

Журнал издается с 5.01, 1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ.
տեղակալ), Հ. Թերզյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ս. Ղազարյան,
Ո. Մարուխյան, Ն. Մանուկյան, Ֆ. Սարգսյան,
Յու. Սարգսյան, Վ. Սարգսյան, Մ. Ստակյան (գլխ. խմբ. տեղա-
կալ), Զ. Ստեփանյան (սլաւոսլաւոստոլոգ քարտուղար),
Վ. Խաչատրյան, Հ. Բոչինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. Мартиросян (главный редактор), Р.В. Атоян
(зам. глав. редактора), С.М. Казарян,
Г.А. Кочинян, Н.В. Манукян, В.З. Марухян,
В.С. Саркисян, Ф.Т. Саркисян, Ю.Л. Саркисян,
М.Г. Стакян (зам. глав. редактора), З.К. Степанян
(ответственный секретарь), А.А. Терзян (зам. глав.
редактора), В.С. Хачатрян.

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirosyan (Editor-in-Chief), R.V. Atoyan (Vice-Editor-in-Chief),
S.M. Ghazaryan, V.S. Khachatryan,
H.L. Kochinyan, N.V. Manoukyan, V.Z. Maroukhyan,
F.T. Sarkissyan, V.S. Sarkissyan, Yu.L. Sarkissyan,
M.G. Stakyan (Vice-Editor-in-Chief), Z.K. Stepanyan (Secretary-in-Chief),
H.A. Terzyan (Vice-Editor-in-Chief).

**ՀԱՆՐԵՍԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿԱԾ Է ԱՄԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆՎԻՐԱՏՎՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԴՐԱԾ
ՀԱՍՏԱՐԱԳՉԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՒՄ**
**THE JOURNAL IS PUBLISHED IN THE COMPUTER
PUBLISHING CENTER ESTABLISHED BY THE
DONATION OF THE ARMENIAN EDUCATIONAL
FOUNDATION (USA)**

Հրատ. խմբագիր՝ ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ
Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 1998

С.Х.ГЕВОРКЯН, А.А. ГУРГЕНЯН, Н. УЗУНОГЛУ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСА РАЗРЫВА ДЕФОРМАЦИИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ

Աստիճանագրվում է զրոնային ափսոսանքով դեֆորմացիայի խզման խնդրի մաթեմատիկական խնդիրը, երբ զրոնային ափսոսանքը ներառված է Դիրակի ֆունկցիայով: Արդյունք է տեղափոխությունների և լարումների ուղղորդ կախված ափսոսանքի նույնիսկ մեխանիկական հատկություններից:

Изучается задача распространения импульса разрыва деформации в цилиндрическом волноводе, когда возмущение в источнике описывается при помощи функции Дирака. Определены поля перемещений и напряжений в зависимости от механических свойств материала волновода

Библиогр. 4 назв.

The problem of excitement rupture impulse propagation in the source is described by Dirac's function. Depending on mechanical properties of waveguide material the fields of displacements and stresses are determined

Ref. 4

Вопросам распространения упругих волн посвящено много работ [1-4] и др. В настоящей работе рассматривается задача распространения импульса разрыва деформации в цилиндрическом волноводе. Получены выражения полей перемещений и напряжений. При малых значениях радиуса волновода проводится сравнительная оценка нормальных напряжений.

Поместим начало цилиндрической системы координат (r, φ, x) на оси волновода радиуса R , направляя Ox по оси волновода. Допустим, что в момент времени $t=0$ в начале координат вследствие разрыва деформации производится возмущение, которое можно представить в виде

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} = -\frac{A}{a} \delta\left(1 - \frac{|x|}{a}\right), \quad (1)$$

где U_0 - компонента перемещения по оси Ox ; δ - функция Дирака; a - скорость распространения продольных упругих волн; A - постоянный коэффициент.

Для исследования распространения упругих волн удобно пользоваться дифференциальными уравнениями движения в перемещениях, которые в цилиндрических координатах для осесимметричной задачи имеют вид

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_1}{\partial r} - \frac{u_1}{r^2} + \frac{\partial u_1}{\partial x \partial r} \right) + b^2 \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u_1}{\partial x \partial r} \right),$$

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} = (a^2 - b^2) \left(\frac{\partial u_z}{\partial x \partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) + a^2 \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + b^2 \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} \right), \quad (2)$$

где $a = \left(\frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \right)^{1/2}$, $b = \mu / \rho^{1/2}$ - скорости продольных и поперечных

волн соответственно; λ и μ - коэффициенты Ламе; ρ - плотность материала волновода

Напряжения выражаются через перемещения по следующим формулам

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= \lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{u_r}{r} \right) + 2\mu \frac{\partial u_r}{\partial r}, \\ \sigma_{zz} &= \lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{u_r}{r} \right) + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial x}, \\ \sigma_{rz} &= \lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{u_r}{r} \right) + 2\mu \frac{u_r}{r}, \\ \sigma_{\theta\theta} &= \mu \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Предположим, что боковая поверхность волновода свободна от нагрузки:

$$\sigma_{rr}(\xi, x, t) = 0, \quad \sigma_{rz}(\xi, x, t) = 0. \quad (4)$$

Представляя компоненту вектора перемещения в виде $u_z = u_{rz} + u_{\theta\theta}$, где $u_{\theta\theta}$ на основании (1) удовлетворяет системе уравнений (2) из (3) и (4) получим граничные условия для u_{rz} , $u_{\theta\theta}$:

$$\begin{aligned} \left[\lambda \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{u_r}{r} \right) \right]_{r=\xi} &= \Phi(x, t), \\ \left(\frac{\partial u_r}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_r}{r} \right) \Big|_{r=\xi} &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\Phi(x, t) = \frac{A}{a} \lambda \delta \left(r - \frac{|x|}{a} \right).$$

Система уравнений (2) решается при помощи метода интегральных преобразований Лапласа и Фурье [3]. Для преобразованных величин компонент перемещения система уравнений (2) принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \bar{u}_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{u}_r}{\partial r} - \bar{u}_r \left(\frac{p^2}{a^2} + \frac{\alpha^2 b^2}{a^2} + \frac{1}{r^2} \right) + i\alpha \frac{\partial \bar{u}_{rz}}{\partial r} \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) &= 0, \\ \frac{\partial^2 \bar{u}_{rz}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{u}_{rz}}{\partial r} - \bar{u}_{rz} \left(\frac{p^2 + \alpha^2 a^2}{b^2} \right) + i\alpha \left(\frac{a^2}{b^2} - 1 \right) \left(\frac{\partial \bar{u}_r}{\partial r} + \frac{\bar{u}_r}{r} \right) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Граничные условия (5) записываются в виде

$$\left[(\lambda + 2\mu) \frac{\partial \bar{u}_r}{\partial r} + \lambda \frac{\bar{u}_r}{r} + i\alpha \bar{u}_{1z} \right]_{r=a} = \bar{\Phi},$$

$$\left[\frac{\partial \bar{u}_{1z}}{\partial x} + i\alpha \bar{u}_1 \right]_{x=0} = 0,$$
(7)

где

$$\bar{u}(r, p, \alpha) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\alpha x} dx \int_0^{\infty} e^{-ipz} u(r, p, \alpha) dz,$$

$$\bar{\Phi}(p, \alpha) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\alpha x} dx \int_0^{\infty} e^{-ipz} \frac{\Lambda_2}{a} \delta\left(1 - \frac{|x|}{a}\right) dz = \frac{\Lambda_2 p}{\pi(p^2 + \lambda^2 a^2)}.$$

Решение (6) находим в виде

$$\bar{u}_0 = A_1 \frac{\partial}{\partial r} [J_0(\beta_1 r)] + A_2 J_1(\beta_1 r),$$

$$\bar{u}_{1z} = i\alpha A_1 J_0(\beta_1 r) + iA_2 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r J_1(\beta_1 r)],$$
(8)

где $J_0(z)$ и $J_1(z)$ - функции Бесселя; Λ_1, Λ_2 - функции от α и p , которые определяются из граничных условий (7).

Подставляя значения $\bar{u}_0$ и $\bar{u}_{1z}$ из (8) в (6), для β_1 и β_2 получим

$$\beta_1^2 = \left(\alpha^2 + \frac{p^2}{a^2} \right), \quad \beta_2^2 = - \left(\alpha^2 + \frac{p^2}{b^2} \right).$$
(9)

Удовлетворяя граничным условиям (7), получим уравнения для определения Λ_1 и Λ_2 , решения которых запишутся в виде

$$\Lambda_1 = \frac{\bar{\Phi}}{F} \left(2\alpha^2 + \frac{p^2}{b^2} \right) J_1(\beta_2 \xi),$$

$$\Lambda_2 = \frac{\bar{\Phi}}{F} 2\alpha \beta_1 J_1(\beta_2 \xi),$$
(10)

где

$$F = \left[\frac{2\alpha\beta_2}{\xi} J_1(\beta_1 \xi) + \left(\alpha \frac{p^2}{a^2} - 2\mu\beta_1 \right) J_0(\beta_1 \xi) \right] \times$$

$$\times \left(2\alpha^2 + \frac{p^2}{b^2} \right) J_1(\beta_2 \xi) + 2\mu\alpha\beta_2 \cdot 2\alpha\beta_1 J_1(\beta_2 \xi) \left[J_0(\beta_1 \xi) - \frac{1}{\beta_1 \xi} J_1(\beta_1 \xi) \right].$$

Используя (10) и (8), можно при помощи обратного преобразования получить окончательное решение. Однако интегралы, входящие в формулы обратного преобразования, в простом виде

записать не удастся. Поэтому рассмотрим случай малых $\beta_1 \xi$ и $\beta_2 \xi$, для которых в разложении функции Бесселя берутся только первые члены, в соответствии с чем получим

$$F = \frac{\xi(3\lambda+2\mu)}{2a^2} p^2 \beta_1 \left(\alpha^2 + \frac{p^2}{c^2} \right),$$

$$A_1 = \frac{\bar{\Phi}}{F} \left(2\alpha^2 + \frac{p^2}{b^2} \right) \frac{\beta^2 \xi}{2}, \quad A_2 = \frac{\bar{\Phi}}{F} \alpha \beta_1 \xi, \quad (11)$$

где $c^2 = \frac{3\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} \frac{\mu}{\rho} = \frac{E}{\rho}$ — скорость одномерных стержневых волн с осевой симметрией.

Определив u_r и u_x на основании (11), при помощи обратного преобразования находим u_r и u_x :

$$u_r = \begin{cases} \frac{A}{2a} \frac{\lambda r}{\lambda + \mu}, & x=0, \quad t=0, \\ \frac{A}{4a} \frac{\lambda r}{\lambda + \mu} \delta\left(\frac{C_e t - |x|}{a}\right), & 0 < |x| < \infty, \end{cases} \quad (12)$$

$$u_x = u_{ix} + u_o = \lambda x \begin{cases} 0, & 0 < |x| < C_e t, \\ -1/2, & |x| = C_e t, \\ -1, & C_e t < |x| < at, \\ 1/2, & |x| < at, \\ 1, & at < |x| < \infty. \end{cases}$$

Используя (12) и (3), после некоторых преобразований для напряжений получим

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\phi\phi} = -\frac{A}{2a} \lambda \delta\left(\frac{C_e t - |x|}{a}\right),$$

$$\sigma_{xx} = -\frac{A}{2a} \frac{(\lambda^2 + 6\lambda\mu + 4\mu^2)}{\lambda + \mu} \delta\left(\frac{C_e t - |x|}{a}\right), \quad (13)$$

$$\sigma_{rz} = \frac{A}{4a} \frac{\lambda\mu}{\lambda + \mu} \frac{r}{C_e t - |x|} \delta\left(\frac{C_e t - |x|}{a}\right).$$

Заметим, что

$$\frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{\theta\theta}} = \frac{\lambda^2 + 6\lambda\mu + 4\mu^2}{\lambda(\lambda + \mu)} = 2(1/\nu - \nu - 1), \quad (14)$$

где ν — коэффициент Пуассона.

Следовательно,

$$|\sigma_{xx}| > 4|\sigma_{\theta\theta}|. \quad (15)$$

Таким образом, в случае малых радиусов цилиндрических волноводов поля перемещений и напряжений, распространяющиеся с постоянной скоростью, вследствие первоначального разрыва деформации волновода выражаются при помощи единичной импульсной функции Дирака. Причем осевое нормальное напряжение более чем в четыре раза превышает радиальное напряжение. При помощи предложенных решений можно определить поля перемещений и напряжений в составном цилиндрическом волноводе с покрытием. Для этого следует дополнительно к приведенному решению в области покрытия представить перемещения через функцию Бесселя первого и второго родов и удовлетворить соответствующие граничные условия равенства перемещений и напряжений на поверхности контакта, а также условия на внешней поверхности покрытия. Используя предложенный подход, с достаточной точностью можно оценить влияние импульса разрыва деформации на напряженное состояние волновода, что делает возможным применение полученных результатов в волоконно-оптических системах связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 502 с.
2. Новацкий В. Теория упругости. - М.: Мир, 1975. - 872 с.
3. Багдоев А.Г. Определение фундаментальных решений для уравнений магнитоупругости // Изв. АН АрмССР. Механика. - 1974. - Т. 27, № 2. - С. 36-47.
4. Геворкян С.Х., Узуноглу Н. Распространение крутильных волн в составном волноводе // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, № 2. - С.73-76.

ГИУА, ЕРАСИ,
Науч. Техн. ун-т Афины

02.05.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1.1, № 2, 1998, с. 127-132

УДК 678.057:620.17:539.4:539.37

МАШИНОСТРОЕНИЕ

К.А. КАРАГЕТЯН, Н.Е. САРКИСЯН, А.Г. ХАЧИКЯН

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

Ներառված է ի դրժվածքային ալիսկալառոն խորվակաձև փորձանոցների ածրայրուր և դեֆորաասիվ հատկություննրը սզանքրաին ձգան ու ոլորման բարդ բեռնադրման պայմաններում. Նառաասված է, որ փորձանոցների նախուսյան առաքյալիս ձուրը ունեղեցուս է նրանի ոլորման ածրայրուր հսկան մեծացանր

Исследованы прочностные и деформационные свойства трубчатых образцов из тканевых стеклопластиков при комбинированном воздействии осевого растягивающего усилия и крутящего момента в условиях сложного

нагружения. Установлено, что предварительное осевое растяжение образцов приводит к существенному увеличению их прочности на кручение.

Ил. 3 Библиогр. 5 назв.

Strength and strain properties of tube specimens from glassplastics under a complex action of a uniaxial tension force and torsion moment in the condition of a complex loading are investigated. Considerable strengthening of test under the torsion in case of the preliminary action of the uniaxial force, which was kept constant during tests, was discovered.

Ил. 3. Рел. 5.

Расширение объема применения армированных композиционных материалов в том числе слоистых пластиков, в современном машиностроении обусловлено их существенными преимуществами по сравнению с традиционными конструкционными материалами. К числу таких преимуществ следует отнести малую энергоемкость производства, незначительный объем механической обработки, практическое отсутствие промышленных отходов и др. С другой стороны, в литературе недостаточно сведений о механическом поведении композиционных материалов в реальных конструкциях, так как исследования в этой области в основном проводились в условиях одноосного напряженного состояния.

Целью настоящей работы является исследование прочностных и деформационных свойств композиционных материалов в условиях сложного напряженного состояния, способствующих уточнению существующих теорий прочности [1] и решению вопросов оптимального проектирования конструкций с расширением области их применения.

Приводятся результаты экспериментальных исследований прочностных и деформационных свойств тканевых стеклопластиков при комбинации осевого растяжения и кручения в условиях сложного нагружения. Кратковременным испытаниям были подвергнуты трубчатые образцы с внутренним диаметром 38 мм, толщиной стенки 2,25 мм и длиной 285 мм. Указанные размеры соответствуют рекомендациям [2]. Для изготовления образцов использовалась стекловолокнистая ткань типа Т-10 (ГОСТ 19170 - 73) толщиной 0,15 мм, выпускаемая Севанским стеклоэлектроизоляционным заводом (Республика Армения). Опытные образцы были получены методом намотки ткани, предварительно пропитанной модифицированной эпоксидной смолой, на металлическую оправку с последующим горячим прессованием по всей боковой поверхности в специальных формах [3]. Испытанные трубчатые образцы были армированы так, чтобы направление основы ткани совпало с продольной осью образцов ($\varphi = 0^\circ$).

Экспериментальные исследования проводились по следующей методике. Предварительно были определены пределы прочности (временного сопротивления) образцов при одноосном растяжении $\sigma_{\text{н}}$ и кручении $\tau_{\text{н}}$. Далее опытные образцы-близнецы были подвержены осевому растяжению до определенного уровня (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 $\sigma_{\text{н}}$). Затем, сохраняя эту нагрузку постоянной, образцы были доведены до разрушения путем ступенчатого приложения крутящего момента. Кроме того, были проведены испытания других

образцов-близнецов нагружением крутящего момента до определенного уровня (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, τ_n). Далее, сохраняя эту нагрузку постоянной, они были доведены до разрушения при действии на него ступенчатой растягивающей нагрузки.

Каждая ступень нагрузки, увеличивающейся в процессе испытания, соответствовала 0,07...0,08 доле временной прочности образцов. Выдержка образцов на каждой ступени нагрузки соответствовала лишь времени, необходимого для снятия отчетов деформаций. Согласно этой методике, продолжительность испытания каждого образца составляла примерно 2...2,5 мин. Измерения деформаций осуществлялись с помощью датчиков сопротивления при дублировании их механическими приборами часового типа.

В каждом случае испытания были использованы данные 4...6 образцов, разрушение которых имело место в рабочей зоне.

Для вышеуказанных испытаний были построены предельные кривые прочности в координатах σ , τ по шести точкам (рис. 1). Построены также диаграммы соответствующих напряжений и деформаций (рис. 2 и 3).

Согласно результатам проведенных экспериментальных исследований, с увеличением приложенного постоянного крутящего момента имеет место слабо выраженное явление упрочнения композита при осевом растяжении (рис. 1, кривая 1).

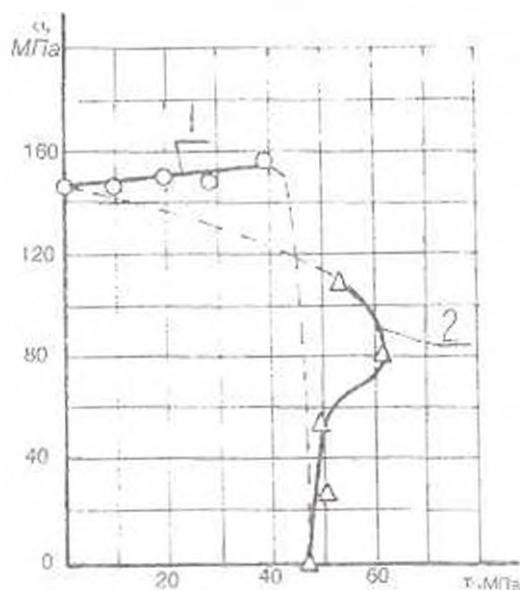


Рис. 1. Кривые прочностей тканевых стеклопластиков при комбинации осевого растягивающего усилия и крутящего момента
1 - $\sigma = f(\tau)$, 2 - $\tau = f(\sigma)$

Построенная в координатах σ , ϵ диаграмма показывает, что величины продольных относительных деформаций ϵ при одних и тех же значениях растягивающего напряжения σ , вплоть до разрушающего, практически не зависят от уровня предварительного нагружения крутящим моментом (рис. 2).

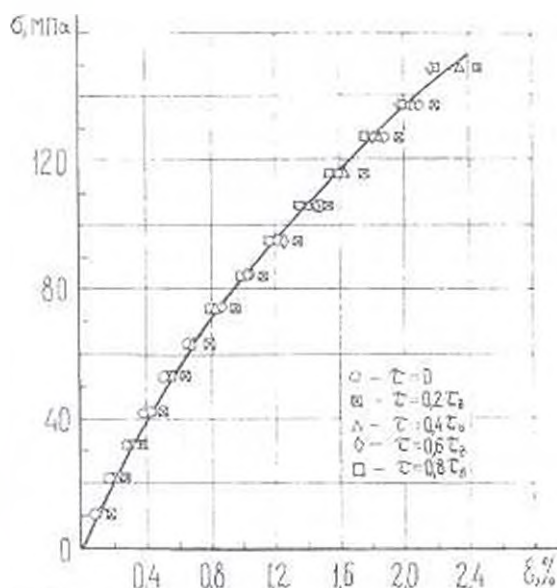


Рис. 2. Диаграмма растяжения тканевых стеклопластиков

Обнаружено, что в этом случае разрушение опытных образцов происходит с образованием небольшой "шейки". Этому предшествует некоторое "побеление" кольцеобразной области на боковой поверхности образцов, где при дальнейшем увеличении растягивающего усилия визуально наблюдается процесс прогрессирующего трещинообразования. Разрушение происходит по сечению, перпендикулярному продольной оси образцов.

Аналогичный характер разрушения наблюдался для намотанного органоэластика [4].

Экспериментами выявлено существенное упрочнение трубчатых образцов тканевых стеклопластиков при кручении в случае предварительного приложения осевого растягивающего усилия, сохранившегося в процессе испытания постоянным (рис.1, кривая 2). Максимальное значение роста прочности при кручении наблюдалось у образцов, предварительно нагруженных осевым растягивающим усилием, соответствующим $0.6\sigma_R$, и составляло более чем 30%. Значения упомянутого роста прочности при приложении осевого усилия, соответствующего $0.4\sigma_R$ и $0.8\sigma_R$, составляли соответственно 6 и 13%.

С увеличением уровня предварительно приложенного растягивающего усилия наблюдается также стабилизация значений прочностей образцов при кручении. Так, при значениях осевого напряжения составляющих 0, 0.2, 0.4, 0.6, и $0.8\sigma_R$ величины коэффициента вариации предела прочности при кручении равны 0.12, 0.05, 0.03, 0.03 и 0.01. Аналогичное явление наблюдалось при экспериментальном изучении влияния уровня осевого растягивающего напряжения на кольцевую прочность трубчатых образцов, полученных намоткой стеклошпоном [5].

Из диаграмм, построенных по результатам настоящей работы и представленных в координатах τ, γ (рис. 3), следует, что при одних и тех же значениях касательных напряжений до $0,64\tau_{\text{н}}$ величины угловых деформаций практически не зависят от уровня предварительно растягивающего усилия, в то время как при уровне касательных напряжений выше $0,64\tau_{\text{н}}$ значения предварительно осевого растягивающего усилия существенно влияют на величины угловых деформаций. Так, при $\tau = 0,95\tau_{\text{н}}$ и предварительном осевом усилии $0,6\sigma_{\text{н}}$ и $0,8\sigma_{\text{н}}$ значения угловых деформаций соответственно уменьшаются на 30 и 16%.

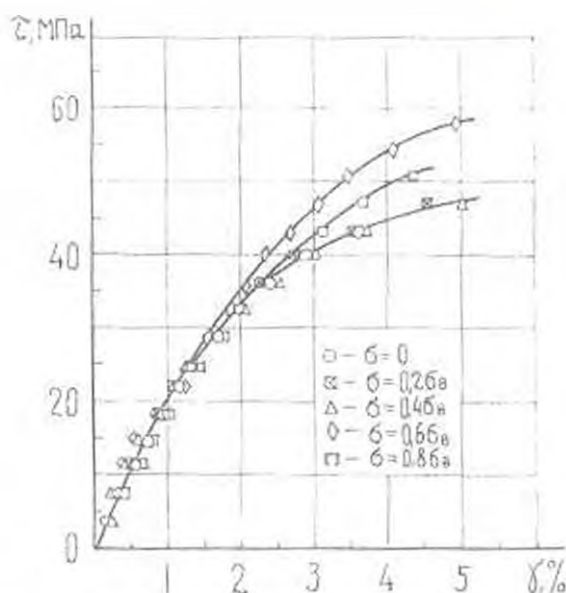


Рис. 3. Диаграмма кручения тканевых стеклопластиков

Описанное выше явление образования характерной кольцеобразной зоны разрушения на боковой поверхности опытных образцов, обнаруженное в результате визуальных наблюдений, имело место и в данном варианте испытаний. При кручении разрушение образцов, предварительно нагруженных осевым растягивающим усилием, составляющим $0,6\sigma_{\text{н}}$, происходит по сечению, составляющему с продольной осью образцов угол, равный $73..77^\circ$. В остальных случаях разрушение происходит по сечению, перпендикулярному продольной оси трубчатых образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бажанов В.Л., Гольденблат И.И., Колнов В.А. и др. Пластинки и оболочки из стеклопластиков. - М: Машиностроение, 1970. - 407 с.
2. Pagano N.J., Whitney J.M. Geometric design of composite cylindrical characterization specimens // J.Compos. Mater., July. - 1970. - P. 360-378.

3. **Мартirosян М.М.** Получение прессованных тонкостенных труб из стеклопластиков // Промышленность Армении. - 1971. - № 10. - С. 56 - 57.
4. **Авакян Р.А., Данилова И.Н., Лебедева О.В., Соколова Т.В.** Изучение прочности и деформируемости органопластиков при пропорциональном деформировании и сложном нагружении // Механика композитных материалов. - 1983. - № 5. - С. 930-933.
5. **Мартirosян М.М.** Упрочнение ориентированного стеклопластика при двухосном растяжении // Механика полимеров. - 1976. - № 6. - С. 1025 - 1029.

Ин-т механики НАН РА

03.06.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 2, 1998, с. 132-137.

УДК 631.171:626+621.837.5

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.К. АМИРЯН

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК МЕЖДУ РЯДАМИ МНОГОРЯДНОЙ ЦЕПИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА РАБОЧЕГО ОРГАНА ПЛАНТАЖНОГО ПЛУГА ППН-40

«Աղյուսակրվում» է թեք լանդշերի վրա աշխատելու համառոտ գյուղատնտեսական մեքենաների բանվորական օրգանների ուղղակի դիրքի կարգավորման հարստարանների կոնստրուկտորը, որոնցում որպես մեխանիզմական մաս կիրառված է շղթա-սղթային փոխանցում (ՇԱՓ): Դիտարկվում են ՇԱՓ-ի լազմաշարը շղթայի օղակների շարքերի միջև բեռնվածքի բաշխման օրինաչափության բացահայտման ուղղությամբ կոնստրուկտ մոնավան եւ փորձնական եկտագրությունների արդյունքները, որոնք երաշխավորվում են ՇԱՓ երկ նախագծման մասանակ օգտագործելու համար:

Описываются конструкции устройств для регулирования вертикального положения рабочих органов сельскохозяйственных машин при работе на склонах, где в качестве механической части использована цепно-волновая передача (ЦВП). Рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований по выявлению закона распределения нагрузок между звеньями по рядам многорядной цепи ЦВП. Получены результаты, которые рекомендуется учитывать при проектировании ЦВП.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

Designs of devices for regulating the vertical position of agricultural tools that operate on slopes are described, chain-wave transmission (CWT) is used as a mechanical part. The results of theoretical and experimental researches on revealing the load distribution law between the links according to rows in multirow CWT are considered. When designing a CWT it is recommended to take into account these results obtained.

Ил. 3. Tables 2. Ref. 3

При освоении горных склонов для обеспечения заданных или оптимальных технологических режимов при работе агрегата с плантажным плугом (с рыхлителем, ямокопателем и другими сельскохозяйственными машинами и орудиями) возникает необходимость регулирования вертикального положения рабочих

органов в зависимости от изменения крутизны склона. В связи с этим в конструкциях этих машин предусматриваются различные решения, осуществляемые в основном гидромеханическим приводом, от надежности работы которого в значительной степени зависит работоспособность самих почвообрабатывающих машин и агрегата в целом.

С целью повышения надежности, долговечности и качества технологического процесса путем обеспечения разгрузки гидросистемы трактора созданы устройства для регулирования вертикального положения рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий [2, 3], включающие гидродвигатели, кинематически связанные с рабочим органом, и снабженные редукторами с цепно-волновыми передачами (ЦВП), которые включены в кинематическую цепь между гидродвигателями и рабочими органами.

Многорядная цепь ЦВП представляет собой статически неопределенную систему, и поэтому для определения усилий в звеньях рядов цепи можно воспользоваться теоремой о трех моментах.

Пример определения усилий в звеньях рядов цепи приведен для тихоходной ступени редуктора-фиксатора, представляющей собой двухволновую ЦВП, где генератор волн охватывается одним из средних рядов (третьим) четырехрядной втулочно-роликовой цепи типа 4ПР по ГОСТ 13562-75 (рис. 1). Два других ряда цепи (первый и второй) охватывают передающую блок-звездочку, а крайний ряд (четвертый) зацеплен с зубьями взаимодействующей звездочки. Передаточное отношение этой ступени $i_{1c} = 15$.

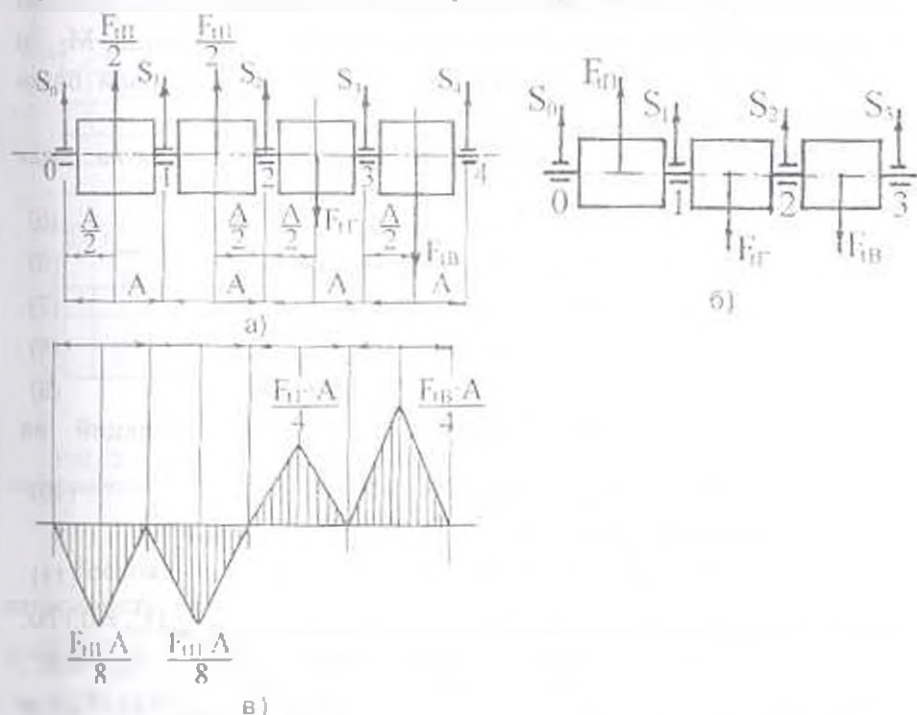


Рис. 1 Схема сил, действующих в звеньях рядов цепи ЦВП: а - при четырехрядной цепи; б - при трехрядной цепи; в - эпюры изгибающих моментов

Окружные силы на передающей звездочке $F_{\text{п}}$, генераторе волн $F_{\text{г}}$ и взаимодействующей звездочке $F_{\text{в}}$ приложены в центрах роликов цепи и рассматриваются как сосредоточенные силы (рис. 1а). Пронумеруем ряды звеньев слева направо. Следовательно, уравнение трех моментов следует представить отдельно три раза для рядов 1, 2 и 3.

При использовании теоремы о трех моментах для указанных рядов цепи находим величины опорных моментов [1]:

$$M_1 = 3\lambda(13F_{\text{п}} + 3F_{\text{г}} - F_{\text{в}})/448, \quad (1)$$

$$M_2 = 3\lambda(F_{\text{в}} - 3F_{\text{г}} + F_{\text{п}})/112, \quad (2)$$

$$M_3 = -3\lambda(F_{\text{п}} + 11F_{\text{г}} + 15F_{\text{в}})/448. \quad (3)$$

Зная эти величины, можно легко вычислить усилия в звеньях по рядам цепи. С этой целью каждый пролет рассчитываем как отдельную балку, упирающуюся концами (под действием нагрузки в ее пролете и моментов, приложенных по концам). Например, усилие в звене на i -ом ряду (опоре) неразрезной балки можно определить как сумму реакций на i -ых опорах двух смежных балок. При этом каждую из них определяют из условий статики.

Общая формула для усилий (реакции) на i -й опоре (ряде цепи), как известно, имеет следующий вид:

$$S_i = S_i^0 + (M_{i-1} - M_i)/l_{i-1} - (M_{i+1} - M_i)/l_i, \quad (4)$$

где S_i^0 - суммарная реакция на i -ых опорах двух смежных балок под действием заданных нагрузок в пролетах; $(M_{i-1} - M_i)/l_{i-1}$ - реакция (усилие) на i -й опоре левой балки под действием моментов M_{i-1} и M_i ; $(M_{i+1} - M_i)/l_i$ - реакция (усилие) на i -й опоре правой балки под действием моментов M_{i+1} и M_i .

На основе формулы (4) определяем усилия в звеньях на рядах цепи (рис. 1):

$$S_0 = (9F_{\text{г}} - 3F_{\text{в}} - 73F_{\text{п}})/448, \quad (5)$$

$$S_1 = (9F_{\text{п}} - 27F_{\text{г}} - 145F_{\text{в}})/224, \quad (6)$$

$$S_2 = (68F_{\text{г}} - 18F_{\text{в}} - 25F_{\text{п}})/112, \quad (7)$$

$$S_3 = (163F_{\text{в}} + 127F_{\text{г}} + 9F_{\text{п}})/224, \quad (8)$$

$$S_4 = (179F_{\text{п}} - 331F_{\text{г}} - 3F_{\text{в}})/488. \quad (9)$$

Проверим найденные усилия по сумме проекций на вертикальной оси:

$$S_0 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = F_{\text{п}} - F_{\text{г}} - F_{\text{в}}. \quad (10)$$

Подставляя значения $S_0, S_1, \dots, S_4$ в (10), получим

$$(F_{\text{п}} + F_{\text{г}} - F_{\text{п}}) + F_{\text{п}} - F_{\text{г}} - F_{\text{в}} = 0. \quad (11)$$

Для редуктора-фиксатора при параметрах $i_{15} = 15$, $D_{\text{ф}} = 0,17 \text{ м}$, предварительно принимая КПД в зацеплениях передачи $\eta_{\text{м}} = 0,95$, получим следующую связь между моментами: $T_{\text{г}} = -0,113T_{\text{п}}$ и $T_{\text{в}} = -0,887T_{\text{п}}$ [1]. Следовательно, абсолютные величины окружных усилий имеют вид

$$F_{II} = 5,8823T_{II}, F_{IV} = 5,2176T_{II}, F_{VI} = 0,6647T_{II}.$$

Используя уравнения (5)-(9), определены усилия в звеньях по рядам четырехрядной цепи:

$$S_0 = -0,98T_{II}, S_1 = -3,6782T_{II}, S_2 = -1,7480T_{II}, \\ S_3 = 4,4099T_{II}, S_4 = 1,9963T_{II}. \quad (12)$$

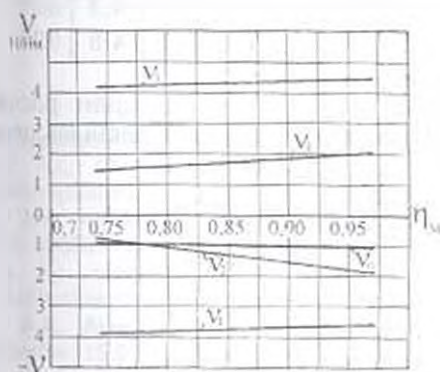
Знак "-" указывает на относительное направление усилий звеньев по рядам цепи.

Нетрудно убедиться, что сумма всех усилий равна нулю ($\sum S_i = 0$), а нагрузка между рядами распределяется слишком неравномерно. Максимальное усилие испытывают звенья третьего ряда, а затем - первого ряда. Минимальную же нагрузку воспринимают звенья нулевого ряда.

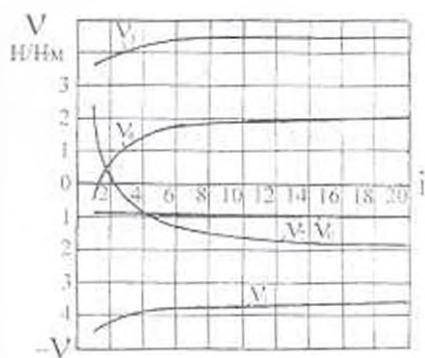
Установлено, что усилия в рядах цепи зависят от передаточного отношения ЦВП и КПД цепного зацепления. В качестве критериев для оценки закона распределения нагрузки между рядами звеньев цепи принимаем величины коэффициентов относительных усилий к нагрузке на тихоходном валу:

$$v_i = S_i / T_{II}, \quad (13)$$

где $T_{II} = S_K D_1 / 2$ - крутящий момент на передающей звездочке; S_K - усилие в канате, наматываемом на барабан насаженного тихоходный вал редуктора; $D_1 = 0,12$ м - диаметр барабана нагружающего устройства.



а)



б)

Рис. 2. Графики изменения коэффициентов относительных усилий в зависимости от а - КПД цепного зацепления, б - передаточного отношения ЦВП

Построены графики коэффициентов относительных усилий в зависимости от КПД цепного зацепления - $v_i = f(\eta_M)$ при $i_{\text{ср}} = 15$ (рис. 2а), а также от передаточного отношения ЦВП - $v_i = f(i)$ при $\eta_M = 0,95$ (рис. 2б).

Аналогично, при рассмотрении сил, действующих в зацеплении, для двухволновой ЦВП с трехрядной втулочно-роликовой цепью

(рис. 1в) выражения для определения усилий в звеньях по рядам цепи принимают вид

$$S_0 = -2,2723T_{II}, S_1 = -4,6651T_{II}, S_2 = 5,0473T_{II}, S_3 = 1,8901T_{II} \quad (14)$$

Сравнением полученных значений для усилий в звеньях трехрядной и четырехрядной цепей (рис. 3) можно установить, что максимальное усилие на звеньях трехрядной цепи на 14,5...26,8% больше, чем на звеньях четырехрядной цепи, а минимальная нагрузка больше - в 2,3 раза. Таким образом, при прочих равных условиях четырехрядная цепь будет работать в более благоприятных условиях, чем трехрядная. Это в дальнейшем надо будет учесть при проектировании цепно-волновых передач.

В табл. 1 приведены расчетные значения усилий в звеньях по рядам цепи, полученные опытным путем на специальном стенде для проведения лабораторных экспериментов редукторов с ЦВП.

Таблица 1

Расчетные значения усилий в звеньях по рядам цепи

Нагрузка на крюке, Q_0 H	Усилия в звеньях цепи (на рядах)										
	S_0		S_1		S_2		S_3		S_4		
	h_0 , мм	S_0 , Н	h_1 , мм	S_1 , Н	h_2 , мм	S_2 , Н	h_3 , мм	S_3 , Н	h_4 , мм	S_4 , Н	
1	1777,6	0,5	135	1,7	470	0,3	240	2,4	580	2,2	265
2	2802,7	0,7	190	2,4	758	0,4	370	3,4	885	2,8	400
3	3847,5	0,9	271	2,9	975	0,5	460	4,4	1190	3,4	560
4	4887,3	1,1	335	3,7	1290	0,6	600	5,5	1520	3,9	690
5	5961,5	1,2	408	4,1	1460	0,7	700	6,3	1770	4,3	800
6	6991,6	1,3	440	4,7	1680	0,8	800	7,1	2015	4,8	920

На основании опытных данных (табл. 1) произведен расчет коэффициентов распределения усилий между рядами звеньев цепи (табл. 2).

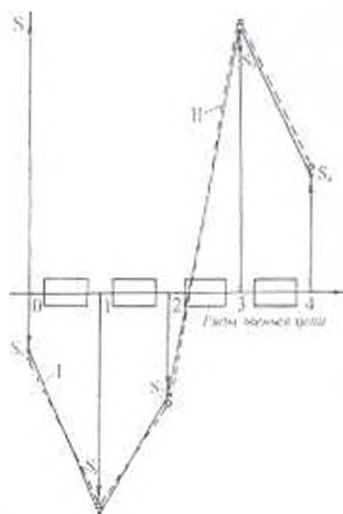


Рис. 3. Распределение сил в звеньях по рядам цепи. $T_{II}=128,61$ Нм, $\eta_M=0,95$; I - теоретические значения усилий; II - экспериментальные значения усилий

Как видно, максимальную нагрузку испытывают звенья третьего ряда, затем первого ряда, минимальную нагрузку воспринимают звенья нулевого ряда. Результаты экспериментов совпадают с теоретическими расчетами (расхождение составляет 0,04.. 1,1% рис. 3).

Таблица 2
Значения коэффициентов v_i распределения усилий между рядами звеньев цепи

Нагрузка на крюке, Q_r, H	Крутящий момент на тихоходном валу, $T_{п. н. м}$	Коэффициенты распределения усилий					
		v_0	v_1	v_2	v_3	v_4	
1	1777,6	128,61	1,05	3,6544	1,8661	4,5097	2,0605
2	2802,7	203,89	0,9387	3,7177	1,8147	4,3606	1,9618
3	3847,5	268,64	1,0087	3,6294	1,7123	4,4297	2,0846
4	4887,3	348,22	0,9620	3,7045	1,7230	4,3650	1,9815
5	5961,5	404,66	1,0072	3,6079	1,7285	4,3740	1,9769
6	6991,6	454,87	0,9673	3,6934	1,7587	4,4298	2,0335
Средние значения коэффициентов		0,9880	3,6880	1,7672	4,4081	2,0165	

ЛИТЕРАТУРА

1. Амирян А.К. Цепно-волновая передача. - Ереван: Наири, 1997. - 184 с.
2. А.с. 1327815 СССР, МКИ³ А01В63/06. Устройство для регулирования вертикального положения рабочих органов сельскохозяйственных машин / А.К. Амирян, К.А. Амирян, Ш.М. Григорян, К.Г. Караханян. (СССР). - № 40366714/29-15. Заявл. 11.03.86; Оpubл. 07.08.87, Бюл. № 29. - 3 с.
3. А.с. 1662380 СССР, МКИ³ А01В63/06. Устройство для регулирования вертикального положения рабочих органов сельскохозяйственных машин / А.К. Амирян, К.А. Амирян (СССР). - № 4430456/15. Заявл. 26.05.88. Оpubл. 15.07.91, Бюл. № 26. - 3 с.

Армсельхозакадемия

28.09.1997



З.А. МАНВЕЛЯН

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМ НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Տեղեկատված են մետաղական կաղապարների մակերևութային անհարթությունների ազդեցությունը և ստացվող կոմպոզիցիոն պոլիմերային նյութերից պատրաստված մեքենատարի մակերևութային անհարթությունները Ստացված արդյունքները թույլ են տալիս ուրիշ շերտերում փոքրագույն կաղապարներից պատրաստման աշխատանքներում և բարձրագույն ձևավորվող մասերի մակերևութների կոռուցությունը:

Проводится сравнение шероховатостей поверхностей металлических форм и формуемых в них композиционных полимерных деталей. Использование результатов исследования в ряде случаев позволяет снизить трудоемкость изготовления и увеличить долговечность и стойкость формирующих деталей форм.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

Comparison of Metallic form surface roughness and forming composite polymer parts is performed. Application of research results permits to lower labour input of making shaping form parts and increase their durability.

Ил. 3. Tables 2. Ref. 2.

Как известно [1, 2], детали из многокомпонентных полимерных систем получают формованием расплавленного или размягченного композиционного полимерного материала в соответствующей формообразующей оснастке (литьем под давлением, прессованием, свободным литьем, экструзией, центробежным литьем, раздувным формованием, вакуум- и пленкоформованием, штамповкой-формованием и т.д.). В процессе их изготовления на поверхности деталей образуются шероховатости.

Целью настоящей работы является выявление влияния тех технологических факторов, которые оказывают наибольшее воздействие на микрогеометрию поверхности в каждом конкретном случае их производства.

Проводится сравнение шероховатостей поверхностей металлических форм и формуемых в них композиционных полимерных деталей (рис.1.2). Обнаружена связь между шероховатостями поверхностей формирующих поверхностей металлических форм и композиционных материалов на основе эпоксидных смол марок ЭД-16 и ЭД-20, полученных свободной отливкой в них, на образцах 120×60×5 мм из полиэтиленполиамиона с различными наполнителями местного производства (туф, гранит, мрамор и т.д.)

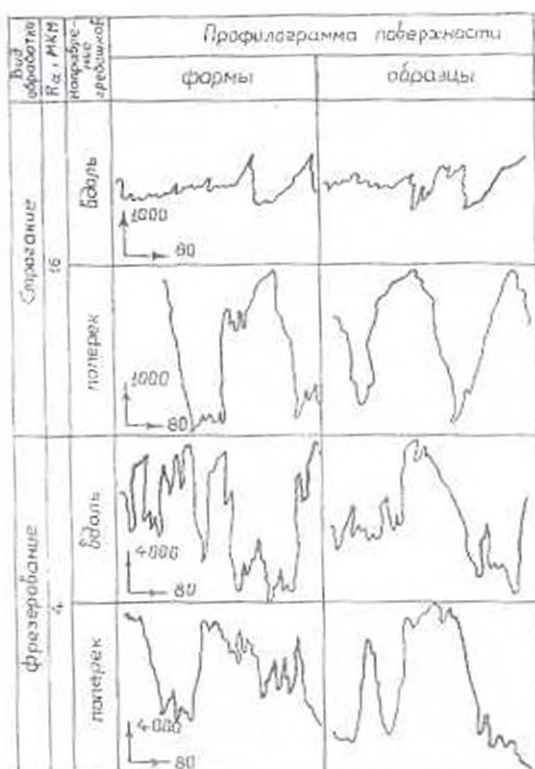


Рис. 1. Профиллограммы поверхности форм после строгания и фрезерования и отлитых в них образцов из композиционного материала на основе эпоксидных смол марки ЭД-20

Внутренняя поверхность металлических форм имеет различную шероховатость и направление неровностей поверхности вдоль и поперек образца.

