

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, Ռ.Մարության, Ն. Մանուկյան, Ֆ. Սարգսյան, Յու Սարգսյան, Վ. Սարգսյան, Մ. Ստակյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քույրանդար), Վ. Խաչատրյան, Հ. Զոչինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. Мартиросян (главный редактор), Р.В. Атоян (зам. глав. редактора), С.М. Казарян, Г.А. Кочинян, Н.В. Мавукян, 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).

**ՀԱՆՂԵՍԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ Է ՍՍԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆԿԻՐԱՏԿՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԴՐՎԱԾ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ 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 ГНУ Армении (сер. техн. наук), 1998

Г.Г. ШЕКЯН

ЖЕСТКОСТНАЯ МОДЕЛЬ ШАРИКОПОДШИПНИКА

Դիտարկված էն զննողանցքային կոշտության բնութագրերը բնագիտության կամայական ուղղությամբ ազդեցության դեպքում Պոտենցիալ էներգիայի ասիմպտոտիկ ներկայացման հաշվառմամբ կազմված հավասարակշռության դիֆերենցիալ համասարումների համակարգի լուծումը բովի 1 օրինակ տրամադրվող զննողանցքային կոշտության մոդեր պլաներ ստանդարտի նկատմամբ: Տույժ 1 տրված որ այդ բնութագրերը արթնկալաբար փոփոխվող են, լակ ասանցքների նկատմամբ փոխանակելիմ:

Рассмотрены жесткостные характеристики шарикоподшипника при действии нагрузки произвольного направления. Решению системы дифференциальных уравнений равновесия, составленных с учетом асимптотического представления потенциальной энергии, позволило получить жесткостную модель вращающегося шарикоподшипника по направлениям главных осей. Показано, что значения этих характеристик периодически меняются и по направлениям осей взаимосвязаны.

Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

Ball bearing rigidity characteristics in case of arbitrary direction load influence are considered. Solution of simultaneous equilibrium equations set up by asymptotic representation of potential energy permitted to obtain a rigidity model of rotating ball bearings on main directions of the axes. It is shown that these characteristic values are periodically changeable and they are interchangeable on directions of axes.

Ил. 3. Ref. 5.

Как известно, подшипники в машинах являются теми звеньями, через которые внешние возмущения передаются на ротор или от ротора к корпусу. Кроме того, они являются источниками кинематических возмущений силовых импульсов довольно широкого диапазона частот. Кинематическое возмущение в подшипниках качения возникает в результате движения его элементов относительно друг друга, а источниками такого возмущения являются нелинейная жесткость, некачественная сборка, дефекты изготовления, наличие зазоров, отклонение от точных геометрических форм и т.д. [1]. Если учесть особенности кинематики подшипника качения, нетрудно прийти к заключению, что центр внутреннего кольца при его вращении описывает сложную кривую, обусловленную как технологическими погрешностями, так и внешними условиями его работы. Колебания, обусловленные переменностью жесткости, характерны как для "идеального", так и для дефектного подшипников. Они определяются упругими свойствами подшипника и его деталей, величина и характер которых зависят от числа тел качения, наличия зазора, материала сепаратора, тел качения и колец, а также от направления действующих силовых импульсов. Раздельное рассмотрение этих факторов приводит к большим расчетным погрешностям, рассмотрение понятий "приведенная жесткость" или "жесткостная характеристика" по

направлениям сил вообще теряет всякий смысл. Такая чрезмерно упрощенная модель позволяет произвести расчет лишь низкочастотных спектров вибраций. Это означает, что система уравнений, описывающих пространственные колебания, не может быть независимой, тем более не могут быть независимыми пространственные жесткостные характеристики подшипников качения. При таком подходе определение нагрузки на шарикоподшипники по взаимному положению колец становится проще, если разделить подшипник на n контактных групп (где n - число шариков), каждая из которых состоит из шарика и двух участков дорожек качения. В качестве модели контактной группы может служить модель Герца. Свяжем с наружным неподвижным кольцом систему координат X, Y, Z , а с внутренним вращающимся кольцом - X', Y', Z' (рис.1). Положение внутреннего кольца относительно наружного определяется шестью координатами $x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$, где α, β, γ - углы конечного вращения первого рода, определяющие положение трехгранника x', y', z' в системе X, Y, Z (рис.2). Угловое перемещение γ совпадает с направлением вращения и в дальнейшем в уравнениях не участвует.

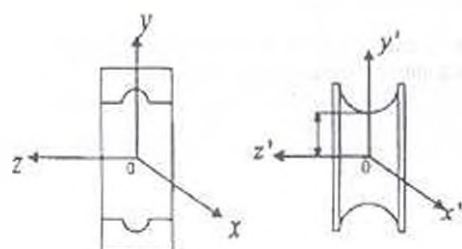


Рис. 1. Система координат, связанная с кольцами подшипника

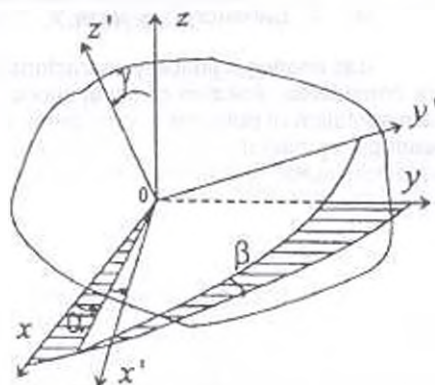


Рис. 2. Углы конечного вращения первого рода

Если потенциальная энергия неидеального подшипника известна и силы трения в зонах контакта шариков с кольцами таковы, что предотвращают проскальзывание шаров, то уравнение равновесия подшипника можно представить в виде [4]

$$\left\{ \frac{\partial \Pi}{\partial x}, \frac{\partial \Pi}{\partial y}, \frac{\partial \Pi}{\partial z}, \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha}, \frac{\partial \Pi}{\partial \beta} \right\} = \{A, P, Q, M_1, M_2\}. \quad (1)$$

В качестве выражения для потенциальной энергии использовано ее асимптотическое представление

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \frac{2K_i^{\text{cp}}}{5} \left(1 + \frac{P_{i0}}{\delta} \right) \{ \sin \tau_0 [\delta + \Delta z + \Delta P_{i0}^{\text{II}} - \Delta P_{i0}^{\text{II}} + (P_i^{\text{I}} + P_i^{\text{II}}) \times \\ \times (\alpha \sin \varphi_i - \beta \cos \varphi_i)] + \cos \tau_0 [(x + P_i^{\text{II}} \beta) \cos \varphi_i + \\ + (y - P_i^{\text{II}} \alpha) \sin \varphi_i + \Delta m_i] - \Delta m_i - \Delta e_i - \Delta e_i / 2 \}^{5/2}, \quad (2)$$

где $K_i^{\text{cp}} = \sum_{i=1}^n \sqrt{D_{\text{int}}} (C_{\text{int}} + C_{\text{ext}})^{1/2}$; C_{int} и C_{ext} - постоянные Герца для внутреннего и наружного колец; D_{int} , P_{i0} - диаметр и криволинейные координаты i -го шарика; ΔP_{i0}^{I} , $\Delta P_{i0}^{\text{II}}$, P_i^{I} , P_i^{II} - совокупность дефектов контактных групп s ($s=1,2,\dots,8$); δ - осевой натяг подшипника; Δz - изменение осевого зазора подшипника; φ_i - угол поворота i -го шарика относительно наружного кольца ($\varphi_i = \varphi_1 + \frac{2\pi}{n}(i-1)$); Δm_i - совокупность дефектов i -го шарика;

Δe_i , Δe_i - изменение эксцентриситета внутреннего кольца относительно наружного и i -го шара относительно оси вращения; τ_0 - угол между нормалью к текущему сечению и плоскостью (x,y) (угол контакта).

С учетом (2) система уравнений (1) принимает вид

$$\begin{cases} K_i^{\text{cp}} \cos \tau_0 \sum_{i=1}^n L_i \cos \varphi_i = A, & K_i^{\text{cp}} \cos \tau_0 \sum_{i=1}^n L_i \sin \varphi_i = P, & K_i^{\text{cp}} \sin \tau_0 \sum_{i=1}^n L_i = Q, \\ K_i^{\text{cp}} (P_i^{\text{I}} + P_i^{\text{II}}) \sin \tau_0 \sum_{i=1}^n L_i \sin \varphi_i = M_1, & K_i^{\text{cp}} (P_i^{\text{I}} + P_i^{\text{II}}) \sin \tau_0 \sum_{i=1}^n L_i \cos \varphi_i = M_2. \end{cases} \quad (3)$$

где

$$L_i = (1 + P_i / \delta) \{ \sin \tau_0 [\delta + \Delta z + (P_i^{\text{I}} - P_i^{\text{I}}) + (P_i^{\text{II}} + P_i^{\text{II}}) (\alpha \sin \varphi_i - \beta \cos \varphi_i)] + \\ + \cos \tau_0 [(x \cos \varphi_i + y \sin \varphi_i) + \Delta m_i] - \Delta m_i - \frac{\Delta e_i}{2} \}^{5/2}. \quad (4)$$

Как видно из (3), переменные x, y, z, α, β можно выразить через компоненты сил, моментов и совокупностей дефектов:

$$\{x, y, z, \alpha, \beta\} = \{x, y, z, \alpha, \beta\}(\varphi_1, A, P, Q, M_1, M_2, \Delta P_i^{\text{I}}). \quad (5)$$

Переменные x, y, z можно представить в виде рядов

$$\{x, y, z\} = \left[\frac{\partial}{\partial A} A + \frac{\partial}{\partial P} P + \frac{\partial}{\partial Q} (Q - Q_0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial P_i^{\text{I}}} \Delta P_i^{\text{I}} + K \right] \{x, y, z\}, \quad (6)$$

где производные вычисляются в точке $A=P=Q=Q_0=\alpha=\beta=0$, $\Delta P_i^{\text{I}}=0$. Подстановка (6) в (3) дает явные выражения для M_1, M_2 . Линейные части (6) определяются выражениями

$$\frac{\partial x}{\partial P} = \frac{\partial x}{\partial Q} = \frac{\partial y}{\partial A} = \frac{\partial y}{\partial Q} = \frac{\partial z}{\partial A} = \frac{\partial z}{\partial P} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial x}{\partial A} = \frac{1}{K_x}, \quad \frac{\partial y}{\partial P} = \frac{1}{K_y}, \quad \frac{\partial z}{\partial Q} = \frac{1}{K_z}.$$

Система (7) является линейной системой алгебраических уравнений относительно искомых производных. Определитель этой системы совпадает с главным минором третьего порядка. Тогда матрицу жесткостей можно представить в виде

$$K = \begin{pmatrix} K_x & 0 & 0 & 0 & -K_{xp} \\ 0 & K_y & 0 & K_{yp} & 0 \\ 0 & 0 & K_z & 0 & 0 \\ 0 & K_{yp} & 0 & K_{yy} & 0 \\ -K_{xp} & 0 & 0 & 0 & K_{\beta} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

где K_x, K_y, K_z - жесткости по осям координат; K_{xp}, K_{yp}, K_{yy} - перекрестные жесткости.

Используя обозначения $\Phi_1 = K_r^q \cos \tau_0 \sum L_i \cos \varphi_i - A$, $\Phi_2 = K_r^q \cos \tau_0 \sum L_i \sin \varphi_i - P$, $\Phi_3 = K_r^q \sin \tau_0 \sum L_i - Q$, имеем

$$\frac{\partial x}{\partial P'} = \frac{1}{K_x} \frac{\partial \Phi_1}{\partial P'}, \quad \frac{\partial y}{\partial P'} = \frac{1}{K_y} \frac{\partial \Phi_2}{\partial P'}, \quad \frac{\partial z}{\partial P'} = -\frac{1}{K_z} \frac{\partial \Phi_3}{\partial P'}. \quad (9)$$

Вычислив производные от функций Φ_1, Φ_2, Φ_3 и подставив их в (9), получим

$$\frac{\partial x}{\partial P'} = \frac{2 \cos \varphi_1}{n} T, \quad \frac{\partial y}{\partial P'} = \frac{2 \sin \varphi_1}{n} T, \quad \frac{\partial z}{\partial P'} = \frac{\lg \tau_0}{n} T,$$

$$\text{где } [T] = \left\{ \frac{1}{\cos \tau_0} - 1, \frac{1}{\cos \tau_0} - 1, 1, -1, \lg \tau_0, -\lg \tau_0, -\frac{1}{\cos \tau_0}, -\frac{2}{3} \lg \tau_0 \right\}.$$

Для упрощения вычислений примем векторную форму записи переменных в (2): $\bar{R} = \{x, y, z, \alpha, \beta\}$ - вектор перемещений внутреннего кольца; $\bar{N} = [\cos \tau_0 \cos \varphi_1, \cos \tau_0 \sin \varphi_1, \sin \tau_0, r \sin \tau_0 \sin \varphi_1, -r \sin \tau_0 \cos \varphi_1]$ - вектор коэффициентов при переменных; $\Delta \bar{P}_i = \{\Delta P'_i\}$ ($i = 1, 8$) - вектор дефекта i -й контактной группы ($P'_i = 0$); $\bar{T} = \{T^i\}$ ($i = 1, 8$) - вектор коэффициентов влияния.

Тогда выражение (2) примет вид

$$\Pi = \frac{2K_r}{s} \sum_{i=1}^n (\delta \sin \tau_0 + \bar{N} \bar{R} - \bar{T} \Delta \bar{P}_i \cos \tau_0)^{s/2}. \quad (10)$$

Используя очевидные правила дифференцирования по векторному аргументу, получим

$$\frac{d\Pi}{dR} = K_r \sum_{i=1}^n (\delta \sin \tau_{0i} + \bar{N} R - \bar{T} \Delta \bar{P}_i \cos \tau_{0i})^{1/2} \bar{N}_i. \quad (11)$$

Дифференцируя выражение (11) по R , получим

$$K = \left. \frac{d^2 \Pi}{dR^2} \right|_{R=0} = \frac{3}{2} K_r \sum_{i=1}^n (\delta \sin \tau_{0i} - \bar{T} \Delta \bar{P}_i \cos \tau_{0i})^{1/2} \bar{N}_i^2, \quad (12)$$

где $\bar{N}^2$ представляет собой матрицу вида

$$\bar{N}^2 = \{N_p N_q\}, \quad p, q = \overline{1, 5}. \quad (13)$$

Совместное решение (11) и (12) позволяет определить жесткости подшипника по всем направлениям. При решении практических задач чаще всего удобно иметь выражения для жесткостей по всем направлениям координатных осей.

Принимая $A=0$, $P=0$, $M_1=M_2=0$ и $DQ/dz=K_z$, имеем

$$Q = K_z n \sin^{5/3} \tau \delta^{1/2} \text{ и } \delta = [Q/K_z n \sin^{5/3} \tau]^{3/5}.$$

Тогда соответственно

$$K_x = K_y = \frac{3}{4} (K_z n)^{2/3} \cos^2 \tau_0 \sqrt[5]{\frac{Q}{\sin \tau}},$$

$$K_{\alpha} = K_{\beta} = \frac{3}{4} (K_z n)^{2/3} \sin^2 \tau_0 \sqrt[5]{\frac{Q}{\sin \tau}} (r_i + R_i)^2,$$

$$K_z = \frac{3}{2} (K_z n)^{2/3} \sin^{5/3} \tau_0 \sqrt[5]{Q},$$

$$K_{xy} = K_{yx} = \frac{3}{4} (K_z n)^{2/3} \sin \tau_0 \cos \tau (r_i + R_i) \sqrt[5]{\frac{Q}{\sin \tau}}.$$

Отношение осевой жесткости к радиальной дает $K_z/K_x = 2 \operatorname{tg}^2 \tau_0$, где τ_0 - угол контакта.

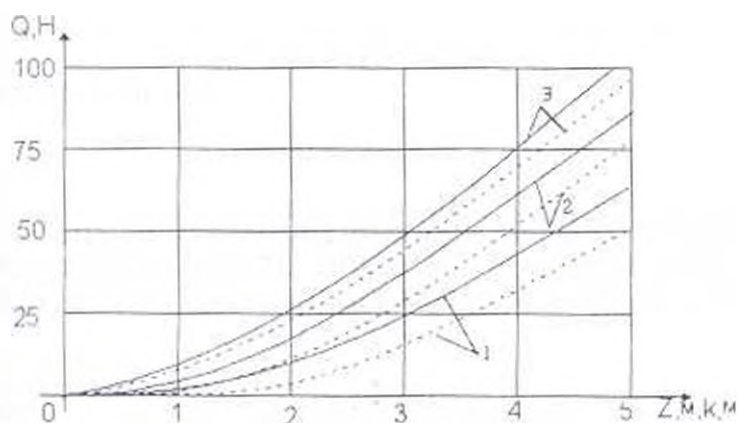


Рис. 3. Упруго-осевая характеристика шарикоподшипника типа 18021 при значениях радиального зазора: 1- $e=8$, 2- $e=4$, 3- $e=4$ мкм.

Сплошные линии построены на основании аналитических расчетов, пунктирные - на основании экспериментальных данных

Как видно из зависимости осевой жесткости шарикоподшипника от приложенной осевой нагрузки при различных значениях радиального зазора для конкретного шарикоподшипника типа 18021 (рис.3), с увеличением осевой нагрузки осевая жесткость увеличивается, а с увеличением радиального зазора - уменьшается. Расчетные и экспериментальные результаты хорошо согласуются. Некоторые понижения значений экспериментальных данных можно объяснить тем, что рассмотрены лишь идеальные подшипники.

Результаты работы позволили при расчете колебаний роторных машин учесть подшипниковые вибрации, обусловленные наличием неизбежных технологических дефектов изготовления, а также переменностью и взаимосвязанностью жесткостных характеристик по направлениям выбранных координатных осей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боярников В.С., Неймарк Ю.Н. О колебаниях вала в шарикоподшипнике // Динамика машин: Сб. - М.: Машиностроение, 1966. - С. 343-353.
2. Бурмистров А.Н., Галахов М.А. Параметрические колебания ротора на шарикоподшипниках // Машиноведение - 1983 - № 2. - С. 71-81.
3. Тамура А., Ганигути О.О. О субгармонических колебаниях порядка $1/2$, возбуждаемых при движении шариков в подшипнике // Механика. АН СССР - 1963. - № 3. - С. 43-55.
4. Бальмонт В.Б. Метод осевой жесткости радиально-упорного шарикоподшипника // Изв. вузов. Машиностроение. - 1977. - № 6. - С. 24-29.
5. Бальмонт В.Б. О вынужденных колебаниях ротора на неидеальных шарикоподшипниках // Изв. вузов. Машиностроение. - 1985. - № 10. - С. 40-45.

Ин-т механики НАН РА

30.06.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 3, 1998, с. 268 - 272.

УДК 621.831

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.К. АМИРЯН

УСТАНОВЛЕНИЕ ДЛИНЫ НАПРАВЛЯЮЩИХ ДОРОЖЕК ГЕНЕРАТОРА ВОЛН ЦЕПНО-ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ПРИ ЕГО НАРУЖНОМ ОБХВАТЕ ЦЕПИ

Անվանադրված է արտաքին աղիքային գեներատորով շրջաապիրային փոխանցման (ՀԱՖ) կառուցվածքը: Գիտարկված են շրջաապիրային մեխանիզմի աղիքային գեներատորի ուղղորդիչ գոտիների երկարության հաշվարկման նպատակով կազմված տեսակետի և փորձնական ինստրուկտորությունների արդյունքները, որոնք ապահովում են ՀԱՖ-ի նորակա ստանդարտների և առավելագույն կառուցմանը աշխատանքը: Առաջված արտահայտությունները երաշխավորում է օգտագործել ՀԱՖ-երի նախագծման ժամանակ:

Описывается конструкция ЦВП с наружным генератором волн. Рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований по уточнению длины направляющих дорожек генератора волн цепно-волнового механизма, обеспечивающего нормальную работу ЦВП без шумов и ударов в зацеплении. Получено выражение, которое рекомендуется применять при проектировании ЦВП.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

A chain-wave transmission (CWT) design with an external wave generator is described. Theoretical and experimental investigation results are considered on specification of wave generator guideway path length of chain-wave mechanism ensuring normal operating CWT without noises and impacts in engagement. The equation obtained is recommended to be applied for designing CWT.

Ил. 3. Ref. 4.

В конструкциях приводов многих сельскохозяйственных машин и орудий применяется цепно-волновая передача (ЦВП), являющаяся новым видом механических волновых передач [1,2].

Цепно-волновые механизмы в зависимости от их конструктивного исполнения генераторов волн можно разделить на две группы [3]:

- механизмы с внутренним генератором волн (где цепь обхватывает генератор волн);
- механизмы с наружным генератором волн (где генератор волн обхватывает цепь).

Представлены продольный и поперечный разрезы общего вида конструкции двухволновой цепной передачи, выполненной по конструктивному варианту с обхватывающим генератором волн (рис.1). Последний при помощи призматической шпонки 2 установлен на входном валу 1 и состоит из круглого диска 3 и прижимных направляющих дорожек 3', соединенных жестко при помощи винтиков. Число дорожек равно числу волн механизма. Внутренняя поверхность направляющих дорожек представляет собой дугу окружности с определенным радиусом. При этом направляющие дорожки обхватывают оба ряда бесконечной двухрядной втулочно-роликовой цепи 4 (типа 2ПР, ГОСТ 13562-75) и прижимают ее к звездочкам 5 и 8. Один из рядов цепи обхватывает передающую звездочку 5 с числом зубьев, равным числу звеньев цепи 4, а другой ряд - взаимодействующую звездочку 8 с числом зубьев, меньшим числа звеньев цепи 4. Для вывода роликов цепи из впадин зубьев звездочек между рядами бесконечной цепи 4 размещено упругое кольцо 10 из пружинного материала [4].

После сборки механизма цепь принимает форму генератора волн, вследствие чего зубья обеих звездочек, расположенные на малой оси генератора (вертикальная, вид А), полностью входят в зацепление с цепью, а зубья, расположенные на большой оси генератора (горизонтальная) и ближайшие к ним, оказываются вне зацепления с некоторым радиальным зазором. Все другие зубья звездочек находятся в промежуточных положениях частичного зацепления с различной глубиной захода в цепь.

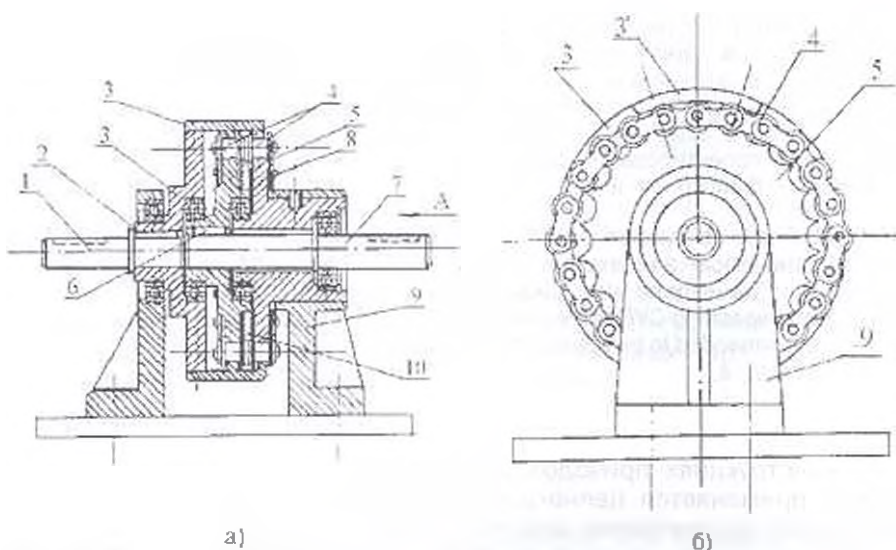


Рис. 1 Продольный (а) и поперечный (б) разрезы общего вида конструкции двухволновой цепной передачи

При вращении входного вала 1 с генератором волн возникают волнообразные движения цепи, и зоны зацепления зубьев звездочки 8 со звеньями цепи 4 перемещаются по окружности этой звездочки. Благодаря перемещению волны, звенья цепи 4 "шагают" по зубьям неподвижной звездочки 8 и увлекают за собой в движение звездочку 5, тем самым, сообщая вращательное движение выходному валу 7.

При проектировании ЦВП с наружным обхватом генератора волн особое значение имеет правильный выбор длины обхвата цепи направляющими дорожками генератора. При коротких направляющих дорожках 2 (рис.2) может произойти интерференция роликов цепи и зубьев звездочек, что может привести к заклиниванию механизма. В некоторых случаях при коротких направляющих дорожках заклинивание отсутствует. При этом траектория точек центров роликов цепи, представляющая собой циклоидальную кривую, пересекает профили зубьев звездочек. Однако так как в действительности пересечение не может произойти, то их приспособляемость происходит за счет зазоров в зацеплении и упругой деформации звеньев цепи. В этом случае происходят удары роликов цепи о зубья звездочек, передача работает с большим шумом, затрудняется ее проворачиваемость.

Для опытных редукторов с ЦВП длина направляющих дорожек принята $l = (0,13 \dots 0,15)L$, где $L = Z_{II}P$ - общая длина цепи; Z_{II} - число звеньев цепи; P - шаг цепи. При испытании редукторов выявились тугая проворачиваемость, сильные удары и шум в зацеплении. Постепенное увеличение длины направляющих дорожек генератора привело к лучшей проворачиваемости деталей редуктора, постепенному уменьшению ударов и шумов, а в дальнейшем - и к полному их исчезновению.

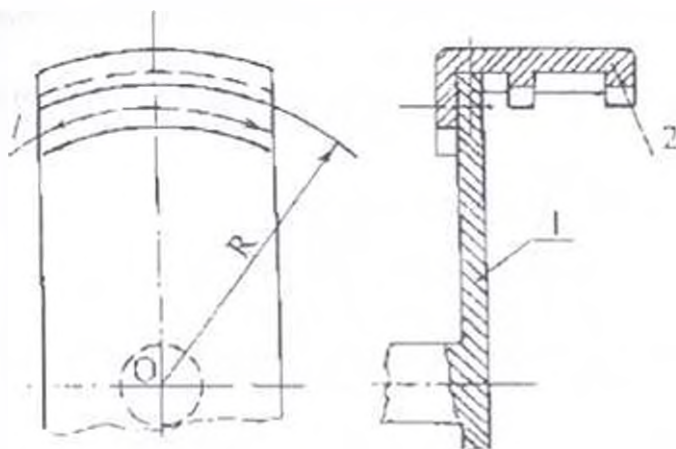


Рис. 2 Схема определения оптимальной длины направляющих дорожек генератора волн при его наружном обхвате цепи

Экспериментальным путем окончательно установлена оптимальная длина направляющих дорожек, при которой устраняются заклинивание, удары роликов цепи о зубья звездочек и шумы механизма:

$$f = (0.27 \dots 0.30) Z_{II} P_1. \quad (1)$$

Обнаружено, что при замене эллиптической формы направляющих дорожек линиями овала, построенного по двум заданным полуосям a и b , т.е. четырьмя дугами окружностей с двумя радиусами, длина дуги направляющих дорожек совпадает с длиной дуги овала, вычерченной большим радиусом кривизны (рис.3).

Учитывая, что $DC = CA = AD/2$ и $BA = a - b$, имеем

$$DC = [AB - (a - b)]/2, \quad BC = (a - b) + AD. \quad (2)$$

где $AB = \sqrt{a^2 + b^2}$.

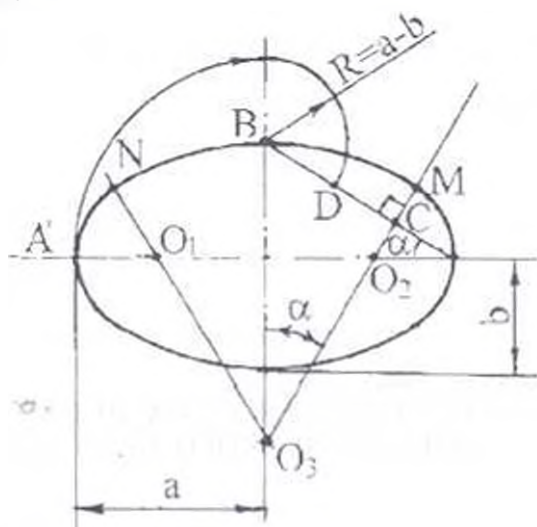


Рис. 3. Схема графического определения оптимальной длины направляющих дорожек генератора волн

Подставляя значение АВ в (2) и преобразуя его, получим

$$BC = [(a-b) + \sqrt{a^2 + b^2}] / 2. \quad (3)$$

Радиус кривизны овала на малой полуоси (в точке В) будет

$$R = BC / \sin \alpha, \quad (4)$$

где $\sin \alpha = b / \sqrt{a^2 + b^2}$.

Длина дуги с радиусом R равна

$$\ell = 2R\alpha. \quad (5)$$

Подставляя значения R и α в (5), окончательно получим

$$\ell = \sqrt{a^2 + b^2} (a - b + \sqrt{a^2 + b^2}) b^{-1} \arctg(b/a). \quad (6)$$

Выражение (6) рекомендуется применять при проектировании ЦВП для оптимизации длины направляющих дорожек генератора волн.

Таким образом, замена длины направляющих дорожек на опытных редукторах с ЦВП по (1) или (6) обеспечивает нормальную работу редукторов без ударов, шумов в зацеплении, с легкой проворачиваемостью звеньев.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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; Опубл. 07.08.87, Бюл. № 29. - 3 с.
2. 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; Опубл. 15.07.91. Бюл. № 26. - 3 с.
3. Амирян А.К. Оптимизация конструктивно-технологических параметров генераторов волн цепно-волновой передачи, применяемой в приводах почвообрабатывающих машин // Сб. науч. тр. / АрмСХИ. - Ереван, 1984. - Вып. 43. - С. 35-41
4. Амирян А.К. Цепно волновые передачи. - Ереван Наирн, 1997. - 184 с.

Армсельхозакадемия

28.07.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 3, 1998, с. 272 - 276.

УДК 621.91.02

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.М. АРЗУМАНЯН, Г.Г. ХАЧАТРЯН

МЕХАНИЗМ ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО КОРУНДА

Քերված են սինթետիկ կորունդից չիթեղիկներով հագեցված կտրիչների և իր-գների գոտավոր հայտնագործվածքների նուրբ մշակման գործընթացի նեոսագոտությունների արդյունքները: Բացահայտվել են կտրող բյուրեղների մաշման և կայունության

կախվածությունը ներքին լարումներից, կորման դարձահատորից, սնակվող նյութից և այլ գործոններից: Տխմագործի է սինթետիկ կորունդներից: Գործընկերի մաշման մեխանիզմը:

Приведены результаты исследований процесса тонкой обработки цветных сплавов с помощью резцов и фрез из синтетического корунда. Выявлены зависимости износа и стойкости режущих кристаллов от внутренних напряжений, режимов резания, обрабатываемого материала и других факторов. Обоснован механизм износа инструментов из синтетического корунда.

Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

The research results of the chromatic alloy thin processing by cutting tools and mills made of corundum are given. Cutting crystal wear and durability dependences on internal stress, cutting conditions, material processed and other factors are found. Wear mechanism of tools with synthetic corundum is established.

Ил. 2. Ref. 5.

Целью настоящей работы является исследование влияния внутренних напряжений, режимов резания и других факторов на стойкость и износ режущих пластин из синтетического корунда. Проведены серии экспериментов при тонкой обработке цветных сплавов в условиях, описанных в [1,2]. Изучены зависимости стойкости и износа режущих пластин от внутренних напряжений при тонком точении с режимами резания $S_{np}=0,02$ мм/об и $t=0,1$ мм. Проведено сравнение износа кристаллов с относительным износом задней поверхности резца на единицу пути резания, который составлял 1000 м.

Исследования показали, что величина относительного износа режущих пластин зависит от значения внутренних напряжений кристаллов. Так, при тонком точении бронзы БрАЖ9-4, применяя в качестве режущего материала рубин 'Роза', имеющий внутренние напряжения $\sigma = 60, 49, 12,6, 6$ МПа, относительный износ резцов при скорости $V=140$ м/мин составил $h_{3,1000} = 66, 49, 29$ и 24 (мм/км) $\times 10^{-5}$.

Анализируя величины $h_{3,1000}$ при тонком точении медных сплавов в испытуемом диапазоне скоростей резания ($V=90\ldots 650$ м/мин), можно заметить (рис. 1 и 2), что относительный износ сильно уменьшается от уменьшения внутренних напряжений. При этом наблюдаются сильные различия между величинами неотожженных режущих пластин, что особенно сильно проявляется при скоростях резания свыше 300 м/мин. Различия же между величинами относительных износов отожженных резцов не так велики. Таким образом, с целью уменьшения общих затрат, в том числе брака при изготовлении режущих пластин, и интенсивности износа режущих инструментов нужно использовать только бульки и полубульки из синтетического корунда, подвергшиеся высокотемпературному отжигу централизованным путем на заводах-поставщиках. Вывод закрепляется и применением неотожженных режущих пластин при скоростях резания свыше 400 м/мин, при которых после некоторого времени работы пластины внезапно подвергаются скалыванию. При избирательном травлении поверхностей скалывания, составляющих с передней поверхностью

режущих пластин угол от 25 до 35°, наблюдаются дислокации, характерные для плоскости ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$. Эти плоскости являются плоскостями механического двойникового корунда, которые наблюдаются также при быстром изменении температуры, и объемом сжатия естественных кристаллов рубина [3].

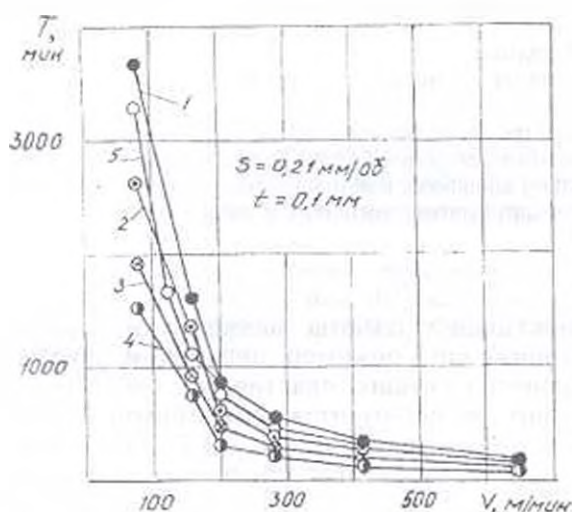


Рис. 1. Зависимость стойкости режущих пластин из синтетического корунда от скорости резания при тонкой обработке латуни ЛС59-1:

- 1 - рубин "Роза" ($\sigma = 60$ МПа); 2 - лейкосапфир ($\sigma = 32$ МПа);
- 3 - лейкосапфир ($\sigma = 12,6$ МПа); 4 - рубин "Роза" ($\sigma = 6$ МПа);
- 5 - рубин "Роза" ($\sigma = 30$ МПа, фрезерование)

Опыты показали, что при обработке латуни ЛС59-1 относительный износ меньше, чем при точении бронзы БрАЖ9-4, что объясняется разницей механических свойств обрабатываемых материалов. Вопреки ожиданиям, бронза БрОЦС 5-5-5 обрабатывалась хуже по сравнению с остальными медными сплавами, причиной чего следует считать наличие твердых включений в сплаве БрОЦС 5-5-5.

Иная картина наблюдается при обработке дюралюминия марок Д1 и Д16. Стойкость режущих пластин увеличивается при увеличении скорости резания до 260 м/мин и уменьшается при дальнейшем увеличении скорости. При применении в качестве смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ) веретенного масла оптимальная скорость резания составляет 250 м/мин, а при применении керосина - 230 м/мин. Кроме того, применение СОЖ привело к увеличению диапазона практических скоростей резания деформируемых алюминиевых сплавов, но не к увеличению стойкости режущих пластин при обработке латуни ЛС59-1 и бронзы БрАЖ9-4.

Опыты показали, что длина пути резания при фрезеровании латуни ЛС59-1 и дюралюминия Д16 находится в пределах от 215 до

250 км, при этом износ по задней грани $l_3=0.1$ мм при шероховатости обработанной поверхности составляет $R_a=0.63$ мкм.

Установлено [4], что при обработке латуни ЛС59-1 имеем

$$T = \frac{38 \cdot 10^5}{V^{2.6} S^{1.13} t^{0.18}}, \text{ а для бронзы БрАЖ9-4: } T = \frac{1.2 \cdot 10^5}{V^{2.15} S^{1.4} t^{0.17}}.$$

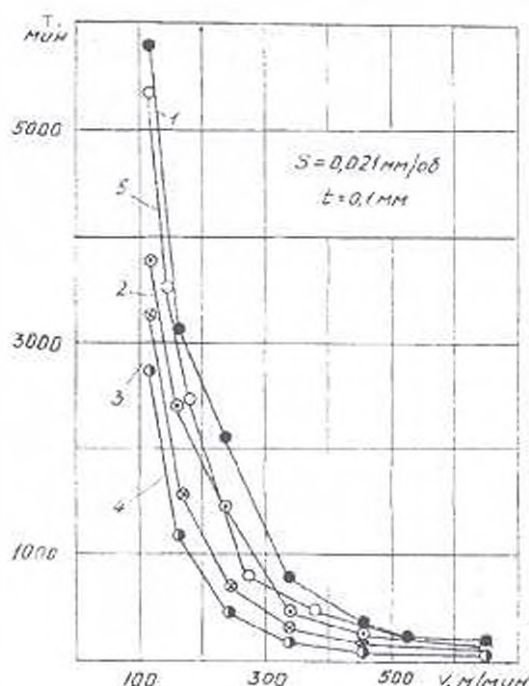


Рис. 2. Зависимость стойкости режущих пластин из синтетического корунда от скорости резания при тонкой обработке бронзы БрАЖ9-4. Режущая пластина "Роза".

1 - $\sigma=60$ МПа; 2 - $\sigma=49$ МПа; 3 - $\sigma=12.6$ МПа;

4 - $\sigma=6$ МПа; 5 - $\sigma=30$ МПа

Доказано, что максимальная стойкость получается при $V=100...250$ м/мин; $S=0.077...0.02$ мм/зуб и $t=0.01...0.1$ мм.

Исследованиями установлено, что при тонкой обработке латуни ЛС59-1, бронзы БрАЖ9-4 и БрОЦС 5-5-5 и дюралюминия Д1 и Д16 режущие пластины из синтетического корунда подвергаются адгезионному износу, а при резании же бронзы БрОЦС 5-5-5 и алюминиевых сплавов АЛ4 и АЛ9 еще и абразивному износу. Наблюдается также выкрашивание, возрастающее при форсировании режимов резания. Однако следует отметить, что выкрашивание не носит систематического характера по сравнению с доминирующим видом износа - адгезионным.

Процесс тонкой обработки характеризуется условиями, способствующими адгезионному износу, то есть большими удельными давлениями, контактными температурами и образованием в контакте с корундом новых, совершенно чистых поверхностей

обрабатываемых цветных сплавов, свободных от адсорбированных пленок, которые обычно присутствуют на поверхностях металлов и сплавов. Так как синтетический корунд является анизотропным телом мозаичного строения со следами пластических деформаций и другими дефектами (вакансии и примесные атомы) кристалла, то в процессе резания возникает вероятность отрыва и среза частиц от контактных поверхностей режущих пластин. Это объясняется тем, что при скольжении одной поверхности по другой происходит непрерывный процесс возникновения и среза адгезионных пятен. На одном метре пути резания любая точка контакта может подвергаться тысячекратным воздействиям срезающих напряжений [5], поэтому характер разрушения поверхностных слоев режущих пластин из синтетического корунда связан с усталостными явлениями.

Интенсивность адгезионного износа снижается с уменьшением скорости и подачи резания, величин внутренних напряжений в режущих кристаллах и применением СОЖ при обработке алюминиевых сплавов. СОЖ уменьшает способность схватывания между родственными синтетическими корундами, то есть между окисью алюминия и алюминиевым сплавом.

Увеличение адгезии с форсированием режимов резания можно объяснить увеличением температуры резания, способствующей возникновению и движению дислокаций. Причинами возникновения новых дислокаций в кристалле корунда являются высокие давления на контактных поверхностях резца, возникающие вследствие ударов режущих инструментов и вибраций станка. Следует подчеркнуть, что высокотемпературный отжиг не устраняет дислокаций в корунде, а только их перераспределяет. Дислокации уходят преимущественно в границы блоков мозаики [3], тем самым уменьшая местные напряжения в кристалле и интенсивность износа режущих пластин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аваков А.А., Хачатрян Г.Г. Стойкость и механизм износа рубиновых резцов // Вестник машиностроения. - М., 1974. - № 1. - С. 63-65.
2. Хачатрян Г.Г., Арзуманян А.М., Хачатрян Б.Г. Хрупкая прочность резцов и фрез из синтетического корунда // Прогрессивные инструменты и методы обработки резанием авиационных материалов: Сб. науч. тр. / КуАИ. - Куйбышев, 1989. - С. 4-8.
3. Методы и приборы для контроля качества кристаллов рубина / Под ред. С.В. Грум-Гржимайло, М.В. Классен-Неклюдова. - М.: Наука, 1968. - С. 12-29.
4. Заимцян Г.Г., Арзуманян А.М. Тонкая обработка цветных металлов // Промышленность Армении. - Ереван, 1983. - № 3. - С. 51-53.
5. Лоладзе Т.Н. Износ и стойкость режущего инструмента // Развитие науки о резании металлов. - М.: Машиностроение, 1967. - С. 182-225.

Гюмрийский образовательный
комплекс ГИУА

10.07.1997

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

ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХЛОРИДОВ МЕТАЛЛОВ ВОДОРОДОМ

Ներկայացված է երկաթի, պղնձի, ցինկի և կապարի քլորիդների՝ ջրածնով վերականգնման զործրության թերմոդինամիկան: Մետաղների քլորիդների՝ ջրածնով վերականգնման ռեակցիաների համար կատարվել է քանակական հաշվարկ:

Представлен термодинамический анализ процессов водородного восстановления хлоридов железа, меди, цинка и свинца. Выполнены количественные расчеты реакций восстановления хлоридов металлов водородом.

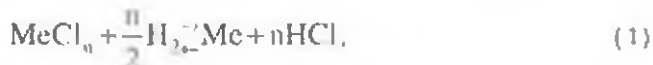
Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

Thermodynamic analysis of iron, copper, zinc and lead chloride restoration processes is presented. Quantitative calculation of reactions in metal chloride restoration by hydrogen is given.

Ил. 4. Ref. 10.

Как известно [1-6], сырьем для получения хлоридов железа, меди, свинца и цинка являются продукты хлорной металлургии цветных металлов. В данной работе приведен термодинамический анализ с целью количественной оценки возможности селективного восстановления отдельных металлов из смеси хлоридов.

Взаимодействие водорода с хлоридами металлов выражается обратной реакцией



где n - валентность металла.

Поскольку изобарные потенциалы водорода и металла равны нулю, термодинамическая вероятность реакции (1) определяется разностью изобарных потенциалов HCl (ΔG_{HCl}^0) и MeCl_n ($\Delta G_{\text{MeCl}_n}^0$). Чем в большей мере отрицательна эта разность, тем энергетически выгоднее восстановление хлоридов:

$$\Delta G_T^0 = n\Delta G_{\text{HCl}}^0 - \Delta G_{\text{MeCl}_n}^0,$$

т.е., чем отрицательнее значение $\Delta G_{\text{MeCl}_n}^0$, тем устойчивее хлорид и тем труднее он будет восстанавливаться. Следовательно, легче будут восстанавливаться хлориды пассивных металлов (меди и свинца) и труднее - активных (железа и цинка).

Приведена зависимость ΔG_T^0 от температуры для реакций восстановления хлоридов металлов водородом (рис.1). Расчеты выполнены для температурного интервала 298...1073 К [7-10]. Величина ΔG_T^0 относится к одной моли водорода. Это дает

возможность непосредственно оценить сродство металла к хлору при данной температуре. Учтены фазовые изменения в значениях энтропии и энтальпии в указанном температурном интервале. Как видно, реакции восстановления хлоридов металлов водородом при низких температурах термодинамически маловероятны, особенно для хлоридов железа (II) и цинка (рис. 1, кр. 5 и 6). С повышением температуры вероятность водородного восстановления всех хлоридов заметно возрастает. В случае FeCl_3 и CuCl_2 более вероятны реакции восстановления до низших хлоридов, чем до металлического состояния (рис. 1, кр. 7 и 8).

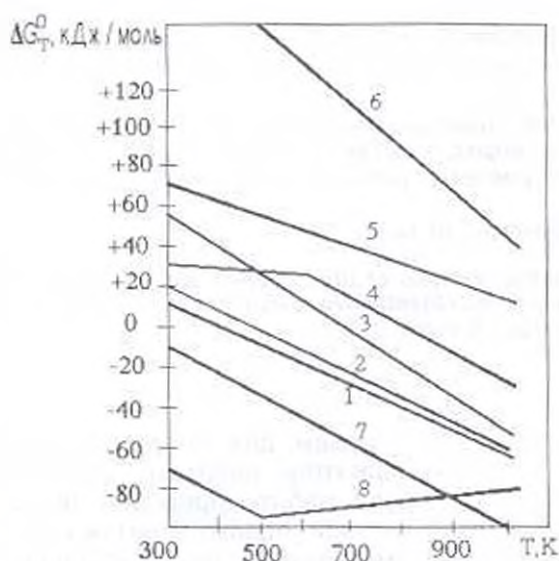


Рис. 1. Изменение энергии Гиббса (ΔG_T^0) в зависимости от температуры для реакций:

- | | |
|--|--|
| 1 - $\text{CuCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Cu} + 2\text{HCl}$; | 2 - $2/3\text{FeCl}_3 + \text{H}_2 = 2/3\text{Fe} + 2\text{HCl}$; |
| 3 - $\text{Cu}_2\text{Cl}_2 + \text{H}_2 = 2\text{Cu} + 2\text{HCl}$; | 4 - $\text{FeCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Fe} + 2\text{HCl}$; |
| 5 - $\text{PbCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Pb} + 2\text{HCl}$; | 6 - $\text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Zn} + 2\text{HCl}$; |
| 7 - $2\text{CuCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Cu}_2\text{Cl}_2 + 2\text{HCl}$; | 8 - $2\text{FeCl}_3 + \text{H}_2 = 2\text{FeCl}_2 + 2\text{HCl}$ |

Восстановительная способность хлоридов располагается в следующем восходящем ряду: $\text{ZnCl}_2 \rightarrow \text{FeCl}_2 \rightarrow \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{PbCl}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CuCl}_2$. Константа равновесия (K_p) по реакции (1) имеет вид

$$K_p = P_{\text{Me}} P_{\text{HCl}}^2 / P_{\text{MeCl}_n} P_{\text{H}_2}^2,$$

где P_{Me} , P , P_{MeCl_n} , P_{H_2} - парциальные давления веществ в состоянии равновесия.

