

ВВЕДЕНИЕ

Автогенераторы и усилители мощности вместе с модуляторами являются основными узлами радиопередающих устройств для систем радиосвязи. В большинстве случаев в радиопередающие устройства включают фильтры гармоник, согласующие устройства, при этом осуществляется амплитудная, импульсная, и другие виды модуляции сигналов. Частотная модуляция выполняется, как правило, в автогенераторах, являющихся неотъемлемой частью возбuditеля. Все эти узлы зачастую объединяют под общим названием «радиопередающие устройства для систем радиосвязи». Особенностью данного учебного пособия является то, что оно направлено на изучение этих устройств, которые входят в состав в радиопередающих устройствах подвижной связи. В отличие от стационарной аппаратуры, здесь предъявляются более высокие требования к основным техническим характеристикам радиопередающего устройства, которые также сочетаются с высокими требованиями по массе, габаритам, энергопотреблению, механическим и климатическим воздействиям, а также повышенными требованиями к стабильности выходной мощности при изменении параметров антенно-фидерного тракта и к параметрам электромагнитной совместимости, в частности, уровню побочных, внеполосных и шумовых излучений и т. д. В этом и заключается сложность построения радиопередающих устройств для систем подвижной радиосвязи, поскольку их основные электрические характеристики должны быть не хуже, чем у стационарной аппаратуры, а по характеристикам, связанным с условиями эксплуатации, они должны намного выше.

Особое внимание уделено вопросам проектированию импульсных передатчиков, как правило, импульсный режим работы широко распространен в радиопередающих устройствах авиационных средств. Наиболее характерными представителями таких устройств являются импульсные радиолокационные передатчики.

Поэтому в настоящем учебном пособии наряду с общими вопросами проектирования и разработки автогенераторов и усилителей мощности рассматриваются пути совершенствования этих устройств, направленные на их использование в составе передатчиков подвижной связи

Рассмотрение данных вопросов в учебном пособии проводится путем анализа работы радиотехнических устройств с получением необходимых соотношений и изложением методики, порядка и примеров

их расчета, а в большинстве случаев с описанием практической реализации самих устройств и их вспомогательных цепей. Приводимые расчетные соотношения универсальны: они пригодны для расчета усилителей мощности и автогенераторов на различных электронных приборах. При этом расчет автогенераторов проводится фактически по той же методике, что и усилителей, поэтому порядок расчета и расчетные соотношения для усилителей и автогенераторов имеют много общего и в большинстве случаев совпадают.

Настоящее учебное пособие предназначено для бакалавров и магистрантов, обучающихся по направлениям 11.03.03 (11.04.03) «Конструирование и технология электронных средств», 11.03.02 (11.04.02) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 11.03.01 (11.04.01) «Радиотехника», и может быть полезно при изучении дисциплин: «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства в системах радиосвязи и радиодоступа», «Радиопередающие устройства систем радиосвязи и радиодоступа», «Космические и наземные системы радиосвязи», «Электромагнитная совместимость и управление радиочастотным спектром», «Основы управления техническими системами», «Автоматические устройства согласования антенн», «Системы и сети связи с подвижными объектами», «Устройства формирования, приема и обработки сигналов в телекоммуникационных системах», однако оно может быть использовано для углубленного изучения изложенных вопросов и студентами других специальностей. В то же время это пособие может оказаться полезным для инженерно-технических работников и ученых, работающих над созданием перспективной аппаратуры связи нового поколения.

Основой излагаемого материала послужил курс лекций, читаемых на протяжении нескольких лет в Тамбовском государственном техническом университете и Военном учебно-научном центре Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). В то же время нельзя утверждать, что настоящее пособие получилось совершенным, чтобы все изложенные вопросы воспринимались без пояснений. Поэтому все замечания и предложения по его совершенствованию будут приняты с огромной благодарностью.

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. Полупроводниковые приборы в мощных каскадах передатчиков

В мощных каскадах передатчиков применяют следующие полупроводниковые приборы: тиристоры, биполярные и полевые транзисторы, варакторы, варикапы, туннельные диоды, лавинно-пролетные диоды и диоды Ганна. Тиристоры используют как генераторные приборы на частотах приблизительно до 100 кГц. Биполярные транзисторы применяются на частотах до 5...6 ГГц. По мощным параметрам на частотах примерно до 1 ГГц им несколько уступают полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы), а на частотах выше 5...6 ГГц их превосходят полевые транзисторы с барьером Шотки, верхняя рабочая частота которых составляет около 18 ГГц. Диоды Ганна и лавинно-пролетные диоды используются на частотах от 10...20 ГГц до предельно возможных 200...250 ГГц. Диоды Ганна обеспечивают в 10 раз меньше мощности, чем лавинно-пролетные диоды, но зато обладают значительно меньшим уровнем шума. В отдельных случаях передатчики на частотах выше 4...10 ГГц строят на транзисторах с включением на их выводе одного или нескольких умножителей частоты на варакторах. Варикапы широко используются для перестройки мощных автогенераторов. На туннельных диодах строят усилители и автогенераторы на очень низкие мощности при работе от низковольтных источников питания (приблизительно 1 В). Одним из преимуществ туннельных диодов является более высокая радиационная стойкость по сравнению с другими полупроводниковыми приборами.