Анализ результатов показывает (табл. 1), что шероховатость образцов, отлитых в формы при $R_a = 1.3 \dots 0.5$ мкм, сохраняется на том же уровне, а при $R_a = 0.13 \dots 0.1$ мкм значительно повышается.

Таблица 1

Шероховатость поверхности металлических форм и отлитых в них образцов из композиционных материалов на основе эпоксидных смол марки ЭД-20

Параметр шероховатости	Размер неровности поверхности, мкм		Параметр шероховатости	Размер неровности поверхности, мкм	
	формы	образца		формы	образца
R_a	0.07...0.08	0.28	R_z	1.8	1.0
	0.12	0.40	R_z	13...17	1.32
R_a	0.32...0.26	0.40	R_z	1.4...1.8	2.1
	0.55...1.03	0.78	R_z	1.6...9.0	4.5

В числителе - при направлении неровностей поверхности вдоль образца, в знаменателе - поперек.

Снижение высоты неровностей поверхности образцов после отливки в металлические формы с высокой шероховатостью объясняется тем, что композиционный материал при свободной отливке не заполняет все неровности поверхности формы, образуя поверхность с более низкими неровностями; увеличение шероховатости поверхности (0,10...0,13 мкм) связано с релаксацией внутренних напряжений и усадочными явлениями, создающими дополнительные неровности. Высота неровностей при поперечном направлении шероховатостей поверхности формы и образца выше, чем при продольном направлении.

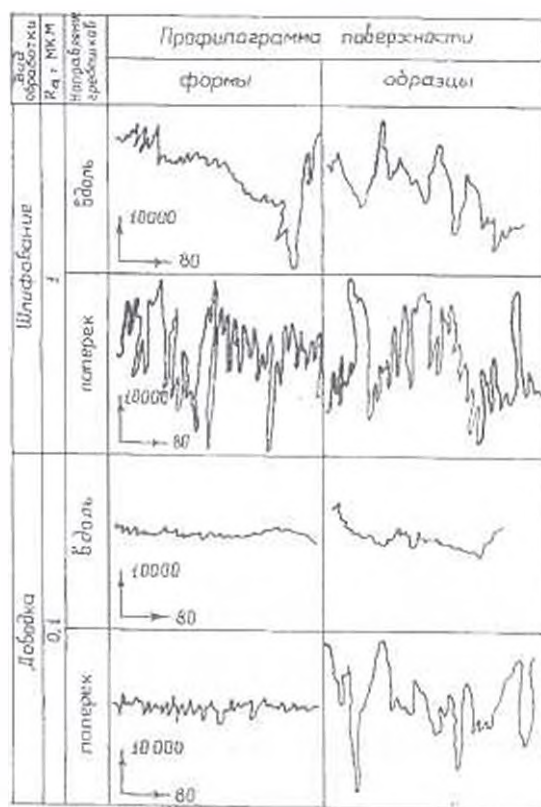


Рис. 2. Профилограммы поверхности форм после шлифования и доводки и отлитых в них образцов из композиционного материала на основе эпоксидных смол марки ЭД-20

Таким образом, при свободном литье деталей из пластмассы АСТ-Т для достижения шероховатости поверхности смеси 1,3...2,5 мкм необходимо иметь более высокую шероховатость поверхности - 20...80 мкм, уменьшение шероховатости поверхности формы ниже 0,60...1,25 мкм не приводит к снижению шероховатости поверхности детали. Кроме того, поскольку разница в отклонении профиля неровностей поверхности образцов вдоль и поперек направления обработки значительна, необходимо стремиться к совпадению направлений неровностей поверхности и

рабочих движений детали, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики трущейся пары.

Проведено исследование шероховатости поверхности формирующих деталей металлических форм до и после хромирования (табл.2). Как видно, высота неровностей поверхности изменяется независимо от первоначальной высоты.

Таблица 2

Шероховатость рабочей поверхности литейной формы из стали У10А, закаленной до и после хромирования

Вид обработки	Параметр шероховатости	Шероховатость поверхности, мкм	
		после мех. обработки	после хромирования
Доводка	R_z	0,12/0,21	0,12/0,25
Шлифование	$R_{\parallel}$	0,16/0,42	0,2/0,4
Фрезерование	R_z	11/17	10/18
Строгание	R_z	15/30	14/28

В числителе - при направлении неровностей вдоль, обработки формы режущим инструментом, в знаменателе - поперек

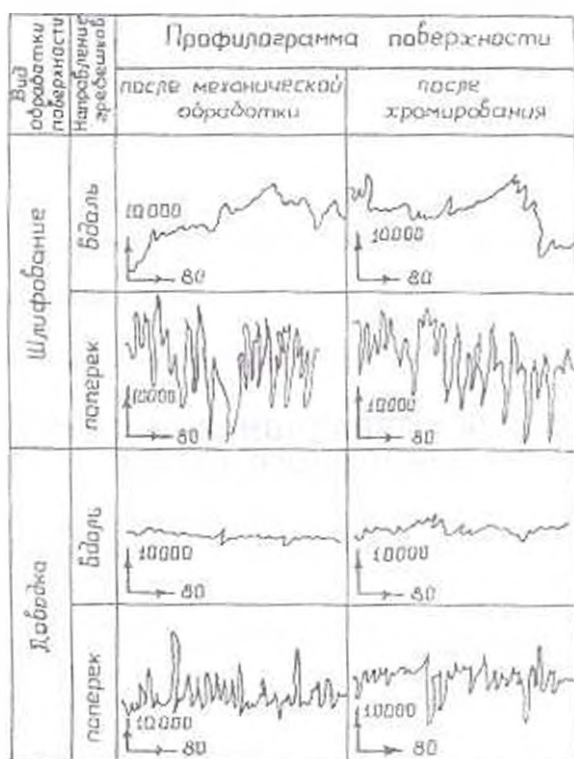


Рис. 3. Профилограммы формирующих поверхностей металлических форм, полученных шлифованием и доводкой до и после хромирования

Анализ профилограммы (рис.3) показывает, что при одинаковом значении высоты выступов и впадин неровностей после хромирования их форма несколько изменяется (округляются выступы и впадины).

Таким образом, хромирование формующих поверхностей металлических форм слоем 10..12 мкм не приводит к снижению высоты микронеровностей. Очевидно, изменение профиля выступов и впадин неровностей является одной из причин повышения износостойкости хромированных поверхностей металлических форм и облегчает течение композиционного полимерного материала по формующей полости формы.

Как видно, толщина покрытия должна быть не менее 0,01 мкм, так как при меньшей толщине хромовое покрытие получится пористым, в поры попадают влага и другие жидкие вещества, образуется электрическая пара между металлом формы и покрытием, что приводит к его отслаиванию. Использование результатов исследований (табл. 1 и 2) позволяет в ряде случаев снизить трудоемкость изготовления и увеличить долговечность формующих деталей форм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Палей М.М. Технология производства приспособлений, пресс-форм и штампов. - М. Машиностроение, 1971 - 344 с.
2. Штурман А.А. Производство и переработка пластмасс и синтетических смол. НИИТЭ ХИМ. - М., 1980 - № 5 - С. 21-22.

ГИУА

23.02.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ГИ), т. 11, № 2, 1998, с. 142-145.

УДК 621.932.025

МАШИНОСТРОЕНИЕ

И.А. ТЕР-АЗАРЬЕВ, Г.И. ТЕР-АЗАРЯН

ОЦЕНКА АБРАЗИВНЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Ցույց է տրված, որ «իզոս-արագություն» բնորոշ կախում նյութի անոթայնությամբ, անոթայնությունը է, ոչ թե չիսուն գործակցով, այլ նյութի իզկանությամբն հատկությունների փոփոխմամբ:

Показано, что сложная кривая "износ-скорость" в зависимости от прочности породы является следствием изменения не коэффициента трения, а ее абразивных свойств.

Библиогр. 11 назв.

It is stated that the curve "wear-speed" in terms of rock strength is the result of changing not the friction coefficient but its abrasive properties.

Ref. 11.

Износ режущего инструмента при обработке различных пород протекает в основном по задней грани [1, 2]. Работа, затрачиваемая на процесс, состоит из двух составляющих - упругой деформации откалываемых частиц до откола и деформации той части тела, к которой прикреплена частица. На основании такого подхода [3] получено следующее соотношение между силой трения F , сошлифованной (изношенной) с инструмента массой q , и путем трения $\ell_{тр}$:

$$F/q = 2\sigma / h d_{ip}^2, \quad (1)$$

где σ - поверхностная энергия изнашиваемого материала; h - атомное расстояние; d - плотность материала.

Так как F/q - величина постоянная, не зависящая от абразива и подавляющей силы, из (1) получим

$$q = K_1 \ell_{тр}. \quad (2)$$

Такой вывод соответствует данным [4] и экспериментальным данным при работе инструмента по различным горным породам [5].

При работе режущего инструмента, имеющего заднюю поверхность с углом α , износ q равен

$$(\Delta^2 / 2) \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где Δ - фаска износа инструмента по задней грани.

С учетом (2) получим

$$\Delta = \rho_{тр}^{0.5} \sqrt{2K_1 / \operatorname{tg} \alpha}. \quad (4)$$

Известно также, что при обработке горных пород износ инструмента от скорости резания имеет седлообразный вид с минимумом в зоне так называемой оптимальной скорости $V_{оп}$, для определения которой имеется известная зависимость [1].

Однако, если фактическая скорость больше или меньше $V_{оп}$, износ растет и тем интенсивнее, чем больше прочность породы, а зона оптимальной скорости тем меньше, чем больше прочность. При этом наблюдается большая крутизна седлообразной кривой "износ-скорость" [6].

Такое поведение износа с изменением скорости невозможно объяснить изменением коэффициента трения инструмента по задней грани μ , контактирующей с породой.

В самом деле [1],

$$\mu_1 = P_{zd} / P_{y3} = c_1 / n_1 = \text{const}, \quad (5)$$

где P_{zd} и P_{y3} - соответственно приращения сил - тангенциальной и в направлении фаски износа.

Из приведенного становится очевидным, что причиной седлообразности "износ-скорость" является изменение абразивных свойств самой породы, а не μ_1 .

Усилие N , приходящееся на одно абразивное зерно в породе (при ширине среза $b=1$), равно [1]

$$N = P_{y3} / Z_{\Delta} = n_2 / Z_{\Delta}, \quad (6)$$

где Z_{Δ} - количество зерен, участвующих в износе породы.

Внедрение зерен в тело инструмента при условном принятии зерен, например, в виде шара диаметром d , создает контактные напряжения, подчиняющиеся закону Герца [7], и при движении их вдоль трущейся поверхности снимает с него определенный слой:

$$q_1 = K_2 a_1 b_1 = \beta K_1 K_2 a_1^2 \Delta n_2 / Z_A, \quad (7)$$

где a_1 и b_1 - соответственно толщина и ширина среза,

$$a_1 = \beta N / H, \quad b_1 = K_1 a_1,$$

H - твердость материала инструмента.

Тогда с учетом (6) изношенный объем равен

$$q = \beta K_2 K_1 a_1^2 n_2 \Delta d^2 \ell_{\text{тр}} / Z_A. \quad (8)$$

Процесс изнашивания производится абразивными зернами, находящимися в поверхностном слое $Z_{\text{ср}}$, который может быть рассчитан вероятностным путем [8] с учетом особенностей горных пород:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{12\varepsilon}{200\pi} \frac{K_A}{a^{1/2} d^2} = \frac{0,0191 K_A}{a^{1/2} d^2}, \quad (9)$$

где a - коэффициент формы зерна при принятии зерен в виде шара, $a=1$; K_A - коэффициент активно работающих зерен, по [9]

$K_A=0,6$; ε - процентное содержание абразива в единице объема породы. Этот показатель нетрудно установить, если произвести минералогический анализ породы [10, 11].

Тогда количество абразива Z_A , действующего на фаску износа по задней грани Δ , будет

$$Z_A = Z_{\text{ср}} \Delta = \frac{0,0115 \Delta \varepsilon}{d^2} \ell_{\text{тр}}. \quad (10)$$

Подставив (10) в (8) и выразив коэффициент n_2 с достаточной достоверностью $n_2=0,546$ [1], получим

$$q = \frac{4,7 K_2 K_1 \beta a_1^2 d^2 \sigma}{H \varepsilon} \ell_{\text{тр}} \quad (11)$$

в соответствии с (3) $\Delta^2 = 2q / \lg \alpha$.

Тогда

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sigma}{H}} 3 a_1 d \sqrt{\frac{\beta K_2 K_1}{\lg \alpha \varepsilon}} \ell_{\text{тр}}^{0,5}. \quad (12)$$

Выражение (12) находится в полном соответствии с (4).

Обозначив $\sqrt{\frac{\beta K_2 K_1}{\lg \alpha \varepsilon}} = \eta$,

получим

$$\Delta = \eta \sqrt{\frac{\sigma}{H}} \ell_{\text{тр}}^{0,5}. \quad (13)$$

Полученное выражение (12) для инструмента с известной твердостью H , например ВК8, объясняет изменение износа с изменением скорости для данной породы, т.е. при постоянстве σ , в виде седлообразной кривой. Величина η в (13) характеризует

абразивные (изнашивающие) свойства породы, которые изменяются с изменением скорости резания. При этом, чем прочнее порода, тем с большей интенсивностью протекает износ, а седлообразная кривая сужается [6]. При обработке же мягких пород с малой абразивностью интенсивность износа с изменением скорости может иметь лишь некоторую тенденцию роста с увеличением скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тер-Азарьев И.А. Динамика процесса резания камня / Госстрой АрмССР. - Ереван, 1959. - 105 с.
2. Акопов Р.В. Геометрия режущего инструмента при резании камня / АН АрмССР. - Ереван, 1958. - 173 с.
3. Кузнецов В.Д. Поверхностная энергия твердых тел / АН СССР. - М., 1954. - 215 с.
4. Боуден Ф., Тейбор Д. Природа износа металлов // Трение и граничная смазка: Сб. ст. / Под ред. И. Крагельского. - М.: ИЛ, 1953. - С.
5. Тер-Азарьев И.А. Основные закономерности износа режущего инструмента // Тр. Арм. ин-та стройматериалов и сооружений. - Ереван, 1960. - Вып. 1. - С. 203-240.
6. Тер-Азарьев И.А. Роль подачи при резании естественных камней // Изв. АН АрмССР. - 1966. - Т. 9, № 2. - С. 87-99.
7. Биргер И.А. и др. Расчеты на прочность деталей машин. - М.: Машиностроение, 1979. - 702 с.
8. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А. Резникова. - М.: Машиностроение, 1977. - 391 с.
9. Баладинский В.А., Баранников В.Ф. Применение алмазного и твердосплавного инструмента в строительных машинах / Минвуз СССР. - М., 1986. - 58 с.
10. Тер-Азарьев И.А., Мазарян Л.М. Определения микротвердости минералов, составляющих горную породу и оценка их абразивных свойств // Тр. НИИ камня и силикатов. - 1970. - Вып. 5. - С. 147-150.
11. Тер-Азарьев И.А., Даниелян А.А. Количественная оценка твердых включений в туфах // Промышленность Армении - 1970 - № 7. - С. 55-56.

ГИУА

09.07.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТИ), т. 11, № 2, 1998, с. 145-149

УДК 629.114.53-592.6

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Г.С. ЕРИЦЯН

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Հարձույթին արտաժաման տիպի օժանդակ արգելանքային հասանելիության փոփոխությունը կախվում է արտաժաման ծավալում ուղեղվող հսկանչի մեծությունը: ժամանակակից ավտոտրանսպորտի համար այս մեծությունը կախվում է շարժի սկզբնական աստիճանից ու արտաժաման վազանի վառարարության անկյունի ցանկից:

ստորին էլակում չէ համակարգի կառուցվածքային պարամետրերից, ստանդարտացն. արագության խողովանի երկարությունից:

Рассматриваются вопросы эффективности моторной вспомогательной тормозной системы выхлопного типа, зависящей от величины противодействия, создаваемой в выпускном объеме. Для современных автотранспортных средств эта величина зависит от степени сжатия и угла опережения выпускного клапана двигателя, но не зависит от конструктивных параметров системы, в частности, от длины выпускной трубы.

Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

The efficiency of engine subsidiary brake system of escape type depends on the magnitude of backpressure created in escape volume. For modern motor transport this magnitude depends on compression degree and angle of advance of engine escape valve, and it does not depend on system constructional parameters, in particular, on the length of exhaust pipe.

Table 1. Ref. 5.

Для изменения скорости и полной остановки автомобиля в настоящее время используют пневматические или гидравлические основные (рабочие) тормозные системы. Согласно действующим стандартам [1, 2], автомобили, автобусы и автопоезда некоторых категорий, кроме рабочих и стояночных, должны быть оборудованы также вспомогательными и запасными тормозными системами (абсолютное большинство подвижного состава автомобильного транспорта, имеющего, в частности, карбюраторный двигатель, выпускаемого во многих странах, в том числе и в странах СНГ, не удовлетворяет вышеуказанным требованиям).

Рабочая тормозная система является основной и предназначена для регулирования скорости автомобиля в любых условиях движения. Запасная система используется в случае отказа рабочей системы, а стояночная удерживает неподвижный автомобиль на месте. Вспомогательная тормозная система необходима для поддержания постоянной скорости в течение длительного времени.

На легковых и грузовых автомобилях малой грузоподъемности роль запасной тормозной системы в некоторой степени играет стояночная тормозная система, а роль вспомогательной системы - двигатель автомобиля.

Наибольшее значение для безопасности движения автомобиля имеет рабочая тормозная система. Однако недостатком этой системы является плохая приспособленность фрикционных тормозов рабочей системы к длительному торможению, что является следствием ограниченных возможностей охлаждения тормозов за счет теплоконвекции: данный тормоз обладает тем большей способностью охлаждения, чем больше разница температуры между ним и окружающей средой. С другой стороны, чем больше температура тормозного механизма, тем быстрее происходит потеря его эффективности.

Целью работы является исследование влияния конструктивных параметров тормозов-замедлителей на их эффективность.

Конструктивным мероприятием, обеспечивающим высокий уровень эффективности основной тормозной системы и позволяющим эффективное использование тормозных механизмов в любых условиях, является использование в сочетании с рабочей

тормозной системой автомобиля тормоза-замедлителя (вспомогательной тормозной системы). В результате повышается конструктивная безопасность автомобиля и, следовательно, безопасность дорожного движения.

Исследованиям динамики торможения автомобилей и рабочих процессов основных, стояночных и запасных тормозных систем и их элементов посвящены работы [3-4] и т.д. Например, известно [3], что предельное теоретическое значение противодавления $P_{\text{д}}$ вспомогательной тормозной системы выхлопного типа определяется по формуле

$$P_{\text{д}} = P_{\text{д}} [1 + (\varepsilon - 1)(1 - \beta/180)], \quad (1)$$

где $P_{\text{д}}$ - предельное противодавление; P - атмосферное давление в данный момент на данной высоте над уровнем моря; ε - степень сжатия двигателя; β - угол опережения выпускного клапана.

Влияние указанных параметров вспомогательных тормозных систем на их эффективность, а также конструктивные особенности этих систем нуждаются в дальнейшем изучении.

Ряд авторов [4] считает, что значение установившегося противодавления зависит от диаметра дроссельной заслонки. Стендовые испытания двигателя КамАЗ-740, (табл.) показывают, что тормозная мощность в 145 л.с. на оборотах $n=2000 \text{ мин}^{-1}$ обеспечивается заслонкой моторного тормоза диаметром $D=70.5 \text{ мм}$, при этом противодавление в системе выпуска равно $2.2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ [4]. Стендовыми испытаниями двигателя ЗМЗ-672, оборудованного вспомогательной системой идентичного типа [5], доказано, что величина установившегося противодавления не зависит от объема выпускного тракта замедлителя (объем от фланца выпускного коллектора до заслонки замедлителя).

Очевидно, с увеличением диаметра дроссельной заслонки увеличивается и объем выпускного тракта. Но этот объем не влияет на противодавление. В этом нетрудно убедиться на основании выражения (1).

Таблица

Диаметр дроссельной заслонки, мм	Обороты коленчатого вала, мин^{-1}	Противо- давление, $\times 10^5 \text{ Па}$
70.3	1800	1,20
	2200	1,60
	2600	2,00
70.5	1800	1,75
	2200	2,25
	2600	2,20
71,0	1800	2,20
	2200	2,50
	2600	2,60

Необходимо отметить, что объем выпускного тракта моторного тормоза или вспомогательной тормозной системы изменяется при изменении как диаметра выпускного трубопровода или заслонки, так и длины всего тракта.

Предположим, что объем выпускного тракта моторного тормоза составляет V_B м³. Для простоты расчетов принимаем, что при торможении вспомогательной системой с момента возникновения установившегося противодавления P_B процесс в дросселирующих газах происходит изотермически. В объеме V_B противодавление P_B создается после некоторых выпусков N , количество которых можно определить по выражению

$$N = \frac{\Delta P V_B}{P_a V_n} \quad (2)$$

где $\Delta P = P_B - P_a$, Па; V_n - объем одного цилиндра двигателя, м³.

Для четырехтактного двигателя время t , в течение которого происходит N -е количество выпусков, равно

$$N = \frac{1}{2} \left(\frac{n}{60} \right) n_u t \quad (3)$$

или

$$t = \frac{120 \Delta P V_B}{P_a V_n n} \quad (4)$$

где n - частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹; $V_n = V_B n_u$ - рабочий объем двигателя, м³; n_u - количество цилиндров двигателя.

Принимая, что фронт противодавления распространяется со скоростью звука V_1 и проходит длину L трубопровода за время t' , можно определить указанную длину (при $t' \ll t$):

$$L \ll \frac{120 \Delta P V_B V_1}{P_a V_n n} \quad (5)$$

Как видно, значение L не имеет влияния на противодавление P_B и на время ее нарастания.

Для разработанной нами конструкции вспомогательного тормоза выхлопного типа автобуса ПАЗ-672 имеем следующие данные:

$$\Delta P = P_B - P_a = 1.4 \times 10^4 \text{ Па}, \quad L = 1.5 \text{ м};$$

$$V_n = 4.25 \times 10^{-1} \text{ м}^3; \quad V_B = 3.4 \times 10^{-1} \text{ м}^3;$$

$n = 1000 \dots 2500$ мин⁻¹ (наиболее употребительный диапазон в режиме торможения).

Подставляя эти данные в выражение (5), получим

$$\text{при } n = 1000 \text{ мин}^{-1} \quad L = 45.7 \text{ м},$$

$$\text{при } n = 2500 \text{ мин}^{-1} \quad L = 18.3 \text{ м},$$

$$\text{т.е. } L = 1.5 \text{ м} \ll 18.3 \dots 45.7 \text{ м}.$$

Таким образом, длина выпускного тракта современных автомобилей с моторным тормозом не влияет на создаваемое

противодавление, т.е. на эффективность вспомогательной тормозной системы.

Однако необходимо отметить следующие обстоятельства [5]:

1. Заслонка может находиться под влиянием температуры выхлопных газов тем больше, чем ближе она установлена к выпускному коллектору.

2. Поскольку время нарастания противодавления в выпускной трубе до максимальной величины должно быть минимальным, объем V_2 не должен быть велик.

3. Оптимальная величина объема вспомогательной тормозной системы моторного (выхлопного) типа может быть определена после исследования времени нарастания противодавления для наиболее употребительного диапазона частот вращения коленчатого вала двигателя при торможении замедлителем (для разработанной нами вспомогательной тормозной системы время нарастания не превышает 0,5...0,9 с [5]).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25478-82. Автомобили грузовые и легковые, автобусы, автопоезда: требования безопасности к техническому состоянию. Методы проверки. Введ. 01.01.84. - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 34 с.
2. Автомобилестроение. Автомобили, прицепы и полуприцепы: Сб. ОСТ 37.001.016-70, ГОСТ 18667-73. - М.: Изд-во стандартов, 1974. - Т.1. - 280 с.
3. Макспетян Г.В. Надежность тормозных механизмов автомобилей. Ереван: Айастан, 1965. - 139 с.
4. Сравнительные испытания вспомогательных тормозных систем автопоезда КамАЗ -5320 и его зарубежных аналогов. Отчет о НИР № 74-820. Инв. № 27. Руководители Парадашвили, Лаптов / ЗИЛ, НАМИ. - Отв. исполн. Мухарский, Осеппуглов и др. - М., 1974. - 121 с.
5. Ерицян Г.С. Повышение эффективности торможения автобусов типа ПА3 с моторным тормозом-замедлителем в горных условиях эксплуатации: Автор. дис. ... канд. техн. наук / МАДИ., 05.05.03. - Защищена 09.02.89, Утв. 12.07.89. - Ереван, 1984. - 21 с.

ГИУА

30.12.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), г. 1.1, № 2, 1998, с. 149-154.

УДК 685.34.016

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С.С. АРУТЮНЯН

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ОБУВИ

Ստանկվել է կոդիկի սկզբնական փուլում հավաքման տեխնոլոգիաներն իրենցից կառուցվածքի ձևավորման մեթոդիկան և, հաջորդաբար՝ հավաքման որակի վրա ազդող կիմնական գործոնները, կազմվել է գործընթացի մաթեմատիկական մոդելը, որի օգնությամբ

Разработана методика формирования структуры технологического процесса автоматизированной сборки обуви. Составлена математическая модель данного процесса с учетом основных факторов, влияющих на качество сборки. Определены конструкторско-технологические параметры сборочной технической системы.

Ил. 1. Библиогр. 2 назв.

A method of structure forming in the technological process of automated footwear assembly has been developed and a mathematical model has been formed taking into account the factors influencing the assembly quality which can help to define construction development parameters of an assembly engineering system.

Ил. 1. Ref. 2.

Технологический процесс автоматизированной сборки является частью производственного процесса, связанного с качественным изменением объектов производства. Технологические воздействия на объекты сборки сводятся к пространственной компоновке их и созданию замыканий между деталями по зонам сопряжения. Структура сборочной единицы выражает логику ее конструктивно-технологического строения. Под структурой технологического процесса сборки следует понимать пространственно-временную организацию последовательных технологических операций, обусловленную конструкцией изделия. Применительно к автоматизированной сборке под технологическим процессом понимают последовательную автоматическую смену положения объектов сборки в пространстве, обусловленных структурой собираемого изделия, являющегося конечным продуктом рассматриваемого процесса.

Целью настоящей работы является формирование структуры автоматизированного технологического процесса сборки обуви.

В основе системного решения данной проблемы лежит представление о конструкции обуви и технологическом процессе ее производства как системе, состоящей из множества элементов и являющейся единым целым [1]. При этом общей функцией технологического процесса сборки можно считать преобразование исходного материала или полуфабриката в готовую обувь. Это словесное определение технологического процесса сборки можно представить с помощью языка алгоритмического описания систем: $D_0 := \Pi \rightarrow U_f$, где D_0 - множество деталей, полуфабрикатов или узлов, из которых собирают обувь; U_f - конечное состояние (готовое изделие или узел), определяющее собранный узел или обувь; Π - знак преобразования технологической операции сборки обуви; $\rightarrow$ - знак принадлежности; $\rightarrow$ - знак стремления.

Функция процесса сборки обуви осуществляется путем последовательного многоуровневого синтеза изделия из узлов или множества деталей. Разделение технологического процесса сборки на несколько уровней, и в каждом уровне на составные части,

приводит к соответствующему разделению общей функции процесса на отдельные подфункции.

Так, в предыдущей записи функции всего технологического процесса сборки $D_0 P U_T$ преобразование $D_0 P$, в свою очередь, разделяется на ряд подфункций:

$$\Phi(D, P) = D_0 P_1, D_1 P_2, D_2 P_3, \dots, D_{n-1} P_n U_T,$$

где функция Φ разделяется на подфункции преобразования детали из любого промежуточного состояния в последующее. В записи $\Phi(D, P)$ показано, что из начального состояния D_0 деталь с помощью операции P_1 переводится в состояние D_1 , далее из состояния D_1 с помощью операции P_2 - в состояние D_2 , и так до тех пор, пока не будет достигнута цель данного уровня технологического процесса и полуфабрикат не перейдет в состояние U_T (готовое изделие).

Таким образом, составляем описание всех уровней процесса сборки $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$. Это описание функции является частью математической модели технологического процесса сборки обуви.

$$\Phi_1 = D_0 P_1 \rightarrow U_1,$$

$$\Phi_2 = D_1 P_2 \rightarrow U_2,$$

$$\Phi_n = D_{n-1} P_n \rightarrow U_T.$$

Необходимое число уровней расчленения от Φ_1 до Φ_n определяется с помощью схемы технологического процесса сборки и зависит от числа зафиксированных свойств $D_0, \dots, D_n$ обуви.

Технологические процессы каждой стадии (уровня) сборки формируют конструктивные $k_1, k_2, \dots, k_n$ и технологические $T_1, T_2, \dots, T_n$ параметры объектов сборки. Указанные параметры рассматриваются как результат функционирования производственных систем (техника, материал, исполнитель), реализующих процесс, и их можно интерпретировать как некоторые функции времени: $k(t_1), k(t_2), \dots, k(t_n), T(t_1), T(t_2), \dots, T(t_n)$.

Технологический процесс автоматизированной сборки низа обуви состоит из отдельных операций сборки стельки с колодкой (прикрепление стельки к следу колодки), простилки со стелькой (прикрепление простилки), подошвы со сформованной заготовкой верха (прикрепление подошвы со следом затянутой на колодке заготовки верха обуви), каблука с подошвой или со следом обуви (прикрепление каблука с подошвой или со следом). Каждая из вышеуказанных операций состоит из переходов, которые рассматриваются нами как микроэлементы или микропроцессы автоматизированной сборки, как, например, "подача объекта на сборочную позицию", "установка объекта относительно технологических баз", "захватывание и перенос объекта", "ориентирование объекта", "сопряжение объектов", "фиксация в требуемом положении", "скрепление объектов друг к другу" и т.п. Каждому из этих микроэлементов соответствует определенная процедура его достижения [2]. Структурная схема сборки низа с

верхом обуви (рис.) показывает, что на нулевой стадии сборки осуществляется выбор и установка колодок $k = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ (m - фасон колодки, n - номер колодки) под воздействием множества технологических микропроцессов (элементов подбора, фиксации и базирования колодки на подвижных площадках) $\Pi_T^0 = \{\Pi_{T_1}^0, \Pi_{T_2}^0, \dots, \Pi_{T_P}^0\}$ (P - число технологических микропроцессов) с фиксацией колодки относительно исходных базовых осей (поверхностей), определяемой параметрами установки.

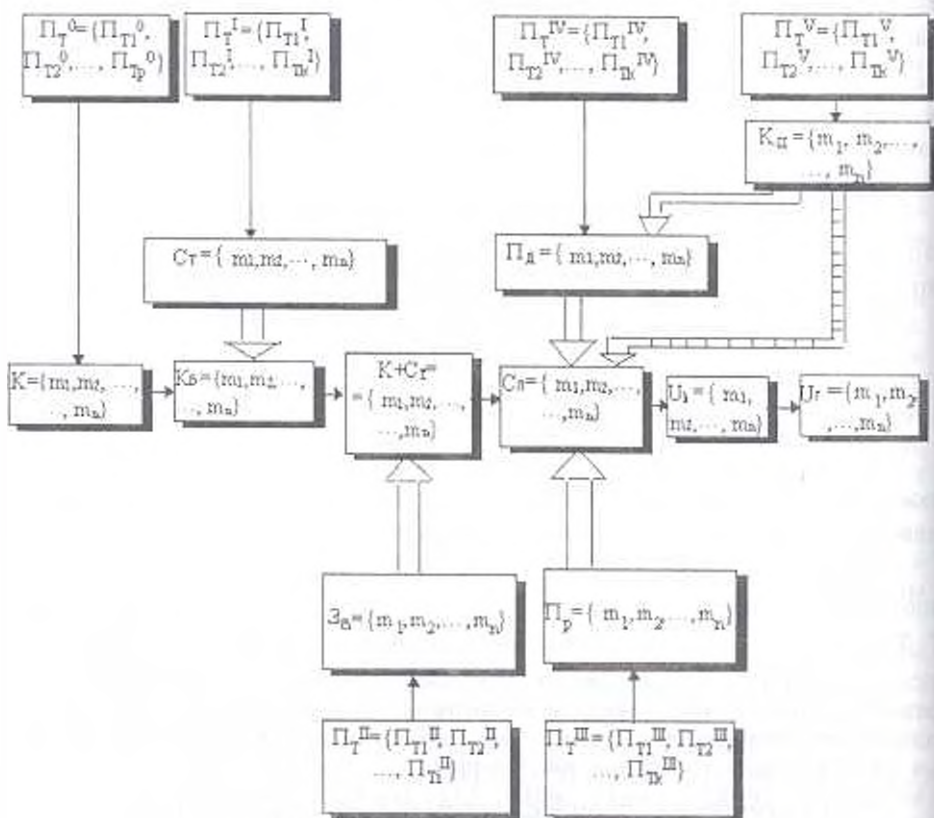


Рис. Структурная схема автоматизированной сборки обуви

На первой стадии сборки под воздействием множества технологических микропроцессов $\Pi_T^I = \{\Pi_{T_1}^I, \Pi_{T_2}^I, \dots, \Pi_{T_k}^I\}$ (k - количество технологических микропроцессов на стадии I) стельки $C_1 = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ прикрепляются (Π_k) к следу фиксированной (базированной) колодки, в результате получается сборочная единица $KC_T = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ (колодка + стелька).

На второй стадии под воздействием обтяжно-затяжных и формующих элементов: $\Pi_T^{II} = \{\Pi_{T_1}^{II}, \Pi_{T_2}^{II}, \dots, \Pi_{T_n}^{II}\}$ (i - количество операций формования заготовки) производится формование (Φ)

заготовки верха обуви $Z_n = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ на колодке со стелькой (KC_T) с получением сформованного следа затянутой обуви $C_d = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$.

На третьей стадии под воздействием технологических элементов $\Pi_T^{\text{III}} = \{\Pi_{T1}^{\text{III}}, \Pi_{T2}^{\text{III}}, \dots, \Pi_{Tn}^{\text{III}}\}$ осуществляется накладка и прикрепление простилки $\Pi_p = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ со следом сформованной обуви.

На четвертой стадии под воздействием $\Pi_T^{\text{IV}} = \{\Pi_{T1}^{\text{IV}}, \Pi_{T2}^{\text{IV}}, \dots, \Pi_{Tn}^{\text{IV}}\}$ осуществляется накладка обработанных подошв $\Pi_d = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ на след обуви, а на пятой стадии — накладка и прикрепление каблука $K_n = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ на ходовую поверхность подошвы (Π_d) или на след обуви (C_d) под воздействием технологических элементов $\Pi_T^{\text{V}} = \{\Pi_{T1}^{\text{V}}, \Pi_{T2}^{\text{V}}, \dots, \Pi_{Tn}^{\text{V}}\}$.

Стадии III, IV и V могут выполняться одновременно, если в процессе сборки используются формованные подошвы (подошва с каблуком и простилкой, полученная методом литья или горячей вулканизации).

После пятой стадии получается готовое изделие на колодке

$$U_k = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}.$$

Под воздействием технологической операции $\Pi_k = \{\Pi_{k1}, \Pi_{k2}, \dots, \Pi_{kn}\}$ осуществляется съем обуви с колодки, в результате получается готовое изделие (готовый низ обуви).

В символической форме технологический процесс сборки низа обуви может быть представлен в виде

$$\begin{aligned} & (\{\Pi_T^{\text{I}}\} : \{k\} \rightarrow \{k_R\}) \cup (\{\Pi_T^{\text{I}}\} : \{C_T\} \rightarrow \{k + C_T\}) \cup (\{\Pi_T^{\text{II}}\} : \{Z_n + KC_T\} \rightarrow \\ & \rightarrow \{C_d\}) \cup (\{\Pi_T^{\text{III}}\} : \{\Pi_p\} \rightarrow \{C_d + \Pi_p\}) \cup (\{\Pi_T^{\text{IV}}\} : \{\Pi_d\} \rightarrow \{C_d + \Pi_p + \Pi_d\}) \cup \\ & \cup (\{\Pi_T^{\text{V}}\} : \{K_n\} \rightarrow \{U_k\}) \cup (\{\Pi_k\} : \{U_k\} \rightarrow \{C_T\}) \dots \end{aligned}$$

Выполнению каждой технологической операции предшествуют манипуляционные движения рук рабочего. Он вручную снимает полуфабрикат (деталь, узел) с машины, контролирует качество выполненной операции, возвращает полуфабрикат на конвейер, берет с конвейера необработанный полуфабрикат, устанавливает его в машину для обработки, а иногда удерживает его во время обработки, либо участвует в выполнении технологической операции: ориентирует деталь относительно рабочих органов машины, перемещает, направляет и транспортирует полуфабрикат. Исходя из перечисленных функций, выполняемых рабочим, можно сделать вывод, что технологический поток (конвейер) с его расчлененными операциями (стадии сборки) является объектом автоматизации. Главная роль средств роботизации на операционном участке сборки — это взаимодействие с потоком, установка деталей в исполнительные органы машины в строго ориентированном положении и обратно. Технологический процесс сборки характеризуется со стороны целостности — как обособленная часть

производственного процесса, связанная с другими его подсистемами: со стороны функции - как процесс изменения положения объектов в пространстве и изменения его формы; со стороны структуры - как совокупность взаимосвязанных операций, потоков, переходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров В.П., Закарян О.С. Проектирование процесса производства обуви. М. Легкая индустрия, 1985. - 313 с.
2. Арутюнян С.С. Математическая модель автоматизированного процесса сборки обуви // Сб. науч. тр. межевз. науч.-техн. конф. / ГПИ. - Гюмри, 1994. - С. 11-14.

Гюмрийский образовательный
комплекс ГИУА

10.12.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1998, с. 154 - 160.

УДК 621.762:621.78:620.222

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Н.В. МАНУКЯН, С.Г. АГБАЛАН., Г.Х. КАРАПЕТЯН, С.А. АССИЛА

ИЗНОСОСТОЙКИЙ АНТИФРИКЦИОННЫЙ ПОРОШКОВЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Fe-Mo համաձուլվածքի հիմքով մշակվել են հակաշփական նշանակության միասնական չոր փոշեկույթեր, որոնք անեն եռափուլ կառուցվածք և զուգակցում են ամրացման լուծված և ինտերմետալական մեխանիզմները: Հաստատվել է, որ մշակված նյութն իր արդյունավետության, ամրության և ջերմաֆիզիկական հատկություններով անկիսայտորեն վերազանցու է հույսերի հակաշփական նշանակության փոշեկույթերին: Հետազոտվել է միսմաք և ծերացմամբ մշակված համաձուլվածքի ամրացման գործընթացը:

Разработаны принципиально новые порошковые материалы антифрикционного назначения на основе сплавов Fe-Mo, имеющих трехфазные структуры и сочетающих растворный и интерметаллидный механизмы упрочнения. Установлено, что триботехнические, прочностные и теплофизические свойства разработанных материалов существенно превышают свойства известных порошковых материалов антифрикционного назначения. Исследованы процессы упрочняющей обработки разработанных сплавов, включающие закалку и старение.

Ил. 4. Библиогр.: 7 назв.

Principally new powdery materials have been worked out for antifriction usage on the basis of Fe-Mo alloys having three-phase structure and containing soluble and intermetal mechanisms of strengthening. It is stated that tribotechnical, durable and heat-physical properties of materials worked out greatly exceed the properties of the known powdery materials for antifriction application. The process for strengthening the treatment of worked out alloys including hardening and aging has been studied.

Ил. 4. Ref. 7.

Основной причиной выхода из строя пористых деталей машин является схватывание, возникающее при достижении внешней

нагрузки или скорости скольжения критических величин. Это объясняется тем, что пленка смазочного материала либо разрушается, либо выгорает. Кроме того, наблюдается фильтрация смазки через поры, что существенно снижает гидродинамическое давление в зоне трения и тем самым - несущую способность материала. В местах контакта возникают также температурные зоны, которые вызывают локальное разупрочнение и разрушение. К этому следует добавить, что структурная пористость резко снижает теплопроводность, а сами поры, являясь концентраторами напряжений, вызывают ускоренный износ.

Согласно молекулярно-механической теории трения [1], внешнее трение осуществляется с минимальной работой в случае, когда прочность адгезионной связи между контактируемыми поверхностями меньше прочности нижележащих поверхностных слоев, т.е. когда имеет место положительный градиент механических свойств по глубине. В этом случае вся деформация при трении будет сосредотачиваться в тонком поверхностном слое, предотвращая его от катастрофического разрушения и глубинного вырывания. В связи с этим в подшипниках скольжения широкое применение находят твердые смазки (сульфиды, селениды, фториды, фосфиды и т.д.), которые образуют на поверхности трения защитные пленки (вторичные структуры) и сохраняют работоспособность узлов трения в возможно большем диапазоне скоростей и нагрузок, в том числе и экстремальных [2].

Целью исследования является разработка технологии получения износостойких антифрикционных порошковых материалов на основе железа для работы в узлах сухого трения. Необходимость в этом вызвана не только требованиями современной техники, но и технологическими особенностями производства (машины с узлами трения, работающие в пищевой и легкой промышленности).

В качестве типичного представителя трехфазных сплавов нами исследована система Fe-Mo с содержанием 5-30% Mo. Такие сплавы, как известно, обладают дисперсионным твердением, что дает возможность для формирования третьей фазы (твердые частицы) в структуре материала. Следовательно, сплав FeMo-MoS₂ будет иметь трехфазную структуру: первая фаза - матрица, легированная Mo, вторая фаза - MoS₂ (твердая смазка); третья фаза - равномерно распределенные твердые частицы Fe₃Mo₂. В сплавах Fe-Mo-MoS₂ в качестве основы использовался легированный порошок FeMo, который получали восстановлением сложного оксида Fe₂-xMo_xO₃, синтезированного из Fe₂O₃ и MoO₃ с участием NH₄Cl [3].

Комплекс выполненных экспериментально-теоретических исследований позволил разработать технологию получения износостойких порошковых материалов антифрикционного назначения и изделий из них.

Технологический процесс изготовления деталей из трехфазных износостойких антифрикционных порошковых материалов (ИАПМ) микронеоднородной структуры включает: подготовку шихты, прессование, экструзию (или горячую штамповку), механическую и термическую обработку. Учитывая высокую легированность FeMo-сплавов, нагрев под закалку следует производить поэтапно: первый - на воздухе при 620-670 К, второй - в соляной ванне при

1170...1220 K, третий - до температуры заковки. Продолжительность выдержки определяется из расчета: при 670 K - 10...15, при 1170K - 25...35, при температуре заковки - 30...40 с/мм диаметра или толщины заготовки. Процесс охлаждения заготовок в зависимости от температуры заковки до 670...770 K должен быть ускоренным с целью предупреждения выделения μ -фазы (Fe_3Mo_2). Следовательно, заготовки целесообразно закалывать в расплаве соли KNO_3 или NaNO_3 при 670...770 K, а затем в струе воздуха.

Оптимальную температуру старения устанавливают с помощью кривых внутреннего трения. Высокая чувствительность этого метода обеспечивает получение в процессе старения более точной информации о структуре материала, по сравнению с традиционными методами. Теоретически и экспериментально доказано [4], что величина пиков кривых внутреннего трения находится в зависимости от количества выделенных при старении частиц в структуре сплавов. С увеличением их количества возрастают значения пиков кривых, что объясняется уменьшением подвижности дислокаций из-за тормозящего действия выделенных частиц.

Процесс старения состоит из четырех стадий (рис. 1). В первой стадии (<670 K) каких-либо существенных изменений в структуре материала не происходит. Во второй стадии (670...870 K) наблюдается интенсивный рост пиков кривых внутреннего трения. В данном температурном интервале за счет распада твердого раствора формируются стабильные зародыши твердых частиц. В третьей стадии (870...970 K) значения пиков остаются постоянными, т.е. новые зародыши не образуются, но происходит рост сформировавшихся зародышей. В четвертой стадии (>970 K) размеры выделенных частиц увеличиваются и с повышением температуры растворяются в основе (матрице), что приводит к снижению пиков кривых внутреннего трения.