Константа K' подобно константе химического равновесия, представляет собой постоянное выражение, в котором фигурируют равновесные характеристики исходного состояния:

$$K_p' = P_{\text{Me}}^* (P_{\text{HCl}}^*)^2 / P_{\text{MeCl}_n}^* (P_{\text{H}_2}^*)^2.$$

Реакция (1) может протекать слева-направо, если

$$\Delta G_T^0 = RT \ln K_p' - RT \ln K_p < 0, \text{ то есть } K_p' < K_p;$$

при $\Delta G_T^0 = 0$ наступает равновесие.

При стандартных условиях, когда $P_{Mx}^0 = (P_{HCl}^0) = (P_{MxCl_n}) = (P_{H_2}^0) = 1 \text{ атм.}$ имеем

$$\Delta G_T^0 = -RT \ln K_p = -RT \ln \frac{P_{Mx}^0 P_{HCl}^0}{P_{MxCl_n} P_{H_2}^{n/2}}.$$

В данном случае при восстановлении в температурном интервале 298...1073 К некоторые металлы могут сублимироваться. Если же в состоянии химического равновесия парциальные давления этих металлов остаются постоянными, то можно принять $P_{Mx} = \text{const}$ [9]. Тогда

$$\lg K_p = \lg \frac{P_{HCl}^0}{P_{MxCl_n} P_{H_2}^{n/2}} = -\frac{\Delta G_T^0}{2.3RT}.$$

Существуют методы приближенного расчета равновесий. Проще рассчитать ΔG_T^0 при $\Delta C_p = 0$, т.е. принять, что суммарная теплоемкость системы не изменяется (первое приближение Уилха). В этом случае для расчета химического равновесия необходимы не абсолютные значения термодинамических функций, а их изменения в результате реакций [9]: $\Delta G_T^0 = \Delta H_{\text{зук}}^0 - T \Delta S_{\text{зук}}^0$.

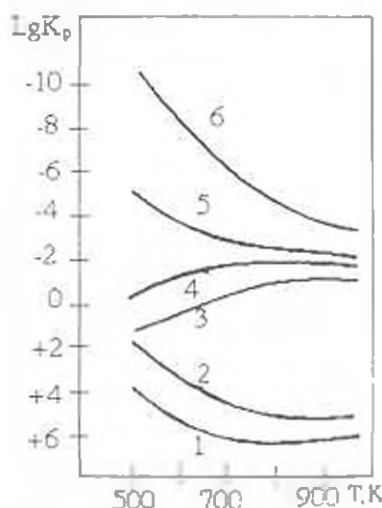


Рис. 2. Влияние температуры на константу равновесия ($\lg K_p$) для реакций восстановления хлоридов металлов водородом

1 - Cu_2Cl_2 ; 2 - CuCl_2 ; 3 - PbCl_2 ; 4 - FeCl_3 ; 5 - FeCl_2 ; 6 - ZnCl_2 .

При фазовых превращениях реагентов в интервале температур 298...1073 К имеем

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{\text{зук}}^0 + \Delta H_{\text{фаз}}^0, \quad \Delta S_T^0 = \Delta S_{\text{зук}}^0 + \Delta S_{\text{фаз}}^0, \quad \Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \Delta S_T^0. \quad (2)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \lg K_p &= \lg \frac{P_{HCl}^*}{P_{H_2}^{n/2} P_{MeCl_n}} = -\frac{1}{2,3R} \left(\frac{\Delta H_T^0}{T} - \Delta S_T^0 \right) = \\ &= -0,219 \left(\frac{\Delta H_T^0}{T} - \Delta S_T^0 \right), \text{ кал/моль.} \end{aligned} \quad (3)$$

Из расчетов зависимости $\lg K_p$ от температуры по (3) показано, что ΔG_T^0 для реакции восстановления хлоридов меди, железа (III) и свинца более отрицательные ($K_p > 1$), а для реакции восстановления хлоридов цинка и железа (II) - положительные ($K_p < 1$) (рис.2).

С учетом константы равновесия реакций при данной температуре можно рассчитать равновесный состав газовой фазы при условиях:

$$\frac{1}{K_p} = \frac{P_{H_2}^{n/2} P_{MeCl_n}}{P_{HCl}^*}, \quad P_{HCl} + P_{MeCl_n} + P_{H_2} = 1,$$

$$\text{или } \%HCl + \%MeCl_n + \%H_2 = 100, \text{ моль/\%}.$$

Примем парциальные давления исходных веществ:

$$P_{MeCl_n}^* = P_{H_2}^* = 0,5, \text{ моль/\%} \quad (P_{H_2} : P_{MeCl_n} = 1:1).$$

Если $P_{HCl} = x$, то в момент равновесия $P_{H_2} = P_{MeCl_n} = 0,5 - x/2$.

Константа равновесия для всех указанных хлоридов имеет вид

$$\frac{1}{K_p} = \frac{\left(0,5 - \frac{x}{2}\right)^2}{x^n} = \frac{(1-x)^2}{4x^n}, \quad (4)$$

для $FeCl_2$:

$$\frac{1}{K_p} = \frac{(1,5-x)(1-x)}{6x^2}, \quad (5)$$

На основании (4) и (5) вычислены равновесные составы газовой фазы для реакции водородного восстановления хлоридов металлов. Построен график зависимости содержания водорода в газовой смеси от температуры (рис.3). В нижней части располагаются хлориды, в состав которых входят металлы с малым сродством к хлору (Cu, Pb), требующие для восстановления незначительной концентрации водорода в газовой смеси с $K_p > 1$. В верхней части располагаются металлы с большим сродством к хлору (Zn, Fe), требующие для восстановления значительной концентрации водорода в газовой смеси с $K_p < 1$. Например, для $FeCl_2$ (рис.3, кривая 5) при $1/K_p' = 1/K_p$ наблюдается равновесие, при $1/K_p' < 1/K_p$ протекает реакция восстановления $FeCl_2$, при $1/K_p' > 1/K_p$ идет реакция хлорирования железа за счет HCl. Область, расположенная выше равновесной кривой, является областью восстановительных газов для $MeCl_n$, а область ниже равновесной кривой - областью окислительных газов для металла. Ниже кривой 5 состав газа

восстановительный для FeCl_3 , PbCl_2 и хлоридов меди и окислительный - для FeCl_2 и ZnCl_2 .

В качестве примера рассмотрим восстановление FeCl_2 водородом. Реакция $\text{FeCl}_2 + \text{H}_2 = \text{Fe} + 2\text{HCl}$ имеет положительное значение ΔG_T^0 , например, при 773 К: $\Delta G_{773}^0 = 34838$ кДж/моль.

Следовательно, $K_p = 0,00435$.

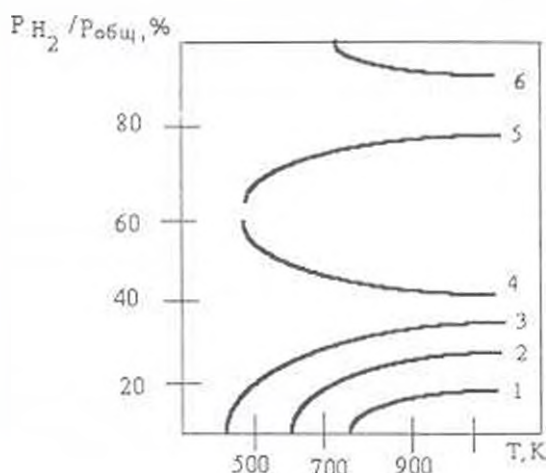


Рис. 3. Изменение содержания водорода в газовой смеси в зависимости от температуры:

1 - Cu_2Cl_2 ; 2 - CuCl_2 ; 3 - PbCl_2 ; 4 - FeCl_3 ; 5 - FeCl_2 ; 6 - ZnCl_2

Из (4) находим $x=0,002$, т.е. $P_{\text{HCl}}=0,002$ атм, $P_{\text{H}_2}=P_{\text{FeCl}_2}=0,4989$ атм, что соответствует объемной концентрации 0,2% HCl и 49,89% H_2 . Таким образом, ΔG_T^0 реакции восстановления FeCl_2 водородом может достичь отрицательной величины, если поддерживать содержание в восстанавливающем газе $\text{HCl} < 0,2\%$, а $\text{H}_2 > 49,89\%$.

Поскольку данная система включает по три компонента и фазы (хлоридную, металлическую, газообразную), то число степеней свободы составляет 2. Следовательно, равновесный состав газа в общем случае является функцией двух параметров - температуры и общего давления. Так как реакция (1) протекает слева-направо, с сокращением объема, то увеличение давления исходной смеси практически должно сильно влиять на состояние равновесия. Увеличим давление водорода в исходной газовой смеси по отношению к MeCl_n , например, $P_{\text{H}_2}=0,9$ атм, $P_{\text{FeCl}_2}=0,1$ атм ($P_{\text{H}_2}:P_{\text{FeCl}_2}=9:1$). В этом случае $x=0,0143$ атм, $P_{\text{HCl}}=0,0143$ атм, $P_{\text{H}_2}=0,9-x/2=0,892$ атм, $P_{\text{FeCl}_2}=0,1-x/2=0,092$ атм. Следовательно, увеличивая парциальное давление водорода по отношению к P_{FeCl_2} в 9 раз, P_{HCl} возрастает в $0,0143/0,002=7,15$ раза. Исходя из

расчетных данных равновесных давлений $P_{H_2}:P_{MeCl_n}=1:1$, а также $P_{H_2}:P_{MeCl_n}=9:1$, определены выходы хлористого водорода и, следовательно, восстановленного металла. Сравнение полученных результатов показывает (рис.4), что с увеличением парциального давления водорода в газовой смеси в 9 раз равновесные кривые для всех хлоридов сдвигаются в сторону больших выходов. В обоих случаях сильно возрастает выход восстановленных меди и железа, чем цинка и свинца. Реакции восстановления высших хлоридов меди и железа ($CuCl_2$ и $FeCl_3$) протекают с большей вероятностью, чем низших хлоридов ($CuCl$, $FeCl_2$). Вероятность восстановления хлоридов цинка и свинца менее выражена.

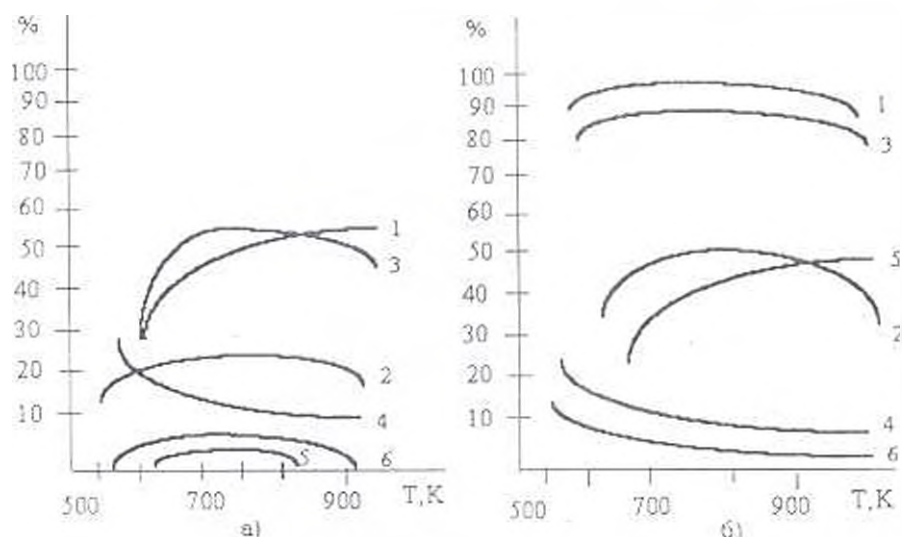


Рис. 4. Выход восстановленного металла, %, в зависимости от температуры при соотношении

а - $MeCl_n, H_2=0.5:0.5$; б - $MeCl_n, H_2=0.1:0.9$.

1 - Cu_2Cl_2 ; 2 - $CuCl$; 3 - $PbCl_2$; 4 - $FeCl_3$; 5 - $FeCl_2$; 6 - $ZnCl_2$

Таким образом, варьируя составом газовой смеси и параметрами процесса, можно осуществить либо избирательное, либо полное восстановление хлоридов металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коршунов Б.Г., Стефанюк С.Л. Введение в хлоридную металлургию редких элементов - М. Металлургия, 1970. - С. 121-242.
2. Хабаши Ф. Основы прикладной металлургии (теоретические основы) - М. Металлургия, 1975. - Т.1. - 380 с.
3. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов - М. Металлургия, 1973. - 357 с.
4. Королев Ю.М., Столяров В.И. Восстановление фторидов тугоплавких металлов водородом. - М. Металлургия, 1981. - 180 с.
5. Дзгеладзе Ж.И., Щеголева Р.П., Голубева Л.С. и др. Порошковая металлургия сталей и сплавов - М. Металлургия, 1978. - 264 с.

6. Акименко В.Б., Буланов В.Я., Рукин В.Я. и др. Железные порошки. - М.: Наука, 1982. - 264 с.
7. Кубашевский О., Эванс Э. Термохимия в металлургии. - М. Иностранная литература, 1954. - 415 с.
8. Исаев С.И. Курс химической термодинамики. - М.: Машиностроение, 1975. - 255 с.
9. Лошинская Е.И. Термодинамика и основы кинетики металлургических процессов. - М., 1951. - 140 с.
10. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. - М.: Химия, 1975. - 535 с.

ГИУА

17.06.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН) т. 1.1. № 3, 1998, с. 283-287

УДК 621.9.029:621.78.062

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Г.С. ОВСЕПЯН, А.Ж. ГАЛСТЯН, Г.А. АМБАРЯН, Г.А. КАРАПЕТАН

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЗОТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Մշակվել է ջերմաքիմիական եղանակով մաշակայուն շերտի ստացումը կողորոտելու և տեխնոլոգիա, որը մասնակիորեն կիրառելի է տիտանափոփրանակոբալտային կոմպոզիցիաների համար. հաստատվել է, որ դիֆուզիոն շերտի ձևավորման ցուցանիշները կախյալ են խառնուրդի պաշտպանիչ գազի բաղադրությունը, ջերմաստիճանը, պրոցեսի տևողությունը: Ուսումնասիրվել է կարծր համաձուլվածքե փթեղիկների ջերմաքիմիական մշակման գործընթացը, որը հնարավորություն է տալիս 1,7... 1,8 անգամ բարձրացնել կտրող գործիքի մաշակայունությունը, մշակման արտադրողականությունը՝ տևտեսելով թանկարժեք կարծր համաձուլվածքե գործիքներ:

Разработана технология нанесения износостойких покрытий методами химико-термической обработки, в частности карбонитрирования, применительно к титановольфрамкобальтовым композициям. Установлено, что при формировании диффузионного слоя важную роль играют состав защитного газа, температура, выдержка. Исследован процесс химико-термической обработки твердосплавных пластин, позволяющих повысить износостойкость режущего инструмента в 1,7...1,8 раза.

Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

Principally new directions and technologies are developed for application of wear resistant platings by means of chemical/thermal treatment, particularly at carbonitriding of titanium-tungsten-cobalt composites. It is shown that the composition of shielding gaseous medium, temperature, and exposition play an important role during the formation of the diffusive layer. The process of chemical/thermal treatment is investigated for hard alloy plates which permit to improve the wear resistivity of the cutting tool for 1,7...1,8 times.

[1/2. Ref. 5.

Твердые сплавы в качестве инструментальных материалов являются лидирующими в металлообрабатывающей промышленности. Их эксплуатационные свойства в значительной степени определяются

износостойкостью, характеризуемой, в свою очередь, твердостью (HRA=86...92). Многочисленные попытки повысить уровень свойств твердых сплавов путем комбинаций компонентов не привели к существенным результатам. В этой связи новым направлением в развитии твердосплавного инструмента следует считать нанесение износостойких покрытий методами химико-термической обработки, в частности карбонитрирования, применительно к титановольфрамокобальтовым композициям. Именно сочетание свойств нитридов и карбидов титана, т.е. их синтез, позволяет наилучшим образом повысить уровень эксплуатационных свойств.

Целью настоящей работы является исследование и разработка технологии получения износостойкого карбонитридного диффузионного слоя.

Анализ научной и производственной информации показывает, что для титановольфрамокобальтовых сплавов нет необходимости наносить комплексное покрытие в виде $Ti(C,N)$. Оно менее эффективно, чем формирование TiC_xN_{1-x} покрытия путем ограниченного нитрирования, т.е. частичного разуглероживания карбида титана, достаточно устойчивого в пределах $TiC_{0,5}N_{0,5} \dots TiC_{0,97}N_{0,03}$.

Такое технологическое решение значительно упрощает процессы карбонитрирования, сохраняет структурную целостность поверхностных слоев твердого сплава и, следовательно, существенно повышает эксплуатационные характеристики режущего инструмента [1, 2].

При исследовании систем сплавов Ti-C-N и Ti-W-C выявлено, что лучшим упрочняющим покрытием для твердых сплавов марок ТК является карбонитридное покрытие состава TiC_xN_{1-x} , свойства которого сопоставимы с TiC и более предпочтительны, чем TiN. Как отмечалось [3], карбид титана достаточно устойчив в пределах $TiC_{0,5} \dots TiC_{0,97}$. Следовательно, дефицит углерода (C) можно компенсировать азотом (N). Наиболее приемлемыми являются карбонитриды составов $TiC_{0,7}N_{0,3} \dots TiC_{0,9}N_{0,1}$. Этот интервал целесообразен и по технологическим соображениям, а именно, карбонитридный слой создается азотированием рабочей поверхности твердого сплава, т.е. без операции нанесения "покрытия" как такового. Диффузионное насыщение твердого сплава азотом (т.е. азотирование) в пределах $N_{0,1} \dots N_{0,3}$ не связано с большим разуглероживанием сложного карбида (Ti,W)C, а следовательно, его разупрочнением. Кроме того, для таких концентраций азота технологическое исполнение не требует высоких температур и больших выдержек. Наконец, азотированием преследуется цель уменьшить структурную дефектность основной фазы $(Ti,W)C_{1,80} \dots (Ti,W)C_{1,00}$, за счет удаления кислорода, находящегося в твердом растворе, и доведения его состава до стехиометрии $(Ti,W)C_1N_1$. Совершенствование структуры должно произойти и за счет заживления остаточной пористости, а также удаления

свободного углерода, содержащегося в твердых сплавах заводского производства.

При анализе кинетических закономерностей ХТО обычно используется эмпирическая зависимость глубины диффузионного слоя δ от продолжительности τ процесса [4]:

$$\delta = R\tau^n,$$

где R, n - постоянные, определяемые экспериментальным путем.

Для установления корреляционных соотношений между примесью твердой фазы и продолжительностью насыщения используем обобщенное уравнение кинетики гетерогенных химических реакций:

$$R^* = \frac{(1-\alpha)}{S\tau^{1-\lambda}} V^n \int_{m_0}^m \frac{dm}{[cV - (m - m_0)]^n},$$

где $S = RS_0/\tau^\lambda$, S_0 - начальная площадь насыщаемой твердой фазы; m_0, m - начальная масса твердой фазы в момент времени τ ; V - объем насыщающей фазы; c - предельная концентрация насыщенного реагента; α - постоянная, зависящая от свойств реагирующих фаз; R^* - константа скорости реакции.

Процесс формирования структуры при азотировании металлокерамических твердых сплавов осуществлялся в конвейерной печи типа КВП-60 с газогенераторной установкой, которая состоит из двух основных частей: зоны термообработки и зоны охлаждения. Режимы термообработки: скорость нагрева - 70...80 град/мин; скорость охлаждения - 25...30 град/мин; температура термообработки (максимальная) - 1200°C; продолжительность цикла термообработки - 50...60 мин; производительность печи - 40 кг/ч. Полученный газ подавали в камеру печи с помощью установки ЭН-60-М01. Состав газа колебался в пределах 40...60%N₂; 15...20% CO; 30...35%Н₂. Исходным сырьем служили природный газ и сжиженные пропан-бутановые смеси с кислородом. Металлокерамические твердосплавные пластинки, подвергаемые термообработке в атмосфере указанного газа при температуре 1000...1200°C, приобретали карбонитридный диффузионный слой толщиной до 30...35 мкм (рис.1).



Рис.1 Термообработанный слой, образованный на поверхности твердого сплава после термической обработки в атмосфере защитного газа. Выдержка при температуре 1200°C - 50 мин., толщина слоя 25...30 мкм. $\times 1350$ сплав Т15К6

Большой интерес представляет формирование толщины диффузионного слоя. В атмосфере защитного газа изменение температуры процесса существенно влияет на толщину диффузионного слоя. Установлено, что при формировании диффузионного слоя важную роль играют состав защитного газа, особенно содержание в газовой среде азота, температуры, выдержки. С увеличением их количества (рис. 2) толщина диффузионного слоя возрастает [5].

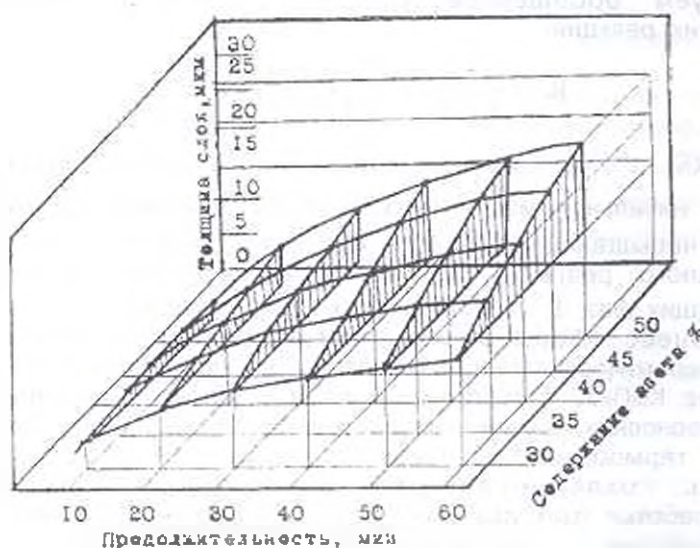


Рис. 2. Влияние атмосферы газовой среды и времени выдержки на глубину слоя ($T=1200^{\circ}\text{C}$)

Проведен фазовый анализ диффузионного слоя, в результате чего установлено, что при термообработке твердосплавных пластин в атмосфере защитного газа ($\text{N}_2 + \text{CO} + \text{H}_2$) при температуре $T=1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ в поверхностном слое образуется новая фаза - $(\text{Ti,W})\text{C}_x\text{N}_{1-x}$. Найдено, что количество углерода и азота в новой фазе колеблется в пределах $(\text{Ti,W})\text{C}_{0.6}\text{N}_{0.4}\text{--}(\text{Ti,W})\text{C}_{0.8}\text{N}_{0.2}$.

В результате исследования установлены оптимальные параметры упрочняющей термической обработки твердосплавных пластин: повышается износостойкость и долговечность дорогостоящего твердосплавного инструмента (износостойкость неперетачиваемых пластин в 1,7...1,8 раза выше, чем стандартных), производительность обработки, увеличивается скорость резания, уменьшается шероховатость обработанной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Toth L.E. Transition Metal carbides and Nitrides. - New York, 1971. - 294 p.
2. Самсонов Г.В. Нитриды. - Киев: Наукова думка, 1969. - 378 с.
3. Stone L., Marlotin H. // J. Metals - 1953. - №5 - P. 1498.
4. Прокошкин Д.А. Химико-термическая обработка металлов Карбонитритация. - М.: Машиностроение, 1984. - 240 с.
5. А.с. 1044676 СССР С 23 С 11/ 14. Способ газового азотирования твердосплавных пластин / Г.С. Овсепян (СССР). № 3372128/22-02, Заявл 23.12.81; Опубл. 30.09.83. Бюл. № 36. - 6 с.

ГИУА

08.07.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1.1, № 3, 1998, с. 287-295.

УДК 621.311.001

ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН

РЕШЕНИЕ Y-Z- ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЭС МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ P-U-ТИПЕ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Ստացված ոչ գծային հանրահաշիվյալիս հավասարումների համակարգերի հանրահաշիվային է Նյուտոն-Րաֆսոնի մեթոդով լուծարվում է ած. դեպքը. երբ առկա անհավաքելիության կայանների համար նախնական ինֆորմացիա են համարվում տեսակի կոորդինատները և լարումների մոդուլները:

Применяется метод Ньютона-Рафсона для решения совокупности систем нелинейных алгебраических уравнений. Рассматривается случай, когда в качестве исходной информации относительно независимых станционных узлов задаются активные мощности и модули напряжений.

Библиогр. 4 назв.

Newton-Rafson method is used for solving the simultaneous nonlinear algebraic equation set. A case is viewed when active powers and voltage modules are given as initial information on independent station units.

Ref. 4.

Рассматривается электроэнергетическая система (ЭЭС), состоящая из $M+1$ узлов, которую при удалении определенного количества ветвей можно представить как совокупность радиально связанных N подсистем [1-3]. Если полученные подсистемы состоят из $M_1, M_2, \dots, M_N$ узлов, то $M_1 + M_2 + \dots + M_N = M$. Предполагается, что один из станционных узлов выбран в качестве базисного, так что M характеризует число независимых узлов. Базисный узел выбирается в первой подсистеме, которая состоит из $M_1 + 1$ узлов. Для изложения работы принимается система индексов, что и в [4]. Однако, в

ЛИТЕРАТУРА

1. Toth L.E. Transition Metal carbides and Nitrides. - New York, 1971. - 294 p.
2. Самсонов Г.В. Нитриды. - Киев: Наукова думка, 1969. - 378 с.
3. Stone L., Marlotin H. // J. Metals - 1953. - №5 - P. 1498.
4. Прокошкин Д.А. Химико-термическая обработка металлов Карбонитритация. - М.: Машиностроение, 1984. - 240 с.
5. А.с. 1044676 СССР С 23 С 11/ 14. Способ газового азотирования твердосплавных пластин / Г.С. Овсепян (СССР). № 3372128/22-02, Заявл 23.12.81; Опубл. 30.09.83. Бюл. № 36. - 6 с.

ГИУА

08.07.1997

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 1.1, № 3, 1998, с. 287-295.

УДК 621.311.001

ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, Н.П. БАДАЛЯН

РЕШЕНИЕ Y-Z- ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЭС МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ P-U-ТИПЕ СТАЦИОННЫХ УЗЛОВ

Ստացված ոչ գծային իներականիզացիոն հավասարումների համակարգերի հանրահապարակում է Նյուտոն-Րաֆսոնի մեթոդով: Դիտարկվում է ածականը, երբ առկա անհայտ էլեկտրական կաշանների համար նախնական ինֆորմացիա են կառավարող անհայտ էլեկտրական կաշանների արժեքները:

Применяется метод Ньютона-Рафсона для решения совокупности систем нелинейных алгебраических уравнений. Рассматривается случай, когда в качестве исходной информации относительно независимых стационарных узлов задаются активные мощности и модули напряжений.

Библиогр. 4 назв.

Newton-Rafson method is used for solving the simultaneous nonlinear algebraic equation set. A case is viewed when active powers and voltage modules are given as initial information on independent station units.

Ref. 4.

Рассматривается электроэнергетическая система (ЭЭС), состоящая из $M+1$ узлов, которую при удалении определенного количества ветвей можно представить как совокупность радиально связанных N подсистем [1-3]. Если полученные подсистемы состоят из $M_1, M_2, \dots, M_N$ узлов, то $M_1 + M_2 + \dots + M_N = M$. Предполагается, что один из стационарных узлов выбран в качестве базисного, так что M характеризует число независимых узлов. Базисный узел выбирается в первой подсистеме, которая состоит из $M_1 + 1$ узлов. Для изложения работы принимается система индексов, что и в [4]. Однако, в

отличие от [4], где рассматриваются станционные узлы типа P-Q, в настоящей работе рассматриваются станционные узлы типа P-U.

Как показано в [4], после представления заданной ЭЭС в виде совокупности радиально связанных N подсистем, их уравнения в матричной форме имеют вид

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{n_1} \\ \vdots \\ U_{i_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{l_{m_1}} \\ \vdots \\ \dot{U}_{l_{i_1}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_1 n_1} & | & Z_{m_1 k_1} \\ - & | & - \\ Z_{i_1 n_1} & | & Z_{i_1 k_1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{n_2} \\ \vdots \\ U_{i_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{l_{m_2}} \\ \vdots \\ \dot{U}_{l_{i_2}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_2 n_2} & | & Z_{m_2 k_2} \\ - & | & - \\ Z_{i_2 n_2} & | & Z_{i_2 k_2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_2} \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_2} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{n_N} \\ \vdots \\ U_{i_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{l_{m_N}} \\ \vdots \\ \dot{U}_{l_{i_N}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{m_N n_N} & | & Z_{m_N k_N} \\ - & | & - \\ Z_{i_N n_N} & | & Z_{i_N k_N} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_N} \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_N} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Представим матричное уравнение (1) в развернутой форме:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{n_1} &= \dot{U}_{l_{m_1}} + Z_{m_1 n_1} \dot{I}_{n_1} + Z_{m_1 k_1} \dot{I}_{k_1}, \\ U_{i_1} &= U_{l_{i_1}} + Z_{i_1 n_1} \dot{I}_{n_1} + Z_{i_1 k_1} \dot{I}_{k_1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Умножив с левой стороны первую систему уравнений из (4) на $Z_{m_1 n_1}^{-1}$ и введя обозначения:

$$\begin{aligned} Y_{m_1 n_1} &= Z_{m_1 n_1}^{-1}, & \Lambda_{n_1 k_1} &= -Y_{m_1 n_1} Z_{m_1 k_1}, \\ \bar{D}_{i_1 n_1} &= Z_{i_1 n_1} Y_{m_1 n_1}, & Z_{i_1 k_1} &= Z_{i_1 k_1} - Z_{i_1 n_1} Y_{m_1 n_1} Z_{m_1 k_1}, \end{aligned} \quad (5)$$

получим матричное уравнение первой подсистемы:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \vdots \\ U_{i_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1 b} \\ \vdots \\ U_{i_1 b} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{m_1 n_1} & | & \Lambda_{n_1 k_1} \\ - & | & - \\ \bar{D}_{i_1 n_1} & | & Z_{i_1 k_1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{m_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_1} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Аналогичным образом, представляя матричные уравнения 2, 3 и т.д. подсистем и объединяя их, можно получить следующую блочно-диагональную форму:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1} \\ \vdots \\ \dot{U}_{e_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{n_N} \\ \vdots \\ \dot{U}_{e_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{n_1 B} \\ \vdots \\ \dot{U}_{e_1 B} \\ \vdots \\ \dot{I}_{n_N B} \\ \vdots \\ \dot{U}_{e_N B} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{e_1, n_1} & \dot{A}_{e_1, k_1} \\ \vdots & \vdots \\ \dot{D}_{e_1, n_1} & Z_{e_1, k_1} \\ \vdots & \vdots \\ Y_{e_N, n_N} & \dot{A}_{e_N, k_N} \\ \vdots & \vdots \\ \dot{D}_{e_N, n_N} & Z_{e_N, k_N} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{n_1} \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_1} \\ \vdots \\ \dot{U}_{n_N} \\ \vdots \\ \dot{I}_{k_N} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Если из формы записи "ток-напряжение" (7) перейти к форме "активная-реактивная" мощности, то получим

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{p_1}(U_{n_1}, \Psi_{n_1}) &= 0, \\ \Phi_{q_1}(U_{n_1}, \Psi_{n_1}) &= 0, \\ \Phi_{p_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) &= 0, \\ \Phi_{q_1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) &= 0, \\ \vdots \\ \Phi_{p_N}(U_{n_N}, \Psi_{n_N}) &= 0, \\ \Phi_{q_N}(U_{n_N}, \Psi_{n_N}) &= 0, \\ \Phi_{p_N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) &= 0, \\ \Phi_{q_N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для каждой подсистемы имеем

$$\begin{cases} \Phi_{p_n}(U_{n_i}, \Psi_{n_i}) = \{P_{n_i} - [P_{Bn_i} + \Phi_{p_{n_i}}(U_{n_i}, \Psi_{n_i})]\} = 0, \\ \Phi_{q_n}(U_{n_i}, \Psi_{n_i}) = \{Q_{n_i} - [Q_{Bn_i} + \Phi_{q_{n_i}}(U_{n_i}, \Psi_{n_i})]\} = 0, \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \Phi_{p_k}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = \{P_{k_i} - [P_{Bk_i} + \Phi_{p_{k_i}}(I'_{k_i}, I''_{k_i})]\} = 0, \\ \Phi_{q_k}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) = \{Q_{k_i} - [Q_{Bk_i} + \Phi_{q_{k_i}}(I'_{k_i}, I''_{k_i})]\} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

В (9), (10) $\Phi_{p_n}, \Phi_{q_n}, \Phi_{p_k}$ и Φ_{q_k} определяются в виде

$$\begin{aligned} \Phi_{p_n}(U_{n_i}, \Psi_{n_i}) &= \\ &= \sum_{m_i=1}^{r_i} U_{n_i} U_{m_i} \{g_{n_i m_i} \cos(\Psi_{n_i} - \Psi_{m_i}) + b_{n_i m_i} \sin(\Psi_{n_i} - \Psi_{m_i})\}, \end{aligned}$$

$$\varphi_{qu}(U_m, \Psi_{un}) = \\ = \sum_{n=1}^{\Gamma} U_n U_m [g_{n,m} \sin(\Psi'_{un} - \Psi'_{um}) - b_{n,m} \cos(\Psi'_{un} - \Psi'_{um})], \quad (11)$$

$$\varphi_{p_v}(I'_k, I''_k) = \\ = \sum_{k=1}^{\Gamma+H} [R_{v,k} (I'_k I'_k + I''_k I''_k) + x_{v,k} (I''_k I'_k - I'_k I''_k)], \\ \varphi_{q_v}(I'_k, I''_k) = \\ = \sum_{k=1}^{\Gamma+H} [x_{v,k} (I'_k I'_k + I''_k I''_k) - R_{v,k} (I''_k I'_k - I'_k I''_k)]. \quad (12)$$

Величины P_{fm} , Q_{fm} , P_{lv} и Q_{lv} определяются в виде

$$P_{fm} = p_{fm} + \sum_{k=1}^{\Gamma+H} U_n (A'_{n,k} \tau'_{n,k} + A''_{n,k} \tau''_{n,k}), \\ Q_{fm} = q_{fm} + \sum_{k=1}^{\Gamma+H} U_n (A'_{n,k} \tau''_{n,k} - A''_{n,k} \tau'_{n,k}). \quad (13)$$

$$P_{lv} = U'_k I' + U''_k I'' + \sum_{m=1}^{\Gamma} (D'_{v,m} K'_{m,v} + D''_{v,m} K''_{m,v}), \\ Q_{lv} = -U'_k I'' + U''_k I' + \sum_{m=1}^{\Gamma} (D''_{v,m} K'_{m,v} - D'_{v,m} K''_{m,v}). \quad (14)$$

Величины p_n , q_n , входящие в (13), определяются в виде

$$p_{fm} = U_m (I'_{f,m} \cos \Psi_{fm} + I''_{f,m} \sin \Psi_{fm}), \\ q_{fm} = U_m (I'_{f,m} \sin \Psi_{fm} - I''_{f,m} \cos \Psi_{fm}). \quad (15)$$

С другой стороны,

$$I'_{n,f} = -(g_{m,n} U'_{fm} - b_{m,n} U''_{fm}), \\ I''_{n,f} = -(g_{m,n} U''_{fm} + b_{m,n} U'_{fm}). \quad (16)$$

Величины $U'_{f,v}$, $U''_{f,v}$, входящие в (14), определяются в виде

$$U'_{f,v} = U'_{fv} - (R_{v,n} g_{m,n} - x_{v,n} b_{m,n}) U'_{fm} + \\ + (R_{v,n} b_{m,n} + x_{v,n} g_{m,n}) U''_{fm}, \\ U''_{f,v} = U''_{fv} - (R_{v,n} g_{m,n} - x_{v,n} b_{m,n}) U''_{fm} - \\ - (R_{v,n} b_{m,n} + x_{v,n} g_{m,n}) U'_{fm}. \quad (17)$$

С другой стороны, величины $\tau'_{n,k}$, $\tau''_{n,k}$, входящие в (13), и $D'_{n,m}$, $D''_{n,m}$, входящие в (14), определяются в виде

$$\tau'_{n,k} = I'_k \cos \Psi_{nm} + I''_k \sin \Psi_{nm}, \quad \tau''_{n,k} = I'_k \sin \Psi_{nm} - I''_k \cos \Psi_{nm}. \quad (18)$$

$$K'_{m,k} = U'_{m,i} I'_i + U''_{m,i} I''_i, \quad K''_{m,k} = U'_{m,i} I''_i - U''_{m,i} I'_i. \quad (19)$$

Необходимо иметь в виду, что

$$A'_{n,k} = \operatorname{Re}(A_{n,k}), \quad A''_{n,k} = \operatorname{Im}(A_{n,k}), \quad (20)$$

$$D'_{n,m} = \operatorname{Re}(D_{n,m}), \quad D''_{n,m} = \operatorname{Im}(D_{n,m}).$$

В вышеприведенных выражениях (9)-(20) индекс i принимает все значения от 1 до N , т.е. номера всех радиально связанных подсистем.

Поскольку индексы $m(n)$ относятся к стационарным узлам типа P-U, т.е. заданы модули комплексных напряжений, то обобщенное матричное выражение (8) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{pm}(\Psi_{nm}) &= 0, \\ \Phi_{qm}(\Psi_{nm}) &= 0, \\ \Phi_{p'k}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) &= 0, \\ \Phi_{q'k}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) &= 0, \\ \Phi_{pm_N}(\Psi_{nm_N}) &= 0, \\ \Phi_{qm_N}(\Psi_{nm_N}) &= 0, \\ \Phi_{p'N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) &= 0, \\ \Phi_{q'N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Для определения аргументов комплексных напряжений $\Psi_{nm_1}, \Psi_{nm_2}, \dots, \Psi_{nm_N}$ достаточно рассмотреть функции $\Phi_{pm_1}, \Phi_{pm_2}, \dots, \Phi_{pm_N}$ и из (21) исключить $\Phi_{qm_1}, \Phi_{qm_2}, \dots, \Phi_{qm_N}$.

В результате обобщенное выражение (21) принимает более упрощенный вид

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{pm_1}(\Psi_{nm_1}) &= 0, \\ \Phi_{p'1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) &= 0, \\ \Phi_{q'1}(I'_{k_1}, I''_{k_1}) &= 0, \\ \Phi_{pm_N}(\Psi_{nm_N}) &= 0, \\ \Phi_{p'N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) &= 0, \\ \Phi_{q'N}(I'_{k_N}, I''_{k_N}) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для решения систем нелинейных алгебраических уравнений радиально связанных подсистем, приведенных в (22), применяется метод Ньютона-Рафсона, при котором соответствующие рекуррентные выражения можно представить в следующем виде:

$$[\Psi_{mn}]^{i+1} = [\Psi_{mn}]^i - \left[\frac{\partial \Phi_{mn}}{\partial \Psi_{mn}} \right]^{-1} \times [\Phi_{mn}(\Psi_{mn}^i)], \quad (23)$$

$$\begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ \vdots \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} I'_{k_i} \\ \vdots \\ I''_{k_i} \end{bmatrix}^i - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{p'_{i'}}}{\partial I'_{k_i}} & \frac{\partial \Phi_{p'_{i'}}}{\partial I''_{k_i}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{p''_{i''}}}{\partial I'_{k_i}} & \frac{\partial \Phi_{p''_{i''}}}{\partial I''_{k_i}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{p'_{i'}}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) \\ \vdots \\ \Phi_{p''_{i''}}(I'_{k_i}, I''_{k_i}) \end{bmatrix}, \quad (24)$$

где i - номер итерации.

В рекуррентных выражениях индекс i принимает значения $i = 1, 2, \dots, N$, т.е. все индексы радиально связанных N подсистем.

Для установления аналитических выражений частных производных, входящих в рекуррентное выражение (23), Φ_{mn} удобнее представить в виде

$$\begin{aligned} \Phi_{mn} = & P_{n_i} - \{P_{n_i} + g_{n_i, n_i} U_{n_i}^2 + \sum_{\substack{m \neq i \\ m, n}}^r U_{n_i} U_{m_i} [g_{n_i, m_i} \times \\ & \times \cos(\Psi_{mn_i} - \Psi_{mn_i}) + b_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{mn_i} - \Psi_{mn_i})]\}. \end{aligned} \quad (25)$$

При этом соответствующие частные производные определяются в виде

- при $m_i = n_i$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{mn}}{\partial \Psi_{mn_i}} = & \left[\frac{\partial P_{n_i}}{\partial \Psi_{mn_i}} - \sum_{\substack{m_i=1 \\ m_i \neq n_i}}^r U_{n_i} U_{m_i} [g_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{mn_i} - \Psi_{mn_i}) - \right. \\ & \left. - b_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{mn_i} - \Psi_{mn_i})] \right]; \end{aligned} \quad (26)$$

- при $m_i \neq n_i$:

$$\frac{\partial \Phi_{mn}}{\partial \Psi_{mn_i}} = -U_{n_i} U_{m_i} [g_{n_i, m_i} \sin(\Psi_{mn_i} - \Psi_{mn_i}) - b_{n_i, m_i} \cos(\Psi_{mn_i} - \Psi_{mn_i})]. \quad (27)$$

Из (26) имеем

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{n_i}}{\partial \Psi_{mn_i}} = & -U_{n_i} (I'_{n_i, E} \sin \Psi_{mn_i} - I''_{n_i, E} \cos \Psi_{mn_i}) - \\ & - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{r, N} U_{n_i} (A'_{n_i, k} \tau''_{n_i, k} - A''_{n_i, k} \tau'_{n_i, k}). \end{aligned} \quad (28)$$

Для установления аналитических выражений частных производных, входящих в рекуррентное выражение (24), функции $\Phi_{p'}$ и $\Phi_{q'}$ необходимо представить в виде

$$\Phi_{p'} = P_{p'} - \{P_{p', \ell} + R_{p', \ell} (I_{\ell}'^2 + I_{\ell}''^2) + \sum_{\substack{k_1 = \Gamma_{\ell} + 1 \\ k_1 \neq \ell}}^{\Gamma_{\ell} + H_{\ell}} [R_{p', k_1} (I_{\ell}' I_{k_1}' + I_{\ell}'' I_{k_1}'') + x_{p', k_1} (I_{\ell}'' I_{k_1}' - I_{\ell}' I_{k_1}'')]\} = 0, \quad (29)$$

$$\Phi_{q'} = Q_{q'} - \{Q_{q', \ell} + x_{q', \ell} (I_{\ell}'^2 + I_{\ell}''^2) + \sum_{\substack{k_1 = \Gamma_{\ell} + 1 \\ k_1 \neq \ell}}^{\Gamma_{\ell} + H_{\ell}} [x_{q', k_1} (I_{\ell}' I_{k_1}' + I_{\ell}'' I_{k_1}'') - R_{q', k_1} (I_{\ell}'' I_{k_1}' - I_{\ell}' I_{k_1}'')]\} = 0. \quad (30)$$

Соответствующие частные производные определяются в виде
- при $k_1 = \ell$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{p'}}{\partial I_{\ell}'} &= - \left[\frac{\partial P_{p'}}{\partial I_{\ell}'} + 2R_{p', \ell} I_{\ell}' + \sum_{\substack{k_1 = \Gamma_{\ell} + 1 \\ k_1 \neq \ell}}^{\Gamma_{\ell} + H_{\ell}} (R_{p', k_1} I_{k_1}' - x_{p', k_1} I_{k_1}'') \right], \\ \frac{\partial \Phi_{p'}}{\partial I_{\ell}''} &= - \left[\frac{\partial P_{p'}}{\partial I_{\ell}''} + 2R_{p', \ell} I_{\ell}'' + \sum_{\substack{k_1 = \Gamma_{\ell} + 1 \\ k_1 \neq \ell}}^{\Gamma_{\ell} + H_{\ell}} (R_{p', k_1} I_{k_1}'' + x_{p', k_1} I_{k_1}') \right], \\ \frac{\partial \Phi_{q'}}{\partial I_{\ell}'} &= - \left[\frac{\partial Q_{q'}}{\partial I_{\ell}'} + 2x_{q', \ell} I_{\ell}' + \sum_{\substack{k_1 = \Gamma_{\ell} + 1 \\ k_1 \neq \ell}}^{\Gamma_{\ell} + H_{\ell}} (x_{q', k_1} I_{k_1}' + R_{q', k_1} I_{k_1}'') \right], \\ \frac{\partial \Phi_{q'}}{\partial I_{\ell}''} &= - \left[\frac{\partial Q_{q'}}{\partial I_{\ell}''} + 2x_{q', \ell} I_{\ell}'' + \sum_{\substack{k_1 = \Gamma_{\ell} + 1 \\ k_1 \neq \ell}}^{\Gamma_{\ell} + H_{\ell}} (x_{q', k_1} I_{k_1}'' - R_{q', k_1} I_{k_1}') \right], \end{aligned} \quad (31)$$

- при $k_1 \neq \ell$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{p'}}{\partial I_{k_1}'} &= -(R_{p', k_1} I_{\ell}' + x_{p', k_1} I_{\ell}''), & \frac{\partial \Phi_{p'}}{\partial I_{k_1}''} &= -(R_{p', k_1} I_{\ell}'' - x_{p', k_1} I_{\ell}'), \\ \frac{\partial \Phi_{q'}}{\partial I_{k_1}'} &= -(x_{q', k_1} I_{\ell}' - R_{q', k_1} I_{\ell}''), & \frac{\partial \Phi_{q'}}{\partial I_{k_1}''} &= -(x_{q', k_1} I_{\ell}'' + R_{q', k_1} I_{\ell}'). \end{aligned} \quad (32)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned}\frac{\partial P_{i,j}}{\partial I'_{i,j}} &= U'_{i,j} + \sum_{m_i=1}^{r_i} (D'_{i,m_i} U'_{m_i} - D''_{i,m_i} U''_{m_i}), \\ \frac{\partial P_{i,j}}{\partial I''_{i,j}} &= U''_{i,j} + \sum_{m_i=1}^{r_i} (D'_{i,m_i} U''_{m_i} + D''_{i,m_i} U'_{m_i}), \\ \frac{\partial Q_{i,j}}{\partial I'_{i,j}} &= U'_{i,j} + \sum_{m_i=1}^{r_i} (D''_{i,m_i} U'_{m_i} + D'_{i,m_i} U''_{m_i}), \\ \frac{\partial Q_{i,j}}{\partial I''_{i,j}} &= -U''_{i,j} + \sum_{m_i=1}^{r_i} (D''_{i,m_i} U''_{m_i} - D'_{i,m_i} U'_{m_i}).\end{aligned}\quad (33)$$

Как видно, i принимает все индексы радиально связанных подсистем.

