

рена и рис.5 – для критерия С. Непрерывной линией показаны зависимости при изменении от 0 до 10 процентов амплитуды сигнала, пунктирной линией – зависимости при изменении частоты. Представленные зависимости получены при размере выборки 0,1с – первый минимум на графиках рис. 2 и 3.

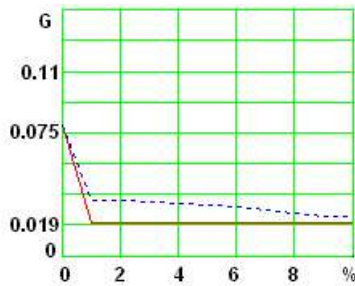


Рис. 4. Зависимость погрешности от критерия Кохрена

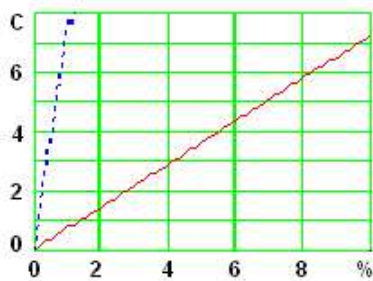


Рис. 5. Зависимость погрешности от критерия С

Выводы. Таким образом, практическим результатом использования предложенного критерия является работа приборов, отличающаяся большей рациональностью использования доступных ресурсов либо использованием меньшего количества ресурсов для получения аналогичных результатов. Это достигается путем распараллеливания процессов получения данных и их обработки. Указанные преимущества позволяют снизить себестоимость

измерительных приборов в несколько раз. В целом, по совокупности свойств цифровые осциллографы, функционирующие на основе предложенного способа, значительно превосходят свойства существующих приборов.

Научная новизна данной работы показана в сравнении результатов, получаемых с использованием критерия С и критерия Кохрена. Преимуществом критерия С является значительно большая мощность, что обеспечивает более точный результат при количестве выборок 2. При этом явно показан известный недостаток критерия Кохрена – его малая мощность.

Литература: 1. Баранов Н.Г., Ключник И.И., Лодыгин М.А. Цифровой осциллограф на основе устройств программируемой логики // Радиоэлектроника и информатика. 2004. № 2. С.31-33. 2. Муттаг Х.-Й., Ринне Х. Статистические методы обеспечения качества. М.: Машиностроение. 1995. 600 с. 3. Cochran W.G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total // Ann. of eugenics. 1941. 11. P. 47-52. 4. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / Бронштейн И.Н., Семеничев К.А. М.:Наука, 1981. 704с.

Поступила в редколлегию 25.11.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Илюшко В.М.

Баранов Николай Гаврилович, старший преподаватель кафедры ПЭЭА ХНУРЭ. Научные интересы: цифровая осциллография. Адрес: Украина, 61146, Харьков, ул. Академика Павлова, 148а, кв. 17, тел. +380-572-654425.

Ключник Игорь Иванович, канд. техн. наук, профессор кафедры ПЭЭА ХНУРЭ. Научные интересы: техника СВЧ, автоматизация проектирования, медицина, психология. Увлечения: охота, филателия. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380-57-7021-440; +380-57-7021-448; +380-57-7021-494.

Лодыгин Михаил Александрович, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: измерительные приборы, цифровая техника. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Шекспира, 12, кв.39, тел. +380-572-321974.

УДК 621.385.6

ЭВОЛЮЦИЯ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ В ГЕНЕРАТОРАХ И УСИЛИТЕЛЯХ М-ТИПА

ВАСЯНОВИЧ А.В., ГРИЦУНОВ А.В., ЛЕБЕДЕВ О.Г., ЧУРЮМОВ Г.И.

С помощью спектрального подхода исследуется временная эволюция спектров выходного сигнала в нестационарных режимах магнетронов и амплитронов. Устанавливается, что при включении этих приборов между периодом самогруппировки втулки и периодом ее синхронизации ВЧ-полем электродинамической системы (ЭС) находится период подвозбуждения собственного колебания электронного облака полем ЭС, т.е. в спектре сигнала присутствуют две гармоники: с частотой собственных колебаний втулки и частотой

возбуждаемой нормальной моды ЭС. При изменении вида колебаний магнетронного автогенератора электронный поток в течение некоторого времени имеет сложную конфигурацию, образованную воздействием на него ВЧ-полей предыдущей и последующей нормальных мод ЭС с сопоставимыми амплитудами. В результате спектр выходного сигнала обогащается многочисленными комбинационными составляющими.

