перспективных уровней энергопотребления и нагрузок	1—50
Э. Л. Оганесян. Метод квазилинейных уравнений для расчета цепей с нелинейными активными сопротивлениями	6—14
Н. А. Оксудян. К исследованию сходимости итерации в расчетах установившихся электрических режимов энергосистем	3—21

- В. С. Хачатрян, К определению Z обобщенных параметров энергосистем . . . 6—22

Электротехника

- И. С. Бровхан, К. С. Демирчян, С. А. Шмүтер, О зависимости спектра вибрации от форм дефектов асинхронного электродвигателя . . . 3—14
- М. А. Карапетян, В. В. Арутюнян, В. А. Григорян, Синусоидальное поле в дисперсной системе с эллипсоидальными включениями малой концентрации . . . 1—39
- А. Т. Чубарян, К методике измерения модуляции напряжения в автономных электроэнергетических системах . . . 4—33

Техническая электроника

- В. Е. Арустамян, К расчету температурного поля интегральных схем . . . 5—36
- К. А. Гулгасарян, Сверхвысококачественные фотоумножители со скоростной модуляцией электронного потока . . . 3—28
- К. А. Гулгасарян, К. В. Галоян, Г. А. Ераносян, К. М. Хачатрян, Улучшение показателей при модуляции фототока фотоумножителей внешними электродами . . . 6—32
- А. И. Шарыгин, Э. В. Казарян, Л. Л. Гвагриадзе, Характеристики капиллярных ртутно-электролитических интеграторных триодов с резистивным неразрушающим считыванием . . . 6—36

Вычислительная техника

- Э. И. Манукян, Л. А. Огарян, Исследование чувствительности схемы специализированного аналогового вычислительного устройства . . . 5—9
- В. М. Мкртчян, К оценке качества системы автоматического регулирования . . . 5—3

Строительная механика

- Т. А. Гороян, К определению периодов свободных колебаний каркасных зданий с гибкими нижними этажами . . . 4—28
- В. Г. Саркисян, А. С. Хачикян, Плоское деформированное состояние предварительно напряженного армированного прямоугольника . . . 1—31

Материаловедение

- В. В. Уголин, Э. Л. Ткаченко, Л. И. Пихлеваянн, Склеивающая паста с ферромагнитным наполнителем для стыковых магнитоприводов . . . 3—46
- Т. В. Ефимовская, А. А. Линин, Я. Т. Шермазанян, В. В. Шихпаровян, М. Г. Швакоян, Г. С. Смякопидина, Использование высокотемпературной солнечной установки для изучения тугоплавких материалов в окислительной среде (на примере бета-глинозема) . . . 4—3
- Т. Р. Пинтобян, Экспериментальное исследование упругих деформаций древесины граба при статическом растяжении, сжатии и изгибе . . . 4—5

Гидравлика, гидротехника

- Г. А. Амбарцумян, К вопросу о выборе числа скважных галерей в схеме скважной шпори с гидравлическим барьером . . . 2—42
- Р. Г. Асатрян, Определение предельного расхода неоднородных наносов селевого потока в жестком русле по теории размерностей . . . 2—35
- А. М. Гаспарян, Р. Е. Аюбян, Я. А. Аламян, Пути увеличения дальности передачи аэрозольей при пневмотранспорте в плотном слое . . . 5—41
- А. А. Каринфилян, К определению оптимальной величины напора и высоты порога шихтного водослива практического профиля . . . 6—43

Г. Г. Колчан, А. М. Гаспарян, Р. Е. Акопян, Н. С. Икрян. О критических скоростях, расходной и действительной концентрациях и потерях на трение при движении взвешенных потоков по горизонтальным трубам	3—39
Л. Г. Петросян. Уравнения пограничного слоя магнитной гидродинамики с моментными напряжениями	1—25
В. Г. Санюли. Неравномерное движение сепарного потока в непрямоугольных каналах с переменным уклоном дна	2—28
Э. О. Токмаджян. К построению кривых свободной поверхности в непрямоугольных руслах	3—33

Теплотехника

Э. А. Мкртчян, Р. С. Авакян. Определение индикаторного к. п. д. дизеля по нагрузочной характеристике	2—48
А. М. Мкртчян. К анализу тепловых схем парогазовых установок	2—54