Установив аналитические выражения необходимых частных производных, можно перейти к организации итерационного процесса для решения практических задач. После построения Y -матриц отдельных подсистем Z -расчетной матрицы строятся системы численных уравнений типа (25) и (29) для первой подсистемы. Установив численные значения частных производных, входящих в рекуррентное выражение типа (23), и осуществив соответствующую итерацию, определяются численные значения аргументов комплексных напряжений станционных узлов первой подсистемы. Используя их численные значения, устанавливаются численные значения частных производных, входящих в рекуррентное выражение типа (24), а осуществляя также первую итерацию, определяются численные значения составляющих комплексных токов первой подсистемы. Завершая итерации внутри первой подсистемы и используя численные значения соответствующих параметров, устанавливаются численные уравнения типа (25) и (29) для второй подсистемы. Затем осуществляется итерационный процесс внутри второй подсистемы и т.д. Осуществляя также итерацию внутри N -й подсистемы, завершается одна полная итерация для системы в целом.

Итерационный процесс считается завершенным, если для каждой подсистемы обеспечиваются условия:

$$\begin{aligned}\Phi_{P_i}(\Psi_{m_i}) &= P_{i,j} - [P_{B,i} + \Phi_{P_i}(\Psi_{m_i})] \leq \Delta P, \\ \Phi_{P_i}(I'_k, I''_k) &= P_{i,j} - [P_{B,i} + \Phi_{P_i}(I'_k, I''_k)] \leq \Delta P, \\ \Phi_{Q_i}(I'_k, I''_k) &= Q_{i,j} - [Q_{B,i} + \Phi_{Q_i}(I'_k, I''_k)] \leq \Delta Q,\end{aligned}\quad (34)$$

где ΔP и ΔQ - заданные положительные величины, характеризующие точность определения искомых режимных параметров отдельных подсистем.

Затем определяются численные значения реактивных мощностей станционных узлов, пользуясь второй системой уравнений из (9).

В результате определяются реактивные мощности и аргументы напряжений для станционных узлов, составляющие комплексных токов и, при необходимости, комплексных напряжений нагрузочных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С. Метод и алгоритм установившихся режимов больших энергосистем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1973. - № 4. - С. 45-57.
2. Хачатрян В.С. Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1974. - № 4. - С. 36-43.
3. Хачатрян В.С. Определение установившихся режимов больших энергосистем методом подсистем // Электричество. - 1974. - № 5. - С. 75-78.
4. Хачатрян В.С., Бадалян Н.П. Решение $(Y-Z)$ -уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т.50, № 2. - С. 96-103.

ГИУА

03.06.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 3, 1998, с. 295 - 300.

УДК 621.311.001

ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, АЛЬ-ИССА ИБРАХИМ, К.В. ХАЧАТРЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается метод определения допустимого режима, основанный на решении системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС при наличии ограничений типа неравенств, налагаемых на модули напряжений и реактивных мощностей независимых станционных узлов.

Библиогр.: 8 назв.

A method of the admissible mode definition based on the solution of nonlinear algebraic steady-state equations for electric power system mode having inequality type restrictions is proposed. The restrictions are imposed on voltage and reactive power of independent station unit modules.

Ref. 8.

При решении задачи оптимизации режима электроэнергетической системы (ЭЭС) важным является расчет ее допустимого установившегося режима.

Основой модели допустимого режима является математическая модель установившегося режима ЭЭС [1-8].

Под допустимым режимом ЭЭС понимается такое состояние режимных параметров, при котором они удовлетворяют условиям типа неравенств, налагаемых на них. Как обычно, ограничения налагаются на модули напряжений и реактивных мощностей станционных узлов.

Математическую модель допустимого установившегося режима ЭЭС можно получить на основании следующей системы уравнений при Z-форме задания состояния сети [1]:

$$\begin{cases} \Phi_i = P_i - \left[\frac{U_i}{U_j} (P_i \cos \Psi_{ij} + Q_i \sin \Psi_{ij}) + \sum_{j=1}^M (R_{ij} A_{ij} + x_{ij} B_{ij}) \right] = 0, \\ \Phi_i = Q_i - \left[-\frac{U_i}{U_j} (P_i \sin \Psi_{ij} - Q_i \cos \Psi_{ij}) + \sum_{j=1}^M (x_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}) \right] = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} A_{ij} &= \frac{1}{U_i U_j} \left[(P_i P_j + Q_i Q_j) \cos(\Psi_{ij} - \Psi_{ji}) + (Q_i P_j - P_i Q_j) \sin(\Psi_{ij} - \Psi_{ji}) \right], \\ B_{ij} &= \frac{1}{U_i U_j} \left[(P_i P_j + Q_i Q_j) \sin(\Psi_{ij} - \Psi_{ji}) - (Q_i P_j - P_i Q_j) \cos(\Psi_{ij} - \Psi_{ji}) \right], \end{aligned} \quad (2)$$

Представим систему нелинейных алгебраических уравнений (1) в виде

$$\Phi_{pi}(P, Q, U, \Psi_{ij}) = 0, \quad \Phi_{qi}(P, Q, U, \Psi_{ij}) = 0, \quad (3)$$

где индекс i относится как к станционным, так и к нагрузочным узлам.

Для дальнейшего изложения материала выберем дополнительную систему индексов: для независимых станционных узлов - $m(n) = 1, 2, 3, \dots, \Gamma$, где Γ - число независимых станционных узлов; для нагрузочных узлов - $K(l) = \Gamma+1, \Gamma+2, \Gamma+3, \dots, \Gamma+N$, где N - число нагрузочных узлов. При этом неявную систему нелинейных алгебраических уравнений (3) можно представить в следующем виде

$$\Phi_{pm}(P, Q, U, \Psi_{ij}) = 0, \quad \Phi_{qm}(P, Q, U, \Psi_{ij}) = 0, \quad (4)$$

$$\Phi_{pk}(P, Q, U, \Psi_{ij}) = 0, \quad \Phi_{qk}(P, Q, U, \Psi_{ij}) = 0. \quad (5)$$

Система неявных нелинейных алгебраических уравнений (4) относится к станционным узлам, а (5) - к нагрузочным узлам.

Введем следующие обозначения:

$$\Phi_m \{ \Phi_{pm}, \Phi_{qm} \} = 0, \quad (6)$$

$$\Phi_k \{ \Phi_{pk}, \Phi_{qk} \} = 0. \quad (7)$$

При этом математическую модель допустимого установившегося режима ЭЭС можно представить в виде

$$\Phi_m(P, Q, U, \Psi_m) = 0, \quad (8)$$

$$\Phi_k(P, Q, U, \Psi_m) = 0, \quad (9)$$

$$U_{m, \min} \leq U_m \leq U_{m, \max}, \quad (10)$$

$$Q_{m, \min} \leq Q_m \leq Q_{m, \max}, \quad (11)$$

где $U_{m, \min}$, $Q_{m, \min}$ и $U_{m, \max}$, $Q_{m, \max}$ - предельные минимальные и максимальные значения модулей напряжений и реактивных мощностей независимых станционных узлов.

Принимая, что все узлы являются узлами типа P-Q, выражения (8) и (9) изображают полную систему нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС. Необходимо отметить, что при станционных узлах типа P-U структура системы нелинейных алгебраических уравнений (8) и (9) не изменяется.

Если узлы типа P-Q, то это означает, что для каждого узла заданы активные и реактивные мощности. Поэтому уравнения (8) и (9) являются функцией от модулей и аргументов комплексных напряжений. Учитывая, что (8) и (9) получены из системы уравнений (1), на основе (6) и (7) можем написать следующее рекуррентное выражение на основании метода Ньютона-Рафсона:

$$\begin{bmatrix} \Psi_{m1} \\ \vdots \\ \Psi_{mk} \\ \vdots \\ U_k \\ \vdots \\ U_m \end{bmatrix}^{(I+1)} = \begin{bmatrix} \Psi_{m1} \\ \vdots \\ \Psi_{mk} \\ \vdots \\ U_k \\ \vdots \\ U_m \end{bmatrix}^{(I)} - \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{m1} \\ \vdots \\ \Delta \Psi_{mk} \\ \vdots \\ \Delta U_k \\ \vdots \\ \Delta U_m \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где I - номер итерации.

Вторая столбцовая матрица правой части определяется на основании следующего матричного уравнения:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \vdots \\ \Delta P_k \\ \vdots \\ \Delta Q_k \\ \vdots \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{m1}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{mk}} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_k} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{m1}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{mk}} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_k} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{m1}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{mk}} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_k} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial U_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{m1}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{mk}} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_k} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \Psi_{m1} \\ \vdots \\ \Delta \Psi_{mk} \\ \vdots \\ \Delta \Psi_{me} \\ \vdots \\ \Delta U_m \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где ΔP_m , ΔQ_m и ΔP_k , ΔQ_k - приращения активных и реактивных мощностей независимых станционных и нагрузочных узлов;

$\Delta\Psi_{mn}$, ΔU_m и $\Delta\Psi_{nk}$, ΔU_k - приращения аргументов и модулей комплексных напряжений независимых станционных и нагрузочных узлов.

После соответствующих обозначений частных производных матричное выражение (13) представим в виде

$$\begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{mn} & | & a_{mr} & | & c_{mr} & | & c_{mn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ a_{kn} & | & a_{kr} & | & c_{kr} & | & c_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ b_{kn} & | & b_{kr} & | & d_{kr} & | & d_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ b_{mn} & | & b_{mr} & | & d_{mr} & | & d_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta\Psi_{mn} \\ \Delta\Psi_{nk} \\ \Delta U_k \\ \Delta U_m \end{bmatrix} \quad (14)$$

Обращая матрицу Якоби выражения (14), получим

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{mn} \\ \Delta\Psi_{nk} \\ \Delta U_k \\ \Delta U_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & | & \alpha_{mr} & | & \beta_{mr} & | & \beta_{mn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \alpha_{kn} & | & \alpha_{kr} & | & \beta_{kr} & | & \beta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{kn} & | & \gamma_{kr} & | & \delta_{kr} & | & \delta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{mn} & | & \gamma_{mr} & | & \delta_{mr} & | & \delta_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} \quad (15)$$

Частные производные, входящие в вышеприведенные матрицы Якоби, определяются на основании аналитических выражений (4) и (5).

Предположим, что станционные узлы являются узлами типа P-U, т.е. относительно этих узлов зафиксированы активные мощности и модули комплексных напряжений. Тогда имеет место следующее соотношение:

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 = \dots = \Delta U_r = 0 \text{ или } [\Delta U_m] = 0. \quad (16)$$

При этом матричное выражение (15) можно представить в виде двух подматричных выражений:

$$\begin{bmatrix} \Delta\Psi_{mn} \\ \Delta\Psi_{nk} \\ \Delta U_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{mn} & | & \alpha_{mr} & | & \beta_{mr} & | & \beta_{mn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \alpha_{kn} & | & \alpha_{kr} & | & \beta_{kr} & | & \beta_{kn} \\ - & | & - & | & - & | & - \\ \gamma_{kn} & | & \gamma_{kr} & | & \delta_{kr} & | & \delta_{kn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$[0] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ \gamma_{mn} & \gamma_{mk} & \delta_{mk} & \delta_{mn} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} \quad (18)$$

Из матричного выражения (18) можно определить вектор реактивных мощностей независимых станционных узлов:

$$[\Delta Q_m] = -[\delta_{mn}]^{-1} \times [\Delta_{mn}]. \quad (19)$$

где $[\Delta_{mn}] = [\gamma_{mn}] \times [\Delta P_m] + [\gamma_{mk}] \times [\Delta P_k] + [\delta_{mk}] \times [\Delta Q_k]$.

На основании (19) можно установить численные значения приращений реактивных мощностей независимых станционных узлов:

$$[\Delta Q_m] = [\Delta Q_1 \quad \Delta Q_2 \quad \dots \quad \Delta Q_r]^T. \quad (20)$$

где r - знак транспонирования.

На основе численных значений приращений реактивных мощностей независимых станционных узлов можно определить также их действительные значения, пользуясь вторым векторным уравнением (4).

При проверке условия допустимости реактивных мощностей согласно (11) возникают следующие случаи:

1. Условие (11) полностью обеспечивается. При этом непосредственно необходимо перейти к расчету установившегося режима. На основании (17) вычисляются численные значения приращений $\Delta \Psi_m$, $\Delta \Psi_{mk}$ и ΔU_k , затем, пользуясь рекуррентным выражением

$$\begin{bmatrix} \Psi_m \\ \Psi_k \\ U_k \end{bmatrix}^{i+1} = \begin{bmatrix} \Psi_m \\ \Psi_{mk} \\ U_k \end{bmatrix}^i + \begin{bmatrix} \Delta \Psi_m \\ \Delta \Psi_{mk} \\ \Delta U_k \end{bmatrix}^i \quad (21)$$

вычисляются их действительные значения. Перед каждой итерацией проверяется условие (11). Итерационный процесс считается завершенным, если искомые режимные параметры принимают желаемые численные значения с точки зрения их точности.

2. Условие (11) обеспечивается неполностью. Нарушение может быть двояким, если реактивная мощность данного независимого станционного узла с индексом i окажется больше верхнего предела или меньше нижнего предела. В обоих случаях

данный станционный узел типа $P_i - U_i$ заменяется узлом типа $P_i - Q_i$. Причем в первом случае принимается $Q_i = Q_{\text{зад}}$, во втором случае - $Q_i = Q_{\text{зад}}$.

Для таких станционных узлов искомыми переменными являются модули и аргументы комплексных напряжений. При этом перед каждой итерацией проверяется условие допустимости модулей комплексных напряжений согласно (10). Если нарушается условие допустимости модулей напряжений, то аналогичным образом из станционного узла типа $P-Q$ переходим к $P-U$.

Таким образом, путем перехода от станционных узлов типа $P-U$ к узлам типа $P-Q$ и наоборот можно добиться получения допустимого установившегося режима ЭЭС, при котором модули напряжений и реактивные мощности находятся в пределах допустимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Ибрахим Аль-Исса. Оптимизация режима электроэнергетической системы по реактивным мощностям прямым методом классического программирования при Z-форме задания состояния сети // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, №2. - С. 89-95.
2. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Метод установившегося режима электрической системы // Изв. вузов СССР. Энергетика. - 1989. - №5. - С. 12-18.
3. Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С. Расчет установившегося режима электрических систем с применением матрицы Гессе при Z-форме задания состояния сети // Изв. вузов СССР. Энергетика. - 1990. - №1. - С. 20-23.
4. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество. - 1991. - №1. - С. 6-13.
5. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А., Аракелян В.П. Упрощенный метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Электричество. - 1992. - №2. - С. 9-14.
6. Аракелян В.П., Хачатрян К.В., Аль-Дарвиш М.Б. Об одном методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т.49, №1. - С. 17-22.
7. Бадалян Г.А. Об одном методе определения Z-матрицы обобщенных параметров электрических систем // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т. 49, №1. - С. 11-16.
8. Тамразян М.Г. Об одном (Y-Z) - методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т. 49, №3. - С. 138-142.

ГИУА

08.04.1998

М.Г. ТАМРАЗЯН

ОБ ОДНОМ УПРОЩЕННОМ Y-Z-МЕТОДЕ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается упрощенный метод решения систем нелинейных алгебраических уравнений Y-Z-формы ЭЭС. На основании многочисленных экспериментов установлена весомость отдельных блоков матрицы Якоби. Рекомендуется структура, при которой обеспечивается упрощение обращения матрицы Якоби.

Предлагается упрощенный метод решения систем нелинейных алгебраических уравнений Y-Z-формы ЭЭС. На основании многочисленных экспериментов установлена весомость отдельных блоков матрицы Якоби. Рекомендуется структура, при которой обеспечивается упрощение обращения матрицы Якоби.

Библиогр. 3 назв.

A simplified Y-Z - form method of simultaneous nonlinear algebraic equation solution for the electric power system is proposed. On the basis of numerous computer experiments the ponderability of Jacobi matrix separate blocks is established. A structure ensuring Jacobi matrix inversion simplification is recommended.

Ref. 3.

Вопросы решения систем нелинейных алгебраических уравнений гибридного типа с применением метода Ньютона-Рафсона освещены подробно в [1-3]. Несмотря на то что метод Ньютона-Рафсона признан лучшим для решения как Y, Z, так и Y-Z-уравнений установившегося режима ввиду обеспечения квадратной сходимости, тем не менее обращение матрицы Якоби на каждой итерации нежелательно при решении численных задач.

Целью настоящей работы является упрощение вопроса обращения матрицы Якоби при решении Y-Z-гибридных нелинейных алгебраических уравнений установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС). Как известно, системы нелинейных алгебраических уравнений гибридной формы представляются в виде

$$\begin{cases} \Phi_{pu} = P_{pu} - [P_{pu} + \Psi_{pu}(U^*, U^*)] = 0, \\ \Phi_{qu} = Q_{pu} - [Q_{pu} + \Psi_{qu}(U^*, U^*)] = 0, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_k + \Psi_{pk}(U^*, U^*)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_k + \Psi_{qk}(U^*, U^*)] = 0, \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим случай, когда независимыми стационарными узлами являются узлы типа P-Q. При этом рекуррентное выражение, вытекающее из метода Ньютона-Рафсона, представляется в виде

- для узлов с индексами $m(n)$:

$$\begin{bmatrix} U'_m \\ \vdots \\ U''_m \end{bmatrix}^{u+1} = \begin{bmatrix} U'_m \\ \vdots \\ U''_m \end{bmatrix}^u - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U'_p} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U''_p} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U'_q} & \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U''_q} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pm} \\ \vdots \\ \Phi_{qm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

- для узлов с индексами $k(l)$:

$$\begin{bmatrix} I'_k \\ \vdots \\ I''_k \end{bmatrix}^{u+1} = \begin{bmatrix} I'_k \\ \vdots \\ I''_k \end{bmatrix}^u - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I'_p} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I''_p} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I'_q} & \frac{\partial \Phi_{qk}}{\partial I''_q} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pk} \\ \vdots \\ \Phi_{qk} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Как видно из выражений (3) и (4), матрица Якоби представлена в виде четырехблочной матрицы.

Рассмотрим одну из возможных структур матриц Якоби рекуррентного выражения (3) для 10-узловой схемы [2]:

$$Y_u = \begin{bmatrix} -10,7550 & 5,7554 & 0,7130 & 0,9543 \\ 5,7554 & -9,4976 & 1,1886 & 1,2458 \\ 0,7130 & 1,1886 & -9,2376 & 6,4609 \\ 0,9543 & 1,2458 & 6,4609 & -9,3457 \\ -19,0998 & 9,4954 & 1,3831 & 2,3496 \\ 9,4954 & -15,7824 & 2,0057 & 2,7024 \\ 1,3831 & 2,0057 & -15,2391 & 11,0448 \\ 2,3496 & 2,7024 & 11,0448 & -17,4102 \\ -19,0998 & 9,4954 & 1,3831 & 2,3496 \\ 9,4954 & -15,7824 & 2,0057 & 2,7024 \\ 1,3831 & 2,0057 & -15,2391 & 11,0448 \\ 2,3496 & 2,7024 & 11,0448 & -17,4102 \\ -10,7550 & 5,7554 & 0,7130 & 0,9543 \\ 5,7554 & -9,4976 & 1,1886 & 1,2458 \\ 0,7130 & 1,1886 & -9,2376 & 6,4609 \\ 0,9543 & 1,2458 & 6,4609 & -9,3457 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Отдельные блоки рекуррентного выражения (4) определяются в виде

$$\frac{\partial \Phi_{\Gamma}}{\partial I'} = \begin{vmatrix} -214,7385 & -0,0107 & 0,1996 & -0,0112 & 0 \\ -0,0072 & -217,2623 & -0,0218 & 0,0111 & 0 \\ 0,1533 & -0,0420 & -215,6501 & -0,0681 & 0 \\ -0,0268 & -0,0253 & -0,0816 & -216,8732 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -216,6656 \end{vmatrix}$$

$$\frac{\partial \Phi_{\Gamma}}{\partial I''} = \begin{vmatrix} -1,0633 & -0,2585 & -1,5578 & -0,5743 & 0 \\ -0,1415 & 0,1370 & -0,3233 & -0,8094 & 0 \\ -0,4336 & -0,5412 & -0,5876 & -1,2033 & 0 \\ -0,5500 & -1,4158 & -0,3104 & -0,7096 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1,5962 \end{vmatrix} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \Phi_{\Gamma}}{\partial I'} = \begin{vmatrix} 7,5523 & 0,2585 & 1,5578 & 0,5743 & 0 \\ 0,1415 & 4,2357 & 0,3233 & 0,8094 & 0 \\ 0,4336 & 0,5412 & 0,9760 & 1,2033 & 0 \\ 0,5500 & 1,4158 & 0,3104 & 5,5777 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6,5605 \end{vmatrix}$$

$$\frac{\partial \Phi_{\Gamma}}{\partial I''} = \begin{vmatrix} 215,7058 & -0,0107 & 0,1996 & -0,0112 & 0 \\ -0,0072 & 217,3158 & -0,0218 & 0,0111 & 0 \\ 0,1533 & -0,0425 & 216,2459 & -0,0681 & 0 \\ -0,0268 & -0,0253 & -0,0816 & 216,8991 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 216,8593 \end{vmatrix}$$

После обращения матрицы Якоби рекуррентного выражения (3) получаем

$$Y_i^{-1} = \begin{bmatrix} f_{pu}' & f_{pu}'' \\ f_{qu}' & f_{qu}'' \end{bmatrix} \quad (7)$$

Для отдельных блоков имеем следующие численные значения:

$$f_{pu}' = \begin{vmatrix} -0,036305 & -0,026199 & -0,018740 & -0,019338 \\ -0,026189 & -0,048515 & -0,023633 & -0,024063 \\ -0,018717 & -0,023560 & -0,053588 & -0,035359 \\ -0,019127 & -0,023772 & -0,034993 & 0,047316 \end{vmatrix}$$

$$f_{pu}'' = \begin{bmatrix} -0.085278 & -0.068144 & -0.057581 & -0.05815 \\ -0.067763 & -0.107542 & -0.069326 & -0.069499 \\ -0.057607 & -0.069775 & -0.140005 & -0.109348 \\ -0.058455 & -0.070274 & -0.109886 & -0.134209 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$f_{qu}' = \begin{bmatrix} -0.093213 & -0.076763 & -0.069135 & -0.09225 \\ -0.077024 & -0.18138 & -0.083340 & -0.082910 \\ -0.068979 & -0.082833 & -0.160724 & -0.128523 \\ -0.068828 & -0.082124 & -0.128036 & -0.151677 \end{bmatrix}$$

$$f_{qu}'' = \begin{bmatrix} 0.052430 & 0.044514 & 0.040478 & 0.039949 \\ 0.044301 & 0.070519 & 0.049322 & 0.048371 \\ 0.040546 & 0.049643 & 0.090799 & 0.069343 \\ 0.040149 & 0.048843 & 0.069627 & 0.080186 \end{bmatrix}$$

После обращения матрицы Якоби рекуррентного выражения (4) получаем

$$Я^{-1} = \begin{bmatrix} l_{pi}' & l_{pi}'' \\ l_{qi}' & l_{qi}'' \end{bmatrix} \quad (9)$$

Для отдельных блоков имеем следующие численные значения:

$$l_{pi}' = \begin{bmatrix} -0.004658 & -0.000000 & -0.000005 & -0.000000 & 0.000000 \\ 0.000000 & -0.004603 & 0.000000 & -0.000001 & 0.000000 \\ -0.000005 & 0.000000 & -0.004638 & 0.000001 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000000 & 0.000001 & -0.004612 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000000 & 0.000000 & 0.000000 & -0.004616 \end{bmatrix}$$

$$l_{pi}'' = \begin{bmatrix} -0.000023 & -0.000006 & -0.000034 & -0.000012 & 0.000000 \\ -0.000003 & 0.000003 & -0.000007 & -0.000017 & 0.000000 \\ -0.000031 & -0.000012 & -0.000013 & -0.000026 & 0.000000 \\ 0.000012 & -0.000030 & -0.000007 & -0.000015 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000000 & 0.000000 & 0.000000 & -0.000039 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$lq_1' = \begin{bmatrix} -0,000163 & 0,000006 & 0,000034 & 0,000012 & 0,000000 \\ 0,000000 & 0,000090 & -0,000007 & 0,000017 & 0,000000 \\ 0,000031 & 0,000012 & 0,000128 & 0,000026 & 0,000000 \\ 0,000012 & 0,000030 & 0,000007 & 0,000119 & 0,000000 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 & -0,000140 \end{bmatrix}$$

$$lq_1'' = \begin{bmatrix} 0,004637 & 0,000001 & -0,000003 & 0,000001 & 0,000000 \\ 0,000000 & 0,004602 & 0,000001 & 0,000000 & 0,000000 \\ -0,000002 & 0,000001 & 0,004628 & 0,000002 & 0,000000 \\ 0,000001 & 0,000001 & 0,000002 & 0,004611 & 0,000000 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 & 0,004612 \end{bmatrix}$$

Как видно, диагональные элементы матрицы Якоби в (10) значительно больше остальных, что позволяет приближенно рассчитать матрицу Якоби с помощью диагональных элементов, т.е. матрица является блочно-диагональной, где каждый блок представлен в виде квадратной матрицы, а недиагональные элементы - нули.

Таким образом, выражение (4) принимает вид

$$\begin{bmatrix} I_k' \\ \vdots \\ I_k'' \end{bmatrix}^{u+1} = \begin{bmatrix} I_k' \\ \vdots \\ I_k'' \end{bmatrix}^u - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I_k'} & 1 & 0 \\ - & - & - \\ 0 & 1 & \frac{\partial \Phi_{sk}}{\partial I_k''} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Phi_{pk} \\ \vdots \\ \Phi_{sk} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

Частные производные, входящие в рекуррентное выражение (11), определяются с помощью выражений:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $k = l$;

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I_k'} &= - \left[U_{Bk}' + \sum_{r=1}^M D_{kr} + (R_{kk} I_k' + X_{kk} I_k'') \right], \\ \frac{\partial \Phi_{sk}}{\partial I_k''} &= - \left[-U_{Bk}' - \sum_{r=1}^M D_{kr} + (R_{kk} I_k' + X_{kk} I_k'') \right], \end{aligned} \quad (12)$$

(50)

$$U_{Bk}' = (1 - \sum_{n=1}^F C_{kn}') U_n + \sum_{n=1}^F (C_{kn}' U_n' - C_{kn}'' U_n''), \quad (13)$$

$$D_{kr} = R_{kr} I_r' - X_{kr} I_r''; \quad (14)$$

- при разных индексах, т.е. когда $k \neq l$;

$$\frac{\partial \Phi}{\partial I'_i} = -(R_{ik} I'_k + X_{ik} I''_k),$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial I''_i} = -(R_{ik} I'_k + X_{ik} I''_k), \quad (15)$$

Рекуррентное выражение (3) остается неизменным, а частные производные, входящие в (3), определяются с помощью следующих выражений:

• при одинаковых индексах, т.е. когда $m=n$:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial U'_n} = - \left[I'_{En} + \sum_{m=1}^r H_{nm} + (g_{nm} U'_m + b_{nm} U''_m) \right],$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial U''_n} = - \left[I''_{En} + \sum_{m=1}^r K_{nm} + (g_{nm} U''_m - b_{nm} U'_m) \right],$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial U'_m} = - \left[-I'_{Em} - \sum_{n=1}^r K_{nm} + (g_{nm} U'_m - b_{nm} U''_m) \right], \quad (16)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial U''_m} = - \left[I'_{Em} + \sum_{n=1}^r H_{nm} - (g_{nm} U'_m + b_{nm} U''_m) \right],$$

где

$$H_{nm} = g_{nm} U'_n - b_{nm} U''_n, \quad K_{nm} = g_{nm} U''_n + b_{nm} U'_n. \quad (17)$$

С другой стороны,

$$I'_{En} = - \sum_{m=1}^r g_{nm} U'_m + \sum_{k=r+1}^M (a'_{nk} I'_k - a''_{nk} I''_k),$$

$$I''_{En} = - \sum_{m=1}^r b_{nm} U''_m + \sum_{k=r+1}^M (a''_{nk} I'_k - a'_{nk} I''_k); \quad (18)$$

• при разных индексах, т.е. когда $m \neq n$:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial U'_i} = -(g_{imn} U'_n + b_{imn} U''_n), \quad \frac{\partial \Phi}{\partial U''_i} = -(g_{imn} U''_n - b_{imn} U'_n). \quad (19)$$

Частные производные имеют вид

$$\frac{\partial \Phi}{\partial U'_i} = - \frac{\partial \Phi}{\partial U''_n}, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial U''_i} = \frac{\partial \Phi}{\partial U'_n}. \quad (20)$$

Используя указанные свойства, можно намного уменьшить объем вычислительных работ, требуемых для обращения матрицы Якоби, входящей в выражение (3). Эксперименты показали, что объем вычислительных работ при применении рекуррентных выражений (3) и (11) уменьшается, что впервые было обнаружено при решении уравнений установившегося режима при Y-Z-форме задания состояния сети. Аналогичное явление было обнаружено при 22 и 46 узловых схемах.

Выявленные численные особенности матриц Якоби, входящих в (11), обеспечивают уменьшение объема вычислительных работ на 20...25% в зависимости от числа исследуемой ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Метод установившегося режима электрической системы // Изв. вузов. Энергетика. - 1989. - №5. - С. 12-18.
2. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Развитие гибридного метода расчета установившегося режима электрической системы // Электричество. - 1991. - №1. - С. 6-13.
3. Тамразян М.Г. Об одном Y-Z-методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т. 49, № 3. - С. 138-142.

ГИУА

22.04.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 3, 1998, с. 307 - 314.

УДК 621.039.51

ЭНЕРГЕТИКА

С.В. ШАХВЕРДЯН, А.С. ШАХВЕРДЯН

МИНИМИЗАЦИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРОНОВ КСЕНОНОМ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ

Օպտիմալ կառավարման տեսության հիման վրա ստացվել են ռեակտորների աշխատանքային երկարացման խնդրի օպտիմալության անհրաժեշտ պայմանները: Բերված են բնական փորձարկումների արդյունքները:

На основе теории оптимального управления получены новые необходимые условия оптимальности для задачи выбора продолжительности продления кампании и режима работы энергетического реактора. Приведены результаты численных экспериментов, показывающие значительный эффект оптимизации режима реактора, достигающий 5...6%. Сравнение режимов проведено при постоянной выработке электроэнергии.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 6 назв.

New optimal conditions necessary for the choice of a campaign extension durability problem and nuclear power reactor mode of operation are obtained on the basis of the optimal control theory. The results of numerical experiments showing a considerable effect of reactor modes running into 5...6% are given. Mode comparison is performed at constant electric power production.

Ил. 2. Tables 2. Ref. 6.

Проблема продления кампании водо-водяных реакторов АЭС за счет уменьшения влияния ксенона является многогранной, весьма сложной и вместе с тем исключительно актуальной. Несмотря на это, в настоящее время проблема в целом (комплексно) не решена. Существующие работы, как правило, посвящены отдельным ее аспектам [1-4].

Исходя из анализа задачи и существующих работ оказалось целесообразным использовать методы теории оптимального управления для получения необходимых условий оптимальности и на их основе построить вычислительные алгоритмы, позволяющие дать ответ на вопросы: насколько снизить мощность реактора, по какому

закону снизить, на каком интервале времени снизить, по какому закону поднять, насколько поднять мощность, в течение какого периода создать такой режим и т.д.

Постановка и решение задач. Целью настоящей работы является выбор такого режима работы реактора, при котором достигается минимальное поглощение нейтронов ксеноном при заданной выработке электроэнергии с обеспечением всех технологических ограничений. Математически эту задачу можно сформулировать так: найти функцию $c(t)$, которая минимизирует интеграл

$$J = \int_0^T \sigma c(t) U x_2 dt \quad (1)$$

при дифференциальных связях

$$\dot{x}_1 = \gamma_1 c U - \lambda_1 x_1 = f_1(x_1, c), \quad (2)$$

$$\dot{x}_2 = \gamma_2 c U + \lambda_1 x_1 - (\sigma c U + \lambda_2) x_2 = f_2(x_1, x_2, c)$$

и ограничениях

$$\int_0^T c U dt = A, \quad (3)$$

$$c_0 \leq c \leq 1, \quad (4)$$

$$x_2 \leq X, \quad (5)$$

где $c = u/U$; c - управляющий параметр; u - тепловая мощность реактора, либо средняя плотность потока нейтронов в реакторе; U - номинальная тепловая мощность реактора; x_1, x_2 - концентрации йода (^{131}I) и ксенона (^{135}Xe), нормированные на макроскопическое сечение деления топлива $\sum \Gamma$; γ_1, γ_2 - выходы ^{131}I и ^{135}Xe ; λ_1, λ_2 - постоянные распада ^{131}I и ^{135}Xe ; σ - эффективное микроскопическое сечение захвата нейтронов ксеноном; A - заданное количество тепловой энергии, которое нужно выработать за период управления; X - максимально допустимое значение ксенона по условиям баланса реактивности; c_0 - минимально допустимое значение относительной тепловой мощности реактора; T - период управления, $T=24$ ч.

Для системы (2) начальными условиями x_1 и x_2 являются стационарные значения, определяемые по выражениям

$$x_1(0) = \gamma_1 c U / \lambda_1, \quad x_2(0) = (\gamma_2 + \gamma_1) c U / (\sigma c U + \lambda_2) \quad (6)$$

при $c=1$.

Сформулированная задача относится к классу задач оптимального управления, поэтому для ее решения естественно применять аппарат принципа максимума. С этой целью составим функцию Гамильтона

$$H = \langle \psi, f \rangle = \sum_{i=0}^n \psi_i f_i, \quad (7)$$

где $\vec{f} = \{f_0, f_1, f_2\}$; $\psi = \{\psi_0, \psi_1, \psi_2\}$; $f_0 = cU(\sigma x_1 + 1)$; μ - постоянный по времени множитель Лагранжа. Вектор ψ определяется из системы

$$\psi_0 = \text{const}, \quad \dot{\psi}_i = -\partial H / \partial x_i, \quad \psi_i(T) = 0, \quad i = 1, 2. \quad (8)$$

Нетрудно заметить, что гамильтониан (7) линеен по управлению c , и задача (1) - (5) обладает признаками особенности [5]. При этом в уравнении $\partial H / \partial c = 0$, вытекающим из обычного принципа максимума, не содержится параметра c , поэтому для его вычисления обычно используется уравнение

$$\frac{d^r}{dt^r} \left(\frac{\partial H}{\partial c} \right) = 0, \quad (9)$$

где r - наименьшее число, при котором в (9) появляется c . В задаче (1)-(5) $r=2$, следовательно, особое управление находится из уравнения

$$\frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial H}{\partial c} \right) = 0. \quad (10)$$

Однако, чтобы убедиться в том, что полученное из уравнения (10) особое управление оптимально, необходимо в первую очередь проверить условие Келли [5]:

$$\frac{\partial}{\partial c} \left[\frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial H}{\partial c} \right) \right] \geq 0. \quad (11)$$

Докажем, что для задачи (1) - (5) условие (11) не выполняется.

В рассматриваемой задаче система уравнений (8) имеет вид

$$\dot{\psi}_0 = -1, \quad \dot{\psi}_1 = \lambda_1(\psi_1 - \psi_2), \quad \dot{\psi}_2 = cU\sigma + \psi_2(cU\sigma + \lambda_2). \quad (12)$$

Взяв последовательно производные $\partial H / \partial c$ по t , затем вычислив левую часть уравнения (11), после несложных преобразований получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial c} \left[\frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial H}{\partial c} \right) \right] = & \sigma U^2 \lambda_1 x_1 (\psi_0 - \psi_2) + 2\sigma U^2 \lambda_1 \gamma_1 (\psi_0 - \psi_2) - \\ & - \sigma U^2 \lambda_2 \gamma_2 (2\psi_0 - \psi_2) + \sigma^2 U^2 \lambda_2 x_2 \psi_0. \end{aligned} \quad (13)$$

Постоянные коэффициенты системы (2), которые входят в выражение (13), равны [6]:

$$\lambda_1 = 0,28525 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}, \quad \lambda_2 = 0,21088 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}, \quad (14)$$

$$\gamma_1 = 0,061, \quad \gamma_2 = 0,002, \quad \sigma = 2,7 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$$

Проанализировав последнее уравнение системы (12), можно заметить, что $\psi_1(t) \leq 0$, $\forall t \in [0, T]$, в противном случае условие $\psi_1(T) = 0$ не может быть выполнено. С другой стороны, $\psi_2 > -1$, поскольку при $\psi_2 < -1$, $\dot{\psi}_2 \leq 0$, и условие $\psi_2(T) = 0$ также не может быть обеспечено, следовательно, $-1 < \psi_2 \leq 0$.

При $\psi_0 = -1$, $-1 < \psi_2 \leq 0$ и коэффициентах (14) имеем

$$\frac{\partial}{\partial c} \left[\frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial H}{\partial c} \right) \right] \leq 0,$$

т.е. условие Келли (11) не выполняется.

Следовательно, оптимальным является граничное управление, т.е. параметр c попеременно должен принимать значения c_0 и 1, причем

$$c = \begin{cases} c_0, & \text{когда } \frac{\partial H}{\partial c} < 0, \\ 1, & \text{когда } \frac{\partial H}{\partial c} > 0. \end{cases}$$

Согласно (7), $H = \psi_0 \sigma U c x_1 + \psi_1 (\gamma_1 c U - \lambda_1 x_1) + \psi_2 [\gamma_2 c U + \lambda_2 x_1 - (\sigma c U - \lambda_2) x_2] + \mu c U$, а при $\psi_0 = -1$:

$$\frac{\partial H}{\partial c} = -\sigma U x_1 + \psi_1 \gamma_1 U + \psi_2 \gamma_2 U - \psi_2 \sigma U x_2 + \mu U. \quad (15)$$

Из второго уравнения (12), учитывая, что $\psi_2 \in (-1, 0]$ и $\psi_1(T) = 0$, следует $\psi_1 \in (-1, 0]$, $\psi_1 \geq \psi_2$. Следовательно, в зависимости от u правая часть выражения (15) не более одного раза будет менять знак, иначе говоря, в задаче (1)-(5) $\partial H / \partial c < 0$ на $[0, \tau)$, $\partial H / \partial c > 0$ на $(\tau, T]$ и оптимальное управление равно

$$c = \begin{cases} c_0 & \text{на } [0, \tau), \\ 1 & \text{на } (\tau, T]. \end{cases} \quad (16)$$

где τ - момент переключения управления c_0 на 1. В процессе решения подбирается такое значение для μ , при котором с управлением (16) выполняется условие (3) и, как следствие, однозначно определяется момент переключения τ .

Неравенство (5) является следствием уравнения баланса реактивности, которое в форме приращений имеет вид [3]

$$\Delta \rho_{\text{xe}}(\tau) + \Delta \rho_{\text{w}}(\tau) + \Delta \rho_0(\tau) + \Delta \rho_T(\tau) + \Delta \rho_{\text{H}}(\tau) + \Delta \rho_{\text{B}}(\tau) = 0, \quad (17)$$

где $\Delta \rho_{\text{xe}} = \Delta \rho_{\text{w}} = d_{\text{w}}(N_{\text{xe}} - N_{\text{w0}})$, $\Delta \rho_0(\tau) = d_0(Q_T(\tau) - Q_{T0})$,

$$\Delta \rho_{\text{H}}(\tau) = d_{\text{H}}(C_{\text{H}}(\tau) - C_{\text{H0}}), \quad \Delta \rho_T(\tau) = d_T(T_1(\tau) - T_{10}), \quad \Delta \rho_{\text{B}}(\tau) = d_{\text{B}} \int_0^{\tau} Q_T dt -$$

изменение реактивности с помощью стержней, в результате отравления ксеноном, в результате мощностного эффекта; вследствие изменения концентрации борной кислоты, в результате температурного эффекта замедлителя, в результате выгорания соответственно: N_{xe} - концентрация ядер ксенона; Q_T - тепловая мощность реактора; T - температура замедлителя; d_i - коэффициент реактивности по $i = \text{xe}, 0, 3, \text{B}, \text{B}$; индекс "0" отвечает моменту времени работы реактора на номинальной мощности; C_{B} - концентрация борной кислоты.

В конце кампании $\Delta p_{ст} = 0$. Так как запас реактивности исчерпан, следовательно, уравнение баланса реактивности может быть переписано в виде

$$\Delta p_{\alpha}(t) + \Delta p_{\beta}(t) + \Delta p_{\gamma}(t) + \Delta p_{\delta}(t) + \Delta p_{\epsilon}(t) = 0 \quad (18)$$

Уравнение (17) получено линеаризацией уравнения баланса реактивности в 6-мерной точке, соответствующей номинальной мощности. Следовательно, оно справедливо для диапазонов изменения мощности, на котором $\beta(t) = \text{const}$. Однако реально нельзя принять $\beta(t) = \text{const}$, так как диапазон изменения мощности в режимах продления кампании может достигать значительных величин. Например, если реактор работал на номинальной мощности P , затем в течение времени t мощность снижена до $s(t)P$ ($s < 1$), тогда концентрация ксенона N_{α} до какого-то момента увеличивается, достигая максимума, затем - уменьшается. В силу этого β_{α} не только не остается постоянным, но и меняет знак. Коэффициенты d_i в зависимости от $s(t)P$ меняются и по другим компонентам.

Для решения проблемы вычисления коэффициентов реактивности d_i , используемых в уравнении (17), необходимо провести специальные исследования. Но эта проблема в данной работе выделена в отдельную, и задача (1) - (5) решается в предположении, что d_i известны. Тогда величина X , входящая в ограничение (5), определяется из уравнения (18) при $\Delta p_{\alpha}(t) = 0$.

Численные эксперименты. На основе структуры оптимального управления (16) выполнены численные эксперименты с целью количественной оценки эффекта оптимизации режима реакторной установки в конце кампании. Все эксперименты были проведены при $\beta = 3 \cdot 10^{-4}$ нейтр./с.м.² с., $\lambda_1(0) = 0.6415 \cdot 10^{-4}$ с.г.,

$$\lambda_2(0) = 0.1851 \cdot 10^{-4} \text{ с.м.}^{-1}; \quad c_{\text{оп}} = \text{пс.}, \quad n = \overline{1,4}, \quad c_1 = 0.2, \quad \tau_{\text{оп}} = m\tau_{\text{оп}}, \\ m = \overline{1,2}, \quad \tau_{\text{оп}} = 2 \cdot 3600 \text{ с.}, \quad T = 24 \cdot 3600 \text{ с.}$$

Из постановки задачи (1) - (5) видно, что период управления T принят равным одним суткам. Очевидно, такая постановка корректна, если выполняется условие цикличности

$$x(iT) = x\{(i+1)T\}, \quad x = \{\lambda_1, \lambda_2\}, \quad (19)$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, q$ - число рассматриваемых суток.

Для проверки условия (19) и обоснования допустимости постановки задачи с периодом, равным T , выполнены специальные эксперименты с произвольной комбинацией $c_{\text{оп}}$ и $\tau_{\text{оп}}$. Результаты расчетов показали, что при $i=0$ условие (19) не выполняется, однако, начиная с $i>1$, правые концы x по суткам стабилизируются и условие (19) выполняется.

Ниже приводятся результаты экспериментов для $c_{\text{оп}} = \text{пс.}$, $n = \overline{1,4}$, и $\tau_{\text{оп}} = m\tau_{\text{оп}}$ при $m=3$ и 4, т.е. $\tau = 6 \cdot 3600$ с и $\tau = 8 \cdot 3600$ с, как наиболее приемлемые варианты с точки зрения практической реализации, поскольку при этом предполагается, что в ночное время в течение 6 или 8 часов мощность снижается на величину $1 - c_{\text{оп}}$ (табл. 1).

Таблица 1

Значения поглощения нейтронов ксеноном поинтервально за период T

с	$\tau = 6 \cdot 3600$ с			$\tau = 8 \cdot 3600$ с		
	$\int_0^1 F dt, 10^{17}$	$\int_0^1 F dt, 10^{17}$	$\int_0^1 F dt, 10^{17}$	$\int_0^1 F dt, 10^{17}$	$\int_0^1 F dt, 10^{17}$	$\int_0^1 F dt, 10^{17}$
	см ⁻²	см ⁻²	см ⁻²	см ⁻²	см ⁻²	см ⁻²
1,0	0,3239	0,9717	1,2956	0,43188	0,86376	1,2956
0,8	0,27825	0,9484	1,2266	0,37194	0,83333	1,20527
0,6	0,2258	0,9295	1,1553	0,30368	0,8078	1,11148
0,4	0,16437	0,9165	1,0809	0,22328	0,78964	1,01292
0,2	0,09057	0,91183	1,0024	0,12497	0,78263	0,9076

где F - подынтегральное значение выражения (1).

Определим относительное уменьшение поглощения нейтронов

$$\Delta J = 1 - \frac{\int_0^T F(c) dt}{\int_0^T F(c=1) dt}.$$

и построим зависимость ΔJ от c (рис.1). Как видно, чем меньше c , тем больше ΔJ и тем больше недовыработка электроэнергии $\Delta \mathcal{E} = U\tau(1-c)$ (табл. 2, рис. 1).

