

онным  $O$ . — для чистого состояния  $\Phi$ , когда  $\langle n' | \rho | n \rangle = \Phi_n^* \Phi_n$ , он просто совпадает с  $O$ . проектирования на это состояние:  $P\Phi = \rho$ .

Лит. см. при ст. *Квантовая механика, Квантовая теория многих частиц, Квантовая теория поля, Квантовая хромодинамика. И. А. Квасников.*

**ОПЕРАЦИИ СИММЕТРИИ** (преобразования симметрии) — пространств. преобразования объекта (кристалла), при к-рых он совмещается сам с собой. К  $O$ . с. относятся: поворот вокруг оси симметрии, отражение от плоскости симметрии, инверсия относительно центра симметрии, зеркальный поворот вокруг оси симметрии, а также операции дискретных переносов — трансляций. Совокупность  $O$ . с. данного объекта является его группой симметрии. Подробнее см. *Симметрия кристаллов.*

**ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ** — усилитель электрических колебаний (УЭК) с внеш. цепями, предназначенный для выполнения нек-рых линейных операций (суммирование, интегрирование, дифференцирование и др.). Часто название « $O$ . у.» относят к самим УЭК, к-рые обычно выполняются в виде серийно выпускаемых микросхем. Структурная схема типового  $O$ . у. содержит входной дифференц. каскад, осн. усилитель и выходной каскад с малым выходным сопротивлением.  $O$ . у. имеет два входа: неинвертирующий (+) и инвертирующий (-); соответственно входное напряжение усиливается без смены или со сменой полярности.  $O$ . у. питается от источника биполярного (симметричного относительно корпуса) напряжения  $\pm E$ .

Гл. требования, предъявляемые к характеристикам  $O$ . у.: высокий коэф. усиления  $k = 10^3 - 10^6$ ; большое входное сопротивление  $R_{вх}$  (до 100 МОм) и малое выходное сопротивление  $R_{вых}$  ( $\sim 10^2$  Ом); нулевое значение выходного напряжения при нулевом входном и симметричное изменение выходного напряжения в обе стороны в нек-ром диапазоне  $\pm U_{max}$ , близком к  $\pm E$ ; малый дрейф нуля, обусловленный изменениями внеш. условий и нестабильностью эдс источника; малый уровень собств. шумов; сильное ( $\sim 60$  дБ) подавление сифазной составляющей, т. е. малое значение отношения выходного напряжения ко входному, поданному одновременно на оба входа; широкая полоса пропускания (от 0 до 100 МГц). Выполнение этих требований обеспечивает возможность каскадного включения  $O$ . у., высокую точность выполнения операций и универсальность применения. Обычно УЭК охватывают отрицательной обратной связью с выхода на инвертирующий вход. Поскольку  $R_{вх}$  и  $k$  велики, в рабочем (линейном) режиме напряжения на обоих входах  $O$ . у. практически одинаковы и почти не отличаются от 0 («виртуальный ноль»).

В суммирующем  $O$ . у. при подаче сигналов на инвертирующий вход (рис. 1)

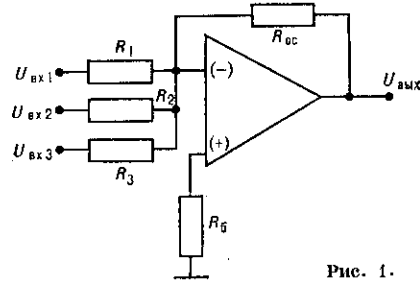


Рис. 1.

$$U_{\text{вых}} = -[R_1 U_{\text{вх1}}/R_{\text{oc}} + R_2 U_{\text{вх2}}/R_{\text{oc}} + R_3 U_{\text{вх3}}/R_{\text{oc}}].$$

К неинвертирующему входу иногда подключают балансировочный резистор  $R_6 \sim R_{\text{oc}}$ . Входное сопротивление такой схемы со стороны источника сигнала при одном входе  $U_{\text{вх1}}$ ,  $R_{\text{вх}} \sim R_1$ . При использовании неинвертирующего входа (рис. 2)  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}(1 + R_{\text{oc}}/R_1)$ . Посколь-

ку входное сопротивление такой схемы велико, её иногда используют для согласования выхода высокоомного генератора с низкоомной нагрузкой (при  $R_{\text{oc}} \ll R_1$  как повторитель напряжения).

