

АВТОМАТИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА МАГНИТНЫХ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОВ НА МАКСИМУМ ПИКА ИОННОГО ТОКА ПРИ ПОМОЩИ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

А. А. Волков, О. Р. Савин, А. А. Шмуратов

Харьков

При разработке масс-спектрометров для промышленного контроля и регулирования необходимо решить целый ряд задач, связанных с автоматизацией работы этих приборов. Требуется автоматизировать калибровку прибора по эталонному газу, установку нуля усилителя ионного тока, дублирование показаний и т. д.

Одна из важных задач — автоматизация настройки масс-спектрометра на максимум пика ионного тока [1], поскольку в таких приборах существует ряд причин, вызывающих изменение радиуса кривизны траектории движения ионов в магнитном поле: образование полупроводниковых пленок в ионном источнике и анализаторе, нестабильность источников питания, магнитного поля и др. [2]. В зависимости от изменения ускоряющего ионы напряжения ΔU и напряженности магнитного поля ΔH изменения радиуса кривизны траектории движения иона Δr соответственно будут

$$\Delta r_U = \frac{r \Delta U}{2U}, \quad \Delta r_H = \frac{r \Delta H}{H},$$

где $r = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{m}{2e} U}$ — радиус кривизны траектории движения иона в магнитном поле масс-спектрометра;
 U — ускоряющие ионы напряжение;
 m — масса иона;
 e — заряд иона;
 H — напряженность магнитного поля.

Изменение радиуса кривизны траектории движения ионов приводит к сползанию ионного луча с приемной щели коллектора ионов и, следовательно, к уменьшению ионного тока.

Известно несколько способов и устройств для автоматической настройки магнитных масс-спектрометров на максимум пика ионного тока и удержания ионного луча на приемной щели. Эти способы основаны на использовании экстремальной зависимости $I = f(U)$ ионного тока от ускоряющего ионы напряжения U и обычно осуществляются за счет изменения ускоряющего ионы напряжения, компенсирующего все причины дрейфа. «Направление» этого изменения определяется следующим образом.

1. Производим модуляцию ускоряющего ионы напряжения и определяем полярность (фазу) сигнала ошибки, возникающей в результате не

большого периодического перемещения ионного луча по приемной щели приемника ионов [3].

2. Анализируем сигнал, снимаемый с двух вспомогательных коллекторов приемника ионов масс-спектрометра с дифференциальной усиленной электрометрической схемой [3].

3. Анализируем сигнал, снимаемый с вспомогательного масс-спектрометра (специально применяемого для этой цели) [4].

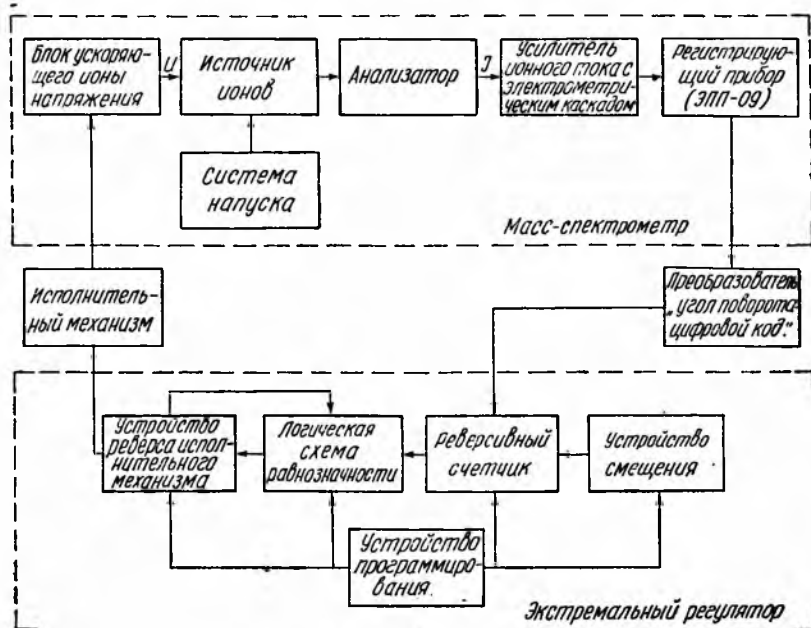


Рис. 1.

4. Запоминаем и сравниваем два значения ионного тока, соответствующие одинаковым изменениям ускоряющего ионы напряжения в сторону его уменьшения и увеличения [5].

Устройства, реализующие способы 1—3, в промышленных масс-спектрометрах не применяются из-за сложности устройств, низкой надежности и ряда других недостатков.

Устройство по способу [4] было реализовано в масс-спектрометре МХ-1201, но оно также обладает рядом недостатков: имеет малое быстродействие, низкую надежность и качество регулирования, увеличивает «мертвое» время прибора и т. д.

В настоящей статье описан сравнительно простой способ настройки магнитных масс-спектрометров на максимум пика ионного тока при помощи импульсной системы экстремального регулирования (СЭР). Устройство, реализующее этот способ, выполнено на бесконтактных феррит-диодных логических элементах, обеспечивает высокую надежность точность и быстродействие настройки.

Структурная схема системы экстремального регулирования. На рис. 1 представлена структурная схема системы настройки магнитных масс-спектрометров на максимум пика ионного тока. Сигнал на «направление» изменения ускоряющего ионы напряжения формируется при помощи

шагового экстремального регулятора с постоянным шагом и периодом экстремального регулирования. Алгоритм работы такого регулятора, реализуемый логической схемой равнозначности, имеет вид

$$\Delta U_n = \alpha \operatorname{sign} \Delta U_{n-1} \operatorname{sign} (\Delta I_{n-1} - \delta_0), \quad (1)$$

где $\alpha = |\Delta U|$ — амплитуда шага приращения ускоряющего ионы напряжения за цикл экстремального регулирования;

$n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ — номер цикла экстремального регулирования;

ΔU_{n-1} — изменение ускоряющего ионы напряжения, произведенное в $n-1$ цикле экстремального регулирования;

ΔI_{n-1} — приращение ионного тока в $n-1$ цикле экстремального регулирования (в цифровом виде);

ΔU_n — изменение ускоряющего ионы напряжения, которое необходимо произвести в n цикле экстремального регулирования¹;

δ_0 — отрицательное смещение.

Отрицательное смещение, введенное в закон экстремального регулирования, позволяет повысить точность настройки [6].

Для измерения приращений ионного тока используется преобразователь угла поворота компенсирующего двигателя регистрирующего прибора (ЭПП-09) в цифровой код. Преобразователи «угол поворота цифровой код» широко известны. Для решения поставленной задачи наиболее приемлемым оказался преобразователь, описанный в [8].

Этот преобразователь представляет собой миниатюрный диск с четырьмя ферритовыми магнитами. Преобразователь насаживается на ось ротора компенсирующего двигателя автоматического потенциометра ЭПП-09. При вращении магниты коммутируют два ключа, выполненные на индуктивностях. На ключи поступают импульсы от генерирующей ячейки. В зависимости от направления вращения диска с магнитами импульсы проходят на ход сложения или вычитания реверсивного двоичного счетчика. В конце $n-1$ цикла регулирования информация, записанная в счетчике, пропорциональна приращению ионного тока за $n-1$ цикл экстремального регулирования.

Измерение приращений ионного тока в цифровом коде описываемым здесь способом позволяет достигнуть высокой чувствительности, точности и быстродействия настройки.

Сигнал о знаке приращения ионного тока со счетчика подается на схему равнозначности, которая хранит информацию о знаке изменения ускоряющего ионы напряжения ΔU_{n-1} в $n-1$ цикле регулирования. Схема равнозначности дает команду на устройство реверса исполнительного механизма, который включается в соответствии с законом экстремального регулирования [1].

Последовательность операций устанавливается при помощи программирующего устройства.

Определение оптимальных параметров регулирования. Качество настройки магнитных масс-спектрометров на максимум пика ионного тока описываемой СЭР определяется параметрами регулирования δ_0 (отрица-

¹ Здесь и далее пользуемся восходящими разностями [7], т. е. для функции z $\Delta z_n = z_n - z_{n-1}$.

тельное смещение), α (шаг регулирования) и T_n (длительность цикла экстремального регулирования).

Определение аналитического выражения закона изменения регулирующего воздействия и выбор величины δ_0 для измерения приращений регулируемой величины в аналоговом виде изложены в [6].

В описываемой схеме измерение приращений ионного тока производится аналого-цифровым преобразователем, поэтому на выбор величины δ_0 накладываются дополнительные условия. Для выяснения этих условий найдем аналитическое выражение закона изменения регулирующего воздействия $U(n)$ в режиме установившихся колебаний вокруг точки экстремума. Для этого экстремальную характеристику масс-спектрометра $I = f(U)$ в области регулирования аппроксимируем параболой из семейства

$$I = b(t) \{1 - c[U(t) - a(t)]^2\}, \quad (2)$$

где $a(t)$, $b(t)$, c — коэффициенты экстремальной характеристики, при этом $c = \text{const}$. Как показывают исследования, для различных типов масс-спектрометров $|U(t) - a(t)| = 10 \div 20$ в; $b = 10^{-9} \div 10^{-13}$; $c = 0,01 \div 0,0025 \frac{1}{\text{в}^2}$.

В случае, когда экстремальная характеристика не дрейфует, т. е. $a = \text{const}$, $b = \text{const}$, из (2) для n цикла экстремального регулирования получим

$$I_n = b - bc(U_{n-1} - a + \alpha)^2 \text{ при } \Delta U_n > 0;$$

(3)

$$I_n = b - bc(U_{n-1} - a - \alpha)^2 \text{ при } \Delta U_n < 0,$$

откуда для ΔI_n имеем

$$\Delta I_n = -2bca(U_{n-1} - a) \text{ sign } \Delta U_n - bca^2. \quad (4)$$

Статическая характеристика аналого-цифрового преобразователя для измерения приращений ионного тока в общем случае имеет следующий вид (рис. 2):

$$\Delta \bar{I}_n = \beta E \left[\frac{\Delta I_n}{\beta} + \frac{\beta - \Delta_n}{\beta} \right] \text{ при } \Delta I_n > 0;$$

(5)

$$\Delta \bar{I}_n = -\beta E \left[\left| \frac{\Delta I_n}{\beta} - \frac{\Delta_n}{\beta} \right| \right] \text{ при } \Delta I_n < 0,$$

где $E[x]$ — функция «антье» от x , равная наибольшему целому числу, не превышающему x ;

β — шаг квантования по уровню;

Δ_n — погрешность (зона нечувствительности) преобразователя;

$$0 < \Delta_n < \beta.$$

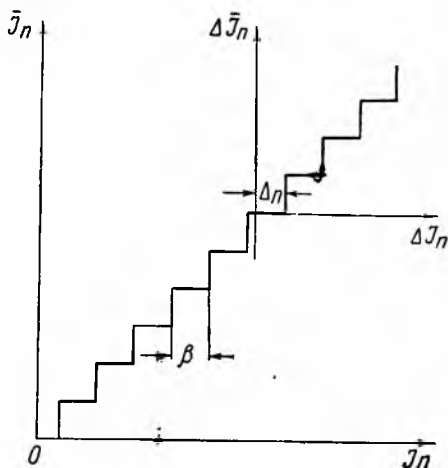


Рис. 2.

Величина β выбирается из условия обеспечения заданной точности преобразования. Поскольку СЭР должна обрабатывать каждый шаг по регулирующему воздействию даже при минимальном регистрируемом токе, то должно соблюдаться условие

$$b_{\min} \alpha^2 > \beta.$$

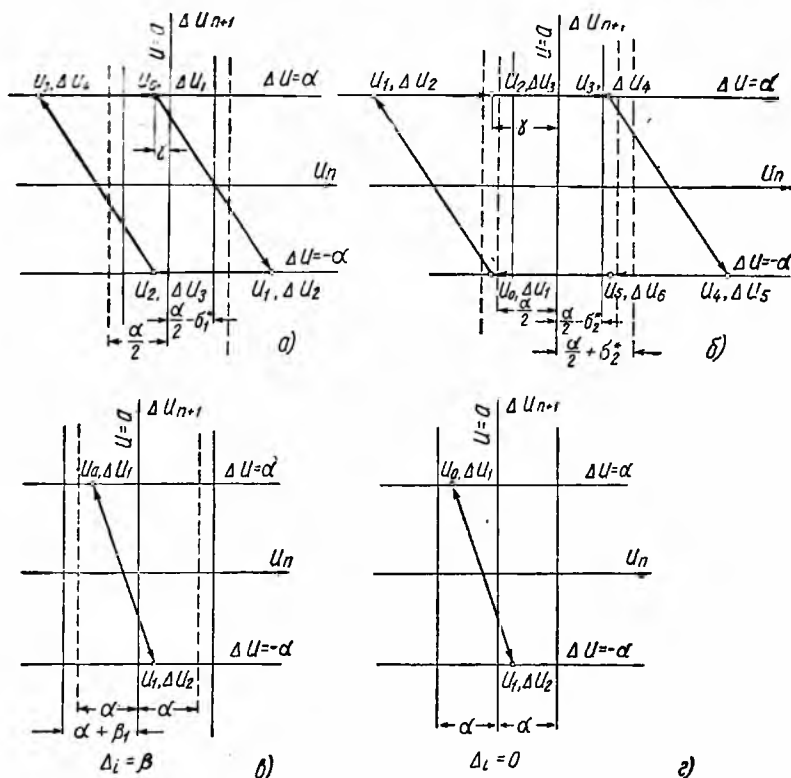


Рис. 3.

Положим вначале в (1) $\delta_0 = 0$. Решая совместно (1), (4), (5) и учитывая, что при $\Delta \bar{I}_n = 0$ (т. е. при $-(\beta - \Delta_n) < \Delta_n < \Delta_n$)

$$\Delta U_{n+1} = \alpha \operatorname{sign} \Delta U_n, \quad (6)$$

получим:

$$\Delta U_{n+1} = -\alpha \text{ при } \Delta U_n > 0 \text{ и } U_{n-1} \geq a - \frac{\alpha}{2} + \sigma_n;$$

$$\Delta U_{n+1} = \alpha \text{ при } \Delta U_n > 0 \text{ и } U_{n-1} < a - \frac{\alpha}{2} + \sigma_n;$$

$$\Delta U_{n+1} = \alpha \text{ при } \Delta U_n < 0 \text{ и } U_{n-1} \leq a + \frac{\alpha}{2} - \sigma_n;$$

$$\Delta U_{n+1} = -\alpha \text{ при } \Delta U_n < 0 \text{ и } U_{n-1} > a + \frac{\alpha}{2} - \sigma_n,$$

$$\text{где } \sigma_n = \frac{\beta - \Delta_n}{2b_{\min}}.$$

В зависимости от начальных условий и величины σ_n может возникнуть один из двух граничных режимов колебаний СЭР или смешанный режим. В первом граничном режиме (рис. 3,а) регулирующее воздействие изменяется по закону:

$$U(n) = a + \gamma - \frac{\alpha}{2} (-1)^{\frac{n+1}{2}} [1 - (-1)^n] \operatorname{sign} \Delta U_1 \text{ при } -\frac{\alpha}{2} + \sigma_1^* \leq \gamma \leq \frac{\alpha}{2} - \sigma_1^*, \quad (8)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots, i, \dots$ — номер цикла экстремального регулирования;
 γ — смещение центра колебаний относительно точки экстремума $U = a$;

$a + \gamma = U_0$, ΔU_1 — начальные условия;

σ_1^* — наибольшее из значений σ_n за n циклов регулирования.

Во втором граничном режиме (рис. 3,б) аналитическое выражение $U(n)$ имеет вид

$$U(n) = \begin{cases} a - \gamma + \frac{\alpha}{2} \left\{ 1 - 2(-1)^{E\left[\frac{n+2}{3}\right]} + (-1)^n \right\} \\ \quad \text{при } -\left(\frac{\alpha}{2} + \sigma_2^*\right) < \gamma < -\left(\frac{\alpha}{2} - \sigma_2^*\right) \text{ и } \Delta U_1 = \alpha, \\ a + \gamma + \frac{\alpha}{2} \left\{ -1 + 2(-1)^{E\left[\frac{n+2}{3}\right]} - (-1)^n \right\} \\ \quad \text{при } \frac{\alpha}{2} - \sigma_2^* < \gamma < \frac{\alpha}{2} + \sigma_2^* \text{ и } \Delta U_1 = -\alpha, \\ a + \gamma + \frac{\alpha}{2} \left\{ -1 + 2(-1)^{E\left[\frac{n}{3}\right]} - (-1)^n \right\} \\ \quad \text{при } \frac{\alpha}{2} - \sigma_2^* < \gamma < \frac{\alpha}{2} + \sigma_2^* \text{ и } \Delta U_1 = \alpha, \\ a - \gamma + \frac{\alpha}{2} \left\{ 1 - 2(-1)^{E\left[\frac{n}{3}\right]} + (-1)^n \right\} \\ \quad \text{при } -\left(\frac{\alpha}{2} + \sigma_2^*\right) < \gamma < -\left(\frac{\alpha}{2} - \sigma_2^*\right) \text{ и } \Delta U_1 = -\alpha, \end{cases} \quad (9)$$

где σ_2^* — наименьшее из значений σ_n за n циклов регулирования.

Смешанный режим характеризуется последовательным переходом СЭР из одного граничного режима колебаний в другой.

Вычисление потерь на поиск и поддержание экстремума, отнесенных к одному циклу регулирования [6],

$$\epsilon = \frac{bc}{nT} \int_0^{nT} [U(t) - a]^2 dt = \frac{bc}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - a)^2 \quad (10)$$

показывает, что в режиме колебаний (9) эти потери в среднем в $1,5 \div 2$ раза больше, чем в режиме колебаний (8).

Таким образом, процесс квантования по уровню при измерении приращений ионного тока вносит устойчивый режим колебаний (9) или смешанный режим с большими потерями.

Для устранения режима колебаний (9) в закон экстремального регулирования (1) вводится смещение ($\delta_0 = \beta, 2\beta, \dots$). Решая совместно (1), (4), (5) и учитывая, что

$$\text{при } \Delta \bar{I}_n = \delta_0 \text{ (т. е. при } \delta_0 (\beta - \Delta_n) < \Delta I_n < \delta_0 + \Delta_n) \quad \Delta U_{n+1} = \alpha \cdot \text{sign } \Delta U_n$$

получим:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{n+1} &= -\alpha \text{ при } \Delta U_n > 0 \text{ и } \Delta I_n \leq \delta_0 - (\beta - \Delta_n), \\ &\text{т. е. } U_{n-1} \geq a - \frac{\alpha}{2} + \sigma_n - \delta, \\ \Delta U_{n+1} &= \alpha \text{ при } \Delta U_n > 0 \text{ и } \Delta I_n > \delta_0 - (\beta - \Delta_n), \\ &\text{т. е. } U_{n-1} < a - \frac{\alpha}{2} + \sigma_n - \delta, \\ \Delta U_{n+1} &= \alpha \text{ при } \Delta U_n < 0 \text{ и } \Delta I_n \leq \delta_0 - (\beta - \Delta_n), \\ &\text{т. е. } U_{n-1} \leq a + \frac{\alpha}{2} - \sigma_n + \delta, \\ \Delta U_{n+1} &= -\alpha \text{ при } \Delta U_n < 0 \text{ и } \Delta I_n > \delta_0 - (\beta - \Delta_n), \\ &\text{т. е. } U_{n-1} > a + \frac{\alpha}{2} - \sigma_n + \delta, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\text{где } \delta = \frac{\delta_0}{2bca}.$$

Как показывают расчеты, оптимальная величина смещения для рассматриваемого случая будет

$$\delta_0 = bca^2 + \alpha. \quad (12)$$

Аналитическое выражение закона изменения регулирующего воздействия принимает вид (рис. 3, б, 3, в)

$$U(n) = a + \gamma_1 + \frac{\alpha}{2} [1 - (-1)^n] \text{ при } -(\alpha + \beta_1) \leq \gamma_1 \leq 0, \quad (13)$$

$$\text{где } \beta_1 = \frac{\beta}{2bca}.$$

Введение смещения δ_0 в закон регулирования (1) позволяет в среднем почти в 1,5 раза снизить потери на поиск и поддержание экстремума и, следовательно, повысить точность регистрации ионного тока, что особенно важно при масс-спектральном анализе микроколичеств веществ.

С уменьшением величины шага регулирующего воздействия потери на «рыскание» уменьшаются в любом режиме колебаний. При выбранном β (заданной погрешности) нижняя граница для α определяется из соотношения $\sqrt{\frac{\beta}{cb_{\min}}} < \alpha$.

Выбор величины длительности цикла экстремального регулирования $T_{\text{ц}}$ для СЭР рассматриваемого класса зависит от скорости дрейфа экстремальной характеристики и инерционности линейных звеньев цепи регулирования. Поскольку смещения экстремальной характеристики масс-спектрометра $I = f(U)$ носят характер медленных дрейфов и инерционностью линейных звеньев масс-спектрометра можно практически пренебречь (постоянная времени $\tau \approx 0,5 \text{ сек}$), для выбора $T_{\text{ц}}$ имеется широкий диапазон $3\tau < T_{\text{ц}} < 10\tau$, в котором изменения $T_{\text{ц}}$ практически не влияют на точность настройки.

Принципиальная схема СЭР для настройки масс-спектрометров на максимум пика ионного тока. Принципиальная схема экстремального регулятора с преобразователем и исполнительным механизмом представлена на рис. 4. Схема является бесконтактной, малогабаритной и выполнена на трехтактных феррит-диодных логических элементах (обозначение элементов: P — повторитель, $ПУ$ — повторитель уможенный, $ПМ$ — повторитель мощный, $З$ — запрета, $Сп$ — совпадения, $ТгД$ — триггер динамический, $Н$ — несоответствия, $И$ — инвертирующий, $С$ — сигнализации).

Программирующее устройство выполнено на ячейках $У_1 \div У_{27}$, $У_{67}$, $У_{68}$ и представляет собой двоичный счетчик на сложение с двумя схемами совпадения. На вход формирователя импульсов $У_1 \div У_3$ подается переменное напряжение 6,3 в промышленной частоты. Формирователь выдает на вход счетчика программирующего устройства (ячейки $У_4$, $У_5$) импульсы с частотой 50 гц.

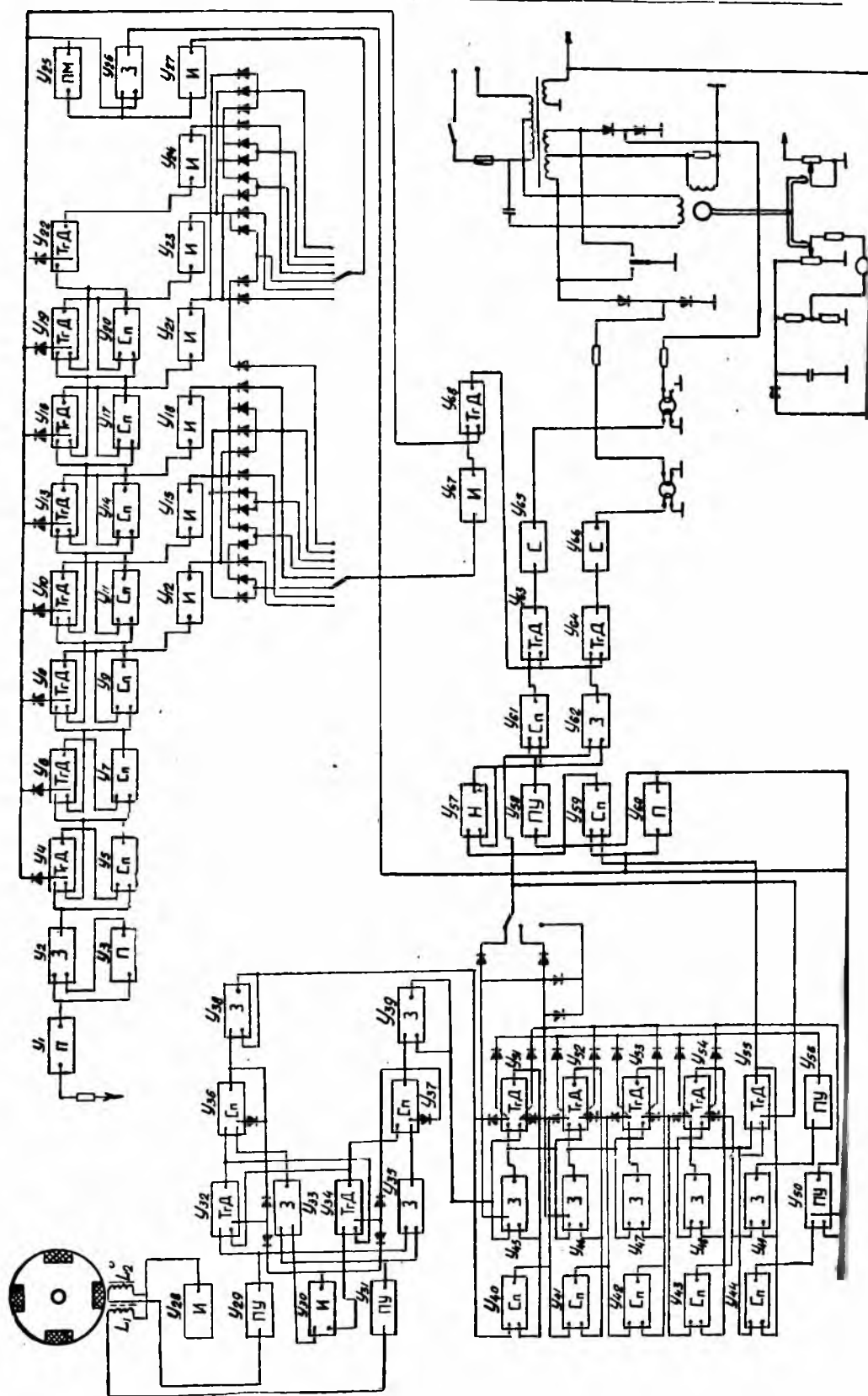
Длительность включения исполнительного механизма $T_{н.м}$ (величины шага регулирующего воздействия α) и длительность цикла экстремального регулирования $T_{ц}$ устанавливаются при помощи переключателей B_1 и B_2 . Схемы совпадения позволяют установить время $T_{н.м}$ от 0,08 до 0,64 сек с «шагом» 0,08 сек время $T_{ц}$ от 0,64 до 4,48 сек с «шагом» 0,64 сек.

В конце каждого цикла экстремального регулирования счетчик управляющего устройства сбрасывается в нуль импульсом с ячейки $У_{25}$. На ячейках $У_{28} \div У_{39}$ выполнена логическая схема преобразователя «угол поворота — цифровой код». Эта схема, как показано в [8], обладает большой помехозащищенностью при вибрации и колебаниях ротора компенсирующего двигателя с диском. Количество магнитов на диске преобразователя выбирают, исходя из требуемой дискретности преобразования (величины шага квантования β). Четырем магнитам соответствуют четыре импульса за один оборот ротора компенсирующего двигателя, что позволяет достигнуть чувствительности $\pm 0,2\%$ шкалы ЭПП-09 (время пробега шкалы 8 сек).