1. Введение

В связи с развитием систем мобильных телекоммуникаций и расширением технологических применений СВЧ-энергии проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств приобретает в последние годы особую актуальность. Более всего она затрагивает мощные генераторы и усилители СВЧ-колебаний, какими являются, в частности, приборы М-типа. Даже небольшой в относительном выражении уровень побочных компонент в спектре выходного сигнала таких приборов в абсолютных единицах может достигать неприемлемых величин.

К настоящему времени опубликовано много работ по исследованию спектров выходного сигнала систем со скрещенными полями (см., например, [1]). Однако все они выполнены, во-первых, в много-частотном приближении, существенно ограничивающем достоверность результатов и возможность анализа полученных спектров, во-вторых — рассматривают только стационарные режимы работы исследуемых приборов. В то же время спектральные характеристики, полученные в стационарном состоянии, являются недостаточно полными с точки зрения проблем ЭМС радиотехнических и технологических устройств, работающих в импульсном режиме, так как на фронтах импульсов выходной сигнал обычно обогащается дополнительными спектральными составляющими. Конкуренция видов колебаний также чаще всего проявляется во время включения прибора (на фронте импульса). Неучет указанных явлений может существенно обесценить результаты исследований по отдельности как спектров сигналов, так и переходных процессов в СВЧ-приборах [2], которые связаны между собой настолько тесно, что имеет смысл только комплексное (совместное) их изучение.

Такая возможность появилась лишь после реализации спектрального подхода к моделированию СВЧ-приборов [3]. Он заключается в трансформации путем обратного преобразования Фурье заданного в частотной области входного ВЧ-сигнала во временную область и использовании его затем как граничного условия нестационарной модели. После моделирования прохождения синтезированной таким образом негармонической электромагнитной волны через ЭС с учетом ее нелинейного взаимодействия с электронным потоком временная выборка ВЧ-сигнала на выходе прибора, наряду с другими выходными параметрами (например, токами электродов), подвергается спектральному анализу для перевода ее обратно в частотную область.

Целью данной работы является комплексное изучение явлений в скрещенных полях на основе спектрального подхода, включающее анализ спектров сигналов при переходных процессах и их последующую физическую интерпретацию.

Основные задачи исследования:

— применение спектрального подхода к моделированию магнетронных автогенераторов (магнетронов) и магнетронных усилителей обратной волны (амплитронов) при их включении из холодного состояния;

— использование указанного подхода для исследования спектров выходного сигнала магнетронных генераторов при изменении вида колебаний в них.

Поскольку в большинстве магнетронов, с одной стороны, и амплитронов — с другой наблюдаются аналогичные явления, нет смысла рассматривать их для каждого конкретного прибора. В результате вычислительных экспериментов со многими конструкциями выбраны две из них, наиболее наглядно иллюстрирующие типичные явления в исследу-

емых классах приборов М-типа. Это магнетрон средней мощности М-156, предназначенный для бытовых СВЧ-печей, и амплитрон средней мощности МИУ-90 [4], используемый в РЛС гражданского назначения. Все последующее изложение базируется на анализе физических процессов именно в этих приборах.

Основные параметры магнетрона М-156: радиус катода 2,3 мм; радиус анода (по торцам ламелей) 4,45 мм; ширина прибора 10,0 мм; число ламелей $N=10$; собственная частота $N/2$ моды ЭС 2,45 ГГц, ее нагруженная добротность 127,0; аналогично для $N/2-1$ моды 4,4 ГГц и 286,0 соответственно; индукция внешнего магнитного поля 0,157 Тл; анодное напряжение 3,05 кВ.

Параметры амплитрона МИУ-90: радиус катода 5,5 мм; радиус анода 10,75 мм; ширина прибора 36,0 мм; число ламелей $N=11$; номер рабочей нормальной моды ЭС 4; частота рабочей нормальной моды 1,25 ГГц; ее сопротивление взаимодействия [5] 175 Ом; индукция внешнего магнитного поля 0,12 Тл; анодное напряжение 9,5 кВ; входная мощность 1,0 кВт (входной сигнал предполагается гармоническим).

2. Эволюция выходного спектра магнетрона при включении прибора

Общая картина переходного процесса при включении автогенераторов и усилителей обратной волны М-типа с катодом в пространстве взаимодействия и замкнутым электронным потоком описана в работе [2]. В частности, установлено, что данный процесс можно разделить на три этапа:

— предгенерационный, во время которого спицы объемного заряда еще не образовались;

— этап линейного взаимодействия потока с волной, когда нелинейными эффектами можно пренебречь. В это время происходит формирование спиц;

— этап нелинейного взаимодействия, характеризующийся нарастанием нелинейности процессов в приборе из-за достижения спицами анода и постепенным установлением стационарного режима.