1.2. Параметры мощных биполярных транзисторов

Основным мощным генераторным прибором в диапазонах ВЧ (3...30 МГц) и ОВЧ (30...300 МГц) является биполярный транзистор. Верхняя рабочая частота f_v в биполярных транзисторах, как правило, ограничивается его усилительными возможностями, нижняя f_n — опасностью перегрева его структуры за время протекания импульса коллекторного тока и развитием вторичного пробоя.

У многих типов биполярных транзисторов, работающих в диапазоне ОВЧ (2Т930А, 2Т930Б, 2Т970А), внутри корпуса устанавливаются дополнительные LC-элементы в цепи базы в виде ФНЧ, повышающие

резистивную составляющую его входного сопротивления до 0,5...1 Ом. Одновременно они компенсируют его реактивную составляющую до 1...2 Ом (обычно индуктивного характера) в рабочей полосе частот. Использование транзисторов со встроенными внутри корпуса цепями связи на других, отличных от указанных в паспортных данных, частотах, как правило, исключается. Выпускают так называемые балансные транзисторы (сборки транзисторов КТ9105АС, 2Т9128АС, КТ985АС), когда в одном корпусе устанавливают два идентичных транзистора одного типа проводимости, предназначенных для работы в двухтактных схемах. Основное преимущество двухтактных генераторов на балансных транзисторах заключается в том, что в них заметно уменьшено влияние индуктивностей общих выводов благодаря тому, что значительная их часть оказывается общей на два транзистора. В указанных сборках транзисторов внутри корпуса установлены дополнительные LC -элементы в цепи баз.

Биполярные транзисторы, разрабатываемые на уровне мощности до 250...400 Вт, по своей конструкции значительно отличаются от транзисторов других назначений.

Во-первых, для обеспечения возможности работы на высоких частотах при больших плотностях тока их выполняют по многоячеечной структуре. Это обусловлено тем, что при прохождении тока через переход из-за взаимного отталкивания носителей имеет место вытеснение тока к краям эмиттера. Поэтому для увеличения периметра эмиттерного электрода мощные генераторные транзисторы строят в виде параллельного соединения большого числа элементарных транзисторов – до нескольких сотен и даже тысяч, у которых коллекторы и базы соединяют непосредственно, а последовательно с эмиттерами часто включают токостабилизирующие резисторы r , для создания отрицательной обратной связи по постоянному току и по высокой частоте (либо только по постоянному току) с целью выравнивания токов элементарных транзисторов.

Во-вторых, при низких нагрузочных и входных сопротивлениях сильно сказываются индуктивности выводов транзисторов. Для их снижения у транзисторов, предназначенных для работы на частотах выше 1 МГц, выводы делают в виде полосок (плоские выводы).

В-третьих, в мощных транзисторах стремятся снизить тепловое сопротивление переход-корпус $R_{пк}$ транзистора до единиц и меньше градусов Цельсия на ватт. При этом сам кристалл транзистора помещают (приклеивают) к корпусу прибора через прокладку из бериллиевой керамики, обладающую малым тепловым сопротивлением и одновременно хорошими изоляционными свойствами по постоянному току и на радиочастотах. В то же время корпус транзистора обычно имеет

сравнительно малые размеры. Поэтому создается очень большое тепловое сопротивление корпус-среда $R_{\text{к.с.}}$. Для его снижения транзисторы всегда необходимо устанавливать на специальные теплоотводящие радиаторы, а иногда применять еще и принудительное охлаждение радиатора. Для уменьшения теплового сопротивления, возникающего между корпусом транзистора и радиатором, транзистор конструктивно выполняют в виде болта, фланца и т. д., чтобы его можно было плотно, без зазора, крепить к радиатору.

На рисунке 1.1 представлена эквивалентная схема транзистора для двух состояний – управления (активного состояния) и отсечки. В состоянии управления эмиттерный переход открыт. При этом дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода, определяемое сопротивлением рекомбинации $r_{\text{рек}}$ и диффузионной емкостью $C_{\text{д}}$, относительно мало (близко к короткому замыканию, $r_{\text{рек}} \rightarrow 0$, $C_{\text{д}} \rightarrow \infty$).