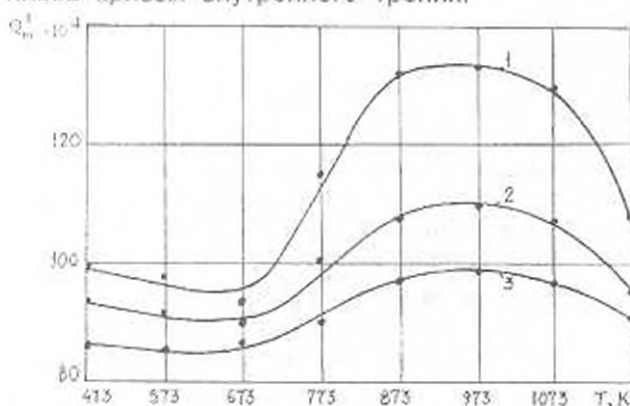


Рис. 1. Зависимость высот пиков внутреннего трения от температуры старения: 1 - Mo=10%, 2 - Mo=15%, 3 - Mo=25%

Сравнение кривых 1-3 показывает (рис. 1), что повышение концентрации твердого раствора не влияет на механизм процесса старения, но при этом значительно возрастает скорость выделения частиц во второй стадии, уменьшается инкубационный период первой стадии. Подобные изменения объясняются увеличением

внутренних напряжений в структуре материала и их влиянием на процесс старения. Оптимальная температура старения сплавов FeMo-MoS₂ составляет 920⁻¹⁰ К. При старении сплавов FeMo (Mo>5%) на начальных стадиях образуются тонкодисперсные частицы Fe₃Mo₂, затем количество и размеры частиц увеличиваются. Обработка статистических данных показала, что между средним диаметром выделенной частицы Fe₃Mo₂ d_{cp} и временем старения t имеется степенная зависимость:

$$d_{cp} = (aT + \alpha\% \text{ л.э.}) t^{1/3}.$$

Расчетная величина (d_{cp}) отличается от экспериментальной не более, чем на 8...12% (рис. 2).

Для оценки механизма старения сплавов Fe-Mo-MoS₂ изучались закономерности изменения их механических свойств. Поскольку размер частиц выделений весьма мал, предел текучести возрастает [5]:

$$\sigma_T = a f^{1/3} / (0,82 - f^{1/3}) + \sigma_0,$$

где a - постоянная; σ_0 - предел текучести до старения; f - объемная доля третьей фазы.

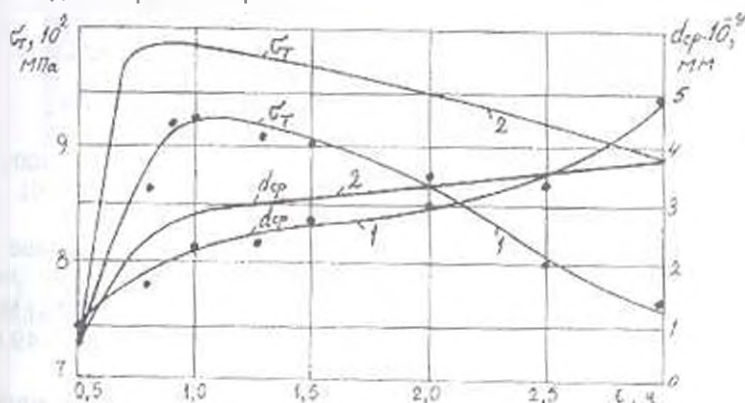


Рис. 2. Экспериментальные (1) и расчетные (2) значения размеров твердых включений и предела текучести в зависимости от продолжительности старения ($T=920$ К)

Экспериментальные и расчетные значения предела текучести в зависимости от продолжительности старения для сплава FeMo+MoS₂ (рис.2) показывает, что в обоих случаях сохраняется та же закономерность, т.е. предел текучести приблизительно пропорционален кубическому корню из объемной доли выделившейся фазы. С развитием старения выделившиеся частицы укрупняются. В некоторый момент частицы, которые вначале были когерентны с матрицей, утрачивают это свойство, и эффективная объемная доля выделений уменьшается. Сплавы FeMo в процессе старения приобретают максимальные прочностные свойства при температуре 650⁻¹¹ С и выдержке 30...45 мин. Как видно из микроструктуры трехфазных ИАПМ (рис. 3), во всех сплавах вторая фаза располагается по границам зерен матрицы. Третья фаза

распределяется как в объеме матрицы, так и по границам зерен. Мелкозернистость фаз и их равномерное распределение обеспечивается экструзией. Экструдированные "трехфазные материалы" не имеют упорядоченной структуры (рис. 3а), а после закалки становятся однофазными (рис. 3б). Только после старения они приобретают окончательную трехфазную структуру. Микрофотографии распределения дисперсных частиц Fe_3Mo_2 в матрицах трехфазных ИАПМ (рис. 3в) сняты на электронном микроскопе РЭМ-200. Размеры частиц колеблются в пределах $(0,5 \dots 5,0) \cdot 10^{-6}$ м: они когерентно связаны с матрицей, т.е. α -Fe. Размеры и распределение этих интерметаллических включений соответствуют критическим размерам частиц, обеспечивающих максимальную износостойкость. Объемное содержание частиц зависит от количества легирующих элементов в сплавах, а размеры частиц - от температуры и продолжительности старения.



Рис. 3. Микроструктура ИАПМ. а - после закалки и старения (x 400); б - после закалки (x 400), в - выделение частиц Fe_3Mo_2 (x15000)

Результаты фазовых анализов подтвердили, что в сплаве Fe-Mo-MoS₂ частично формируются фазы (FeMo)S с $d=0,202$ нм и $(\text{FeMo})\text{S}_2$ с $d=0,295$ нм. В трехфазных сплавах FeMo+MoS₂ интерметаллическое соединение Fe_3Mo_2 (Fe=51,0%, Mo=49,0%) имеет микротвердость $H_{\mu}=(10 \dots 12) \cdot 10^4$ МПа.

Микрорентгеноспектральный анализ показал равномерное распределение элементов по объему. Этого и следовало ожидать, так как при получении этих сплавов были использованы легированные порошки. Разработанный материал отличается высокими механическими свойствами, особенно ударной вязкостью ($KC=40$ Дж/см²). Прочность и твердость составляет $\sigma = 1100$ МПа и 58 НРС. У аналогичных стандартных материалов: $\sigma_{\text{н}} < 400$ МПа и $HV < 2000$ МПа. Важной характеристикой ИАПМ является теплопроводность. Известно, что теплопроводность антифрикционных материалов низка и колеблется в пределах $(0,02 \dots 0,03) 418,7$ Вт/(м·К). Повышенная теплопроводность $(26,58 \text{ Вт/(м·К)})$ сплава объясняется отсутствием структурной пористости.

Как показывают результаты экспериментов по исследованию триботехнических характеристик (рис. 4), испытуемый материал имеет малый коэффициент трения ($f=0,01 \dots 0,005$) и большую износостойкость ($I_{\text{н}}=3 \dots 10$ мкм/км $\cdot 10^{-2}$) при $a=10 \dots 20$ МПа и $V=0,5 \dots 10$ м/с. Просматриваются три характерных участка (рис. 4):

первый - инкубационный, второй - стационарный, соответствующий нормальному режиму работы узла трения, третий - повреждаемости, обусловленный возникновением патологических процессов (явления схватывания и др.). Нормальный режим характеризуется стабильным коэффициентом трения и оптимальным износом.

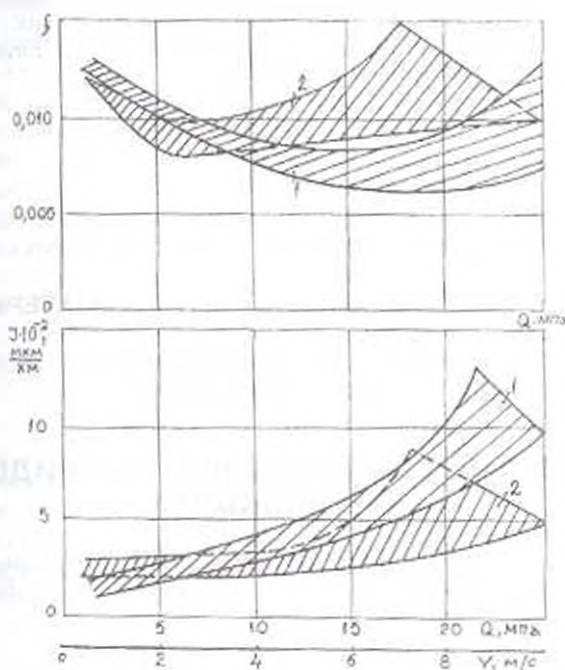


Рис. 4. Фрикционные свойства трехфазных ИАПМ в условиях граничного трения в зависимости от нагрузки (1, $V=1$ м/с) и скорости скольжения (2, $P=10$ МПа)

При граничном трении высокими антифрикционными свойствами обладают как пористые, так и беспористые ИАПМ. Однако при скоростях скольжения больше 6 м/с предпочтительны беспористые ИАПМ.

Таким образом, разработанные ИАПМ по своим фрикционным свойствам и работоспособности значительно превосходят известные антифрикционные [6] и композиционные материалы с макроструктурой [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерягин Б.В. Молекулярная теория трения и скольжения // ЖФХ. - 1934 - Т. V, вып. 9. - С. 1165-1176.
2. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. - Киев: Наукова думка, 1980. - 403 с.
3. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии. - Ереван: Айастан, 1986. - 231 с.

4. Келли А., Николсон Р. Дисперсионное твердение, - М. Металлургия, 1966. - 326
5. Бокштейн С.З. Структура и механические свойства легированной стали. - М. Metallurgizdat, 1952. - 368 с.
6. Мошков А.Д. Пористые антифрикционные материалы - М. Машиностроение 1968. - 208 с.
7. Заболотный Л.В., Мамикин Э.Т. Влияние состояния поверхности на предельное давление схватывания металлокерамических антифрикционных материалов // Повышение износостойкости и срока службы машин: Тез. докл. - Киев, - 1966. - Т. 3. - С. 43-48.

ГИУА

05.02.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 2, 1998, с. 160-164

УДК 669.2/8:531.1

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В.А. МАРТИРОСЯН, А.Р. МАЧКАЛЯН, М.Э. САСУНЦЯН,
М.А. СИРАКАНЯН

КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХЛОРИДОВ МЕДИ ВОДОРОДОМ

Անալիզարենք է պղնձի սոսքորիդի և երկրորդի քլորիդի քլորիդի վերականգնման կինետիկան իզոթերմական պայմաններում: Որոշված են դիսպերս պղնձափոշու ստացման պարամետրերը:

Изучена кинетика восстановления хлорной и хлористой меди водородом в изотермических условиях. Установлены параметры восстановления, обеспечивающие получение тонкодисперсного медного порошка.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Kinetics for copper chloride and chlorine reduction by hydrogen in isothermal conditions has been investigated. Reduction parameters ensuring obtaining fine-dispersive copper powder are established.

Ил. 3. Table 1. Ref. 7.

Процессы восстановления хлоридов меди представляют интерес для порошковой металлургии, химической технологии и ряда других отраслей промышленности. Однако в литературе вопросы изучения кинетики восстановления хлоридов меди водородом освещены недостаточно полно [1]. Имеющиеся экспериментальные данные, главным образом, относятся к хлоридам других металлов [1-4].

Целью настоящей работы является исследование кинетики восстановления хлоридов меди водородом. В качестве исходных материалов служили химически чистые реактивы Cu_2Cl_2 и Cu_2Cl_2 , которые получали путем просушивания дигидратов хлоридов меди ($\text{Cu}_2\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Cu}_2\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) при температуре 375...425 K в потоке хлористого водорода [4]. Исследования проводили на установке

проточного типа. Количество хлористого водорода определяли титрованием щелочью. Скорость газа и температуру во время опыта поддерживали постоянными. Предварительными опытами установлено, что при скоростях газового потока выше 0,1 л/мин влияния внешней диффузии не обнаруживалось. В этой связи эксперименты проводили при 0,1 л/мин, что соответствует времени контакта 20...80 с в температурном интервале 573...973 К. Зависимости степени восстановления хлоридов меди водородом установлены в изотермических условиях в температурном интервале 573...973 К при различной продолжительности опытов. Содержание водорода в реакционной газовой смеси составляло 100%.

Определено влияние температуры и продолжительности опытов на скорость восстановления хлоридов меди водородом (рис. 1). Как видно, характер восстановленных процессов идентичен, различие лишь в количественной оценке. Процесс протекает с заметной скоростью в течение 15...30 мин, затем скорость восстановления заметно падает. Активация процессов ярче выражена для хлорной меди (рис. 1а), чем для хлористой (рис. 1б). Так, если за 30 мин при 673 К степень восстановления хлористой меди составляет всего 45%, а при 973 К - 90 %, то для хлорной меди соответственно имеем 52% и 99%. Дальнейшее замедление скорости реакции связано с уменьшением реакционной поверхности, что является следствием расхода навески. Поверхность внешнего слоя твердых хлоридов меди составляет примерно 100 мм². В обоих случаях медный порошок получается при более низких температурах (~773 К) и продолжительности 1 ч.

Для кинетического анализа процесса восстановления хлоридов меди водородом использовали уравнение [5]:

$$\alpha = 1 - e^{-k_1 t^n}, \quad (1)$$

где α - доля вещества, прореагировавшего за время t ; k_1 , n - постоянные, трактовка которых дана в [6].

Полученные экспериментальные данные хорошо укладываются на прямые в координатах $\lg[-\lg(1-\alpha)] - \lg t$, что свидетельствует о применимости уравнения (1) для описания процесса. В случае Cu_2Cl_2 линии состоят из двух ветвей. Процесс восстановления хлорной меди протекает по двум стадиям с образованием хлористой меди, точка плавления которой лежит в этом же интервале температур. Используя найденные графическим путем величины k_1 и n и уравнение Г.В. Саковича:

$$k_1 = nk_2^{1/n}, \quad (2)$$

выполнен расчет констант скоростей реакции (табл.), зависимость которых от температуры удовлетворительно описывается уравнением типа

$$\lg k_1 = A/T + B. \quad (3)$$

Величины кажущейся энергии активации процессов восстановления для Cu_2Cl_2 и $CuCl_2$ соответственно равны 59,99 и 60,74 кДж/моль для первой стадии и 44,89 кДж/моль для второй стадии.

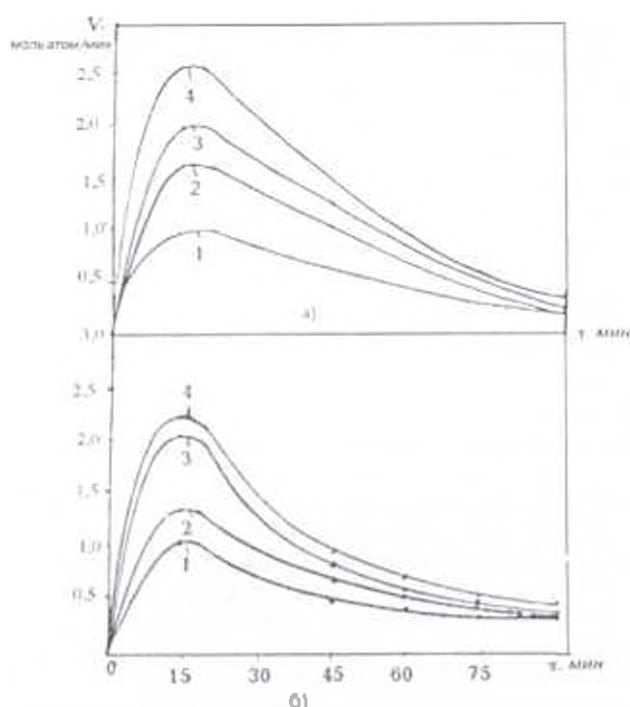


Рис. 1. Зависимость скорости восстановления хлорной (а) и хлористой (б) меди водородом при температурах
1 - 573; 2 - 673; 3 - 773; 4 - 873; 5 - 973 К

Таблица

Зависимости константы скорости (k_c) и n процессов восстановления хлоридов меди водородом от температуры

Стадийность процесса		k_c				n			
Тем-ра. К		673	773	873	973	673	773	873	973
Cu_2Cl_2	I	1,98	1,42	0,94	0,53	0,73	0,96	1,45	1,48
	II	1,78	1,07	0,85	0,53	1,01	1,10	1,50	1,56
Cu_2Cl_4		1,00	0,93	0,46	0,34	0,75	1,01	1,11	1,12

Исходя из значений энергии активации, а также n , можно полагать, что процесс восстановления хлористой меди располагается в кинетической области, а хлорной - в диффузионной. При низкой температуре восстановительная реакция протекает настолько медленно, что ее скорость намного меньше скорости диффузии, т.е. скорость всего процесса определяется химической стадией. С увеличением температуры скорость реакции возрастает, и определяющей стадией становится диффузия. Переход с химического на диффузионный механизм с повышением температуры вызван и другой причиной - образованием пленки на частицах медного порошка, по всей вероятности, Cu_2Cl_2 . Близкие значения кажущейся энергии активации (≈ 60 кДж/моль) в обоих случаях подтверждают, что процессы аналогичны при восстановлении

как хлорной, так и хлористой меди, т.е. восстановление хлорной меди происходит через промежуточную стадию:



Влияние концентрации водорода в газовой фазе на процесс восстановления хлоридов меди весьма существенно. Разбавление водорода осуществляли аргоном при концентрациях водорода 50, 80 и 100% (рис. 2). Заметим, что степень использования водорода составила 5...10%, т.е. во всех опытах имел место существенный избыток водорода. Из графика видно, что увеличение концентрации водорода в газовом потоке способствует значительному возрастанию скорости восстановления хлорной и хлористой меди. Степень восстановления хлористой меди ниже степени восстановления хлорной меди (рис. 2а, б).

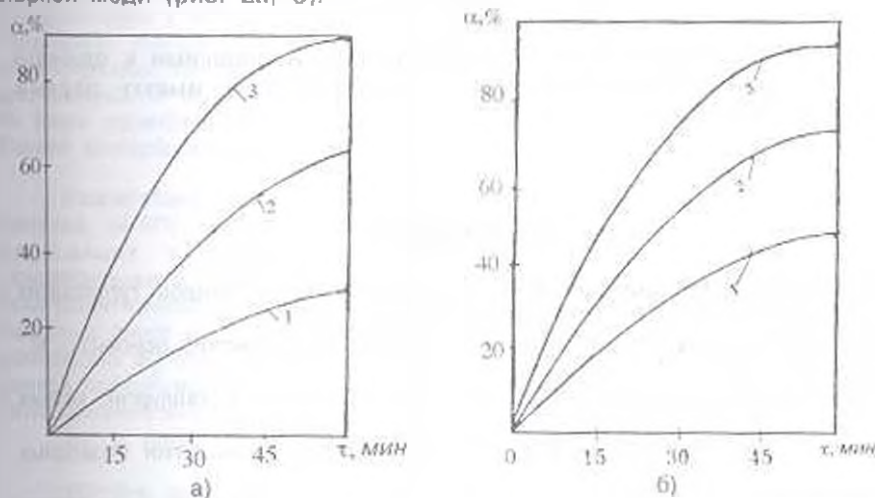


Рис. 2. Зависимость степени восстановления хлористой (а) и хлорной (б) меди от концентрации водорода:
1 - 50%; 2 - 80%; 3 - 100%

Для определения порядка реакции восстановления хлоридов меди водородом использовали уравнение Д.А. Франк-Каменецкого [7]:

$$dm/d\tau = \sqrt{2D'K'C^{n+1}/(n+1)}. \quad (6)$$

В условиях опытов значения D' , K' , относящиеся к определенному соединению, постоянны, в связи с чем скорость реакции зависит только от концентрации хлора у поверхности. Поскольку в условиях эксперимента внешняя диффузия не лимитировала процесс в целом, концентрация водорода у поверхности может быть принята равной концентрации его в объеме. Тогда выражение (6) можно записать в следующем виде:

$$dm/d\tau = v = P'\sqrt{c^{n+1}}, \quad \lg V = P + (n+1)\lg C/2, \quad (7)$$

где P' , P - константы.

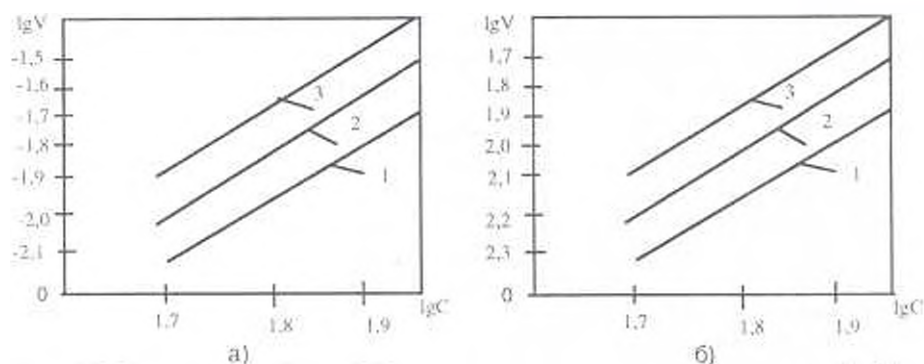


Рис. 3. Зависимость $\lg V$ от $\lg C$ для процесса восстановления хлорной (а) и хлористой (б) меди при концентрациях водорода: 1 - 50%; 2 - 80%; 3 - 100 %

Значения m для обоих случаев оказались близкими к единице (рис. 3), т.е. реакции восстановления хлоридов имеют первый порядок по водороду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев Ю.М., Столяров В.И. Восстановление фторидов тугоплавких металлов водородом. - М.: Металлургия, 1981. - 180 с.
2. Хабаши Ф. Основы прикладной металлургии (теоретические основы). - М.: Металлургия, 1975. - Т 1. - 380 с.
3. Коршунов Б.Г., Степанюк С.Л. Введение в хлорную металлургию редких элементов. - М.: Металлургия, 1970. - 295 с.
4. Фурман А.А., Рабовский Б.Г. Основы химии и технологии безводных хлоридов. - М.: Химия, 1970. - 412 с.
5. Ерофеев Б.В., Соколова Н.К. Таблицы для расчетов по топохимическому уравнению // Изв. АН БССР, 1963. - 58 с.
6. Белькевич П.И., Ерофеев Б.В. // Изв. АН БССР. - 1952. - № 5. - С. 162-165.
7. Франк-Камсенецкий Д.А. Диффузия в твердых телах. - М.: -Л.: Изд. АН СССР, 1947. - 450 с.

ГИУА

17.06.1997

Ж.Р. ПАНОСЯН, А.О. АРАКЕЛЯН, Е.В. ЕНГИБАРЯН,
С.Е. БЕРБЕРЯН

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Մշակված է արդյունավետ ֆոտոէլեկտրական վահանակների (ՖԷՎ) պատրաստման տեխնոլոգիա, որը թույլ է տալիս նվազեցնել ՖԷՎ-երի զարգացման և պատրաստման ծախսերը որոշ գործընթացների դերը: Նախատվել է ստանալ ֆոտոէլեմենտների եկամտաբերական լարերի հոսանքի հարմար և նրանց պիտանքայինը հաղցնել նվազագույնի: Նոսանքային լարերի նախապատրաստման համար պատրաստվել է սարքավորում, որը հնարավորություն է տալիս կտրուկ ավելացնել այդ գործընթացի արտադրողականությունը: Պաշտպանիչ շերտերի համար ընտրվել են լազարոված պարաֆենիլենով ներքին և տեխնոլոգիական ռեժիմներ: ՖԷՎ-երի չափված ֆոտոէլեկտրական պարամետրերի հիման վրա կատարվել են օգոյի ինժեներներ: Մշակված տեխնոլոգիայի օգնությամբ պատրաստվել են բարձր արդյունավետությամբ ՖԷՎ-ներ, որոնք իրենք վրա կառուցվել են մի շարք Արևային ֆոտոէլեկտրակայաններ:

Разработана технология изготовления эффективных фотоэлектрических панелей (ФЭП), позволяющая уменьшить роль некоторых процессов, приводящих к потерям мощности. Изготовлена установка для предварительной подготовки шин, дающая возможность резко увеличить производительность процесса. Выбраны соответствующие материалы для защитных слоев и технологические режимы их использования. На основании измеренных фотоэлектрических параметров рассчитаны КПД ФЭП. С помощью данной технологии изготовлены ФЭП с высокой эффективностью и солнечные фотоэлектрические станции.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

Effective solar photovoltaic panel (PVP) production technology has been developed. It permits to decrease the influence of some processes reducing the power of PVP. A device for preliminary wire production enabling to increase abruptly the productivity of the process has been made. Suitable material for protective layers and technological conditions for their application has been chosen. On the basis of measured photoelectrical parameters PVP efficiency has been calculated. This technology helps to produce effective PVP and solar photoelectric stations.

1/1. 2. Ref. 5.

Основной частью солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) являются фотоэлектрические панели (ФЭП) [1], эффективность которых может быть ограничена некоторыми процессами, приводящими к потерям производимой энергии [2, 3]. Часть рассматриваемых потерь обусловлена параметрами материала фотоэлементов (ФЭ), наличием внутренних электрических полей, а также структурными особенностями, формирующимися при производстве ФЭ. Потери мощности ФЭП могут быть обусловлены также контактным сопротивлением токосъемных проводников ФЭ, схемой их соединения, свойствами и технологией изготовления защитных слоев. Известно, что для герметизации ФЭ при изготовлении ФЭП используют стекло и этилвинилацетатный (ЭВА)

клеи, имеющие высокую оптическую пропускаемость и долговечность [4, 5]. Отметим, однако, что при использовании стекла с гладкой поверхностью возникают некоторые потери падающего на ФЭ солнечного излучения ввиду оптического отражения.

Целью данной работы является поиск и разработка технологических режимов изготовления ФЭП, приводящих к уменьшению вышеупомянутых потерь.

Разработана технология, где особое внимание уделено уменьшению контактных сопротивлений, повышению надежности контактов, получению гладких поверхностей пайки, а также выбору соответствующих защитных материалов и технологических режимов их изготовления, приводящих к уменьшению отражения света.

Существенной особенностью указанной технологии является разработка новых технологических режимов и использование рельефного защитного стекла для изготовления ФЭП. При этом сначала измеряются фотоэлектрические параметры всех ФЭ, затем проводится их специальная группировка, после чего ФЭ соединяются в одну последовательную электрическую цепочку.

Медные шины, предназначенные для последовательного соединения ФЭ, предварительно покрываются припоем ПОС-61 (с помощью лужения) и специальным флюсом, разработанным на основе канифоли. Причем оптимальная температура пайки определена экспериментально. Отметим, что предварительное лужение шин, использование незначительного количества специального флюса и определение оптимальной температуры пайки существенно повышают надежность и механическую прочность контактов, а также обеспечивают простоту производимых работ и получение гладкой поверхности. Кроме того, предварительная обработка шин уменьшает вероятность выхода из строя ФЭ вследствие тепловых ударов. Как показали измерения, значение последовательного сопротивления контактов R_n , определенное по световым ВАХ ФЭ в области холостого хода, согласно отношению $\Delta U/\Delta I$ составило 0,02 Ом. Это свидетельствует о том, что вышеописанная технология пайки действительно обеспечивает меньшие, по сравнению с [5], потери производимой мощности, обусловленные контактными сопротивлениями.

Учитывая, что одна ФЭП состоит из 36 ФЭ и для ее изготовления расходуется примерно 8 м шин, а для одной СФЭС, в зависимости от ее мощности, могут использоваться десятки ФЭП, становится очевидным, что используется большое количество шин. Поэтому для существенного сокращения объема производимых работ при подготовке контактных шин была разработана и изготовлена соответствующая установка для дополнительного лужения и покрытия флюсом контактных шин. С помощью этой установки в течение часа можно подготовить 150 м контактных шин. Установка (рис. 1) работает следующим образом: с подающего барабана 1 шина входит в ванну 2, покрывается флюсом. Затем при выходе из следующей ванны 3 с помощью лужения припоем ПОС-61 снова покрывается флюсом 2, сушится в сушильной печи 5 и наматывается на барабан 7. Далее контактные шины режутся на отрезки соответствующей длины и припаиваются к ФЭ. Мощности нагревателя 4 и сушильной печи 5 регулируются с помощью тиристорных регуляторов 6.

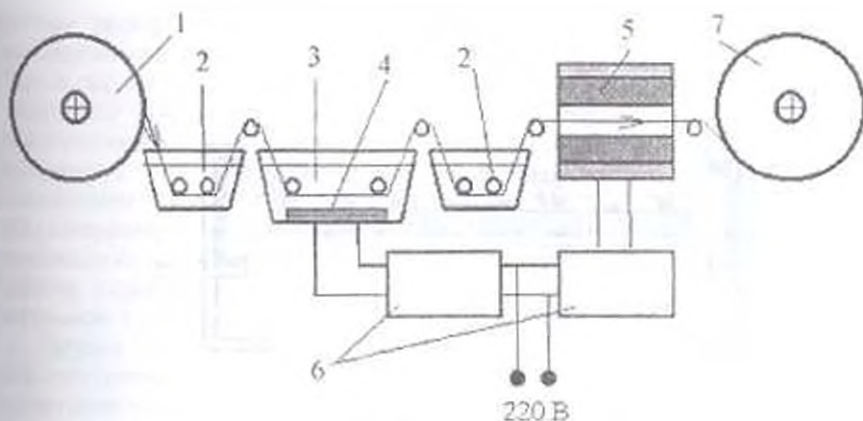


Рис. 1. Структурная схема установки подготовки контактных шин
1 - подающий барабан, 2 - флюс, 3 - припой, 4 - нагреватель,
5 - сушильная печь, 6 - электронный регулятор мощности
нагревателей, 7- наматывающий барабан

ФЭП имеет следующую структурную схему (рис. 2). С помощью установленных шин из кремниевых поликристаллических ФЭ, которые имеют псевдоквадратичную форму размером 100×100 мм² и две токосъемные дорожки длиной 100 мм и шириной 2 мм, составляется последовательно соединенная цепочка 1 из 36 ФЭ (цепочка состоит из четырех столбиков, в каждом из них - 9 ФЭ). Лицевая сторона изготовленной таким образом цепочки ФЭ помещается на защитное стекло 3 между двумя полимерными пленками из ЭВА 4. С тыльной стороны ФЭ (после пленки ЭВА) структура покрывается электроизоляционной пленкой 5, обладающей некоторой механической прочностью. Необходимо отметить, что защитное стекло также имеет высокую механическую прочность, а его коэффициент оптического пропускания в области фоточувствительности кремниевого ФЭ достигает 95%. Лицевая сторона защитного стекла имеет форму мелких пирамид (площадь основания и высота пирамид соответственно равны - 1 мм^2 и 0,5 мм), предназначенных для уменьшения отражения падающего на него света. Кроме того, это дает ощутимое преимущество при наклонном падении солнечных лучей на рабочую поверхность ФЭП, особенно, когда ФЭП установлена неподвижно, т.е. не осуществляется слежение за Солнцем.

Пленка ЭВА имеет высокую устойчивость по отношению к ультрафиолетовой радиации, а оптическое пропускание после ламинирования в области фоточувствительности кремниевого ФЭ составляет 95%. Отметим, что рабочая область температур пленки ЭВА находится в области от -43°C до 85°C , а ее температура плавления составляет -120°C [4].

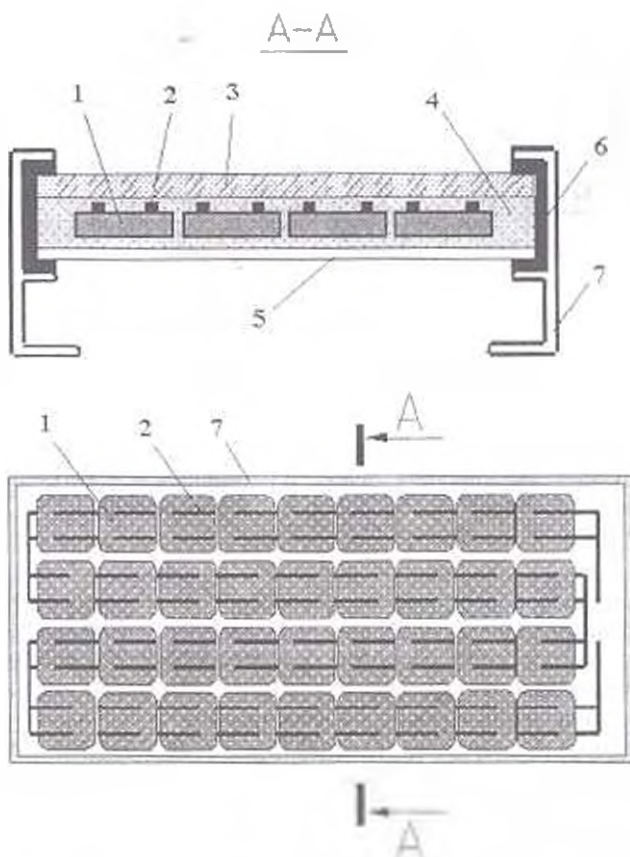


Рис. 2 Структурная схема фотозлектрической панели:
 1 - кремниевые фотоэлементы, 2 - контактные шины, 3 - стекло,
 4 - этилвинилацетатные (ЭВА) пленки, 5 - электроизоляционный
 слой, 6 - резиновый уплотнитель, 7 - алюминиевая рама

Вышеописанная многослойная структура помещается в ламинатор, который имеет строго однородное тепловое поле с площадью - 2 м². Процесс ламинирования происходит следующим образом. Сначала с помощью вакуумного насоса удаляется воздух между слоями данной структуры, одновременно медленно расплавляются пленки ЭВА. Через некоторое время начинается процесс отжима всей многослойной структуры. После завершения процесса ламинирования автоматически открывается камера ламинатора, и происходит медленное охлаждение. В результате получается склеенная со стеклом цепочка из последовательно соединенных 36 ФЭ, которая полностью электроизолирована и защищена от воздействия влаги и окисления.

Неправильный выбор технологических режимов ламинирования ФЭ приводит к недостаточному удалению воздуха из слоев, вследствие чего на ФЭ образуются достаточно большие пузырьки воздуха, которые приводят как к увеличению отражения света, так и к порче специальных поверхностных слоев ФЭ, что в результате уменьшает выходную мощность и сокращает срок службы ФЭП.

Поэтому экспериментально были определены оптимальные режимы ламинирования: время удаления воздуха, отжима и температура, которые затем при производстве ФЭП можно предварительно задать с помощью специальной системы автоматического контроля. После ламинирования полученная герметичная многослойная структура ФЭ помещается в алюминиевую рамку 7 специальной конструкции с резиновыми уплотнителями 6 (рис. 2), что придает ей дополнительную механическую прочность и, кроме того, дает возможность закрепить ФЭП на несущей конструкции. Таким образом, создается фотоэлектрическая панель, предназначенная для длительной (~ 30 лет) эксплуатации с большой надежностью.

После изготовления ФЭП производится контроль их фотоэлектрических параметров и эффективности, а КПД ФЭП рассчитывается по формуле [2, 3]

$$\eta = (P_{\text{max}} [Вт] / W_s [Вт/см^2] S [см^2]) \cdot 100\%,$$

где $P_{\text{max}} = I_{\text{max}} U_{\text{max}}$ (I_{max} и U_{max} - значения тока и напряжения при максимальной мощности ФЭП); S - площадь ФЭП; W_s - мощность солнечной радиации, падающей на ФЭП.

Значения I_{max} и U_{max} определяются по анализу зависимостей мощности, полученной на основании световых ВАХ для каждой ФЭП. Мощность падающей на ФЭП солнечной радиации измеряется с помощью актинометра.

КПД ФЭП, полученных с использованием вышеописанных режимов, составляет 12,5 %. Имея в виду, что КПД используемых ФЭ составляет 13 %, а потеря КПД ФЭП, изготовленных из этих ФЭ, составляет всего 0,5%, можно утверждать, что разработанная технология изготовления ФЭП приводит к минимальным потерям производимой мощности.

Дальнейшее повышение КПД ФЭП, по-видимому, может быть связано только с повышением КПД фотоэлементов.

На базе вышеописанной разработанной ФЭП созданы и в настоящее время весьма успешно эксплуатируются СФЭС, имеющие мощности в пределах от 100 Вт до 5 кВт.

Таким образом, разработанные технологические режимы и использованные материалы для изготовления ФЭП позволили создать достаточно эффективные преобразователи солнечной энергии в электрическую, которые длительно и надежно работают в СФЭС без необходимости особого ухода и суточного слежения за движением Солнца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паносян Ж.Р., Аракелян А.О., Енгибарян Е.В. Использование солнечных фотоэлектрических систем в Армении // Вопросы повышения эффективности системы управления технологическими процессами. Сб. ст. ГИУА. - Ереван - 1966. - С.115-117.
2. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 287 с.
3. Колтун М.М. Солнечные элементы. - М.: Наука, 1987. - 190 с.
4. Pern F.J. Luminescence and a absorption characterization of the structural effects of thermal processing and weathering degradation on Ethylene Vinyl

Acetate (EVA) encapsulant for PV modules // Polymer Degradation and Stability.- 1993 - V.41. - P.125-139.

5. Паносян Ж.Р., Аракелян А.О., Енгибарян Е.В., Торосян Г.Г. Повышение КПД и долговечности фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, № 1. - С.30-36.

ГИУА

27.12.1996

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН) т. 1.1, № 2, 1998, с. 170-178.

УДК 621.311.001

ЭНЕРГЕТИКА

М.Б. АЛЬ-ДАРВИШ

РЕШЕНИЕ Y-Z - ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ МАТРИЦЫ ГЕССЕ С ПОСТОЯННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Առաջարկվում են Y-Z մատրիքի լեմենտների նոր բանաձևեր, որոնք ոչ մեծ թվաքանակի դեպքում կարելի է ընդունել որպես հաստատուններ: Առաջարկված մեթոդն զգալիորեն կրճատում է հաշվողական ծավալը:

Рассматривается решение Y-Z- формы уравнения установившегося режима с помощью метода второго порядка. В результате определенного упрощения устанавливаются новые постоянные выражения для матрицы Гессе.

Библиогр. 4 назв.

The solution of Y-Z - form equation of steady-state conditions with the second order method is viewed. Owing to certain simplification new crystals for Gesse matrix are established.

Ref. 4.

При решении систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) широко применяется метод первого порядка в виде рекуррентного выражения Ньютона-Рафсона с матрицей Якоби [1, 2]. В последние годы для решения указанной задачи применяется также метод второго порядка в виде рекуррентного выражения с матрицей Гессе [3, 4].

Вычислительные эксперименты показывают, что при применении рекуррентного выражения с матрицей Гессе требуется меньшее количество итераций, чем при матрице Якоби. Однако если установление численных значений элементов матрицы Якоби не требует большого объема вычислительных работ, то этого нельзя сказать относительно матрицы Гессе.

Целью настоящей работы является упрощение определения численных значений элементов матрицы Гессе.

Как известно, на основании гибридной Y-Z - матрицы ЭЭС, состоящей из $M+1$ узлов, после выбора соответствующей системы

индексов: $m(n)=1, 2, \dots, \Gamma$, где Γ - число независимых стационарных узлов, и $k(l)=\Gamma+1, \Gamma+2, \dots, \Gamma+N$, где N - число нагрузочных узлов, можно получить следующие две системы нелинейных алгебраических уравнений относительно активных и реактивных мощностей узлов:

$$\begin{cases} P_m = R_m [I_{hm} \hat{U}_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} Y_{mn} \hat{U}_n \hat{U}_m + \sum_{l=\Gamma+1}^M \Lambda_{ml} I_l \hat{U}_m], \\ Q_m = J_m [I_{hm} \hat{U}_m + \sum_{n=1}^{\Gamma} Y_{mn} \hat{U}_n \hat{U}_m + \sum_{l=\Gamma+1}^M \Lambda_{ml} I_l \hat{U}_m], \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_k = R_k [U_{lk} \hat{I}_k + \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{kn} \hat{U}_n \hat{I}_k + \sum_{l=\Gamma+1}^M Z_{kl} I_l \hat{I}_k], \\ Q_k = J_k [U_{lk} \hat{I}_k + \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{kn} \hat{U}_n \hat{I}_k + \sum_{l=\Gamma+1}^M Z_{kl} I_l \hat{I}_k], \end{cases} \quad (2)$$

где $I_{hm} = -\sum_{n=1}^{\Gamma} Y_{mn} U_n$, $U_{lk} = (1 - \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{kn}) U_n$.

Пользуясь полярной формой представления комплексных напряжений:

$$\hat{U}_m = U_m \exp(-j\psi_m), \quad \hat{U}_n = U_n \exp(j\psi_n)$$

и алгебраической формой представления комплексных токов

$$\hat{I}_k = I'_k - jI''_k, \quad \hat{I}_l = I'_l + jI''_l,$$

получим следующие выражения для узлов с индексами $m(n)$:

$$\begin{cases} P_m = P_{hm} + \sum_{n=1}^{\Gamma} U_m [g_{mn} \cos(\psi_m - \psi_n) + b_{mn} \sin(\psi_m - \psi_n)] U_n, \\ Q_m = Q_{hm} + \sum_{n=1}^{\Gamma} U_m [g_{mn} \sin(\psi_m - \psi_n) - b_{mn} \cos(\psi_m - \psi_n)] U_n, \end{cases} \quad (3)$$

где

$$P_{hm} = p_{hm} + \sum_{l=\Gamma+1}^M [(A'_{ml} I'_l - A''_{ml} I''_l) \cos \psi_{ml} + (A'_{ml} I''_l + A''_{ml} I'_l) \sin \psi_{ml}] U_m,$$

$$Q_{hm} = q_{hm} + \sum_{l=\Gamma+1}^M [(A'_{ml} I'_l - A''_{ml} I''_l) \sin \psi_{ml} - (A'_{ml} I''_l + A''_{ml} I'_l) \cos \psi_{ml}] U_m.$$

Величины P_{hm}, Q_{hm} определяются в виде

$$p_{hm} = -\sum_{n=1}^{\Gamma} (g_{mn} \cos \psi_{mn} + b_{mn} \sin \psi_{mn}) U_n U_m,$$

$$q_{hm} = -\sum_{n=1}^{\Gamma} (g_{mn} \sin \psi_{mn} - b_{mn} \cos \psi_{mn}) U_n U_m.$$

Активные и реактивные мощности для узлов с индексами $k \in \Gamma$ определяются в виде [4]:

$$\begin{aligned} P_k &= P_{\text{Бк}} + \sum_{i \in \Gamma+1}^M [R_{k,i} (I_k' I_i' + I_k'' I_i'') + x_{k,i} (I_k' I_i' - I_k'' I_i'')], \\ Q_k &= Q_{\text{Бк}} - \sum_{i \in \Gamma+1}^M [R_{k,i} (I_k' I_i' - I_k'' I_i'') - x_{k,i} (I_k' I_i' + I_k'' I_i'')], \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} P_{\text{Бк}} &= P_{\text{Бк}} + \sum_{n=1}^{\Gamma} [(B'_{k,n} I_k' + B''_{k,n} I_k'') \cos \psi_{nn} + (B'_{k,n} I_k'' - B''_{k,n} I_k') \sin \psi_{nn}] U_n, \\ Q_{\text{Бк}} &= Q_{\text{Бк}} + \sum_{n=1}^{\Gamma} [(B'_{k,n} I_k' + B''_{k,n} I_k'') \sin \psi_{nn} - (B'_{k,n} I_k'' - B''_{k,n} I_k') \cos \psi_{nn}] U_n. \end{aligned}$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} P_{\text{Бк}} &= I_k' U_0 - \sum_{n=1}^{\Gamma} (B'_{k,n} I_k' + B''_{k,n} I_k'') U_n, \\ Q_{\text{Бк}} &= -I_k'' U_0 + \sum_{n=1}^{\Gamma} (B'_{k,n} I_k'' - B''_{k,n} I_k') U_n. \end{aligned}$$

Представим (3) и (4) в следующем виде

$$\begin{cases} \Gamma_{pm} = P_m - [P_{\text{Бм}} + \Gamma_{pm}(U_n, \psi_{nn})] = 0, \\ \Gamma_{qm} = Q_m - [Q_{\text{Бм}} + \Gamma_{qm}(U_n, \psi_{nn})] = 0. \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{\text{Бк}} + \Phi_{pk}(I_k', I_k'')] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{\text{Бк}} + \Phi_{qk}(I_k', I_k'')] = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Система (5) изображает уравнения $Y(Z)$ блока, а (6) - $Z(Y)$ -блока. В (5) величины Γ_{pm} и Γ_{qm} имеют вид

$$\begin{aligned} \Gamma_{pm}(U_n, \psi_{nn}) &= \sum_{n=1}^{\Gamma} U_n [g_{m,n} \cos(\psi_{nn} - \Psi_m) + b_{m,n} \sin(\psi_{nn} - \Psi_m)] U_n, \\ \Gamma_{qm}(U_n, \psi_{nn}) &= \sum_{n=1}^{\Gamma} U_n [g_{m,n} \sin(\psi_{nn} - \Psi_m) - b_{m,n} \cos(\psi_{nn} - \Psi_m)] U_n. \end{aligned} \quad (7)$$

В системе (6) величины Φ_{pk} и Φ_{qk} имеют вид

$$\begin{aligned} \Phi_{pk} = (I_k', I_k'') &= \sum_{i \in \Gamma+1}^M [R_{k,i} (I_k' I_i' + I_k'' I_i'') + x_{k,i} (I_k' I_i' - I_k'' I_i'')], \\ \Phi_{qk} = (I_k', I_k'') &= - \sum_{i \in \Gamma+1}^M [R_{k,i} (I_k' I_i' - I_k'' I_i'') - x_{k,i} (I_k' I_i' + I_k'' I_i'')]. \end{aligned} \quad (8)$$

Систему нелинейных алгебраических уравнений (5) необходимо решить относительно неизвестных ψ_{nn} , U_n , а (6) - относительно I_k' , I_k'' с применением метода второго порядка или матрицы Гессе. Для решения системы (5) составляется вспомогательная функция

$$F(U, \psi_u) = \sum_{m=1}^r (F_{pm}^2 + F_{qm}^2), \quad (9)$$

относительно которой можно написать следующее рекуррентное выражение

$$\begin{bmatrix} \psi_{un} \\ U_n \end{bmatrix}^{(k+1)} = \begin{bmatrix} \psi_{un} \\ U_n \end{bmatrix}^{(k)} - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(U, \psi_u)}{\partial \psi_{um} \partial \psi_{un}} & \frac{\partial^2 F(U, \psi_u)}{\partial \psi_{um} \partial U_n} \\ \frac{\partial^2 F(U, \psi_u)}{\partial U_n \partial \psi_{um}} & \frac{\partial^2 F(U, \psi_u)}{\partial U_n \partial U_n} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial F(U, \psi_u)}{\partial \psi_{un}} \\ \frac{\partial F(U, \psi_u)}{\partial U_n} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Частные производные первого порядка, входящие в (10), определяются в виде

$$\frac{\partial F(U, \psi_u)}{\partial \psi_{um}} = 2 \sum_{n=1}^r \left(F_{pn} \frac{\partial F_{pn}}{\partial \psi_{um}} + F_{qn} \frac{\partial F_{qn}}{\partial \psi_{um}} \right), \quad (11)$$

$$\frac{\partial F(U, \psi_u)}{\partial U_n} = 2 \sum_{m=1}^r \left(F_{pm} \frac{\partial F_{pm}}{\partial U_n} + F_{qm} \frac{\partial F_{qm}}{\partial U_n} \right). \quad (12)$$

Частные производные второго порядка, входящие в матрицы Гессе рекуррентного выражения (10), определяются в виде

$$\frac{\partial^2 F}{\partial \psi_{um}^2} = 2 \sum_{n=1}^r \left[\left(\frac{\partial F_{pn}}{\partial \psi_{um}} \right)^2 + \left(\frac{\partial F_{qn}}{\partial \psi_{um}} \right)^2 + F_{pn} \frac{\partial^2 F_{pn}}{\partial \psi_{um}^2} + F_{qn} \frac{\partial^2 F_{qn}}{\partial \psi_{um}^2} \right], \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial U_n^2} = 2 \sum_{m=1}^r \left[\left(\frac{\partial F_{pm}}{\partial U_n} \right)^2 + \left(\frac{\partial F_{qm}}{\partial U_n} \right)^2 + F_{pm} \frac{\partial^2 F_{pm}}{\partial U_n^2} + F_{qm} \frac{\partial^2 F_{qm}}{\partial U_n^2} \right], \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial \psi_{um} \partial \psi_{un}} = & 2 \sum_{n=1}^r \left(\frac{\partial F_{pn}}{\partial \psi_{um}} \frac{\partial F_{pn}}{\partial \psi_{un}} + \frac{\partial F_{qn}}{\partial \psi_{um}} \frac{\partial F_{qn}}{\partial \psi_{un}} + \right. \\ & \left. + F_{pn} \frac{\partial^2 F_{pn}}{\partial \psi_{um} \partial \psi_{un}} + F_{qn} \frac{\partial^2 F_{qn}}{\partial \psi_{um} \partial \psi_{un}} \right), \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial \psi_{um} \partial U_n} = & 2 \sum_{m=1}^r \left(\frac{\partial F_{pm}}{\partial \psi_{um}} \frac{\partial F_{pm}}{\partial U_n} + \frac{\partial F_{qn}}{\partial \psi_{um}} \frac{\partial F_{qn}}{\partial U_n} + \right. \\ & \left. + F_{pm} \frac{\partial^2 F_{pm}}{\partial \psi_{um} \partial U_n} + F_{qn} \frac{\partial^2 F_{qn}}{\partial \psi_{um} \partial U_n} \right), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial \psi_{um} \partial U_n} = & 2 \sum_{n=1}^r \left(\frac{\partial F_{pn}}{\partial \psi_{um}} \frac{\partial F_{pn}}{\partial U_n} + \frac{\partial F_{qn}}{\partial \psi_{um}} \frac{\partial F_{qn}}{\partial U_n} + \right. \\ & \left. + F_{pn} \frac{\partial^2 F_{pn}}{\partial \psi_{um} \partial U_n} + F_{qn} \frac{\partial^2 F_{qn}}{\partial \psi_{um} \partial U_n} \right), \end{aligned} \quad (17)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial U_m \partial U_n} = 2 \sum_{n=1}^r \left(\frac{\partial F_m}{\partial U_m} \frac{\partial F_{qn}}{\partial U_n} + \frac{\partial F_{qn}}{\partial U_m} \frac{\partial F_m}{\partial U_n} + \right. \\ \left. + F_m \frac{\partial^2 F_{qn}}{\partial U_m \partial U_n} + F_{qn} \frac{\partial^2 F_m}{\partial U_m \partial U_n} \right). \quad (18)$$

Определим частные производные первого и второго порядка, входящие в (11)–(18).