Спектр выходного сигнала магнетрона в начале предгенерационного этапа имеет квазишумовой (с несколькими широкими спектральными компонентами) характер. Однако частоты доминирующих компонент в нем пока соответствуют не частотам собственных колебаний электронного облака, а собственным частотам нормальных мод ЭС. Это типично при возбуждении многомодовой колебательной системы с высокодобротными модами широкополосным внешним воздействием. Сам сигнал существенно хаотичен, но величина его довольно мала, на несколько десятков децибел меньше, чем в режиме генерации.

Как правило, во второй половине предгенерационного этапа, перед началом экспоненциального нарастания амплитуды ВЧ-поля, в спектре возбуждающего тока появляется устойчивая компонента с частотой, близкой к частоте рабочей моды ЭС, но

не равной ей (см. рис. 1, где видна доминирующая гармоника тока с частотой $0,91 f_{tube}$). Здесь f_{tube} — некая условная частота прибора, фигурирующая в уравнениях модели и равная в данном случае 2,45 ГГц. Амплитуда указанной компоненты достаточно велика, поэтому составляющая с ее частотой появляется в выходном сигнале прибора наряду с составляющей на частоте рабочего вида, обычно превышая ее по амплитуде (рис. 2). К данному моменту вдоль периметра промодулированной границы электронной втулки уже насчитывается $N/2$ волн, но скорость их вращения вокруг катода еще не равна фазовой скорости $N/2$ вида. Затем амплитуда $N/2$ моды нарастает, и ее ВЧ-поле синхронизирует электронный поток. На спектрограмме видно, как частота «несинхронной» компоненты постепенно как бы «подтягивается» к частоте $N/2$ моды ЭС, и данная компонента исчезает, сливаясь с «синхронной» составляющей на частоте рабочего вида. Этот момент характеризует окончание предгенерационного этапа и переход к этапу линейного взаимодействия.

Отсюда следует вывод, что на предгенерационном этапе, между периодом самогруппировки втулки, с одной стороны, и периодом ее синхронизации полем рабочей нормальной моды ЭС — с другой, лежит период «подвозбуждения» собственного колебания электронного облака ВЧ-полем ЭС (ср. с работой [6]).

Эволюция спектра выходного сигнала магнетрона на протяжении третьего этапа переходного процес-

са показана на рис. 3. В отличие от предыдущих спектрограмм, где для спектрального оценивания применялся модифицированный ковариационный метод, здесь использовано гармоническое разложение сигнала по незатухающим комплексным экспонентам [7]. Видно, в частности, постепенное сужение ширины полосы рабочего вида (для наглядности условная частота прибора f_{tube} здесь выбрана равной 2,3 ГГц). К моменту прекращения нарастания колебаний спектр выходного сигнала состоит из доминирующей гармонической компоненты на частоте $N/2$ вида ЭС $1,065 f_{tube}$ (ее амплитуда совпадает с амплитудой выходного сигнала магнетрона в установившемся режиме) и нескольких составляющих с незначительной амплитудой вблизи слегка возбужденной $N/2-1$ нормальной моды ЭС на частоте $1,913 f_{tube}$.

3. Эволюция выходного спектра амплитрона при включении прибора

В отличие от магнетрона, в амплитроне группировка втулки уже в самом начале предгенерационного этапа определяется воздействием поля входного сигнала. Это проявляется в независимости числа волн, укладываемых вдоль ее периметра, от индукции внешнего магнитного поля и анодного напряжения, и равенстве этого числа номеру рабочей нормальной моды ЭС. Как следствие, почти сразу же возникает описанное выше явление подвозбуждения собственного колебания электронного облака ВЧ-полем входного сигнала в ЭС. Спектр

выходного сигнала амплитрона лишь в течение короткого времени имеет квазишумовой характер. Затем в нем остаются две сравнительно узкополосные компоненты (рис. 4): с частотой входного сигнала f_{tube} и с частотой несинхронизированного, но подвозбужденного собственного колебания втулки $0,88 f_{tube}$.

