

48406

Г-789

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

270/2-71

4/11-71

P11 - 5501



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

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

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
(ПРОГРАММА АРПП-3)

1970

P11 - 5501

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

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
(ПРОГРАММА АРПП-3)**

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

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

P11-5501

Автоматический расчёт переходных процессов
(программа АРПП-3)

Приведено описание программы АРПП-3 для расчёта переходных процессов в произвольных линейных электронных схемах, состоящих из элементов C , R , L магнитных связей, зависимых и независимых генераторов тока, полупроводниковых и ламповых триодов. Язык - ФОРТРАН.

Приведена блок-схема алгоритма программы. Описан порядок кодирования информации о схеме.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1970

Grashin Yu.M., Dvoretzky V.I., Rodionov A.I.,
Stepanov B.M., Tyurikov O.A., Yakushin Yu.E.

P11-5501

Automatic Calculation of Transition Processes
(Program АРПП-3)

Program АРПП-3 is described for calculating the transition processes in the arbitrary linear electron schemes, consisting of C, R, L elements, of magnetic couplings, of dependent and independent current generators and of semiconductor and vacuum-tube triodes. The language used -FORTRAN. The block-diagram of the program algorithm is given. The order of coding the information on scheme is described.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1970

I. Введение

Программа АРПП-3 предназначена для полностью автоматического вычисления переходных процессов в произвольных линейных электронных схемах с сосредоточенными параметрами. Расчет производится на ЭЦМ с входным языком ФОРТРАН. Вычисление основано на численном интегрировании системы дифференциальных уравнений, полученных методом узловых потенциалов и разрешенных относительно своих высших производных. В программе АРПП-3 применена интегрально-дифференциальная форма записи исходных уравнений. Результатами вычисления являются интегралы, функции и первые производные узловых потенциалов схемы в виде табличных функций времени.

Программа проста в обращении, участие пользователя в процессе вычисления переходных характеристик сведено к минимуму. В программе имеются модели следующих элементов: R , L , C , магнитных связей, зависимых и независимых генераторов тока, полупроводниковых и ламповых триодов. Если схема содержит только эти элементы, то процесс подготовки сводится к следующему. Всем точкам схемы, которые имеют постоянный потенциал, присваивается номер 0. Остальные точки нумеруются в произвольном порядке цифрами 1, 2, 3... (точка - место соединения двух или более элементов). Затем все элементы схемы и внешние воздействия на нее кодируются и заносятся на перфокарты. Порядок кодировки будет описан ниже. После этого весь процесс вычисления производится автоматически на машине. Таким образом, всю подготовительную работу может выполнить человек, который не является специалистом ни в области программирования, ни в области расчета электронных схем. Если схема имеет элементы, для которых нет моделей в программе (например, пентоды, четырехэлектродные транзисторы), то необходимо

вначале представить последние эквивалентными схемами, состоящими из элементов, имеющих модели в программе. Затем процесс подготовки и вычисления происходит, как было описано раньше.

Программа применима к схемам с числом точек от 1 до 50 (без нулевой). Максимальное количество точек определяется объемом оперативной памяти машины, а не характером программы. Параметры элементов схемы не должны зависеть от частоты. Мгновенное значение тока генератора может быть линейной функцией напряжения между любой парой точек схемы. Это зависимые генераторы тока. Ток независимого генератора является независимой функцией времени и характеризуется амплитудой A , параметром P и формой Φ . В данной программе заложены модели четырех различных форм независимых генераторов тока.

Первая форма $\Phi = 1$ Прямоугольный импульс тока амплитудой A и длительностью P на уровне 0.

Вторая форма $\Phi = 2$ $I(t) = \begin{cases} At/P & \text{для } t \leq P \\ A & \text{для } t > P \end{cases}$

Третья форма $\Phi = 3$ $I(t) = A[1 - (1 + \chi) e^{-\chi t}]$, где $\chi = 3,36 t/P$, а P есть фронт нарастания от 0,1A до 0,9A.

Четвертая форма $\Phi = 4$ $I(t) = \begin{cases} 1 - \cos \pi t/P & \text{для } t \leq 2P \\ 0 & \text{для } t > 2P \end{cases}$

Все токи равны 0 для $t < 0$. Программа составлена таким образом, чтобы можно было в дальнейшем вводить другие формы токов, не производя изменений в самой программе, а только добавляя к ней несколько операторов. В программе может присутствовать одновременно не более 10 видов тока, отличающихся друг от друга параметром или формой. Количество токов любого вида неограниченно.