Поскольку эти производные необходимо установить на основании аналитического выражения (5), то удобнее их представить в виде

$$F_{pm} = P_m - \left\{ P_{bm} + g_{m,m} U_m^2 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r U_n |g_{m,n}| \cos(\psi_{um} - \psi_{un}) + \right. \\ \left. + b_{m,n} \sin(\psi_{um} - \psi_{un}) U_n \right\} = 0, \\ F_{qm} = Q_m - \left\{ Q_{bm} - b_{m,m} U_m^2 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r U_n |g_{m,n}| \sin(\psi_{um} - \psi_{un}) - \right. \\ \left. - b_{m,n} \cos(\psi_{um} - \psi_{un}) U_n \right\} = 0. \quad (19)$$

На основании аналитических выражений (19) определим частные производные первого порядка, когда $n=m$:

$$\frac{\partial F_{pm}}{\partial \psi_{um}} = - \left\{ P_{bm}^0 - U_m \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r [g_{m,n} \sin(\psi_{um} - \psi_{un}) - \right. \\ \left. - b_{m,n} \cos(\psi_{um} - \psi_{un})] U_n \right\}, \quad (20)$$

$$\frac{\partial F_{qm}}{\partial \psi_{um}} = - \left\{ Q_{bm}^0 + U_m \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r |g_{m,n}| \cos(\psi_{um} - \psi_{un}) + \right. \quad (21)$$

$$+b_{m,n} \sin(\psi_{um} - \psi_{un}) \} U_n \Bigg\}.$$

где

$$\begin{aligned} P_{um}^0 &= \frac{\partial F_{um}}{\partial \psi_{um}} = \sum_{n=1}^I (g_{m,n} \sin \psi_{um} - h_{m,n} \cos \psi_{um}) U_n U_m - \\ &- \sum_{n=1}^M [(A'_{m,n}, I'_m - A''_{m,n}, I'_m) \sin \psi_{um} - (A'_{m,n}, I''_m + A''_{m,n}, I'_m) \cos \psi_{um}] U_n, \\ Q_{um}^0 &= \frac{\partial Q_{um}}{\partial \psi_{um}} = - \sum_{n=1}^I (g_{m,n} \cos \psi_{um} + b_{m,n} \sin \psi_{um}) U_n U_m + \\ &+ \sum_{n=1}^M [(A'_{m,n}, I'_m - A''_{m,n}, I'_m) \cos \psi_{um} + (A'_{m,n}, I''_m + A''_{m,n}, I'_m) \sin \psi_{um}] U_n. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{um}}{\partial U_m} &= - \left\{ I_{pm}^0 + g_{m,m} U_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^I [g_{m,n} \cos(\psi_{um} - \psi_{un}) + \right. \\ &\left. + b_{m,n} \sin(\psi_{um} - \psi_{un})] U_n \right\}. \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{qm}}{\partial U_m} &= - \left\{ I_{qm}^0 - 2h_{m,m} U_m + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^I [g_{m,n} \sin(\psi_{um} - \psi_{un}) - \right. \\ &\left. - b_{m,n} \cos(\psi_{um} - \psi_{un})] U_n \right\}. \end{aligned} \quad (23)$$

Величины I_{pm}^0 и I_{qm}^0 определяются в виде

$$\begin{aligned} I_{pm}^0 &= \frac{\partial P_{um}}{\partial U_m} = - \sum_{n=1}^I (g_{m,n} \cos \psi_{um} + b_{m,n} \sin \psi_{um}) U_n + \\ &+ \sum_{n=1}^M [(A'_{m,n}, I'_m - A''_{m,n}, I'_m) \cos \psi_{um} + (A'_{m,n}, I''_m + A''_{m,n}, I'_m) \sin \psi_{um}]. \end{aligned}$$

$$\Gamma_{um}'' = \frac{\partial Q_{um}}{\partial U_{um}} = - \sum_{n=1}^r (g_{m,n} \sin \psi_{um} - b_{m,n} \cos \psi_{um}) U_n + \\ + \sum_{l=r+1}^M [(A'_{ml} I'_l - A''_{ml} I''_l) \sin \psi_{um} - (A'_{ml} I'_l + A''_{ml} I''_l) \cos \psi_{um}]$$

Как видно, вышеприведенные выражения относятся к узлам с индексами $m(n)$, т.е. к стационарным узлам.

Для стационарных узлов можно принять, что модули напряжения всегда близки к напряжению базисного узла и $U_1 = U_2 = \dots = U_m = \dots = U_r = U_0$. С другой стороны, так как расхождение углов $\psi_{um} - \psi_{un}$ небольшое, то можно принять также $\cos(\psi_{um} - \psi_{un}) = 1$, $\sin(\psi_{um} - \psi_{un}) = 0$. В результате получим следующие выражения для частных производных первого порядка:

$$\frac{\partial F_{um}}{\partial \psi_{um}} = Q_{um} + b_{m,n} U_0^2, \quad \frac{\partial F_{um}}{\partial \psi_{un}} = -P_{un} + g_{m,n} U_0^2, \quad (24)$$

$$\frac{\partial F_{um}}{\partial U_m} = -\frac{P_m}{U_0} - g_{m,m} U_0, \quad \frac{\partial F_{um}}{\partial U_n} = -\frac{Q_m}{U_m} + b_{m,m} U_0.$$

$$\frac{\partial F_{um}}{\partial \psi_{un}} = b_{m,n} U_0^2, \quad \frac{\partial F_{um}}{\partial \psi_{un}} = g_{m,n} U_0^2, \quad (25)$$

$$\frac{\partial F_{um}}{\partial U_m} = -g_{m,n} U_0, \quad \frac{\partial F_{um}}{\partial U_n} = b_{m,n} U_0.$$

Частные производные второго порядка определяются в виде

$$\frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un}^2} = P_{un} - g_{m,n} U_0^2, \quad \frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un}^2} = Q_{um} + b_{m,n} U_0^2, \quad (26)$$

$$\frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{um} \partial U_m} = \frac{Q_m}{U_0} + b_{m,m} U_0, \quad \frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un} \partial U_m} = -\frac{P_m}{U_0} + g_{m,m} U_0.$$

$$\frac{\partial^2 F_{um}}{\partial U_m^2} = -2g_{m,m}, \quad \frac{\partial^2 F_{um}}{\partial U_m^2} = 2b_{m,m}.$$

$$\frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un} \partial \psi_{un}} = -g_{m,n} U_0^2, \quad \frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un} \partial \psi_{un}} = b_{m,n} U_0^2, \quad (27)$$

$$\frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un} \partial U_n} = -b_{m,n} U_0, \quad \frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un} \partial U_n} = -g_{m,n} U_0.$$

$$\frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un} \partial U_n} = b_{m,n} U_0, \quad \frac{\partial^2 F_{um}}{\partial \psi_{un} \partial U_n} = g_{m,n} U_0.$$

$$\frac{\partial^2 F_{pm}}{\partial U_m \partial U_k} = -g_{km}, \quad \frac{\partial^2 F_{pm}}{\partial U_m \partial U_n} = b_{nm}$$

Полученные частные производные (24)-(27) входят в выражения частных производных (13)-(18), которые являются элементами матрицы Гессе рекуррентного выражения (10). Нетрудно убедиться, что при этом получаем матрицы Гессе с постоянными элементами. Если при организации итерационного процесса после обращения матрицы Гессе она остается постоянной, то при этом ее множитель с правой стороны изменяется.

В результате установлены необходимые частные производные первого и второго порядков, входящие в (10), изображающие рекуррентное выражение системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС $Y(Z)$ - блока.

Рекуррентное выражение для системы нелинейных алгебраических уравнений $Z(Y)$ - блока имеет вид [5]

$$\begin{bmatrix} I' \\ \vdots \\ I'' \end{bmatrix}^{n+1} = \begin{bmatrix} I' \\ \vdots \\ I'' \end{bmatrix}^n - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F_1(I)}{\partial I'_k \partial I'_i} & \vdots & \frac{\partial^2 F_1(I)}{\partial I'_k \partial I''_j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 F_1(I)}{\partial I''_k \partial I'_i} & \vdots & \frac{\partial^2 F_1(I)}{\partial I''_k \partial I''_j} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1(I)}{\partial I'_i} \\ \vdots \\ \frac{\partial F_1(I)}{\partial I''_j} \end{bmatrix}. \quad (28)$$

После построения рекуррентных выражений (10) и (28) можно перейти к описанию вычислительного алгоритма для решения численных практических задач. Следует отметить, что вычислительный алгоритм для организации итерационного процесса по рекуррентным выражениям (10) и (28) принципиально не отличается от алгоритма, приведенного в [4]. Итерационный процесс считается завершенным, если обеспечивается условие

$$\max \sum_{m=1}^r (F_{pm}^2 + I_{pm}^2) \leq \epsilon_m, \quad (29)$$

для системы уравнений $Y(Z)$ - блока:

$$\max \sum_{k=1}^M (\Phi_{pk}^2 + \Phi_{qm}^2) \leq \epsilon_k, \quad (30)$$

для системы уравнений $Z(Y)$ - блока.

В (29) и (30) ϵ_m и ϵ_k являются заданными положительными величинами и характеризуют точность получения численных значений текущих активных и реактивных мощностей независимых станционных и нагрузочных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С. Определение установившихся режимов больших электросистем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1973. - № 4. - С. 36-43.

2. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившихся режимов электрических систем // Электричество. - 1991. - № 1. - С. 6-13.
3. Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С. Расчет установившихся электрических систем с применением матрицы Гессе при Z-форме задания режимов состояния сети // Изв. вузов СССР. Энергетика. - 1990. - № 1. - С. 20-23.
4. Хачатрян В.С., Аль-Дарвиш М.Б. Решение Y-Z-формы уравнения установившегося режима электроэнергетической системы с помощью матрицы Гессе // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, №3. - С.13 -26.

ГИУА

08.04.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 51, № 2, 1998, с. 178-184.

УДК 621.311.001.24:002.6

ЭНЕРГЕТИКА

К.В. ХАЧАТРЯН, Х. ИСЛАМ

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕНАБЛЮДАЕМОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Հաստատված է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի մարմնավորման մոդել, որը ինտրավորացրել է տալիս գնահատել չդիտարկվող մասի ռեժիմային պարամետրերը, երբ տրված է դիտարկվող մասի նկատմամբ անհրաժեշտ ինֆորմացիա:

Построена математическая модель установившегося режима ЭЭС, позволяющая определить режимные параметры ненаблюдаемой части при наличии исходной информации относительно наблюдаемой.

Библиогр. 8 назв.

A mathematical model with steady-state conditions enabling to determine mode parameters of the nonobservable part is constructed when the initial information relative to observable one is available.

Ref 8

Как известно [1-2], для решения задачи расчета установившегося режима требуется обеспечить в качестве исходной информации два режимных параметра для каждого узла.

Сущность задачи оценивания заключается в том, что наряду с установлением состояния режимных параметров необходимо заняться также обработкой телеизмерений или информации и их качеством с точки зрения точности. В случае, если заданная исходная информация позволяет установить состояние искомых режимных параметров, исследуемая ЭЭС называется наблюдаемой в прогномном случае - ненаблюдаемой. Как в теоретическом, так и практическом аспекте, всегда можно получить необходимую исходную информацию для решения полной задачи оценивания состояния режимных параметров ЭЭС. Однако это связано с

большими затруднениями и затратами. Отметим, что в общем случае исследуемая ЭЭС может быть полунаблюдаемой.

Если ЭЭС состоит из небольшого количества станционных и нагрузочных узлов, то она является полностью наблюдаемой. Если же ЭЭС состоит из большого количества станционных и нагрузочных узлов, то она не может быть полностью наблюдаемой. Однако следует отметить, что за станционными узлами всегда производится контроль и обеспечивается информация о состоянии двух режимных параметров типа P-U или P-Q. Что касается базисного (балансирующего) станционного узла, то относительно него всегда можно иметь модуль комплексного напряжения при нулевом фазовом сдвиге.

С точки зрения получения исходной информации, основные затруднения связаны с нагрузочными узлами, в особенности с удаленными нагрузочными узлами.

В настоящей статье рассматривается случай, когда задана исходная информация относительно станционных узлов. Необходимо определить значения искоемых режимных параметров при полной наблюдаемости топологии электрической схемы.

Перспективным направлением для решения поставленной задачи является построение такой математической модели установившегося режима, которая срабатывала бы при данной исходной информации относительно станционных узлов ЭЭС [6]. При этом математическая модель установившегося режима ЭЭС строится с определенным допущением.

Предполагается, что независимыми станционными узлами являются узлы типа P-U, т.е. заданы активные мощности, модули комплексных напряжений и необходимо определить реактивные мощности и аргументы напряжений. Базисным (балансирующим) станционным узлом является узел типа U- ψ , причем $\psi_s = 0$.

Принимая систему индексов относительно станционных и нагрузочных узлов как в [8], матричное уравнение состояния в развернутой форме можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_m \\ \bar{I}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{mm} & I & Y_{mk} \\ - & - & - \\ Y_{rm} & I & Y_{rk} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{U}_{mo} \\ \bar{U}_{ro} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Здесь $\bar{I}_m, \bar{I}_r$ - многомерные векторы комплексных токов наблюдаемых независимых станционных и ненаблюдаемых нагрузочных узлов соответственно; $\bar{U}_{mo}, \bar{U}_{ro}$ - многомерные векторы комплексных напряжений тех же узлов относительно напряжения наблюдаемого базисного станционного узла; Y_{mm}, Y_{rk} - квадратные подматрицы собственных и взаимных комплексных проводимостей между независимыми наблюдаемыми станционными и ненаблюдаемыми нагрузочными узлами соответственно, Y_{mk}, Y_{rm} - прямоугольные подматрицы взаимных комплексных проводимостей между наблюдаемыми и ненаблюдаемыми узлами.

Узел называется наблюдаемым, если относительно него в качестве исходной информации из четырех узловых режимных

параметров (активная и реактивная мощности, модуль и аргумент комплексного напряжения) задаются два. Узел называется ненаблюдаемым, если относительно него не задается исходная информация.

Таким образом, станционные узлы называются наблюдаемыми, а нагрузочные узлы - ненаблюдаемыми.

Поскольку нагрузочные узлы являются ненаблюдаемыми, то для построения математической модели установившегося режима ЭЭС из матричного уравнения состояния (1) необходимо исключить активные параметры нагрузочных узлов: $\dot{I}_k$ и $\dot{U}_{ko}$.

Предположим, на нагрузочных узлах действуют напряжения $\dot{U}_k$ и через них проходит ток $\dot{I}_k$. Тогда можем написать

$$\dot{I}_k = Y_{nk} \dot{U}_k, \quad (2)$$

где Y_{nk} - комплексная проводимость нагрузки с индексом k.

С другой стороны,

$$\dot{I}_k = (P_k - jQ_k) / \dot{U}_k, \quad (3)$$

где P_k, Q_k - заданные активная и реактивная мощности нагрузочного узла.

Приравнявая (2) и (3), получим

$$(P_k - jQ_k) / \dot{U}_k = Y_{nk} \dot{U}_k. \quad (4)$$

Откуда находим

$$Y_{nk} = (P_k - jQ_k) / \dot{U}_k^2. \quad (5)$$

Полученное выражение показывает, что величина Y_{nk} зависит только от переменного напряжения того же узла.

Так как на шинах нагрузок функционировать неизвестные комплексные напряжения, то выражение (5) изображает предварительное значение комплексной проводимости нагрузки узла k, которое необходимо уточнить на каждой итерации с целью установления действительных значений режимных параметров. При этом важным является правильный выбор выражения для определения комплексных токов нагрузочных узлов.

Выражение комплексной проводимости нагрузки Y_{nk} узла k получено при предположении, что на узле действует произвольное напряжение $\dot{U}_k$.

Полученная комплексная проводимость вводится в подматрицу матричного уравнения (1) в качестве диагонального элемента.

При этом матричное уравнение (1) принимает следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{ni} \\ \vdots \\ \dot{I}_k \\ \vdots \\ \dot{I}_{nk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{nn} & \vdots & Y_{nk} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{kn} & \vdots & Y_{nk}^H \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{no} \\ \vdots \\ \dot{U}_k \\ \vdots \\ \dot{U}_{ko} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где

$$Y_{nk}^H = Y_{nk} + \text{diag } Y_{nk}. \quad (7)$$

Представим матричное уравнение (6) в гибридной Y-Z- форме.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_m \\ \vdots \\ \dot{U}_{ko} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{m,0} & 1 & \dot{A}_{m,r} \\ - & - & - \\ \dot{B}_{k,n} & 1 & Z_{r,k}^H \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{no} \\ \vdots \\ J_k \end{bmatrix}. \quad (8)$$

В матричном уравнении (8) приняты следующие обозначения:

$$Y_{m,n} = Y_{m0} - Y_{mk} Z_{r,k}^H Y_{rn}, \quad (9)$$

$$A_{m,r} = Y_{mk} Z_{r,k}^H, \quad (10)$$

$$\dot{B}_{k,n} = -Z_{r,k}^H Y_{rn}, \quad Z_{r,k}^H = Z_{rk}^H. \quad (11)$$

С другой стороны, имеем

$$Z_{rk}^H = (Y_{rk}^H)^{-1} = (Y_{rk} + \text{diag} Y_{rk})^{-1}. \quad (12)$$

Комплексный ток J_k матричного уравнения (8) определяется с помощью выражения

$$J_k = (\dot{U}_k Y_{kk} - (P_k + jQ_k) / \dot{U}_k)^{\wedge}. \quad (13)$$

Как видно, после установления комплексной величины в скобках правой части (13) необходимо установить ее комплексно-сопряженное значение.

Представим матричное уравнение (8) в алгебраической форме

$$\dot{I}_m = \sum_{n=1}^r Y_{m,n} \dot{U}_{no} + \sum_{r=\Gamma+1}^M \dot{A}_{m,r} J_r. \quad (14)$$

$$\dot{U}_{ko} = \sum_{n=1}^r B_{k,n} \dot{U}_{no} + \sum_{r=\Gamma+1}^M Z_{r,k}^H J_r. \quad (15)$$

Уравнение (14) в виде узловых мощностей имеет вид

$$P_m = P_{Bm} + U_m \sum_{n=1}^r [g_{m,n} \cos(\psi_{un} - \psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\psi_{un} - \psi_{un})] U_n. \quad (16)$$

$$Q_m = Q_{Bm} + U_m \sum_{n=1}^r [g_{m,n} \sin(\psi_{un} - \psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\psi_{un} - \psi_{un})] U_n.$$

Величины P_{Bm} и Q_{Bm} определяются в виде

$$P_{Bm} = P_{Bm} + \sum_{r=\Gamma+1}^M (H_{mr} \cos \psi_{ur} + K_{mr} \sin \psi_{ur}) U_r, \quad (17)$$

$$Q_{Bm} = Q_{Bm} + \sum_{r=\Gamma+1}^M (H_{mr} \sin \psi_{ur} - K_{mr} \cos \psi_{ur}) U_r,$$

где

$$P_{Bm} = - \sum_{n=1}^r (g_{m,n} \cos \psi_{un} + b_{m,n} \sin \psi_{un}) U_0 U_n, \quad (18)$$

$$Q_{Bm} = - \sum_{n=1}^r (g_{m,n} \sin \psi_{un} - b_{m,n} \cos \psi_{un}) U_0 U_n.$$

С другой стороны,

$$H_{mr} = a_{mr}'' J_r'' - a_{mr}' J_r'', \quad K_{mr} = a_{mr}' J_r'' + a_{mr}'' J_r''. \quad (19)$$

Представим (15) в виде

$$\dot{U}_k = \dot{C}_{k,n} + \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{k,n} \dot{U}_n + \sum_{\ell \in \Gamma^H} Z_{\ell,k}^H J_{\ell,k}, \quad (20)$$

где

$$\dot{C}_{k,n} = U_0 (1 - \sum_{n=1}^{\Gamma} B_{k,n}). \quad (21)$$

Таким образом, рассматривается случай решения задачи, когда стационарные узлы являются узлами типа P-U, при котором из системы (16) необходимо рассмотреть только первое уравнение.

Представим первое уравнение системы (16) в следующем виде:

$$\Phi_{pm}(U_n, \psi_{mn}) = P_m - [P_{Em} + \varphi_{pm}(U_n, \psi_{mn})] = 0, \quad (22)$$

где

$$\begin{aligned} \varphi_{pm}(U_n, \psi_{mn}) = \\ = U_m \sum_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n} \cos(\psi_{mn} - \psi_{nn}) + b_{m,n} \sin(\psi_{mn} - \psi_{nn})] U_n. \end{aligned} \quad (23)$$

В результате получим два совместных нелинейных взаимосвязанных уравнения (20) и (22). Поскольку модули напряжений стационарных узлов заданы, то уравнение (22) можно представить в виде

$$\Phi_{pm}(\psi_{mn}) = P_m - [P_{Em} + \varphi_{pm}(\psi_{mn})] = 0. \quad (24)$$

Уравнение (24) решается методом Ньютона-Рафсона, тогда как уравнение (20) - методом простой итерации.

Относительно искомого вектора ψ_{mn} (24), рекуррентное выражение, вытекающее из метода Ньютона-Рафсона, имеет вид

$$[\psi_{mn}]^{H+1} = [\psi_{mn}]^H - \left[\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \psi_{mn}} \right]^{-1} \times [\Phi_{pm}], \quad (25)$$

где H - номер итерации.

Частные производные, входящие в матрицу Якоби рекуррентного выражения (25), определяются в виде

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \psi_{mn}} = \begin{cases} -P_{Em,n} - U_m \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma} [g_{m,n} \sin(\psi_{mn} - \psi_{nn}) - \\ - b_{m,n} \cos(\psi_{mn} - \psi_{nn})] U_n & \text{при } n=m, \\ -U_m [g_{m,n} \sin(\psi_{mn} - \psi_{nn}) - \\ - b_{m,n} \cos(\psi_{mn} - \psi_{nn})] U_n & \text{при } n \neq m. \end{cases} \quad (26)$$

где

$$P_{\text{бнк}(k)} = \sum_{m=1}^{\Gamma} (g_{m,k} \sin \psi_{m,k} - h_{m,k} \cos \psi_{m,k}) U_0 U_m - \\ - \sum_{m=\Gamma+1}^M (H_{m,k} \sin \psi_{m,k} - K_{m,k} \cos \psi_{m,k}) U_m. \quad (27)$$

Устанавливая аналитические выражения необходимых функций, можно перейти к организации итерационного процесса, сущность которого заключается в следующем. Перед началом итерационного процесса принимаем аргументы комплексных напряжений стационарных узлов равными нулю: $\psi_{u_1} = \psi_{u_2} = \dots = \psi_{u_1} = 0$. Комплексные напряжения нагрузочных узлов принимаем равными заданному напряжению базисного узла, т.е. $U_{1,1}^* = U_{2,1}^* = \dots = U_M^* = U_0^*$; $U_{\Gamma+1}^* = U_{\Gamma+2}^* = \dots = U_M^* = 0$.

Определяя $Y_{m,k}$ по формуле (5), с учетом заданных активных и реактивных мощностей устанавливаем численные значения элементов гибридной матрицы уравнения (8). Затем вычисляем численные значения токов J_k на основании (13), т.е. $J_k = 0$, в результате получаем $H_{m,k} = K_{m,k} = 0$. Следовательно, $P_{1,m} = p_{1,m}$. Далее вычисляем $P_{\text{бнк}(k)}$ и устанавливаем численные значения частных производных, входящих в рекуррентное выражение (25). Осуществляя первую итерацию, получаем новые численные значения для $\psi_{m,k}$ и, следовательно, для U_m . Используя начальные значения J_k и вновь полученные значения U_m , с помощью (20) определяем новые численные значения для U_k .

Имея новые численные значения U_k , устанавливаем значения J_k и т.д. Далее поступаем аналогичным образом, как описано выше.

Итерационный процесс считаем законченным, если обеспечиваются условия:

$$|P_m - [P_{\text{бнк}} + \varphi_{\text{бнк}}(\psi_{m,k})]| \leq \Delta P, \quad (28)$$

$$|U_k^{u+1} - U_k^u| \leq \Delta U, \quad (29)$$

где ΔP и ΔU - заданные положительные величины, характеризующие точность определения численных значений $\psi_{m,k}$ и U_k соответственно.

На основе численных значений компонентов $\psi_{m,k}$ с помощью второго уравнения системы (16) устанавливаем также численные значения искоемых реактивных мощностей независимых стационарных узлов. При этом можно определить также активную и реактивную мощности базисного стационарного узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н.А., Молохия И.М. Возможности сокращения объема информации для определения рабочего режима электрической сети // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1969 - № 1. - С. 143-147.
2. Багданов В.А. Информационная модель электрической сети автоматизированной системы диспетчерского управления // Электричество - 1973. - № 5. - С. 1-7.
3. Гамм А.З. Статические методы оценивания состояния электроэнергетической системы. - М.: Наука, 1976. - 219 с.
4. Clements K.A., Krumpholtz G.R., Dewis P.W. Power system network topology // IEEE Trans. PAS. - 1980. - № 4. - P. 1534-1542.
5. Гамм А.З. Наблюдаемость электроэнергетических систем. - М.: Наука, 1990. - 220 с.
6. Шепилов О.М., Павлюк В.А. Применение модели установившегося режима для решения задачи оценивания состояния // Изв. вузов. Энергетика. - 1992. - № 9, 10. - С. 34-36.
7. Гамм А.З., Колосон Н.Н. Применение модели установившегося режима для решения задачи состояния // Изв. вузов. Энергетика. - 1994. - № 11, 12. - С. 49-50.
8. Аракелян В.П., Хачатрян К.В., Ислам Х. Определение режимных параметров наблюдаемой части электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, № 1. - С. 24-29.

ГИУА

06.08.1998

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. 1, № 2, 1998, с. 184-189.

УДК 621.316.933

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М.М. КАРАПЕТЯН, Г.А. АЙВАЗЯН, В.Г. ВАРТАЗАРЯН,
Л.С. АКОПЯН, И.Г. АКОПЯН

АППАРАТЫ СВЕРХГЛУБОКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Քերպած են գերարտաների գերթալի ապահովագրական սարքավորումների հիմնական սկզբունքները: Դիտարկված են ոչ գծային ռեզիստորներով և գծային օմի ունակային էլեմենտների կոմբինացիայով կազմակերպված սխեմաները:

Приведены принципы исполнения аппаратов сверхглубокого ограничения перенапряжений. Рассмотрены схемы, предусматривающие сочетание нелинейных резисторов с комбинацией линейных емкостно-омических элементов, шунтированных искровым промежутком.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Design principles of equipments for thorough limitation of overvoltages and diagrams with nonlinear resistors where linear capacitance-ohmic elements shunted by a spark gap are considered.

Ил. 2. Ref. 3.

Глубина ограничения перенапряжений в высоковольтных сетях, осуществляемая защитными аппаратами - разрядниками или ограничителями перенапряжений, характеризуется защитным коэффициентом

$$K_1 = U_{iv} / U_{фн}, \quad (1)$$

где U_{iv} - защитный уровень аппарата, равный наибольшему значению напряжения на его выводах при протекании импульсного (коммутационного или грозового) тока нормированной амплитуды; $U_{фн}$ - амплитуда фазного значения наибольшего рабочего напряжения сети.

Современные защитные аппараты - безыскровые ограничители перенапряжений (ОПН), представляющие собой включенную между фазой и землей колонку из определенного количества дисков высоконелинейных оксидно-цинковых резисторов (ОЦР) [1], обеспечивают ограничение перенапряжений, например, коммутационных, до уровней $U_{ог} \geq (1,75 \dots 1,8) U_{фн}$ [2].

Однако низкий уровень электрической прочности ослабленной в результате длительной эксплуатации изоляции силовых кабелей, высоковольтных генераторов, двигателей и другого оборудования в ряде случаев не координируется даже с защитными характеристиками обеспечивающих достаточно глубокое ограничение ОПН и является причиной высокой аварийности. Решение проблемы в ряде случаев возможно путем осуществления сверхглубокого ограничения перенапряжений. Создание сравнительно недорогих и надежных аппаратов сверхглубокого ограничения перенапряжений (АСОП) с $U_{зг} = (1,5 \dots 1,6) U_{фн}$ позволит ощутимо продлить срок службы ослабленной изоляции, замедлить процессы старения нормальной изоляции, а также решить актуальные вопросы грозозащиты вращающихся машин.

Как известно, одним из направлений в вопросе создания защитных аппаратов с $U_{зг} < 1,8 U_{фн}$ является техническое решение, предусматривающее применение в схеме ОПН искрового промежутка (ИП), шунтирующего часть колонки ОЦР. Однако практическому осуществлению этого решения препятствует необходимость применения ИП с весьма малым разбросом пробивных напряжений. В АИВТ "Кайцак" разрабатывается аппарат сверхглубокого ограничения перенапряжений, в котором в шунтированной ИП части вместо ОЦР предусмотрено применение линейного емкостного или емкостно-омического элемента [3], притом в тех соотношениях параметров, при которых возможно создание наиболее благоприятных условий для работы ИП.

Схемы возможных вариантов выполнения АСОП (рис.1) представляют собой последовательное соединение двух блоков: блока нелинейных резисторов (БН), обеспечивающего заданный уровень ограничения $U_{зг}$, и блока линейных элементов, шунтированных искровыми промежутками (БЛ). Схема рис. 1а является обобщенной, ибо включает в БЛ одну из наиболее полных комбинаций емкостно-омических элементов, а также предусматривает двухступенчатое исполнение ИП, позволяющее при необходимости использовать одну

из ступеней в качестве поджигающего (задающего). На практике, однако, в зависимости от условий работы АСОП и степени сложности предъявляемых к нему требований предпочтение может быть отдано приведенным на рис. 1б,в,г более простым схемам, трансформируемым из схемы рис.1а путем исключения того или иного элемента.

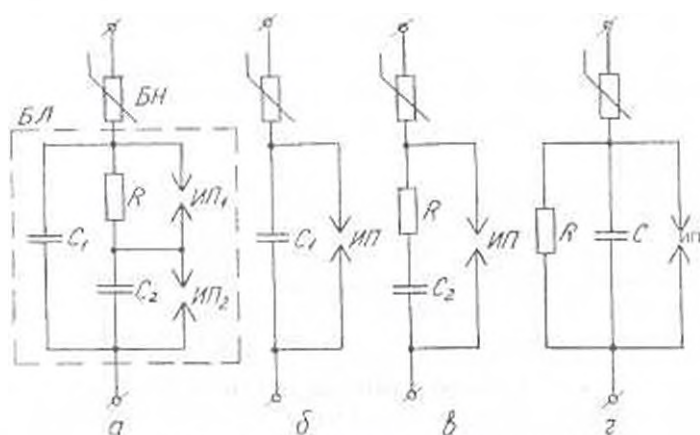


Рис. 1. Возможные схемы выполнения АСОП

Согласно приведенным на рис.1 схемам, в нормальном рабочем режиме имеем

$$U_{\phi} = U_{РБН} + U_{РБЛ}, \quad (2)$$

где $U_{РБН}$ и $U_{РБЛ}$ - доли рабочего напряжения на БН и БЛ соответственно.

Параметры линейных элементов в БЛ должны обеспечить в этом режиме условие $U_{РБЛ} \leq U_n$, где U_n - наибольшее длительно допустимое напряжение промышленной частоты на ОЦР в БН. В свою очередь, U_n зависит от характеристик конкретного типа ОЦР и заданного U_{ϕ} .

Как известно, вольт-амперная характеристика (в.а.х.) ОЦР аппроксимируется выражением

$$U = A I^{\alpha}, \quad (3)$$

где A - коэффициент, равный напряжению U при токе $I = 1A$, а α - коэффициент нелинейности.

Обычно в.а.х. единичных дисков ОЦР того или иного типа характеризуются определенным значением напряжения U_k при нормированном токе I_k . Например, для ОЦР типа МНР-58-10 $U_k = 2500V$ при импульсе тока 8/20 мкс амплитудой $I_k = 500A$. Остальные точки в.а.х. даются в долях к U_k и находятся при помощи пересчетного коэффициента

$$K_p = U_{op} / U_k, \quad (4)$$

где U_{op} - напряжение на единичном ОЦР при токе I_k .

Наибольшее допустимое рабочее напряжение на единичном ОЦР $U_{\text{ед}}$ также выражается через U_k .

Для ОЦР типа МНР-58-10 имеем [1]

$$U_{\text{ед}} = \beta U_k / \sqrt{2}, \quad (5)$$

где β - коэффициент, зависящий от длительности t_r приложения к резистору рабочего напряжения. Для МНР-58-10 при неограниченной t_r $\beta = 0.57$.

Таким образом, если БН в схемах рис. 1 должен обеспечить некоторое $U_{\text{н}} = U_{\text{нр}}$ при токе I_r , то количество последовательных единичных ОЦР в БН с учетом (4) определится из отношения

$$n_1 = U_{\text{н}} / U_{\text{ед}} = U_{\text{н}} / K_r U_k. \quad (6)$$

Это количество ОЦР в рабочем режиме согласно (5) длительно может выдержать напряжение

$$U_d = n_1 U_{\text{ед}} = \beta U_k / \sqrt{2}. \quad (7)$$

Из (6) и (7) и условия $U_{\text{рбн}} \leq U_d$ имеем

$$U_{\text{рбн}} = U_{\text{н}} \beta / K_r \sqrt{2} \quad \text{или} \quad \sqrt{2} U_{\text{рбн}} = U_{\text{н}} \beta / K_r. \quad (8)$$

Разделив обе части равенства (8) на $U_{\text{фм}}$ и учитывая (1), получим

$$\sqrt{2} U_{\text{рбн}} / U_{\text{фм}} = U_{\text{н}} \beta / U_{\text{фм}} K_r. \quad (9)$$

Здесь отношение $\sqrt{2} U_{\text{рбн}} / U_{\text{фм}}$ - приходящаяся на БН допустимая доля приложенного к АСОП в рабочем режиме напряжения. Обозначив это отношение через η_d и учитывая (1), получим

$$\eta_d = K_r \beta / K_r. \quad (10)$$

Зная η_d при заданном K_r и собственную емкость колонки ОЦР в БН ($C_{\text{бн}} = C_0 / n_1$, где C_0 - емкость единичного ОЦР), можно приступить к выводу основных зависимостей, позволяющих определить параметры линейных элементов БЛ.

Приведена в.а.х. единичного ОЦР типа МНР-58-10 (кривая 1) в диапазоне токов, характерных для рабочего режима и квазистационарных перенапряжений (рис. 2). Напряжения отложены по оси ординат в отношении $U_0 / \sqrt{2} U_{\text{ед}}$, что позволяет рассматривать это отношение как $U_{\text{нн}} / U_k$. Поскольку в указанных диапазонах в.а.х. ОЦР определяются при постоянном токе, то очевидно, что кривая 1 характеризует практически омическую проводимость ОЦР. В тех же координатах приведена расчетная кривая 2, полученная с учетом только емкостной проводимости ОЦР K_0 , где $C_0 = 1800 \text{ пФ}$ - средняя емкость единичного МНР-58-10.

Как видно из рис. 2, при $U_{\text{нн}} = U_k$ (нормальный рабочий режим АСОП) емкостной ток I_k более чем на порядок больше активной составляющей I_a . Существенное превалирование I_k прослеживается вплоть до $U_{\text{нн}} = 1.2 U_k$, т.е. даже в зоне

квазистационарных перенапряжений ОЦР функционирует как емкость. Это позволяет рассматривать БН как емкостное сопротивление $x_{\text{БН}} = 1/\omega C_{\text{БН}}$.

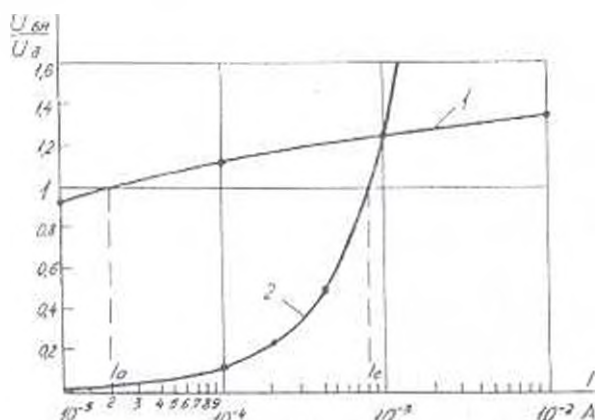


Рис. 2 Вольт-амперная характеристика единичного резистора МНР-58-10

Таким образом, для схемы рис. 1а имеем

$$U_{\text{БН}} = U_{\Phi} \frac{-jx_{\text{БН}}}{-jx_{\text{БН}} + \frac{(R - jx_2)(-jx_1)}{(R - jx_2) + (-jx_1)}} =$$

$$= U_{\Phi} \frac{x_{\text{БН}}(x_1 + x_2) + jx_{\text{БН}}R}{x_{\text{БН}}(x_1 + x_2) + x_1x_2 + jR(x_{\text{БН}} + x_1)},$$

где $x_1 = 1/\omega C_1$ и $x_2 = 1/\omega C_2$.

Перейдя от изображений к оригиналам, получим

$$\frac{U_{\text{БН}}}{U_{\Phi}} = \frac{x_{\text{БН}} \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + R^2}}{\sqrt{[x_{\text{БН}}(x_1 + x_2) + x_1x_2]^2 + R^2(x_{\text{БН}} + x_1)^2}} = \eta_a. \quad (11)$$

Приняв обозначения $x_1/R = m$ и $x_2/R = n$, преобразуем (11) в квадратное уравнение относительно R (или x_1):

$$m^2(n^2 + 1)R^2 + 2x_{\text{БН}}m(n^2 + mn + 1)R + x_{\text{БН}}^2[(m + n)^2 + 1] \left(1 - \frac{1}{\eta_a^2}\right) = 0$$

Положительный корень этого уравнения есть искомое R :

$$R = \frac{x_{\text{БН}} \sqrt{(n^2 + 1)[(m + n)^2 + 1] \frac{1}{\eta_a^2} - m^2 - (n^2 + mn + 1)}}{m(n^2 + 1)}. \quad (12)$$

Аналогично, для x_2 имеем

$$x_1 = \frac{x_{\text{БН}} \sqrt{(n^2 + 1)[(m + n)^2 + 1] \frac{1}{\eta_a^2} - m^2 - (n^2 + mn + 1)}}{n^2 + 1}, \text{ а } x_2 = R_n. \quad (13)$$

Отсюда $C_1 = 1/\omega x_1$ и $C_2 = 1/\omega x_2$.

Выражение для C_1 в схеме рис.1б получим из (13), приняв $x_2 = 0$ ($n=0$) и $R = \infty$ ($m=0$):

$$x_1 = x_{BH} (1 - \eta_d) / \eta_d \text{ и } C_1 = C_{BH} \eta / (1 - \eta).$$

Схема рис.1в получается из схемы рис.1а, если принять $x_2 = \infty$ ($m = \infty$). Подставив $m = \infty$ в (12) и уйдя от неопределенности, получим для R в схеме рис.1в:

$$R = \frac{x_{BH}}{n^2 + 1} \left(\frac{\sqrt{n^2 + 1 - \eta_d^2}}{\eta_d} - n \right).$$

Для C_2 имеем: $C_2 = 1/\omega n R$.

Выражения для C_1 и R в схеме рис.1г получим из (13),

приняв $x_2 = 0$ ($n=0$): $x_1 = x_{BH} \left(\sqrt{\frac{1+m^2}{\eta_d^2}} - m^2 - 1 \right)$, откуда имеем:

$$C_1 = 1/\omega x_1 \text{ и } R = x_1/m = 1/\omega m C_1.$$

Приведенные выше выражения дают возможность в каждом конкретном случае осуществить выбор оптимального варианта схемы БЛ и таких соотношений параметров ее линейных элементов, которые обеспечат наиболее благоприятные режимы срабатываний ИП при коммутационных и грозовых перенапряжениях. Возможность обеспечения исходного условия в схемах рис.1а,в,г при практически неограниченном сочетании значений R и C позволяет широко варьировать их частотными характеристиками для выполнения тех или иных специфических требований к АСОП, например, осуществление ограничения грозовых волн до уровней ниже $1,8 U_{фм}$ при одновременной отстройке ИП от коммутационных перенапряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьев Г.Г., Пугачев В.К., Шматович В.В. Специальные ограничители перенапряжений для сетей 6-24 кВ с незаземленной нейтралью на базе нелинейных резисторов ВЭИ // Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной преобразовательной силовой и полупроводниковой техники. Тез. докл. НТК ВЭИ, - М., 1994. - С.55-60.
2. ГОСТ 27633-88. Ограничители перенапряжений нелинейные. Общие технические требования. - Введ. 01.01.89. - М., 1988. - 9 с.
3. Пат. 2041542 РФ. Резонансостойкий ограничитель перенапряжений / В.В. Крыжановский, С.С. Шур. Оpubл. 10.08.95, Бюл. №22. - 248 с.

