

НЕКОТОРЫЕ СХЕМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ОПТИМИЗАТОРА ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ БЕТАТРОНА

В. М. РАЗИН, В. П. ШЕРСТОБИТОВ

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

Известно, что для получения максимума излучения бетатрона применяются оптимизаторы или экстремальные регуляторы, при этом предпочтение отдается оптимизаторам с прямоугольной модуляцией основного регулирующего параметра — фазы инжекции электронов в ускорительную камеру. Основными узлами в данном случае являются интегратор, схема сравнения, исполнительное устройство, модулятор, селектор импульсов и др. вспомогательные схемы. Возможна разнообразная реализация основных узлов. Однако существующие экстремальные регуляторы имеют ряд принципиальных недостатков: замедление поиска максимума в связи с применением модуляции с малой постоянной амплитудой, значительное колебание рабочей точки в окрестности максимума при малой постоянной времени сравнивающих детекторов и ухудшение динамических свойств оптимизатора при увеличении постоянной времени сравнивающих детекторов.

Авторами настоящей работы были выдвинуты идеи усовершенствования оптимизаторов, которые доложены на V-й межвузовской конференции по электронным ускорителям в г. Томске в марте 1964 г.

Были предложены модуляция с переменной амплитудой, схема совмещения времени сравнения пары импульсов излучения и схема автоматического поиска диапазона рабочих фаз инжекции.

Сведения о соображениях, положенных в основу усовершенствованного оптимизатора можно найти в трудах упомянутой конференции, а целью настоящей статьи является рассмотрение технических принципов построения основных узлов оптимизатора и рекомендации по выполнению их на полупроводниковых приборах.

Исполнительное устройство. В качестве исполнительного устройства применен пик-трансформатор со смещением фазы импульсов путем пропускания подмагничивающего тока через регулируемую обмотку. Пик-трансформатор может устанавливаться в поле электромагнита бетатрона или включаться в сеть.

Модулятор с переменным модулирующим воздействием на фазу инжекции. Модуляция фазы импульсов инжекции осуществляется подмагничивающим током через специальную обмотку (модуляторную) пик-трансформатора. В данной схеме реализуется закон изменения ам-

амплитуды модулирующего тока или фазы инжекции электронов по формуле.

$$\delta T = \delta T_0 - aI', \quad (1)$$

где δT_0 — начальная амплитуда при $I' = 0$;

I' — интенсивность гамма-излучения бетатрона в данный момент времени при отсутствии модуляции;

a — размерный коэффициент пропорциональности.

Здесь предполагается односторонняя прямоугольная импульсная модуляция, когда через импульс подается подмагничивающий ток. Изменение амплитуды по формуле 1 легко реализовать, так как необходимо лишь выполнить операции вычитания и умножения на постоянный коэффициент.

При достижении интенсивностью излучения I' некоторого уровня оптимизатор превращается в систему с постоянным модулирующим воздействием. С этой целью I' ограничивается на уровне I_0 .

Схема модулятора показана на рис. 1.

Начальная амплитуда δT_0 получается от тока с управляющего триггера ТУ, который запускается отрицательными импульсами с сигнальной обмотки пик-трансформатора (положительные импульсы используются для управления схемой инжекции). Затем происходит усиление тока с помощью транзистора Т.

Сопротивление R_1 предназначено для регулирования δT_0 .

Коллекторная цепь управляющего триггера питается отрицательным напряжением, а эмиттерная — положительным так, что напряжение на коллекторе любого транзистора может иметь тот или иной знак в зависимости от состояния триггера.

Импульсы I' положительной полярности выпрямляются и создают ток через сопротивление R_2 таким образом, чтобы результирующий ток базы открытого транзистора Т соответствовал величине δT . Коэффициент a регулируется переменным сопротивлением.

Селектор импульсов излучения. Для получения информации о направлении движения рабочей точки по оси фаз инжекции необходимо сравниваемые пары импульсов коммутировать по отдельным каналам.