Программа АРПП-3 при расчете переходных характеристик автома-

тически заменяет полупроводниковые и ламповые триоды их эквивалентными схемами (описание эквивалентных схем приведено ниже). В том случае, когда данные эквивалентной схемы не удовлетворяют пользователя по тем или иным причинам, он может при составлении такой

схемы заменить транзисторы и лампы их эквивалентами из других элементов, модели которых имеются в программе.

Пользователь задает единицы измерения времени в схеме и единицы измерения тока независимых генераторов. Время выдается на печать в выбранных единицах измерения, а узловые потенциалы в вольтах.

Программа АРПП-3 является развитием программы АРПП-2^{1/2}: появилась возможность счета на ЭЦВМ с языком ФОРТРАН, увеличено число точек схемы, расширены возможности представления внешних воздействий, введено автоматическое представление ламп и транзисторов, независимость от математического обеспечения машины, возможность счета произвольного числа схем без возобновления программы.

Программа АРПП-3 проверялась на машинах БЭСМ-6 и СДС-1604А (колода перфокарт программы одна и та же, за исключением стандартных управляющих карт и подпрограммы обращения к стандартным функциям). На этих машинах получены колоды перфокарт программы в машинном коде, что позволяет работать в дальнейшем на машинах этого типа, не имеющих транслятора, и позволит увеличить полезное рабочее время (не затрачивается время на трансляцию). В настоящее время программа используется для проектирования электронных схем. С полным текстом программы на языке ФОРТРАН можно ознакомиться по публикации, депонированной в научно-технической библиотеке ОИЯИ г. Дубна.

2. Кодирование параметров электронной схемы

Вся информация об исследуемой электронной схеме записывается

в виде 18 массивов чисел, последовательность которых и их содержание показаны ниже. Порядок следования массивов друг за другом в колоде перфокарт обязателен. Массивы 1,2,3,14,18 присутствуют всегда. Остальные массивы могут присутствовать или отсутствовать в зависимости от конкретной задачи. Порядок следования чисел в массиве обязателен, однако, если массивы делятся на группы чисел, то порядок чисел в группах обязателен, а порядок групп в массиве произволен.

Первый массив

а) Название задачи.

Пробивается на одной перфокарте в соответствии с форматом (50Н).

Второй массив

Пробивается на одной перфокарте в соответствии с форматом (III6).

- а) число точек схемы, исключая нулевую;
- б) число емкостей;
- в) число сопротивлений;
- г) число индуктивностей;
- д) число взаимных индуктивностей;
- е) число полупроводниковых триодов;
- ж) число различных типов полупроводниковых триодов;
- з) число независимых генераторов тока;
- и) число ламп;
- к) число различных типов ламп;
- л) число зависимых генераторов тока.

Третий массив

- а) масштаб измерения тока в схеме;
- б) масштаб измерения времени в схеме.

Масштаб определяется как $\lg \frac{a_1}{a_2}$, где a_1 - единица измерения в

схеме (ма, мка или нсек, мсек), а A_2 - основная единица (а или сек, соответственно). Например, при измерении времени в схеме в нсек масштаб будет равен $\lg \frac{1 \text{ нсек}}{1 \text{ сек}} = -9$.

Пробивается на одной перфокарте в соответствии с форматом (2I5).

Четвертый массив: последовательность чисел для записи величин емкостей и мест их включения в исследуемой схеме. Каждая емкость характеризуется группой из трех чисел: C, i, j , где C - величина емкости в нф, а i и j - номера точек схемы, между которыми включена эта емкость.

Пробивается по четыре группы на перфокарту в соответствии с форматом (4(EIO.,2 I 4)).

Пятый массив: последовательность чисел для записи сопротивлений в форме, показанной для емкостей (четвертый массив). Величина сопротивления измеряется в ком.

Шестой массив: последовательность чисел для записи данных полупроводниковых триодов. Каждый триод характеризуется следующей группой чисел:

- а) код обозначения типа триода;
- б) точка подключения эмиттера;
- в) точка подключения базы;
- г) точка подключения коллектора;
- д) величина тока эмиттера в ма;
- е) величина напряжения коллектор-эмиттер в вольтах;
- ж) температура триода в $^{\circ}\text{C}$.