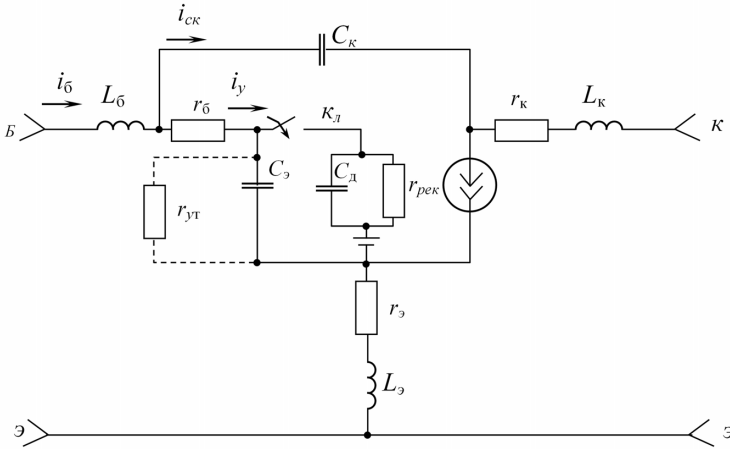


Рис. 1.1. Эквивалентная схема транзистора

В состоянии отсечки эмиттерный переход закрыт ($r_{\text{рек}} \rightarrow \infty$, $C_{\text{д}} \rightarrow 0$). Состояния открытого и закрытого эмиттерного перехода отображены введением ключа $K_{\text{д}}$ и напряжением E' , называемым напряжением отсечки. Для германиевых приборов $E' = 0,3$ В, для кремниевых $E' = 0,7$ В. Ключ $K_{\text{д}}$ замыкается при напряжении на эмиттерном переходе $e_{\text{э}} = E'$, и тогда ток коллектора $i_{\text{к}} > 0$; ключ $K_{\text{д}}$ размыкается при $e_{\text{э}} < E'$, и в этом случае $i_{\text{к}} = 0$.

В таблицах 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 приведены параметры мощных биполярных транзисторов. Первая буква или цифра («К» или «2») в наименовании транзистора обозначает материал – кремний, из которого он сделан. Все транзисторы имеют $n-p-n$ проводимость.

Таблица 1.1

Идеализированные статистические характеристики транзисторов

| Тип транзистора | Параметры идеализированных статистических характеристик | | | | |
|-----------------|---|-------------|-------------|----------------|-----------|
| | $S_{кр}$ А/В | r_b Ом | r_y Ом | r_{yt} Ом | β_0 |
| 2Т965Б | 2 | 0,2 | 0,01 | >400 | 10...60 |
| 2Т955А | 1...1,2 | 2,0 | 0,01 | >100 | 10...80 |
| 2Т950Б | 5...10 | 0,1 | 0,15 | >40 | 10...100 |
| 2Т912А | 20 | 0,5 | 0,01 | >20 | 10...50 |
| 2Т927А | 20 | 0,5 | 0,01 | >100 | 15...30 |
| 2Т956А | 2,5...3,3 | 1,2 | 0,01 | >120 | 10...80 |
| 2Т957А | 10,0 | 1,0 | 0,01 | >120 | 10...80 |
| 2Т980А | 8,0 | 0,5 | 0,1 | >8 | 15...60 |
| 2Т9131А | 10,0 | 0,2 | 0,05 | >8 | 10...60 |
| 2Т951В | 2,5 | 1,0 | 0,01 | >400 | 30...200 |
| 2Т951А | 1,8 | 1,0 | 0,2 | >100 | 15...100 |
| 2Т950А | 5...10 | 0,5 | 0,01 | >40 | 15...100 |
| 2Т964А | 1,6...2,0 | 0,2 | 0,15 | >8 | 10...50 |
| 2Т980Б | 1,6...2,0 | 0,2 | 0,01 | >8 | 10...60 |
| 2Т922А | 0,3 | 2,0 | 0,01 | >800 | 10...150 |
| 2Т922Б | 0,7 | 1,0 | 0,01 | >400 | 10...150 |
| 2Т922В | 1,2 | 0,5 | 0,01 | >1600 | 10...150 |
| 2Т971А | 7,0 | 0,2 | 0,01 | >120 | 10...150 |
| 2Т128АС | 10 | 0,2 | 0,01 | >50 | 10...100 |
| 2Т934А | 4,0 | 2,0 | 0,01 | >800 | 5...150 |
| 2Т934Б | 1,0 | 1,6 | 0,01 | >500 | 5...150 |
| 2Т934В | 2,0 | 1,2 | 0,01 | >500 | 5...150 |
| 2Т930А | 2,0 | 1,0 | 0,01 | >400 | 5...100 |
| 2Т930Б | 4,0 | 0,5 | 0,05 | >200 | 5...100 |
| 2Т970А | 5,0 | 0,2 | 0,01 | >120 | 10...100 |
| 2Т985АС | 6,0 | 0,2 | 0,01 | >120 | 10...100 |
| 2Т614А | 1,2 | 0,2 | 0,01 | >1000 | 15...250 |
| 2Т909А | 3,0 | 0,5 | 0,15 | >1000 | 20...50 |
| 2Т909Б | 6,0 | 0,25 | 0,1 | >500 | 20...50 |
| 2Т125А | 6,0 | 0,2 | 0,1 | >500 | 10...110 |
| 2Т9105АС | 7,0 | 0,2 | 0,01 | >67 | 10...160 |
| 2Т9136АС | 10,0 | 0,2 | 0,01 | >67 | 10...160 |

