

ЭНЕРГЕТИКА

С. Г. МУРАДЯН, В. Ш. МАРТИРОСЯН

АНАЛОГОВЫЕ УСТРОЙСТВА АМЭС-2М,
 ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
 УРАВНЕНИЙ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
 СИСТЕМЫ В РАСЧЕТАХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
 ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

При расчетах и исследованиях электромеханических переходных процессов сложных энергосистем на автоматизированной модели АМЭС-2 [1] уравнения эквивалентных генераторов и нагрузочных узлов решаются методом последовательных интервалов. Применение устройств решения уравнений генераторных узлов по [2] в АМЭС-2 не представляется целесообразным ввиду ожидаемых больших погрешностей в решении, присущих методу «шаг за шагом», который по своей точности значительно уступает методу Эйлера-Коши. Из-за ожидаемых больших погрешностей в решении нецелесообразно также применение на АМЭС-2 устройства решения уравнений нагрузочных узлов [3], в котором реализован метод Эйлера.

Устройства решения дифференциальных уравнений генераторных и нагрузочных узлов, введенные на АМЭС-2, а также и на модернизированной АМЭС-2М, построены на основе [4], в них реализован алгоритм, обеспечивающий высокую точность решения [5].

Исходные уравнения. Так как устройства решения уравнений генераторных и нагрузочных узлов на АМЭС-2М по своему принципу действия идентичны, то в настоящей статье приводятся только результаты разработок схем устройства решения уравнений генераторных узлов. В качестве уравнений генераторных узлов на АМЭС-2М (также, как и на АМЭС-2) приняты:

$$E' = \text{const};$$

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{360f}{M} (P_T - P_G - P_V);$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P_{1V}}{T_S} \cdot \frac{1}{360f} \cdot \frac{d\delta}{dt} - \frac{3}{T_S} P_V. \quad (1)$$

В уравнениях (1) обозначения общепринятые.

Алгоритм расчета. Сущность алгоритма, изложенного в [5], применительно к приведенным выше уравнениям заключается в следующем. Предположим, что в k -ом интервале времени решение уравнений (1) закончилось и производится решение для $(k+1)$ -го интервала. Для всех генераторных узлов известны значения переменных конца k -го интервала, которые являются начальными условиями для $(k+1)$ -го интервала и записаны в соответствующих элементах запоминающих устройств. Результатами решения уравнений (1), которые вводятся в модель электрической сети через генераторные узлы, являются E' и δ , причем, генераторные элементы АМЭС-2М обеспечивают постоянство E' . Независимые переменные P_{Gi} получают от модели сети в каждом интервале расчета и запоминаются. Решение уравнений (1) в каждом интервале времени осуществляется в два этапа. На первом — „грубом“ — этапе расчета для всех генераторных узлов методом прямого моделирования поочередно решаются уравнения (1) с постоянными значениями P_{Gi}^k за интервал времени $\Delta t = t_{k+1} - t_k$.

В результате интегрирования получаются „грубые“ значения δ_i^{k+1} , которые устанавливаются на генераторных элементах АМЭС-2М и запоминаются. В модели сети решаются уравнения электрической сети также методом прямого моделирования, в результате чего определяются „грубые“ значения \bar{P}_{Gi}^{k+1} , соответствующие концу $(k+1)$ -го интервала.

На втором этапе расчета производится уточнение результатов „грубого“ решения. Оно осуществляется путем повторного решения уравнений (1) с более точным учетом законов изменения независимых переменных P_{Gi} , изменяя их по линейному закону между значениями концов k -го и $(k+1)$ -го интервалов:

$$P_{Gi} = P_{Gi}^k + \frac{\bar{P}_{Gi}^{k+1} - P_{Gi}^k}{\Delta t} t. \quad (2)$$

Такое уточнение позволяет кривые изменения независимых переменных с высокой точностью аппроксимировать ломаной линией. На основании полученных уточненных значений δ_i^{k+1} производится повторное решение уравнений электрической сети. Результаты P_{Gi}^{k+1} , совместно с $\left(\frac{d\delta_i}{dt}\right)^{k+1}$, $\left(\frac{dP_{Gi}}{dt}\right)^{k+1}$ и δ_i^{k+1} , используются при решении уравнений (1) и (2) в $(k+2)$ -ом интервале времени по изложенному алгоритму. Аналогично производится решение и для последующих интервалов.

