

Ц 8406

Г-489

73/viii =

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



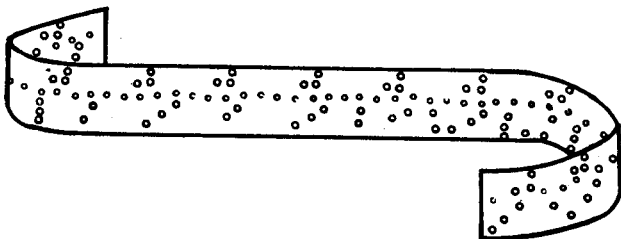
P11 - 5186

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

Ю.М. Грашин, В.И. Дворецкий, А.И. Родионов,
Б.М. Степанов, О.А. Тюриков

ПРОГРАММА АРПП-2

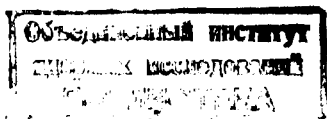
1970



P11 - 5186

Ю.М. Грашин, В.И. Дворецкий, А.И. Родионов,
Б.М. Степанов, О.А. Тюриков

ПРОГРАММА АРПП-2



Программа АРПП-2

1. Введение

Программа АРПП-2 предназначена для автоматического вычисления переходных процессов в произвольных линейных электронных схемах с сосредоточенными параметрами на ЭВМ с транслятором ТА-1М ("Сигнал"). Вычисление основано на численном интегрировании системы дифференциальных уравнений, полученных методом узловых потенциалов. Существенной частью программы является приведение исходной системы уравнений к виду, разрешенному относительно своих вторых производных /1,3/, что необходимо для использования одного из известных методов численного интегрирования /2/. Применяемый алгоритм расчета не зависит от формы записи исходной системы уравнений - дифференциальной или интегро-дифференциальной. Изменяется лишь небольшая часть блока для вычисления токов независимых генераторов и их производных. В программе АРПП-2 применена вторая форма записи, которая удобнее тем, что в результате расчета получаются интегралы, функции и первые производные узловых потенциалов. Скорость счета при этом несколько увеличивается.

Программа проста в обращении. Труд инженера при работе с ней сведен к минимуму. На основе исследуемой принципиальной схемы строится эквивалентная схема, состоящая из элементов C , R , L и генераторов тока. Базовая точка эквивалентной схемы (нулевой потенциал) обозначается цифрой нуль. Остальные точки схемы нумеруются в произвольном порядке числами $1, 2, 3, \dots, n$. (Точка - место сое-

динения двух или более элементов схемы. Здесь не применяется слово "узел", т.к. оно означает, как правило, место соединения трех и более элементов). Далее все элементы схемы и внешнее воздействие на нее кодируются, как будет показано ниже, и заносятся на перфокарты. После чего весь процесс вычисления производится автоматически на машине.

Программа применима к схемам с числом точек n от 2 до 25 (без базовой). Параметры элементов эквивалентной схемы (в том числе параметры эквивалентных схем ламп и транзисторов) не должны зависеть от частоты, как, например, в линейной модели транзистора, изображенной на рис.1. Мгновенное значение тока генератора может быть линейной функцией напряжения между любой парой точек схемы. Это зависимые генераторы тока. Ток независимого генератора (внешнее воздействие) является независимой функцией времени. В данной программе заложены две формы тока независимых генераторов: $\Phi 1$ - прямоугольный импульс, $\Phi 2$ - ток вида $I(t) = A[1 - (1+x)e^{-x}]$, где $x = 3,36 t / t_m$ (см.рис.2). Эти токи варьируются амплитудой A и параметрами $p1$ и $p2$ соответственно. Параметр прямоугольного импульса численно равен его длительности. Во втором случае параметр обозначает время нарастания фронта функции тока $I(t)$. Эти токи могут действовать отдельно или совместно в любом количестве. Все токи одной формы должны иметь один и тот же параметр. Амплитуда тока задается для каждого генератора независимо.

