

09;12

Формирование сложных многочастотных сигналов усилителем магнетронного типа

© С.В. Воскресенский, Г.Г. Соминский

С.-Петербургский технический университет

Поступило в Редакцию 30 апреля 1997 г.

Получены экспериментальные данные, демонстрирующие стохастизацию неавтономной электронной колебательной системы устройства магнетронного типа под действием негармонического сигнала.

Пространственный заряд в устройствах со скрещенными полями магнетронного типа, удерживаемый магнитным полем и краевыми электрическими полями в своеобразной трехмерной ловушке, неустойчив и, как правило, находится в колебательных состояниях [1–3]. Исследование коллективных процессов в пространственном заряде таких устройств позволяет, с одной стороны, лучше понять механизмы и закономерности сложной динамики распределенных электронных систем, а с другой — необходимо для отыскания эффективных путей совершенствования существующих и создания новых мощных источников СВЧ колебаний. Как было установлено в последние годы, полезная информация о колебаниях электронного облака в скрещенных полях может быть получена не только в пассивных измерениях (см., например, [1–3]) модуляции токов на ограничивающие его электроды или испускаемых электронным облаком излучений, но и на основании активного зондирования специально создаваемыми ВЧ сигналами [4]. В настоящей работе продолжено экспериментальное исследование воздействия внешних ВЧ сигналов на колебания пространственного заряда в скрещенных полях.

Измерения выполнены в мощном импульсном амплитроне дециметрового диапазона длин волн с вторично-эмиссионным катодом. Запуск амплитрона осуществлялся входным сигналом на частоте f_i от вспомогательного магнетрона. Управляющие сигналы создавали аксиально-симметричные ВЧ поля в торцевой области пространства взаимодействия амплитрона [4]. Было исследовано воздействие гармонических сигналов неизменной во времени амплитуды мощностью P_s прибли-

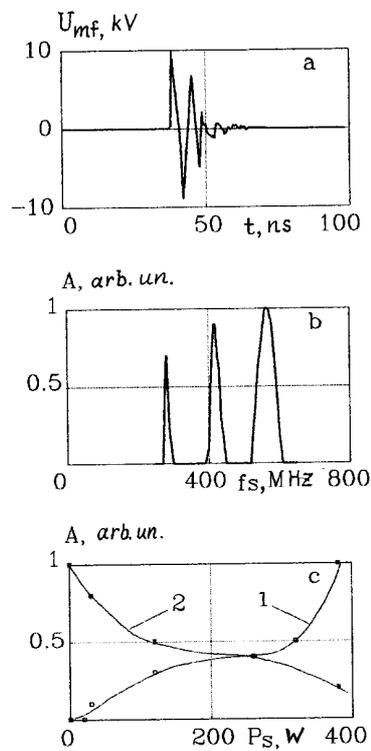


Рис. 1. *a* — типичный вид многочастотного управляющего сигнала $U_{MF}(t)$. *b* — зависимость изменения амплитуды A паразитного сигнала в выходном тракте на частоте $f \sim 0.92f_i$ от частоты f_s гармонического управляющего сигнала, измеренная при максимальной мощности P_s . *c* — зависимости изменения амплитуды A паразитных сигналов в выходном тракте на частотах $f \sim 0.92f_i$ (1) и $0.93f_i$ (2) от мощности управляющего гармонического сигнала P_s , измеренные при частотах f_s : 1 — 140 МГц, 2 — 560 МГц. Характеристики рисунков *b* и *c* измерены при магнитном поле $B = 0.1$ Т и анодном напряжении $U_a = 10.5$ кВ.