Схема устройства для решения уравнений генераторного узла. На рис. 1 приведена схема устройства для решения уравнений (1) и (2) по вышеизложенному алгоритму.

Начальные значения переменных — P_{Gi}^k , хранятся в блоке запоми-

нающих конденсаторов ЗК1 и в запоминающем устройстве интеграторе ЗУИ-1, выполненных на операционных усилителях с конденсаторами в цепях обратных связей. Этап „грубого“ решения производится схемой моделирования уравнений (1), включающей ЗУИ2, ЗУИ3 и ЗУИ4, которая получается после отключения нормально замкнутых (н. з.) коммутирующих элементов 1 и включения нормально разомкнутых (н. р.) коммутирующих элементов 2. Значения P_k снимаются

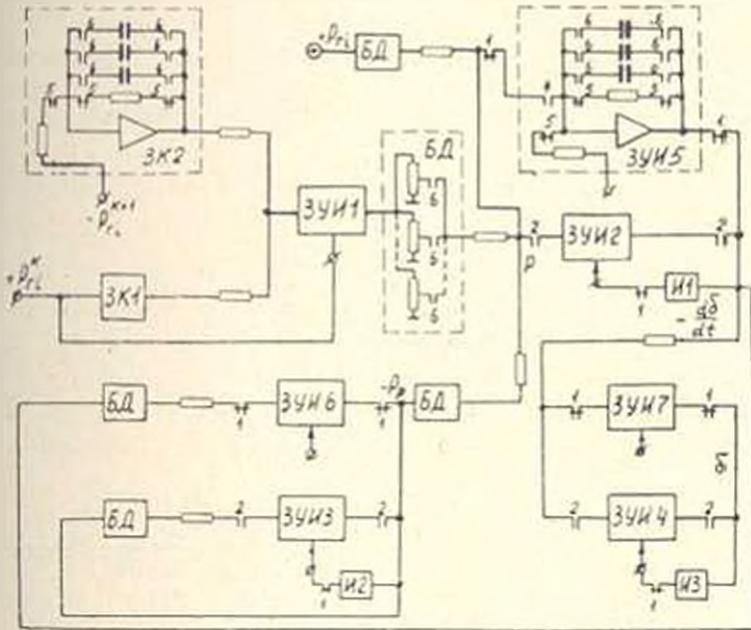


Рис. 1

с выхода ЗУИ1 и в течение каждого интервала расчета остаются неизменными. Поочередным переключением конденсаторов в обратных связях операционных усилителей в ЗУИ1-ЗУИ4 и в делителях напряжения в блоках БД, воспроизводящих коэффициенты уравнений отдельных генераторных узлов, производится набор схемы решения уравнений каждого генераторного узла. Интегрирование осуществляется устройствами ЗУИ2-ЗУИ4, когда замыкаются н. р. коммутирующие элементы 4, так как в этом режиме н. з. коммутирующие элементы 5 разомкнуты и поочередно замыкаются элементы 6, тем самым образуя схемы интеграторов на операционных усилителях.

Результаты „грубого“ решения \bar{z}^{k+1} с выхода ЗУИ4 через прямые преобразователи и генераторные элементы АМЭС-2М [1] вводятся в модель электрической сети. Когда на всех генераторных элементах устанавливаются полученные „грубые“ значения \bar{z}^{k+1} , на модели сети воспроизводится $(k+1)$ -ый „грубый“ режим, откуда путем измерения определяются P_k^{k+1} и запоминаются на конденсаторах ЗК2.