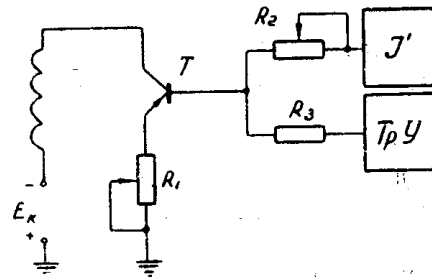


Рис. 1. Схема модулятора с переменной глубиной модуляции.

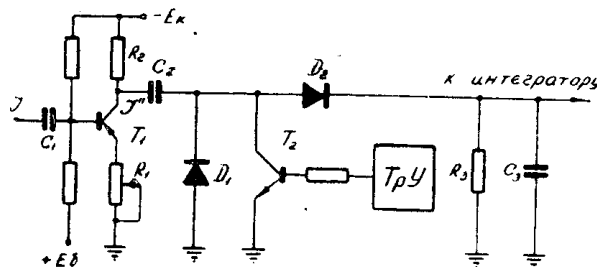


Рис. 2. Схема селекции импульсов излучения одного канала.

Селекция импульсов осуществляется с помощью транзисторных ключей. Схема одного из каналов сравнения показана на рис. 2 (канал I'' при протекании модулирующего тока через обмотку пик-трансформатора).

Для импульсов излучения I'' при протекании подмагничивающего модулирующего тока детектор $D_2 R_3 C_3$ открыт при закрывании транзистора T_2 типа npr , который управляется триггером ТрУ, показанным в схеме на рис. 1.

Коэффициент усилителя развязки на T_1 изменяется в зависимости от состояния ТрУ в следующих пределах:

$$K_{\text{макс}} \approx \frac{R_2}{R_1}, \quad (2)$$

$$K_{\text{мин}} \approx \frac{R_T}{R_1}.$$

Здесь R_1, R_2 — сопротивления схемы на рис. 2,

R_T — сопротивление открытого транзистора T_2 .

Для обеспечения надежной отсечки необходимо выполнить условие

$$R_1 \gg R_T. \quad (3)$$

Сопротивления R_1 и R_2 следует выбирать из условия обеспечения допустимой постоянной времени заряда емкости C_3 .

Схема совмещения времени сравнения пары импульсов излучения.

Если сравниваемые импульсы следуют поочередно во времени, то при подаче их на детекторы с малой постоянной времени, включенные на входе интегратора, будут наблюдаться значительные колебания напряжения на интеграторе от импульса к импульсу. Малые постоянные времени сравнивающих детекторов необходимы для быстродействующего слежения за максимумом излучения, когда последний может быстро смещаться по оси фаз.

В описываемом оптимизаторе применена схема совмещения времени сравнения пары импульсов, представленная в упрощенном виде на рис. 3.

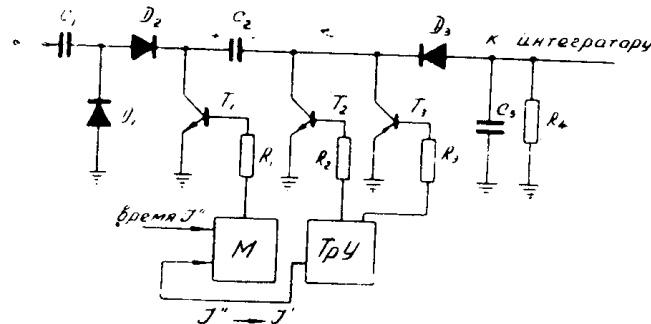


Рис. 3. Схема канала с запоминанием импульсов излучения.

На входе схемы включается, подобный изображенному на рис. 2, развязывающий усилитель.

Емкость C_2 выполняет функции запоминающего устройства и инвертора напряжения с помощью транзисторных ключей. Триггер ТрУ помогает выбрать импульсы нужного канала (в данном случае импульсы J').