АИВТ "Кайцак"

11.06.1997

Ж.Д. ДАВИДЯН

ИМПУЛЬСНЫЙ ПУСК МОЩНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Առաջարկված է, եզր սինխրոն շարժիչների խմբուսային թողարկման ԱԼՆ Ներդրված է հաշվարկի մեթոդը: Բերված են խմբուսային թողարկման բնութագրերը:

Предложен способ импульсного пуска мощных синхронных двигателей. Описан метод расчета. Приведены характеристики импульсного пуска.

Ил. 3. Библиогр. 4 назв.

Impulse start process of powerful synchronous engines is proposed. The method of calculation is described. Impulse start characteristics are given.

Ил. 3. Ref. 4.

Управляемый пуск мощных синхронных двигателей является важной научно-технической проблемой, и от ее рационального решения в значительной степени зависит возможность и технико-экономическая целесообразность использования мощных синхронных двигателей.

Существующие способы пуска мощных синхронных двигателей имеют заметные недостатки:

- асинхронный пуск вызывает многократные электрические, механические и тепловые перегрузки, опасные для целостности машины и сетевой аппаратуры;

- частотный пуск или пуск в режиме вентильного двигателя требуют использования сложных, материалоемких и дорогих тиристорных преобразователей частоты со звеном постоянного тока.

Разработаны принципиально новый способ и устройства импульсного пуска синхронных машин, обладающих заметными преимуществами перед существующими системами пуска [1,2].

Импульсный пуск синхронной машины выполняется следующим образом. Фазы обмотки якоря синхронной машины соединяются непосредственно с сетью переменного тока через пары тиристоров (тиристорный коммутатор). Отпирающие импульсы тиристоров формируются в системе импульсно-фазового управления. Система управления соединена синхронизирующими связями с сетью и с датчиком положения ротора. Индуктор синхронной машины возбуждается постоянным током (рис.1а). При пуске в обмотку якоря возбужденной машины непосредственно от сети через открывающиеся тиристоры пропускаются единичные импульсы тока, которые синхронизированы с положением ротора. Эти импульсы тока, взаимодействуя с потоком возбуждения ротора, создают импульсы вращающего момента. Когда средний вращающий момент серии импульсов превышает момент сопротивления нагрузки, то ротор приобретает ускорение. Параметры импульсов (длительность, площадь, положение, скважность) плавно регулируются изменением

фазы отпирающих импульсов тиристоров. Тем самым регулируется величина якорного тока и вращающего момента. Пуск полностью управляем.

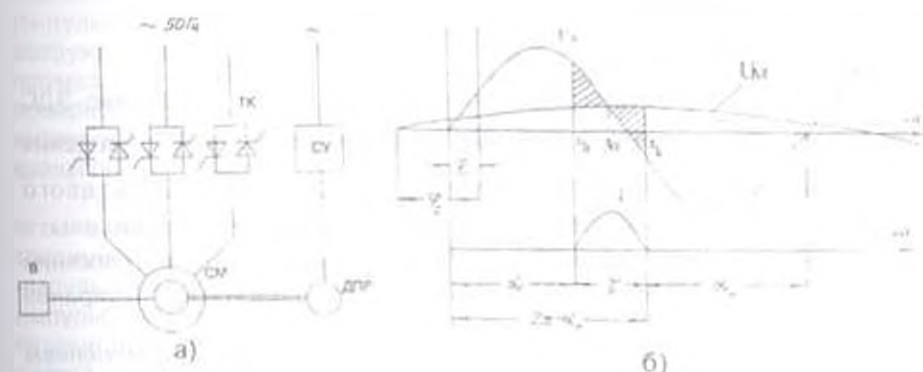


Рис. 1 а - схема импульсного пуска синхронной машины СМ - синхронная машина В - независимый машинный или статический возбудитель, ТК - тиристорный коммутатор, СУ - система управления, ДПР - датчик положения ротора б - диаграмма напряжений и тока в обмотке якоря

В цепи, образованной фазой сети, открытым тиристором и фазой обмотки якоря, действует разность напряжения сети U_n с угловой частотой ω и напряжения противо-ЭДС машины U_m с угловой частотой вращения ω_m (рис.1б). Направление тока (полярность) импульсов в фазе обмотки якоря определяется положением ротора в соответствии с сигналами датчика положения ротора. Эти сигналы разрешают включение тиристоров соответствующей группы тиристорного коммутатора (анодной или катодной) так, чтобы импульс данного направления создавал положительный вращающий момент. Отпирающие импульсы тиристоров подаются на управляющие электроды в определенные моменты времени с определенной фазой - углом управления α относительно нулевой фазы напряжения сети U_n . В момент подачи отпирающего импульса при положительном анодном напряжении тиристор открывается, и в цепи протекает ток. Поскольку в указанном контуре действует переменное напряжение - разность напряжения сети и противо-ЭДС машины, то ток имеет импульсный характер (рис.1)

В момент времени t_1 , когда ток импульса спадает до нулевого значения, происходит естественная коммутация - тиристор запирается напряжением сети. Ток импульса имеет однополярный характер.

В общем случае наличия противо-ЭДС U_m (средний и завершающий этапы пуска) и произвольного пространственно-временного положения ротора ток импульса выражается в виде

$$i = \frac{U_{sm}}{\omega(L_s + L_m)} [\cos \alpha - \cos(\omega t + \varphi_1)] - \\ - \frac{U_{Mm}}{\omega_p(L_s + L_m)} \left[\cos\left(\frac{\omega_p}{\omega} \alpha + \varphi_2\right) - \cos(\omega_p t + \varphi_2) \right],$$

где U_{sm} , U_{Mm} - амплитуды напряжений сети и противо-ЭДС машины; ω , ω_p - угловые частоты напряжения сети и вращения ротора; L_s , L_m - индуктивности фазы сети (сетевого трансформатора) и фазы машины (для явнополюсной машины - функция положения ротора); φ_1, φ_2 - начальные фазы напряжений сети и противо-ЭДС машины; α - угол управления (угол отпирания тиристоров).

Как следует из выражения для импульсного тока, изменением угла управления α можно регулировать длительность импульса тока, амплитуду импульса, его площадь, соответственно среднее значение тока в обмотке якоря и величину создаваемого импульсом момента, а также величину напряжения, подаваемого на обмотку статора.

Таким образом, угол управления α является управляющим параметром, изменением которого можно плавно регулировать величину якорного тока и вращающего момента.

Функция момента импульса определяется в виде

$$M_i(t) = C i_i(t) \Phi \sin \gamma(t),$$

где C - конструктивная постоянная машины; $i_i(t)$ - функция тока импульса; Φ - поток возбуждения; $\gamma(t)$ - угловое положение ротора, выраженное углом между осью полюса индуктора и плоскостью эквивалентного витка обмотки якоря.

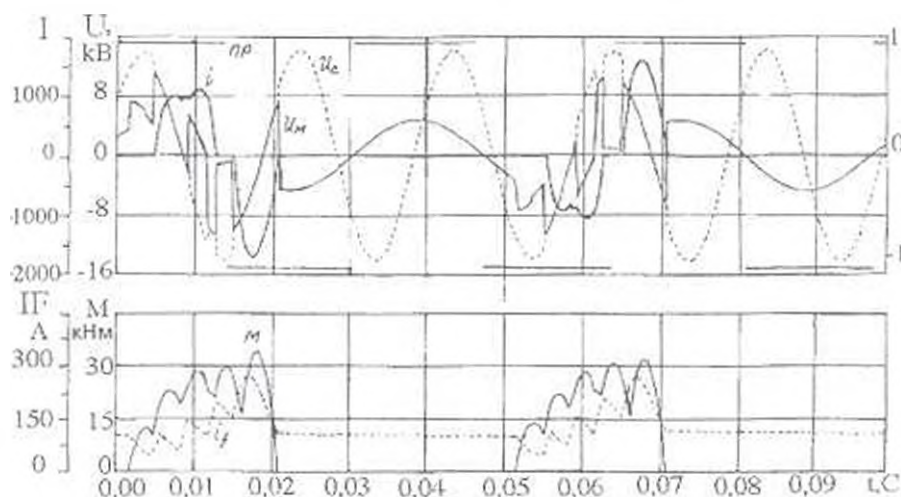


Рис. 2. График мгновенных значений параметров при импульсном пуске синхронного двигателя типа СТД-12500 мощностью 12,5 МВт

Показан процесс образования импульсов при пуске с использованием всех трех фаз машины при промежуточной частоте вращения 30 Гц (рис. 2). На графиках показаны импульсы тока в линейной цепи, где суммируются токи смежных фаз машины. Импульсы момента создаются от взаимодействия с потоком возбуждения импульсов тока всех фаз машины. В определенные промежутки времени прохождение импульсов запрещается, т.к. полярность их не соответствует полярности полюса на данном интервале. Все импульсы тока создают импульсы положительного вращающего момента.

Разработанный способ импульсного пуска и реализованные на его основе устройства пуска принципиально отличны от традиционных способов и устройств непрерывного управления. При импульсном пуске вращение ротора создается в результате импульсного взаимодействия потоков обмоток якоря и индуктора, независимо по фазам и по времени, а не в результате вращения потока якоря и "зацепления" возбужденного индуктора, как это имеет место при традиционных способах пуска. Следовательно, исключается необходимость создания в машине вращающегося поля и, соответственно, использования источников трехфазной системы напряжений регулируемой частоты и амплитуды - тиристорных преобразователей со звеном постоянного тока и с двукратным преобразованием энергии.

При указанном способе создания вращающего момента система приобретает следующие новые свойства и преимущества:

1. Для формирования импульсов тока выполняется непосредственное соединение фазы машины с фазой сети через тиристоры.

2. Обеспечивается естественная коммутация тиристоров напряжением сети во всех режимах работы машины, в том числе при неподвижном роторе и малых частотах вращения в начале пуска.

3. Величина напряжения, приложенного к обмотке якоря, и величина тока импульса и момента регулируются в широких пределах посредством угла управления.

Импульсный характер токов и моментов вызывает определенные недостатки импульсного пуска по сравнению с синхронным пуском:

1. Якорная обмотка машины и тиристоры нагружаются импульсным током, поэтому действующие значения токов при импульсном пуске выше, чем при непрерывном частотном пуске.

2. Имеет место более выраженная пульсация вращающего момента, вызванная импульсным характером процесса.

В [3] разработаны метод и программа расчета и исследований системы импульсного пуска синхронных машин на основе метода анализа электромашинно-вентильных систем (ЭМВС) и программно-аналитического комплекса [4]. Предложены аппарат математического моделирования и программный комплекс с применением численных методов решения нелинейных дифференциальных уравнений, что позволяет свести разработку математических моделей ЭМВС к последовательности преобразований функций и уравнений по сформулированным типовым алгоритмам.

Это дает возможность в процессе проектирования и исследования систем импульсного пуска определять статические, динамические характеристики пуска, а также характеристики переходных электрических и электромеханических процессов.

Приведены статические механические характеристики создаваемого среднего вращающего момента, действующих значений токов в обмотке якоря в зависимости от частоты вращения с различными углами управления при импульсном пуске синхронного двигателя типа СТД-800 мощностью 800 кВт, 3000 об/мин (рис. 3).

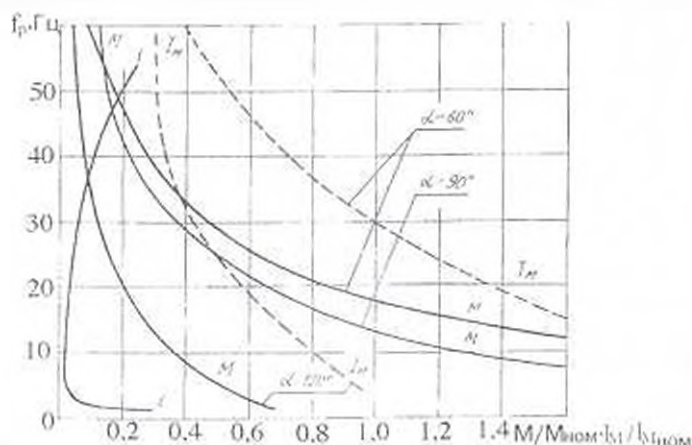


Рис. 3. Статические характеристики моментов и токов якоря при импульсном пуске синхронного двигателя типа СТД-800 мощностью 800 кВт.

M - вращающие моменты, I - момент сопротивления нагрузки,

I_M - токи якоря

Система импульсного пуска по сравнению с традиционными системами тиристорного частотного пуска имеет меньший состав силового оборудования, массо-габаритные характеристики которого и стоимость ~ в 2...3 раза меньше.

На основе проведенных исследований во ВНИИЭлектромаш (г. С.-Петербург) разработаны опытные образцы устройств импульсного пуска ряда синхронных машин, а также выполнены расчеты и проектные разработки систем импульсного пуска мощных синхронных двигателей для ряда объектов и промышленных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1131002 СССР, Н 02Р 1/50 Устройство для пуска синхронной машины / Ж.Д. Давидян, Г.Н.Тер-Газарян (СССР). - 1984. - Бюл. № 47. - 3 с.
2. Овчинников И.Е., Тер-Газарян Г.Н., Давидян Ж.Д., Рябов В. Способ импульсного пуска синхронных машин // Электротехника. - 1987. - № 3. - С. 33-36.
3. Давидян Ж.Д., Плахтына Е.Г., Полюга Л.Н. Исследование алгоритмов и статических характеристик импульсного пуска синхронной машины на

математической модели с помощью программно-вычислительного комплекса / Техническая электродинамика. - Киев, 1991. - № 1. - С.

4. Плехтына Е.Г. Математическое моделирование электромашино-механических систем. - Львов: Вища школа, 1986. - 164 с.

ГИУА

10.04.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1998, с. 195-202.

УДК 621.315.2

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А.А. КАРАПЕТЯН, Ж.М. МИРЗАБЕКЯН

РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КАБЕЛЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ЖИЛАМИ БЕЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Ծառադրվում են առանց մետաղալարան պատվանի զուգահեռ փոխան ձևերով եռափուլ կաբելի էլեկտրական լարվածության որոշման մեթոդը ու տեսությունը և համեմատվում ուղղվում է մետաղական պատվանով տեղադրված կոնց չդերի հետ: Մեթոդը ինտարսվորություն է ապահովում մեկուսացված ֆազերի լարվածության կախումը նրանց միմյանց հեռավորությունից:

Излагаются теория и метод определения напряженности электрического поля параллельно расположенных жил трехфазного кабеля без металлической оболочки. Проводится их сравнение с тремя скрученными и расположенными в металлической оболочке жилами. Метод дает возможность определить зависимость напряженности изолированных фаз от расстояния между ними

Ил.4. Библиогр.: 3 назв.

The theory and method of definition for electrical field intensity in three-phase cable with parallel located phases and without a metallic jacket is proposed. The method gives an opportunity to define the dependence of isolated phase intensity on the distance between them.

Ил. 4, Ref. 3.

В кабелях с металлической оболочкой часто происходят межфазовые короткие замыкания, приводящие к прекращению энергоснабжения. Причиной коротких замыканий являются также блуждающие токи, которые создают цепь с металлической оболочкой и со временем разрушают ее. Учитывая, что себестоимость металлических оболочек, особенно свинцовой, очень высокая, создается настоятельная потребность для нахождения такого типа и такого расположения фаз кабелей, который будет свободен от перечисленных недостатков.

Целью настоящей работы является разработка метода определения напряженности электрического поля параллельно расположенных жил трехфазного кабеля без металлической оболочки. Показаны параллельно расположенные три отдельно изолированные жилы (рис.1), которые находятся друг от друга на

определенном расстоянии (R). Изоляция кабелей имеет диэлектрическую проницаемость ϵ_2 , а диэлектрическая проницаемость окружающего пространства - ϵ_1 .

Принимается, что в изолированных жилах заряд распределен равномерно по сечениям D_1 , D_2 , D_3 . Тогда потенциал поля в точке Q будем искать в следующем виде [1].

Точка отсчета (M) находится на границе G_1 .

$$\begin{aligned} U(Q) = & q \frac{1}{2\pi\epsilon} \iint_{D_1} \ln \frac{1}{r_{QM}} dS_M + \oint_{G_1} \sigma_1(M) \ln \frac{1}{r_{QM}} d\ell_M - \\ & - \frac{q}{2} \frac{1}{2\pi\epsilon} \iint_{D_2} \ln \frac{1}{r_{QM}} dS_M + \oint_{G_2} \sigma_2(M) \ln \frac{1}{r_{QM}} d\ell_M - \\ & - \frac{q}{2} \frac{1}{2\pi\epsilon} \iint_{D_3} \ln \frac{1}{r_{QM}} dS_M + \oint_{G_3} \sigma_3(M) \ln \frac{1}{r_{QM}} d\ell_M, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_k(M)$ - поверхностная плотность зарядов на G_k ($k = 1, 2, 3$); q - величина заряда на единице длины провода.

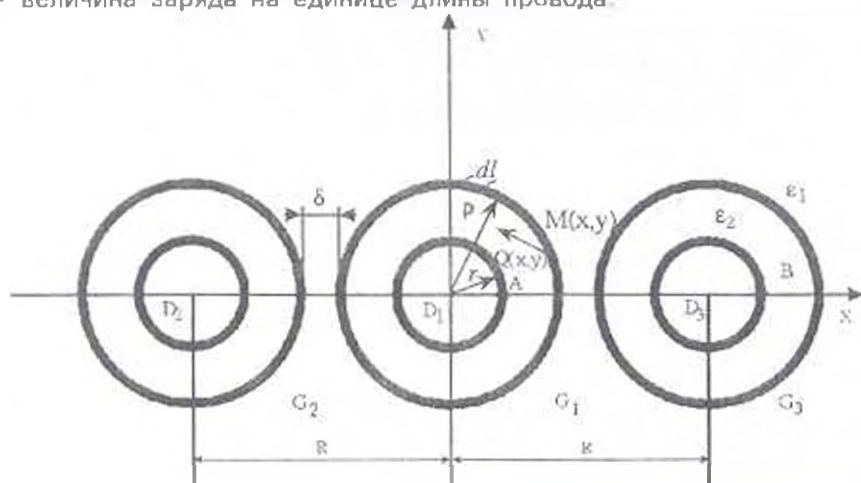


Рис. 1. К расчету электрического поля трехфазного кабеля переменного тока с параллельно расположенными фазами

Примем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \sigma_1(\alpha) &= \sigma_1(M)r = \sigma_1(\rho \cos \alpha, \rho \sin \alpha)\rho, \\ \sigma_2(\beta) &= \sigma_2(M)r = \sigma_2(-R + \rho \cos \beta, \rho \sin \beta)\rho, \\ \sigma_3(\gamma) &= \sigma_3(M)r = \sigma_3(R + \rho \cos \gamma, \rho \sin \gamma)\rho. \end{aligned} \quad (2)$$

Поскольку металлическая оболочка отсутствует, то отражение с поверхности оболочки равно нулю ($E_1=0$). Так как фазы кабелей расположены параллельно, то надо определить потенциал плоскопараллельного поля $U(Q)$ в точке $O(x,y)$.

Тогда потенциал $U(Q)$ в точке $Q(x, y)$ запишется в виде

$$\begin{aligned}
 U(x, y) = & \frac{q}{2\pi\epsilon} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^{\rho} \ln \frac{1}{\sqrt{(a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} a da - \\
 & - \frac{1}{2\pi\epsilon} \frac{q}{2} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^{\rho} \left(\ln \frac{1}{\sqrt{(R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} + \right. \\
 & \left. + \ln \frac{1}{\sqrt{(-R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} \right) a da + \\
 & + \int_0^{2\pi} \sigma_1(\alpha) \ln \frac{1}{\sqrt{(\rho \cos \alpha - x)^2 + (\rho \sin \alpha - y)^2}} d\alpha + \\
 & + \int_0^{2\pi} \sigma_2(\beta) \ln \frac{1}{\sqrt{(-R + \rho \cos \beta - x)^2 + (\rho \sin \beta - y)^2}} d\beta + \\
 & + \int_0^{2\pi} \sigma_1(\gamma) \ln \frac{1}{\sqrt{(R + \rho \cos \gamma - x)^2 + (\rho \sin \gamma - y)^2}} d\gamma.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Поскольку напряженность поля $E(x, y)$ равна
 $E(x, y) = -\text{grad}U(x, y)$,

то, продифференцировав (3) по x и y , получим

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial U}{\partial x} = & \frac{q}{2\pi\epsilon} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^{\rho} \frac{a \cos \psi - x}{\sqrt{(a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} a da - \\
 & - \frac{1}{2\pi\epsilon} \frac{q}{2} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^{\rho} \left(\frac{R + a \cos \psi - x}{(R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2} + \right. \\
 & \left. + \frac{-R + a \cos \psi - x}{(-R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2} \right) a da + \\
 & + \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_1(\alpha) \ln \frac{\rho \cos \alpha - x}{\sqrt{(\rho \cos \alpha - x)^2 + (\rho \sin \alpha - y)^2}} d\alpha + \\
 & + \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_2(\beta) \ln \frac{-R + \rho \cos \beta - x}{\sqrt{(-R + \rho \cos \beta - x)^2 + (\rho \sin \beta - y)^2}} d\beta + \\
 & + \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_1(\gamma) \ln \frac{R + \rho \cos \gamma - x}{\sqrt{(R + \rho \cos \gamma - x)^2 + (\rho \sin \gamma - y)^2}} d\gamma,
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial U}{\partial y} = & \frac{q}{2\pi\epsilon} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^p \frac{a \sin \psi - y}{\sqrt{(a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} a da - \\
& - \frac{1}{2\pi\epsilon} \frac{q}{2} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^p \left(\frac{\frac{a \sin \psi - y}{\sqrt{(R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} +}{+ \frac{a \sin \psi - y}{\sqrt{(-R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}}} \right) a da + \\
& + \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_1(\alpha) \frac{\rho \sin \alpha - y}{\sqrt{(\rho \cos \alpha - x)^2 + (\rho \sin \alpha - y)^2}} d\alpha + \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_2(\beta) \times \\
& \times \frac{\rho \sin \beta - y}{\sqrt{(-R + \rho \cos \beta - x)^2 + (\rho \sin \beta - y)^2}} d\beta + \\
& + \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_3(\gamma) \frac{\rho \sin \gamma - y}{\sqrt{(R + \rho \cos \gamma - x)^2 + (\rho \sin \gamma - y)^2}} d\gamma.
\end{aligned} \tag{5}$$

Примем следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
-F_1(x, y) = & q \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^p \frac{a \cos \psi - x}{\sqrt{(a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} a da - \\
& - \frac{q}{2} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^p \left(\frac{\frac{R + a \cos \psi - x}{\sqrt{(R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} +}{+ \frac{-R + a \cos \psi - x}{\sqrt{(-R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}}} \right) a da,
\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
-F_2(x, y) = & \frac{q}{2\pi\epsilon} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^p \frac{a \sin \psi - y}{\sqrt{(a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} a da - \\
& - \frac{1}{2\pi\epsilon} \frac{q}{2} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^p \left(\frac{\frac{a \sin \psi - y}{\sqrt{(R - a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}} +}{+ \frac{a \sin \psi - y}{\sqrt{(-R + a \cos \psi - x)^2 + (a \sin \psi - y)^2}}} \right) a da.
\end{aligned} \tag{7}$$

На границах G_k ($k=1,2,3$) имеем условия: $\epsilon_1(\vec{E}, \vec{n})_e = \epsilon_2(\vec{E}, \vec{n})_r$, где $\vec{E}$ - значение напряженности поля на кривой G_k . Из этих условий на границе G_k получим следующее уравнение в точке $Q = (\rho \cos \psi, \sin \psi)$ при $\epsilon_1 = 1$, $\epsilon_2 = 2.2$:

$$\left[\begin{aligned} & \varepsilon_1 \left[F_1(\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\cos \varphi) + F_2(\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\sin \varphi) + \right. \\ & + \frac{1}{2\rho} \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_1(\alpha) d(\alpha) - \frac{\pi}{\rho} \tilde{\sigma}_1(\varphi) - \\ & - \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_2(\beta) \frac{R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\beta - \varphi)}{R^2 + 2\rho R(\cos \beta - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\beta - \varphi}{2}} d\beta - \\ & \left. - \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_3(\gamma) \frac{-R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\gamma - \varphi)}{R^2 - 2\rho R(\cos \beta - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\beta - \varphi}{2}} d\gamma \right] = \end{aligned} \right.$$

$$\left[\begin{aligned} & F_1(\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\cos \varphi) + F_2(\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\sin \varphi) + \\ & + \frac{1}{2\rho} \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_1(\alpha) d(\alpha) + \frac{\pi}{\rho} \tilde{\sigma}_1(\varphi) - \\ & - \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_2(\beta) \frac{R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\beta - \varphi)}{R^2 + 2\rho R(\cos \beta - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\beta - \varphi}{2}} d\beta - \\ & - \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_3(\gamma) \frac{-R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\gamma - \varphi)}{R^2 - 2\rho R(\cos \beta - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\beta - \varphi}{2}} d\gamma \end{aligned} \right] \quad (8)$$

или

$$\begin{aligned} & \tilde{\sigma}_1(\varphi) + \frac{\lambda_1}{2} \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_1(\alpha) d\alpha - \\ & - \rho \lambda_1 \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_2(\beta) \frac{R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\beta - \varphi)}{R^2 + 2\rho R(\cos \beta - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\beta - \varphi}{2}} d\beta - \\ & - \rho \lambda_1 \int_0^{2\pi} \tilde{\sigma}_3(\gamma) \frac{-R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\gamma - \varphi)}{R^2 - 2\rho R(\cos \gamma - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\gamma - \varphi}{2}} d\gamma = \rho \lambda_1 \tilde{f}_1(\varphi). \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь

$$\lambda_1 = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \frac{1}{\pi}, \quad (10)$$

$$\tilde{f}_1(\varphi) = -\cos \varphi F_1(\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi) - \sin \varphi F_2(\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi).$$

Аналогично, на границах G_2 и G_3 получаем следующие уравнения

$$\begin{aligned} & \bar{\sigma}_1(\varphi) + \frac{\lambda_1}{2} \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_1(\beta) d\beta - \\ & - \rho \lambda_1 \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_1(\alpha) \frac{R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\alpha - \varphi)}{R^2 + 2\rho R(\cos \alpha - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}} d\alpha - \\ & - \rho \lambda_1 \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_1(\gamma) \frac{-R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\alpha - \varphi)}{R^2 - 2\rho R(\cos \alpha - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}} d\gamma = \rho \lambda_1 \bar{f}_2(\varphi), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & \bar{\sigma}_1(\varphi) + \frac{\lambda_1}{2} \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_1(\gamma) d\gamma - \\ & - \rho \lambda_1 \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_1(\alpha) \frac{R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\alpha - \varphi)}{R^2 + 2\rho R(\cos \alpha - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}} d\alpha - \\ & - \rho \lambda_1 \int_0^{2\pi} \bar{\sigma}_2(\beta) \frac{-R \cos \varphi + \rho - \rho \cos(\beta - \varphi)}{R^2 - 2\rho R(\cos \beta - \cos \varphi) + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\beta - \varphi}{2}} d\beta = \rho \lambda_1 \bar{f}_3(\varphi). \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь

$$\begin{aligned} f_2(\varphi) &= F_1(-R + \rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\cos \varphi) + \\ & + F_2(-R + \rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\sin \varphi), \\ f_3(\varphi) &= F_1(R + \rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\cos \varphi) + \\ & + F_2(R + \rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi)(-\sin \varphi). \end{aligned}$$

На основании программы получаем величину напряженности электрического поля и ее зависимость $E(x)$ от расстояния между фазами для точки "А" (рис.2). При увеличении этого расстояния напряженность поля снижается. Кроме того, видно изменение напряженности центральной фазы от наличия двух соседних фаз.

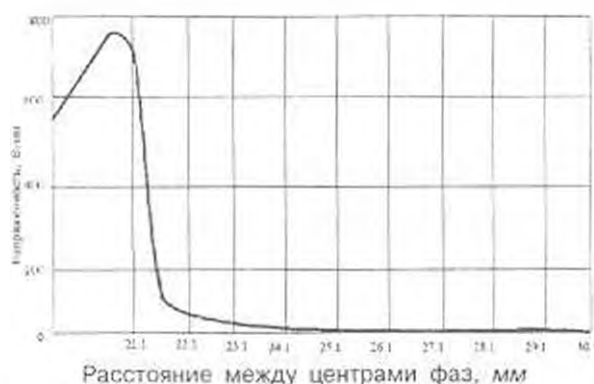


Рис.2 Зависимость напряженности от расстояния между фазами при $\epsilon_1=1$; $\epsilon_2=2.2$

Теперь эти величины необходимо сравнить со случаем, когда изолированные фазы кабеля скручены между собой и расположены на металлической оболочке. Ввиду того, что фазы кабеля скручены, то имеем спиральные линии, электрические поля которых тоже спиральные, то есть имеем трехмерное электрическое поле. Компоненты (E_x, E_y, E_z) этого поля приведены в [2], где отчетливо видно, что величина напряженности кабеля со скрученными фазами значительно отличается от напряженности кабеля с параллельно расположенными фазами [3]. Кроме того, компоненты поля, отраженные от металлической оболочки, увеличивают напряженность на фазах по меньшей мере на 10...12% (см. таблицу расчетов X, Y, Z в [2]). Одновременно из (10) получим

$$E_{\text{max}} = \frac{\sqrt{2} \sqrt{3} U}{2 r_0 \text{Arch}(x/r_0)} \quad (13)$$

где r_0 - радиус токопроводящей линии, а x - расстояние между центрами фаз.

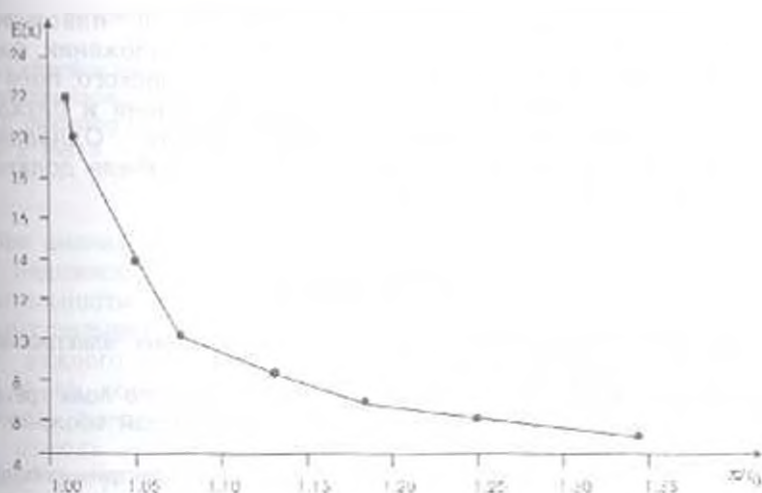


Рис. 3. Зависимость напряженности от расстояния между неизолированными линиями

Сравнительные расчеты показывают, что при $\epsilon_1 = \epsilon_2$ и $\lambda = 0$ величина напряженности поля, рассчитанная по формулам (8)-(12), приблизительно приравнивается к напряженности неизолированных линий (рис. 3 и 4). Единственное различие заключается в том, что на этой напряженности, когда фазы кабеля находятся близко, на них действует третья фаза.

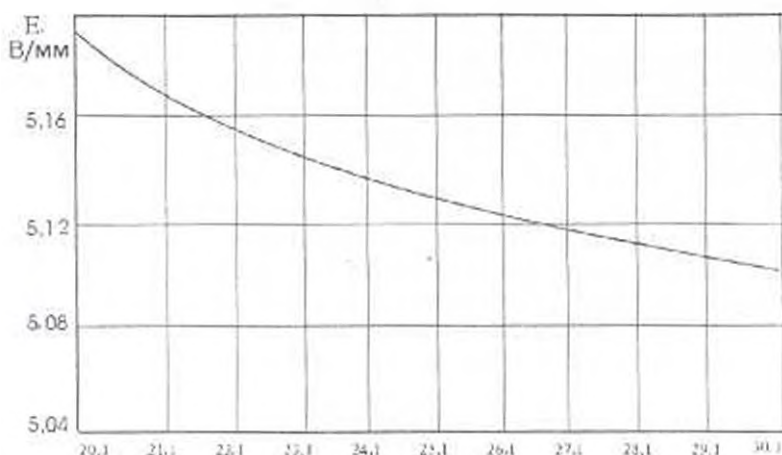


Рис. 4. Зависимость напряженности от расстояния между фазами при $\varepsilon_1=1$; $\varepsilon_2=1$, $\lambda=0$

Таким образом, применение кабелей с пластмассовой изоляцией и оболочкой при параллельном расположении фаз даст возможность уменьшить напряженность электрического поля между фазами, устранить межфазовые короткие замыкания и блуждающие токи и значительно снизить себестоимость. Одновременно необходимо отметить, что в этом случае фазы кабеля должны быть расположены в бетонных траншеях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тозони О.В., Майергойз И.Д. Расчет трехмерных электромагнитных полей.- Киев: Техника, 1974 -352 с.
2. Мирзабекян Ж.М. Метод определения электрического поля трехфазного кабеля со сплошной фазовой изоляцией в металлической оболочке // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996.-Т.49, № 2. - С.89-96.
3. Мирзабекян Ж.М., Рубанович С.Г. Определения электрических потерь в экране симметрических кабелей с многократно скрученными жилами // Электричество - 1982. - №1 - С.37-42.

ГИУА

14.04.1998

С.О. СИМОНЯН, Е.Ш. БОЗОЯН

ОБ ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Մշակված է տրամաբանական սխեմաների տարրերի ֆունկցիոնալ ակտիվության գնահատման արդյունավետ եղանակ, որը լայն գործնական կիրառության ունի այդ սխեմաների հուսալիության ֆունկցիոնալ մոդելավորման, թեստավորման և այլ խնդիրների լուծման ժամանակ:

Разработан эффективный способ оценки функциональной активности элементов логических схем, имеющий широкое практическое применение при решении задач надежности, функционального моделирования, тестирования и т.д.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

An effective method of functional activation estimation of logic circuit elements has been developed. They have a wide range of applications for solving reliability, functional modelling and testing problems.

Ил. 2. Ref. 3

При анализе надежности логических схем важными являются не только надежностные характеристики их элементов, но и фактор чувствительности выхода схемы к изменениям состояний выходов отдельных элементов. Именно этот фактор в основном и определяет "вклад" каждого элемента в общий качественный фон надежности схемы, а ее количественное уточнение позволяет точно оценить надежность схемы в целом. В этом смысле различные элементы схемы отнюдь не "равноправны" и в общем случае по своим "вкладам" могут существенным образом отличаться друг от друга. Этим исследованиям посвящены, в частности, работы [1-3], где рассмотрены вопросы уточнения понятия чувствительности выхода схемы к изменениям состояний выходов ее элементов.

В основе одного из возможных вариантов уточнения понятия чувствительности лежит понятие функциональной активности элемента (ФАЭ) [3], суть которого заключается в следующем.

Пусть схема S , состоящая из N логических элементов, имеет n входов и один выход. Обозначим ее элементы числами $1, 2, \dots, N$. Пусть эти элементы соответственно реализуют булевы функции $f_1, f_2, \dots, f_N$. При "правильной" работе ее элементов схема S реализует некоторую функцию, являющуюся суперпозицией функций $f_1, f_2, \dots, f_N$. Обозначим эту функцию через $(f_1 \circ f_2 \circ \dots \circ f_N)$. Тогда под "правильной" работой элементов или схемы понимается событие, когда при подаче сигналов на их входы на выходах появляются сигналы, предусмотренные проектировщиком. В противном случае - элемент "ошибается". Итак, значением "правильного" сигнала на выходе

схемы, если на ее входы поступает набор сигналов $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, будет $(f_1 \circ f_2 \circ \dots \circ f_n)(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$.

Теперь для уточнения понятия ФАЭ введем понятие **нормы булевой функции**. Рассмотрим функцию $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Пусть с вероятностью $P(x_i = \lambda_i)$ переменная x_i принимает значение α_i ($i = \overline{1, n}$), при этом значения, принимаемые переменными x_i и x_j ($i, j = \overline{1, n}; i \neq j$), статистически независимы. Вероятность события $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1$ при случайном наборе $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ значений переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ называется нормой функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и обозначается через $\|f\|$. Очевидно, что

$$\|f\| = \sum_{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \in E} f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \prod_{i=1}^n P(x_i = \alpha_i),$$

где $E = \{0, 1\}$.

Функциональной активностью элемента i схемы S , реализующего функцию f_i , называется число

$$P_S(i) = \|(f_1 \circ \dots \circ f_i \circ \dots \circ f_n) \oplus (f_1 \circ \dots \circ f_i \circ \dots \circ f_n)\|.$$

Очевидно, $P_S(i)$ является вероятностью того, что если элемент i "ошибается", а все остальные элементы схемы работают "правильно", то схема S "ошибается", т.е. на ее выходе появляется "ошибочный" сигнал. В [1-3] установлены некоторые свойства нормы, облегчающие ее вычисления. Эти свойства особенно эффективны, когда формула для определения $P_S(i)$ обладает "разделительными" свойствами. Однако процедура вычисления этой нормы является трудоемкой, поэтому необходимо обратиться к статистическим методам (типа метода Монте-Карло). Между тем, во многих случаях вполне удовлетворительным оказывается оценка нормы величины $P_S(i)$, что и обуславливает необходимость разработки методов оценки ФАЭ.

Настоящая работа посвящена решению этой проблемы - разработке метода оценки ФАЭ, основанного на некую "монотонность" ФАЭ относительно некоторого специального расположения элементов в схеме. Исходя из точного значения ФА некоторого элемента, "монотонность" позволяет оценить ФА сразу множества других элементов, если они расположены "до" или "после" указанного элемента.

Пусть i, j являются элементами схемы S , а S_i - подсхемой с выходным элементом i , состоящей из всех тех элементов S , от выходов которых функционально зависит выход элемента i (рис. 1). Множество элементов S_i обозначим через $M(i)$. Тогда имеет место следующее утверждение.

Теорема. Если $j \in M(i)$ и выход любого элемента k ($k \notin M(i)$), функционально не зависящего от выхода i , не зависит также от выхода элемента j , то

$$P_S(j) \leq P_S(i).$$

Доказательство теоремы немедленно следует из равенства

$$P_{\Sigma}(j) = P_{\Sigma}(j)P_{\Sigma}(i),$$

правильность которого, в свою очередь, следует из того факта, что ошибочный сигнал на выходе элемента i "пропускается" на выход схемы только через элемент j (рис. 1), т.к. все пути от выхода элемента j к выходу схемы проходят через элемент i (см. условие теоремы).

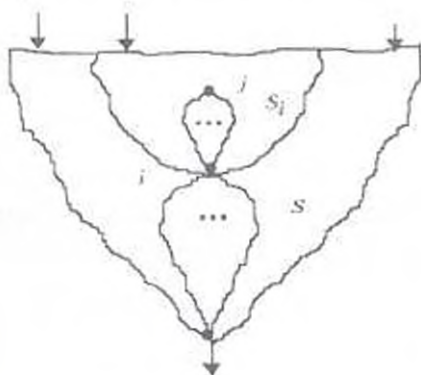


Рис. 1

Таким образом, понятие ФАЭ обладает неким свойством "монотонности" относительно отношения "быть элементом подсхемы с данным выходным элементом". Такая монотонность позволяет сверху и снизу оценить ФА многих других элементов, зная ФА некоторых "граничных" элементов. Это обстоятельство существенно сокращает объем вычислений при оценке надежности схем.

Эффект предлагаемого метода оценки ФАЭ продемонстрируем на примере (рис.2).

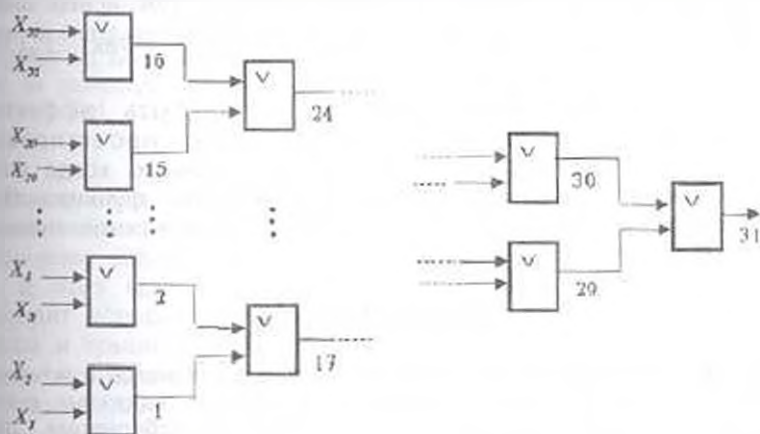


Рис. 2

Вычислим ФА элементов этой схемы, предполагая, что каждый элемент реализует функцию типа "или", а вся схема реализует функцию $x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_{32}$. Подсхема с выходным элементом 29 реализует функцию $x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_{16}$. При неправильной работе этого элемента указанная подсхема будет реализовывать функцию $\overline{x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_{16}}$. Принимая $P(x_i = \alpha_i) = 1/2, \forall i = 1, 32$, вычислим ФА элемента 29. Пользуясь методами вычисления нормы булевой функции [3], получим

$$\begin{aligned} P_s(29) &= \|(x_1 \vee \dots \vee x_{16} \vee x_{17} \vee \dots \vee x_{32}) \oplus (\overline{x_1 \vee \dots \vee x_{16}} \vee x_{17} \vee \dots \vee x_{32})\| = \\ &= \|\overline{x_1} \dots \overline{x_{16}} \overline{x_{17}} \dots \overline{x_{32}} \oplus (x_1 \vee \dots \vee x_{16}) \cdot \overline{x_{17}} \dots \overline{x_{32}}\| = \\ &= \|\overline{x_1} \dots \overline{x_{32}}\| \cdot \|\overline{x_1} \dots \overline{x_{16}} \oplus (x_1 \vee \dots \vee x_{16})\| = 2^{-16}. \end{aligned}$$

Вычисляя таким же образом ФА остальных элементов, получим

$$P_s(1) = P_s(2) = \dots = P_s(16) = 2^{-30},$$

$$P_s(17) = P_s(18) = \dots = P_s(24) = 2^{-28},$$

.....

$$P_s(25) = P_s(26) = P_s(27) = P_s(28) = 2^{-24},$$

$$P_s(29) = P_s(30) = 2^{-16},$$

$$P_s(31) = 1.$$

Теперь, если требуется найти элементы, у которых выполняется условие $P_s(i) \leq 2^{-24}$, то достаточно вычислить $P_s(i)$ для $i = 25, 26, 27, 28$, которые удовлетворяют этому условию, а его выполнение для $i = 1, 24$ следует уже из доказанной выше теоремы. Итак, в рассмотренном примере вместо вычисления ФА 31 элементов оказалось достаточным вычисление ФА всего лишь 6 элементов, т.е. вычисление $P_s(i)$ при $i = 25, 30$. Факт $P_s(31) = 1$ тривиален и не нуждается в комментарии.

Результаты настоящей работы могут быть эффективно использованы в области автоматизации проектирования вычислительных устройств, в частности, в случаях, когда фактор функционального поведения схемы (надежность, функциональное моделирование, тестирование и т.д.) имеет особо важное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бозоян Ш.Е. Некоторые свойства булевых дифференциалов и активностей аргументов булевых функций и вопросы построения надежных схем из ненадежных элементов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. - 1975. - №5. - С. 148-160.
2. Бозоян Ш.Е. Некоторые свойства булевых дифференциалов и активностей аргументов булевых функций // Проблемы передачи информации. - 1978 - Т.14, вып. 1. - С. 78-89.

3 Бозоян Е.Ш. Оценка надежности функциональной схемы с учетом частоты переключения ее элементов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН. * 1997.- Т. 50, №2- С. 120-125.

ГИУА

04.04.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1.1. № 2, 1998, с. 207 - 210

УДК 621.315.592 (086.8)

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А.К. АТАНЕСЯН, Л.С. БАЛАЯН, А.А. ОГАНЕСЯН

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ

Ձրաշին լուծույթներից միաբյուրեղներ սահեցնելու համար նախատեսված քրիստալիզացիոն սարքերում գերհազդման մեխանիզմի առումնափոխության ժամանակ հայտնաբերվել են արժեքահաշվարկային կառուցույթներ խախտող գործոններ: Ստացված տվյալների հիման վրա արվել է քրիստալիզացիոն սարքի կափարիչի սպգրոնորոհն նոր կառուցվածք, որի կիրառումը քրիստալիզացիոն աճեցման ողջ ընթացքում ապահովում է նրանք աճի հաստատուն արագություն:

При исследовании механизма задания пересыщения в кристаллизационных аппаратах для выращивания монокристаллов из водных растворов выявлены основные факторы, нарушающие стационарность процесса. На основании полученных данных разработана принципиально новая конструкция крышки кристаллизационного аппарата, применение которой обеспечивает постоянство скорости роста монокристаллов во всем процессе выращивания.

Ил.3. Библиогр.: 4 назв.

The supersaturation setting mechanism in a crystallizer is investigated. The supersaturation and, consequently, the rate of growth is found to be not constant all along the growth process. Due to these investigations a new type of a crystallizer lid was worked out providing a more regular course of the growth process for monocrystals.