В режиме уточнения переменные $-P_{Ti}$ получаются также с выхода ЗУИ1, причем, при помощи ЗК1, ЗК2 и ЗУИ1 осуществляется моделирование уравнения (2), так как на выходах ЗК1 и ЗК2 получаются $-P_{Ti}^k$ и P_{Ti}^{k-1} , а ЗУИ1 осуществляет операцию интегрирования, в результате чего воспроизводится линейный закон изменения P_{Ti} от значений P_{Ti}^k до P_{Ti}^{k-1} .

Интегрирование уравнений (1) производится при помощи ЗУИ5, ЗУИ6 и ЗУИ7, так как и, з. коммутирующие элементы 1 в этом режиме замкнуты, а и. р. коммутирующие элементы 2 разомкнуты. На выходах ЗУИ5-ЗУИ7 получаются уточненные значения $\left(\frac{di_i}{dt}\right)^{k-1}$, $\left(\frac{dP_{Ti}}{dt}\right)^{k-1}$ и λ_i^{k-1} , которые запоминаются на соответствующих конденсаторах этих ЗУИ и через инверторы И1-И3 вводятся в ЗУИ2-ЗУИ4, где они также запоминаются. Эти значения переменных будут являться начальными условиями в $(k+2)$ -ом интервале расчета.

Программное управление решением. Изложенный алгоритм позволяет одновременно решать уравнения i -го генераторного и k -го нагрузочного узлов, благодаря разделению этих узлов от общей системы и приближенному воспроизведению закона изменения перемен-

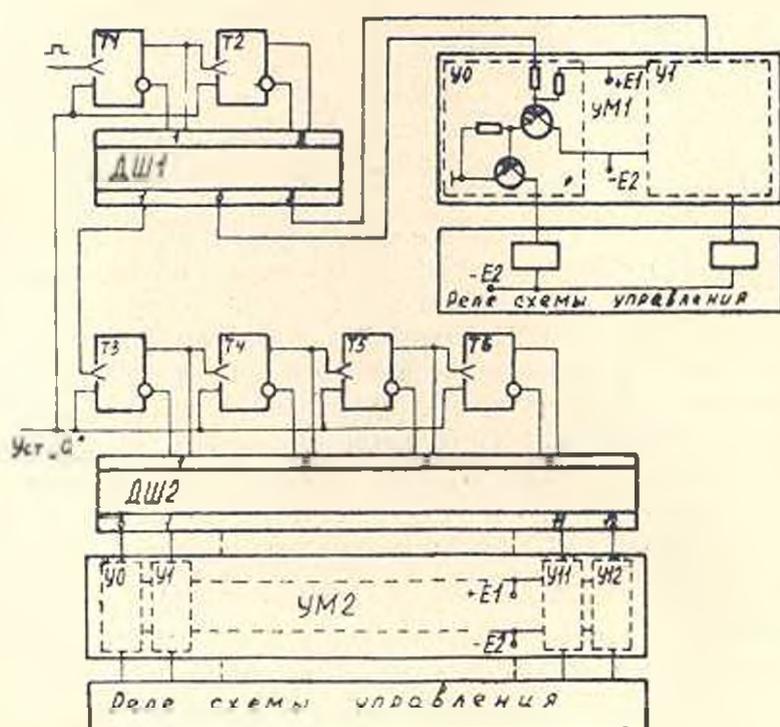


Рис. 2

ных P_{Ti} и U_k , где U_k напряжение в узле нагрузки. Причем, в каждом интервале расчета для каждого узла требуется выполнять следующие операции: набор схемы моделирования уравнений генераторного (нагрузочного) узла; интегрирование этих уравнений в течение одного интервала; останов интегрирования с целью установки полученных результатов на соответствующем генераторном (нагрузочном) элементе; переход к схеме моделирования уравнений последующего генераторного (нагрузочного) узла.

