

ВЫБОР МИНИМАЛЬНОЙ СОВОКУПНОСТИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ НЕКОТОРЫХ УСТРОЙСТВ ЦИКЛОТРОНА

Н. И. САБЛИН

(Представлена научным семинаром сектора автоматизации и вычислительной техники
НИИ ЯФЭА)

Задача анализа систем для целей рационального построения систем автоматического контроля работоспособности и поиска неисправностей (или методик того же назначения) распадается на 3 этапа:

1. Определение минимального объема информации, достаточной для заключения о работоспособности систем (контроль работоспособности систем).

2. Определение минимального объема информации, достаточной для выявления мест и причин неисправностей в системе (поиск неисправностей).

3. Оптимизация программ проверок, исходя из информации, полученной на первых двух этапах.

В работах [1, 2] был проведен анализ оборудования циклотрона с целью синтеза прибора автоматического контроля работоспособности и поиска неисправностей. В настоящей работе решается второй этап вышеуказанной задачи для некоторых устройств циклотрона. С этой целью для формализации процесса рассматриваемых устройств были построены по методике В. В. Карибского [3] на основе функциональных схем и понятия функциональной зависимости логические модели, позволяющие математически описать интересующие нас свойства анализируемых устройств. Далее на основе логических моделей были определены соответствующие минимальные совокупности контролируемых параметров.

Высокочастотный генератор

Функциональная схема высокочастотного генератора представлена на рис. 1. Логическая модель генератора, построенная на основе функциональной схемы и понятия функциональной зависимости, представлена на рис. 2.

В логической модели приняты следующие обозначения блоков:

$Q_1 \div Q_5$ — соответственно 1, 2, 3, 4 и 5 каскады усиления высокой частоты;

Q_6 — второй каскад усилителя возбудителя;

Q_7 — первый каскад усилителя возбудителя;

$Q_8 \div Q_{10}$ — выпрямитель 2,5 1,25 кВ;

Q_{11} — первый каскад задающего генератора;

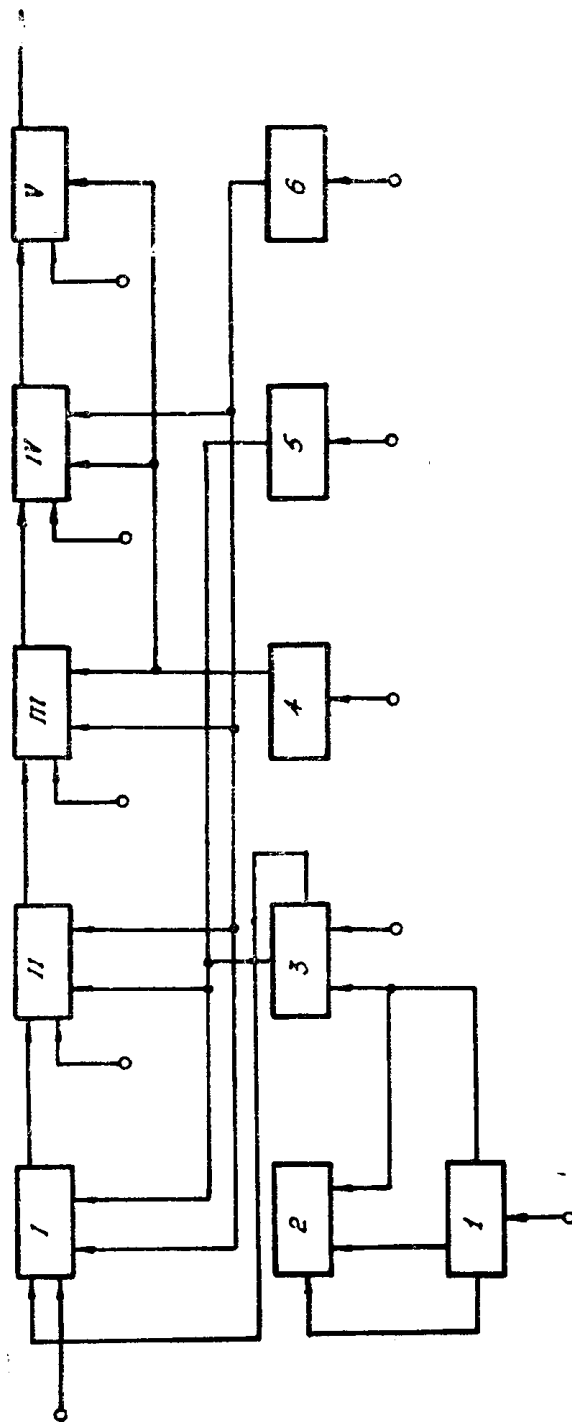


Рис. 1. Функциональная схема высокочастотного генератора. I, II, III, IV, V — мощные каскады высокочастотного генератора; 1 — выпрямитель задающего генератора и усилителя; 2 — усилитель; 3 — мощный выпрямитель 10/5 кВ; 4 — выпрямитель 2,5/1,25 кВ; 5 — выпрямитель на 400 В

Q_{12} — второй каскад задающего генератора;
 $Q_{13} \div Q_{15}$ — выпрямитель возбудителя;
 Q_{16} — селеновый выпрямитель — 400 в;
 Q_{17}, Q_{18} — мощный выпрямитель 10,5 кВ.