Следует обращать внимание на рациональный выбор единиц измерения времени и пассивных элементов схемы. Например, для электронных схем наносекундного диапазона удобна система:

[нсек], [пф], [ком], [мкн].

Программа неоднократно испытывалась на контрольных схемах /I/

и в настоящее время используется для проектирования электронных схем.

2. Кодирование параметров электронной схемы

Вся информация об исследуемой схеме записывается в виде следующих массивов чисел.

Первый массив :

- n - число точек схемы,
- nC - число емкостей,
- nR - число сопротивлений,
- nL - число индуктивностей,
- nM - число магнитных связей,
- nY - число зависимых генераторов тока,
- nI - число независимых генераторов тока,
- $p1$ - параметр тока $\Phi 1$ - длительность импульса " t_u " в выбранных единицах времени (если ток $\Phi 1$ не используется, то $p1$ полагается равным нулю),
- $p2$ - параметр тока $\Phi 2$ - длительность фронта " t_n " (если ток $\Phi 2$ не используется, то $p2$ полагается равным нулю),
- dt - число "0" или "1", означающее начало или продолжение счета (после перерыва) одной и той же схемы,
- ti - время расчета процесса в выбранных единицах,
- dp - интервал выдачи результатов на печать,
- $e1$ - точность решения в % (не должна равняться нулю).

Порядок записи чисел I-го массива обязателен.

Второй массив: последовательность чисел для записи величин

емкостей и мест включения их в исследуемой схеме. Каждая емкость характеризуется группой из трех чисел: C, i, j , где C - величина емкости, а i и j - номера точек схемы, между которыми включена эта емкость. Указанный порядок записи чисел в каждой группе обязателен. Порядок следования групп друг за другом - произвольный. Последнее замечание относится также ко всем последующим массивам. Кодирование емкостей для рис. 1 имеет вид: $C_k \quad b \quad k \quad c \quad b \quad a$.

Третий и четвертый массивы: последовательности чисел для записи соответственно сопротивлений и индуктивностей в форме, показанной для емкостей.

Пятый массив: последовательность чисел для записи магнитных связей. Каждая магнитная связь характеризуется группой из 5-ти чисел: K, i, j, l, m , где K - коэффициент связи между индуктивностями, одна из которых включена между точками i и j , а другая - между точками l и m . Точки i и l (или j и m) соответствуют концам индуктивностей, помеченных на схеме звездочкой. Кодирование магнитных связей для рис.3 имеет вид:

$$K_1 \quad 1 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad K_2 \quad 5 \quad 0 \quad 6 \quad 0$$

Шестой массив: последовательность чисел для записи зависимых генераторов тока. Каждый генератор характеризуется группой из 5-ти чисел: S, i, j, l, m , где S - коэффициент пропорциональности (крутизна для ламп, коэффициент типа S_α для транзисторов, см. рис.1); i и j - точки схемы, между которыми включен генератор тока; l и m - точки, напряжение между которыми управляет током генератора. Порядок записи чисел в паре i, j должен быть таким, чтобы положительное направление тока в генераторе было от i - ой (первой в паре i, j) точки к j -ой. При этом

первым числом в паре ℓ, m должен быть индекс уменьшаемого (напряжения), а вторым — индекс вычитаемого в заданном выражении тока $I_{\ell j} = S(u_{\ell} - u_m)$. Например, кодирование зависимого генератора тока для рис.1 имеет вид: $S_a k b b a$.

Седьмой массив: последовательность чисел для записи независимых генераторов. Каждый независимый генератор тока характеризуется группой из 4-х чисел: Φ, A, i, j , где $\Phi = 1$ для генераторов прямоугольного импульса и $\Phi = 2$ для генераторов второго типа; i и j — точки, между которыми включен генератор, причем положительное направление тока в генераторе от i -ой (первой в паре i, j) точки к j -ой. Кодирование независимого генератора с формой тока $\Phi 2$ и амплитудой $A=5$, включенного между точками i и j , имеет вид: $2 5 i j$.