Таблица 1.2

Высокочастотные параметры транзисторов

| Тип транзистора | Высокочастотные параметры | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------------|------------|---------|---------|---------|
| | $S_{гвч}$ | $f_{г}$ | $C_{к}$ (при $E_{к}, В$) | $C_{г}$ (при $E_{см}, В$) | $\tau_{к}$ | $L_{г}$ | $L_{б}$ | $L_{к}$ |
| | А/В | МГц | пФ | пФ | пС | нГн | нГн | нГн |
| 2Т965Б | 1,2 | 100...300 | 50...100 (12,6) | 100...350 (4) | 5 | 2,0 | 2,4 | 2,4 |
| 2Т955А | 0,42 | 100...300 | 50...75 (28) | 160...320 (4) | 4 | 2,0 | 2,4 | 2,6 |
| 2Т950Б | 1,25 | 90...360 | 130...220 (28) | <1100 (4) | 4 | 2,1 | 2,3 | 4,0 |
| 2Т912А | 1,67...2 | 90...165 | 200 (28) | 1200 (4) | 4 | 5,0 | 5,0 | 2,4 |
| 2Т927А | 1,67...2,0 | 100...180 | 120...190 (28) | 1700...2850 (4) | 5 | 2,0 | 2,2 | 2,2 |
| 2Т956А | 2,0 | 100...200 | 340...400 (28) | 800...1600 (4) | 5 | 2,8 | 2,8 | 2,6 |
| 2Т957А | 2,5...3,3 | 100...160 | 450...600 (28) | 1000...2250 (4) | 5 | 1,4 | 2,2 | 2,0 |
| 2Т980А | 1,8...2,2 | 150...160 | 300...450 (50) | 13000...15000 (0) | 5 | 1,6 | 1,9 | 2,8 |
| 2Т9131А | 2,0...2,5 | 120...140 | 800 (50) | 10000 (1) | 8 | 1,5 | 2,4 | 2,6 |
| 2Т951Б | 1,0 | 150...540 | 9...12 (28) | 70...90 (0) | 7 | 4,2 | 3,5 | 3,2 |
| 2Т951А | 0,7 | 150...420 | 60...70 (28) | 600 | 10 | 3,8 | 3,2 | 3,2 |
| 2Т950А | 2,5 | 150...360 | 130...165 (28) | 1000...1200 (0) | 6 | 2,1 | 2,3 | 4,0 |
| 2Т964А | 1,2 | 150...300 | 220...290 (40) | 4000 (0) | 5 | 2,8 | 1,9 | 1,6 |
| 2Т980Б | 0,8 | 150...270 | 350...450 (50) | 13000...15000 (0) | 6 | 1,6 | 1,9 | 2,8 |
| 2Т922А | 0,125 | 300...350 | 5...15 (28) | 45...100 (0) | 5 | 1,7 | 2,9 | 2,4 |
| 2Т922Б | 0,5 | 300...350 | 15...35 (28) | 160...350 (0) | 6 | 1,1 | 2,5 | 2,5 |
| 2Т922В | 1 | >300 | 40...65 (28) | 350...700 (0) | 6 | 0,9 | 2,4 | 2,4 |

Продолжение табл. 1.2

| Тип транзистора | Высокочастотные параметры | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|-------|-------|-------|
| | $S_{гвч}$ | f_t | C_k (при $E_{кз}$, В) | C_3 (при $E_{сз}$, В) | τ_k | L_3 | L_6 | L_k |
| | А/В | МГц | пФ | пФ | пС | нГн | нГн | нГн |
| 2Т971А | 3 | 220...570 | 200...330 (28) | 700...1500 (0) | 15 | 0,18 | 0,56 | 0,1 |
| 2Т128АС | 4 | >200 | <215 (28) | 1400 (0) | 30 | 0,15 | 0,8 | 1,2 |
| 2Т934А | 0,17 | 500...1400 | 5...9 (28) | 15...60 (0) | 5 | 1,3 | 3,1 | 2,5 |
| 2Т934Б | 0,3 | 500...1400 | 7...16 (28) | 70...160 (0) | 5 | 1,2 | 3,1 | 2,5 |
| 2Т934В | 0,65 | 500...1400 | 16...32 (28) | 120...300 (0) | 5 | 1,0 | 2,8 | 2,5 |
| 2Т930А | 1,0 | 450...1350 | 52...80 (28) | 750...930 (0) | 8 | 0,35 | 1,57 | 1,6 |
| 2Т930Б | 2,0 | 600...1200 | 120...170 (28) | 1800...2100 (0) | 10 | 0,24 | 1,42 | 1,6 |
| 2Т970А | 3,0 | 600...1800 | 90...150 (28) | 2100...2500 (0) | 10 | 0,2 | 0,6 | 0,87 |
| 2Т985АС | 3,0 | 1200...1600 | 200 (28) | 2500 (0) | 14 | 0,17 | 0,5 | 1,0 |
| 2Т614А | 0,7 | 1000...1400 | 15...30 (9) | 170...350 (0) | 15 | 0,45 | 2,5 | 2,0 |
| 2Т909А | 0,5 | 350...650 | 15...30 (28) | 170...350 (0) | 15 | 0,45 | 2,5 | 2,0 |
| 2Т909Б | 1,0 | 500...650 | 30...60 (28) | 350...700 (0) | 15 | 0,45 | 2,5 | 2,0 |
| 2Т125А | 0,5 | 650...700 | 42 (28) | 350 (0) | 15 | 0,15 | 0,8 | 1,0 |
| 2Т9105АС | 1,0 | 660...700 | 145 (28) | 700 (0) | 12 | 0,17 | 0,5 | 1,0 |
| 2Т9136АС | 3,0 | 660...750 | 220 (45) | 1300 (0) | 12 | 0,15 | 0,3 | 1,0 |

