

Лекция 20. Усилители с обратной связью. Тиристоры

Усилители с обратной связью (отрицательная, положительная)

Обратная связь усилителя – это воздействие части выходного сигнала усилителя на его вход. Когда входной сигнал $U_{\text{ВХ}}$ складывается с сигналом обратной связи $U_{\text{ОС}}$, то обратная связь **положительная** (сигналы совпадают по фазе).

Когда сигнал обратной связи $U_{\text{ОС}}$ **вычитается** из входного сигнала $U_{\text{ВХ}}$, то обратная связь **отрицательная** (сигналы в противофазах).

Обратные связи подразделяются на **обратные связи по напряжению и по току**. При обратной связи по напряжению $U_{\text{ОС}} = \beta U_{\text{ВЫХ}}$, где β – коэффициент канала обратной связи.

При **отрицательной обратной связи по напряжению** для входной цепи усилителя (рис. 3.19): $U_1 = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ОС}}$, где $U_{\text{ОС}} = \beta U_{\text{ВЫХ}}$;

$$\text{тогда } U_{\text{ВХ}} = U_1 + U_{\text{ОС}} = U_1 + \beta U_{\text{ВЫХ}} \quad (3.15)$$

Коэффициент усиления такого усилителя без обратной связи ($U_{\text{ВХ}} = U_1$)

$$K_K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_1}. \quad (3.16)$$

Коэффициент усиления усилителя с отрицательной обратной связью:

$$K_{\text{ОС}}^{(-)} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}.$$

С учетом уравнений (3.15) и (3.16) получим:

$$K_{\text{ОС}}^{(-)} = \frac{K_K}{1 + \beta K_K}, \quad K_{\text{ОС}}^{(-)} < K_K.$$

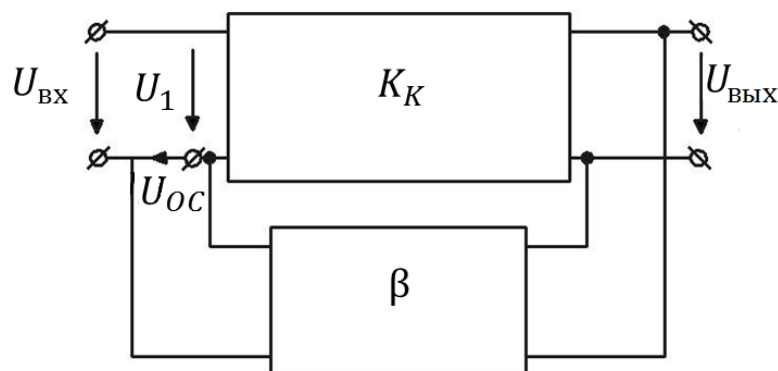


Рис. 3.19 Усилитель с отрицательной обратной связью

Откуда следует, что **отрицательная обратная связь снижает** коэффициент усиления в $(1 + \beta K_K)$ раз. При **глубокой отрицательной связи** ($\beta K_K \gg 1$), $K_{\text{ОС}}^{(-)} = 1/\beta$. Вывод: Коэффициент усиления в этом случае не зависит от параметров усилительного каскада.

Аналогично **коэффициент усиления усилителя с положительной обратной связью:**

$$K_{OC}^{(+)} = \frac{K_K}{1 - \beta K_K}, \quad K_{OC}^{(+)} > K_K.$$

Откуда следует, что **положительная обратная связь повышает коэффициент усиления усилителя**. При **глубокой положительной обратной связи** ($\beta K_K = 1$) $K_{OC}^{(+)} \rightarrow \infty$ (до насыщения). Положительные обратные связи применяются в электронных генераторах.

