

Р. Л. УРУТЯН

АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ

Для регистрации космических лучей существуют различные методы. Наиболее распространенным методом является регистрация с помощью сцинтилляционных материалов.

В сцинтилляционных счетчиках при попадании частиц на высвечивающее вещество возникают световые вспышки, которые можно регистрировать с помощью электронных умножителей. Вследствие малой инерционности процессов в электронных умножителях импульсы имеют очень малую длительность. Современные анализаторы, в основном, разработаны на электровакуумных приборах, и из-за больших габаритов большинство из них применяется в стационарных установках.

Описываемый анализатор, который может быть использован в нестационарных установках, полностью выполнен на полупроводниковых приборах и дает возможность регистрировать импульсы амплитудой $u = 0,1 - 3$ в с длительностью $(1,5 - 2) \cdot 10^{-6}$ сек, при частоте следования не более 500 гц, с точностью 1,0—1,5%. Анализатор нормально работает при температуре окружающей среды $(-20) \div (+45^\circ\text{C})$. Для питания анализатора используется стабилизированное напряжение $u = 10$ в. Потребляемая мощность $P = 0,4$ вт.

Принцип работы анализатора следующий: при подаче на вход преобразователя регистрируемого импульса на выходе получаем импульс постоянной амплитуды с переменной длительностью, которая пропорциональна амплитуде входного импульса (рис. 1)

$$t = ku,$$

t — длительность выходного импульса.

u — амплитуда входного импульса.

Для определения длительности выходного импульса последний опрашивается генератором высокой частоты и подается на вход восьмиразрядного двоичного счетчика (рис. 2 и 3). Показание счетчика

будет являться численным выражением амплитуды входного импульса. Схема работает следующим образом: входная часть схемы преобразователя содержит зарядный конденсатор C , который заряжается регистрируемым импульсом. Разрядка

этого конденсатора происходит через большое сопротивление R . Благодаря большому RC разрядной цепи, разрядка конденсатора C происходит достаточно медленно.

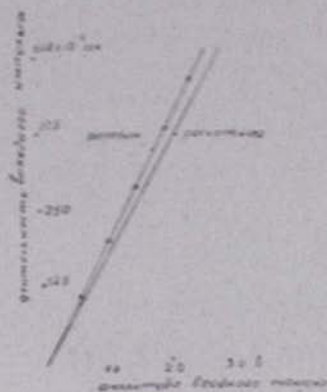


Рис. 1. Зависимость длительности выходного импульса от амплитуды входного импульса.

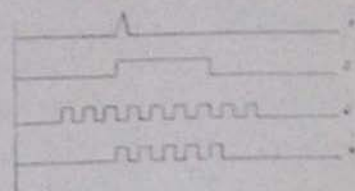


Рис. 2. Импульсная диаграмма анализатора: 1 — вход преобразователя, 2 — выход преобразователя, 3 — генератор Вч, 4 — вход счетчика.

Для того чтобы длительность выходного импульса линейно зависела от амплитуды входного импульса, напряжение конденсатора при его разрядке должно меняться линейно. Этого можно добиться, застabilизировав ток разрядки (рис. 4).

На рис. 5 представлена эквивалентная схема входной части преобразователя.

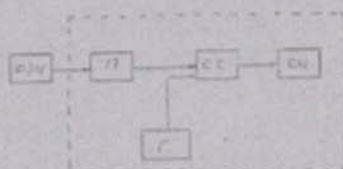


Рис. 3. Функциональная схема анализатора: ФЭУ — фотоэлектронный умножитель, П — преобразователь, Г — генератор, СЧ — счетчик, СС — схема совпадений.

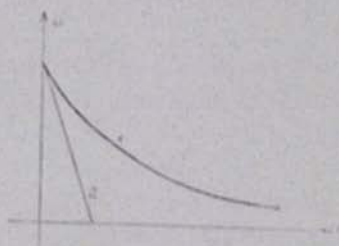


Рис. 4. Разряд конденсатора на обычном сопротивлении (1) и через стабилизатор тока (2).

Наличие сопротивления $R_{ш}$ вносит некоторую дополнительную нелинейность. Можно подсчитать ту минимальную величину $R_{ш}$, при которой ошибка, вносимая нелинейностью разрядки конденсатора, не превышает 1% максимального значения входного импульса.

Можно предположить, что конденсатор C разряжается в одном случае только через сопротивление $R_{ш}$, а в другом — через сопротивление стабилизатора тока $R_{ст}$.

Первый случай описывается уравнением

$$u = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (1)$$

Второй случай

$$u = -\frac{J_0}{C} t + k, \quad (2)$$

J_0 — постоянный ток разрядки.

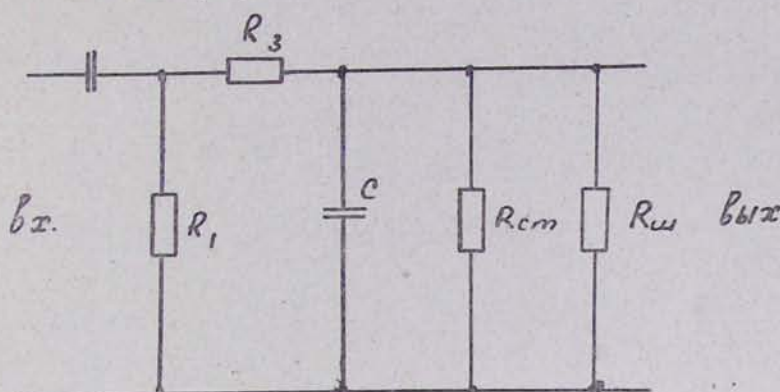


Рис. 5. Эквивалентная схема входной части преобразователя.

В общем случае

$$\frac{du}{dt} = -\frac{u}{CR'},$$

где

$$R' = \frac{R_{ct} R_m}{R_{ct} + R_m}, \quad R_{ct} = \frac{u}{J_0}.$$

Подставляя значение R_{ct} , получим значение R'

$$R' = \frac{u R_m}{J_0 R_m + u},$$

$$\frac{du}{dt} = -\frac{u}{CR'} = -\frac{1}{CR_m} (J_0 R_m + u),$$

$$\frac{du}{J_0 R_m + u} = -\frac{1}{CR_m} dt,$$

$$J_0 R_m u = p e^{-\frac{t}{CR_m}} \quad (3)$$

при

$$u|_{t=0} = U_0 \quad p = J_0 R_m + U_0,$$

$$J_0 R_m + u = (J_0 R_m + U_0) e^{-\frac{t}{CR_m}},$$

$$u = -J_0 R_m + (J_0 R_m + U_0) e^{-\frac{t}{CR_m}} \quad (4)$$

Из (2) получим

$$u = -\frac{J_0}{C} t + U_0, \quad U_0 = \frac{J_0}{C} \bar{t}.$$

$\bar{t}$ — время разрядки конденсатора, когда в цепи разрядки участвует только стабилизатор тока

$$\bar{t} = \frac{U_0 C}{J_0}, \quad J_0 = \frac{U_0 C}{\bar{t}}. \quad (5)$$

При полной разрядке для $u = 0$ из (4) получим

$$J_0 R_m = (J_0 R_m + U_0) e^{-\frac{\bar{t}}{CR_m}},$$

$$\bar{t} = CR_m \ln \left(1 + \frac{U_0}{J_0 R_m} \right).$$

Продифференцировав уравнение (4), получим

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{CR_m} (J_0 R_m + U_0) e^{-\frac{t}{CR_m}}.$$

Для получения наименьшей нелинейности необходимо, чтобы угловой коэффициент кривой разрядки в общем случае равнялся угловому коэффициенту кривой разрядки конденсатора, происходящей только через стабилизатор тока, т. е.

$$\frac{du}{dt} \approx \frac{U_0}{\bar{t}}, \quad \frac{U_0}{\bar{t}} \approx \frac{U_0}{CR_m \ln \left(1 + \frac{U_0}{J_0 R_m} \right)}.$$

Из уравнения (2) получим

$$\frac{du}{dt} = -\frac{J_0}{C}.$$

На рис. 6 приведены кривые разрядки конденсатора C через стабилизатор тока (1) и искомая кривая, которую необходимо получить при разрядке конденсатора C в общем случае (2).

Из вышеуказанного условия следует

$$\frac{J_0}{C} = (1 - \eta) \frac{U_0}{CR_m \ln \left(1 + \frac{U_0}{J_0 R_m} \right)},$$

$$\ln \left(1 + \frac{U_0}{J_0 R_m} \right) = (1 - \eta) \frac{U_0 C}{CR_m J_0} = (1 - \eta) \frac{U_0}{R_m J_0}.$$

Выражение $\frac{U_0}{R_m J_0}$ обозначим через x .

Тогда

$$\ln(1+x) = (1-\eta)x$$

$$\ln \frac{(1+x)}{x} = 1-\eta$$

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots,$$

т. е.

$$1 - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{3} - \dots = 1 - \eta.$$

Пренебрегая малыми величинами второго и выше порядка, получим

$$\frac{x}{2} = \eta,$$

$$x = 2\eta.$$

При допускаемой нелинейности не более 1% , т. е.

$$\eta = 0,01, \quad \text{имеем} \quad x = 0,02.$$

Подставляя вместо x его выражение, получим:

$$R_{\text{ш}} = \frac{50 U_0}{J_0}. \quad (6)$$

Конденсатор C должен полностью зарядиться за время прохождения импульса, который имеет длительность $(1,5 - 2) 10^{-6}$ сек., т. е.

зарядное сопротивление должно иметь очень малую величину и только после прохождения импульса сопротивление должно возрасти до нескольких десятков мегом. Ввиду этого, можно

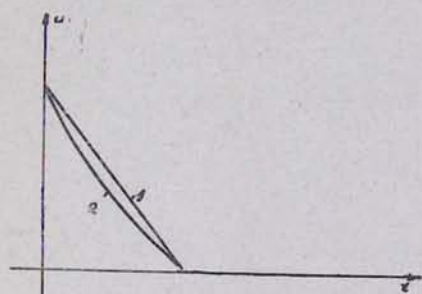


Рис. 6. Разряд конденсатора через стабилизатор тока (1) и искомая кривая (2).

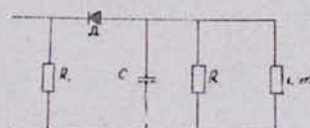


Рис. 7. Схема диодного входа преобразователя.

использовать полупроводниковые диоды, и это полностью удовлетворяет поставленным требованиям (рис. 7). Однако использование полупроводниковых диодов нецелесообразно по следующим соображениям.

Во-первых, при малых напряжениях (меньше 3 вольт) диод работает в непрямолинейном участке характеристики, что может привести к дополнительной погрешности при измерении.

Во-вторых, входное сопротивление преобразователя получается очень малым, а изменение выходного сопротивления предыдущего

каскада привело бы к техническим осложнениям и увеличению потребляемой мощности.

Замена диодного входа на триодный дала положительные результаты (рис. 8).

Условимся, что максимальной амплитуде входного импульса $u = 3\beta$ соответствует длительность выходного импульса $500 \cdot 10^{-6}$ сек. При применении восьмиразрядного счетчика частота генератора будет равна

$$f = \frac{n}{t} = \frac{2^8}{500 \cdot 10^{-6}} \approx 0,5 \cdot 10^6 \text{ гц.}$$

Задавая ток разрядки $J_0 = 20 \cdot 10^{-6}$ а, получим емкость зарядного конденсатора из (5)

$$C = \frac{J_0 \bar{t}}{U_0} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{3} = 3300 \cdot 10^{-12} \text{ ф,}$$

$$C = 3300 \text{ пф.}$$

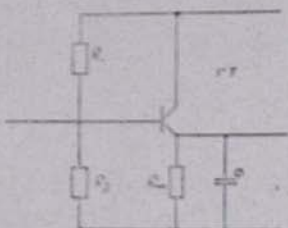


Рис. 8. Схема триодного входа преобразователя.

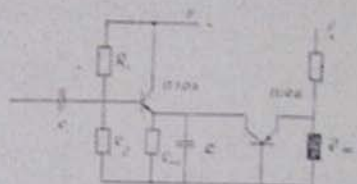


Рис. 9. Схема зарядной и разрядной цепи.

Из (6) найдем величину сопротивления $R_{ш}$

$$R_{ш} = \frac{50 U_0}{J_0} = 7,5 \cdot 10^8 \text{ ом.}$$

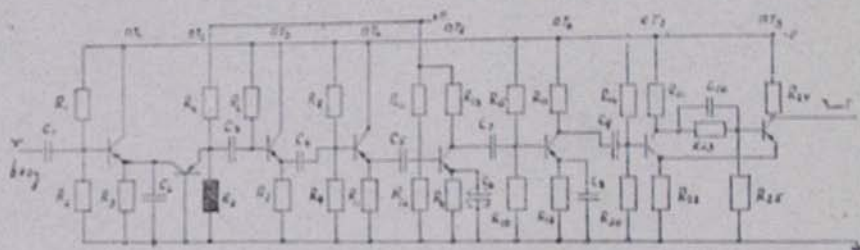


Рис. 10—Принципиальная схема преобразователя.

$R_1 = 820 \text{ ком, } R_2 = 100 \text{ ком, } R_3 = 7,5 \text{ мом, } R_4 = 560 \text{ ком, } R_5 = 470 \text{ ком,}$
 $R_6 = 4,3 \text{ ком, } R_7 = 120 \text{ ком, } R_8 = 470 \text{ ком, } R_9 = 51 \text{ ком, } R_{10} = 1,6 \text{ ком,}$
 $R_{11} = 13 \text{ ком, } R_{12} = 180 \text{ ком, } R_{13} = 6,2 \text{ ком, } R_{14} = 3 \text{ ком, } R_{15} = 27 \text{ ком,}$
 $R_{16} = 9,1 \text{ ком, } R_{17} = 8,2 \text{ ком, } R_{18} = 1 \text{ ком, } R_{19} = 390 \text{ ком, } R_{20} = 10 \text{ ком,}$
 $R_{21} = 2,2 \text{ ком, } R_{22} = 470 \text{ ом, } R_{23} = 5,8 \text{ ком, } R_{24} = 2 \text{ ком, } R_{25} = 40 \text{ ком,}$
 $C_1 = 0,1 \text{ мкф, } C_2 = 3300 \text{ пф, } C_3 = 1,0 \text{ мкф, } C_4 = 1,0 \text{ мкф, } C_5 = 1,0 \text{ мкф,}$
 $C_6 = 10 \text{ мкф, } C_7 = 1,0 \text{ мкф, } C_8 = 1,0 \text{ мкф, } C_9 = 1,0 \text{ мкф, } C_{10} = 750 \text{ пф,}$
 ПТ₁—П106, ПТ₂—П106, ПТ₃—П106, ПТ₄—П115, ПТ₅—П103,
 ПТ₆—П106, ПТ₇—П402, ПТ₈—П402.

Применяя полупроводниковый триод с заземленной базой, в разрядной цепи достигаем стабилизации тока разряда, а сопротивление, включенное в цепь эмиттера R_T , осуществляет термостабилизацию схемы (рис. 9). На рис. 10 приводится полная принципиальная схема преобразователя.

Ռ. Լ. ՌԻՓՈՒՅՅԱՆ

ԱՄՊԼԻՏՈՒԴԱՆԵՐԻ ԶԱՓԱՆ ԱՆԱԻՋԱՏՈՐ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Նկարագրվում է փոքր ամպլիտուդաների և պատահական խմբույնների չափման համար մշակված անալիզատորը: Ամպլիտուդայի մեծությունը՝ $u = 0,1 \div 3$ վ տեղաթվումը՝ $t = (1,5 - 2) \cdot 10^{-6}$ վրկ, իսկ չափման ճշտությունը հախտը է $1,0 - 1,5\%$:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фюнфер Э. и Нейрет Г. Счетчики излучения, М., Атомиздат, 1961.
2. Будинский Ярослав. Усилители низкой частоты на транзисторах. М., Связьиздат, 1962.
3. Герасимов С. М. и др. Расчет полупроводниковых усилителей и генераторов, Киев, Гостехиздат, УССР, 1961.