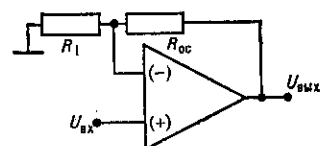


Рис. 2.

В схеме, изображённой на рис. 3,  $U_{\text{вых}} = -R_{\text{oc}} U_{\text{вх}} / (R_1 + R_2 + R_3)$  при  $R_1 = R_2 = R_{\text{oc}}$ ,  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх2}} - U_{\text{вх1}}$  (дифференц. схема).

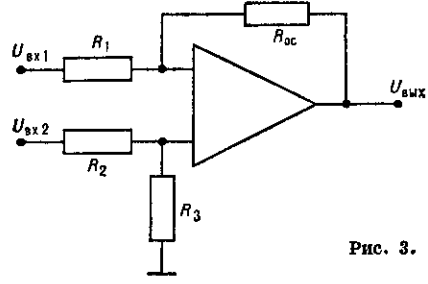


Рис. 3.

С помощью  $O$ . у. можно осуществить операции интегрирования и дифференцирования (с одноврем. суммированием). В схеме интегрирования (рис. 4, а)

$$U_{\text{вых}} = -K_{\text{и1}} \int U_{\text{вх1}}(t) dt - K_{\text{и2}} \int U_{\text{вх2}}(t) dt,$$

где  $K_{\text{и1}} = 1/R_1 C_{\text{oc}}$ ,  $K_{\text{и2}} = 1/R_2 C_{\text{oc}}$ . В схеме дифференцирования (рис. 4, б)

$$U_{\text{вых}} = -K_{\text{д1}} dU_{\text{вх1}}/dt - K_{\text{д2}} dU_{\text{вх2}}/dt,$$

где  $K_{\text{д1}} = R_{\text{oc}} C_1$ ,  $K_{\text{д2}} = R_{\text{oc}} C_2$  (см. также *Дифференцирующая цепь, Интегрирующая цепь.*)

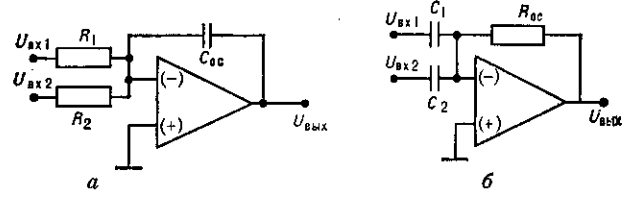


Рис. 4.

В схемах, приведённых на рис. 1—4, должен сохраняться линейный режим, т. е. напряжение на выходе не должно достигать границ  $\pm U_{\text{max}}$ . Используя комбинации внеш. элементов, строят модели разл. линейных динамич. систем (электронные аналоговые модели). В электронных схемах  $O$ . у. применяют для преобразования и фильтрации сигналов, в т. ч. импульсных (напр., для преобразования прямоугольных напряжений в пилообразные и обратно).  $O$ . у. применяют также для генерирования колебаний (в т. ч. импульсных), при этом используют нелинейные режимы  $O$ . у. (выходное напряжение за пределами  $\pm U_{\text{max}}$ ).  $O$ . у. используют также в аналоговых вычислит. машинах, где с их помощью выполняют линейные операции и нелинейные преобразования (возведение в степень, перемножение и др.). Иногда используют также гидравлич., пневматич., магн. и др.  $O$ . у.

Лит.: Алексенко А. Г., Шагурин И. И., Микросхемотехника, М., 1982. Б. Х. Кривичукый.

**ОПЕРЕЖАЮЩИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ** — потенциалы, изменения к-рых в точке наблюдения опережают по времени изменения источников. Если последние считать причиной, а первые — следствием, то  $O$ . п. не удовлетворяют классич. принципу причинности, согласно к-рому причина, вызывающая к.-л. движение, должна предшествовать совершению этого движения.