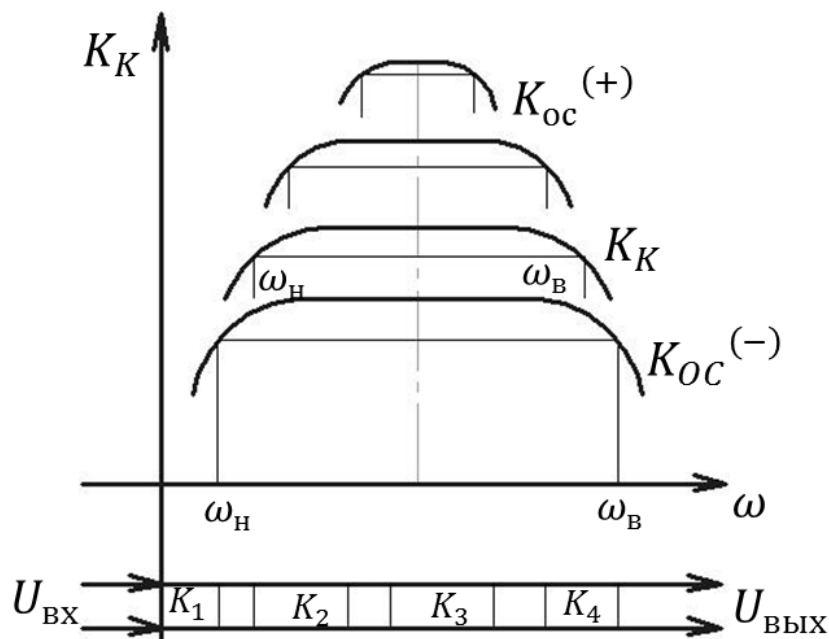


Рис. 3.20. Зависимости коэффициента усиления каскада усилителей

Уменьшение коэффициента усиления при отрицательной обратной связи можно скомпенсировать путем включения нескольких усилительных каскадов (рис 3.20).

$$K_{общ} = K_1 K_2 \dots = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}$$

Тиристоры

Тиристор – трехэлектродный полупроводниковый **управляемый прибор с тремя p-n переходами и двумя устойчивыми состояниями**.

Тиристор может быть переключен с закрытого состояния в открытое и наоборот. Рассмотрим управляемый тиристор. Основу его составляет **четырёхслойная структура** типа **p-n-p-n** (рис. 3.21, а), образующая три p-n перехода (Π_1, Π_2, Π_3), включенных последовательно.

Π_1 и Π_3 называются *эмиттерными*, а Π_2 – *коллекторным p-n переходами*. Средние области p_2 и n_2 между p-n называются *базами*. Электрод электрической связи с внешней n-областью – *катод К*, а с p – областью – *анод А*.

К базе p_2 присоединяется управляющий электрод УЭ. (рис. 3.21).

На рис. 3.21, б показана принципиальная схема включения тиристора и условное обозначение VS.

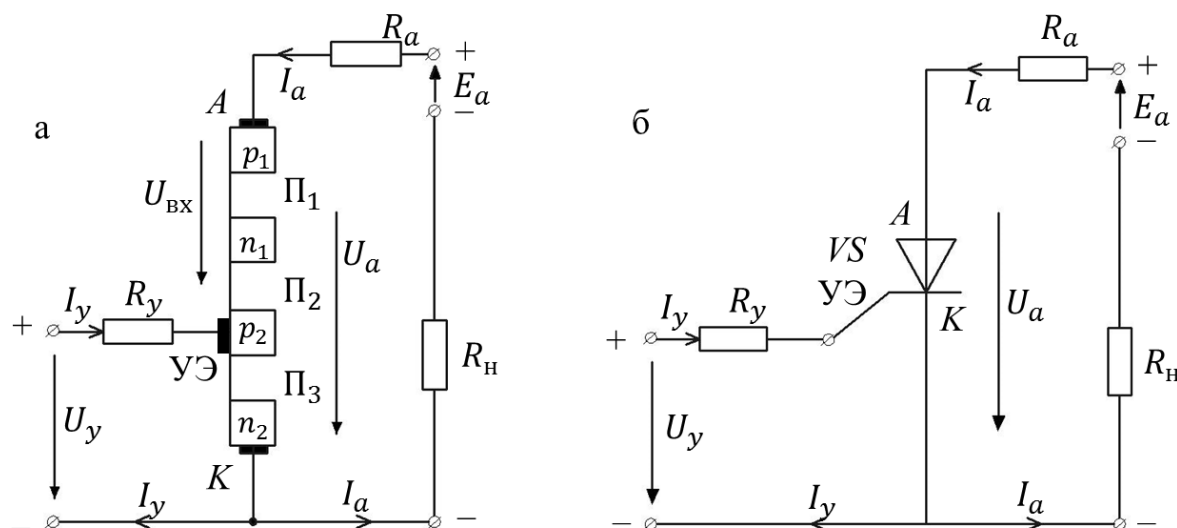


Рис. 3.21. Структурная (а) и принципиальная (б) схемы управляемого тиристора

Свойства *управляемого тиристора* определяет его вольт-амперная характеристика (рис. 3.22). На ней **пять** наиболее характерных **участков**.