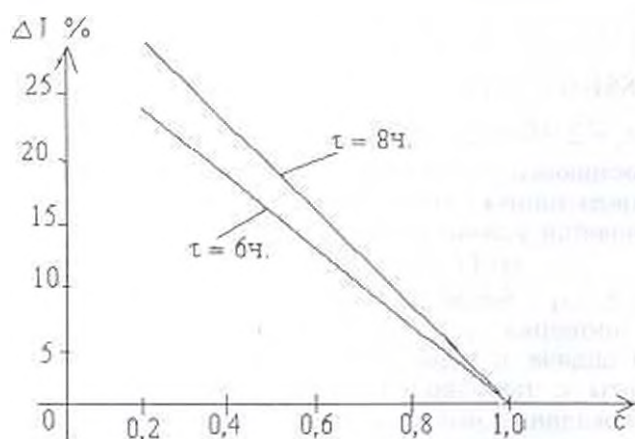


Рис. 1. Выигрыш в поглощении нейтронов при различной выработке энергии

Представлены значения $\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E} / \mathcal{E}_{\text{ном}} = U\tau(1-c) / 24U = \tau(1-c) / 24\%$, при различных c и τ , где $\mathcal{E}_{\text{ном}} = TU$ - выработка электроэнергии при работе реактора на номинальной мощности U (табл.2).

Таблица 2

Значения относительной недовыработки энергии $\Delta\bar{E}$, %

ϵ	$\Delta\bar{E}$, % при $\tau=6$ ч	$\Delta\bar{E}$, % при $\tau=8$ ч
1,0	0	0
0,8	5	6,66
0,6	10	13,32
0,4	15	20,0
0,2	20	26,66

Как видно, с уменьшением параметра ϵ относительная недовыработка электроэнергии увеличивается, достигая 20% ($\tau=6$ ч) и 26,66% ($\tau=8$ ч). Увеличение ΔJ следует объяснить главным образом уменьшением выработки электроэнергии.

Для оценки эффекта оптимизации режима реакторной установки необходимо провести сравнение уменьшения поглощения нейтронов при заданной выработке электроэнергии. Например, рассмотрим два режима.

Первый режим: $\epsilon=0,2$ на $[0,8]$, $\epsilon=1$ на $(8,24]$

Выработка электроэнергии, отнесенная к U , составляет $\bar{E}_1/U=17,6$.

Поглощение нейтронов, согласно табл.1, $J_1=0,9076 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Второй режим: $\epsilon=1$ на $[0,17,6]$,

$\bar{E}_2/U=17,6$, $J_2=1,2956 \cdot 17,6 / 24 = 0,95 \text{ см}^{-2}$.

$\Delta J=J_2-J_1=0,043 \text{ см}^{-2}$, $\Delta J/J_1=0,045$ или 4,5%, т.е. в данном случае эффект оптимизации составляет 4,5% в сутки. Аналогичным образом вычислены эффекты оптимизации при различных ϵ и τ (рис. 2), откуда видно, что с уменьшением ϵ и увеличением τ эффект оптимизации режима значителен.

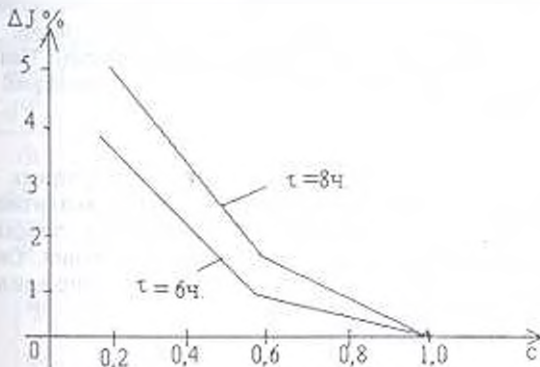


Рис. 2. Выигрыш в поглощении нейтронов при постоянной выработке энергии

В силу этого, если управление реактором вести оптимально в течение всей кампании, то в среднем можно добиться до 3—4% экономии ядерного топлива с выработкой заданного количества электроэнергии за кампанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сигал М.В., Семенов В.В. Оценка экономически целесообразного времени продления кампании водо-водяных реакторов АЭС // Атомные электрические станции. - 1980. - Вып. 3. - С. 157-162.
2. Хрусталева В.А. К вопросу об оптимальном продлении кампании мощных блоков АЭС с ВВЭР в энергосистемах // Изв. вузов. Энергетика. - 1987. - № 8. - С. 81-84.
3. Аккерман Г., Хампель Р. Эксплуатация АЭС с водо-водяным реактором во время удлинения кампании при работе на мощностном эффекте // Теплоэнергетика. - 1982. - № 7. - С. 71-73.
4. Пат. Д8818935, США HMSO. Xenon suppression in a nuclear fueled electric power generation system. G.W. Mark, R.F. Barry. Открытия. Изобретения. 1984. - № 7102.
5. Габасов Р., Кириллова Ф.М. Особые оптимальные управления. - М.: Наука. 1973. - 256 с.
6. Рудик А.П. Оптимизация физических характеристик ядерных реакторов. - М.: Атомиздат, 1979. - 280 с.

Арматом, МАИ

14.08.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 3, 1998, с. 314-322

УДК 621.313.33.01

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г.Л. АРЕШЯН

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ

Ասինխրոն շարժիչներում անցումային գործընթացների հետազոտման առաջարկվող նոր մեթոդը կիսվում է ուսուրի արագության և շարժիչի հոսանքների լուծումների՝ ժամանակային ծախսության մեջ անալիտիկ կառուցման վրա՝ հաշվի առնելով լարման հաճախականության և դիֆազորային մասնիկի փոփոխությունները: Առաջարկված մեթոդը հայտնի մեթոդներից առաջնորդում է, նրանով, որ չի պահանջում բնութագրական հավասարումների սրմանների որոշում:

Предлагается новый метод расчета переходных процессов в асинхронном двигателе, основанный на построении аналитических решений скорости ротора и токов двигателя во временной плоскости с учетом изменения напряжения, частоты и момента сопротивления. Он отличается от известных методов тем, что не требует определения корней характеристических уравнений.

Библиогр.: 4 назв.

The new method proposed for computation of transition processes in asynchronous engine is based on construction of analytical solutions for rotor velocity and engine currents in the time plane, taking into account voltages, frequencies and moment of resistance. The proposed method is different from the known ones in that it does not require the determination of roots of the characteristic equations.

Ref. 4.

1. Постановка задачи и содержание метода. В связи с широким использованием микропроцессорной техники для создания систем управления скоростью асинхронных двигателей (АД), с целью получения желаемых тяговых характеристик, становится актуальной проблема методов расчета переходных процессов в АД. Системы управления АД в качестве управляющих воздействий используют изменение напряжения и частоты питания и учитывают возмущающее воздействие, обусловленное переменным моментом сопротивления на валу двигателя. Система дифференциальных уравнений, описывающая переходные процессы АД с учетом изменения напряжения, частоты и момента сопротивления, является нелинейной системой высокого порядка (пятого и выше), что резко осложняет исследование переходных процессов. Как правило, для построения решений приходится делать ряд упрощающих предположений, с целью снижения порядка системы дифференциальных уравнений, исследовать переходные процессы АД в неполном объеме, либо прибегать к численным решениям, что не всегда дает возможность найти и обосновать наиболее рациональные законы управления АД [1, 2].

Предлагаемый новый метод исследования переходных процессов в АД основан на построении аналитических решений скорости ротора и токов двигателя во временной плоскости с учетом изменения напряжения, частоты и момента сопротивления. Он отличается от известных методов тем, что не требует определения корней характеристических уравнений. Это позволяет исследовать решения систем дифференциальных уравнений высокого порядка и в полном объеме. На основе метода составляются функции для исследуемых переменных в виде дроби рациональных степенных полиномов от лапласовского параметра и на их основе дается аналитическое построение асимптотических решений в виде степенных рядов от времени t .

2. Преобразование исходной системы дифференциальных уравнений. Для исследования переходных процессов в АД (с короткозамкнутым ротором) примем систему дифференциальных уравнений, записанную в синхронных осях для переменных, зависящих от времени, как более предпочтительную [3]:

$$\begin{cases} u_d = r_s i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega_c \Psi_q, & u_q = r_s i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega_c \Psi_d, \\ 0 = r_r i_D + \frac{d\Psi_D}{dt} - (\omega_c - \omega_r) \Psi_Q, & 0 = r_r i_Q + \frac{d\Psi_Q}{dt} + (\omega_c - \omega_r) \Psi_D. \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{cases} \Psi_d = L_s i_d + L_{\sigma\sigma} i_D, & \Psi_q = L_s i_q + L_{\sigma\sigma} i_Q, \\ \Psi_D = L_{\sigma\sigma} i_d + L_R i_D, & \Psi_Q = L_{\sigma\sigma} i_q + L_R i_Q. \end{cases} \quad (2)$$

В (1) $\omega_c(t) = 2\pi f_c(t)$ - круговая частота питающего напряжения;

$\omega_r(t)$ - электрическая круговая частота вращения ротора

Система записана без уравнений нулевой последовательности, т.е. для симметричного трехфазного режима. Скольжение ротора

$S=(\omega_c-\omega_R)\omega_c^{-2}$ в систему не введено, т.к. при линейризации используются приращения $\Delta\omega_c$ и $\Delta\omega_R$.

Уравнение движения маховых масс имеет вид

$$J \frac{d\omega_R}{P_n dt} = \frac{3}{2} P_n (\Psi_d i_q - \Psi_q i_d) - M_{H2}, \quad (3)$$

где J - момент энергии маховых масс; P_n - число пар полюсов обмотки АД; M_{H2} - момент сопротивления на валу АД (реакция нагрузки), считающийся переменным.

С учетом (2) получим

$$i_D i_q - i_q i_d - a_m \frac{d\omega_R}{dt} - m_c = 0, \quad (4)$$

где

$$a_m = \frac{2J}{3P_n^2 L_{SR}}, \quad m_c(t) = \frac{2}{3P_n} \frac{M_{H2}(t)}{L_{SR}}. \quad (5)$$

Линеаризируем систему уравнений (1), (2) и (4) в окрестности точки (верхние нулевые индексы):

$$u_d'', u_q'', \omega_c'', \omega_R'', i_d'', i_q'', i_D'', i_Q'', m_c'' \quad (6)$$

для момента $t=t=0$.

Для малого Δt имеем для переменных $x(t)=x''+\Delta x(t)$. Лапласовское преобразование таких переменных обозначим следующим образом: $L\{x(t)\}=\frac{x''}{p}+x(p)$, где $x(p)$ - изображение приращения переменной $x(t)$.

Линеаризованная система в лапласовском изображении принимает вид

$$\begin{aligned} r_s i_d(p) + p \Psi_d(p) - \omega_c'' \Psi_q(p) &= u_d(p) + \Psi_q'' \omega_c(p) + \frac{A_d^u}{p}, \\ r_s i_q(p) + p \Psi_q(p) + \omega_c'' \Psi_d(p) &= u_q(p) - \Psi_d'' \omega_c(p) + \frac{A_q^u}{p}, \\ r_R i_D(p) + p \Psi_D(p) - S'' \omega_c'' \Psi_Q(p) + \Psi_Q'' \omega_R(p) &= \Psi_Q'' \omega_c(p) + \frac{A_D^v}{p}, \\ r_R i_Q(p) + p \Psi_Q(p) + S'' \omega_c'' \Psi_D(p) - \Psi_D'' \omega_R(p) &= -\Psi_D'' \omega_c(p) + \frac{A_Q^v}{p}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для приращений потокоцеплений получаем

$$\begin{aligned} \Psi_d(p) &= L_S i_d(p) + L_{SR} i_D(p), \quad \Psi_q(p) = L_S i_q(p) + L_{SR} i_Q(p), \\ \Psi_D(p) &= L_{SR} i_d(p) + L_R i_D(p), \quad \Psi_Q(p) = L_{SR} i_q(p) + L_R i_Q(p). \end{aligned} \quad (8)$$

где постоянные начальные условия в (7) равны

$$\begin{cases} A_d^0 = u_d^0 - r_s i_d^0 + \omega_c^0 \Psi_q^0, & A_q^0 = u_q^0 - r_s i_q^0 - \omega_c^0 \Psi_d^0, \\ A_D^0 = -r_R i_D^0 + S^0 \omega_c^0 \Psi_Q^0, & A_Q^0 = -r_R i_Q^0 - S^0 \omega_c^0 \Psi_D^0. \end{cases} \quad (9)$$

$S^0 = (\omega_c^0 - \omega_R^0)(\omega_c^0)^{-1}$ - скольжение в точке линеаризации.

Уравнение движения маховых масс (3) принимает вид

$$-i_Q i_D(p) + i_D i_q(p) + i_q^0 i_D(p) - i_d^0 i_Q(p) - a_\omega p \omega_R(p) = m_c(p) + \frac{A_u^0}{p}. \quad (10)$$

где

$$A_\omega^0 = -i_D i_q^0 + i_Q^0 i_d^0 + m_c^0, \quad m_c^0 = \frac{2M_{H2}^0}{3p_n L_{SR}}. \quad (11)$$

Подставляя выражения потокосцеплений (8) в систему (7), получаем совместно с (10) полную систему уравнений для пяти неизвестных i_d, i_q, i_D, i_Q и ω_R , которая описывает переходные процессы в АД в зависимости от изменения напряжения (u_d, u_q), частоты питания (ω_1) и момента сопротивления (m_c).

Матрица коэффициентов при неизвестных является квадратной $A(p) = \{a_{ij}\}$ размерностью 5×5 . Детерминант матрицы является полиномом пятой степени p :

$$\det A(p) = D(p) = C_0 p^5 + C_1 p^4 + \dots + C_5. \quad (12)$$

Полученные аналитические выражения элементов матрицы $A(p) = \{a_{ij}(p)\}$ алгебраических дополнений $\Lambda_{ij}(p)$ и детерминанта $D(p)$ ввиду их громоздкости здесь не приводятся. Более компактные выражения можно получить, если из системы уравнений вначале исключить роторные токи и оперировать матрицей размерности 3×3 .

Для исключения роторных токов использованы первые два уравнения системы (7). Это дает следующие выражения для роторных токов:

$$i_D = q_{11} i_d - q_{12} i_q + Y_D, \quad i_Q = q_{21} i_d - q_{22} i_q + Y_Q. \quad (13)$$

где

$$q_{11} = q_{22} = \frac{p^2 + p\omega_1 + v^2}{p^2 + v^2} \frac{L_s}{L_{SR}}, \quad q_{12} = q_{21} = \frac{v\omega_1}{p^2 + v^2} \frac{L_s}{L_{SR}},$$

$$Y_D = \frac{pY_1 + vY_2}{(p^2 + v^2)L_{SR}}, \quad Y_Q = \frac{pY_2 - vY_1}{(p^2 + v^2)L_{SR}},$$

$$\omega_1 = \frac{r_s}{L_s}, \quad \omega_2 = \frac{r_R}{L_R}, \quad v = \omega_c^0.$$

Y_1 и Y_2 - правые части первых двух уравнений системы (7).

Подставляя (13) в остальные три уравнения системы, получаем уравнения для переменных i_d, i_q и ω_R :

$$\begin{aligned}n_{11}i_d + n_{12}i_q + n_{13}\omega_R &= m_1, \\n_{21}i_d + n_{22}i_q + n_{23}\omega_R &= m_2, \\n_{31}i_d + n_{32}i_q + n_{33}\omega_R &= m_3.\end{aligned}\tag{14}$$

Аналитические выражения n_{ik} элементов матрицы $N(p) = \{n_{ik}\}$ и коэффициентов правых частей системы (14) m_i даны в приложении.

Детерминант матрицы $N(p)$ размерности 3×3 является полиномом девятой степени от p :

$$\det N(p) = D_3(p) = C_0 p^9 + C_1 p^8 + \dots\tag{15}$$

Возрастание степени полинома $D_3(p)$ по сравнению с полиномом детерминанта матрицы $A(p)$ (12) обусловлено тем, что при исключении токов ротора увеличивается степень полиномов правой части системы уравнений ввиду умножения их на $p^2 + v^2$ (13).

Из системы (14) получаем выражения для приращений токов статора и скорости ротора вида

$$\begin{aligned}i_d(p) &= \frac{1}{D_3(p)} (N_{11}m_1 + N_{21}m_2 + N_{31}m_3), \\i_q(p) &= \frac{1}{D_3(p)} (N_{12}m_1 + N_{22}m_2 + N_{32}m_3), \\\omega_R(p) &= \frac{1}{D_3(p)} (N_{13}m_1 + N_{23}m_2 + N_{33}m_3),\end{aligned}\tag{16}$$

где N_{ik} - алгебраические дополнения матрицы $N(p)$.

Аналитические выражения $D_3(p)$ и $N_{ik}(p)$ легко получаются по известным формулам и здесь не приводятся.

После того, как определены и заданы законы регулирования $u_d(p)$, $u_q(p)$ и $\omega_R(p)$, а также задан характер изменения момента сопротивления $m_c(p)$, на основе (16) для переменных получаем функции вида

$$X(p) = C \frac{p^m + b_1 p^{m-1} + b_2 p^{m-2} + \dots + b_m}{p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n},\tag{17}$$

где $k = n - m > 0$.

Такие же функции получаем для токов ротора, используя значения $i_d(p)$ и $i_q(p)$ вида (17), подставляя их в (13).

3. Построение асимптотических решений во временной плоскости. Для построения решений в виде степенных рядов от времени t используем результаты работы [4]. Разобьем ось вращения на отрезки (они могут быть различной длительности) $(0, t_1)$, (t_1, t_2) , ..., (t_{s-1}, t_s) , Назовем "S"-ым отрезком времени участок, в котором текущее время пробегает значения $t_{s-1} \leq t \leq t_s$. Введем для каждого "S"-го отрезка собственное время, равное $\tau = t - t_{s-1}$. Переменные величины для "S"-го отрезка обозначим через

$$X(S, \tau), S=1,2,3,\dots, 0 \leq \tau \leq t_S - t_{S-1} = \Delta t_S, \quad (18)$$

Начальные и конечные значения переменных величин для отрезка "S" обозначим верхним индексом "0" и "Ф":

$$X(S, \tau=0) = X^0(S), \quad X(S, \tau=\Delta t_S) = X^\Phi(S), \quad S=1,2,\dots \quad (19)$$

Исходя из непрерывности временных функций, получаем условия для сшивания решений:

$$X^\Phi(S-1) = X^0(S), \quad X^\Phi(S) = X^0(S+1).$$

Используя эти обозначения, на основании (17) получаем приращения переменных для "S"-го отрезка времени:

$$\Delta X(S, \tau) = C \left[\frac{\tau^{k-1}}{(k-1)!} + R_1 \frac{\tau^k}{k!} + R_2 \frac{\tau^{k+1}}{(k+1)!} + \dots \right. \\ \left. \dots + R_i \frac{\tau^{k+i-1}}{(k+i-1)!} + O(\tau^{k+i}) \right]. \quad (20)$$

Остаток ряда оценивается в виде

$$O(\tau^{k+i}) \leq \left| R_{i+1} \frac{\tau^{k+i+1}}{(k+i+1)!} \right|. \quad (21)$$

Коэффициенты R_i равны

$$R_1 = b_1 - a_1, \quad R_2 = -b_1 a_1 + b_2 + a_1^2 - a_2, \\ R_3 = b_1(a_1^2 - a_2) - b_2 a_1 + b_1 - a_1^3 + 2a_1 a_2 - a_3, \\ R_4 = b_1(-a_1^3 + 2a_1 a_2 - a_3) + b_2(a_1^2 - a_2) - \\ - b_2 a_1 + b_3 + a_1^4 - 3a_1^2 a_2 + 2a_1 a_3 + a_2^2 - a_4.$$

Коэффициенты R_i более высокого порядка ($i > 4$) могут быть получены по методу, указанному в [4]. Переменные величины для "S"-го отрезка времени равны

$$X(S, \tau) = X^0(S) + \Delta X(S, \tau), \quad S=1,2,\dots \quad (22)$$

Начальные значения для первого отрезка $S=1$ определяются из условий конкретного исследуемого переходного процесса АД. Коэффициенты a_i и b_i (17) для каждого отрезка времени "S" пересчитываются, исходя из начальных значений $X^0(S) = X^\Phi(S-1)$ данного отрезка времени. Длительность каждого "S"-го отрезка времени Δt_S должна выбираться, исходя из условия обеспечения точности на каждом этапе. Критерием может служить оценка, даваемая (21), при фиксированном числе используемых коэффициентов R_i .

4. Операторная запись некоторых законов регулирования и момента сопротивления. В правые части системы уравнений (7) и (10) входят три регулируемые величины $u_d(p)$, $u_i(p)$ и $\omega_c(p)$ и одна величина возмущения - момент сопротивления $m_l(p)$. Рассмотрим некоторые законы задания этих величин.

1. Регулирование по закону постоянства отношения напряжения к частоте (примерное постоянство магнитного потока в АД).

Пусть задано условие регулирования

$$\omega_c(t) = k_c u_c(t) \quad (23)$$

где $u_c(t)$ - амплитуда фазного напряжения; $\omega_c(t)$ - круговая частота; k_c - постоянная регулирования.

Приращение будет $\Delta\omega_c = k_c \Delta u_c$, связь между амплитудой фазного напряжения и величинами u_d и u_q :

$$u_c = (u_d^2 + u_q^2)^{1/2} = \varphi(u_d, u_q).$$

Приращение Δu_c (с удержанием первых членов) будет

$$\Delta u_c = \frac{\partial \varphi(u_d^0, u_q^0)}{\partial u_d} \Delta u_d + \frac{\partial \varphi(u_d^0, u_q^0)}{\partial u_q} \Delta u_q.$$

Тогда

$$\Delta u_c = a_d^0 \Delta u_d + a_q^0 \Delta u_q, \quad (24)$$

где

$$a_d^0 = u_q^0 ((u_d^0)^2 + (u_q^0)^2)^{-1/2}, \quad a_q^0 = u_d^0 ((u_d^0)^2 + (u_q^0)^2)^{-1/2}. \quad (25)$$

Подставляя (24) в (23), получаем

$$\Delta\omega_c = k_d^0 \Delta u_d + k_q^0 \Delta u_q, \quad k_d^0 = k_c a_d^0, \quad k_q^0 = k_c a_q^0. \quad (26)$$

В операторной форме для приращений имеем

$$\omega_c(p) = k_d^0 u_d(p) + k_q^0 u_q(p). \quad (27)$$

Это выражение необходимо использовать в правой части систем (7) и (10). Законы $u_d(p)$ и $u_q(p)$ могут задаваться независимо друг от друга, либо с учетом (24), в зависимости от величины

$$u(p) = a_d^0 u_d(p) + a_q^0 u_q(p). \quad (28)$$

2. Момент сопротивления $m_c(p)$ задается в виде

$$m_c(p) = p^{-1} m^0, \quad (29)$$

когда скачком происходит наброс ($m^0 > 0$), либо сброс ($m^0 < 0$) момента сопротивления. В случае, если задан закон изменения $\Delta m(t)$ в виде полинома от времени t :

$$m_c(t) = q_1 t + q_2 \frac{t^2}{2!} + q_3 \frac{t^3}{3!} + \dots \quad (30)$$

выражение $m_c(p)$ задается в виде

$$m_c(p) = p^{-1} q_1 + p^{-2} q_2 + p^{-3} q_3 + \dots \quad (31)$$

Примечание. При исследовании переходных процессов в генераторном режиме АД необходимо рассматривать $m_c(p)$ в качестве управляющего воздействия и задавать $m_c(p)$ с отрицательным знаком.

3. Момент сопротивления зависит от скорости ротора (вентиляторной нагрузки).

В этом случае после линеаризации получаем

$$m_c(p) = q_m \omega_R(p). \quad (32)$$

При этом необходимо соответствующие члены, содержащие $\pi_i(p)$, из правой части систем (7) и (10) перенести в левую часть. Это приводит к изменению элементов π_{ij} матрицы $N(p)$.

Таким образом, предложенный новый метод исследования переходных процессов в АД позволяет:

- получить решения переменных величин двигателя (токи и скорость ротора) в виде степенных рядов в зависимости от времени при изменении фазного напряжения, частоты питания и момента сопротивления нагрузки на валу двигателя. Это дает возможность определить все другие характеристики АД во время переходных процессов (КПД, потери и т.д.). Исследование переходных процессов при этом основывается на наиболее полной системе дифференциальных уравнений без каких-либо упрощающих предположений;

- определить и обосновать наиболее рациональные законы регулирования скорости ротора напряжением и частотой питания при различных видах (характерах) момента сопротивления на валу АД.

- исследовать переходные процессы не только в двигательном режиме, но и в генераторном и в режиме противовключения, так как полученная полная линейаризованная система уравнений описывает переходные процессы во всем диапазоне изменения скольжения $-\infty \leq s \leq \infty$;

- учитывать влияние насыщения стальных участков магнитопровода АД на характер процесса на основе методики построения асимптотических решений. Для этого достаточно на разных отрезках времени "S" вводить в расчет измененные значения $L_{\Sigma}(i_S i_S), L_S(i_S i_S), L_R(i_S i_S)$, где токи берутся из данных расчета на предыдущем отрезке "S-1".

Новый предлагаемый метод расчета может быть использован при исследовании переходных процессов в любых системах, которые могут быть описаны линейаризованными дифференциальными уравнениями любого высокого порядка.

Приложение

Аналитические выражения элементов π_{ij} равны

$$\pi_{11} = \pi_{22} = -p^1 \sigma - p^2 (\omega_1 + \omega_2) - p (\omega_1 \omega_2 + v^2 \sigma) - \omega_2 v^1 - \omega_1 v^2 S''.$$

$$\pi_{12} = -\pi_{21} = p^1 \sigma v S'' - p (1 - S'') \omega_1 v - \omega_1 \omega_2 v + v^2 S''.$$

$$\pi_{13} = (p^2 + v^2) k i_d^0, \quad \pi_{23} = -(p^2 + v^2) k i_d^0.$$

$$\pi_{31} = -p^2 (i_q^0 + \gamma_S i_D^0) - p \omega_1 i_q^0 - \omega_1 v i_d^0 - v^2 (i_q^0 + \gamma_S i_D^0),$$

$$\pi_{32} = p^2 (i_d^0 + \gamma_S i_D^0) + p \omega_1 i_d^0 - \omega_1 v i_q^0 + v^2 (i_d^0 + \gamma_S i_D^0).$$

$$\pi_{33} = -p^1 \gamma_S a_m - p v^2 \gamma_S a_m.$$

где

$$\gamma_S = -\frac{L_{SR}}{L_S}, \quad k = \frac{L_{SR}}{L_S L_R}, \quad \sigma = 1 - k.$$

Коэффициенты правых частей уравнений (7) равны

$$m_1 = (p^* + v^*)ik \frac{Y_1}{L_{\Sigma K}} - (p^* + p\omega_1 + v^*S^0) \frac{Y_1}{L_{\Sigma}} - [p(1+S^0) + \omega_1]v \frac{Y_1}{L_{\Sigma}},$$

$$m_2 = (p^* + v^*)ik \frac{Y_2}{L_{\Sigma K}} - [p(1+S^0) + \omega_1]v \frac{Y_2}{L_{\Sigma}} - (p^* + p\omega_1 + v^*S^0) \frac{Y_2}{L_{\Sigma}},$$

$$m_3 = (p^* + v^*)ik \frac{Y_3}{L_{\Sigma K}} - (p\omega_2 + v^*S^0) \frac{Y_3}{L_{\Sigma}} - (p\omega_2 + v^*S^0) \frac{Y_3}{L_{\Sigma}},$$

где Y_1, Y_2, Y_3 — правые части уравнений системы (7), Y_1 — правая часть (10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайсман А.И. Переходные процессы в нелинейных электрических цепях. М.: Энергия, 1980. — 256 с.
2. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сивилер А.С. Анализ нелинейных электрических цепей. М.: Энергия, 1979. — 115 с.
3. Аветисян Г.Л., Мовсесян С.Ж. Рекуррентные системы дифференциальных уравнений в смешанных и резонансных осях. Электротехника, 1992, № 11, с. 54-59.
4. Аветисян Г.Л. Оперативное преобразование. Метод для нахождения алгебраических функций с заданным оригиналом. Доклады АН ДР АССР. Армянский филиал. № 27-4592, 1992.

ПРИЕМ

31.07.1997

УДК 621.372.5 Армения (сер. ТНУ), т. 11, № 3, 1998, с. 322-328

УДК 621.372.5

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г.Л. БАРЕГАМЯН, В.М. МОВСЕСЯН, Н.Н. ПЕТРОСЯН,
А.Ш. АРУТЮНЯН

МАШИННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ СТАТИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В статье рассматривается задача машинного проектирования стабилизированных источников вторичного электропитания, в которых в качестве промежуточного высокочастотного преобразователя используется регулируемый резонансный инвертор. Проектирование производится по критериям обеспечения качества выходного напряжения и оптимальных удельных показателей.

Рассматривается задача машинного проектирования стабилизированных источников вторичного электропитания, в которых в качестве промежуточного высокочастотного преобразователя используется регулируемый резонансный инвертор. Проектирование производится по критериям обеспечения качества выходного напряжения и оптимальных удельных показателей.

Мл. 3. Библоскоп: 5 назв.

A computer-aided design problem of stabilized secondary power supply is considered. A controllable resonant inverter is used as an intermediate high frequency converter. Designing is performed with quality control criterion of the output voltage and optimal specific index.

1st. 3. Ref. 5.

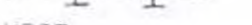
Создание новых высокочастотных силовых биполярных и полевых транзисторов позволяет создавать источники вторичного электропитания (ИВЭП) на основе высокочастотных резонансных преобразователей. Они отличаются от других типов источников высокими удельными энергетическими показателями и низким уровнем электромагнитных излучений.

В ИВЭП резонансного типа преобразование энергии осуществляется последовательно через следующие узлы (рис.1): сетевой выпрямитель, высокочастотный резонансный инвертор, выходной высокочастотный трансформатор, выходной выпрямитель, сглаживающий фильтр. В зависимости от характера изменения нагрузки в инверторе обычно применяются либо параллельный, либо последовательный резонансные LC контуры [1-4]. Более универсальным и гибким в применении является комбинированный вариант контура, состоящий из последовательного L1, C1 (рис.1) и параллельного L2, C2 резонансных контуров [5]. По сравнению с контуром второго порядка комбинированный контур четвертого порядка позволяет обеспечить: возможность работы инвертора при изменениях нагрузки от холостого хода до режимов с существенными перегрузками; возможность работы в режимах прерывистого тока, непрерывного тока с коммутацией тока силового ключа при включении (емкостной характер контура) и выключении (индуктивный характер контура); необходимый диапазон регулирования выходного напряжения с существенно меньшими значениями добротности контура и относительного диапазона изменения частоты [5]. Низкой добротности контура соответствуют меньшие значения реактивной мощности, максимальных токов и напряжений в элементах контура и в силовых ключах.

Полсемейственное внедрение ИВЭП с резонансным преобразователем предполагает создание алгоритмов и программ для их проектирования с помощью персональных компьютеров, которые обычно имеются на рабочих местах инженеров проектировщиков.

В [1-4] представлены методики машинного проектирования резонансных преобразователей с контуром второго порядка. В них расчетные соотношения выводятся на моделях по постоянному току путем решения дифференциального уравнения контура в разных интервалах периода переключения силовых ключей.

В настоящей работе приводится методика машинного проектирования ИВЭП на основе резонансного преобразователя с контуром четвертого порядка (рис.1). Регулирование выходного напряжения инвертора производится путем изменения частоты переключения силовых транзисторов. Представлена типовая амплитудно-частотная характеристика контура (рис.2). Допускается, что токи и напряжения в контуре имеют синусоидальную форму, а инвертор работает в режиме непрерывного тока, что позволяет получить существенно меньшие амплитудные значения токов и



выходного напряжения при изменениях напряжения питающей сети и нагрузки.

3. Масса и габариты должны быть по возможности маленькими.

Эти критерии взаимосвязаны и противоречивы, поэтому процесс проектирования имеет итеративный характер и основан на компромиссе между ними. Проектирование происходит в диалоговом режиме, в котором право выбора в случае альтернативных решений принадлежит проектировщику. Компьютер предлагает только варианты решения.

Масса и габариты ИВЭП в основном зависят от размеров конденсаторов входного и выходного фильтров, реактивных элементов резонансного контура, охладителей силовых ключей инвертора и диодов выходного выпрямителя. Потери в диодах выходного выпрямителя определяются током нагрузки и в ходе проектирования оптимизации не подлежат. Что касается остальных элементов, то для уменьшения размеров и масс реактивных элементов и охладителей силовых ключей необходимо иметь меньшие добротности контура, что противоречит условиям узости диапазона вариаций частоты и обеспечения необходимого диапазона регулирования выходного напряжения. Кроме того, для обеспечения требуемых динамических характеристик необходимо иметь либо весьма широкий диапазон изменения выходного напряжения инвертора, либо очень большую емкость на выходе ИВЭП.

Представлена блок-схема алгоритма проектирования ИВЭП с резонансным преобразователем (рис. 3).

В блоке 1 задаются параметры ИВЭП. Обычно на этом этапе задаются выходные параметры: $U_H \pm \Delta$ - выходное напряжение с указанием допустимых отклонений в динамическом режиме; I_{Hmin} , I_{Hmax} - диапазон изменения тока нагрузки; K_p - коэффициент допустимых пульсаций выходного напряжения; параметры сети питания: число фаз; U_{Cmin} , U_{Cmax} - допустимый диапазон изменения напряжения; частота.

В блоке 2 определяются параметры, по которым ориентировочно можно выбирать силовые ключи: максимальное напряжение U_{kmax} и ток I_{kmax} , средний ток I_{avr} . Максимальное значение напряжения оценивается по амплитуде напряжения сети (или по постоянному входному напряжению в случае постоянного входа), а средний ток ключей оценивается по выходной мощности P_H , постоянному напряжению на входе инвертора U_0 и ориентировочному значению КПД ИВЭП. Максимальное значение тока ключа зависит от режима работы инвертора и допустимых перегрузок. Его можно определить только в ходе проектирования.

В блоке 3 выбираются силовые ключи и максимальная рабочая частота инвертора. Выбор частоты имеет принципиальное значение и не является однозначным. С одной стороны, высокая частота предполагает понижение массы и габаритов ИВЭП, с другой - частота должна быть ограничена временными параметрами полупроводниковых элементов и допустимыми потерями в магнитных элементах и конденсаторах. По максимальной частоте и параметрам, вычисленным в блоке 2, выбираются силовые ключи. Определяется минимальный фазовый сдвиг между током и напряжением силовых

ключей инвертора, необходимый для восстановления запирающей способности ключа:

$$\Psi_{\text{норм}} = \omega_{\text{норм}} t_{\text{вос}}, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{норм}} = 2\pi F_{\text{норм}}$ - максимальная рабочая угловая частота инвертора;
 $t_{\text{вос}}$ - время восстановления запирающей способности ключа.

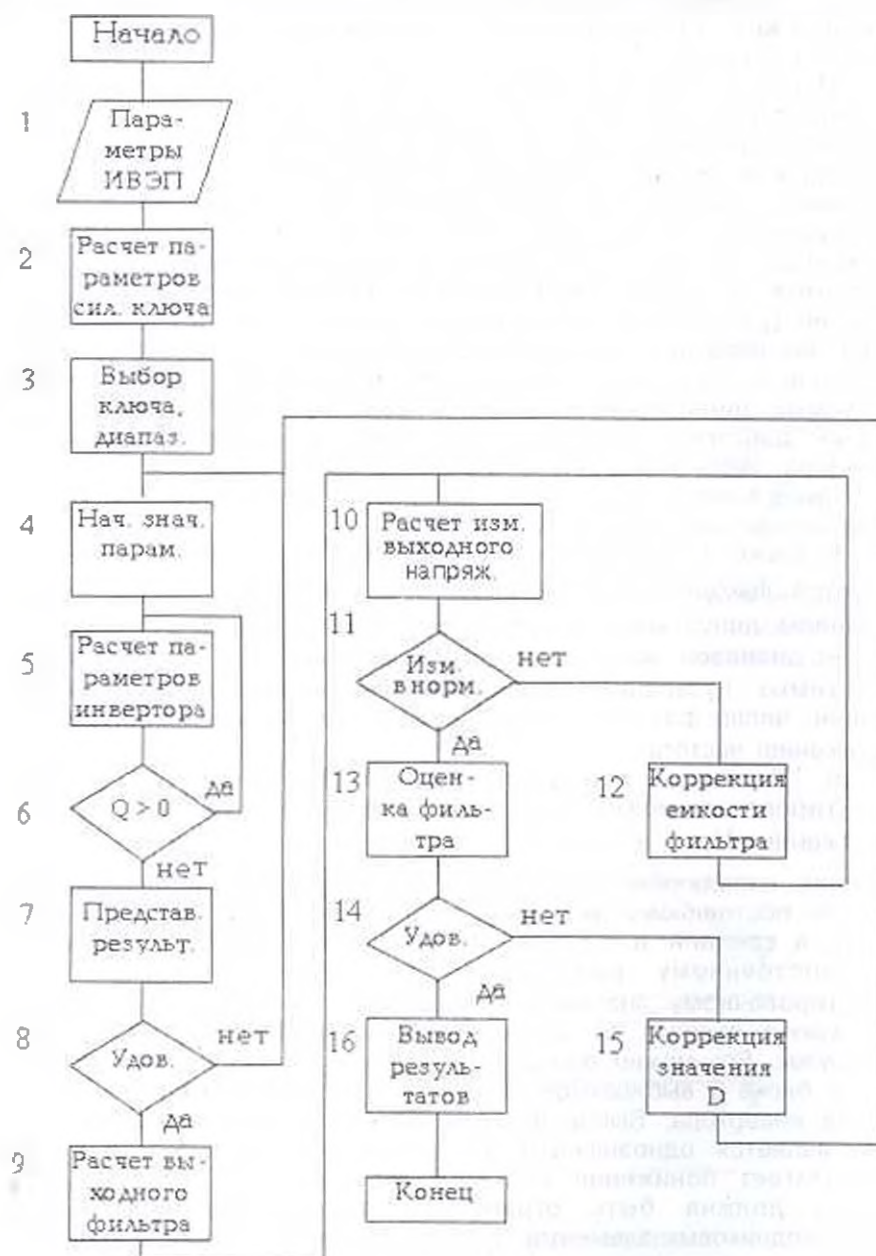


Рис. 3. Блок-схема алгоритма

В блоке 4 задаются отношения резонансных частот F_{02}/F_{01} (F_{01} - для параллельного контура, F_{01} - для последовательного контура), а также максимальной и минимальной рабочих частот F_{max}/F_{min} .

В блоке 5 определяются параметры резонансного инвертора. По заданным диапазонам изменения тока нагрузки и сетевого напряжения определяется желаемый диапазон регулирования выходного напряжения инвертора, обеспечивающий стабилизацию выходного напряжения ИВЭП:

$$D = U_{сmax} I_{Hmax} / U_{сmin} I_{Hmin} \quad (2)$$

Диапазон изменения выходного напряжения инвертора определяется отношением значений коэффициента передачи контура на максимальной и минимальной частотах: $H(\omega_{max})/H(\omega_{min})$.

$$H(\omega) = \sqrt{((1 - Q_1 Q_2 (\omega/\omega_{01} - \omega_{01}/\omega)(\omega/\omega_{02} - \omega_{02}/\omega))^2 + Q_1^2 (\omega/\omega_{01} - \omega_{01}/\omega)^2)} \quad (3)$$

где $Q_1, Q_2, \omega_{01}, \omega_{02}$ - добротности и резонансные частоты последовательной и параллельной частей резонансного контура.

Фазочастотная характеристика входного импеданса контура определяется по формуле [5]

$$\psi = \arctg(Q_1 Q_2 (\omega/\omega_{01} - \omega_{01}/\omega)(\omega/\omega_{02} - \omega_{02}/\omega) + Q_1 (\omega/\omega_{01} - \omega_{01}/\omega) - Q_2 (\omega/\omega_{02} - \omega_{02}/\omega)) \quad (4)$$

При заданных значениях F_{01}/F_{02} и F_{max}/F_{min} величина ψ и отношение D зависят только от добротностей контура, которые определяются из уравнений

$$H(\omega_{max})/H(\omega_{min}) = D, \quad \psi(\omega_{max}) = \psi_{норм} \quad (5)$$

где $H(\omega)$ и $\psi(\omega)$ вычисляются по формулам (3), (4).

Уравнения (5) решаются относительно Q_1, Q_2 численными методами. Далее оцениваются среднее значение напряжения на вторичной обмотке выходного трансформатора, коэффициент трансформации $K_{ТР}$ и эквивалентное сопротивление нагрузки, приведенное к первичной обмотке трансформатора R_1 . Затем вычисляются параметры элементов контура:

$$L_1 = R_1 Q_1 / \omega_{01}, \quad L_2 = R_1 / \omega_{02} Q_2, \quad (6)$$

$$C_1 = 1/L_1 \omega_{01}^2, \quad C_2 = 1/L_2 \omega_{02}^2$$

и определяются амплитудные значения токов через силовые ключи и индуктивности и напряжений на конденсаторах:

$$U_{C2m} = U_{Im}, \quad I_{L2m} = U_{Im} / \omega_{min} L_2, \\ I_{Lm} = I_{Immax} \sqrt{(\omega_{max} C_1 - 1/\omega_{max} L_1)^2 + R_1^{-2}}, \quad (7) \\ U_{Lm} = \sqrt{(\omega_{min} C_2 - 1/\omega_{min} L_2)^2 + R_1^{-2}}, \quad U_{C1m} = I_{LIm} / \omega_{max} C_1.$$

При этом изменяется значение отношения F_{01}/F_{02} и осуществляется переход к блоку 5. Вариация F_{01}/F_{02} осуществляется во всем диапазоне, где уравнения (5) имеют решения $Q_1, Q_2 > 0$.

В блоке 7 выбирается отношение F_{01}/F_{02} . На экране вычерчиваются графики зависимостей $U_{C1m}, U_{C2m}, I_{L1m}, I_{L2m}$ от отношения F_{01}/F_{02} . По этим зависимостям выбирается значение F_{01}/F_{02} и на экран выводятся значения параметров контура, токи и напряжения элементов инвертора. Если эти результаты удовлетворительны, то осуществляется переход к блоку 9, если нет, то изменяется значение относительного частотного диапазона F_{max}/F_{min} и осуществляется переход к блоку 4. В блоке 9 вычисляются параметры выходного выпрямителя и сглаживающего LC фильтра из условий непрерывности тока дросселя и пульсаций выходного напряжения. В блоке 10 оцениваются изменения выходного напряжения при скачкообразном сбросе и набросе нагрузки. По дифференциальным уравнениям фильтра вычисляются процессы при коммутации нагрузки и соответственном изменении частоты и входного напряжения фильтра. В блоке 11 проверяются экстремальные значения выходного напряжения. Если эти значения находятся в допустимых пределах, то осуществляется переход к блоку 13, если нет, то в блоке 12 корректируется (увеличивается) значение емкости конденсатора фильтра и совершается переход к блоку 9.

Блок 13 выводит значения параметров выходного выпрямителя и сглаживающего фильтра. Если они приемлемы, то совершается переход к блоку 16, если нет (слишком большая емкость конденсатора), то необходимо увеличить диапазон изменения входного напряжения фильтра, т.е. увеличить отношение D в формуле (5) и перейти к блоку 3. Блок 16 выводит результаты проектирования на печать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yang James J., Lee Fred C. Computer-aided design and analysis of series resonant converters // Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. 22nd Annu. Meet., Atlanta, Ga, Oct. 18-23, 1987. Pt 1. - New York, N. Y., 1987. - P. 954-959.
2. Kang Young-Goo, Upadhyay Anand K. Analysis and design of a half-bridge parallel resonant converter // IEEE Trans. on Power Electronics. - 1988. - V. 3, №. 3. - P. 254-265.
3. Kazimerczuk M.K. Steady-state analysis and design of a buck zero-current-switching resonant dc/dc converter // IEEE Trans. on Power Electronics. - 1988. - V. 3, №. 3. - P. 286-296.
4. Лукин А.В., Макаров В.В., Герасимов А.А. Основы проектирования высокочастотных резонансных преобразователей / Центральный отраслевой орган научно-технической информации "Экос", 1989. - С.
5. Барегамян Г.В., Мовсесян В.М., Петросян Н.Н. Выбор параметров резонансного контура в ИВЭП с резонансным инвертором // Высокоэффективные источники и системы вторичного электропитания РЭА / МДНТП. - М., 1989. - С. 151-156.

NS' 621.3.032.621.385

ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

Ա.Ա. ԱՐՋՈՒՄՆՅԱՆ, Յ.Ս. ԿԱՐԱՅԱՆ,

ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԼԱՐՄԱՆ ՖՈՒՐՅԵ - ԶԵՎԱԺՈՒԽՈՒՄԸ ԵՎ
ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՅԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

[illegible]

Вычислены основные физические характеристики при преобразовании энергии по принципу преобразования Фурье. В зависимости от выходной мощности и входного напряжения получены экспериментальные кривые КПД, коэффициента гармоник, относительной неустойчивости частоты. Измерены КПД, коэффициент гармоник, выходное сопротивление и относительная неустойчивость частоты.

Ил. 2. Библиотек. 14 назв.

