

Дискриминаторы сигналов

Лекции по курсу
«Электроника систем регистрации элементарных частиц»

Жуланов Владимир Викторович
тел. 329-47-32
e-mail: zhulanov@inp.nsk.su

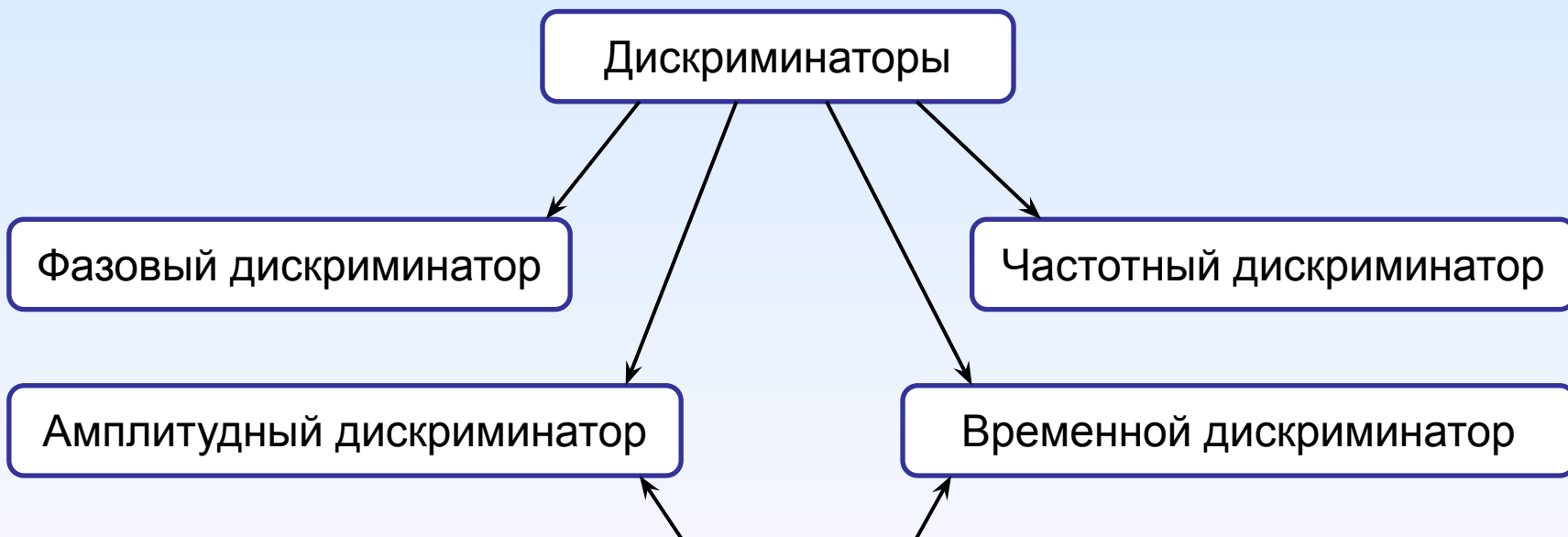
Назначение дискриминаторов

Аналоговые импульсные сигналы несут информацию, заключенную в амплитуде, времени и форме сигнала.

Дискретные сигналы содержат всего несколько дискретных уровней (обычно 2) и несут информацию, заключенную во времени сигнала и его наличии как такового.

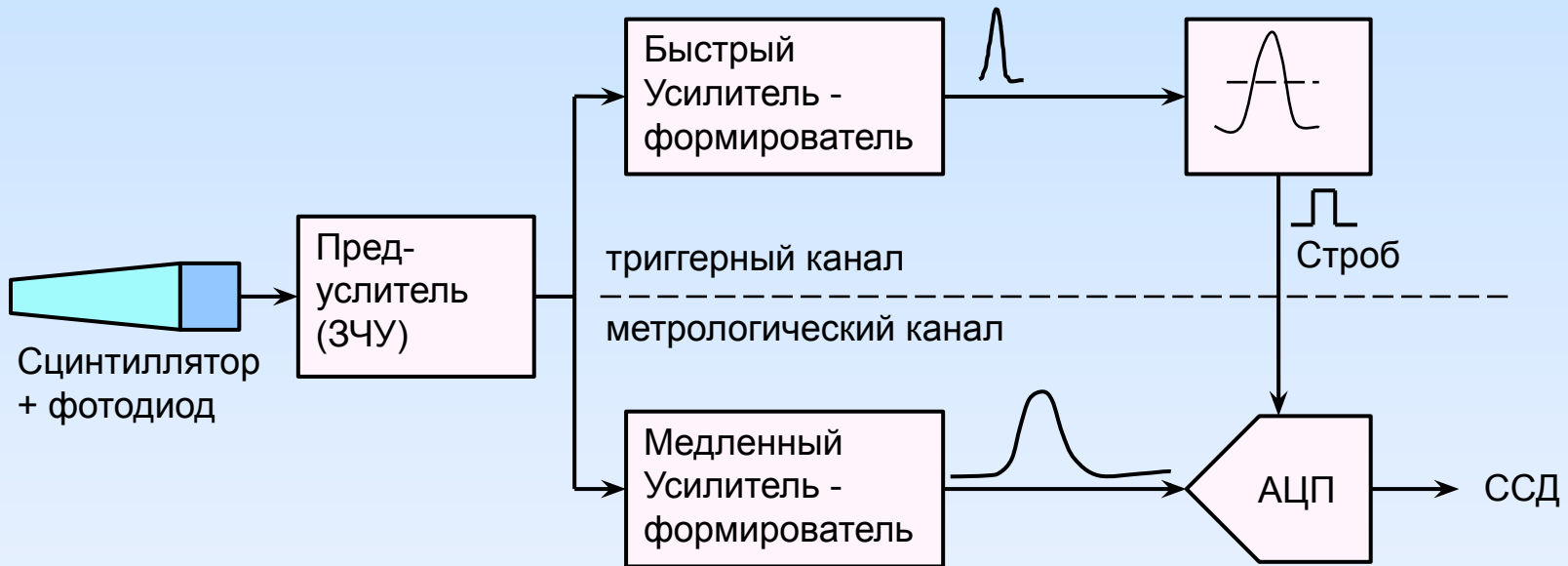
Обработка логических сигналов проще обработки аналоговых сигналов.