Пробивается по одной группе на перфокарту в соответствии с форматом (I10, 3I4, 3E10).

Седьмой массив: последовательность чисел для записи справочных значений перечисленных ниже параметров применяемых полупроводниковых триодов.

- а) код обозначения типа транзистора;
- б) число 2 для сплавных или число 3 для диффузионных транзисторов;
- в) постоянная времени τ_k в нсек;
- г) емкость коллектора C_k в пф;
- д) напряжение коллектора в вольтах, при котором измерена C_k ;
- е) h_{22} в мксим;
- ж) f_α в мГц;
- з) коэф. усиления по току при температуре t_1 ;
- и) t_1 в $^{\circ}\text{C}$;
- к) коэф. усиления по току при температуре t_2 ;
- л) t_2 в $^{\circ}\text{C}$.

Каждая группа чисел пробивается на двух перфокартах в соответствии с форматом ((I10, I4, 5E10./(4E10.)).

Седьмой и девятый массивы информации содержат справочные данные о параметрах транзисторов и лампах, соответственно. Поэтому данные перфокарты на каждый тип транзистора или лампы пробиваются один раз, они составляют библиотеку, из которой берутся необходимые карты для каждой конкретной задачи. (В дальнейшем предполагается перевести эту библиотеку на магнитную ленту, и необходимость вводить данные массивы отпадет).

Восьмой массив: последовательность чисел для записи данных о лампах. Каждая лампа характеризуется следующей группой чисел:

- а) код обозначения типа лампы;

- б) точка подключения катода лампы к схеме;
- в) точка подключения сетки;
- г) точка подключения анода.

Пробивается по одной группе на перфокарту в соответствии с форматом (I10, 3I4).

Девятый массив: последовательность чисел для записи справочных данных о ламповом триоде. Каждый тип триода характеризуется следующей группой чисел:

- а) код обозначения типа лампы,
- б) $C_{ск}$ в пф;
- в) $C_{са}$ в пф;
- г) $C_{ак}$ в пф;
- д) внутреннее сопротивление лампы в ком;
- е) крутизна лампы в ма/в.

Пробивается по одной группе на перфокарту в соответствии с форматом (I10, 5E10.).

Десятый массив: последовательность чисел для записи индуктивностей в форме, показанной для емкостей (четвертый массив). Величина индуктивности в мкгн.

Одиннадцатый массив: последовательность чисел для записи магнитных связей. Каждая магнитная связь характеризуется группой из 5 чисел: k, l, j, ℓ, m , где k - коэффициент связи между индуктивностями, одна из которых включена между точками l и j , а другая между точками ℓ и m . Точки l и ℓ (или j и m) соответствуют концам индуктивностей, помеченных на схеме звездочкой. Пробивается по три группы на перфокарту в соответствии с форматом (3(E10, 4I4)).

Двенадцатый массив: последовательность чисел для записи зависимых генераторов тока. Каждый генератор характеризуется группой из 5 чисел: S, i, j, k, l , где S - коэффициент пропорциональности в ма/в, i и j - точки схемы, между которыми включен генератор тока; k и l - точки, напряжение между которыми управляет генератором тока. 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 k и l должен быть индекс уменьшаемого (напряжения), а вторым - индекс вычитаемого в заданном выражении тока $I_{ij} = S(u_k - u_l)$. Пробивается по три группы на перфокарту в соответствии с форматом (3E10., 4I4).

Тринадцатый массив: последовательность чисел для записи независимых генераторов тока. Каждый независимый генератор тока характеризуется группой из 5 чисел: A, Φ, P, i, j , где A - амплитуда тока, Φ - номер формы тока, P - параметр тока, i и j - точки, между которыми включен генератор тока, причем положительное направление тока в генераторе от j -ой (второй в паре i, j) точки к i -ой. Пробивается по две группы на перфокарте в соответствии с форматом (2(3E10., 2I4)).

Четырнадцатый массив:

- а) реальное время в схеме, до которого необходимо вычислять переходный процесс,
- б) промежуток реального времени в схеме, через который необходимо выдавать результаты на печать,
- в) показатель, определяющий наименьшую абсолютную ошибку (величина ошибки 10^{-a} , где a - число на перфокарте),
- г) точность вычисления в процентах,

- д) количество точек, выдаваемых на печать (если пробивается число 0, печатаются напряжения и их интегралы во всех точках схемы);
- е) число 0, если интегрирование с $t = 0$, или число 1, если интегрирование с $t = t_1$.