Алгоритм решения уравнений и поочередность обхода генераторных и нагрузочных узлов с выполнением перечисленных выше операций в виде жестких программ заложены в блоке программного управления (БПУ) модели. В БПУ АМЭС-2 указанные жесткие программы были реализованы с помощью электромеханических шаговых искателей и реле (в качестве исполнительных органов). Опыт эксплуатации моделей АМЭС-2 показал, что такие БПУ не обладают гибкостью управления и имеют ограниченное (до 0,1 сц) быстродействие.

В БПУ АМЭС-2М, с целью повышения быстродействия и гибкости управления, программы расчета электромеханических переходных процессов реализованы с помощью электронных распределителей и реле в качестве исполнительных органов. Исследования показали, что для выполнения поставленной задачи наиболее экономичными и надежными являются многокоординатные распределители, которые, в частном случае, имеют схему, приведенную на рис. 2. Управляющий распределитель (Т1, Т2, ДШ1 и УМ1) вырабатывает команды для подключения цепей интегрирования ЗУИ и процессе решения и их отключения для отработки получаемых результатов. Основной распределитель (Т3—Т6, ДШ2, УМ2) управляется от выхода 1 ДШ1, вырабатывает команды для переключения коммутирующих элементов ЗУИ и БД. Умощители УМ1 и УМ2 обеспечивают ток нагрузки до 2 а. С помощью схемы рис. 2 можно производить управление генераторными и нагрузочными узлами числом до 14.

Вывод. Благодаря реализации на АМЭС-2М более точного алгоритма решения уравнений и замене шаговых искателей БПУ электронными распределителями, возможно исследовать более длительные переходные процессы.

АрмНИИЭ

Поступило 2.X.1972.

Ս. Փ. ՄԱՐԿԻՅԱՆ, Վ. Շ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԿԱՆԻԿԱԿԱՆ ԱՆՑՈՂՅԻ ԵՐԵՎԱՆԻ ՅԹՆԵՐՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ-
ԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՆՐԱՅԻՆՑՆԵՐԻ ԳԻՅԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԸ ԼՈՒՇՈՂ
ԱՐԷՍ — 2Մ ԱՆԱԼՈՂԱՅԻՆ ՍԱՐՔԵՐ

Ա մ փ ո փ ո մ

Հողփածուս գիտվում են էներգահամակարգերի գեներատորային ու բեռն-
վածքային հանդույցների դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման ալգորիթմը

և ալգորիթմն իրացնող սարքերի սխեմաները, որոնք ներդրված են ԱՍՀՄ-2 և ԱՍՀՄ-2Մ ավտոմատացված մոդելների վրա: Իրացված ալգորիթմը տպահովում է դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման ավելի մեծ ճշտությունը և ննարավորություն է տալիս ԱՍՀՄ-2Մ-ի վրա հետադուրի երկարատև էլեկտրամեխանիկական անցողիկ երևույթները, լուծման ընթացքը զեկավարող սարքերը, որոնք կառուցված են բազմակոորդինատային էլեկտրոնային բաշխիչների վրա, հնարավորություն են տալիս ավելի՝ քան 2 անգամ բարձրացնել ԱՍՀՄ-2Մ-ի արագագործությունը ԱՍՀՄ-2-ի համեմատությամբ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамы Г. Т., Гамбузян К. А., Мурадян С. Г. Автоматизированная модель энергосистем «Электрические станции», № 4, 1970
2. Акапян С. Г., Матевосян П. А., Мурадян С. Г. Решение уравнений синхронного генератора на аналоговой машине по методу последовательных интервалов. «Известия АН СССР. Энергетика и транспорт», № 5, 1966
3. Гамбузян К. А. Моделирование нагрузок МСНТ с помощью аналоговой машины. «Известия АН Арм. ССР (серия технических наук)», № 1, 1961.
4. Мурадян С. Г. Аналоговое вычислительное устройство последовательного действия. Авторское свидетельство № 315184, приоритет от 21 июля 1969. «Изобретение, промышленные образцы, товарные знаки», № 28, 1971.
5. Мурадян С. Г. Решение дифференциальных уравнений на автоматизированной модели «Электрические системы». «Электричество», № 5, 1971.