Таблица 1.3

Предельно допустимые значения параметров транзисторов

| Тип транзистора | Предельно допустимые значения | | | | | Тепловые параметры | |
|-----------------|--|--------------|-----------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|----------|
| | $e_{кз доп}$ при $R_{зб} \leq 10 \text{ Ом}$ | $e_{бз доп}$ | $I_{кз доп}$ ($I_{к макс доп}$) | $I_{бз доп}$ | Диапазон рабочих частот | $t_{пер доп}$ | $R_{пк}$ |
| | В | В | А | А | МГц | °С | °С/Вт |
| 2Т965Б | 36 | 4 | 4 (10) | 1 | 1,5...30 | 200 | 13,5 |
| 2Т955А | 70 | 4 | 6 (15) | 2 | 1,5...30 | 200 | 6,07 |
| 2Т950Б | 65 | 4 | 7 (15) | 2 | 1,5...30 | 200 | 1,75 |
| 2Т912А | 70 | 5 | 20 (50) | 10 | 1,5...30 | 150 | 1,42 |
| 2Т927А | 70 | 3,5 | 10 (30) | 4 | 1,5...30 | 200 | 1,5 |

Продолжение табл. 1.3

| Тип транзистора | Предельно допустимые значения | | | | | Тепловые параметры | |
|-----------------|---|---------------------|---|---------------------|-------------------------|----------------------|----------|
| | $e_{кз\text{ доп}}$ при $R_{жб} \leq 10 \text{ Ом}$ | $e_{бз\text{ доп}}$ | $I_{кз\text{ доп}}$ ($I_{к\text{ макс доп}}$) | $I_{бз\text{ доп}}$ | Диапазон рабочих частот | $t_{пер\text{ доп}}$ | $R_{пк}$ |
| | В | В | А | А | МГц | °С | °С/Вт |
| 2Т956А | 100 | 4 | 15 (45) | 5 | 1,5...30 | 200 | 1,68 |
| 2Т957А | 60 | 4 | 20 (50) | 7 | 1,5...30 | 200 | 1,42 |
| 2Т980А | 100 | 4 | 15 (30) | 5 | 1,5...30 | 200 | 0,57 |
| 2Т9131А | 100 | 4 | 23 (40) | 7 | 1,5...30 | 200 | 0,425 |
| 2Т951В | 65 | 4 | 0,5 (2) | 0,15 | 30...80 | 200 | 12,1 |
| 2Т951А | 60 | 4 | 5 (15) | 2 | 30...80 | 200 | 2,83 |
| 2Т950А | 60 | 4 | 10 (25) | 7 | 30...80 | 200 | 1,25 |
| 2Т964А | 90 | 4 | 10 (20) | 7 | 30...80 | 200 | 0,75 |
| 2Т980Б | 100 | 4 | 15 (45) | 5 | 30...80 | 200 | 0,57 |
| 2Т922А | 65 | 4 | 0,8 (1,5) | 0,3 | 50...200 | 160 | 15 |
| 2Т922Б | 65 | 4 | 1,5 (4,5) | 0,5 | 50...200 | 160 | 6 |
| 2Т922В | 65 | 4 | 3 (9) | 1 | 50...200 | 160 | 3 |
| 2Т971А | 60 | 4 | 17 (45) | 6 | 50...200 | 160 | 0,6 |
| 2Т128АС | 50 | 4 | 18 (45) | 6 | 100...200 | 160 | 0,61 |
| 2Т934А | 60 | 4 | 0,5 (1,5) | 0,15 | 100...400 | 160 | 17,5 |
| 2Т934Б | 60 | 4 | 1 (3) | 0,32 | 100...400 | 160 | 8,8 |
| 2Т934В | 60 | 4 | 2 (6) | 0,68 | 100...400 | 160 | 4,4 |
| 2Т930А | 50 | 4 | 6 (18) | 2 | 100...400 | 160 | 1,6 |
| 2Т930Б | 50 | 4 | 10 (30) | 3 | 100...400 | 160 | 1,0 |
| 2Т970А | 50 | 4 | 13 (39) | 4 | 100...400 | 160 | 0,7 |
| 2Т985АС | 50 | 4 | 17 (51) | 6 | 220...400 | 160 | 0,65 |
| 2Т614А | 50 | 0,5 | 0,2 (0,6) | 0,07 | 100...500 | 90 | 10 |
| 2Т909А | 60 | 3,5 | 2 (6) | 0,7 | 100...500 | 160 | 5,0 |
| 2Т909Б | 60 | 3,5 | 4 (12) | 1,3 | 100...500 | 160 | 2,5 |
| 2Т125А | 55 | 4 | 4 (12) | 1,4 | 100...500 | 160 | 2,0 |
| 2Т9105АС | 50 | 4 | 16 (42) | 5 | 100...500 | 160 | 1,3 |
| 2Т9136АС | 50 | 4 | 16 (40) | 5 | 100...500 | 200 | 0,7 |