Пробивается на одной перфокарте в соответствии с форматом (4E10.,2I5)

Пятнадцатый массив (присутствует, если надо печатать напряжения и интегралы не во всех точках): последовательность чисел n_1, n_2, \dots, n_m , где n_i - номер точки, в которой надо печатать напряжение (для того чтобы напечатать интеграл в точке K , указывается $n_i = K + N$, где N - число точек в схеме, не считая нулевой). Порядок печати результатов будет соответствовать порядку чисел n_1, n_2, \dots, n_m . Пробивается по 20 чисел на перфокарту в соответствии с форматом (20I4).

Шестнадцатый массив: массивы I6 и I7 присутствуют только в том случае, когда вычисления продолжаются с момента $t = t_1$;

- а) число пройденных точек разрыва, считая точку $t = 0$;
- б) время первой печати результатов;
- в) время t_1 начала интегрирования;
- г) шаг интегрирования.

Пробивается на одной перфокарте в соответствии с форматом (I4,3E10).

Семнадцатый массив: последовательность чисел $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{2m}$, где a_1, a_2, \dots, a_N - напряжения в точках с I по N в момент t_1 , а $a_{N+1}, a_{N+2}, \dots, a_{2N}$ - интегралы напряжений в точках с I по N в момент t_1 . Пробивается по 5 чисел на перфокарту в соответствии с форматом (5E16).

Восемнадцатый массив информации:

- а) число 0, если задача не последняя и далее следуют массивы

информации для расчета другой схемы, или число I , если задача последняя и программа снимается со счета.

Пробивается в соответствии с форматом (I10).

Составленная в описанном выше порядке колода перфокарт для одной или нескольких задач вместе с массивом перфокарт программы закладывается в машину. Далее расчет производится автоматически. На каждый шаг печати выдается время t , последний шаг интегрирования, указанные напряжения и интегралы в момент t . При прохождении точки скачка тока независимого генератора или скачка его производной печатаются: номер точки скачка, время скачка, напряжения и интегралы после момента скачка $t_c + 0$ в указанных точках. В том случае, когда печатаются напряжения и их интегралы во всех точках схемы, можно продолжать процесс интегрирования с любого t_i , которое было выведено на печать.

Для этого служат шестнадцатый и семнадцатый массивы информации.

3. Эквивалентные схемы транзистора и лампы

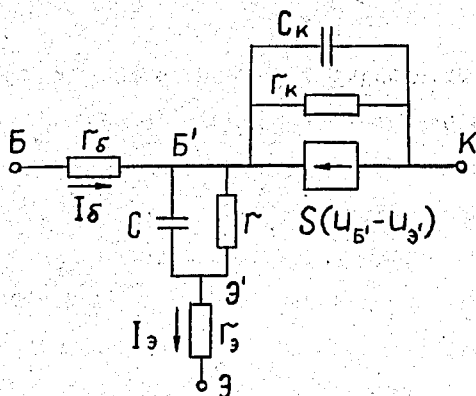
В отличие от R, L, C элементов, магнитных связей и генераторов тока, которые имеют в программе непосредственные математические модели, полупроводниковые и ламповые триоды заменяются при работе АРПП-3 эквивалентными схемами. Программа по заданным ей параметрам триодов (данные о подключении в схему и справочные данные) автоматически строит эквивалентную схему и замещает ею триод.

Эквивалентная схема полупроводникового триода и формулы расчета ее параметров приведены на рис. 1а.

В данной модели принята линейная аппроксимация зависимости β от температуры. В дальнейшем предполагается задавать зависимость β от температуры более точно с помощью табличной функции.

Эквивалентная схема лампового триода представлена на рис. 1б. Параметры эквивалентной схемы берутся непосредственно из справочника.