Участок OA – закрытое состояние тиристора (увеличение анодного напряжения) оказывает незначительное влияние на величину тока.

Участок AB – переходный участок (**от закрытого в открытое состояние**).

Участок BB – процесс переключения тиристора (неустойчивая часть характеристики открытого состояния тиристора).

Участок BG – рабочий участок (открытое состояние тиристора).

Участок OD – **обратная ветвь** вольт-амперной характеристики (закрытое состояние тиристора), соответствует состоянию тиристора, когда к нему приложено напряжение обратной полярности.

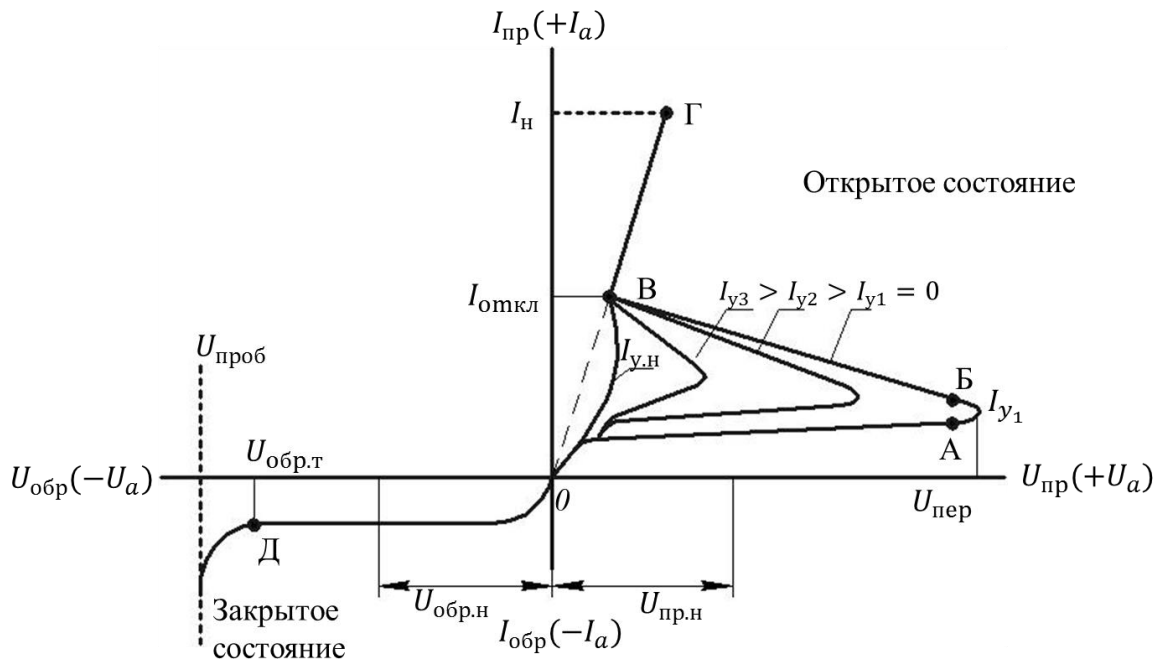


Рис. 3.22. Вольт-амперная характеристика тиристора: $U_{пр.н}$ — прямое номинальное напряжение; $U_{пер}$ — напряжение переключения при $I_{у.пр} = 0$; $U_{обр.н}$ — обратное номинальное напряжение; $U_{проб}$ — напряжение пробоя; $U_{обр.м}$ — обратное амплитудное напряжение; $I_{у.н}$ — номинальный ток управления; $I_{откл}$ — ток, при котором запирается тиристор; I_n — номинальный ток тиристора

Тиристор *открыт* при условии, $(+U_a$ и $I_y = I_{у.н})$. Ток управления подается в виде импульса. Чтобы *закреть тиристор* необходимо I_a уменьшить до тока, меньше $I_{откл}$, т.е. до нуля. При этом $I_y = 0$.

Тиристоры широко применяются в *преобразовательных схемах*, где требуется *регулировать ток*.