тельно до 600 W в интервале частот $100 \leq f_s \leq 600$ МГц, а также затухающими во времени многочастотными сигналами, типичный вид которого показан на рис. 1, *a*. Максимальная амплитуда многочастотного сигнала U_{MF} достигала 10 кВ. Длительность воздействия многочастотного сигнала

ла не превышала пятидесяти наносекунд. Контролировалось изменение под действием управляющих сигналов амплитудно-частотных характеристик собственных колебаний пространственного заряда в прикатодной области амплитрона, а также в выходном его ВЧ тракте. Спектральные характеристики колебаний определялись на основании Фурье-анализа разовых временных реализаций сигналов длительностью $\sim 5\text{--}50$ ns по методике, описанной в [4]. Это позволяло выявлять изменения "мгновенных" спектров в различные моменты времени импульса анодного тока амплитрона.

Как было установлено, воздействие гармонических сигналов носит пороговый характер (заметно при $P_s \geq 50\text{--}100$ W) и наиболее сильно влияет на спектр колебаний пространственного заряда на дискретных частотах, близких по величине или кратных характерным частотам f_a так называемых аксиальных его колебаний [1,4]. Характер воздействия практически не меняется в течение всего импульса анодного тока. В разных режимах работы амплитрона (при разных значениях магнитного поля B и анодного напряжения U_a) отмечалось как уменьшение, так и увеличение составляющих спектра колебаний электронного облака. Изменение характеристик колебаний пространственного заряда ощутимо влияло и на спектр выходного сигнала амплитрона. Здесь обычно наблюдались паразитные сигналы вблизи частот $f_i + n f_a$, где n — целое число, менявшееся в пределах $1 \leq n \leq 3$. Амплитуды паразитных сигналов такого типа были на 15–20 dB меньше амплитуды A_i выходного сигнала на частоте f_i . На рис. 1, *b* и *c* показаны типичные изменения амплитуды A дискретных пиков спектра в выходном тракте, происходящие с изменением частоты f_s (рис. 1, *b*) и мощности P_s (рис. 1, *c*) управляющего сигнала. Таким образом, проведенные измерения свидетельствуют, во-первых, о возможности управления с помощью создаваемых ВЧ полей аксиальными колебаниями пространственного заряда, а во-вторых, о связи паразитных колебаний амплитрона с коллективными процессами в прикатодной втулке электронного облака.

Значительно более сильное влияние на спектр выходных сигналов амплитрона оказывают, согласно полученным данным, многочастотные сигналы большой амплитуды. Спектры регистрировались с задержкой τ_d относительно начала импульса многочастотного сигнала, которая менялась в пределах $50 \leq \tau_d \leq 500$ ns. На рис. 2 приведены типичные спектры выходного сигнала, зафиксированные в отсутствие управляющего сигнала (рис. 2, *a*) и при максимальной его амплитуде

