

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

Варианты заданий по курсовому проекту

**По курсу
«Моделирование СВЧ-устройств в САПР»**

Весенний семестр 2023/2024 уч.года

Москва, Зеленоград

2024

Вариант 1. Двухканальная передающая ячейка с управляемым усилением в каналах и фильтрацией в соседних каналах.

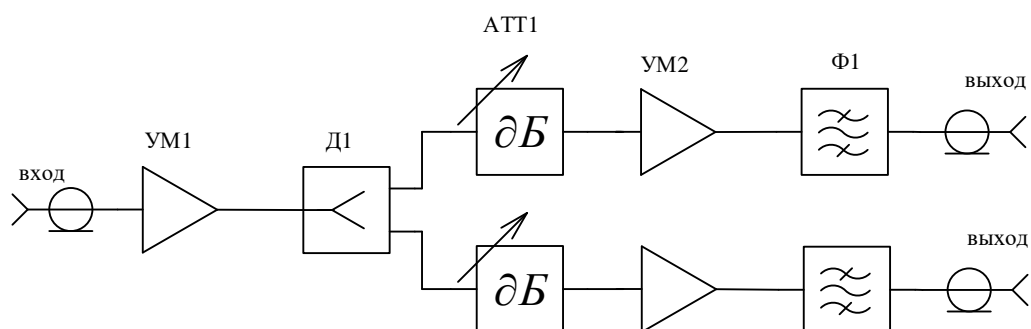


Рис.1.1 - Базовая структурная схема.

Таблица 1.1 - Пофамильное распределение вариантов

№	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
ФИО	Иванов Е.С.	Типенкова К.Н.	Горбунов Д.О.	Аришин И.В.	Гребеньков К.Д.		
F_c , ГГц	7,2	8,4	3,0	7,1	5,9	10,5	9,3
Кр, дБ, не менее	37	38	43	36	41	42	43
ΔF_{-3dB} , ГГц, не менее	0,4	0,5	0,15	0,5	0,34	0,62	0,56
ΔA_{pass} , дБ, не более	3	3	3	3	3	3	3
Нижний диапазон запыриания, $F_{s1}..F_{s2}$, ГГц	6,3..6,6	7,3..7,7	2,6..2,75	6,2..6,5	5,1..5,4	9,1..9,7	8,0..8,6
Верхний диапазон запыриания, $F_{s3}..F_{s4}$, ГГц	7,7..8,2	9,0..9,5	3,25..3,4	7,6..8,0	6,4..9,7	11,3..12,0	10,0..10,6
ΔA_{stop} , дБ, не менее	30	35	28	31	30	34	27
P_{1dBout} , дБмВт, не менее	28	30	33	29	32	33	28
Диапазон управления аттенюатора, дБ, не менее	27	27	28	22	25	15	24
Шаг перестройки аттенюатора, дБ, не более	1	1	1	1	1	1	1
КСВН, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

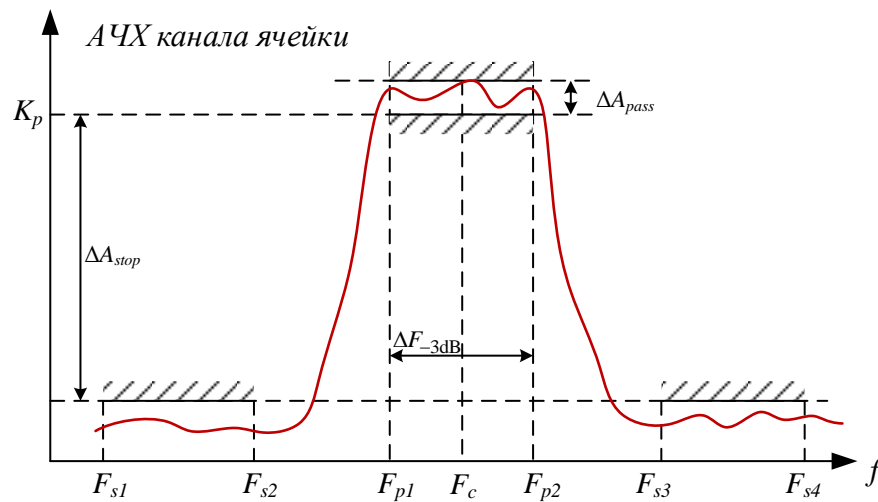


Рис.1.2 – Пояснение к ТЗ на АЧХ канала

Общие условия и пояснения:

1. Атеннуатор должен быть аналоговым или иметь шаг перестройки не более заданного.
2. Для общей финальной схемы с помощью анализа выхода годных (Yield) необходимо перебрать достаточно большое количество состояний аттенуаторов (не менее 250) и показать выполнение ТЗ.
3. Усилители УМ1 и УМ2 не обязательно должны быть одним устройством, могут являться каскадными.
4. При невозможности удовлетворить требования на P1dBOut (из-за возможных потерь на фильтре $\Phi 1$), фильтр $\Phi 1$ и выходной усилитель мощности УМ2 можно поменять местами. При этом требования по форму АЧХ должны выполняться.
5. Рабочий диапазон частот $F_{p1}..F_{p2}$ определяется как размах ΔF_{-3dB} относительно центральной частоты F_c , т.е. $F_{p1} = F_c - 0,5\Delta F_{-3dB}$ и $F_{p2} = F_c + 0,5\Delta F_{-3dB}$.

Вариант 2. Двухканальная передающая ячейка с управляемым фазовым сдвигом в каналах и фильтрацией в соседних каналах.

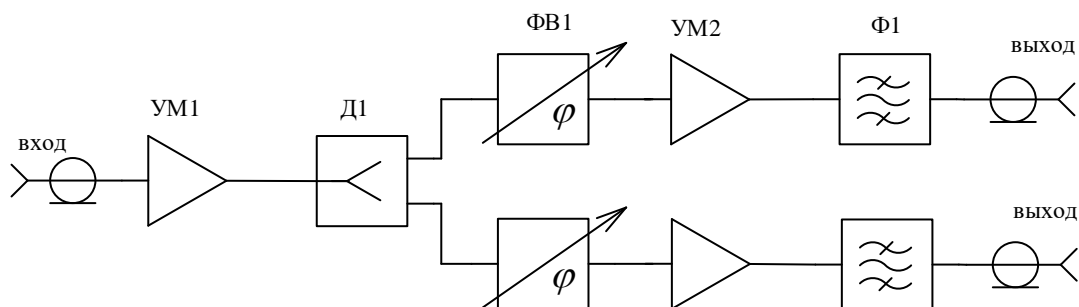


Рис.2.1 - Базовая структурная схема.

Таблица 2.1 - Пофамильное распределение вариантов

№	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
ФИО	Курьян М.В.	Афанасьев А.А.	Егорова А.Е.	Новиков А.П.	Бакаев А.П.		
F_c , ГГц	11,1	2,5	8,3	9,5	5,5	6,2	7,4
Кр, дБ, не менее	42	33	36	39	42	33	35
ΔF_{-3dB} , ГГц, не менее	0,65	0,15	0,5	0,55	0,33	0,35	0,45
ΔA_{pass} , дБ, не более	3	3	3	3	3	3	3
Нижний диапазон запираания, $F_{s1}..F_{s2}$, ГГц	9,6..10,2	2,1..2,3	7,1..7,6	8,2..8,8	4,7..5,1	5,4..5,7	6,4..6,8
Верхний диапазон запираания, $F_{s3}..F_{s4}$, ГГц	11,9..12,6	2,7..2,9	8,9..9,4	10,2..10,8	5,9..6,3	6,7..7,0	8,0..8,4
ΔA_{stop} , дБ, не менее	26	34	34	33	34	26	31
P_{1dBout} , дБмВт, не менее	31	32	27	30	29	32	31
Шаг фазы фазовращателя, град, не более	12	6	12	12	6	12	6
Диапазон перестройки фазовращателя, град, не менее	360	360	360	360	360	360	360
КСВН, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

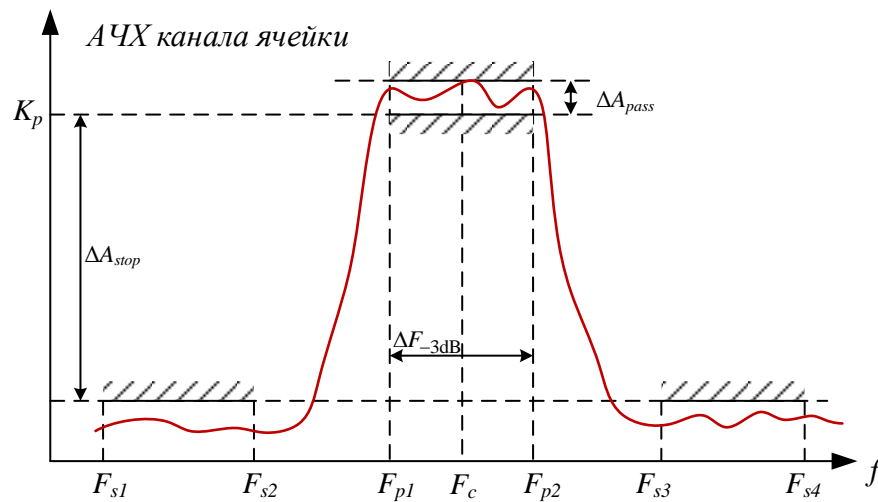


Рис.2.2 – Пояснение к ТЗ на АЧХ канала

Общие условия и пояснения:

1. Фазовращатель должен быть аналоговым или дискретным с шагом фазы не более заданного.
2. Для общей финальной схемы с помощью анализа выхода годных (Yield) необходимо перебрать достаточно большое количество состояний аттенуаторов (не менее 250) и показать выполнение ТЗ.
3. Усилители УМ1 и УМ2 не обязательно должны быть одним устройством, могут являться каскадными.
4. При невозможности удовлетворить требования на P1dBOut (из-за возможных потерь на фильтре Ф1), фильтр Ф1 и выходной усилитель мощности УМ2 можно поменять местами.
5. Рабочий диапазон частот $F_{p1}..F_{p2}$ определяется как размах ΔF_{-3dB} относительно центральной частоты F_c , т.е. $F_{p1} = F_c - 0,5\Delta F_{-3dB}$ и $F_{p2} = F_c + 0,5\Delta F_{-3dB}$.

Вариант 3. Двухканальная приемная ячейка с управляемым усилением в каналах и фильтрацией в соседних каналах.

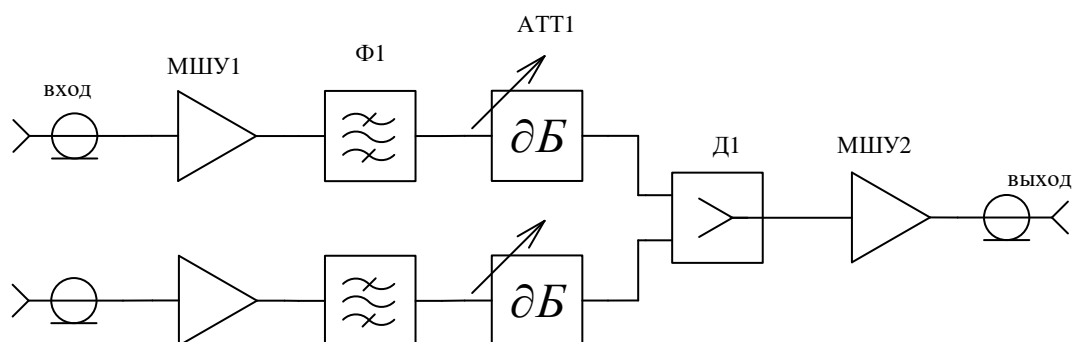


Рис.3.1 - Базовая структурная схема.

Таблица 3.1 - Пофамильное распределение вариантов

№	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
ФИО	Съедин Е.М.	Андреева А.М.	Усанов М.И.	Петаев Д.С.	Щеникова М.Р.		
F_c , ГГц	7,3	3,7	11,5	3,2	7,2	7,6	4,2
Кр, дБ, не менее	41	43	38	45	39	45	33
ΔF_{-3dB} , ГГц, не менее	0,4	0,2	0,7	0,2	0,42	0,45	0,25
ΔA_{pass} , дБ, не более	3	3	3	3	3	3	3
Нижний диапазон запыриания, $F_{s1}..F_{s2}$, ГГц	6,3..6,75	3,2..3,4	9,9..10,6	2,7..2,9	6,2..6,7	6,5..7,0	3,6..3,9
Верхний диапазон запыриания, $F_{s3}..F_{s4}$, ГГц	7,85..8,2	4,0..4,2	12,4..13,0	3,5..3,7	7,8..8,2	8,2..8,6	4,5..4,7
ΔA_{stop} , дБ, не менее	35	34	31	26	35	31	25
Кш, дБ, не более	2,8	2,4	2,8	2,5	2,7	2,3	2,9
Диапазон управления аттенюатора, дБ, не менее	16	22	25	16	19	15	23
Шаг перестройки аттенюатора, дБ, не более	1	1	1	1	1	1	1
КСВН, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

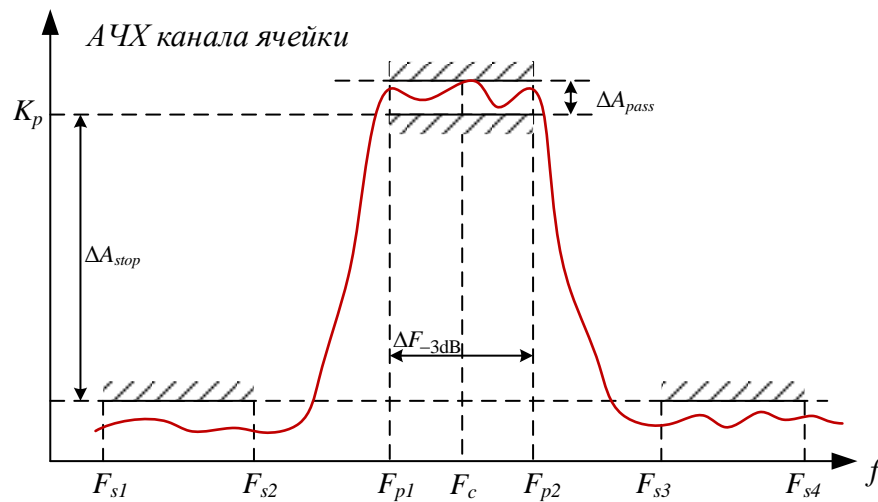


Рис.3.2 – Пояснение к ТЗ на АЧХ канала

Общие условия и пояснения:

1. Атенюатор должен быть аналоговым или иметь шаг перестройки не более заданного.
2. Для общей финальной схемы с помощью анализа выхода годных (Yield) необходимо перебрать достаточно большое количество состояний аттенюаторов (не менее 250) и показать выполнение ТЗ.
3. Усилители МШУ1 и МШУ2 не обязательно должны быть одним устройством, могут являться каскадными.
4. Предпочтительно чтобы первым устройством был фильтр Ф1, однако, если из-за потерь на фильтре Ф1 невозможно удовлетворить на Кш, то первый МШУ с минимальным коэффициентом шума можно поставить первым.
5. Рабочий диапазон частот $F_{p1}..F_{p2}$ определяется как размах ΔF_{-3dB} относительно центральной частоты F_c , т.е. $F_{p1} = F_c - 0,5\Delta F_{-3dB}$ и $F_{p2} = F_c + 0,5\Delta F_{-3dB}$.
6. При расчете Кш канала строить упрощенную модель (только в один канал, при задании свойств сумматора учитывать только омические потери, без потерь на деление).

Вариант 4. Двухканальная приемная ячейка с управляемым фазовым сдвигом в каналах и фильтрацией в соседних каналах.

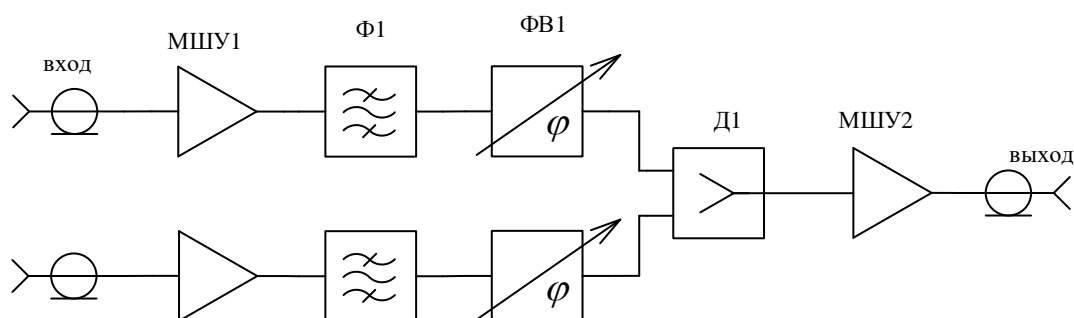


Рис.4.1 - Базовая структурная схема.

Таблица 4.1 - Пофамильное распределение вариантов

№	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7
ФИО	Ломакин Д.М.	Миронов Д.В.	Кабаев Н.	Парфенов Д.М.	Степанов З.Ю.		
F_c , ГГц	10,6	11,3	8,9	3,7	10,9	10,2	7,2
Кр, дБ, не менее	36	41	38	45	45	44	36
ΔF_{-3dB} , ГГц, не менее	0,6	0,65	0,54	0,2	0,65	0,61	0,43
ΔA_{pass} , дБ, не более	3	3	3	3	3	3	3
Нижний диапазон запыриания, $F_{s1}..F_{s2}$, ГГц	9,1..9,8	9,8..10,4	7,6..8,2	3,2..3,4	9,4..10,1	8,8..9,4	6,2..6,7
Верхний диапазон запыриания, $F_{s3}..F_{s4}$, ГГц	11,4..12,0	12,2..12,8	9,6..10,1	4,0..4,2	11,7..12,4	11,0..11,6	7,75..8,2
ΔA_{stop} , дБ, не менее	25	30	30	33	26	28	30
Кш, дБ, не более	2,2	2,3	2,9	2,9	2,6	2,8	2,4
Шаг фазы фазовращателя, град, не более	6	12	6	12	12	6	12
Диапазон перестройки фазовращателя, град, не менее	360	360	360	360	360	360	360
КСВН, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

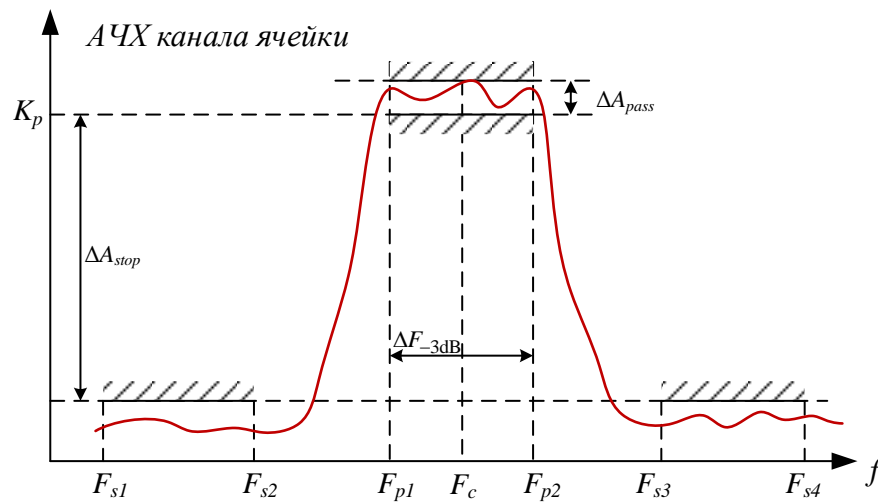


Рис.4.2 – Пояснение к ТЗ на АЧХ канала

Общие условия и пояснения:

1. Фазовращатель должен быть аналоговым или дискретным с шагом фазы не более заданного. Полный диапазон перестройки должен быть в 360° .
2. Для общей финальной схемы с помощью анализа выхода годных (Yield) необходимо перебрать достаточно большое количество состояний аттенуаторов (не менее 250) и показать выполнение ТЗ.
3. Усилители МШУ1 и МШУ2 не обязательно должны быть одним устройством, могут являться каскадными.
4. Предпочтительно чтобы первым устройством был фильтр Ф1, однако, если из-за потерь на фильтре Ф1 невозможно удовлетворить на Кш, то первый МШУ с минимальным коэффициентом шума можно поставить первым.
5. Рабочий диапазон частот $F_{p1}..F_{p2}$ определяется как размах ΔF_{-3dB} относительно центральной частоты F_c , т.е. $F_{p1} = F_c - 0,5\Delta F_{-3dB}$ и $F_{p2} = F_c + 0,5\Delta F_{-3dB}$.
6. При расчете Кш канала строить упрощенную модель (только в один канал, при задании свойств сумматора учитывать только омические потери, без потерь на деление).

Вариант 5. Передающая ячейка усиления и фильтрации с детектированием уровня выходной мощности.

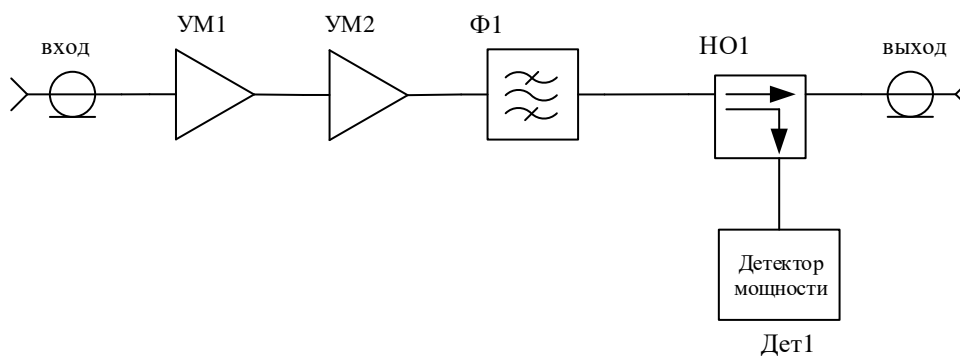


Рис.5.1 - Базовая структурная схема.

Таблица 5.1 - Пофамильное распределение вариантов

№	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7
ФИО	Аймульдинова Э.А.	Маланьин Д.А.	Пустарнаков А.А.	Ренжин М.В.	Махотин И.Д.		
F_c , ГГц	5,4	9,9	2,6	8,4	7,4	6,4	11,4
P_{in} , дБмВт	0	0	0	0	0	0	0
ΔF_{-3dB} , ГГц, не менее	0,2	0,6	0,15	0,5	0,45	0,38	0,69
ΔA_{pass} , дБ, не более	3	3	3	3	3	3	3
Нижний диапазон запираания, $F_{s1}..F_{s2}$, ГГц	4,6..5,0	8,6..9,1	2,2..2,4	7,2..7,7	6,4..6,8	5,5..5,9	9,8..10,5
Верхний диапазон запираания, $F_{s3}..F_{s4}$, ГГц	5,8..6,2	10,6..11,2	2,8..3,0	9,0..9,5	7,9..8,4	6,9..7,2	12,3..12,9
ΔA_{stop} , дБ, не менее	28	29	26	26	29	30	29
P_{out} , дБмВт, не менее	43	41	42	43	40	42	41
Динамический диапазон выходной мощности, Сдин, дБ	24	22	21	23	25	22	23
КСВН, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

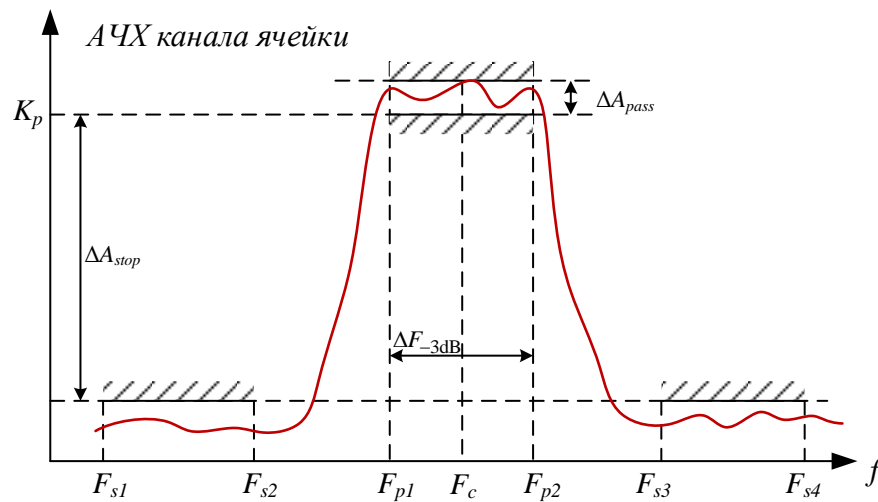


Рис.5.2 – Пояснение к ТЗ на АЧХ канала

Общие условия и пояснения:

1. КСВН по всем ВЧ-входам и ВЧ-выходам должен быть не более 1,5 в рабочей полосе частот.
2. Усилители УМ1 и УМ2 не обязательно должны быть одним устройством, могут являться каскадными.
3. При невозможности удовлетворить требования на POut (из-за возможных потерь на фильтре Ф1), фильтр Ф1 и выходной усилитель мощности УМ2 можно поменять местами.
4. Рабочий диапазон частот $F_{p1}..F_{p2}$ определяется как размах ΔF_{-3dB} относительно центральной частоты F_c , т.е. $F_{p1} = F_c - 0,5\Delta F_{-3dB}$ и $F_{p2} = F_c + 0,5\Delta F_{-3dB}$.
5. Ячейка должна быть способна измерять значения выходной мощности в диапазоне от (Pout-Сдин) до Pout. Это означает, что диапазон возможной выходной мощности с учетом переходного ослабления направленного ответвителя должен попадать в динамический диапазон измеряемой мощности детектора мощности в рабочей полосе частот.
6. Для получения указанного POut можно использовать балансную схему сложения мощностей на выходном УМ или строить выходной УМ на мощном ВЧ-транзисторе.
7. Разрешено превышение Pout не более, чем на 1 дБ.

Вариант 6. Приемная ячейка усиления и фильтрации с детектированием мощности с защитой от кратковременного входного импульса большой мощности.

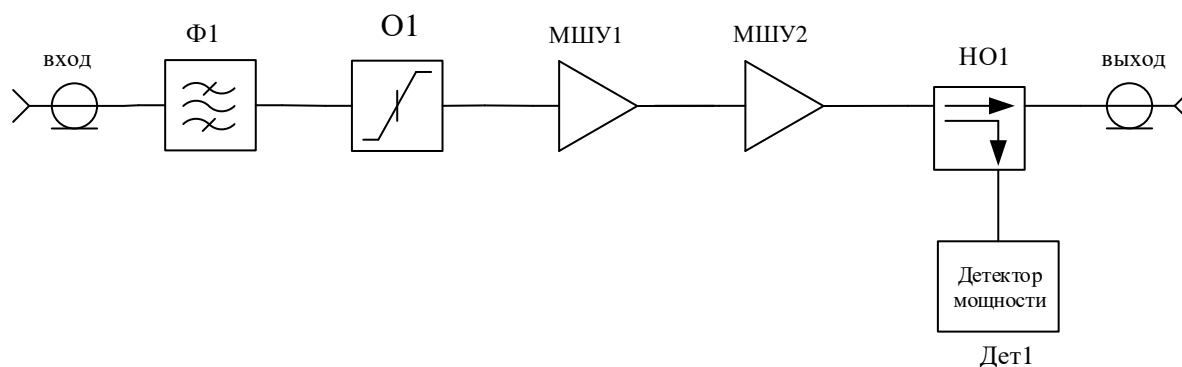


Рис.6.1 - Базовая структурная схема.