Ил 3. Ref. 4.

В кристаллизационных аппаратах для выращивания в изотермических условиях воднорастворимых монокристаллов пересыщение задается методом свободного испарения растворителя [1-3]. В этих кристаллизаторах (рис. 1) с поверхности раствора происходит испарение растворителя, и из-за разности температур раствора и крышки аппарата пары растворителя конденсируются на крышке. Конденсированный растворитель сливается сначала в конденсатосборник, а после его наполнения - обратно в раствор. Так как система герметична, то достигается условие равенства скорости испарения растворителя с поверхности раствора и средней скорости слива конденсата обратно в раствор. Скорость слива уравнивается, так как капли растворителя, конденсированные на крышке аппарата, достигают определенных размеров, после чего

сливаются в конденсатосборник, а оттуда порциями - обратно в раствор. Как показали наблюдения, при температуре раствора 40 °С и крышки аппарата 20 °С в конденсатосборнике за сутки собирается примерно 20 мл воды, в то время как порция мгновенного слива из конденсатосборника в раствор составляет 3 мл.

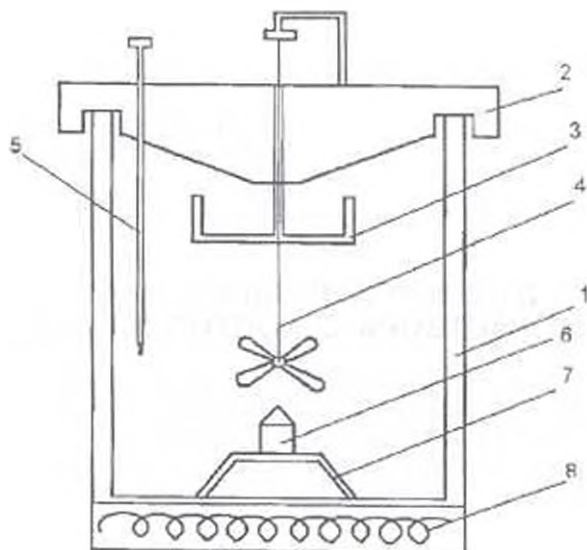


Рис.1. Принципиальная схема кристаллизационного аппарата:
1 - кристаллизационный сосуд; 2 - крышка; 3 - конденсатосборник; 4 - мешалка; 5 - контактный термометр; 6 - затравочный кристалл; 7 - подставка; 8 - нагреватель

Для создания пересыщения в такой системе необходимо нарушить динамическое равновесие путем отбора из конденсатосборника конденсированного растворителя с определенной частотой. При нормальном режиме роста монокристаллов в 5-литровом кристаллизационном аппарате ежесуточно из конденсатосборника отбирается примерно 1,5 мл конденсата. Таким образом, пересыщение, соответствующее нормальному режиму роста, задается в системе в течение 2 часов, и при ежесуточном отборе 1,5 мл конденсата шесть раз задается и мгновенно исчезает ростовое условие. Очевидно, что в такой системе равномерный рост исключается, так как в интервале между двумя сливами конденсата пересыщение дважды исчезает, то есть происходит попеременно рост и растворение кристалла. Очевидно также, что чередование таких процессов является одной из причин возникновения разного рода напряжений в растущем кристалле.

Этот существенный недостаток присущ всем видам кристаллизационных аппаратов периодического отбора конденсата.

Измерения линейной скорости роста при разных пересыщениях в указанных условиях в процессе роста монокристалла $\alpha\text{-LiIO}_3$ (рис. 2, кр. 1 и 2) подтверждают сделанные выше предположения.

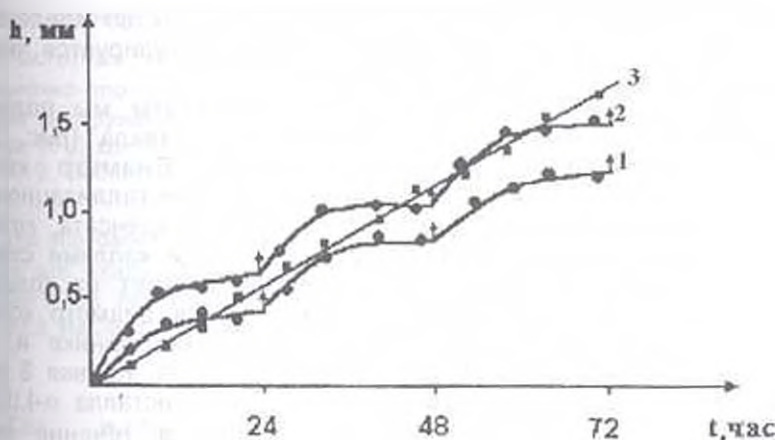


Рис. 2. Кинетическая картина роста монокристалла α -LiIO₃
 1- пересыщение 1 мл/сут; 2- пересыщение 1.5 мл/сут; 3- пересыщение 1.5 мл/сут с применением крышки с кольцом

Кристаллы выращивались на затравках толщиной 2...3 мм и с сечением 20 мм в течение 3-х месяцев и достигали длины — 45 мм. Линейная скорость роста монокристаллов измерялась катетометром В-630 (точность измерений 0,03 мм).

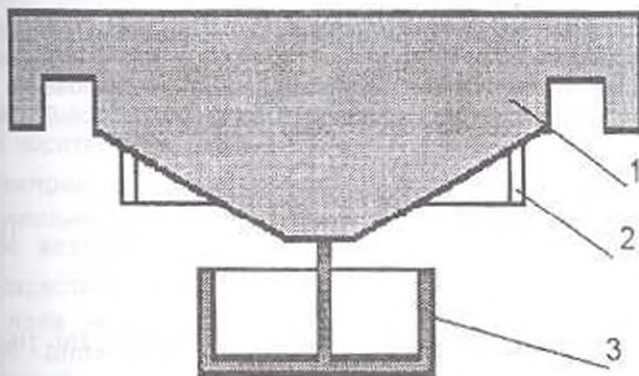


Рис. 3. Принципиальная схема крышки с кольцом
 1 - крышка; 2 - кольцо из органического стекла; 3 - конденсатосборник

Измерения скорости роста проводились периодически (четыре раза в месяц) в течение трех суток. Картина изменения скорости роста при каждой серии измерений не менялась. Очевидно, что для достижения равномерной скорости роста монокристалла необходимо разработать такую установку, в которой протекало бы равномерное испарение растворителя со скоростью 1...2 мл в сутки. Одним из путей решения этого вопроса явилось прикрепление капроновых нитей ко всей внутренней поверхности крышки кристаллизационного аппарата [4]. По этим нитям конденсированный растворитель

равномерно сливается обратно в раствор. Количество конденсата, соответствующее нормальному режиму отбора, регулируется числом ниток, направленных в конденсатосборник.

Однако более удовлетворительные результаты мы получили путем прикрепления кольца из органического стекла (рис. 3) к внутренней поверхности крышки аппарата. Диаметр кольца превышает диаметр конденсатосборника. В кристаллизационном аппарате, снабженном такой крышкой, та часть конденсата, которая стекает от краев крышки, собирается на кольцо и каплями стекает обратно в раствор. А другая часть, которая стекает от кольца к центру, собирается в конденсатосборнике. Меняя диаметр кольца, задается скорость накопления воды в конденсатосборнике и, тем самым, регулируется скорость роста монокристалла. Кривая 3 (рис. 2) соответствует линейной скорости роста монокристалла $\alpha\text{-LiI(O)}$ с применением крышки с кольцом. Как видно, в течение всего процесса выращивания скорость роста постоянна. Помимо этого, установка кольца над конденсатосборником оказалась простым и весьма эффективным приемом, позволившим отбирать конденсат через достаточно длительные и произвольные моменты времени.

(Работа выполнена в рамках научной темы 96-707 за счет государственных централизованных источников финансирования РА).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 А.с. СССР. - № 451460.- 1971.
- 2 А.с. СССР.- № 439108.- 1972.
3. Шархатунян Р.О. и др. Выращивание монокристаллов йодата лития // Изв. АН АрмССР. Физика.-1974.-№ 9.- С. 224-228.
- 4 Оганесян А.А., Атанесян А.К. О возможности регулирования скорости роста $\alpha\text{-LiI(O)}$ в изотермических условиях. Препринт ПЛРФ - 78-20. Ереван. Изд. ЕГУ. 1978 - 8 с.

Ин-т прикл. проблем физики НАН РА.

Ин-т орг. химии НАН РА

15.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 2, 1998, с. 210 - 216.

УДК 621.382.001.2/3

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

В.В. БУНИАТЯН

РОЛЬ ДИФфуЗИИ ПОДВИЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА В ФОРМИРОВАНИИ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ИНЖЕКЦИОННО-ПРОЛЕТНЫХ СТРУКТУРАХ

Նետագրությունը է խոտոմների դիֆուզիոն եռաանյի ուղղորդությունը $p-n-p$ ինժեկցիոն-պրոլետիկ դիոդների բարձր հաճախականային բնութագրերի վրա: Պարզվել է, որ թռիչքի անկյան $1,35\pi < \theta < 1,75\pi$ միջակայքերում դիֆուզիոն երեւոյթները հանգեցնում են սարքի բնութագրերի բարելավման:

Исследовано влияние диффузионного компонента тока на высокочастотные малосигнальные характеристики p^+-n-p^+ кремниевых инжекционно-пролетных диодов (ИПД). Показано, что при определенных условиях диффузия в пролетном участке при $1,35\pi < \theta < 1,75\pi$ улучшает свойства ИПД как активного элемента.

Ил.2. Библиогр.: 6 назв.

The impedance characteristics of a semiconductor punch-through p^+-n-p^+ structure are examined. It is shown that diffusion effects in the transit angle $1,35\pi < \theta < 1,75\pi$ improve the device characteristics.

Ил.2. Ref. 6.

Как известно [1-5], в основных p^+-n-p^+ (p^+-p-p^+ , $M-n-M$) инжекционно-пролетных структурах малосигнальный анализ характеристик обычно проводится в одномерном приближении при следующих допущениях:

1. Слой объемного заряда не проникает существенно в сильнолегированные области.
2. Диффузионной составляющей тока и генерационно-рекомбинационными процессами в пролетном пространстве можно пренебречь.
3. Дрейфовая скорость носителей тока имеет значение, соответствующее ее насыщению.

Однако, если в области инжекционного контакта и в пролетном участке имеется градиент концентрации легирующих примесей [6], то роль диффузии носителей тока увеличивается после их инжекции. При этом необходимо учесть диффузионные составляющие тока.

Целью настоящей работы является исследование влияния диффузии носителей тока на ВЧ характеристики ИПД структур.

Рассмотрим p^+-n-p^+ -структуру, в пролетной области которой имеется градиент легирующей примеси. Как показано в [4], внутреннее встроенное электрическое поле замедляет движение дырок в окрестности потенциального барьера p^+-n -перехода, где внешнее поле имеет низкое (близкое к нулевому) значение. В результате движение инжектированных дырок вначале имеет диффузионный характер. В окрестности плоскости инжекции концентрация носителей тока возрастает от нуля до максимальной величины. Диффузия вызывает расплывание дырочных сгустков, движущихся в начальном участке пролетного пространства.

Как известно, в пролетном участке изменение концентрации носителей заряда вызвано высокочастотной модуляцией тока, выходящего из плоскости инжекции. Следовательно, диффузия носителей тока на начальном участке, где электрическое поле имеет низкие значения, может оказать заметное влияние на их ВЧ характеристики, если диффузионное расплывание дырочных сгустков за время τ_d , определяемое диффузионной длиной $L_d = (D_p \tau_d)^{1/2}$, становится приблизительно равным расстоянию между сгустками $2\pi V_{1K} / \omega$, т.е. когда

$$\frac{\omega (D_p \tau_p)^{1/2}}{V_{ос}} = 1,$$

где $V_{ос}$ - скорость носителей тока на инжектирующей плоскости; ω - угловая частота сигнала; D_p - коэффициент диффузии дырок.

Если $L_p \approx 1$ мкм, $V_{ос} \approx 10^8$ см/с, $D_p \approx 10$ см²/с, условие (1) выполняется при $\omega \approx 6,28 \cdot 10^{10}$ с⁻¹. Это означает, что в широких p-n-переходах (что имеет место при неравномерном легировании примесей в пролетном промежутке [6]) диффузия может играть немалую роль, и ее следует учитывать при расчете полного сопротивления ИПД.

Приближенно учет диффузии в расчетах ВЧ характеристик осуществляется следующим образом: при наличии на диоде постоянного напряжения с наложенным на него малым переменным сигналом имеем [1, 4]:

$$I_{ip} = q p_1 V_0 + q V_1 p_0 - q D_p \frac{dp_1}{dx}, \quad \varepsilon = \frac{\partial E_1}{\partial x} = q p_1, \quad (1)$$

где p_1 , p_0 , $V_1 = \mu_p E_1$, V_0 - переменные и постоянные составляющие инжектированных дырок и их скорости; μ_p - подвижность дырок при слабых полях; E_1 - переменная составляющая напряженности поля; I_{ip} - переменная составляющая тока проводимости.

Первая компонента первого уравнения (1) вызвана модуляцией плотности дырок вследствие дрейфа, вторая компонента тока есть следствие модуляции скорости носителей тока. Последняя компонента обусловлена их диффузией.

Уравнение непрерывности для пролетного участка имеет вид (при соблюдении допущений пп. 2,3)

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} + V_0 \frac{\partial p_1}{\partial x} + \frac{q \mu_p p_0}{\varepsilon} p_1 + \frac{\partial [D_p (\partial p_1 / \partial x)]}{\partial x} = 0. \quad (2)$$

Для упрощения расчетов заменим $D_p(x)$ средним значением

$$D = L_p^{-1} \int_0^{L_p} D_p(x) dx, \quad (3)$$

где L_p - длина пролетного участка.

Тогда уравнение (2) будет иметь частное решение

$$p_1(x, t) = p_k \exp[j(\omega t - h x)], \quad (4)$$

где p_k - переменная составляющая концентрации дырок в плоскости инжекции; t - время. Постоянную h определим из характеристического уравнения

$$D h^2 - j V_0 h + j(\omega + \omega_1) = 0, \quad (5)$$

где $\omega_1 = \frac{q \mu_p p_0}{\varepsilon} = f(I_{ip})$ является функцией уровня инжекции (т.е. постоянного тока смещения I_{ip}).

$$\text{При } \bar{D}=0 \quad h = \frac{\omega}{V_0} - j \frac{\omega_2}{V_0}.$$

Если влияние диффузии невелико, то при $\bar{D} \neq 0$ имеем

$$h = \frac{\omega}{V_0} - j \left(\frac{\omega_2}{V_0} + \xi \right), \quad \xi \ll 1, \quad (6)$$

где ξ - параметр, характеризующий влияние диффузии.

Подставляя (6) в (5) и пренебрегая высшими степенями по ξ , находим выражение для ξ в виде

$$\xi = \frac{-\frac{\bar{D}}{V_0^2} (j\omega + \omega_2)^2}{\left[1 + \frac{2\bar{D}}{V_0^2} (j\omega + \omega_2) \right]}.$$

Требование $\xi \ll 1$ эквивалентно условию

$$\frac{\bar{D}}{V_0^2} (j\omega + \omega_2)^2 \ll 1,$$

которое выполняется при ω и $\omega_2 \ll 10^{10} \text{ с}^{-1}$, если $\bar{D} \approx 10 \text{ см}^2/\text{с}$, $V_0 \approx 10^7 \text{ см/с}$.

Следовательно, с достаточной точностью можем записать

$$h \approx \frac{\omega}{V_0} - j \left[\frac{\omega_2}{V_0} + \frac{\bar{D}}{V_0^2} (j\omega + \omega_2)^2 \right].$$

Для тока проводимости теперь вместо (1) имеем

$$\begin{aligned} I_{ip}(x,t) &\approx qV_0 p_1(x,t) S \approx \\ &\approx I_p(0) \exp \left[j\omega \left(t - \frac{x}{V_0} \right) \right] \left\{ 1 - x \left[\frac{\omega_2}{V_0} + \frac{\bar{D}}{V_0^2} (j\omega + \omega_2)^2 \right] \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $I_p(0)$ - амплитуда тока проводимости в плоскости инжекции, S - сечение прибора.

Используя условие постоянства полного тока $I_1(t)$

$$I_{ip}(x,t) + I_{em}(x,t) = I_1(t), \quad (8)$$

для изменения тока смещения ΔI_{em} и переменного напряжения $\Delta U_p(t)$ в пролетном пространстве, вызванных диффузией, имеем

$$\Delta I_{em}(x,t) = -\Delta I_{ip}(x,t) = I_p(0) \exp \left[j\omega \left(t - \frac{x}{V_0} \right) \right] x \left[\frac{\bar{D}}{V_0^2} (j\omega + \omega_2)^2 \right].$$

$$\Delta U_D(t) = \frac{1}{j\omega \varepsilon S} \int_0^L \Delta I_{cs}(x, t) dx =$$

$$= \frac{I_{ip}(0) \bar{D} (j\omega + \omega_s)^2}{j\omega \varepsilon S V_0} [(1 + j\theta) \exp(-j\theta) - 1], \quad (9)$$

где θ - угол пролета, $\theta = \omega L / V_0 \equiv \omega T$; T - время пролета.

Окончательно для $\Delta U_D(t)$ получим

$$\Delta U_D(t) \equiv \frac{I_{ip}(0) \bar{D}}{j\theta^2 \varepsilon S V_0^2} (j\theta + \theta_s)^2 [(1 + j\theta) \exp(-j\theta) - 1], \quad (10)$$

где $\theta_s = \omega_s T$.

Ток проводимости I_{ip} выражается через полный ток I_i в плоскости инжекции [4]:

$$I_{ip}(t) \equiv I_{ip}(0)(1 + j\theta_s), \quad (11)$$

где $\theta_s = \omega \varepsilon / \sigma$, $\sigma \equiv \mu_F I_{os} / V_{os}$ - малосигнальная проводимость инжектирующего контакта; I_{os} , V_{os} - средняя плотность тока и скорость носителей в плоскости инжекции.

Как следует из (10), в линейном приближении учет диффузии в пролетном пространстве эквивалентен добавлению в эквивалентную схему ИПД дополнительного активного сопротивления:

$$R_D = \operatorname{Re} \frac{\Delta U_D(t)}{I_i(t)} = \frac{L \bar{D}}{\varepsilon S \theta V_0^2 \theta_s^2} [\theta_s + (\theta \theta_s - 1) \sin \theta + (\theta + \theta_s) \cos \theta] \quad (12)$$

и реактивного сопротивления

$$X_D = \operatorname{Im} \frac{\Delta U_D(t)}{I_i(t)}.$$

Заметим, что R_D принимает отрицательные значения при углах пролета $0.5\pi < \theta < 1.75\pi$.

В основном режиме работы ИПД [1,4] при малых токах и отсутствии диффузии (равномерном легировании примесей в пролетном участке) имеем

$$R_B = \frac{V_0 T^2 (1 + \theta_s^2)^{-1}}{\varepsilon S (\theta^2 + \theta_s^2)} \left[1 - \frac{\theta_1 \theta_s + \exp \theta}{\theta} \times \right.$$

$$\left. \times [(\theta_1 + \theta \theta_s) \sin \theta + (\theta_1 \theta_s - \theta) \cos \theta] \right], \quad (13)$$

где $\theta_1 = \frac{q \mu_p N_p}{\varepsilon} T$, N_p - концентрация легирующей примеси в пролетном участке.

Отношение R_D к активному сопротивлению пролетного участка при отсутствии учета диффузии R_B равно

$$\Phi(\theta, \theta_s, \theta_1) = \frac{[\theta_s + (\theta\theta_s - 1)\sin\theta + (\theta + \theta_s)\cos\theta]}{[\theta - \theta_1\theta_s + \exp\theta_1[(\theta_1 + \theta\theta_s)\sin\theta + (\theta_1\theta_s - \theta)\cos\theta]]}.$$

Полученное выражение является функцией угла пролета θ , которая проходит через максимум при $\theta \cong 1.5\pi$ и изменяет знак при $\theta \cong 1.75\pi$ и $\theta \cong 1.35\pi$.

Анализ выражения (13) показывает, что влиянием диффузии можно пренебречь, если

$$\bar{D}\omega \cdot T / V_0^2 \ll 1.$$

Полагая $\bar{D} \cong 10 \text{ см}^2/\text{с}$, $V_0 \cong 10^7 \text{ см/с}$, находим верхнюю границу частотного интервала, когда диффузия не существенна:

$$\frac{\omega}{2\pi} \cong \frac{1.5 \cdot 10^{12}}{\theta} \text{ Гц.}$$

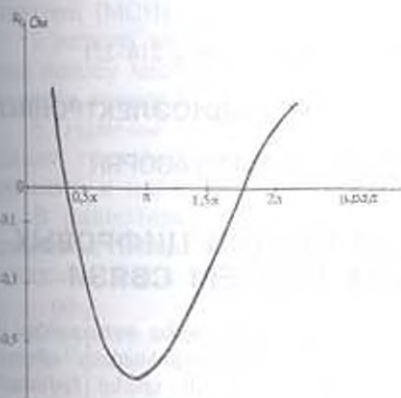


Рис.1 Зависимость R_D от угла пролета θ

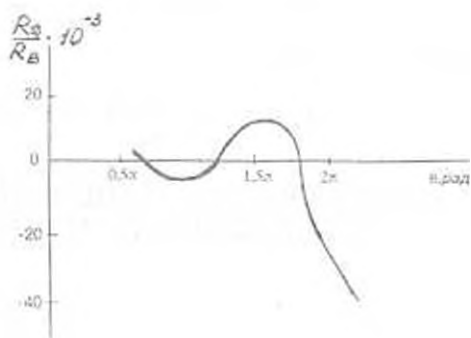


Рис.2. Зависимость R_D/R_B от угла пролета θ

Как видно, $\omega/2\pi$ лежит в конце миллиметрового - начале субмиллиметрового диапазонов длин волн при $\theta \leq \pi$. Граница сдвигается в область более длинных волн с увеличением угла пролета θ . Численные расчеты по вышеприведенным формулам для p^+-p^- -кремниевых структур при значениях параметров $\mu_p \cong 450 \text{ см}^2/\text{Вс}$, $I_0 \cong 50 \text{ А/см}^2$, $L \cong 5 \cdot 10^{-1} \text{ см}$, $D \cong 10 \text{ см}^2/\text{с}$, $T \cong 10^{-10} \text{ с}$, $\theta_1 \cong 2$, $V_{0s} \cong 10^6 \text{ см/с}$, $V_0 \cong 10^7 \text{ см/с}$, $N_s \cong 1.25 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $S \cong 1.25 \cdot 10^{-1} \text{ см}^2$ (рис.1 и 2) показывают, что диффузия в пролетном участке при углах пролета $1.35\pi < \theta < 1.75\pi$ улучшает свойства ИПД как активного элемента СВЧ цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wright G.T. Small-signal characteristics of semiconductor punch-through injection and transit time diodes // Sol.St. Electron. - 1973. - V. 16, № 8. - P. 903-912.
2. Harutunian V.M., Buniatian V.V. The influence of capture of the injected current carriers on the characteristics of BARITT diodes // Sol.St. Electron. - 1977. - V. 20, № 6. - P. 491-496.
3. Eknoyan O., Sze S.M and Yang E.S. Microwave BARITT diode with a retarding field // Sol. St. Electron. - 1977. - V. 20, № 4. - P. 285-291.
4. Арутюнян В.М., Буниatian В.В. Инжекционно-пролетные диоды. - Ереван: Изд. ЕГУ, 1986. - 226 с.
5. Wright G.T and Sultan N.B. Small-signal design theory and experiment for the punch-through injection transit time oscillator // Sol.St. Electron. - 1973. - V. 16, № 4. - P. 535-544.
6. Арутюнян В.М., Буниatian В.В. ВЧ характеристики ИПД с неоднородно распределенной примесью в пролетной области // Тезисы докладов 14 Национальной конф. "Полупроводниковая микроэлектроника", 22-23 июля, Дилижан / ЕГУ. - 1997. - С. 95-99.

ГИУА

15.10.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 2, 1998, с. 216-221.

УДК 621.376.56

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

О.В. БАГДАСАРЯН, О.А. ГОМЦЯН, Д.М. МЕГАВОРЯН

КОДИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Աշխատանքում ներկայացվում են կոդերի տարբեր տեսակներ, որոնք օգտագործվում են ինչպես սովորական կաբլերներում, այնպես և կապի թելքա-օպտիկական զմեռում: Նախատեսվում են լայն տարածված կոդերը, դիտարկվում են դրանց հիմնական բնութագրերը, տրվում հանձնարարականներ կապի խնային թելքա-օպտիկական համակարգերում հաղորդակցության կոդերի քննարկման համար:

Приводятся различные виды кодов передачи, которые используются в обычных кабельных, так и в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). Дается сравнение наиболее распространенных кодов, рассматриваются их основные характеристики. Предлагаются рекомендации по выбору соответствующих кодов и их преобразований для цифровых волоконно-оптических систем связи (ВОСС).

Ил. 3. Библиогр. 7 назв.

Different kinds of communication codes are proposed. They are used both in usual cables and fiber-optic communication lines. The comparison of the most widespread codes is given, their main characteristics are discussed. The recommendations about the choice of suitable codes and their conversions for digital fiber-optic communication systems are proposed.

Ил. 3. Ref. 7.

В последние годы широкое распространение получили цифровые системы передачи (ЦСП) информации. При этом основными методами аналого-цифрового преобразования являются ИКМ, дифференциальная ИКМ и ДМ. Для повышения эффективности ЦСП важным является выбор соответствующего линейного сигнала (кода передачи), к которому в общем случае предъявляются следующие основные требования [1-3, 5]:

1. Независимость от источника информации и однозначность кодирования, т.е. возможность передачи любого типа сообщений (речь, музыка, телевидение, данные и т.д.) с большой надежностью.

2. Эффективность кода, определяемая отношением количества информации сигналов на выходе и входе преобразователя кода.

3. Возможность обнаружения и исправления (коррекции) ошибок.

4. Оптимальный энергетический спектр для согласования характеристик сигнала с ВОК. При этом спектр сигнала должен иметь

- незначительную низкочастотную составляющую без постоянной составляющей для уменьшения межсимвольных искажений (МСИ) в регенераторах;

- низкую мощность высокочастотной составляющей, т.е. более узкую полосу частот сигнала, для уменьшения переходных влияний и мощности тепловых шумов на входе регенератора (приемника)

5. Наличие информации о синхросигнале, используемом для задания тактового интервала при регенерации и синхронизации приемного и передающего оборудования.

В радиотехнике, связи, вычислительной технике наибольшее применение получили двоичные коды, достаточно полное описание и классификация которых приведены в [7].

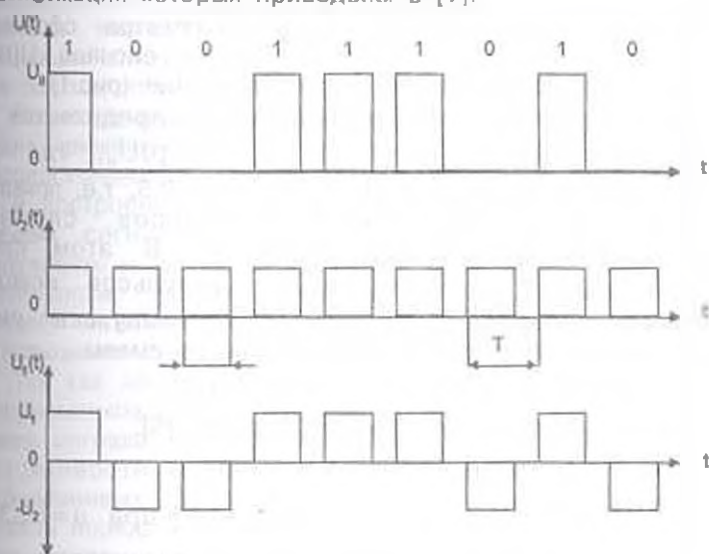


Рис 1

В общем случае для формирования символов двоичного кода используются способы возврата к нулю (BH-RZ) и безвозврата к

нулю (БВН-NRZ). В случае ВН любой символ кодовой комбинации обязательно начинается и заканчивается на нулевом уровне. В случае БВН в коде используются положительный и отрицательный потенциальные уровни, которые симметричны относительно нулевого уровня. Причем нулевой уровень для кодирования не применяется, за исключением случая отсутствия информационных символов. На основе методов ВН и БВН построено большое разнообразие двоичных кодов [2,4,7]. Однако в ВОСС используются только положительные двухуровневые сигналы. Одной из важных характеристик двоичных кодов является их энергетический спектр. Как показывают многочисленные исследования для кодовой последовательности импульсов со случайной амплитудой, энергетический спектр определяется следующим соотношением [6]:

$$G(\omega) = [2\tau_0^2/T] |G(\omega\tau_0)|^2 \{\sigma_0^2 + [2\pi/T] U_0^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - 2\pi n/T)\}, \quad (1)$$

где τ_0 - длительность импульсов; T - период последовательности; σ_0^2 - дисперсия случайного сигнала; U_0^2 - среднее значение случайной амплитуды импульсов; $\delta(\omega - 2\pi n/T)$ - дельта-функция; $|G(\omega\tau_0)|$ - модуль спектральной плотности одиночного импульса.

Из выражения (1) можно получить

$$G(\omega) = [2\tau_0^2\sigma_0^2/T] |G(\omega\tau_0)|^2 + [4\pi\tau_0^2 U_0^2/T^2] |G(\omega\tau_0)|^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - 2\pi n/T) = G_1(\omega) + G_2(\omega). \quad (2)$$

Здесь $G_1(\omega)$ и $G_2(\omega)$ - непрерывная и дискретная составляющие спектра.

Использование такой методики разбиения спектра обосновано в [5,6], где показано разложение двоичного сигнала $U(t)$ на периодическую $U_2(t)$ и случайную $U_1(t)$ составляющие (рис.1).

Амплитуда периодической компоненты определяется как $U_2 = pU_0$, а случайной компоненты - $U_1 = (1-p)U_0$, где p - вероятность появления импульсов. На практике $p=0.5$, т.е. появление положительных и отрицательных импульсов случайной последовательности обычно равновероятно. В этом случае $U_1 = U_2 = U_0/2$, где U_0 - амплитуда импульсов исходной последовательности. Отметим, что здесь импульсы имеют прямоугольную форму. Для этой формы импульсов имеем

$$|G(\omega\tau_0)|^2 = [(\sin(\omega\tau_0/2)/(\omega\tau_0/2))]^2. \quad (3)$$

Тогда дискретная составляющая спектра (2) равна [5]:

$$G(nF_1) = \begin{cases} p^2 U_0^2 (\tau_0/T)^2 & \text{при } n=0, \\ 2p^2 U_0^2 (\tau_0/T)^2 [\sin^2(\pi n\tau_0/T)/(\pi n\tau_0/T)^2] & \text{при } n=1,2,3, \end{cases} \quad (4)$$

где $F_1 = 1/T$ - тактовая частота последовательности импульсов.

Непрерывная составляющая определяется множителем $\sin^2(\pi n\tau_0/T)/(\pi n\tau_0/T)^2$, т.е. формой одиночного импульса по (3), только при этом n/F_1 заменяется частотой f .

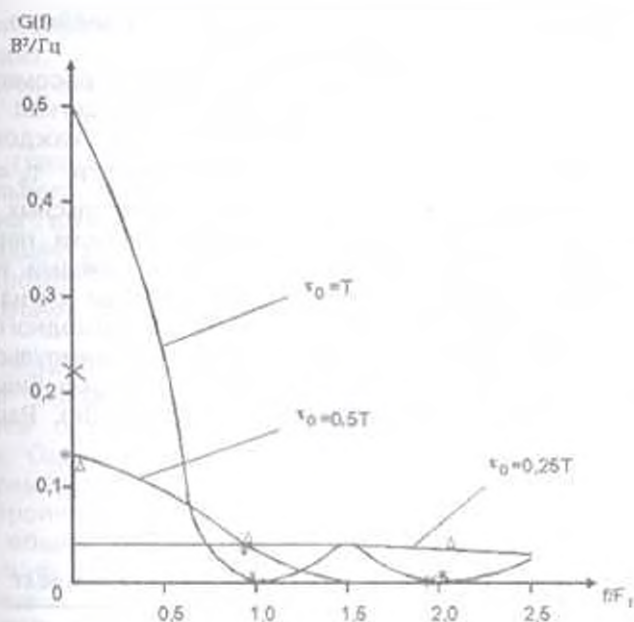


Рис. 2

Спектр линейного двоичного сигнала определяется по формуле (4) (рис.2). Символу x соответствует случай $\tau_0 = T$, символу $*$ - $\tau_0 = 0.5T$ и символу Δ - $\tau_0 = 0.25T$ для дискретной составляющей спектра. Как видно, в спектре содержится постоянная составляющая, а также компонента тактовой частоты, которая может быть выделена в регенераторе в качестве хранирующего сигнала. Наблюдается мощность высокочастотных составляющих, что приводит к переходным влияниям. Кроме того, низкочастотная часть спектра также высока, что в конечном счете влияет на работу регенератора.

Несмотря на отмеченные недостатки, линейный сигнал (рис.1) находит применение из-за простоты его формирования (например, непосредственно на выходе каналообразующей аппаратуры ИКМ или ДМ) и построения регенераторов. К вышеуказанным недостаткам двоичных сигналов следует добавить также невозможность обнаруживать и исправлять ошибки. Для этого требуется введение избыточности, что возможно путем увеличения числа уровней (позиций) сигнала (основание кода следует выбрать больше двух) или повышения скорости передачи сигнала в линейном тракте.

Так как характеристики оптических квантовых генераторов и фотоприемников существенно нелинейны, то при увеличении числа уровней сигнала они получаются неравномерными, что приводит к неустойчивости работы регенераторов. Кроме того, для многоуровневых сигналов из-за МСИ требуется более высокая мощность передачи, чем для двухуровневых. В обычных кабельных и других линиях связи многоуровневые сигналы получили широкое применение. Повышение скорости передачи сигнала в обычных кабельных линиях связи приводит к заметному увеличению затухания линии и ослаблению сигнала. В ВОЛС такое увеличение скорости приводит к незначительному возрастанию затухания и повышению

переходных влияний [3.5]. Поэтому двоичные линейные сигналы получили наибольшее распространение в ВОСС.

Широко распространенной разновидностью рассмотренного выше двоичного сигнала является биимпульсный сигнал (рис.3а). Здесь для передачи двоичных символов на каждом такте используются два импульса равной длительности $\tau_0 = T/2$ и противоположной полярности. В абсолютных биимпульсных сигналах (рис. 3б) символы "1" исходной последовательности передаются биимпульсами типа "10", а символы "0" - биимпульсами типа "01" (рис.3а). Для передачи относительных биимпульсных сигналов ОБС используется следующий алгоритм: символы "1" исходного кода в текущем тактовом интервале передаются теми же биимпульсами, что и в предыдущем; при передаче же символов "0" форма биимпульсов меняется по сравнению с предыдущим тактом (рис.3в). Рассмотрим спектры этих сигналов.

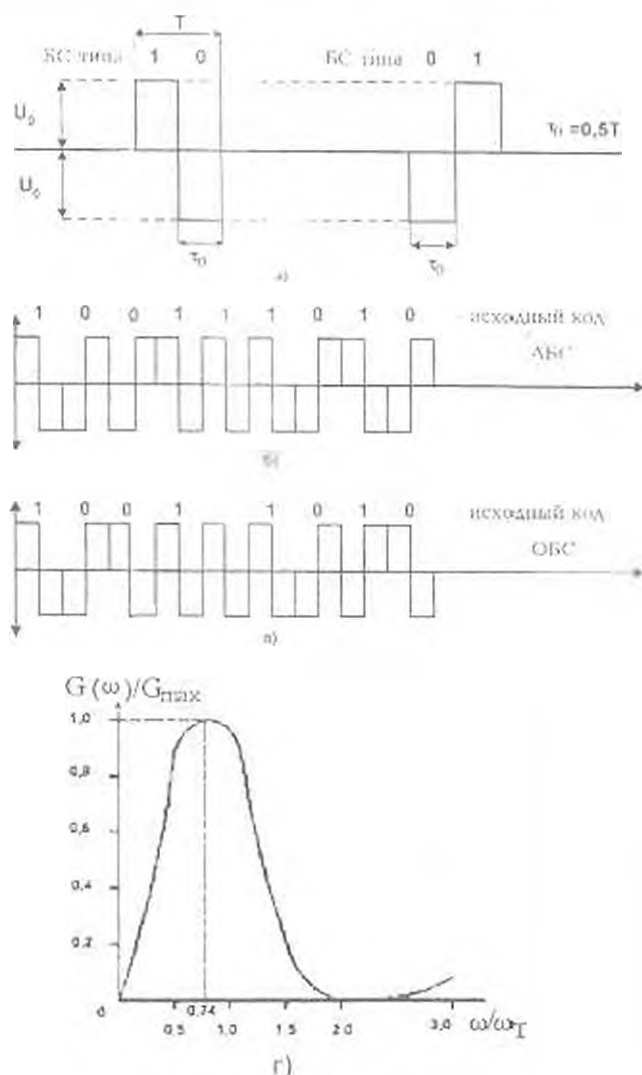


Рис.3

Если вероятность появления символов "1" и "0" в исходном коде равна, то энергетический спектр биимпульсного сигнала описывается следующим выражением [1]:

$$G(\omega) = [U^2 T / 2] [\sin(\omega T / 4) / (\omega T / 4)]^2. \quad (5)$$

Из графика этой функции, нормированного относительно максимального значения $G_{\max}$ (рис.3в), видно, что биимпульсный сигнал не имеет постоянной составляющей, а низкочастотная составляющая значительно меньше, чем у сигналов, показанных на рис.1. Кроме того, здесь более высока доля высокочастотной составляющей за счет уменьшения длительности элементарных посылок.

В серийно выпускаемой аппаратуре ИКМ применяются троичные коды. Поэтому при использовании ИКМ в ВОСС приходится осуществлять преобразование троичных сигналов в двоичные. Однако часто используется и обратное преобразование, т.е., например, один символ двоичного кода преобразуется в один символ троичного кода. Такое преобразование обозначается как 1B1T. В общем случае данное преобразование имеет вид $mBnT$, причем $n > m$. На практике для двоичных кодов используются аналогичные преобразования типа 1B2B, 5B6B, 5B7B, 3B4B, 7B10B, 6B8B. Особенностью этих кодов является то, что увеличение скорости $n/m \leq 2$. Основные цели, преследуемые при этих преобразованиях, следующие: уменьшение полосы частот, подавление постоянной составляющей, обнаружение и коррекция ошибок [3].

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При выборе кода передачи важно учитывать сложность кодека, скорость двоичного потока, уровни НЧ и ВЧ составляющих, возможность обнаружения ошибок и помехоустойчивость [2,3,5].
2. Для цифровых ВОСС наиболее подходящими являются двоичные коды и соответствующие системы ИКМ и ДМ.
3. Предпочтительны следующие преобразования кодов: 2B3B, 3B4B, 5B6B и др. [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокер П. Передача данных. - М.: Связь, 1980. - 264с.
2. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации. - М.: Сов.радио, 1976. - 368 с.
3. Мурадян А.Г., Гинзбург С.А. Системы передачи информации по оптическому кабелю. - М.: Связь, 1980 - 160с.
4. Cheo P.K. Fiber Optics and Optoelectronics // Prentice-Hall Inc. - New Jersey, 1990. - 448 p.
5. Левин Л.С., Плоткин М.А. Цифровые системы передачи информации. - М.: Радио и связь, 1982. - 216 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн 1. - М.: Сов.радио, 1974. - 552 с.
7. Березюх Н.Т. и др. Кодирование информации (двоичные коды) - Харьков: Высшая школа, 1976. - 252 с.

В.Е. АРУСТАМЯН, А.А. САРКИСЯН

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Կատարված է բժային բազմովի կապի համակարգերի կառուցման թվա-
օպտիկական և հաղորդալարային եզմուսների համեմատական վերլուծություն:
Առաջարկվում են որակի կրիտերիաներ:

Проводится сравнительный анализ волоконно-оптического и проводного
способов построения цифровой многоканальной системы связи.
Предлагаются рекомендации по их применению.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

A comparative analysis of fiber optics and copper cable ways of digital
multichannel communication system construction is performed. Recommendations
on their applications are worked out.

Ил. 1. Ref. 3.

Волоконно-оптические кабели (ОК) все больше и больше
внедряются в цифровые системы связи и в ближайшем будущем,
видимо, основательно вытеснят проводные и радиорелейные
системы, по крайней мере, на умеренных расстояниях. Это
обусловлено тремя основными факторами: высокой
помехозащищенностью, низкой стоимостью, малым затуханием и
высокой скоростью передачи по сравнению с проводными кабелями
[1]. К преимуществам ОК можно также отнести хорошую их
совместимость с существующими системами цифровой связи и
ориентированность на полную компьютеризацию систем связи.

Исследования показывают, что ОК могут успешно конкурировать
и с традиционными кабельными системами, если даже по стоимости
и затуханию они соизмеримы. Это прежде всего относится к
локальным сетям, где потери в стоимости и затухании проводных
кабелей не ощутимы. При этом доминирующую роль играет высокая
скорость передачи и взаимная помехозащищенность жил в кабеле.

Рассмотрим основные параметры и связанные с ними
выражения для медного кабеля.

Известно [2], что

$$\alpha(f) = b_0 + b_1 \sqrt{f} + b_2 f, \quad \beta(f) = b_1 \sqrt{f} + b_2 f, \quad (1)$$

где $\alpha(f)$ и $\beta(f)$ - коэффициенты затухания (дБ/км) и сдвига
(рад/км); $b_0, \dots, b_2$ - постоянные, зависящие от конструкции кабеля,
 $b_1 \gg b_0 \gg b_2$.

В случае, если линия длиной L согласована (предполагается,
что линия однородная или, по крайней мере, сбалансирована), то
коэффициенты $\alpha(f)$ и $\beta(f)$ представлены соответственно в виде

$$A(f) = \alpha(f)L, \quad \varphi(f) = \beta(f)L. \quad (2)$$

Зная коэффициенты $\alpha(f)$ и $\beta(f)$, которые являются паспортными параметрами кабелей, и задавая допустимые значения затухания $A_{\text{доп}}(f)$ и сдвига фазы $\varphi_{\text{доп}}(f)$, можно определить расстояние, при котором сигнал можно передавать без регенерации:

$$L_1 \leq A_{\text{доп}}(f)/\alpha(f), \quad L_2 \leq \varphi_{\text{доп}}(f)/\beta(f). \quad (3)$$

Фактическое расстояние определяется из условия

$$L \leq \min\{L_1, L_2\}. \quad (4)$$

Однако коэффициент затухания зависит также от температуры

$$\alpha(t) = \alpha(20^\circ\text{C})[1 + \gamma(t - 20^\circ\text{C})], \quad (5)$$

где γ - температурный коэффициент затухания, устанавливаемый экспериментально. Поэтому при задании значений температурных диапазонов в формулах (3) и (4) должна быть учтена зависимость (5).

Если под допустимым значением затухания и сдвига фаз подразумевать значение сохранения опознаваемости кодовых символов, т.е. опознаваемости формы, амплитуды и временных положений импульсов, когда еще возможно восстановить сигнал, то выражения (1)-(5) позволяют округлить длину регенерационного участка для каждого конкретного случая. Так, при использовании кабеля типа Т-0,5, Т-0,7, ТП-0,5, ТП-0,7 [2] для построения магистрального канала типа ИКМ-30 со скоростью передачи 2,048 Мбит/с затухание составляет 12...20 дБ/км, поэтому, согласно (2) и (3), регенераторы должны быть установлены через каждые 1,5...2 км.

Дальнейшее повышение скорости передачи приводит к увеличению искажения (1) сигналов, т.е. сокращению расстояния между регенераторами. Это означает, что число регенераторов должно быть увеличено, что связано с большими затратами.

Рассмотрим количественные показатели волоконно-оптического кабеля, т.е. как и в случае проводного кабеля, длину регенерационного участка. Она для ОК определяется двумя параметрами - затуханием и дисперсией. Выбор значения коэффициента затухания обусловлен соответствующим подбором спектральных характеристик источника (лазера), волокна и приемника (фотодиода).

Приводится зависимость коэффициента затухания от длины волны света в одномодовом оптическом волокне фирмы SIEMENS (рис.) [3]. Как видно, наименьшие значения коэффициента затухания соответствуют диапазону длин волн 1400...1600 нм. Дальнейшее увеличение длины волны света вызывает резкое увеличение коэффициента затухания, что обусловлено физическими процессами, происходящими в волокне.

Исследования показывают, что наиболее удачным сочетанием для таких типов ОК является лазер и p-i-n - фотодиод на основе InGaAs с близкими максимумами спектральных характеристик в промежутке длин волн $\lambda = 1,3...1,55$ мкм. В этом случае коэффициент затухания изменяется в пределах $\alpha = 0,15...0,3$ дБ/км.

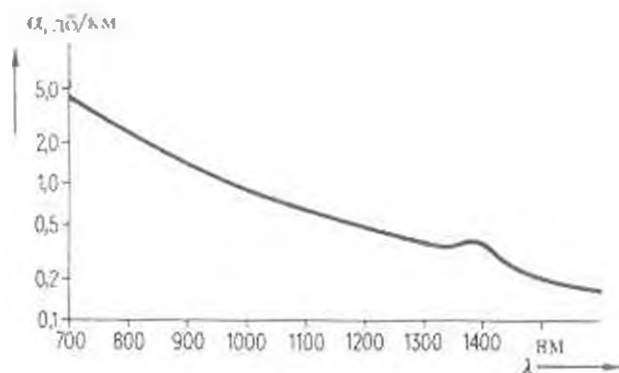


Рис.

