

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ БАЗИС МАЛОСИГНАЛЬНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СОСТАВНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Каленкович Е.Н., Крючков М.И.

Малевич И. Ю. – д-р. техн. наук, проф.

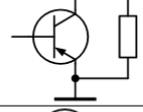
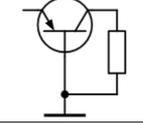
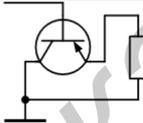
В условиях современного развития элементного базиса широкое распространение получили различные структуры приёмо-передающих трактов в интегральном исполнении. Такие структуры имеют параметры (коэффициент шума, динамический диапазон), удовлетворяющие потребности мобильных систем общего пользования. Однако, для систем, работающих на больших дальностях в сложной электромагнитной обстановке, такие структуры не способны обеспечить гарантированный приём сигналов.

Для средств связи специального назначения, работающих с широкополосными сигналами, находят применение структуры на дискретных элементах, обладающие более широким динамическим диапазоном (ДД) и полосой частот. Кроме этого, при использовании в качестве усилительных каскадов каскадов, выполненных на дискретных элементах, появляется возможность производить полную регулировку параметров активных элементов, тем самым обеспечивать заданные характеристики.

Обычно для входных усилительных каскадов используют транзисторные усилители, выполненных на основе малошумящих транзисторов, включенных по типовым схемам, т.е. ОЭ, ОК или ОБ.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ основных параметров типовых схем включения биполярных транзисторов.

Таблица 1

Схема усиления по переменному току	K_i	K	K_p	$R_{вх}$	$R_{вых}$
	β	$R_H/r_{э}$	$\beta R_H/r_{э}$	$\beta r_{э}$	$r_{к}$
	1	$R_H/r_{э}$	$R_H/r_{э}$	$r_{э}$	$\beta r_{к}$
	β	1	β	βR_H	$r_{э}$

Коэффициент усиления тока наибольший в схемах с ОЭ и ОК, коэффициент усиления напряжения – в схемах с ОЭ и ОБ, коэффициент усиления мощности – в схеме с ОЭ, входное сопротивление – в схеме с ОК; входное сопротивление наименьшее в схеме с ОБ; выходное сопротивление наибольшее в схеме с ОБ; выходное сопротивление наименьшее в схеме с ОК. Схема с ОБ менее всего подвержена самовозбуждению благодаря малому значению сопротивления $R_{вх}$, на котором именно и выделяется напряжение ОС.

Данные схемы включения имеют свои достоинства и недостатки, основными из которых могут быть, например, малое входное либо выходное сопротивление, низкая граничная частота усиления и др.

Для устранения подобного рода недостатков и ограничений, в качестве активного усилительного элемента используют комбинированное включение нескольких транзисторов в пределах одного каскада, которые представляют собой уже составной транзистор.

Как правило, основной смысл применения составных транзисторных структур – это увеличение верхней граничной частоты работы каскада усиления, увеличение динамического диапазона и повышение линейности передаточной характеристики, а как следствие из последнего – уменьшение интермодуляционных искажений сигнала.

Наиболее широкое распространение из схем на составных транзисторных структурах получили схема Дарлингтона, схема Шиклаи, схема с параллельным включением нескольких транзисторов и каскодные схемы.

Схема Дарлингтона представлена на рис. 1. Схема Шиклаи представлена на рис. 2. Данную схему также называют парадоксной парой.

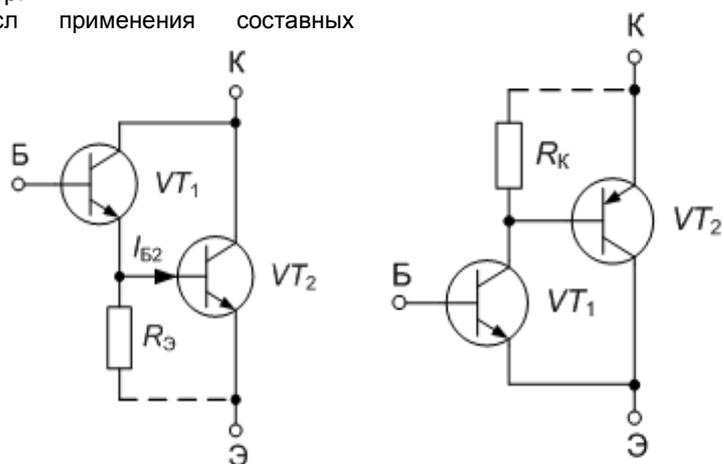


Рис.1 – Схема Дарлингтона

Рис.2 – Схема Шиклаи

Достоинством приведенных схем является высокое входное сопротивление и большой общий коэффициент усиления по току. Недостаток - увеличенная внутренняя ОС с коэффициентом $h_{12экв}$, которая может вызвать неустойчивость усиления.