а)



$$r_{\text{Э}} = 8.7 \cdot 10^{-2} \frac{T^{\circ} \text{K}}{I_{\text{Э}} \text{ ма}} ; \quad r = 0.01 r_{\text{Э}} ;$$

$$C_{\text{к}} = C_{\text{кспр}} [\text{пф}] \sqrt{\frac{U_{\text{кспр}}}{U_{\text{к}}}} , \quad \text{где } n = \begin{cases} 2 - \text{для сплавных транзисторов} \\ 3 - \text{для диффузионных транз-в} \end{cases}$$

$$r_{\delta} = \frac{r_{\text{к}}}{C_{\text{к}}} ; \quad r_{\text{к}} = \frac{1}{h_{22\delta}} ; \quad C = \frac{1}{2\pi f_{\alpha} r} \sqrt{\frac{t^{\circ}\text{C} + 273}{293}} ;$$

$$\beta = \frac{\beta_2 - \beta_1 (t - t_1) + \beta_1}{t_2 - t_1} ; \quad S = \frac{\beta}{(1 + \beta)r}$$

б)

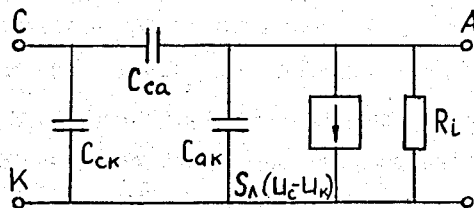


Рис. I а) эквивалентная схема полупроводникового прибора и формулы для расчета ее параметров, б) эквивалентная схема лампового триода.

Хотя данная схема обладает тем недостатком, что нет вычисления зависимости крутизны лампы от напряжения на аноде и пользователь сам должен задавать ее значение, все же в ряде случаев эта модель облегчает труд инженера при расчете схем.

Пользователь может изменять параметры элементов эквивалентной схемы, меняя входные данные. Кроме того, он может заменить перед расчетом лампы и транзисторы (все или несколько) теми эквивалентными схемами, которые его больше удовлетворяют. Таким образом достигается то, что при большой гибкости в представлении ламп и транзисторов программа избавляет пользователя от необходимости самому составлять эквивалентные схемы и выписывать справочные данные в тривиальных случаях.

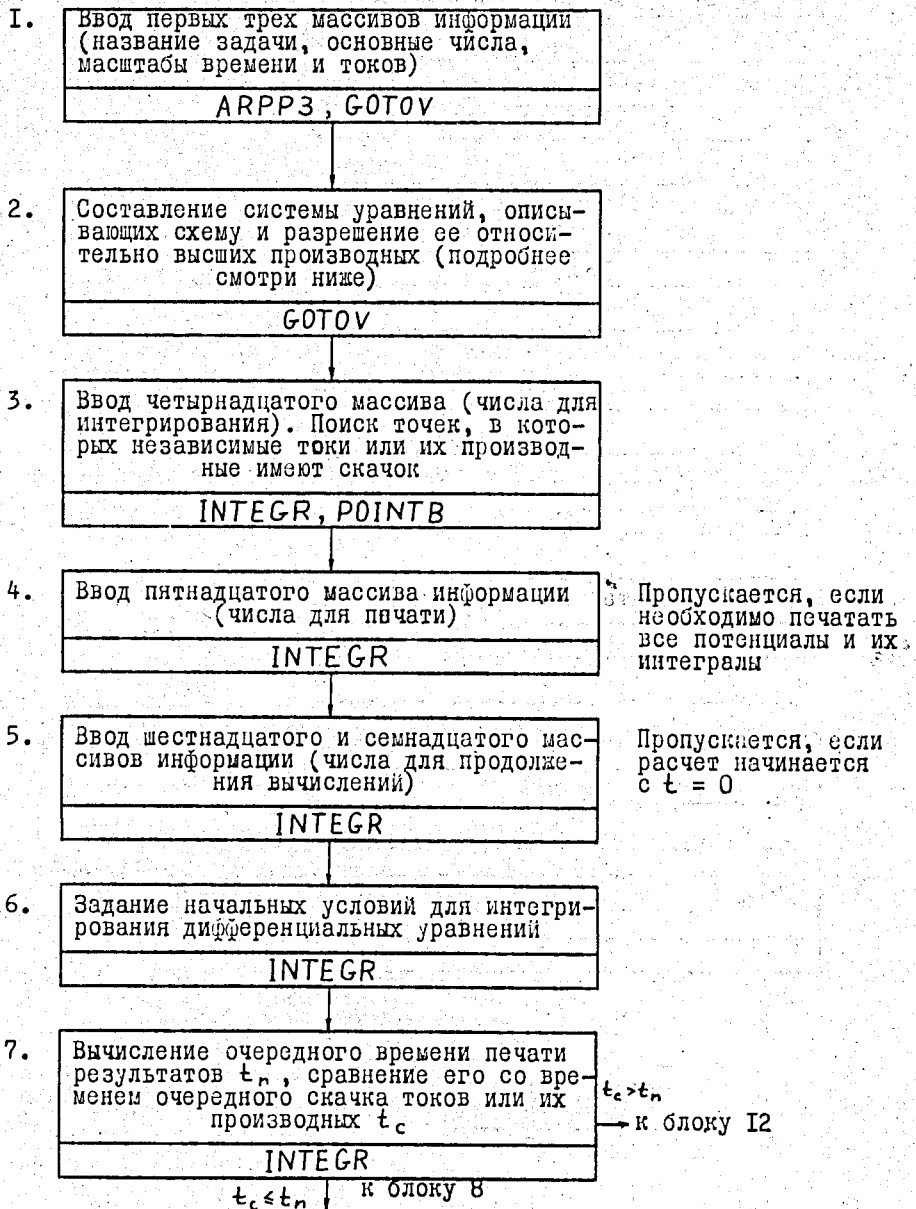
4. Структура программы АРПП-3

Программа АРПП-3 состоит из ряда подпрограмм, что не только облегчает составление и усвоение принципов ее работы, но и в первую очередь создаст большие возможности для дальнейшей модернизации программы. Новые подпрограммы или видоизмененные старые можно создавать и отлаживать отдельно, а потом добавлять к основной программе.

Программа АРПП-3 является дальнейшим усовершенствованием программы АРПП-2^{1/2}. Алгоритм программы основан на методике, описанной в работе^{1/1}. Блок-схема программы приведена ниже. Каждый блок разделен на две части: в верхней указывается, что выполняет данный блок, в нижней - подпрограммы, которые участвуют в работе данного блока. Слева от блока указан его номер, справа - условия, при которых данный блок пропускается при работе программы и далее управление передается следующему блоку.

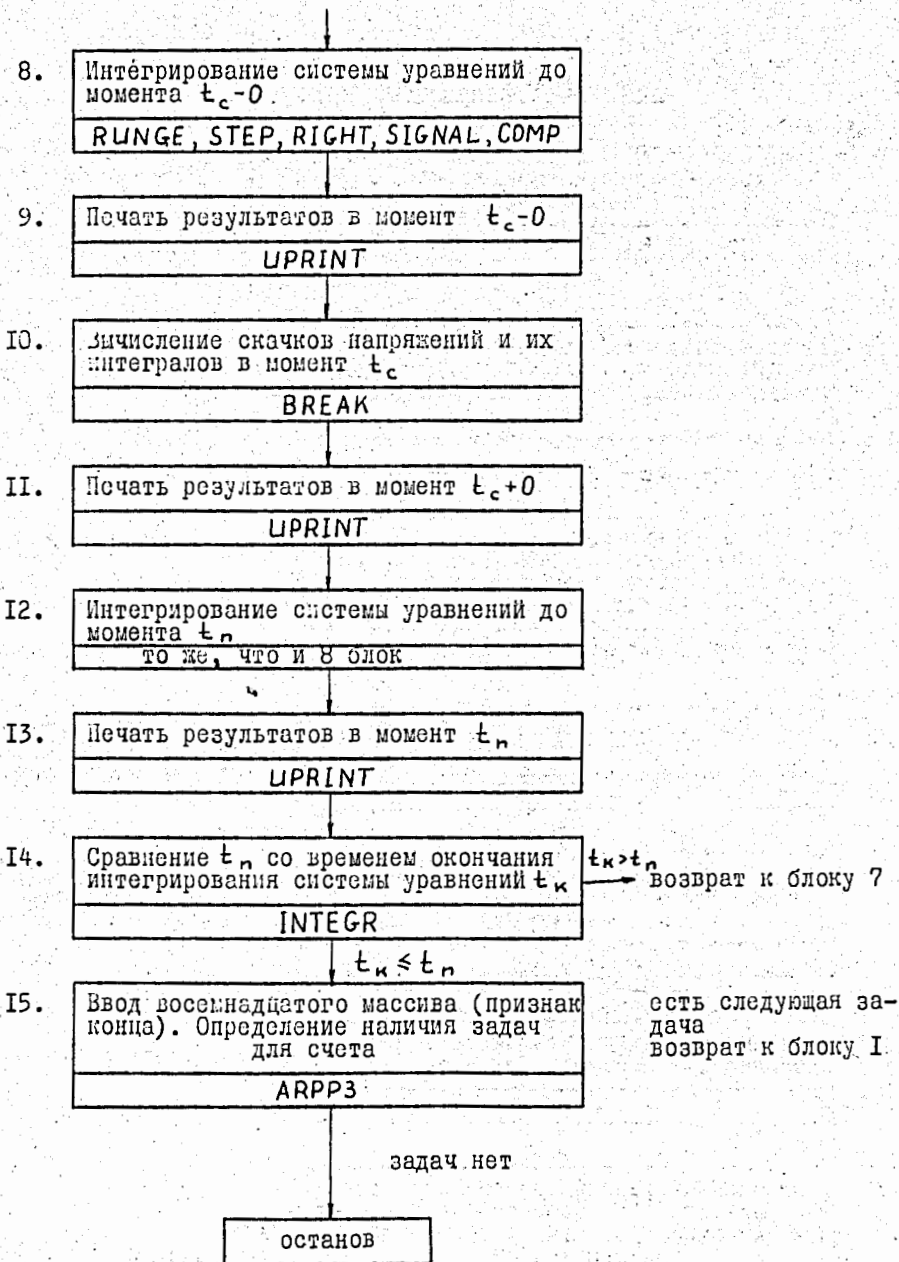
Программа АРПП-3 не обращается к стандартным подпрограммам (исключение составляют подпрограммы элементарных функций, ввода и вывода) и поэтому не зависит от математического обеспечения машин.

