

## 17. Реализация математических операций на основе перемножителей сигналов. Извлечение корня

**Перемножитель сигналов** – это устройство, предназначенное для получения аналогового выходного сигнала, пропорционального произведению двух входных величин –  $U_x$  и  $U_y$  :

$$U_z = kU_x U_y, \quad (2.1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Если полярность выходного напряжения определяется в соответствии с выражением (2.1) и с учетом полярности входных сигналов, которые могут быть как положительными, так и отрицательными, то такой ПС называется четырех квадрантным.

Для описания характеристик неидеального ПС необходимо иметь ряд частных коэффициентов усиления и сигналов смещения:

$$U_z = kU_x U_y + k_x U_x + k_y U_y + k_0, \quad (2.2)$$

где  $k_0$ ,  $k_x$  и  $k_y$  – константы, определяющие начальное смещение и смещения, зависящие от величины сигналов  $U_x$  и  $U_y$ .

Основные параметры четырехквадрантных ПС: погрешность перемножения сигналов, полоса пропускания, температурный дрейф. **Извлечение корня квадратного** из входного сигнала осуществляется путем подачи выходного напряжения ОУ  $U_y$  на оба входа ПС.

Выходное напряжение ПС при этом

$$U_B = kU_y^2$$

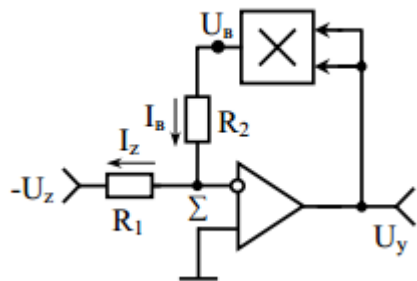
а ток, вызываемый этим напряжением,

$$I_B = \frac{kU_y^2}{R_2}$$

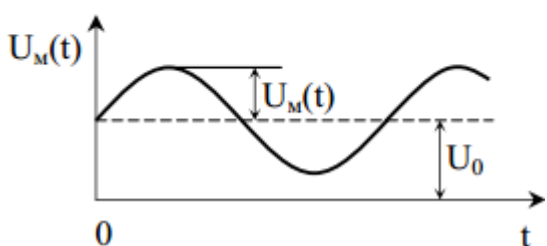
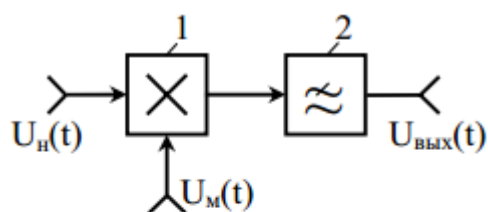
Если выполнить условие  $k = \frac{R_2}{R_1}$  напряжение

$U_y = \sqrt{\frac{R_2 * U_z}{R_1 * k}}$  точно соответствует корню квадратному из входного напряжения  $U_z$ .

При включении ПС в цепь ООС ОУ необходимо обеспечивать положительность выходного напряжения, иначе возможна ПОС в замкнутом контуре и, следовательно, возбуждение устройства. Поэтому входной сигнал взят со знаком минус.



## 18. Балансные модуляторы и их реализация на основе амплитудного модулятора



Балансные модуляторы (БМ), предназначенные для работы в широкой полосе частот (десятки-сотни мегагерц) при относительно малых уровнях входных сигналов (примерно до 0,5 В).

Если на модулирующий вход БМ 1 подать сигнал с постоянной составляющей  $U_M(t) = U_0 + U_M \cos(\Omega * t) = U_0(1 + m * \cos(\Omega * t))$

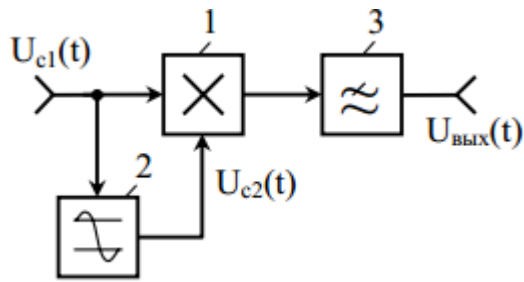
где  $U_0$  – напряжение постоянной составляющей;  $U_M$  и  $\Omega$  – амплитуда и частота модулирующего напряжения;  $m = U_M/U_0$  – глубина модуляции, с сохранением сигнала на входе несущей, то на выходе ФНЧ 2 будет получен сигнал с амплитудной модуляцией (АМ).

