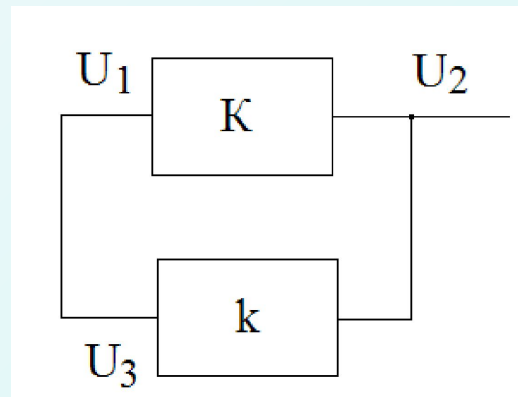


# Генераторы на ОУ

- Генератором называют электронное устройство формирующее переменное напряжение требуемой формы.

Различают генераторы гармонических (например, синусоидальных) колебаний, а также генераторы релаксационных колебаний, к которым относятся генераторы прямоугольных, треугольных, пилообразных и т.д. колебаний.

Рассмотрим блок-схему генератора:



$$U_2 = K * U_1;$$

фазовый сдвиг между  $U_1$  и  $U_2$  составляет  $\alpha$ .

$$U_3 = k * U_2;$$

фазовый сдвиг между  $U_2$  и  $U_3$  составляет  $\beta$ .

Очевидно, что схема будет генерировать незатухающие колебания, если

$$U_1 = U_3 = const. \quad U_3 = k * K * U_1$$

# Генераторы на ОУ

- Таким образом, генерация наступит в том случае, если

$$K * k = 1.$$

Это соотношение называют балансом амплитуд.

Второе условие генерации заключается в обеспечении баланса фаз:

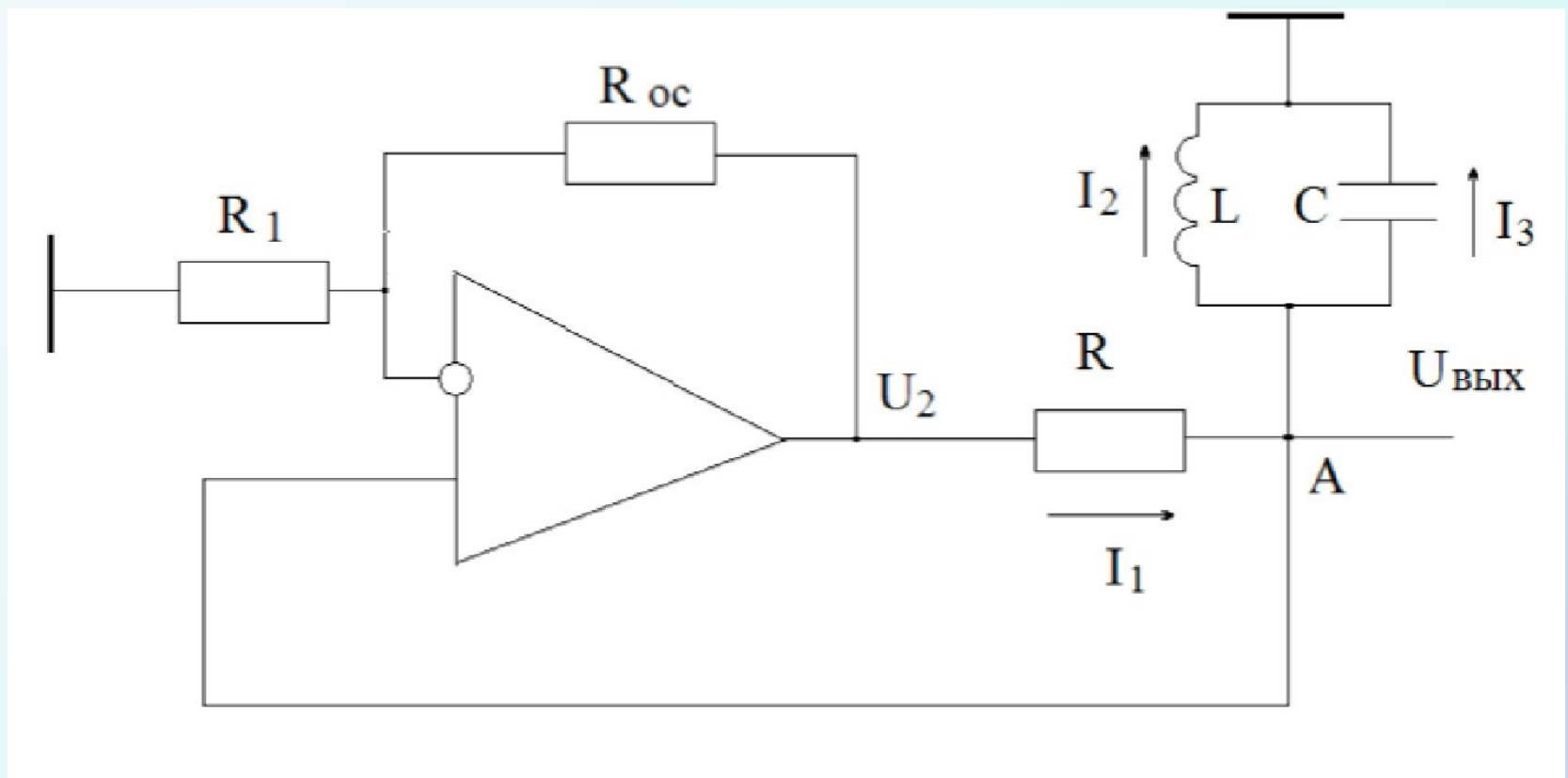
$$\alpha + \beta = 2\pi * n$$

$n=0, 1, 2, \dots, n$  – любое число

В этом случае фаза выходного напряжения и фаза входного напряжения совпадают.

Баланс фаз означает, что сигнал на входе должен находиться в той же фазе, что и на выходе.

# Генератор с LC-контуром



- Для узла А в соответствии с законом Кирхгофа запишем соотношение токов:

$$I_1 = I_2 + I_3; \text{ или } I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 = \frac{U_2 - U_{\text{ВЫХ}}}{R}; \quad I_2 = C \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt}; \quad U_{\text{ВЫХ}} = L \frac{dI_3}{dt}; \quad I_3 = \frac{1}{L} \int U_{\text{ВЫХ}} dt$$

$$\frac{U_2 - U_{\text{ВЫХ}}}{R} - C \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} - \frac{1}{L} \int U_{\text{ВЫХ}} dt = 0$$

т.к.  $U_2 = K * U_{\text{ВЫХ}}$

$$\frac{K * U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{R} - C \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} - \frac{1}{L} \int U_{\text{ВЫХ}} dt = 0$$

Перепишем последнее уравнение:

$$-\frac{U_{\text{ВЫХ}}(1 - K)}{RC} - \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt} - \frac{1}{LC} \int U_{\text{ВЫХ}} dt = 0$$

Умножаем все члены уравнения на (-1) и дифференцируем:

- $$\ddot{U}_{\text{ВЫХ}} + \frac{(1-K)}{RC} \dot{U}_{\text{ВЫХ}} + \frac{1}{LC} U_{\text{ВЫХ}} = 0$$

Обозначим:

$$\gamma = \frac{(1-K)}{2RC}; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

С учетом принятых обозначений уравнение имеет вид:

$$\ddot{U}_{\text{ВЫХ}} + 2\gamma \dot{U}_{\text{ВЫХ}} + \omega_0^2 U_{\text{ВЫХ}} = 0$$

Это уравнение имеет следующее решение:

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_0 * e^{-\gamma t} * \sin(\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2} t)$$

Возможны три варианта:

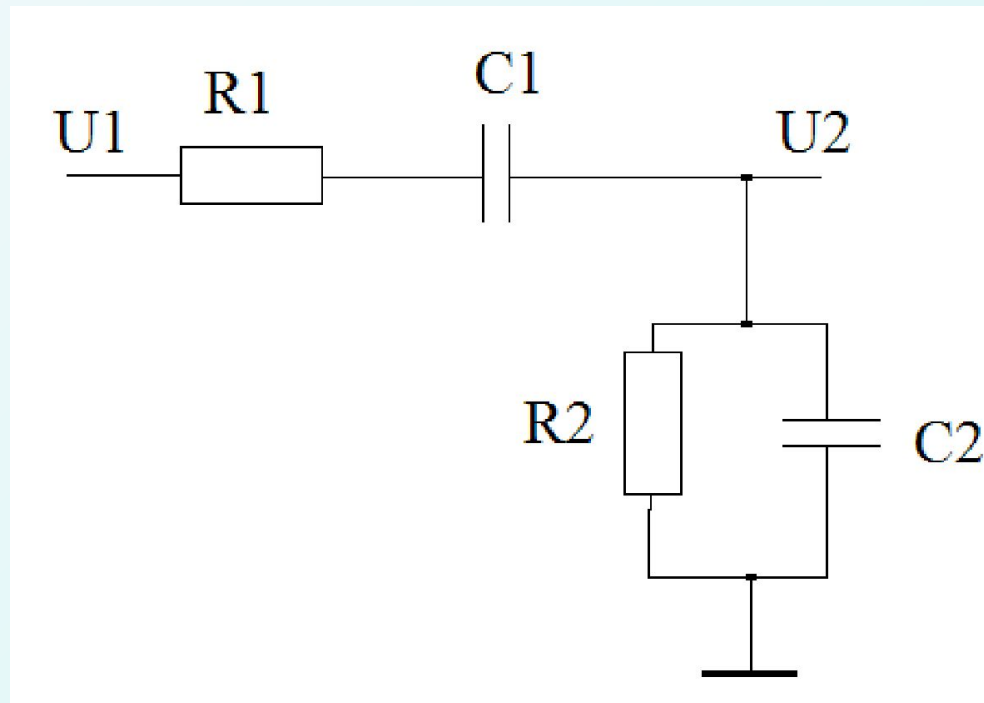
$\gamma = 0$  ,  $U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_0 * \sin \omega_0 t$  где  $\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{LC}}$  устойчивые автоколебания

$\gamma > 0$  ,  $U_{\text{ВЫХ}}(t)$  – на выходе расходящийся процесс, система не устойчива

$\gamma < 0$  ,  $U_{\text{ВЫХ}}(t)$  – выходная координата затухает по экспоненциальному закону

