

М. Б. ЦЕЙТЛИН, М. А. ФУРСАЕВ, О. В. БЕЦКИЙ

# СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ СО СКРЕЩЕННЫМИ ПОЛЯМИ

Под ред. М. Б. ЦЕЙТЛИНА



МОСКВА «СОВЕТСКОЕ РАДИО» 1978

УДК 621.385.6

**Цейтлин М. Б., Фурсаев М. А., Бецкий О. В.** Сверхвысокочастотные усилители со скрещенными полями. Под ред. М. Б. Цейтлина. М., «Сов. радио», 1978, 280 с.

В книге излагаются методы расчета и анализа СВЧ усилителей со скрещенными полями (типа М). Рассматриваются лучевые усилители (с вынесенной из пространства взаимодействия электронно-оптической системой) и амплитроны — усилители с катодом в пространстве взаимодействия. Кроме общей теории взаимодействия электронного потока с замедленной электромагнитной волной в режиме больших сигналов уделено значительное внимание исследованию новых схем и различных режимов работы лучевых приборов. В разделе, посвященном амплитрону, дается анализ основных электрических характеристик, а также расчет выходных параметров усилителя.

Книга предназначена для инженеров и научных сотрудников, работающих в области электроники СВЧ и радиофизики, а также для преподавателей и студентов высших учебных заведений. Она может быть использована в качестве учебного пособия для курсового и дипломного проектирования.

157 рис., 8 табл., библиограф. 175 назв.

*Редакция литературы по электронной технике*

Ц  $\frac{30404-024}{046(01)-78}$  53-78

© Издательство «Советское радио», 1978 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |           |
|--|-----------|
| Предисловие . . . . .  | 3         |
| Введение . . . . .   | 4         |
| <b>Часть первая. Лучевые усилители М-типа . . . . .</b>  | <b>7</b>  |
| <b>Глава 1. Основные типы лучевых СВЧ усилителей со скрещенными полями . . . . .</b>   | <b>7</b>  |
| 1.1. Введение . . . . .  | 7         |
| 1.2. Принцип работы и особенности лучевых усилителей со скрещенными полями . . . . .   | 7         |
| 1.3. Механизмы взаимодействия (усиления) в скрещенных полях . . . . .  | 14        |
| 1.4. Основные типы лучевых усилителей со скрещенными полями . . . . .  | 20        |
| <b>Глава 2. Основные уравнения нелинейной теории взаимодействия электронного пучка с бегущей электромагнитной волной . . . . .</b> | <b>30</b> |
| 2.1. Введение . . . . .  | 30        |
| 2.2. Вывод основных уравнений для модели прибора с бесконечно тонким пучком . . . . .  | 31        |
| 2.3. Линеаризация основных уравнений . . . . .   | 47        |
| 2.4. Модель ЛБВМ с пучком конечной толщины . . . . .   | 50        |
| <b>Глава 3. Анализ работы лучевого усилителя в нелинейном режиме . . . . .</b>   | <b>54</b> |
| 3.1. Введение . . . . .  | 54        |
| 3.2. Нелинейная теория волн пространственного заряда . . . . .   | 55        |
| 3.3. Основные результаты расчета нелинейных характеристик лучевого усилителя . . . . .   | 63        |
| 3.4. Влияние пространственного заряда и толщины пучка на основные характеристики усилителя . . . . .                               | 78        |
| 3.5. Приближенные методы анализа . . . . .   | 86        |
| <b>Глава 4. Анализ новых схем лучевых СВЧ приборов М-типа . . . . .</b>  | <b>92</b> |
| 4.1. Введение . . . . .  | 92        |
| 4.2. Вопросы повышения коэффициента усиления в лучевых приборах . . . . .  | 92        |
| 4.3. Основные схемы секционированных ступенчатых усилителей и некоторые исследования в режиме малых сигналов . . . . .             | 100       |