Биения этих колебаний вызывают характерные пульсации амплитуды и фазы выходного сигнала, которые хорошо видны на рис. 2 и 3 работы [2] соответственно. Заметим, что это не амплитудная модуляция сигнала прибора, поскольку в противном случае на рис. 4 присутствовала бы «верхняя боковая полоса» входного сигнала, имеющая частоту примерно

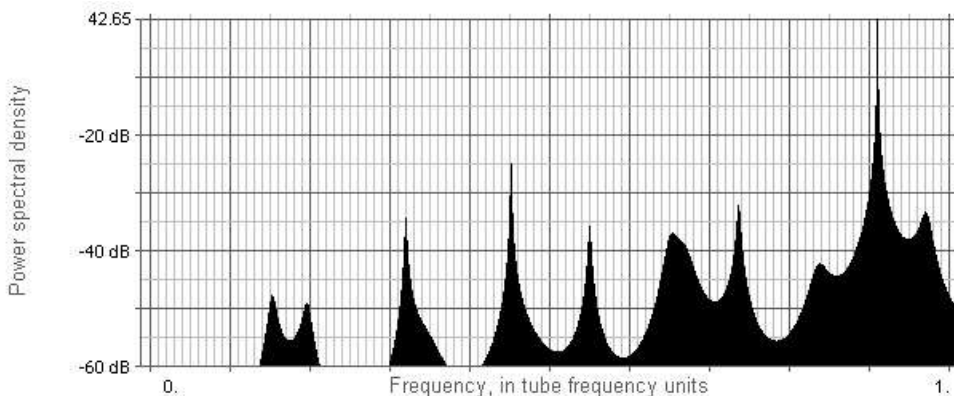


Рис. 1. Спектр возбуждающего тока в магнетроне во второй половине предгенерационного этапа

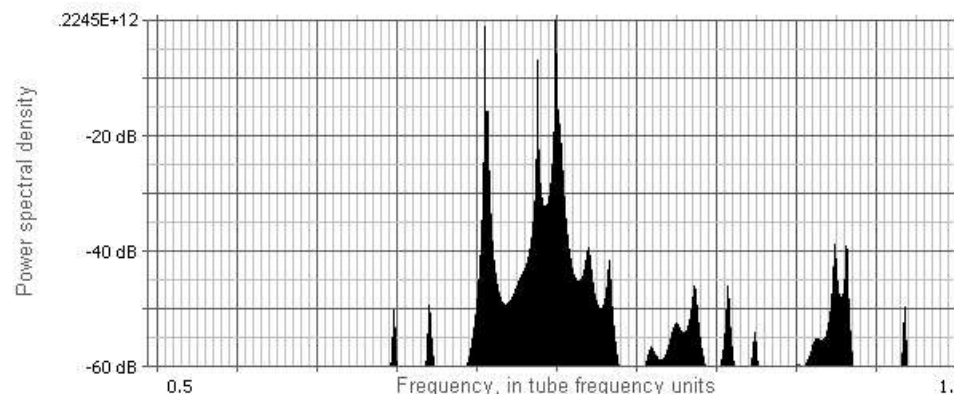


Рис. 2. Спектр выходного сигнала магнетрона во второй половине предгенерационного этапа

$1,12 f_{tube}$. Аналогичные биения между $N/2$ видом ЭС и несинхронной с ним модой электронного облака присутствуют и на рис. 1 работы [2], однако они не видны в масштабе графика. Характерно, что на рис. 2 и 4 настоящей статьи практически не прослеживаются комбинационные составляющие от взаимодействия двух указанных мод, что подтверждает линейность процессов во втулке на предгенерационном этапе.

В отличие от магнетрона, синхронизация электронного потока в амплитроне происходит не вследствие постепенного «подтягивания» частоты несинхронной моды к частоте рабочего вида, а путем мгновенного «захвата» первой из них ВЧ-полем входного сигнала в ЭС. Это хорошо видно на рис. 2 и 3 работы [2], где данному моменту соответствует внезапное прекращение пульсаций амплитуды и фазы выходного сигнала. В результате происходит переход к следующему этапу переходного процесса – этапу линейного взаимодействия.

Из простейших теоретических соображений очевидно, что продолжительное сосуществование двух указанных выше колебаний с отличающимися частотами в приборах М-типа, вместо постепенного нарастания одного из них (синхронного с рабочей модой), как считалось ранее, приводит к тому, что ширина спектра выходного сигнала на предгенерационном этапе этих приборов оказывается существенно большей значения, получаемого из простой оценки длительности нарастания выходной амплитуды при переходном процессе. Несмотря на относительную линейность электронного потока на данном этапе, некоторые комбинационные составляющие все же присутствуют. Кроме того, частота «несинхронной» моды изменяется на протяжении предгенерационного этапа, будучи зависимой, к тому же, от анодного напряжения. Анализируя описанные выше и другие результаты моделирования, можно сделать заключение, что фактическое расширение спектра выходного сигнала в течение переходного процесса, по

крайней мере, на порядок превышает значение, определяемое длительностью данного процесса.