Перечисленная информация пробивается на перфокартах. Каждое число первого массива имеет свою контрольную сумму. Остальные массивы имеют одну сумму на массив. В машину закладывается массив перфокарт программы и массив чисел в указанной последовательности. Далее расчет производится автоматически.

3. Счет, работа у пульта БЭСМ-4

При счете на БЭСМ-4 рабочее поле ($A_3 KZU1U$) — 6500. Информация выдается на печать с интервалом dp . На ленте i -е число — время t_k , следующие n чисел — интегралы узловых потенциалов $\int_0^{t_k} u_i dt$, затем n узловых потенциалов $u_i (t = t_k)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

При необходимости детально следить за процессом счета надо включить i -ый разряд КЗУ1. Информация будет выдаваться на каждый шаг интегрирования h_k , который печатается i -м числом, затем время и т.д.

При необходимости снять работу со счета (окончилось время пользователя) включается I-ый разряд КЗУП, кроме печати, выдаются перфокарты с информацией $h_k, t_k, \int u_i dt, u_i$. После перфорации счет продолжается. Полученный массив используется для продолжения счета в следующий раз. Для этого при $dt = 1$ указанный массив добавляется к имеющимся 7-ми числовым массивам и вместе с программой вновь закладывается в машину.

4. Алгоритм работы программы по блокам

Первый блок. Построение матриц

После ввода первого массива чисел во внешнем блоке последовательно вводятся 2,3,4 массивы и формируются матрицы емкостей (C_{ij}), проводимостей (g_{ij}), обратных индуктивностей (d_{ij}). Здесь $i, j = 1, 2, \dots, n$ - индексы ячеек матриц, соответствующие номерам точек схемы, между которыми включен элемент. При этом в i -ую диагональную ячейку матрицы заносится элемент, включенный между i -ой и базовой точкой.

Второй блок. Анализ

Анализ проводится с целью разбиения уравнений (точек схемы) на группы по "островам" и "архипелагам" /3/.

Для поиска "островов" исследуется матрица емкостей. Просматриваются диагональные ячейки. Индексы ячеек, содержащих емкость, фиксируются в специальной таблице I, т.к. соответствующие точки схемы через емкость связаны с базовой точкой. Затем последовательно исследуются все строки матрицы, имеющие индексы зафиксированных точек. Если в строке найдется емкость, индекс столбца которой отсутствует в указанной таблице I, то он заносится в нее. Таким

образом, точки с номерами из таблицы I образуют "остров", включающий в себя базовую точку. После этого составляется таблица II, представляющая собой ряд чисел $1, 2, 3, \dots, n$, из которого исключены числа таблицы I. Точки с номерами из таблицы II не имеют емкостной связи с базовой. Берется первое число таблицы II, и исследуется соответствующая строка матрицы (c_{ij}) . Первое число таблицы II записывается в таблицу III, и в матрице просматривается строка, соответствующая этому числу. Если встречается элемент этой строки, не равный нулю, то соответствующий столбцовый индекс сравнивается с числами таблицы III и в случае несовпадения заносится в последнюю (в порядке поступления). После просмотра этой строки аналогичным образом просматривается строка, соответствующая второму числу таблицы III, и т.д. Процесс заканчивается, когда в результате просмотра очередной строки в таблицу III не прибавляется ни одного (нового) числа. Получившаяся группа чисел таблицы III соответствует одному из "островов". Затем берется второе (очередное) число из таблицы II и сравнивается с содержимым таблицы III. При совпадении (такое число имеется в таблице III) берется следующее число таблицы II. При несовпадении очередное число из таблицы II заносится в таблицу III и дает начало вышеописанному циклу поиска нового "острова". Группы чисел по "островам" записываются в таблицу III подряд. Для разделения этих групп друг от друга вводится таблица IV, в которую заносится (в конце каждого цикла) число точек каждого "острова" в порядке поиска последних. Поиск заканчивается, когда будет исчерпана последовательность чисел таблицы II. Точки, которым соответствуют последние (по порядку) числа в каждой "островной" группе таблицы III, будем называть опорными точками.