Таблица 1.4

Экспериментальные данные параметров транзисторов

| Тип транзистора | Экспериментальные данные | | | | | Режим работы |
|-----------------|--------------------------|------|-------------|---------|--------|--------------|
| | f' | P' | K'_n | η' | E'_k | |
| | МГц | Вт | | | В | |
| 2Т965Б | 30 | 10 | 30...450 | 35...70 | 12,6 | Класс А, В |
| 2Т955А | 30 | 20 | >20 | >25 | 28 | Класс А, В |
| 2Т950Б | 30 | 50 | 10...25 | >40 | 28 | Класс А, В |
| 2Т912А | 30 | 70 | 10...13 | 50...80 | 28 | Класс А, В |
| 2Т927А | 30 | 75 | 13,4...14,5 | 40...50 | 28 | Класс А, В |
| 2Т956А | 30 | 100 | 20...30 | >45 | 28 | Класс А, В |
| 2Т957А | 30 | 125 | >17 | >50 | 28 | Класс А, В |
| 2Т980А | 30 | 250 | 16...35 | 35...60 | 50 | Класс А, В |
| 2Т9131А | 30 | 400 | >10 | 40...60 | 50 | Класс А, В |
| 2Т951В | 80 | 3 | 15...40 | 50...80 | 28 | Класс А, В |
| 2Т951А | 80 | 25 | 8...25 | 60...80 | 28 | Класс А, В |
| 2Т950А | 80 | 70 | 7...11 | 65...83 | 28 | Класс А, В |
| 2Т964А | 80 | 150 | 5...8 | 40...60 | 40 | Класс А, В |
| 2Т980Б | 80 | 250 | 25...35 | 30...60 | 50 | Класс А, В |
| 2Т922А | 175 | 5 | 10...30 | >55 | 28 | Класс А, В |
| 2Т922Б | 175 | 20 | 5,5...15 | >55 | 28 | Класс А, В |
| 2Т922В | 175 | 40 | 4...9 | >55 | 28 | Класс А, В |
| 2Т971А | 175 | 150 | 3...9 | 55...84 | 28 | Класс А, В |
| 2Т128АС | 175 | 200 | 5...8 | >60 | 28 | Класс А, В |
| 2Т934А | 400 | 3 | 6...15 | >50 | 28 | Класс А, В |
| 2Т934Б | 400 | 12 | 4...7 | >50 | 28 | Класс А, В |
| 2Т934В | 400 | 25 | 3...6 | >50 | 28 | Класс А, В |
| 2Т930А | 400 | 40 | 6...10 | 50...76 | 28 | Класс А, В |
| 2Т930Б | 400 | 75 | 4...10 | 55...65 | 28 | Класс А, В |
| 2Т970А | 400 | 100 | 4...13 | 50...65 | 28 | Класс А, В |
| 2Т985АС | 400 | 125 | 4...6 | 60...65 | 28 | Класс А, В |
| 2Т614А | 500 | 0,5 | 3...5 | 45...55 | 9 | Класс А, В |
| 2Т909А | 500 | 20 | 1,7...3 | 45...55 | 28 | Класс А, В |
| 2Т909Б | 500 | 35 | 1,75...3 | 45...55 | 28 | Класс А, В |
| 2Т125А | 500 | 50 | 4...6 | 50...65 | 28 | Класс А, В |

Продолжение табл. 1.4

| Тип транзистора | Экспериментальные данные | | | | | Режим работы |
|-----------------|--------------------------|------|--------|---------|--------|--------------|
| | f' | P' | K'_p | η' | E'_k | |
| | МГц | Вт | | | В | |
| 2Т9105АС | 500 | 100 | 3...5 | 50...65 | 28 | Класс А, В |
| 2Т9136АС | 500 | 500 | 7...9 | 40...50 | 45 | Класс А, В |