4. Эволюция выходного спектра магнетрона при изменении вида колебаний

Наряду с исследованиями переходных процессов при включении приборов М-типа, в некоторых случаях необходим анализ этих процессов при смене вида колебаний магнетронного генератора. Например, как следует из вольтамперных характеристик $N/2$ и $N/2-1$ видов магнетрона М-156, полученных методом вычислительного эксперимента, область возбуждения $N/2$ вида расположена в диапазоне анодных напряжений 3,04,0 кВ. При дальнейшем увеличении напряжения происходит переход прибора на $N/2-1$ (так называемый высоковольтный) вид колебаний.

Работа магнетрона на высоковольтной моде достаточно исследована, в том числе и путем численного моделирования (см., например, [8]). Однако сам процесс перехода с вида на вид изучен неполно-

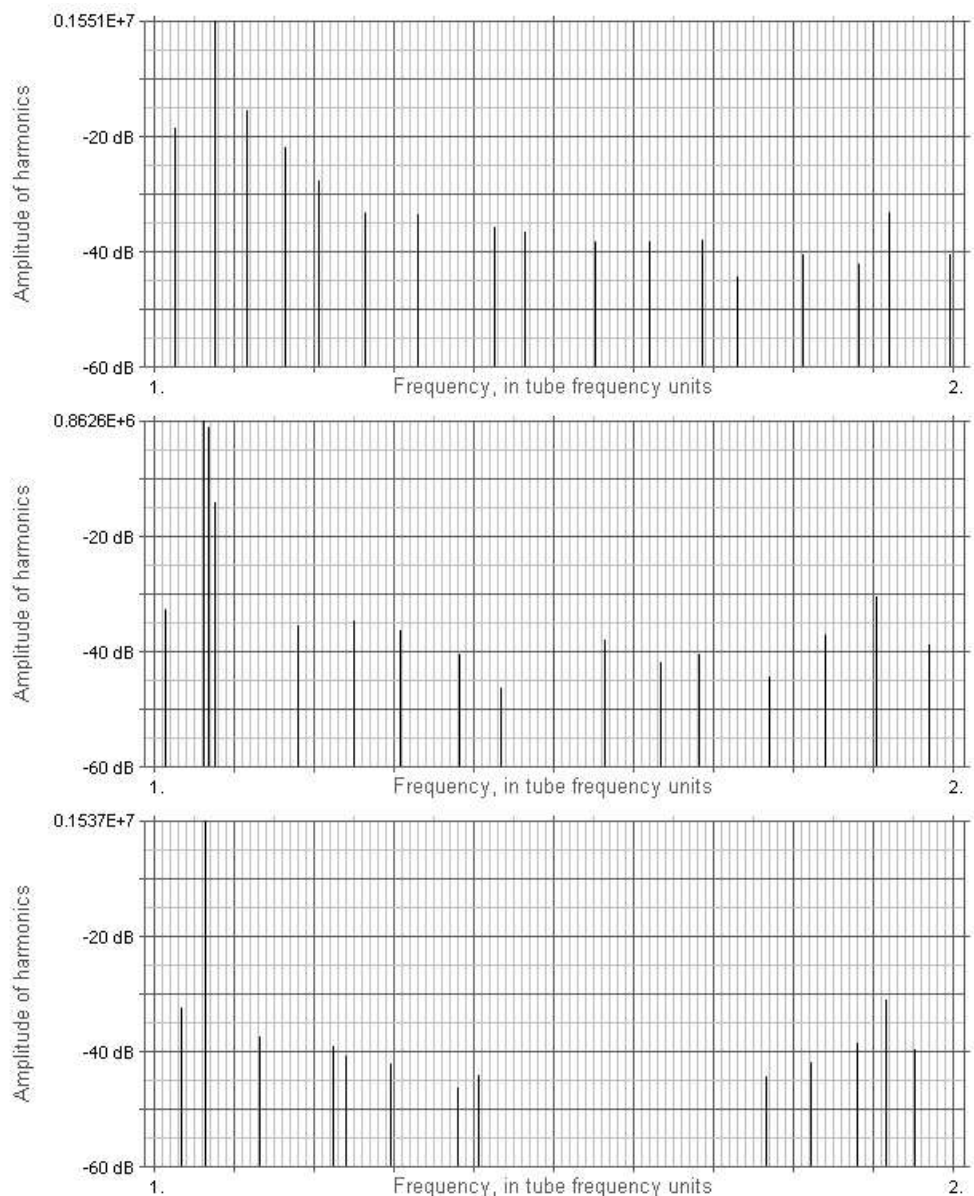


Рис. 3. Эволюция спектра выходного сигнала магнетрона на этапе нелинейного взаимодействия