III, 2, Bel. 14

Vol. 2, Feb. 14

ժամանակակից ֆիզիկայի տարբեր բնագավառներում (արեւային էներգետիկա, լազերային ֆիզիկա, բարձր լարման վակուումային տեխնիկա, ռադիոֆիզիկա և այլն) լայն տարածում են ստացել լարման, հոսանքի եւ հաճախականության ստատիկ (կիսահաղորդչային կառուցվածքով) տարաբնույթ ձեւափոխիչներ Առավել զարգացող եւ կիրառական քննազավառներից է արեւային էներգետիկան, առանձնապես նրա կիսահաղորդչային տարբերակը [1-5]: Տիեզերական եւ երկրային պայմաններում արեւային մատուկոցների կիրառումը [6-8] առաջադրում է հաստատուն հոսանքի էներգիան սինտետիզային փոփոխական հոսանքի էներգիայի փոխակերպման լավարկված սկզբունքների մշակման խնդիրը [9-13] Նշված խնդրի լուծման համար կարելի է մեծ օ.գ.գ.-ի, փոքր հաշվողականների գործակցի եւ ռաճախության մեծ կայունության միաժամանակյա ապահովումը, ինչին եւ միջկիված է սույն աշխատանքը

Սինուսիդալին ազդանշանը մոտարկենք աստիճանաձև, ֆունկցիայով նույն-ձեւափոխմանը [14]

$$U_N(t) = \sum_{k=1}^{2N} b_k \sin \frac{\pi k}{2N} t;$$

Ֆուրյեի վերլուծության գործակիցները

$$b_k = \frac{1}{N} \int_0^{2N} U_N(t) \sin \frac{\pi k}{2N} t dt, \quad k=1,2,\dots \quad (1)$$

որտեղ

$$U_N(t) = a_i, \quad i=1,2,\dots,4N, \quad T=4N\tau, \quad t \in [(i-1)\tau, i\tau]. \quad (2)$$

τ -ն մեկ աստիճանածե իմպուլսի տևողությունն է, T -ն պարբերությունը, իսկ t -ն չափվում է τ -ի միավորներով:

(1)-ից եւ (2)-ից հետեւում է, որ

$$b_k \equiv 0, \quad k=1,2,\dots \quad (3)$$

այսինքն գրույից տարբեր միայն կենտ ինդեքսներով $2N$ գործակիցներն են: Թողնելով $U_N(t)$ -ի մի արժեքը a_1 կամայական (քանի որ մոտարկված սինուսոիդի ամպլիտուդը կամայական է), մնացած արժեքներն ընտրենք այնպես, որ մնացած $2N-1$ գործակիցները հավասարվեն գրույի: Մասնավորապես, $P=4N=12$ դեպքում ստանում ենք.

$$a_1 + a_2 - a_3 = 0, \quad (4)$$

$$a_1(2 + \sqrt{3}) - a_2(1 + \sqrt{3}) + a_3 = 0. \quad (5)$$

Չաշվի առնելով (4) եւ (5) պայմանները, (1)-ից ստանում ենք

$$b_{2k-1} = \frac{4a_1}{\pi(2k-1)} \left[1 + \cos \frac{\pi(2k-1)}{3} + \sqrt{3} \cos \frac{\pi(2k-1)}{6} \right], \quad (6)$$

$$b_{2k} \equiv 0, \quad k=1,2,\dots, \quad (7)$$

$$b_{2k+1} = \frac{2k-1}{2k+1} b_{2k-1}. \quad (8)$$

Սինուսոիդի (առաջին հարմոնիկ) ամպլիտուդի համար ստանում ենք.

$$b_1 = \frac{12a_1}{\pi} = \frac{12a_2}{\pi(1+\sqrt{3})} = \frac{12a_3}{\pi(2+\sqrt{3})}. \quad (9)$$

Սինուսոիդի եւ աստիճանածե ազդանշանի էներգիաների հարաբերությունը եւ հարմոնիկների գործակիցը որոշվում են հետեւյալ արտահայտություններից.

$$\eta = \frac{(12a_1/\pi\sqrt{2})^2}{(1+(1+\sqrt{3})^2 + (2+\sqrt{3})^2)a_1^2/3} = \frac{216}{\pi^2(12+6\sqrt{3})}. \quad (10)$$

$$K = \frac{1}{b_1} \left[\frac{4}{T} \int_0^T U^2(t) dt - b_1^2 \right] = \frac{\sqrt{(8+4\sqrt{3})\pi^2 - 144}}{12}. \quad (11)$$

$P=4N=24$ դեպքում համապատասխան մեծությունների համար ստանում ենք

$$a_1:a_2:a_3:a_4:a_5:a_6 = \sqrt{2}:(1+\sqrt{2}+\sqrt{3}):(1+\sqrt{2}+\sqrt{3}+\sqrt{2}\sqrt{3}):$$

$$:(3+\sqrt{2}+\sqrt{3}+\sqrt{2}\sqrt{3}):(3+2\sqrt{2}+\sqrt{3}+\sqrt{2}\sqrt{3}):$$

$$:(2+2\sqrt{2+2\sqrt{3}}+\sqrt{2}\sqrt{3}).$$

$$b_{2k-1} = \frac{4}{\pi(2k-1)} \left[a_1 \left(1 - \cos \frac{\pi(2k-1)}{12} \right) + a_2 \left(\cos \frac{\pi(2k-1)}{12} - \cos \frac{\pi(2k-1)}{6} \right) + a_3 \left(\cos \frac{\pi(2k-1)}{6} - \cos \frac{\pi(2k-1)}{4} \right) + a_4 \times \right.$$

$$\times \left(\cos \frac{\pi(2k-1)}{4} - \cos \frac{\pi(2k-1)}{3} \right) + a_5 \left(\cos \frac{\pi(2k-1)}{3} - \cos \frac{5\pi(2k-1)}{12} \right) +$$

$$\left. + a_6 \cos \frac{5\pi(2k-1)}{12} \right] \quad (13)$$

$$b_{2k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots \quad (14)$$

$$b_1 = \frac{24a_1}{\pi} = \frac{24a_1}{\pi(2+\sqrt{2}+\sqrt{3}+\sqrt{2}\sqrt{3})} \quad (15)$$

այսինքն այս դեպքում նույնպես սինուսոիդի ամպլիտուդը գործնականում հավասար է ամենամեծ ուղղանկյունածե ինպուլսի բարձրությանը:

$$\eta = \frac{(24a_1/\pi\sqrt{2})^2}{(8-5\sqrt{2}+4\sqrt{3}+3\sqrt{6})a_1^2} = \frac{288}{\pi(8-5\sqrt{2}+4\sqrt{3}+3\sqrt{6})} \quad (16)$$

$$K = \frac{1}{b_1} \left\{ \frac{4}{T} \int_0^{T/2} U^2(t) dt - b_1^2 \right\}^{1/2} = \frac{\sqrt{2}\pi^2(8+5\sqrt{2}+4\sqrt{3}+3\sqrt{6}-576)}{24} \quad (17)$$

Ստացված (6)-(11) եւ (13)-(17) արդյունքներից երեւում է, որ նշված սկզբունքով հաստատուն լարման ձեւափոխումն ունի մի շարք առաքելություններ.

1) բարձր է աղբյուրի լարման օգտագործման գործակիցը (0.7237),

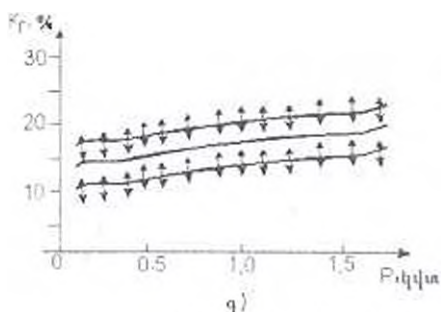
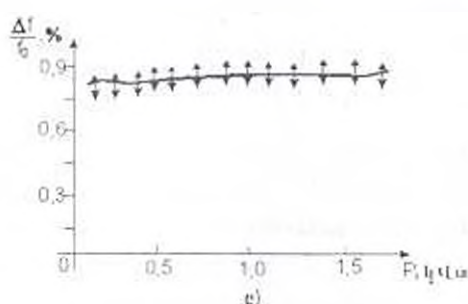
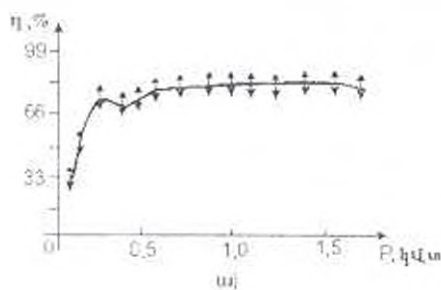
2) ձեւափոխված էներգիան գրեթե լիովին բաժին է ընկնում առաջին հարմոնիկին (համապատասխանաբար 98% եւ 99%), իսկ մնացած չնչին մասը բարձր հարմոնիկներին.

3) ձեւափոխված լարմանը մասնակցող ամենացածր հարմոնիկն ունի բավականաչափ մեծ հաճախություն առաջին հարմոնիկի հաճախության համեմատ (համապատասխանաբար 11-րդ եւ 23-րդ հարմոնիկներ):

Այսպիսով, նշված սկզբունքով ձեւափոխման հետեւանքով ստացված բարձր զնադատականները հիմք են հանդիսանում այդ սկզբունքով գործող մոդելի ստեղծման եւ փորձնական հետազոտության համար. Մոդելը կազմված է կառավարման օղակից եւ ելքային հզոր էլեկտրոնային բանալիներից. կառավարող օղակը հավաքված է թվային ինտեգրալ միկրոսխեմաների հիման վրա եւ բաղկացած է ավտոգեներատորից, հաճախության տասական հաշվիչ-բաժանիչից, որը մի կարգով փոքրացնում է հաճախության հարաբերական անկայունությունը, երկուական հաշվիչից, որը կոդավորում է մուտքի

իմպուլսները, վերծանիչից (դեշիֆրատորից), որը կատարում է իմպուլսների բաշխում եւ ելքային «եւ-ոչ», «կամ-ոչ» զուգակցող (կոմբինացիոն) ստրամաբանական տարրերից ու իմպուլսների ուժեղարարից, որոնց ելքերից կառավարող իմպուլսները տրվում են ելքային տրանզիստորների բազաներին:

Կերփափոխիչի կառուցվածքում ֆիզիկական բնութագրերից փորձնականորեն հետազոտված են օ.գ.գ.-ի, հաճախության եւ հարմոնիկների գործակցի կախումը ելքային հզորությունից եւ աղբյուրի լարումից: Այդ մեծությունների կախման կորերը բերված են նկ. 1, 2-ում: Փոքր հզորությունների դեպքում օ.գ.գ.-ի փոքր լինելը բացատրվում է նրանով, որ կառավարման օղակի կողմից ծախսվող հզորությունը նշանակալիորեն մեծանում է ելքային հզորության նկատմամբ: Այդ պատճառով հզորությունը մեծացնելիս օ.գ.գ.-ն սկսում է աճել: Հզորության հետագա մեծացմանը զուգընթաց օ.գ.գ.-ի նվազումը բացատրվում է ելքային բանալիների վրա էներգիայի կորստի մեծացումով: Հզորության էլ ավելի մեծացման դեպքում օ.գ.գ.-ի նոր աճը բացատրվում է ելքային բանալիների ոչ գծայնությամբ, իսկ հաջորդ ելքային հզորության ճավականաչափ լայն տիրույթում օ.գ.գ. -ն մնում է հաստատուն: Սպառվող հզորության առավել չափով մեծացման դեպքում օ.գ.գ.-ի արագ նվազումը բացատրվում է էներգիայի աղբյուրի մեծ ներքին կորուստներով: Այս դեպքում խախտվում է էներգիայի աղբյուր-ծեւափոխիչ-սպառիչ համակարգի համաձայնեցումը:

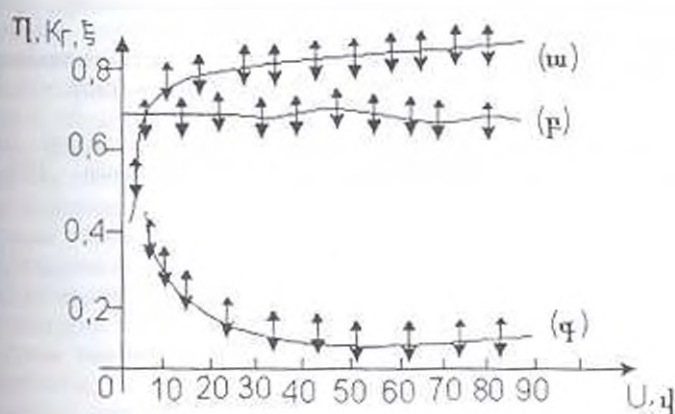


Նկ. 1. Ելքային հզորությունից կախված գրաֆիկները
 ա - օ.գ.գ.-ի, բ - հաճախության հարաբերական անկայունության,
 գ - հարմոնիկների գործակցի 1 - ափսոս, 2 - ունակային, դ - ինդուկտիվ
 բեռների դեպքում

Հաճախության մեծ կայունությունը (նկ. 1բ) բացատրվում է սկզբնական զննեցողության սկզբունքային կառուցվածքով. ինչպես նաև հաշվիչ-բաժանիչի ռեզոնանսային հատկությունները: Ելքային հզորությունից կախված հաճախության չնչին փոփոխությունները, կարելի է ենթադրել, որ կապված են ֆիզիկական աղբյուր-ձեռնափոխիչ-սպառիչ համակարգի ռեակտիվ հատկությունների հետ, քանի որ այդպիսի համակարգը, որքան էլ ունենա ակտիվ բնույթ, ունի իր ամպլիտուդահաճախային բնութագրերը:

Հզորության մեծացմանը զուգընթաց (նկ. 1գ) հարմոնիկների գործակցի աճը բացատրվում է նրանով, որ աստիճանաձեւ լարման տարբեր աստիճանների լարումների կորուստները ուժային բանալիներում (ինչպես նաև աղբյուրում) տարբեր են, քանի որ նրանց միջով հոսող հոսանքները տարբեր են: Նրդյունքում ստացվում է, որ ձեռնափոխիչի ելքում ստացված աստիճանաձեւ լարման աստիճանների բարձրությունները չեն բավարարում հարմոնիկների գործակցի նվազագույն արժեք ունենալու (4), (5), եւ (12) պայմաններին: Գարմոնիկների գործակցի նվազումը ռեակտիվ բնույթի սպառիչների դեպքում բացատրվում է նրանց կողմից ելքային լարման «հարթեցնելու» գործողությամբ (նկ. 1գ, 2, 3):

Օ.գ.գ.-ի մեծացումը եւ հարմոնիկների գործակցի փոքրացումը ելքային լարման մեծացմանը զուգընթաց (նկ. 2ա,բ) բացատրվում է այն հանգամանքով, որ անփոփոխ ելքային հզորության դեպքում լարման մեծացմանը համապատասխանում է հոսանքի նվազումը ուժային բանալիներում եւ ֆիզիկական աղբյուրներում, հետեւաբար, կորուստները եւ աստիճանների «ավաստաչափ սեղմումը» վերելից փոքրանում է. ինչը հանգեցնում է օ.գ.գ. -ի մեծացմանը եւ հարմոնիկների գործակցի փոքրացմանը:



Նկ. 2. Աղբյուրի լարումային կոնստանտ հարաբերական անփոփոխություն փոփոխման գրաֆիկները
ա - օգ.գ.-ի, բ - հարմոնիկների գործակցի, գ - խառնվածության

Հաճախության աննշան փոփոխություններն ըստ լարման (նկ. 2գ) պայմանավորված են տարբեր ֆլուկտուացիաներով, գեներատորի սնման լարման տատանումներով, քանի որ դեկավարող օղակի սնման լարումը ճիշտ հաստատուն պահելը գործնականում անհնար է:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Гарибян О.В., Григорян А.Г., Караян Г.С., Макарян А.А. и др. Преобразователи солнечной энергии на основе полупроводниковой сэндвич-структуры // Фотозлектрические явления в полупроводниках. - Ташкент, Изд. ФАН, 1989. - С. 431-434.
2. Караян Г.С. Электрофизические свойства полупроводниковых многослойных структур // Полупроводниковые гетероструктуры и преобразователи солнечной энергии. Сб. ст. / Под ред. Г.М. Авакьянца; ИАН АрмССР. - Ереван, 1982. - С. 39-55.
3. Johnston W.D. Jr. Solar Voltaic Cells, Deker N.Y., 1980. - p.
4. Արզումանյան Ա.Ա., Կարայան Հ.Մ. Կիսահաղորդչային լուսափոխակերպի բնութագրի փոփոխությունը իզոմարմեր սխեմայի եղանակով, ԵՊՆ, «Էլետական Տեղեկագիր» 1993 թ., № 1.
5. Зи. С. Физика полупроводниковых приборов. - М.: Мир, 1984. - С. 405-409.
6. Успехи физических наук. - 1981. - Т. 161, № 8. Физические проблемы солнечной энергетики.
7. Успехи физических наук. - 1977. - Т. 123, № 4. Проблемы солнечных космических электростаций.
8. Иосифьян А.Г. Электромагнетизм в космосе. - М.: Знание, 1977. - 76 с.
9. Прямое преобразование энергии / Пер. с англ.; Под ред. Н.С. Лидоренко и др. - М.: Мир, 1975. - 362 с.
10. Моин М.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - С. 131-162.
11. Устройства преобразования электрической энергии / преобразователи-сборники. - МЭИ, - М., 1980. - с.
12. Забродин Ю.С. Автономные тиристорные инверторы с широтно-импульсным регулированием. - М.: Энергия, 1977. - с.
13. Dewan D.B., Duff D.L. Optimum design of an input-commutated inverter for AC motor control // IEE Trans. Ind. and Gen. Appl. - 1969. - V. 5, № 6. - P. 699-705.
14. Արզումանյան Ա.Ա., Կարայան Հ.Մ. Արեւային մարմնից էլեկտրական էներգիայի ձեռն-ձեռնփոխիչ ստեղծարարում // ԵՊՆ գիտ. տեղեկագիր. - 1996. - թիվ 2. - 38.

М.К. БАГДАСАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКНЕ МАГНИТОПРОВОДА

Ստացված մագնիսական դաշտի բաշխվածության ճիշդագիտական արտահայտությունները բնութագրում են մագնիսական դաշտի արտերկրյա բաշխմանը տարբեր գծաչափային չափերի, նույնաբանության թափ տարբեր դիրքերի, եռադրոշմ տարբեր կոորդինատների նույնությունը:

Получены выражения распределения магнитного поля, которые описывают характер картины магнитного поля в окне магнитопровода при разных габаритных размерах магнитопровода, положениях проводника с током и разных диаметрах проводника.

Ил.1 Библиогр.; 3 назв.

Magnetic field distribution expressions describing the character of the magnetic field pattern in the magnetic circuit window are obtained in different magnetic circuit overall dimensions, conductor positions with the current and different diameters of the conductor.

Ил. 1. Ref 3.

Исследование и расчет магнитных полей в окне магнитопровода преобразователя тока - достаточно сложная и трудоемкая задача, так как магнитопровод имеет трехмерную форму и ток изменяется во времени. Если рассматривать задачу как статическую, то практически невозможно найти аналитическую функцию от трех неизвестных аргументов. Поэтому приходится принимать такие допущения, при которых магнитное поле с достаточной точностью определялось двумя параметрами в двухкоординатной системе.

Рассматривается методика расчета магнитного поля во внутренней области магнитопровода. Результаты анализа и расчета магнитных полей магнитопровода в основном зависят от способа возбуждения поля, формы и свойств поверхностей, ограничивающих распространение поля, конфигурации сечения проводника с измеряемым током [1].

Исследуемое магнитное поле создается током I с плотностью j . Для определения картины магнитного поля в окне магнитопровода преобразователя тока приняты следующие допущения:

- сталь магнитопровода имеет бесконечно большую магнитную проницаемость;
- начало координаты совпадает с левым нижним углом границы магнитопровода (см. рис.);
- измеряемый ток распределен по сечению проводника с равномерной плотностью j ;
- магнитное поле имеет плоскопараллельную конфигурацию

Целью работы является определение картины распределения магнитного поля в окне магнитопровода ($0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$), создаваемого проводником с измеряемым током, расположенным в точке $x = x_0$, $y = y_0$ (рис.).

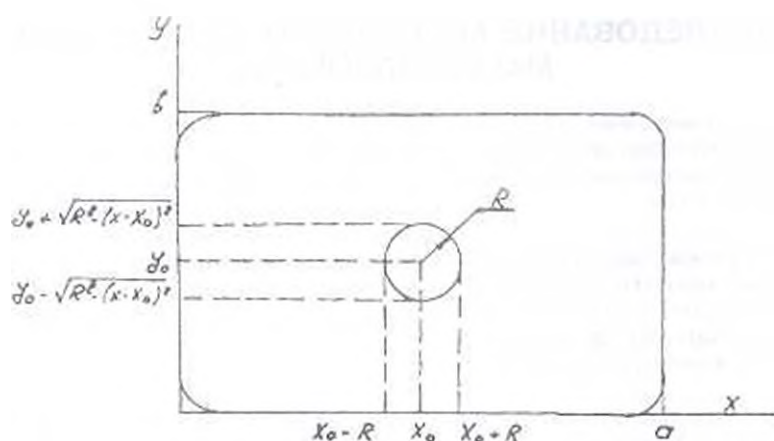


Рис. К расчету картины распределения магнитного поля в окне магнитопровода

Картина магнитного поля прежде всего зависит от геометрической формы и сечения проводника с током. Практический интерес представляет поле, возбужденное проводником круглого и прямоугольного сечений. Определению магнитной индукции проводника прямоугольного сечения посвящено достаточное количество работ [1-3], поэтому в нашей работе большое внимание уделено проводнику круглого сечения радиусом R .

В пространстве между проводниками магнитопроводов (в окне) векторный потенциал $A(x, y)$ удовлетворяет уравнению Пуассона, определяющему поле в области, где протекает ток (местоположение проводника с током), и уравнению Лапласа, которое определяет поле в области, где ток не протекает. При этом задача может быть сведена к решению уравнения Пуассона в декартовых координатах с учетом приведенного ниже условия:

$$\Delta^2 A / dx^2 + d^2 A / dy^2 = -\mu_0 J(x, y), \quad (1)$$

где A - магнитный потенциал; μ_0 - магнитная проницаемость воздуха; x, y - координаты рассматриваемой точки; J - плотность тока.

$$J(x, y) = \begin{cases} J & \text{при } (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq R^2, \\ 0 & \text{при } (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 > R^2, \end{cases} \quad (2)$$

где R - радиус токопроводящего проводника

Найдем алгебраическое уравнение, которое дает полное представление о влиянии различных параметров на исследуемое поле. Для решения уравнения Пуассона применим метод разделения

переменных. Решение для векторного потенциала $A(x, y)$ находим в виде

$$A(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) Y_n(y). \quad (3)$$

Тогда дифференциальное уравнение собственных функций $Y(y)$ будет иметь вид

$$Y_n(y) = C_1 \sin \sqrt{\lambda} y + C_2 \cos \sqrt{\lambda} y. \quad (4)$$

Поскольку в рассматриваемой нами задаче границы исследуемого магнитного поля приняты с бесконечно большой магнитной проницаемостью, поэтому предельные условия могут быть представлены в виде

$$\text{при } x = 0 \quad dA/dx = 0, \quad \text{при } y = 0 \quad dA/dy = 0, \quad (5)$$

$$\text{при } x = a \quad dA/dx = 0, \quad \text{при } y = b \quad dA/dy = 0.$$

Выражение $Y(y)$ определяется путем решения дифференциального уравнения второго порядка с учетом предельных условий (5):

$$Y_n(y) = \cos \pi n y / b. \quad (6)$$

Окончательное выражение магнитного потенциала с применением разложения Хевисайда принимает вид

- при $x_0 - R < x < x_0 + R$:

$$A(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} -4b\mu_n J \cos(\pi n y_0 / b) \cos(\pi n y / b) / (\pi n)^2 \times \\ \times \left[\int_{x_0-R}^x \text{sh}(\pi n(x-\eta)/b) \sin(\pi n \sqrt{R^2 - (\eta - x_0)^2} / b) d\eta + \right. \\ \left. + \text{ch}(\pi n x / b) / \text{sh}(\pi n a / b) \times \right. \quad (7)$$

$$\times \int_{x_0-R}^{x_0+R} \text{ch}(\pi n(a-\eta)/b) \sin(\pi n \sqrt{R^2 - (\eta - x_0)^2} / b) d\eta \Big];$$

- при $0 < x < x_0 - R$:

$$A(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} -(4b\mu_n J / (\pi n)^2) \cos(\pi n y_0 / b) \cos(\pi n y / b) \text{ch}(\pi n x / b) / \\ / \text{sh}(\pi n a / b) \int_{x_0-R}^{x_0+R} \text{ch}(\pi n(a-\eta)/b) \sin(\pi n \sqrt{R^2 - (\eta - x_0)^2} / b) d\eta; \quad (8)$$

- при $a > x > x_0 + R$:

$$A(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} -(4b\mu_n J / (\pi n)^2) (\cos(\pi n y_0 / b) \cos(\pi n y / b) \times \\ \times \left[\int_{x_0-R}^{x_0+R} (\text{sh} \pi n(x-\eta)/b) \sin(\pi n \sqrt{R^2 - (\eta - x_0)^2} / b) d\eta + \right. \quad (9)$$

$$+ \text{ch}(\pi n x / b) / \text{sh}(\pi n a / b) \int_{x_0 - K}^{x_0 + K} \text{ch}(\pi n (a - \eta) / b) \times \\ \times \sin(\pi n \sqrt{R^2 - (\eta - x_0)^2} / b) d\eta \Big].$$

Таким образом, на основании полученных аналитических выражений распределения магнитного поля описывается характер картины магнитного поля в окне магнитопровода при разных габаритных размерах магнитопровода, положениях проводника с током и разных диаметрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бинс К., Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. - М.: Энергия, 1970. - 375 с.
2. Бухгольц Г. Расчет электрических и магнитных полей: Пер. с нем. - М.: Изд.-во иностр. лит., 1971. - 712 с.
3. Тихонов А.Н. Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1972. - 735 с.

ГИУА

03.10.1996

Изв. АН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 3, 1998, с. 338-341

УДК 62-50

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

С.О. СИМОНЯН, П.Э. ГУКАСЯН

РАСЩЕПЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕЙЛОРОВСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Առաջարկվում է գծային դինամիկ համակարգերի ճեղքումն օրգանական տեսակի
ինվերտում գեներացիոն-թեյլորյան ձևափոխությունների վրա: Դիտարկվում է մոդելային
օրինակ

Предложен эффективный метод расщепления линейных динамических систем на основе дифференциально-тейлоровских преобразований. Рассмотрен модельный пример.

Библиогр. 3 назв.

An efficient method of linear dynamic system splitting based on differential-Taylor transformations has been suggested. A model sample has been considered.

Ref. 3

1. Рассмотрим линейную неавтономную задачу Коши, описываемую уравнением движения

$$\dot{x}(t) = A(t) \cdot x(t) + W(t), \quad x(t_0) = fix, \quad (1)$$

где $A(t) = [a_{ij}(t)]; i, j = \overline{1, n}$ - полноранговая матрица порядка n с гладкими элементами; $W(t) = (W_1(t), \dots, W_n(t))$ - вектор возмущающих воздействий размерами $n \times 1$ с гладкими элементами; $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))^T$ - вектор искомого переменных состояния размерами $n \times 1$.

Известно [1], что нахождение аналитического решения этой задачи сводится к определению переходной матрицы $\Phi(t, t_0) = \exp[A(t - t_0)]$ системы (1), что сравнительно легко осуществляется при выполнении хотя бы одного из следующих трех условий:

$$A(t) = A = \text{const} \quad (\text{условие стационарности}), \quad (2)$$

$$A(t) = \text{diag}(a_{ii}(t)) \quad (\text{условие диагональности}), \quad (3)$$

$$A(t) \cdot A(\theta) = A(\theta) \cdot A(t) \quad (\text{условие коммутативности}). \quad (4)$$

Что касается общего случая, то обычно пользуются методами матрицанта или возмущений, вычислительные затруднения при применении которых хорошо известны.

Теперь допустим, что матрица $A(t)$ системы (1) не удовлетворяет ни одному из условий (2), (3) или (4). Используя преобразование подобия

$$x(t) = S(t) \cdot y(t) \quad (5)$$

(где $S(t) = [s_{ij}(t)]; i, j = \overline{1, n}$ - искомая полноранговая матрица порядка n , а $y(t) = (y_1(t), \dots, y_n(t))^T$ - вектор преобразованных переменных состояния размерами $n \times 1$), систему (1) сведем к следующей эквивалентной ей задаче:

$$\dot{y}(t) = [S^{-1}(t) \cdot A(t) \cdot S(t) - S^{-1}(t) \cdot \dot{S}(t)] \cdot y(t) + S^{-1}(t) \cdot W(t), \quad (6)$$

$$y(t_0) = S^{-1}(t_0) \cdot x(t_0). \quad (7)$$

Имея в виду (3), как наиболее целесообразный вариант, допускающий прямое интегрирование, потребуем, чтобы выполнялось условие

$$S^{-1}(t) \cdot A(t) \cdot S(t) - S^{-1}(t) \cdot \dot{S}(t) = A(t) = \text{diag}(\lambda_{ii}(t)), \quad (8)$$

где $A(t)$ - диагональная матрица порядка n с элементами, равными характеристическим числам $\lambda_{ii}(t)$, $i = \overline{1, n}$ матрицы $A(t)$ (иными словами, систему (6) сведем к некоторой гипотетической неавтономной расщепляющейся системе). При этом из (8) легко порождается следующая матричная задача Коши:

$$\dot{S}(t) = A(t) \cdot S(t) - S(t) \cdot A(t), \quad S(t_0) = I, \quad (9)$$

что является частным случаем матричного уравнения Риккати, а точнее - непрерывным аналогом неявного матричного уравнения Сильвестра [2].

Таким образом, исходная задача сводится к определению такой матрицы $S(t_0)$, при которой решение $S(t)$ матричного дифференциального уравнения (9) обеспечивает полное расщепление векторного дифференциального уравнения (6). Поэтому очевидно, что при условии (8) в качестве такой матрицы однозначно должна выступать матрица, составленная из собственных векторов матрицы $A(t_0)$ (ибо при $t=t_0$ задача (1) вырождается в автономную задачу, обладающую отмеченным свойством).

2. При разработке эффективных вычислительных процедур с целью решения различных систем дифференциальных уравнений широкие возможности предоставляют так называемые дифференциально-тейлоровские (ДТ) преобразования [3]:

$$x(t) = \sum_{K=0}^{\infty} \left(\frac{t-t_0}{H} \right)^K X(K) \stackrel{\pm}{=} X(K) = \frac{H^K}{K!} \left(\frac{\partial^K x(t)}{\partial t^K} \right)_{t=t_0}, \quad (10)$$

где $x(t)$ - оригинал; $X(K)$ - изображение (дискрета); H - масштабная постоянная; t_0 - центр аппроксимации; $\pm$ - знак перехода из области оригиналов в область изображений и наоборот.

Систему (9) из области оригиналов переведем в область ДТ-изображений. При этом соответствующая явная спектральная модель имеет вид

$$\frac{K+1}{H} S(K+1) = \sum_{\ell=0}^K A(\ell) S(K-\ell) - \sum_{\ell=0}^K S(\ell) \Lambda(K-\ell), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (11)$$

$$S(0) = S(t_0), \quad (12)$$

согласно которой легко могут быть определены матричные дискреты $S(1), S(2), \dots$.

Явная спектральная модель системы (6)-(8) имеет вид

$$\frac{K+1}{H} Y(K+1) = \sum_{\ell=0}^K \Lambda(\ell) Y(K-\ell) + \sum_{\ell=0}^K S^{-1}(\ell) \cdot W(K-\ell), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (13)$$

$$Y(0) = S^{-1}(t_0) \cdot X(t_0) = S^{-1}(0) \cdot X(0), \quad (14)$$

откуда с учетом (11) и (12) последовательно можно определить векторы $Y(1), Y(2), \dots$.

Что касается определения векторов $X(1), X(2)$, то этого можно легко достичь на основе рекуррентной процедуры, порождающейся явной спектральной моделью

$$X(K) = \sum_{\ell=0}^K S(\ell) \cdot Y(K-\ell), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (15)$$

соответствующей преобразованию подобия (5).

Решение задачи $X(t)$ можно определить согласно (10) с точностью до некоторой конечной суммы ряда Тейлора.

Пример 3):

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ t(2-t) \end{pmatrix}, \quad X_1(0) = 1.$$

Допустив, что $t=0$, имеем

$$\Lambda(0)=\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; \quad \Lambda(K)=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ (-1)^K & 0 \end{bmatrix}, \quad \forall K \geq 1;$$

$$\Lambda_{1,2}(0)=\pm 1; \quad \Lambda_{1,2}(1)=\mp H/2; \quad \Lambda_{1,2}(2)=\pm \frac{3}{8}H^2;$$

$$\Lambda_{1,2}(3)=\mp \frac{15}{48}/H^3, \dots;$$

$$\Lambda_1(t)=1-\frac{1}{2}t+\frac{3}{8}t^2-\frac{15}{48}t^3, \dots; \quad \Lambda_2(t)=-1+\frac{1}{2}t-\frac{3}{8}t^2+\frac{15}{48}t^3, \dots;$$

$$W(0)=\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad W(1)=\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}H; \quad W(K)=\begin{pmatrix} 0 \\ (-1)^{K-1} \cdot \frac{3}{2} \end{pmatrix}H^K, \quad \forall K \geq 2;$$

$$S(0)=\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}; \quad S(1)=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}H; \quad S(2)=\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}0,25H^2, \dots;$$

$$S(t)=\begin{bmatrix} 1+0,25t^2 \dots & 1-0,25t^2 \dots \\ 1-0,25t^2 \dots & -1-0,25t^2 \dots \end{bmatrix};$$

$$Y(0)=\begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix}; \quad Y(1)=\begin{pmatrix} 0,5 \\ -0,5 \end{pmatrix}H; \quad Y(2)=\begin{pmatrix} 3/8 \\ 1/8 \end{pmatrix}H^2, \dots;$$

$$Y(t)=\begin{pmatrix} 0,5+0,5t+\frac{3}{8}t^2 \dots \\ 0,5-0,5t+\frac{1}{8}t^2 \dots \end{pmatrix};$$

$$X(0)=\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad X(1)=\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}H; \quad X(2)=\begin{pmatrix} 0,5 \\ 0 \end{pmatrix}H^2, \dots;$$

Следовательно,

$$x_1(t)=1+t^2/2, \quad x_2(t)=t,$$

что полностью совпадает с решением, полученным в [3, с. 266].

Предложенный метод может быть успешно применен в практических целях, когда решение задачи требуется определить в окрестности начальной точки в простой аналитической форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чаки Ф. Современная теория управления. - М.: Мир, 1975. - 424 с.
2. Simonyan S.H., Goukassyan P.E. On the Method of Matrix Equation // International Conference on "Application of Critical Technologies for the Need's of Society". - Yerevan, 1995. - P.
3. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений. - Киев: Наукова думка, 1984. - 420с.

УДК 658.564:519.83

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

С.Г. КЮРЕГЯН, Н.С. КЮРЕГЯН

ПОИСК ГРАНИЧНЫХ РЕШЕНИЙ ОДНОГО КЛАССА ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Օբյեկտների ավտոմատացված կառավարման համակարգերում որոշ օպտիմալացման խնդիրների լուծման համար առաջարկված է փոփոխականների վերին և ստորին սահմանների սահմանափակումներով մի դասի ոչ գծային ծրագրավորման խնդիրների սահմանային լուծումների որոնման եղանակ:

Предложен метод поиска граничных решений класса задач нелинейного программирования с ограничениями на верхние и нижние пределы переменных для решения некоторых оптимизационных задач в системах автоматизированного управления объектами.

Библиогр.: 3 назв.

A method for searching the boundary solutions of nonlinear programming one class problem with upper and lower bounds on the variables for the units automatized control systems of some optimization problem solution is proposed.

Ref. 3.

В системах автоматизированного управления, управления динамическими объектами с дискретным временем, распределения ресурсов, идентификации параметров, проектирования объектов и т.д. часто возникают задачи класса нелинейного программирования:

$$F(x) = f(x) + \varphi(r_x) \rightarrow \inf_{x \in X^n} F(x), \quad (1)$$

где $x = \{x_i\}$ - n -мерный вектор переменных ($i = \overline{1, n}$); $F(x)$ - целевая функция; $f(x)$ - скалярная, непрерывная, нелинейная, дифференцируемая, выпуклая функция переменной x ; $\varphi(r_x)$ - скалярная функция чисел $r_i = r_i(x_i)$, определяемых постоянными параметрами r_i , ассоциированными с x_i :

$$r_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i = 0, \\ r_i, & \text{если } x_i \neq 0; \end{cases}$$

$\varphi(0) = 0$ (например, $\varphi(r_x) = \sum_{i=1}^n r_i(x_i)$); X^n - допустимая область изменения переменной x в n -мерном пространстве:

$$X_i^n = \{x | g_i(x) \geq 0, i = \overline{1, 2}\} \quad (2)$$

или

$$X_j^n = \{x | h_j(x) = 0, g_j(x) \geq 0, j = \overline{1, 2}\}; \quad (3)$$

$h(x) = a^T x - b = 0$ - функция ограничения типа равенства;
 $g_1(x) = x \geq 0$, $g_2(x) = x_{i_0} - x \geq 0$ - функции ограничений в виде неравенств на нижние и верхние пределы переменных; $a = \{a_i\}$ - матрица-столбец, b - положительное число, такие, что $a_i x_{i_0} \leq b$ и $a^T x_{i_0} - b \geq 0$; индекс "T" означает действие транспонирования;
 $x_{i_0} = \{x_{i_0}\}$ - вектор верхних пределов переменных.

Допустимая область (2) представляет собой пространство, ограниченное гранями n -мерного выпуклого многогранника, ребра которого равны x_{i_0} , а область (3) - выпуклый многоугольник, образованный пересечением плоскости $h(x) = 0$ с n -мерным многогранником.

Предположим, что мы владеем некоторым инструментом, позволяющим определять оптимальные координаты x^* задачи:

$$\min_{x \in X^*} f(x). \quad (4)$$

В частности, в задачах квадратичного программирования таким инструментом может служить метод множителей Лагранжа [1].

Расположение координат x^* в допустимой области X^* не гарантирует минимума функции цели (1), если $\varphi(r_0^*) > \varphi(r_0^0)$, где индекс "0" означает наличие в составе вектора одного и более нулевых компонентов. Тогда необходимо проверить все те граничные оптимальные решения x_r^* задачи (4), в которых одна или несколько переменных x_i принимают нижние граничные значения ($x_i = 0$), а $f(x_r^*)$ принимает свое минимальное значение на данной границе области. Иными словами, задачу можно решить перебором граничных вариантов и сравнением результатов: $\min F = \inf \{F(x^*), F(x_r^*)\}$. Применение известных методов нелинейного программирования [1-3] и существующих стандартных пакетов прикладных программ не даст результата, поскольку получим одно оптимальное решение задачи (4), расположенное либо внутри допустимой области, либо на ее границе. Для получения всех граничных оптимальных решений необходимо каждый раз модифицировать задачу.

Задачу можно существенно упростить, если учесть, что границы допустимой области принадлежат плоскостям рассматриваемой системы координат x . Поскольку для допустимой области X_r^* границами являются прямоугольные грани многогранника, а для X^* - ребра многоугольника, расположенные на этих гранях, то поиск граничных оптимальных решений сводится к двумерной задаче:

$$\min_{x \in X^*} f(x). \quad (5)$$

где $x_1 = [x_p; x_q]^T$ - двумерный вектор переменных $x_p; x_q$, $p, q = \overline{1, n}$, $p \neq q$; X^2 - допустимая область в двумерном пространстве:

$$X_1^2 = \{x_1 | g_j(x_1) \geq 0, j = 1, 2\}, \quad (6)$$

$$X_2^2 = \{x_1 | h(x_1) = 0, g_j(x_1) \geq 0, j = 1, 2\}. \quad (7)$$

$h(x_1) = a_1^T x_1 - b_1 = 0$, $g_1(x_1) = x_1 \geq 0$, $g_2(x_1) = x_{pq} - x_1 \geq 0$, $a_1 = [a_p; a_q]^T$ - матрица-столбец; $b_1 = b - a_1^T x_2$; $a_2 = [a_k]$ - матрица-столбец; $x_2 = \{x_{rk}\}$ - вектор с граничными значениями компонентов ($x_{rk} = 0$) или $x_{rk} = x_{rp}$), $k = \overline{1, n-2}$; $k \neq p$, $k \neq q$. Для определения экстремума двумерной функции (5) можно применить аналитические методы, позволяющие, зачастую, довольно просто рассчитать все граничные оптимальные значения координат: $x_1 = [x_1^*; x_2^*]^T$. В случае задания допустимой области в виде (3) поиск граничных решений следует продолжить и для всех x_1 от трехмерных до $(n-1)$ -мерных.

Для организованного поиска граничных оптимальных решений предлагается следующий алгоритм.

1. Если оптимальное решение x^* располагается внутри допустимой области X^n , то отпадает необходимость определения граничных решений для $x_2 = \{x_{rk}\}$ в силу неизменности $\varphi(x)$ для этих решений. Тогда можно ограничиться определением x_{r0} , включающих граничные оптимальные решения на осях координат ($x_1 = [x_p; 0]^T$; $x_2 = 0$) допустимой области (2), на гранях (6) многогранника или принадлежащие области (7) для всех $x_1 = x_1^*$ (от $(n-2)$ -мерных до одномерных), а также координаты вершин допустимой области (3), лежащие на осях координат. Оптимальное решение задачи (1) необходимо искать среди x^* и найденных x_{r0} , как $\min F = \inf \{F(x^*), F(x_{r0})\}$.

2. Если оптимальное решение x^* не принадлежит допустимой области X^n , то сначала необходимо определить те значения x_{r0} , которые предписывает п.1. Оптимальное граничное решение x_1^* задачи (1) следует искать среди найденных значений x_{r0} , удовлетворяющих условиям $F(x_{r0}) < F(x^*)$: $\min F = \inf F(x_{r0})$. Если же среди найденных значений x_{r0} нет таких, которые удовлетворяли бы указанному неравенству, то поиск оптимального решения следует осуществлять среди граничных решений x_1 для $x_2 = \{x_{rk}\}$: $\min F = \inf F(x_1)$.

Как видно, алгоритм поиска граничных решений для исследуемого класса задач нелинейного программирования довольно прост. Для сравнения отметим, что при решении задач, например

квадратичного программирования используется метод множителей Лагранжа [1, 2], а для поиска граничных решений - методы линейного программирования (метод Вольфа) [3]. При этом приходится многократно решать систему из $n+m$ линейных уравнений с помощью симплекс-алгоритма, соблюдая условия обращения в ноль либо функции ограничения, либо соответствующего множителя Лагранжа, где m - общее количество функций ограничений типа неравенства. В результате получим одно граничное решение x_1^* , которое для задачи (1) может оказаться неоптимальным.

Предлагаемый в работе подход, даже в предусматриваемых случаях перебора вариантов решений на границах, значительно упрощает решение класса задач (1) - (3) и легко поддается программной реализации. Множество решений, получаемое в результате перебора некоторых вариантов, близких к оптимальному, может использоваться в задачах управления с принятием решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. - М.: Мир, 1975. - 534 с.
2. Аоки М. Введение в методы оптимизации. - М.: Наука, 1977. - 344 с.
3. Дегтярев Ю.И. Исследование операций. - М.: Высшая школа, 1986. - 320 с.

ГИУА

04.12.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 3, 1998, с. 345-351

УДК 519.95:681.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В.Г. СААКЯН, Д.А. МОВСЕСЯН, Г.С. КЮРЕГЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Названо исследование информационного обслуживания клиентов информационными системами, а также исследование эффективности размещения информации на серверах в распределенных информационных системах. На основе полученных результатов исследуются временные характеристики и длины очередей в моделируемой системе. Предлагается алгоритм улучшения распределения информации по серверам системы.

Предлагаются методы статистических испытаний для оценки и повышения эффективности размещения информации на серверах в распределенных информационных системах. На основе полученных результатов исследуются временные характеристики и длины очередей в моделируемой системе. Предлагается алгоритм улучшения распределения информации по серверам системы.

Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

The methods of statistic tests for evaluating and increasing the effective information location on servers in distributed networks are suggested. Temporary characteristics and lengths of queues of the modeling system are studied on the basis of data received. The algorithm for improving the information distribution on servers of the system is proposed.

1. Ref. 5.

В настоящее время во многих организациях реализуются локальные информационные системы на основе технологии Intranet (внутреннего фрагмента Internet), используя протоколы и программное обеспечение Internet для своих распределенных информационных систем (РИС). Данная технология предполагает использование протокола с квити́рованием TCP/IP для передачи информации между клиентами и серверами системы. Поскольку, зачастую, информация в подобных распределенных системах накапливается без предварительной оценки ожидаемых временных характеристик ее каналов, то желательно оценивать и улучшать временные характеристики уже действующих систем. Известно, что временные характеристики в распределенных информационных системах существенно зависят от способа размещения информации по ее серверам. При этом необходимо иметь механизм предварительной оценки способов его изменения с тем, чтобы новое размещение улучшало характеристики всей системы в целом. Для систем с квити́рованием, в которых загрузка каналов в определенные промежутки времени может превышать их пропускные способности, использовать методы оценки временных параметров на уровне средних нецелесообразно из-за больших разбросов. Кроме того, функции, характеризующие эффективность подобных систем, как правило, имеют нелинейный характер, что еще больше усложняет исследование подобных моделей аналитическими методами.

В настоящей работе предлагается использовать метод статистических испытаний для оценки и повышения эффективности размещения информации на серверах в распределенных системах. При этом предполагается, что известны топология системы, пропускные способности ее каналов, а также интенсивности обращений клиентов к блокам информации в системе. Рассматриваются процессы передачи информации в распределенной информационной системе, использующей протокол TCP/IP. Оцениваются временные характеристики эффективности размещения информации по серверам РИС, предлагается алгоритм их улучшения.

Для формализации моделируемой информационной системы целесообразно ввести следующие обозначения [1].

Имеется РИС, состоящая из M узлов-клиентов информационной системы - $U_j, j=1, \dots, M$. Под узлами будем понимать элементы РИС, которые хранят, используют и маршрутизируют информацию с временным сохранением транзитных сообщений (пакетов) в буферах очередей (рис.).