Для поиска "архипелагов" исследуется матрица $(|c_{ij}| + |g_{ij}|)$. Весь предыдущий алгоритм в точности повторяется. При словесном

описании его необходимо только слово "емкость" заменить на слово "элемент", а "остров" заменить "архипелагом". Затем из таблицы III (для "архипелагов") исключаются все точки, кроме опорных, так что "архипелаг" теперь задается опорными точками "островов". В соответствии с числом "островов" в "архипелагах" меняется также таблица IV.

После этого таблица III для "островов" дополняется (по порядку) аналогичной таблицей для "архипелагов". Также объединяются и таблицы IV.

В случае, когда все точки схемы соединены непосредственно или косвенно через емкость с базовой точкой (единный базовый "остров"), программа анализа выдает сигнал обхода блока преобразования, описанного ниже, ибо матрица емкостей не особенная.

Третий, четвертый, пятый блоки. Построение уравнений

В третьем блоке вводится пятый массив (магнитные связи), и матрица обратных индуктивностей дополняется.

В четвертом блоке матрицы емкостей, проводимостей и обратных индуктивностей приводятся к канонической форме, т.е. элементы каждой строки всех матриц складываются и результат с обратным знаком заносится в диагональную ячейку. Матрица емкостей умножается на минус-единицу.

В пятом блоке после ввода шестого массива (зависимые генераторы тока) матрица (g_{ij}) уравнений дополняется коэффициентами пропорциональности тока зависимых генераторов.

Шестой блок. Преобразование матриц (уравнений)

Предварительно формируется двухстолбцовая матрица l (размерностью $I:n, I:2$) коэффициентов при функциях токов независимых генераторов. Для каждой точки схемы суммируются амплитуды токов, в

нее входящих. Два столбца матрицы соответствуют двум возможным функциям токов независимых генераторов. Кроме того, имеются две пустые сначала матрицы II и III той же размерности ($I: n$, $I:2$) для занесения в них коэффициентов при первых и вторых производных этих токов.

Затем подвергаются преобразованию матрицы (c_{ij}) , (g_{ij}) , (d_{ij}) по следующему алгоритму. Строки матриц, соответствующие всем номерам точек "острова", складываются. Результат заносится в строку с опорным номером "острова" и сдвигается влево на одну матрицу. В итоге выполнения этой операции над всеми "островами" опорные строки "островов" примут вид: в матрице емкостей - сумма строк "острова" матрицы проводимостей; в матрице проводимостей - соответствующая сумма строк матрицы обратных индуктивностей; в матрице обратных индуктивностей - сплошные нули. После этого аналогичные операции выполняются над группами строк, номера которых соответствуют опорным точкам "островов", входящих в "архипелаги". Поэтому при наличии "архипелагов" их опорные строки (уравнения) имеют сплошные нули в матрицах проводимостей и обратных индуктивностей.

Матрицы I, II, III соответствуют матрицам (d_{ij}) , (g_{ij}) , (c_{ij}) и преобразуются по этому же правилу.

Замечание: результат сложения строк "острова" и "архипелага" матрицы емкостей всегда есть нуль, поэтому данная операция не выполняется. Опорные строки, сдвигаемые в матрицу емкостей, меняют знак на обратный.

Седьмой блок. Обращение (с уточнением) матрицы, полученной на месте матрицы (c_{ij}) после преобразования последней, и умножение матриц.

Восьмой блок. Вычисление значений производных и функций входного тока в любой точке интегрирования, в том числе вычисление

узловых напряжений и их интегралов при скачках входного воздействия в любой точке, включая $t = 0$. Интегрирование уравнений методом Рунге-Кутты.

5. Пример заполнения числового материала

Приводится пример записи всей информации о схеме, изображенной на рис. 3, для расчета переходного процесса в ней. Схема имеет чисто иллюстративный характер и не претендует на практическую целесообразность.