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{M0} \left[ \cos(\omega_0 t) + \frac{m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t \right]$$

где  $U_{M0} = \frac{2}{\pi k_1 U_0 U_H}$ ,  $k_1$  – коэффициент, учитывающий произведение масштабных коэффициентов передачи БМ и ФНЧ на частоте первой гармонически;  $U_H$  – амплитуда напряжения ограниченной несущей.

Для подавления гармонических составляющих в БМ 1 используют ФНЧ 2 с частотой среза немного выше  $\omega_0$ .

## 19. Балансные модуляторы и их реализация на основе синхронно-амплитудного демодулятора



На основе БМ можно реализовать синхронный демодулятор (СД) АМ сигналов с линейной амплитудной характеристикой. В этом случае на линейный вход БМ 1 подается АМ сигнал, а на управляющий – только

немодулированная несущая, которую обычно получают с помощью ограничителя 2 из анализируемого сигнала. Если АМ сигнал представить в виде произведения  $U_{c1} = U_M(t)\cos(w_0t)$

где  $U_M(t) = U_0 + U_M \cos(\Omega * t) = U_0(1 + m * \cos(\Omega * t))$ -сигнал с постоянной составляющей, а управляющий–единичной функцией  $U_{c2} = \cos(w_0t)$ , то напряжение на выходе БМ 1

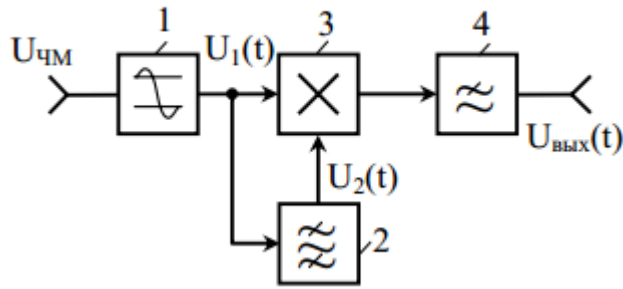
$$U_{\text{БМ}}(t) = k[U_M(t) \cos(w_0t)] \cos(w_0t) = \frac{kU_M(t)}{2} (1 + \cos(2w_0t))$$

После ФНЧ 3 получим с соответствующим масштабным коэффициентом К исходный неискаженный модулирующий сигнал

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{kU_M(t)}{2}$$

В случае немодулированного входного сигнала ( $m=0$ ,  $U_{\text{мо}} \equiv U_0$ ) на выходе СД вырабатывается напряжение постоянного уровня, соответствующее  $U_0$ .

## 20. Балансные модуляторы и их реализация на основе фазо-частотного демодулятора



1-амплитудный ограничитель, устраняющий возможное изменение амплитуды  
2- фазосдвигающий полосовой фильтр, настроенный на частоту несущей

3- балансный модулятор

4 – фильтр нижних частот

При использовании БМ в режиме фазовой демодуляции на входы

БМ 1 подают напряжения одной и той же частоты, но со сдвигом фаз на угол  $\phi$ . Пусть один

из сигналов будет  $U_{c1} = U_{m1}(t)\cos(\omega_0 t)$ , а второй

$U_{c2} = U_{m2}(t)\cos(\omega_0 t + \phi)$ , тогда на выходе БМ 1 получим:

$$U_{\text{БМ}}(t) = \frac{kU_{m1}U_{m2}}{2} (\cos(2\omega_0 t + \phi) + \cos(\phi))$$

Если с помощью ФНЧ 2 отфильтровать составляющую с удвоенной частотой, то на выходе ФД получим постоянное напряжение, пропорциональное косинусу угла  $\phi$ :

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{k_1 U_{m1} U_{m2}}{2} \cos(\phi)$$

Возможность определения с помощью БМ фазового сдвига между напряжениями может быть использована для построения демодуляторов сигналов с частотной модуляцией (ЧМ).

Фазосдвигающий ПФ формирует второй сигнал  $U_2(t)$ , управляющий БМ. Фазовый сдвиг вызываемый девиацией частоты  $\Delta\omega$  вблизи несущей  $\omega_0$ , может быть записан в следующем виде:

$$\phi \approx -\frac{\pi}{2} + 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0}, \text{ где } 2Q\Delta\omega \ll \omega_0$$

Отфильтрованный ФНЧ 4 сигнал оказывается пропорциональным девиации частоты входного напряжения ЧМ сигнала  $U_{\text{ЧМ}}$ :

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = kU_{\text{ЧМ}} \frac{\Delta\omega}{\omega_0}$$

где  $k$  – коэффициент преобразования частотного демодулятора.