Ограничивающим фактором для случая ОК является дисперсия. Длина регенерационного участка при использовании одномодовых волокон определяется в виде [1]:

$$L \leq 0.25 \cdot 10^{12} / \Delta\lambda \sigma_{\lambda} V, \text{ км} \quad (6)$$

где $\Delta\lambda$ - ширина полосы оптического излучения, нм; σ_{λ} - нормированная среднеквадратическая дисперсия, нс/нмхкм (приводится в паспортных данных); V - скорость передачи, бит/с.

Оптический кабель имеет ряд очевидных преимуществ, например, отсутствие взаимовлияния между волокнами, позволяющее увеличить их количество в кабеле, производимым фирмой SIEMENS [3], до 50 и более, т.е. увеличить число каналов, что, наряду с низкой стоимостью самого кабеля, значительно снижает затраты.

При использовании параметров оптических кабелей фирмы SIEMENS скорость передачи практически можно довести до 1...2,4 Гбит/с, что по ряду причин (скин-эффект, волновые процессы и т.д.) не может быть реализовано для проводных кабелей.

Расчеты показывают, что при использовании оптического волокна появляется возможность применять уплотнительные системы высших уровней иерархии. Например, система ИКМ-30 организует передачу 30 разговорных каналов (каналов тональной частоты) за временной цикл 125 мкс, а вышеупомянутые системы посредством оптического волокна за тот же цикл передают свыше 20000 каналов с длиной регенерационных участков до 50 км.

На основании проведенного анализа можно сделать некоторые практические выводы.

1. Низкоскоростные короткие магистрали (до 8 Мбит/с) целесообразно реализовывать проводным кабелем.

2. Высокоскоростные длинные магистрали (свыше 8 Мбит/с) целесообразно реализовывать оптическими кабелями.

3. В связи с явной тенденцией удешевления оптических волокон представляется желательным реализовать на их основе и низкоскоростной участок. В этом случае по желанию пользователя необходимо предоставить дополнительные услуги связи (многоканальное телевидение, компьютерная сеть и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Многоканальные системы передачи /Под ред. Н.Н. Басовой и В.Н. Кордиенко.- М.: Радио и связь, 1997.-560 с.
- 2 Аппаратура ИКМ-30 /Под ред. Ю.П. Иванова и Л.С. Левина.- М.: Радио и связь, 1983.- 184 с.
- 3 Mahlike G., Gossing P. Fiber optic cables. - Germany. Munich. 1995. - 244 p.

ГИУА

06.04.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1998, с. 225 - 233.

УДК 621.396.67

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

А.В. АВЕТИСЯН, В.Г. АВЕТИСЯН

ОЦЕНКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПУ АНТЕНН ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИЕМА СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВЕЩАНИЯ

Գնահատվում են համեմատելի պարամետրիկ անոտենայի ուղղողիչների բնութագրերը: Ստորգրվում է անհատական հեռուստաընդունման անոտենաների կամար օրոտործվող օրոտ հենաշրջանի սարքերի սխեման և բերվում են նման սարքերը նախագծելու և կաշվարկելու համար անհրաժեշտ նախնական տվյալների գնահատման արտահայտություններ:

Оцениваются аэродинамические характеристики зеркальной параболической антенны. Рассмотрена схема применяемых простых опорно-поворотных устройств (ОПУ) антенн индивидуального телеприема. Приведены выражения для оценки необходимых исходных данных при проектировании и расчете ОПУ.

Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

The aerodynamic characteristics of the mirror parabolic antenna are evaluated. Applying simple scheme of the support-rotator mounting for the antennas of the individual telereception is considered. The expressions for the evaluation of the necessary initial data for designing and calculating the support-rotator mounting are given.

Ил. 4. Ref. 5.

Бурное развитие индивидуального приема программ спутникового телевидения привело к созданию различного рода простых конструкций ОПУ. Однако практика показала, что эти простые конструкции изготавливаются в основном или с неоправданно большим запасом прочности в механике, или наоборот. Для правильного проектирования и изготовления ОПУ необходимо знание набора исходных данных, обусловленных критериями качественного приема [1] (отношением сигнал/шум), географией места приема, климатическими условиями и аэродинамикой антенной системы.

Важной из этих данных является сила F_x , лобового сопротивления параболической антенны, определяющая конструктивные величины элементов крепления антенны - подзеркальника и стойки. Другой важной характеристикой является максимальный вращающий момент $M_{\text{вх}}^A$, вызываемый действием ветра на антенную систему, определяющий выбор конструкции ОПУ для создания достаточного удерживающего момента при фиксации положения антенны на выбранный спутник. В свою очередь, этот момент обуславливает величину обзора антенной вещательных спутников.

Точные значения величин F_x и $M_{\text{вх}}^A$ в зависимости от скорости v и направления φ набегающего воздушного потока (ветра) можно определить лишь экспериментально в аэродинамической трубе. Однако при проектировании ОПУ можно пользоваться этими значениями с некоторым избытком, которые мы попытаемся оценить ниже.

Согласно [2], при скорости ветра $v \ll v_0$, (v_0 - скорость звука)

$$F_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} S = C_{x0} C_{x0} \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха; S - площадь миделевого сечения - наибольшего по площади сечения тела плоскостью, перпендикулярной набегающему потоку; C_x - коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела и при $v \ll v_0$, не зависящий почти от скорости; C_{x0} - коэффициент сопротивления плоской пластины, площадь которой равна площади раскрыва зеркала антенны $C_{x0} = 1,28$ [3].

Для тел, подобных вогнутым чашам в виде полусферы, при фронтальном обдуве со стороны раскрыва $C_x = 1,16$; для мелких параболических антенных зеркал можно с избытком принять $C_x = 1,10 \dots 1,15$. При фронтальном обдуве зеркала с задней стороны сила сопротивления уменьшается почти в 1,5 раза. При последующем расчете ОПУ следует пользоваться значением силы лобового сопротивления для случая обдува спереди.

Оценим максимальный вращающий момент $M_{\text{вх}}^A$ (рис. 1). Следуя обозначениям рис.1, запишем необходимые выражения для зеркала антенны, заданного при данных обозначениях систем координат и переменных каноническим уравнением параболы $r^2 = 4fx$, где f - фокусное расстояние параболы:

$$y = r \cos \theta;$$

$$\frac{2}{3} \pi \leq \varphi \leq \pi; \quad \omega = \pi - \varphi; \quad 0 \leq \omega \leq \frac{\pi}{3}; \quad \cos \omega > 0; \quad \sin \omega \geq 0. \quad (2)$$

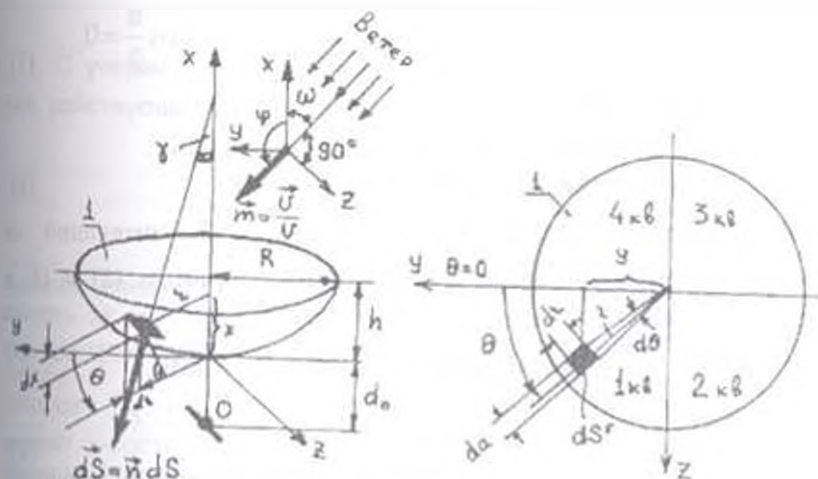


Рис. 1. Параболическое зеркало антенны

1 - зеркало антенны, R - радиус зеркала, h - глубина зеркала.

2 - элементарная площадка параболоида, dS - проекция на раскрыв зеркала, O - ось вращения антенны, d_0 - расстояние от вершины зеркала до оси вращения, U - скорость ветра, φ - угол направления ветра

Угол γ есть угол между нормалью $\vec{n}$ элементарной площадки dS параболоида и отрицательным направлением оси x . Нетрудно заметить, что с учетом уравнения параболы имеем

$$\operatorname{ctg} \gamma = dr/dx = 2f/r; \operatorname{tg} \gamma = r/2f. \quad (3)$$

При выборе площадей dS соответствующие углы γ изменяются в пределах

$$0 < \gamma < \frac{\pi}{4}; \cos \gamma > 0; \sin \gamma \geq 0. \quad (4)$$

т. е. $\gamma_{\max} = \arctg \frac{r}{2f}$ и для мелких параболических зеркал обычно

$R/2f < 1$. Связь между площадью dS параболоида и соответствующей ей проекцией dS' на плоскость раскрыва антенны выражается соотношением

$$dS = \frac{dS'}{\cos \gamma} = \frac{r dr d\theta}{\cos \gamma}. \quad (5)$$

Элементарная площадь, ориентированная перпендикулярно направлению ветра, определяется проекцией dS элементарной площади dS' на направление единичного вектора скорости $\vec{m} = \vec{v}/v$ и равна

$$dS_{\vec{m}} = dS \vec{n} \cdot \vec{m} = dS \cos(\vec{n} \cdot \vec{m}) = dS(n_1 m_1 + n_2 m_2 + n_3 m_3), \quad (6)$$

где $n_1, n_2, n_3, m_1, m_2, m_3$ - направляющие косинусы единичных векторов $\vec{n}$ и $\vec{m}$, причем согласно выбранному направлению ветра на рис. 1, $\vec{m}$ перпендикулярен оси x . Из геометрии следует

$$m_x = \cos\varphi = -\cos\omega, \quad m_y = \cos(\varphi - \frac{\pi}{2}) = \sin\omega, \quad m_z = \cos\frac{\pi}{2} = 0, \quad (7)$$

$$n_x = -\cos\gamma, \quad n_y = \cos\theta\sin\gamma, \quad n_z = \sin\theta\sin\gamma.$$

Из (5) - (7) получим выражение для площади dS_z :

$$dS_z = (\cos\omega + \cos\theta\sin\omega \operatorname{tg}\gamma) r dr d\theta. \quad (8)$$

Сила dF лобового сопротивления площади $d\vec{S}$, имеющей на направление ветра проекцию dS_z , запишется с учетом (3) и (8) в виде

$$dF = C_x \frac{\rho v^2}{2} dS_z = P(\cos\omega + \frac{r}{2f} \cos\theta\sin\omega) r dr d\theta.$$

$$C_x = 1.28, \quad \rho = C_{\rho} \rho_0^2 / 2. \quad (9)$$

Из (9) следует, что сила dF лобового сопротивления для площадок $d\vec{S}$, расположенных в 1 и 4 квадрантах, больше этой же силы для площадок, расположенных во 2 и 3 квадрантах, т.к. в последнем случае второй член в скобках выражения (9) при $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \frac{3}{2}\pi$ становится отрицательным. Таким образом, $dF^{(1,4)} > dF^{(2,3)}$ (рис. 2).

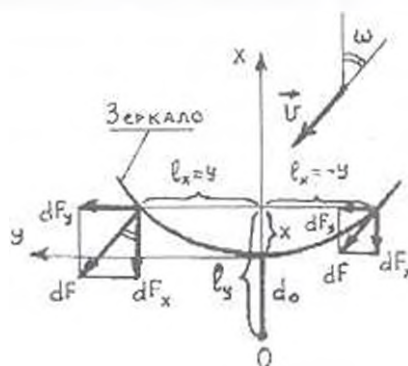


Рис.2. Разложение сил.

dF - сила, действующая на элементарную площадку $d\vec{S}$, l_x - плечо x -составляющей силы, l_y - плечо y -составляющей силы

Плечи l_y составляющих сил $dF_y = \sin\omega dF$ относительно оси вращения определяются x -координатой соответствующей площади $d\vec{S}$ (рис. 2) и с учетом уравнения параболы равны

$$l_y = |x + d_n| = \frac{r^2}{4f} + d_n. \quad (10)$$

Плечи же l_x составляющих сил $dF_x = \cos\omega dF$ относительно оси вращения определяются y -координатой соответствующей площади $d\vec{S}$ и с учетом (2) равны

$$l_y = |y| = r|\cos\theta|. \quad (11)$$

С учетом (10) и (11) запишем моменты y - и x - составляющих действующих на площадку $\vec{dS}$:

$$dM_y = l_y dF_x = \left(\frac{r^2}{4l} + d_0 \right) \sin\omega dF > 0, \quad (12)$$

$$dM_x = l_x dF_y = r|\cos\theta|\cos\omega dF > 0. \quad (13)$$

Примем следующий отсчет. Положительными моментами следует считать те, которые создают вращение вокруг оси против часовой стрелки. Если $dM_y^{(k)}$ -момент y -составляющей силы, действующей на площадку $\vec{dS}$, расположенную в k -ом квадранте ($k=1,2,3,4$), а $dM_x^{(k)}$ -момент x -составляющей силы, действующей на ту же площадку, то согласно принятому отсчету имеем

$$\begin{aligned} dM_y^{(k)} &= dM_y > 0 \quad (k=1,4), \\ dM_y^{(k)} &= dM_y > 0 \quad (k=1...4), \\ dM_x^{(k)} &= -dM_x < 0 \quad (k=2,3). \end{aligned} \quad (14)$$

Соответственные знаки будут иметь и суммарные моменты $M_y^{(k)}$ и $M_x^{(k)}$ y - и x - составляющих сил, действующих на все площади $\vec{dS}$, расположенные в k -ом квадранте. В принятых обозначениях согласно (14) имеем

$$M_y^{(k)} = \int_{\alpha=\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \int_0^R dM_y^{(k)}, \quad M_y^{(k)} > 0 \quad \text{при } k=1...4, \quad (15)$$

$$M_x^{(k)} = \int_{\alpha=\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \int_0^R dM_x^{(k)}, \quad M_x^{(k)} > 0 \quad \text{при } k=1,4, \quad M_x^{(k)} < 0 \quad \text{при } k=2,3.$$

где интегрирование производится с учетом (8), (12), (13) по переменным r и θ . Опуская математические выкладки, для момента

$$M^1 = \sum_{k=1}^4 (M_y^{(k)} + M_x^{(k)}), \quad \text{действующего на зеркало антенны,}$$

окончательно получим

$$M^1 = \frac{1}{2} C_x \frac{\rho \vartheta^2}{2} - \pi R^2 (h + d_0) \sin 2\omega. \quad (16)$$

Это выражение в пределе при $h \ll d_0$, т.е. когда глубина зеркала пренебрежимо мала по сравнению с расстоянием от оси вращения до вершины зеркала, совпадает с рассчитанным моментом M^1 для плоской круглой площадки того же радиуса:

$$M^0 = \frac{1}{2} C_x \frac{\rho \vartheta^2}{2} - \pi R^2 d_0 \sin 2\omega.$$

Из (16) следует

$$M_{\text{мал}}^A = \frac{1}{2} C_{\text{со}} \frac{\rho v^2}{2} \pi R^2 (h + d_0) \quad (17)$$

при $\omega = \pi/4$ в интервале $0 \leq \omega \leq \pi/3$.

При выводе выражения (16) не учитывались явления, связанные с аэродинамикой обтекаемости тела - наличием пограничного слоя, возникновением турбулентности, изменением направления и скорости течения струек воздуха и т.д., которые при выбранных углах ω направления ветра приводят к изменению распределения давления в чаше зеркала. В результате из-за перепада давлений внутри и снаружи уменьшается вращающий момент, рассчитанный из (17). Не рассматривались также углы направления ветра в интервале

$\frac{\pi}{3} \leq \omega \leq \frac{3}{4}\pi$. При этих углах ветер обдувает зеркало сбоку или сзади,

и оно из плохообтекаемого тела становится удобнообтекаемым. Из физических соображений ясно, что при этих углах не следует ожидать значений вращающего момента, превосходящих значения $M_{\text{мал}}^A$ из выражения (17).

Оценим избыточные значения F_z и $M_{\text{мал}}^A$ из выражения (1) и (17) для зеркала диаметром 1,5 м ($R=0,75$ м) с глубиной $h=0,3$ м при $d_0=0,1$ м. Примем скорость ветра $v=20$ м/с, что соответствует, согласно шкале Бофорта [4], штормовому ветру. Считая $C_{\text{со}}=1,28$, $C_z=1,12$ и $\rho=1,29$ кг/м³, получим из (1) и (17) $F_z=650$ Н, $M_{\text{мал}}^A=120$ Н·м. При $v=15$ м/с (сильный ветер) эти величины уменьшаются в 1,8 раза.

Уверенный качественный прием при достаточном отношении сигнал/шум определяется как шумовыми характеристиками конвертора и тюнера, типом антенной системы (однозеркальная, двухзеркальная, система с вынесенным облучателем, тип и габариты облучателя и т.д.), так и размерами основного зеркала, которое для обеспечения достаточного коэффициента усиления антенны может достигать в диаметре величины порядка $D=2$ м. При этом ширина луча Ω антенны, определяемая в градусах известным соотношением $\Omega=60\lambda/D$, где λ - длина волны, может достигать значения $\Omega=1^\circ$. С учетом также и того, что геостационарная орбита весьма насыщена спутниками [5], становится очевидной важность обеспечения стабилизации положения антенны после ее наведения на выбранный спутник. Эту задачу решает тот или иной тип применяемого ОПУ, который обеспечивает создание необходимого удерживающего момента.

Для антенн индивидуального призма используются недорогие и простые ОПУ (рис. 3). Поворот антенны производится с помощью актюатора, конец которого шарнирно соединен в точке O_1 с концом неподвижной штанги OO_1 , ориентированной вдоль направления юг-север. Корпус актюатора закреплен в точке O_2 муфтой, шарнирно соединенной с консолем, жестко закрепленным другим своим концом к подзеркальнику ОПУ в точке С.

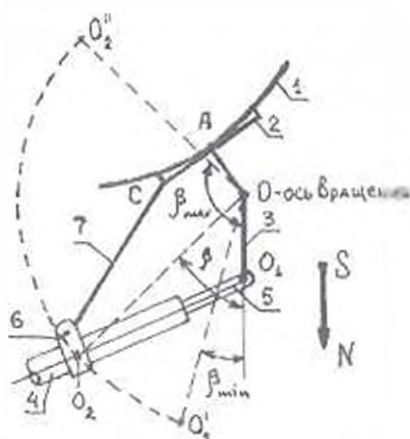


Рис. 3. Схема системы антенна-ОПУ

1 - зеркало антенны, 2 - подзеркальник, 3 - неподвижная штанга, ориентированная вдоль направления юг-север, 4 - актюатор, 5 - шток актюатора, 6 - муфта крепления актюатора, 7 - консоль

При работе двигателя актюатора (рис. 4) благодаря выходу штока изменяется расстояние $O_1O_2 = l$ (при фиксированном $OO_1 = OO'_1 = OO''_1$) от значения $L_0 = O_1O'_1$ (при этом антенна смотрит на восток) до $L_1 = O_1O''_1 = L_0 + \Delta l$ (антенна смотрит на запад), где Δl - длина выхода штока актюатора. При этом шток, упираясь в ось O_1 , заставляет вращаться точку O_2 по окружности, тем самым заставляя вращаться антенну вокруг оси ОПУ (точка O). Углы $\beta_{\text{зад}}$ и $\beta_{\text{вост}}$ для крайних положений антенны ограничиваются величинами соответствующих плеч удерживающих моментов. Соответственно при этом возникают углы недосмотра: $\Delta\alpha_1$ (на запад) и $\Delta\alpha_2$ (на восток) (рис. 4).

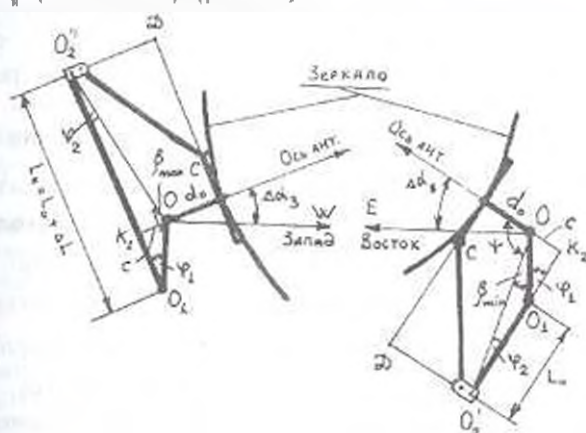


Рис. 4. Схема системы для крайних положений антенны.

$\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_2$ - углы недосмотра соответственно на запад и восток, L_0 - начальная длина актюатора, Δl - длина выхода штока актюатора, c - плечо удерживающего момента, создаваемого актюатором

Положим, плечи удерживающих моментов, создаваемых актюатором и неподвижной штангой OO_1 , при крайних положениях антенны, равны, т.е. $OK_1 = OK_2 = C$. Из геометрии такой системы следует, что

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = 2c / \Delta L, \quad (18)$$

$$\Delta \alpha_{\text{в}} + \Delta \alpha_1 = 2\varphi_1, \quad (19)$$

$$OO_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta L^2 + 4c^2}, \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{2c}{2L_0 + \Delta L}, \quad (21)$$

$$OO_2 = \sqrt{c^2 + \left(L_0 + \frac{\Delta L}{2} \right)^2}, \quad (22)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \varphi_1 + \varphi_2 + \Delta \alpha_{\text{в}}, \quad (23)$$

$$O_2D = d_0 + c \text{ при } \Delta \alpha_2 = \Delta \alpha_{\text{в}}. \quad (24)$$

Обычно из-за рельефа местности, расположения окружающих гор, зданий и т.д. минимальные значения $\Delta \alpha_1$ и $\Delta \alpha_{\text{в}}$ ограничиваются $\sim 20^\circ$. Даже в исключительных случаях, когда местность позволяет реализовать меньшие углы недосмотров, не стоит проектировать ОПУ на угол обзора больше $\pm 70^\circ$ от долготы данной местности, поскольку при углах обзора, близких к горизонту, ощутимо возрастает отношение шум/сигнал из-за влияния Земли.

Отметим путь проектирования ОПУ. Исходя из параметров приемной аппаратуры и критериев качественного приема программы спутникового телевидения, выбираются форма и размер параболического зеркала (R и h). С учетом климатических условий местности определяется более или менее вероятная максимальная скорость ветра v . По формуле (1) вычисляется лобовое сопротивление F_1 выбранной антенны, которое с учетом географической широты местности может служить для дальнейшего расчета нагрузок на элементы крепления антенны. Задавая расстояние от вершины зеркала антенны до оси вращения ОПУ (d_0), по формуле (17) определяем $M_{\text{внх}}^A$. Далее, исходя из рельефа местности, где устанавливается антенна, определяются угол обзора и углы недосмотров на запад и восток $\Delta \alpha_1$ и $\Delta \alpha_{\text{в}}$. Учитывая допустимую предельную нагрузку $R_{\text{доп}}$ на шток актюатора с условием, что $R_{\text{доп}} \geq M_{\text{внх}}^A / c$, а также паспортную величину длины

ΔL выхода штока актюатора и соотношения (18) и (19), выбираем марку актюатора и определяем величину минимального плеча $C = OK$ удерживающего момента, в результате чего определяются конструктивные размеры неподвижной штанги согласно (20) и конструктивные параметры φ_1 , φ_2 , DO_1 и OO_1 согласно (21)-(24).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Нагдалян Э.А. Спутниковое телевидение в диапазонах И/12ГГц - Ереван Изд. НВ - Пресс, 1990 - 151 с
- 2 Байдаков В.Б., Иванов-Эмин Л.И. Аэромеханика летательных аппаратов - М.; Машиностроение, 1965. - 410 с
- 3 Издельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям - М. Машиностроение, 1992 - 672 с.
- 4 Малая Советская Энциклопедия. Изд. 3 - 1958. Т.1 - С. 1175
- 5 Кантор Л.Я. и др. Спутниковое вещание - М. Радио и связь, 1981 - 232 с.

ЕрГУ, НПИ "Комета"

01.05.1997

Илл. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН) т. 11 №2, 1997 с. 233 - 237

УДК 621.3.049.77

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

М.М. ОСИПЯН

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Ընտրանվում են տարբեր ԹԻՍ-երի մուտքային հարցերը բազմալուծականի
միկրոպրոցեսորային «Կոմպակտ» ԱՏԶՀ-ի հիմուն վրա:

Освещены вопросы входного контроля различных ЦИС на базе
универсальной микропроцессорной АКИС "Компакт"
Ил. 2. Библиогр. 1 назв.

Problems of input control for different digital circuits on the basis of universal
microprocessing automatic system "Compact" are considered
Ил. 2. Ref. 1.

Современное производство цифровых интегральных схем (ЦИС) характеризуется проведением большого количества измерений и контролем различных параметров (статические и динамические, функциональная проверка) в соответствии с их техническими требованиями. С повышением степени интеграции и функциональной сложности ИС возникают все новые проблемы высокопроизводительного измерения и контроля с малой погрешностью.

Особый интерес представляет входной контроль микросхем, что объясняется как их значительной стоимостью, так и технологическими трудностями замены дефектной микросхемы после ее установки на плату. В условиях массового производства микросхемы критерием применимости того или иного метода контроля или совокупности этих методов является минимум времени, необходимый для проверки схем.

Приведем краткий список основных типов ЦИС.

1. Биполярные схемы

1. Транзисторно-транзисторная логика (Т²Л).
2. Т²Л - Шоттки (Т²ЛШ).
3. Логические элементы с эмиттерными связями (ЭСЛ).
4. Интегрально-инжекционная логика (И²Л).

II. Схемы на МОП-структурах

1. n-канальная МОП-логика (n-МОП).
2. Комплиментарная МОП-логика (К-МОП).

Цифровые функциональные узлы на К-МОП структурах, так же как и логические семейства Т²Л, Т²ЛШ и ЭСЛ, могут эффективно применяться в виде самостоятельных ИС малой и средней степени интеграции. В то же время структуры К-МОП, как и n-МОП, могут с успехом использоваться для построения БИС и СБИС (в основном МП БИС и памяти).

Измеряемые параметры, именуемые также тестовыми, задаются в ТУ на микросхемы и являются электрическими параметрами, по которым осуществляется проверка годности ЦИС. Например, ЦИС 564ЛС2, функциональное назначение которой составляет четыре логических элемента "И-ИЛИ", имеет следующие электрические параметры [1] (рис. 1):

- 1) ток потребления в статическом режиме $\leq 5 \text{ мкА}$, $\leq 10 \text{ мкА}$;
- 2) ток логического "0" сигнала входной информации $\leq 0,05 \text{ мкА}$;
- 3) ток логической "1" сигнала входной информации $\leq 0,05 \text{ мкА}$;
- 4) напряжение логического "0" сигнала выходной информации $\leq 0,05 \text{ В}$;
- 5) напряжение логической "1" сигнала выходной информации $\geq 4,99 \text{ В}$, $\geq 9,99 \text{ В}$;
- 6) ток логического "0" сигнала выходной информации $\geq 0,45 \text{ мА}$, $\geq 0,75 \text{ мА}$;
- 7) ток логической "1" сигнала выходной информации $\geq 0,25 \text{ мА}$, $\geq 0,7 \text{ мА}$;
- 8) время задержки распространения сигнала при включении и выключении $\leq 320 \text{ нс}$, $\leq 130 \text{ нс}$;
- 9) входная емкость на выводах 9 и 14 $\leq 12 \text{ пФ}$, на выводах 1-7, $15 \leq 8 \text{ пФ}$;
- 10) напряжение источника питания $U_{и.п.}$, 3-15 В.

Информацию о годности к применению этой схемы дает таблица истинности и данные измерений приведенных в ТУ электрических параметров. Практически функциональный контроль сводится к формированию 16 сочетаний входных сигналов с одновременной проверкой тока потребления. Далее контролируются статические параметры (пп. 2-7), т.е. измеряют ток или напряжение в установившемся режиме. Параметр п.8 является динамическим, и его проверяют путем формирования переходов от одной комбинации входных сигналов к другой.

Различают параметрический и функциональный контроль. Причем при параметрическом контроле производят оценку всех или части электрических параметров микросхем. При функциональном контроле (статическом и динамическом) осуществляются проверки правильности выполнения логической функции при заданных входных воздействиях (после окончания переходных процессов и с момента воздействия до окончания входных, выходных сигналов).

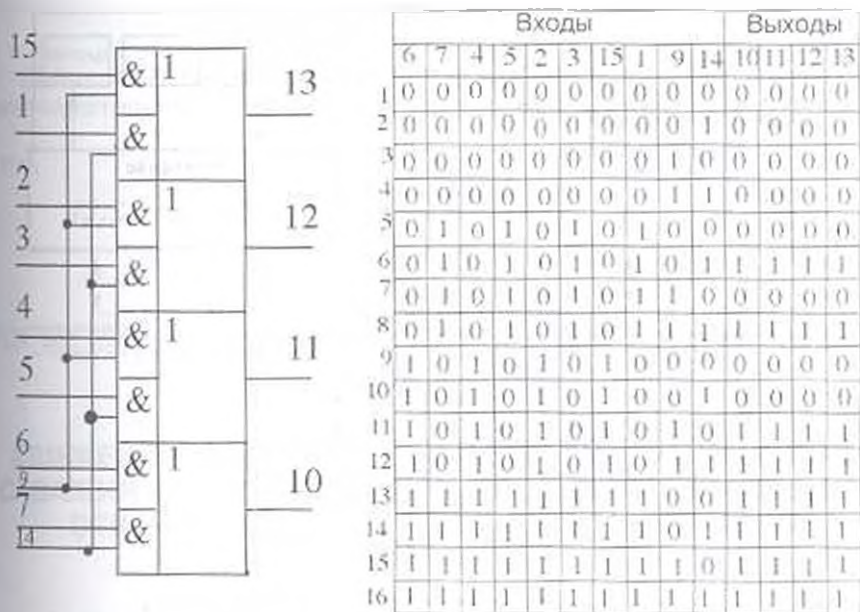


Рис.1. Функциональная схема и таблица истинности ЦИС 564ЛС2

Анализ ранее существовавшей АКИА позволяет считать, что допускается смена измерительной программы, обеспечивается стабильность опорных напряжений и токов, имеется высокая производительность. Их отличительными особенностями являются:

- использование в основном мини-ЭВМ в составе КИА (модели "Вахта", "Вероятность");
- ограниченный тип измеряемых ЦИС;
- нестабильность видов измеряемых параметров;
- способы ввода программ (ручной, МОЗУ, ПЗУ и т.д.);
- некоммуникабельность к числу выводов (64-выводной, 24-выводной);
- скорость измерения ЦИС может превзойти скорость самой ЭВМ КИА.

Методика статико-динамических измерений основывалась на теоретических исследованиях о связи скорости выполнения схемой логической функции со статическими параметрами и на результатах экспериментального обследования конкретных типов ЦИС.

Использование средств МП техники (микроЭВМ, микроконтроллеры) оказало решающее влияние на развитие адаптированных измерительных систем, позволяющих широко использовать тестовые методы коррекции, методы образцовых сигналов и т.д. Отечественной и зарубежной промышленностью производятся десятки тысяч тестеров, однако широкая номенклатура применяемых ЦИС и разнообразие контролируемых параметров требуют при входном контроле универсальной АКИС.

Рассмотрим блок-схему универсальной микропроцессорной АКИА "Компакт" для контроля и измерения параметрических и функциональных характеристик ЦИС по принципу "годен - не годен" (рис.2). В схему входят следующие элементы.

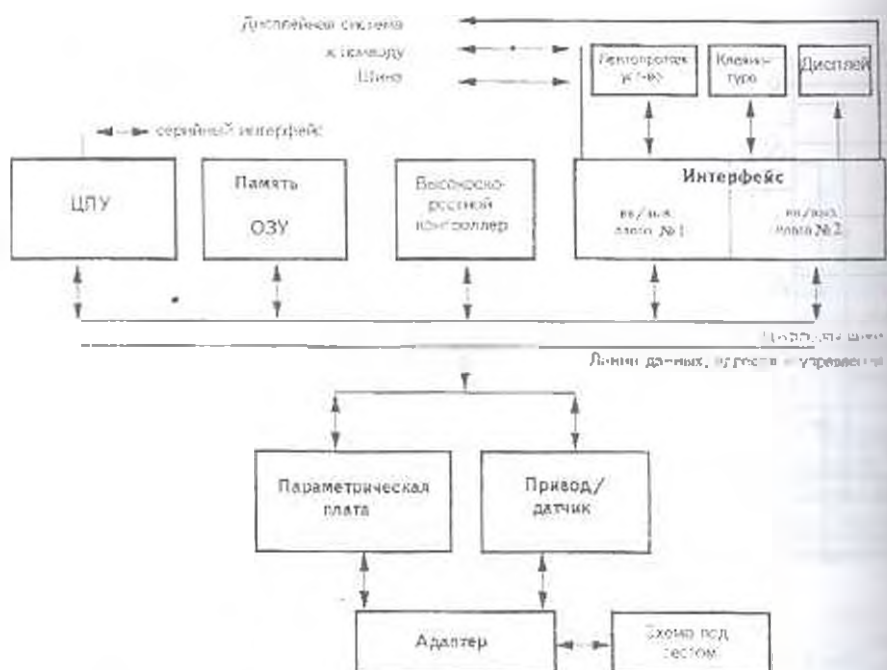


Рис.2. Блок-схема АКИА "Компакт"

1) восьмиразрядный центральный МП (система команд - 160 л. один источник питания, около 700 операционных входов;

2) высокоскоростной контроллер, который выполняет функции дешифрации, чтобы обеспечить сигналами чт./зап. параметрическую/распределительную плату, ОЗУ и др.;

3) периферийный МК, который обеспечивает обмен информацией между ЦПУ и внешними устройствами;

4) ряд МП устройств, выполняющих вторичные функции.

Подобная система может тестировать МИС, СИС, БИС, соответственно статические, динамические и функциональные характеристики. Принцип тестирования - по группам. Тестируемая схема подключается к системе, т.е. к параметрической плате, которая осуществляет измерение параметров схемы, сопоставляя их с параметрами образцовой схемы, хранящимися в ОЗУ. При нахождении полностью дефектной схемы МП по шинам передает сигнал на ее обнаружение, который отображается на дисплее, и схему бракует как "не годен". В случае частично дефектной схемы все параметры также отправляются на экран, при этом оператор может выявить, какой именно параметр не соответствует нормам, откорректировать данные и по интерфейсу выдать на выход. Данная система автоматизирована, универсальна, схемы разбракованы по "карманам".

Таким образом, восьмиразрядные микропроцессоры в составе универсальной АКИС обеспечивают требования входного контроля ЦИС.

ЛИТЕРАТУРА

1 Дубовой Н.Д., Осокин В.И. и др. Измерение и контроль в микроэлектронике. - М.: Высшая школа, 1984. - 367 с.

ГМУА

16.04.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТII), т. LI, № 2, 1998, с. 237-241.

УДК 551.49

ГИДРАВЛИКА

С.С. КАЗАРЯН

ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД К ЛИНЕЙНОМУ РЯДУ СКВАЖИН В НЕОДНОРОДНО-СЛОИСТОМ ПЛАСТЕ ПРИ ОТКАЧКЕ ВОДЫ ИЗ ВЕРХНЕГО НАПОРНОГО ГОРИЗОНТА

Դիտարկվում է հիդրափիկական կապի սեղ գտնվող երկու անսանձանափակ ջրային հոսանքառույտ ձևումների հաշվարկման խնդիրը, վերին շերտից հորատակերպի օժան շարքի օգնությամբ հաստատուն զոմարային կշռով չքուման դեպքում (հոսարուների) համեմատյալ լուծվել է օպերացիոն հաշվի մեթոդով, առաջին անգամ նաև են հաշվան (9) լուծակները:

Рассматривается задача определения давления в двухнапорных, гидравлически связанных, неограниченных пластах при постоянной суммарной откачке воды через линейный ряд скважин из верхнего водоносного горизонта. Система уравнений решена методом операционного исчисления. Предложены расчетные формулы.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

The solution is considered for the problem of pressure determination in double-head, hydraulically connected nonlinear seams at a constant total water pumping through a linear series of wells from the upper water-bearing horizon. The set of equations is solved by operational calculus. Some calculation formulas are given.

Ил. 3. Ref. 5.

Использование подземных вод при орошении плодородных земель является важной практической задачей. Однако при ее решении не должен нарушаться гидрогеологический режим подземных вод с их естественной разгрузкой и влиянием на окружающую среду.

Целью настоящей работы является исследование движения подземных вод к линейному ряду скважин в неоднородно-слоистом пласте при откачке воды из верхнего напорного горизонта применительно к условиям Араратского артезианского бассейна с двумя напорными водоносными горизонтами. Отбор подземных вод осуществляется при помощи системы эксплуатационных скважин, расположенных в линию, называемой линейным рядом скважин [1, 2]. Получено аналитическое решение задачи о неустановившемся движении подземных вод в неограниченной трехслойной,

гидравлически связанной среде с учетом их перетекания при жестком режиме в раздельном слое (рис. 1) [1]. При этом напоры в водоносных слоях разные, а отбор воды производится из верхнего напорного слоя с постоянным суммарным расходом всех одиночных скважин линейного ряда.

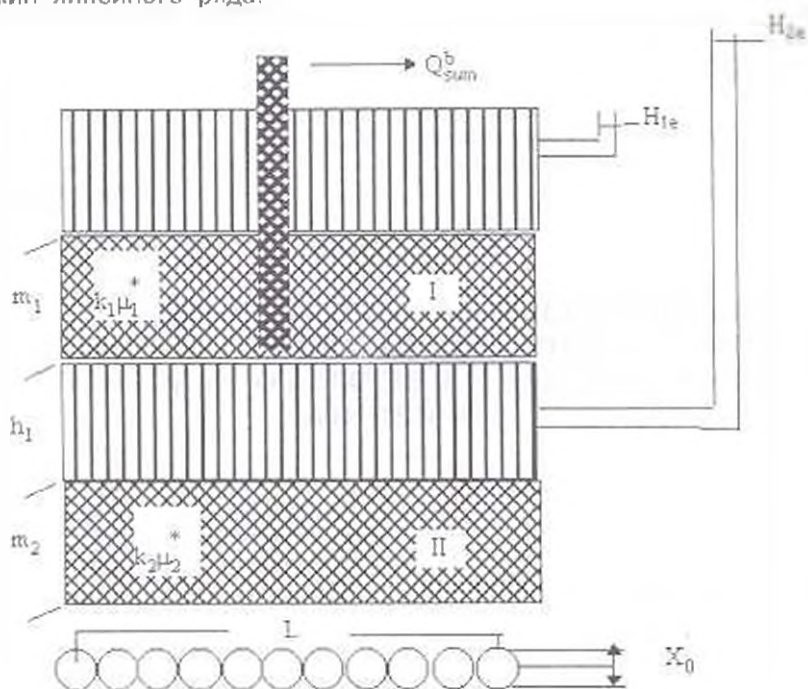


Рис. 1

Процесс фильтрации описывается следующей системой дифференциальных уравнений [1-3]:

$$a_1 \frac{\partial^2 S_1}{\partial X^2} - b_1 (S_1 - S_2) = \frac{\partial S_1}{\partial t}, \quad a_2 \frac{\partial^2 S_2}{\partial X^2} - b_2 (S_2 - S_1) = \frac{\partial S_2}{\partial t}, \quad (1)$$

$$a_i = \frac{(km)_i}{\mu_i}, \quad b_1 = \frac{\lambda_1}{h_1 \mu_1}, \quad b_2 = \frac{\lambda_1}{h_2 \mu_2}, \quad S_i = H_w - H_i(x, t), \quad (2)$$

где a_i - коэффициент пьезопроводности ($i=1,2$) первого и второго водоносных пластов; b_i - коэффициент перетекания; S_i - понижение уровня подземных вод в любой точке первого и второго водоносных горизонтов в любой момент времени; $(km)_i = T_i$ ($i=1,2$) - водопроводность; μ_i - коэффициент упругой водоотдачи этих же слоев [1, 5]; λ_1 - коэффициент фильтрации раздельного слоя; h_i - мощность того же слоя; H_w - пьезометрический напор соответственно в первом и втором горизонтах в естественных условиях.

Решение системы (1) находим при следующих краевых условиях:

$$S_i(x, t) = 0, t = 0; \quad S_i(x, t) = 0, t > 0, x \rightarrow \infty \quad (i = 1, 2).$$

$$\frac{\partial S_1}{\partial x} = \frac{Q^n}{2T_1 L} = \text{const}; \quad \frac{\partial S_2}{\partial x} = 0, t > 0, x \rightarrow x_0 \rightarrow 0. \quad (3)$$

Применяя для уравнения (1) преобразование Лапласа относительно переменной t и учитывая начальные условия, получим [1, 4]

$$a_1 S_1'' - (b_1 + P) S_1 + b_1 S_2 = 0, \quad a_2 S_2'' - (b_2 + P) S_2 + b_2 S_1 = 0. \quad (4)$$

Общее решение соответствующей линейной однородной системы (4) с учетом граничных условий (3) находим в виде

$$S_1 = A_1 e^{\omega_{1,1} x} + A_2 e^{\omega_{1,2} x}, \quad S_2 = B_1 e^{\omega_{1,1} x} + B_2 e^{\omega_{1,2} x}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), получаем систему алгебраических уравнений относительно ω , A и B . Отсюда для нетривиального решения получаем корни характеристического уравнения:

$$\omega_{1,2} = -\sqrt{\frac{b_1}{2a_1} (a_1'' \lambda + \gamma_0 \pm f(\lambda))}; \quad A'' = \frac{a_2}{a_1}; \quad B'' = \frac{b_2}{b_1}; \quad a^0 = A^0 - 1;$$

$$a_1^0 = A'' - 1; \quad \gamma_1^{\pm} = A'' \pm B^0; \quad f(\lambda) = \sqrt{a_0^2 \lambda^2 + \beta_0 \lambda + \gamma_0}; \quad \beta_0 = 2a_0 \gamma_0; \quad (6)$$

$$\omega_{1,2}^0 = -\sqrt{a_1^0 \lambda + \gamma_0 \pm f(\lambda)}.$$

Подставляя (5) в систему алгебраических уравнений, находим значения A_1 , A_2 и B_1 , B_2 с точностью до постоянного множителя.

Решение системы (4) имеет вид

$$S_1 = c_1 e^{\omega_{1,1} x} + c_2 e^{\omega_{1,2} x}, \quad S_2 = c_1 \lambda e^{\omega_{1,1} x} + c_2 \lambda e^{\omega_{1,2} x}, \quad (7)$$

$$\text{где } \lambda_{1,2} = \frac{a_0 \lambda + \gamma_0 \mp f(\lambda)}{2A''}, \quad c_{1,2} = \pm \frac{Q_1}{2T_1 L \omega_{1,2} (\lambda_1 - \lambda_2)}.$$

Значения c_1 и c_2 определяются из граничных условий (3). С учетом (6), подставляя все значения в (7) и переходя от изображающей функции к ее оригиналу, на основе теоремы обращения для преобразования Лапласа получаем [1]:

$$S_1(x, t) = \frac{Q^n}{2T_1} \sqrt{\frac{2a_1}{b_1 L^2}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} e^{\lambda t} (\Phi_{1,1}^n e^{\omega_{1,1} x} + \Phi_{1,2}^n e^{\omega_{1,2} x}) d\lambda,$$

$$\Phi_{1,2}^n = \pm \frac{a_0 \lambda + \gamma_0 \pm f(\lambda)}{2\lambda f(\lambda) \omega_{1,2}^0}.$$

$$S_2(x, t) = \frac{Q^n}{2T_1} \sqrt{\frac{2a_1}{b_1 L^2}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} e^{\lambda t} (\Phi_{2,1}^n e^{\omega_{1,1} x} + \Phi_{2,2}^n e^{\omega_{1,2} x}) d\lambda. \quad (8)$$

$$\Phi_{2,2}^n = \mp \frac{B''}{\lambda f(\lambda) \omega_{1,2}^0}.$$

Так как функции (8) имеют точки разветвления, то необходимо обойти их при дополнении контура Γ влево полукругом большого радиуса [1]. Полученные контуры изображены на рис. 2 и 3 для

функций ω_1 и ω_2 . При $R \rightarrow \infty$ и $\varepsilon_n \rightarrow 0$ интегралы по контурам Γ_1 и малым окружностям стремятся к нулю. Таким образом, вычисление интегралов (7) сводится к интегрированию вдоль прямолинейных отрезков соответствующих размеров, лежащих на противоположных берегах разрезов. Точки $\lambda_{1,2} = -\Phi \pm i\psi$ являются нулями внутреннего квадратного корня и представляют собой точки разветвления для функций $\omega_{1,2}(\lambda)$, точка $\lambda_1 = -(1 + R_{11})$ есть точка разветвления $\omega_1(\lambda)$, а $\lambda_4 = 0$ есть точка разветвления для функции $\omega_2(\lambda)$ (рис. 2 и 3).