Научные заметки

Н. А. Карапетян, К. А. Тер-Акопян. Некоторые особенности процесса попутного и встречного течения с круговой тангенциальной подачей	4—46
Анонсы депонированных статей	2—62

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Հեղինակներ

- Շ. Տ. Սեդուց. Ա. Մ. Յուզբաշյան. Ա. Ս. Գափուլյան. Հիսկարական սխեմաների հոմալիզացիայի հարգանքները մատրիցայի շրջանի հրեղանակների հետազոտությունների շարքը 3
- Ա. Ս. Սուխոյան. Ա. Գ. Քոչարյան. Օգի հումանիտար գաղափարների հիսկարականի քիմիկի ինտերգրիտի տրոյանով հաստատությունը 7
- Է. Լ. Հովհաննիսյան. Հարմարից քաղաքների մեծ կեղծ գծային համասարումների մեթոդի գծային ակտիվ գիտությունների պատմական շրջանների համարների համար 14
- Վ. Ս. Սուխոյան. Հեղինակազանքների Հ. Բեղինարյանի պատմությունների որոշման շարքը 22

Մեկնադրություն

- Կ. Ս. Մանուկյան. Կ. Ս. Ջաղապալյան. Կրտսերի թեմաների նոր մոդիֆիկացիայի վերաբերյալ 28

Տեխնիկական էկկարներ

- Կ. Ս. Գուլյանյան. Կ. Վ. Սուխոյան. Գ. Ս. Մանուկյան. Կ. Ս. Սուխոյան. Ցուցանիշների լավագույն ֆորմալիզացիաների ֆորմալիզացիայի արտաքին հիսկարականի մեթոդի մոդիֆիկացիան 31
- Ա. Գ. Մանուկյան. Է. Վ. Ջաղապալյան. Է. Լ. Սուխոյան. Ռեզիստիվ շրջանային համարների մոդիֆիկացիայի լավագույն էկկարների թեմաների արտաքին 34

Հիմնական

- Ա. Շ. Սուխոյան. Գործնական պրոֆիտի շախմատի շրջանների հեղինակների հարմարության սպառման մեթոդների որոշման վերաբերյալ 41
- ՇՏ-ը համարի թեմաների համար 48

СОДЕРЖАНИЕ

Энергетика

Г. Т. Адонц, А. М. Юзбашян, А. С. Галляни. К исследованию трех способов обращения матрицы комплексных проводимостей электрических схем	3
А. С. Миксудян, А. Г. Бояджян. Энергетическая эффективность цикла газотурбинной электростанции с аккумулярованием воздуха	7
Э. Л. Оганесян. Метод квазилинейных уравнений для расчета цепей с нелинейными активными сопротивлениями	14
В. С. Хачатрян. К определению Z обобщенных параметров энергосистем	22

Машиностроение

К. А. Шахбазян, Л. А. Джагацянцян. Основы модификации инверсора Крауфорда.	28
--	----

Техническая электроника

К. А. Гулгасарян, К. В. Галоян, Г. А. Ериносян, К. М. Хачатрян. Улучшение показателей при модуляции фототока фотоумножителей внешними электродами	32
А. Н. Шорыгин, Э. В. Козарян, Л. Л. Гварамидзе. Характеристики канальярных ртутно-электролитических интеграторных триодов с резистивным неразрушающим считыванием	36

Гидравлика

А. А. Кирикфилян. К определению оптимальной величины напора и высоты порога шахтного водостива практического профиля	43
Содержание XXVI тома	48

УДК 621.311

К исследованию трех способов обращения матрицы комплексных проводимостей электрических схем Адони Г. Г., Юзбашян А. М., Гаплавян А. С. «Известия АН Арм. ССР (серия Т II)», т. XXVI, № 6, 1973, 3—6

Предложен способ расчета условных проводимостей эквивалентного m -полюсника, который, обладая точностью метода Гаусса, для спосб реализации на ЭВМ требует меньшего числа вычислительных операций. По сравнению с методом Ершова, предложенный способ предпочтительнее как по точности, так и по скорости реализации на ЭВМ.

Илл. 1. Табл. 2. Библ. 4 назв.

УДК 621.311.23

Энергетическая эффективность цикла газотурбинной электростанции с аккумулярованием воздуха Макесян А. С., Бояджян А. Г. «Известия АН Арм. ССР (серия Т II)», т. XXVI, № 6, 1973, 7—13.