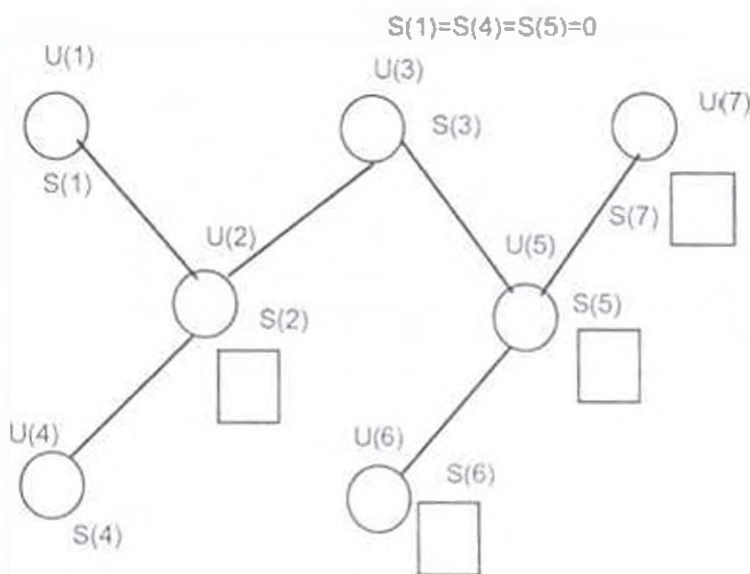


Рис.

В узлах системы имеются однотипные серверы с объемами дискового пространства $S_1, S_2, \dots, S_M, S_i \geq 0, i=1, \dots, M$. Задаются пропускные способности $C = \{c_{ij}\}$ каналов, связывающих узлы распределенной системы, где $c_{ij} > 0$ - пропускная способность канала, связывающего узлы U_i и $U_j, i, j = 1, \dots, M$ ($c_{ij} = 0$, если узлы не связаны между собой).

Информационная система содержит K блоков информации с объемами $V_1, V_2, \dots, V_K, V_i > 0, i=1, \dots, K$ ($\sum S > \sum V$). Интенсивности обращения пользователей узлов к информационным блокам определяются экспериментально или задаются априори. Пусть $a_{ij} \geq 0$ ($i=1, \dots, K, j=1, \dots, M$) - интенсивность пересылки i -го блока пользователям узла j -го узла. Обозначим через $X = \{x_{ij}\}$ способ размещения блоков информации по серверам, где $x_{ij} = 1$, если i -й блок находится на сервере j -го узла, и $x_{ij} = 0$, если i -й блок не находится на сервере j -го узла. Вопрос выбора начального распределения блоков информации по серверам РИС обсуждается, напримр. в [2] и выходит за рамки данной работы.

Введем следующее ограничение на матрицу X каждый блок должен быть размещен на одном из серверов, $\sum_{j=1}^M x_{ij} = 1$. В общем случае суммарный объем размещенных на j -ом сервере блоков не может превышать его объема $\sum_{i=1}^K x_{ij} V_i \leq S_j$. На основе результатов моделирования может приниматься решение о перераспределении дискового пространства серверов РИС.

В качестве целевой функции рассмотрим среднее время передачи информации от серверов к клиентам

$$\tau = \sum_{i=1}^K p_i \tau_i / n \rightarrow \min \quad (i = 1, \dots, K),$$

где t_i - среднее время доставки блока i -го блока ко всем затребовавшим его клиентам; n_i - количество доставок блока информации ко всем клиентам, n - общее количество доставок.

Опишем подробнее процесс моделирования РИС, использующих протоколы TCP/IP и UDP для передачи информации.

Как известно, протокол TCP/IP использует на транспортном уровне передачу информации с коммутацией каналов, а на сетевом уровне по проложенному виртуальному каналу передаются информационные блоки, разбитые на пакеты [3]. Протокол же UDP, используемый для передачи управляющей информации, построен по принципу коммутации сообщений.

Пусть P_{ij} - это последовательность номеров узлов, по которым проходит сообщение из i -го узла в j -й узел. На основе экспериментальных данных определяются функции распределения промежутков времени между запросами к блокам информации i -го типа со стороны i -го узла $F_{ij}(t)$ и интенсивности $\lambda_{ij} \geq 0$ обращения пользователей i -го узла к j -му блоку информации, используемые в дальнейшем для генерации обращений-событий в стохастической модели. Обычно функция $F_{ij}(t)$ имеет экспоненциальный закон распределения. В зависимости от способа распределения информационных блоков по серверам определяются функции распределения промежутков времени между поступлениями запросов к серверам системы $S_{ij}(t) = \sum_{k=1}^K F_{ij}(t|x_k)$. На основе значений $S_{ij}(t)$

вырабатываются моменты запросов $t_1, t_2, t_3, t_4, \dots$ со стороны узлов-клиентов к соответствующим информационным блокам на узлах-серверах системы. Используя характеристики блока, для него порождается процесс передачи от источника (сервера) к адресату (клиенту РИС) - $P_{ij}(V_k)$. Если по истечении некоторого промежутка времени подтверждение не получено, источник передает пакет заново. Виртуальный канал может предоставляться процессам передачи двумя способами:

1. Система без отказов с выделением некоторой доли пропускной способности канала. В этом случае процессы передачи анализируют все каналы на маршруте от источника к адресату и запрашивают некоторую фиксированную долю от свободной пропускной способности каждого канала. По окончании каждого процесса передачи посылаются сигналы всем остальным процессам с тем, чтобы они пересчитали пропускные способности своих каналов с учетом освободившихся каналов.

2. Система с отказами при отсутствии каналов с достаточной пропускной способностью. В этом случае каждый процесс анализирует все каналы на маршруте от источника к адресату, и при наличии достаточной пропускной способности процессу предоставляется данный канал. В противном случае процесс получает отказ на предоставление ему канала и посылает следующий запрос на предоставление ему канала с необходимой пропускной способностью через некоторый промежуток времени. Данная модель

применима в современных сетях передачи информации, где для поддержки некоторых услуг (аудио- и видеоконференции) необходимо наличие каналов с высокой пропускной способностью.

Суммарное время передачи пакета от сервера к клиенту определяется как сумма времен передачи по каждому каналу и времен ожидания в очереди на передачу.

Каждое звено маршрута $i \rightarrow j$ в графе, описывающем топологию системы (рис.), может рассматриваться как система массового обслуживания. Процессы передачи $P_{ij}(V_k)$ последовательно посылают заявки на его использование. При предоставлении виртуального канала по первому способу поступают заявки от активных процессов передачи от серверов к клиентам $P_i(V_k)$ на выделение определенной доли своей пропускной способности. Для каждого нового процесса передачи анализируются все звенья на маршруте от сервера к клиенту и на каждом звене выделяется определенный процент (66%) от свободной доли данного канала. В случае системы с отказами при поступлении заявки $i(P_i(V_k))$ на предоставление максимальной пропускной способности канала анализируются все звенья на маршруте от сервера к клиенту и выбирается звено с наименьшей пропускной способностью. Если его пропускная способность c_{min} не меньше требуемой минимальной пропускной способности канала, то начинается передача информации по заданному каналу. В противном случае заявка на передачу $i(P_i(V_k))$ проверяет звенья маршрута через случайный промежуток времени τ .

Итак, процессу $P_{ij}(V_k)$ предоставляется канал с пропускной способностью $cP_{ij}(V_k)$, равной минимуму из выделенных пропускных способностей. На время передачи $t = V_k / c(P_{ij}(V_k))$ пропускная способность всех звеньев на маршруте $i \rightarrow j$ уменьшается на $c(P_{ij}(V_k))$. По истечении времени соответствующие звенья маршрутов от серверов к клиентам освобождаются.

Если в процессе передачи заявки на предоставление канала по некоторому звену маршрута оно занято, то заявка размещается в очереди соответствующего узла. Выбор очередной заявки на передачу из очереди производится в соответствии с принятой дисциплиной FIFO, LIFO или RS. Если суммарное время передачи пакета (включая время доставки квитанции) превышает заданный предел, то процесс его передачи начинается заново.

В процессе моделирования определяются следующие параметры эффективности системы при заданном размещении информационных блоков по ее серверам P_i : коэффициенты загрузки каналов между ее серверами и клиентами $Z = W + T$ - средние длины очередей в буферах узлов и среднее время задержки при передаче информации по каналу. По известным моментам начала и окончания процесса передач на каждом звене маршрута коэффициент загрузки для каждого канала можно определить по формуле

$$\rho_{ij} = \sum_{i=1, \dots, M} \frac{t_{ij} - n_{ij}}{T},$$

где $i, j = 1, \dots, M$; T - период исследования. Система будет функционировать, если $\rho_{ij} \leq 1$ для всех каналов.

Рассмотрим алгоритм улучшения распределения информации по серверам РИС, перемещающий один блок информации за один шаг. Выбор алгоритма улучшения существенно зависит от начального размещения информационных блоков по серверам РИС [1-4].

Известно, что объем вычислений в подобных задачах дискретной оптимизации возрастает экспоненциально с увеличением размерности задачи [5]. Кроме того, даже при ограничении множества допустимых решений модель весьма чувствительна к изменениям системы. Поэтому целесообразно методом статистических испытаний предварительно оценить те временные характеристики РИС, которые используются при улучшении распределения информации по серверам РИС. В результате моделирования определяются: τ_i - среднее время доставки i -го блока в j -й узел; n_{ij} - количество передач i -го блока в j -й узел; φ_{ij} - среднее время доставки пакета информации по каналу $i \rightarrow j$; n_{il} - количество передач пакетов i -го блока по каналу l (по всем узлам, путь к которым содержит канал l); n_{i0} - количество передач пакетов блока i в самом узле.

Правило улучшения размещения информации по серверам РИС выбираем в соответствии с целевой функцией:

$$\tau = \sum n_i \tau_i / n, \text{ где } n = \sum n_i; n_i = \sum n_{ij}, \tau_i = \sum \tau_{ij}.$$

Рассмотрим последовательность $\{n_i \tau_i\}$, $i=1, \dots, k$, показывающую долю вклада каждого блока в суммарный объем информации, передаваемой в системе за период моделирования.

Расположим величины этой последовательности в убывающем порядке

$$n_{(1)} \tau_{(1)} \geq n_{(2)} \tau_{(2)} \geq \dots \geq n_{(K)} \tau_{(K)}. \quad (1)$$

Обозначим

$$\Phi_i = \varphi_{i(1) \rightarrow (1)},$$

$$K_0 = n_{i(1)},$$

...

$$K_1 = n_{i(2) \rightarrow (1)},$$

$$\Phi_i = \varphi_{i(1) \rightarrow (2)},$$

...

$$K_i = n_{i((1) \rightarrow (j))}.$$

Если $K_i > K_0 + K_1 + \dots + K_{i-1}$, тогда блок i переносится в узел j , в противном случае производится проверка значений K_i для соседних узлов.

Если условие ни для одного из соседних узлов не выполняется, то берется блок l_2 , соответствующий следующему элементу последовательности $\{1\}$, и процесс переноса блока повторяется для соответствующего узла.

Из элементов последовательности $\{1\}$ целесообразно рассматривать не все, а лишь ее первые элементы, которые оказывают существенное влияние на временные характеристики системы, т.е. алгоритм целесообразно завершить после перебора некоторой части p_r элементов последовательности. Правило выбора перемещаемого блока информации допускает небольшие отклонения в худшую сторону (из-за выбора не первого элемента последовательности $\{1\}$) с дальнейшим улучшением ситуации. Поэтому величина p_r должна быть близка к 1: $0,8 < p_r < 1$.

Предложенный алгоритм достаточно эффективен, поскольку информационные системы, построенные на основе технологии Intranet, как правило, имеют в своей основе сети с достаточно простой топологией и сравнительно малым количеством серверов.

В настоящее время продолжаются работы по реализации системы моделирования РИС, построенных на основе технологии Intranet, и улучшению предложенного алгоритма распределения информации по ее серверам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Movsesyan D., Sahakyan V., Shoukourian A. Optimum Allocation of Information in Distributed Information Systems of Networks with Low Loaded Transfer Channels // Proceedings of Conference of Computer Science and Information Technologies.- Yerevan, 1997. - P. 296-298.
2. Гаврилов А.Л., Постельник Д.Я. Задача синтеза информационной архитектуры сети // Информационные технологии -М: Машиностроение, 1997 - № 2. - С. 26-28.
3. Tanenbaum A. Computer Networks. - Engwood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1995. - 374 с.
4. Зайченко Ю.П., Гонга Ю.В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. - Киев: Техника. - 1986 - 167 с.
5. Пападимитроу Х. Комбинаторная оптимизация. - М.: Мир, 1985. -510 с.

ГИУА,

Ин-т проб.инф.и авт. НАН РА

25.12.1997

А.Г. АБРАМЯН

О ФОРМАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

«Դիտարկում» է բնական քիմիական նյութերի վթարային արտանետումների քանակի գնահատման համար տեղիումներ ստիկի բնորոշման դրոճնրացի ձևակառուում սի ստեղծում: Առաջարկվում է ծրագրերի արտոնարանական սխեմաների լեզվով ներգրադաված հաշվարկի ալգորիթմ [4]:

Рассматривается подход к формализации процесса выбора модели для расчета количества аварийных выбросов токсичных веществ из резервуаров на основе некоторых исходных данных. Предлагается алгоритм расчета, записанный с использованием языка логических схем программ [4].

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

An approach to the model selection process formalization for accidental release amount evaluation of toxic chemical substances from the tanks based on certain initial data is developed. The evaluation algorithm with the use of logic programming language is suggested.

Ил. 1. Table 1. Ref. 4.

Для количественной оценки последствий аварийных ситуаций на хранилищах жидких химикатов как на заводах, так и в процессе транспортировки, выбросов с газопроводов и нефтепроводов, необходимо в первую очередь определить величину расхода с использованием известных моделей и на основании некоторых исходных параметров. В настоящее время в системах автоматизированного расчета последствий техногенных катастроф в основном применяется подход, основанный на экспертной оценке параметров выброса.

В настоящей работе предлагается формализованный алгоритм процесса автоматического выбора модели для расчета количества выбросов на основе некоторых исходных данных [1].

Рассмотрим общую структуру алгоритма расчета аварийных выбросов (см. рис.).

Этап А. Согласно введенным данным, рассматриваются параметры резервуара (объем, размеры) и его содержимого ($H_{\text{жид}}$, $M_{\text{жид}}$, $V_{\text{жид}}$), на основании чего рассчитывается давление паров по общеизвестным моделям, описанным в [2, 3].

Этап Б. Выбор метода расчета основан на алгоритме (рис.), вытекающем из основных понятий термодинамики и парожидкостного равновесия (табл.).

Таблица

Условия выбора	Тип выброса
1. $T_{\text{кип}} > T_{\text{окр.}}$, $H_{\text{отв}} > H_{\text{жид}}$	Нет выброса
2. $T_{\text{кип}} > T_{\text{окр.}}$, $H_{\text{отв}} < H_{\text{жид}}$	Истечение по закону Бернулли
3. $T_{\text{кип}} < T_{\text{окр.}}$, $H_{\text{отв}} > H_{\text{жид}}$	Дозвуковой или звуковой паровой/газовый выброс
4. $T_{\text{кип}} < T_{\text{окр.}}$, $H_{\text{отв}} < H_{\text{жид}}$	Парожидкостная смесь

Этап В. Согласно выбору на этапе Б производится расчет на основании описанных ниже моделей.

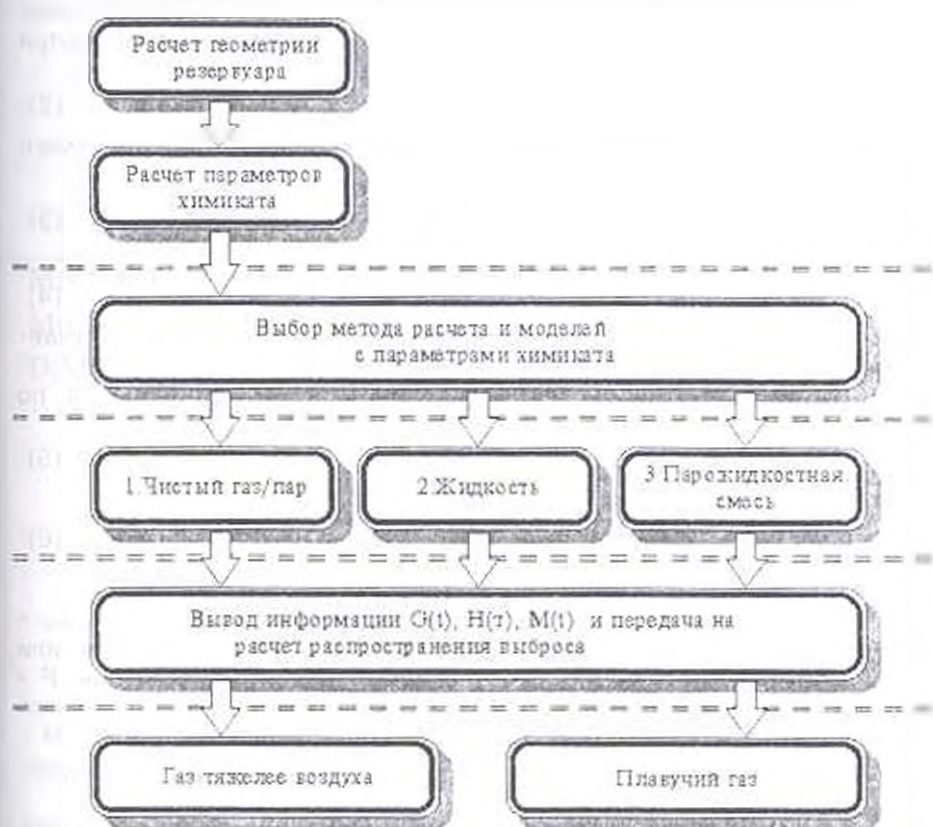


Рис. Структура алгоритма расчета выброса

Модель расчета жидкого выброса. В некоторых случаях возникают выбросы чисто жидкого вещества (рис). Так как описание такого процесса с учетом температуры кипения и давления содержимого достаточно сложно, поэтому рассматривается модель, основанная на классическом методе, описанном еще в работах Бернулли и Торричелли, с некоторыми современными поправками на коэффициент истечения [2, 3]. Уравнение для расчета количества

вещества, истекающего за единицу времени из отверстия в резервуаре, имеет следующий вид:

$$G_{\text{жид}} = C_d A \rho_{\text{жид}} \sqrt{\frac{2(P - P_{\text{окр}})}{\rho_{\text{жид}}} + 2gH_{\text{жид}}}. \quad (1)$$

где $G_{\text{жид}}$ - количество жидкости, вытекающей из отверстия; C_d - коэффициент расхода (0,65...0,98); A - площадь отверстия; $\rho_{\text{жид}}$ - плотность жидкости; P - давление в резервуаре; $P_{\text{окр}}$ - давление окружающей среды; g - ускорение свободного падения; $H_{\text{жид}}$ - высота жидкости над отверстием.

Модель расчета выброса газа/пара. Эта модель используется в случаях, когда имеет место выброс пара. В некоторых случаях скорость истечения струи газа может достигать скорости звука, которая и является максимальной. Для определения типа истечения (дозвуковое или звуковое) используется отношение давлений внутри и снаружи резервуара:

$$\tau = P/P_{\text{окр}}. \quad (2)$$

Если величина τ больше критического значения $\tau_{\text{крит}}$, определяемого по выражению

$$\tau_{\text{крит}} = \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}, \quad (3)$$

где

$$\gamma = C_p/C_v. \quad (4)$$

то имеет место звуковое истечение, а в обратном случае - дозвуковое.

В обоих случаях величина расхода пара определяется по формуле

$$G_{\text{пар}} = \psi C_d A P / a_p. \quad (5)$$

где

$$a_p = \sqrt{\gamma R T / M}. \quad (6)$$

Здесь $G_{\text{пар}}$ - количество пара, истекающего из отверстия; C_d - коэффициент выброса (0,65...0,98); A - площадь отверстия или трубы; ψ - потоковый фактор, зависящий от скорости истечения; P - давление в резервуаре или в трубе; a_p - скорость звука для данного газа при температуре T ; R - универсальная газовая константа; M - молекулярная масса газа; T - температура пара/газа в резервуаре или трубе.

Модель расчета выброса парожидкостной смеси. Данная модель используется для описания выбросов веществ с температурой кипения меньше окружающей. Предполагается, что часть жидкости, истекающей из отверстия, в процессе истечения сразу же испаряется. Одним из подходов к определению закипающей части является предположение о том, что процесс протекает настолько быстро, что может быть принят за адиабатический. На основании этого предположения, принимая температуру постоянной, можно записать уравнение теплового баланса в виде

$$G_{\text{жид}} / G_{\text{пар}} = C_p (T - T_{\text{кип}}) / h, \quad (7)$$

где $G_{жид}$ - количество жидкости, вытекающей из отверстия (по выражению (1)); $G_{кип}$ - количество жидкости, закипающей при истечении; C_p - удельная теплоемкость жидкости (при температуре между T и $T_{кип}$); T - температура жидкости в резервуаре; $T_{кип}$ - температура кипения жидкости при окружающем давлении; h - теплота парообразования жидкости.

Этап Г. Формируются выходные данные (масса вещества, время выброса, средний расход и т.д.) для последующей передачи моделям расчета распространения выброса в атмосфере. При необходимости имеется возможность расчета мгновенных данных $H(t)$, $M(t)$, $Q(t)$ по истечении произвольного промежутка времени с начала выброса и создания таблиц с некоторым шагом.

Для формализации алгоритма введем следующие операторы:

$$A(a,b)=a+b, \quad (8)$$

$$S(a,b)=a-b, \quad (9)$$

$$M(a,b)=a \times b, \quad (10)$$

$$D(a,b)=a/b \quad (11)$$

$$R(a)=\sqrt{a}, \quad (12)$$

$$\bar{N}()=0; \text{ нет выброса.} \quad (13)$$

С использованием (8)-(13) перепишем модели (1), (5) и (7):

$$M(C_p, M(A, M(\rho_{жид}, R(A(D(M(2, S(P, P_{окр}))), \rho_{жид}), M(2, M(g, H_{жид}))))),$$

$$M(C_p, M(\psi, D(M(A, P), a_n))),$$

$$D(M(G_{жид}, M(C_p, S(T, T_{кип}))), h).$$

Определим переменные x , y , z и w следующим образом:

$$x = \begin{cases} 1, & \text{если } T_{кип} > T_{окр} \text{ и } H_{отв} > H_{жид} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (14)$$

$$y = \begin{cases} 1, & \text{если } T_{кип} > T_{окр} \text{ и } H_{отв} < H_{жид} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (15)$$

$$z = \begin{cases} 1, & \text{если } T_{кип} < T_{окр} \text{ и } H_{отв} > H_{жид} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (16)$$

$$w = \begin{cases} 1, & \text{если } T_{кип} < T_{окр} \text{ и } H_{отв} < H_{жид} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (17)$$

Таким образом, используя (14)-(17), сформируем следующие четыре предиката:

$$P_1(x,y,z,w)=x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z} \wedge \bar{w}, \quad P_2(x,y,z,w)=\bar{x} \wedge y \wedge \bar{z} \wedge \bar{w},$$

$$P_3(x,y,z,w)=\bar{x} \wedge \bar{y} \wedge z \wedge \bar{w}, \quad P_4(x,y,z,w)=\bar{x} \wedge \bar{y} \wedge \bar{z} \wedge w.$$

Используя сформированные предикаты, а также модели (1), (5) и (9), записанные с использованием операторов (8)-(11), получим следующий алгоритм расчета при помощи логических схем программ, описанных в [4]:

$$[W, S, H_{\text{ж}}, M_{\text{ж}}, V_{\text{ж}}, P_1(x, y, z, w) \uparrow^1 N() \downarrow^1 P_2(x, y, z, w) \uparrow^2 M(C_{\text{пл}}, M(A, M(\rho_{\text{жпл}}), R(A(D(M(2, S(P, P_{\text{жпл}})), \rho_{\text{жпл}}), M(2, M(g, H_{\text{жпл}})))))) \downarrow^2 P_3(x, y, z, w) \uparrow^3 M(C_{\text{пл}}, M(\psi, D(M(A, P), a_{\text{пл}}))) \downarrow^3 P_4(x, y, z, w) \uparrow^4 D(M(G_{\text{жпл}}, M(C_{\text{пл}}, S(T, T_{\text{жпл}}))), h) \downarrow^4]$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамян А.Г. К автоматизации расчета аварийных выбросов из резервуаров Деп. В АрмНИИНТИ 05.08.98 № 114-Ар98.
2. Hanna S.R., Drivas P.J. Guidelines for use of vapour dispersion models. - New York: American Institute of Chemical Engineers, 1987. - 177 p.
3. Fryer L.S., Kaiser G.D. DENZ - A computer program for the calculation of the dispersion of dense toxic or explosive gases in the atmosphere /SRD R 152 UKAEA. - Culcheth. 1979. - P.
4. Ляпунов А.А. О логических схемах программ // Проблемы кибернетики. Сб.- М.: Гостехиздат, 1957. - Вып. 1. - С. 57-74.

ГИУА

28.01.1998

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 3, 1998, с. 356-360.

УДК 681.515

АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А.В. БАРСЕГЯН

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПОРТФЕЛЕЙ БАНКА

Դափնագրվում է բանկի պորտֆելների կառավարման օպտիմալ կառավարման դինամիկ մոդել, որը ենթադրում է օպերիտու կառավարումների որոշումը, և սկզբունի որոշված, վերջնական եզրանակին հասնելու համար: Որոշվում է օպտիմալության չափանիշը: Լուծարվելու է մոդելի օպերիտու կառավարման ալգորիթը:

Разработана динамическая модель оптимального управления системой портфелей банка. Данная модель предполагает определение оптимальных управлений для достижения требуемой, изначально установленной конечной цели. Определен критерий оптимальности. Предлагается алгоритм оптимального управления модели.

Библиогр.: 2 назв.

A dynamic model for optimal management of the bank portfolios system is developed. This model determines the optimal controls for reaching the required, primary established, finite objective. The optimality criterion is determined. An optimal control algorithm of the model is proposed.

Ref. 2.

$$[W.S.H_{\text{ж}}.M_{\text{ж}}.V_{\text{ж}}.P_1(x,y,z,w)\uparrow^1 N() \downarrow^1 P_2(x,y,z,w)\uparrow^2 M(C_{\text{д}}.M(A.M(\rho_{\text{жн1}}.R(A(D(M(2.S(P.P_{\text{жн2}})),\rho_{\text{жн2}}).M(2,M(g,H_{\text{жн1}}))))))\downarrow^2 P_3(x,y,z,w)\uparrow^3 M(C_{\text{д}}.M(\psi.D(M(A.P).a_{\text{д}})))\downarrow^3 P_4(x,y,z,w)\uparrow^4 D(M(G_{\text{жн1}}.M(C_{\text{р}}.S(T.T_{\text{жн1}}))).h)\downarrow^4]$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамян А.Г. К автоматизации расчета аварийных выбросов из резервуаров Деп. В АрмНИИНТИ 05.08.98 № 114-Ар98.
2. Hanna S.R., Drivas P.J. Guidelines for use of vapour dispersion models.- New York: American Institute of Chemical Engineers, 1987. - 177 p.
3. Fryer L.S., Kaiser G.D. DENZ - A computer program for the calculation of the dispersion of dense toxic or explosive gases in the atmosphere /SRD R 152 UKAEA.- Culcheth 1979 - P.
4. Ляпунов А.А. О логических схемах программ // Проблемы кибернетики. Сб.- М.: Гостехиздат, 1957. - Вып. 1. - С. 57-74.

ГИУА

28.01.1998

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 3, 1998, с. 356-360.

УДК 681.515

АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А.В. БАРСЕГЯН

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПОРТФЕЛЕЙ БАНКА

Դափնագրվում է բանկի պորտֆելների կառավարման օպտիմալ կառավարման դինամիկ մոդել, որը ենթադրում է օպերիտու կառավարումների որոշումը, և սկզբունի որոշված, վերջնական եզրանակին հասնելու համար: Որոշվում է օպտիմալության չափանիշը: Լուծարվելու է մոդելի օպերիտու կառավարման ալգորիթը:

Разработана динамическая модель оптимального управления системой портфелей банка. Данная модель предполагает определение оптимальных управлений для достижения требуемой, изначально установленной конечной цели. Определен критерий оптимальности. Предлагается алгоритм оптимального управления модели.

Библиогр.: 2 назв.

A dynamic model for optimal management of the bank portfolios system is developed. This model determines the optimal controls for reaching the required, primary established, finite objective. The optimality criterion is determined. An optimal control algorithm of the model is proposed.

Ref. 2.

Как известно, социально-экономическая ситуация переходного периода экономики обуславливает крайнюю неустойчивость финансового рынка. В таких условиях банки, являясь неотъемлемой частью экономики каждой страны, сталкиваются с проблемами стратегического планирования и, как следствие, оптимального управления активами, пассивами и ликвидностью. С этой точки зрения, необходимым является разработка эффективных методов и инструментов для разрешения вышеуказанных проблем.

Описание модели. Введем следующие обозначения: $A=(A_1, \dots, A_k)$ и $B=(B_1, \dots, B_n)$ - векторы активов (распределенные средства) и пассивов (привлеченные средства) банка; $G=(G_1, \dots, G_k)$ и $H=(H_1, \dots, H_n)$ - доходности (процентные ставки) активов и процентные ставки пассивов, устанавливаемые банком; $G^*=(G_1^*, \dots, G_k^*)$ и $H^*=(H_1^*, \dots, H_n^*)$ - средние рыночные значения процентных ставок активов и пассивов; $E(t)$ - коэффициент резервации в фонд вероятных кредитных потерь, зависящий от степени просроченности кредита; R_i - нормативный коэффициент риска для каждого типа активов; C и C' - собственный и основной капиталы банка; $A'=(A'_1, \dots, A'_c)$, $B'=(B'_1, \dots, B'_m)$ и $A''=(A''_1, \dots, A''_s)$ - векторы высоколиквидных активов, средств до востребования и резервов в Центральном Банке соответственно; q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 - нормативы, устанавливаемые Центральным Банком.

Отметим, что процентные ставки зависят как от типов распределенных и привлеченных средств, так и от их срочности.

В математической постановке задачи оптимального планирования системы портфелей банка требуется найти неизвестные векторы активов A и пассивов B банка, максимизирующие линейную форму прибыли системы портфелей [1]:

$$Z(A, B) = [\sum A_k G_k - \sum B_n H_n] \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях

$$A_k \geq 0, B_n \geq 0, G_k \geq 0, H_n \geq 0, \quad (2)$$

при условии балансового ограничения

$$\sum A_k \leq \sum B_n + C, \quad (3)$$

при собственных лимитах банка

$$A_{k, \min} \leq A_k \leq A_{k, \max} \text{ и } B_{n, \min} \leq B_n \leq B_{n, \max} \quad (4)$$

и при ограничениях, устанавливаемых Центральным Банком:

$$P_1 = C/q_1 - \sum A_k R_k \geq 0, \quad (5)$$

$$P_2 = C'/q_2 - \sum A_k R_k \geq 0, \quad (6)$$

$$P_3 = \sum A'_i - q_3 \sum A_k \geq 0, \quad (7)$$

$$P_4 = \sum A'_i - q_4 \sum B'_m \geq 0, \quad (8)$$

$$P_5 = \sum A''_i - q_5 \sum B''_s \geq 0, \quad (9)$$

где P_1 и P_2 - нормативы адекватности общего и основного капиталов; P_3 и P_4 - нормативы ликвидности; P_5 - ограничение на резервы в ЦБ.

В данной работе вопрос рисковости активов не рассматривается, т.е. $R_k=1$. Примем также $C=C'$. Тогда ограничения (5) и (6) примут вид

$$P_1 = C/q_1 - \sum A_k \geq 0 \text{ и } P_2 = C/q_2 - \sum A_k \geq 0. \quad (10)$$

Ограничения (10) определяют величину увеличения (если $P_1 > 0$ и $P_2 > 0$) или уменьшения (если $P_1 < 0$ или $P_2 < 0$) общей суммы активов, взвешенных по риску, и ограничение вида

$$L = \min(P_1, P_2) \geq 0, \quad (11)$$

а ограничения (7)-(9) определяют величину дефицита (если $P_3 < 0$ или $P_4 < 0$ или $P_5 < 0$) или излишка средств (если $P_3 > 0$ и $P_4 > 0$ и $P_5 > 0$):

$$P = \min(P_3, P_4, P_5) \geq 0. \quad (12)$$

Доходность каждого типа активов G_k и норма процентных расходов по каждому типу пассивов H_n определяются в виде

$$G_k = U_{k\Delta t_k} / (\Delta t_k A_k), \quad H_n = W_{n\Delta t_n} / (\Delta t_n B_n),$$

где $U_{k\Delta t_k}$ - доход k -го типа активов величиной A_k за время Δt_k , а $W_{n\Delta t_n}$ - процентный расход n -го типа пассивов величиной B_n за время Δt_n .

Изменение собственного капитала (прибыли) определяется в виде:

$$\Delta C = \sum_k \frac{U_{k\Delta t_k}}{\Delta t_k A_k} A_k \Delta t_k - \sum_n \frac{W_{n\Delta t_n}}{\Delta t_n B_n} B_n \Delta t_n - \sum_k A_k E_k$$

$$\text{или } \Delta C = \sum_k A_k (G_k \Delta t_k - E_k) - \sum_n H_n B_n \Delta t_n.$$

Умножим числитель и знаменатель на Δt :

$$\Delta C = \sum_k A_k \left(G_k \frac{\Delta t_k}{\Delta t} \Delta t - \frac{E_k}{\Delta t} \Delta t \right) - \sum_n H_n B_n \frac{\Delta t_n}{\Delta t} \Delta t.$$

Введем обозначения:

$$\frac{\Delta t_k}{\Delta t} = \alpha_k, \quad \frac{\Delta t_n}{\Delta t} = \beta_n, \quad \frac{E_k}{\Delta t} = f_k(\alpha_k),$$

где α_k и β_n - нормы времени по доходности актива A_k и процентному расходу пассива B_n соответственно. Разделив обе части уравнения на Δt , получим уравнение, описывающее динамику изменения собственного капитала или прибыли банка:

$$\dot{C} = \sum_k A_k (G_k \alpha_k - f_k(\alpha_k)) - \sum_n H_n B_n \beta_n. \quad (13)$$

где $\dot{C}$ - производная функции C по времени.

Величина изменения привлеченных средств ΔB_n в каждый момент времени t находится в функциональной зависимости от процентной ставки H_n , устанавливаемой самим банком, существующего рыночного значения H_n^* и совокупного рыночного предложения средств данного типа S_n .

$$\Delta B_n = F_n^S[H_n, H_n^*, S_n, t], \quad (14)$$

где ΔB_n является частью S_n .

Величина изменения распределенных средств ΔA_k в каждый момент времени t находится в функциональной зависимости от процентной ставки G_k , устанавливаемой самим банком, существующего рыночного значения G_k^* и совокупного рыночного спроса средств данного типа D_k :

$$\Delta A_k = F_k^D[G_k, G_k^*, D_k, t], \quad (15)$$

где ΔA_k является частью D_k .

Балансовое ограничение, задаваемое функциями спроса (14) и предложения (15), в каждый момент времени t без учета временной структуры активов и пассивов имеет вид

$$\sum_n \Delta F_n^S[H_n, H_n^*, S_n, t] = \sum_k \Delta F_k^D[G_k, G_k^*, D_k, t]. \quad (16)$$

Из ограничений (2), (4) и зависимостей (14), (15) следует система ограничений:

$$G_{k, \text{min}} \leq G_k \leq G_{k, \text{max}} \text{ и } H_{n, \text{min}} \leq H_n \leq H_{n, \text{max}} \quad (17)$$

Пусть $\Delta = [0 = t_0 < t_1 < \dots < t_{i-1} < t_i < \dots < t_n = T]$ - некоторое разбиение отрезка $[0, T]$ и

$$G_{k, \Delta} = (G_{k,0}^*, \dots, G_{k,i-1}^*, \dots, G_{k,i}^*), \quad H_{n, \Delta} = (H_{n,0}^*, \dots, H_{n,i-1}^*, \dots, H_{n,T}^*),$$

$D_{k, \Delta} = (D_{k,0}, \dots, D_{k,i-1}, \dots, D_{k,T})$, $S_{n, \Delta} = (S_{n,0}, \dots, S_{n,i-1}, \dots, S_{n,T})$ - прогноз рыночных значений процентных ставок G_k^* и H_n^* , а также совокупного рыночного спроса D_k и предложения S_n средств на отрезке $[0, T]$. Представим временную структуру распределенных и привлеченных средств в виде

$$A_\Delta = (\sum_{t=t_0} A_k(t), \dots, \sum_{t=t_{i-1}} A_k(t), \dots, \sum_{t=t_i} A_k(t), \dots, \sum_{t=T} A_k(t)), \quad (18)$$

$$B_\Delta = (\sum_{t=t_0} B_n(t), \dots, \sum_{t=t_{i-1}} B_n(t), \dots, \sum_{t=t_i} B_n(t), \dots, \sum_{t=T} B_n(t)), \quad (19)$$

где A_Δ - распределение по срокам возврата материнских сумм активов; B_Δ - распределение по срокам погашения материнских сумм пассивов на отрезке $[0, T]$.

Допустим, что в некоторый момент времени $t_i \in [0, T]$ имеем первый, ближайший к моменту t_0 отрицательный баланс между возвращаемыми активами с ожидаемой прибылью и погашаемыми пассивами, т.е.

$$\sum_{t=t_0} A_k(t) + \sum_{t=t_0} C(t) - \sum_{t=t_0} B_n(t) \leq 0.$$

С целью обеспечения ликвидности в момент времени $t_i \in [0, T]$ требуется сохранение баланса на отрезке $[0, t_i]$ между суммой возвращаемых активов A_Δ (18), новых привлеченных средств ΔF_S (14) с учетом прибыли C (13) и суммой погашаемых пассивов B_Δ (19), новых распределенных средств ΔF_D (15), т.е.

$$\sum_{t=0} A_k(t) + \sum_{t=0} \Delta F_n^S = \sum_{t=0} C(t) \geq \sum_{t=0} B_n(t) + \sum_{t=0} \Delta F_k^D, \quad (20)$$

а также выполнение ограничений (11) и (12).

Собственный капитал банка находится в функциональной зависимости от управлений, которые обозначим через

$$v_1^1 = G_1, \quad v_1^2 = \alpha_1, \quad v_n^1 = H_n, \quad v_n^2 = \beta_n.$$

Тогда уравнение движения примет вид

$$\dot{C}(t) = \sum_k [A_k(v_k^1 v_k^2 - f(v_k^2))] - \sum_n [v_n^1 v_n^2 B_n]$$

с начальными условиями

$$A_k(0) = A_{k,0} \text{ или } v_k^1(0) = v_{k,0}^1, \quad G_k(0) = G_{k,0} \text{ или } v_k^2(0) = v_{k,0}^2,$$

$$B_n(0) = B_{n,0} \text{ или } v_n^1(0) = v_{n,0}^1, \quad H_n(0) = H_{n,0} \text{ или } v_n^2(0) = v_{n,0}^2.$$

Постановка задачи. Пусть в конце периода T запланировано значение капитала C^* . Положим расстояние между текущим значением капитала $C(t)$ в момент времени $t \in [0, T]$ и планируемым C^* равным

$$d(C(t), C^*) = \sqrt{[C(t) - C^*]^2}. \quad (21)$$

Определим критерий оптимальности [2] в виде

$$J = d(C(t), C^*) \rightarrow \min.$$

Таким образом, имеем задачу оптимального управления, где требуется найти управления $v_1^1, v_1^2, v_n^1, v_n^2$, в каждый момент $t \in [0, T]$, минимизирующие функционал качества (21) при ограничениях (2), (11), (12), (17), (20).

Алгоритм решения. Алгоритм решения задачи основан на методах случайного поиска, изложенных в [2].

1. Для каждого текущего момента $t \in [0, T]$ до следующего момента t_{i+1} определить управления $v_1^1, v_1^2, v_n^1, v_n^2$, минимизирующие функционал качества (21) при ограничениях (2), (11), (12), (17), (20). Если в результате генерации N случайных шагов текущее значение минимума не улучшено, то производится переход к следующему шагу алгоритма. В случае попадания текущего минимума в заранее заданную область $[C^* - \varepsilon; C^* + \varepsilon]$ в окрестности запланированной точки C^* производится останов алгоритма.

2. Перейти к следующему моменту времени t_{i+1} .

3. Если $t_{i+1} < T$, то перейти к шагу 1. Иначе - останов алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цисарь И.Ф., Чистов В.П., Лукьянов А.И. Оптимизация финансовых портфелей банков, страховых компаний, пенсионных фондов. - М.: Дело, 1998 - 128 с.
2. Мхитарян В.А., Аракелян А.А. Проектирование системы для экологического мониторинга и управления лесными ландшафтами. - Ереван: Нуна Тапан, 1997 - 199 с.

В.В. БУНИАТЯН, Р.Р. РАГАНЯН

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ИПД С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЛЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Տեսադրուվել է բախրային տիրույթում խտանությունների էքսպոնենցիալ բաշխման ազդեցությունը խմբեման-թողչային դիոդների բարձր եռախաղարկային բնութագրերի վրա: Ապացուցվել է, որ խտանությունների բաշխման տեղափոխությունը որոշակի պայմաններում նախաանգամ 1 բարձրակի արմատով բազմանական դիֆերենցիալ մեծացումներ:

Проведено исследование малосигнальных характеристик полупроводниковых инжекционно-пролетных диодов при наличии экспоненциального распределения легирующих примесей в пролетном участке. Показано, что при определенных условиях градиент распределения примесей приводит к увеличению динамического отрицательного сопротивления (ДОС) по абсолютной величине.

Ил. 2. Библиогр. 6 назв.

Microwave BARITT diode characteristics with exponential doping density in transit-time region are examined. It is shown that the negative resistance effects are increased under the exponential profile of doping density.

Ил. 2. Ref. 6.

Несмотря на то, что активные свойства инжекционно-пролетных диодов (ИПД) в основном определяются пролетными эффектами, они в значительной степени зависят от состояния инжектирующего контакта, распределения атомов примеси, дислокации, центров захвата в пролетной области и т.п. Отклонение этих параметров от требуемых значений для нормального функционирования ИПД приводит к изменению скорости инжекции, скорости дрейфа в пролетной области, плотности среднего тока, времени пролета. Эти изменения влияют на статические и динамические характеристики прибора. Например, влияние уровней прилипания (УП) на ВЧ характеристики ИПД рассмотрено в [1-3].

Целью настоящей работы является исследование влияния неравномерного (экспоненциального) распределения легирующих примесей по длине пролетного промежутка на динамические характеристики ИПД.

Рассмотрим p^+-n-p^+ - кремниевую структуру (рис. 1а), где предполагается, что в пролетной области n -типа имеется градиент концентрации легирующих примесей. Предположим, что концентрация примесей в n -базе изменяется по закону (рис. 1б):

$$N(x) = N_0 e^{\alpha x}, \quad 0 \leq x \leq L, \quad (1)$$

где N_0 - поверхностная концентрация доноров в плоскости $x=0$; α (см^{-1}) - коэффициент, определяющей градиент концентрации примесей, x - текущая координата.

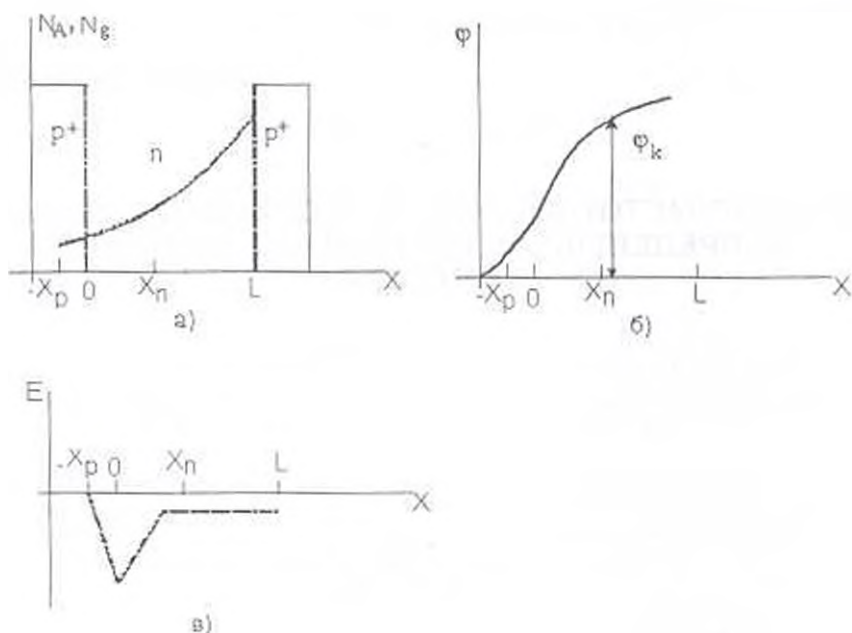


Рис. 1 Распределение примесей (а), потенциала (б) и напряженности поля (в) в p^+-n-p^+ - структуре при $U=0$

Неоднородность легирования примесей создает дрейфовое (встроенное) внутреннее поле, которое имеет обратное направление по отношению к приложенному извне полю смещения диода, и, следовательно, может повлиять на величины скорости инжектированных дырок, т.е. на ВЧ характеристики ИПД.

Малосигнальные характеристики. Если к диоду приложены постоянное смещение U_n (необходимое для смыкания переходов) и малый переменный сигнал с амплитудой U_1 и частотой ω , то дырки, инжектируя через потенциальный барьер, в окрестности нулевого (или низкого) значения напряженности внешнего поля будут испытывать "тормозящее" воздействие внутреннего статического поля до тех пор, пока внешнее поле не станет быстро расти. Тогда уравнения полного тока и Пуассона для постоянных составляющих имеют вид

$$\begin{aligned} J_0 &= q p_0 V_0, & \epsilon_1 dE_0 / dx &= q(P_0 + N_2(x)), \\ J_n &= q p_n V_0, & \epsilon_1 dE_1 / dx &= q(P_n + n(x)). \end{aligned} \quad (2)$$

для переменных составляющих -

$$J_1 = q p_0 V_1 + q p_1 V_0 + j \omega \epsilon_1 E_1, \quad \epsilon_1 dE_1 / dx = q p_1, \quad (3)$$

где J_0 , J_1 - плотности постоянного и переменного токов; E_0 , E_1 - напряженности постоянного и переменного полей; V_0 - средняя скорость дырок в n - области; V_1 - переменная составляющая скорости; P_1 , P_0 - переменная и постоянная составляющие концентрации инжектированных дырок.