Таблица 6.1 - Пофамильное распределение вариантов

№	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7
ФИО	Крупенина С.А.	Спортсмен А.А.	Буткин А.А.	Авдеев Г.Б.	Безруков И.А.		
F_c , ГГц	10	2,5	10,8	11,4	9,4	11	8
Кр, дБ, не менее	38	39	49	42	43	42	44
ΔF_{-3dB} , ГГц, не менее	0,6	0,15	0,65	0,67	0,65	0,65	0,45
ΔA_{pass} , дБ, не более	3	3	3	3	3	3	3
Нижний диапазон запыриания, $F_{s1}..F_{s2}$, ГГц	8,6..9,25	2,1..2,3	9,3..10,0	9,8..10,5	8,1..8,7	9,5..10,1	6,9..7,4
Верхний диапазон запыриания, $F_{s3}..F_{s4}$, ГГц	10,7..11,4	2,7..2,9	11,6..12,3	12,3..13,0	10,1..10,7	11,8..12,5	8,6..9,1
ΔA_{stop} , дБ, не менее	26	27	26	34	27	34	31
Кш, дБ, не более	2,2	2,1	2,6	2,4	2,5	2,5	2,3
Диапазон ожидаемых входных мощностей, P_{in} , дБмВт	-40..-10	-43..-15	-40..-10	-45..-17	-42..-15	-43..-12	-40..-10
КСВН, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Уровень кратковременной входной помехи, $R_{пом}$, Вт	20	19	20	21	22	15	18

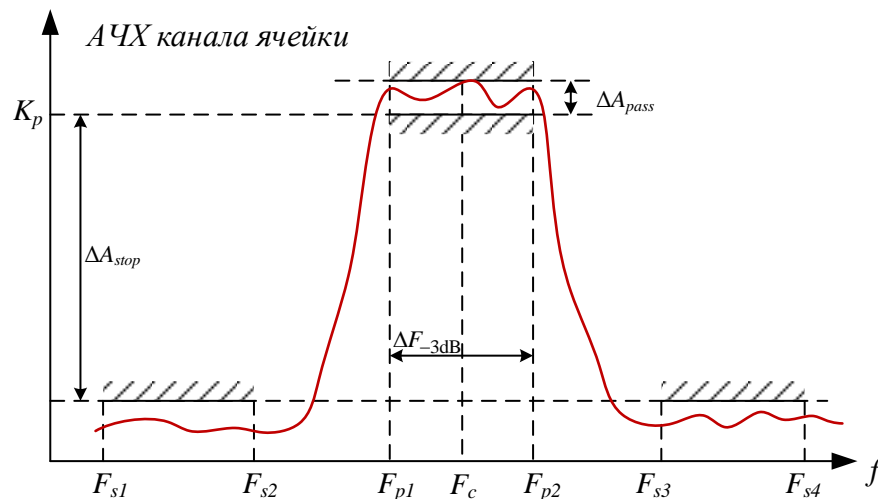


Рис.6.2 – Пояснение к ТЗ на АЧХ канала

Общие условия и пояснения:

1. Усилители МШУ1 и МШУ2 не обязательно должны быть одним устройством, могут являться каскадными.
2. Предпочтительно чтобы первым устройством был фильтр Ф1, однако, если из-за потерь на фильтре Ф1 невозможно удовлетворить требования по Кш, то его можно перенести после первого МШУ.
3. Предпочтительно, чтобы ограничитель О1 стоял до первого МШУ1. Однако, если из-за потерь на ограничителе О1 невозможно удовлетворить на Кш, то его можно перенести после первого МШУ.
4. Рабочий диапазон частот $F_{p1}..F_{p2}$ определяется как размах ΔF_{-3dB} относительно центральной частоты F_c , т.е. $F_{p1} = F_c - 0,5\Delta F_{-3dB}$ и $F_{p2} = F_c + 0,5\Delta F_{-3dB}$.
5. Ячейка должна быть способна корректно измерять возможные значения входной мощности P_{in} . Это означает, что данный диапазон возможной входной мощности с учетом прохождения через канал (О, МШУ, ППФ, ответвление в вторичное плечо НО) должен попадать в динамический диапазон измеряемой мощности детектора мощности в рабочей полосе частот.
6. Ячейка во всем диапазоне ожидаемых входных мощностей P_{in} должна работать в линейном режиме.
7. Ячейка должна выдерживать попадание кратковременной помехи указанной мощности $P_{пом}$ (за счет внесения ограничителя мощности О1)

Вариант 7. Ячейка антенного ключа с фильтрацией в приемном канале.

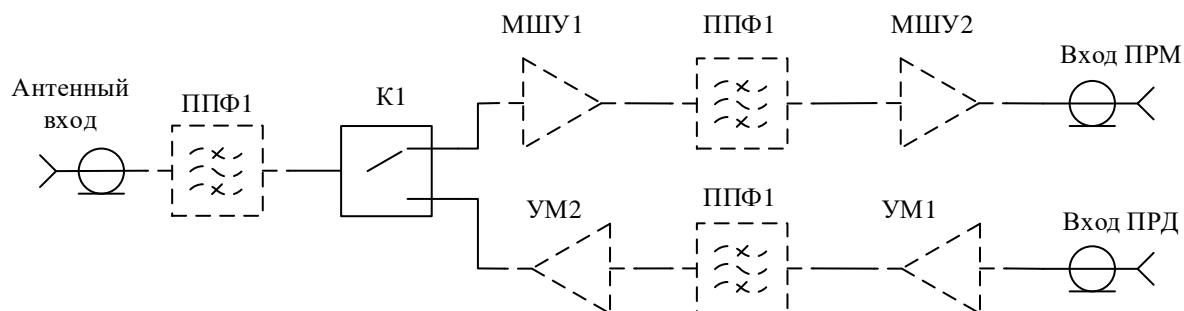


Рис.7.1 - Базовая структурная схема.

Таблица 7.1 - *Пофамильное распределение вариантов*

№	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7
ФИО	Каприслов А.В.	Замоткин А.А.	Жворонков В.С.	Павлов А.К.			
Fc, ГГц	3,7	6,8	9,4	9,6	6,7	10,7	5,7
ΔF_{-3dB} , ГГц, не менее	0,2	0,4	0,55	0,56	0,4	0,65	0,34
ΔA_{pass} , дБ, не более	3	3	3	3	3	3	3
Нижний диапазон запыриания, $F_{s1}..F_{s2}$, ГГц	3,2..3,4	5,8..6,3	8,1..8,7	8,3..8,9	5,6..6,2	9,2..9,9	4,9..5,3
Верхний диапазон запыриания, $F_{s3}..F_{s4}$, ГГц	4,0..4,2	7,3..7,7	10,1..10,7	10,3..10,9	7,2..7,6	11,5..12,2	6,2..6,5
ΔA_{stop} , дБ, не менее	35	31	27	28	27	30	26
K_{pTx} передающего канала, дБ, не менее	33	35	27	28	35	33	31
$P_{1dBoutTx}$ передающего канала, дБмВт, не менее	22	23	25	24	25	26	27
K_{pRx} приемного канала, дБ, не менее	28	33	34	36	37	30	31
$K_{шRx}$ приемного канала, дБ, не более	3,1	3,2	3,3	3,1	3,3	3,3	3,4

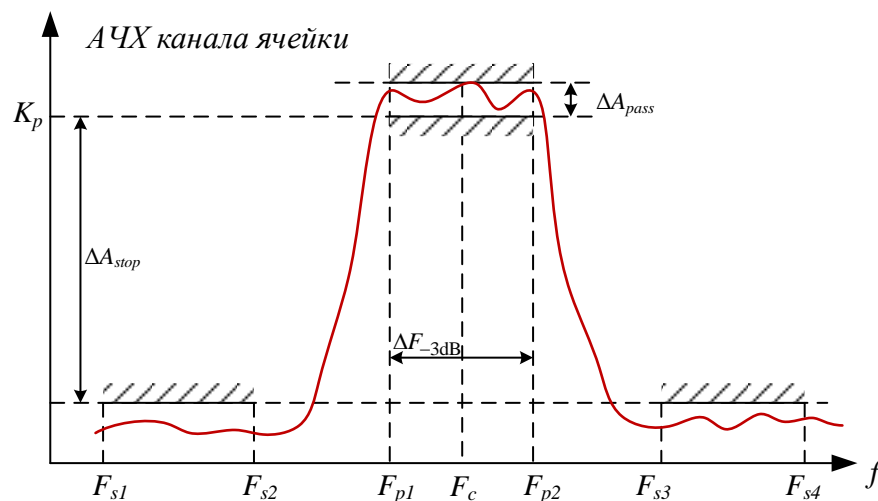


Рис.7.2 – Пояснение к ТЗ на АЧХ канала

Общие условия:

1. Модель необходимо проверять отдельно для двух состояний – режим передачи и режим приема.
2. КСВН для обоих состояний ячейки не должен превышать 1,5 во включенном канале в рабочей полосе частот.
3. Требования на АЧХ канала одинаковы для приемного и передающего каналов.
4. В зависимости от достижимости результатов (по $P_{ldBoutTx}$ и $K_{шRx}$) фильтр ППФ1 может быть поставлен либо один в общей части (до ключа К1 со стороны антенны), либо два параллельных в приемном и передающем каналах.
5. K_{pTx} и $P_{ldBoutTx}$ (параметры передающего канала) проверяются, когда ключ К1 включен на режим передачи.
6. K_{pRx} и $K_{шRx}$ (параметры приемного канала) проверяются, когда ключ К1 включен на режим приема.
7. В параметрах как передающего, так и приемного каналов необходимо учитывать влияние свойств ключа К1 (потери на проход во включенном канале и предельный $P_{ldB/IP3}$).
8. Необходимо оценить уровень развязки приемного канала от передающего в режиме передачи за счет развязки ключа К1. Нужно провериться, какой сигнал будет на приемном выходе в режиме передачи и приведет ли это к выходу из строя микросхем приемного канала.