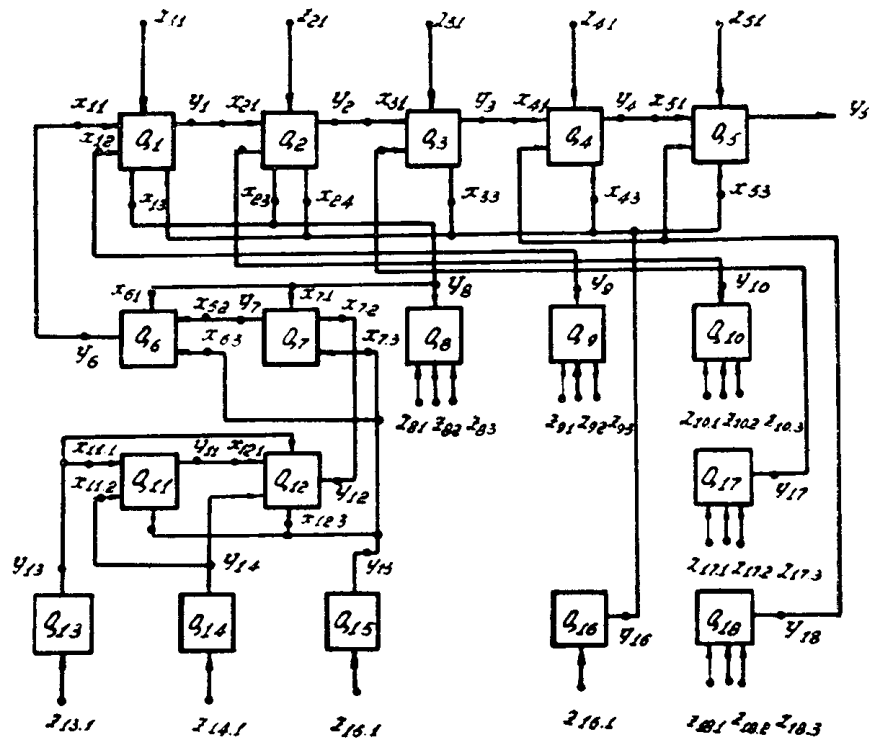


Рис. 2. Логическая модель высокочастотного генератора

Блоки логической модели имеют внешние входы
 $Z_{11}, Z_{21}, Z_3, Z_{41}, Z_{51}$ — напряжение 3×380 в накала ламп генератора;
 Z_{61}, Z_{71} — напряжение накала ламп усилителя возбудителя;
 $Z_{81}, Z_{91}, Z_{10.1}, Z_{17.1}, Z_{18.1}$ — напряжение 3×10 кВ;
 $Z_{82}, Z_{92}, Z_{10.2}, Z_{17.2}, Z_{18.2}$ — напряжение 3×380 в накала тиратронов
 и получения пикового напряжения на сетках тиратронов ~ 350 в;
 $Z_{83}, Z_{93}, Z_{10.3}, Z_{17.3}, Z_{18.3}$ — переменное напряжение 3×220 в для по-
 лучения постоянного смещения 220 в на сетках тиратронов;
 $Z_{13.1}, Z_{14.1}, Z_{15.1}$ — напряжение ~ 220 в;
 $Z_{16.1}$ — напряжение ~ 380 в.

Блоки логической модели имеют следующие внешние и связан-
 ные с ними внутренние входы блоков:

$Y_1 = X_{21}$ — выход первого каскада генератора;
 $Y_2 = X_{31}$ — выход второго каскада генератора;
 $Y_3 = X_{41}$ — выход третьего каскада генератора;
 $Y_4 = X_{51}$ — выход четвертого каскада генератора;
 Y_5 — выход пятого каскада генератора;
 $Y_6 = X_{11}$ — выход усилителя-возбудителя;
 $Y_7 = X_{62}$ — выход первого каскада усилителя-возбудителя;
 $Y_8 = X_{13} = X_{23} = X_{61} = X_{71}$ — постоянное напряжение 600 в для пи-
 тания экранных сеток ламп генератора и анодов ламп усилителя;
 $Y_9 = X_{12}$ — анодное напряжение 1,25 кВ первого каскада гене-
 ратора;
 $Y_{10} = X_{22}$ — анодное напряжение 2,5 кВ второго каскада генератора;

$y_{11} = x_{12.1}$ — выход первого каскада задающего генератора;
 $y_{12} = x_{72}$ — выход второго каскада задающего генератора;
 $y_{13} = x_{11.1} = x_{12.4}$ — стабилизированное напряжение 250 в для питания анодов ламп задающего генератора;
 $y_{14} = x_{11.2} = x_{12.2}$ — напряжение 12,6 в канала ламп;
 $y_{15} = x_{11.3} = x_{12.3} = x_{63} = x_{73}$ — постоянное напряжение 250 в для питания экранных сеток усилителя и генератора;
 $y_{16} = x_{14} = x_{24} = x_{33} = x_{43}$ — постоянное напряжение смещения — 400 в управляющих сеток генератора;
 $y_{17} = x_{32}$ — анодное напряжение 5 кВ третьего каскада генератора;
 $y_{18} = x_{52} = x_{42}$ — напряжение 10 кВ. Условимся недопустимые значения входных и выходных сигналов обозначать нулем, а допустимые — единицей.

