

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФАЗЫ ИНЖЕКЦИИ БЕТАТРОНА

В. М. РАЗИН, В. Л. РЯБУХИН

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

Важнейшими параметрами бетатрона являются величина интенсивности тормозного излучения и ее стабильность. Стабильность излучения определяется рядом факторов [1], учесть которые при ручной регулировке режима работы бетатрона не представляется возможным. Одной из главных причин, влияющих на стабильность излучения, является точное соблюдение условия инжекции, которое определяется как

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \left[\frac{10^4 V U_i (U_i + 2U_0)}{3r_0 H_m} \right], \quad (1)$$

где t_i — время в сек;

ω — круговая частота тока, питающего электромагнит;

U_i — напряжение инжекции в мегавольтах;

H_m — амплитуда напряженности магнитного поля на равновесной орбите в эрстедах;

r_0 — радиус равновесной орбиты в см;

U_0 — 0,511 мегавольта.

Выражение (1) показывает, что в зависимости от конструктивного параметра бетатрона r_0 в момент инжекции необходимо согласовать значение четырех величин: момента инжекции, напряжения на инжекторе, величины магнитного поля и частоты изменения магнитного поля бетатрона. Большинство существующих в настоящее время устройств для задания момента инжекции основаны на принципе ручного или автоматического изменения фазы инжекции в зависимости от выходного параметра, т. е. от величины излучения [3]. Однако эти устройства обладают малой точностью и значительной инерционностью в отслеживании заданного или максимального уровня излучения. Действительно, при резких изменениях U_i , H_m или ω , определяемых скачками напряжения, и частоты сети, питающей электромагнит бетатрона, эти устройства переходят из режима слежения заданного уровня в режим его поиска, осуществляемый обычно путем отыскания оптимальной для данных условий фазы инжекции. Длительность режима поиска зависит от быстроты изменения напряжения сети и занимает время от нескольких периодов питающей сети до нескольких секунд, что оказывается в ряде случаев эксплуатации бетатрона недопустимым. Повысить точность и быстроту действия следящей системы можно с помощью управляющего вычислительного устройства, определяющего по текущим значениям U_i ,

H_m и ω фазу инжекции согласно выражению (1) и вырабатывающего в требуемый момент времени запускающий импульс для схемы инжекции. Такое вычислительное устройство может регулировать режим работы бетатрона как самостоятельно, так и в комплексе со следящим устройством, осуществляя регулирование по возмущению.

Рассмотрим требования, предъявляемые к вычислительному устройству, работающему в качестве автономного компенсирующего регулятора бетатрона.

Для серии бетатронов, изготавливаемых в Томском политехническом институте, фаза инжекции может изменяться от 15 до 50 мксек при напряжении инжекции около 40 кв. Допустимая погрешность фазы инжекции, определенная на основании экспериментальных исследований для колебаний излучения на 5%, измеряется величиной порядка 0,1 мксек. Следовательно, для $t_i = 50$ мксек погрешность в определении t_i должна быть не более 0,2%.

На основании полученной погрешности δt найдем допустимые погрешности в измерении U_i , H_m и ω .

Учитывая, что для большинства бетатронов инжекция осуществляется в момент $\omega t_i \leq 1^\circ$, можно с большой степенью точности (до 0,025%) принять приближение

$$\sin \omega t_i \cong \omega t_i.$$

Полагая, что для данного бетатрона $r_0 = \text{const}$, запишем выражение (1) в виде

$$t_i = \frac{\kappa \sqrt{U_i(U_i + 2U_0)}}{\omega H_m}, \quad (2)$$

где

$$\kappa = \frac{10^4}{3r_0}.$$

Дифференцируя (2) и деля на первоначальное равенство, получим

$$\frac{dt_i}{t_i} = \frac{(U_i + U_0) dU_i}{U_i(U_i + 2U_0)} - \frac{d\omega}{\omega} - \frac{dH_m}{H_m}.$$

или в конечных приращениях

$$\frac{\Delta t_i}{t_i} = \frac{\Delta U_i}{U_i} \cdot \frac{1 + \frac{U_i}{U_0}}{2 + \frac{U_i}{U_0}} + \frac{\Delta \omega}{\omega} + \frac{\Delta H_m}{H_m}.$$

При

$$U_i \ll U_0 \quad \frac{1 + \frac{U_i}{U_0}}{2 + \frac{U_i}{U_0}} \cong \frac{1}{2},$$

При

$$U_i = U_0 \quad \frac{1 + \frac{U_i}{U_0}}{2 + \frac{U_i}{U_0}} = \frac{2}{3}.$$

Таким образом,

$$\frac{1}{2} \leq \frac{1 + \frac{U_i}{U_0}}{2 + \frac{U_i}{U_0}} \leq \frac{2}{3}.$$

Тогда при $\delta t_i \leq 0,2\%$ погрешности составляющих будут определяться неравенствами

$$\frac{\Delta \omega}{\omega} \leq 0,05\%, \quad \frac{\Delta U_i}{U_i} \leq 0,1\% \quad \text{и} \quad \frac{\Delta H_m}{H_m} \leq 0,1\%.$$

Таким образом, вычислительное устройство, решающее выражение (2), должно измерять текущие значения трех параметров: U_i , H_m и ω . Построение такого устройства, очевидно, нецелесообразно, так как регулирование по трем параметрам можно осуществить с помощью устройства, измеряющего текущие значения только двух величин.

Действительно, датчиком магнитного поля обычно является дополнительная обмотка на ярме электромагнита, на которой индуцируется напряжение $U_m = \kappa \omega H_m$.

Поэтому выражение (2) запишется как

$$t_i = \frac{\kappa \sqrt{U_i (U_i + 2U_0)}}{U_m}. \quad (3)$$

Очевидно, что погрешность в измерении U_i и U_m будет определяться неравенствами

$$\frac{\Delta U_i}{U_i} \leq 0,2\% \quad \text{и} \quad \frac{\Delta U_m}{U_m} \leq 0,1\%.$$

Решение уравнения (3) можно осуществить с помощью вычислительного устройства [2], однако погрешность решения будет выше допустимой. Требуемую точность в определении момента инжекции может обеспечить цифровое вычислительное устройство, блок-схема которого приведена на рис. 1, где 1 — преобразующее устройство, 2 — арифметическое устройство, 3 — выходное устройство, 4 — устройство управления.

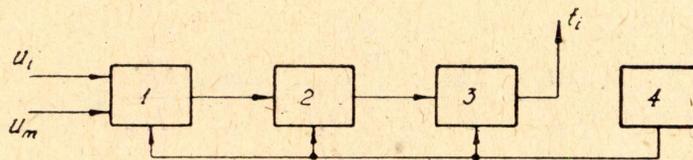


Рис. 1. Блок-схема вычислительного устройства для регулирования фазы инжекции бетатрона: 1 — преобразующее устройство, 2 — арифметическое устройство, 3 — выходное устройство, 4 — устройство управления

Входное устройство преобразует входные напряжения U_i и U_m в цифровой код. Арифметическое устройство предназначено для решения уравнения (3). Выходное устройство осуществляет преобразование цифрового кода фазы инжекции во временной интервал. Устройство управления обеспечивает согласование работы отдельных блоков посредством выдачи в соответствующие моменты времени и в требуемые цепи управляющих импульсов.

В зависимости от принятого алгоритма решения выражения (3) возможно несколько вариантов построения вычислительного устройства, рассмотрение и результаты экспериментальных исследований которых будут даны в следующих работах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Разин. Стабилизация излучения бетатрона. Известия ТПИ, т. 87, 1957.
 2. А. А. Наумов, В. И. Пильский, Л. И. Юдин. Авторское свидетельство СССР, № 175153.
 3. В. И. Горбунов, О. И. Недавний. Стабилизатор уровня интенсивности тормозного излучения бетатрона. Труды IV межвузовской конференции по электронным ускорителям, изд. «Высшая школа», М., 1964.
-