Дискриминатор – электронное устройство, формирующее (обычно логический) сигнал в зависимости от контролируемого параметра входного аналогового сигнала.



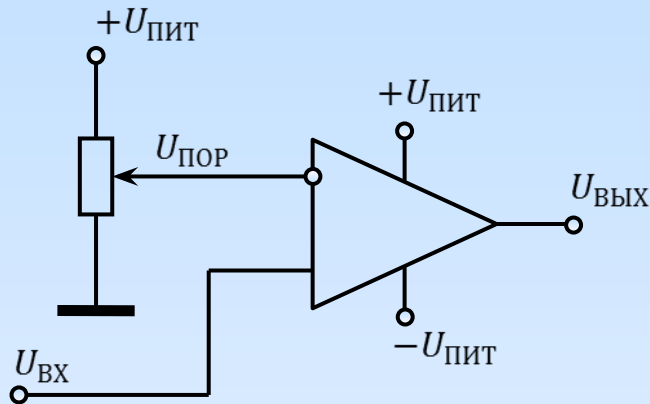
Используются в электронике регистрации элементарных частиц

Пример использования амплитудного дискриминатора



Сигнал запуска АЦП (строб) формируется в случае превышения входным сигналом заданного порога с помощью амплитудного дискриминатора

Простейший амплитудный дискриминатор

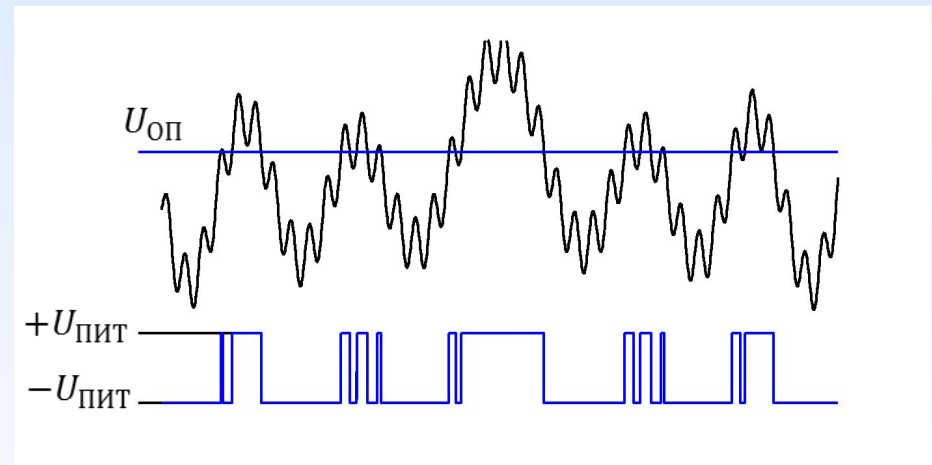
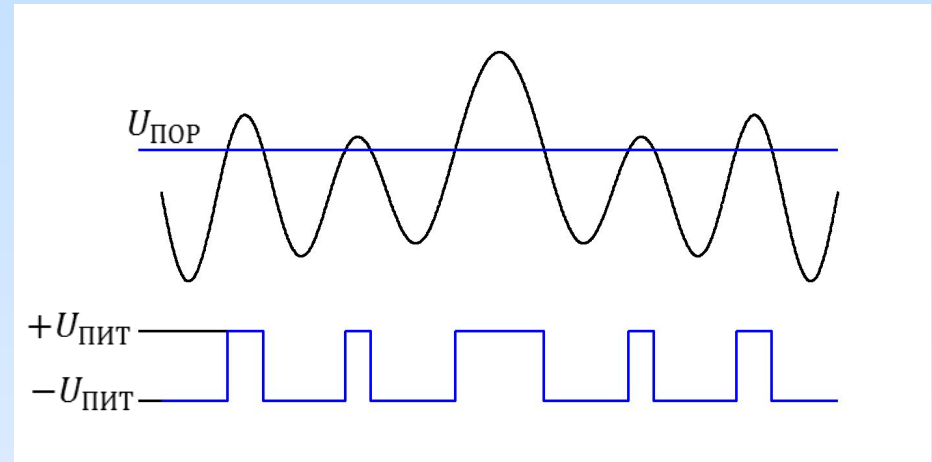


Простейший амплитудный дискриминатор

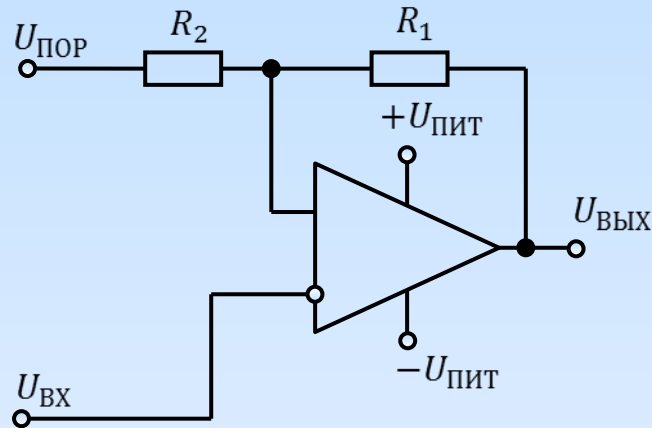
В отсутствие входного сигнала ($U_{ВХ} < U_{ПОР}$) на входе ОУ отрицательная разность, которая усиливается, и усилитель насыщается: на выходе будет $-U_{ПИТ}$.

При превышении входным сигналом порогового напряжения $U_{ПОР}$ на входе ОУ возникает положительная разность, которая многократно усиливается, пока выход ОУ не насытится: на выходе будет $+U_{ПИТ}$.

Приведенная схема обладает недостатком – дребезгом при пересечении порога.



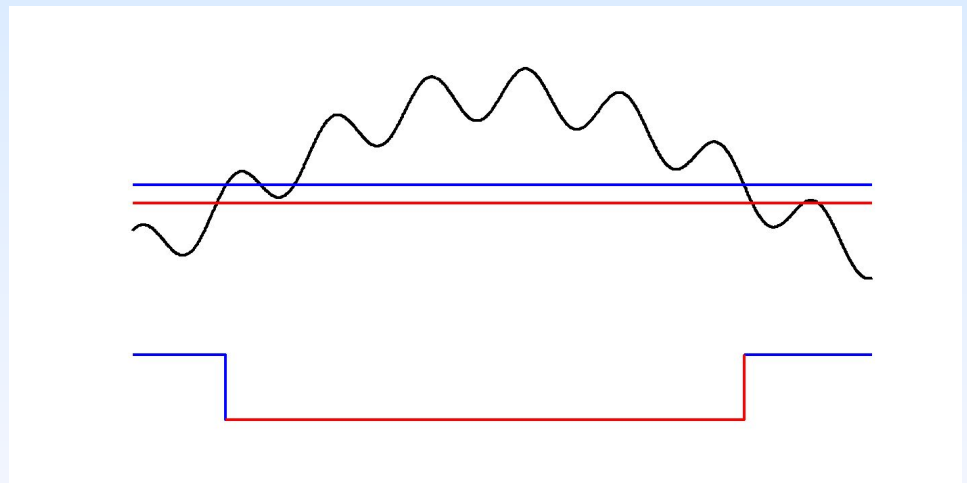
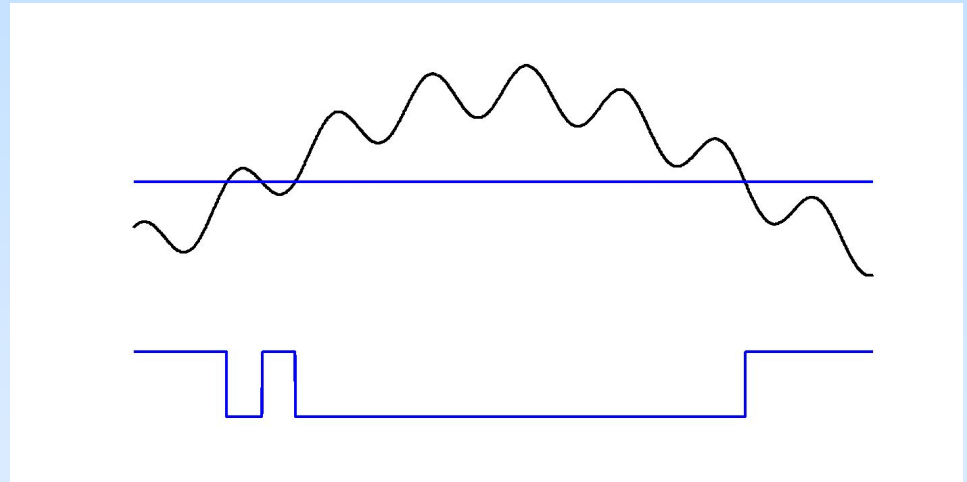
Триггер Шмитта (1)



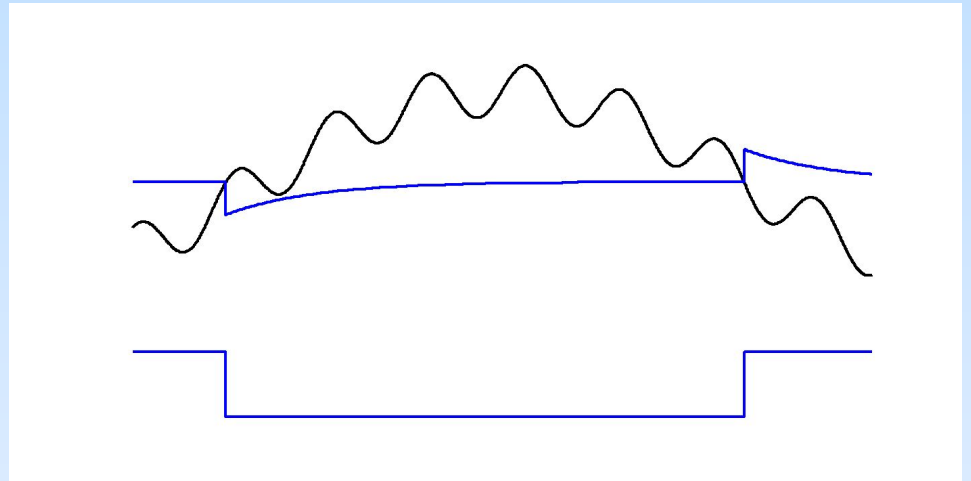
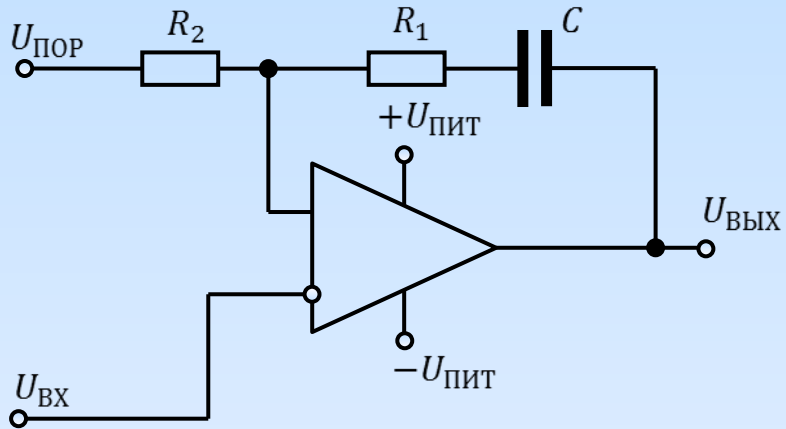
Амплитудный дискриминатор с триггером Шмитта

При превышении входным сигналом потенциала на положительном полюсе ОУ происходит уменьшение уровня на положительном полюсе, что предотвращает обратное переключение при незначительном уменьшении входного сигнала

Аналогичная ситуация при обратном пересечении уменьшенного уровня.



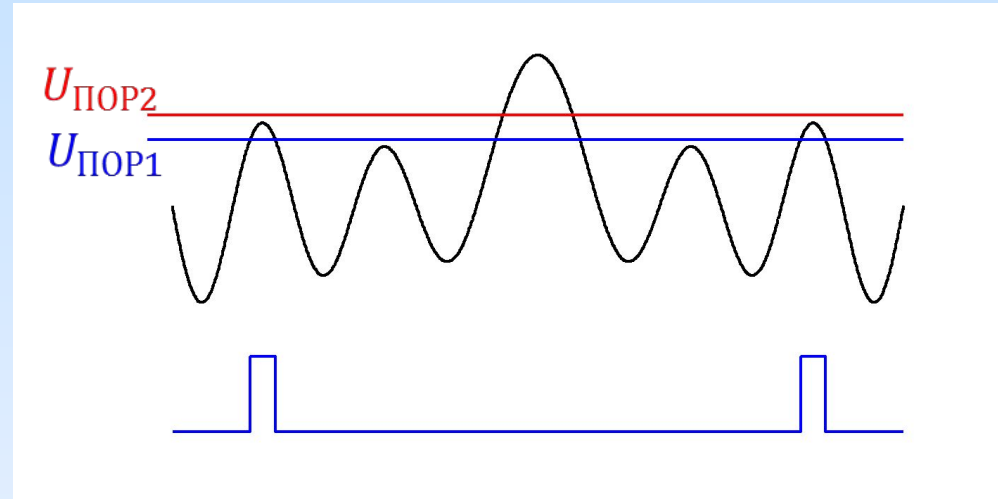
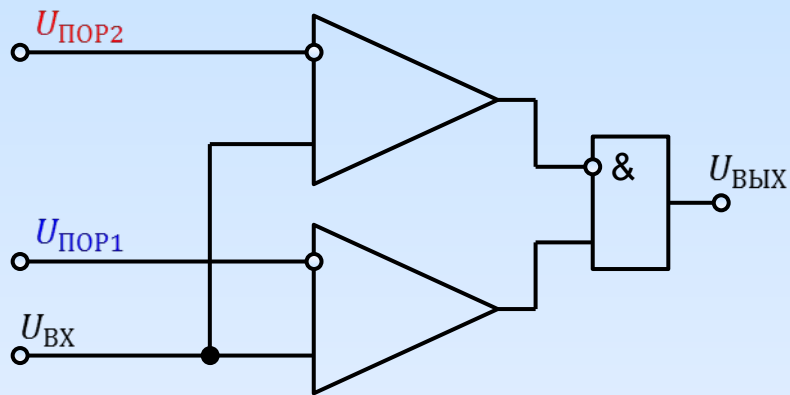
Триггер Шмитта (2)



Триггер Шмитта с добавленной ёмкостью

Классическая версия триггера Шмитта хорошо работает с логическими сигналами,...

Дифференциальный дискриминатор – амплитудный анализатор

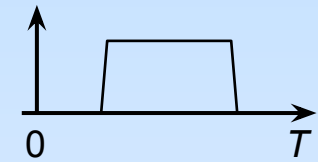
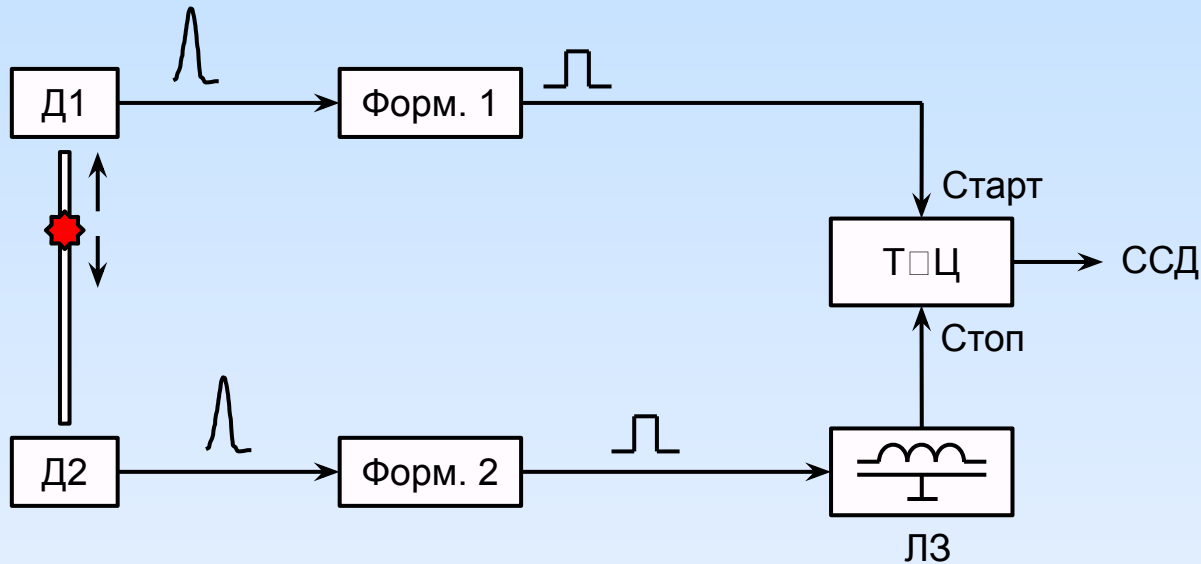


Используя пару компараторов можно построить дифференциальный амплитудный дискриминатор – амплитудный анализатор.

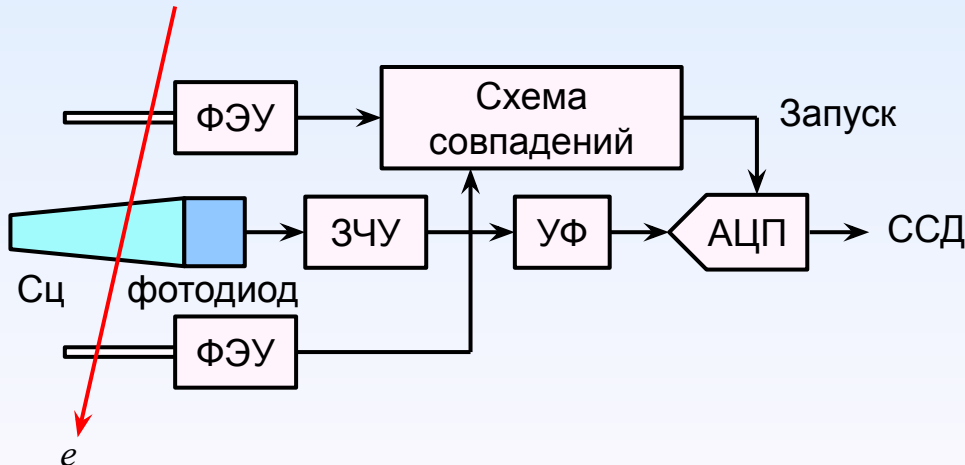
Логический уровень «1» будет формироваться на выходе в случае попадания амплитуды входного сигнала в диапазон: $U_{\text{ПОР1}} < U_{\text{ВХ}} < U_{\text{ПОР2}}$.

Построив линейку компараторов можно, в принципе, покрыть всю шкалу возможных амплитуд сигнала и получить возможность набирать гистограммы по сработавшим каналам, то есть получить амплитудный спектр входного сигнала.

Временные измерения. Примеры использования временных дискриминаторов



Точность определения координаты зарегистрированной частицы напрямую зависит от точности временной привязки сформированных логических сигналов к аналоговым сигналам от детекторов Д1 и Д2



Сигнал запуска Цифро-аналогового преобразования формируется при наличии сигналов одновременно с двух ФЭУ

Дискриминаторы

Точность временной привязки

Факторы ограничивающие точность временной привязки:

1. Изменение формы и амплитуды аналогового сигнала – «гуляние»
2. Долговременный сдвиг из-за старения элементов и изменения температуры – Дрейф
3. Неопределённость формирования логического сигнала из-за наличия шума в системе и статистических флуктуаций входного сигнала – Джиттер

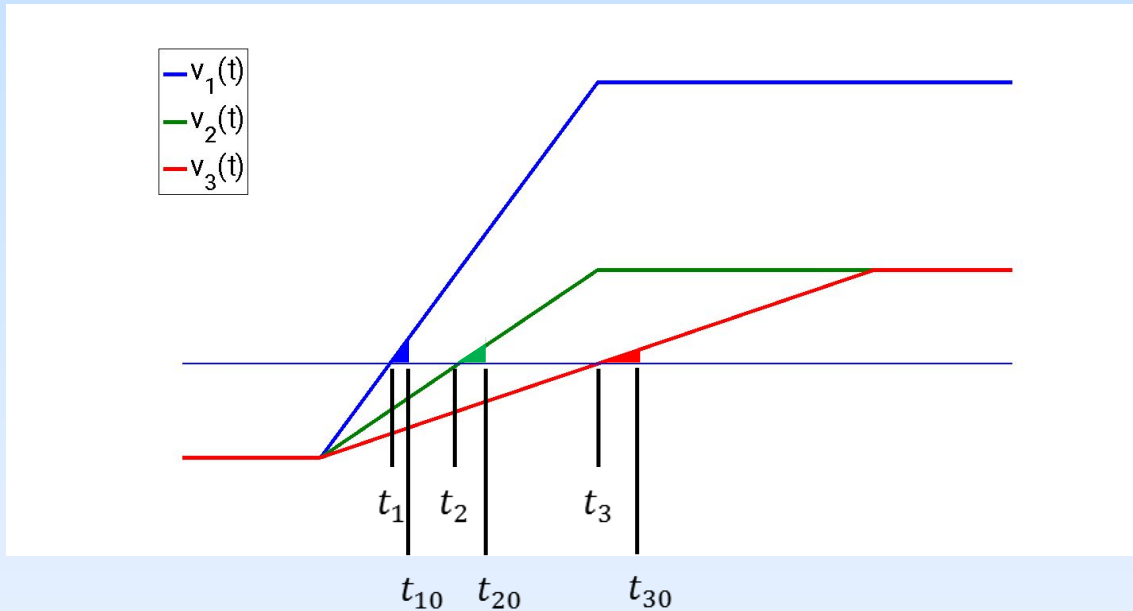
Для систем сцинтиллятор-ФЭУ:

- A. Вероятностный процесс генерирования фотонов в сцинтилляторе
- B. Разброс времени пролёта фотонов в сцинтилляторе
- C. Разброс времени пролёта электронов в ФЭУ
- D. Разброс коэффициента усиления ФЭУ

A,D □ флуктуация амплитуды,

A,B,C □ флуктуация формы сигнала

Привязка к переднему фронту сигнала



Недостатки простой привязки к переднему фронту сигнала:

- зависимость от амплитуды сигнала (ср. $v_1(t)$ и $v_2(t)$)
- зависимость от скорости нарастания переднего фронта сигнала (ср. $v_2(t)$ и $v_3(t)$)

В идеальном дискриминаторе момент формирования выходного сигнала определяется амплитудой и скоростью нарастания входного сигнала: t_1, t_2, t_3

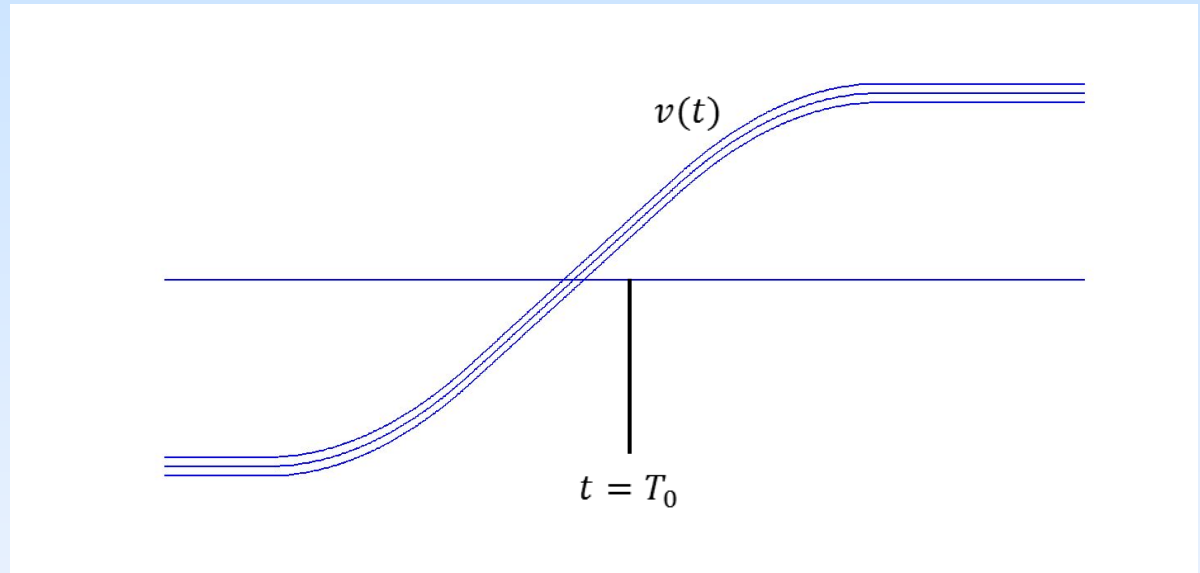
В реальном дискриминаторе на это накладывается «зарядовая» составляющая: t_{10}, t_{20}, t_{30}

Вклад шума в неоднозначность временной привязки

Наличие шума во входном сигнале приводит к неоднозначности временной привязки:

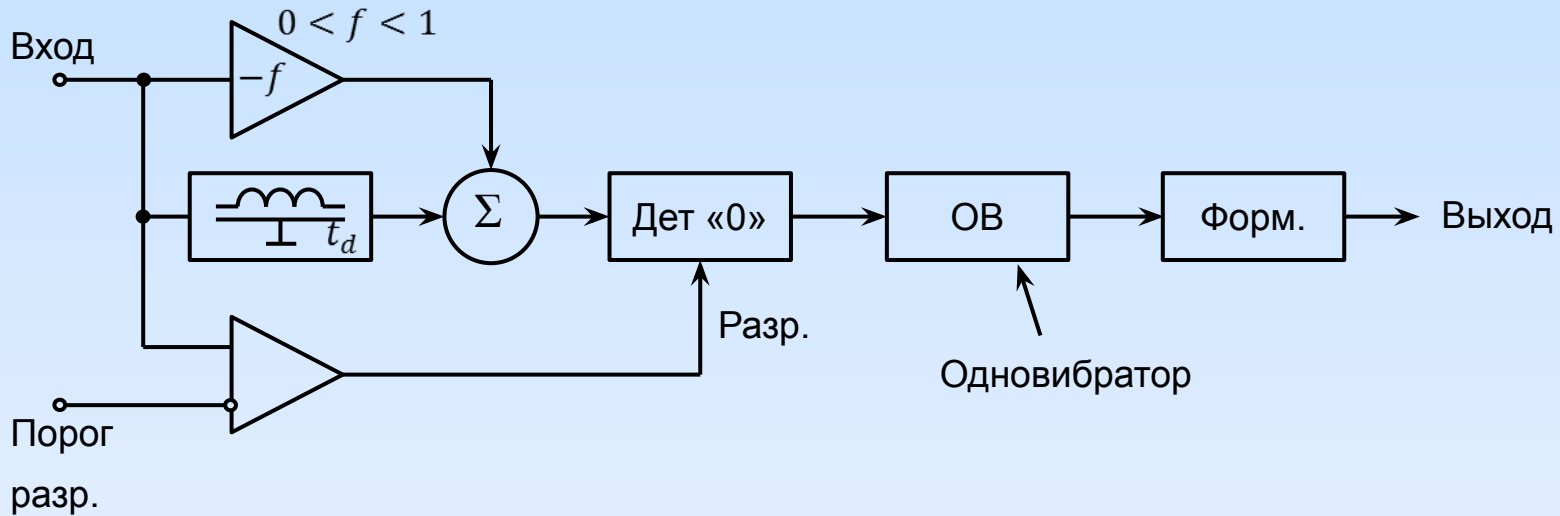
$$\sigma_t = \frac{\sigma_v}{\left. \frac{dv(t)}{dt} \right|_{t=T_0}}$$