Для определения минимальной совокупности контролируемых параметров генератора, необходимой для поиска единичной неисправности, выделим совокупность обязательных контролируемых параметров и построим таблицу неисправностей. Таблица неисправностей (табл. 1) была построена исходя из следующих условий работоспособности блоков логической модели:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= Q_1 z_{11} y_6 y_8 y_9 y_{16}, & y_{10} &= Q_{10} z_{10.1} z_{10.2} z_{10.3}, \\
 y_2 &= Q_2 z_{21} y_1 y_8 y_{10} y_{16}, & y_{11} &= Q_{11} y_{13} y_{14} y_{15}, \\
 y_3 &= Q_3 z_{31} y_2 y_{16} y_{17}, & y_{12} &= Q_{12} y_{11} y_{13} y_{14} y_{15}, \\
 y_4 &= Q_4 z_{41} y_3 y_6 y_{18}, & y_{13} &= Q_{13} z_{13.1}, \\
 y_5 &= Q_5 z_{51} y_4 y_{16} y_{18}, & y_{14} &= Q_{14} z_{14.1}, \\
 y_6 &= Q_6 z_{61} y_7 y_8 y_{15}, & y_{15} &= Q_{15} z_{15.1}, \\
 y_7 &= Q_7 z_{71} y_8 y_{12} y_{15}, & y_{16} &= Q_{16} z_{16.1}, \\
 y_8 &= Q_8 z_{81} z_{82} z_{83}, & y_{17} &= Q_{17} z_{17.1} z_{17.2} z_{17.3}, \\
 y_9 &= Q_9 z_{91} z_{92} z_{93}, & y_{18} &= Q_{18} z_{18.1} z_{18.2} z_{18.3}.
 \end{aligned}$$

Анализ логической модели генератора позволил выделить совокупность

$$\{y_1; y_2; y_3; y_4; y_5; y_6; y_7; y_9; y_{10}; y_{11}; y_{12}; y_{17}\} \quad (1)$$

обязательных контролируемых параметров (выходов), так как неисправности соответствующих им блоков отличимы только на указанных выходах. Для определения других контролируемых параметров выделим в табл. 1 столбцы, соответствующие обязательным выходам. Сравнивая строки (просматривая только выделенные столбцы), выпишем все пары символов (номеров) блоков, неисправности которых неотличимы одна от другой на обязательных выходах, и запишем для каждой такой пары логические суммы символов выходов, на которых они отличимы:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &\text{ от } Q_{16} y_{16}, \\
 Q_4 &\text{ от } Q_{18} y_{18}, \\
 Q_7 &\text{ от } Q_8 y_8, \\
 Q_{11} &\text{ от } Q_{13} y_{13}, \\
 Q_{13} &\text{ от } Q_{14} y_{13} U y_{14}, \\
 Q_{14} &\text{ от } Q_5 y_{14} U y_{15}.
 \end{aligned}$$

Составив логическое произведение, в которое войдут совокупности обязательных контролируемых параметров и параметров системы (1), ис-