Первый массив

10 КΣ
 5 КΣ
 13 КΣ
 4 КΣ
 2 КΣ
 2 КΣ
 1 КΣ
 1 КΣ
 0 КΣ
 0 КΣ
 5 КΣ
 01 КΣ
 1 КΣ

Второй массив

40 2 3 0.005 2 5 40 7 8 0.005 7 7 0.1
 4 0 КΣ

Третий массив

1 0 1 0.04 10 2 0.00005 2 3 0.005 3
 4 1000 2 5 0.51 0 6 0.04 6 7 0.00005 7
 8 0.005 8 0 1000 7 9 2 0 9 1 10 0
 0.51 4 0 КΣ

Четвертый массив.

6 0 I 20 0 5 IO 6 0 8 IO 0 KΣ

Пятый массив.

0.99 I 0 IO 0 0.97 5 0 6 0 KΣ

Шестой массив.

I9800 5 2 2 3 I9400 7 9 8 7 KΣ

Седьмой массив.

I 0.I 0 I KΣ

Примечание. Каждое число первого массива пробивается на отдельной перфокарте со своей контрольной суммой (KΣ).

Каждый следующий массив (со 2 по 7 включительно) начинается с новой перфокарты и имеет одну контрольную сумму (KΣ).

С текстом программы АРПП-2 на АЛГОЛе можно познакомиться в публикации, депонированной в научно-технической библиотеке ОИЯИ (Б-I-II-5187).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Д.М.Грашин, В.И.Дворецкий, А.И.Родионов, О.А.Тыриков, Программа АРПП-I для полноты автоматического расчета переходных процессов в линейных электронных схемах на ЭВМ, Препринт ОИЯИ № II-4588, Дубна, 1969.
2. Б.П.Демидович, И.А.Марон, Э.З.Шувалова. Численные методы анализа, Издательство "Наука", Москва, 1967.
3. Д.М.Грашин, В.И.Дворецкий, А.И.Родионов, О.А.Тыриков, Метод анализа структуры электронных схем для расчета переходных процессов на ЭЦВМ, Препринт ОИЯИ, PII-5185, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 июня 1970 года.

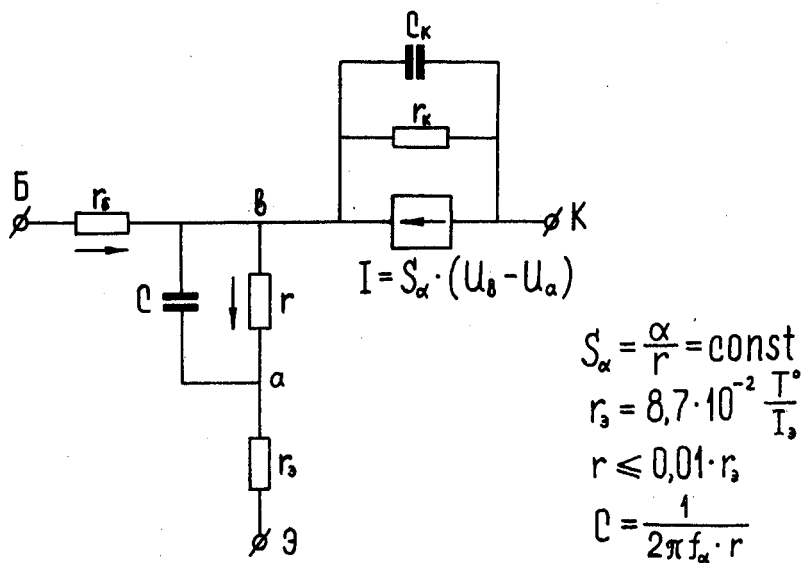


Рис. 1

Эквивалентная схема транзистора, параметры которой не зависят от частоты.

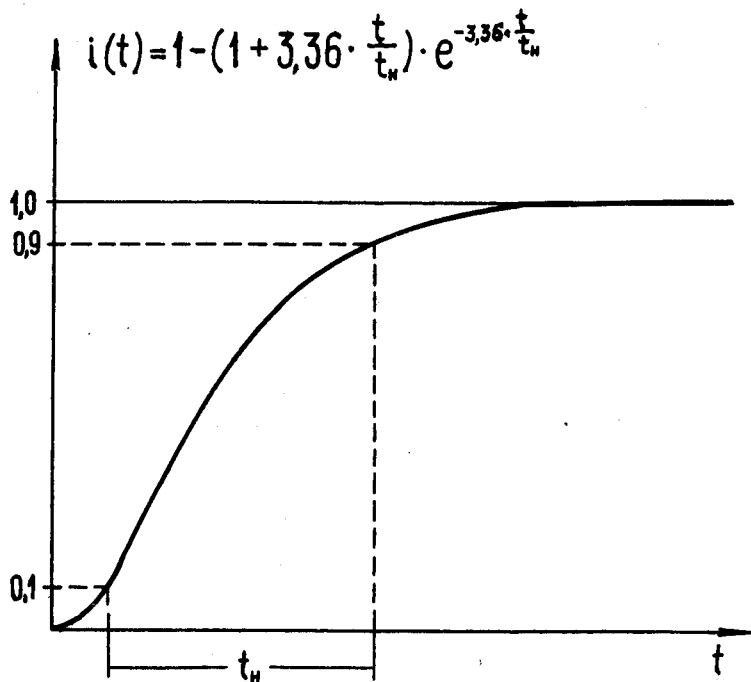


Рис. 2

Ток независимого генератора как функция времени (второго типа).

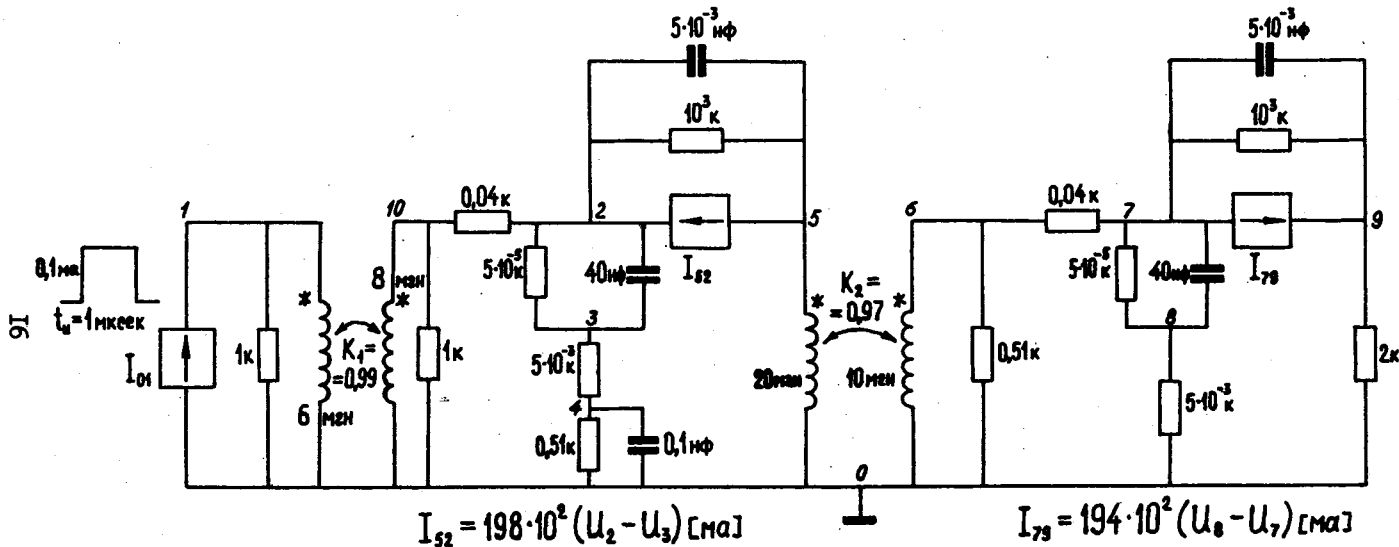


Рис. 3

Схема, используемая в качестве примера кодирования числового материала.