Временная неопределённость из-за джиттера обратно пропорциональна скорости нарастания входного сигнала в области порога сравнения.



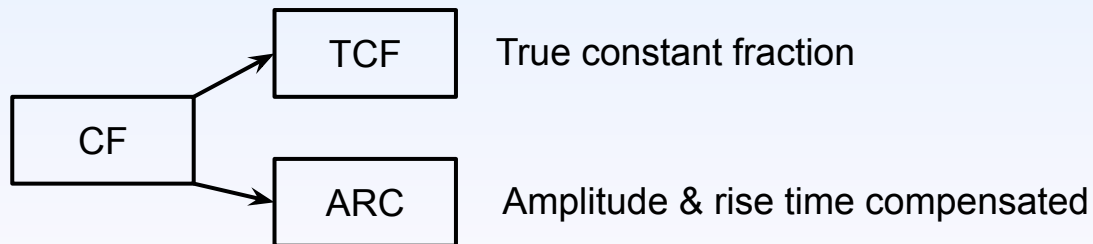
В общем случае сигнал с большей крутизной в области порога имеет меньший временной джиттер.

Привязка к постоянной доле сигнала

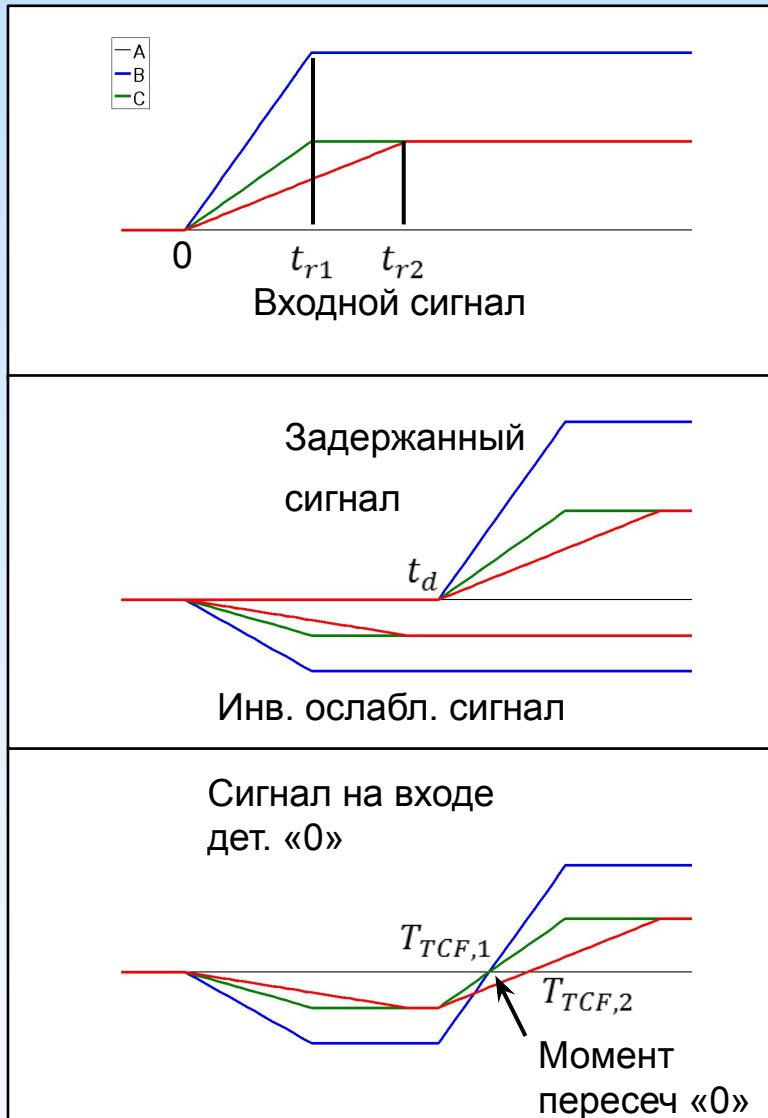


В дискриминаторах с привязкой к постоянной доле сигнала (CF – constant fraction) минимизируется «гуляние» из-за изменения амплитуды и скорости нарастания входного сигнала.

Для сигнала с определённой формой подбираются доля сигнала и задержка.



Привязка к постоянной доле сигнала - TCF



Момент пересечения «0» совпадает для сигналов А и В, то есть не зависит от амплитуды сигнала.

Условие для TCF – ослабленный сигнал достигает своего максимума к моменту пересечения «0»

В случае линейно нарастающего сигнала:

$$f * A - A \frac{t - t_d}{t_r} = 0 \Rightarrow T_{TCF} = t_d + f * t_r$$

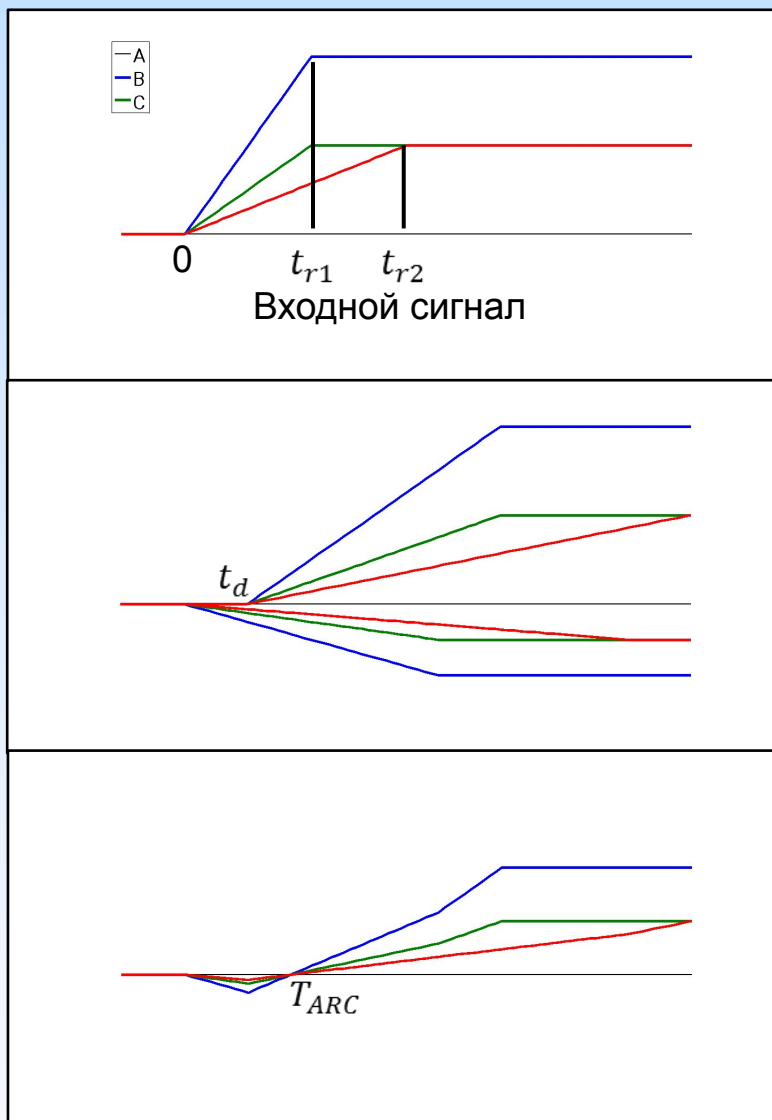
Время t_d выбирается из условия $t_d > t_r(1 - f)$ – условие на достижение сигналом максимума к моменту пересечения: $T_{TCF} > t_r$.

В тоже время t_d должно быть достаточно коротким, чтобы пересечение нуля произошло в момент максимума сигнала.

Выполнение этих двух условий позволяет сформировать сигнал в момент достижения входным сигналом доли от максимума независимо от амплитуды.

TCF особенно эффективен в системах с большим разбросом амплитуд. Например в системе «Сцинтиллятор + ФЭУ»

Привязка к постоянной доле сигнала - ARC



В ARC дискриминаторе пересечение «0» происходит до достижения сигналом максимума.

Это условие исключает зависимость времени формирования от скорости нарастания:

$$Af \frac{t}{t_r} - A \frac{t-t_d}{t_r} = 0 \Rightarrow T_{ARC} = \frac{t_d}{1-f}.$$

Время t_d выбирается из условия:

$$T_{ARC} < t_r; t_d < t_{r,min}(1-f).$$

При этом правильность работы выполняется для всех сигналов с $t_r > t_{r,min}$.

ARC формирование особенно эффективно для сигналов с большим диапазоном амплитуд и времени нарастания сигнала

Точность привязки TCF vs ARC

$$\sigma_t = \frac{\sigma_V}{\left. \frac{dv(t)}{dt} \right|_{t=T_0}}$$

RMS для суммарного сигнала из задержанного и ослабленного:

$$\sigma_{V,cf} = \sigma_V \sqrt{1 + f^2 - \frac{2f\Phi(t_d)}{\sigma_V^2}}, \text{ где}$$

σ_V - RMS значение шума входного сигнала,

$\Phi(t_d)$ – автокорреляционная функция входного шума.

$$\sigma_{V,cf} = \sigma_V \sqrt{1 + f^2} - \text{ для некоррелированного шума}$$

$$\left. \frac{dv_{TCF}(t)}{dt} \right|_{t=T_0} = \frac{V_A}{t_r} - \text{ для TCF дискриминатора,} \quad \left. \frac{dv_{ARC}(t)}{dt} \right|_{t=T_0} = \frac{(1-f)V_A}{t_r} - \text{ для ARC дискриминатора.}$$

Таким образом, имеем:

$$\sigma_{T_{LE}} = \frac{\sigma_V}{V_A} t_r; \quad \sigma_{T_{TCF}} = \frac{\sigma_V \sqrt{1 + f^2}}{V_A} t_r; \quad \sigma_{T_{ARC}} = \frac{\sigma_V \sqrt{1 + f^2}}{V_A(1 - f)} t_r; \quad \sigma_{T_{TCF}}$$

При одних и тех же условиях

$\sigma_{T_{ARC}} > \sigma_{T_{TCF}}$ из-за меньшего темпа нарастания сигнала

$\sigma_{T_{TCF}} > \sigma_{T_{LE}}$ из-за большей величины шума из-за сложения двух сигналов

Резюме

- Назначение дискриминаторов и их типы
- Амплитудный дискриминатор
- Временные измерения и временные дискриминаторы
- Типы временной привязки
- Точность временной привязки