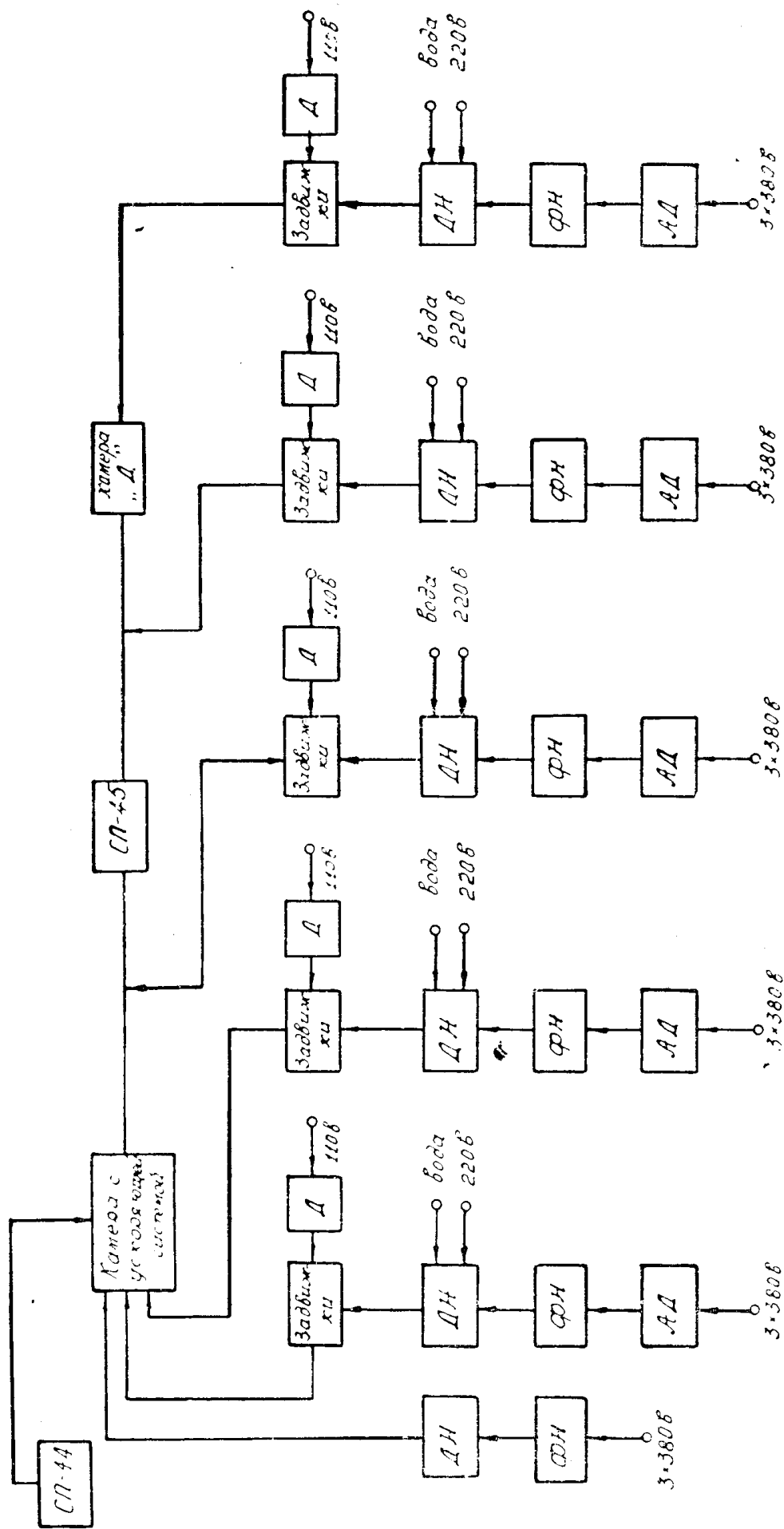


Рис. 3. Функциональная схема вакуумной системы циклотрона. ФН — форвакуумные насосы, ДН — диффузионные насосы, АД — асинхронные двигатели, Д — двигатели постоянного тока

ключив сумму ($y_{13} \cup y_{14}$), получим следующие минимальные совокупности контролируемых параметров.

$$\begin{aligned} & y_1 y_2 y_3 y_4 y_5 y_6 y_7 y_8 y_9 y_{10} y_{11} y_{12} y_{17} y_{16} y_{18} y_8 y_{13} (y_{14} \cup y_{15}) = \\ & = y_1 y_2 y_3 y_4 y_5 y_6 y_7 y_8 y_9 y_{10} y_{11} y_{12} y_{13} y_{14} y_{16} y_{17} y_{18} \cup \\ & y_1 y_2 y_3 y_4 y_5 y_6 y_7 y_8 y_9 y_{10} y_{11} y_{12} y_{13} y_{15} y_{16} y_{17} y_{18}. \end{aligned}$$

Из двух минимальных совокупностей контролируемых параметров, равных по длине и отличающихся между собой параметрами y_{14} и y_{15} , выбираем совокупность, техническая реализация которой проще. Более простой в смысле технической реализации оказалась совокупность, содержащая параметр y_{15} (напряжение 250 в), так как при контроле параметра y_{14} необходимо использовать дополнительное выпрямительное устройство.

Вакуумная система

Функциональная схема вакуумной системы циклотрона представлена на рис. 3. Логическая модель вакуумной системы представлена на рис. 4.

В логической модели приняты следующие обозначения блоков:
 $Q_1; Q_6; Q_{11}; Q_{16}; Q_{21}; Q_{26}$ — форвакуумные насосы;
 $Q_2; Q_7; Q_{12}; Q_{17}; Q_{22}; Q_{27}$ — электродвигатели форвакуумных насосов;

$Q_3; Q_8; Q_{13}; Q_{18}; Q_{23}$ — вакуумные задвижки;
 $Q_4; Q_9; Q_{14}; Q_{19}; Q_{24}$ — привод задвижек;
 $Q_5; Q_{10}; Q_{15}; Q_{20}; Q_{25}$ — диффузионные насосы;
 Q_{28} — камера;
 Q_{29} — ионопровод;
 Q_{30} — камера „Д“.

Блоки логической модели имеют внешние выходы:

$z_{5,1}; z_{10,1}; z_{15,1}; z_{20,1}; z_{25,1}$ — вода для охлаждения задвижек;

$z_{5,2}; z_{10,2}; z_{15,2}; z_{20,2}; z_{25,2}$ — напряжение для питания нагревателей диффузионных насосов;

$z_{4,1}; z_{9,1}; z_{14,1}; z_{19,2}; z_{24,1}$ — постоянное напряжение 110 в;

$z_{2,1}; z_{7,1}; z_{12,1}; z_{17,1}; z_{22,1}; z_{27,1}$ — напряжение 3×380 в.

Блоки логической модели имеют следующие внешние и связанные с ними внутренние входы блоков:

$y_1 = x_{28,2}; y_6 = x_{5,1}; y_{11} = x_{10,1}; y_{16} = x_{15,1}; y_{21} = x_{20,1}; y_{26} = x_{25,1}$ — исправная работа форвакуумных насосов (вакуум 10^{-3} мм рт. ст.);

$y_2 = x_{1,1}; y_7 = x_{6,1}; y_{12} = x_{11,1}; y_{17} = x_{16,1}; y_{22} = x_{21,1}; y_{27} = x_{26,1}$ — исправная работа приводов насосов;

$y_4 = x_{3,1}; y_9 = x_{8,1}; y_{14} = x_{13,1}; y_{19} = x_{18,1}; y_{24} = x_{23,1}$ — исправная работа приводов задвижек;

$y_5 = x_{3,2}; y_{10} = x_{8,2}; y_{15} = x_{13,2}; y_{20} = x_{18,2}; y_{25} = x_{23,2}$ — исправная работа диффузионных насосов (вакуум 10^{-5} мм рт. ст.)

$y_3 = x_{28,1}; y_8 = x_{28,3}; y_{13} = x_{29,2}; y_{18} = x_{29,1}; y_{23} = x_{30,1}$ — исправная работа вакуумных задвижек;

$y_{28} = x_{29,1}$ — камера в вакуумном отношении исправна;

$y_{29} = x_{30,1}$ — ионопровод в вакуумном отношении исправен;

y_{30} — камера „Д“ в вакуумном отношении исправна.