В таблице 1.1 приведены параметры идеализированных статистических характеристик транзисторов: коэффициент усиления по току β_0 в схеме с общим эмиттером на низкой частоте ($f \rightarrow 0$), сопротивление материала базы r_b , стабилизирующее сопротивление в цепи эмиттера r_v , сопротивление утечки r_{yt} эмиттерного перехода. Если значения сопротивлений не даются, то надо принять $r_3 = 0$, $r_{yt} = \infty$, а сопротивление r_b можно определить по известным τ_k и C_k в соответствии с отношением

$$P_{вх} = 0,5 \cdot 7,5^2 \cdot 0,89 = 24,8 \text{ Вт}, \quad (1.1)$$

где τ_k – постоянная времени коллекторного перехода; C_k – барьерная емкость коллекторного перехода.

Крутизна линии критического режима $S_{кр}$ определяется статическими вольт-амперными характеристиками и зависит от величин r_3 и r_k , сумма которых равна сопротивлению насыщения $r_{нас}$:

$$S_{кр} = \frac{I}{r_{нас}} = \frac{I}{r_3 + r_k}. \quad (1.2)$$

В таблице 1.2 приведены высокочастотные параметры транзисторов: крутизна линии граничного режима на высоких частотах $S_{гр\text{ вч}}$. Значение $S_{гр\text{ вч}}$ меньше соответствующего значения $S_{кр}$ из-за увеличения остаточного напряжения на коллекторе с ростом частоты. Граничная частота усиления по току в схеме с ОЭ f_t и барьерные емкости коллекторного и эмиттерного переходов C_k , C_3 при соответствующих напряжениях на переходах E_k и $E_{см}$. Постоянная времени коллекторного перехода τ_k . Индуктивности выводов L_3 , L_b и L_k .

В таблице 1.3 в графах «Предельно допустимые значения» приведены: предельное напряжение на коллекторе $e_{кз\text{ доп}}$ при включении транзистора с ОЭ; обратное напряжение на эмиттерном переходе $e_{бз\text{ доп}}$; постоянные составляющие $I_{ко\text{ доп}}$, $I_{бо\text{ доп}}$ и максимальные значения $I_{к\text{ макс доп}}$, $I_{б\text{ макс доп}}$ токов коллектора и базы. Там же даны частотные ограничения на использование указанных транзисторов. В настоящее время выпускаются транзисторы для работы в определенном диапазоне частот, например, в диапазоне 1,5...30 МГц, 30...80 МГц, 100...200 МГц, 200...400 МГц.

В графах «Тепловые параметры» приведены максимально допустимая температура переходов транзистора $t_{\text{пер доп}}$ и тепловое сопротивление переход-корпус $R_{\text{пк}}$.

В таблице 1.4 приведены экспериментальные данные параметров генератора для условий, близких к предельно допустимым и ограничивающих мощность транзистора так, чтобы можно было гарантировать достаточную надежность его работы. К таким параметрам относятся: частота f' , выходная мощность P' , коэффициент усиления по мощности K'_p и коэффициент полезного действия (η') при напряжении коллекторного питания E'_k и схемы включения транзистора с ОЭ, а также режим работы транзистора.

Обычно режим работы транзистора выбирается близким к граничному на высоких частотах с углом отсечки коллекторного тока $\theta = 90^\circ$ (режим колебаний с постоянной амплитудой класса В). Для некоторых транзисторов приводятся данные при работе в ключевом режиме или в режиме линейного условия. В последнем случае энергетические характеристики приводятся при условии двухтонного (с переменной амплитудой) испытательного сигнала, используемого при настройке ВЧ трактов однополосных передатчиков. При этом указывается максимальный уровень комбинационных составляющих в децибелах. Для некоторых транзисторов одновременно приводятся энергетические характеристики при усилении колебаний как с постоянной, так и с переменной амплитудой. Во втором случае мощность и КПД снижаются в 1,2...1,5 раза.

Для балансных транзисторов значение мощности P' , тепловое сопротивление $R_{\text{пк}}$, значения $S_{\text{кр}}$ и $S_{\text{гр вч}}$, предельно допустимые токи даются в расчете на две структуры, а емкости коллекторного и эмиттерного переходов, индуктивности выводов – в расчете на одну структуру.

Важно отметить, что приводимые значения мощности и КПД на тот или иной транзистор даются при условии работы на согласованную нагрузку. Практически с учетом возможностей работы в каскадах передатчиков на рассогласованную нагрузку, а также в целях повышения надежности снижают мощность транзистора 1,5...2 раза. Часто при этом одновременно понижают напряжение коллекторного питания.

Как правило, экспериментальные характеристики даются на достаточно высокой частоте f' , где коэффициент усиления по мощности еще удовлетворителен ($K'_p > 3$). Таким образом, экспериментальные данные могут являться исходными для выбора типа транзистора, так как, например, превышение значения мощности P над P' приводит к снижению надежности, а превышение частоты f над f' к снижению коэффициента усиления по мощности.

