

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФАЗЫ ИНЖЕКЦИИ БЕТАТРОНА

В. М. РАЗИН, В. Л. РЯБУХИН

(Представлена научным семинаром кафедры математических и счетно-решающих приборов и устройств)

Одной из главных причин, влияющих на величину и стабильность излучения бетатрона, является требование точного выполнения условия инжекции, которое согласно [1] можно записать в виде

$$t_i = \frac{\kappa \sqrt{U_i(U_i + 1,02)}}{U_m}, \quad (1)$$

где  $t_i$  — время в сек;

$U_i$  — напряжение инжекции в мегавольтах;

$U_m$  — напряжение, снимаемое с дополнительной обмотки электромагнита в вольтах;

$\kappa$  — постоянный коэффициент.

Требуемую точность определения и задания момента инжекции [1] может обеспечить цифровое вычислительное устройство, которое в зависимости от принятого алгоритма решения выражения (1) может иметь несколько вариантов построения.

Рассмотрим некоторые из них.

Построение устройства по типу цифровой вычислительной машины, выполняющей все арифметические операции, очевидно, не будет оптимальным. Чтобы избавиться от операции деления, выражение (1) можно представить в виде

$$t_i = f(U_i) \cdot f(U_m), \quad (2)$$

где

$$f(U_i) = \sqrt{U_i(U_i + 1,02)}, \quad (3)$$

$$f(U_m) = \frac{\kappa}{U_m}. \quad (4)$$

Решение выражения (2) можно получить с помощью специализированного вычислительного устройства, осуществляющего перемножение функций (3) и (4), а нахождение самих значений функций производится или функциональными преобразователями, или с помощью постоянно запоминающего устройства (ПЗУ). Достоинством устройства типа функционального преобразователя является простота выполнения операции умножения (цифровой потенциометр), простота логики работы и, следовательно, устройства управления. К недостаткам этого устройства следует отнести: сложность построения и настройки высокоточных функциональных преобразователей, жесткие требования к источникам пита-

ния и радиодеталей, низкая помехоустойчивость. Так как информация поступает на вход в виде импульсного и переменного напряжения, то многократные преобразования сигналов из одной формы в другую приведут к потере требуемой точности.

На рис. 1 изображена блок-схема специализированного вычислительного устройства, использующего нахождение значений (3) и (4) с помощью ПЗУ, где

I — преобразующее устройство: 1 — коммутатор каналов; 2 — аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

II — ПЗУ: 3 — адресная система; 4 — матрица  $f(U_i)$ ; 5 — матрица  $f(U_m)$ ; 6 — формирователь коэффициента  $k_0$ .

III — множительное устройство: 10 — устройство управления, 11 — сумматор; 12 — регистр множителя.

IV — цифро-аналоговый преобразователь: 7 — триггер; 8 — вентиль; 9 — счетчик.

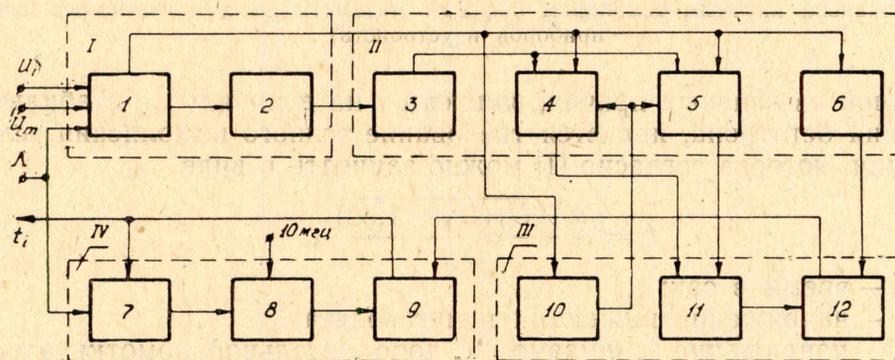


Рис. 1. Блок-схема вычислительного устройства для регулирования фазы инжекции бетатрона, где I — преобразующее устройство: 1 — коммутатор каналов; 2 — аналого-цифровой преобразователь.

II — ПЗУ: 3 — адресная система; 4 и 5 — матрицы  $f(U_i)$  и  $f(U_m)$ ; 6 — формирователь коэффициента  $K_0$ .

III — множительное устройство: 10 — устройство управления; 11 — сумматор; 12 — регистр множителя.

IV — цифро-аналоговый преобразователь: 7 — триггер, 8 — вентиль; 9 — счетчик

Схема устройства разработана для бетатрона на 30 Мэв, имеющего следующие параметры:  $r_0 = 25$  см,  $U_i = 40$  кв и  $H_m$ .

Значения  $U_i$  и  $H_m$  могут изменяться в диапазоне  $\pm 12,5\%$  без нарушения работоспособности устройства.

Применение такого устройства с другими бетатронами наталкивается на трудности, связанные с изменением значений функций, хранимых в ПЗУ, и, следовательно, с заменой запоминающих матриц. Для устранения этого недостатка был принят следующий алгоритм нахождения значений фазы инжекции:

$$t_i = k_0 \cdot f(U_i) \cdot f(U_m) \quad (5)$$

где  $k_0$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от типа бетатрона и уточняемый экспериментально.

Можно показать, что изменение функций (3) и (4) при изменении аргументов от их максимального значения до уровня  $0,75$  ( $\pm 12,5\%$ ) носит плавный характер. Поэтому при новых значениях  $U_i$  и  $U_m$  характер изменения функций останется прежним, но для получения правильного

решения необходимо их произведение умножить на поправочный коэффициент  $k_0$ .

Рассмотрим работу устройства, изображенного на рис. 1.

В момент поступления на вход устройства импульса с датчика нуля магнитного поля коммутатор каналов 1 включает АЦП-2 в режим преобразования амплитуды импульса инъекции. После окончания преобразования параллельный десятиразрядный двоичный код, соответствующий амплитуде импульса, поступая в адресную систему 3, возбуждает в ней требуемую выходную шину, в результате чего из матрицы  $f(U_i)$  — 4 в сумматор 11 выдается значение функции  $f(U_i)$ . Выбор требуемой матрицы осуществляется коммутатором каналов. Значение коэффициента  $k_0$  записывается в регистр множителя. Операция умножения начинается со старших разрядов. Сдвиг сумматора и регистра производится в сторону старших разрядов. После окончания операции умножения старшие разряды произведения  $k_0 \cdot f(U_i)$  оказываются записанными в регистр множителя, а сумматор очищается, в результате чего происходит округление произведения.

В момент достижения напряжением  $U_m$  своего амплитудного значения вновь начинает работать АЦП-2 и на его выходе образуется двоичный код входного значения  $U_m$ , по которому из матрицы  $f(U_m)$  — 5 выбирается требуемое значение функции  $f(U_m)$ , после чего производится перемножение значения  $f(U_m)$  на значение  $k_0 \cdot f(U_i)$ . Окончательный результат произведения с регистра множителя передается в виде параллельного десятиразрядного обратного кода в счетчик 9. С приходом импульса от датчика нуля поля триггер 7 открывает вентиль 8 и на вход счетчика, являющегося одновременно и счетчиком аналого-цифрового преобразователя, начинают поступать импульсы с частотой следования 10 мГц. Импульс переполнения счетчика служит для запуска схемы инъекции. На этом цикл работы заканчивается. Определение момента времени инъекции в следующем периоде происходит аналогично. Максимальное время вхождения устройства в режим определения и задания момента времени инъекции составляет два периода изменения частоты сети.

Испытания макета вычислительного устройства показали высокую надежность его работы, а также целесообразность его использования как в качестве автономного регулятора фазы инъекции бетатрона, так и в комплексе с другими устройствами, которые задают момент времени инъекции в зависимости от выходного излучения, что позволит резко увеличить стабильность излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Разин, В. Л. Рябухин. К вопросу о разработке вычислительного устройства для регулирования фазы инъекции бетатрона. Настоящий сборник.