Используя методику расчета ВЧ характеристики ИПД [2], для уравнения движения дырок в пролетном пространстве получим выражения, справедливые для обоих случаев при условии $\alpha \exp(\alpha x) \ll 1$:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} - \omega_i e^{\alpha x} \frac{dx}{dt} = \frac{\mu_p J_0}{\epsilon_1}, \quad (4)$$

где μ_p - подвижность дырок при слабых полях; $\omega_i = q\mu_p N_A / \epsilon_1$.

Нелинейное уравнение (4) при замене $x = \ln y / \alpha$ сводится к уравнению Бернулли. Учитывая, что $dx/dt|_{x=0, t=0} = V_{os}$, где V_{os} - скорость дырок в инжектирующей плоскости, получим

$$y' - \omega_i y^2 - \alpha y \left(\alpha t + V_{os} - \frac{\omega_i}{\alpha} \right) = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) с использованием приближения

$$\exp \left(\alpha \left[\frac{\alpha t^2}{2} + \left(V_{os} - \frac{\omega_i}{\alpha} \right) t \right] \right) \cong 1 + \alpha \left[\frac{\alpha t^2}{2} + \left(V_{os} - \frac{\omega_i}{\alpha} \right) t \right]$$

имеет вид

$$x \cong \frac{\alpha t^2}{2} + \left(V_{os} - \frac{\omega_i}{\alpha} \right) t - \frac{1}{\alpha} \ln \left[1 - \omega_i t - \frac{\omega_i \alpha t^2}{2} \left(\frac{\alpha t}{3} + V_{os} - \frac{\omega_i}{\alpha} \right) \right]. \quad (6)$$

В уравнениях (4)-(6) начало времени t соответствует мгновению, когда носители заряда покидают плоскость инжекции ($x=0$), а время пролета T соответствует $x=L$, где

$$T \cong \int_0^L dx / V_0. \quad (7)$$

Так как в ИПД структурах $T \leq 10^{-10}$ с, то, пренебрегая в (6) членами, содержащими t^2 и t^3 , и используя разложение $\ln(1 - \omega_i t) \cong -\omega_i t - \omega_i^2 t^2 / 2$, для скорости дырок V_0 в пролетном пространстве получим

$$V_0 \cong \frac{\mu_p J_0}{\epsilon_1} t + \frac{\omega_i^2 t}{\alpha} + V_{os}. \quad (8)$$

Если доноры в пролетном пространстве распределены равномерно, то выражение для V_0 имеет вид [2,3]

$$V_0 \cong \frac{\mu_p J_0}{\epsilon_1 \omega_i} [\cosh \omega_i t - 1] + V_{os} e^{\omega_i t}. \quad (9)$$

Из (8) и (9) следует, что при прочих равных условиях скорость, вычисленная из выражения (8), в несколько раз меньше, чем таковая из (9), т.е. при неравномерном легировании примесей в пролетном участке происходит уменьшение скорости инжектированных дырок по сравнению с равномерным легированием.

Используя (7) и соотношения

$$E_1 = -\frac{1}{V_0} \frac{dU_1}{dt}, \quad V_0 \frac{dE_1}{dx} = -\frac{1}{V_0} \left[\frac{d^2 U_1}{dt^2} - \frac{1}{V_0} \frac{dV_0}{dt} \frac{dU_1}{dt} \right],$$

$$\frac{1}{V_0} \frac{dV_0}{dt} = \mu_p \frac{dE_0}{dx} = \frac{\mu_p}{\epsilon_1} (qP_0 + qN_f(x)),$$

из уравнения (3) получим

$$\frac{d^2 U_1}{dt^2} + (j\omega - \omega_1) \frac{dU_1}{dt} = -\frac{V_0 J_1}{\epsilon_1}. \quad (10)$$

Первое интегрирование (10) дает

$$\frac{dU_1}{dt} + (j\omega - \omega_1) U_1 = -\frac{J_1}{\epsilon_1} x(t) + C_1. \quad (11)$$

Постоянная интегрирования C_1 определяется из следующих начальных условий: при $x=0$, $U_1=0$, $C_1 = (dU_1/dt)_{x=0, t=0}$.

Так как

$$dU_1/dt = -(dU_1/dx)(dx/dt), \text{ то } C_1 = -V_{os} E_{is}, \quad (12)$$

где E_{is} - напряженность переменного поля в плоскости инжекции.

Учитывая, что переменное малосигнальное поле в плоскости инжекции модулирует только скорость носителей заряда и ток частиц J_{ips} в этой плоскости находится в фазе с локальным полем E_{is} [4], для J_{ips} имеем $J_{ips} = \sigma E_{is}$, где σ - эффективная малосигнальная проводимость инжектирующего контакта.

Так как в плоскости инжекции $J_0 = q\rho_{os} V_{os}$, где ρ_{os} , V_{os} - средняя плотность и скорость носителей заряда в плоскости инжекции, то для σ имеем $\sigma = \mu_p J_0 / V_{os}$.

Полный переменный ток в плоскости инжекции равен сумме токов частиц и смещения: $J_1 = J_{ips} + j\omega\epsilon_1 E_{is}$. Следовательно, $E_{is} = J_1 / (\sigma + j\omega\epsilon_1)$.

Тогда для уравнения (11) получим

$$\frac{dU_1}{dt} + (j\omega - \omega_1) U_1 = -\frac{J_1}{\epsilon_1} \left[x(t) + \frac{\epsilon_1 V_{os}}{\sigma + j\omega\epsilon_1} \right]. \quad (13)$$

В рамках принятых допущений (8) для $x(t)$ воспользуемся выражением

$$x(t) \cong \frac{\mu_p J_0}{2\epsilon_1} t^2 + \frac{\omega_1^2 t^2}{2\alpha} + V_{ost}. \quad (14)$$

Интегрируя уравнение (13) при граничных условиях $x=0$, $t=0$, $U_1=0$, получим выражения для U_1 . Представим малосигнальный импеданс Z в виде

$$Z = -U_1 / (J_1 S) = R + jX, \quad (15)$$

где S - сечение прибора; R , X - активная и реактивная составляющие импеданса. В частности, выражение для активной составляющей R имеет вид

$$R \equiv \frac{T}{\varepsilon_1 S d_0} \left\{ \frac{2T^3 d\theta}{d_2} (d_1 - 2\theta\theta_1) - \frac{\theta_1}{2} \left(\frac{\mu_p J_0 T^2}{\varepsilon_1} + \frac{\theta_1^2}{\alpha} \right) - V_{os} \theta_1 T + \right. \\ \left. + d_3 \left[\frac{2dT^3}{d_0^3} (d_1^2 - 4\theta^2 \theta_1^2) - \frac{V_{os} d_1 T}{d_0} - \frac{\theta_s V_{os} T (\theta_1 + \theta\theta_s)}{\theta(1+\theta_s^2)} \right] - \right. \\ \left. - d_4 \left[\frac{8d\theta\theta_1 T^3}{d_0^3} - \frac{2\theta V_{os} \theta_1 T}{d_0} - \frac{\theta_s V_{os} T (\theta - \theta_1 \theta_s)}{\theta(1+\theta_s^2)} \right] \right\},$$

где

$$d = \frac{\mu_p J_0}{2\varepsilon_1} + \frac{\omega_1^2}{2\alpha}, \quad d_0 = \theta_1^2 + \theta^2, \quad d_1 = \theta_1^2 - \theta^2, \quad \theta_1 = \omega_1 T, \quad \theta_s = \frac{\omega E}{\sigma},$$

$\theta = \omega T$ - угол пролета, $d_2 = (d_1^2 + 4\theta^2 \theta_1^2)$, $d_3 = 1 - \exp \theta_1 \cos \theta$,
 $d_4 = \exp \theta_1 \sin \theta$.

Для удобства анализа представим R в виде $R = R_1 + R_2$, где

$$R_1 \equiv \frac{T}{\varepsilon_1 S d_0} \left\{ \frac{2dT^3 \theta}{d_2} (d_1 - 2\theta\theta_1) + d_1 (d_1^2 - 4\theta^2 \theta_1^2) \frac{2dT^3}{d_0^3} - \frac{8d_4 \theta \theta_1 T^3}{d_0^3} \right\},$$

$$R_2 \equiv \frac{T}{\varepsilon_1 S d_0} \left\{ d_4 \left[\frac{2\theta V_{os} \theta_1 T}{d_0} - \frac{\theta_s V_{os} T (\theta_1 - \theta\theta_s)}{\theta(1+\theta_s^2)} \right] - \right. \\ \left. - d_1 \left[\frac{V_{os} d_1 T}{d_0} + \frac{\theta_s V_{os} T (\theta_1 + \theta\theta_s)}{\theta(1+\theta_s^2)} \right] - \frac{\theta_1}{2} \left(\frac{\mu_p J_0 T^2}{\varepsilon_1} + \frac{\theta_1^2}{\alpha} \right) - \theta_1 V_{os} T \right\}.$$

Анализ и численные расчеты показывают, что составляющая R_1 пренебрежимо мала по сравнению с R_2 . Составляющая R_2 принимает отрицательное значение в интервалах угла пролета $\pi/2 < \theta < 2\pi$, причем величина R_2 по абсолютному значению в пять раз выше соответствующей составляющей R_B для равномерно легированной п-области [3-6].

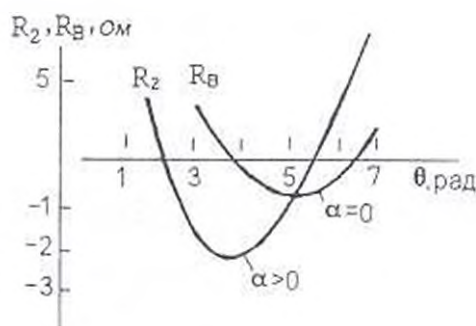


Рис. 2. Зависимость R_2 и R_B от угла пролета θ

Приведены результаты численных расчетов (рис.2) для типичных p^+-n-p^+ -кремниевых ИПД с параметрами: $\mu_n \approx 450 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $V_{\text{ос}} \approx 9 \cdot 10^5 \text{ см/с}$, $J_0 \approx 10 \text{ А/см}^2$, $S \approx 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$, $L \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, $T \approx 0,3 \cdot 10^{-10}$, $\theta_s \approx 0,186$, $N_s \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $N_s(L) \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (значению $N_s(L)$ соответствует $\alpha \approx 1,34 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$). Показана зависимость $\eta_{\text{в}}$ (соответствует кривой $\alpha=0$) от угла пролета θ (рис.2). Как видно, при наличии градиента легирующих примесей в пролетном участке ДОО по абсолютной величине увеличивается, а частотный диапазон смещается в область более низких частот.

Таким образом, с помощью выбора соответствующего профиля легирования примесей в n -области можно в ИПД структурах в определенных условиях увеличить ДОО по абсолютной величине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян В.М., Буниatian В.В. Инжекционно-пролетные диоды / ЕГУ. - Ереван, 1986. - 226с.
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. Арутюнян В.М., Буниatian В.В. ВЧ характеристики ИПД с неоднородно распределенной примесью в пролетной области // Тез. докл.1-й Нац. конф. "Полупроводниковая микроэлектроника", 22-23 мая, Дилижан /ЕГУ. -1997.-С.95-99.
4. 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.
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. Eknoyan O., Sze S.M. and Yang E.S. Microwave BARITT diode with retarding field // Sol. St. Electron.- 1977. - V.20, № 4. - P.285-291.

ГИУА

13.08.1997

Изд. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН). - Т. LI, № 3, 1998, с. 366 - 371.

ՀՏՊ 681.325.6

ՌԱԴԻՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

Ա. Ս. ՍԿՐՏՅԱՆ

ՖՈՐՄԱԼ ՆԵՅՐՈՆԻ SSS ԻՆՏԵՐԱԼ ՍԻՆՏԵՍԱՆ

Գիտարկվում է ֆորմալ նեյրոնի էլեկտրական սխեման, ուրը մուտքային - ելքային տրանզիստորային մակարդակներով լիովին համատեղելի է ավանդական տրանզիստորա-տրանզիստորային տրանզարանական (SSS) սխեմաների հետ, իր մեջ զուգակցում է SSS էմիտերային զուգակցված տրանզարանական (էԿՏ) սխեմաների արանձնահատկությունները (սխեմայի է գոյություն ունեցող տեխնոլոգիաներով ինտեգրալ իրականացման համար

Рассматривается электронная схема формального нейрона, которая по входным и выходным логическим уровням полностью совместима с традиционными ТТЛ схемами, сочетая в себе достоинства ТТЛ и ЭСЛ схем, и пригодна для интегрального исполнения по существующим технологиям.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

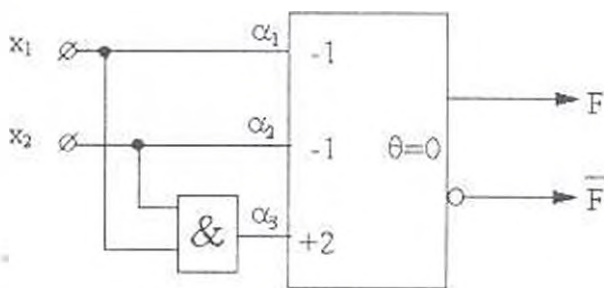
A formal neuron electronic circuit completely compatible with traditional TTL on input and output logic levels combining the advantages of TTL and ECL is considered. It suits for the integrated realization by existing technologies.

Ил. 3. Табл. 1, Ref. 5.

Ֆորմալ նեյրոնը (ՖՆ) բազմաֆունկցիոնալ եւ ուսուցանվող տրամաբանական էլեմենտ է, որը, ի տարբերություն սովորական շեմային տրամաբանական էլեմենտի, ի վիճակի է իրականացնել տվյալ քանակությամբ (δ) տրամաբանական փոփոխականների ցանկացած տրամաբանական ֆունկցիա [1,2,3]: Վերջին տարիներին նեյրոնային ցանցերի եւ նեյրոբունդիությունների հետ տարվող աշխատանքների ակտիվացման կապակցությամբ նեյրոնային էլեմենտների ինտեգրալ իրականացման խնդիրը խիստ արդիականացել է:

Ֆորմալ նեյրոնների ներկայումս գոյություն ունեցող էլեկտրական սխեմաները հիմնականում էմիտերակապակցված (էԿՏ) սխեմաներ են [4]: Մինչդեռ այսօր ամենատարածված ինտեգրալ միկրոսխեմաները տրանզիստորա-տրանզիստորային (ՏՏՏ) տրամաբանական սխեմաներն են, որոնք մուտքային եւ ելքային տրամաբանական մակարդակներով անհամատեղելի են ՖՆ-երի գոյություն ունեցող էլեկտրական սխեմաների հետ:

Ելնելով վերը ասվածից, ՖՆ-ի ՏՏՏ սխեմայի մշակումը օրվա խնդիր է, սխեմա, որը ոչ միայն օժտված է ՏՏՏ - էԿՏ սխեմաների դրական հատկանիշներով, այլեւ բավարարում է միկրոէլեկտրոնային տեխնոլոգիայի այսօրվա պահանջները եւ այդ իմաստով պիտանի է ինտեգրալ իրականացման համար:



Նկ. 1. Երկմուտք ՖՆ-ի օրինակ

Դիտարկենք AND տեսակի ՖՆ-ի օրինակ (Նկ. 1): Այն տարբերվում է ՈՒ Մակկալլոկի NAND նեյրոնից նրանով, որ այստեղ ֆունկցիոնալ X_1 եւ X_2

մուտքերը փոխադրում են միմյանց հետ ոչ թե «արգելում», այլ «թուլատրում» ձեւով [1, 4]: X_1 -ը եւ X_2 -ը կոչվում են ֆունկցիոնալ (տրամաբանական) մուտքեր, իսկ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ մուտքերը սինապտիկ մուտքեր: Ընդհանուր դեպքում նեյրոնի շեմային էլեմենտի (ՇԷ) աշխատանքը բնութագրվում է հետեւյալ առնչությամբ.

$$F = \text{sign} \left\{ \sum_{i=1}^n \alpha_i w_i - \theta \right\}, \quad (1)$$

որտեղ w_i -ն i -րդ սինապտիկ մուտքի կշիռն է ($w_i \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$), θ - ն նեյրոնի զրգոման շեմը ($\theta = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

Ընդ որում, Sign ֆունկցիան որոշվում է հետեւյալ կերպ.

$$\text{Sign}(\varphi) = \begin{cases} 1, & \text{երբ } \varphi \geq 0, \\ 0, & \text{երբ } \varphi < 0: \end{cases} \quad (2)$$

Նշանակենք

$$\sigma_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i w_i \quad (3)$$

եւ անվանենք գումարային զրգոում, որն ստանում է նեյրոնը, երբ նրա մուտքին գալիս է ազդանշանների որոշակի համակցություն (կոմբինացիա): Առաջնորդվելով այս նշանակումներով եւ ընդունելով, որ $\theta = 0$, կարելի է ասել, որ նկ.1-ում բերված նեյրոնն իրականացնում է

$$F = \overline{x_1} \overline{x_2} \vee x_1 x_2, \quad (4)$$

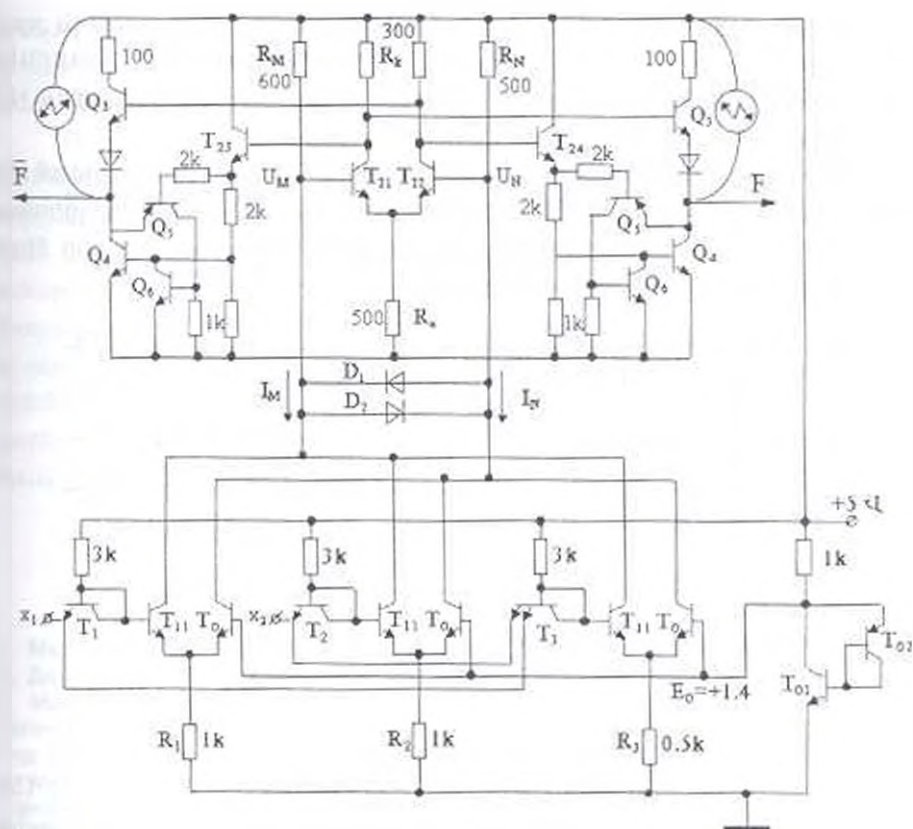
տրամաբանական ֆունկցիան, որը երբեմն կոչվում է «համարժեքության» կամ Վեբբի ֆունկցիա [5]: Դժվար չէ նկատել, որ վերջինս հանրահայտ «մոդուլ 2-ով գումարում» կամ «ամհամարժեքություն» ֆունկցիայի բացասումն է: Այսինքն

$$\overline{F} = x_1 \overline{x_2} \vee \overline{x_1} x_2:$$

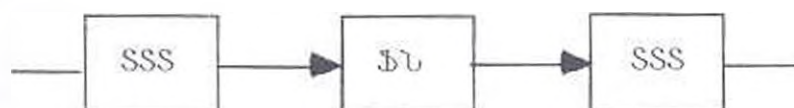
Նշենք մասեւ որ (4) ֆունկցիան $F = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \dots \overline{x_n} \vee x_1 x_2 x_3 \dots x_n$

ֆունկցիայի մասնավոր դեպքն է. ֆունկցիա, որը լայն կիրառություն ունի պատկերների ճանաչման խնդիրներում, մասնավորապես պատկերի եզրագիծը գտնելու համար.

Այժմ դիտարկենք նկ.1-ում բերված երկմուտք նեյրոնի առաջարկվող SSS սխեման (նկ. 2): Սխեմայի հիմքում ընկած է երկկասկաղ ԷԿՏ սխեման, որը մասնամասն նկարագրված է գրականության մեջ [4]: Տարբերությունն այն է, որ սխեմայի մուտքային եւ ելքային կասկաղները կառուցված են այնպես, որ այն, առանց միջանկյալ համաձայնեցնող շղթաների, կարող է աշխատել SSS սխեմաների հաջորդական շղթայում (նկ.3):



Նկ. 2 Երկմուտք ֆորմալ նեյրոնի SSS սխեման



Նկ. 3 ՖՆ-ի տեղը սխեմաների հաջորդական շղթայում

Ինչպես երևում է Նկ.2-ի սխեմայից, երկկասկաղ եԿՏ սխեմայի կմախքը պահպանված է [4], այսինքն նեյրոնի սինապտիկ մուտքերն իրականացված են հոսանքի փոխանցատիչներով (ՀՓ), որոնց ելքերում դրական եւ բացասական հոսանքները գումարվում են, իսկ դրանց (I_M եւ I_N) համեմատումը տեղի է ունենում ելքային դիֆերենցիալ ուժեղարարի միջոցով, որի ելքերում մոտից դրված են էմիտերային կրկնիչներ: Սխեմայի ելքում միացված են SSS սխեմայի ելքային կասկադները հաջորդական Q_3 եւ Q_4 տրանզիստորներով (Նկ.2), սակայն միացումները կատարված են այնպես, որպեսզի ելքում ապահովվեն անհրաժեշտ տրամաբանական մակարդակները. $U'' \leq +0.3$ Վ, $U' \geq +3.6$ Վ:

Բացի դրանից, ելքային կասկաղը պարունակում է նաեւ հատուկ շղթա (Q_5, Q_6), որն ապահովում է Q_4 տրանզիստորի պաշտպանությունը գերբեռնվածության հոսանքից երբ տեղի է ունենում ելքի կարճ միացում +5V սնման գծալարի հետ (նկ.2):

Ֆև-ի էլեկտրական սխեմայի (նկ.2) հաշվարկի համար առաջնորդվում ենք Ֆև-ի կառուցվածքային (նկ.1) սխեմայով եւ (1)...(4) ֆունկցիոնալ առնչություններով: Դրանց հիման վրա նախ կազմում ենք նեյրոնի ճիշտ աշխատանքի (ճշնարտության) աղյուսակը:

Աղյուսակ					
x_1	x_2	$x_1 \& x_2$	$\sum_{i=1}^3 \alpha_i w_i$	F	Պայմանը
α_1	α_2	α_3			U_M, U_N I_M, I_N
0	0	0	0	1	$U_M < U_N$ $I_M > I_N$
0	1	0	-1	0	$U_M > U_N$ $I_M < I_N$
1	0	0	-1	0	$U_M > U_N$ $I_M < I_N$
1	1	1	0	1	$U_M < U_N$ $I_M > I_N$

Ելնելով էլեկտրական սխեմայից, կարող ենք գրել:

$$U_M = E - I_M R_M, \quad U_N = E - I_N R_N: \quad (5)$$

Աղյուսակի առաջին տողից հետեւում է, որ, անկախ I_M -ի եւ I_N -ի արժեքներից, ելման վիճակում ($X_1=X_2=0$) պետք է բավարարվի $F=1$ պայմանը: Զետեւաբար

$$R_M > R_N: \quad (6)$$

Դիֆերենցիալ ուժեղարարի նորմալ փոխանցատման համար բավարար է, որ M եւ N կետերի պոտենցիալները տարբերվեն իրարից գոնե $\Delta U = 0.3 \dots 0.4V$ -ով: Սլսեմայից ելուելում է, որ եթե I_M, I_N հոսանքների մեծ տարբերության պատճառով ΔU ավելի մեծ լինի, քան $0.7V$, ապա կբացվի դ, կամ q_2 դիոդը, եւ տեղի կունենա I_M եւ I_N հոսանքների վերաբաշխում: Այսինքն, առաջարկվող սխեմայում միշտ $\Delta U = |U_M - U_N| < 0.7V$:

Ելնելով էլեկտրական սխեմայից (նկ.2), եւ առաջնորդվելով աղ.1-ով, կարող ենք կազմել 4 անհավասարություններից բաղկացած մի համակարգ, որոնց մեջ մտնում են R_M, R_N, R_1, R_2 եւ R_3 ռեզիստորների փնտրվող արժեքները: Լուծելով անհավասարությունների համակարգը, կարող ենք որոշել այդ ռեզիստորների արժեքները: Սխեմայի մյուս շղթաների ռեզիստորների մեծությունները սկզբունքային նշանակություն չունեն նեյրոնի ճիշտ աշխատանքի համար: Այդ պատճառով այդ ռեզիստորների մեծությունները կվերցնենք նույնը ինչ որ դասական SSS եւ ԷԿՏ սխեմաներինը: Որպեսզի տրանզիստորների աշխատանքային ռեժիմները չփոխվեն: Նկ.2-ում ռեզիստորների կողքին գրված են նրանց մոտավոր հաշվարկային արժեքները: Մնիորաժեշտության դեպքում կարելի է կատարել ավելի ճշգրիտ հաշվարկ

ելնելով տրանզիստորների պարամետրերից՝ Օգտագործելով ժամանակակից քոմպիլթերների հնարավորությունները, կարելի է ու-Յ պարամետրական տարածության մեջ որոշել նաեւ սխեմայի կայուն աշխատանքային կետը :

Այսպիսով, առաջարկվող սխեման զուգակցում է SSS սխեմաների արժանիքները, բարձր խանգարապաշտպանվածությունը մուտքից, ազդանշանի մեծ ամպլիտուդը եւ էԿՏ սխեմաների արագագործությունը (ԳՓ - ների տրանզիստորների աշխատանքի ակտիվ ռեժիմի շնորհիվ). Քանի որ առաջարկվող սխեմայում բացակայում են ռեակտիվ տարրեր, օգտագործվող բաղադրատարրերի (տրանզիստորներ, դիոդներ, ռեզիստորներ) տեխնոլոգիական թուլատրվածքները կարող են հասնել մինչեւ 10%, եւ այդ տիրույթում սխեման ղեռնեւ անսխալ կատարում է պահանջվող ֆունկցիան (4), ապա կարելի է ասել, առաջարկվող սխեման պիտանի է ինտեգրալ տեխնոլոգիայով իրականացման համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. **Мкртчян С.О.** Нейроны и нейронные сети. - М.: Энергия, 1971. - 232 с.
2. **Дертоуэс М.** Пороговая логика. - М.: Мир, 1967. - 343 с.
3. **Маккаллоу У.** Символическое изображение нейрона в виде некоторой логической функции // Принципы самоорганизации: Сб. / Пер. с английского; Под ред. А.Я. Лернера. - М.: Мир, 1966. - 621 с.
4. **Мкртчян С.О.** Проектирование логических устройств ЭВМ на нейронных элементах. - М.: Энергия, 1977. - 200 с.
5. **Поспелов Д.А.** Логические методы анализа и синтеза схем. - М.: Энергия, 1964. - 320 с.

ГИУА

14.01.1997

Изв. НАН и ГИУ* Армении (сер. ТЕ), т. 1, № 3, 1998, с. 371 - 374

УДК 621.349.74

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

В.Е. АРУСТАМЯН, Х.А. МАЗХАР

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО КАНАЛА

*Ինտեգրվում է լոգիկան կատարելու բաղադրամասեր հնարավորությունը հասցնելու ժամանակի եւ կապուղի իրադրման ժամանակի գումարային սղմելի նվազեցման շահավարտի:

Рассматривается возможность оптимизации цифрового канала путем минимизации суммарного значения времени передачи и затрат на реализацию канала.

Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

The possibility of digital channel optimization by means of minimizing the total time of transmission value and the costs of channel realization is considered.

177. 2. Ref. 3.

В настоящее время обмен информацией между узлами и центрами передачи данных в сетях различных уровней осуществляется преимущественно по цифровым каналам [1]. Схема цифрового обмена - оконечная аппаратура сопряжения и линии передачи (рис.1) - состоит из устройства подготовки передаваемого набора (выборки K разрядов из подлежащего к передаче N -разрядного кода и их обработки для передачи), устройства приема (приема, обратной обработки и восстановления N -разрядного кода из K разрядных наборов) и параллельных K каналов обмена, причем N/K - целое число, $1 \leq N/K \leq N$.

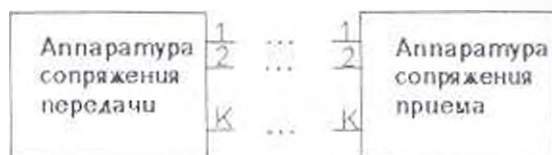


Рис. 1

Акт обмена можно разделить на три этапа:

1. Выборка и обработка K разрядного набора с затратой времени $t_{\text{вб}}$.

2. Передача по K параллельным каналам с задержкой времени $t_{\text{з}} = t_{\text{ли}} l$, где $t_{\text{ли}}$ - задержка на единицу длины линии, l - длина линии.

3. Прием по K разрядам и восстановление N -разрядного кода с затратой времени $t_{\text{пр}} = t_{\text{вб}}$.

Эффективность обмена характеризуется двумя важнейшими параметрами:

- временем обмена N -разрядного кода -

$$T_{\text{об}} = N / K T_{\text{об}}' = (N / K) (t_{\text{вб}}' + t_{\text{пр}}') \quad (1)$$

Предполагается, что подготовка к передаче и восстановлению кода на приемном конце происходит параллельно со сдвигом времени $t_{\text{ли}} l$;

- затратами на реализацию передачи N -разрядного кода

$$A_{\text{об}} = A_{\text{вб}} + A_{\text{пр}} + K A_{\text{к}}, \quad (2)$$

где $A_{\text{вб}}$ - затраты на подготовку и передачу кода; $A_{\text{пр}}$ - затраты на прием и восстановление кода ($A_{\text{пр}} = A_{\text{вб}}$); $A_{\text{к}}$ - затраты на один канал.

Известно [2], что величина $A_{\text{к}}$ в первом приближении прямо пропорциональна длине линии, т.е. $A_{\text{к}} = A_{\text{к0}} l$, где $A_{\text{к0}}$ - затраты на единицу длины линии. Тогда

$$A_{\text{об}} = 2A_{\text{вб}} + K A_{\text{к0}} l. \quad (3)$$

Как видно, выражения (1) и (3) противоречащие. В (1) требуется увеличить число параллельных каналов (при неизменной длине линии), т.к. имеет место обратная пропорциональность $T_{об}$ к K :

$$T_{об} = \begin{cases} t_{ко} \ell & \text{при } K = N - \text{минимально,} \\ N t_{ко} \ell + N \ell & \text{при } K = 1 - \text{максимально.} \end{cases} \quad (4)$$

А из (3) видно, что при тех же условиях имеем

$$A_{об} = \begin{cases} 2A_{пл} + NA_{ко} \ell & \text{при } K = N - \text{максимально,} \\ 2A_{пл} + A_{ко} \ell & \text{при } K = 1 - \text{минимально,} \end{cases} \quad (5)$$

т.к. преобладает прямая пропорциональность $A_{об}$ к K .

Таким образом, для оптимизации обмена следует найти компромисс между временем обмена и затратами на аппаратуру обмена (аппаратура сопряжения и линии), т.е. найти такую функцию $f(T_{об}, A_{об})$, при которой достигается экстремум в интервале $1 \leq K \leq N$.

В качестве таковой может служить функция $c_1 T_{об} + c_2 A_{об}$ [3], где c_1, c_2 - весовые коэффициенты, имеющие размерности, обратные к $T_{об}$ и $A_{об}$ соответственно. Полагая, что $c_1 = c_2$, достаточно рассмотреть $T_{об} + A_{об}$.

Однако величины $T_{об}$ и $A_{об}$ имеют разные размерности, поэтому они либо должны быть приведены к виду, обеспечивающему однородность выражения, либо нормированы, т.е. преобразованы в безразмерные величины, что, на наш взгляд, предпочтительнее. В качестве безразмерного времени передачи можно использовать

$$T_{об}^* = T_{об} / T_{об \max} \quad (6)$$

Подставив (1) и (4) в (6), получим

$$T_{об}^* = \frac{N t_{ко} \ell + N t_{пл}}{K [N t_{ко} \ell + N t_{пл}]} = 1/K, \quad 1/N \leq T_{об}^* \leq 1. \quad (7)$$

Аналогичным образом из (3) и (5) можно получить

$$A_{об}^* = \frac{2A_{пл} + KA_{ко} \ell}{2A_{пл} + NA_{ко} \ell}, \quad \frac{2A_{пл} + A_{ко} \ell}{2A_{пл} + NA_{ко} \ell}. \quad (8)$$

Как видно из (7) и (8), наибольшее нормированное время обмена и наибольшие нормированные затраты равны 1. Суммарное выражение имеет вид

$$T_{об}^* + A_{об}^* = \frac{1}{K} + \frac{2A_{пл} + KA_{ко} \ell}{2A_{пл} + NA_{ко} \ell}. \quad (9)$$

На практике имеет место ряд особенностей, которые позволяют ввести некоторые допущения.

1. Расстояние большое: $\ell \gg 2A_{пл} / NA_{ко}$. В этом случае $T_{об}^* + A_{об}^* = 1/K + K/N = (N + K^2)/(KN)$, т.е. суммарное значение

функции минимально. Эта зависимость показана для реальных случаев N (рис.2). Так, в случае 8-разрядного кода оптимальным является $K=2$, а для $N=16$ $K \approx 4$ (кривые 1 и 2).

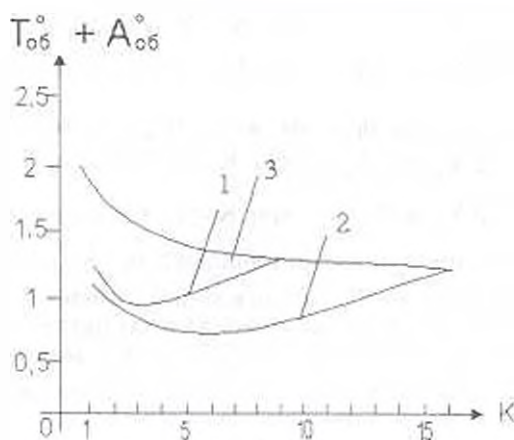


Рис. 2

2. Расстояние небольшое: $f \ll 2A_{\text{м}} / NA_{\text{к0}}$. В этом случае $T_{\text{м}} + A_{\text{м}} = 1/K + 1 = (K+1)/K$, т.е. в рамках допущения суммарная функция зависит не от разрядности кода, а только от разрядности набора K (кривая 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Многоканальные системы передачи / Под ред. Н.Н. Базовой, В.Н. Гордиенко. - М.: Радио и связь, 1997. - 560 с.
2. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений / Под ред. М.Н. Арипова. - М.: Радио и связь, 1988. - 360 с.
3. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. - М.: Радио и связь, 1986. - 288 с.

ГИУА

27.01.1998

Գ.Գ. ՄԱՐԿՈՅԱՆ

ՏԱՐԲԵՐ ԴԱՄԵՐԻ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ
ԽՏԱՅՄԱՆ ՀԱՐՑԵՐ

Աշխատանքը նվիրված է խտացման տեսության զարգացմանը, մասնավորապես՝ տարբեր դասերի բազմաչափ գործընթացների, այն է՝ առանց կոնտրոլման կոնտրոլմանով գծային և ոչ գծային բազմաչափ գործընթացների խտացմանը:

Рассматриваются вопросы развития теории уплотнения, в частности, уплотнения многомерных процессов различных классов, т.е. уплотнения линейных и нелинейных многомерных процессов без управления и с управлением.

Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

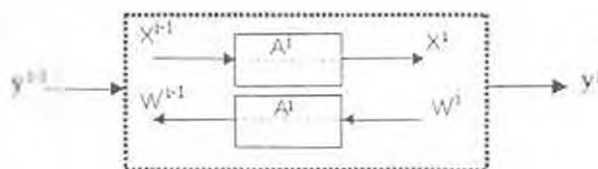
Multiplexing theory development, in particular, multidimensional processes with different levels, i.e. multiplexing linear and nonlinear multidimensional processes with or without control is considered.

Ил. 4. Ref. 3

Հայտնի է [1], որ

$$X^i = A^i X^{i-1} \quad i = \overline{1, N} \quad (1)$$

ճատրիցավեկտորային առնչությամբ նկարագրվող բազմափուլ բազմաչափ գործընթացի (որտեղ $X^{i-1} = (x_1^{i-1}, \dots, x_p^{i-1}, \dots, x_n^{i-1})$ եւ $X^i = (x_1^i, \dots, x_p^i, \dots, x_n^i)$; $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, n}$ - ը $(i-1)$ -րդ եւ i -րդ փուլերի վիճակի փոփոխականների վեկտորայուններն են, իսկ $A^i = (a_{ij}^i)$, $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, n}$ - ը i -րդ փուլի կապի իավասարուներն մատրիցը) խտացման ժամանակ սկզբնական (կամ հիմնական) եւ խտացնող գործընթացների միավորման (նկ. 1) մուտքի եւ ելքի միջեւ զոյություն ունի իավասարակշռություն:



Նկ. 1

$$y^{i-1} = y^i, \quad i = \overline{1, N} \quad (2)$$

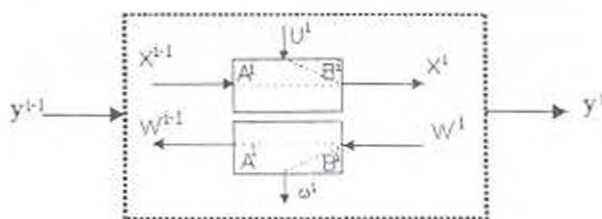
$y^{i-1} = W^{i-1} X^{i-1}$, $y^i = W^i X^i$, ընդ որում $W^{i-1} = (w_1^{i-1}, \dots, w_p^{i-1}, \dots, w_n^{i-1})$ - ը եւ $W^i = (w_1^i, \dots, w_p^i, \dots, w_n^i)$ - ը խտացնող գործընթացի վիճակի փոփոխականների

վեկտոր-տողերն են, իսկ y^{i-1} -ն եւ y^i -ն խտացված գործընթացի վիճակի սկալյար փոփոխականները (համապատասխանաբար $(i-1)$ -րդ եւ i -րդ փուլերի համար):

Աինչդեռ

$$X^i = A^i \cdot X^{i-1} + B^i U^i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

կառավարմամբ գծային սեպարաբելային [2] բազմափուլ բազմաչափ գործընթացների (որտեղ $U^i = (u_1^i, \dots, u_k^i, \dots, u_m^i)$, $i = \overline{1, N}$; $k = \overline{1, m}$ -ը ($m \leq n$)) i -րդ փուլի կառավարող փոփոխականների վեկտոր-տողն է, իսկ $B^i = (b_{ik})$, $i = \overline{1, N}$; $k = \overline{1, m}$ -ը i -րդ փուլի կառավարող փոփոխականների մատրիցը) խտացման դեպքում (նկ.2) միավորման մուտքի եւ ելքի հավասարակշռությունը խախտվում է, խտացված փոփոխականների միջեւ կախվածություններ կայացվում է հետեւյալ գծային ֆունկցիայով [3].



նկ. 2

$$y^i = y^{i-1} + \delta_i^i; \quad (4)$$

$\delta_i^i = \delta(U^i)$ -ն անհավասարակշռության մեծությունն է եւ գնահատում է կառավարման ազդեցության չափը, կամ, որ նույնն է, հավասարակշռության կառավարմամբ պայմանավորված շեղման չափը:

Իսկ

$$X^i = F^i(X^{i-1}), \quad i = \overline{1, N} \quad (5)$$

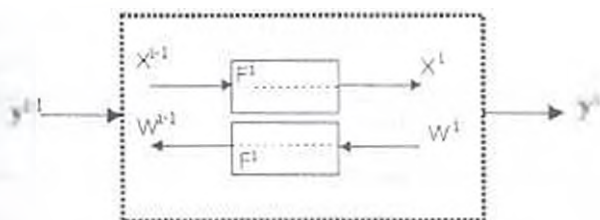
ոչ գծային բազմափուլ բազմաչափ գործընթացների (որտեղ F^i -ն i -րդ փուլի կապի հավասարումների ոչ գծային օպերատորն է) խտացման դեպքում (նկ.3) միավորման մուտքի եւ ելքի կախվածությունն արտահայտվում է ոչ գծային ֆունկցիայով

$$y^i = F_i^i(y^{i-1});$$

վերջինս կարելի է ներկայացնել

$$y^i = y^{i-1} + \delta_i^i, \quad (6)$$

գծային առնչությամբ, որտեղ $\delta_i^i = \delta_i^i(X^{i-1})$ -ն անհավասարակշռության մեծությունն է եւ գնահատում է հավասարակշռության ոչ գծայնությամբ պայմանավորված շեղման չափը:



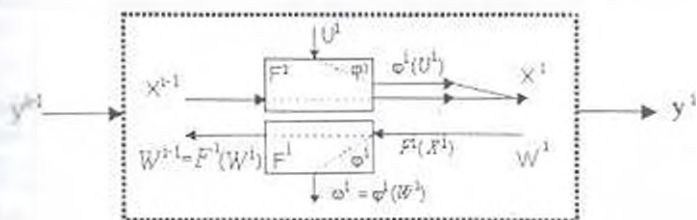
Նկ. 3

եվ վերջապես,

$$X^i = \Phi^i(X^{i-1}, U^i) = \{F^i(X^{i-1}), \phi^i(U^i)\}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (7)$$

կառավարմամբ ոչ գծային սեպարաբելային բազմափուլ բազմաչափ գործընթացների (որտեղ Φ^i -ն i -րդ փուլի կապի հավասարումների ոչ գծային օպերատորն է, իսկ $F^i(X^{i-1})$ -ը եւ $\phi^i(U^i)$ -ը համապատասխանաբար վիճակի եւ կառավարող փոփոխականների սեպարաբելայնությամբ պայմանավորված, իրարից անջատ, ոչ գծային օպերատորները) խտացման ժամանակ տվյալ (սկզբնական կամ հիմնական) եւ խտացնող գործընթացների (նկ. 4) միավորման մոտեքի եւ ելքի միջեւ անհավասարակշռության մեծությունը

$$\delta^i = y^i - y^{i-1} = W^i \Phi^i(X^{i-1}, U^i) - F^i(W^{i-1}) X^{i-1} = \delta^i(X^{i-1}, U^i); \quad (8)$$



Նկ. 4

Վերջինս գնահատում է հավասարակշռության ինչպես ոչ գծայնությամբ, այնպես էլ կառավարմամբ պայմանավորված շեղման չափը:

Օգտագործելով [3] աշխատանքում առաջադրված մոտեցումը (որը հիմնված է խնդրի փոփոխականների աճերի գծայնացման վրա, դրանց թեյլորի շարքի վերլուծման միջոցով), քննարկվող խնդրում եւս անհավասարակշռության մեծությունը կարելի է ներկայացնել

$$\delta^i = \delta_x^i + \delta_u^i \quad (9)$$

գծային առնչության տեսքով, որտեղ δ_x^i -ը վիճակի փոփոխականներով պայմանավորված անհավասարակշռության չափն է, իսկ δ_u^i -ն կառավարման փոփոխականներով պայմանավորված չափը: Նման մոտեցման արդյունքում (7) առնչությամբ համապատասխան որակի չափանիշներով օժտված օպտիմալ կառավարման ոչ գծային բազմափուլ բազմաչափ խնդիրներն սկզբունքորեն կարող են հանգեցվել գծային մոտավոր համարժեքների, որոնց արդյունավետ լուծման նպատակով այնուհետեւ կարելի է կիրառել երկնակարգականի լավարկման (օպտիմալացում) մեթոդը:

1. Арешян Г.Л., Захарьян С.С., Налчаджян Т.А. Два метода повышения эффективности сложных химико-технологических процессов. - Ереван: Айастан, 19... - 162 с.
2. Реклейтис Г., Рейвиндран, Рэгсдел. Оптимизация в технике. Кн. 1. - М.: Мир, 1986. - ... с.
3. Միմոնյան Ա.Յ. Ղիճերենցիալ-Թելլուրյան մերողներ եւ ալգորիթմներ. - Երեւան, 1993. - 130 էջ

ГИУА

12.06.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1.1, № 3, 1998, с. 378 - 382.

ՀՏՊ 621.785.5:621.9.025.7

ՀԱՄԱՌՈՏ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ

Հ.Է. ԳԱԼՍՏՅԱՆ

Ti-C; Ti-N; Ti-C-N; Ti-W-C-Co ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԱՄԱՇՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՎԻՃԱԿԻ ԴԻԱԳՐԱՄՆԵՐԻ ՏԵՄԱԿԱՆ ՎԵՐՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Իսկադրվել են Ti-C, Ti-N, Ti-C-N, Ti-W-C-Co համակարգերի համադրվածքների համակարգումների զուգորդումների ու լուծույթների կառուցվածքային փոփոխությունները կախված մի շարք բնութագրերից, այդ թվում՝ ջերմաստիճանից, բաղադրություններից, կառուցվածքից, կոնցենտրացիայից եւ այլն: Վերոհիշյալ միացություններից ստացվում չկոտրելի ծածկում են բարձր մաշակամոտայանք, երկարակյանքներ, կտրուկ են քիմիական նյութերի նկատմամբ:

Проведены исследования диаграмм состояния сплавов системы Ti-C; Ti-N; Ti-C-N; Ti-W-C-Co. Выявлены структурные изменения в зависимости от температуры, состава, структуры, концентрации и т.д. Обнаружено, что сплавы, полученные из вышеуказанных соединений, обладают высокой износостойкостью, долговечностью, стойкостью против химических веществ.

Библиогр.: 1 назв.

Alloy state diagram investigations of the system Ti-C; Ti-n; Ti-C-n; Ti-W-C-Co are performed. Structural variations in terms of temperature, composition, structure, concentration are described. The layers obtained from the mentioned compounds possess high wear resistance, durability, chemical substance resistance.

Ref. 1.

Մետաղների եւ համաձուլվածքների մակերեսային շերտերի վրա մաշակայուն շերտեր ստանալու համար օգտվում են մի շարք համակարգերից (Ti-C, Ti-N, Ti-C-N, Ti-W-C-Co), որոնց ուսումնասիրությունը հնարավորություն է տալիս բացահայտելու վերոհիշյալ համակարգերի որակական նոր հատկանիշներ եւ դրանք լայնորեն կիրառելու արտադրության մեջ ծանր եւ գերծանր պայմաններում աշխատող մեքենամասերում:

Ուսումնասիրվել են Ti-C, Ti-N, Ti-C-N, Ti-W-C-Co համակարգերի համաձուլվածքների վիճակի դիագրամները եւ բացահայտվել կառուցվածքային փոփոխություններ կախված մի շարք բնութագրերից (ջերմաստիճան, բաղադրություններ, կառուցվածք, կոնցենտրացիա եւ այլն):

Ըստ Ti-C երկակի համակարգի համաձուլվածքների դիագրամի, համակարգում գոյություն ունի մեկ կարբիդային ֆազ TiC_{1-x} , որն օժտված է համասեռության լայն տիրույթով: Ածխածինը Ti-ի $\alpha \leftrightarrow \beta$ փոխակերպման ջերմաստիճանը բարձրացնում է 882 °C-ից մինչեւ 920 °C: 920 °C-ում տեղի է ունենում պերիտեկտիկական փոխակերպում $\beta + TiC \leftrightarrow \alpha$: αTi -ում ածխածնի առավելագույն լուծելիությունը կազմում է 0,48%, որը նվազում է ջերմաստիճանն իջնելիս, իսկ βTi -ում ջերմաստիճանը բարձրացնելիս (մինչեւ 1750°C) այն հասնում է 0,15%-ից մինչեւ 0,8% եւ նույնպես ընկնում է ջերմաստիճանն իջեցնելիս:

δTi -ի տիրույթում ֆազերը բազավորվում են TiC-ի վանդակում եւ պերիտեկտիկական ջերմաստիճանում (1725 °C) հասնում մինչեւ 11% C: TiC-ի վանդակի պարբերությունը, բաղադրությունից կախված, փոփոխվում է 0,43-ից մինչեւ 0,433: TiC-ի ստեխիոմետրիկ բաղադրության պարբերությունը կազմում է 0,413-ից մինչեւ 0,4324: Պարբերությունը փոփոխվում է, որովհետեւ կարբիդը որոշակի չափով միշտ խառնված է թթվածնի հետ, որը հանգեցնում է վանդակի սեղմմանը եւ պարբերության փոքրացմանը:

TiC-ի էլեկտրոնային խտության բաշխվածության ռենտգենաստրուկտուրային ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ Ti-ի ատոմները կարբիդում ունեն դրական +4, իսկ ածխածնի ատոմները որոշակի բացասական լիցք: Պա վկայում է այն մասին, որ Ti -ի եւ C -ի միջեւ բարդ կապը իոնային է: TiC-ի մոլեկուլների համասեռության տիրույթում միկրոկարծրության որոշումը ցույց է տվել, որ միկրոկարծրության փոփոխությունը զծային բնույթի է, մեխանիկական հատկությունները կախված են ծակոտկենությունից, իսկ ամրության ցուցանիշը մեծ է, եթե սկզբնական կարբիդը մանրահատիկ է:

TiC-ի հատկությունները որոշվում են վերջինիս ներքին կառուցվածքով: Ածխածնի ատոմները ներդրվում են տիտանի միջատոմային ազատ տարածություններում առաջացնելով ներդրման պինդ լուծույթներ: Քանի որ Ti-ի եւ C-ի ատոմների միջեւ առաջանում է մետաղական կապ, այս ֆազերն օժտված են յուրահատուկ մետաղական հատկություններով:

TiC-ը, ինչպես ցույց է տվել Վան-Արկելը, բյուրեղանում է NaCl-ի տիպի խորանարդային վանդակի ձեւով, 0,429 նմ պարամետրով: TiC-ի ռենտգենաստրուկտուրային ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ ստեխիոմետրիկ բաղադրությամբ կարբիդի վանդակի պարամետրը հավասար է $0,43141 \pm 0,0002$ նմ:

Ավհայտ է, որ ածխածնի ներդրված ատոմները հանգեցնում են բյուրեղային վանդակի ամրացման եւ սահքի դեֆորմացիայի դժվարացման:

Ti-N համակարգում գոյություն ունեն չորս տարբեր ֆազեր β , α , ϵ եւ δ :

β ֆազը 2020 ± 25 °C-ում պարունակում է 1.4% N եւ առաջանում է 2020 °C-ում ընթացող պերիտեկտիկական ռեակցիայի շնորհիվ: α ֆազում, որն առաջանում է 2350 °C-ում ընթացող պերիտեկտիկական ռեակցիայի հետեւանքով, ազոտի լուծելիությունը կազմում է 17% (TiN_{0.2}): Ազոտի քանակի հետագա աճի հետեւանքով բյուրեղացման սկզբի ջերմաստիճանը բարձրանում էւ TiN նիտրիդի համար հասնում է մինչեւ 2950 °C, որը TiN -ի հալման ջերմաստիճանն է: TiN-ը ունի NaCl-ի վանդակի տիպի վանդակ, որի պարամետրն է 0.432 նմ: Ti-ը ազոտի հետ առաջացնում է պինդ լուծույթներ, ինչի հետեւանքով վանդակի պարամետրը կարող է փոփոխվել: 1400 °C -ում TiCl₄-ի եւ NH₃-ի փոխազդեցության հետեւանքով ստացվում է TiN_{1.16}, որի վանդակում տիտանի 15-20% տեղ զբաղեցված չէ: Ռա վիճակի դիագրամում δ ֆազի սահմանն է:

Պերիտեկտոիդային ռեակցիայի արդյունք է ε ֆազը Ti₂N, որն առաջանում է 1000-1100 °C-ում: 1050 °C-ից ցածր հայտնաբերվել է նոր ֆազ, որն ունի տետրագոնալ վանդակ: Այդ ֆազը, ըստ երևույթին, Ti₃N է, որի համասեռության տիրույթը համապատասխանում է 6.8 - 8.9%-ի:

α եւ β տիտանում եւ TiN-ում ազոտի դիֆուզիայի ակտիվացման էներգիաների համեմատությունից կարելի է եզրակացնել, որ տիտանի եւ ազոտի փոխազդեցության գործընթացի արագությունը TiN-ի մեջ պայմանավորված է ազոտի դիֆուզիայի արագությամբ: Ti-ի կարբիդները եւ նիտրիդները ստեխիոմետրիկ միացություններ չեն, դրանք բյուրեղանում են NaCl-ի տիպի ստրուկտուրայի ձեւով:

Ti-C-N եռակի համակարգում ռևուսմասիրված են համաձուլվածքների բաղադրությունը TiC-TiN կտրվածքով, ինչպես նաեւ տիտանային համաձուլվածքները, որոնք պարունակում են 2% C եւ 3%N: Ազոտի ներառումը համաձուլվածքների լիկվիդուսի ջերմաստիճանը բարձրացնում է 1935-ից մինչեւ 2510 °C 3%-ի դեպքում [1]:

Ռևուսմասիրվող համակարգում 1735 °C-ում բացահայտված է պերիտեկտիկական ռեակցիա: Այդ ջերմաստիճանից բարձր գոյություն ունեն հավասարակշիռ եռաֆազ տիրույթներ L + α + β, L + β + δ: Այդ ջերմաստիճանից ցածր (եռակի պերիտեկտիկա) բացահայտված են եռաֆազ տիրույթներ (β - δ + L, α + β + δ), որոնք Ti-C երկակի համակարգի հալման տիրույթներում սահմանավակվում են պերիտեկտիկական (L + δ ↔ α) եւ պերիտեկտոիդային (β - δ ↔ α) ռեակցիաներով:

Ածխածնի խառնուրդ ազոտով հանգեցնում է կարբոնիտրիդի Ti(C,N) վանդակի պարամետրի փոքրացման: Բացի դրանից, ստեխիոմետրիկ կարբոնիտրիդի Ti(C,N) հալման ջերմաստիճանը բարձրանում է կոնցենտրացիայի մեծացմանը զուգընթաց, իսկ TiC-ը TiN-ի հետ առաջացնում է մի շարք պինդ լուծույթներ: TiC-TiN համակարգի համաձուլվածքների հալման ջերմաստիճանների համեմատությունը ցույց է տալիս, որ Ti(C,N) կարբոնիտրիդն ավելի դժվարահալ է, քան TiC-ը եւ TiN-ը առանձին - առանձին:

TiC-ը և TiN-ը ունեն լրիվ փոխադարձ լուծելիություն: TiC-TiN համակարգի հալման առավելագույն ջերմաստիճանը 3200°C է, ունի առավելագույն էլեկտրահաղորդականություն և կարծրություն:

TiN-ից TiC-ի անցման ժամանակ ջերմային օգտակար գործողության գործակցի արժեքը մեծանում է: $70-80$ մոլ % բաղադրության դեպքում նկատվում է էլեկտրադիմադրության ջերմային գործակցի առավելագույն աճ, որն այնուհետեւ որոշ չափով նվազում է դեպի մաքուր TiC-ը: TiN-ի մեջ TiC-ի լուծման դեպքում մագնիսական ընկալունակությունը կտրուկ նվազում է:

Ti-W-C-Co քառակի համակարգի համաձուլվածքների վիճակի դիագրամը դեռեւս բավարար ուսումնասիրված չէ: Դիագրամում առկա են երկու տիրույթներ, միաֆազ TiC-ի հիմքով պինդ լուծույթ (TiW)C և երկֆազ պինդ լուծույթ $+WC$, այսինքն (Ti, W)C+WC: Այս երկու տիրույթները բաժանված են զծով, որը ցույց է տալիս պինդ վիճակում WC-ի սահմանային լուծելիությունը TiC-ում: Ըստ փորձնական տվյալների, վոլֆրամի կարբիդի լուծելիությունը տիտանի կարբիդում կազմում է 70% WC և 30% TiC: Այս ֆազերի քանակական հարաբերությունը համաձուլվածքներում մոտավորապես կազմում է $\text{TiC:WC}=1:3$: Բացի դրանից, նկատվում է նաեւ ածխածնի պակաս: Ընդունվում է, որ վոլֆրամի հետ կապված ածխածնի քանակը համապատասխանում է WC միացությանը: Տվյալ դեպքում ածխածնի պակասն ըստ զանգվածի կազմում է $1.5...2.0\%$ C, այսինքն տիտանի կարբիդը պարունակում է 18.5% C (TiC_{0.8}...TiC_{0.95}) 20% C-ի (TiC) փոխարեն:

Պինդ լուծույթն արտահայտվում է հետեւյալ ֆորմուլայով (Ti,W)C_{0.8}...Ti(W)C_{0.96}, որը պարունակում է $8.2...10.2\%$ C ըստ զանգվածի: Ածխածնի բացակայությունը մասամբ լրացվում է թթվածնով և ազոտով: (Ti,W)C_{1-y}-ի լուծելիությունը Co ֆազում տատանվում է $0.5...5.0\%$ -ի սահմաններում և կախված է ինչպես ածխածնի պարունակությունից, այնպես էլ վերոհիշյալ պինդ լուծույթների ստացման սեկսնդրոգիական պարամետրերից:

Ti-C-N և Ti-W-C համակարգի համաձուլվածքների վիճակի դիագրամների ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ TiC-ը բավականին կայուն է TiC_{0.5}...TiC_{0.9} սահմաններում, Սվեչի կիրառելի են TiC_{0.7}N_{0.3}...TiC_{0.8}N_{0.2} բաղադրությամբ կարբոնիտրիդները:

Այսպիսով, Ti-C; Ti-N; Ti-C-N; Ti-W-C-Co համակարգերի համաձուլվածքների վիճակի դիագրամների տեսական ուսումնասիրությունները և այդ ուղղությամբ կատարված որոշ գործնական քայլեր հանգեցնում են այն եզրակացության, որ արտադրական պայմաններում լրիվ կիրառելի են ուսումնասիրվող TiC; TiN; TiCxN_{1-x} մաշակայուն միացությունները: Վերոհիշյալ միացություններից ստացված շերտերն օժտված են բարձր մաշակայունությամբ, երկարակեցությամբ, կայուն են քիմիական նյութերի նկատմամբ, ունեն չիման փոքր գործակից:

1. Fujshiro S., Gocken N.A. // Phys. Chem. - 1961. - V. 65, № 1. - P. 161.

Գյուղ. ակադեմիա

02.10.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 3, 1998, с. 382 - 385

УДК 669.33

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.Б. ГРИГОРЯН, Г.С. ГРИГОРЯН

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ АРМЕНИИ

Արտադրվող մեծաքանակ հարստացույթները, որոնք միաժամանակ հսկայական քանակի էներգիայի աղբյուր են, պետք է հաշվառվեն իրենց որպես վառելանյութի օգտագործման

Производимые крупномасштабные концентраты являются источником колоссальной энергии, поэтому они должны быть утверждены в топливном балансе страны и использованы одновременно как топливо.

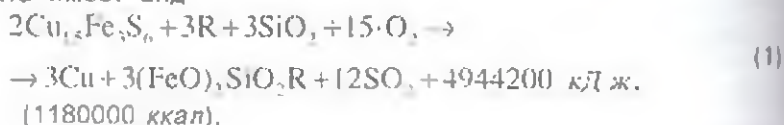
Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

Huge tonnage concentrates being now produced turn out to be source of considerable quantity of energy and they can be included into the fuel balance of Armenia and used as fuel.

Table 1. Ref.4.

Сульфидные концентраты Армении, кроме меди, золота, серебра и других ценностей, одновременно являются теплоносителем - твердым топливом [1,2]. Технологические исследования показали возможность одновременного сжигания и самоплавления концентрата автогенным монопроцессом с прямым получением медь-золото-серебросодержащего сплава и газо-шлаковых промежуточных продуктов [3,4]. Горючей массой концентрата являются сульфиды меди, железа, которые выражаются соединением $Cu_{1.5}Fe_3S_8$ с энтальпией минус 40 ккал/граммоль и энтропией 15 кал/мольград. Горючая масса $m_{гор}$ в концентрате P_k определяется уравнением $m_{гор} = 0.0158 \cdot P_k (Cu + S)$, где Cu и S - процентное содержание меди и серы в концентрате.

Основная реакция одновременного сжигания и самоплавления концентрата имеет вид



где R - оксиды концентрата, не содержащие меди и не связанные с горючей массой.

Уравнение изобарного потенциала реакции (1) имеет вид

$$\Delta Z^0 = -1180000 - 6T.$$

Согласно реакции (1), теплотворность тонны горючей массы концентрата составляет 1311111 ккал или 1524.5 кВт·ч эквивалентной электроэнергии. Это количество первичного тепла развивает рабочую температуру автогенного монопроцесса до 1400...1600 °C и поддерживает тепловые процессы самосжигания и самоплавления концентрата. Полученные продукты процесса также имеют высокую температуру и являются источниками вторичного тепла. Последнее можно использовать как в данной технологии, так и для других целей, в том числе и для производства электроэнергии.

Рассмотрим энергетические возможности сульфидного концентрата Армении со следующим усредненным составом, %:

Cu	Fe	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	O	MgO	Fe ₂ O ₃	CO ₂
19	30	33	(7+1)	(2-0.73)	1.5	1.5	1.43	2.84

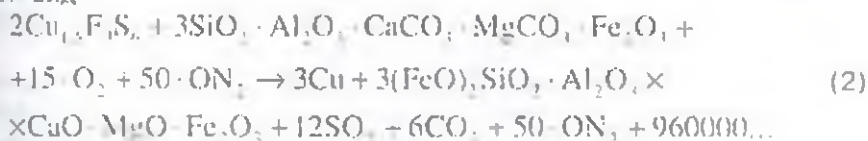
Для составления общей материально-балансовой реакции автогенного монопроцесса прочие концентрата (1.73%), которые представляют собой оксиды, прибавляют к оксидам кремния и алюминия: 7+1=8% и 2+0.73=2.73% соответственно.

Горючая масса 100 кг концентрата составляет

$$m_{\text{гор}} = 82 \text{ кг},$$

$$R = \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = 18 \text{ кг}.$$

Общая реакция автогенного монопроцесса с учетом значения R в реакции (1) и эндотермического тепла термического разложения карбонатов кальция, магния, не предусмотренных в реакции (1), имеет вид



Согласно реакции (2), имеем:

- масса стехиометрического количества воздуха:

$$m_{\text{возд}} = 2.1 m_{\text{MeS}} = 172 \text{ кг};$$

- масса меди: $m_{\text{Cu}} = 0.231$; $m_{\text{MeS}} = 18.943 \text{ кг}$;

- масса шлака $m_{\text{шлак}} = 1.1(0.37 m_{\text{MeS}} + R) = 53 \text{ кг}$;

- общая масса газов: $m_{\text{газ}} = 2.45 m_{\text{MeS}} = 200.057 \text{ кг}$;

Баланс исходных и полученных материалов совпадает.

Элементарные массы газов: 66 кг SO₂; 2.84 кг CO₂;

$$N_2 = m_{\text{газ}} - (SO_2 + CO_2) = 131.217 \text{ кг}.$$

Удельная теплотворность горючей массы концентрата составляет 1070 ккал/кг.

Удельные теплотемкости: SO₂ - 0.18; N₂ - 0.25; CO₂ - 0.26; концентрата - 0.3; меди - 0.11; воздуха - 0.23.

Температура меди и газов - 1200 °C, концентрата - 25 °C, воздуха - 40 °C. Теплоемкость шлака - 360 ккал/кг.

Таблица

Тепловой баланс автогенного монопроцесса на 100 кг концентрата

Приход	ккал	%	Расход	ккал	%
1. От сжигания концентрата по реакции (2)	87740	97,5	1. Уносится медью:	2500	2,8
			шлаком:	19300	21,4
2. Физическое тепло:			газами:		
концентрата	750	0,8	SO ₂	14200	
			N ₂	41600	
			CO ₂	890	
				56690	63,8
воздуха	1573	1,7	2. Потери через элементы печи и неучтенные потери	11513	12,8
Итого	90063	100	Итого	90063	100

Первичное тепло от сжигания концентрата по реакции (2) (87740 ккал) вполне обеспечивает тепловой баланс автогенного монопроцесса (табл.). 84,4% вторичного тепла концентрируется в шлаках и газах.

Опыт мировой практики эффективной работы промышленных установок по утилизации вторичного тепла газов и шлаков можно использовать в условиях Армении, поэтому параллельно с разработкой технологии монопроцесса поставлена задача решить также вопрос утилизации вторичного тепла.

Остальные 15,6% вторичного тепла уносится медью и элементами плавильного агрегата (табл.). В энергоемких пирометаллургических процессах с повышением степени использования тепла повышается эффективность технологии.

В автогенном монопроцессе степень использования тепла, без учета КПД установок, может колебаться от 50% (при использовании только первичного тепла горения концентрата) до 92% (при использовании как первичного, так и вторичного тепла газов и шлаков).

В последнем случае от сжигания одной тонны концентрата получаем 1657159 ккал тепла. эквивалентный перевод в электроэнергию составляет 1927 кВт·ч.

Количество выделяемой энергии находится в прямой зависимости от объема перерабатываемых концентратов. Крупнотоннажное производство сульфидных концентратов в Армении и организация комплексной их переработки автогенным монопроцессом с использованием первичного и вторичного тепла обещает параллельно с производством меди, золота, серебра и других ценностей прибавить к энергобалансу республики колоссальное количество энергии. Есть уверенность, что совместная работа энергетиков и металлургов позволит решить эту проблему в пользу экономики Армении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. - М.: Металлургия, 1988. - 400 с.
2. Григорян Г.Б. Комплексное использование металлургического сырья, вторичных энергоресурсов и охрана окружающей среды / АрмУпрцветмет. - Ереван, 1983. - 95 с.
3. Григорян Г.Б., Цейдлер А.А. Восстановление окислов меди и цинка из расплава / Гинцветмет: Сб. научн. тр. - М., 1965. - № 23. - С. 35-53.
4. Григорян Г.Б., Хачатрян Г.А. Терморазложение сульфидов - перспективная технология переработки медь-золотосодержащих концентратов Армении: // Изв. НАН РА и ГИУА. Серия ТН. - 1997. - Т.50. №1. - С. 62-64.

ГИУА

19.01.1998

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 51, № 3, 1998, с. 385 - 388

УДК 621.36.338

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Р.Н. ГЕВОРКЯН

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Փորձարկելուց նոր արտադրատեսակի տրամաբան և հիմն ախտահանողական ելակետներն ժամանակ դեպքերի պատրաստման տեխնոլոգիական երթուղու մշակման գործընթացի տվյալատարրությունից խոստովելու նպատակով բավարար Ալվինի միայն մեկնատիպ պետությունը խմբավորել և քննելը դրանով սխալելն տեխնոլոգիական գործընթացը, ձևավորել տեխնոլոգիական տեխնոլոգիական փաստաթղթեր և կելք որոշակի արտադրական տեղանակ: Առաջարկված է դեպքերի ուղղված պատկերման խնդիրը քննելով ելակետների համալսման տեսության հիմունքները:

При освоении любого нового изделия и проектировании групповых или гибкоавтоматизированных потоков нет необходимости всякий раз заново разрабатывать технологические процессы изготовления деталей. Достаточно лишь подобрать для таких деталей типовой технологический процесс, оформить на его основе рабочую технологическую документацию и закрепить их за определенным производственным участком согласно оптимальной классификации деталей. В связи с этим рассматриваются вопросы оптимальной классификации объектов производства и их закрепления за производственными участками и цехами с применением теории распознавания образов.

Табл. 1. Библиогр. 2 назв.

To start mass production of a new product and to design partially automated production lines, there is no need to develop new technological processes every time for making parts. It is quite enough to select typical technological processes for such parts, to form working technological documentation and attach them to a certain bay according to part optimum classification. Therefore, product optimum classification and attachment to bays and departments using sample identification theory are considered.

Table 1. Ref. 2

Проблеме оптимальной классификации объектов производства посвящено достаточно работ [1, 2 и др.]. Однако известные методы и подходы не позволяют на практике оптимально группировать объекты с учетом требований научно обоснованной организации производственных процессов.

Для решения этой задачи была разработана методика классификации объектов производства (деталей, узлов, сборочных единиц, изделий) с применением алгоритма автоматической классификации, рассматриваемого в теории распознавания образов. Задача заключается в разбиении обучающей выборки на определенное число таксонов с помощью заданных правил таким образом, чтобы оно было минимальным, но достаточным для описания объектов с заданной точностью и надежностью.

Классификация объектов, сводящаяся к разбивке некоторой совокупности многомерных объектов на классы, основана на том, что каждому классу соответствует обособленная группа точек в пространстве показателей. Определение сходства и различия проводится с помощью разбиения множества объектов на незаданное число неизвестных классов т.к. предварительное задание эталонов невозможно. В качестве меры близости может быть принято евклидово расстояние φ между рассматриваемыми объектами. Однако широкий диапазон изменения его значений (от 0 до ∞) затрудняет последующий анализ. Поэтому для решения данной задачи используется функция потенциала $\varphi = 1/(1 + \alpha D^2)$, которая изменяется от 1 до 0.

Для объединения объектов в классы необходимо иметь минимум дисперсий показателей внутри класса и максимум различий средних их величин между классами. Оптимальные условия классификации объектов могут быть представлены различными способами. В данной работе применяется метод потенциалов, и задача решается с помощью алгоритмов объективной классификации. Искомый критерий представляется в следующем виде:

$$I = I_1 - I_2 \rightarrow \max,$$

где I_1 - средний собственный потенциал данной классификации; I_2 - величина, характеризующая близость классов между собой.

При этом $I_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{A}_i, \bar{A}_i)$, где k - число классов в классификации; $\Phi(\bar{A}_i, \bar{A}_i)$ - средний потенциал класса, характеризующий меру близости объектов внутри класса,

$$I_2 = \frac{2}{k(k-1)} \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \Phi(\bar{A}_i, \bar{A}_j),$$

где $\Phi(\bar{A}_i, \bar{A}_j)$ - мера близости между классами.

Выбраны следующие различительные признаки для классификации деталей: масса детали, чистота обработки, число шеек, коэффициент ритмичности выпуска продукции, производственная программа выпуска детали, чистота обработки, технологическая трудоемкость единицы продукции, длина вала, диаметр заготовки.

Классификация деталей проведена на участке роторов, где обрабатывается 33 типоразмера.

Так как члены матрицы, характеризующей объекты, имеют разные размерности, необходимо их нормировать, чтобы иметь возможность, несмотря на их физическую разнородность, количественно сравнивать друг с другом.

Допустим, что совокупность из P многомерных объектов $C_1, C_2, C_3, \dots, C_P$ характеризуется n параметрами $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. У каждого из объектов данный параметр принимает определенное значение, которое обозначим через x_{ij} , причем i обозначает номер параметра, а j - номер детали.

Центрированное значение i -го параметра j -го объекта X'_{ij} равно разности между значением параметра X_{ij} и средним по всем объектам значением этого параметра:

$$X'_{ij} = X_{ij} - \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P X_{ij}.$$

Если все значения X_{ij} даны в центрированном виде, то этот параметр назовем центрированным и обозначим X'_{ij} . Центрирование параметра равносильно переносу начала координат в точку, соответствующую арифметическому среднему его значений.

Далее составим матрицу степеней сходства, элементы которой симметричны друг другу, а элементы, стоящие по главной диагонали, равны единице.

Матрица степеней сходства должна быть преобразована таким образом, чтобы наиболее сходные детали занимали соседние места. Сделаем перестановки таким образом, чтобы вблизи главной диагонали матрицы сгруппировались относительно высокие характеристики степеней и выделились самостоятельные классы. Из приведенных возможных классификационных групп выберем наиболее оптимальную.

Примем, что к данному классу относятся объекты, для которых $\phi(D) > 0.7$. В имеющейся матрице опишем наибольшую величину сходства. Затем переберем все детали. При этом на каждом шаге отыскивается объект, который больше всего связан с одним из двух объектов, рассматриваемых на предыдущем шаге.

Для различных вариантов разбиения на классы строятся графы. Построение граф дается с помощью ЭВМ. Согласно составленной программе выбирается оптимальный вариант (1 имеет максимальное значение).

Роторы разделены на три классификационные группы (табл.).

Средний собственный потенциал данной классификации равен $I_1=0,8846$. Мера близости классов между собой $I_2=0,3968$. Из всех возможных групп для данной классификации величина $I=0,4877$ максимальна. Следовательно, выбранная классификация является наиболее оптимальной.

Результаты классификации и объектов производства

Характеристики внутри классов	Характеристики между классами
$\Phi(A_1, A_1) = 0,851$	$\Phi(A_1, A_2) = 0,4973$
$\Phi(A_2, A_2) = 0,9407$	$\Phi(A_1, A_3) = 0,1864$
$\Phi(A_3, A_3) = 0,8615$	$\Phi(A_2, A_3) = 0,4069$

Полученные данные позволяют осуществить равномерную загрузку оборудования и повысить коэффициент его использования. Предложенный подход может с большой эффективностью применяться в целях повышения интенсивности производства и развития оперативного управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распознавание образов. Состояние и перспективы / Под ред. К. Верхина. - М.: Радио и связь, 1985. - 104 с.
2. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Стратегическая теория распознавания образов. - М.: Радио и связь, 1986. - 263 с.

ГИУА

20.10.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 3, 1998, с. 388-390.

ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԻՉՆԵՐ

ՀԱՍԼԵՏ ԼԱԶՐԻ ԱՐՏԵՄՅԱՆ

(ԾՆՆԴՅԱՆ 60 -ԱՄՅԱԿԻ ԱՌԹԻՎ)

ՀՀ պաշտպանության նախարարության ռազմական ինստիտուտի գիտական քարտուղար, տեխնիկական գիտությունների դոկտոր-պրոֆեսոր, փոխգնդապետ Համլետ Լազրի Արտեմյանը 60 տարեկան է:



Հ.Լ. Արտեմյանն ունի շուրջ 40 տարվա գիտամանկավարժական աշխատանքի փորձ՝ Որպես գիտնական նա ձեռագրորվել է ՀՀ եւ Սոսկվայի արդյունաբերական եւ գիտահետազոտական ձեռնարկություններում (Երեւանի ալյումինի գործարան 1959-66 թթ., Էլեկտրամեքենաշինության ԳՀԻ 1969-94 թթ., Սոսկվայի ծանր մեքենաշինության ԳՀԻ 1966-68թ.թ.):

Հ.Լ. Արտեմյանը 1968 թվականից տեխնիկական գիտությունների թեկնածու է, 1977 թվականից վկայագրված ավագ

գիտական աշխատող «մեքենաների, սարքերի եւ ապարատների դինամիկա եւ ամրություն» մասնագիտությամբ, մույն մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների դոկտոր է 1991, պրոֆեսոր 1992 թվականից:

Հ.Լ. Արտեմյանի գիտական գործունեության հիմնական ուղղությունը եղել է մեքենաշինական տարբեր կառուցվածքների (էլեկտրական մեքենաներ, չափիչ սարքեր, ռոտորային համակարգեր, առանցքակալային հանգույցներ, մեքենաների մասերի կոնտակտային միացություններ, շարժաբեւերներ, բարձր ճնշման կաթսաներ եւ խողովակներ, թրթռանելիչներ եւ այլն) դինամիկական ամրության, հուսալիության եւ թրթռահնչականության (վիբրոակուստիկ) բնութագրերի հետազոտումը: ԽՍՀՄ էլեկտրատեխնիկական եւ պաշտպանության նախարարությունների պատվերներով, ԽՍՀՄ Գիտության եւ տեխնիկայի պետական կոմիտեի ծրագրերով եւ արտասահմանյան երկրների հետ միջազգային համագործակցության պայմանագրերով, Հ.Լ. Արտեմյանի ղեկավարությամբ եւ անմիջական մասնակցությամբ կատարվել են 40-ից ավելի գիտահետազոտական եւ նախագծային-կոնստրուկտորական աշխատանքներ, որոնց զգալի մասը գործող սարքավորումների կամ ղեկավարող փաստաթղթերի տեսքով ներդրվել են ԽՍՀՄ տասնյակ գործարաններում եւ նախագծային ինստիտուտներում: Պրոֆ. Հ.Լ. Արտեմյանի կարեւորագույն գիտական նվաճումներից է տեխնիկական համակարգերի թրթռահուսալիության ընդհանուր խնդրի ձեւակերպումը, լուծման տեսական եւ փորձնական մեթոդների մշակումը, կառուցվածքների թրթռահուսալիության բարձրացման գործնական եղանակների հայտնագործումը եւ ներդրումը:

Պրոֆ. Հ.Լ. Արտեմյանը զգալի արդյունքների է հասել նաեւ գիտական կադրերի պատրաստման եւ կատարելագործման հարցերում: Նրա ղեկավարությամբ կամ խորհրդատվությամբ հանրապետության 10 մասնագետներ պաշտպանել են թեկնածուական թեզեր մեքենաշինական կառուցվածքների ամրության եւ հուսալիության զանազան խնդիրներով: Նրան հաջողվել է ստեղծել ամրության տեսության մասնագետների յուրահատուկ գիտական դպրոց: Նա Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի դոկտորական թեզերի պաշտպանության «մեքենագիտություն եւ մեքենաշինություն» - 034 մասնագիտացված գիտական խորհրդի անդամ է:

Շուրջ 20 տարի Հ.Լ. Արտեմյանը եղել է ԽՍՀՄ էլեկտրատեխնիկական նախարարության գիտատեխնիկական խորհրդի անդամ, միութենական պատվիրակությունների կազմում բազմիցս ներկայացրել է ԽՍՀՄ եւ ՀՀ գիտարդյունաբերական պրոբլեմները արտասահմանյան երկրներում, աշխատակցել է գիտատեխնիկական ամսագրերի խմբագրություններին:

Հ.Լ. Արտեմյանը շուրջ 130 գիտական աշխատանքների հեղինակ է (80-ից ավելին բաց հրատարակությամբ), գիտական գեկուցումներով հանդես է եկել հանրապետական, համամիութենական եւ միջազգային ավելի քան 20 կոնֆերանսներում եւ գիտաժողովներում: Նրա աշխատանքները մի քանի անգամ արժանացել են գիտատեխնիկական ընկերությունների

հանրապետական եւ միութենական մրցույթների մրցանակների (1980, 1983, 1985, 1987 թթ.) եւ ԽՍՀՄ ժՏԼՑ դիպլոմների (1976, 1986 թթ.):

1994թ. սեպտեմբեր ամսից Հ.Լ. Արտեմյանը ՀՀ պաշտպանության նախարարի հրամանով զորակոչվել է ՀՀ Ձինված ուժերի շարքերը եւ նշանակվել Պաշտպանության նախարարության նորաստեղծ Բարձրագույն զինվորական բազմաբնույթ հրամանատարական ուսումնարանի (այժմ՝ Ռազմական ինստիտուտ) խոշորագույն ամբիոններից մեկի ընդհանուր ճարտարագիտական առարկաների ամբիոնի պետ: Կարճ ժամանակահատվածում նրա անմիջական ղեկավարությամբ եւ մասնակցությամբ կատարվել է ուսումնագիտական եւ կազմակերպչական աշխատանքների մեծ համակարգ:

- ինստիտուտի ութ ռազմական մասնագիտությունների համար մշակվել եւ ներդրվել են ավելի քան 15 ճարտարագիտական առարկաների ուսումնական ծրագրերը.

- ձեւավորվել է ճարտարագիտական առարկաների ողջ համակարգի դասավանդման մասնագիտական կառուցվածքը.

- ստեղծվել են 100-ից ավելի մեթոդական ցուցումներ առանձին առարկաների դասավանդման վերաբերյալ.

- նախագծվել են ճարտարագիտական առարկաների դասավանդման եւ գիտական աշխատանքների իրականացման համար անհրաժեշտ լաբորատորիաներ.

- մշակվել է ինստիտուտի ուսումնագիտական գործունեությունը կարգավորող իրավական փաստաթղթերի խոշոր համակարգ (գիտական աշխատանքների կատարման, ուսումնական գործընթացի կազմակերպման եւ վերահսկման, գիտական խորհրդի, խմբագրահրատարակչական եւ կուրսանտական ռազմագիտական խորհուրդների գործունեության, նորարարական եւ գյուտարարական աշխատանքների կազմակերպման եւ այլն):

Հ.Լ. Արտեմյանը զգալի ներդրում ունի ուսումնագիտական աշխատանքների կազմակերպման եւ իրականացման գործում: Նրա ակտիվ մասնակցությամբ ձեւավորվել են ինստիտուտի գիտական հեռանկարային պլանները, առաջարկներ ռազմաարդյունաբերական համալիրի հեռանկարային մշակումների համար. համագործակցության պլաններ Ռազմական ինստիտուտի եւ Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի միջեւ, որոնց հաջողությամբ իրագործվում են ի նպաստ սպայական կադրերի պատրաստման համակարգի կատարելագործման:

Տեղեկագրի խմբագրական կոլեգիան շնորհավորում է ակադեմիկոս գիտնականին ծննդյան 60-ամյակի առթիվ, մաղթում նրան քաջառողջություն եւ երկար տարիների հայրենանվեր գործունեություն:

Բ Ո Վ Ա Ն Շ Ա Կ ՈՒԹ ՅՈՒՆ

Շեկյան Վ.Գ. Գնդառանգակալների կոչողության սողերը	263
Ամիրջան Ա.Կ. Շոթայի արտաքին ընդգրկմամբ շրթայաակթային փոխանցման ալիքային ղեկերատորի ռադիոսիճի գոտիների երկարությունը որոշումը	268
Արզումանյան Ա.Մ., Խաչատրյան Գ.Ն. Սինթետիկ կորուսելից կտրուկ գործիքների մաշման մեխանիզմը	272
Մարտիրոսյան Վ.Ն., Մաճկալյան Ա.Ռ., Սասունցյան Մ.Է., Պողոսյան Մ.Մ. Երկաթի, պղնձի, ցինկի և կալսիի քլորիդների ջրածնով վերականգնման գործընթացի թերմոդինամիկան	277
Հովսեփյան Գ.Ս., Գալստյան Ն.Ժ., Ամբարյան Վ.Ա., Կարապետյան Վ.Ա. Մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքների ազդեցության տեխնոլոգիական բնութագրերի օպտիմալացումը և կառուցվածքների ձևավորումը	283
Խաչատրյան Վ.Ս., Բաղդադյան Ն.Պ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացումը և օպտիմալացումը	287
Խաչատրյան Վ.Ս., Իբրահիմ Ա.Ի., Խաչատրյան Կ.Վ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի խողարների կոմպոզիցիոն ապագայում	295
Թամարազյան Մ.Գ. Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացումը և օպտիմալացումը	301
Կ.Զ. Կարապետյան Մ.Վ., Զահվերդյան Ա.Ս. Էներգետիկ ռեակտորներում նեյտրոնների քսիմոնային կլանման և կոնցենտրացիայի	307
Արեշյան Գ.Լ. Ասիստանտ շարժիչի անցողիկ գործընթացների հաշվարկի նոր մեթոդ	314
Բարեղամյան Գ.Վ., Մովսիսյան Վ.Մ., Պետրոսյան Ն.Ն., Հարությունյան Ա.Շ. Ռեզոնանսային կերպավորված երկրորդային էլեկտրասնման աղբյուրի մեքենայական նախագծում	322
Արզումանյան Ա.Ա., Կարապետյան Վ.Ս. Հաստատուն լարման խորքի ձևավորումը և փոխադարձական հետազոտությունը	329
Բաղդասարյան Մ.Կ. Մագնիսականության պատմության մագնիսական դաշտի հետազոտություն	335
Սիմոնյան Ս.Ն., Ղուկասյան Պ.Է. Կծային դինամիկ համակարգերի ձևավորման օպտիմալացման թեղումները Առաջնությունների կիրառմամբ	338
Կյուրեղյան Ս.Գ., Կյուրեղյան Ն.Ս. Ոչ գծային ծրագրավորման մի գլուխ խնդիրների տեսնական լուծումների որոնում	342
Մախաչյան Վ.Գ., Մովսիսյան Գ.Ա., Կյուրեղյան Գ.Ս. Ինֆորմացիոն համակարգի օպտիմալացման մոդելի ժամանակակից բնութագրերի հետազոտում	345
Արքահամյան Ա.Ն. Բազմաբնույթ նյութերի վթարային ազդեցությունների հետևանքների վերաբերյալ լուծումների որոնում և ձևավորման (ֆորմալիզացիան)	352
Վաչագյան Վ.Վ. Բանկի պրոտիբները համակարգի օպտիմալ կառուցման դինամիկ համակարգի մոդելը	356
Բունիաթյան Վ.Վ., Ռախանյան Ռ.Ռ. Թռիչքային տիրույթում լատենտները բաշխման բնույթի ազդեցությունը ինժեկցիոն-թռիչքային դիոդների բարձր հաճախականության բնութագրերի վրա	361
Մկրտչյան Ա.Ս. Խորանի ներքին SSS ինտեգրացիան	366
Առուստամյան Վ.Ե., Մազադյան Վ.Ա. Թվային կապուղու լավարկման (օպտիմալացման) մի նպատակով վերադասում	371
Սարգսյան Գ.Գ. Տարբեր դասերի բազմապատկերի գործընթացների կառուցման մոդել	375
Գալստյան Ն.Ժ. Ti-C, Ti-N, Ti-C-N, Ti-W-C-Co համակարգերի համաձուլվածքների միջակայի կոմպոզիցիոն տեսական վերլուծությունը	378
Գրիգորյան Գ.Բ., Գրիգորյան Գ.Գ. Հաշվարկային մոդելի կառուցումը	382
Գևորգյան Ռ.Ն. Արտադրության օրգանիզմների դադարադրումը երևույթների ձևավորման տեսության կիրառմամբ	385
Արտեմյան Գ.Լ. Մոնոլոգի և Թատյանի կապակցությունը	388

СОДЕРЖАНИЕ

Шекян Г.Г. Жесткостная модель шарикоподшипника	263
Амирян А.К. Установление длины направляющих дорожек генератора волн целно-волновой передачи при его наружном обхвате цепи	268
Арзуманян А.М., Хачатрян Г.Г. Механизм износа режущих инструментов из синтетического корунда	272
Мартиросян В.А., Мачкалян А.Р., Сасунцян М.Э., Погосян М.М. Термодинамика процессов восстановления хлоридов металлов водородом	277
Овсепян Г.С., Галстян А.Ж., Амбарян Г.А., Карапетян Г.А. Формирование структуры и оптимизация технологических параметров азотирования металлокерамических твердых сплавов	283
Хачатрян В.С., Бадалян Н.П. Решение Y-Z-формы уравнения установившегося режима ЭЭС методом декомпозиции при P-U-типе станционных узлов	287
Хачатрян В.С., Ибрахим А.И., Хачатрян К.В. Метод определения допустимого установившегося режима электроэнергетической системы	295
Тамразян М.Г. Об одном упрощенном Y-Z-методе расчета установившегося режима электроэнергетической системы	301
Шахвердян С.В., Шахвердян А.С. Минимизация поглощения нейтронов ксеноном в энергетических реакторах	307
Арешян Г.Л. Новый метод расчета переходных процессов в асинхронном двигателе	314
Барегамян Г.В., Мовсесян В.М., Петросян Н.Н., Арутюнян А.Ш. Машинное проектирование источников вторичного электропитания на основе статических резонансных преобразователей	322
Арзуманян А.А., Караян Г.С. Фурье-преобразование постоянного напряжения и его экспериментальное исследование	329
Багдасарян М.К. Исследования магнитного поля в окне магнитопровода	335
Симонян С.О., Гукасян П.Э. Расщепление линейных динамических систем на основе дифференциально-тейлоровских преобразований	338
Кюрегян С.Г., Кюрегян Н.С. Поиск граничных решений одного класса задач нелинейного программирования	342
Саакян В.Г., Мовсесян Д.А., Кюрегян Г.С. Исследование временных характеристик стохастической модели информационной системы	345
Абрамян А.Г. О формализации алгоритма расчета последствий аварийных выбросов токсичных веществ	352
Барсегян А.В. Модель динамической системы оптимального управления системой портфелей банка	356
Буниатян В.В., Рагання Р.Р. Высоочастотные характеристики ИПД с экспоненциальным распределением примесей в пролетной области	361
Мкртчян А.С. Интегральная схема формального нейрона TTL (транзисторно-транзисторной логики)	366
Арустамян В.Е., Мазхар Х.А. Об одном методе оптимизации цифрового канала	371
Маркосян Г.Г. Вопросы уплотнения многомерных процессов различных классов	375
Галстян А.Ж. Теоретический анализ диаграмм состояния сплавов системы Ti-C; Ti-N; Ti-C-N; Ti-W-C-Co	378
Григорян Г.Б., Григорян Г.Г. Теллотворность сульфидных концентратов Армении	382
Геворкян Р.Н. Классификация объектов производства с применением теории распознавания образов	385
Артемян Г.Л. К 60-летию со дня рождения	388

CONTENTS

Shekhan H.G. Rigidity Model of Ball Bearing	263
Amiryan A.K. Wave Generator Guideway Path Length Determination of Chain-Wave Transmission at its External Chain Wrapping	268
Arzumanyan A.M., Khachatryan G.H. Synthetic Corundum Cutting Tool Wear Mechanism	272
Martirosyan V.H., Machkalyan A.R., Sasountsyan M.E., Poghosyan M.M. Thermodynamics of Iron, Copper, Zinc and Lead Chloride Restoration Processes by Hydrogen	277
Hovsepyan G.S., Galoustyan H.Zh., Hambaryan G.A., Karapetyan G.A. Structure Formation and Optimization of Technological Paramotors for Nitriding of Metallo-ceramic Hard Alloys	283
Khachatryan V.S., Badalyan N.P. Y-Z-form Equation Solution of Steady-State Mode for Electric Power System by Decomposition Method Having P-U-type Station Units	287
Khachatryan V.S., Ibrahim A.I., Khachatryan K.V. Admissible Steady-State Definition Mode for Electric Power System	295
Tamrazyan M.G. On Simplified Y-Z Method of Steady-State Mode Calculation for Electric Power System	301
Shahverdyan S.V., Shahverdyan A.S. Minimization of Neutron Absorption by Xenon in Nuclear Power Reactors	307
Areshyan G.L. A New Method for Calculation of Transition Processes in Asynchronous Motors	314
Baregamyan G.V., Movsessyan V.M., Petrossyan N.N., Harutunyan A.Sh. Computer-Aided Design of Secondary Power Supply Based on Static Resonant Converters	322
Arzoumanyanyan A.A., Karayan G.S. Fourier Transformation of Constant Voltage and Experimental Research	329
Baghdassaryan M.K. Magnetic Field Studies in Magnetic Circuit Window	335
Simonyan S.H., Ghoukassyan P.E. Linear Dynamic System Splitting Based on Differential-Taylor Transformations	338
Kyureghyan S.G., N.S. Kyureghyan. The Boundary Solutions of Nonlinear Programming One Class Problem	342
Sahakyan V.G., Movsessyan D.A., Kyureghyan G.S. Temporary Characteristics Study of Network Stochastic Model	345
Abramyan A.H. Evaluation Algorithm Formalization of Accidental Release Consequences	352
Barseghyan A.V. Model of Dynamic System for Optimal Management of Bank Portfolios System	356
Buniatyan V.V., Raganyan R.R. Microwave BARITT Diode Characteristics with Exponential Doping Impurity	361
Mkrtychyan A.S. Formal Neuron TTL Microcircuit	366
Arustamyan V.E., Mazkhar H.A. A Method of Digital Channel Optimization	371
Markossyan G.G. Multiplexing Multidimensional Processes with Different Levels	375
Galstyan H.Zh. Theoretical Analysis of Alloy State Diagram for the System Ti-Ci; Ti-n; Ti-C-n; Ti-W-C-Co	378
Grigoryan G.B., Grigoryan G.G. Calorific Value of Sulphide Concentrates in Armenia	382
Gevorkyan R.N. Optimum Classification of Products Using Sample Identification Theory	385
Artemyan H.L. 60-th Anniversary of the Birth	388