# Генератор гармонических колебаний с мостом Вина

В основе генератора используется мост Вина



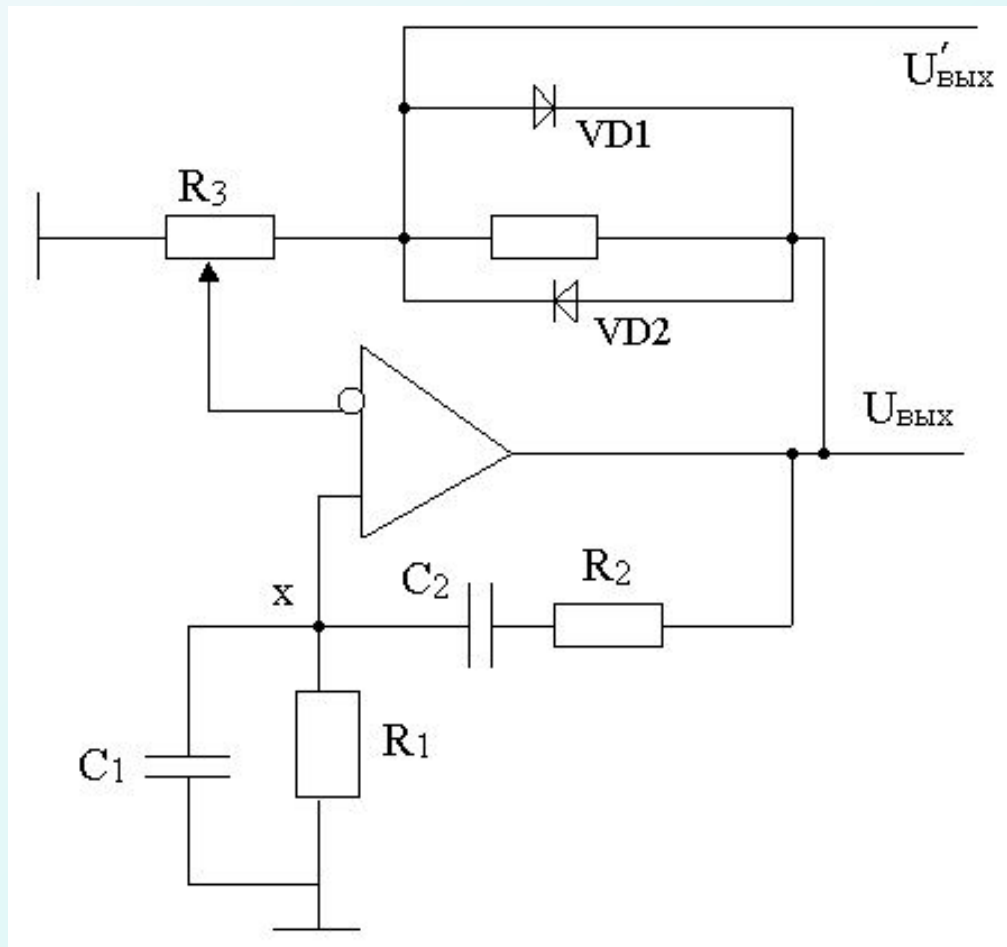
Этот мост имеет коэффициент передачи на частоте:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{где} \quad C = C_1 = C_2; \quad R = R_1 = R_2;$$

равный  $\frac{1}{3}$ , а фазовый сдвиг, равный  $\pi$ .

# Генератор гармонических колебаний с мостом Вина

Схема генератора



Коэффициент передачи ОУ по инвертирующему входу должен составлять 3.

$$K = 1 + \frac{R_{oc}}{R_3}$$

Задаем C и рассчитываем R согласно формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Для обеспечения баланса амплитуд отношение

$$\frac{R_{oc}}{R_3} \rightarrow 2$$

Диоды VD1 и VD2 служат для ограничения амплитуды выходного сигнала  $U_{вых}$ .

Если  $U_{вых} > 0,6$  В один из диодов открывается и шунтирует  $R_{oc}$ , при этом амплитуда  $U_{вых}$  падает.  $U_{вых}$  не может превышать 0,6 В.