|  |            |
|--|------------|
| 4.4. Анализ двухсекционного ступенчатого усилителя в режиме больших сигналов . . . . .                                   | 109        |
| 4.5. Каскадные усилители М-типа с двумя электронными пучками в режиме больших амплитуд . . . . .                         | 119        |
| 4.6. Секционированный усилитель на обратной волне со ступенчатым изменением высоты пространства взаимодействия . . . . . | 133        |
| 4.7. Анализ работы гибридного прибора типа ЛОВМ-ЛБВМ . . . . .   | 140        |
| <b>Глава 5. Исследование взаимодействия электронного пучка с высшими временными гармониками СВЧ поля . . . . .</b>       | <b>147</b> |
| 5.1. Введение . . . . .  | 147        |
| 5.2. Вывод основных уравнений . . . . .  | 148        |
| 5.3. Анализ работы усилителя М-типа в многочастотном режиме . . . . .  | 150        |
| 5.4. Возбуждение высших гармоник в усилителе М-типа . . . . .  | 156        |
| 5.5. Умножение частоты в приборах М-типа . . . . .   | 161        |
| 5.6. Экспериментальное исследование умножителя частоты . . . . .   | 166        |
| <b>Часть вторая. Усилители М-типа с катодом в пространстве взаимодействия . . . . .</b>                                  | <b>171</b> |
| <b>Глава 6. Основные типы усилителей . . . . .</b>   | <b>171</b> |
| 6.1. Введение . . . . .  | 171        |
| 6.2. Принцип работы и особенности усилителей М-типа с катодом в пространстве взаимодействия . . . . .                    | 171        |
| 6.3. Основные типы магнетронных усилителей . . . . .   | 177        |
| 6.4. Особенности работы магнетронных усилителей в схеме с источником анодного питания . . . . .                          | 186        |
| 6.5. Работа магнетронных усилителей в режиме управления входным сигналом . . . . .                                       | 188        |
| <b>Глава 7. Методы анализа работы амплитрона . . . . .</b>   | <b>193</b> |
| 7.1. Введение . . . . .  | 193        |
| 7.2. Метод самосогласованного поля . . . . .   | 193        |
| 7.3. Основы анализа амплитрона методом эквивалентных магнетронов . . . . .   | 198        |
| 7.4. Простейшая теория амплитрона . . . . .  | 204        |
| <b>Глава 8. Анализ электрических характеристик амплитрона . . . . .</b>  | <b>212</b> |
| 8.1. Введение . . . . .  | 212        |
| 8.2. Уравнения установившегося режима эквивалентного магнетрона . . . . .  | 212        |
| 8.3. Соотношения для расчета выходных параметров амплитрона и анализ его электрических характеристик . . . . .           | 216        |
| 8.4. Анализ возможностей повышения коэффициента усиления амплитрона . . . . .  | 232        |
| 8.5. Анализ фазовых характеристик амплитрона . . . . .   | 236        |
| <b>Глава 9. Анализ работы амплитрона с учетом возбуждения паразитных видов колебаний . . . . .</b>                       | <b>243</b> |
| 9.1. Введение . . . . .  | 243        |

|  |     |
|--|-----|
| 9.2. Анализ параметров амплитрона, характеризующих интенсивность возбуждения низковольтного паразитного вида колебаний резонансного типа . . . . . | 244 |
| 9.3. Расчет мощности паразитных колебаний амплитрона на фронте и спаде модулирующего импульса . . . . .  | 255 |
| 9.4. Расчет параметров амплитрона в режиме возбуждения карматронного вида колебаний . . . . .  | 260 |
| Заключение . . . . .   | 264 |
| Список литературы . . . . .  | 267 |

ИБ № 175

**Михаил Борисович Цейтлин,  
Михаил Александрович Фурсаев,  
Олег Владимирович Бецкий**

**СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ  
СО СКРЕЩЕННЫМИ ПОЛЯМИ**

Под ред. **М. Б. Цейтлина**

Редактор **Л. В. Голованова**  
Художественный редактор **А. Н. Алтунин**  
Обложка художника **В. Л. Николаева**  
Технический редактор **Т. П. Сафонова**  
Корректор **О. В. Щербакова**

Сдано в набор 11. 08. 77 Подписано в печать 27. 12. 77 Т-19989  
Формат 84×108/32 Бумага типографская № 2 Литературная гарн. Высокая печ.  
Объем 14,7 усл. п. л., 15,33 уч.-изд. л.  
Тираж 5500 экз. Зак. 273 Цена 95 к.

Издательство «Советское радио», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 10 «Союзполиграфпрома»  
при Государственном Комитете Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.