Схема управления триодными тиристорами

Отпирание триодных тиристоров осуществляется подачей на управляющий электрод сигнала управления (от источников постоянного, переменного, либо импульсного тока). **Импульсные системы** выполняются в виде **блоков фазового управления (БФУ)** (рис. 3.23, а), сдвигающие управляющий импульс на угол α (от 0 до 180°) по отношению к анодному напряжению. На рис. 3.23, б представлены временные диаграммы схемы управления (фактически это однофазный однополупериодный выпрямитель) при двух значениях угла управления α_1 и α_2 ($\alpha_2 > \alpha_1$).

Из диаграмм (рис. 3.23, б) следует, что при α_1 на тиристор подаются импульсы i_y , а при α_2 – импульсы i'_y . В цепи протекает импульсный ток i_a и i'_a , средние значения которых $I_{cp} > I'_{cp}$.

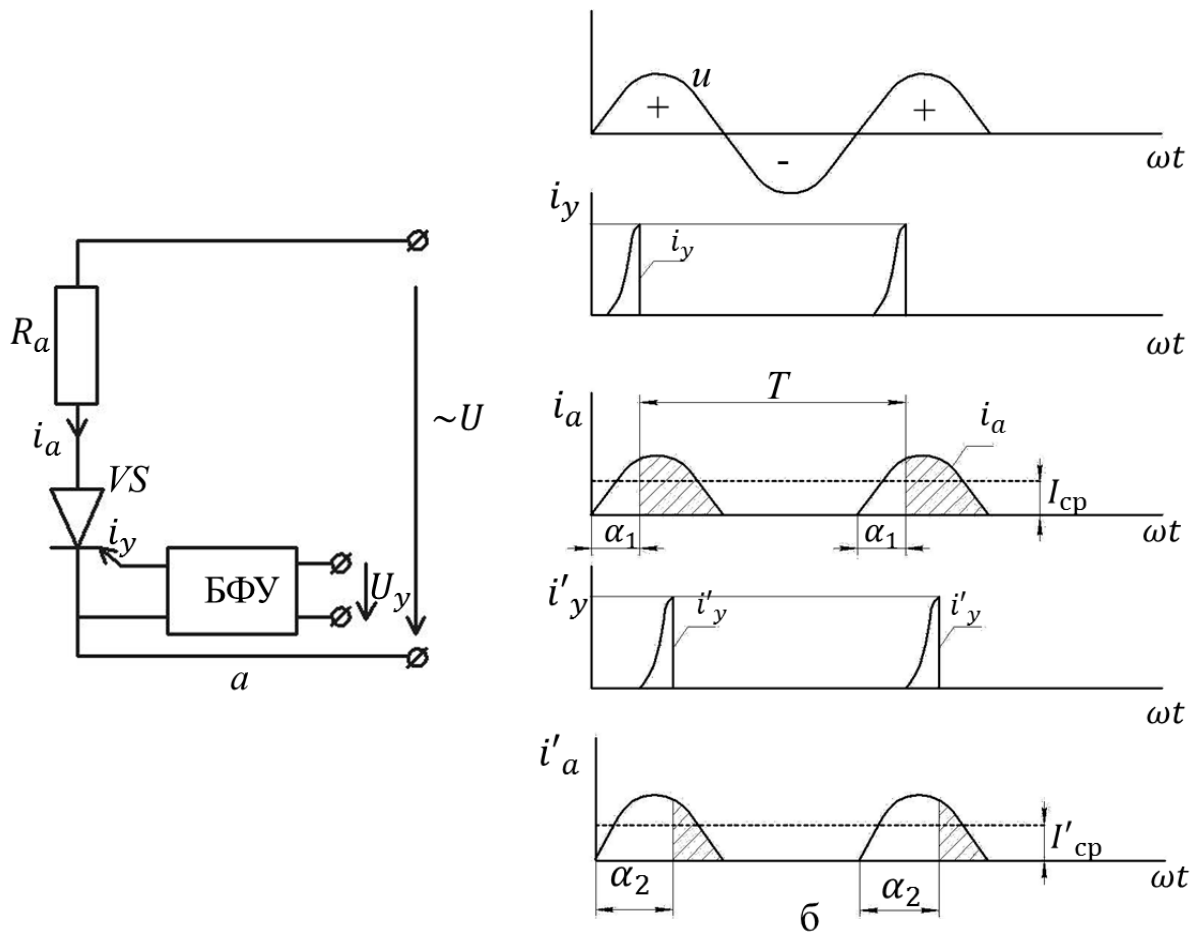


Рис. 3.23. Схема фазового управления тиристором: а – принципиальная схема; б – временные диаграммы схемы управления