На рисунке 3 представлена схема параллельного включения транзисторов в один составной усилительный элемент. Достоинством схемы с параллельным включением транзисторов является уменьшение коэффициента шума в сравнении с одиночным усилительным элементом.

Кроме указанных выше используются каскодные схемы включения. Каскодный составной транзистор представляет собой пару транзисторов, непосредственно соединенных между собой. Транзисторы в паре могут быть включены по схемам ОЭ, ОБ и ОК. Всего возможно девять каскодных комбинаций. Все возможные варианты соединения транзисторов приведены в таблице 2. Кроме этого в таблице указаны и основные параметры каждой из схем (коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности, входное и выходное сопротивления).

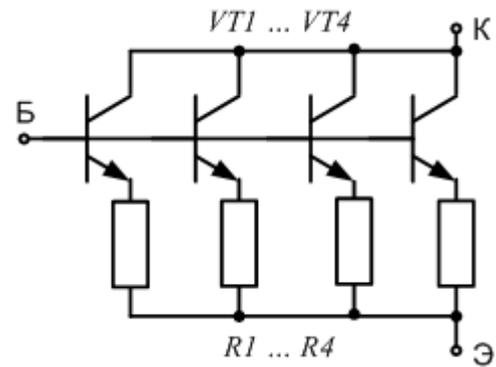


Рис.3 – Параллельная схема включения

Кроме указанных выше используются каскодные схемы включения. Каскодный составной транзистор представляет собой пару транзисторов, непосредственно соединенных между собой. Транзисторы в паре могут быть включены по схемам ОЭ, ОБ и ОК. Всего возможно девять каскодных комбинаций. Все возможные варианты соединения транзисторов приведены в таблице 2. Кроме этого в таблице указаны и основные параметры каждой из схем (коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности, входное и выходное сопротивления).

Если сравнить все приведенные схемы, то схема ОБ–ОБ не имеет преимуществ перед однокаскадной схемой с ОБ и поэтому её применение вообще нецелесообразно. Наилучшие усилительные свойства по напряжению имеют схемы ОЭ–ОЭ и ОЭ–ОК, первая – при повышенных сопротивлениях нагрузки, вторая – при уменьшенных. Наибольшее входное сопротивление обеспечивает схема ОК–ОК. Наибольшее выходное сопротивление при лучших, чем у схемы ОК–ОБ, усилительных свойствах имеет схема ОЭ–ОБ; кроме того, её реализация очень удобна благодаря последовательному питанию двух транзисторов от одного ИП.

Вывод: для построения транзисторных схем усиления в зависимости от параметров источника сигнала и нагрузки достаточно однокаскадные схемы с ОЭ, ОБ, ОК или каскодные ОЭ–ОЭ, ОЭ–ОК, ОК–ОК, ОЭ–ОБ.

Из приведенных схем наилучшие частотные свойства имеют схемы с ОБ, ОЭ–ОБ, ОБ–ОБ, ОК–ОБ; средние значения предельных частот – схемы с ОЭ, ОК, ОЭ–ОЭ, ОБ–ОК, ОК–ОЭ; наихудшие частотные свойства – схемы с ОЭ–ОК и ОК–ОК. С учётом предварительно определённых коэффициентов передачи тока, напряжения и входного и выходного сопротивлений приходим к выводу, что практического внимания заслуживают только однокаскадные схемы с ОЭ, ОБ, ОК и каскодные схемы ОЭ–ОЭ, ОЭ–ОБ, ОК–ОК, последняя – только благодаря уникально большому входному сопротивлению на НЧ.

Список использованных источников:

1. Мазор Ю.Л., Мачуский Е.А. Радиотехника. Энциклопедия.: М. : Издательский дом «ДОДЭКА», 2002. – 944 с.

Таблица 2

Схема усиления по переменному току	K_i	K	K_P	$R_{вх}$	$R_{вых}$
	β^2	$\beta R_H / r_Э$	$\beta^3 R_H / r_Э$	$\beta r_Э$	$r_К$
	β	$R_H / r_Э$	$\beta R_H / r_Э$	$\beta r_Э$	$\beta r_К$
	β^2	$\beta R_H / r_Э$	$\beta^3 R_H / r_Э$	$\beta r_Э$	$r_Э$
	β	$\beta R_H / r_Э$	$\beta^2 R_H / r_Э$	$r_Э$	$r_К$
	1	$R_H / r_Э$	$R_H / r_Э$	$r_Э$	$\beta r_К$
	β	$\beta R_H / r_Э$	$\beta^2 R_H / r_Э$	$r_Э$	$r_Э$
	β^2	$R_H / r_Э$	$\beta^2 R_H / r_Э$	$\beta^2 r_Э$	$r_К$
	β	$R_H / (2r_Э)$	$\beta R_H / (2r_Э)$	$2\beta r_Э$	$\beta r_К$
	β^2	1	β^2	$\beta^2 R_H$	$r_Э$