Блок-схема программы АРПП-3



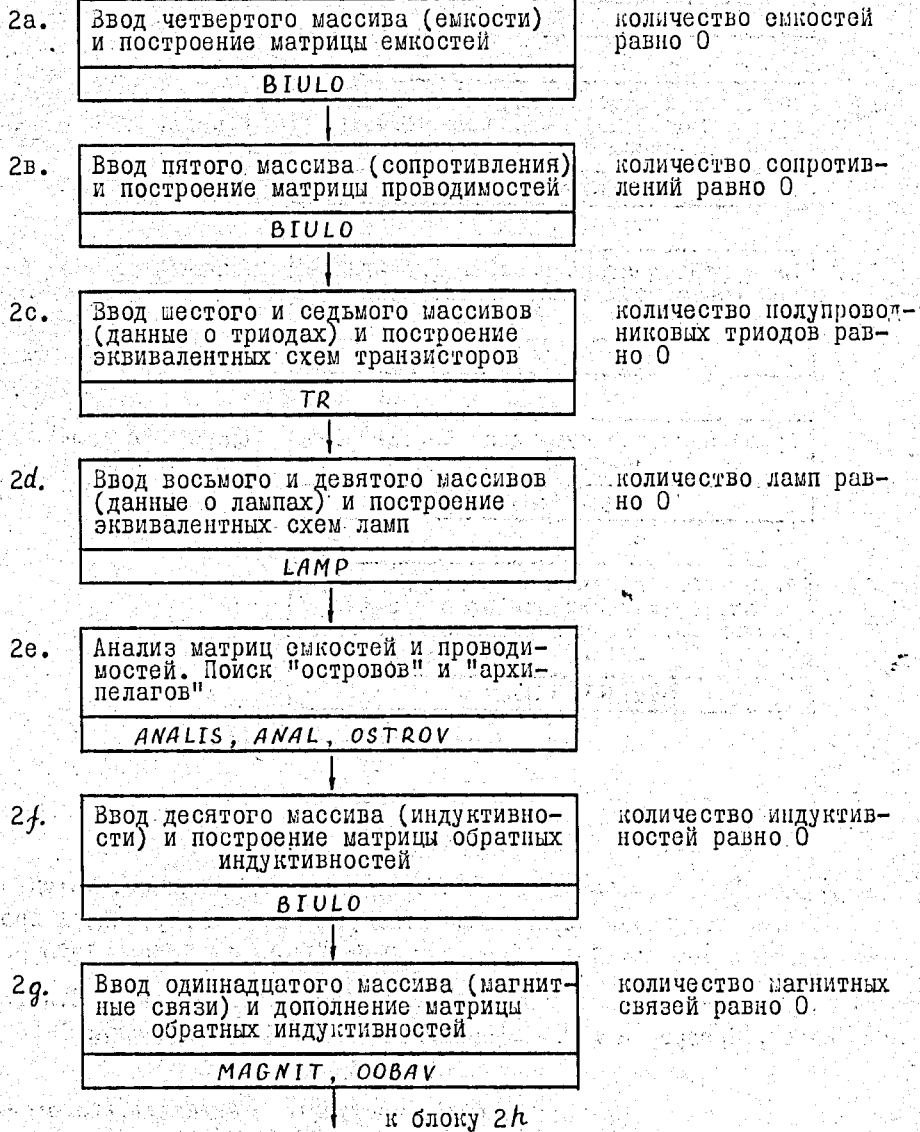
Пропускается, если необходимо печатать все потенциалы и их интегралы