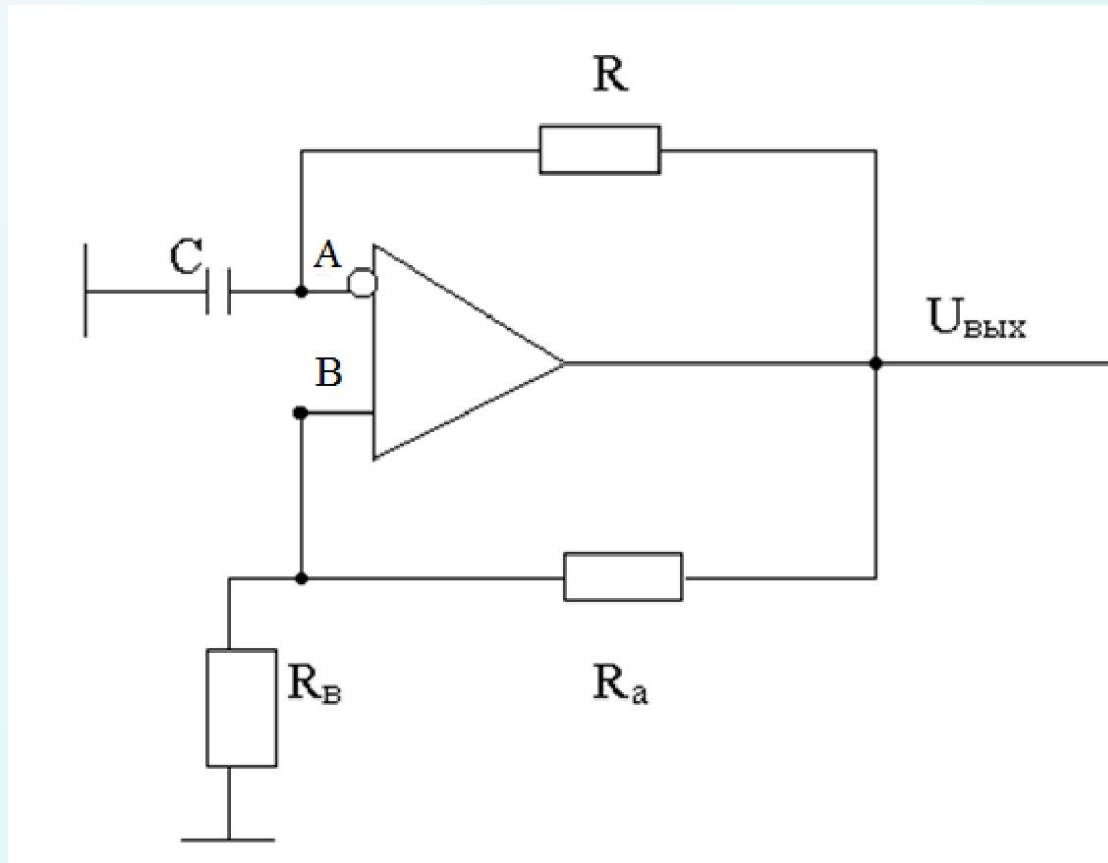
Для уменьшения линейных искажений конденсаторы необходимо подобрать с точностью до 1%, и резисторы до 0,01%



# Генераторы релаксационных колебаний

## Генератор прямоугольных колебаний

Схема генератора:



Выходное напряжение генератора колеблется между значениями  $+U_{\text{вых,max}}$  и  $-U_{\text{вых,max}}$  ОУ, создавая колебания прямоугольной формы. Период  $T$  колебаний генератора определяется произведением  $RC$  и соотношением  $R_A/R_B$ .

- При включении  $E_p$  обязательно присутствует  $U_{cm}$ . Это напряжение поступает на делитель напряжения  $R_1$ - $R_2$ . При этом потенциал точки В