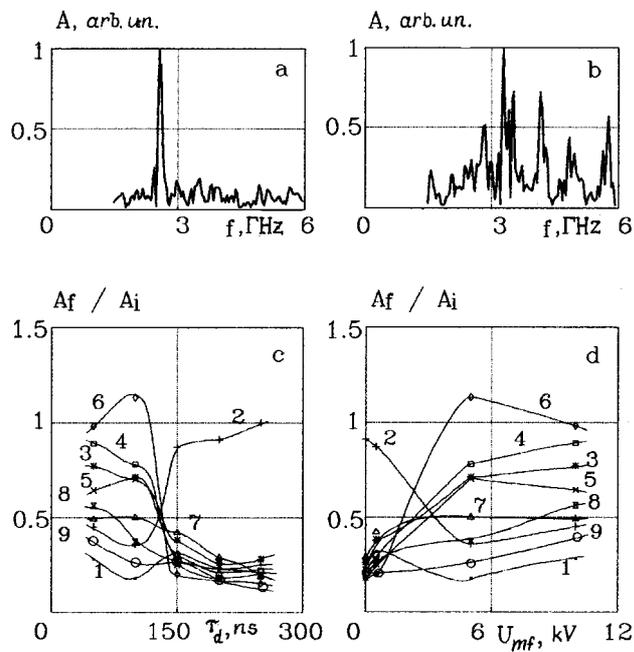


Рис. 2. Характеристики выходного сигнала, измеренные при $B = 0.12$ Т и $U_a = 13.5$ кВ. *a* — спектр в отсутствие управляющего сигнала; *b* — спектр при максимальной амплитуде многочастотного сигнала $U_{MF} = 10$ кВ; *c, d* — зависимости средних значений A_f/A_i от задержки τ_d (*c*) и амплитуды U_{MF} (*d*) многочастотного сигнала для последовательности частотных интервалов шириной 500 МГц в диапазоне от 1.5 до 6.0 ГГц: 1 — 1.5–2.0 ГГц, 2 — 2.0–2.5 ГГц, 3 — 2.5–3.0 ГГц, 4 — 3.0–3.5 ГГц, 5 — 3.5–4.0 ГГц, 6 — 4.0–4.5 ГГц, 7 — 4.5–5.0 ГГц, 8 — 5.0–5.5 ГГц, 9 — 5.5–6.0 ГГц.

$U_{MF} = 10$ кВ (рис. 2, *b*). Видно, что под действием многочастотных сигналов являются колебания в широкой полосе частот $f_i \leq f \leq 2.5f_i$, амплитуды которых A_f близки по величине к амплитуде A_i на частоте f_i . Величина отношения A_f/A_i сравнительно слабо меняется в течение 100–150 нс после окончания многочастотного сигнала и только затем быстро падает во времени. При фиксированной задержке $50 \leq \tau_d < 100$ –150 нс амплитуды A_f сигналов во всем интервале частот

$f_i \leq f \leq 2.5f_i$ увеличиваются с ростом U_{MF} . На рис. 2 приведены типичные изменения средних значений A_f/A_i для последовательности частотных интервалов шириной 500 МГц в диапазоне от 1.5 до 6.0 GHz, происходящие с изменением задержки τ_d (рис. 2, *c*) и амплитуды многочастотного сигнала (рис. 2, *d*). Оценки абсолютных значений мощности показывают, что в характерном режиме работы амплитрона $B = 0.12$ Т, $U_a = 13.5$ кВ, когда выходная мощность в отсутствие управляющего сигнала имеет величину $P_0 \sim 30$ кВт, подача многочастотного сигнала, перераспределяя высокочастотную энергию по спектру, уменьшает удельную (в единичном частотном интервале) мощность на частоте f_i менее чем в 2 раза. При этом полная мощность во всем интервале $f \leq 2.5f_i$ увеличивается в 1.5-2 раза. Электронный КПД амплитрона с многочастотным выходным сигналом в исследованных режимах достигал $\sim 35\%$. Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о существенном усложнении спектра выходной мощности амплитрона, об эффективном формировании многочастотного широкополосного сигнала большой амплитуды под действием многочастотного сигнала. Полученные данные впервые, насколько нам известно, на практике демонстрируют стохастизацию неавтономной электронной колебательной системы устройства магнетронного типа под действием негармонического сигнала. Они представляют не только чисто научный, но и практический интерес, так как свидетельствуют о возможных путях создания на его основе мощного широкополосного источника шумовых сигналов.

Список литературы

- [1] Соминский Г.Г. // Лекции по электронике СВЧ (4-я зимняя школа-семинар инженеров). Кн. 3. Саратов: Изд-во СГУ, 1978. С. 119–138.
- [2] Левчук С.А., Соминский Г.Г., Воскресенский С.В. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 13. С. 1194–1197.
- [3] Левчук С.А., Соминский Г.Г. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 10. С. 1–4.
- [4] Архипов А.В., Богданов Л.Ю., Воскресенский С.В., Левчук С.А., Лукаша О.И., Соминский Г.Г. // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1995. Т. 3. Ч. 1. № 4. С. 41–52; Ч. 2. № 5. С. 35–54.