Рассмотрены принципы работы и энергетические особенности цикла газотурбинной электростанции с аккумулярованием воздуха. Выведены соотношения для основных показателей энергетической эффективности и исследовано влияние степени повышения давления. Установлено, что энергетическая эффективность при оптимальной степени повышения давления не уступает эффективности известных видов цикловых энергостанций.

Илл. 3. Библ. 3 назв.

УДК 621.301

Метод квазилинейных уравнений для расчета цепей с нелинейными активными сопротивлениями Оганесян Э. Л. «Известия АН Арм. ССР (серия Т II)», т. XXVI, № 6, 1973, 14—21

Предлагаемый метод расчета является развитием принципа гармонического баланса для расчета сложных цепей, содержащих нелинейные активные сопротивления по квазилинейным комплексным уравнениям баланса напряжений и токов отдельных гармоник. Метод позволяет формализовать составление и упростить решение уравнений цепей с нелинейными активными сопротивлениями, а также применять для расчета гармонических составляющих методы расчета линейной электротехники, в частности, контурных токов. Метод применим и при резонансе на какой-либо гармонике.

Расчет ведется по рекуррентным уравнениям в порядке возрастания номера гармонических составляющих с учетом взаимного влияния столько гармоник, сколько необходимо для достижения требуемой точности. Вычисления прекращаются, если величинами последующих гармоник можно пренебречь. Характеристики нелинейных сопротивлений аппроксимируются степенным полиномом неограниченного порядка. Метод позволяет непосредственное применение ЭЦВМ для выполнения вычислительных операций.

Илл. 1. Библ. 5 назв.

УДК 621.311:681.3

К определению Z -обобщенных параметров энергосистем Хачатрян В. С. «Известия АН Арм. ССР (серия Т II)», т. XXVI, № 6, 1973, 22—27.

Рассматривается вопрос построения Z -матрицы схем замещения энергосистем. Предлагается метод и алгоритм построения Z -матрицы с применением АЦВМ «УРАЛ-14Д».

Илл. 2. Табл. 1. Библ. 3 назв.

УДК 621.828—41+62—341

О новой модификации инверсора Крауфорда. Шахбазян К. Х., Джагапанян Д. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. II)», т. XXVI, № 6, 1973, 28—31.

Получены две модификации кулисно-рычажного механизма инверсора Крауфорда. На их основе даны схемы механизма киннографа и прямолинейно-направляющего механизма.

Илл. 4. Библ. 3 назв.

УДК 621.3.035.2+621.359.482

Улучшение показателей при модуляции фототока фотоумножителей внешними электродами. Гулгазарян К. А., Галоян К. В., Ериносян Г. А., Хачатрян К. М. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. II)», т. XXVI, № 6, 1973, 32—35.

Рассмотрен фотоумножитель, в котором полупрозрачный фотокатод лучом лазера разрезан по окружности от манжеты и соединен с последней узким слоем фотокатода. Благодаря этому, фототок можно модулировать также более низкими частотами. Кроме этого, увеличивается сопротивление между внешним электродом и манжетой, что приводит к уменьшению модулирующей мощности на сверхвысоких частотах.

Илл. 3. Библ. 3 назв.

УДК 621.382.3—621.357.7

Характеристики капиллярных ртутно-электролитических интеграторных триодов с резистивным неразрушающим считыванием. Шорыгин А. П., Каларян Э. В., Гварамидзе М. М. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. II)», т. XXVI, № 6, 1973, 36—42.

Показано, что при определенной конструкции и технологии изготовления капиллярных ртутно-электролитических триодов можно добиться линейной зависимости выходного сопротивления от времени и входного заряда.

Илл. 4. Библ. 10 назв.

УДК 627.831

К определению оптимальной величины напора и высоты порога шахтного водослива практического профиля. Карапфилян А. А. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. II)», т. XXVI, № 6, 1973, 43—47.

Обработывая результаты модельных исследований В. Е. Вагнера и В. Г. Скрыги, проведенных на шахтных водосливах с тонкой стенкой при равномерном подходе воды по периметру шахты, выявлено, что применением оптимальных значений относительного напора и относительной высоты порога шахтного водослива практического профиля можно достичь высоких значений коэффициента расхода.

Илл. 3. Библ. 4 назв.