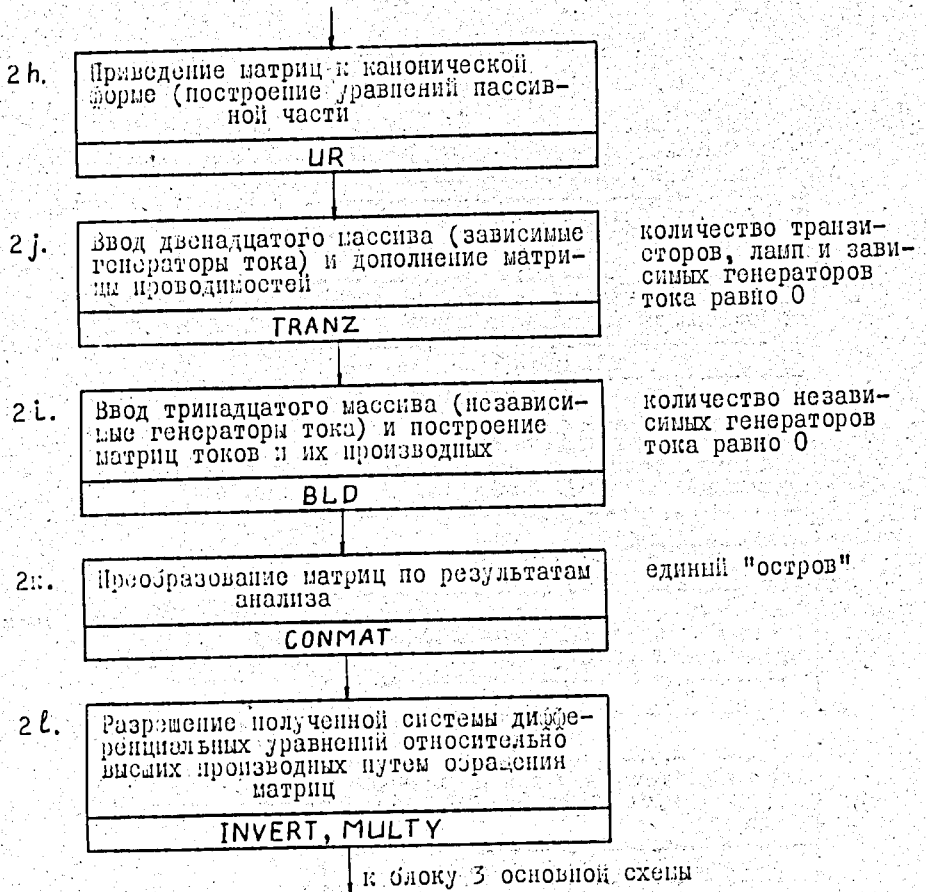
Пропускается, если расчет начинается с $t = 0$



Детализация блока 2

↓ из блока I основной схемы





Литература:

1. Ю.М.Грашин, В.И.Дворецкий, А.И.Родионов, О.А.Тюриков. Метод анализа структуры электронных схем для расчета переходных процессов с помощью ЭЦМ. Препринт ОИЯИ РИИ-5135, Дубна, 1970 г.
2. Ю.М.Грашин, В.И.Дворецкий, А.И.Родионов, Б.М.Степанов, О.А.Тюриков. Программа АРПИ-2. Препринт ОИЯИ РИИ-5136, Дубна, 1970 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 декабря 1970 г.