В момент прихода J'' транзистор T_1 открыт с помощью ждущего мультивибратора М, работающего синхронно со схемой сброса ускоренных электронов в бетатроне с орбиты на мишень. Мультивибратор М также формирует импульс, снимающий остаточный заряд с емкости C_2 после передачи части напряжения на емкость C_3 . Это осуществляется

с помощью блоков М и ТрУ. Импульс J' при отсутствии модулирующего воздействия приходит, когда транзистор T_2 открыт и емкость C_2 заряжается через него и D_2 (T_1 и T_3 заперты). Напряжение на емкости сохраняется до момента появления J'' (к этому времени транзистор T_2 уже заперт). Затем открывается T_1 и через него и диод D_3 , заряжается емкость C_3 (синхронно с процессом заряда емкости C_3 схемы рис. 2).

При переходе ТрУ из состояния J'' в состояние J' снова формируется импульс мультивибратором М, и емкость C_2 разряжается полностью через транзисторы T_1 и T_3 , и схема подготовлена для запоминания нового импульса J' .

При расчете следует учитывать, что коллекторный ток транзисторов мало зависит от коллекторного напряжения и зависит в основном от управляющего базового тока.

Условие заряда C_2 до амплитудного значения входного напряжения приближенно можно записать, считая коллекторный ток постоянным в момент заряда

$$\frac{I_3 \cdot t_n}{C_2} \gg U_{\text{макс}}, \quad (4)$$

где I_3 — ток заряда,

t_n — длительность импульса излучения,

$U_{\text{макс}}$ — максимальная амплитуда сигнала (напряжение, пропорциональное максимальной интенсивности излучения).

При передаче заряда с емкости C_2 на емкость C_3 напряжение на последней не превысит величины

$$U_{c3} \leq \frac{C_2}{C_2 + C_3} U_{\text{макс}}. \quad (5)$$

В этом случае условие 4 запишется в виде

$$\frac{I_n \cdot t_m (C_2 + C_3)}{C_2 \cdot C_3} \gg U_{\text{макс}}, \quad (4')$$

где I_n — ток передачи заряда с емкости C_2 на емкость C_3 ,

t_m — длительность импульса ждущего мультивибратора М (длительность открытого состояния транзистора T_1).

Приведенные соотношения помогают правильно выбрать параметры элементов схемы.

Время хранения заряда емкостью C_2 зависит от сопротивлений диодов в непроводящем направлении и сопротивлений закрытых транзисторов. В этой схеме лучше везде применять кремниевые элементы, однако достаточно использовать кремниевый диод D_1 и транзистор T_1 .

Схема выходного каскада интегратора. Известную трудность представляет выполнение интеграторов постоянного тока на транзисторах из-за сильного дрейфа нуля. Однако для оптимизатора возможно применять усилители постоянного тока с невысокой компенсацией дрейфа, так как он работает в следящем режиме.

На рис. 4 приведена схема выходного каскада интегратора с двухполярным выходом относительно земли.

Таким образом, через обмотку регулирования пик-трансформатора подмагничивающий ток может протекать в обоих направлениях. Переход от однополярной схемы к двухполярной осуществляется с помощью транзистора T_1 (*npr*), включенного по схеме с общей базой. Коллекторный ток этого транзистора протекает через сопротивление R_5 и базу T_2 .

С помощью переменного сопротивления R_5 можно устанавливать нуль-интегратора.

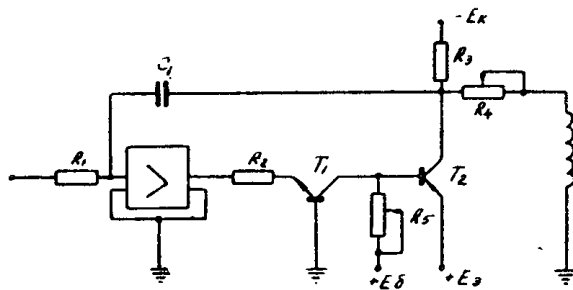


Рис. 4. Выходной каскад интегратора.

Пределы изменения напряжения в этом случае будут:
 верхний предел $U_k \approx E_\delta$,

нижний предел $U_k \approx E_\epsilon \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$.

Остальные блоки оптимизатора выполнены по стандартным схемам.