После громоздких выкладок искомые контурные интегралы приводятся к обычным вещественным определенным интегралам. Затем с использованием теоремы о свертке вычисляются все интегралы в (8). Расчетные формулы при этом получаются в виде

$$S_1^i(x, t) = \frac{Q_{\text{ушл}}^B}{2\pi T_1} M^B [R_{11}^B(x, t) + R_{12}^B(x, t)], \quad (9)$$

$$\text{где } M^B = B^B \sqrt{\frac{a_1}{b_1 L^2}}.$$

$$R_{11}^B(x, t) = -\frac{1}{2B^B} \times \\ \times \int_0^{\bar{x}} \frac{e^{\rho x} - 1}{\rho \rho_1 \sqrt{\rho - B_1^B}} (\rho_1 + \gamma_0 - a_0 \rho) \cos(\bar{x} \sqrt{A^B} \sqrt{\rho - B_1^B}) d\rho,$$

$$R_{12}^B(x, t) = \frac{\sqrt{A^B}}{2B^B} \int_0^{\bar{x}} \frac{e^{-\rho x} - 1}{\rho \sqrt{\rho} \rho_1} (\gamma_0 - a_0 \rho - \rho_1) \cos(x \sqrt{\rho}) d\rho,$$

$$R_{21}^B(x, t) = \int_0^{\bar{x}} \frac{e^{\rho x} - 1}{\rho \sqrt{\rho - B_1^B} \rho_1} \cos(\sqrt{A^B} \bar{x} \sqrt{\rho - B_1^B}) d\rho,$$

$$R_{22}^B(x, t) = -\sqrt{A^B} \int_0^{\bar{x}} \frac{e^{-\rho x} - 1}{\rho \sqrt{\rho} \rho_1} \cos(\bar{x} \sqrt{\rho}) d\rho.$$

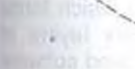
(10)

$$\rho_1 = \sqrt{a_0 \rho (a_0 \rho - 2\gamma_0) + \gamma_0^2},$$

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{b_1 x^2}{a_2}}.$$

Подставляя в $S_1(x, t)$ $x \rightarrow x_{11} \rightarrow 0$, получаем понижение в скважине. Интегральные функции $R_i^B(x, t)$ табулированы для различных значений безразмерных комплексов, которые выражаются через гидрогеологические параметры пластов. В результате получаем расчетные формулы (9).

and the



1000



—

ЛИТЕРАТУРА

- Агрисельхозакадемия

09.03.1998

Ав. Э. МАНУКЯН, Ар. Э. МАНУКЯН

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРЯЖЕНИЯ МОДУЛЕЙ СЛОЖНЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Առաջարկվում է հատուկ ծրագրային միջոցների աշխատանքի կազմակերպման սխեմա: Այդ միջոցները մտնում են շերտավոր կառուցվածքով տվյալների բազաների դեկլարատիվ համակարգերի կազմի մեջ, ապահովելով տվյալների բազաների ժամանակավոր շերտերի վարում, և ինֆորմացիոն փոխանակման կազմակերպում բարդ ծրագրային համակարգերի մոդուլների միջև:

Предлагается схема организации работ специальных программных средств, которые встраиваются в систему управления базами данных послойной архитектуры и поддерживают временные слои баз данных. Обеспечивается информационное сопряжение прикладных программных модулей сложных систем.

Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

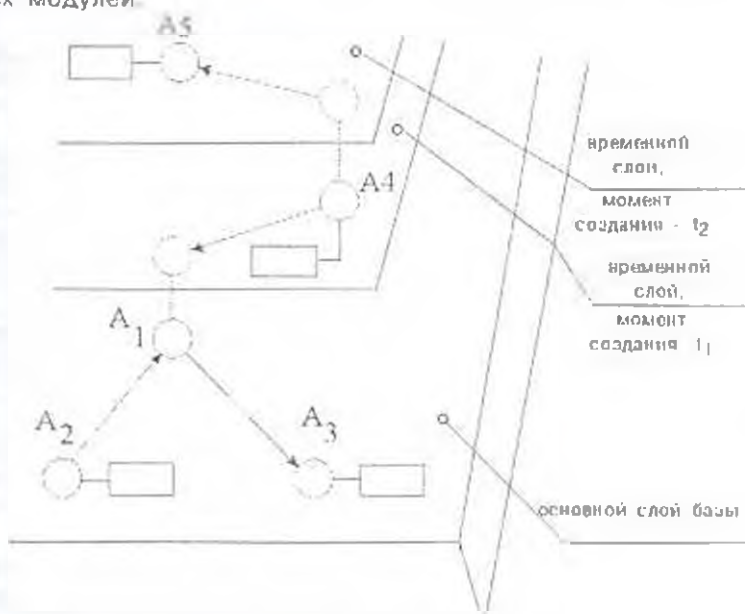
The paper proposes a scheme of special software organization which forms database management system and provides handling the temporary layers of databases. These temporary layers provide information exchange for applied software modules of complex systems.

Ил. 1. Ref. 2.

Организация информационного сопряжения модулей сложных программных систем является одним из основных факторов, влияющих на эффективность их функционирования. Классическими методами организации такого сопряжения являются передачи данных между модулями посредством набора фактических параметров или полей памяти, являющихся внешними для этих модулей.

Однако неопределенность и сложность структуры передаваемых данных приводит к неэффективности использования этих методов и к необходимости создания специальных программных средств организации информационного сопряжения [1]. На эти средства возлагаются обязанности поддержания специальной базы данных, через которую производится обмен данных между модулями. В роли таких средств могут выступать, например, нижние слои систем управления базами данных (СУБД) послойной архитектуры [2]. Однако средства СУБД поддерживают базу на внешних запоминающих устройствах (ВЗУ), что резко снижает скорость обмена данных. В данной работе для увеличения скорости обмена данных предлагается в слоях программных средств СУБД встраивать дополнительные компоненты, обеспечивающие "многослойное" представление соответствующего уровня базы данных (БД). Первый нижний слой считается основным и поддерживается на ВЗУ. Остальные слои считаются временными и поддерживаются в оперативной памяти. При организации БД как на основном, так и на временных слоях разрешается использовать весь набор организационных единиц, допустимых для данного уровня

представления БД. Каждый i -й временной слой идентифицируется значением момента времени (t_i) создания этого слоя. Каждый временной слой может стать "прозрачным", может "склеиваться" с соседними слоями (в том числе с основным слоем) и организовывать с ними единый составной слой (рис. 1). Так как временные слои организуются в оперативной памяти, а при манипулировании данными этих слоев уже обеспечиваются большие скорости, то становится целесообразным поддержание на этих слоях специальных баз, посредством которых реализуется информационное сопряжение системных модулей.



а)



б)



в)

Рис. 1 а - "слоистая база", б - пример склеивания слоев БД.
в - пример склеивания слоев БД

Рассмотрим схему организации работ дополнительных программных средств СУБД, обеспечивающих поддержание вышеописанных временных слоев. В программные средства i -го уровня СУБД встроены дополнительные компоненты, поддерживающие в ОЗУ n наборов таблиц из m таблиц в каждой из них. Каждый набор таблиц соответствует одному из временных слоев, а каждая из таблиц набора соответствует одному из типов организационных единиц, с помощью которых поддерживается данный уровень БД. В строках j -й таблицы каждого i -го слоя организуется хранение списка типа $C_0, C_1, \dots, C_n$, где C_0 - экземпляр организационной единицы j -го типа, находящегося на i -ом временном слое, C_s ($s=1..n$) - элемент данных, указывающий имя организационной единицы C_0 и его отношение с другими организационными единицами БД.

Последние могут находиться как на основном, так и на временных слоях. Тогда для занесения (или удаления) организационной единицы на некоторый временной слой указанными дополнительными программными средствами формируется список типа $C_0, C_1, \dots, C_n$, выбирается одна из таблиц в ОЗУ, соответствующая данному временному слою и типу организационной единицы, и сформированный список заносится в таблицу. При выборке данных сначала организуется поиск организационных единиц в соответствующих таблицах, который производится по заданному имени и отношениям с другими организационными единицами БД. При неудачном исходе поиск продолжается основными средствами i -го уровня СУБД. Тем самым обеспечивается "прозрачность" временных слоев. Удаление конкретного временного слоя достигается удалением из ОЗУ соответствующего набора таблиц, а занесение временного слоя в основную БД - путем переноса организационных единиц из соответствующего набора таблиц в БД.

Отметим следующее важное свойство описанных выше "слоистых" БД и средств их поддержания: если дополнительные программные средства, поддерживающие временные слои с идентификаторами i_j ($j=N, N+1, \dots, K$), встроены в S -й уровень, то временные слои с такими же идентификаторами порождаются автоматически на любом уровне представления данных, если $E > S$, хотя в СУБД и будут отсутствовать дополнительные программные средства поддержания временных слоев БД на E -ом уровне представления данных. Указанный эффект объясняется тем, что при "послойной" архитектуре СУБД организационные единицы каждого уровня интерпретируются манипуляциями над набором организационных единиц нижележащего уровня. Если на E -ом уровне ($E > S$) будет специфицировано создание организационной единицы на временном слое с идентификатором i_j , то даже при отсутствии программных средств поддержания временных слоев БД на E -ом уровне эта единица будет интерпретирована набором организационных единиц S -го уровня, помещенных программными средствами поддержания временных слоев БД S -го уровня в соответствующие таблицы, организованные в ОЗУ. Манипуляции с этой организационной единицей E -го уровня также будут интерпретированы дополнительными программными средствами S -го

уровня, т.е. в описанной ситуации временной слой БД с идентификатором I_i генерируется на S -ом уровне (назовем его далее исходным), а на всех вышележащих уровнях появляется видимость наличия временных слоев БД с таким же идентификатором (назовем их далее порожденными). При выборе программных слоев СУБД, в которые целесообразно встраивать дополнительные программные средства поддержания исходных временных слоев БД, необходимо учесть следующие обстоятельства:

- с повышением номера уровня исходного временного слоя БД усложняются списки типа $C_0, C_1, \dots, C_n$ и программные средства их ведения;

- эффективность использования объемов памяти, отводимых для организации временных слоев, и время манипулирования с данными этих слоев обратно пропорциональны величине $E-S$, где S - номер уровня исходного временного слоя БД, E - номер уровня порожденного временного слоя БД.

В СУБД средства поддержания исходных временных слоев БД можно организовать на всех уровнях, предусмотрев также механизм их подключения или отключения. Тогда выбор уровней, на которых целесообразно ведение исходных временных слоев БД, и подключение соответствующих программных средств можно организовать автоматически. Выбор уровней производится путем анализа характеристик потока данных, хранимых во временных слоях БД, и потока запросов к ним. Математические методы такого анализа подлежат отдельному рассмотрению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туяхов Л.С., Коваленко В.М. Организация интерфейса между модулями в составе программного обеспечения АСУ /УСИМ.-1984. № 2 - С.72-77.
2. Mylopoulos John, Chaundhri Vinay, Jurisica Igor. Development and Application of Knowledge Base Management Systems // Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, AI-95, Canberra, - Australia 1995 - P.

ГИУА

18.01.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1998, с. 245-248.

УДК 621.372.832

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А.К. БАРСЕГЯН

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МАЛОГАБАРИТНАЯ НАГРУЗКА ТИПА ФЛАНЕЦ

Բերված է պետարային համապատասխան ընդի կառուցումները, որը բաղկացած է հայտնիներից ամենափոքրիցից է՝ Ուսումնասիրված է կառուցելու ալիքի զորակիցի կախվածությունը կլանելու նյութի չափերից, որը պետարի քննարկում տիրույթում քի զերագույնում է.05

Приводится конструкция универсальной волноводной нагрузки являющаяся самой малогабаритной из всех известных. Исследована зависимость коэффициента стоячей волны от размеров поглощающего материала, который во всей выбранной волноводной полосе не превышает 1,05.

Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

The construction of universal waveguide load is given; it is the most miniature among all the well-known. Standing wave coefficient dependence on the sizes of absorbing material not exceeding 1,05 in the chosen service band is studied.

Ил. 3. Ref. 3.

Серийно выпускаемые нагрузки низкого уровня мощности обычно выполняются в виде закороченных на конце отрезков волновода, содержащих клинообразные поглощающие вещества (рис. 1а). Опыт показывает, что получение малых отражений в согласованных нагрузках широкого диапазона длин волн связано с заметным увеличением размера поглощающего клина по длине, что, в свою очередь, приводит к удлинению размера арматуры. Использование известных малогабаритных согласованных нагрузок на стандартном и пониженном сечениях волновода [1-3], зачастую, нецелесообразно в СВЧ трактах из-за их нетехнологичности.

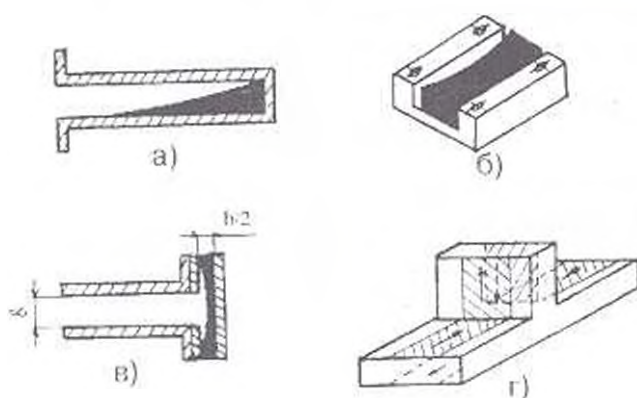


Рис. 1. Конструкция нагрузки

С целью уменьшения длины серийно выпускаемой согласованной нагрузки можно вместо стандартного отрезка волновода использовать рупор (рис.2). При этом высота поглощающего материала в рупоре изменяется по экспоненциальному закону, что приводит к увеличению пути, пройденного электромагнитной волной, и, соответственно, к укорочению длины арматуры. Однако и данная нагрузка неудобна с точки зрения компоновки в СВЧ трактах.

Предложенная в настоящей работе конструкция малогабаритной согласованной нагрузки является наименьшей по размерам из всех ранее известных. Во фланце стандартных размеров делается канал шириной "а", равной ширине волновода, и глубиной b' , равной половине высоты волновода b (рис.1б). При подключении фланца к волноводному тракту канал образует Е плоскостной тройник с

фланцем тракта (рис.1в). Продольные токи в тройнике для волны H_{10} остаются постоянными по трем каналам (рис.1г). Это означает, что z_1 и z_2 подключены к z_3 последовательно. Если к перпендикулярному каналу Е тройника подключить генератор, а к плечам 1 и 2 подключить согласованные нагрузки, то коэффициент отражения $|\Gamma|$ от основного ответвления будет зависеть только от соотношения между z_1 , z_2 и z_3 (сопротивлениями плеч). Если $z_3 \neq z_1 + z_2$, то $|\Gamma| > 0$. Если же $z_3 = z_1 + z_2$, то $|\Gamma| \rightarrow 0$. При одинаковом сечении волноводов всех трех плеч тройника имеем $z_1 = z_2 = z_3 = z$, $\frac{z_1 + z_2}{z_3} = 2$ и

$$|\Gamma| = \frac{z_3 - z_1 - z_2}{z_3 + z_1 + z_2} = \frac{(z_1 + z_2) - z_3}{(z_1 + z_2) + z_3} = \frac{1}{3}.$$

$$K = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = 2.$$

Если $z_3 = z_1 + z_2$, то $|\Gamma| = 0$, тогда КСВН=1. Это условие может быть выполнено только тогда, когда у тройника $z_1 = z_2 = z$, а $z_3 = \frac{z_1}{2} = \frac{z_2}{2} = \frac{z}{2}$. В этом случае для основной волны H_{10} электрическое сопротивление прямоугольного волновода прямо пропорционально высоте волновода.

Следовательно, высота волновода h' основного канала 1-2 должна быть равной половине высоты h перпендикулярного канала $b = b'/2$.

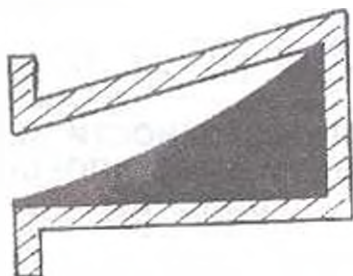


Рис. 2. Рупорная нагрузка

В качестве поглощающего материала использовался ферроэпоксид экспоненциальной формы, который помещался в основной канал Е тройника. Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) во всей волноводной полосе выбранного диапазона не превышает 1,05 (рис. 3).

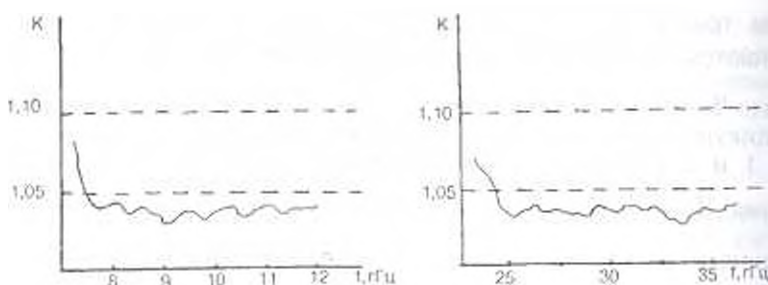


Рис. 3 Зависимость K от частоты

Волноводная нагрузка предложенной конструкции практически не вносит изменений в габаритные размеры приборов и волноводных трактов, а КСВН ничуть не хуже, чем у серийно выпускаемых. На рис.3 приведены графики зависимостей КСВН для различных диапазонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клич С.М. Проектирование СВЧ устройств радиолокационных приемников. М.: Советское радио, 1973. - 320 с.
2. А.с. 344539 СССР, Н01, 1/26. Волноводная нагрузка. Оpubл. 19.02.72. Бюл. № 21.
3. Лебедев М.В. Техника и приборы СВЧ. М.: Высшая школа, 1970. - Т.1. - 374 с.

ГИУА

24.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 2, 1998, с. 248-251

УДК 621.382.333

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.Е. АЙВАЗЯН, Г.А. МАКАРЯН, А.А. ЧОМОЯН, А.Р. АКОПЯН

ПАССИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМ ОКИСЛОМ

Ցույց է արվում արեգակնային տարրերի էլեկտրական բնութագրերի լավացման հնարավորությունը նրանց մակերևույթը լիար պարունակող օքսիդով պասսիվացնելու դեպքում:

Показана возможность улучшения электрических характеристик солнечных элементов путем пассивации их поверхности тонким хлорсодержащим окислом.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

The possibility of electric characteristics improvement of silicon solar cells by surface passivation with thin chlorine containing oxides is demonstrated.

Ил. 1. Table 1. Ref. 6.

Известно, что пассивирующая пленка на поверхности солнечных элементов (СЭ) уменьшает эффективную скорость поверхностей рекомбинации, улучшая их фотоэлектрические характеристики. Получение тонких (толщиной 30 нм) пассивирующих пленок осуществляется как правило термическим окислением кремниевых пластин в атмосфере сухого кислорода [1, 2].

В настоящее время в полупроводниковой технологии широкое распространение получил способ термического окисления при наличии в окисляющей смеси малых добавок хлорсодержащих газов [3]. Это обусловлено улучшением электрических свойств оксидных пленок за счет образования электрически неактивных комплексов хлора с щелочными металлами (пассивирующий эффект) [4] и/или возможностью оказывать сильное воздействие на объемные свойства кремния за счет образования летучих хлорсодержащих соединений металлических примесей (геттерирующий эффект) [5].

Показана возможность улучшения характеристик СЭ путем пассивации их поверхности хлорсодержащим оксидом. Исходными образцами служили полированные пластины монокристаллического кремния с удельным сопротивлением 3 Ом·см. Кремний ориентацией (111) был выращен методом Чохральского (легирующий добавка - фосфор). Созданию P⁺-П перехода осуществляли диффузией бора из жидкого источника BBr₃ при температуре 900 °C в течение 30 мин (продолжительность подачи диффузанта - 4 мин). После удаления в плавиковой кислоте (HF) образовавшегося боросиликатного стекла пластины термически окисляли как в атмосфере сухого кислорода, так и в смеси сухого кислорода и азота, содержащей соляную кислоту (HCl). Содержание HCl в окисляющей смеси варьировали в интервале 2...13%. Температура окисления составляла 850 °C, продолжительность - 40 мин. В результате получили "чистый" и "хлорсодержащий" оксид толщиной 18...21 нм. Конечная глубина залегания P⁺-П перехода составляла 0,8...0,9 мкм.

Токосъемочные контакты СЭ создавали методами фотолитографии и электрохимического никелирования с последующим обслуживанием в расплаве оловянно-свинцового припоя. Просветляющее покрытие, являющееся одновременно защитным слоем на поверхности СЭ, не наносили. Изменение параметров СЭ осуществляли стандартными фотovoltaическими методами в условиях AM1.5 при мощности освещения 100 мВт/см².

Для оценки плотности поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO₂ на основе окисленных пластин были изготовлены тестовые МОП-конденсаторы. Затвор конденсаторов создавали напылением алюминия на пластину и последующей фотолитографией. Площадь затвора составляла 1 мм². Плотность поверхностных состояний измеряли методом вольт-фарадных измерений.

Как видно из зависимости изменения плотности поверхностных состояний N_{ss} (в нормированных единицах) на границе раздела Si-SiO₂ от процентного содержания HCl в окисляющей смеси (рис. 1), существует порог содержания HCl ($\approx 4\%$), ниже которого влияние хлора незаметно. Начиная с этого значения, с увеличением концентрации HCl плотность поверхностных состояний монотонно уменьшается. С другой стороны, необходимо отметить, что наличие

слишком высоких концентраций HCl (> 10%) может привести к образованию сильной шероховатости на поверхности пластин. Наблюдаемое уменьшение N_{ss} объясняется захватом и нейтрализацией подвижных ионов натрия вблизи границы раздела Si-SiO₂ [3].

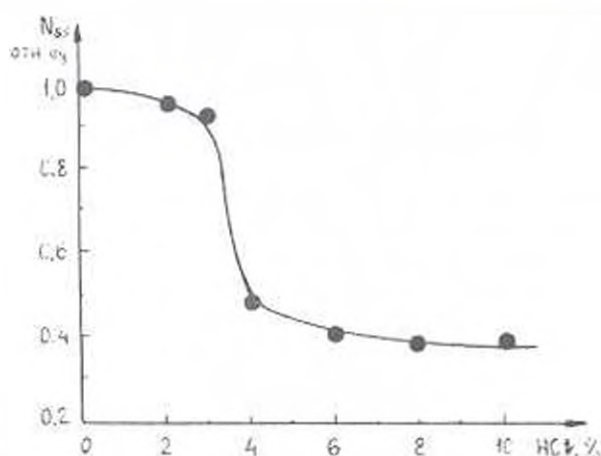


Рис. Изменение плотности поверхностных состояний (в нормированных единицах) на границе раздела Si-SiO₂ в зависимости от процентного содержания HCl в окисляющей смеси

Представлены электрические характеристики нескольких типичных СЭ с пассивирующим окислом, выращенным в различных условиях (табл.). Приведены следующие обозначения: U_{xx} - напряжение холостого хода; $I_{кз}$ - плотность тока короткого замыкания; F - коэффициент заполнения ВАХ; μ - коэффициент полезного действия.

Таблица

Электрические характеристики солнечных элементов

Условия получения окисла	U_{xx} , мВ	$I_{кз}$, мА/см ²	F	μ , %
1. Сухой кислород	596	28,5	0,71	12,1
2. 3% HCl	592	28,0	0,72	11,9
3. 6% HCl	612	30,1	0,72	13,3
4. 8% HCl	615	29,9	0,72	13,4

* - параметр относится к активной поверхности СЭ

Как видно из таблицы, лучшие электрические характеристики имеют СЭ с пассивирующим хлорсодержащим окислом, выращенным в 6- и 8-% HCl. Особенно заметно повышение U_{xx} . Напряжение холостого хода СЭ определяется выражением

$$U_{xx} = (kT/q) \ln(1 - I_{кз}/I_n), \quad (1)$$

где k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура; q - заряд электрона, I_0 - плотность тока насыщения.

Снижение N_{ss} при использовании хлорсодержащего окисла приводит к уменьшению скорости поверхностной рекомбинации S_1 в соответствии с выражением $S_1 = \epsilon V_n N_{ss}$, где ϵ - сечение захвата; V_n - скорость носителей заряда.

С уменьшением S_1 снижается I_{sc} [6]. в результате чего, как следует из (1), U_{xx} логарифмически возрастает. С уменьшением S_1 следует также ожидать увеличение коротковолновой спектральной чувствительности СЭ [6].

В заключение отметим, что после удаления в HF пленки окисла U_{xx} уменьшается и составляет - 580 мВ независимо от предыстории окисления. Этот результат свидетельствует о том, что в данном случае геттеризирующий эффект хлора не существен, а улучшение характеристик СЭ однозначно связано с пассивирующим эффектом хлорсодержащего окисла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Elgamet H.E., Barnett A.M., Rohagi A. Efficient combination of surface and bulk passivation schemes of high-efficiency multicrystalline silicon solar cells // J. Appl. Phys. - 1995. - V. 78, № 5. - P. 3457 - 3461.
2. Pogg A., Susi E. Effect of passivating oxides on the surface recombination velocity in silicon // Phys. Stat. Sol (a). - 1989 - V.113. - K 61 - 66.
3. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов / Под ред. П. Антонетти. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1988. - 496 с.
4. Sofield C.J. Oxidation of silicon: The VLSI gate dielectric // Semicond. Sci. and Technol. - 1995. - V. 10, № 3. - P. 215-219.
5. Айвазян Г.Е., Бабалян Г.С., Бахшецян А.Г. Влияние термообработки на образование окислительных дефектов упаковки в кремнии // Изв. АН Армении. Сер. ТН. - 1991. - Т. XLIV, № 5-6. - С. 211-216.
6. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 2. Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 456 с.

НПП "Транзистор"

13.02.1997

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՊՐԵԶԻԴԵՆՏ,
ԱԿԱԴԵՄԻԿՈՍ ՖԱԴԵՅ ՏԱԾԱՏԻ ՍԱՐԳՍՅԱՆ
(ԾԵՆԴՅԱՆ 75 -ԱՄՅԱԿԻ ԱՌԹԻՎ)**

Լրանում է Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների ազգային ակադեմիայի պրեզիդենտ, հաշվողական տեխնիկայի եւ կառավարման ավտոմատացված համակարգերի բնագավառի խոշոր մասնագետ, ակադեմիկոս Ֆ. Սարգսյանի ծննդյան 75 տարին:



Կես դարից ավելի ակադեմիկոս Ֆ. Սարգսյանը ակտիվորեն մասնակցում է Հայաստանի գիտական եւ հասարակական -քաղաքական կյանքին:

Սարգսյան - գիտնականին բնորոշ են մտքի պարզությունը, հասունացած հիմնահարցերի նկատմամբ վերլուծական մոտեցումը, որոշումների համարձակությունն ու նորարարությունը, եզրահանգումների կշռադատվածությունը, պահպանողականության եւ ղոգնատիզմի մերժումը, նորի, առաջավոր մշտական աջակցումը:

Գիտնականի եւ գիտության կազմակերպչի տաղանդն առավել փայլում դոսենորվեց 1963-1978 թթ., երբ ակադեմիկոս Ֆ. Սարգսյանը գլխավորում էր Երևանի մաթեմատիկական մեքենաների գիտահետազոտական ինստիտուտը:

Ռազմավարական ճիշտ ընտրությունը ֆ. Սարգսյանին հնարավորություն ընձեռեց ինստիտուտի աշխատանքները նպատակամղելու կարենդրագույն լինողական ծրագրերի գինված ուժերի ու ժողովրդական տնտեսության համար հաշվողական տեխնիկայի միջոցների եւ համակարգերի ստեղծմանը, ինստիտուտի գործունեության հիմնական ուղղությունները դարձան փոքր մեքենաների, միջին արտադրողականության էՀՄ-ների եւ ավտոմատացված կառավարման համակարգերի մշակումը:

Բացառիկ է ֆ. Սարգսյանի դերը գիտատեխնիկական այնպիսի նոր ուղղության ձեւավորման գործում, ինչպիսին է ավտոմատացված կառավարման համակարգերի մշակումը: Հայաստանի գիտատեխնիկական ներուժը նրա ջանքերով ներգրավվեց երկրի պաշտպանության համար սկզբունքային նշանակություն ունեցող ամենաբարդ հիմնահարցերի լուծման աշխատանքներում: Սարգսյանը եւ նոր օպերացիոն համակարգի ստեղծման այդ ծավալուն ծրագիրը, որն ապահովում էր վերջինիս հուսալիությունն ու բարձր արտադրողականությունը, հիմնված էր ինքնատիպ ճարտարագիտական մոտեցումների եւ առաջավոր ճարտարագիտա-տեխնիկական մտքի նվաճումների վրա:

Ֆ. Սարգսյանի ղեկավարությամբ եւ անձնական մասնակցությամբ մշակվեցին եւ արտադրության մեջ ներդրվեցին «Նաիրի», «Հրազդան», ԵՍ-1030, ԳԳ-1010, ՍՀՀ եւ այլ էՀՄ-ներ: Ինստիտուտը դարձավ միջին արտադրողականության էՀՄ-ների միասնական մոդելների զլխադաս մշակողը:

Ինստիտուտում ձեւավորվեց գիտնականների եւ առաջատար մասնագետների դպրոց, որի հիմնադիրներից մեկը եւ գիտական ղեկավարն իրավամբ համարվում էր ակադեմիկոս ֆ. Սարգսյանը: Նրա աշխատությունները ծանրակշիռ ավանդ են հաշվողական տեխնիկայի եւ ինֆորմատիկայի բնագավառում:

Ակադեմիկոս ֆ. Սարգսյանը խոշոր պետական գործիչ է Տասներկու տարի լինելով Հայաստանի կառավարության նախագահ, նա մեծապես նպաստել է հանրապետության տնտեսական կառուցվածքի կատարելագործմանը, արդյունաբերության, գյուղատնտեսության, շինարարության եւ այլ բնագավառներում նորագույն ճյուղերի ստեղծմանը եւ զարգացմանը, որոնցից ամենակարեւորը այնպիսի բնագավառների բուռն զարգացումն էր, ինչպիսիք են ռադիոէլեկտրոնիկան, ճշգրիտ մեքենաշինությունը եւ սարքաշինությունը, ինչպես նաեւ հանրապետության էկոլոգիական վիճակի կտրուկ բարելավմանն ուղղված լուրջ աշխատանքների իրականացումը:

1993 թ. ֆ. Սարգսյանն ընտրվել է Հայաստանի Հանրապետության գիտությունների ազգային ակադեմիայի պրեզիդենտ Նրա ղեկավարությամբ ՀՀ ԳԱԱ համակարգում մեծ աշխատանք է տարվել Հայաստանում գիտության կազմակերպման, գիտական ներուժի սպախանման եւ զարգացմանն ուղղությամբ:

Ակադեմիկոս Ֆ. Սարգսյանի նախաձեռնությամբ կամզակերպվել են նպատակաուղղված հետազոտություններ երկրի պաշտպանության, ինֆորմատիկայի, ժամանակակից գիտության այլ կարեւորագույն ուղղություններով: Նրա ղեկավարությամբ ստեղծված ակադեմիական գիտահետազոտական քոմփյութերային ցանցը հնարավորություն ընձեռեց մուտք գործելու համընդհանուր տեղեկատվական ռեսուրսներ: Իրեն հատուկ եռանդի շնորհիվ նա կարողացավ էապես ընդլայնել ակադեմիայի միջազգային համագործակցությունը:

Ակադեմիկոս Ֆ. Սարգսյանը ԽՍՀՄ Պետական մրցանակների եւ Ուկրաինայի պետական մրցանակի դափնեկիր է, արժանացել է կառավարական պարգևների, բազմաթիվ արտասահմանյան եւ հայրենական ակադեմիաների, միջազգային գիտական եւ գիտատեխնիկական ընկերությունների անդամ է:

Ֆ Սարգսյանը հանրապետության Ազգային Ժողովի պատգամավոր է եւ այսօր եւս պատվով է կատարում քաղաքացու եւ պետական գործչի իր բարձր պարտքը իր գիտելիքներն ու փորձը ծառայեցնելով անկախ Հայաստանի կայացման գործընթացին:

Երկար տարիներ Ֆ. Սարգսյանը Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի եւ Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի տեղեկագրի տեխնիկական գիտությունների սերիայի խմբագրական կոլեգիայի անդամ է:

Տեղեկագրի խմբագրական կոլեգիան եւ բազմաթիվ գործընկերները, շնորհավորելով ականավոր գիտնականին եւ պետական գործչին ծննդյան 75-ամյակի առթիվ, մաղթում են նրան քաջառողջություն, երկար տարիներ թեղմնավոր ու հայրենամովեղ գործունեություն:

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ ՈՒԹ Յ ՈՒՆ

Գևորգյան Ս.Խ., Գուրգենյան Ա.Ա., Ուզունօղլու Ն., Պեֆորմազիայի խզման խնդրի տալածումը	123
Կարապետյան Կ.Ա., Սարգսյան Ն.Ե., Խաչիկյան Ա.Հ., Շերտաւոր զլաստիկների ամրությունը և դեֆորմատիվությունը բարդ բեռնավորման դեպքում	127
Ամիրյան Ա.Կ., Բեռնվածության քաշիման որենքը ՊՊՆ-40 մակնիշի ոլանտուսային զուգանի բախող օրգանի հիդրոմեխանիկական շարժարերի քազմաշխու շրջայի շարքերի միջև	132
Մանվելյան Զ.Ա., Ընտանդական կազմակարգների մակերևութային անկարծրությունների ազդեցությունը նվ ստացվող մեքենամասերի մակերևութային անկարծրությունների կազմակերման պայմանները	138
Տեր-Ազարեւ Ի.Ա., Տեր-Ազարեւ Գ.Ի.՝ Նական քարի հղկանդութային հատկութունների զնահատումը	142
Երիցան Գ.Ս., Օժանդակ արգելակային համակարգերի կառուցվածքային առանձնահատկութունները և երթնելութային անվտանդութունը	145
Հարությունյան Ս.Ս., Կոշիկի ազոտմաստացված հավաքման տիկնոթգիտման գործնական կառուցվածքի ձևափոխումը	149
Մանուկյան Ն.Վ., Ադրայան Ս.Գ., Կարապետյան Գ.Խ., Ասիլա Ս.Ա., Երկաթի հիմքով մաշակայուն հակաշիական փոշնելութեր	154
Մարտիրոսյան Վ.Հ., Մաճկայան Ա.Ռ., Սասունցյան Մ.Է., Սիրականյան Մ.Ա., Պղնձի քլորիդների չրածնով վերականգնման նստեղկան	160
Փանոսյան Ժ.Ռ., Առաքելյան Ա.Հ., Ենգիբարյան Ե.Վ., Բերբերյան Ս. Ե., Արդյունավետ արնային ֆոտոէլեկտրական վահանակների պատրաստման սնվանդոդիա	165
Ալ-Դարվիշ Մ.Բ., Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ոեժիմի Y-Z տեղքի հավասարումների լուծուք հաստատուն էնմնսննդով Հեսի մաթոքի օգնությամբ	170
Խաչատրյան Կ.Վ., Իսլամ Խ., Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի յիտարկող մասի ոեժիմային ուրարամնութերի զնահատումը	178
Կարապետյան Մ.Մ., Այվազյան Հ.Հ., Վարդազարյան Վ.Գ., Հակոբյան Լ.Ս., Հակոբյան Ի.Գ. Գերլարման զերխոթ նահանանսվածքման ապարտոներ	184
Դավիդյան Ժ.Դ., Հզոր սինխրոն շարժիչների խնդրային բողարկում	190
Կարապետյան Ա.Ա., Միրզաբեկյան Ժ.Ս. Զուգահեռ փոխած ջղերով և առանց մետաղական պատյանի կարելի էլկիտական զաշոյի հաշվաղման ու հետազոտությունը	195
Սիմոնյան Ս.Հ., Բոգոյան Ե.Ը., Տրամաբանական սխեմաների ստրկերի ֆունկցիոնալ ալոթիվությունների զնահատման մասին	203
Աթանեսյան Ա.Կ., Բալայան Լ.Ս., Հոգիաննիսյան Ա.Ա. Զրային լուծույթից հաստատումն արապությամբ միադյութելներ սնկոննդու տաղք	207

Բունիաթյան Վ.Վ. Հոսանքակիրների ղեկավարի ազդեցությունը ինժեներին-թույլբային դիտողների բարձր հաճախականային բնութագրերի վրա	210
Բաղդասարյան Հ.Վ., Գոմցյան Հ.Ա., Մեղավորյան Դ.Մ. Գծային ուզղանշանների կողավորումը թվային թելքա-օպտիկական կապի համակարգերում	216
Առուստամյան Վ.Ե., Սարգսյան Ա.Ա. Օպտոէլեկտրոնային կաբելի կիրառումը թվային ինֆորմացիայի արագագործ հաղորդման համակարգի կամար	222
Ավետիսյան Հ.Վ., Ավետիսյան Վ.Հ. Արբանյակային հեռուստատվության անհատական ընդունման համար անանանների ինտուիցիային սարքերը նախագծելիս նախնական սովալների զննատոում	225
Օսիպյան Մ.Մ. ԹԻՎ-ի հիմնական տեխնիկա-շահագործման բնութագրերը և տեսավորման ժամանակակից մեթոդներն	233
Ղազարյան Ս.Ս. Վերին չրտուար շերտից ջրհամման դեպքում տուրբերկրյա ջրերի շարժումը դեպի անուամասեո շերտավոր հուրաշերտի հորատանցքերի գծային շարքը	237
Մանուկյան Ա.Է., Մանուկյան Ա.Է. Ինֆորմացիոն փոխանակման կազմակերպումը բարդ ծրագրային համակարգերի մոդուլների միջև	242
Բարսեղյան Ա.Կ. Կցաշտրթի ձևով համաձայնեցված փոքրաչափ բնանկաթ	245
Այվազյան Գ.Ե., Մակարյան Գ.Ա., Չոմոյան Ա.Ա., Հակոբյան Ա.Ռ. Միլիցիանային արեգակնային տարրերի մակերևույթի սրտաթվազումը քոր սրայունակուղ օքսիդով	248
Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի Պրեզիդենտ, Ակադեմիկոս Ֆադեյ Տաճատի Սարգսյան՝ ծննդյան 75- ամյակի կապակցությամբ	252

СОДЕРЖАНИЕ

Геворкян С.Х., Гургенян А.А., Узуноглу Н. Распространение импульса разрыва деформации в цилиндрическом волноводе	123
Карапетян К.А., Саркисян Н.Е., Хачикян А.Г. Прочность и деформативность слоистых пластиков при сложном нагружении	127
Амирян А.К. Закон распределения нагрузок между рядами многорядной цепи гидромеханического привода рабочего органа плантажного плуга ППН-40	132
Манвелян З.А. Влияние шероховатости металлических форм на условия формирования шероховатости поверхности деталей	138
Тер-Азарьев И.А., Тер-Азарян Г.И. Оценка абразивных свойств природного камня	142
Ерицян Г.С. Конструктивные особенности вспомогательных тормозных систем и безопасность движения	145
Арутюнян С.С. Формирование структуры технологического процесса автоматизированной сборки обуви	149
Манукян Н.В., Агбалян С.Г., Карапетян Г.Х., Ассила С.А. Износостойкий антифрикционный порошковый материал на основе железа	154
Мартirosян В.А., Мачкалян А.Р., Сасунцян М.Э., Сиракanyan М.А. Кинетика восстановления хлоридов меди водородом	160
Паносян Ж.Р., Аракелян А.О., Енгибарян Е.В., Берберян С.Е. Технология изготовления солнечных аффективных фотоэлектрических панелей	165
Аль-Дарвиш М.Б. Решение Y-Z - формы уравнения установившегося режима электроэнергетической системы с помощью матрицы Гессе с постоянными элементами	170
Хачатрян К.В., Ислам Х. Оценка состояния режимных параметров ненаблюдаемой части электроэнергетической системы	178
Карапетян М.М., Айвазян Г.А., Вартазарян В.Г., Акопян Л.С., Акопян И.Г. Аппараты сверхглубокого ограничения перенапряжений	184
Давидян Ж.Д. Импульсный пуск мощных синхронных двигателей	190
Карапетян А.А., Мирзабекян Ж.М. Расчет и исследование электрического поля кабеля с параллельно расположенными жилами без металлической оболочки	195
Симонян С.О., Бозоян Е.Ш. Об оценке функциональной активности элементов логических схем	203
Атанесян А.К., Балаян Л.С., Оганесян А.А. Устройство для выращивания монокристаллов из водного раствора с постоянной скоростью	207

Бунятян В.В. Роль диффузии подвижных носителей тока в формировании отрицательного сопротивления в инжекционно-пролетных структурах	210
Багдасарян О.В., Гомцян О.А., Мегаворян Д.М. Кодирование линейных сигналов цифровых волоконно-оптических систем связи	216
Арустамян В.Е., Саркисян А.А. Применение волоконно-оптических кабелей для построения высокоскоростной системы передачи цифровой информации	222
Аветисян А.В., Аветисян В.Г. Оценка исходных данных при проектировании ОПУ антенн индивидуального приема спутникового телевидения	225
Осипян М.М. Основные технико-эксплуатационные характеристики и современная методика тестирования цифровых интегральных схем	233
Казарян С.С. Движение подземных вод к линейному ряду скважин в неоднородно-слоистом пласте при откачке воды из верхнего напорного горизонта	237
Манукян Ав.Э., Манукян Ар.Э. Организация информационного сопряжения модулей сложных программных систем	242
Барсегян А.К. Универсальная малогабаритная нагрузка типа фланец	245
Айвазян Г.Е., Макарян Г.А., Чомоян А.А., Акопян А.Р. Пассивация поверхности кремниевых солнечных элементов хлорсодержащим окислом	248
К 75-летию со дня рождения Президента Национальной Академии Наук Армении Фадея Тачатовича Саркисяна	252

CONTENTS

Gevorkyan S.Kh., Gurgyenyan A.A., Uzunoglu N. Deformation Rupture Impulse Propagation in a Cylindrical Waveguide	123
Karapetyan K.A., Sarkissyan N.E., Khachikyan A.H. Strength and Deformability of Layered Plastics Under Complex Loading	127
Amiryan A.K. Load Distribution Law between Multirow Chain Links with Hydromechanical Power-driven Tool for Trenching Plough PPN-40	132
Manvelyan Z.A. Metallic Form Roughness Influence and Forming Conditions of Part Surface Roughness	138
Ter-Azaryev I.A., Ter-Azaryan G.I. Evaluation of Natural Stone Abrasive Properties	142
Yeritsyan G.S. The Constructional Peculiarities of the Subsidiary Brake Systems and Security	145
Haroutunyan S.S. Structure Forming of Technological Process in Automated Footwear Assembly	149
Manukyan N.V., Aghbalyan S.G., Karapetyan G.Kh., Assila S.A. Nonexhaustible Antifriction Powdery Materials on Iron Basis	154
Martirosyan V.H., Machkalyan A.R., Sasountsyan M.E., Sirakanyan M.A. Kinetics for Copper Chloride Reduction by Hydrogen	160
Panosyan Zh.R., Arakelyan A.H., Yengibaryan Y.V., Berberyan S.E. Effective Solar Photovoltaic Panel production Technology	165
Al-Darvish M.B. Solution of Y-Z Form Equation Conditions Using Gesse Matrix with Constant Elements	170
Khachatryan K.V., Islam Kh. Mode parameter State Estimation in Nonobservable part of Electropower System	178
Karapetyan M.M., Aivazyan G.A., Vartazaryan V.G., Hakopyan L.S., Hakopyan I.G. Equipments for thorough limitation of overvoltages	184
Davidyan Zh.D. Impulse Start of Powerful Synchronous Engines	190
Karapetyan A.A., Mirzabekyan G.M. Calculation and Study of the Electrical Field for Cable with Parallel Located Phases and Without Metallic Jacket	195
Simonyan S.H., Bozoyan E.Sh. On Functional Activation Estimation of Logic Circuit Elements	203
Atanessyan A.K., Balayan L.S., Hovhannessyan A.A. A crystallizer for Growing Monocrystals from Water Solution With Constant Rate of Growth	207
Buniatyan V.V. Diffusion Effect Influence of Current Carriers on Microwave Characteristics of Baritt Diodes	210
Bagdassaryan H.V., Gomtsyan H.A., Meghavoryan D.M. Linear Signal Encoding of Digital Fiber-Optic Communication Systems	216

Arustamyan V.E., Sarkissyan A.A. Fiber Optics Cables Implementation for High-Speed Digital Information Transmission System Construction	222
Avetissyan H.V., Avetissyan V.H. The Evaluation of the Initial Data for Designing the Support-Rotator Mounting of the Antennas for Individual Reception of the Sputnik Telecast	225
Ossipyan M.M. Basic Maintenance Characteristics and Modern Testing Method of the Digital Integral Circuits	233
Ghasaryan S.S. The Motion of Underground Waters in a Linear Series of Wells in Inhomogeneous Layered Seam at Water Pumping from the Upper Head Horizon	237
Manukyan Av.E., Manukyan Ar.E. Organization of Information Exchange Between Software Modules for Complex Systems	242
Barseghyan A.K. Flange Type Miniature Universal Load	245
Ayvazyan G.E., Makaryan G.A., Chomoyan A.A., Hakopyan A.R. Passivation of Silicon Solar Cell Surface with Chlorine Containing oxides	248
Sarkissyan Fadey Tachat On the 75 - th anniversary	252