

Журнал издаётся с 5.01. 1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒԵԳԻԱ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ն. Թերզյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ս. Ղազարյան, Ռ. Մարտիրոսյան, Ն. Մանուկյան, Ֆ. Մարգարյան, Յու Սարգսյան, Վ. Մարգարյան, Մ Ստանկյան (գլխ. խմբ. տեղակալ), Ջ. Ստեփանյան (սրբանայնականություն բարձրագույն), Վ. Խաչատրյան, Ն. Զոհինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirosyan (Editor-in-Chief), R.V. Atoyian (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 ԱՍԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆՎԻՐԱՏՎՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԴՐՎԱԾ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՒՄ**

**THE JOURNAL IS PUBLISHED IN THE COMPUTER
PUBLISHING CENTER ESTABLISHED BY THE
DONATION OF THE ARMENIAN EDUCATIONAL
FOUNDATION (USA)**

Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГНУ Армении (сер. техн. наук) 1997

Г. Л. ПЕТРОСЯН, А. Г. ГАЛОЯН, Г. В. МУСАЕЛЯН, А. Г. ПЕТРОСЯН

МЕТОД УЧЕТА ТРЕЩИН В ТЕОРИЯХ ПЛАСТИЧНОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Գնահատվում է առկա լինելու ավելացած պորոզիտի ծավալունությունն հարկադիր խորք ձևավորված երկրաչափ պլաստիկության դեֆորմացիայի և հոսունության տեսությունները ստիպարմոններում Շնորհվում է, որ այդ ձևավորությունը համեմատական է կորի սկզբնական ձևավորվածության և տվյալ տեխնոլոգիական պրոցեսի լինող դեֆորմացիայի արտադրային:

Обсуждается вопрос учета дополнительной пористости, возникшей вследствие трещин, в зависимостях деформационной теории пластичности и теории течения пористых материалов. Принимается, что эта пористость пропорциональна произведению начальной пористости материала и характеризующей деформации технологического процесса.

Библиогр. 5 назв.

The problems of accounting supplementary porosity arisen owing to cracks in terms of deformation plasticity and porous material flow theories are discussed. This porosity is adopted to be proportional to initial material porosity product and typical deformation of technological processes.

Ref. 5.

Известно [1, 2], что очаги концентраций напряжений (поры и неметаллические элементы) в материалах являются причинами возникновения и распространения трещин. Исследование напряженно-деформированного состояния вокруг трещин позволяет объяснить особенности их раскрытия. При этом создается дополнительная пористость, которая играет важную роль в процессах пластического деформирования и разрушения. Учет этой пористости в зависимостях теорий пластичности пористых материалов является актуальной проблемой.

Пористость определяется как отношение объема пор V_{II} к объему пористого тела V : $\theta = V_{II} / V$. Если объем вещества материала V_R , то $V_{II} = V - V_R$.

Следовательно,

$$\theta = 1 - V_R / V. \tag{1}$$

Учитывая, что $V_R = G / \gamma_R$, $V = G / \gamma$ из (1) получим

$$\theta = 1 - \rho. \tag{2}$$

где G — масса тела, γ_{II} , γ — плотности вещества и пористого тела, $\rho = \gamma / \gamma_{II}$ — относительная плотность пористого тела.

Рассмотрим некоторое деформированное состояние тела, в котором призматический элемент плотностью γ имеет размеры

x , y и z . Линейные относительные деформации определяются следующими зависимостями [3]:

$$d\varepsilon_x = dx/x, \quad d\varepsilon_y = dy/y, \quad d\varepsilon_z = dz/z. \quad (3)$$

Согласно закону сохранения массы, имеем

$$xyzy = (x + x d\varepsilon_x)(y + y d\varepsilon_y)(z + z d\varepsilon_z)(\gamma + d\gamma). \quad (4)$$

Преобразуя это выражение и пренебрегая второй и более высшими степенями малых величин, получим

$$d\gamma/\gamma = -d\varepsilon_x - d\varepsilon_y - d\varepsilon_z. \quad (5)$$

Уравнение (5) можно выразить через относительную пористость материала ρ

$$d\rho/\rho = -d\varepsilon_x - d\varepsilon_y - d\varepsilon_z. \quad (6)$$

Учитывая, что $\rho = 1 - \theta$, получим

$$d\theta = (1 - \theta)(d\varepsilon_x + d\varepsilon_y + d\varepsilon_z). \quad (7)$$

При конечных деформациях из уравнения (3) имеем

$$\delta_x = \int dx/x = \ln(x_1/x_0) = \ln[(x_0 + \Delta x)/x_0] = \ln(1 + \varepsilon_x), \quad (8)$$

$$\delta_y = \ln(1 + \varepsilon_y), \quad \delta_z = \ln(1 + \varepsilon_z),$$

где δ_x , δ_y , δ_z и ε_x , ε_y , ε_z — соответственно логарифмические и относительные линейные деформации.

Согласно закону сохранения массы, имеем

$$x_0 y_0 z_0 \gamma_0 = x_1 y_1 z_1 \gamma_1.$$

Преобразуя и логарифмируя полученное выражение, получим

$$\ln x_1/x_0 + \ln y_1/y_0 + \ln z_1/z_0 = \ln \gamma_1/\gamma_0.$$

Учитывая, что $\gamma/\gamma_0 = \rho/\rho_0$, $\rho = 1 - \theta$, $\rho_0 = 1 - \theta_0$, а также используя (8) имеем:

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0) \exp(-\delta_x - \delta_y - \delta_z). \quad (9)$$

При малых деформациях ($\delta_x = 0,10 \dots 0,15$), учитывая, что $\delta_x = \varepsilon_x$, $\delta_y = \varepsilon_y$, $\delta_z = \varepsilon_z$ [3], уравнение (9) можно представить в виде

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0) \exp(-\varepsilon_x - \varepsilon_y - \varepsilon_z). \quad (10)$$

Рассмотрим вопрос учета дополнительной пористости θ_1 , возникшей вследствие трещин в материале. В [4] величина θ_1 была принята в функциональной зависимости от пористости материала и степени его пластического деформирования в виде $\theta_1 = \theta(\varepsilon_{\text{экв}})$, где $\varepsilon_{\text{экв}}$ — эквивалентная деформация. В частности, функция $\theta(\varepsilon_{\text{экв}})$ была представлена в линейной зависимости от $\varepsilon_{\text{экв}}$: $\theta(\varepsilon_{\text{экв}}) = k\varepsilon_{\text{экв}}$, где k — экспериментально определяемый коэффициент пропорциональности. Однако, несмотря на упрощенный вид функции $\theta(\varepsilon_{\text{экв}})$, определение дополнительной пористости материала θ_1 по методике [4] связано со значительными трудностями. Кроме того, этот вопрос в [4] анализирован недостаточно полно. С целью

подробного анализа и упрощения методики определения дополнительной пористости примем, что она прямо пропорциональна начальной пористости материала и характеризующей деформации технологического процесса ε :

$$\theta_T = k\theta_0\varepsilon. \quad (11)$$

Общая пористость материала с учетом (10) и (11) определяется по формуле

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0)\exp(-\varepsilon_x - \varepsilon_y - \varepsilon_z) + k\theta_0\varepsilon. \quad (12)$$

Формулы (7) и (11) позволяют представить общее приращение пористости в виде

$$d\theta = (1 - \theta)(d\varepsilon_x + d\varepsilon_y + d\varepsilon_z) + k\theta_0 d\varepsilon. \quad (13)$$

Отметим, что зависимости для пористости (12) и приращения пористости (13) позволяют без изменения использовать остальные формулы соответствующих теорий пластичности пористых материалов [5]. В частности, зависимости деформационной теории пластичности пористых материалов имеют следующий вид [5]:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\beta^{m-n}} \left(\frac{1}{2} ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2) + \alpha_0^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 \right)^{1/2}, \quad (14)$$

$$\varepsilon_{\text{экв}} = \beta^{2m-n} \left(\frac{2}{9} ((\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2) + \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)^2}{9\alpha_0^2} \right)^{1/2}. \quad (15)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{\text{экв}}}{2\beta^{m-n}\sigma_{\text{экв}}} (2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 + 2\alpha_0^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)),$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{\text{экв}}}{2\beta^{m-n}\sigma_{\text{экв}}} (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3 + 2\alpha_0^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)), \quad (16)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_{\text{экв}}}{2\beta^{m-n}\sigma_{\text{экв}}} (2\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_2 + 2\alpha_0^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)),$$

$$\alpha = 0.15\theta^{0.6}, \quad \beta = 1 - 1.8\theta^{0.9}. \quad (17)$$

где $\sigma_{\text{экв}}$, $\varepsilon_{\text{экв}}$ — соответственно эквивалентные напряжение и деформация; σ_1 , σ_2 , σ_3 — главные напряжения; ε_1 , ε_2 , ε_3 — главные деформации; α , β — функции пористости (α_0 соответствует начальной пористости материала θ_0); m , n — параметры пористости.

Подставив в (12) значения деформаций ε_1 , ε_2 , ε_3 из (16), получим

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0)\exp\left(-\frac{9\sigma_0\varepsilon_{\text{экв}}\alpha_0^m}{\beta^{3m-n}\sigma_{\text{экв}}}\right) + k\theta_0\varepsilon, \quad (18)$$

где $\sigma_{00} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ — среднее напряжение.

В зависимостях теории течения формула (14) не меняется, однако вместо функции α_{ij} используется α . Остальные формулы сводятся к виду

$$\bar{d\varepsilon}_{\text{экв}} = \beta^{2n-1} \left(\frac{2}{9} ((d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1)^2) + \frac{(d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3)^2}{9\alpha^m} \right)^{1/2} \quad (19)$$

$$d\varepsilon_1 = \frac{\bar{d\varepsilon}_{\text{экв}}}{2\beta^n \sigma_{\text{экв}}} (2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 + 2\alpha^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)),$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{\bar{d\varepsilon}_{\text{экв}}}{2\beta^n \sigma_{\text{экв}}} (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3 + 2\alpha^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)), \quad (20)$$

$$d\varepsilon_3 = \frac{\bar{d\varepsilon}_{\text{экв}}}{2\beta^n \sigma_{\text{экв}}} (2\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_2 + 2\alpha^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)).$$

где $\bar{d\varepsilon}_{\text{экв}}$ — эквивалентное приращение деформаций, $d\varepsilon_1, d\varepsilon_2, d\varepsilon_3$ — приращения главных деформаций.

Подставив в (13) значения приращения деформаций $d\varepsilon_1, d\varepsilon_2, d\varepsilon_3$ из (20), получим

$$d\theta = \frac{9\sigma_{\text{экв}} \bar{d\varepsilon}_{\text{экв}} \alpha^m (1-\theta)}{\beta^{2n} \sigma_{\text{экв}}} + k\theta_s d\varepsilon. \quad (21)$$

Пористость материала и интеграл от эквивалентного приращения пластических деформаций после каждой текущей степени деформирования определяются по формулам

$$\theta = \theta_{i-1} + \Delta\theta_i, \quad (22)$$

$$\int d\varepsilon_{\text{экв}} = \sum_{i=1}^s \Delta\varepsilon_{\text{экв}i}, \quad (23)$$

где s — число предыдущих степеней деформирования.

Таким образом, предложен метод учета влияния трещин в процессах пластического деформирования и разрушения пористых материалов. Использованы основные законы механики деформированного твердого тела. Допущения относительно дополнительной пористости материала позволяют упростить расчеты.

На основании зависимостей деформационной теории пластичности (14)-(18) и теории течения (19)-(21) пористых материалов в дальнейшем можно определить параметры пористости и трещин, а также решить широкий класс технологических задач.

(Работа выполнена в рамках финансируемой государственной научной темы РА № 94-170)

ЛИТЕРАТУРА

1. Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г. Кинетика разрушения. - М.: Металлургия, 1979 - 278 с.
2. Давид Брокс. Основы механики разрушения. - М.: Высшая школа, 1980. - 368 с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М. Машиностроение, 1975. - 399 с.
4. Петросян Г.Л. Исследование вопросов влияния трещин на процессы пластического деформирования и разрушения спеченных материалов // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении: Тез. докл. / Академия наук УССР, Институт проблем материаловедения. - г. Луцк, 1989. - С. 47-48.
5. Петросян Г.Л. Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 153 с.

ГИУА

17.03 1997

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 1., № 3, 1997, с. 171-174.

УДК 69.002.54.83

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.С. САРКИСЯН

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ РУЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ներկայացվում է ձևորի նորվածային էլեկտրական սեղանների երկրաչափական և կառուցվածքային պարամետրերի լավարկման նոր չափանիշ, որը ներառում է մինչև այսօր հայտնի երկու չափանիշները:

Предлагается новый критерий для оптимизации геометрических и конструктивных параметров ручных электрических машин ударного действия, совмещающий два других критерия.

Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

A new criterion for geometrical and design parameter optimization is proposed for a manual electric machine with a percussion combining the other two criteria known at present.

Ил. 1. Ref. 2.

В настоящее время известны два критерия для оптимизации геометрических и конструктивных параметров ручных электрических машин с компрессионно-вакуумным (КВ) ударным механизмом: минимум силы, действующей на корпус машины по ее продольной оси [1,2] и максимум энергетического использования машины. Исследования показали, что эти два критерия можно совмещать в одном, более универсальном критерии.

Нагрузочная диаграмма ручной машины с КВ ударным механизмом имеет явно выраженный пиковый характер (рис.), где M_c -момент сопротивления на валу кривошипа φ -угол поворота его вала. Спичение пиковости нагрузочной диаграммы, т.е. ее

приближение к неизменной во времени нагрузке, означало бы всестороннее улучшение ударного механизма. При такой постановке вопроса заслуживает внимания отношение

$$\mu = M_{с.м} / M_{с.р}, \quad (1)$$

где $M_{с.м}$ и $M_{с.р}$ — соответственно максимальное и среднее значения момента сопротивления $M_{с.р}$ представляет высоту прямоугольника оabc, площадь которого равна площади, ограниченной кривой $M(\varphi)$ и осью абсцисс. Для подобной нагрузочной диаграммы выражение (1) характеризует степень ее неравномерности. Чем ближе μ к единице, тем меньше неравномерность и наоборот.

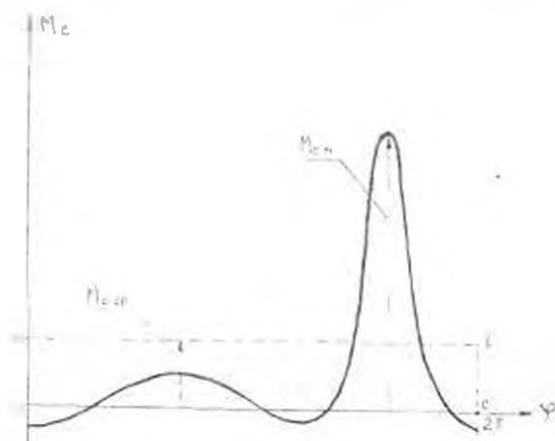


Рис. Нагрузочная диаграмма KB ударного механизма

Момент сопротивления на валу кривошипа для KB ударного механизма выражается по формуле [1]

$$M = rFPf(\varphi), \quad (2)$$

где r — радиус кривошипа; F — площадь сечения цилиндра; P — избыточное давление в рабочей камере; $f(\varphi)$ — некоторая функция, зависящая от угла поворота вала кривошипа

$$f(\varphi) = \sin \varphi + \frac{0,5\lambda \sin 2\varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}},$$

λ — отношение радиуса кривошипа к длине шатуна.

Энергия, переданная приводным двигателем за время одного цикла ударному механизму, равна

$$E = \int_0^{2\pi} M_r d\varphi = rF \int_0^{2\pi} Pf(\varphi) d\varphi, \quad (3)$$

Среднее значение момента сопротивления будет

$$M_{с.р} = \frac{E}{2\pi} = \frac{rF}{2\pi} \int_0^{2\pi} Pf(\varphi) d\varphi. \quad (4)$$

Максимальное значение момента сопротивления согласно (2) равно

$$M_{\text{max}} = rF[Pf(\varphi)]_{\text{m}}, \quad (5)$$

где $[Pf(\varphi)]_{\text{m}}$ — максимальное значение функции, получаемой от произведения двух функций: избыточного давления P и $f(\varphi)$.

После подстановки (4) и (5) в (1) имеем

$$\mu = 2\pi[Pf(\varphi)]_{\text{m}} / \int_0^{2\pi} Pf(\varphi) d\varphi. \quad (6)$$

Для придания общности формуле (6) переходим к относительным единицам. Если пренебречь потерями в ударном механизме, то энергия, определенная по формуле (3), полностью передается ударнику (рабочему инструменту), а энергия, полученная ударником, выражается по следующей формуле [1]:

$$E_{\text{уд}} = mV^2(1 - R^2)/2, \quad (7)$$

где m — масса ударника; V — скорость ударника в момент удара; R — коэффициент восстановления скорости.

Используя базисные величины [1, 2], в которые входят основные геометрические и конструктивные параметры ударного механизма, формулу (7) можно записать в относительных единицах:

$$E_{\text{уд}} = P_0 v^3 (1 - R^2) / 2\lambda\beta. \quad (8)$$

В (8) обозначены

$$\alpha = P_0 F / mH_0\omega^2; \quad \beta = r/H_0; \quad v = V/H_0\omega,$$

где P_0 — атмосферное давление; H_0 — начальное расстояние между ударником и поршнем; $\omega = \pi Z_1 / 30$ — некоторая постоянная угловая скорость, определяемая по числу ударов в минуту Z_1 .

После подстановки (8) в (6) окончательно получим

$$\mu = 4\pi \frac{\alpha\beta[Pf(\varphi)]_{\text{m}}}{v^3(1 - R^2)}, \quad (9)$$

где $P = P/P_0$ — избыточное давление в относительных единицах.

Графики функций p и $f(\varphi)$ показывают, что их максимумы наступают в конце рабочего цикла практически одновременно (при угле $\varphi = 285^\circ$).

Поэтому можно записать

$$[Pf(\varphi)]_{\text{m}} = P_{\text{m}}[f(\varphi)]_{\text{m}}.$$

При такой отдельной форме записи сомножителей произведения $[Pf(\varphi)]_{\text{m}}$ имеем

$$\mu = 4\pi \frac{\alpha P_{\text{m}}\beta}{v^3(1 - R^2)} [f(\varphi)]_{\text{m}}. \quad (10)$$

В числителе (10) произведение αP_{m} отражает силу действующую на поршень [1]. В знаменателе дробь $v^3(1 - R^2)/4\pi$ указывает уровень энергетического использования ударного механизма. Из [10] очевидно также, что μ зависит от β . В [2] показано, что с уменьшением β снижается отрицательное влияние

инерционных сил. Чем меньше αP_0 и β и чем больше $v^2(1-R^2)$, тем более высокими являются показатели ударного механизма. Но это полностью согласуется с условием μ , т.е. чем меньше неравномерность нагрузочной диаграммы, тем совершенен ударный механизм. Следовательно, выражение (10) может служить критерием оптимизации геометрических и конструктивных параметров компрессионно-вакуумного ударного механизма. При этом совместно учитываются как сила, действующая на поршень, так и уровень энергетического использования ударного механизма, а также влияние инерционных сил.

В [2] показано, что при помощи восьми безразмерных коэффициентов, а именно: α , β , R и K_1, \dots, K_8 , можно однозначно вычислить все основные геометрические и конструктивные параметры ударного механизма. На основании критерия, выражающегося в (10), и математической модели, предложенной в [2], получены следующие оптимальные значения для этих коэффициентов: $\alpha = 0,4$; $\beta = 0,2 \dots 0,3$; $R = 0,2$; $K_1 = 1,1$, $K_2 = 1,1 \dots 1,2$; $K_3 = 0,06 \dots 0,08$; $K_4 = 0$; $K_5 = 1,3 \dots 1,4$. Они хорошо согласуются с ранее полученными значениями, но с учетом универсального характера нового критерия являются более приоритетными, а также отражают предельные возможности компрессионно-вакуумного механизма. Минимальное значение критерия неравномерности нагрузочной диаграммы достигает 4...5.

Критерий уровня неравномерности нагрузочной диаграммы, выражающийся в (9) или (10), справедлив для КВ ударного механизма. Однако его суть и способ получения носят общий характер и могут быть использованы для других видов ударных механизмов. В каждом конкретном случае необходимо базисные величины подобрать таким образом, чтобы в них входили геометрические и конструктивные параметры, подлежащие оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пятов В.Л. Применение вычислительной техники при исследовании ручных машин ударного действия // Реф. тем. сб.: Механизованный инструмент и отделочные машины / ЦНИИТЭстроймаш, 1974. - Сер. IV. - С. 3-55.
2. Саркисян А.С. Влияние инерционных сил на вибрацию ручных машин ударного действия // Строительные и дорожные машины. - 1991. - № 4. - С. 22-24.

С.Г. АГБАЛЯН, В.Л. КАСЬЯН, А.Н. КАЗАРЯН, Г.А. ТУМАНЯН,
А.А. ФРАНГУЛЯН, Л.Г. ГАЛСТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА ИЗ РУД РАЗДАНСКОГО И КАПУТАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ուսումնասիրվել են ՀՀ երկաթի հանքանյութերի հիմնական իներսիայրերը և դրանց հարստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները, որոնք ենթարկվում են ընկձեռում Տրազդանի և Կապուտանի իներսիայրերից առաջվաճ խտանյարում երեւարի արարունակարարունը հարցնել մինչև 68% Ջերանմանրաչափական և ածանցարարական մերողներով նատրիումի կարրոնատի առկայարյան դեպքում հետազարավել են տարրեր վերականգնելներով երկաթի խոտակարի վերականգնման մեխանիզմը և կինետիկան: Ուսումնասիրվել է թագ սաղեխական տարանչառունան գործարարը և քնարվել են հարստացման լափարունը ռեճաներ: Աշակվել է երկարաչառունը 99,6...99,8% Fe) ստարանման սկզբունքարեն նոր տեխնոլոգիան, որը հիմնվաճ է խոտակարի՝ առարյով զտման և թագ սաղեխական տարանչառունան վրա:

Рассмотрены основные месторождения железных руд РА и технологические особенности их обогащения, обеспечивающие получение из Разданских и Капутанских руд концентрата с 68% Fe. Методами термогравиметрии и дериватографии исследованы механизм и кинетика восстановления железорудного концентрата различными восстановителями в присутствии карбоната натрия. Изучены процессы магнитной мокрой сепарации и выбраны оптимальные режимы обогащения. Разработана принципиально новая технология получения железного порошка (99,6...99,8% Fe), основанная на содовом рафинировании и магнитной мокрой сепарации. Ил. 6. Библиогр.: 4 назв.

The main iron ore deposits of Armenia and technological peculiarities of their enrichment that provide production of iron-ore concentrate with 68% Fe based on Razdan's and Kaputan's ores are studied. Based on thermodynamics analysis the reducing mechanism and kinetics of the iron ore concentrate by the different reducing agent and under presence of Sodium Carbonate are investigated. The wet magnetic separation processes are studied and the regimes of the ore enrichment are chosen. A new technology for production of iron powder (99,6...99,8% Fe) based on Sodium based refinement and wet magnetic separation is developed.

Ил. 6. Ref 4.

Целью исследования является разработка технологии получения железного порошка технической чистоты (99,0...99,8%Fe) из руд Разданского и Капутанского месторождений методами восстановления и содового рафинирования.

Прогнозные запасы Разданских руд оцениваются в размере 250...300 млн.т при среднем содержании железа 30...35%, а Капутанского месторождения соответственно 300...400 млн.т и 32...38% [1]. Месторождения характерны гранат-эпидотовыми скарнами, в различной степени обогащенными магнетитом. Фазовый анализ показывает, что железная руда состоит из магнетита (64,9%

Fe_2O_3 - гематита (12,0% Fe_2O_3) и различных минералов (23%). При магнитном мокром обогащении большая часть редких земель попадает в хвосты и не представляет промышленного интереса.

Исследована обогатимость Разданской руды в зависимости от гранулометрического состава и напряженности магнитного поля сепаратора (рис.1). С увеличением напряженности поля содержание выхода концентрата γ и извлечение ϵ в концентрате β значительно возрастают, тогда как содержание Fe в концентрате β значительно падает. Эта закономерность наблюдается для всех фракций. Чем выше степень раскрытия минералов, тем меньше примесей в концентрате (кривые $\beta_1 - \beta_4$ и $\gamma_1 - \gamma_4$). Извлечение Fe в концентрате ϵ фактически не зависит от дисперсности руды и для всех четырех фракций практически остается одинаковым: при 400, 800 и 1200 Э - $\epsilon = 70,2, 78,6$ и 83% . По этим значениям построена общая кривая ϵ_{1-4} . Лабораторные опытно-промышленные исследования по обогатимости Разданских и Капутанских руд показали, что для получения концентратов с 67...69% Fe требуется тонкий помол (-0,053 мм).

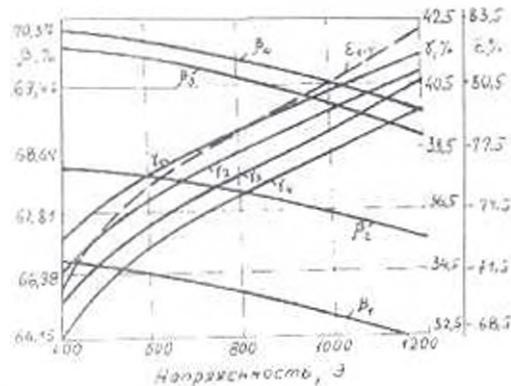


Рис.1 Зависимость содержания Fe в концентрате (β),

выхода концентрата (γ) и извлечения Fe в концентрат (ϵ) от напряженности магнитного поля сепаратора и тонкости помола руды:

1 - 50% фракции - 0,053 мм; 2 - 60%; 3 - 70%; 4 - 90%

Кинетика восстановления изучалась на термогравиметрической установке конструкции ИПМ НАН Украины. Степень восстановления α оценивалась отношением $Fe_{мет} : Fe_{общ}$. Результаты экспериментов (рис. 2) показали, что восстанавливаемость концентрата древесным углем ниже, чем прокатной окалины, перерабатываемой Сулинским металлургическим заводом. Так, в течение 25 мин окалина полностью восстанавливается при 1050 С, тогда как концентрат за это же время при 1150 С - всего лишь на 92%. Это объясняется плотным строением природного магнетита, а также наличием сложных оксидных соединений железа в виде эпидота, граната и др. Согласно сравнительным экспериментам, реакционная способность нефтяного кокса (ГОСТ 22898-78) выше древесного угля. При 1150 С (35 мин) восстанавливаемость концентрата коксом составляет

100%, а древесным углем - 95%. Лучшими восстановительными свойствами обладает синтез-газ при 1050°C (30 мин) достигается 100%-ое восстановление.

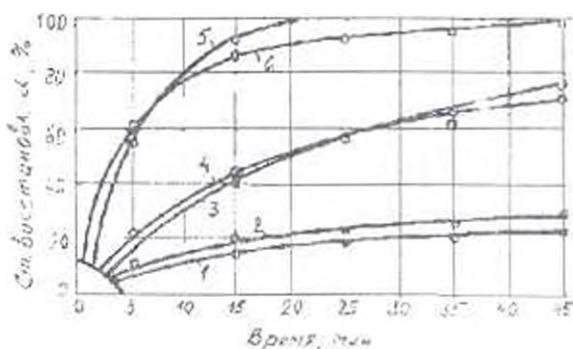


Рис.2. Кинетика восстановления концентрата и прокатной окалины древесным углем: 1, 2 - 850°C; 3, 4 - 950°C; 5 - 1050°C; 6 - 1150°C. Кривые 1, 3, 5 - прокатная окалина; 2, 4, 6 - концентрат

С целью выявления механизма и кинетики восстановления концентрата нефтяным коксом с участием соды (в качестве активатора) выполнен комплекс дериватографических исследований. Шихта, состоящая из концентрата, кокса и соды, подвергалась грануляции и сушке при 100°C. Процессы восстановления изучались в интервале 25...1200°C для шихт, содержащих 0...15% соды.

Первый минимум на дериватограммах (дериватограф Q-1500П, рис.3) проявляется при -130°C и воспроизводится независимо от концентрации соды. Процесс сопровождается поглощением тепла и уменьшением массы навески. Следующий минимум также является характерным для всех составов шихт и фиксируется на кривых DTA и DTG при 576,17°C. Процесс протекает в интервале 340...650°C и относится к первой стадии восстановления: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$. С повышением температуры (650...790°C, минимум при 750°C) происходит взаимодействие соды (Na_2CO_3) с примесями концентрата:



Одновременно развиваются реакции второй стадии восстановления: $Fe_3O_4 \rightarrow FeO$, как по механизму твердофазной диффузии ($Fe_3O_4 + C \rightarrow FeO + CO$), так и через газовую фазу ($Fe_3O_4 + CO \rightarrow FeO + CO_2$). 5%-я концентрация соды соответствует стехиометрическому количеству, достаточному для полного взаимодействия с примесями шихты (концентрата).

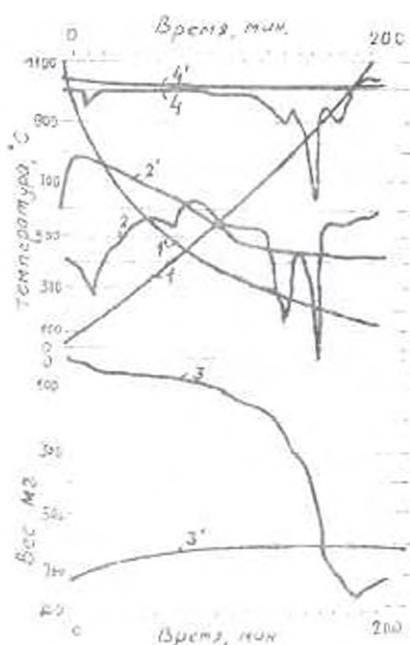


Рис. 3. Дериватограмма шихты, содержащей 5% Na_2CO_3 : 1, 2, 3, 4 - кривые температуры (Т), дифференциального термического анализа (DTA), термогравиметрического анализа (TG) и деривативной термогравиметрии (DTG) при нагревании образцов. 1', 2', 3', 4' - кривые Т, DTA, TG и DTC при охлаждении образцов (шихты)

В температурном интервале $790\text{--}900^\circ\text{C}$ регистрируется еще один минимум, также относящийся к процессам $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ и $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$. С увеличением содержания соды скорость этих процессов возрастает, что объясняется взаимодействием соды с примесями и раскрытием связанных оксидов железа.

Третья стадия восстановления $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ протекает при $900\text{--}1000^\circ\text{C}$. На дериватограммах это проявляется в виде экстремумов на кривых DTA и DTG (970°C) и участков на кривых TG. Эксперименты показали, что при содержании соды до 5% наблюдается резкое снижение конечной температуры и времени восстановления. Для шихты с 10% Na_2CO_3 конечная температура восстановления на $130\text{--}150^\circ\text{C}$ ниже, чем для шихты без Na_2CO_3 . Кроме того, на $\sim 20\%$ сокращается продолжительность восстановления.

Последний минимум при 1100°C на кривых DTA шихт с 3% Na_2CO_3 и более относится к вторичным твердофазным реакциям:



Выполнен комплекс термогравиметрических исследований, целью которых являлось изучение кинетики восстановительных реакций и выяснение механизма ускоряющего действия соды. Эксперименты проводились на установке Самсонова-Дороховича (ИПМ НАН Украины). При повышении температуры процесс смещается из кинетической области в переходную и диффузионную (рис. 4). В области температур до 750°C наблюдается торможение восстановления шихт, содержащих соду. Это объясняется блокирующим действием соды на реакции прямого восстановления, когда они являются еще лимитирующими. Причиной могут служить как поверхностное обволакивание, так и реакции

силикатообразования, продукты которых препятствуют термодиффузионным процессам. В области средних температур (750...800 °С и выше), когда интенсифицируются процессы газификации углерода, степень восстановления шихты значительно возрастает - кривые 2-4 располагаются выше кривой 1.

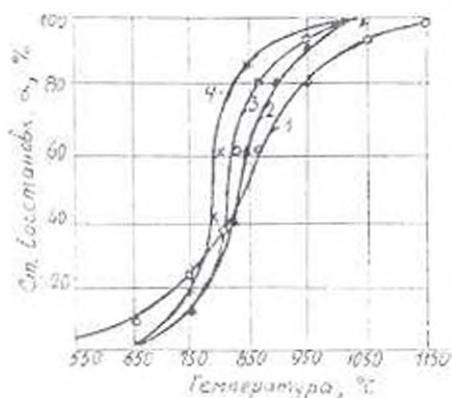


Рис. 4. Зависимость степени восстановления концентрата и шихты нефтяным коксом от температуры ($\tau = 30$ мин): 1 — концентрат, 2, 3 и 4 — шихта с 5, 10 и 15% Na_2CO_3

Результаты кинетических исследований позволили установить зависимость скорости реакции V от степени восстановления α (рис. 5). Реакции протекают в виде самостоятельных этапов, соответствующих отдельным стадиям процесса и отвечающих адсорбционно-автокаталитическим превращениям. Поскольку содержание Fe_2O_3 небольшое по сравнению с Fe_3O_4 , то первая стадия $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ совмещается со второй: $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$. Начальные стадии восстановления протекают медленно (индукционный период), затем с развитием реакционной поверхности они заметно возрастают. Кинетика первых двух стадий обладает признаками автокатализа. Реакция $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ характеризуется экзотермичностью и высокой скоростью восстановления. Реакция $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ эндотермическая, газовой фаза CO обедняется, скорость восстановления замедляется. Минимальная скорость реакции соответствует степеням восстановления, равным 20...25%, т.е. полному переходу $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeO}$.

В третьей стадии $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ сохраняется эндотермичность процесса, содержание CO падает, а следовательно, затрудняется реакция: $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ (газификация углерода). Несмотря на эти условия, скорость реакции $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ возрастает и достигает максимума при $\alpha = 70\%$ (рис. 5, кривая 1). Это объясняется каталитическим воздействием образующегося Fe на газификацию углерода [2, 3]. Активация процесса $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ объясняется внедрением Fe в решетку графита и его разрыхлением.

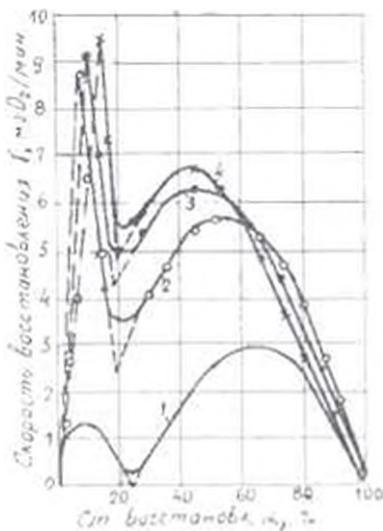


Рис 5 Кинетика восстановления концентрата и шихты нефтяным коксом при 1050°С. 1 - концентрат; 2, 3 и 4 - шихта с 5, 10 и 15% Na_2CO_3

Анализ кривых 1-4 (рис. 5) показывает, что сода существенно увеличивает скорость восстановления. При $\alpha = 10\%$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$) скорость восстановления шихты, содержащих 5, 15% Na_2CO_3 (кривые 1-3), возрастает в 6,5, 7,5 раза; при $\alpha = 50-60\%$ ($\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$) - в 2 раза. Наибольшее влияние соды оказывает на ранних стадиях восстановления. Этим и объясняется сильное перекрывание стадий $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ и $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ (пунктирные линии на кривых 2-4). Поэтому при $\alpha = 20 \dots 25\%$ скорость восстановления достаточно высока, что хорошо согласуется с результатами дериватографических исследований.

Рафинирующее действие соды выявляется при магнитном мокром обогащении, которое основано на использовании разности магнитной восприимчивости частиц порошка [4]. Исследование по обогащению пульпы проводилось на магнитном барабанном сепараторе типа 120Б-СЭ производительностью 75 кг/ч. С увеличением напряженности поля содержание Fe уменьшается: при $H=600\text{Э}$ $\text{Fe}=99,95\%$. Но в этом случае скорость сепарации снижается и хвосты обогащаются железом, в связи с чем за оптимальную напряженность можно принять $H=900\text{Э}$ при $\text{Fe}=99,75\%$.

Извлечение Fe также зависит и от соотношения "твердое тело-жидкое тело" (Т/Ж) при Т/Ж=1/6 $\text{Fe}=99,9\%$. Скорость сепарации может оставаться и высокой, однако выход Fe при этом падает, поэтому предпочтительным Т/Ж можно считать интервал 1/4 - 1/5.

Эксперименты показывают, что превышение окружной скорости (например $V > 60$ см/с) приводит к загрязнению продукта обогащения, что объясняется механическим захватом примесей и быстрым выносом их из зоны сепарации. При V ниже оптимальных значений соответственно уменьшается центробежная сила, поэтому она становится недостаточной для полного удаления слабомагнитных частиц, захваченных магнитной фракцией.

На чистоту продукта оказывают влияние тонкость помола и кратность сепарации. Приемлемым можно считать $d_{ср}=70$ мкм, т.е. фракцию 160 мкм. Первичная сепарация обеспечивает получение порошка с Fe=99,0%, а двукратная переочистка - с Fe=99,7%.

Изучено также рафинирующее действие соды на чистоту железного порошка. Для шихты без соды чистота порошка соответствует 95% Fe, т.е. удаление примесей незначительное, тогда как с 10% Na_2CO_3 она возрастает до 99,7% Fe.

По оптимальным параметрам составлен материальный баланс продуктов магнитного мокрого обогащения согласно весовому и химическому составам. Извлечение Fe в продукт (порошок) равно 98,5%, и только лишь 1,5 Fe представляют потери.

На основе содового рафинирования и магнитной мокрой сепарации разработана технология получения железного порошка технической чистоты (Fe=99,6...99,8%), которая позволяет перерабатывать не только железорудные концентраты, но и прокатную окалину повышенной степени загрязненности. Сущность способа заключается в следующем. Шихта, состоящая из оксидов железа (концентрат, окалина), соды и твердого восстановителя (кокс, графит, сажа), подвергается восстановлению, полученное губчатое железо размалывается в жидкой среде (в воде) и рафинируется магнитной мокрой сепарацией. Этим предлагаемая технология принципиально отличается от существующих. В ней благоприятно реализуются процессы восстановления концентрата и очистки продукта от примесей.

(Работа выполнена в рамках финансируемой госбюджетной научной темы РА № 94-191).

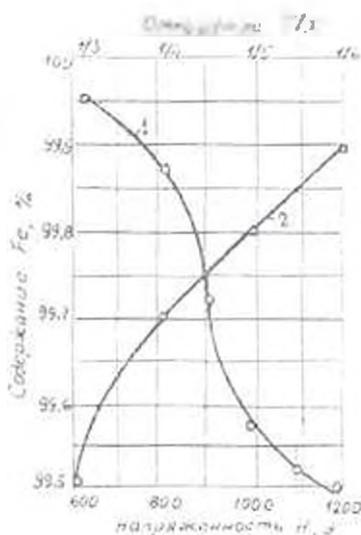


Рис. 6. Зависимость содержания железа от напряженности поля (кривая 1) и отношения Т:Ж (кривая 2)

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гулян Э.Х., Дадаян Г.А. Железорудные месторождения Армении - Ереван: Луйс, 1963. - 91 с.
- 2 Есин О.А., Гельд П.В. Физическая химия пирометаллургических процессов. - М.: Металлургия, 1966. - 793 с.
- 3 Механизм и кинетика восстановления металлов // Мат. симп. Под ред. А.М. Самарина. - М.: Наука, 1970. - 248 с.
- 4 Дуррер Р. Металлургическая переработка железных руд. - М.: Металлургияиздат, 1960. - 176 с.



С.Г. АГБАЛЯН, В.А. МАРТИРОСЯН, М.Э. САСУНЦЯН, А.С. АГБАЛЯН

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНОГО ПОРОШКА ИЗ ПРОКАТНОЙ МЕДНОЙ ОКАЛИНЫ

Տնօրոշվել են առաջ-տեխնոլոգիաները կապելի վրա մշակելի և մաքրվողի արտադրության ժամանակ կիրառված մեծից պղնձապարուն ստացման փորձառորոտորական օժվածությունը: Ստացված մշակելի և բաժանելի կիրառվածների քայլի և բաժանելի ապագահանման գործընթացները և մեթոդի լախարյուն ուժիները: Ստացված մշակելի և բաժանելի և ֆիզիկա-տեխնոլոգիական հատկություններով համապատասխանում է պղնձապարուն ГОСТ 4960-75 ստանդարտին և բնորոշվում է կապելի հատկություններով:

Разработана опытно-промышленная технология получения медного порошка из отходов кабельного производства. Исследованы процессы комбинированного восстановления гранулированной шихты в опытно-промышленных условиях. Изучены процессы водного и солянокислого выщелачивания прокатной окалины, выбраны оптимальные режимы. По химическим и физико-технологическим свойствам полученные порошки отличаются стабильностью и отвечают требованиям ГОСТ 4960-75 на медные порошки. Чистота медного порошка находится в пределах 99,8-99,9%.

Табл. 4. Библиогр.: 6 назв.