Импульсы с ячейки $У_{25}$ в зависимости от направления вращения диска с магнитами поступают на вход вычитания или сложения реверсивного двоичного счетчика (ячейки $У_{40} \div У_{60}$ с ячейкой знака $У_{65}$). Счетчик снабжен защитой от переполнения по входам сложения и вычитания (ячейки $У_{49}$, $У_{56}$ и ячейки $У_{44}$, $У_{50}$), поэтому его емкость выбрана небольшой (четыре разряда). Отрицательное смещение δ_0 подается с ячейки $У_{68}$ в реверсивный счетчик после сброса его в нуль (в начале каждого цикла экстремального регулирования). При помощи переключателя B_3 смещение δ_0 может быть выбрано равным нулю « β », « 2β », « 3β », т. е. подается 0 $\div$ 3 импульса на отрицательный вход счетчика.

Если приращение ионного тока за текущий цикл экстремального регулирования положительно, то ячейка знака $У_{65}$ реверсивного счетчика не возбуждена. В случае, если это приращение отрицательно (ячейка возбуждена), на выходе ячейки $У_{59}$ в начале следующего цикла экстремального регулирования появится импульс на реверс исполнительного механизма. Логическая схема экстремального регулятора с устройством реверса исполнительного механизма выполнена на ячейках $У_{67}$, $У_{61}$, $У_{62}$. Для уяснения работы логической схемы алгоритм работы экстремального регулятора (1) представим в виде

$$\Delta U_n = \Delta U_{n-1} \text{sign} (\Delta \bar{I}_{n-1} - \delta_0). \quad (14)$$



Из (14) видно, что в случае, когда приращение ионного тока в текущем цикле экстремального регулирования отрицательно, в следующем цикле производится реверс исполнительного механизма. Эта логическая

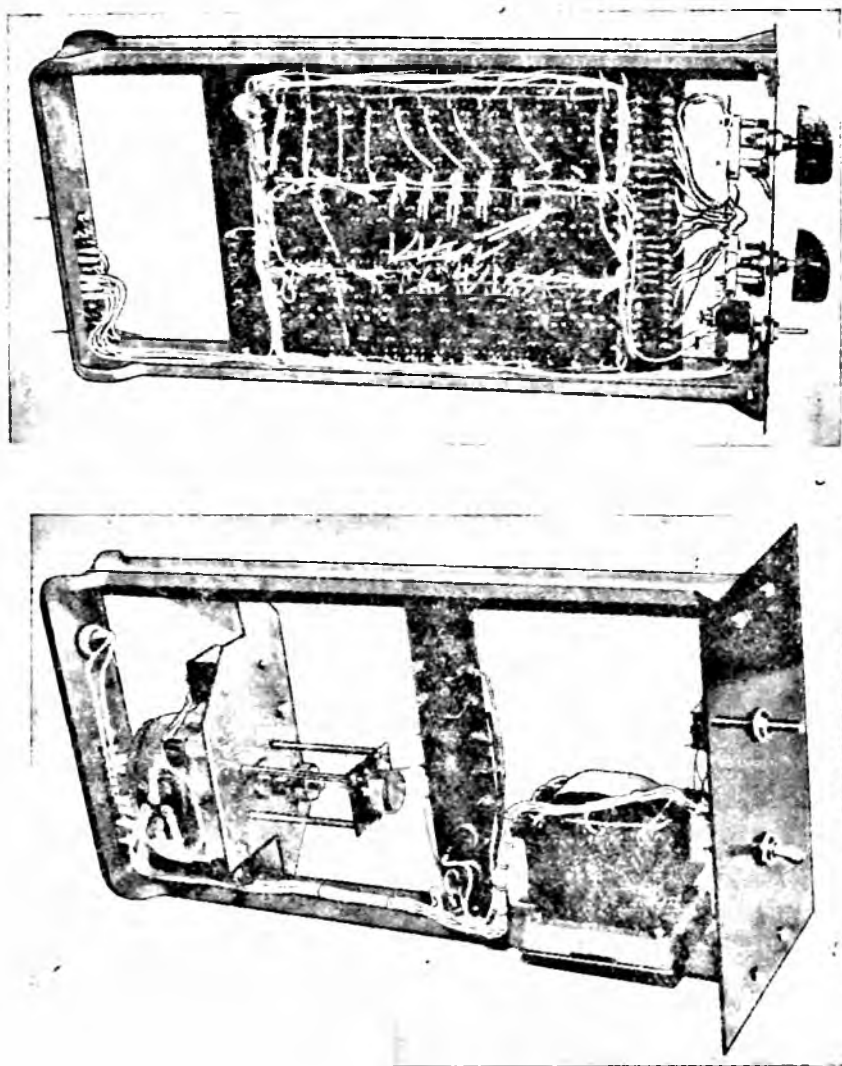


Рис. 5.