1.3. Расчет структурной схемы передатчика

Задача составления структурной схемы состоит в том, чтобы определить рациональное число каскадов радиочастоты между возбудителем (автогенератором) и выходом передатчика, обеспечивающее выполнение заданных требований к передатчику. К основным техническим требованиям относятся максимальная выходная мощность (при амплитудной или однополосной модуляции в пике огибающей колебаний радиочастоты), диапазон рабочих частот, виды модуляции.

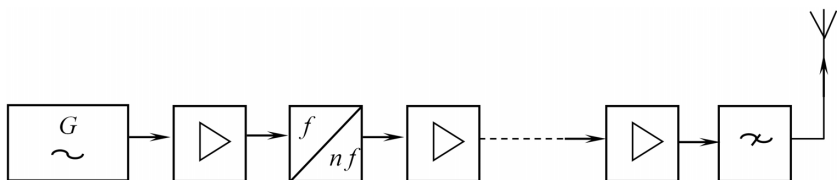


Рис. 1.2. Схема последовательного усиления сигнала

В маломощных передатчиках (менее 100 Вт) колебания возбудителя последовательно усиливаются несколькими каскадами усиления до заданной выходной мощности (рис. 1.2). В мощных оконечных транзисторных каскадах приходится объединять для совместной работы много транзисторов с помощью схем сложения мощностей нескольких одинаковых каскадов (модулей) (рис. 1.3). Построение передатчика по этому методу несколько повышает его надежность, так как выход из строя одного модуля приводит только к некоторому уменьшению мощности, но не к полной потере работоспособности передатчика.

Между выходом передатчика (входом антенно-фидерной системы) и транзисторами выходного каскада всегда расположены цепи согласования, фильтрации и др. Несмотря на то что они обычно выполняются на реактивных элементах (конденсаторах, катушках индуктивности, трансформаторах), в них всегда теряется часть энергии.

Потери в выходной колебательной системе (ВКС) передатчика, в качестве которой может быть антенное согласующее устройство (АСУ), в первом приближении учитываются, примерные значения КПД ВКС ($\eta_{\text{ВКС}}$) даны в таблице 1.5 [3, 4].

Таблица 1.5
Значения КПД ВКС ($\eta_{\text{ВКС}}$)

| Диапазон волн | $\eta_{\text{ВКС}}$ передатчика в зависимости от его мощности | | |
|---------------|---|---------------|------------|
| | 0,1...0,3 кВт | 0,3...1,0 кВт | 1...5 кВт |
| Декаметровые | 0,6...0,65 | 0,65...0,7 | 0,7...0,75 |
| Метровые | 0,55...0,6 | 0,6...0,65 | 0,75...0,8 |

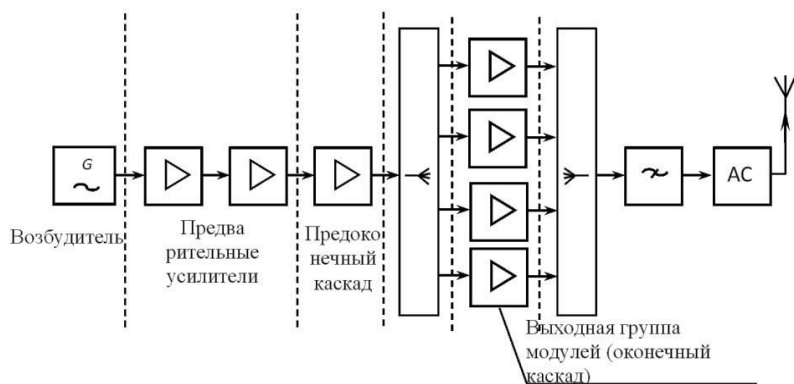


Рис. 1.3 Схема сложения мощностей нескольких одинаковых каскадов передатчика

Меньшие значения КПД относятся к ВКС, состоящим из одного-двух контуров, большие – из трех-четырех. Возрастание $\eta_{\text{ВКС}}$ по мере увеличения числа контуров обусловлено возможностью увеличения связи между контурами, не опасаясь, что фильтрация окажется ниже требуемой. Увеличение связи приводит к возрастанию вносимого сопротивления $r_{\text{вн}}$, а следовательно, и КПД ВКС:

$$\eta_{\text{ВКС}} = \frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{к}} + r_{\text{вн}}}, \quad (1.3)$$

где $r_{\text{к}}$ – сопротивление потерь контура.

Если используется антенное согласующее устройство и выходные каскады передатчика являются широкополосными, то между ними и АСУ включаются полосовые фильтры, КПД которых принимается равным $\eta_{\text{пф}} = 0,6...0,8$.

При построении каскадов усиления на основе широкополосных трансформаторов, а также в случае применения широкополосных схем разделения и сложения мощностей следует учитывать КПД трансформаторов $\eta_{\text{тр}} = 0,85...0,95$.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru