

ЭЛЕКТРОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА БЕТАТРОНА НА МН-7

В. М. РАЗИН, Н. Я. МАКАРОВ, В. П. ШЕРСТОБИТОВ

(Представлена научным семинаром НИИ ЭИ)

Применение экстремальных регуляторов для бетатронов дает возможность автоматическим путем получать от ускорителя максимальную интенсивность гамма-излучения, что имеет большое значение особенно при работе бетатрона в условиях промышленного цеха [1—3].

В работе [4] показано, что введение в схему регулятора переменного шага, зависящего от величины интенсивности гамма-излучения, и схемы совмещения времени сравнения пары импульсов излучения улучшают работу регулятора. Однако выбор оптимальных параметров схем регулятора представляет определенные трудности. Это приводит к необходимости использовать для расчетов вычислительные устройства, которые позволяют более полно и вместе с тем в сравнительно короткие сроки исследовать задачи оптимизации параметров системы уже на первой стадии проектирования [5]. Предварительные приближенные расчеты позволили найти начальный шаг, удовлетворяющий условию малого времени поиска максимума интенсивности излучения. Дальнейшие исследования с целью качественного наблюдения характера работы регулятора были проведены на аналоговые электронной модели МН-7.

Излучение бетатрона носит импульсный характер, поэтому в модель были введены дополнительные элементы, моделирующие процессы излучения.

Основное уравнение экстремального регулятора имеет следующий вид:

$$\Delta T = \kappa \int_0^t (I'' - I') dt, \quad (1)$$

где ΔT — регулирующее воздействие на фазу инжекции электронов в ускорительную камеру;

$I'' = f(T + \delta T)$ — значение интенсивности в момент пробного фазового сдвига δT (шага);

$I' = f(T)$ — значение интенсивности при отсутствии шагового сдвига;

κ — коэффициент пропорциональности.

Величина пробного шага δT зависит от величины I' и выражается математически формулой

$$\delta T = \delta T_0 - aI'. \quad (2)$$

Здесь δT_0 — начальный шаг при $I' = 0$;

α — коэффициент, величина которого должна быть определена по результатам моделирования.

Зависимость $I = f(T)$ в модели представлена отдельными линейными отрезками (рис. 1). Для ее составления использована усреднен-

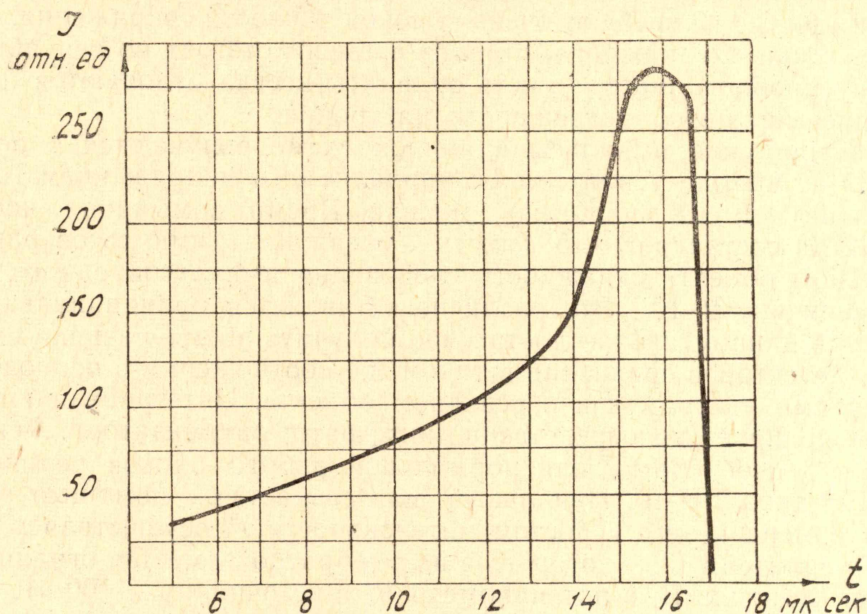


Рис. 1. Зависимость интенсивности излучения бетатрона от фазы инжекции.

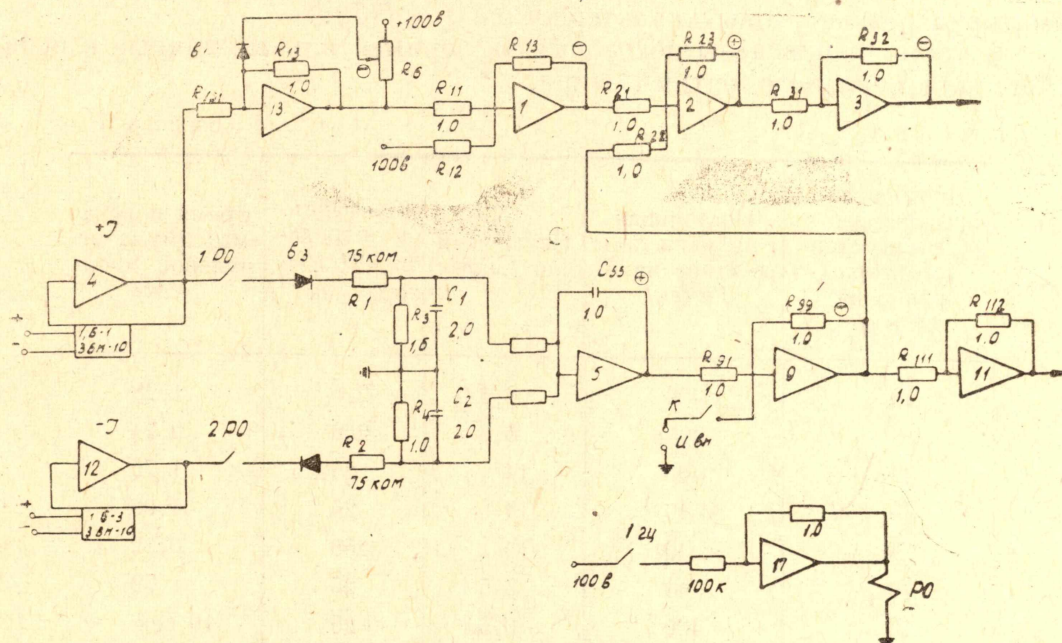


Рис. 2. Электронная модель экстремального регулятора бетатрона. Характеристика бетатрона. При этом масштабы имеют значения: масштаб по интенсивности $m_I = 16,6 \frac{\text{отн. ед}}{\text{В}}$; масштаб по фазе (времени) инжекции $m_T = 0,17 \frac{\text{мксек}}{\text{В}}$. Схема модели регулятора изображена на рис. 2, где обозначение блоков совпадает с обозначением их на модели МН-7.

Два сравниваемых канала моделируются двумя функциональными усилителями 4 и 12 (J' и J'' соответственно), которые при подаче на вход линейно-растущего напряжения, на выходе образуют две идентичные по модулю и разные по знаку кривые, соответствующие рис. 1.

Эти кривые не требуют очень высокой точности сопряжения, так как рабочие точки для каждого момента времени отстоят по оси абсцисс на величину пробного шага, то есть ординаты всегда отличаются на величину, превышающую погрешность настройки.

Электрические импульсы в данной схеме получаются с помощью реле РО на выходе усилителя 17, управляемого напряжением 100 в через контакт «1 гц» аналоговой модели. Время замыкания контактов 1РО и 2РО составляет 0,15 сек, т. е. скважность импульсов равна 6,7. В реальном объекте скважность следования импульсов одного канала имеет величину $2 \cdot 10^4$. Это различие не является принципиальным, потому что в данном случае достаточно получить время разряда емкостей C_1 и C_2 детекторов сравнения в таком же соотношении с периодом следования импульсов, как и в реальном объекте. Интегрирующий усилитель 5 моделирует непосредственно интегратор оптимизатора. Усилители 9, 11, 2 и 3 необходимы для нормальной работы блоков нелинейности Б-1 и Б-3 типа БН-10. Начальный шаг создается с помощью усилителя 1, а изменение его с ростом интенсивности J' осуществляется с помощью усилителя 13, у которого в цепи обратной имеет ограничительная цепь (вентиль V_1 и потенциометр R_6 с источником $+100$ в).

Это позволяет, как и в реальном оптимизаторе, получить минимальный пробный шаг, необходимый для нормальной работы оптимизатора.

С помощью ключа «к» можно коммутировать напряжение $I_{вх}$, имитируя резкие уходы характеристики $J = f(T)$.

В табл. 1 приведены некоторые экспериментальные данные в пересчете для реального оптимизатора.

Таблица 1

Постоянная времени разряда емкостей детектора сравнения [м/сек]	Постоянная времени детектора на V_5 [м/сек]	Начальный шаг (мксек)	Коэффициент передачи интегратора [сек ⁻¹]	Время поиска максимума от нулевой точки [сек]
49	400	6,3	2,5	1,28
8	400	6,3	250	0,24
49	400	14	25	1,76
49	40	14	25	1,08
8	40	14	250	0,32
49	40	8,5	25	1,72
49	400	0,5	25	10 сек

Минимальный шаг везде равен 0,5 мксек; при большей его величине наблюдается «проскакивание» максимума.

Период следования пары импульсов излучения 40 мсек (25 гц). При введении постоянного шага (последняя строчка таблицы) время поиска максимума функции превышает допустимое время интегрирования для модели МН-7. При включении «К» и выборе $I_{вх}$, соответствующего

изменению фазы на 3 мксек, движение рабочей точки к максимуму происходит по кривой поиска (рис. 3). Уточнение параметров осуществлялось с помощью цифровой вычислительной машины «Минск-1» и получено, что оптимальный начальный шаг лежит в диапазоне $6 + 7$ мксек.

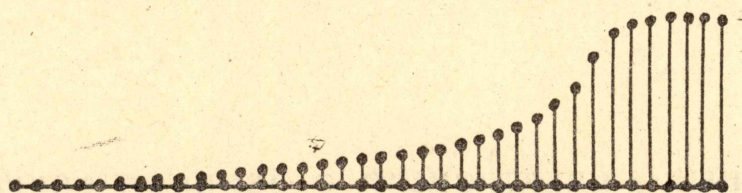


Рис. 3. Процесс поиска максимума (напряжение с выхода усилителя 4).

Характерный процесс поиска максимума показан на рис. 3 (напряжение с выхода усилителя 4). На этом рисунке приведена кривая для 2 строки таблицы.

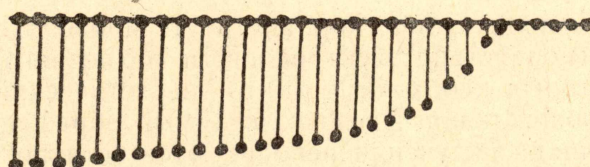


Рис. 4. Изменение рабочего шага во времени (напряжение с выхода усилителя 1).

Интервал между метками времени в реальном масштабе равен 40 мсек. Изменение рабочего шага для этого случая показано на рис. 4 (напряжение с выхода усилителя 1).

Выводы

1. Модель оптимизатора позволяет качественно проследить работу оптимизатора и подобрать его параметры, близкие к оптимальным.
2. Введение переменного шага значительно ускоряет процесс поиска максимума интенсивности гамма-излучения бетатрона.
3. На время поиска значительно влияют начальный шаг и коэффициент передачи интегратора.

При коэффициенте передачи больше 250 сек^{-1} для нашего случая наблюдалось колебательное установление максимума и уменьшалась точность поддержания максимума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Ананьев, А. А. Воробьев, В. И. Горбунов. Индукционный ускоритель электронов — бетатрон. Атомиздат, 1961.
2. В. М. Разин. Стабилизация излучения бетатрона. Известия Томского политехнического института, т. 87, 206—215, 1957.
3. А. П. Комар, Г. Ф. Михеев, Н. Н. Чернов. Система экстремального регулирования интенсивности γ -излучения синхротрона, ЖТФ, XXXI, I, 109—115, 1961.
4. В. П. Шерстобитов, В. М. Разин, Н. Я. Макаров, А. С. Бобровский. Оптимизатор интенсивности гамма-излучения бетатрона. «Труды V Межвузовской конференции по электронным ускорителям» г. Томск, 1964.
5. Б. Я. Коган. Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования. Физматгиз, 1959.