Ввиду того, что неисправности блоков логической модели вакуумной системы отличимы только на их выходах (так как выход каждого блока связан только с одним блоком), все выходы (параметры) логической модели вакуумной системы являются обязательными для поиска неисправностей.

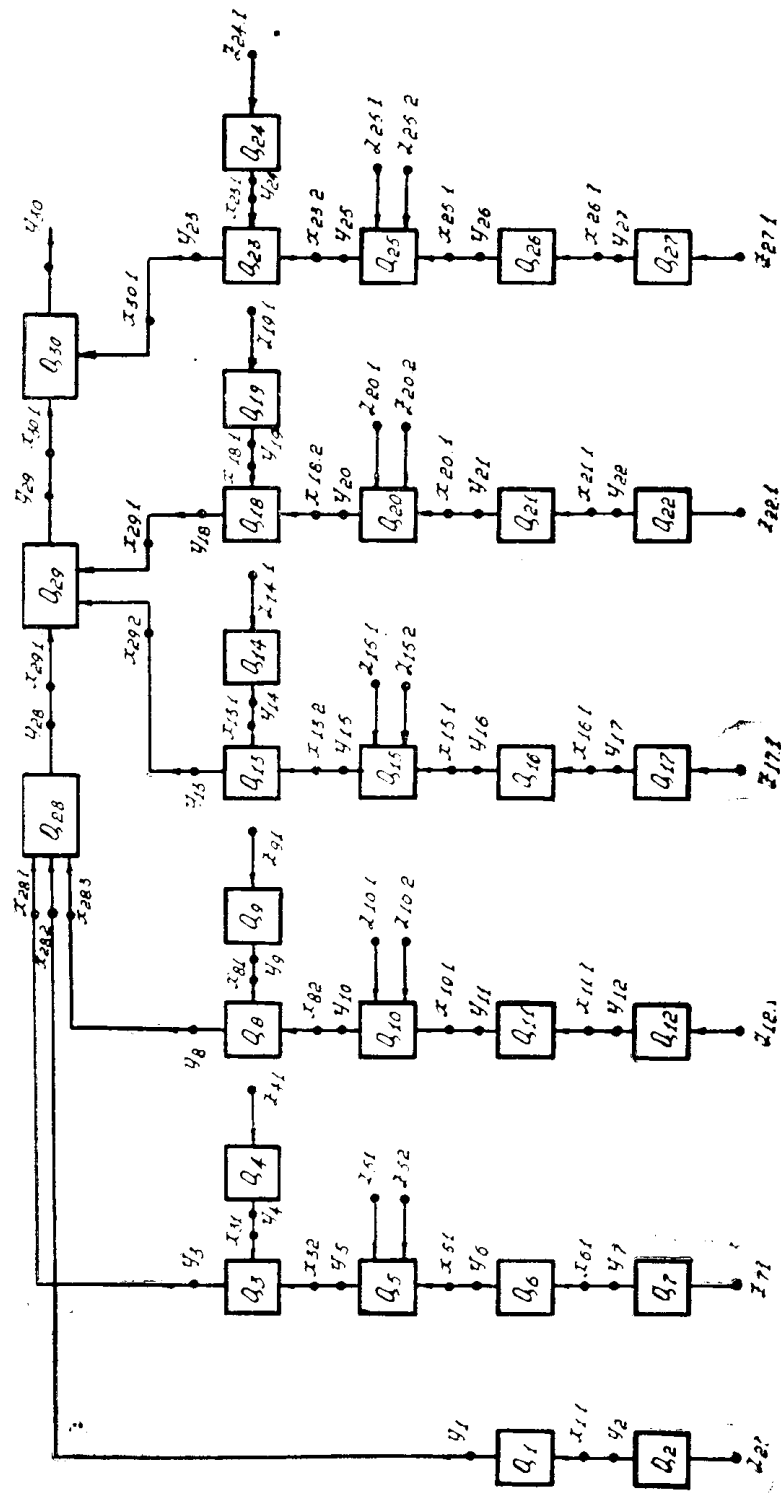


Рис. 4. Логическая модель вакуумной системы циклотрона

Система охлаждения

Упрощенная функциональная схема системы охлаждения представлена на рис. 5.

Логическая модель системы охлаждения, построенная на основе функциональной схемы и понятия функциональной зависимости, представлена на рис. 6.

В логической модели приняты следующие обозначения блоков:

- Q_1 — электромагнит СП-44;
- Q_2 — охладитель воздуха;
- Q_3 — вентилятор охлаждения электромагнита СП-44;
- $Q_4; Q_{11}$ — центробежные насосы;
- Q_5 — камера с ускорительной системой;
- Q_6 — высокочастотный генератор;
- Q_7 — поворотные линзы;
- Q_8 — диффузионные насосы;
- Q_9 — водоводяной охладитель;
- Q_{10} — сливные баки;
- Q_{12} — дистилляторы;
- Q_{13} — анодные сопротивления высокочастотного генератора;
- Q_{14} — вентилятор охлаждения анодных сопротивлений.

Блоки логической модели имеют внешние входы:

- $z_{21}; z_{12.1}$ — водопроводная вода;
- $z_{32}; z_{41}; z_{12.2}; z_{14.2}$ — напряжение 3×380 в;
- $z_{31}; z_{14.1}$ — воздух.

Блоки логической модели имеют следующие внешние и связанные с ними внутренние входы блоков:

- y_1 — температура электромагнита СП-44 в норме;
- $y_2 = x_{11}$ — исправная работа охладителя (воздух охлаждения);
- $y_3 = x_{21}; y_{14} = x_{13.1}$ — вентиляторы исправны;
- $y_4 = x_{51} = x_{61} = x_{71} = x_{81}$ — центробежные насосы исправны;
- $y_5 = x_{91}; y_6 = x_{92}; y_7 = x_{93}; y_8 = x_{94}$ — соответствующие блоки охлаждены;
- $y_9 = x_{10.1}$ — водоводяной охладитель исправен;
- $y_{10} = x_{41}$ — сливные баки исправны;
- $y_{12} = x_{11.1}$ — дистилляторы исправны;
- y_{13} — температура анодных сопротивлений в норме.

Из логической модели видно, что неисправности всех блоков логической модели отличимы только на их выходах, следовательно, все выходы (параметры) блоков логической модели системы охлаждения являются обязательными для поиска неисправностей.

Компенсационные устройства

Функциональная схема компенсационных устройств представлена на рис. 7. Логическая модель компенсационных устройств представлена на рис. 8.

В логической модели введены имеющиеся обозначения блоков

- Q_1 — модулятор;
- Q_2 — усилитель переменного тока;
- Q_3 — фазочувствительный усилитель (демодулятор);
- Q_4 — генератор синусоидальных колебаний;
- $Q_5 \div Q_7$ — блоки питания;
- $Q_8 \div Q_{10}$ — тиратронный выпрямитель.

Блоки логической модели имеют внешние входы:

- z_{11} — напряжение рассогласования;

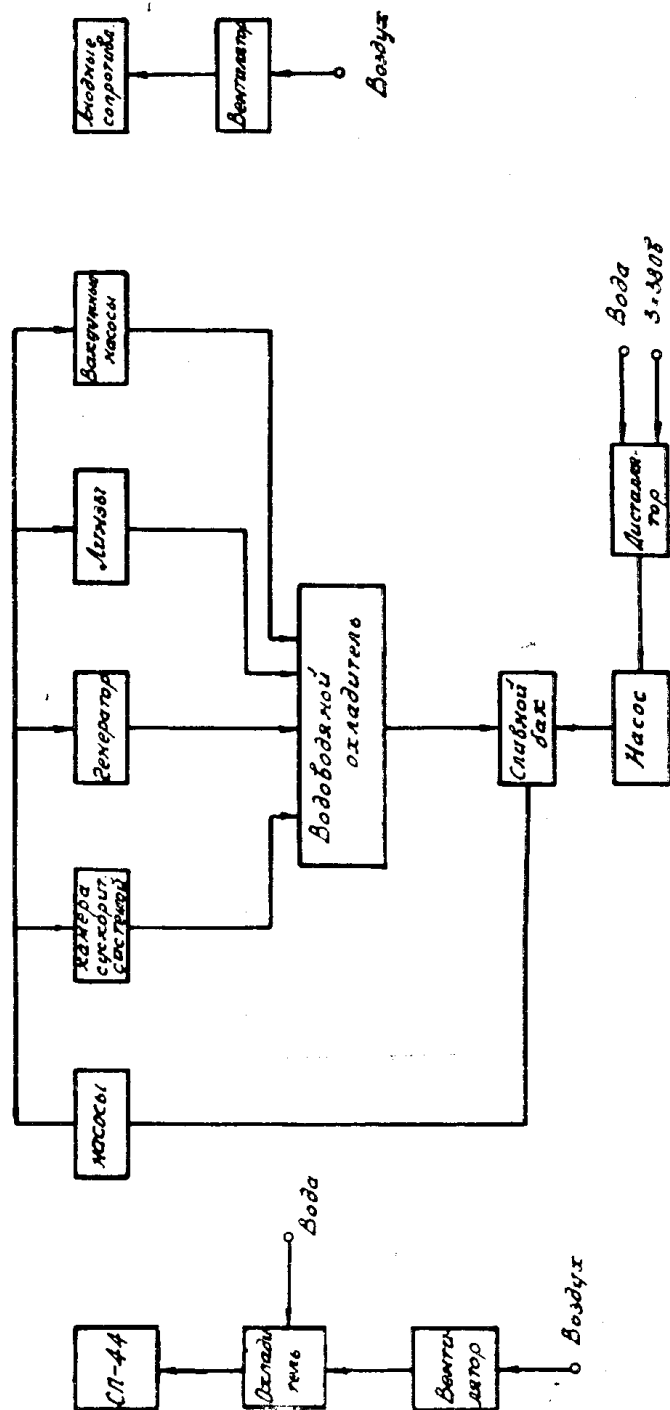


Рис 5. Упрощенная функциональная схема системы охлаждения циклотрона

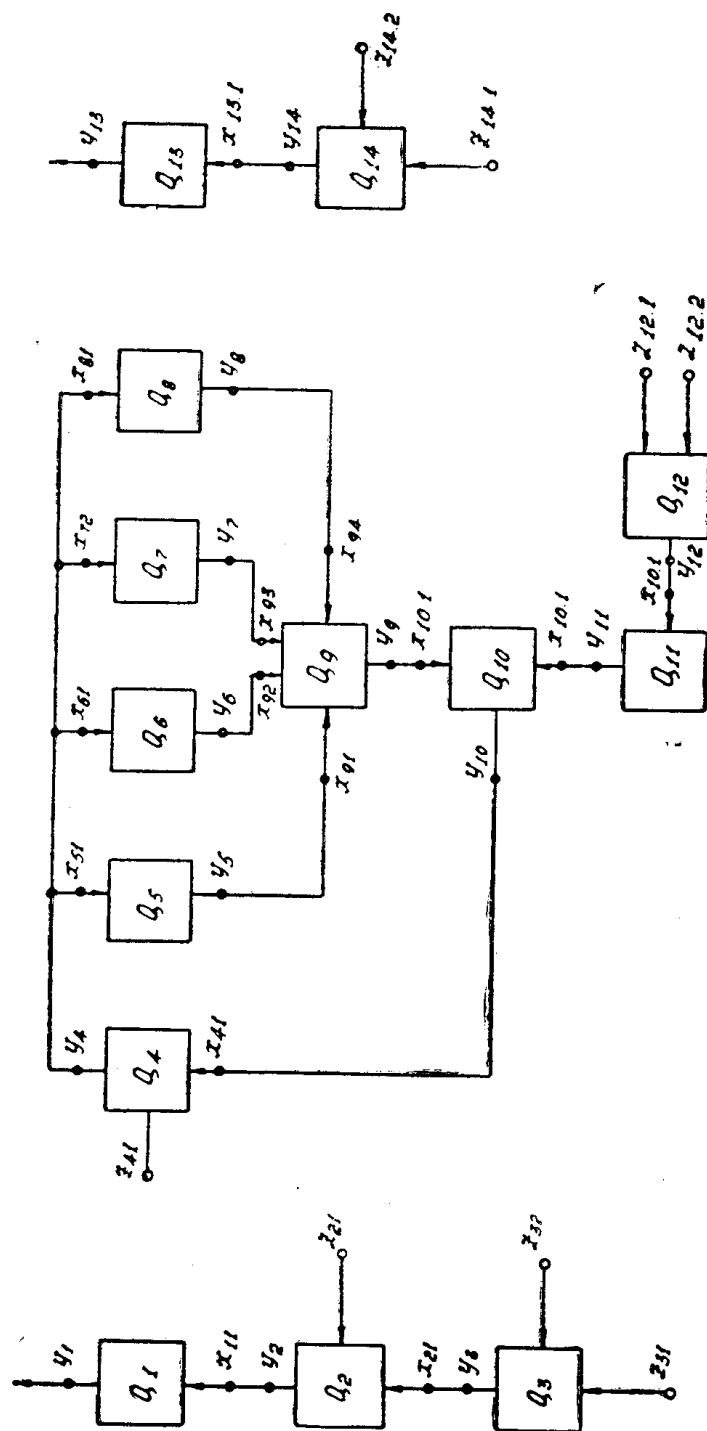


Рис. 6. Логическая модель системы охлаждения циклотрона

$z_{51}; z_{61}; z_{71}$ — напряжение 220 в;
 $z_{81}; z_{91}; z_{10.1}$ — напряжение накала тиратронов;
 $z_{82}; z_{92}; z_{10.2}$ — переменное напряжение 1000 в.

Блоки логической модели имеют следующие выходы и связанные с ними внутренние входы:

$y_1 = x_{21}$ — преобразованное напряжение;

$y_2 = x_{31}$ — напряжение с выхода усилителя переменного тока;

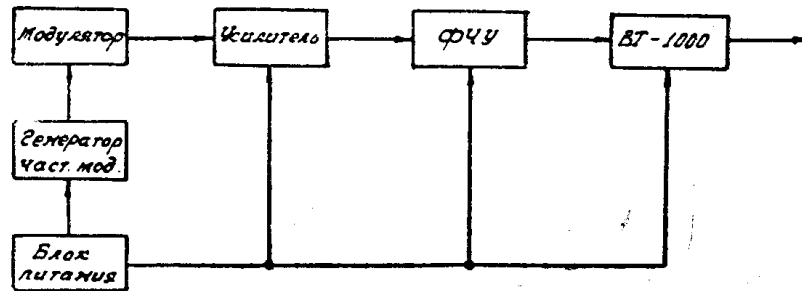


Рис. 7. Функциональная схема компенсационного устройства циклотрона.
 ФЧУ — фазочувствительный детектор, ВТ-1000 — тиратронный выпрямитель на 1000 в

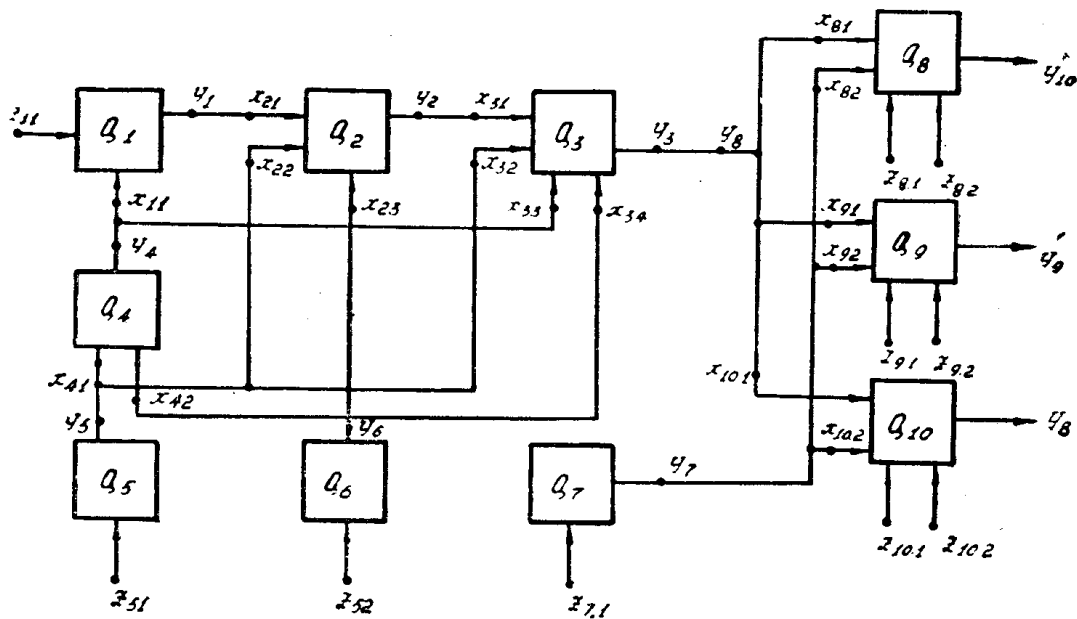


Рис. 8. Логическая модель компенсационного устройства

$y_3 = x_{81} = x_{91} = x_{10.1}$ — напряжение с выхода фазочувствительного усилителя;

$y_4 = x_{11} = x_{33}$ — синусоидальное напряжение генератора;

$y_5 = x_{41} = x_{22} = x_{32}$ — напряжение накала ламп = 6,3 в;

$y_6 = x_{42} = x_{23} = x_{34}$ — напряжение анодного питания 300 в;

$y_7 = x_{82} = x_{92} = x_{10.2}$ — напряжение смещения тиратронов;

y_8, y_9, y_{10} — выходное напряжение тиратронного выпрямителя.

Из логической модели компенсационного устройства выделим совокупность обязательных контролируемых параметров. Такими параметрами являются следующие выходы логических блоков:

$$\{y_1; y_2; y_8; y_9; y_{10}\}.$$

Остальные выходы минимальной совокупности контролируемых параметров определим из таблицы неисправностей (табл. 2) компенсационного устройства. Таблица неисправностей была построена, исходя из следующих уравнений работоспособности блоков:

$$\begin{aligned} y_1 &= Q_1 z_{11} y_4, & y_6 &= Q_6 z_{61}, \\ y_2 &= Q_2 y_1 y_5 y_6, & y_7 &= Q_7 z_{71}, \\ y_3 &= Q_3 y_2 y_4 y_5 y_6, & y_8 &= Q_8 z_{81} z_{82} y_3 y_7, \\ y_4 &= Q_4 y_5 y_6, & y_9 &= Q_9 z_{91} z_{92} y_3 y_7, \\ y_5 &= Q_5 z_{51}, & y_{10} &= Q_{10} z_{10,1} z_{10,2} y_3 y_7. \end{aligned}$$

Таблица 2

$Q_i \backslash y_i$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}
Q_1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Q_2	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Q_3	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
Q_4	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Q_5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Q_6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Q_7	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Q_8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Q_9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Q_{10}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Выделим в таблице столбцы, соответствующие обязательным выходам. Сравнивая строки (просматривая только выделенные столбцы), выпишем все пары символов (номеров) блоков, неисправности которых отличимы одна от другой на обязательных выходах, и запишем для каждой такой пары логические суммы символов выходов, на которых они отличимы:

$$\begin{aligned} Q_1 &\text{ от } Q_4 \ y_4, \\ Q_1 &\text{ от } Q_5 \ y_4 \cup y_5, \\ Q_1 &\text{ от } Q_6 \ y_4 \cup y_6, \\ Q_3 &\text{ от } Q_7 \ y_3 \cup y_7, \\ Q_4 &\text{ от } Q_5 \ y_5, \\ Q_5 &\text{ от } Q_6 y_5 \cup y_6. \end{aligned}$$

Из записанных сумм видно, что выходы четвертого, пятого и шестого блоков обязательны. Поэтому вторую $y_4 \cup y_5$ и третью $y_4 \cup y_6$ суммы из дальнейшего рассмотрения можно исключить.

Тогда все неисправности будут отличаться друг от друга на следующих наборах выходов:

$$\begin{aligned} &y_1 y_2 y_8 y_9 y_{10} y_4 y_5 y_6 (y_3 \cup y_7) = \\ &= y_1 y_2 y_3 y_4 y_5 y_6 y_8 y_9 y_{10} \cup y_1 y_2 y_4 y_5 y_6 y_7 y_8 y_9 y_{10}. \end{aligned}$$

Обе совокупности параметров одинаковы по длине, однако более удобен для контроля параметр y_7 (напряжение смещения тиратро-

нов). Поэтому необходимо остановиться на следующей минимальной совокупности:

$y_1; y_2; y_4; y_5; y_6; y_7; y_8; y_9; y_{10}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Саблин. Логическая модель циклотрона для анализа оборудования ускорителя для целей автоматического контроля работоспособности и поиска неисправностей. Изв. ТПИ, т. 193, изд-во ТГУ, 1972.

2. Н. И. Саблин. Синтез прибора автоматического контроля работоспособности и автоматического поиска неисправностей для циклотрона НИИ ЯФЭА при ТПИ. Изв. ТПИ, т. 193, изд-во ТГУ, 1972.

3. В. В. Карибский. Анализ систем для контроля работоспособности и диагностики неисправностей. Автоматика и телемеханика. XXVI, 2, 1965.