$$U_B = \frac{U_{cm} * R_2}{R_1 + R_2}$$

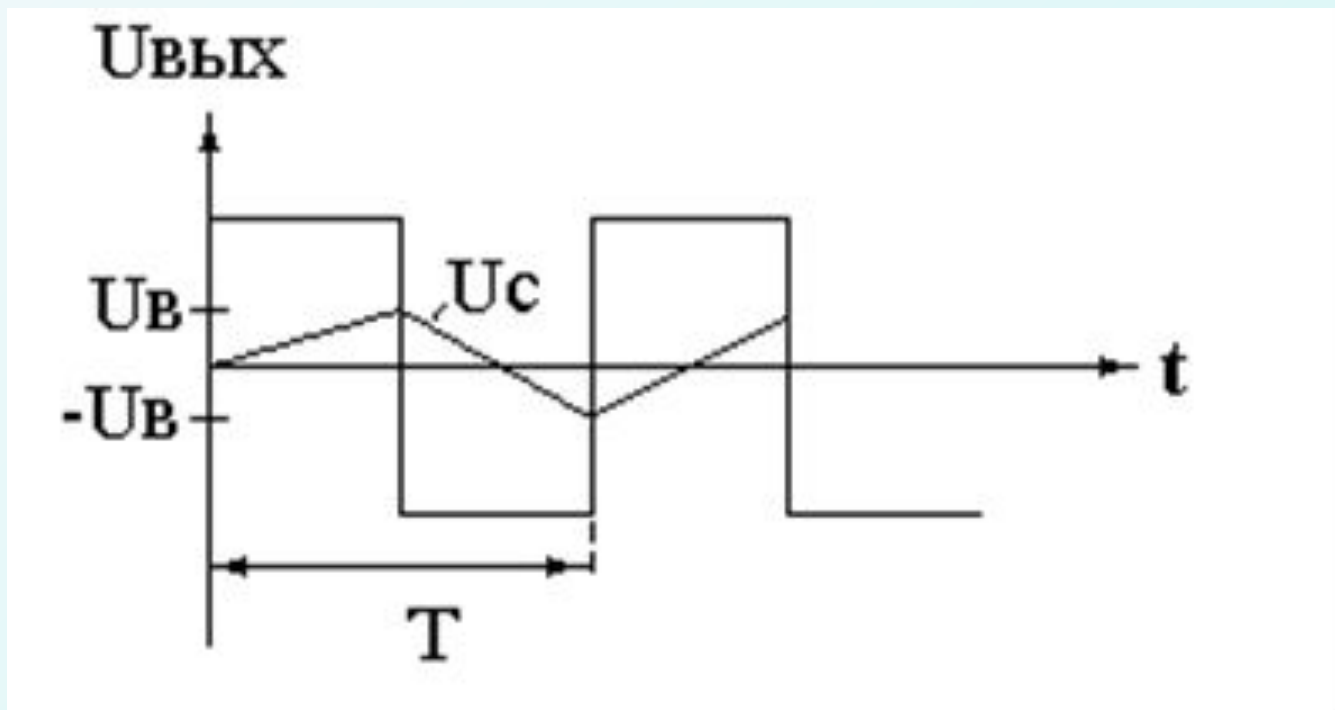
Потенциал точки А равен нулю. Следовательно  $U_B$  оказывается полностью приложенным между входами ОУ и усиливается в  $K_{ou}$  раз, что приводит к переходу ОУ в состояние насыщения.  $U_{вых} = +U_{нас}$ .

В момент насыщения ОУ начинает заряжаться конденсатор С через сопротивление R. Как только  $U_C$  станет немного больше  $U_B$ ,  $U_{вых}$  станет стремиться к  $-U_{нас}$ . При этом часть этого напряжения поступает на неинвертирующий вход ОУ.

Конденсатор С начинает перезаряжаться от  $+U_B$  до  $-U_B$  и как только значение  $U_C$  станет меньше  $U_B$ , напряжение на выходе ОУ вновь станет равным  $+U_{нас}$ .

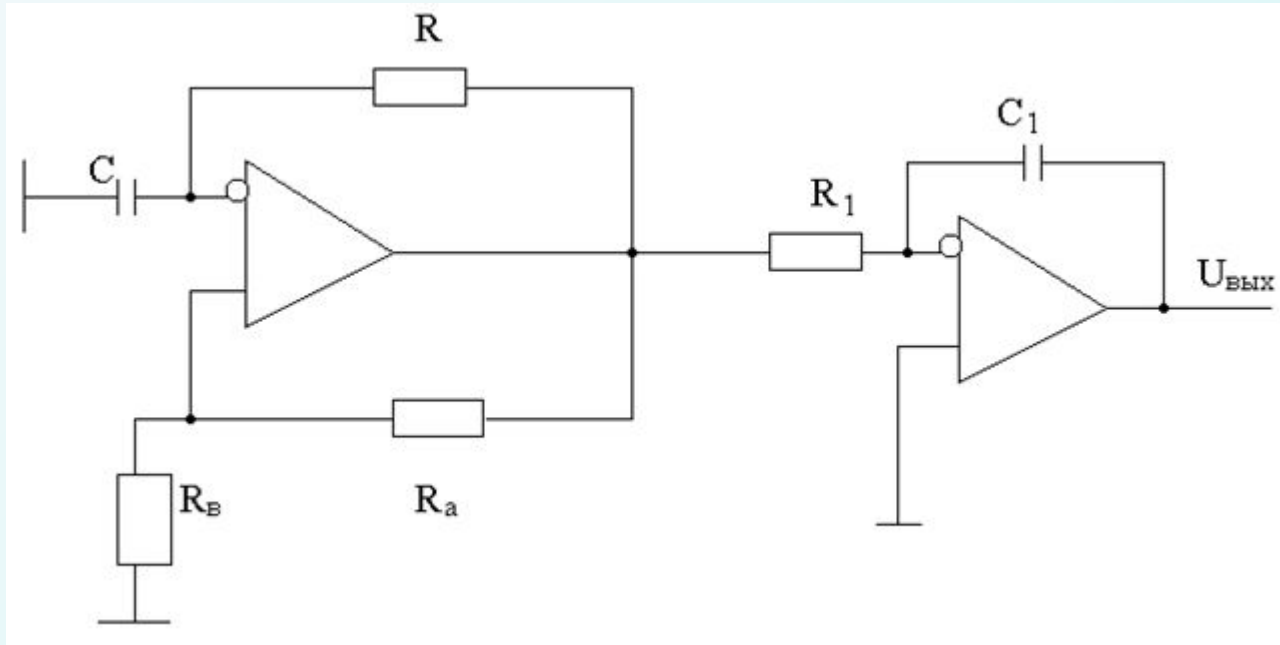
Период Т колебаний генератора определяется произведением  $R_{oc}C$  и соотношением  $R_1/R_2$

Процедура генерации прямоугольных импульсов поясняется временными диаграммами напряжений на выходе ОУ и конденсаторе УС



# Генератор треугольных колебаний

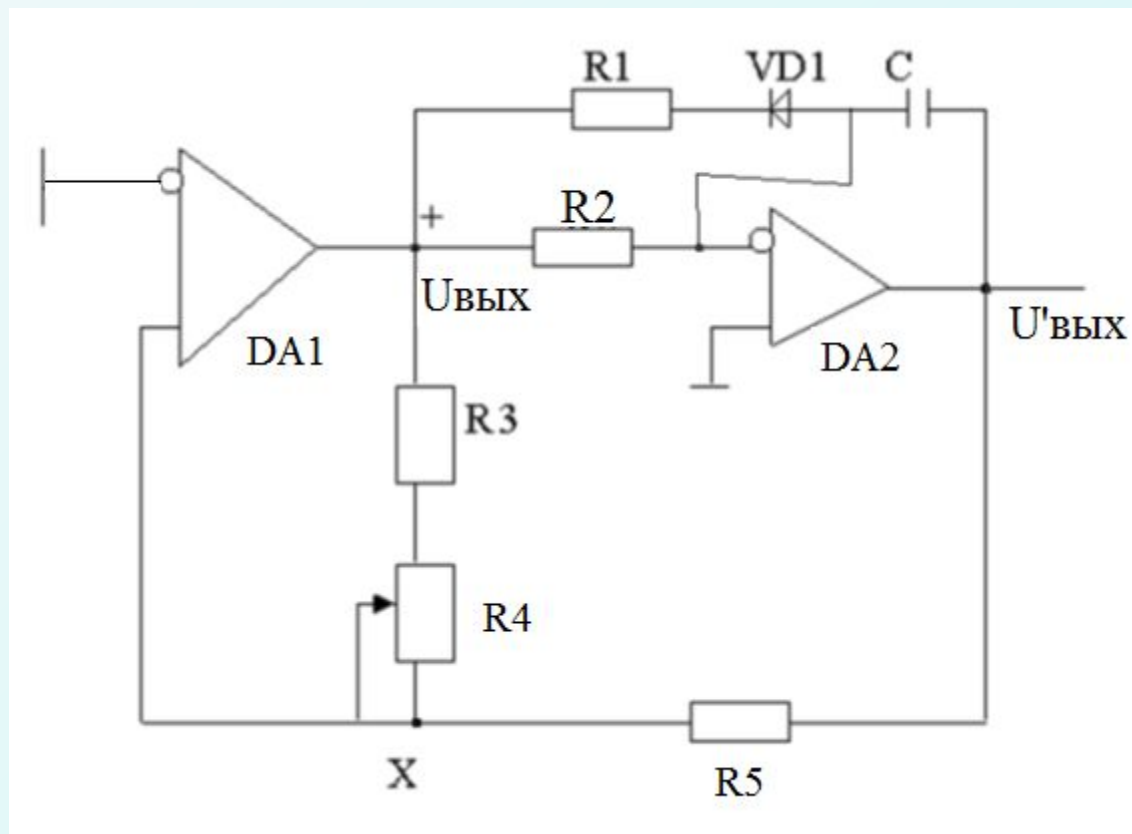
## Схема генератора:



От предыдущей схемы она отличается наличием интегратора. Частота генерируемых колебаний определяется сопротивлением  $R$  и соотношением  $R_a/R_b$ . В генераторе треугольных колебаний, как и в генераторе колебаний прямоугольных форм, предельная частота выходного сигнала ограничена скоростью нарастания ОУ. Амплитуду треугольных колебаний можно регулировать в некоторых пределах, изменяя сопротивление  $R_1$ .

# Генератор пилообразных колебаний

Пилообразные колебания отличаются от треугольных временем нарастания и спада. Генератор пилообразных колебаний состоит из двух каскадов: детектора нуля и интегратора.



При включении напряжения питания конденсатор полностью разряжен, однако на выходе есть  $U_{\text{см}}$ . Часть этого напряжения по цепи обратной связи через R5 поступает на вход детектора нуля.

- Допустим  $U_{см} > 0$ , тогда  $U_{вых} = +U_{нас}$ .

Положительное напряжение  $U_{вых}$  закрывает диод  $VD1$  и конденсатор  $C$  начинает заряжаться током, проходящим через  $R2$ .  $U'_{вых}$  растет при этом в отрицательном направлении:  $U'_{вых} \rightarrow -U_{нас}$ .

$R3, R4, R5$  представляет собой делитель напряжения, на который подается разность потенциалов  $U_{вых}$  и  $U'_{вых}$ .

Номиналы подобраны таким образом, чтобы при определенном значении  $U'_{вых}$  потенциал точки  $X$  стал немного меньше 0.

Как только  $U_x < 0$ , детектор нуля меняет свое состояние:  $U_{вых}$  станет равным  $-U_{нас}$ .

Отрицательное напряжение  $U_{вых}$  вскроет диод  $VD1$  и конденсатор начнет перезаряжаться в положительном направлении через  $R1$  и  $VD1$ , но поскольку  $R1 \ll R2$  и постоянная времени  $R1 \cdot C$  существенно меньше, потенциал точки  $X$  скорее достигнет порога срабатывания детектора нуля (конденсатор  $C$  перезаряжается очень быстро).

Как только  $U_x$  перейдет через ноль, детектор нуля изменит свое состояние:  $U'_{вых} = +U_{нас}$ .

Параметры пилы:

$$T1 = R2 \cdot C$$

$$T2 = R1 \cdot C$$

Осциллограммы выходных напряжений:

