

## КОДИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ В УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МОМЕНТА ИНЖЕКЦИИ В БЕТАТРОНЕ

В. Л. РЯБУХИН

(Представлена научным семинаром вычислительной техники)

Оптимальное значение момента инжекции  $t$  электронов в бетатроне определяется как [1]

$$t = f(U) \cdot f(H), \quad (1)$$

где

$$f(U) = \sqrt{U(U + 1,02)}, \quad (2)$$

$$f(H) = \frac{10^4}{3z_0\omega H}, \quad (3)$$

$U$  — напряжение инжекции в мегавольтах;  $H$  — напряженность магнитного поля бетатрона на равновесной орбите с радиусом  $r_0$ ;  $\omega$  — частота питающего электромагнит напряжения.

Решение выражения (1) может быть осуществлено вычислительным устройством аналогового, цифрового или цифро-аналогового типа, в соответствии с чем конечный результат получается в непрерывной или дискретной форме, т. е. в виде напряжения или цифрового двоичного кода. Этот результат затем преобразуется во временной интервал, начало которого задается импульсом датчика нуля магнитного поля, а конец временного интервала определяет момент генерации импульса инжекции.

В разработанном устройстве для оптимизации фазы инжекции электронов в бетатроне [2] значение фазы инжекции получается в цифровом коде. Этот код преобразуется во временной интервал преобразователем типа «число—время», представляющим собой быстродействующий счетчик, в который перед началом работы заносится значение  $t$  в дополнительном коде.

Применение двоичного счетчика в качестве времязадающего устройства приводит к необходимости кодирования функций (2) и (3) таким образом, чтобы результат решения выражения (1) соответствовал истинному значению фазы инжекции. Значения функций желательно представить так, чтобы устройство было работоспособно в требуемом диапазоне изменения входных переменных при использовании с бетатронами различных конструкций.

При решении задач на ЦВМ нахождение значений функций производится самой машиной. Для этого в ней используются аналитический и табличный способы представления функций. Наибольшее распространение нашли аналитические способы представления функций, основанные на использовании степенных рядов, непрерывных дробей и др. Одна-

ко использование аналитических способов представления функций в специализированном вычислительном устройстве целесообразно, так как в этом случае резко возрастают аппаратные затраты, снижается быстродействие и надежность устройства.

При табличном способе представления функций в запоминающее устройство машины записывают значения функций при фиксированных значениях аргумента. Для определения таким способом значений функций с высокой степенью точности шаг между значениями аргумента (узлами таблицы) должен быть достаточно мал. Поэтому требуется большой объем запоминающего устройства, что является недостатком табличного способа представления функций. Учитывая, что объем ЗУ для хранения значений функций  $f(U)$  и  $f(H)$  получается невелик (256 десятиразрядных двоичных чисел), в рассматриваемом устройстве [2] был принят табличный способ представления функций. Кроме экономии оборудования данный способ позволил сократить время вычислительных операций, осуществляемых в арифметическом устройстве машины. Сокращение времени вычислительных операций является важным фактором для обеспечения надежной работы устройства в условиях мощных помех от схем инжекции и смещения ускорителя.

В специализированных вычислительных машинах числа представляются кодами меньше единицы. Такая система представления кодов обладает преимуществом при выполнении операции умножения (не требуется хранения всех разрядов произведения), а также значительно упрощается система управления. Так как в реальных задачах числа обычно бывают больше единицы, то решение задач на таких машинах требует введения специального приема, называемого методом масштабных коэффициентов.

Этот метод заключается в том, что вместо самих величин всюду в вычислениях фигурируют эти величины, поделенные на масштабные коэффициенты  $M$ . Масштабные коэффициенты должны быть выбраны таким образом, чтобы все исходные величины и все числа, образующиеся в процессе работы машины, были меньше единицы. После того, как выбраны масштабные коэффициенты, исходные данные задачи делят на свои масштабные коэффициенты и получившиеся числа вводят в машину. Выбор масштабных коэффициентов и, следовательно, составление таблиц, записываемых в память машины, является в большинстве случаев сложной и ответственной работой при разработке специализированных вычислительных устройств. В качестве исходных данных принимают максимальные значения входных переменных  $U_{\max}$ ,  $H_{\max}$ , а также их диапазон изменения. Так как изменения частоты сети незначительны, то можно принять значение  $\omega = \text{const}$  и обозначить

$$\frac{10^4}{3z_0\omega} = \kappa_1. \quad (4)$$

При заданном диапазоне изменения напряжения инжекции

$$\alpha = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}, \quad (5)$$

и напряженности магнитного поля

$$\beta = \frac{H_{\min}}{H_{\max}} \quad (6)$$

можно найти граничные значения фазы инжекции как

$$t_{\max} = \frac{\kappa_1 \sqrt{U_{\max}(U_{\max} + 1,02)}}{\beta H_{\max}}, \quad (7)$$

$$t_{\min} = \frac{\kappa_1 \sqrt{\alpha U_{\max} (\alpha U_{\max} + 1,02)}}{H_{\max}} \quad (8)$$

Так, для бетатрона Б-30 при  $U_{\max} = 50$  кВ,  $H_{\max} = 5400$  э и  $\alpha\beta = 0,75$  фаза инжекции может принимать значения от 15,9 мксек до 24,9 мксек.

Количество двоичных разрядов  $n$ , необходимых для представления найденного диапазона фаз, определяется при известном значении  $t_{\max}$ , исходя из требуемой точности  $\tau$  задания временного интервала. При известном  $\tau$  (обычно  $\tau = 0,05 \div 0,25$  мксек).

$$n = \frac{\ln(N_{\max} + 1)}{\ln 2}, \quad (9)$$

где  $N_{\max}$  — максимальное число, соответствующее  $t_{\max}$  и

$$N_{\max} = \frac{t_{\max}}{\tau}. \quad (10)$$

Полученное значение  $n$  округляется до ближайшего большего числа. Так как бетатрона Б-30 при  $\tau = 0,1$  мксек и  $N_{\max} = 249$  необходимое количество разрядов  $n = 8$ . Использование табличного способа представления функций связано с необходимостью замены запоминающих матриц при изменении исходных данных, что является его существенным недостатком. Анализ зависимостей (2) и (3) показывает, что функции имеют плавный характер изменения и при отличии входных переменных от расчетных на 20—30% в устройстве могут в большинстве случаев использованы первоначальные таблицы. Необходимый сдвиг диапазона фаз инжекции можно осуществить двумя способами. В первом случае требуется в соответствии с изменением граничного значения  $t_{\max}$  произвести соответствующее изменение частоты генератора в преобразователе «число-время». Недостаток этого способа определяется необходимостью использования ряда кварцевых резонаторов. Кроме того, при уменьшении частоты генератора ошибка представления интервала времени  $\tau$  может стать недопустимой.

При втором способе, используемом в разработанном устройстве, частота задающего генератора остается неизменной  $\tau = 0,1$  мксек, но учитывая возможный диапазон фаз инжекции, количество двоичных разрядов для представления чисел увеличивается до  $n = 10$ . При этом максимальное возможное значение фазы инжекции  $T$  определяется как  $T = \tau(2^n - 1)$ , а текущее значение фазы инжекции

$$t = \kappa_0 \cdot f(U) \cdot f(H), \quad (12)$$

где  $\kappa_0 = \kappa_1 \kappa_2$

$\kappa_2$  — коэффициент, учитывающий степень смещения диапазона фаз инжекции.

Для определения масштабных коэффициентов, используемых при составлении таблиц, нужно найти максимальное значение функций

$$f(U)_{\max} = \sqrt{U_{\max}(U_{\max} + 1,02)} \quad (13)$$

и

$$f(H)_{\max} = \frac{1}{\beta H_{\max}} = \frac{1}{H_{\min}} \quad (14)$$

и поставить им в соответствие максимальное десятиразрядное двоичное число 0,111111111, соответствующее десятичному числу  $1 - 2^{-n} = 0,9996$ , т. е. двоичное число должно быть нормализованным и максимальным. Поэтому можно записать, что

$$f(U)_{\max} = 0,9996 M_1, \quad (15)$$

откуда

$$M_1 = \frac{f(U)_{\max}}{0,9996}. \quad (16)$$

Значения входных переменных представляются в двоичном коде, который при  $n=10$  и  $\alpha=\beta=0,75$  может принимать значение  $j=0 \div 255$ . Тогда окончательное выражение для нахождения значений  $f(U)$  определяется как

$$A_j = \frac{f_j(U)}{M_1} = \frac{V(U_{\max} - \Delta_U N_j)(U_{\max} - \Delta_U \cdot N_j + 1,02)}{M_1}, \quad (17)$$

где  $\Delta_U$  — шаг квантования  $U$ .

Выражение для кодирования функции  $f(H)$  находится аналогично и имеет вид

$$B_j = \frac{1}{M_2 (H_{\max} - \Delta_H N_j)}. \quad (18)$$

Значение масштабного коэффициента  $\kappa_0$  определяется из (7) и (11) как

$$\kappa_0 = \frac{t_{\max}}{T}. \quad (19)$$

Вычисленные значения  $A_j$ ,  $B_j$ ,  $\kappa_0$  переводятся в двоичную систему счисления и записываются в постоянное запоминающее устройство.

Ошибка представления значений функций определяется как

$$2^{-n} \geq \delta > 0,5 \cdot 2^{-n} \quad (20)$$

и при десяти двоичных разрядах определяется как  $\delta \simeq 0,5 \cdot 10^{-3}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Разин, В. Л. Рябухин. К вопросу о разработке вычислительного устройства для регулирования фазы инжекции бетатрона. Томск, изд-во ТГУ, Изв. ТПИ, т. 184, 1969.

2. В. М. Разин, В. Л. Рябухин. Вычислительное устройство для регулирования фазы инжекции бетатрона. Томск, Изд-во ТГУ, Изв. ТПИ, т. 184, 1969.