В первом случае регулируется *амплитуда* (фазное регулирование) или частота (частотное регулирование) напряжения на обмотках статора и, как следствие, изменяется вращающийся **момент на валу** двигателя и частота его вращения:

$$M = \frac{2M_m}{\frac{s_K}{s} + \frac{s}{s_K}}; n_2 = \frac{60f(1-s)}{p}.$$

Во втором случае (цепь ротора) можно изменять активное сопротивление цепи ротора и регулировать его частоту вращения, изменением **критического скольжения**

$$s_k = (R'_2 + R'_1)/x'_2$$

Для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя **тиристоры** **включаются в цепь статора или ротора** (рис. 3.24, 3.25).

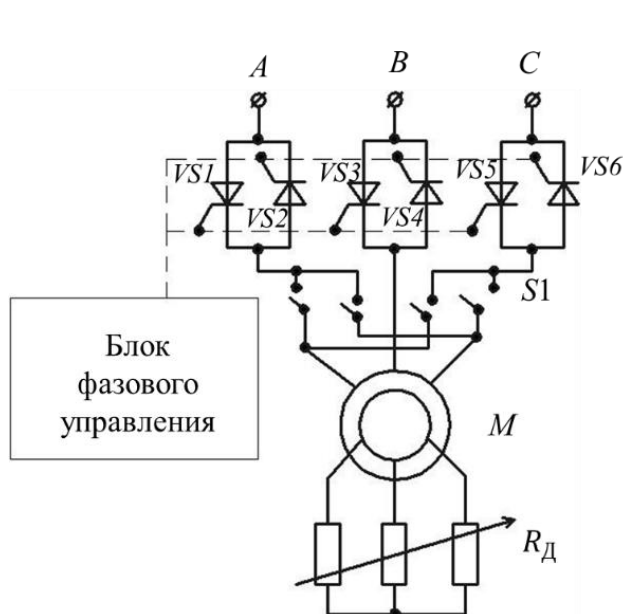


Рис. 3.24. Схема тиристорного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя (в цепи статора).

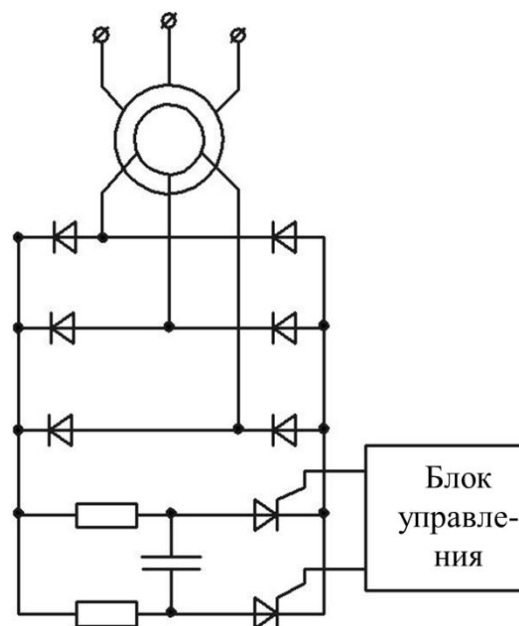


Рис. 3.25. Схема тиристорного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя (в цепи ротора).

На рис. 3.24 – схема регулятора в цепи статора с двумя встречно – параллельными тиристорами в каждой фазе: VS1 –VS2 и т.д. Устройство управления открывает тиристоры в порядке чередования фаз. **Отпирание тириستоров** осуществляется подачей импульсов с БФУ. **Выключение** – автоматически при изменении полярности напряжения фазы. **Реверс** – переключателем S₁. На рис. 3.25 – схема в цепи ротора. Включен неуправляемый выпрямитель на диодах VD1 –VD6, на выходе которых включены рабочий VS1 и вспомогательный VS2 тиристоры. От сигнала из блока управления на управляющий электрод (УЭ) зависит открытое и закрытое состояние тиристора VS1, а следовательно среднее значение тока ротора, момента на валу и скорости вращения АД.