Pilot-manufacturing technology for obtaining copper powder from cable production waste has been developed. Processes for combined restoration of granulated mixture in pilot-manufacturing conditions have been investigated. Water and hydrochloric mill scale leaching processes are studied and optimum conditions are chosen. By their chemical and physico-technological properties the powders obtained differ in property stability and meet the requirements of State Standard 4960-75 for copper powders. Copper powder purity is within the limits of 99.8-99.9%.

Tables 4. Ref. 6.

При производстве кабельных изделий горячей прокаткой образуется 2,5-3,0% окалины в результате переработки медных вайербаров. До 1990 г. в республике утилизация прокатной окалины осуществлялась на Алавердском горно-металлургическом комбинате при конверторном переделе. Общие потери при переработке ее на черновую медь составляли 10-15%.

Пирометаллургия по сравнению с пирометаллургией является более эффективным способом переработки медной прокатной окалины (табл. 1). Кроме того, медный порошок как продукт более ценен, чем питая медь.

Таблица 1

Химический состав прокатной окалины (после сушки и обжига при 550-600 °С), %								
Cu ₂ O-CuO	Cu	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O
40,10	55,07	1,19	2,21	0,31	1,15	0,10	0,04	0,01

Соотношение Cu₂O:CuO=1:4; суммарно 31,07%, с учетом металлической - 86,14%.

Целью исследования является разработка технологии получения медного порошка из прокатной медной окалины методами восстановления и содового рафинирования.

Так как загрязнение указанного отхода происходит механическим путем в результате проведения основных технологических процессов, а также при сборе, хранении и транспортировке, примеси преимущественно находятся в свободном состоянии. Это позволяет перерабатывать исходные сырьевые материалы химико-металлургическим содовым методом, разработанным ЦНИИЧМет [1] и ГИУА [2, 3]. Эффективность содового процесса апробирована на железорудных концентратах и заключается не только в удалении примесей, но и в ускорении реакций восстановления [4, 5].

Предварительный поиск позволил предложить рациональную технологическую схему, сущность которой заключается в том, что медную окалину после обжига ($550\text{--}600^\circ\text{C}$, продолжительность - $1,5\text{--}2,4$) смешивают с коксом и размалывают в шаровой мельнице до 100 мкм . Сегрегация шихты исключается благодаря незначительному различию насыпных плотностей компонентов (окалина - $3,4\text{ г/см}^3$, сода - $2,5\text{ г/см}^3$, кокс - 2 г/см^3). Шихту смешивают с водным раствором соды, гранулируют, после сушки подвергают восстановлению, спекшуюся губку - мокрому измельчению, а затем водной и кислотной обработке. Полученный продукт (медный порошок) размалывают, обезвоживают, сушат и довосстанавливают.

Приготовление шихты совмещали с процессом размола. Соотношение веса шихты и шаров мельницы принимали равным 1:6 [6].

Как известно [2], грануляция шихты способствует эффективному протеканию процесса восстановления. При этом не наблюдается "пылевых вихрей", торможения диффузионных процессов, прочного припекания губки к противням, образования трудноизмельчаемой губки и других нежелательных явлений, присущих восстановлению порошкообразной шихты. Кроме того, введение соды в шихту в виде водного раствора обеспечивает равномерное распределение тонкодисперсных частиц соды по поверхности неметаллических включений шихты, а также кокса и окиси меди, вследствие чего ее активность при комбинированном восстановлении резко возрастает.

Окомкование шихты производилось на лабораторном грануляторе. Экспериментально установлено, что получение качественных гранул и полное растворение соды достигается при добавке воды с содержанием $12\text{--}14\%$ и продолжительности окатывания $10\text{--}15\text{ мин}$. В процессе грануляции получали окатыши диаметром $10\text{--}15\text{ мм}$, которые после сушки приобретали достаточную прочность (в основном за счет связующих - соды и извести). Использование мелких окатышей ($3\text{--}5\text{ мм}$), как известно [5], для восстановительных процессов в слое неэффективно. Что же касается окатышей больших размеров ($\geq 20\text{ мм}$), то прочность их резко падает (до $15\text{--}20\text{ Н/гранул}$). Оптимальной температурой сушки можно считать 300°C (табл. 2). При температурах 400°C и выше наблюдается растрескивание корочки на поверхностях гранул, что объясняется увеличением сил сцепления между частицами.

Таблица 2
 Результаты испытаний прочности окатышей (после сушки
 в течение 30 минут)

Темпера- тура сушки, С	Нагрузка, Н гранул. при среднем диаметре гранул					
	13 15 мм		8 10 мм		3 5 мм	
100	24		20		19	
200	33		26		20	
300	54		45		34	
400	55		46		35	
500	55		46		35	

Опыты по восстановлению шихты производились в печи Г-30. В качестве восстановителя использовали конвертированный природный газ следующего состава (%) $H_2=74$ 76, $CO=22$ 24, $CH_4<0,4$, $N_2<1,0$; $H_2O=1,0$ 1,5. Исследования проводили при температуре 750 850 С, которая является оптимальной для комбинированного восстановления. Для всех составов с увеличением содержания соды и продолжительности степень восстановления возрастает (табл. 3). При этом количественные соотношения хорошо согласуются с результатами дериватографических и термогравиметрических исследований, что подтверждает достоверность комплекса исследований в целом. Для составов 3-5 практически полное восстановление достигается при двухчасовой выдержке.

Таблица 3
 Степень восстановления шихты в зависимости от содержания соды,
 температуры и продолжительности (содержание кокса 9%)

Номер состава шихты	Температура восстановления, °С	Степень восстановления, %, при продолжительности восстановления, ч		
		1,0	1,5	2,0
1 (без соды)	750	70,3	75,8	81,0
2 (3% соды)		75,6	82,1	86,7
3 (6% соды)		81,4	87,0	91,0
4 (9% соды)		85,3	91,1	96,5
5 (12% соды)		87,1	92,5	97,3
1 (без соды)	800	76,9	85,2	90,1
2 (3% соды)		82,0	91,0	94,0
3 (6% соды)		87,1	94,7	100,0
4 (9% соды)		91,2	98,0	100,0
5 (12% соды)		93,8	99,2	100,0
1 (без соды)	850	86,8	91,3	97,4
2 (3% соды)		90,3	95,8	100,0
3 (6% соды)		95,8	98,7	100,0
4 (9% соды)		97,2	100,0	100,0
5 (12% соды)		98,6	100,0	100,0

По восстановительным способностям оптимальным следует считать состав 3 при $T=800...850^{\circ}\text{C}$ и $\tau=2$ ч.

С целью определения рафинирующего действия соды были проведены предварительные опыты на составах 2-4 при температурах восстановления $800...850^{\circ}\text{C}$ и продолжительности 2, 2.5 и 3 ч, обеспечивающих полное восстановление (табл. 4).

Таблица 4

Степень рафинирования губки в зависимости от содержания соды (выщелачивание водное, $T/J=1/5$, продолжительность 2 ч, температура воды 20°C)

Продолжительность восстановления, ч	Остаток примесей в губке, %		Удаление примесей, %	
	Al_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	SiO_2
Состав 2 (9% кокса +3% соды)				
2	0.65	0.73	45.38	67.00
2.5	0.53	0.62	55.46	72.00
3	0.50	0.58	58.00	73.76
Состав 3 (9% кокса +6% соды)				
2	0.25	0.30	79.00	86.43
2.5	0.15	0.20	87.40	90.95
3	0.10	0.13	91.60	94.12
Состав 4 (9% кокса +9% соды)				
2	0.20	0.25	83.20	88.69
2.5	0.13	0.17	89.10	92.30
3	0.08	0.10	93.28	95.48

Из табл. 4 видно, что максимальное удаление примесей достигается для составов 3 и 4. Более предпочтительным является состав 3 с продолжительностью восстановления 3 ч.

В процессе восстановления образуются легкорастворимые в воде алюминаты и силикаты натрия. Для перевода этих примесей, а также непрореагировавших (избытка) соды и кокса в раствор восстановления губка подвергалась мокрому измельчению и водному выщелачиванию. Результаты мокрого измельчения губки показывают, что при соотношении "твердое тело - жидкое тело" $T/J=1/5$ и продолжительности выщелачивания $\tau=3$ ч достигается максимальное удаление примесей, а содержание меди в продукте равно 98.32%.

Расчетное количество кислоты, требуемое для полной очистки продукта, составляет около 2% при ее 100%-ой концентрации. Принимаем расход кислоты в количестве 3%, что составляет 8 г HCl при 37%-ой концентрации. При выбранных режимах выщелачивания обеспечивается практически полное удаление примесей. Оптимальным является $T/J=1/7$.

После кислотного выщелачивания медный порошок осаждают, а раствор декантируют и нейтрализуют. Далее медный порошок промывают сначала горячей водой ($40...50^{\circ}\text{C}$), затем холодной и обезвоживают с помощью вакуум-фильтров. Влажный порошок

(6...8%) подвергают окончательной сушке в вакуумном сушильном шкафу при температуре 100...150°C. Процесс сушки может быть осуществлен в защитной среде или совмещен с восстановлением.

В процессе мокрого измельчения губки, водного и кислотного выщелачивания, а также фильтрации, обезвоживания и сушки медный порошок подвергается наклепу и частичному (5,1...6,2%) окислению. Малая степень окисления объясняется пассивацией поверхности частиц в щелочных средах и высокой химической чистотой порошка. Для удаления окисных пленок и снятия наклепа производится довосстановление полученного медного порошка. Эксперименты показали, что для этого достаточны температурный интервал 400...450°C и выдержка в течение 1,0...1,5 ч; восстановитель - водород.

Химические и физико-технологические свойства полученных медных порошков соответствуют требованиям ГОСТ 4960-75 (марки порошка ПМС-В). Осколочная форма частиц улучшает текучесть порошка (3,8 г/с) и повышает насыпную плотность (3,4...3,6 г/см³). При этом удельная поверхность уменьшается до 0,06 м²/г. Высокая пикнометрическая плотность (8,76...8,80 г/см³) свидетельствует о малом отклонении от теоретической плотности (8,96 г/см³), т.е. подтверждает чистоту порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борок Б.А., Тепленко В.Г., Соловьева З.В. Получение чистого железного порошка химико-металлургическим способом // Порошковая металлургия. - Киев, 1968. - № 9. - С.
2. Манукян Н.В., Андреасян А.А. Получение железного порошка методом восстановления на основе содового рафинирования // Металлокерамические материалы и изделия: Тр. 5-го респ. научн.-техн. сем. - Ереван, 1969. - С. 73 - 80.
3. Андреасян А.А. Разработка и исследование технологии получения железного порошка из руд Разданского месторождения методом восстановления. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук - Минск, 1969. - 18 с.
4. Ростовцев С.Т., Симонов В.К., Бальченко В.Г., Яковенка А.И. Механизм и кинетика восстановления металлов. - М. Металлургия, 1970. - с.
5. Порошковая металлургия /Под ред. Н.В. Манукяна. - Ереван: Тр. ЕрПИ, 1971. - Т. 35 - 215 с.
6. Вязников Н.Ф., Ермаков С.С. Применение изделий порошковой металлургии в промышленности. - М., - Л. Машгиз, 1960. - 128 с.

ГИУА

04.05.1997

Г.А. ХАЧАТРЯН, Г.Б. ГРИГОРЯН

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Խոշորացված լարդաստոր պայմաններում մշակված է ոսկի պարունակող բախմուններին և ցեմենտային հատուկ հասցից ցեմենտի արտադրության նոր՝ բնագախալանավան տեսակետից մարտր, տնտեսապես սպրդունավետ, բարձր շերտատուկանային տեխնոլոգիա: Ցեմենտի արտադրությանը զուգընթաց կորզվում են նաև բակկարծեր և ուղեկցող մետաղները: Օդաչգործվում է նաև գազային փուլը: Ան մարտր է և սարունակում է չոր սառույցի ու բալոնային գազի արտադրության համար պիտանի 68...86% (ծավայային) ածխածնի երկթթից: Տեղուկ ազոտով սառեցման եղանակով ստացվել է 99,73% սովյածնի երկթթիցի պարունակությամբ պինդ ձյունասպիտակ արգասիք: Տարեկան 50 հազար տոննա ցեմենտի արտադրողականությամբ խոշորամասշտաբ մոդելի փորձնական համալիրի նախագծման համար կազմվում է տեխնիկական առաջադրանք: Փորձնական համալիրի հզորությունը 5...10 1/տ է:

В укрупненно-лабораторных условиях разработана новая экологически чистая, экономически эффективная высокотемпературная технология производства цемента из золотосодержащих хвостов и специального цементного сырья. Параллельно с производством цемента извлекаются также драгоценные и попутные металлы, а также используется газовая фаза. Она чистая, содержит 68-86% (объемный) двуокиси углерода, пригодна для производства сухого льда и баллонного газа. Методом замораживания жидким азотом из этой фазы получен твердый белоснежный продукт с содержанием 99,73% двуокиси углерода. Составлено техническое задание для проектирования крупномасштабной модели опытного комплекса технологии производительностью 50 тыс.т цемента в год. Мощность установки -5-10МВт.

Табл.3. Библиогр.. 5 назв.

A new ecologically pure, economically efficient high-temperature technology for cement production from gold-containing tailings and special cement raw material has been developed in coarsening laboratory conditions. Parallel to the cement production the precious and the like metals are recovered, besides gas phase is used. It is pure, contains 68-86% of (volume) carbon dioxide and is good for production of dry ice as well as bottled gas. A snow-white product containing 99,73% of carbon dioxide is obtained by the liquid nitrogen freezing method. The technical task is drawn up for a large-scale model designing of pilot technology complex with output about 50 thousand tons of cement per year.

Tables 3 Ref. 5.

Некоторые недостатки действующих традиционных технологий крупномасштабного производства цемента привели к тому, что не обеспечиваются условия использования вторичного тепла, требования комплексной переработки сырья и чистоты окружающей среды. Все это предопределило проведение экспериментального исследования по разработке новой высокотемпературной технологии производства цемента методом сплавления. Объектами исследования явились золотосодержащие отходы Араратской золотоизвлекательной

фабрики (АрЗИФ), специальное сырье ПО "Араратцемент", известь и известняк (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав исходных материалов									
Материалы	Au	Ag	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Прочие
	г/т		%						
Хвосты АрЗИФ	0,58	8,6	2,69	59,84	8,62	8,00	6,35	1,69	12,82
Известь	-	-	69,78	0,80	0,76	0,15	0,29	-	28,22
Спецсырье ПО "Араратцемент"	-	-	45,96	9,32	1,15	2,93	2,66	-	37,98
Известняк	-	-	47,70	9,72	1,01	3,00	2,21	-	37,02

Спецсырье ПО "Араратцемент" испытывали без изменения его состава. Требуемый состав навесок на основе хвостов, извести или известняка определяли по методике для двух компонентов. Расчетные составы навесок практически не отличались от состава спецсырья ПО "Араратцемент" (табл. 1).

Эксперименты проводились в укрупненно-лабораторных условиях с навесками массой 30...100 кг в электродуговых и плазменных лабораторных печах разной конструкции. Мощность печей колебалась в пределах 40...360 кВт. Результаты исследования показали, что наиболее удачным является плазменное аппаратное оформление процесса. Эксперименты с использованием плазмы проводили на Подольской опытной базе Московского ПО "Центрэнергоцветмет". При этом усредненная температура в рабочем пространстве печи составила 1720...1800 °С вместо заданной 1500...1530 °С. Дебаланс температур объясняется заниженной скоростью подачи материала в плазму.

В результате переработки специального сырья ПО "Араратцемент" получили цемент и углекислый газ. При физико-химическом превращении навески на основе золотосодержащих хвостов, кроме указанных продуктов, выделился также золотосеребросодержащий сплав. Эксперименты показали, что пылеобразование и пылевывос в процессе практически отсутствуют. Технология экологически чиста и высокопроизводительна. Извлечение в сплав составило: золота - 97,3%, серебра - 83,6%, меди, никеля и кобальта - 76...96%. В сплав переходит часть железа в результате разложения его сульфидов, поэтому его извлечение составило 4...13%. Состав полученного сплава: 68,5%Fe, 3,8%Cu, 19,6%Ni, 0,92%Co, 200 г/т Au и 800 г/т Ag.

В зависимости от значения коэффициента насыщения (КН) завески прочность цемента колебалась в пределах 16...50 МПа. Относительно высокая прочность цемента (36...50 МПа) получалась при значении КН=0,875, 0,976. Удельный расход электроэнергии колебался в пределах 490...750 кВт ч/т исходной шихты или в среднем 620 кВт ч/т, что на 10...15% ниже энергии, расходуемой в ныне действующей технологии. Наряду с разработкой плазменной технологии производства цемента была исследована также газовая фаза этой технологии для выявления возможности ее утилизации. Исследования осуществляли в двух стадиях. В первой стадии изучали

состав и выход газовой фазы, во второй - выявляли параметры ее утилизации. В обоих случаях были созданы специальные укрупненно-лабораторные установки. Газовую фазу получали в результате нагрева и терморазложения навесок, составленных из материалов, приведенных в табл. 1.

Навеска массой 1.5 кг с заранее заданным составом загружали в тигель из окиси алюминия и помещали в шахтную электропечь. Тигель герметичным газоотводом соединяли с узлом газоотбора для изучения состава газовой фазы или с системой утилизации указанной фазы. При достижении рабочей температуры в печи 1150 С и бурном газовыделении газоотводную систему очищали исследуемым газом, затем брали пробу для анализа или осуществляли утилизацию газовой фазы. Температура газа на месте отбора проб или утилизации составила 30-40°С. Газовые пробы анализировали хроматомассоспектрометрическим методом на стационарном приборе марки ГЖХ-МС-5980А фирмы Хюлетт-Паккард. Экстерные анализы осуществляли переносными приборами УГ-2 и ГХМ. Усредненные данные, приведенные в табл. 2, являются результатами проведения 12 опытов и 1300 определений. На данной стадии установлено, что углекислый газ, выделяемый в новой технологии, экологически чистый, с меньшим выходом, и его можно использовать для производства полупроводниковых углекислых продуктов.

Таблица 2

Выход и усредненный состав газовой фазы

Исходная навеска, весовой процент, %	Объемный процент										Выход от навески, xxx) %
	CO ₂	N ₂	C	NO ₂	NO	SO ₂	H ₂ S	CO	H ₂ O	Проч.	
30x) - 20- Иxx) - 80	77.5	14.0	4.0	0.8	0.50	0.03	0.014	0.60	1.8	0.756	16.3
30-25, И-75	71.0	20.0	2.8	0.9	0.04	0.03	0.007	0.36	1.8	3.063	16.7
30-30 И-70	68.4	24.3	3.7	0.4	0.46	0.046	0.037	0.35	1.2	1.077	22.4
Спец. сы- рье ПО "Арагат- цемент"	86.5	7.2	2.9	0.7	0.46	-0	-0	0.13	1.1	0.900	21.0

x) 30 - золотосодержащие отходы, xx) И - известняк, xxx) - пониженный экспериментальный выход газовой фазы по сравнению с расчетным объясняется неполным разложением сырья

Данный вывод предопределил продолжение исследования по утилизации газов. Для этого к шахтной электропечи монтировали систему охлаждения газов жидким азотом.

Температуру в верхней части конденсатора поддерживали в пределах -70...-100°С, в нижней части она составляла -180...-200°С. Температуру измеряли спиртным термометром и регулировали азотом. В этих условиях поступающий газ полностью

конденсировался: двуокись углерода в виде белоснежного осадка (нижний слой), азот и кислород - в виде смешанной жидкой фазы (верхний слой). После прекращения газовыделения из печи опыт прекращали, конденсатор вынимали из холодильника и по мере его испарения подвергали анализу газоанализатором ОРС. Достоверность полученных данных проверяли проведением и анализом параллельных опытов и проб.

Усредненный объемный состав полученного двухслойного конденсата следующий (табл. 3):

Азотно-кислородная смесь, %		Двуокись углерода %
CO ₂	1,54	99,73
O ₂	24,75	0,15
N ₂	73,71	0,12

Полученные положительные результаты по разработке плазменной технологии предопределили переход к более крупному масштабу экспериментов. Составлено техническое задание на проектирование крупномасштабной модели опытного комплекса мощностью 5...10 МВт и производительностью 50 тыс.т. цемента в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров Б.С. Плавленные клинкеры, полученные в электродуговых печах. и цемент на их основе - М. Стройиздат, 1968. - 250 с.
2. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимошов В.В. Химическая технология вяжущих материалов. - М. Высшая школа, 1980. - 470 с.
3. Дембовский В. Плазменная металлургия - М.: Металлургия, 1990.-270 с.
4. Мальгина Е.В. и др. Холодильные машины и установки. - М.: Высшая школа, 1980. - 420 с.
5. Исследование процессов переработки золотосодержащих хвостов Арагатской ЗИФ с целью внедрения малоотходной технологии. Отчет НИР /ЕрПИ: Науч.руководитель Г.Б. Григорян -Пер.№: 018100875.-Ереван 1985.-32 с.

ГИУА

31.03.1995

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 1, № 3, 1997, с. 190-194.

УДК 621.78:620.22

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

С.Г. АГБАЛЯН, А.Р. ОГАНЯН

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ ВЗАМЕН ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ ПРИ ЗАКАЛКЕ

2. ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ЗАКАЛОЧНЫХ МАСЕЛ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ ГЛИКОЛЕЙ, ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, ПОЛИВИЛАЦЕТАТА И ИХ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

Ռեսուլտատները են գլխավորում, պոլիմերի սպիրտի, պոլիվինիլալկոհոլի ֆրոնիս տրոպիկների միտք հասկոթյունների և հաստատով 1. լվաման ժամանակ նրանք փոխադարձ փոխարինելիությունը պահանջելու կամորոշան ապահովման համար:

Исследованы закалочные свойства водных растворов гликолей, поливинилового спирта и поливинилацетата. Установлена их взаимозаменяемость по достигаемому значению твердости после закалки. Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

Quenching properties of water solutions of glycoles polyvinil alcohol and polyvinilacetate were investigated. Their interchangeability was established, according to their hardness degree after hardening.

Ил. 1. Tables 2. Ref. 2.

Целью исследования является выявление возможности использования водных растворов полимеров (гликолей, поливинилового спирта и поливинилацетата) в качестве закалочной среды и установление их взаимозаменяемости. Проведены сравнительные испытания закалочных свойств различных концентраций и подбор оптимальных сред, обеспечивающих требуемые закалочные свойства. Исходя из свойств моногликолей [1], обладающих термостойкостью, высокими значениями температур кипения и практически неограниченной растворимостью в воде, выбраны: этиленгликоль, диэтиленгликоль, триэтиленгликоль с добавками минеральных солей 3% от массы Na_2CO_3 .

При закалке стали марки 40X в водных растворах моногликолей разных концентраций и температур кипения наблюдается изменение характера охлаждения нагретого металла в разных температурных интервалах. Чем выше температура кипения полимера, тем выше температура пленочного кипения и ниже скорость охлаждения в мартенситном интервале превращений, следовательно, возможно обеспечение высоких значений твердости (табл. 1) с отсутствием трещин и коробления. Увеличение концентрации полимера приводило к снижению значений твердости.

Таблица 1

Закалка стали 40X в водном растворе моногликолей

Моногликоли	Температура кипения, °C	Состав охлаждающей среды	Твердость после закалки, HRC
Этиленгликоль	198	1% этиленгликоля	56...58
		1% этиленгликоля +3% соды	56...58
		2% этиленгликоля +3% соды	52...57
		3% этиленгликоля +3% соды	48...54
Диэтиленгликоль	245	1% диэтиленгликоля	56...58
		1% диэтиленгликоля +3% соды	55...58
		3% диэтиленгликоля	54...56

После закалки высоколегированных сталей марок ХВП и ШХ 15 наблюдались трещины. Поэтому требовалось дальнейшее увеличение концентрации гликолей, что ухудшало технологичность приготовления и контроля закалочной среды, т.к. при больших концентрациях

раствора на деталях осаждался толстый полимерный слой, нарушающий долговечность среды и ухудшающий ее закаливающую способность.

Поливиниловый спирт ПВС-7,1 отличается высокой молекулярной массой, агрегативной устойчивостью и низким содержанием ацетатных групп в структуре макромолекулы [2]. Найдена оптимальная концентрация ПВС - 0,5...0,7% масс с добавкой 3% Na_2CO_3 . С введением в раствор поливинилового спирта соды повышалась температура кипения раствора при закалке. При этом первоначально пузырьки пара в паровой пленке образовывались медленно, что повышало стабильность жидкостной пленки, но по мере диссоциации молекул соды и выделения газа CO_2 процесс образования пузырьков протекал интенсивнее. Вместе с тем диссоциация соды создавала щелочную среду, активизирующую процесс закалки.

Металлографические исследования после закалки в растворе ПВС выявили высокие значения твердости стали 40X и отсутствие трещин. Если при закалке в масле стали 40X твердость составляла 56...59 НРС, то после закалки в водном растворе поливинилового спирта оптимальной концентрации максимальная твердость достигала 52...58 НРС. При этом наличия трещин не наблюдалось.

Из класса поливинилацетата исследовались тонкие дисперсии ввиду их сравнительно большой стабильности и агрегативной устойчивости. При этом высокие значения твердости сочетались с отсутствием трещинообразования и минимального коробления (табл. 2).

Таблица 2
Твердость стали 40X после закалки в водном растворе поливинилацетата

Охлаждающая среда, состав	Твердость, НРС
Масло	56...59
1% поливинилацетата	52...58
1% поливинилацетата +3% соды	52...58
0,2% поливинилацетата	56...59

Увеличение концентрации ПВА от 0,2 до 1% существенно не изменяет значения твердости. Однако дальнейшее повышение концентрации приводит к образованию сгустков полимеров и изменению концентрации раствора, а также склонности к трещинообразованию. В пределах проведенных опытов добавки минеральных солей не улучшили свойства раствора, более того, осложнился процесс контроля и восстановления концентрации раствора.

Опыты показали, что дисперсия поливинилацетата при высоких температурах (закалка) во время соприкосновения с раскаленным металлом коагулирует. При этом частички поливинилацетата оседают на поверхности обрабатываемых деталей, что приводит к необходимости чистки; долговечность такой системы резко сокращается, ухудшаются охлаждающие свойства.

Учитывая, что водные растворы полимеров обладают промежуточными охлаждающими свойствами по сравнению с водой и маслом, с целью выявления возможности их применения взамен масла и установления их взаимозаменяемости проведены исследования начала и конца аустенитно-мартенситных превращений стали 40Х методом осциллографирования процесса охлаждения, а также никелированного медного шарика в разных охлаждающих средах: в воде, масле, водном растворе поливинилового спирта и поливинилацетате. На основании кинетических кривых охлаждения (рис.) построена зависимость скорости охлаждения от температуры

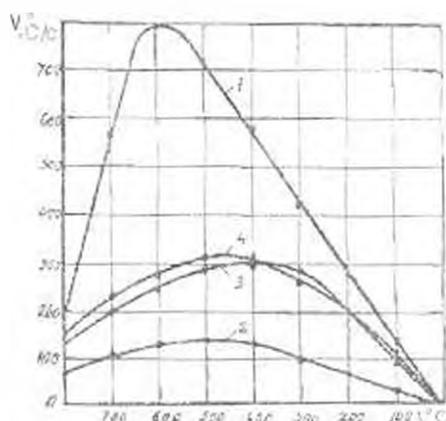


Рис. Зависимость скорости охлаждения от температуры: 1 - вода; 2 - масло; 3 - водный раствор ПВА; 4 - водный раствор ПВС

Как видно, во всех случаях скорости охлаждения в водном растворе исследуемых полимеров снижаются по сравнению с водой, однако достичь таких малых скоростей охлаждения, как в масле, не удастся. Если абсолютная скорость охлаждения воды в интервале температур 650...500 С составляет выше 700 C/s (кривая 1) с дальнейшим охлаждением в состоянии покоя, то при охлаждении в масле скорость составляет от 150 до 120 C/s (кривая 2), а водные растворы полимеров обладают промежуточной скоростью охлаждения между водой и маслом (кривые 3 и 4). Низкие скорости охлаждения в интервале мартенситного превращения у водных растворов полимеров приводят к уменьшению трещинообразования и коробления с обеспечением высоких значений твердости.

Как показали сравнительные эксперименты взаимозаменяемых полимерных сред, растворы поливинилацетата, поливинилового спирта и гликолей по показателям твердости не уступают друг другу. Однако, несмотря на удовлетворительные закалочные свойства, каждая из сред имеет определенные технологические недостатки:

- процесс приготовления растворов полиакриламида, поливинилового спирта и гликолей длителен и требует дополнительного оборудования для их растворения;

- водный раствор поливинилового спирта и поливинилацетата не стабилен и быстро коагулирует, что не дает возможность многократного его использования;

- гликоли дефицитны и, обладая высокими скоростями охлаждения опасны для высоколегированных сталей (вызывают трещинообразование и коробление).

Анализ вышеиспользованных полимерных сред выявил целесообразности поиска новых охлаждающих сред взамен масла, лишенных вышеуказанных недостатков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент США № 3220893 - НКН 148-28, 1965.
2. Каталог Поливинилацетатные пластинки. - Черкассы, 1981 - с.

ГИУА

03.03.1997

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 1, № 3, 1997, с. 194-203

УДК 621.311.1.001.24

ЭНЕРГЕТИКА

В.С. ХАЧАТРЯН, М.Б. АЛЬ-ДАРВИШ

РЕШЕНИЕ Y-Z - ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЦЫ ГЕССЕ

Մաթեմատիկական համակարգի կիրառմամբ լուծվում է կիրիլալին տեսքի ոչ գծային էներգետիկական համակարգի համակարգը: Առաջարկված մեթոդի ավանդույտը է այն տեսակետը, որովք սխառու է կիրիլալին տեսքի համակարգի կիրառումը և հետի մոտրիվը:

Решается система нелинейных алгебраических уравнений гибридного типа с применением матрицы Гессе. Предложенный метод обеспечивает преимущества, которые присущи как гибридным уравнениям установившегося режима так и матрице Гессе.

Библиогр.: 4 назв.

Nonlinear algebraic equations of hybrid type is solved using the Gesso matrix. The proposed method provides with advantages inherent both to steady-state hybrid equations and Gesso matrix.

Ref. 4.

В последние годы для решения задачи расчета установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) широко применяются уравнения типа Y-Z, которые дают возможность решить задачу при любой форме задания исходной информации относительно стационарных узлов [1-3].

В настоящей работе предлагается решение Y-Z-формы гибридных уравнений методом второго порядка или методом матрицы Гессе [4].

Система гибридных Y-Z-уравнений в матричной форме при применении системы индексов "0" для узла типа U-ψ, m(n)=1,2,..., Γ- для узлов типа P-υ и k(l)=Γ+1, Γ+2,...,Γ+N=M имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_m \\ \vdots \\ \dot{U}_{ko} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{m,n} & & & \dot{A}_{m,l} \\ & \ddots & & \\ & & \dot{C}_{k,n} & \\ & & & Z_{k,l} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{n0} \\ \vdots \\ \dot{I}_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} Y_{m,n} &= Y_{mn} - Y_{mk} Y_{kl}^{-1} Y_{ln}; \quad \dot{A}_{m,l} = Y_{mk} Y_{kl}^{-1} \\ \dot{C}_{k,n} &= -Y_{kn}^{-1} Y_{kn}; \quad Z_{k,l} = -Y_{kl}^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

Матричное уравнение состояния (1) в алгебраической форме представляется в виде

$$\begin{cases} \dot{I}_m = \dot{I}_{bm} + \sum_{n=1}^{\Gamma} Y_{m,n} \dot{U}_n + \sum_{l=\Gamma+1}^M \dot{A}_{m,l} \dot{I}_l, \\ \dot{U}_k = \dot{U}_{bk} + \sum_{n=1}^{\Gamma} \dot{C}_{k,n} \dot{U}_n + \sum_{l=\Gamma+1}^M Z_{k,l} \dot{I}_l, \end{cases} \quad (3)$$

где $\dot{I}_{bm} = -\sum_{n=1}^{\Gamma} Y_{m,n} \dot{U}_0$; $\dot{U}_{bk} = \left(I - \sum_{n=1}^{\Gamma} \dot{C}_{k,n} \right) \dot{U}_0$.

Переходя к активным и реактивным мощностям из уравнений (3), получим

$$\begin{cases} P_m = P_{bm} + \sum_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n} (U'_m U'_n + U''_m U''_n) + b_{m,n} (U''_m U'_n - U'_m U''_n)], \\ Q_m = Q_{bm} + \sum_{n=1}^{\Gamma} [g_{m,n} (U''_m U'_n - U'_m U''_n) - b_{m,n} (U'_m U'_n + U''_m U''_n)]. \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} P_k = P_{bk} + \sum_{l=\Gamma+1}^M [R_{k,l} (I'_k I'_l + I''_k I''_l) + x_{k,l} (I'_k I''_l - I''_k I'_l)], \\ Q_k = Q_{bk} - \sum_{l=\Gamma+1}^M [R_{k,l} (I''_k I''_l - I'_k I'_l) - x_{k,l} (I'_k I'_l + I''_k I''_l)]. \end{cases} \quad (5)$$

Представим (4) и (5) в следующем виде:

$$\begin{cases} \Phi_{im} = P_m - [P_{bm} + \varphi_{im}(U'_n, U''_n)] = 0, \\ \Phi_{qm} = Q_m - [Q_{bm} + \varphi_{qm}(U'_n, U''_n)] = 0. \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \Phi_{pk} = P_k - [P_{bk} + \varphi_{pk}(I'_l, I''_l)] = 0, \\ \Phi_{qk} = Q_k - [Q_{bk} + \varphi_{qk}(I'_l, I''_l)] = 0. \end{cases} \quad (7)$$

где

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_{pm}(U'_n, U''_n) &= \sum_{n=1}^I (g_{m,n}(U'_m U'_n + U''_m U''_n) + b_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n)), \\ \varphi_{qm}(U'_n, U''_n) &= \sum_{n=1}^I (g_{m,n}(U''_m U'_n - U'_m U''_n) - b_{m,n}(U''_m U'_n + U'_m U''_n)). \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_{pk}(I'_i, I''_i) &= \sum_{i=I+1}^M [R_{k,i}(I'_i I'_i + I''_i I''_i) + x_{k,i}(I''_i I'_i - I'_i I''_i)], \\ \varphi_{qk}(I'_i, I''_i) &= - \sum_{i=I+1}^M [R_{k,i}(I''_i I'_i - I'_i I''_i) - x_{k,i}(I'_i I'_i + I''_i I''_i)]. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

В уравнениях (6) и (7) приняты следующие обозначения:

$$P_{i,m} = - \sum_{n=1}^I (g_{m,n} U''_n + b_{m,n} U'_n) U_i + \sum_{i=I+1}^M [a'_{m,i}(U'_i I'_i + U''_i I''_i) + a''_{m,i}(U''_i I'_i - U'_i I''_i)], \quad (10)$$

$$Q_{i,m} = - \sum_{n=1}^I (g_{m,n} U'_n - b_{m,n} U''_n) U_i + \sum_{i=I+1}^M [a'_{m,i}(U''_i I'_i - U'_i I''_i) - a''_{m,i}(U'_i I'_i + U''_i I''_i)],$$

$$P_{i,k} = I'_i U_i - \sum_{i=1}^I (C_{k,i} I'_i + C''_{k,i} I''_i) U_i + \sum_{i=I+1}^M [C'_{k,i}(I'_i U_i - I''_i U''_i) + C''_{k,i}(I''_i U'_i - I'_i U''_i)], \quad (11)$$

$$Q_{i,k} = -I''_i U_i + \sum_{i=1}^I (C'_{k,i} I'_i - C''_{k,i} I''_i) U_i - \sum_{i=I+1}^M [C'_{k,i}(I''_i U'_i - I'_i U''_i) - C''_{k,i}(I'_i U'_i + I''_i U''_i)].$$

Представим системы уравнений (6) и (7) в виде

$$\Phi_{im} \triangleq (\Phi_{pm}, \Phi_{qm}), \quad \Phi_{ik} = (\Phi_{pk}, \Phi_{qk}). \quad (12)$$

Рассмотрим следующие вспомогательные функции

$$F(U) = \sum_{m=1}^I \Phi_{im}^2 = \sum_{m=1}^I (\Phi_{pm}^2 + \Phi_{qm}^2), \quad (13)$$

$$F(I) = \sum_{k=I+1}^M \Phi_{ik}^2 = \sum_{k=I+1}^M (\Phi_{pk}^2 + \Phi_{qk}^2). \quad (14)$$

Разлагая в ряд Тейлора функцию (13) и учитывая, что она непосредственно зависит от вектора напряжения

$$U = (U_1, U_2, \dots, U_r),$$

получим

$$F(U) = F(U^0) + \left. \frac{\partial F(U)}{\partial U} \right|_{U^0} \cdot \Delta U + \frac{1}{2} \Delta U^T \left. \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2} \right|_{U^0} \cdot \Delta U + F_{III}, \quad (15)$$

где F_{III} — члены ряда Тейлора выше второго порядка. Пренебрегая этими членами, выражение (15) принимает вид

$$F(U) = F(U^0) + \left. \frac{\partial F(U)}{\partial U} \right|_{U^0} \cdot \Delta U + \frac{1}{2} \Delta U^T \left. \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2} \right|_{U^0} \cdot \Delta U. \quad (16)$$

Условием минимума функции (16) будет

$$\frac{\partial F(U)}{\partial U} = \frac{\partial F(U^0)}{\partial U} + \left. \frac{\partial F(U)}{\partial U} \right|_{U^0} + \left. \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2} \right|_{U^0} \cdot \Delta U = 0. \quad (17)$$

Поскольку $\partial F(U^0)/\partial U = 0$, получим

$$\left. \frac{\partial F(U)}{\partial U} \right|_{U^0} + \left. \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2} \right|_{U^0} \cdot \Delta U = 0. \quad (18)$$

Если ввести обозначения

$$G(U) = \left. \frac{\partial F(U)}{\partial U} \right|_{U^0}; \quad H(U) = \left. \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U^2} \right|_{U^0}. \quad (19)$$

то уравнение (18) примет вид

$$G(U) + H(U)\Delta U = 0,$$

или

$$H(U)\Delta U = -G(U),$$

откуда

$$\Delta U = -H(U)^{-1} G(U). \quad (20)$$

В данном случае ΔU является поправочным вектором к переменному состоянию U . Новый вектор определяется следующим рекуррентным выражением:

$$U^1 = U^0 + \Delta U^0. \quad (21)$$

Для произвольной N -й итерации рекуррентное выражение (21) представляется в виде

$$U^{N+1} = U^N + \Delta U^N,$$

или в общей форме

$$U^{N+1} = U^N - [H(U)]_{U^N}^{-1} G(U). \quad (22)$$

В выражении (22) $H(U)$ является неособенной квадратной матрицей Гессе, элементы которой состоят из частных производных второго порядка от вспомогательной функции (13) по вектору напряжения U ; $G(U)$ — градиент от этой же функции.

В развернутой форме рекуррентное выражение (22) можно представить в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} U_m^0 \\ \vdots \\ U_n^0 \end{bmatrix}^{N+1} = \begin{bmatrix} U_m^0 \\ \vdots \\ U_n^0 \end{bmatrix}^N - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U_m^0 \partial U_m^0} & \dots & \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U_m^0 \partial U_n^0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U_n^0 \partial U_m^0} & \dots & \frac{\partial^2 F(U)}{\partial U_n^0 \partial U_n^0} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial F(U)}{\partial U_m^0} \\ \vdots \\ \frac{\partial F(U)}{\partial U_n^0} \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Поступая аналогичным образом относительно функции (14), можем установить следующее рекуррентное выражение:

$$I^{N+1} = I^N - [H(I)]_{I^N}^{-1} G(I), \quad (24)$$

или в развернутой форме

$$\begin{bmatrix} I_1^0 \\ \vdots \\ I_r^0 \end{bmatrix}^{N+1} = \begin{bmatrix} I_1^0 \\ \vdots \\ I_r^0 \end{bmatrix}^N - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_1^0 \partial I_1^0} & \dots & \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_1^0 \partial I_r^0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_r^0 \partial I_1^0} & \dots & \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_r^0 \partial I_r^0} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial F(I)}{\partial I_1^0} \\ \vdots \\ \frac{\partial F(I)}{\partial I_r^0} \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Теперь необходимо установить аналитические выражения частных производных, входящих в рекуррентные выражения (23) и

(25). Частные производные первого порядка, т.е. элементы градиента выражения (23), определяются в виде

$$\frac{\partial F(U)}{\partial U'_m} = 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U'_m} + \Phi_{qn} \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U'_m} \right),$$

$$\frac{\partial F(U)}{\partial U''_m} = 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U''_m} + \Phi_{qn} \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U''_m} \right) \quad (26)$$

Частные производные второго порядка, входящие в матрицу Гессе выражения (23), определяются в виде

$$\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'^2_m} = 2 \sum_{n=1}^r \left[\left(\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U'_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U'_m} \right)^2 \right] + 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U'^2_m} + \Phi_{qn} \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U'^2_m} \right),$$

$$\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U''^2_m} = 2 \sum_{n=1}^r \left[\left(\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U''_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U''_m} \right)^2 \right] + 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U''^2_m} + \Phi_{qn} \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U''^2_m} \right),$$

$$\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U''_m} = 2 \sum_{n=1}^r \left(\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U'_m} \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U''_m} + \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U'_m} \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U''_m} \right) + 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U'_m \partial U''_m} + \Phi_{qn} \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U'_m \partial U''_m} \right),$$

$$\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U'_l} = 2 \sum_{n=1}^r \left(\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U'_m} \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U'_l} + \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U'_m} \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U'_l} \right) + 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U'_m \partial U'_l} + \Phi_{qn} \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U'_m \partial U'_l} \right),$$

$$\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U''_m \partial U''_l} = 2 \sum_{n=1}^r \left(\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U''_m} \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U''_l} + \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U''_m} \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U''_l} \right) + 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U''_m \partial U''_l} + \Phi_{qn} \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U''_m \partial U''_l} \right),$$

$$\frac{\partial^2 F(U)}{\partial U'_m \partial U''_l} = 2 \sum_{n=1}^r \left(\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U'_m} \frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U''_l} + \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U'_m} \frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U''_l} \right) + 2 \sum_{n=1}^r \left(\Phi_{pn} \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U'_m \partial U''_l} + \Phi_{qn} \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U'_m \partial U''_l} \right). \quad (27)$$

Для перехода от неявно выраженных форм частных производных к явно выраженным формам функции Φ_{pn} , Φ_{qn} удобнее представить в следующем виде:

$$\Phi_{pn}(U'_m, U''_m) = g_{mn}(U'_m + U''_m) + \sum_{l=1}^m [g_{m,l}(U'_m U'_l + U''_m U''_l) + b_{m,l}(U''_m U'_l - U'_m U''_l)],$$

$$\Phi_{qn}(U'_m, U''_m) = -h_{mn}(U'_m + U''_m) + \sum_{l=1}^m [g_{m,l}(U'_m U'_l - U''_m U''_l) - b_{m,l}(U''_m U'_l + U'_m U''_l)]. \quad (28)$$

Частные производные первых порядков, входящие в (26) и (27), определяются в виде:

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

$$\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U'_m} = \left[U_{2m} + 2g_{mm} U'_m + \sum_{l=1}^m (g_{m,l} U'_l - b_{m,l} U''_l) \right],$$

$$\frac{\partial \Phi_{pn}}{\partial U_n''} = - \left\{ I_{Bpn}'' + g_{m,n} U_n'' + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq p}}^r (g_{m,n} U_n'' + b_{m,n} U_n') \right\}, \quad (29)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qn}}{\partial U_n'} = - \left\{ -I_{Bpn}'' - 2b_{m,n} U_n' - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r (g_{m,n} U_n'' + b_{m,n} U_n') \right\},$$

$$\frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m''} = - \left\{ I_{Bqm}'' - 2b_{m,m} U_m'' + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^r (g_{m,n} U_n' - b_{m,n} U_n'') \right\},$$

где

$$I_{Bpn}'' = - \sum_{n=1}^r g_{m,n} U_n + \sum_{i=1}^M (a_{m,i}' I_i'' - a_{m,i}'' I_i'),$$

$$I_{Bqm}'' = - \sum_{n=1}^r b_{m,n} U_n + \sum_{i=1}^M (a_{m,i}' I_i'' + a_{m,i}'' I_i'),$$

- при разных индексах, т.е. когда $p \neq m$.

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n'} = - (g_{m,n} U_n' + b_{m,n} U_n''),$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n''} = - (g_{m,n} U_n'' - b_{m,n} U_n'),$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n''} = - (g_{m,n} U_n'' - b_{m,n} U_n'), \quad (30)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m''} = - (-g_{m,m} U_m' - b_{m,m} U_m'').$$

Частные производные вторых порядков, входящие в выражения (27), определяются в виде

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_n'^2} = \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_m''^2} = -2g_{m,n},$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_n'^2} = \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m''^2} = -2b_{m,n},$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_n'^2} = \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_m''^2} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_n' \partial U_m''} = \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m'' \partial U_n'} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_n' \partial U_m''} = \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_m'' \partial U_n'} = -g_{m,n},$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_n' \partial U_m''} = \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m'' \partial U_n'} = -b_{m,n}, \quad (31)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_n' \partial U_m''} = \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m'' \partial U_n'} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_n' \partial U_m''} = \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m'' \partial U_n'} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_n'' \partial U_n'} = b_{mn}, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{pn}}{\partial U_n'' \partial U_n'} = -b_{mn},$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_l'' \partial U_l'} = g_{ml}, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{qn}}{\partial U_l'' \partial U_l'} = -g_{ml},$$

где $S=(p,q)$, $\alpha=(m,n)$, $\beta \neq (m,n)$.

Частные производные первых порядков, т.е. элементы градиента выражения (25), определяются в виде

$$\frac{\partial F(I)}{\partial I_k'} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k'} + \Phi_{qr} \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k'} \right),$$

$$\frac{\partial F(I)}{\partial I_k''} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k''} + \Phi_{qr} \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k''} \right) \quad (32)$$

Частные производные вторых порядков, входящие в матрицу Гессе выражения (25), определяются в виде

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_k'^2} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left[\left(\frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k'} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k'} \right)^2 \right] + 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial^2 \Phi_{pr}}{\partial I_k'^2} + \Phi_{qr} \frac{\partial^2 \Phi_{qr}}{\partial I_k'^2} \right),$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_k''^2} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left[\left(\frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k''} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k''} \right)^2 \right] + 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial^2 \Phi_{pr}}{\partial I_k''^2} + \Phi_{qr} \frac{\partial^2 \Phi_{qr}}{\partial I_k''^2} \right). \quad (33)$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_k' \partial I_k''} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k'} \frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k''} + \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k'} \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k''} \right) + 2 \sum_{k=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial^2 \Phi_{pr}}{\partial I_k' \partial I_k''} + \Phi_{qr} \frac{\partial^2 \Phi_{qr}}{\partial I_k' \partial I_k''} \right)$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_k' \partial I_l'} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k'} \frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_l'} + \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k'} \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_l'} \right) + 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial^2 \Phi_{pr}}{\partial I_k' \partial I_l'} + \Phi_{qr} \frac{\partial^2 \Phi_{qr}}{\partial I_k' \partial I_l'} \right)$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_k'' \partial I_l''} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k''} \frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_l''} + \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k''} \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_l''} \right) + 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial^2 \Phi_{pr}}{\partial I_k'' \partial I_l''} + \Phi_{qr} \frac{\partial^2 \Phi_{qr}}{\partial I_k'' \partial I_l''} \right)$$

$$\frac{\partial^2 F(I)}{\partial I_k' \partial I_l''} = 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_k'} \frac{\partial \Phi_{pr}}{\partial I_l''} + \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_k'} \frac{\partial \Phi_{qr}}{\partial I_l''} \right) + 2 \sum_{r=\Gamma+1}^M \left(\Phi_{pr} \frac{\partial^2 \Phi_{pr}}{\partial I_k' \partial I_l''} + \Phi_{qr} \frac{\partial^2 \Phi_{qr}}{\partial I_k' \partial I_l''} \right)$$

Теперь необходимо установить аналитические выражения частных производных первых и вторых порядков, входящих в выражения (32) и (33). При этом также функции Φ_{pk} и Φ_{ql} удобнее представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi_{pk}(I_k', I_k'') &= R_{k,k}(I_k'^2 + I_k''^2) + \sum_{r=\Gamma+1}^M [R_{k,r}(I_k' I_r' + I_k'' I_r'') + x_{k,r}(I_k' I_r' - I_k'' I_r'')] \\ \Phi_{ql}(I_k', I_k'') &= x_{k,k}(I_k'^2 + I_k''^2) - \sum_{r=\Gamma+1}^M [R_{k,r}(I_k' I_r' - I_k'' I_r'') - x_{k,r}(I_k' I_r' + I_k'' I_r'')] \end{aligned} \right. \quad (34)$$

Частные производные первых порядков определяются в виде:

• при одинаковых индексах, т.е. когда $l=k$:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I'_k} &= - \left\{ U'_{\text{бm}} + 2R_{k,k} I'_k + \sum_{i=\Gamma+1}^M (R_{k,i} I'_i - x_{k,i} I''_i) \right\}, \\
 \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I''_k} &= - \left\{ U''_{\text{бm}} + 2R_{k,k} I''_k + \sum_{i=\Gamma+1}^M (R_{k,i} I''_i + x_{k,i} I'_i) \right\}, \\
 \frac{\partial \Phi_{\ell k}}{\partial I'_k} &= - \left\{ U'_{\text{бm}} + 2x_{k,k} I'_k + \sum_{i=\Gamma+1}^M (R_{k,i} I'_i + x_{k,i} I'_i) \right\}, \\
 \frac{\partial \Phi_{\ell k}}{\partial I''_k} &= - \left\{ -U'_{\text{бm}} + 2x_{k,k} I''_k - \sum_{i=\Gamma+1}^M (R_{k,i} I'_i - x_{k,i} I''_i) \right\},
 \end{aligned} \tag{35}$$

где

$$U'_{\text{бm}} = \left(1 - \sum_{n=1}^{\Gamma} C'_{k,n} \right) U_n + \sum_{n=1}^{\Gamma} (C'_{k,n} U'_n - C''_{k,n} U''_n),$$

$$U''_{\text{бm}} = - \sum_{n=1}^{\Gamma} C''_{k,n} U_n + \sum_{n=1}^{\Gamma} (C'_{k,n} U''_n + C''_{k,n} U'_n);$$

- при разных индексах, т.е. когда $\ell \neq k$:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial I'_\ell} &= -(R_{k,\ell} I'_\ell + x_{k,\ell} I''_\ell), & \frac{\partial \Phi_{\ell k}}{\partial I'_k} &= -(R_{k,\ell} I'_k - x_{k,\ell} I''_k), \\
 \frac{\partial \Phi_{\ell k}}{\partial I'_\ell} &= -(-R_{k,\ell} I''_\ell + x_{k,\ell} I'_\ell), & \frac{\partial \Phi_{\ell k}}{\partial I''_k} &= -(R_{k,\ell} I'_k - x_{k,\ell} I''_k).
 \end{aligned} \tag{36}$$

Частные производные вторых порядков, входящие в выражения (33), определяются в виде

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial I'^2_k} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial I''^2_k} = -2R_{k,k}, & \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I'^2_k} &= \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I''^2_k} = -2x_{k,\ell}, \\
 \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I'^2_k} &= \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I''^2_k} = 0, & \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I'_k \partial I'_\ell} &= \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = 0, \\
 \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I'_k \partial I'_\ell} &= \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = -R_{k,\ell}, & \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I'_k \partial I'_\ell} &= \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I'_\ell \partial I'_k} = -x_{k,\ell}, \\
 \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I'_k \partial I''_\ell} &= \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I'_\ell \partial I''_k} = 0, & \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I'_k \partial I''_\ell} &= \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I'_\ell \partial I''_k} = 0, \\
 \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I''_\ell \partial I'_k} &= x_{k,\ell}, & \frac{\partial^2 \Phi_{\ell k}}{\partial I''_\ell \partial I''_k} &= -R_{k,\ell}, & \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I''_\ell \partial I'_k} &= -x_{k,\ell}, & \frac{\partial^2 \Phi_{k\ell}}{\partial I''_\ell \partial I''_k} &= R_{k,\ell},
 \end{aligned} \tag{37}$$

где $\gamma = (k; \ell)$; $\delta \neq (k, \ell)$.

Устанавливая аналитические выражения частных производных первого и второго порядков, необходимо перейти к описанию вычислительного алгоритма для решения численно-практических задач.

Принимая узловые комплексные напряжения независимых узлов равными заданному напряжению базисного узла, будем иметь $U'_1 = U'_2 = \dots = U'_M = U_0$, $U''_1 = U''_2 = \dots = U''_N = 0$, для узлов типа P-Q можно определить составляющие комплексных токов.

Пользуясь полученными численными значениями составляющих комплексных токов, устанавливаются численные значения I'_{in} и I''_{in} , затем частных производных, входящих в (23). Обращая матрицу Гессе и умножая ее на столбцовую матрицу градиента, определяются новые значения составляющих комплексных напряжений стационарных узлов - U'_0, U''_0 .

Используя полученные новые значения составляющих комплексных напряжений стационарных узлов, определяются U'_{in} и U''_{in} . Имея предварительные численные значения составляющих комплексных токов нагрузочных узлов, устанавливаются численные значения частных производных, входящих в (25). Обращая матрицу Гессе и умножая ее на градиент, получим новые значения составляющих комплексных токов нагрузочных узлов - I', I'' . В результате осуществлена первая итерация и получены новые численные значения составляющих комплексных напряжений и токов соответственно для стационарных и нагрузочных узлов.

Затем переходим ко второй итерации. Она прекращается, когда обеспечиваются условия:

- для системы (13):

$$\max \sum_{n=1}^f (\Phi_{pn}^2 + \Phi_{qn}^2) \leq \varepsilon_m \quad (38)$$

- для системы (14):

$$\max \sum_{i=1}^M (\Phi_{pi}^2 + \Phi_{qi}^2) \leq \varepsilon_s \quad (39)$$

где ε_m и ε_s — заданные положительные величины, характеризующие точность получения численных значений текущих активных и реактивных мощностей стационарных и нагрузочных узлов.

Таким образом, впервые предлагается решение гибридных уравнений установившегося режима с применением матрицы Гессе. Предложенный вычислительный алгоритм обеспечивает решение численных задач по расчету установившегося режима за 2-3 итерации. Указанный метод можно сочетать с идеей декомпозиции, что позволит решить поставленные задачи для ЭЭС любой сложности и с любым количеством узловых точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачатрян В.С., Этмекчян Э.А. Метод расчета установившегося режима электрической системы // Изв. вузов СССР. 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.
4. Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С. Расчет установившихся режимов электрических систем с применением матрицы Гессе при Z-форме задания состояния сети // Изв. вузов СССР. Энергетика. - 1990. - № 1. - С. 20-28.

ГИУА

1.03.1997

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. 4, № 3, 1997, с. 203-207

ՀՏԴ 621.173.3

ԵՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Վ.Ո. ՄԱՐԿՈՒԿՅԱՆ,

ՋԷԿ-Ի ՀԵՐԹՎՓՈՒՍԱՅԻՆ ԱՆՁՆԱԿԱՄԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՈՒ ԻՐԱՅՈՒՄԸ

Հաշվարկային համապատասխան մեթոդով ադոպտիբի մշակման և իրականացման արդյունքում հաճախվում են գնահատվում է ՋԷԿ-ի արժույթը անձնակազմի ցուցանիշով (հերթափոխի) գործունեությունը՝ չարժանիքը ընդունելով վառելիքի գերամախաց մաս տեսնելուց: Արդյունքները կարող են սպազոտել: 200 ՄՎտ կոորդինացիոն ԿՏՏ-ով կենտրոնիկների ՏԳ ԿՍՀ-ի մշակման և կառավարման ընթացքում:

Вследствие разработки и реализации соответствующей расчетной методики и алгоритма достоверно оценивается деятельность оперативного персонала ТЭС (каждой вахты), принимаемая в качестве критерия перерасход или экономия топлива. Результаты могут быть использованы при разработке и проектировании АСУ ТП энергоблоков мощностью 200 МВт с КОУ

Библиогр.: 2 назв.

Based on development and realization of a relevant calculation method and algorithm, a true assessment is done of the activities of TES personnel (each shift) taking as a criterion the fuel saving or overexpenditure. The results can be applied for developing and designing TES Automated Control Systems for power units of 200 MW with condensing cooling units.

Ref. 2.

ՋԷԿ-ում վառելիքի տեսակարար ծախսերի նվազեցման պայմարի իրացահայտման առավել արդյունավետ մեթոդներից մեկը բանող սարքավորումների տեխնիկան տեսակաճ գույցանիշների բազմակողմանի և հասակարգված

վերլուծությունն է պարամետրերի լավարկված արժեքների դեպքում սարքավորումների աշխատանքային եւ փաստացի շահագործողական իրավիճակում ստացված ցուցանիշները համադրությամբ: Պա հնարավորություն է ընձեռում բացահայտել եւ քանակապես գնահատել վառելիքի կորստի հիմնական աղբյուրները եւ մշակել դրանց վերացման գործարար միջոցառումներ, ինչպես նաեւ տալ սարքավորումների աշխատանքի շահավետությունը բարձրացնող համապատասխան երաշխավորություններ: Այդ առումով կարելի է նաեւ ՁԷԿ-ի հերթափոխային անձնակազմի աշխատանքի որակի գնահատման հանգամանքը: Յուրաքանչյուր հերթափոխի ընթացքում զրանցված հիմնական բնութագրիչ ցուցանիշները հստակ պատկերացում են տալիս աշխատող անձնակազմի կողմից ենթադրվողների աշխատանքային ռեժիմների ճիշտ եւ շահավետ վարման, ինչպես նաեւ վթարային իրադրությունների կանխման վերաբերյալ: Քանանական մոնիթինգ ցուցանիշների քննախույզ վերլուծության հիման վրա կարող են իրականացվել որակական գնահատումներ դրանցից ընտրվող հետեւություններով:

Հաշվարկային ծրագիրը մշակված է Հրազդանի ՁԷԿ-ի 200 ՄՎտ հզորությամբ Լներգաբլոկների համար հնարավորություն է ընձեռում քիչ աշխատատար եւ համեմատաբար պարզ մեթոդով որակապես գնահատել սարքավորման վրա կատարված աշխատանքի հերթափոխային արդյունավետությունը եւ շահագործման ընթացքում հետեւել զգալի թվով պարամետրերի փոփոխման գործընթացին:

Հաշվարկների համար որպես ելակետային տեղեկատվություններ են ծառայում ենթադրվող աշխատանքի հիմնական ցուցանիշները տվյալ հերթափոխի ընթացքում: Ծրագրի իրականացման նախապատրաստական փուլը պահանջում է մշակման ենթարկել յուրաքանչյուր Լներգաբլոկի վերաբերյալ առկա գրաֆիկական (դիագրամային) տվյալները եւ դրանք որպես ելակետային տեղեկատվություն մտցնել ԷՀՍ: Տեխնոլոգիական գործընթացների ավտոմատ կառավարման համակարգի (ԱԿ) ներդրման դեպքում վերը նշված նախապատրաստական ժամանակահատվածի անհրաժեշտությունը վերանում է եւ ողջ տեղեկատվությունը միանգամից ձեռք է բերում համապատասխան ֆայլի ձեւ: Հաշվարկների իրականացման ելակետային պարամետրերն են

էլեկտրաէներգիայի արտադրանքի եւ առաքման չափը,

շոգետուրբինի մուտքում զոլորշու ջերմաստիճանը,

զոլորշու միջանկյալ զերտաքաղցման ջերմաստիճանը,

միջանկյալ զերտաքաղցման «սառը» եւ «ուսք» զեքուրն զոլորշու ջերմաստիճանը,

զոլորշու հագեցման (խտազման) ջերմաստիճանը խտարւորում

սնող ջրի ջերմաստիճանը,

կաթսայական ազրեզատի սեփական կառիքների համար ջերմության ծախսի չափը,

կաթսայական ազրեզատից հեռացող ծխազագեր ջերմաստիճանը,

զերտաքաղցուցիչից հետո թրվածնի տոկոսային պարունակությունը,

զազի եւ մագութի համատեղ օգտագործման դեպքում ընական շաղ

տոկոսային պարունակությունը,

ենթադրվող աշխատաժամաքանակը

աշտարակահովացուցիչում միագված (գործող) հովացնող սյուների քանակը:

Հաշվարկային այգործքմի իրացմամբ կարելի է որոշել ստորեւ բերվող մեծությունները հետեւյալ հաջորդականությամբ

ենթադրվող N էլեկտրական բեռնվածքի հաշվարկում,

խտարարում P_լ նսարացման մեծության որոշում

$$P_{\text{լ}} = 0.084 - 0.0048852(\alpha - 0.0001152\alpha^2 + 0.0032 \sin[11.7 / \alpha]) - 27 / 18.5. \quad (1)$$

որտեղ Π_0 — միացված (գործող) հովացնող սյուների բանաձևն է, իսկ l_0 — միացված է ելակետային տվյալների բանկից:

խտարարի ջերմային բեռնվածության որոշում

$$Q_{\text{լ}} = 0.57D_{\text{լ}}; \quad (2)$$

խտարարում հազեցման ջերմաստիճանի չափորոշիչ արժեքը, երբ $\Pi_1 \leq 238$ կորոշվի հետևյալ կերպ

$$t'_{\text{լ}} = 0.10432Q_{\text{լ}} + t_{\text{առ}} + 7.4816; \quad (3)$$

որտեղ $t_{\text{առ}}$ — արտաքին օդի ջերմաստիճանն է ՇՈՂ որում, երբ $\Pi_1 > 238$ այսինքն աշխատանքային ռեժիմը բնութագրվում է «մեկ լներգաբլոկ ետևի աշտարակահովացուցիչ» տարբերակով կատարվում է համապատասխան ուղղում

$$\Delta\Pi_{\text{լ}} = (238 - \Pi_1)(-0.0036 + 0.0002494(238 - \Pi_1) + 0.0005554Q_{\text{լ}} - 0.0067762(Q_{\text{լ}} / 100))^2; \quad (4)$$

խտարարում հազեցման ջերմաստիճանի չափորոշիչ արժեքը հովացնող սյուների ուղղման հաշվառմամբ

$$t''_{\text{լ}} = t'_{\text{լ}} + \Delta\Pi_{\text{լ}}; \quad (5)$$

չափորոշիչ ճնշումը խտարարում

$$P_{\text{ջ}} = 0.084 - 0.0048852t_{\text{լ}} + 0.0001152t_{\text{լ}}^2 + 0.0032 \sin(\Pi_{\text{լ}} / t_{\text{լ}} - 27) / 18.5; \quad (6)$$

Նոսրացման չափորոշիչ էլ փաստացի մեծությունները համապատասխանաբար որոշվում են ըստ խտարարում ճնշման արժեքի

$$V_{\text{ջ}} = 100(1 - P_{\text{ջ}}), \quad V_{\text{փ}} = 100(1 - P_{\text{փ}});$$

Տուրբոտեղակայանքում ջերմության տեսակարար լրրուտտու ծախսը, հաշվի առած նաև չափորոշիչ նոսրացման ուղղումը, կորոշվի հետևյալ արտահայտությամբ

$$q_{\text{ջ}}'' = 100Q_{\text{լ}} \tau_{\text{առ}} / \Theta_{\text{սրտ}} - 23(V_{\text{ջ}} - 92); \quad (7)$$

իսկ սնող ջրի չափորոշիչ ջերմաստիճանը

$$t'_{\text{ջ}} = 149.5 + 0.24721D_{\text{ջ}} - 0.0001514D_{\text{ջ}}^2 - 0.64D_{\text{ջ}} / 10; \quad (8)$$

Նկատի ունենալով հիմնական պարամետրերի չափորոշիչ ցուցանիշներից շեղումը, կարելի է որոշել ջերմության ծախսի գումարային ուղղումը

$$\delta_{\text{ջ}} = 0.25 + 0.02(540 - t_{\text{լ}}) + 0.65(130 - P_{\text{լ}}) + 0.15(540 - t_{\text{լ}}) + 0.00038 \Theta_{\text{սրտ}} (100(P_{\text{լ}} - P_{\text{շոգ}}) / P_{\text{շոգ}} - 9) / \tau_{\text{առ}}; \quad (9)$$

որտեղ

$$A = 0.00038 + \Theta_{\text{սրտ}} (100(P_{\text{լ}} - P_{\text{շոգ}}) / P_{\text{շոգ}} - 9) / \tau_{\text{առ}}$$

սրտային զերտաքացման խողովակագծում ճնշման կորուստները հաշվի առնող ուղղումն է:

Ապա հաջորդաբար որոշվում են

չոզետուրբինում ջերմության փոստացի տեսակարար ծախսը

չոզետուրբինի սեփական կարիքների համար էլեկտրաէներգիայի ծախսը

ջերմային հոսքի ՕԳԳ-ն,

ջերմության չափորոշիչ տեսակարար ծախսը տուրբինում,

հեռացող ծխագազերի չափորոշիչ ջերմաստիճանը,

չոզեզերտաքացուցիչից հետո օդի ավելցուկի գործակիցը

չոզեկաքսա-ծխածուծ ուղեարքիլածրի մերծուծները:

ծխածուծից հետո օդի ավելցուկի գործակիցը (չափորոշիչ ներծծումները կաթսայում)։

հեռացող ծխազագերի եւ շոգեկաթսայի զոււմարային քերմային կորուստները։

Օգտվելով վերը նշված հաշվարկի արդյունքներից կարող ենք որոշել կաթսայական ագրեզատի օգտակար գործողության գործակիցը (բրուտտո)՝

$$\eta_{\text{br}}^{\text{տ}} = 100 - q_{\text{արտ}}^{\text{տ}} \quad (10)$$

եւ կաթսայական ագրեզատի սեփական կարիքների համար քերմության ծախսը՝

$$\eta_{\text{br}}^{\text{տ}} = 0,496[B/100 + 1,1184(1 - B/100)] \quad (11)$$

կաթսայական ագրեզատի ՕԳԳ-ն (Նետտո) կորոշվի՝

$$\eta_{\text{br}}^{\text{ն}} = \eta_{\text{br}}^{\text{տ}}(100 - q_{\text{արտ}}^{\text{տ}}) / (100 - (100)(\mathcal{E}_{\text{արտ}} - \mathcal{E}_{\text{արտ}}) / \mathcal{E}_{\text{արտ}})(100 - \mathcal{E}_{\text{արտ}}) \quad (12)$$

Առաքված էլեկտրաէներգիայի վրա պայմանական վառելիքի տեսակարար ծախսի փաստացի արժեքը՝

$$b_{\text{արտ}}^{\text{է}} = 1428,571 q_{\text{արտ}}^{\text{տ}} k / \eta_{\text{br}}^{\text{ն}} \quad (13)$$

որտեղ՝

$$q_{\text{արտ}}^{\text{տ}} = q_{\text{արտ}}^{\text{ն}}(100 + q_{\text{արտ}}^{\text{ն}}) / (100 - \mathcal{E}_{\text{արտ}}) \quad (14)$$

Հաշվարկելով կաթսայական ագրեզատի չափորոշիչ օգտակար գործողության բրուտտո եւ նետտո գործակիցները հնարավոր է որոշել պայմանական վառելիքի տեսակարար ծախսի (չափորոշիչ) մեծությունը՝

կատարվածը հնարավորություն է տալիս հաջորդաբար որոշել՝

խտարարում հազեցման քերմաստիճանի շեղման հետեւանքով վառելիքի δ_1 գերածախսը։

Եւ արձ գոլորշու սկզբնական ճնշման շեղման հետեւանքով վառելիքի δ_2 գերածախսը (կամ տնտեսումը)։ Ինչպես նաեւ քաղմ գոլորշու միջանկյալ գերտաքացումից հետո գոլորշու եւ սնող ցրի քերմաստիճանների չափորոշիչ շեղումների հետեւանքով վառելիքի գերածախսերը՝

$$\delta_1 = [0,02 b_{\text{արտ}}^{\text{է}} \mathcal{E}_{\text{արտ}} (540 - t_{\text{գոլ}})] / 105, \quad (15)$$

$$\delta_2 = [0,015(540 - t_{\text{գոլ}}) b_{\text{արտ}}^{\text{է}} \mathcal{E}_{\text{արտ}}] / 105, \quad (16)$$

$$\delta_3 = [0,03(t_{\text{ցր}} - t_{\text{արտ}}) b_{\text{արտ}}^{\text{է}} \mathcal{E}_{\text{արտ}}] / 105: \quad (17)$$

Հետեւաբար ւներգաշտկում վառելիքի զոււմարային գերածախսը կլինի՝

$$\delta_4 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_5 + \delta_6$$

Հաշվարկային ագրեզատի ավելի ճշտորեն կարող է բնութագրել շահագործման ողջ ընթացքը եթե որոշվեն էլեկտրաէներգիայի սեփական կարիքների ծախսը եւ վերջինիս քաշխումն ըստ կաթսայական եւ տուրբինային արտադրամասերի։

Հաշվարկային ագրեզատը հուսկանացվել է Դրագոյանի ՏԷԿ-ում, եւ նախնական տվյալները վկայում են առաջարկվող մեթոդի որոշակի առավելությունները։ Մասնավորապես այն հնարավորություն է ընձեռում շատ արագ բացահայտել հերթափոխային անձնակազմի աշխատանքային խոտանը եւ ստեղծել մասնագիտական ծիրքերի ու հմտությունների գարգացման նախադրյալներ։ Հատկանշական է նաեւ այն հանգամանքը, որ մշակումները հաջողությամբ կարող են օգտագործվել 200ՄՎտ հզորությամբ էներգաբլոկների կառավարման ավտոմատ համակարգերի մշակման եւ նախագծման ընթացքում։

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Типовая энергетическая характеристика нетто турбоагрегата К-200-130 ЛМЗ / ГТУ по эксплуатации энергосистем. - М., 1972 - 31 с.
2. Марухян К.В., Бурначян Г.А., Марухян В.З. Некоторые особенности эксплуатации НПК энергоблоков мощностью 200 МВт Разданской ГРЭС // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1995. - Т. XLVIII, № 2 - С. 94-97.

ГИУА

26.05.1997

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. L, № 3, 1997, с. 207-211

УДК 621.313.333

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г.Л. АРТЕМЯН, В.А. МАРТИРОСЯН

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ВИБРОАКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Տեսակետներն և վարձանքին կառուցվածքով հիմնավորված է. փորձ նպաստում է արդյունավետ և անվտանգ աշխատող մեքենաների ֆունկցիոնալ ֆազերում ուղղված գործունե միացումներով սեկցիաների օգտագործման արդյունավետությունը ոլորտին բացակի անհավասարաչափությունից առաջացած թրթռուկի մագնիսական բաղադրիչների ստրուկտուրայից:

Теоретически и экспериментально обоснована эффективность применения в асинхронных двигателях малой мощности обмоток статора с различными параллельными соединениями секций в фазе для демпфирования магнитных составляющих вибраций от неравномерности воздушного зазора.

Ил. 3. Библиогр.: 1 назв.

The effectiveness of applying small power winding stators in asynchronous motors by various parallel connections of the sections in the phase for damping magnetic vibration components caused by unevenness of air clearance is theoretically and experimentally grounded.

Ill.3. Ref.1.

Общая тенденция снижения материалоемкости и повышения энергетических показателей электрических машин приводит к повышению рабочих скоростей вращения, уменьшению воздушного зазора, толщины и массы конструктивных элементов, ужесточению технологических допусков их изготовления. Машина становится очень чувствительной к погрешностям изготовления и сборки с точки зрения обеспечения необходимого уровня виброакустических характеристик. Методы и средства снижения виброактивности источников магнитного происхождения общеизвестны и сводятся к правильному выбору соотношения чисел пазов ротора и статора, скоса пазов ротора, применению конструкций с механической и магнитной симметрией, упругой подвеской статора и т.д. Магнитная вибрация может быть снижена также за счет уменьшения магнитного

насыщения машины, увеличения воздушного зазора или сопротивления обмотки ротора.

Многолетний опыт проектирования, изготовления и эксплуатации машин показывает, что хорошо спроектированная машина при отсутствии неравномерности воздушного зазора имеет пониженный уровень шума на 10...15 дБ и уровень вибрации на класс ниже относительно их нормированных значений. Воздушный зазор машины рассчитывается при проектировании и является замыкающим звеном размерной цепи. Для асинхронных двигателей малой мощности (АДММ) номинальная величина воздушного зазора должна быть в пределах 0,25...0,3 мм, а неравномерность зазора не должна превышать 25...30% от его номинального значения. Успешное выполнение этих условий зависит от большого количества факторов: качества штамповки листов, шихтовки, запрессовки (или сварки) пакетов статора и ротора, литья станины и щитов, их обработки, сборки и т.д. В условиях серийного производства до настоящего времени отсутствуют действенные методы контроля неравномерности воздушного зазора, поэтому, как показывают статистические данные, 60% двигателей имеют неравномерность воздушного зазора в пределах 30...70% от номинального значения и, как следствие, завышенные уровни шума на 10...15 дБ. Ужесточение поля допуска и повышение точности изготовления и сборки деталей и узлов машины, повышение качества и усовершенствование методов входного контроля материалов и комплектующих элементов способствуют снижению виброактивности источников от неравномерности воздушного зазора, но в то же время приводят к значительному и часто неоправданному удорожанию производства.

В настоящей работе теоретически обоснована эффективность применения в АДММ обмоток статора с различными параллельными соединениями секций в фазе для демпфирования магнитных составляющих вибраций от неравномерности воздушного зазора [1].

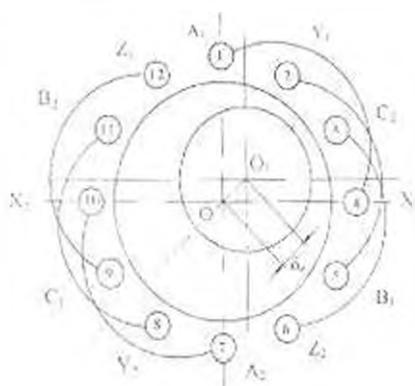


Рис. 1. Трехфазная однослойная обмотка статора

Пусть имеем трехфазную однослойную обмотку статора ($z=12$, $2p=4$, $q=1$, $y=3$) с секциями, расположенными в пространстве (рис.1). В общем случае неравномерности воздушного зазора (статическая и динамическая) рассмотрим момент времени, когда

направление эксцентриситета δ_i совпадает с осью фазы А. Тогда получим, что одна секция фазы $\Lambda(\Lambda_1 - X_1)$ будет расположена у минимального воздушного зазора $\delta_{\min} = \delta_0 - \delta_r$, а вторая $(\Lambda_2 - X_2)$ - у максимального - $\delta_{\max} = \delta_0 + \delta_r$.

Как известно, амплитуда ν -й гармоники ЭДС одной секции определяется по формуле

$$E_{\nu} = 2\pi\Phi_{\nu}f_0 N k_{\nu} \cdot 10^{-8} \quad (1)$$

Здесь Φ_{ν} - магнитный поток ν -й гармоники поля на один полюс:

$$\Phi_{\nu} = \frac{2.4\sqrt{2}}{\pi} N \frac{\tau_p / k_{\nu}}{\delta \nu^2} I, \quad (2)$$

где N - число проводников в секции; k_{ν} - обмоточный коэффициент для ν -й гармоники; τ_p - полюсное деление для основной гармоники; ℓ - длина пакета статора; δ - величина воздушного зазора в рассматриваемой зоне; I - амплитудное значение тока в секции.

При образовании фазы А по схеме последовательного соединения секций, представленного на рис. 2а, получим следующее выражение для амплитуды ν -й гармоники ЭДС фазы А:

$$E_{\nu A} = E_{\nu(\Lambda_1 - X_1)} + E_{\nu(\Lambda_2 - X_2)} = 6.79 \cdot 10^{-8} \tau_p \ell f_0 \left(\frac{N k_{\nu}}{\nu} \right)^2 \frac{1}{\delta_0 - \delta_r} + \\ + 6.79 \cdot 10^{-8} \tau_p \ell f_0 \left(\frac{N k_{\nu}}{\nu} \right)^2 \frac{1}{\delta_0 + \delta_r} = \frac{2cI}{\delta_e}, \quad (3)$$

где c - коэффициент пропорциональности, равный $c = 6.79 \cdot 10^{-8} \tau_p \ell f_0 (N k_{\nu} / \nu)^2$; $\delta_e = \delta_0 (1 - \epsilon^2)$ - эквивалентный воздушный зазор; $\epsilon = \delta_r / \delta_0$ - относительный эксцентриситет ротора.

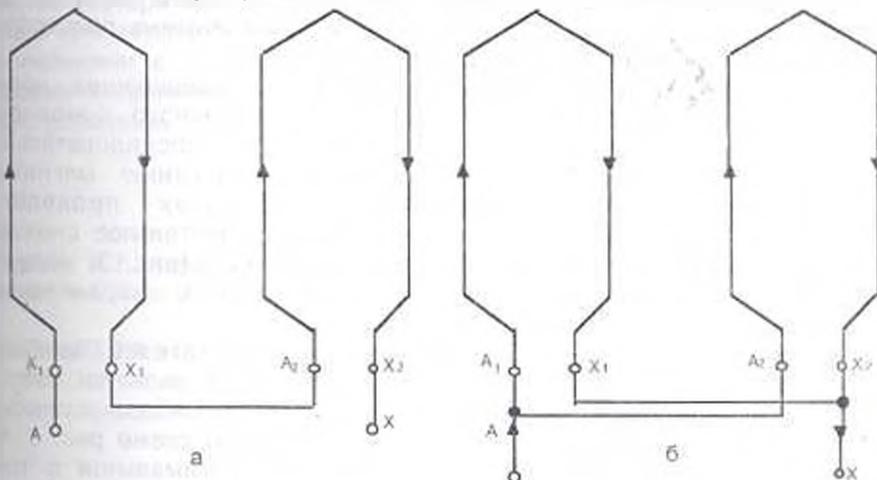


Рис. 2: а - схема последовательного соединения секций фазы А б - схема параллельного соединения фазы А

При образовании фазы А по схеме параллельного соединения секций (дис. 2 б) получим следующее выражение для фазного тока:

$$I_A = I_{A-x} + I_{A-y} = \frac{E'_{v,A}(\delta_0 - \delta_\varepsilon)}{c} + \frac{E'_{v,A}(\delta_0 + \delta_\varepsilon)}{c} = \frac{2E'_{v,A}\delta_0}{c} \quad (4)$$

где $E'_{v,A}$ — амплитуда v -й гармоники ЭДС фазы А при параллельном соединении ее секций.

При анализе и оценке электромагнитных процессов, протекающих в АДММ с неравномерным воздушным зазором и относительным эксцентриситетом ε , использование обмотки статора с последовательным соединением секций в фазе по сравнению с их параллельным соединением приводит к эквивалентному уменьшению величины воздушного зазора и, как следствие, к увеличению амплитуды магнитной индукции основного поля в $1/(1-\varepsilon^2)$ раза по формуле

$$B_0 = F_0 / k_c k_{II} k_\nu \quad (5)$$

где F_0 — амплитуда основной волны МДС обмотки статора; k_c , k_{II} — соответственно коэффициенты Картера и насыщения.

Подобное увеличение магнитной индукции приведет, в свою очередь, к увеличению амплитуды радиальной магнитной силы (по известной формуле Максвелла) приблизительно в $1/(1-\varepsilon^2)^2$ раза.

Исходя из этого, проведен целый комплекс исследований по выявлению наиболее оптимального соединения секций обмотки статора с точки зрения как виброакустических, так и энергетических показателей машины.

На основе этих исследований установлено:

- при малых значениях эксцентриситета ($\varepsilon = 0,1$) использование различных способов соединения секций обмотки статора (рис.3) не приводит к существенным изменениям амплитудно-частотного спектра (АЧС) вибрации АДММ, т.е. практически не влияет на протекание электромагнитных процессов в исправной и нормально функционирующей машине;

- при значениях эксцентриситета, превышающих норму, использование подходящих способов параллельного соединения секций обмотки статора по сравнению с их последовательным соединением приводит к значительному снижению магнитных составляющих АЧС вибрации на частотах проявления неравномерности воздушного зазора. Самое значительное снижение (до 10...15 дБ) по сравнению с обычной схемой (рис. 3) получено при использовании схемы обмотки статора с параллельным соединением всех секций в фазе (рис 3);

- с точки зрения энергетических показателей наиболее оптимальной для АДММ с числом полюсов $2p=2$ является обмотка статора, соединенная по схеме рис. 3, хотя по виброакустическим показателям она немного уступает соединению по схеме рис. 3. Что касается АДММ с $2p=4$, то здесь наиболее оптимальной с точки зрения как виброакустических, так и энергетических показателей, является обмотка статора по схеме рис. 3.

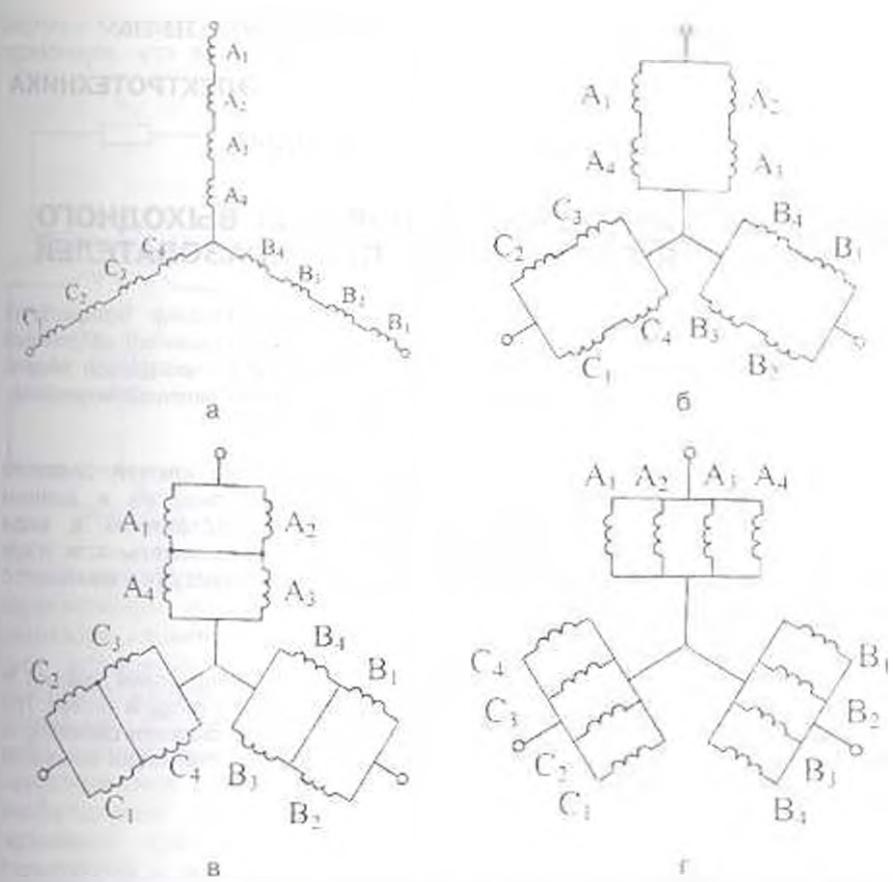


Рис. 3. Различные способы соединений секций в обмотке статора АДММ

Применение способа параллельного соединения секций в обмотке статора увеличивает трудоемкость изготовления двигателей, однако для ограниченного объема поставки двигателей с жесткими требованиями к виброакустическим характеристикам и показателям надежности применение данного способа может стать экономически целесообразным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ellison A.I., Iang S.I. Effect of rotor eccentricity on acoustic noise from induction machines // Proc. IEE - 1971. - V. 118. № 1. - P. 174-184.

В.М. МОВСИСЯН, А.С. МУРАДЯН

ЦИФРОВОЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Ելելով հարձնելիների արված շերտում ընդհանուր կենդանի նվազարկման պայմանից «անջատվում» և ինվերտորի ուժային բախվելների փոխանցատեսան անկյունների որոշման խնդիրը Տեղադրությունների արդյունքները ցուցադրված են գրաֆիկների տեսքով, բունդով կարելի է ընտրել փոխանցատեսան անկյունների յուրաքանչյուր հարադրականությունները կրթին սխեմայից յարման անսխեմայի կարգավորման համար:

Ставится задача определения углов переключений ключей силового инвертора, исходя из условия минимизации общей энергии в данном диапазоне гармоник. Результаты исследования представлены в виде графиков, по которым можно выбрать оптимальные последовательности углов переключений с тем, чтобы контролировать амплитуду выходного синусоидального напряжения.

Ил. 4. Библиогр. 2 назв.

The problem of determining the switching angles in inverter power switches in terms of the whole energy minimization condition in given harmonic range is studied. The results of accomplished investigations are illustrated by means of diagrams permitting to choose the optimal sequences of switching angles to control the output sinusoidal voltage amplitude.

Ил. 4. Ref 2

Полупроводниковые преобразователи постоянного напряжения в переменный строятся на основе инверторов напряжения или тока (рис. 1а). Качество выходного переменного напряжения оценивается формой напряжения, т.е. приближенностью к синусоиде, стабильностью амплитуды первой гармоники и частоты. В настоящее время распространен ШИМ-метод формирования выходного напряжения (рис. 1б). Гармонический состав формирующегося напряжения зависит от значений углов переключения силовых ключей инвертора [1]. Обычно на выходе преобразователя имеется фильтр низких частот, с помощью которого освобождаются от высших гармоник. Для минимизации массогабаритных параметров фильтра необходимо из гармонического состава сигнала исключить низшие гармоники (кроме первого).

Широко распространены метод исключения низших гармоник и метод их минимизации. В первом случае углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$ выбираются из условия исключения данных конкретных гармоник, а во втором - из условия минимизации амплитуд высших гармоник [2]. Принимая в расчет высокую надежность и стабильность параметров цифровых устройств, в настоящее время более перспективными считаются цифровые методы формирования напряжения. В случае метода исключения гармоник считываются фиксированные значения углов переключений $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$, которые обеспечивают заданную

форму. Однако при этом фиксируется также амплитуда первой гармоники, что затрудняет задачу стабилизации [2].

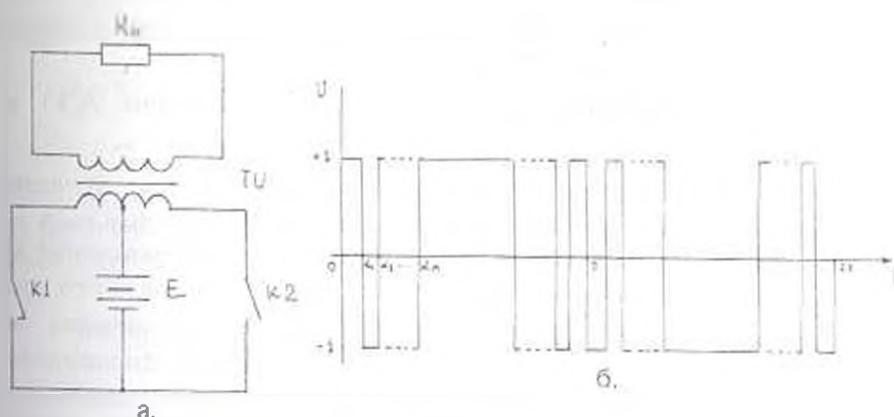


Рис. 1: а - схема инвертора; б - вид выходного напряжения

В представленной работе ставится задача определения углов переключений из условия минимизации общей энергии в данном диапазоне гармоник. Выбор углов переключения по этому критерию дает возможность контролировать амплитуду первой гармоники выходного напряжения. Ограничивая энергию гармоник в конкретном диапазоне, с помощью различных значений углов можно основную часть энергии распределить между первой и высшими гармониками, находящимися вне этого диапазона, так, чтобы обеспечить необходимый диапазон регулирования амплитуды основной гармоники. Считается, что эти высшие гармоники легко можно фильтровать с помощью выходного фильтра низких частот.

Качество выходного напряжения предлагается оценить значением усеченного коэффициента гармоник:

$$K_{ГУ} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \Lambda^2(i) / A(1)}, \quad (1)$$

где $A(1)$ — амплитуда первой гармоники, $\Lambda(i)$ — амплитуда i -й гармоники, N — верхняя граница выбранного диапазона гармоник.

Необходимо определить углы переключения силовых ключей $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$ так, чтобы выполнялись ограничения:

$$K_{ГУ} \leq K_{ГУ3}, \quad A(1)_{\max} / A(1)_{\min} > \gamma_1, \quad (2)$$

где $K_{ГУ3}$ — заданное значение усеченного коэффициента гармоник; γ_1 — заданный диапазон регулирования амплитуды основной гармоники.

По данным ограничениям определяются углы переключений за четверть периода ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$), которым соответствует минимальный коэффициент $K_{ГУ}$. Расчеты производились на компьютерах IBM PC по программе на алгоритмическом языке Паскаль для случаев $n=32, 64, 128, 256$ и 512 (n — число отсчетов за период). Рассчитаны амплитуды от 1 до 15 гармоник ряда Фурье

сигналов соответствующих последовательностей $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$ по следующей формуле:

$$A(k) = \frac{1}{k\pi} \left[2 \sum_{i=1}^M (-1)^{i-1} \cos k(\alpha_i) - 1 \right]. \quad (3)$$

Для каждой последовательности $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$ рассчитаны $A(k)$ и $K_{г\gamma}$ для $k=3 \dots 15$ [1].

По полученным данным построены зависимости $K_{г\gamma}$ от числа переключений за $1/4$ периода (рис. 2) для различных значений n . Для фиксированной n вместе с увеличением числа переключений M коэффициент $K_{г\gamma}$ уменьшается до некоторого (минимального для данной n) значения, после чего дальнейшее увеличение M приводит к увеличению $K_{г\gamma}$. Следовательно, для фиксированного значения n во время цифрового метода формирования выходного напряжения имеется некоторое число переключений M , дальнейшее увеличение которого не приводит к улучшению формы сигнала. Это объясняется тем, что увеличением M можно приблизить форму ШИМ-сигнала к синусоиде в том случае, когда рост числа переключений можно сопровождать формированием необходимых, относительно коротких интервалов. Но при малых n невозможно формировать большое количество коротких интервалов, и дальнейшее увеличение M приводит просто к искажению формы сигнала. Кроме того, это приводит к увеличению коммутационных потерь в силовых ключах инвертора.

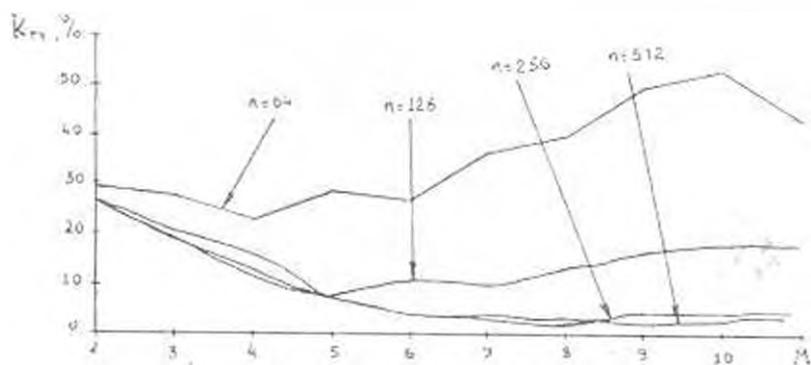


Рис. 2. Зависимость коэффициента гармоник $K_{г\gamma}$ от числа переключений M

На рис. 3 показана зависимость $K_{г\gamma}$ от числа дискретизации $k=f(n)$. С увеличением n увеличивается точность задания углов переключений, следовательно, полученный сигнал аппроксимирует синусоиду более точно. Поэтому увеличение n сопровождается уменьшением $K_{г\gamma}$. На рис. 4 приведены зависимости $A(1) = f(k)$ (k - номера тех последовательностей, при которых возможно произвести стабилизацию $A(1)$ при данном значении $K_{г\gamma}$) для

$K_{ГВ} < 30\%$, $K_{ГВ} < 20\%$, $K_{ГВ} < 10\%$. Очевидно, что при уменьшении $K_{ГВ}$ (улучшение качества сигнала) уменьшается диапазон регулировки $A(1)$ (уменьшение возможности регулировки).

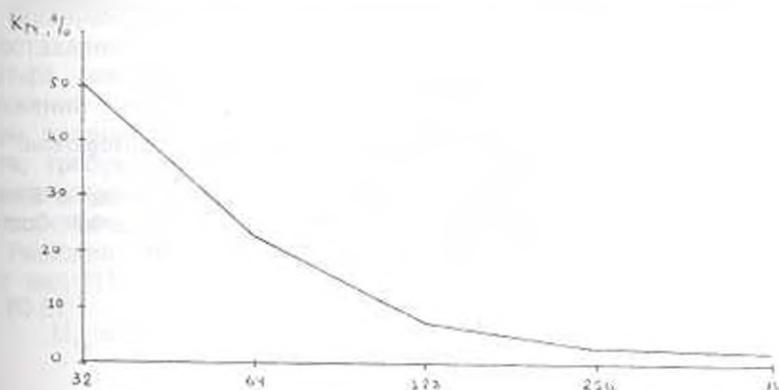


Рис. 3. Зависимость минимального коэффициента гармоник $K_{ГВ}$ от числа дискретизации n

Как видно из полученных зависимостей, выбором некоторого диапазона гармоник (3-15) и распределением энергии между первой и высшими гармониками можно получить различные последовательности углов переключений, которые обеспечивают регулируемость первой гармоники в данном диапазоне.

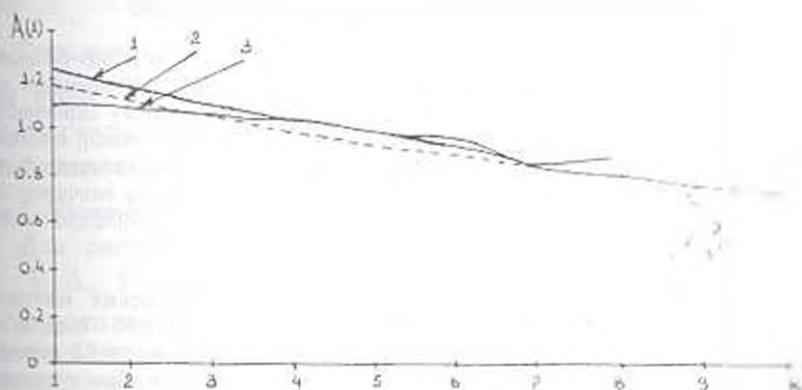


Рис. 4. Регулировочная характеристика $A(1) \rightarrow k$: 1- $K_{ГВ} < 30\%$, 2- $K_{ГВ} < 20\%$, 3- $K_{ГВ} < 10\%$

Стабилизация амплитуды выходного напряжения должна производиться так, чтобы коэффициент $K_{ГВ}$ не превысил данное значение. Таким образом, последовательность углов выбирается по сигналу обратной связи (ошибка регулировки) соответствующей характеристики регулировки на рис. 4. Эти последовательности хранятся в памяти в виде таблицы так, что на i -й строке записана i -я последовательность, а номер строки соответствует значению $A(1)$.

В результате исследований получены тактовая частота регулированной последовательности и множество углов регулировки. При данном пороге коэффициента гармоник получено множество регулировочных последовательностей, которые обеспечивают необходимые ресурсы для стабилизации выходного напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моин В.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 375 с.
2. Kato T., Kataoka A. Double Buffer Control by a Microcomputer in Sinusoidal PWM Inverter for a Wide Band Harmonic Elimination // Proc. Int. Conf. Ind. Electron. Contr. and Instrum. - 1985. - № 11. - P. 483- 488.

ГИУА

15.08.1995

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. L, № 3, 1997, с. 216-220.

УДК 621.3.01

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г.Д. АКОПДЖАНЫН, В.С. САФАРЯН

О РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И АЛГЕБРЫ СТРУКТУРНЫХ ЧИСЕЛ

Դիտարկվում է տեղադրված սերոզների և կառուցվածքային թվերի համարմանը կիրառումը էլեկտրական շղթաների հաշվարկի համար: Կառուցվում է կենդրոնում շղթայի գրաֆիկ «2-ձառ» և նրա նկատմամբ երկրային («2-լրացում» կոչված) ենթագրաֆների առանձնահատուկ ուղղորդված Կառուցվածքային թվերի հանրահաշվի կիրառումը էլեկտրական շղթաների հաշվարկում համար հնարավորություն է ստեղծում: Օգտվելով էլեկտրական շղթայի գրաֆի կառուցվածքային կամ լրացուցիչ կառուցվածքային թվերից, սրանց հաշվարկը դժվար չէ լուծել խնդիրն առանց հավասարումների կազմման և լուծման: Օգտվելով ստացված շանտաներից Խնդրի լուծումը հեշտությամբ ծրագրավորվում է:

Рассматриваются вопросы применения топологических методов и алгебры структурных чисел к расчету электрических цепей. Предлагается алгоритм выделения из графа электрической цепи подграфов "2-дерева" и дуальных им (названных "2-дополнениями"). Применение алгебры структурных чисел к расчету электрических цепей дает возможность, пользуясь структурным или дополнительным структурным числом графа цепи, которые легко определяются из графа, решить задачу без составления и решения уравнений с помощью полученных в работе формул. Решение задачи легко программируется.

Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

Problems of using topological methods and structured number algebra for electric circuit design is considered. An algorithm for extracting from the graph the electric circuit of the subgraphs "2-trees" and dual (called 2-additions) is proposed. Application of structured number algebra to the electric circuit design enables to solve the problem without drawing up and solving equations using the structured or additional

structured number of the circuit graph. The circuits are easily specified from the graph by means of the formula obtained. Problem solving is easily programmed.

III.1. Ref. 4.

Общеизвестные методы расчета электрических цепей основаны на составлении и решении уравнений, записываемых по законам Кирхгофа, методам токов ячеек (контурных токов) и узловых напряжений (напряжений сечений). Однако решение указанных систем уравнений методами классической алгебры — трудоемкая работа, требующая большого количества математических операций, значительную часть которых можно избежать, применяя топологические методы, а также методы алгебры структурных чисел.

Решение систем уравнений узловых напряжений и токов ячеек имеет вид [1]:

$$U_{ik} = \frac{1}{\Delta_y} (\Delta_{y_{11}} J_{11} + \Delta_{y_{12}} J_{12} + \dots + \Delta_{y_{1n}} J_{1n} + \dots + \Delta_{y_{kn}} J_{kn}), \quad (1)$$

$$I_{ik} = \frac{1}{\Delta_z} (\Delta_{z_{1k}} E_{11} + \Delta_{z_{2k}} E_{22} + \dots + \Delta_{z_{nk}} E_{nn} + \dots + \Delta_{z_{mk}} E_{mm}), \quad (2)$$

где U_{ik} — напряжение (потенциал) k -го узла; I_{ik} — ток k -й ячейки; J_{1k} — алгебраическая сумма токов источников тока ветвей, сходящихся в k -ом узле; E_{1k} — алгебраическая сумма ЭДС источников, входящих в состав k -й ячейки; Δ_y и Δ_z — определители матриц проводимостей уравнений узловых напряжений и сопротивлений уравнений токов ячеек; $\Delta_{y_{1n}}$ и $\Delta_{z_{mn}}$ — алгебраические дополнения указанных матриц.

Определители матриц уравнений узловых напряжений Δ_y и токов ячеек Δ_z , после выделения "деревьев" графа электрической цепи рассчитываются [1, 2] как сумма произведений проводимостей ветвей деревьев Δ_y и как сумма произведений сопротивлений ветвей дополнений Δ_z .

Для расчета алгебраических дополнений указанных матриц ($\Delta_{y_{1n}}$ и $\Delta_{z_{mn}}$) следует выделить соответствующие "2-дерева" [1, 2] и "2-дополнения" графа электрической цепи, которые рассчитываются как сумма произведений проводимостей и сопротивлений ветвей. При этом наиболее сложной частью расчета является выделение подграфов "2-дерева" и "2-дополнения". В статье предлагается упрощенный способ выделения указанных подграфов из графа электрической цепи.

При выделении "2-деревьев", необходимых при расчете алгебраического дополнения $\Delta_{y_{1n}}$, следует руководствоваться следующими условиями:

а) "2-дерева" должны содержать $(q-2)$ ветвей, где q — число узлов графа;

б) ветви "2-дерева" не должны составлять ячейку (контур) графа. Узлы k и m не должны иметь связи с базисным узлом, однако должен существовать путь между узлами k и m .

При выделении "2-дополнений", необходимых при расчете алгебраического дополнения $\Delta_{k,m}$, выдвигаются следующие условия:

а) "2-дополнения" должны содержать $(n-2)$ ветвей, где n - число ячеек графа.

б) ветви "2-дополнения" не должны составлять узел (сечение) графа.

От ячеек k и m через ветви "2-дополнения" нельзя провести сечение к базисной ячейке, однако должно существовать сечение между ячейками k и m .

На основании этих правил из графа электрической цепи легко выделяются ветви всех соответствующих (k и m) "2-деревьев" или "2-дополнений". Приведенный алгоритм выделения "2-деревьев" и "2-дополнений" легко поддается программированию. Расчеты электрических цепей можно более упростить, применив алгебру структурных чисел [3, 4], которая позволяет определить ветви всех возможных "деревьев", "дополнений", "2-деревьев" и "2-дополнений" графа цепи аналитическим путем.

Имея структурное число $A = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_i \cdot \dots \cdot P_{(q-1)}$ (P_i - структурное число i -го узла графа) или дополнительное структурное число $A = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_i \cdot \dots \cdot Q_n$ (Q_i - структурное число i -й ячейки) графа электрической цепи, которые определяются из графа аналитическим путем, при помощи формул, вытекающих из сути самих структурных чисел, рассчитываются определители и алгебраические дополнения, входящие в выражения (1) и (2). Первые из них определяются в виде

$$\Delta_k = \det A, \quad \Delta_m = \det A^u, \quad (3)$$

а алгебраические дополнения находятся из выражений

$$\Delta_{k,m} = \det\{(\partial A / \partial D_k) \cap (\partial A / \partial D_m)\}, \quad (4)$$

$$\Delta_{k,m} = \det\{(\partial A^u / \partial B_k) \cap (\partial A^u / \partial B_m)\}.$$

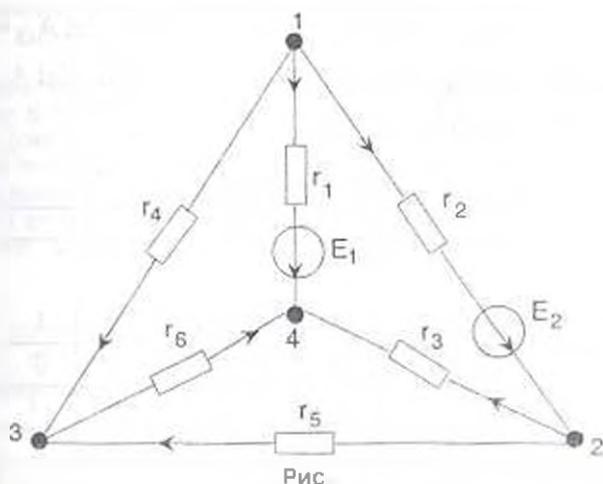
где y и z - проводимости и сопротивления ветвей электрической цепи; D_k и D_m - структурные числа путей от узлов k и m до базисного узла; B_k и B_m - структурные числа сечений от ячеек k и m до базисной ячейки [3, 4].

Выражения (3) и (4) вытекают из того, что столбцы структурного числа A представляют собой ветви всех возможных деревьев графа цепи, а столбцы числа A^u - ветви всех возможных дополнений. $(\partial A / \partial D_k) \cap (\partial A / \partial D_m)$ - структурное число, столбцы которого представляют собой ветви соответствующих "2-деревьев", а $(\partial A^u / \partial B_k) \cap (\partial A^u / \partial B_m)$ - ветви соответствующих "2-дополнений".

Первые соотношения из (3) и (4) совместно с выражением (1), а также вторые совместно с (2) дают возможность рассчитать режим работы электрической цепи аналитическим путем, без составления уравнений по методам классической алгебры.

Таким образом, применение алгебры структурных чисел к расчету режимов электрических цепей упрощает расчет и облегчает

его выполнение как вручную, так и на ЭВМ. Рассмотрим пример расчета на ЭВМ токов всех ветвей схемы (рис.) (цель постоянного тока).



Исходная информация

Ветви		R	E	Ветви		R	E
1	4	1	-22	1	3	2	0
1	2	1	-7	2	3	2	0
2	4	5	0	3	4	6	0

Решение

$$P_1 = [1 \ 2 \ 4], \quad P_2 = [2 \ 3 \ 5], \quad P_3 = [4 \ 5 \ 6].$$

$$D_1 = [1], \quad D_2 = [3], \quad D_3 = [6].$$

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 4 & 4 & 6 & 5 & 6 & 5 & 5 & 5 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 2 & 3 & 3 & 5 & 5 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 4 & 1 & 2 & 1 & 2 & 4 & 1 & 4 & 1 & 2 & 4 \end{bmatrix}$$

$$A_{11} = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 4 & 5 & 5 & 6 & 6 & 6 \\ 2 & 3 & 5 & 2 & 3 & 2 & 3 & 5 \end{bmatrix}; \quad A_{12} = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 5 & 6 \\ 2 & 5 & 2 & 2 \end{bmatrix};$$

$$A_{13} = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 5 & 2 \end{bmatrix}; \quad A_{21} = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 5 & 6 \\ 2 & 2 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 5 & 5 & 5 & 6 & 6 & 6 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 4 & 1 & 3 & 4 \end{bmatrix}; \quad A_{23} = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 5 & 5 \\ 2 & 1 & 2 & 4 \end{bmatrix};$$

$$A_{31} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 4 & 4 \\ 5 & 5 & 2 & 3 \end{bmatrix}; \quad A_{32} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 4 & 1 \\ 5 & 5 & 2 & 5 \end{bmatrix};$$

$$A_{33} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 4 & 1 & 2 & 4 & 1 \\ 5 & 5 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 & 5 \end{bmatrix}$$

где $A_{ij} = \frac{\partial A}{\partial D_i} \cdot \frac{\partial A}{\partial D_j}$, $i, j = 1, 2, 3$;

$\det A = 2.241$, $\det A_{11} = 1.733$, $\det A_{22} = 1.416$, $\det A_{33} = 1.350$,

$\det A_{12} = 1.416$, $\det A_{23} = 2.666$, $\det A_{31} = 1.750$, $\det A_{13} = 1.350$,

$\det A_{123} = 1.750$, $\det A_{113} = 3.250$.

Результаты:

Узлы		U	Узлы		U
1		18	3		12
2		10	4		0

Ветви		R	I	Ветви		R	I
1	4	1	-4	1	3	2	3
1	2	1	1	2	3	2	-1
2	4	5	2	3	4	6	2

Мощность потребителей равна 81 кВт. Мощность источников - 81 кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чаршачետյան Ս.Ս., Հակոբջանյան Չ.Պ. Էլեկտրատեխնիկայի տեսական հիմունքները - Երևան: Լույս, 1986 - 550 էջ:
2. Савш С., Рид М.Б. Линейные графы и электрические цепи -М. Высшая школа, 1971. -445 с.
3. Беллерт С., Возняшки Г. Анализ и синтез электрических цепей методом структурных чисел - М. Мир, 1972 - 330 с.
4. Հակոբջանյան Չ.Պ., Սաֆարյան Վ.Ս. Էլեկտրական շղթաների հետազոտումը կառուցվածքային թվերի համրահաշվի փիրառումներ / 1963. - Երևան, 1995. - 71 էջ:

ГИУА

16.12 1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1, № 3, 1997 - 220-225

УДК 621.317

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г. А. КАРДАШЯН

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МАГНИТОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

Մշակված է համազգեստի մագնիսական «տիկ» սարք, որը հնարավորություն է թույլատրում էլեկտրատեխնիկական պողպատների սահմանափակ տեղադրությունը բարձր էշտությունը որոշել մագնիսական ինդուկցիայի և դաշտի լարվածություն անալիստիկայի սյուրքները տեսակարար կորտուտները, կոլեքտիվ ունի և մուտադրային մագնիսական ինդուկցիան ապահովվող ինդուկցիայի կազմ սինտադրայությունը միջև կառուցվում:

Разработан универсальный магнитоизмерительный прибор, позволяющий с высокой точностью определить амплитудные значения

магнитной индукции, напряженности магнитного поля, удельных потерь, коэрцитивной силы и остаточной магнитной индукции. Обеспечивается синусоидальный режим перемагничивания в локальных областях электротехнических сталей до индукции 2,1 Тл.

Ил. 2 Библиогр.: 4 назв.

A multipurpose magnetic meter has been developed. It permits to determine with high precision the peak value of the magnetic induction, magnetic field intensity, specific loss, coercivity and residual magnetic induction. Sinusoidal conditions for the magnetization reversal in the local regions of electrical-sheet steel having induction up to 2,1Tl are ensured. The coefficient of the distorted form of the magnetic induction curve does not exceed 5%.

Ил.2. Ref. 4.

Для получения однозначных результатов при измерениях магнитных параметров ферромагнитных материалов необходим определенный режим перемагничивания.

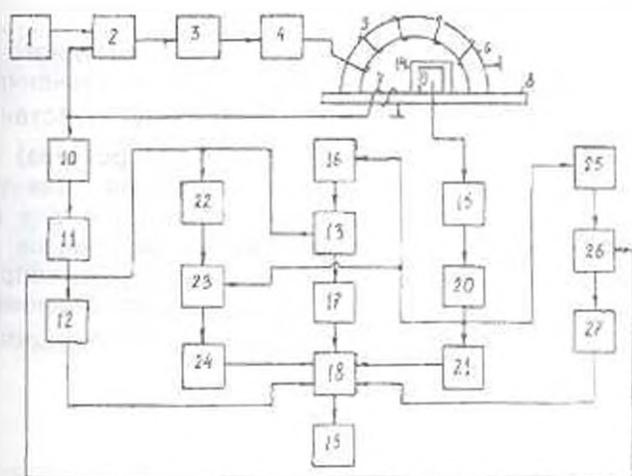


Рис. 1

Проблема обеспечения синусоидального режима перемагничивания в локальных областях электротехнических сталей до индукции 2...2,1 Тл с коэффициентом нелинейных искажений магнитной индукции, не превышающем 2-5%, разработана в [1, 2]. На рис. 1 представлена схема синусоидального режима перемагничивающей обмотки 5, намотанная на намагничивающий сердечник 6, питается от задающего генератора синусоидального напряжения 1 через неинвертирующий вход дифференциального усилителя 2, интегратора 3 и усилителя мощности 4. При этом сигнал напряжения с выхода из преобразователя магнитной индукции 7, намотанной на феррообразце 8, подается на инвертирующий вход дифференциального усилителя 2. В результате обеспечивается глубокая отрицательная обратная связь, и индукция в образце имеет заданный закон, независимо от степени насыщения ферромагнетика. Вышеизложенный процесс математически обоснован в [1], где

установлено, что заданный режим перемагничивания обеспечивается при условии

$$\frac{t_{\text{ИО}}}{K_4 \mu_{\text{ИО}} W_{\text{II}} W_2 S_{\text{ИО}}} \ll 1, \quad (1)$$

где t — постоянная времени интегратора 3; $l_{\text{ИО}}, S_{\text{ИО}}, \mu_{\text{ИО}}$ — длина, сечение и магнитная проницаемость испытуемого образца; W_{II} — количество витков намагничивающей обмотки, 5; W_2 — количество витков измерительной обмотки, 7; K_4 — коэффициент передачи усилителя мощности 4.

При обеспечении синусоидальной формы кривой магнитной индукции $B(t) = B_m \sin \omega t$ в испытуемом образце спектр напряженности магнитного поля занимает достаточно широкий диапазон, который можно представить следующим образом:

$$H(t) = H_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + H_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + H_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5) + \dots \quad (2)$$

Следует отметить, что отношение амплитудного значения напряженности магнитного поля к ее среднему значению много больше единицы: $H_{1m} / H_m \gg 1$. Поэтому чувствительность вторичного преобразователя (множительного устройства) низка, что приводит к увеличению погрешности измерения. Для устранения этих недостатков в [2, 3] разработано устройство для измерения удельной магнитной энергии ферромагнитных материалов, в которых предлагается перед подачей искаженного сигнала напряженности магнитного поля на вход умножительного прибора ограничить его на уровне $K H_c$, где K — коэффициент пропорциональности; H_c — коэрцитивная сила.

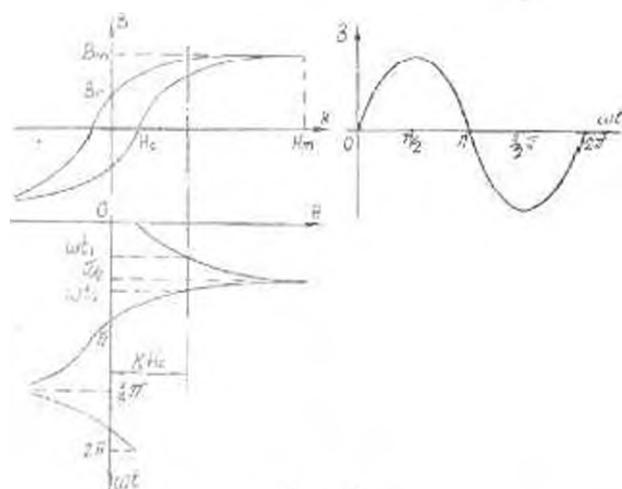


Рис. 2

При значениях магнитной индукции, близких к насыщению, и обеспечении синусоидального изменения индукции у петли

гистерезиса имеется достаточно большой "носик" $H_c = (100 \dots 300)H_c$, в котором содержится незначительная информация о потерях в материале, поскольку площадь, заключенная в "носиках", мала (рис. 2). В [3] осуществлено математическое обоснование вышеизложенного, что позволяет выбрать значение K таким образом, чтобы методическая погрешность измерения от ограничения кривой напряженности магнитного поля не превышала заданную величину.

Аппроксимируя динамическую петлю гистерезиса по [4], сигнал напряженности магнитного поля представляется в виде

$$H(t) = \begin{cases} \frac{a_B B_m \sin \omega t + C_B H_c}{-B_m \sin \omega t + C_B}, & 0 \leq \omega t \leq \frac{\pi}{2}, \\ \frac{-a_H B_m \sin \omega t + C_H H_c}{B_m \sin \omega t - C_H}, & \frac{\pi}{2} \leq \omega t \leq \pi, \end{cases} \quad (3)$$

где a_B , a_H , C_B , C_H — постоянные петли гистерезиса для восходящей и нисходящей ветвей; B_m — амплитудное значение индукции; ω — круговая частота.

Из (3) следует, что при $\omega t = 0$ имеем $H(t) = H_c$, а при $\omega t = \pi$ $H(t) = -H_c$. Это значит, что напряженность магнитного поля приравнивается к коэрцитивной силе H_c в момент, когда значения магнитной индукции приравниваются к нулю.

Решение (3) относительно магнитной индукции $B(t)$ приводит к зависимости $B(H)$ [4]:

$$B(t) = \frac{CH(t)}{a + H(t)} \mp \frac{B_0 a + H(t)D}{a + H(t)}, \quad (4)$$

где B_0 — остаточный магнетизм; $D = \frac{1}{2}(C_H - C_B)$.

Из (4), а также из рис. 2 следует, что при $H(t) = 0$ имеем $B(t) = B_0$, т.е. в момент, когда периодическая кривая напряженности магнитного поля проходит через свое нулевое значение, магнитная индукция приравнивается к значению остаточной индукции в исследуемом образце.

На основании вышеизложенного разработан универсальный прибор, структурная схема которого представлена на рис. 1. Прибор работает следующим образом. Синусоидальное напряжение, пропорциональное магнитной индукции в образце 8, при выходе из измерительной обмотки 7 через делитель по толщине и ширине испытываемого образца и усилитель 11 подается на один из входов множителя 13. Значение этого напряжения определяется как

$$u = -K_1 A_1 W_1 b d \frac{db}{dt}, \quad (5)$$

где K_1 — коэффициент передачи делителя по толщине 10; A_1 — коэффициент передачи усилителя 11; b и d — ширина и толщина испытываемой площадки; W_1 — число витков преобразователя индукции.

На первый вход умножителя 13 поступает напряжение, соответствующее индукции в образце $B_m \sin \omega t$. Пиковый детектор 12, вход которого подключен к этому же напряжению, выдает на выходе постоянное напряжение, равное по величине амплитудному значению магнитной индукции B_m образца 8. При команде ключа 18 "Измерение B_m " напряжение, численно равное B_m , с выхода из преобразователя 12 подается на вход цифрового измерителя 19.

Для измерения напряженности магнитного поля в приборе имеется группа тангенциальных преобразователей Холла 9 в изолированном держателе 14. Холловское напряжение на выходе сумматора 15 образует напряжение

$$U_{11}' = A_2 S H(t), \quad (6)$$

где A_2 — коэффициент передачи сумматора 15; S — чувствительность преобразователей Холла; $H(t)$ — напряженность магнитного поля.

При выполнении равенства

$$A_2 S I A_3 = 10^4 \text{ А/мВ}, \quad (7)$$

где A_3 — коэффициент передачи усилителя 20, на входе пикового детектора 21 и усилителя ограничителя 16 возникает напряжение, соответствующее значению $H(t)$. При команде ключа 18 "Измерение H_m " напряжение, численно равное H_m , с выхода из преобразователя 21 подается на вход цифрового усилителя 19.

Для измерения удельных потерь на перемагничивание образца применяется усилитель-ограничитель 16, а операция умножения осуществляется на основе умножителя 13, основным элементом которого является микросхема типа 525ПС-3. На первый вход умножителя 13 поступает напряжение, пропорциональное магнитной индукции $B(t) = B_m \sin \omega t$, а на второй вход — напряжение, пропорциональное напряженности магнитного поля из нечетных гармоник:

$$H(t) = H_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + H_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + \dots + H_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5) + \dots \quad (8)$$

При перемагничивании образца сигнал напряженности магнитного поля ограничивается усилителем-ограничителем на уровне KH , и умноженный сигнал интегрируется в интеграторе 17. На выходе интегратора 17 образуется сигнал

$$P_v = \frac{1}{T} \int H dB, \quad (9)$$

пропорциональный удельным потерям на перемагничивание. При команде ключа 18 "Измерение P_v " напряжение, численно равное P_v , с выхода из интегратора 17 подается на вход измерителя 19.

На основании (3) и рис. 2 для измерения коэрцитивной силы в схему рис. 1 введены новый блок-орган 22, ключ 23 и пиковый детектор 24. Выход первичного преобразователя магнитной индукции 7, где образуются синусоидальное напряжение, через делитель 10 подключается к входу нуля-органа 22 с нулевым

опорным напряжением. На выходе нуля-органа 22 образуется управляющий импульс в момент времени, соответствующий нулевому значению магнитной индукции. На управляющий вход ключа 23 поступает сигнал от нуля-органа, при этом на выходе ключа 23 появляется напряжение, соответствующее коэрцитивной силе, а на выходе пикового детектора 24 - напряжение, равное H_c .

Аналогично, для измерения остаточной индукции B_r в схему рис. 1 введены новый блок нуля-органа 25 и ключ 26. Управляющий вход нуля-органа 25 через усилитель 20 и сумматор 15 подключается к выходу первичного преобразователя напряженности магнитного поля 9, который представляет собой тангенциальный преобразователь Холла. Выход нуля-органа 25 подключен к управляющему входу ключа 26. вход которого через усилитель 11 и делитель 10 подключен к выходу первичного преобразователя магнитной индукции 7, где, как было указано выше, возникает синусоидальное напряжение, пропорциональное мгновенному значению магнитной индукции в локальных областях испытуемого материала 8. Выход ключа 26 через пиковый детектор 27 подключен к одному из входов ключа 18. При команде "Измерение B_r " на выходе ключа 18 появляется напряжение, равное значению B_r .

С помощью разработанного прибора проведены многократные измерения магнитной индукции, напряженности магнитного поля, удельных потерь, коэрцитивной силы и остаточной магнитной индукции ряда вторичных эталонных образцов из различных марок электротехнических сталей.

При анализе результатов экспериментальных исследований и сравнении их с эталонными данными установлено, что разработанный прибор позволяет определить амплитудные значения магнитной индукции и напряженности магнитного поля с погрешностью, не превышающей 2%, удельной магнитной энергии с погрешностью 5%, коэрцитивной силы и остаточной магнитной индукции с погрешностью 5%. Одновременно с помощью прибора можно изучать неоднородность магнитных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кардашян Ж.А. О возможности обеспечения синусоидальных режимов намагничивания в локальных областях электротехнических сталей // Изв. вузов СССР. Приборостроение, - 1981 - № 6 - С. 67-72.
- 2 А.с. № 635442 СССР. Устройство для измерения удельной магнитной энергии ферромагнитных материалов / Ж.А. Кардашян (СССР). - Оpubл. 1978, Бюл. № 44.
- 3 Кардашян Ж.А., Маслов Ю.Н. Изменение удельных потерь ферромагнитных материалов при близких к насыщению индукциях // Изв. вузов СССР. Приборостроение, - 1980 - № 3 - С. 24-27.
- 4 Панасенков М.А. Электромагнитные расчеты устройств с нелинейными параметрами. - М.: Энергия, 1971 - 216 с.

С.Ш. БАЛАСАНЯН, Г.В. ТАДЕВОСЯН

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ СТРУКТУРНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ ПРИ СТРАТИФИЦИРОВАННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Предлагается эвристический алгоритм структурной декомпозиции сложных дискретных систем позволяющий при стратифицированном моделировании максимально упростить описание систем. На основе предложенного алгоритма разработан программный пакет.

Предложен эвристический алгоритм структурной декомпозиции сложных дискретных систем позволяющий при стратифицированном моделировании максимально упростить описание систем. На основе предложенного алгоритма разработан программный пакет.

Ил. 3 Библиогр. 2 назв.

A heuristic algorithm for complicated discrete system structure decomposition when stratifying the simulation is proposed. The program software has been developed on the basis of the proposed algorithm.

Ил. 3. Ref. 2.

Одной из основных проблем, препятствующих широкому применению имитационного моделирования для анализа эффективности функционирования сложных технических систем с учетом надежности их элементов, является преодоление непомерного возрастания числа возможных состояний систем.

Возможным решением указанной проблемы является использование в основе имитационных моделей исследуемых систем проблемно-ориентированной математической схемы [1,2], базирующейся на концепции иерархического многоуровневого стратифицированного описания. Ее сущность заключается в том, что процесс функционирования исследуемой системы описывается не одной сложной моделью, а иерархией сравнительно простых моделей $\{S^{\mu}, \mu = \overline{1, k}\}$, каждая из которых описывает функционирование моделируемой системы на определенном уровне детализации (абстрагирование).

На каждом μ -ом уровне описания (страте) система, представленная в виде совокупности взаимосвязанных подсистем $E^{\mu-1}, i \in \{1, 2, \dots, P_{\mu-1}\} = I^{\mu-1}$ ($\mu = 1$)-го уровня или орграфа $G^{\mu} = (E^{\mu-1}, V^{\mu-1})$ (рис. 1), разбивается на подсистемы $E_i^{\mu}, i \in \{1, 2, \dots, P_{\mu}\} = I^{\mu}$ μ -го уровня при соблюдении следующих условий:

$$E^\mu = \{E_k^{\mu-1}; k \in I^{\mu-1} \subset I^{\mu-1}\}; \bigcup_{k \in I^{\mu-1}} E_k^{\mu-1} = E^{\mu-1}.$$

$$E_i^\mu \cap E_j^\mu = \emptyset; i \in I^\mu; j \in I^\mu; i \neq j.$$

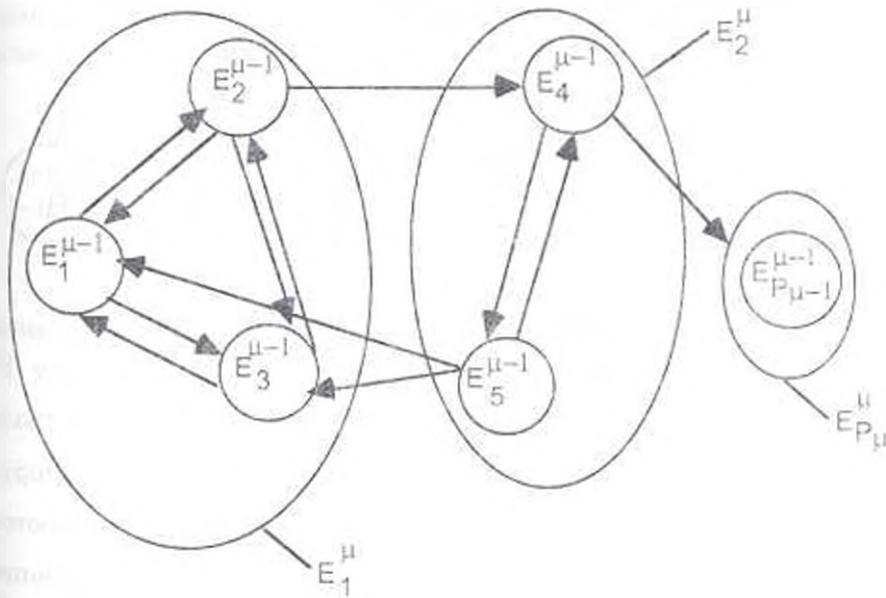


Рис. 1

На основании разбиения орграфа G^μ строится двухуровневый орграф (биграф), который отражает взаимные влияния подсистем μ -го уровня в системе, формализованной в виде орграфа $G^{\mu-1}$, осуществляемые через входящие в их состав подсистемы $(\mu-1)$ -го уровня.

Граф G^μ строится следующим образом. Пусть система на μ -ом уровне формализуется в виде орграфа $G^{\mu-1}(E^{\mu-1}, V^{\mu-1})$ (рис. 2) со множеством вершин $E^{\mu-1} = \{E_i^{\mu-1}; i \in I^{\mu-1}\}$ и множеством дуг $V^{\mu-1} = \{V_i^{\mu-1}\}$. Фиксируем некоторое разбиение $E^\mu = \{E_i^\mu; i \in I^\mu\}$ множества вершин $E^{\mu-1}$. Множество дуг $V^{\mu-1}$ графа $G^{\mu-1}$ также распадается на $(P_\mu + 1)$ попарно непересекающихся подмножеств: а) подмножество внутренних дуг, соединяющих вершины из одной и той же E_i^μ ; б) подмножество внешних дуг, соединяющих вершины из разных E_i^μ ($i \in \overline{1, P_\mu}$). Данному фиксированному разбиению E^μ сопоставляется двухуровневый орграф $G^\mu(E^\mu, V^\mu)$ (рис. 2) со множеством вершин

$$\hat{E}^\mu = E^{\mu-1} \cup E^\mu = \{E_i^{\mu-1}; i \in I^{\mu-1}\} \cup \{E_j^\mu; j \in I^\mu\}.$$

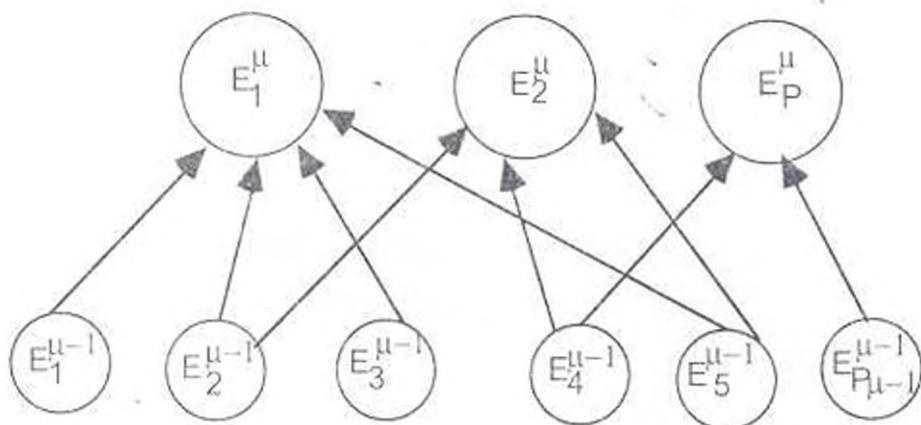


Рис. 2

Дуги, соединяющие вершины первого и второго уровней, определяются следующим образом. Из вершины $E_i^{\mu-1}$ в вершину E_j^μ идет дуга тогда и только тогда, когда $E_i^{\mu-1} \in E_j^\mu$ или когда в графе $G^{\mu-1}$ имеется дуга, направленная от вершины $E_i^{\mu-1}$ в некоторую вершину из E_j^μ . Однонаправленные параллельные дуги сливаются.

Далее подсистемы μ -го уровня E_i^μ , $i \in I^\mu$, полученные в результате данного разбиения, укрупняются и рассматриваются как компоненты (укрупненные элементы) системы при следующем уровне описания.

Вышеизложенная процедура декомпозиции и последующей агрегации повторяется на каждом уровне описания. Затем путем последовательной композиции полученных биграфов G^μ , $\mu \in I$ строится K -уровневый орграф $G(K, V)$ (рис.3), где вершина E_i соответствует системе, рассматриваемой как одно целое.

Нередко способ организации системы или условия поставленных задач определяют способ декомпозиции системы. Однако часто определение наилучшего способа разбиения системы является сложной задачей, которую на каждой μ -й ступе можно сформулировать следующим образом: систему, заданную в виде связанных между собой подсистем $(\mu-1)$ -го уровня, необходимо разбить на более крупные подсистемы μ -го уровня таким образом, чтобы максимально упростить математическое описание всей системы. Если в качестве критерия сложности описания дискретных систем использовать суммарное число возможных состояний их подсистем, то задачу оптимального разбиения системы на подсистемы можно сформулировать следующим образом.

Пусть система на μ -й ступе задана орграфом $G^{\mu-1}$ со множеством вершин $E^{\mu-1} = \{E_i^{\mu-1} : i = \overline{1, P_{\mu-1}}\}$ и матрицей смежности $V^{\mu-1}$. Вершины $E_i^{\mu-1}$ соответствуют подсистемам $(\mu-1)$ -го уровня, а дуги - связям между ними. Каждой дуге, исходящей из вершины

E_i^{k-1} . сопоставим параметр $\rho_i \geq 2$, представляющий собой число возможных состояний подсистемы E_i^{k-1} . Фиксируем некоторое разбиение $\theta = \{E_i^{k-1}; i = \overline{1, P_{k-1}}\}$ множества вершин E_i^{k-1} . Подмножества E_i^{k-1} ($k = \overline{1, P}$) соответствуют подсистемам μ -го уровня.

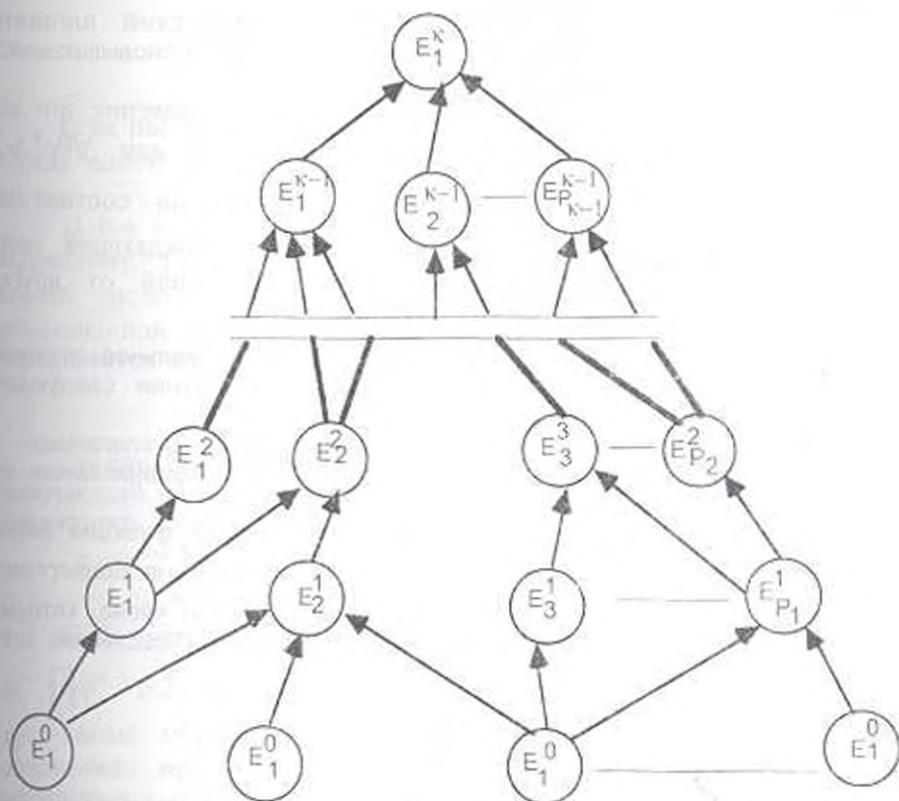


Рис. 3

Число возможных состояний ρ_i^{μ} каждой подсистемы E_i^{μ} определяется как произведение чисел возможных состояний входящих в ее состав подсистем $E_j^{\mu-1} \in E_i^{\mu}$ ($j = \overline{1, m_i}$), а также подсистем $E_j^{\mu-1} \notin E_i^{\mu}$ ($j = \overline{1, q_i^{\mu}}$), т.е. не принадлежащих к подсистеме E_i^{μ} , но от которых к этой подсистеме в графе $G_i^{\mu-1}$ есть дуги:

$$\rho_i^{\mu} = \prod_{j \in C_i^{\mu}} \rho_j \prod_{j \in D_i^{\mu}} \rho_j, \quad (1)$$

где $C_i^{\mu} = \{j; E_j^{\mu-1} \in E_i^{\mu}\}$, $D_i^{\mu} = \{j; V_j^{\mu-1}, E_j^{\mu-1} \in E_i^{\mu, \mu-1} \& E_j^{\mu-1} \notin E_i^{\mu, \mu-1}\}$.

Тогда разумно потребовать, чтобы разбиение θ являлось решением следующей задачи:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{P_{\mu}^0} \rho_i^{\mu} \rightarrow \min_{\theta \in \Theta} \\ 1 < P_{\mu}^0 < P_{\mu-1}^0 \end{cases} \quad (2)$$

где Θ представляет собой множество возможных разбиений системы на подсистемы μ -го уровня.

В данной работе предлагается эвристический алгоритм решения поставленной задачи разбиения системы, основывающийся на следующих рассуждениях:

1. Прежде всего, учитывая соотношение (1), заметим, что все слагаемые целевой функции положительные и для $\forall \theta \rho_i^{\mu} > 2$ ($k = \overline{1, P_{\mu}^0}$). Причем $\rho_i^{\mu} = 2$, если k -я подсистема состоит из единственной подсистемы $(\mu - 1)$ -го уровня, обладающей лишь двумя возможными состояниями и не зависящей от других подсистем $(\mu - 1)$ -го уровня, т.е. $D_i^{\mu} = \emptyset$.

2. Из предыдущего пункта следует, что минимальное значение целевой функции можно обеспечить при соблюдении следующих условий:

- а) целевая функция содержит минимальное число слагаемых;
- б) значение каждого слагаемого является минимальным из всевозможных значений.

Как видно из (2), число слагаемых целевой функции равно $k = \overline{1, P_{\mu}^0}$. Если $P_{\mu}^0 = 1$, это означает, что система не подвергается разбиению, т.е. целевая функция состоит из одного члена, который представляет собой произведение чисел возможных состояний всех подсистем $(\mu - 1)$ -го уровня:

$$\rho^{\mu} = \prod_{i=1}^{P_{\mu-1}^0} \rho_i^{\mu-1} \quad (3)$$

Если число слагаемых равно $P_{\mu-1}^0$, то это соответствует случаю, когда каждая подсистема $(\mu - 1)$ -го уровня на μ -й ступени рассматривается как независимая подсистема μ -го уровня. В этом случае каждое слагаемое целевой функции (2) представляется как

$$\rho_i^{\mu} = \rho_i^{\mu-1} \prod_{j=1}^{P_{\mu-1}^0} \rho_j^{\mu-1} \quad (4)$$

Очевидно, что такому разбиению соответствует максимальное число слагаемых, значение каждого из которых является наименьшим из всевозможных значений.

Приступим к решению задачи (2), выбирая рассмотренное разбиение в качестве начального варианта, так как оно удовлетворяет последнему из двух ранее сформулированных условий. Следовательно, если удастся на основании указанного разбиения осуществить такое укрупнение подсистем $(\mu - 1)$ -го уровня, при котором число слагаемых k принимает минимальное

значение и вместе с тем обеспечивает минимальное значение целевой функции, то задачу (2) можно считать решенной.

С целью осуществления указанного укрупнения рассмотрим две произвольные m -ю и n -ю подсистемы $(\mu - 1)$ -го уровня. Числа возможных состояний этих подсистем определяются следующими соотношениями:

$$\rho_m^\mu = \rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} \quad (5)$$

$$\rho_n^\mu = \rho_n^{\mu-1} \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1} \quad (6)$$

Если рассмотренные подсистемы $(\mu - 1)$ -го уровня включены в состав одной подсистемы μ -го уровня, то возможны следующие случаи:

1) m -я и n -я подсистемы не влияют на m -ю подсистему, т.е. множества D_m и D_n не пересекаются. В этом случае число возможных состояний подсистемы μ -го уровня, образованной в результате укрупнения m -й и n -й подсистем, определяется соотношением

$$\rho_{mn}^\mu = \rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} \cdot \rho_n^{\mu-1} \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1} \quad (7)$$

Степень упрощения описания укрупненной подсистемы, включающей m -ю и n -ю подсистемы, можно оценить с помощью следующего соотношения:

$$g = (\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} + \rho_n^{\mu-1} \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1}) / (\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} \cdot \rho_n^{\mu-1} \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1}) \quad (8)$$

Если учитывать, что в соотношении (8) $\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} > 2$ и $\rho_n^{\mu-1} \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1} > 2$, то $g < 1$.

Таким образом, для случая $D_m \cap D_n = \emptyset$ рассмотренное разбиение, при котором m -я и n -я подсистемы составляют укрупненную подсистему, нецелесообразно. Это отразится и в случае, когда $D_m = \emptyset$, $D_n = \emptyset$ и $\rho_m^{\mu-1} = \rho_n^{\mu-1} = 2$, т.е. когда m -я и n -я подсистемы не связаны между собой. В этом случае описание не упрощается, так как $g=1$;

2) n -я подсистема влияет на m -ю подсистему. Тогда соотношение (8) примет следующий вид:

$$g = \left(\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} + \rho_n^{\mu-1} \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1} \right) / \left(\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} \cdot \rho_n^{\mu-1} \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1} \right) \quad (9)$$

Поскольку множество D_m включает индексы, соответствующие n -й подсистеме, соотношение (9) можно представить в виде

$$g = \rho_n^{\mu-1} (\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m, j \neq n} \rho_j^{\mu-1} + \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1}) / (\rho_n^{\mu-1} \rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m, j \neq n} \rho_j^{\mu-1} \cdot \prod_{i \in D_n} \rho_i^{\mu-1}) \quad (10)$$

Нетрудно убедиться, что числитель отношения (10) всегда меньше знаменателя, т.е. $g < 1$. Следовательно, рассмотренное разбиение также нецелесообразно:

3) n -я подсистема влияет на m -ю подсистему и $D_n \subset D_m$. В этом случае соотношение (8) примет вид

$$g = \left(\rho_n^{\mu-1} \prod_{j \in D_n} \rho_j^{\mu-1} + \rho_n^{\mu-1} \prod_{j \in D_n} \rho_j^{\mu-1} \right) / \left(\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} \cdot \rho_n^{\mu-1} \prod_{j \in D_n} \rho_j^{\mu-1} \right) \quad (11)$$

Учитывая условие $D_n \subset D_m$, в результате упрощения соотношения (11) получим

$$g = \left(\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} + 1 \right) / \left(\rho_m^{\mu-1} \prod_{j \in D_m} \rho_j^{\mu-1} \right) \quad (12)$$

Очевидно, что $g > 1$.

Таким образом, разбиение и последующее укрупнение целесообразно осуществлять только в том случае, если для подсистем $\{i-1\}$ -го уровня имеют место изложенные в п. 3 условия.

На основе результатов вышеизложенного логического анализа и суждений разработаны эвристический алгоритм и соответствующий программный пакет, реализованный на языке C++ в операционной среде WINDOWS.

Разработанный пакет программ использовался при построении стратифицированной имитационной модели технологической системы

ЛИТЕРАТУРА

1. Balassanian S.Sh., Sarkissian R.G. Stratified model of complex computing system // Proceedings of International conference of Reliability and Exploitation of Computer Systems. "RELOCOMES 81", - Wroclaw, 1981 - P. 80-85.
2. Balassanian S.Sh. Hierarchical simulation model for the analysis of functioning efficiency of complex systems // Proceedings European Simulation symposium - Dresden, 1992 - P. 78-83.

ГИУА

3.10.1996

УДК 62.50

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

П.А. МАТЕВОСЯН, Д.О. МЕЛКОНЯН, М.Г. МНАЦКАНЯН, Г.Э. СААКЯН

СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Շարադրվում են սպեկտրաչափական սարքավորումները ավտոմատ ներառվելիս Արեգակն ուղղությամբ և հետևող նստակարգի ստեղծման հիմնական նախապայմանները: Չափանշանները և սկզբունքները: Տեսող համակարգը նախատեսվում է տեղադրել: Գործընթացը փափուկորոշվողներով՝ մասնավորապես զիտահեռազոտակետն նստելի վրա նստելի ստեղծելու ժամանակները: Քիչում է հետևող համակարգի մաթեմատիկական մոդելը, որի էՏԻ-ով վրաբանագրությունը հնարավորություն է ստեղծում որոշել փոխադարձի հաստի ալգորիտները և արձանագրող որակի ստանդարտը պարամետրերը:

Излагаются основные предпосылки, требования и принципы создания следящей системы для автоматического наведения и слежения за Солнцем спектрометрической аппаратурой, предназначенной для базирования на различных видах транспортных средств, в частности, на научно-исследовательских судах с учетом условий морской качки. Приводится математическая модель системы слежения, реализация которой на ЭВМ позволила установить необходимые параметры компенсатора, что дает возможность обеспечить устойчивую работу системы и требуемое качество слежения.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

Fundamental premises, requirements and principles of tracking system design for automatic guidance and tracing of the sun by a spectrometric apparatus are given for its setting on different kinds of transport, in particular, on research ships during sea rolling. A mathematical model of the tracking system is described. Its computer-aided realization allowed to establish necessary parameters of the compensator, permitting to provide with stable performance of the system and desirable tracing quality.

Ил.2. Ref.5.

Разработанная следящая система (СС) предназначена для автоматического наведения и слежения за Солнцем спектрометрической аппаратурой массой до 100 кг, в том числе: озонметров, измерителей двуокиси серы и азота и др. Следящая система предусмотрена для базирования на различных видах транспортных средств, в частности, на научно-исследовательских судах с учетом условий морской качки. К разрабатываемой следящей системе предъявляются следующие основные требования: допустимый поворот платформы относительно двух осей - 190 градусов; скорость поворота платформы - не более 15-ти угловых градусов в секунду; минимальные допустимые габариты измерительного прибора - 500x500x500 мм. Эксплуатация следящей системы предусмотрена в полевых условиях при изменении температуры в пределах от -60 до +50 С. Точность слежения - 20 угловых градусов. Переходный процесс должен быть аperiodическим.

При проектировании СС были использованы результаты разработок и исследований следящих систем наземного базирования, изготовленных ранее [2], с экстраполяцией их в область повышенных динамических характеристик. Увеличение быстродействия таких СС потребовало решения задач по обеспечению устойчивости их работы, точности и качества слежения.

Конструкция СС (рис. 1) включает в себя платформу П, имеющую двусосный карданный подвес. Относительно каждой из осей 01-01, 02-02 платформа может поворачиваться с помощью реверсивных электродвигателей (ЭД1, ЭД2) посредством червячных редукторов (Р1, Р2). На рис. 1 также показаны: БА - блок автоматики, ФЭД - фотоэлектрический датчик; ИП - измерительный прибор; Д1, Д2 - тормозные устройства, предназначенные для гашения автоколебаний.

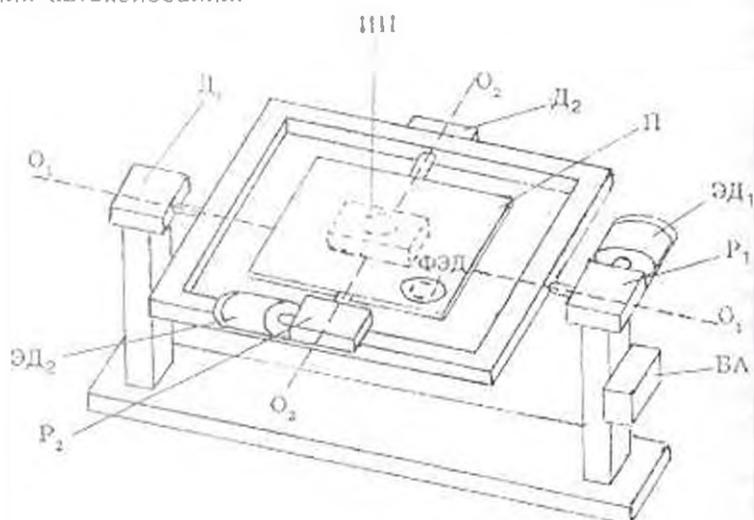


Рис. 1

Функциональная схема рассматриваемой СС приведена на рис. 2. Двухканальный фотоэлектрический датчик ФЭД предназначен для выработки сигнала рассогласования, пропорционального углу между направлением солнечных лучей и оптической осью датчика. В блоки электроники БЭ1 и БЭ2 входят операционные усилители, предназначенные для усиления сигналов рассогласования соответственно по каждой из двух осей. Усиленные сигналы рассогласования от БЭ1 и БЭ2 поступают в блоки управления БУ1 и БУ2, обеспечивающие управление электродвигателями ЭД1 и ЭД2. Блоки БЭ и БУ размещаются в БА. Оптические оси ФЭД и соответствующего измерительного прибора, закрепленного на платформе П, установлены параллельно между собой. С этой целью положение ФЭД на платформе юстируется. Для улучшения динамических характеристик СС в блоках электроники сформированы зоны нечувствительности, обеспечивающие при достаточной точности слежения устойчивость работы СС в области малых сигналов рассогласования оптических осей ФЭД и направления солнечных лучей. Наряду с обеспечением требуемой скорости

поворота платформы, достаточной для компенсации наиболее быстрых изменений ориентации положения ИП в пространстве, СС обеспечивает также реверсивное движение для изменения направления движения платформы. Исходя из этих условий, исполнительные механизмы системы, а также мощности электродвигателей рассчитывались на максимальные динамические перегрузки.

При проектировании СС рассматривался также вопрос частых переключений: питания электродвигателей из-за нестационарных условий эксплуатации. С этой целью были разработаны два типа схем БУ - релейная схема со значительным запасом на переключение, а также бесконтактная схема на оптронах. Рассматривалось также применение электродвигателей как постоянного, так и переменного токов, причем для случая трехфазного напряжения была разработана схема защиты ЭД от несимметричного питания.

С целью расчета параметров СС и обеспечения устойчивости и качества слежения была предварительно составлена и исследована с помощью ЭВМ линеаризованная модель следящей системы. В результате решения задачи синтеза линеаризованной приближенной автоматической модели установлены границы изменения коэффициентов передач редукторов и моментов сил торможения. На втором этапе задача синтеза реализовывалась на базе линеаризованных уравнений путем аналогового моделирования. В результате нескольких повторных решений путем подбора искомых параметров установлены параметры системы обеспечивающие устойчивость процесса слежения и требуемое качество регулирования.

Согласно функциональной схеме, представленной на рис. 2 автоматическая модель системы включает в себя для каждого канала слежения следующие уравнения:

— уравнение рассогласования между оптической осью ФЭД и направлением луча Солнца

$$\Delta\varphi = \varphi_n - \varphi_p \quad (1)$$

— уравнение сигнала, получаемого от ФЭД

$$\Delta U = K_{\Delta} \Delta\varphi \quad (2)$$

— нелинейные уравнения блока автоматики (БА) имеющего зону нечувствительности

$$U_s = F(\Delta U); \quad U_s = \beta E \quad (3)$$

— систему уравнений электродвигателя постоянного тока

$$U_s = R_a i_a + L_a di_a / dt + d_1 i_B d\varphi / dt \quad (4)$$

$$U_n = R_n i_n + L_n di_n / dt \quad (5)$$

$$J d^2 \varphi / dt^2 = d_{11} i_n - M_H \quad (6)$$

— нелинейное уравнение редуктора с учетом люфта

$$\varphi_p = \Phi(\varphi) \quad (7)$$

где $\varphi, \varphi_n, \varphi_p, \Delta\varphi$ — углы поворота якоря электродвигателя, смещения луча Солнца, поворота вала редуктора, т.е. оптической

В результате аналогового моделирования установлены величины моментов сил сопротивления $M_{H1} = M_{H2} = 40 \text{ Н/см}$ по обеим осям и коэффициенты передач редукторов $K_{p1} = K_{p2} = 3024$, при которых обеспечивается устойчивая работа системы слежения при минимальных возможных нагрузках на исполнительные механизмы и электродвигатели. Полученная точность слежения меньше или равна 10 угловым минутам. Колебаний в процессе слежения почти не наблюдалось. Для регулирования величин моментов сопротивления M_{H1} и M_{H2} на обеих осях поворота платформы были дополнительно установлены тормозные устройства Д1 и Д2 (рис.1), обеспечивающие гашение автоколебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красов В.И. Атмосферный контроль загрязнений атмосферы и его приборное обеспечение. Методы и аппаратура автоматизированного контроля атмосферных загрязнений. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - 258 с.
2. Матевосян П.А., Саркисян М.А., Мнацаканян М.Г., Абгарян С.В. Автоматическое устройство наведения и слежения // Элементы и технические средства систем управления: Межвуз. сб. научн. тр. / ЕрПИ - Ереван, 1989. - С. 45-49.
3. Современные спектрометрические методы газового анализа / ВНИИКИ Государственный комитет стандартов - М., 1978.
4. Вечкасов И.А., Кручинин Н.А., Поляков А.И., Резинкин В.Ф. Приборы и методы анализа в ближней инфракрасной области - М.: Химия, 1977. - 303 с.
5. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте: Перевод с немецкого. - Л.: Химия, 1980. - 243 с.

ГИУА

07.03.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), г. Л., № 3, 1997, с. 237-242.

УДК 681.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В.Ш. МЕЛИКЯН, А.О. ВАГЯН, А.Ш. СИМОНЯН

МОДЕЛИ ЗАДЕРЖЕК МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ЦИФРОВЫХ БИС

Առաջարկված են կապի գծերի ինտերֆեյսների մոդելներ մեծ ինտեգրված սխեմաների (ՄԻՏ) ավտոմատացման ժամանակակից բոլոր հիմնարար տեխնոլոգիաների իսպանո-հրեանո լեզուներով են մեքենայական փորձարկումների միջոցով ստացվում կապի ժամանակակից տեխնոլոգիաների՝ նրանց երկարության անհետաքննելի մոտարկման միջոցով թերված ժամանակ, կարող են օգտագործվել ՄԻՏ-երի տրանսպարենական կամ երկուրեք մոդելավորման համակարգերով:

Предложены модели задержек межсоединений цифровых схем для всех современных базовых технологий изготовления БИС, которые синтезированы

аппроксимацией зависимостей временных параметров межсоединений от длины линий связи, полученных на основе машинных экспериментов. Приведенные модели могут быть использованы в системах логического или смешанного анализа.

Ил.2. Табл.1. Библиогр.: 3 назв.

Models of digital circuit interconnection delays for all the modern basic technologies of VLSI production are suggested. They are synthesized by dependence approximation of interconnection time parameters on links obtained by machine experiments. Given models can be used in logical or mixed VLSI analysis.

Ил.2. Table 1. Ref.3.

Известно, что временные характеристики межсоединений в сверхбольших интегральных схемах (СБИС) играют решающую роль для быстродействия СБИС [1]. Причиной увеличения задержек на межсоединениях является возрастание длин связей. Отсюда следует, что в программные системы логического моделирования цифровых СБИС должны быть внесены средства, учитывающие неидеальность межсоединений с точки зрения распространения сигналов.

Наиболее простым методом учета задержек межсоединений является автоматическое добавление между двумя последовательно включенными логическими элементами (ЛЭ) логического повторителя (ЛП), который отражает опоздание сигнала на соответствующем межсоединении.

В существующих программах логического моделирования используются различные теоретические аналитические модели зависимости $t_d = f(l, \dots)$ (t_d — задержка в межсоединении, l — длина линии связи), значительно повышающие точность результатов анализа. Однако такая точность недостаточна для смешанного логико-электрического моделирования. В связи с этим:

1. Используются универсальные модели зависимостей $t_d = f(l, \dots)$, не учитывающие специфику используемой базовой логической ячейки (ТТЛ, ЭСЛ, И²Л и т.д.).

2. Хотя межсоединения представляются как длинные линии с распределенными параметрами, однако как правило, используется только одна модель (чаще RC) линии связи. При этом более правильным подходом является применение такой распределенной модели (RC, RL или RLC), которая больше соответствовала бы специфике используемой техники изготовления данной СБИС.

Известно, что с целью повышения точности результатов моделирования цифровой части СБИС в существующих программах смешанного логико-электрического анализа [2, 3] применяют более точные асинхронные логические модели ЛЭ, использующие несколько интегрированных временных параметров ЛЭ (t_d) для детализации процесса переключения цифрового элемента. Например, в работе [2] использована модель ЛЭ, имеющая временные параметры: Δt_1 — интервал времени между моментами переключения входного сигнала и начала переключения выходного сигнала; Δt_2 — интервал времени между моментами переключения входного сигнала и установления выходного сигнала ЛЭ. Причем эти параметры для

переключения ЛЭ из состояния "0" в "1" и наоборот различны: $\Delta t_{\text{н}}^{01}$, $\Delta t_{\text{н}}^{10}$, $\Delta t_{\text{у}}^{01}$ и $\Delta t_{\text{у}}^{10}$.

В данной статье приведены полученные на основе проведенных машинных экспериментов аналитические модели (табл.) зависимостей $\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$, $\Delta t_{\text{у}}^{01} = f(l_{\text{св}})$, $\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$ и $\Delta t_{\text{у}}^{10} = f(l_{\text{св}})$ для различных базовых логических ячеек и способов представления линий связи. В приведенных выражениях коэффициенты при $l_{\text{св}}$ и свободные члены имеют размерность времени, выраженную в нс, а значения $l_{\text{св}}$ - в см. В случаях, когда не указано ограничение на величину $l_{\text{св}}$, она может меняться до значений, допустимых современными технологиями.

Таблица

Полумпирические аналитические модели зависимостей задержек междолинний от длины линий

Базовая логическая ячейка	Модель линии связи	Модель зависимости	
ТТЛ	RC	$\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$1,15 l_{\text{св}}^2 - 0,14 l_{\text{св}} + 4,125$, если $0 < l_{\text{св}} \leq 0,35 \text{ см}$ $1,71104 l_{\text{св}}^2 + 0,6488 l_{\text{св}} + 4,363$; если $l_{\text{св}} > 0,35 \text{ см}$
		$\Delta t_{\text{у}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$3,084 l_{\text{св}}^2 - 0,5216 l_{\text{св}} + 10,71188$, если $0 < l_{\text{св}} \leq 0,35 \text{ см}$ $30,601 l_{\text{св}}^2 - 28,9702 l_{\text{св}} + 17,6142$; если $0,35 < l_{\text{св}} \leq 0,50 \text{ см}$ $14,902 l_{\text{св}}^2 - 19,975 l_{\text{св}} + 17,371$; если $l_{\text{св}} > 0,50 \text{ см}$
		$\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$6,603 l_{\text{св}} + 2,99$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{у}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$54,44 l_{\text{св}} + 2,31033$; $l_{\text{св}} > 0$
ТТЛ	RL	$\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$15,22 l_{\text{св}} + 9,481$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{у}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$18,4 l_{\text{св}} + 15,637$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$4,46 l_{\text{св}} + 1,141$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{у}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$12,16 l_{\text{св}} + 3,321$; $l_{\text{св}} > 0$
ТТЛ	RLC	$\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$10,06 l_{\text{св}} + 12,249$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{у}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$19,1 l_{\text{св}} + 15,585$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$8,18 l_{\text{св}} + 0,849$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{у}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$14,62 l_{\text{св}} + 3,141$; $l_{\text{св}} > 0$

ЭСЛ	RC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$5,66 l_{\text{сн}} + 0,137; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$11,1 l_{\text{сн}} + 2,217$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,25\text{см}$ $30,58 l_{\text{сн}} - 3,24216$; если $l_{\text{сн}} > 0,25\text{см}$
		$\Delta t_{\text{с}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$15,26 l_{\text{сн}} - 0,6576$, если $0,042\text{см} < l_{\text{сн}} < 0,35\text{см}$ $28,832 l_{\text{сн}} - 5,2143$; если $l_{\text{сн}} \geq 0,35\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$65,57 l_{\text{сн}} - 2,93814$; если $l_{\text{сн}} > 0,045\text{см}$
ЭСЛ	RL	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$6,75 l_{\text{сн}} + 3,3245; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$73,6 l_{\text{сн}} + 9,0237$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,20\text{см}$ $34,51 l_{\text{сн}} + 16,844$; если $l_{\text{сн}} > 0,20\text{см}$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$6,625 l_{\text{сн}} - 12,344; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$31,912; l_{\text{сн}} + 13,5281; l_{\text{сн}} > 0$
ЭСЛ	RLC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$5,185 l_{\text{сн}} - 0,15038; l_{\text{сн}} > 0,03\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$39,7 l_{\text{сн}} + 4,84737; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$5,5625 l_{\text{сн}} + 2,90315; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$37,06 l_{\text{сн}} + 9,5419; l_{\text{сн}} > 0$
ИЭЛ	RC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$14,886 l_{\text{сн}} - 0,5871; l_{\text{сн}} > 0,04\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$18,5876 l_{\text{сн}} - 0,8313; l_{\text{сн}} > 0,045\text{см}$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$4,754 l_{\text{сн}} + 0,1167; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$29,81 l_{\text{сн}} - 0,2719; l_{\text{сн}} > 0,01\text{см}$
ИЭЛ	RL	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$17,02 l_{\text{сн}} + 1,7; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$19,58 l_{\text{сн}} + 7,3085; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$-11,7 l_{\text{сн}}^2 + 10,75 l_{\text{сн}} + 0,250$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,45\text{см}$ $10,002 l_{\text{сн}} + 2,498 l_{\text{сн}}$; если $l_{\text{сн}} > 0,45\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$38,84 l_{\text{сн}} + 7,390; l_{\text{сн}} > 0$
ИЭЛ	RLC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$17,58 l_{\text{сн}} + 1,257; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$20,6 l_{\text{сн}} + 72,76; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$-15,88 l_{\text{сн}}^2 + 12,726 l_{\text{сн}} - 0,1714$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,30\text{см}$ $2,75 l_{\text{сн}} + 1,798$; если $l_{\text{сн}} > 0,30\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{IV}} = f(l_{\text{сн}})$	$41,3 l_{\text{сн}} + 7,229$; если $l_{\text{сн}} > 0$

МДП	RC	$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$35,876 l_{\Sigma}^2 + 17,286 l_{\Sigma} - 0,145; l_{\Sigma} > 0,0005\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$64,68776 l_{\Sigma} - 2,6127; l_{\Sigma} > 0,041\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$30,4 l_{\Sigma} - 15,304 l_{\Sigma} - 0,232; l_{\Sigma} > 0,02\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$33,7446 l_{\Sigma} - 1,5268; l_{\Sigma} > 0,046\text{см}$
МДП	RL	$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$12,6 l_{\Sigma} - 0,14; l_{\Sigma} > 0,02\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$22,35; l_{\Sigma} > 0$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$11 l_{\Sigma} - 0,25; l_{\Sigma} > 0,023\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$17,05; l_{\Sigma} > 0$
МДП	RLC	$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$35,908 l_{\Sigma}^2 + 17,416 l_{\Sigma} - 0,1466; l_{\Sigma} > 0,01\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$64,572 l_{\Sigma} - 2,4143; l_{\Sigma} > 0,04\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$30,544 l_{\Sigma}^2 - 15,026 l_{\Sigma} - 0,151; l_{\Sigma} > 0,02\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$33,9606 l_{\Sigma} - 1,5550; l_{\Sigma} > 0,046\text{см}$

Предложена следующая методика получения моделей, приведенных в таблице.

Шаг А. Рассмотрена цепочка последовательно включенных ЛЭ. С помощью программы схемотехнического анализа MicroCap III получены временные диаграммы изменения напряжений в узлах соединения ЛЭ при изменении входного сигнала Q_{Σ} из состояния "0" в "1".

Шаг В. Определено количество ЛЭ(k), после которых форма сигнала на выходе очередного ЛЭ устанавливается с достаточной точностью.

Шаг С. Между ($k-1$)-ым и k -ым ЛЭ подключена n секционная R_{Σ} -модель линии связи. На основе сравнения сигналов на входе и выходе линий связи получены значения параметров Δt_{Σ}^{01} , Δt_{Σ}^{10} или Δt_{Σ}^{01} , Δt_{Σ}^{10} при данном n . Изменением n (т.е. l_{Σ}) получены табличные зависимости $\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$, $\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$, $M_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$ и $M_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$.

Шаг D. Аппроксимацией табличных зависимостей получены модели линий связи, включенные в таблицу.

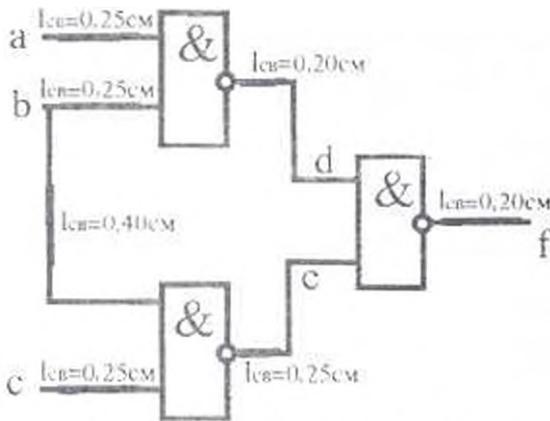


Рис. 1. Пример цифровой схемы

Приведенные в таблице модели могут быть использованы в произвольных системах логического моделирования цифровых СБИС или же смешанного анализа аналого-цифровых СБИС. Их внедрение в систему [2] позволило существенно повысить точность результатов расчетов.

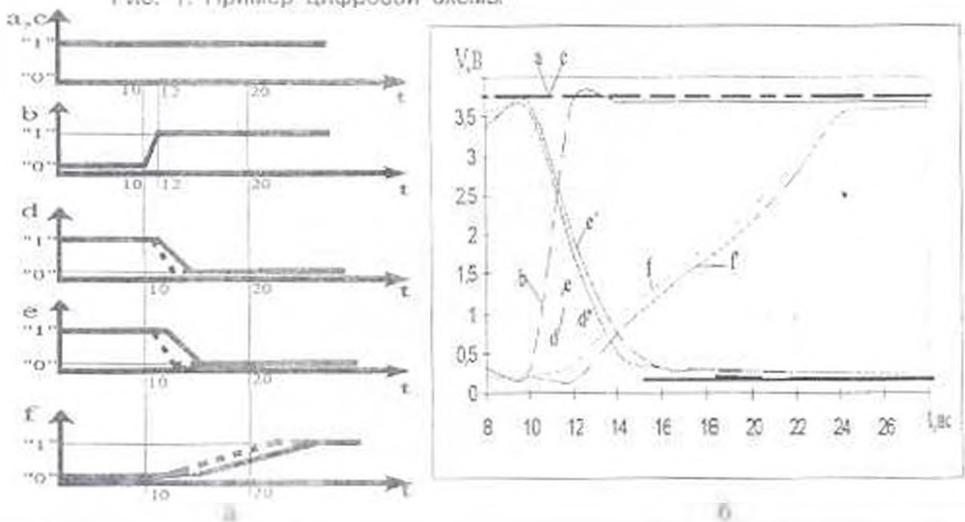


Рис. 2. Временные диаграммы изменения напряжений. а - моделирование на логическом уровне; б - моделирование на схемотехническом уровне

Приведены результаты моделирования схемы, показанной на рис. 1, с использованием (сплошные линии) и без использования (пунктирные линии) разработанных моделей линий связи (рис. 2). Как видно из графиков напряжений, точность расчетов существенно повышается при учете паразитных параметров линий связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файзулаев Б.Н., Шагурин И.И., Карамзинский А.Н. и др. Быстродействующие матричные БИС и СБИС. - М.: Радио и связь, 1989. - 304 с.
2. Архангельский А.Я., Меликян В.Ш. Смешанное схемотехническое и функционально-логическое моделирование аналого-цифровых БИС // Электронное моделирование - 1984. - № 5. - С. 35-39.
3. Dyson C.M., Gray A.H. A pipelined event-driven mixed-mode simulator // IEEE Design & Test of computers. - 1987. V.1, №1. - February - P. 30-40.

С.Р. ЦАТУРЯН

ЧАСТОТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЛОЖНОСТИ ДИНАМИКИ БОКОВОГО ДВИЖЕНИЯ САМОЛЕТА

Ցարադրվում է ինքնաթիռի կողմնային շարժմանը ղեկավարող հաստատվածի օգտագործելով ազդուստեղ ընթացիկ ման տեսության նորագույն ազգային ներդրումը և հիմնականում են ղեկավարման համակարգի համար հասանելի, նախադրյալները արդյունավետ:

Приводится анализ многомерной системы управления боковым движением самолета с использованием новейших достижений теории автоматического управления. Оцениваются ожидаемые трудности по синтезу компенсатора для системы управления.

Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

The analysis of a multivariable control system for the aircraft lateral motion using the latest achievements of the control theory is stated. Expected difficulties of the compensator synthesis for a control system are appreciated.

Ил 1. Ref. 5.

При рассмотрении многомерных систем автоматического регулирования (МСАР) методами пространства состояний определенную роль в оценке сложности играет, по-видимому, размерность вектора состояния, в отличие от методов, основанных на описании динамики "вход-выход". В этой связи целесообразно привести пример анализа МСАР, используя частотные показатели сложности многосвязного звена, которые основаны на главных передаточных функциях и направлениях (ГПФ и Н) и ориентированы на методику проектирования с использованием нормализующего компенсатора [1-5]. В основе данной методики анализа сложности лежат два следующих положения:

1. Трактовка сложности определяется целью проектирования МСАР. Эта цель диктует выбор модели и методов анализа и синтеза многосвязной системы регулирования, в силу чего соответствующие показатели сложности должны находиться в непосредственной и простой связи с основными расчетными характеристиками.

2. Сложность объекта диктует сложность компенсатора и МСАР в целом, а также сложность процедур анализа и синтеза.

В данной работе рассматривается система управления боковым движением высокоскоростного истребителя. Летные условия следующие: $M=2.2$, $H=15$ км, где M —отношение скоростей самолета к звука в воздушной среде, а H —высота полета. Уравнения системы управления имеют вид

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx + Du. \quad (1)$$

где

$$A = \begin{bmatrix} -0,12993 & 0,04006 & 0,01510 & 1,00000 \\ 30,98337 & -1,40344 & 0,00000 & -0,55860 \\ 0,00000 & 1,00000 & 0,00000 & -0,04007 \\ -2,64780 & 0,00017 & 0,00000 & -0,23734 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,00000 & -0,00537 \\ -13,16322 & -5,51331 \\ 0,00000 & 0,00000 \\ 0,21210 & -1,47806 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для данной системы управления вектором входа является $u = (\delta \dot{\delta})^T$, а вектором выхода — $y = (\beta \gamma)^T$, где β , γ — углы скольжения и крена, $(\dot{\beta} \dot{\gamma})$ — угловые скорости крена и рыскания; δ_x , δ_y — углы отклонения элерона и руля направления.

Из уравнений состояния системы матричная передаточная функция получена в виде

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) \\ g_{21}(s) & g_{22}(s) \end{bmatrix} / \Phi_0(s), \quad (3)$$

где

$$\Phi_0(s) = s^4 - 1,7707s^3 + 1,9528s^2 + 2,9413s - 0,1356,$$

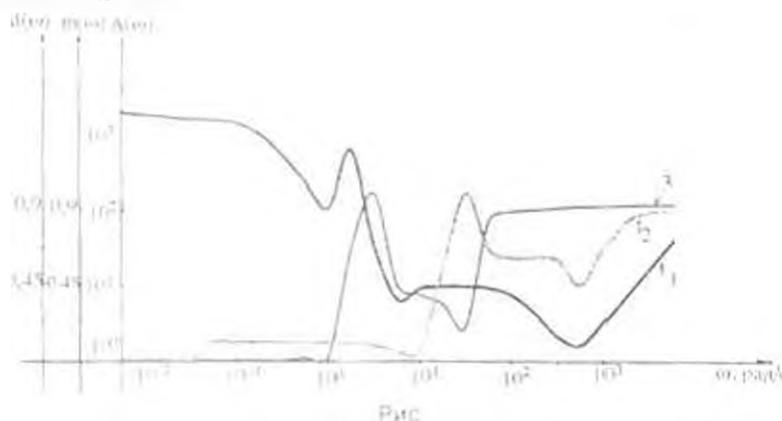
$$g_{11}(s) = -0,3152s^3 - 0,0289s - 0,0491,$$

$$g_{12}(s) = -0,005s^3 + 1,2077s^2 - 2,1769s - 0,006, \quad (4)$$

$$g_{21}(s) = -13,1717s^3 - 4,9661s - 28,7503,$$

$$g_{22}(s) = -5,4541s^3 - 1,2754s - 60,5905.$$

Были написаны программы расчета показателей сложности динамики бокового движения самолета и получены следующие результаты (рис. 1)



Усиления каналов в низкочастотном (НЧ) диапазоне очень плохо сбалансированы, показатель неравномерности усиления объекта здесь очень большой. $A_G(\omega) = 100 \dots 1200$. Однако в НЧ диапазоне показатель невыровненности главных направлений говорит о том, что объект имеет хорошую структуру главных направлений, т.е. передаточная матрица $G(j\omega)$ близка к нормальности [3]. Динамика главных направлений в НЧ диапазоне также слабо выражена, так что в первом приближении объект можно считать статически направленным.

Показатель динамики главных направлений в среднечастотном (СЧ) диапазоне ($\omega = 0.1 \dots 10 \text{ рад/с}$) указывает на выраженную динамику, т.е. невозможно построить полноценный статически направленный нормализующий компенсатор. На том же диапазоне показатель невыровненности главных направлений указывает на то, что объект весьма далек от нормальности ($m_G(\omega) = 0.1 \dots 0.9$). Лишь показатель неравномерности усиления $A_G(\omega)$ несколько лучше, чем в НЧ диапазоне, хотя здесь пределы его изменения опять велики ($A_G(\omega) = 7 \dots 100$).

В высокочастотном (ВЧ) диапазоне показатель неравномерности усиления $A_G(\omega)$ устанавливается на значениях $A_G(\omega) = 1.5 \dots 10$ и лишь при $\omega \rightarrow \infty$ $A_G(\omega) \rightarrow \infty$ (из-за разных скоростей спада главных передаточных функций). Показатели невыровненности и динамики главных направлений говорят о том, что объект на ВЧ диапазоне весьма далек от нормальности.

На основе проведенных расчетов и анализа сложности динамики бокового движения самолета можно сделать следующие выводы. Рассмотренный объект представляет собой сложную систему автоматического управления с двумя входами и двумя выходами. По приведенным графикам частотных показателей сложности видно (рис.), что с точки зрения сложности объект управления плохой или, как называют в зарубежной литературе, "ill conditioned" (плохо обусловленный). При различных направлениях управляющих воздействий он ведет себя по-разному. Это происходит из-за большой обусловленности матричной передаточной функции объекта управления, по причине которого усиления по различным каналам слишком отличаются друг от друга. Наглядный пример для объяснения этого приведен в [3] (геометрическая трактовка соотношения "вход-выход" линейных многомерных систем автоматического управления). Объект имеет выраженную динамику главных направлений, т.е. невозможно построить полноценный статически направленный нормализующий компенсатор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карслян Э.В. Главные передаточные функции и главные направления МСАУ // АСУ технологическими процессами: Межвуз сб. ст. ЕрПИ. - Ереван, 1984. - С. 24 -28.
2. Карслян Э.В. Классификация и исследование многомерных САУ на основе главных передаточных функций и направлений // Современные системы

автоматического управления и их элементная база: Тез. докл. II-й республ. науч. техн. конф. - Ереван, 1986. - С. 18-22.

3. Карсян Э.В. Современные методы ТАУ. Частотные методы анализ и синтеза многосвязных САУ. Уч. пос. / ЕрПИ - Ереван, 1991. - 123 с.

4. Карсян Э.В., Александрян В.Г. Описание и анализ многомерных САУ на основе главных передаточных функций и направлений // Изв. АН АрмССР Сер. ТН. - 1986. - Т. 39, № 1 - С. 38-42.

5. Карсян Э.В., Чимишкян С.Е. Сложность робастных многосвязных САУ: Частотный подход // Техническая кибернетика - 1988. - № 8 - С. 9.

ГИУА

26.02.1996

Изв. НАН и ГИУА Армении (Сер. ТН), т. 1, № 3, 1997, с. 246-252.

ՀՏԳ 62-50

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑԻՄ
ԵՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՏՆՏԵՍԱԿԱՐԳԵՑ

Ա. Ա. ԹԱԳԵՆՎՈՍՅԱՆ

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԱՐՏԱՔԻՆ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ
ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԲԱԶՄԱԿՈՐԾՈՆԱՅԻՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

ՏՏ ԱՄԿ հարկարարային րոպանիշների՝ տրտահանման և ներմուծման փոփոխությունները կապարիում են ազգային տնտեսական համակարգը բուրյապող տարր գործոններն ուղղաբուսաւոր: Այս առումով այդ համակարգի վրա հասնաւող գործոնաւ ազդեցութեան ուղղամասիրումն իրականացիւմ է տնտեսական համակարգի գործունեւորութեան ւրաւապատասխան տեղաւոր: Առաջարկոււմ է նման խնդիրների լուծումը բազանաւորումնաւոր հարաբերակցական հետընթացական վրտւլացիայի-ոեգրեման մեղաւոր: Բերվում է հաշվարկի վառուարի օրինակ:

Изменение важнейших показателей РА (экспорта и импорта) происходит под влиянием различных факторов, характеризующих национальную хозяйственную систему. В связи с этим изучение совместного факторного влияния на эту систему осуществляется методом, адекватным условиям функционирования хозяйственной системы. Предлагается многофакторный корреляционно-регрессионный метод решения подобных задач. Приводится конкретный пример расчета.

Табл. 3. Библиогр. 3 назв.

The changes in external economic indices of RA (export and import) take place under the influence of various factors which characterize the national economic system. From this viewpoint the investigation of joint factor influence on this system is carried on by a method which is adequate to the conditions of economic system's functioning. A multifactor regressive method of analysis is proposed for solving these problems. An example of particular calculations is given.

Табл.3. Ref.3

Ազգային տնտեսական ւնցման և ձեւաւորման պայմաններում ԱՄԿ համակարգի վրա ազդող տարրեր գործոնների բնույթը և ազդեցութեան ձեւը կարուկ փոխվում են [1]: ԱՄԿ համակարգում գործոնային վերլուծությունը մակրոտնտեսական գործոնային կառավարման համընդհանուր խաղի մշակում է, որի հիմնական նախադաս և տարրական տնտեսական գործոնների և ԱՄԿ գործունեությունը բնութագրող հիմնական

ցուցանիշների փոխադարձ կապի ի հայտ բերումը եւ քանակական գնահատականը Այդպիսի մոտեցումը հնարավորություն է ընձեռում ձեւավորել կառավարման համակարգը ըստ ԱՏԿ տնտեսական գործունեությունը բնութագրող փաստացի քանակական հարաբերության:

Բոլոր հետազոտվող ցուցանիշների բնութագրական հատկանիշների բարելավման համար անհրաժեշտ է որոշակիացնել նպատակահարմար փոխզիջումը, ջանքի որ որոշ ղեկաբերում մի ցուցանիշի աճը ուղեկցվում է մեկ ուրիշի նվազումով: Այդպիսի ուղղության զարգացումը համարվում է նպատակահարմար հատկապես ազգային շուկայի ձեւավորման պայմաններում, երբ տնտեսավարման ռիսկի չափը մեծանում է: Այս ղեկաբում բազմազորոսմային հարաբերակցական-հետընթացային կապերի հավասարումները կարող են դիտվել որպես տնտեսական կառավարման քանակական մեծության նկարագրման հաջորդ քայլ:

Բազմազորոսմային հարաբերակցական հավասարումը նվազագույն իրականացնելով, կարելի է գտնել ածանցման միջոցով [2].

$$X_0 X_1 = a_0 \sum X_i + a \sum X_i^2 + a_2 \sum X_i X_1 + \dots + a_k \sum X_i X_1 \quad (1)$$

Նորմալ հավասարումների համակարգը կարելի է լուծել էՅՄ-ի օգնությամբ մի շարք միջոցներով: Սեյր խնդիրը լուծված է անհատական բոնփյուրերների համար նախատեսված «STORM» ծրագրային վաթերով:

Հետընթացի գործակցի համեմատության համար հարկավոր է առանդարտացնել β -ի կամ ճկունության գործակցներով

$$\beta_i = a_i \sigma_i / \sigma_{i+1}; \quad \beta_2 = a_2 \sigma_2 / \sigma_{2+1}; \quad \dots; \quad \beta_k = a_k \sigma_k / \sigma_{k+1} \quad (2)$$

$$\sigma_i = a_i \bar{X}_i / \bar{X}_{i+1}; \quad \sigma_2 = a_2 \bar{X}_2 / \bar{X}_{2+1}; \quad \dots; \quad \sigma_k = a_k \bar{X}_k / \bar{X}_{k+1} \quad (3)$$

Որոշի գործակցը հաշվարկված է [2]

$$R_{01 \dots k} = d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_k^2 \quad (4)$$

որտեղ d_1, d_2, \dots, d_k ցուցանիշները անհատական որոշման գործակցներն են

Պինամիկայի շարքերում, որպես կանոն, յուրաքանչյուր հաջորդ դիտարկում ժամանակի մեջ կապված է նախորդի հետ: Սկսեալով է. որ դինամիկայի շարքերում բարձր ինքնահարաբերակցման (ավտոկոռելյացիա) ժամանակ ընտրովի բնութագրերի հավանական գնահատականը իրականումնալի չէ [2.3] Որպես կանոն, քարձր ինքնահարաբերակցում ունեն բոլոր հստակ զարգացման միոուճով արտահայտված դինամիկական շարքերը: Աաազայի կանխագուշակումներում չի կարելի հիմնվել հարգի ձեւական լուծման վրա, այսինքն որոշել ընտրված դիտարկումների սխալը եւ համոզված լինել, որ հաշվարկված արժեքները ճիշտ կլինեն: Սրդյունքները ճիշտ կլինեն միայն այն դեպքում եթե առաջիկայում ուսումնասիրվող միջավայրը եւ հետազոտման մեջ ընդգրկված գործոնները լիովին յսվեն:

Չարաբերակցման մոդելում հատկանիշների եւ գործոնների ընտրումը (այս էլ լիատարվել է առաջին հերթին ըստ ուսումնասիրվող տնտեսական երեւույթի, ԳՅ ԱՏԿ նամակագրի, տեսական եւ գործնական փորձի վերլուծության [2]:

X_1 -ը արտահանման ծավալն է (մլն.դոլլար), X_2 -ը ներմուծման ծավալը (մլն.դոլլար), X_3 -ը արտասահմանյան ներդրումների ծավալը (մլն.դոլլար), X_4 -ը նամատեղ ձեռնարկությունների քանակն է (հատ), X_5 -ը արտասահմանյան ձեռնարկությունների քանակն է (հատ), X_6 -ը ԳՅ համախառն ֆերթին արդյունքը (տոկոսներով արտահայտված), X_7 -ը ազգային եկամուտը (մլն.դոլլար), X_8 -ը ռիմնական ներդրումների ծավալը (մլն.դոլլար), X_9 -ը սղաճը: Այս գործոնների յարքը կարելի է համալրել ԱՏԿ-ի վրա անմիջական ազդեցություն ունեցող եւ այս բնութագրող գործոններով (արտահանվող եւ ներմուծվող ապրանքների եւ

ծառայությունների գների ցուցիչը դրանց տոկոսային շեղումները միջազգային գներից է: այլն) [3]: Սակայն 33-ում անբավարար տեղեկատվության պատճառով հնարավոր չէ իրականացնել այդ գործոնների ազդեցության գնահատումը:

Ըստ վիճակագրական բնութագրերի արտահանումը (X_1) և ներմուծումը (X_2) ունեն բավականին ստոր փոփոխակում $V_1 = 35,68\%$ և $V_2 = 33,15\%$: Սյուսիսի մեծ տատանումը արտահանում և ներմուծման մեջ ցույց է տալիս, որ հնարավոր է այդ ցուցանիշների առաջնահերթ կարգավորում: X_3 -ի ($V_3 = 173,82\%$) մեծ փոփոխանման ցուցանիշը վկայում է այն մասին, որ սղաճն ունի անգումային շրջանով պատճանափորված ձեռ տատանումներ: Համեմատական մեծ տատանումներ ունեն հանելիքական ներդրումները ($X_4 = 65,37\%$) և ազգային եկամուտը ($X_5 = 59,56\%$): Մուտների համեմատությամբ բավականին ցածր է ՀՆԱ-ի գործակիցը ($X_6 = 15,95\%$), որի ապացույց է ընդհանուր տնտեսական երևույթների հարաբերական կայունացման:

Աղյուսակ 1

Տարիներ		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
բառ երանմ										
1994	1	28,93	58,95	17,10	10	6	117,1	7,7	311,3	212,5
	2	56,03	111,36	22,40	12	9	104,2	80,2	4288,0	168,2
	3	50,17	112,60	21,80	17	13	184,9	126,9	7028,8	8,2
	4	93,90	151,40	51,30	17	13	80,2	337,2	9681,9	105,3
1995	1	40,52	179,00	34,35	52	37	113,9	89,5	2745,9	5,9
	2	63,71	127,40	63,34	31	38	112,2	183,8	8175,3	16,1
	3	93,42	181,90	107,23	30	36	104,1	481,4	8913,3	-6,5
	4	101,80	236,90	44,56	46	44	106,6	429,5	15960,7	15,0
1996	1	54,70	163,00	58,00	23	25	104,1	137,9	3471,4	7,3
	2	91,98	212,19	60,00	61	42	104,5	284,3	9552,6	-1,6
	3	112,23	244,33	67,05	42	23	104,7	416,1	12859,2	-4,1
	4	109,86	258,64	85,00	44	27	108,0	359,5	23509,1	4,2
1997	1	42,71	192,90	58,27	25	25	103,2	150,1	7597,0	5,6
	2	77,07	254,60	62,94	57	20	101,9	337,9	7037,2	9,0
λ		73,36	173,23	53,81	33,36	25,57	109,26	244,4	8662,26	38,936
σ		26,16	59,61	24,02	16,36	12,00	17,43	145,6	5673,91	67,68
λ		35,68	33,44	44,64	49,06	46,94	15,85	59,56	65,57	173,82

Ընտանադրվող ցուցանիշների կապերի խտությունը որոշելու համար հաշվարկվել են համաբերական զույգ գործակիցները (աղ 2) Ըստ արդյունքների արտահանումը և ներմուծումը կապեր ունի ազգային եկամտի ($X_5 = 0,92$) հիմնական

մեթոդումների ($r_{x_2, x_6} = 0,842$) եւ արտահանման ($r_{x_2, x_7} = 0,75$) հետ, այսինքն այս գործոնները համագրծ են: Ներմուծումը սեռտ կապեր ունի համատեղ մեռնարկությունների ($r_{x_2, x_3} = 0,798$), ազգային եկամտի ($r_{x_2, x_4} = 0,738$), հիմնական մեթոդումների ($r_{x_2, x_5} = 0,719$) եւ արտասահմանյան մեթոդումների հետ ($r_{x_2, x_6} = 0,619$): Առկա են նաեւ թույլ կապեր որոշակի գործոնների միջեւ, սակայն հետագա վերլուծության ամբողջականության համար դրանք զտագործվել են:

Աղյուսակ 2

	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_2	1	0,62	0,79	0,52	-0,19	0,74	0,72	-0,60	0,75
X_3	0,62	1	0,39	0,49	-0,30	0,75	0,54	-0,56	0,66
X_4	0,79	0,39	1	0,70	-0,07	0,48	0,40	-0,63	0,47
X_5	0,52	0,49	0,70	1	-0,04	0,45	0,36	-0,67	0,38
X_6	-0,19	-0,30	-0,07	-0,04	1	-0,27	-0,05	-0,31	-0,29
X_7	0,74	0,75	0,48	0,45	-0,27	1	0,72	0,42	0,93
X_8	0,72	0,54	0,40	0,36	-0,05	0,72	1	-0,35	0,84
X_9	-0,60	-0,56	-0,63	-0,67	-0,31	-0,42	-0,35	1	-0,30
X_{10}	0,75	0,66	0,47	0,38	-0,29	0,93	0,84	-0,30	1

Արտահանման եւ ներմուծման մնացած գործոնների առկայության մոդելի կառուցման համար կիրառվել է արտաքսման մեթոդը՝ Առաջին փուլում ստացվել են հետևյալ բազմագործոնային հետընթացային հավասարումները

$$X_1 = 37,53 - 0,035X_2 - 0,0077X_3 + 0,249X_4 -$$

$$-0,138X_5 - 0,096X_6 + 0,123X_7 + 0,0019X_8 + 0,056X_9, \quad (5)$$

$$X_2 = 203,495 - 0,325X_3 - 0,048X_4 - 2,135X_5 -$$

$$-0,777X_6 + 0,096X_7 - 0,0046X_8 - 0,359X_9, \quad (6)$$

Չաչվարկման արդյունքներն են

$$F_{\text{արտաքսմ}} = 3,23, \quad F_{\text{ներմուծ}} = 3,23, \quad F_{\text{արտահան}} = 11,539, \quad F_{\text{մեթոդ}} = 6,2275,$$

$$R^2_{\text{արտաքսմ}} = 0,9486, \quad R^2_{\text{ներմուծ}} = 0,9088, \quad R^2_{\text{արտահան}} = 0,9739, \quad R^2_{\text{մեթո}} = 0,953$$

Չաչվասարումների վիճակագրական վերլուծությունը ցույց է տաչիս, որ դրանք եսկան են, այսինքն $F_{\text{արտահան}} = 11,539$ եւ $F_{\text{մեթո}} = 6,2275$ աղյուսակային

թրծքների դեպրում ստանում են նույն արժեքը $F_{\text{արտահան}} = 3,23$ (5%-ոց սատիմանի նշանակության դեպրում [2]) Չեւեւաբար, այն վերկածր որ լրացմախարաբերակչման գործակիցը 0 է հերքվում է, եւ կապը համարվում է եսկան:

Ցրումակայրյան վերլուծության շնորհիվ ստացվել են հետևյալ արդյունքները $R^2_{\text{արտահան}} = 0,9739$ եւ $R^2_{\text{մեթո}} = 0,953$, որոնք վկայում են ֆունկցիայի եւ մաստարկների սերտ կապի մասին:

Բազմահարաբերականացման գործակցի արժեքի ստուգման համար հաշվարկվել են Սոյուդենտի t_1 եւ t_2 գործակիցները $m_{1,100\%} = 0,05138$ եւ $m_{2,100\%} = 0,041$ միջին սխալների դեպքում $t_{1,1} = 42,52$ եւ $t_{1,2} = 23,21$: Գործոճների արտաքստիմից հետո $t_{1,1} = 43,72$ եւ $t_{1,2} = 17,33$: Տեխնիկատնտեսական հետազոտություններում վստահելի հավանականությունը սովորաբար ընդունում են 0,95 կամ 0,99: Ներկայացված խնդրի դեպքում վստահելի հավանականությունը ընդունելով 0,99068 երկու դեպքերի համար էլ ստանում ենք $t_{1,1,100\%} = 2,6$ եւ $t_{1,2,100\%} = 2,6$: Ընդունված վստահելի հավանականության դեպքում Սոյուդենտի արտահանման եւ ներմուծման հաշվարկային գործակիցներն ավելի են աղյուսակային արժեքներից: Գետնաբար այն վարկածը, որ բազմահարաբերակցումը հավասար է զրոյի, բացառվում է եւ R-ը երկու դեպքում էլ համարվում է Լական: Բազմացրունակության գործակիցները $R_{1,100\%} = 0,9486$ եւ $R_{2,100\%} = 0,9088$ ցույց են տալիս, որ արտահանման եւ ներմուծման փոփոխականները հիմնականում կանխորոշված են ռետազոտության մեջ ընդգրկված գործոճներով եւ համապատասխանաբար կազմում են 94% եւ 90%:

Կապեղի հավասարումներից երեւում է, որ որոշակի գործոճներ բացասաբար են ազդում արտահանման եւ ներմուծման վրա: Քանի որ այդ գործոճները հարաբերակցվում են, ապա նրանցից որեւէ մեկի արտաքստիմը կհանգեցնի այն բանին, որ ոչ նշանակալի գործոճը կդառնա նշանակալի: Այս առումով ոչ նշանակալի գործոճների արտաքստիմը կառարկում է փոյ առ փոյ:

Համապատասխան գործոճներն արտաքստիմըց հետո ստանում ենք

$$\begin{aligned} X_1 &= 29,50 + 0,120X_1 + 0,0016X_2, \\ X_2 &= 61,31 + 2,21X_1 + 0,004X_2, \end{aligned} \tag{7}$$

որտեղ

	R^2	R	Սիջին սխալը	Պարբին-Ուաթսոն	F
X1	0,9267	0,962	7,99	1,69	69,57
X2	0,8263	0,909	28,02	2,16	26,17

Հավասարումներն արժեք ունեն, քանի որ $t_{1,100\%} = 69,57$ եւ

$t_{1,2,100\%} = 26,17$ աղյուսակային արժեքների դեպքում ստանում ենք $t_{1,1,100\%} = 19,42$

Արտահանման եւ ներմուծման բազմահարաբերակցման գործակցի արժեքների մեծացել են, իսկ ցրունակության գործակիցները նվազել են: Վերջինս վկայում է այն մասին, որ արտահանման հավասարման երկու գործոճները ազգային եկամուտը եւ հիմնական ներդրումները բնութագրում են 92% տատանումներ: Ներմուծման հավասարման մեջ համատեղ ձեռնարկությունները եւ ազգային եկամուտը բնութագրում են 82,6%-ի տատանումներ:

Արտահանման հավասարումից երեւում է, որ ազգային եկամտի ավելացումը մյւնդոլլարով կհանգեցնի արտահանման 120000 դոլլարով բարձրացման: Համապատասխանաբար մյւնդոլլարով հիմնական ներդրումների մեծացումը կհանգեցնի 1600 դոլլարով արտահանման ավելացման, ըստ ներմուծման համատեղ ձեռնարկությունների ավելացումը մեկով կհանգեցնի նրա 2.219 մյւնդոլլարով բարձրացմանը: Համապատասխանաբար մյւնդոլլարով հիմնական ներդրումների մեծացումը կհանգեցնի 4989 դոլլարով ներմուծման ավելացմանը:

Նշենք, որ այս արդյունքներով չի կարելի որոշել, թե ինչպիսի գործոճներ են ավելի շատ ազդում արտահանման եւ ներմուծման վրա, բանի որ հետընթաց

գործակիցները տարբեր ֆիզիկական արժեքներ եւ չափման միավորներ ունեն: Սեր դեպքում աղտահանման X_7 եւ ներմուծման X_2 առավել մեծ հետընթացային թաղանթները դեռեւս ապացույց չեն որ դրանք են սմենամեծ ազդող գործոնները:

Այս առումով տարբեր չափման միավորները անտեսելու համար հետազոտությունում մինչ արտաքսումը հաշվարկված են ճկունութան, β եւ σ գործակիցները (աղ. 3):

Աղյուսակ 3

	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_4	ϵ_5	ϵ_6	ϵ_7	ϵ_8	ϵ_9
X_1	-	-0,09	-0,006	0,1134	-0,048	-0,142	0,408	0,217	0,029
X_2	-0,107	-	-0,015	0,399	-0,218	-0,476	0,131	0,223	-0,078
	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9
X_1	-	-0,08	-0,007	0,156	-0,063	-0,064	0,681	0,398	0,146
X_2	-0,143	-	-0,019	0,586	-0,366	-0,227	0,234	0,437	-0,402
	d_1^2	d_2^2	d_3^2	d_4^2	d_5^2	d_6^2	d_7^2	d_8^2	d_9^2
X_1	-	-0,05	-0,005	0,074	-0,024	0,026	0,633	0,346	-0,063
X_2	-0,107	-	-0,012	0,468	-0,159	0,007	0,173	0,315	0,283

Արտաքսումից հետո ստացվել են ըստ արտահանման $\epsilon_7=0,408$, $\epsilon_8=0,217$ եւ ներմուծման $\epsilon_4=0,413$, $\epsilon_5=0,242$ գործակիցները: ϵ_7 գործակիցը ցույց է տալիս, որ ազգային եկամտի ավելացումը 1%-ով կհանգեցնի արտահանման ավելացմանը 0,4%-ով իսկ ϵ_8 գործակիցը որ հիմնական ներդրումների ծավալի մեծացումը 1%-ով կհանգեցնի 0,19% -ով արտահանման ավելացմանը: Ներմուծման մեջ համատեղ ձեռնարկությունների ավելացումը 1%-ով կհանգեցնի ներմուծման 0,4%-ի բարձրացմանը:

Սակայն արտահանման եւ ներմուծման վրա տնտեսական գործոնների ազդեցության եւ դրանց պահեստային հնարավորությունների ի հայտ բերումը ձեռնբազի գործակիցի, տարբեր սատանման ցուցանիշների եւ ճկունության գործակիցների միջոցով բավարար չէ Սա բացատրվում է նրանով, որ առավել ազդեցիկ գործոնում թաքնված են իր փոփոխությունը բնորոշ շահանակայի պահուստներ: Չեռնալար, մոդելում գործոնների ազդեցության համեմատման համար, հաշվի առնելով նրանց տատանումները, հաշվարկված են β գործակիցները (աղ.3): Արտաքսումից հետո ստացվել են արտահանում $\beta_7=0,681$ եւ $\beta_8=0,398$ ներմուծում $\beta_4=0,607$ եւ $\beta_5=0,475$:

Այնհայտ է, որ ազգային եկամտի եւ համատեղ ձեռնարկությունների ցուցանիշները համապատասխան արտահանման եւ ներմուծման վրա ըստ ազդեցության աստիճանի գրավում են առաջին տեղերը: Երկրորդ տեղում է հիմնական ներդրումը: Չեռնալար, ազգային եկամտը արտահանման վրա ազդում է 1,8 անգամ ավելի բարձր հիմնական ներդրումները, եւ համատեղ ձեռնարկությունները 1,3 անգամ ավելի են ազդում ներմուծման վրա, քան փոփոխությունները:

Ինքնահարաբերակցման ստուգման համար հաշվարկվել են Դարբին-Ուեյսոնի ցուցանիշները մինչ արտաքսումը $DW_{\text{արտ}} = 1,1927$ եւ $DW_{\text{ներ}} = 2,36$ եւ արտաքսումից հետո $DW_{\text{արտ}} = 1,69$ եւ $DW_{\text{ներ}} = 2,16$: Օգտագործելով Դարբին-Ուեյսոնի աղյուսակային արժեքները 5%-անոց առտիճանի համար կրտիկի է ստուգվող զարգացման միտումից շեղման ինքնահարաբերակցման բազուկայության մասին:

Արդյունավետ հատկանիշը վրա ազդեցության ուժի տեսակետից գործակիցի դասակարգման եւ վերախտադրված փոփոխությունն ձևավորման մեջ ունենալու

գործոնի չափի որոշման համար հաշվարկվել են նրա արժեքները մինչ արտաքսումը եւ արտաքսումից հետո արտահանում $d_1=0.620$, $d_2=0.292$ եւ ներմուծում $d_3=0.484$, $d_4=0.342$ (աղ. 3): Այսինքն d_1 -ը գույց է տալիս, որ ազգային եկամուտը մոտավորապես 62%-ի չափով է ազդում արտահանման արժեքի վրա, իսկ հիմնական ներդրումները (d_2) մոտ 29%-ի: Սնացած բոլոր արտաքսված գործոնների համատեղ ազդեցությունը կազմում է 9%: Ներմուծման արժեքի վրա 48%-ը կազմում են համատեղ ձեռնարկությունների ազդեցությունը, 34%-ը հիմնական ներդրումներինը եւ 18%-ը սնացած բոլոր գործոններինը:

Ըստ վեջը նշված վերլուծության կարելի է եզրակացնել, որ առկա են մեծ հնարավորություններ, որոնց օգտագործման դեպքում հնարավոր կլինի մեծացնել արտահանման ծավալները եւ կարգավորել նրա ներմուծման անհավասարակշռությունը: Իհարկե, կարգավորման գործում հիմնական ծանրությունը ընկնում է էլետության վրա:

Հարաբերակցական-հետընթացային մեթոդի կիրառումը հնարավորություն ընձեռեց.

1. Որոշել, թե միջին ռաշվով որքանով կփոփոխվեն արտահանումը եւ ներմուծումը եթե մյուսների անփոփոխ մնալու դեպքում յուրաքանչյուր գործոն փոփոխվի ըստ իր չափման միավորի.

2. Որոշել արտահանման եւ ներմուծման ցուցանիշների տատանման ընդգրկույթը մյուս գործոնների ազդեցությամբ:

3. Որոշել, թե ինչ տոկոսաչափով կփոփոխվեն արտահանումը եւ ներմուծումը, եթե ռոնիզն գործոն փոփոխվի 1% -ի չափով.

4. Ի հայտ բերել արտահանման եւ ներմուծման մեծացման, դրանց հավասարակշռության պահուստները, հետագոտվող գործոնների համախմբման կամ առանձին պահուստների օգտագործման միջոցով:

Ինչպես ցույց տվեցին ստացված արդյունքները, առանց մաքեմատիկական ապարատի օգտագործման անհնար է հստակ հիմնավորել գործոնային համախմբային ազդեցությունը ՀՀ ԱՏԿ համակարգի վրա: Հետեւաբար, ՀՀ ԱՏԿ համակարգի տնտեսական ցուցանիշների ձեւավորման վերաբերյալ մինչ անհրաժեշտ ռազմավարական որոշում ընդունելը հարկավոր է հաշվի առնել այդ գործոնների ազդեցությունը: Այդ դեպքում ստանում ենք ՀՀ ԱՏԿ զարգացման կանխագուշակվող բոլոր ցուցանիշների ստավելագույն արժեքները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. **Елисеєва И.И., Юзбашев М.М.** Общая теория статистики. - М.: Финансы и статистика, 1996. - 368 с.
2. **Практикум по общей теории статистики и сельскохозяйственной статистики** / Под ред. А.И. Зинченко. - М.: Финансы и статистика, 1988. - 328 с.
3. **Тейл Г.** Прикладное экономическое прогнозирование. - М.: Прогресс, 1970. - 509 с.

ԴԻՄԱ

10.05.1996

УДК 681.325

АВТОМАТИЗАЦИЯ
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

М.К. БАГДАСАРЯН

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ ПЕТРИ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Մտարկված է հատվարգի սարքիտրուսի տարբերակի աշխատանքային ռեժիմում
ֆունկցիոնալ ինվարիանտ նկարագրված համակարգի լուծել, որը հնարավորություն
է բացահայտել հարցադրման անսարքությունների տեսակ և տեղը:

Рассматривается задача проверки функционирования систем в рабочем
режиме. Для систем, описываемых сетями Петри, на основе теории
инвариантов получена модель, позволяющая выявить вид и место
неисправности.

Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

The problem for checking the system functioning in operating state is considered.
On the basis of invariant theory a model is obtained which allows to reveal the type and
place of the fault. It is for systems described by Petri net.

Ill. 1. Ref. 5.

В настоящее время общей тенденцией развития систем
управления различными производственными и технологическими
процессами является возрастание ответственности выполняемых
функций. Вследствие этого повышаются требования к оценке
состояния систем управления. Вопросам оценки состояния систем
управления посвящено значительное количество работ [1, 2 и др.].
Однако известные методы обладают такими недостатками, как
низкая достоверность и относительно низкая эффективность
предупреждения отказов систем.

В системах управления между многими переменными имеется
сложная взаимная связь, что требует для их безопасной работы
создания систем автоматического поиска неисправностей.
Рассматривается задача анализа и оценки состояния систем
управления на основе аппарата сети Петри, позволяющего выявить
локальные и структурные дефекты. Такой подход позволяет
повысить эффективность систем управления, так как сети Петри
обеспечивают адекватное описание систем с параллельно
функционирующими и взаимодействующими компонентами, а также
возможность получить ряд качественных характеристик
функционирования систем и приспособленность сетевых моделей
для анализа с помощью ЭВМ [3]. Сеть Петри определяется как
набор вида

$$N = (P, T, F, K, M_0),$$

где P, T — непустое множество элементов сети, называемых
позициями и переходами соответственно; $F \subseteq P \times T \cup$
 $T \times P$ — отношение инцидентности; K — матрица назначения.

связывающая объекты и выполняемые на них операции;
 $M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – начальная маркировка сети.

Для выявления неисправных состояний и определения места и вида дефектов предлагается использовать теорию инвариантов для систем, модели которых представлены сетями Петри. При этом используются позиционные (p) и переходные (t) инварианты сети. Учитывая, что источником значений о состоянии систем является математическая модель, описывающая функционирование сети, приведем уравнение, описывающее функционирование сети N в исправном состоянии [4]:

$$M_n = M_0 + (F^* - F)KS(\sigma), \quad (1)$$

$$F^* - F = F,$$

где M_n – вектор текущего маркирования сети, характеризующий число маркеров в ее позициях; $S(\sigma)$ – число запусков перехода t_j в последовательности σ ; σ – последовательность запусков переходов; F, F^* – матрица связи переходов с соответствующими выходными и входными позициями.

Для анализа неисправных состояний в качестве дефектов рассмотрим искажение вектора текущего маркирования (ΔM) и нарушение структуры сети (ΔF). При этом получим модель, позволяющую решить задачу выявления и определения места и вида дефектов.

$$M_n = M_0 + \Delta M + FK S(\sigma), \quad (2)$$

$$M_n = M_0 + (F + \Delta F)KS(\sigma), \quad (3)$$

где p – инвариантом является вектор $X = (x_i)$, являющийся решением линейной системы $K^T X = 0$. Следовательно, используя определение p -инварианта, для всех достижимых состояний сети выполняется равенство $X M = \text{const}$, t -инвариантом является вектор $Y = (y_i)$, являющийся решением линейной системы $K Y = 0$. Для сетевой модели, графический вид которой приведен на рисунке, имеем

$$M_0 = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0),$$

$$F^* = \begin{bmatrix} 0010000 \\ 0000100 \\ 1100000 \\ 1010000 \\ 000010 \\ 0000001 \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} 1100000 \\ 1010000 \\ 0000010 \\ 0000001 \\ 00001000 \\ 0000100 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 0101010 \\ 0010101 \\ 1001111 \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} 10 \\ 01 \\ 10 \\ 01 \\ 10 \\ 01 \end{bmatrix}.$$

При анализе неисправности сети учитываем, что использование в качестве инвариантов p -позиции означает, что количество маркеров не изменяется в процессе функционирования сети, а

использование t -перехода означает, что от M_0 до $M_1 = M_0$ срабатывают все переходы сети.

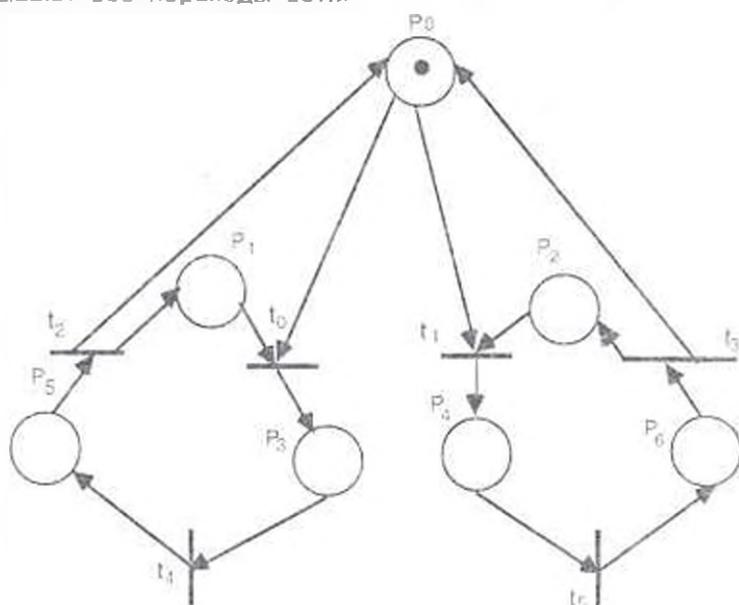


Рис.

Из вышесказанного следует, что состояние сети можно анализировать в виде

$$\Delta = XM_1 - XM_0 \text{ — при } p\text{-инварианте,}$$

$$\Delta = YM_1 - YM_0 \text{ — при } t\text{-инварианте,} \quad (4)$$

где M_0 — текущее значение вектора маркирования.

При исправном состоянии $\Delta = 0$.

Из уравнения (4) следует, что в случае дефекта, зависящего от отклонения числа маркеров на величину Δm_i от первоначального значения, соответственно получим

$$\Delta = X_1 \Delta m_1 + \dots + X_d \Delta m_d, \quad \Delta = Y_1 \Delta m_1 + \dots + Y_d \Delta m_d,$$

где $1, \dots, d$ — номер дефектных позиций.

Таким образом, для выявления дефектов, обусловленных искажением вектора маркирования, необходимо проверить линейную зависимость вектора Δ от разных сочетаний матрицы X и Y . Номер неисправных позиций и переходов можно определить с помощью разных математических методов. При поиске неисправности сравнительно простую машинную реализацию обеспечивает использование критерия рангов [5]. При этом признаком наличия l -кратной неисправности $\Delta M = D(c_1, \dots, c_l)$ (компоненты c_i с номерами c_1, \dots, c_l отличаются от нуля), приводящей к появлению ненулевого значения Δ , является выполнение равенства

$$\Delta = \text{rg}[\Delta, Xc_1, \dots, Xc_l] = \text{rg}[Xc_1, \dots, Xc_l] \text{ — при } p\text{-инварианте}$$

$$\Delta = \text{rg}[\Delta, Yc_1, \dots, Yc_l] = \text{rg}[Yc_1, \dots, Yc_l] \text{ — при } t\text{-инварианте.} \quad (5)$$

Алгоритм определения неисправных позиций и переходов сводится к выявлению всех совокупных столбцов X и Y полного ранга, удовлетворяющих условию (5). При этом номера столбцов, вошедшие во все совокупности, указывают на неисправные позиции и переходы.

Перейдем к задаче анализа неисправностей, связывающих с искажением структуры сетей. Исследуем структурные нарушения вида

$$\Delta F = \lambda F, \quad \lambda = \text{diag}[\lambda_1, \dots, \lambda_n],$$

где λ_j — целое число.

Эти нарушения приводят к искажению строк матрицы F . Цель структурных анализов состоит в определении индексов и величин ненулевых элементов матрицы λ . Предположим, что один из элементов λ_j имеет ненулевое значение, при этом матрица инцидентий искаженной сети отличается от исходной матрицы F элементами только j -й строки, которая принимает вид

$$F'_j = F_j + \lambda_j F_j, \quad \text{где } j = 1, \dots, n.$$

Учитывая, что при функционировании искаженной сети количество маркеров также не изменяется, следовательно,

$$x'M = x'M, \quad \text{при } p\text{-инварианте} \quad (6)$$

$$y'M = y'M, \quad \text{при } t\text{-инварианте} \quad (7)$$

где $x' = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ — вектор позиционных инвариантов искаженной сети; $y' = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ — вектор переходных инвариантов искаженной сети; $x'_i = x_i + \Delta x_i$, $y'_i = y_i + \Delta y_i$.

Учитывая условия (4)–(6), (7) для синдрома ошибки, обусловленной структурным искажением, получим

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta X_i (m'_i - m_i) \quad \text{при } p\text{-инварианте}$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta Y_i (m'_i - m_i) \quad \text{при } t\text{-инварианте}$$

При выявлении структурных неисправностей необходимо проверить линейную зависимость Δ от функции $(m'_i - m_i)$.

Описанный способ анализа неисправностей позволяет выявить дефекты в системах, описываемых сетями Петри, тем самым повышая эффективность функционирования систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коззев В.А. Повышение безотказности и точности нелинейных систем управления — Л.: Энергоатомиздат, 1985—128 с.
2. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем — М.: Наука, 1979. — 431 с.
3. Никонов В.В. Применение сети Петри // Зарубежная радиоэлектроника — 1986 — № 11 — С. 37—37.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем — М.: Мир, 1984 — 264 с.
5. Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем // Автоматика и телемеханика. — 1980 — № 8. — С. 96—121.

ГИУА

1.04.1997

С.Х.ГЕВОРКЯН, А.О.МЕЛИКЯН, Н. УЗУНОГЛУ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СВЕТОВОДЕ С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Տեսակետաբար, 1. սրբերարան կառուցվածք ունեցող գլանաձև թանաքապատ էլեկտրամագնիսական ալիքների արածնված խնդիրը: Իրոքված են կառավարմանների տիրույթներ, որոնց գերազան լուսադարձումը բաժանվի ալիքներ չեն արածնվում: Դասակարգված է նաև դեպք, երբ ցանցի ցանցի ցանցադասարանը արված է կառուցվածքապատան հաստիկայի օգնությամբ:

Изучается задача распространения электромагнитных волн в цилиндрическом световоде, имеющем периодическую структуру. Определены области частот, при которых поперечные волны не распространяются. Рассмотрен случай, когда модуляция показателя преломления задана при помощи тригонометрической функции.

Библиогр. 12 назв.

The problem of electromagnetic wave propagation in cylindrical waveguide with periodical structure is studied. The frequency regions where transverse waves propagation is forbidden are determined. The case of trigonometric modulation of refractive index is also considered.

Ref 12.

Вопросам распространения электромагнитных волн в регулярных слоистых средах посвящено много работ [1-3, 7-12]. Целью данной работы является задача распространения ТМ (Transverse magnetic) и ТЕ (Transverse electric) волн в цилиндрическом световоде, образованном повторением порождающей ячейки длиной 2L, состоящей, в свою очередь, из двух частей различной длины и электромагнитных свойств. На основании теоремы Флоке [4] о свойствах решения обыкновенных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами получено дисперсионное уравнение, исследованы области частот, при которых в световоде поперечные волны не распространяются. Рассмотрен также случай, когда электромагнитные свойства световода заданы при помощи тригонометрической функции.

Пусть в цилиндрической системе координат (r, θ, z) ось z направлена по образующей световода, составленного из двух периодически повторяющихся ячеек длиной $2L = 2L_1 + 2L_2$, каждая из которых изготовлена из двух скрепленных между собой цилиндров радиуса a с различными электромагнитными свойствами. Для рассматриваемой задачи из уравнения Максвелла получим две системы для ТМ и ТЕ волн

$$\nabla^2 \vec{E} = -\mu \epsilon \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 \vec{H} = -\mu \epsilon \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (1)$$

где $\nabla^2 \vec{E}$ — лапласиан векторной функции \vec{E} , который в цилиндрической системе координат имеет вид

$$\begin{aligned} \nabla^2 \vec{E} = & \vec{r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_r}{\partial r} \right) - \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 E_r}{\partial \theta^2} - E_r - 2 \frac{\partial E_{\theta}}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial^2 E_r}{\partial z^2} \right] + \\ & + \vec{\theta} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_{\theta}}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 E_{\theta}}{\partial \theta^2} - E_{\theta} + 2 \frac{\partial E_r}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial^2 E_{\theta}}{\partial z^2} \right] + \\ & + \vec{z} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial z^2} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

$\nabla^2 H$ определяется аналогично $\nabla^2 \vec{E}$: $\vec{r}^0, \vec{\theta}^0, \vec{z}^0$ — единичные векторы; μ и ϵ — магнитная и диэлектрическая проницаемость соответственно. Рассмотрим распространение TE волн типа

$$E_{\theta} = E_{\theta}(r, z) \exp(-i\omega t), \quad E_r = 0, \quad E_z = 0, \quad (3)$$

где ω — круговая частота.

Из (1), (2) и (3) получим

$$\frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_{\theta}}{\partial r} \right) - \frac{1}{r^2} E_{\theta} + \frac{\partial^2 E_{\theta}}{\partial z^2} + \mu \epsilon \frac{\omega^2}{c^2} E_{\theta} \right] = 0. \quad (4)$$

Представляя функцию $E_{\theta}(r, z)$ в виде произведения

$$E_{\theta}(r, z) = R(r)Z(z), \quad (5)$$

получим после разделения переменных два обыкновенных дифференциальных уравнения

$$\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dR}{dr} + \left(\lambda^2 - \frac{1}{r^2} \right) R = 0, \quad (6)$$

$$\frac{d^2 Z}{dz^2} + \left(\mu \epsilon \frac{\omega^2}{c^2} - \lambda^2 \right) Z = 0. \quad (7)$$

Решением уравнения (6), не имеющем особенностей при $r \rightarrow 0$, является функция Бесселя первого рода

$$R(\lambda, r) = D J_1(\lambda r), \quad 0 \leq r \leq a, \quad (8)$$

где D — постоянный коэффициент. Общее решение (7) имеет вид

$$Z(z) = A \exp \left[i \left(\mu \epsilon \frac{\omega^2}{c^2} - \lambda^2 \right)^{1/2} z \right] + B \exp \left[-i \left(\mu \epsilon \frac{\omega^2}{c^2} - \lambda^2 \right)^{1/2} z \right],$$

где A и B — постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий. Граничные условия складываются из условий на цилиндрической поверхности $r=a$ световода с учетом того, что световод рассматривается как неограниченный по длине $-\infty < z < +\infty$ цилиндр, образованный повторением порождающей ячейки длиной $2L$, состоящей, в свою очередь, из двух частей $2L_1$ и $2L_2$ с различными электромагнитными свойствами.

Предположим, что на цилиндрической поверхности световода напряженность электрического поля равна нулю

$$E_{10}|_{z=0} = 0 \quad (j=1, 2). \quad (9)$$

что приводит к трансцендентному уравнению относительно λ :

$$I_1(\lambda a) = 0. \quad (10)$$

Как известно [5], уравнение (10) имеет бесчисленное множество действительных корней $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \dots$, причем $\lambda_1 = 0$. Согласно этому, каждому значению корня уравнения (10) будет соответствовать собственная функция

$$E_{10} = I_1(\lambda_n r) \{ A_1 \exp[i(\mu_1 \varepsilon_1 \omega^2 / c^2 - \lambda_n^2)z] + \\ + B_1 \exp[-i(\mu_1 \varepsilon_1 \omega^2 / c^2 - \lambda_n^2)z]. \quad (11)$$

На поверхности разрыва электромагнитных свойств с единичной нормалью n^0 и единичной касательной s^0 удовлетворяются условия сопряжения:

$$\mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n}, \quad \varepsilon_1 E_{1\theta} = \varepsilon_2 E_{2\theta}, \quad E_{1z} = E_{2z}, \quad H_{1z} = H_{2z}. \quad (12)$$

Для рассматриваемого случая условия (12) принимают вид

$$\mu_1 H_{1r} = \mu_2 H_{2r}, \quad \varepsilon_1 E_{1\theta} = \varepsilon_2 E_{2\theta}, \quad E_{1z} = E_{2z}, \quad H_{1z} = H_{2z}, \quad (r \leq a, z=0). \quad (13)$$

Из представления (3) напряженности электрического поля и формул

$$H_r = -\frac{c}{\mu \omega} \frac{\partial E_{\theta z}}{\partial z}, \quad H_z = \frac{c}{\mu \omega r} \frac{\partial (rE_{\theta})}{\partial r} \quad (14)$$

следует, что условия сопряжения по компоненте z удовлетворяются тождественно, а по компоненте θ имеем

$$E_{1\theta}(r, 0) = E_{2\theta}(r, 0), \quad \frac{1}{\mu_1} \frac{\partial E_{1r}(r, 0)}{\partial z} = \frac{1}{\mu_2} \frac{\partial E_{2r}(r, 0)}{\partial z} \quad (r \leq a) \quad (15)$$

Из условия периодичности структуры световода следует, что (4) можно рассматривать как дифференциальное уравнение с периодическими коэффициентами, решения которого, согласно теореме Флоке, удовлетворяют условиям

$$E_{10}(r, 2l_1) = E_{20}(r, -2l_2) \exp(i\pi\xi \cdot 2L), \\ \frac{1}{\mu_1} \frac{\partial E_{10}(r, 2l_1)}{\partial z} = \frac{1}{\mu_2} \frac{\partial E_{20}(r, -2l_2)}{\partial z} \exp(i\pi\xi \cdot 2L), \quad (16)$$

где ξ - волновое число.

Удовлетворяя граничным условиям (15) и (16), на основании (11) получим

$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2, \quad \frac{\lambda_1}{\mu_1} A_1 - \frac{\alpha_1}{\mu_1} B_1 = \frac{\alpha_2}{\mu_2} A_2 - \frac{\alpha_2}{\mu_2} B_2, \\ A_1 \exp(2i\alpha_1 l_1) + B_1 \exp(-2i\alpha_1 l_1) = \\ = A_2 \exp(-2i\alpha_2 l_2) \exp(i\pi\xi \cdot 2L) + B_2 \exp(-2i\alpha_2 l_2) \exp(i\pi\xi \cdot 2L), \quad (17)$$

$$\frac{\alpha_1}{\mu_1} A_1 \exp(2i\alpha_1 \ell_1) - \frac{\alpha_2}{\mu_2} B_2 \exp(-2i\alpha_2 \ell_2) =$$

$$= \frac{\alpha_2}{\mu_2} A_2 \exp(-2i\alpha_2 \ell_2) \exp(i\pi \xi 2L) - \frac{\alpha_1}{\mu_1} B_1 \exp(-2i\alpha_1 \ell_1) \exp(i\pi \xi 2L),$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2a} \left[\Omega^2 - \frac{4}{\pi^2} (\lambda a)^2 \right]^{1/2}, \quad \alpha_2 = \frac{\pi}{2a} \left[\chi^2 \Omega^2 - \frac{4}{\pi^2} (\lambda a)^2 \right]^{1/2},$$

$$\chi = \left(\frac{\mu_2 \varepsilon_2}{\mu_1 \varepsilon_1} \right)^{1/2}, \quad \Omega = \frac{2a}{\pi} (\mu_1 \varepsilon_1)^{1/2} \omega.$$

Из условия существования нетривиального решения системы (17) получим уравнение для определения волнового числа

$$\left(\frac{\alpha_1}{\mu_1} + \frac{\alpha_2}{\mu_2} \right) \cos 2(\alpha_1 \ell_1 + \alpha_2 \ell_2) - \left(\frac{\alpha_1}{\mu_1} - \frac{\alpha_2}{\mu_2} \right) \cos 2(\alpha_1 \ell_1 - \alpha_2 \ell_2) =$$

$$= 4 \frac{1}{\mu_1} \frac{1}{\mu_2} \alpha_1 \alpha_2 \cos 2\pi i \xi \tilde{\xi}. \quad (18)$$

Для исследования решений уравнения (18) удобно представить его в виде

$$\cos 2\pi i \xi \tilde{\xi} = g(\Omega, \lambda, \beta, \chi, \ell_1/a, \ell_2/a), \quad (19)$$

где

$$g = \cos \left[\frac{\pi \ell_1}{a} \left(\Omega^2 - \frac{4\lambda^2 a^2}{\pi^2} \right)^{1/2} \right] \cos \left[\frac{\pi \ell_2}{a} \left(\chi^2 \Omega^2 - \frac{4\lambda^2 a^2}{\pi^2} \right)^{1/2} \right] -$$

$$- \frac{1}{2} \left(\beta + \frac{1}{\beta} \right) \sin \left[\frac{\pi \ell_1}{a} \left(\Omega^2 - \frac{4\lambda^2 a^2}{\pi^2} \right) \right] \sin \left[\frac{\pi \ell_2}{a} \left(\chi^2 \Omega^2 - \frac{4\lambda^2 a^2}{\pi^2} \right) \right], \quad \beta = \frac{\mu_1 \alpha_2}{\mu_2 \alpha_1}.$$

Как видно из (19), эффект периодичной неоднородности проявляется в том, что существуют области частот Ω , зависящие от электромагнитных и геометрических характеристик световода, для которых электромагнитная волна не распространяется вдоль световода. Эти области определяются условием $|g| < 1$. Уравнение (19) и свойства его решений хорошо известны по проблеме распространения волн в слоистых средах [6]. Важным применением особенностей распространения световых волн в волноводе с периодической неоднородностью может быть компенсация дисперсии материалов волновода дисперсией, которая возникает за счет периодичности, что приводит к уменьшению искажений при передаче информации с помощью световых импульсов. Для проведения численных оценок удобнее рассмотреть случай неоднородного световода с непрерывно меняющимися электромагнитными свойствами. Предположим, что среда немагнитная, т.е. $\mu = 1$, а $\varepsilon = n$ можно представить при помощи периодической функции

$$n = n_0 + n_1 \cos qz \quad (20)$$

где n_0 — показатель преломления; n_1 — его постоянная часть; q — амплитуда модуляции; $2\pi/q$ — период модуляции.

Используя представление (20) и пренебрегая членом второго порядка относительно λ , выражение (7) можно записать в виде известного уравнения Матье

$$\frac{d^2 Z}{dz^2} + (\chi + b \cos 2z) Z(z_1) = 0, \quad (21)$$

где

$$z_1 = \frac{qz}{2}, \quad \chi = \frac{K_0^2 - \lambda^2}{(q/2)^2}, \quad K_0 = \frac{\omega n_0}{c}, \quad b = 2 \frac{n_1}{n_0} \left(\frac{K_0}{q/2} \right)^2.$$

c — скорость света в вакууме; ω — частота света; λ_m , $m = 1, 2, \dots$ определяется из граничного условия на поверхности $z = a$ световода. Если, к примеру, принять $E_z(z_1 = 0) = 0$, то λ_m определится из уравнения (10). Как известно [4], при определенных граничных условиях существуют решения (21), которые можно представить в виде

$$Z(z_1) = \exp[2i\mu(\omega)z_1] \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k \exp(2kiz_1), \quad (22)$$

где C_k определяется из бесконечной системы однородных линейных уравнений, получающихся при подстановке (22) в (21). μ — характеристический показатель, который определяется из условия существования нетривиального решения бесконечной системы линейных однородных уравнений относительно C_k .

$\text{ch} \pi \mu(\omega) = 1 + 2\Delta(0) \sin^2 \frac{\pi}{2} \sqrt{\chi}$, причем $\Delta(0)$ обозначает детерминант

Хилла [4]. Приближенное значение $\mu(\omega)$ для малых значений b можно найти из разложения по степеням b

$$\text{ch} \pi \mu = 1 + 2 \sin^2 \frac{\pi}{2} \sqrt{\chi} + \frac{\pi b^2}{4(1-\alpha) \sqrt{\chi}} \sin^2 \pi \sqrt{\chi} + O(b^4) \quad (23)$$

Из (23) следует, что эффект периодичности будет наибольшим, если $\chi \ll 1$. Пусть $n_1 = 0,1$, $K_0 = \omega/c \cdot n_0 \sim 10^7 \text{ см}^{-1}$. При этих параметрах значение χ близко к единице, если λ близко к K_0 . Для $m = 10$

$a = \frac{\pi m}{\lambda n_0} = \pi n / K_0$, т.е. a имеет порядок нескольких микронов.

Таким образом, при вполне достижимых значениях параметров может быть решена задача компенсации дисперсии материалов световода. Благодаря этому можно избежать дисперсионного расплывания световых импульсов, несущих информацию, и, следовательно, искажения информации.

Это указывает на возможность применения полученных результатов в волоконно-оптических системах связи, которые в последние годы получают все более широкое распространение.

Վերջին տարիներին ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) պատրաստման տեխնոլոգիաների զարգացմանը զուգընթաց նկատելիորեն աճում է ռետաքրքրությունը նեյրոնային տրանսբանակաւ տարրերի (ՆՏՏ) նկատմամբ, [1-3] եւ ի հայտ են գալիս ՆՏՏ-ի տեխնիկական իրականացման զանազան սխեմաներ [4-5] Այդ տրանսբանակաւ տարրերը հետաքրքիր են նրանով, որ դրանց հիման վրա կառուցվելիք նոր սերնդի էՉՍ-ն (նեյրոքոմպիյութեր) կկարողանա հեշտությամբ լուծել քարդ գործողություններ, ինչպիսիք են պատկերների դասակարգումը եւ ճանաչումը, լավարկման խնդիրների լուծումը եւ այլն: ՆՏՏ-ի հիմքով տեխնիկական սարքավորման նախագծման դեպքում հաջողվում է մի քանի անգամ կրճատել դրանց չափերը եւ ճարձրացնել հուսալիությունը [6]:

Ֆորմալ նեյրոնի իրականացման հայտնի մոդելները հաճախ ունենում են սահմանափակ գործառական հնարավորություններ կամ իրականացման տեսակետից մեծածավալ են: Ելնելով դրանից սովյալ աշխատանքում ներկայացվում է ֆորմալ նեյրոնի տեխնիկական իրականացման մի տարբերակ (քվաոի-նմանակային ֆորմալ նեյրոն ՋՆՖՆ), որը մշակված է մաթեմատիկական մոդելի հիման վրա:

Քվազի-նմանակային ֆորմալ է կոչվում այնպիսի նեյրոնը, որը իրականացնում է հետեւյալ ֆունկցիան

$$F = \sum_{i=1}^n W_i X_i \text{ եւ } f \in \{0, \pm b, \pm 2b, \pm 3b, \dots\}, \quad (1)$$

որտեղ $W_i \in \{\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$ եւ $b = \text{const}$:

Ղասական ֆորմալ նեյրոնի հիմքում ընկած է շեմային տարրը (ՇՏ), որն ունի W_i կշիռներով դրական եւ բացասական մուտքեր եւ Θ շեմով ելք: Այն դրականացնում է հետեւյալ տրանսբանակաւ ֆունկցիան

$$F = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^n W_i X_i - \Theta \right), \quad (2)$$

որտեղ $W_i \in \{\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$, $\text{sign}(\varphi) = \{0, \varphi < 0\}; 1, \varphi \geq 0\}$

Ենթադրենք, որ տրված մուտքի W_i բաշային գործակիցը կարող է լինել մեկ միայն դրական կամ միայն բացասական արժեքներ կատարելով մարեմատիկական ձեւաւիճություններ կստանանք

$$\sum_{i=1}^n W_i X_i = \sum_{i=1}^k W_i X_i + \sum_{i=k+1}^n W_i X_i = \sum_{i=1}^k |W_i| X_i - \sum_{i=k+1}^n |W_i| X_i, \quad (3)$$

$W_i \in \{1, 2, 3, \dots\}$:

Ելանակներ

$$W_i = |W_i|, \quad 1 \leq i \leq k \text{ եւ } W_i = -|W_i|, \quad k+1 \leq i \leq n \quad (4)$$

Համատեղ լուծելով (3) եւ (4)-ը, կստանանք

$$\sum_{i=1}^n W_i X_i = \sum_{i=1}^k W_i X_i - \sum_{i=k+1}^n W_i X_i, \quad (5)$$

Ըստ տրված պայմանի կատարված ձեւափոխություններն ամբողջովին համարժեք են դասական ֆորմալ նեյրոնի ֆունկցիային (տրված մուտքը կարող է

ընդունել միայն դրական կամ միայն բացասական արժեքներ), չնայած նրա բացասական մուտքերի կշիռներին տրվել է դրական բնույթ:

Արդյունքում ստացվում է

$$f = f_1 - f_2 \quad (6)$$

Ֆունկցիան, որտեղ \ominus չեմը հաշվի չի առնվում, այսինքն

$$f_1 = \sum_{i=1}^n W_i^+ X_i, \quad f_2 = \sum_{i=1}^n W_i^- X_i, \quad f = \sum_{i=1}^n W_i X_i$$

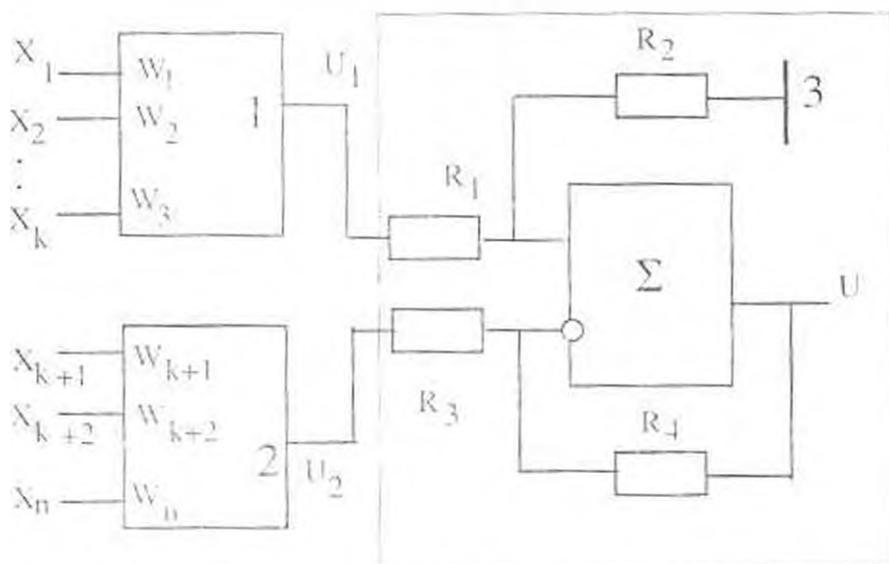
Ընդհանուր դեպքում f -ի արտահայտության մեջ կարելի է ավելացնել a_1 և a_2 գործարկիչներ

$$f = a_1 f_1 - a_2 f_2 \quad (7)$$

Եստեղից $a_1 = a_2 = 1$ դեպքում ստացվում է դասական ֆորմալ նեյրոնի արդյունքը: ստիճից (6) արտահայտությունը: ՔՆՖՆ-ը վերագնում է դասական ՖՆ-ի գործարկիչի ամրամակարդակը ($F=0$ կամ $F=1$ ֆունկցիայի արժեքների փոխարեն կոմբինացիայից (7) ֆունկցիան)

ՔՆՖՆ-ի կազմը արտահայտված տեսանկյունից (7) ֆունկցիայի իրագործումը կարելի է ներկայացնել մի 1-ում բերված բյուկ-սխեմայով: 3-րդ ռանգույցի օպերացիոն ուժեղացուցիչի ՕՈՒ-ի միջոցով իրականացնում է հետևյալ ֆունկցիան

$$U = k_1 U_1 - k_2 U_2 \quad (8)$$



Նկ. 1 ՔՆՖՆ-ի բյուկ-սխեման, $U = k_1 U_1 - k_2 U_2$, $k_1 = (1 + R_4/R_3) / (1 + R_4/R_2)$, $k_2 = R_2/R_3$

Այստեղ (7) ֆունկցիան հանդես է գալիս լարման, իսկ a_1 և a_2 մեծությունները k_1 և k_2 գործարկիչների տեսքով W_i բաշային գործարկիչները ևս դրական են, ուսկ $\sum W_i X_i$ գումարը կատարվում ՕՈՒ-ի միջոցով, որով եւ փոխվում է այդ գումարի բնույթը: Այստեղից բխում են ՔՆՖՆ-ի մի շարք առավելություններ:

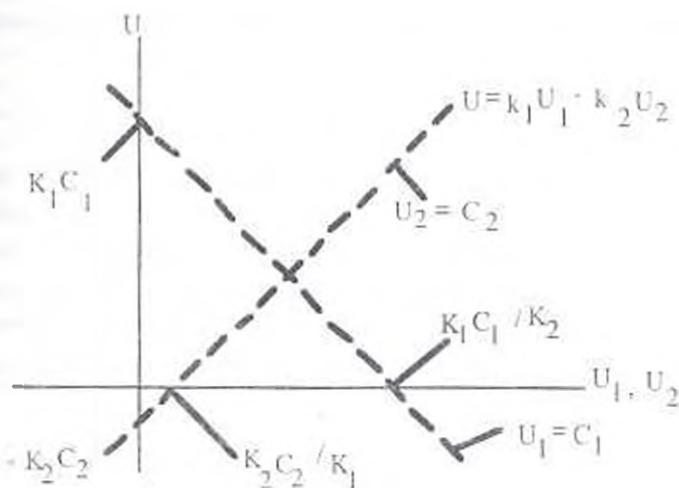
ա) $U_1(F_1, F_2)$ եւ $U_2(F_1, F_2)$ ֆունկցիաները կարելի է ստանալ նույնատիպ սխեմայի միջոցով

բ) ի տարբերություն դասական ՖՆ-ի այստեղ ինֆորմացիայի կորուստ գրեթէ չկա այն առումով, որ մեյորոնի վիճակը կարելի է գնահատել ոչ միայն նրանով այն զրգոված է ($F=1$) կամ ոչ ($F=0$), այլ նաեւ թե ինչքան է նրա շրջումն կամ հանգստի աստիճանը.

գ) եթե կշիռների ձեւավորման սխեմայում օգտագործվի չափանմուշային հոսանքի կամ լարման աղբյուր, ապա այն կարող է ընդհանուր լինել թե դրական եւ թե բացասական ինֆորմացիայի հանգույցների համար: Չափանմուշային աղբյուրի արժեքից կախված չեն չինի ոչ միայն դրական, այլեւ բացասական մուտքերի կշիռների արժեքները (կշիռները ձեւավորվում են չափանմուշային կշռի համեմատ, ինչն առաջանում է չափանմուշային աղբյուրի միջոցով): Այսինքն թե դրական եւ թե բացասական մուտքերի կշիռների հարաբերությունը չի փոխվի, եթե նույնիսկ փոխվեն չափանմուշային աղբյուրի պարամետրերը:

ՔՆՖՆ-ն հիմնական թերությունն այն է, որ նույն մուտքը չի կարող հանդես գալ եւ որպես դրական, եւ որպես բացասական կշռով մուտք:

Ելքային $U = k_1 U_1 - k_2 U_2$ ֆունկցիան դրսեւորվում է հետևյալ կերպ (նկ. 2):



Նկ. 2. ՔՆՖՆ-ի ելքային ֆունկցիայի գրաֆիկը U_1, U_2 արժեքներից

ա) $U_2 = \text{const} = C_2$, որը համապատասխանում է այն պահերին, երբ բացասական մուտքերին տրված զու մարային ինֆորմացիան չի փոփոխվում

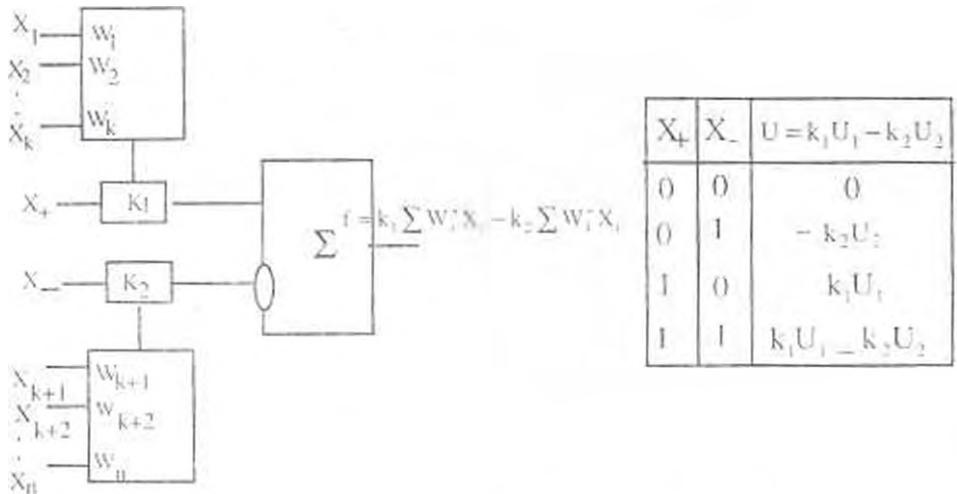
$$U = k_1 U_1 - k_2 C_2 = k_1 U_1 - C'_2, \quad C'_2 = k_2 C_2 = \text{const}, \quad t_{\text{գա}} = k_1: \quad (9)$$

k_2 -ը փոփոխելու դեպքում այդ ֆունկցիաների դիրքերն իրար զուգահեռ են փոփոխվում, այսինքն, եթե տվյալ պահին $U < E_2$ (Θ շնմի ազելացման դեպքում), առանց դրական զումարային ինֆորմացիայի փոփոխման U -ն կարելի է մեծացնել E_2 -ից եւ ընդհանրապես:

բ) $U_1 = \text{const} = C_1$, այս դեպքում չի փոփոխվում դրական գումարային ինֆորմացիան

$$U = k_1 C_1 - k_2 U_1 = C' - k_2 U_1, \quad C' = k_1 C_1 = \text{const}, \quad \text{tga} = k_1 \quad (10)$$

բ)-ի դեպքում կրկնվում են ա) դեպքի նույն հատկությունները, միայն հակառակ տրամաբանությամբ



Նկ 3 ա) ՁՆՖՆ-ի բուն սխեման k_1, k_2 բաշային գործակիցների առանձնացված տեսքով, բ) ճշմարտության աղյուսակը

ՁՆՖՆ-ի k_1 և k_2 գործակիցների փոփոխմամբ կարելի է Ս ելքային ֆունկցիայի վրա փոփոխել դրական և բացասական մուտքերի գումարային ազդեցության աստիճանը: Այս հատկությունը ինֆորմացիայի առումով ՖՆ-ին ավելի ճկուն է դարձնում: Չնտեսարար k_1 և k_2 գործակիցներն ենս կարելի է տալ բաշային գործակիցներ անվանումը, առաջինը դրական, իսկ երկրորդը բացասական գումարային ինֆորմացիայի համար (նկ 3): Ինչպես W_i ցանկագած կշիռ, այնպես էլ k_1 և k_2 բաշային գործակիցները կարելի է փոփոխել նույնատիպ սխեմատեխնիկական լուծումներով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Варшавский В.И. Пороговая логика, - М.: Мир, 1967, - 234 с.
2. Вавилов Е.Н. и др. Синтез систем на пороговых элементах, - М.: Сов. радио, 1970 - 368 с.
3. Мкртчян С.О. Нейроны и нейронные сети, - М.: Энергия, 1971, - 231 с.
4. Мкртчян С.О. Проектирование логических устройств ЭВМ на нейронных элементах - М.: Энергия, 1977 - 200 с.
5. А.с. 600711 (СССР). Пороговый логический элемент / Мкртчян С.О. и др. (СССР). - БИ, № 12, 1978.
6. Մկրտչյան Ս.Յ. Միկրոսխեմատեխնիկա | մաս / ԳՊԸՅ, - Երևան, 1996 - 116 էջ:

ԳՊԸՅ

15.10.1996

ՀՏԴ 621.391.03

ՈԱԴԻՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

Վ.Ե. ԱՌՈՒՄՏԱՄՅԱՆ

ՀՆՈՍՈՒՄԱՅԻՆ ԿՈՒԵԿ

Դիտարկվում է ազդանշանների թվային մշակման միջոցով հեռախոսային կապի սյուշտպանվածությունն ապահովող հեռախոսային կողմի կառուցման և իրագործման հնարավորությունը:

Рассматривается возможность построения и реализации телефонного кодека, позволяющего обеспечить защиту аналоговой телефонной связи путем цифровой обработки сигнала.

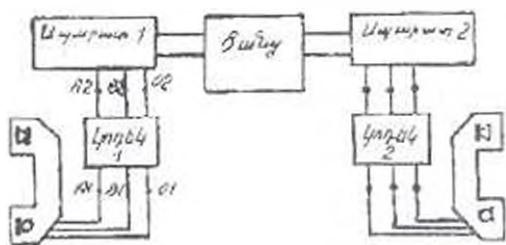
Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

The possibility of construction and realization of telephone codec is examined permitting to provide the protection of analog telephone communication by digital processing of an analog signal.

Ил 3 Ref. 3

1. *Խնդրի էությունը:* Սովորական նմանակային հեռախոսային կապը պաշտպանված չէ կողմնակի կանխամտածված կամ պատահական լսողից: Գեռախոսեւսային կողմեր (կողեր-դեկոդեր) կոչված է այդ բացը լրացնելու. ուստի նման սարքի տեխնիկական հիմնավորումը եւ իրականացումը կարելու գիտագործնական նշանակություն ունի:

Կողմերը չպետք է որբեւ ձևով խանգարի հեռախոսի բնականոն աշխատանքին եւ ոչ էլ լրացուցիչ պահանջներ ներկայացնի գոյություն ունեցող ցանգերին. ջայդ կարող է հնարավորություն ընձեռել իրագործելու գոյություն ունեցող նմանակային հեռախոսային ցանցերի պաշտպանված կապ:

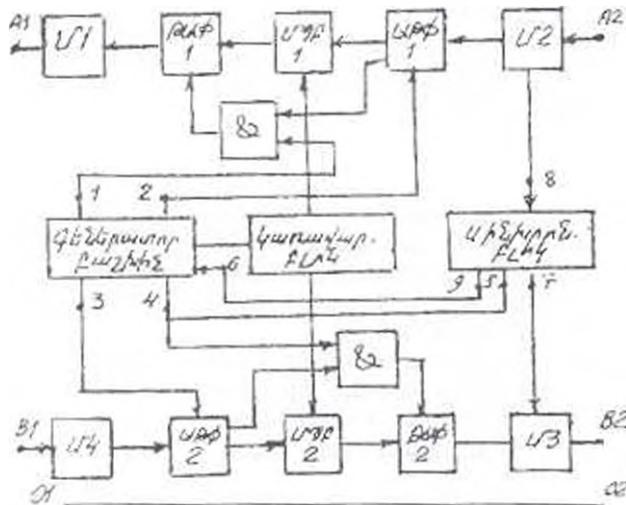


Այ 1

Այ. 1-ում բերված է կողմի եւ հեռախոսային սարքի միացման բլոկ-սխեման: Չայնային ազդանշանը U 4 մասշտաբավորող սարքում (նկ. 2) բերվում է ԱԹՓ2-ի համար ընդունելի տեսքի (լարումը մինչեւ 10 4 հաճախությունների 0.1 4 թվ-ը ընդգրկություն): Գոմերատոր-բաշխիչ սարքից 3 դողով 8 4-րդ հաճախության SSL ազդանշաններով (նկ.3) իրականացվում է նմանակային ազդանշանի ընդհատավորումը պահպանելով $f_u \gg 2f_s$ պայմանը [1] որտեղ f_s -ն ընդհատավորման հաճախությունն է. իսկ f_u -ն նմանակային ազդանշանի տարրապատկերի վերին սահմանը: Այնուհետեւ ԱԹՓ2-ի մեջ հաշվանքը $f_{\text{ու}}$

հաճախությամբ քվանտացվում է ($f_{\text{կոդ}} \gg f_{\text{ս}}$) և փոխակերպման $T_{\text{կոդ}}$ ժամանակ հետո զուգահեռ N կարգանի երկուսական կոդի տեսքով հաստատվում է ԱՓԹ2-ի ելքում: Քանի որ ազդանշանի հետագա վերականգնման ճշտությունը կախված է կարգանիչների քվից [2], մեծ ճշտություն ապահովելու համար N -ը պետք է հնարավորին չափ մեծ լինի՝ Սակայն մեծ N -ի դեպքում փոխակերպումը երկար է տևում, քանի որ $t_{\text{կոդ}} = N / f_{\text{կոդ}}$, որտեղ $T_{\text{կոդ}}$ -ը քվանտացման ազդանշանների տարբերությունն է կոդի հետագա միկրոպրոցեսորային մշակման (ծածկագրման) ժամանակը, $f_{\text{կոդ}}$ -ն զուսարկելով $f_{\text{ս}}$ -ին, կարող է զերազանցել ազդանշանի վերականգնման քույատրելի ժամանակի, որը պետք է փոքր կամ հավասար լինի $T_{\text{դ}}$ -ից:

$$t_{\text{կոդ}} + t_{\text{ս}} \leq T_{\text{դ}} = 1 / f_{\text{ս}}$$

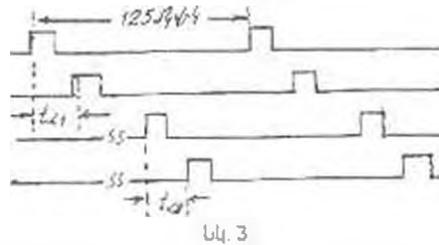


ԱԿ.2

ԱՓԹ2 փոխակերպիչը 125 մկվ ընդմիջումով ծայնային ազդանշանների լարումը վերածում է հաշվանքների, իսկ այնուհետև յուրաքանչյուր հաշվանք փոխակերպվում է N -կարգանի զուգահեռ երկուսական կոդի: Այս կողը պահպանվում է այնքան ժամանակ ($T_{\text{կոդ}} - t_{\text{ս}}$), մինչև զայիս է հաջորդ հաշվանքի փոխակերպման ազդակը: Այդ ընթացքում ՄԳԲ2 միկրոպրոցեսորային բլոկում պետք է ավարտվի N կարգանի երկուսական կոդի վերակոդավորումը (ծածկագրումը) և իջրեւ նոր դարձյալ N կարգանի կոդ փոխանցվի ԹԱԹ2 փոխակերպիչ բլոկին: Եթե միկրոպրոցեսորային բլոկը էլքում հիշող գրանցիչ չունի, $T_{\text{կոդ}} - t_{\text{ս}}$ ժամանակամիջոցի մի մասը պետք է հատկացնել ԹԱԹ2-ում կոդ-հաշվանք փոխակերպմանը:

Ցածր հաճախության գտիչը կառուցում է այդ հաշվանքների պարուրիչը և նույն տոնային հաճախությունների տիրույթում ձեւավորում է մի նոր արդեն ծածկագրված նմանակային ազդանշան, որը բավարարում է ցանցի պայմանները: Ամպլիտուդային համապատասխանության հանգեցնելու համար օգտագործված է ԱՓ3 ուժեղացուցիչ եւ խառնիչը, որը սինթրոագզանշանները, խառնելով տեղեկատվային նմանակային ազդանշաններին, ձեւավորում է կապուղային ազդանշանը կազմված ծածկագրված նմանակային ազդանշանից և սինթրոագզանշանից:

3. *Սինքրոնացման բլոկ*: Սրա դերն այն է, որ ուղարկող եւ ընդունող ժայրերին ազդանշանների ընդհատավորումը, հետագա վերանշակումը եւ վերականգնումը կատարվեն «համաքայլ» այսինքն նմանակային ազդանշանի յուրաքանչյուր հաշվանք ընդհատավորման որ «թվի» ազդակով է ձեւավորվել ու մշակվել ուղարկող ժայրին. նույն «թվի» ազդակով էլ պետք է ձեւավորվի եւ վերականգնվի ընդունող ժայրին:



Թվային կապի համակարգերում այս խնդիրը լուծված է եւ լայնորեն կիրառվում է [1, 3], որը սակայն բնի է ուսումնասիրված ցածր հաճախային նմանակային կապի համակարգերում: Սույն աշխատանքում առաջարկվում է հետեւյալ սինքրոնացման սկզբունքը: 3 կՊց հարմոնիկ ազդանշանները մոդուլավորվում են տվիչ զեներատորի 8 կՊց ազդակները 25-ի բաժանելուց ստացվող մեանդր ազդակներով (250 Պց): Ընդունող ժայրին տեղի է ունենում հակառակ գործընթացը՝ Ձտիչը ընտրում է 3 կՊց ռադիոազդակները, դեդեկտումից հետո այն բազմապատկում 2⁵-ով՝ Ուստի բազմապատկիչի ելքում վերականգնվում են 8 կՊց ազդակները, որոնք ժամանակային առումով կապված են ուղարկող ժայրի նույն 8 կՊց իմպուլսի հետ, Արանցից ձեւավորվում են 2 եւ 1 շարքերը (նկ. 3), որոնցից 2-րդ ԱԹՓ 1-ում ընդհատավորում է ընդունված նմանակային (ծածկագրված) ազդանշանը իսկ 1-ը միկրոպրոցեսորից ստացված ապածածկագրված կողք ԹԱՓ 1-ում դարձնում է հաշվանք: Հաշվանքներից էլքային ցածր հաճախության զտիչը ձեւավորում է (վերականգնում է) այն, ինչ որ ուղարկվել էր:

4. *Նմանակ-թիվ փոխակերպման ուղեսարքվածք*: K111317B1 տիպի ԱԹՓ միկրոսխեման կարող է փոխակերպում իրագործել մուտքային ազդանշանի 0 - 10 Վ ընդգրկույթի դեպքում, ուստի Ս 4 ուժեղացուցիչը միկրոֆոնից ստացվող 0 - 10 մՎ ազդանշանը պետք է 10³ անգամ ուժեղացնի: Այդ նպատակի համար կարելի է օգտագործել K154YD3 կամ K140YD7 միկրոսխեմաները: Ընդհատավարող ազդակի վերջից սկսած 1 - 30 մկվ ժամանակի ընթացքում վերջանում է թվային կոդի ձեւավորումը՝ Այնուհետեւ կողք պահպանվում է մինչեւ հաջորդ ընդհատավարող ազդակի գալը (մոտ 90 մկվ), որի ընթացքում պետք է կատարվեն թվային մշակման (ծածկագրման) բոլոր աշխատանքները:

5. *Միկրոպրոցեսորային բլոկ*: Լաքորատոր փորձանմուշի համար K155 միկրոսխեմաներից կառուցվել է նմանակիչ, որն առանց հիշողության համակցման սխեմա է նմանակիչում կարելի է կողք կամ նրա մի մասը շրջել, կարգերը փոխել եւ այլն: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ նմանակիչը կարող է իրացնել ծածկագրման մոտ 100 դեպք, սակայն այս խնդրի միկրոպրոցեսորային բլոկի մշակումը լրացուցիչ ուսումնասիրության կարիք ունի:

Գ Ր Ա Կ Ա Ն ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

1. Басва Н.Н. и др. Многоканальные системы передачи. - М.: Радио и связь, 1997. - 560 с.
2. Smith D. Digital transmission Systems. - New York: VNB, 1985 - 173p.
3. Беллами Дж. Цифровая телефония. - Радио и связь, 1986. - 544 с.

А.Ш. БОЗОЯН, Ш.Е. БОЗОЯН

О ВОССТАНОВЛЕНИИ СИНХРОНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Չորմասկում սխեմաների նախագծան իդեալիզացիայում նախընտրվող (ներառյալով է. որ սխեմայի տարրերն իրեն օգտագործելի արդյունքները փոխանցվում են «սխեմարարողին» իրական սարքերում մեզ անհրաժեշտ պարամետրները փոխանցվում են որպեսզի մոմենտավոր ապահովվի հոսանքի և ջերմության համապատասխանության վերականգնումը ինչպիսի որը արտահանում է սխեմայի այս կամ այն կոմպոնենտի սարքերից նախապես սարքերը միմեկի մեջտեղի հարաբերակցությունը լինում էրան կոմպոնենտներից փոխանցվում արդյունավետ արգրվելը:

При переходе от идеализированного варианта проектирования функциональных схем (где предполагается, что элементы схемы входу информации обрабатывают «мгновенно») - реальному (когда элементы обрабатывают информацию за определенное время) возникает проблема восстановления синхронизации схемы, которая требует в определенных узлах схемы добавления элементов задержки. На основании строчного описания схемы разработан эффективный алгоритм восстановления ее синхронизации.

Ил. 1. Библиогр. 1 назв.

During transition of an idealized case of functional schemes design (when there is assumed that all elements of the scheme process the input information "immediately" to real case (where it is presumed that elements take some time to process the information), there occurs problem of restoring the scheme synchronization. The latter implies addition of delay elements to specific spots in the scheme. Based on the line-by-line scheme description language, an effective algorithm of restoring scheme's synchronization is developed.

Ил. 1. Ref. 1

При логическом проектировании дискретных схем весьма актуальным является рассмотрение схем из функциональных элементов. На первом этапе проектирования обычно пропускается фактор задержек элементов и проводов, соединяющих элементы между собой. Иными словами, принимается, что элементы срабатывают входную информацию «мгновенно», а провода, соединяющие элементы, передают ее также «мгновенно». На втором же этапе, учитывая фактор наличия задержек в элементах и проводах, в соответствующих местах схемы добавляются элементы с задержками, обеспечивающие временную синхронизацию и, тем самым, работоспособность схемы. Осуществление этого этапа называется *восстановлением временной синхронности* схемы.

Целью настоящей работы является разработка эффективного алгоритма восстановления временной синхронности функциональной схемы с использованием одного варианта строчного описания функциональной схемы [1].

Первоначально представим принцип работы языка строчного описания дискретных схем, затем формализацию искомого алгоритма

на данном языке. Использование описания схемы посредством данного языка эффективно тем, что оно (описание) является удобным инструментом как для описания самой схемы, так и для машинной реализации данного алгоритма.

Кратко опишем принцип строчного описания схемы из функциональных элементов (обобщение польской бесскобочной записи) [1]. Описание рассмотрим на конкретном примере, в котором, однако, общий принцип обрисовывается четко. Рассмотрим схему, изображенную на рисунке.

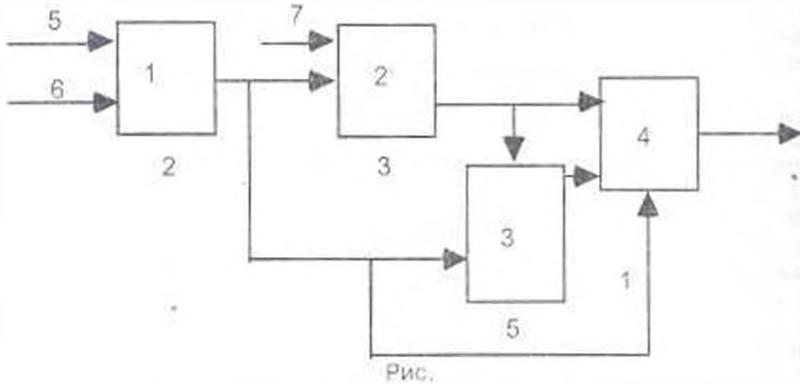


Рис.

Описание начинается с выходного элемента схемы (в данном случае, элемента под номером 4). Дается название элемента, в скобках - два параметра: число входов элемента (если элемент рассматривается впервые, в противном случае - ноль), число единиц задержки элемента. Затем рассматривается тот элемент, выход которого связан с первым (считая "слева") входом предыдущего элемента и т.д. Описав таким образом подсхему, выход которой соединен с первым входом выходного элемента, аналогично описываются подсхемы, выходы которых соединены со вторым, третьим и т.д. входами выходного элемента.

При написании названия данного элемента, если он рассматривается не впервые, больше не рассматриваются те подсхемы, выходы которых соединены со входами данного элемента. При этом входы схемы также считаются "элементами", которые не имеют входов и имеют нулевую задержку. Подробное описание этого языка можно найти в [1].

На рисунке под каждым элементом указано число единиц его задержки (время срабатывания его входной информации).

Таким образом, строчным описанием схемы, изображенной на рисунке, является:

4(3,1) 1(2,2) 6(0,0) 5(0,0) 3(2,5) 1(0,2) 2(2,3) 1(0,2) 7(0,0) 2(0,3).

Функциональная схема работает в тактовом режиме, т.е. на все входы сигналы подаются одновременно, распространяясь по элементам, и через некоторое время на выходе схемы появляется соответствующая "реакция" - определенный сигнал.

Схема работает безотказно, если при подаче на ее входы любого набора входных сигналов через строго определенное время на выходе схемы появляется тот сигнал, который бы появился в том случае, если все элементы схемы обрабатывали (а провода,

соединяющие элементы, передавали) входную информацию "мгновенно". В этом случае будем считать, что временная синхронизация схемы восстанавливается.

Поскольку у разных элементов задержки могут быть разные, возникает задача синхронизации работы элементов схемы таким образом, чтобы на любой из элементов схемы все входные сигналы поступали одновременно. Нижеопределенный алгоритм решает эту проблему. Он принимает запись несинхронизированной схемы и на выходе выдает запись уже синхронизированной схемы.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

1. Все символы $i(m, n, 0, 0)$ записи схемы заменить на $i(0, n, 0, 0)$.
Перейти к п. 2.

2. Все символы $i(0, n, 0, 0)$ заменить на $i(0, n, 0, 1)$ в случаях, когда $i(0, n, 0, 0)$ в записи схемы не предшествует символ $i(m, n, 0, 1)$, где $m \neq 0$. Отдельно запомнить $i(0, n, 0, 1) \rightarrow i(0, n, 0, 0)$ и перейти к п. 3.

3. Отрезки вида $i(m, n, 0, 0) j_1(0, n_1, \sigma_1, 1) \dots j_m(0, n_m, \sigma_m, 1)$ схемы заменить на $i(0, n^*, 0, 1)$, где $n^* = \max(n_1, \dots, n_m) + n$; все символы $i(0, n, 0, 0)$ записать на $i(0, n^*, 1, 1)$.

Отдельно запомнить:

$$i(0, n^*, 0, 1) \rightarrow i(m, n, 0, 0) \tau_k(1, n^* - n_1 - n, 1, 1) j_1(0, n_1, \sigma_1, 1) \dots \\ \dots \tau_m(1, n^* - n_m - n, 1, 1) j_m(0, n_m, \sigma_m, 1), \text{ где } \tau_k(1, 0, 1, 1) = \emptyset (1 \leq k \leq m).$$

П. 3 алгоритма применять многократно до тех пор, пока в результате не получится выражение вида $i(0, n_p, 0, 1)$. Перейти к п. 4.

4. На результирующем выражении вида $i(0, n_p, 0, 1)$ слова (от начала записи) направо многократно применять все запомненные выражения, пока они применяются. Перейти к п. 5.

5. В записи схемы, полученной в результате реализации п. 4 данного алгоритма, все $i(m, n, \sigma_1, \sigma_2) [\tau(1, n, 1, 1)]$ заменить на $i(m, n) [\tau(1, n)]$, причем $i(0, n, 1, 1)$ — на $i(0, n_0)$, если в последовательности символу $i(0, n, 1, 1)$ предшествует $i(m, n_0, 0, 0)$ ($m \neq 0$). Перейти к п. 6.

6. Пусть максимальная среди задержек элементов схемы равна P . В записи $\tau(1, n)$ заменить на последовательность $\tau_1(1, P) \dots \tau_q(1, P) \tau(1, q)$, где $n = kP + q$. Перейти к п. 7.

7. Конец.

Замечание. Синхронизированная схема работает безотказно, если сигналы поступают на ее входы с периодичностью не чаще, чем в P задержек. Таким образом, общая задержка схемы равна не суммарной задержке элементов схемы "от входа до выхода", а лишь задержке элемента схемы с наибольшей задержкой.

Пример. Рассмотрим действие алгоритма на примере схемы, представленной на рисунке.

Исходное описание схемы дано:

4(3,1) 1(2,2) 6(0,0) 5(0,0) 3(2,5) 1(0,2) 2(2,3) 1(0,2) 7(0,0) 2(0,3)

После применения п.1 алгоритма получим

4(3,1,0,0) 1(2,2,0,0) 6(0,0,0,0) 5(0,0,0,0) 3(2,5,0,0) 1(0,2,0,0)
2(2,3,0,0) 1(0,2,0,0) 7(0,0,0,0) 2(0,3,0,0).

После применения п.2 алгоритма получим

4(3,1,0,0) 1(2,2,0,0) 6(0,0,0,1) 5(0,0,0,1) 3(2,5,0,0) 1(0,2,0,0)
2(2,3,0,0) 1(0,2,0,0) 7(0,0,0,1) 2(0,3,0,0), при этом запоминается:
5(0,0,0,1) → 5(0,0,0,0);
6(0,0,0,1) → 6(0,0,0,0);
7(0,0,0,1) → 7(0,0,0,0).

После реализации первого этапа п.3 алгоритма получим

4(3,1,0,0) 1(0,2,0,1) 3(2,5,0,0) 1(0,2,1,1) 2(2,3,0,0) 1(0,2,1,1)
7(0,0,0,1) 2(0,3,0,0) при этом отдельно запоминается:

1(0,2,0,1) → 1(2,2,0,0) 6(0,0,0,1) 5(0,0,0,1).

Затем, повторяя действия на последующих этапах выполнения п. 3 алгоритма получим последовательно

1. 4(3,1,0,0) 1(0,2,0,1) 3(2,5,0,0) 1(0,2,1,1) 2(0,5,0,1) 2(0,5,1,1),
при этом запомним:

2(0,5,0,1) → 2(2,3,0,0) 1(0,2,1,1) τ₁(1,2,1,1) 7(0,0,0,1).

2. 4(3,1,0,0) 1(0,2,0,1) 3(0,10,0,1) 2(0,5,1,1),

запомним:

3(0,10,0,1) → 3(2,5,0,0) τ₁(1,3,1,1) 1(0,2,1,1) 2(2,5,0,1)

3. 4(0,11,0,1),

запомним:

4(0,11,0,1) → 4(3,1,0,0) τ₁(1,8,1,1) 1(0,2,0,1) 3(2,10,0,1) τ₁(1,5,1,1)

2(0,5,1,1).

После применения п.4 алгоритма последовательно получим

4(0,11,0,1)

4(3,1,0,0) τ₁(1,8,1,1) 1(0,2,0,1) 3(0,10,0,1) τ₁(1,5,1,1) 2(0,5,1,1),

4(3,1,0,0) τ₁(1,8,1,1) 1(2,2,0,0) 6(0,0,0,1) 5(0,0,0,1) 3(2,5,0,0)

τ₁(1,3,1,1) 1(0,2,1,1) 2(0,5,0,1) τ₁(1,5,1,1) 2(0,5,1,1).

4(3,1,0,0) τ₁(1,8,1,1) 1(2,2,0,0) 6(0,0,0,1) 5(0,0,0,1) 3(2,5,0,0)

τ₁(1,3,1,1) 1(0,2,1,1) τ₁(1,2,1,1) 7(0,0,0,1) τ₁(1,5,1,1) 2(0,3,1,1).

После применения п. 5 алгоритма имеем

4(3,1) τ₁(1,8) 1(2,2) 6(0,0) 5(0,0) 3(2,5) τ₁(1,3) 1(0,2) 2(2,3) 1(0,2)
τ₁(1,2) 7(0,0) τ₁(1,5) 2(0,3).

С учетом того, что максимальной задержкой элемента в исходной схеме было 5, применение п. 6 алгоритма приводит к следующему окончательному результату

4(3.1) $\tau_1(1.5)$ $\tau_2(1.3)$ 1(2.2) 6(0.0) 5(0.0) 3(2.5) $\tau_1(1.3)$ 1(0.2)
2(2.3) 1(0.2) $\tau_1(1.2)$ 7(0.0) $\tau_2(1.5)$ 2(0.5).

Последняя запись и является записью синхронизированной схемы.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бозоян Ш. Е. Язык описания функциональных схем / Изв. АН СССР. Техническая кибернетика - 1978 - № 6. - С. 158-166.

ГИУА

18.11.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ГИ), т. L, № 3, 1997, с. 275-276

УДК 621.785.5:621.9.025.7

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

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

ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОНВЕЙЕРА В ПЕЧАХ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРОЙ

Մշակվել է քիմիա-տեղմային վառարանում կարծր հատակաթիվածքի փրկելիմնելի վերականգնման մշակման և կտրող գործիքների գոգման կարգավորման եղանակ. հաստատվել է, որ վառարանում հարանուսի տեղաշարժման կարգավորման եղանակը կարողությունը կտրողի և կիրանելի կարծր հատակաթիվածքի փրկելիմնելի վերականգնման մշակման, գործիքների գոգման գործընթացներում և սարքեր նշանակությունը օբյեկտների փնտրմանն է:

Разработан контролируемый способ химико-термической обработки и пайки твердосплавных пластин к державкам режущих инструментов в камерных конвейерных печах. Установлено, что предлагаемый способ регулирования скорости перемещения конвейера в печи можно успешно использовать при химико-термической обработке твердосплавных пластин пайке режущих инструментов и термообработке деталей машин различного назначения.

Библиогр. - 2 назв.

A controlled method is developed for chemical/thermal treatment of hard alloy plates and soldering of cutting tools in chamber conveyor furnaces. It is shown that the proposed method for regulation of conveyor transport velocity in the furnace can be successfully used during the chemical/thermal treatment of hard alloy plates, soldering of cutting tools and thermal treatment of various purpose machine parts in machine building industry.

Ref. 2

При пайке скорость перемещения конвейера в печи выбирают экспериментальным путем, что не всегда согласуется с качественными показателями паяных соединений. Предлагается контролируемый способ химико-термической обработки и пайки твердосплавных пластин к державкам режущих инструментов в

камерных конвейерных печах, при котором скорости нагрева в зонах под пайку, выдержки и охлаждения регулируют скоростью перемещения конвейера, выбираемой в зависимости от температуры плавления припоя по формуле

$$V = (L_0 Q / T(1 + T^{m-1})) \text{ м/мин.} \quad (1)$$

где L_0 — длина зон (нагрева, выдержки, охлаждения); Q — скорость нагрева (охлаждения) изделия $С/мин$; T — температура плавления припоя, $^{\circ}C$; m — коэффициент поправки.

Коэффициент m учитывает различие в температурах плавления припоя и пайки и определяется расчетным путем: при $T=800...1200^{\circ}C$ имеем $m=0.52...0.54$.

Технологический процесс пайки осуществляется следующим образом. Сборные инструменты подают в зону нагрева камерной печи, где нагревают их со скоростью $78...90 С/мин$ до температуры $80...1200^{\circ}C$. В зоне пайки инструменты выдерживают $9...14$ мин, затем их транспортируют в зону охлаждения, где со скоростью $24...30 С/мин$ охлаждают до температуры $100...150^{\circ}C$ [1].

Проведена пайка твердосплавных пластин групп ВК и ТК со стальными державками режущих инструментов из стали марок 45 и 40Х (ножей торцевых фрез, токарных резцов, сверл, вихревых и мелких резцов) при температуре $800...1200^{\circ}C$. Использованы лагунный (марки Л62) и медный (медь электрическая) припои [2].

Скорость перемещения конвейера в зоне нагрева при пайке припоем Л62 ($T_{пл} = 900^{\circ}C$), $Q = 27...84 С/мин$, $m = 0.53$, $L_0 = 3.3...10$ м равна $V = 0.29$ м/мин. При известных значениях скорости перемещения конвейера, температуры пайки, скорости охлаждения и температуры плавления припоя согласно (1) можно определить длину зоны охлаждения в печи L_0 .

В конвейерных печах типа КВП и СКЗ имеется возможность удлинить или уменьшить зону охлаждения печи посредством установки или снятия дополнительной секции. Можно определить и время выдержки инструмента в зоне пайки при максимальной или минимальной скоростях нагрева печи. При $T_{пл} = 800...1000^{\circ}C$, $Q = 40...100^{\circ}C/с$, $m = 0.53$, $\tau = 8.3...13.8$ мин, что достаточно для получения паяного шва высокого качества.

Предлагаемый способ регулирования скорости перемещения конвейера можно успешно использовать в машиностроительном производстве при химико-термической обработке твердосплавных пластин в атмосфере защитного газа, пайке твердосплавных режущих инструментов в газовой среде без флюса, а также при термообработке деталей машин различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А с. 1044676 СССР С 23 С11/14. Способ газового азотирования твердосплавных пластин / Г.С. Овсепян (СССР) — № 3372128; 22-02; Заявл. 23.12.81, Опубл. 30.09.83. Бюл. № 35. — 6 с.
2. Есенберлин Р.Е. Пайка металлов в печах с газовой средой — М. Машгиз, 1962. — 130 с.

А.Э. МАНУКЯН

ВЫБОР ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗЕЙ ТИПА "ОДИН КО МНОГИМ" МЕЖДУ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ ЕДИНИЦАМИ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Անարկայական աշխարհի ինֆորմացիոն օբյեկտների միջև առկա բարդ հարաբերությունների արտապատկերման անկրճելի փուլ է «մեկը շատերի հետ» կապերի ֆիզիկական կազմակերպումը: Առաջարկվում է կապերի կազմակերպման լավարկված մեկ կախված տվյալների հոսքի բնույթից: Առաջված կանոններն առաջարկվում է օգտագործել գիտելիքների բազաների կառավարման համակարգերի ծրագրային միջոցների մշակման ժամանակ:

Организация связей типа "один ко многим" между организационными единицами базы знаний является необходимым этапом процесса отображения сложных отношений между ИО предметной области. Предлагается оптимальный способ организации связей типа "один ко многим" в зависимости от характера потока данных. Полученные результаты рекомендуются использовать при создании программных средств систем управления базами знаний.

Библиогр.: 1 назв.

The organization of links "one to many" between organizational knowledge base units is the necessary stage for the process of displaying complex relations between informational objects. Optimal organization methods for choosing links depending on the input data stream character are proposed. The results obtained are to be used for the knowledge base software system.

Ref. 1

Организация связей типа "один ко многим" между организационными единицами базы знаний (БЗ) является необходимым этапом процесса отображения сложных отношений между информационными объектами (ИО) предметной области. Применяются следующие два способа организации этой связи:

1. Связь между корневой и подчиненными ей организационными единицами выражается наличием определенной закономерности между координатами расположения этих единиц в памяти ЭВМ.

2. Связь организуется посредством списка указателей хранящегося у корневой организационной единицы.

Для автоматического выбора оптимального способа организации связей необходимо средствами системы управления базами знаний (СУБЗ) провести статистический учет о потоке поступающих данных и запросов. Это позволяет, в свою очередь, провести оценку ожидаемых потерь машинных ресурсов и автоматическое подключение средств организации связей, обеспечивающих минимум этих затрат. Введем зависимость оценок ожидаемых потерь от параметров потока данных и запросов.

Пусть ИО некоторого уровня представления БЗ отображаются набором $(m-1)$ организационных единиц нижестоящего уровня. В общем случае количество свойств и объем памяти, необходимой для хранения каждой из m организационных единиц, являются случайными величинами. Первый способ организации связи при распределении объема памяти (Q) , необходимой для хранения ИО, обычно вынуждает фиксировать количество свойств (m_0) и объем памяти (χ_i) , отводимый для представления каждого i -го свойства.

Не теряя общности дальнейших рассуждений, их можно принять равными, т.е. $Q = m_0 \chi$. Тогда при ведении БЗ возникают ситуации, когда размещение всех поступающих на вход системы данных об ИО становится невозможным из-за превышения объема памяти (χ_i) , требуемой для хранения данных хотя бы одного свойства с зарезервированным значением χ этого объекта. Вероятность появления такой ситуации определяется выражением

$$P_n = 1 - [1 - P \times P'(\chi_i - \chi)]^m, \quad (1)$$

где P – вероятность появления данного свойства у ИО.

Известно, что функция распределения вероятностей объемов ИО хорошо аппроксимируется функцией гамма-распределения [1]. Поэтому для вероятности $P(\chi_i > \chi)$ можно написать, что

$$P(\chi_i > \chi) = \int_{\chi}^{\infty} \frac{r^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \chi_i^{\alpha-1} e^{-r\chi_i} d\chi_i = \frac{\Gamma(\alpha, r\chi)}{\Gamma(\alpha)}, \quad (2)$$

где $r = M(\chi_i) / D(\chi_i)$, $\alpha = M^2(\chi_i) / D(\chi_i)$; $D(\chi_i)$ – дисперсия случайной величины χ_i .

При втором способе организации связей координаты расположения организационных единиц в памяти заранее не фиксируются, они формируются и помещаются в свободных фрагментах памяти по мере поступления данных о свойствах ИО. Поэтому объем памяти, необходимой для их хранения, является случайной величиной с математическим ожиданием

$$M(Q) = M(m)(S + M(X)),$$

где S – затраты памяти на организацию одного указателя. Тогда условие эффективности применения второго способа организации связей можно представить в виде $M(m)(S + M(X)) < m_0 \chi$.

Преобразуем последнее неравенство к виду $A < Y$, где $Y = m\chi$; $A = M(m)(rS + \alpha) / m$. Заметим, что $\Gamma(\alpha, Y)$ является монотонно убывающей функцией от Y , так как в (2) подинтегральное выражение всегда положительно в области $0 < Y < \infty$. С учетом вышеизложенного условие $A < Y$ можно представить в виде $\Gamma(\alpha, A) > \Gamma(\alpha, Y)$, а на основе (1) и (2) условие эффективности применения второго способа организации связей принимает вид

$$\Gamma(\alpha, A) > [1 - (1 - P_n)^m] \Gamma(\alpha) / P_n, \quad (3)$$

Использование условия (3) в средствах адаптации требует статистического учета об ИО и автоматического определения

величин $P, P(x), M(x), D(x)$, если автоматическое определение $P(x)$ затруднено, то в (3) можно принять $\alpha = 2$. Значение $\alpha = 2$ для ИЭ статистически оправдано. При таком значении величины α условие (3) преобразуется в виду

$$e^{-\lambda} (\lambda + 1) > [1 - (1 - P_0)^n] / P, \quad (4)$$

где

$$\lambda = 2 \frac{M(m)}{n_0} \left(\frac{S}{M(x)} + 1 \right).$$

Использование (4) в реальных условиях адаптации требует значительно меньших затрат человеческих ресурсов. При организации БЗ к каждой из связей типа "один ко многим" могут приписываться идентификатор и различные количественные характеристики. Если для представления связей используются указатели, то значения характеристик хранятся совместно с указателями в специальных таблицах при сортированных организационных единицах. Значения характеристик могут совпадать во многих строках этой таблицы. В зависимости от количества таких строк и распределения частот их активизации, наиболее эффективным может стать использование дополнительных таблиц для группы указателей с однозначными характеристиками. В основной таблице для этой группы указателей предусматривается лишь одна строка, содержащая указание характеристики и указание на дополнительную таблицу. Для выбора оптимального состава и структуры таблиц указателей в программных средствах адаптации возникает необходимость оценки среднего времени перехода по связям как при однотабличной так и при двухтабличной организации указателей. Выведем выражения этих оценок.

Пусть хранящаяся на диске таблица указателей из k строк с длиной строки в l байтов содержит группу из n строк, в каждой из которых l_0 байтов совпадает по содержанию и представляет собой характеристики связей. Тогда условие эффективности применения дополнительной таблицы указателей, с точки зрения минимума количества операций ввода-вывода, можно написать в виде

$$1 + \frac{k/l}{l_0} > \left(1 - \frac{n}{k}\right) \left(1 + \frac{(k-n)l}{l_0}\right) + \frac{n}{k} \left(2 + \frac{k-n+1}{l_0} + \frac{n(l-l_0)}{l_0}\right), \quad (5)$$

где l_0 — объем блока данных, обмениваемых между ОЗУ и диском, при операциях ввода-вывода. При выводе последнего условия была принята гипотеза о равновероятности активизации связей и случайном расположении таблиц указателей на диске.

Необходимость реорганизации уже существующих в БЗ таблиц указателей на принятие решения перехода от однотабличной системы организации указателей к двухтабличной рекомендуется выявить путем проверки условия (5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоногов Г.Г., Новоселов А.П. Автоматизация процесса накопления, поиска и обобщения информации. - М.: Наука, 1979. - 256 с.

ГИУА

08.02.1997

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Պետրոսյան Գ.Լ., Գալոյան Ա.Ն., Մուսայեւյան Գ.Վ., Պետրոսյան Ն.Գ. Զագրիի համալսարանի մեթոդի ծանոթման նյութերի պատասխանողական տեսութքումնկրում	167
Սարգսյան Ա.Ս. Զեպիի կառուցման կենտրոնի մեթոդների կատարելագործմանը սուբստանցիայի շարժման շահանքը	171
Արքայան Ս.Գ., Կասյան Վ.Լ., Դազարյան Ա.Ն., Թումանյան Գ.Ն., Յրանգուլյան Ա.Ա., Գալստյան Լ.Գ. Տրագրանի և Կապուտանի համարակալների ունեւորարկից Երկրագնդի տեսքան գործընթացի կետագրութուն	175
Արքայան Ս.Գ., Մարտիրոսյան Վ.Ն., Սասունցյան Մ.Է., Արքայան Ա.Ս. Մեծի գրքան կրթութիւնի միջոցով արեւմտահայ տեսքան տնիկապողական Շրմուկը	182
Խաչատրյան Գ.Ա., Գրիգորյան Գ.Բ. Յեանանի արտագործքան կար տնիկապողական և շահանքի սիւնակալից արտագործքան սիւն	187
Արքայան Ս.Գ., Օհանյան Ա.Ռ. Միւսան ժամանակի արդիւնաւորութեան ունեւորի շրջանի սիւնակալների շահանքի կոմպոզիցիայի կիրառման նեւանքարները 2	
Նիկոլի, արդիւնաւորութեան և արդիւնաւորութեան շահանքի կոմպոզիցիայի սիւնակալների շահանքի կիրառման նեւանքարները և որոնից ժողովարարական ժողովարարների	190
Խաչատրյան Վ.Ա., Ար.Պարզիչ Մ.Բ. Երկրագնդի կենտրոնական հասանքարի կրթութեան սիւնակալի շահանքի կիրառման կոմպոզիցիայի կիրառմանը	194
Մարտիրոսյան Կ.Ռ. ՅՄԻ-ի տնեւակալի աշխատանքային գույնատնեւակալի գնահատման հոյժաւորութեան ստորագրութիւնը	203
Արտեմյան Ն.Լ., Մարտիրոսյան Վ.Ա. Փոքր հզորութեան աւիանավորարարների ստորագրութեան նվազեցման նպատակ	207
Մովսիսյան Վ.Մ., Մուրադյան Ա.Ա. Մոսկովի կերպարակալների կիրառմանը	212
Նալոբջանյան Գ.Դ., Մաքարյան Վ.Ա. Էլեկտրական շղթաների կիրառմանը տեղագրութեան մեթոդների և կոմպոզիցիայի բնիկի կիրառմանը	216
Կարդաշյան Գ.Ա. Տանակալների տեղագրութեան շահանքի ստորագրութեանը	220
Բալասանյան Ա.Ե., Թաղևոսյան Գ.Վ. Երկրագնդի կենտրոնական սիւնակալների կիրառմանը տեղագրութեան կիրառմանը	226
Մարտիրոսյան Պ.Ա., Մելքոնյան Դ.Ն., Մնացականյան Մ.Ն., Սահակյան Ն.Է. Իչ ստորագրութեան արտագրութեան շահանքումնկրում հասանքի նեւանքարը	233
Մելիքյան Վ.Ե., Վարյան Ա.Օ., Սիմոնյան Ա.Ե. Թվային ՄԻՍ-երի կիրառմանը շահանքի կիրառմանը	237
Մատուրյան Ա.Ռ. Ինքնակալի կոմպոզիցիայի շահանքի դիտարկմանը բաղադրութեան ունեւորմանը	243
Թաղևոսյան Ա.Ա. ՏՏ արտագրութեան տնեւակալի գործունեւորման հասանքարի շահանքումնկրում կիրառմանը	246
Բաղդասարյան Մ.Կ. Մեծի գրքան կիրառմանը դիտարկմանը հասանքարի կիրառմանը	253
Գնորդյան Ս.Լ., Մելիքյան Ա.Ն., Ուզունզոլու Ն. Էլեկտրական կիրառմանը շահանքի կիրառմանը ստորագրութեան կիրառմանը գրքանի կիրառմանը	257
Ակրոյան Ա.Ն., Նազարյան Կ.Մ. Բնիկի կիրառմանը Գործայ կիրառմանը	262
Առուստամյան Վ.Ե. Տնեւակալների կիրառմանը	267
Բոզոյան Ա.Ե., Բոզոյան Շ.Ե. Կործանական սիւնակալի կիրառմանը տնեւակալի կիրառմանը	271
Նովեկյան Գ.Ա., Անբարյան Ն.Ա., Գալստյան Ն.Ժ., Ակրոյան Ն.Գ. Կիրառմանը կիրառմանը տնեւակալի կիրառմանը կիրառմանը	275
Մանուկյան Ա.Է. Կիրառմանը կիրառմանը տնեւակալի կիրառմանը	277

СОДЕРЖАНИЕ

Петросян Г.Л., Галоян А.Г., Мусаелян Г.В., Петросян А.Г. Метод учета трещин в теориях пластичности пористых материалов	167
Саркисян А.С. Универсальный критерий оптимизации ручных электрических машин ударного действия	171
Агбальян С.Г., Касьян В.Л., Казарян А.Н., Туманян Г.А., Франгулян А.А., Галстян Л.Г. Исследование процессов получения железного порошка из руд Разданского и Капутанского месторождений	175
Агбальян С.Г., Мартиросян В.А., Сасунцян М.Э., Агбальян А.С. Разработка технологии получения медного порошка из прокатной медной окалины	182
Хачатрян Г.А., Григорян Г.Б. Новая технология производства цемента и защита окружающей среды	187
Агбальян С.Г., Оганян А.Р. Перспективы применения водных растворов полимеров взамен индустриальных масел при закладке. 2. Выявление возможности замены закалочных масел водными растворами гликолей, поливинилового спирта, поливинилацетата и их взаимозаменяемость	190
Хачатрян В.С., Аль-Дарвиш М.Б. Решение Y-Z- формы уравнения установившегося режима электроэнергетической системы с применением матрицы Гессе	194
Марухян К.В. Разработка и реализация расчетного алгоритма оценки показателей работы сменного персонала ТЭС	203
Артемьян Г.Л., Мартиросян В.А. Метод снижения виброактивности асинхронных двигатели малой мощности	207
Мовсисян В.М., Мурадян А.С. Цифровой метод формирования выходного напряжения статических преобразователей	212
Акопджанян Г.Д., Сафарян В.С. О расчете электрических цепей путей: применения топологических методов и алгебры структурных чисел	216
Кардашян Г.А. Универсальный магнитоизмерительный прибор	220
Баласанян С.Ш., Тадевосян Г.В. Эвристический алгоритмы структурной декомпозиции дискретных систем при стратифицированном моделировании	226
Матевосян П.А., Мелконян Д.О., Мнацаканян М.Г., Саакян Г.Э. Следящая система для нестационарных условий эксплуатации	233
Меликян В.Ш., Ватян А.О., Симонян А.Ш. Модели задержки межсоединений цифровых БИС	237
Цатурян С.Р. Частотные показатели сложности динамики бокового движения самолета	243
Тадевосян А.С. Многофакторный анализ системы внешнеэкономической деятельности РА	246
Багдасарян М.К. Применение сети Петри при оценке состояния систем управления	253
Геворкян С.Х., Меликян А.О., Н. Узуноглу. Распространение электромагнитных волн в цилиндрическом световоде с периодической структурой	257
Мкртчян С.О., Назарян К.М. Синтез квази-аналогового формального нейрона	262
Арустамян В.Е. Телефонный кодек	267
Бозоян А.Ш., Бозоян Ш.Е. О восстановлении синхронизации функциональной схемы	271
Овсепян Г.С., Амбарян А.А., Галстян А.Ж., Мкртчян Г.Г. Оптимизация скорости перемещения конвейера в печи с контролируемой атмосферой	275
Манукян А.Э. Выбор формы организации связей типа "один ко многим" между организационными единицами базы знаний	277

CONTENTS

Petrossyan G.L., Galoyan A.H., Musalyan G.V., Petrosian H.G. Method of Accounting the Cracks in Porous Material Plasticity Theories	167
Sarkissyan A.C. Universal Criterion for Manual Electric Machine Optimization with Percussion	171
Aghbalyan S.G., Kasyan V.L., Kazaryan A.H., Tumanyan G.H., Frangulyan A.A., Galstyan L.G. Non Powder Production Processes Investigation Based on the Ores of Razdan's and Karapan's Deposits	175
Aghbalyan S.G., Martirosyan V.A., Sasuntsyan M.E., Aghbalyan A.S. Technology Development for Obtaining Coprecipitated Rolled Copper Dioxide	182
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 5px;">Khachatryan G.A.</div> Grigoryan G.B. New Technology for Cement Production	187
Aghbalyan S.G., Ohanyan A.R. Perspectives of Polymer Solution Application Instead of Industrial Oils During Metal Hardening Process <i>2 Possibility of Quenching Oils Substituted by Water Solutions of Glycols, Polymers, Alcohols, Polyacetates, and their interchangeability</i>	190
Khachatryan V.S., Al-Darvish M.B. Electric Power System Conditions Optimization Owing to Reactive Powers by Direct Method of Mathematical Programming in Network State	194
Maroukhyan K.V. Development and Realization of a Designed Algorithm for Estimating the Factors of Shifting Personnel Work in TES	203
Artemyan H.L., Martirosyan V.A. Method of Lowering Small Power Asynchronous Motors Vibractivity	207
Movsissyan V.M., Muradyan A.S. Digital Method of Forming Static Converter Output Voltage	212
Hakopjanyan G.U., Safaryan V.S. Electric Circuit Design for Topological Methods and Structured Number Algebra	216
Kardashyan G.A. Multipurpose Magnetic Meter	220
Balasanyan S.Sh., Tadevosyan G.V. Structural Decomposition of the Discrete Systems for Stratified Simulation	226
Matevosyan P.A., Melkonyan D.H., Mnatsakanyan M.H., Sahakyan H.E. Tracking System for Nonstationary Conditions of Service	233
Melikyan V.Sh., Vatyan A.O., Simonyan A.Sh. Models of Interconnection Delays in Digital VLSI	237
Tsatouryan S.R. Frequency Specifications of Aircraft Lateral Motion Dynamics Complexity	243
Tadevosyan A.S. Multifactor System Analysis for Foreign Economic Activity of RA	246
Bagdassaryan M.K. Petri-Net Application in Estimating the Management Systems	253
Gevorkyan S.Kh., Melikyan A.H., Uzunoglu N. Propagation of Electromagnetic Waves in the Cylindrical Lightguide with Periodical Structure	257
Mkrtchyan S.H., Nazaryan K.M. Quasi-Identical Formal Neuron Synthesis	262
Arustamyan V.E. Telephone Codec	267
Bosoyan A.Sh., Bosoyan Sh.E. On Restoring Synchronization of Functional Schemes	271
Hovsepyan G.S., Ambaryan H.A., Galoustyan A.Zh., Mkrtchyan H.G. Optimization of Conveyor Transport Velocity in Furnaces with Controlled Atmosphere	275
Manoukyan A.E. Organization of Links "One-to-Many" Between Knowledge Base Units	277