операция очень просто реализуется при помощи ячейки несоответствия Y_{67} , если ее включить по специальной схеме, как показано на рис. 4 (выход ячейки соединен с одним из ее входов, а сигнал реверса исполнительного механизма поступает на другой вход).

В начале очередного цикла экстремального регулирования на вход 1 ячейки Y_{67} поступает одиночный импульс с ячейки Y_{59} (в случае отрицательного приращения ионного тока за прошедший цикл) и произво-

дится реверс этой ячейки. Это, в свою очередь, приводит к реверсу исполнительного механизма, так как в зависимости от состояния ячейки $У_{57}$, сигнал на включение исполнительного механизма с ячейки $У_{68}$ проходит через ячейки $У_{41}$, $У_{63}$, $У_{65}$ или через ячейки $У_{62}$, $У_{64}$, $У_{66}$, включая тем самым исполнительный механизм в ту или другую сторону.

Исполнительный механизм включается в начале каждого цикла экстремального регулирования и останавливается после истечения времени

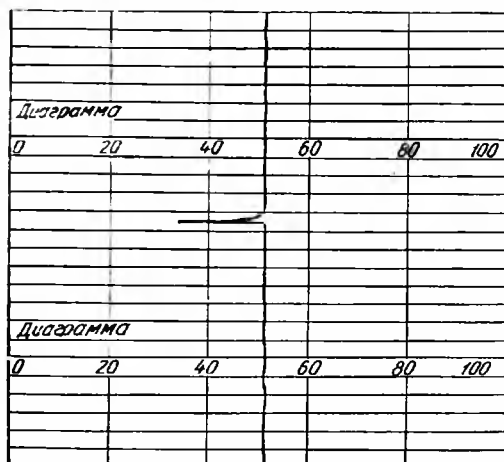


Рис. 6.

$T_{и.м}$ (сигнал с ячейки $У_{68}$). Конструктивно исполнительный механизм выполнен на реверсивном асинхронном двигателе типа РД-09, вал которого соединен с движком сдвоенного потенциометра. Один из потенциометров включается в схему регулирования ускоряющего ионы напряжения, другой — в схему контроля положения исполнительного механизма. Для управления исполнительным двигателем разработан бесконтактная схема на переключающих диодах.

Питание ячеек осуществляется специальным малогабаритным генератором продви-

гающих импульсов, который одновременно используется и для питания других блоков масс-спектрометра, выполненных на трехтактных феррит-диодных логических элементах.

На рис. 5, а показан общий вид блока экстремального регулятора, на рис. 5, б — общий вид блока исполнительного механизма. На рис. 6 дана диаграмма вывода масс-спектрометра на максимум пика ионного тока описываемой здесь СЭР (возмущение внесено искусственно).

Экстремальный регулятор для настройки магнитных масс-спектрометров на максимум пика ионного тока успешно прошел лабораторные и промышленные испытания в масс-спектрометрах МХ-1212 и запущен в производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Е. Алексеевский, А. Г. Корецкий, Г. П. Прудковский. Автоматическая фиксация максимума ионного тока масс-спектрометра. ПТЭ, 1956, № 2.
2. Р. Н. Стаховский. Причины нестабильности ионных токов в аналитическом масс-спектрометре и методы периодической калибровки. Сб. «Автоматика». Изд-во АН СССР М., 1956.
3. Б. Б. Лепорский. Описание изобретения к авт. свид. № 15735, класс G01, 421, 309, Бюллетень изобретений и товарных знаков, 1963, № 19.
4. A. O. Nier, T. R. Roberts, Phys. Rev., 1951, 81.507.
5. Л. П. Озеров, А. Э. Рафальсон. Промышленный масс-спектрометрический газоанализатор МХ 1201. «Приборостроение», 1965, № 3.
6. О. Р. Савин. Исследование систем экстремального управления тепловыми инерционными процессами с экстремальным регулятором шагового типа. Автореф. канд. дисс. Харьков, 1964.
7. Л. Т. Кузин. Расчет и проектирование дискретных систем управления. Машгиз, М., 1962.
8. Л. С. Панасюк. Исследование цифровых управляющих устройств на трехтактных магнитных логических элементах для автоматизации ваграночного процесса. Автореф. канд. дисс. Киев, 1964.