тью, особенно это касается эволюции спектра выходного сигнала в нестационарном режиме. Учитывая практическую важность данного вопроса с точки зрения проблем ЭМС, приведем результаты численного анализа указанного явления с помощью спектральной модели.

В качестве исходного выберем стационарный режим работы магнетрона М-156 на $N/2$ виде. Анодное напряжение равно 3,9 кВ. Распределение объемного заряда в приборе для данного режима показано на рис. 3, а работы [9]. Спектр гармоник выходного сигнала изображен на верхнем графике рис. 5 (условная частота прибора f_{tube} здесь равна 2,3 ГГц). В некий момент времени анодное напряжение скачком увеличивается до 4,2 кВ. Непосредственно вслед за этим начинается постепенное разрушение спиц и уменьшение амплитуды $N/2$ моды. Одновременно возрастает амплитуда $N/2-1$ вида, слегка возбужденного и ранее (при работе прибора на $N/2$ моде). Временная зависимость этой амплитуды в общих чертах аналогична нарастанию амплитуды рабочего вида при включении магнетрона (рис. 1 работы [2]). Однако имеются существенные различия в конфигурации электронного потока, обусловленные одновременным существованием на протяжении длительного времени обоих видов колебаний сопоставимой амплитуды. В течение данного периода электронная втулка подвержена воздействию ВЧ-полей двух нормальных мод ЭС с различными частотами и постоянными распространения. Как следствие, структура электронного облака становится нерегулярной. С другой стороны, группировка втулки достаточно велика, чтобы вызвать нелинейные эффекты. Отсюда следует вероятность наличия большого числа комбинационных составляющих частот обеих нормальных мод ЭС и их гармоник, а также компонент, связанных с собственными колебаниями электронного облака, в спектре выходного сигнала прибора. Гармоническое разложение сигнала подтверждает это предположение. На среднем графике рис. 5 показан этот спектр спустя 100 периодов сигнала с частотой f_{tube} после увеличения анодного напряжения.

Заметно расширение полосы составляющих обеих нормальных мод (с частотами $1,065 f_{tube}$ и $1,913 f_{tube}$).

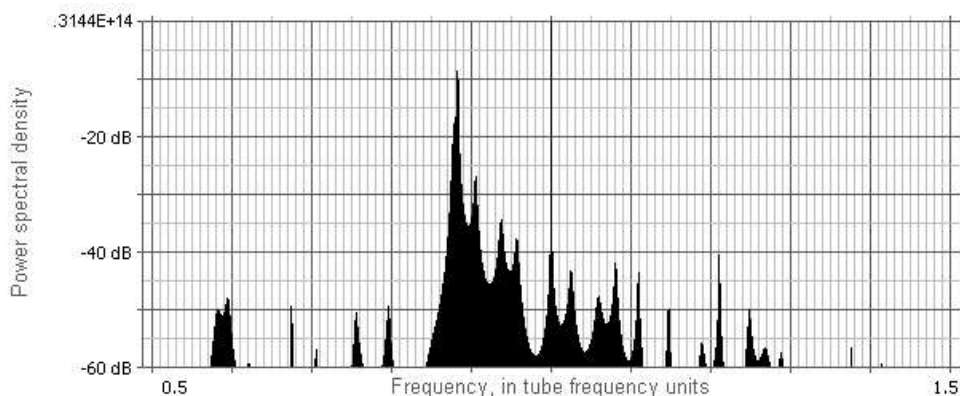


Рис. 4. Спектр выходного сигнала амплитрона в течение большей части предгенерационного этапа

Кроме того, наблюдается обширная группа спектральных компонент в окрестности частоты $1,5 f_{tube}$. Составляющая с данной частотой четко прослеживается и в спектре наведенного тока зонда (см. [9]). За пределами изображенного на рис. 5 диапазона появляются также другие компоненты.

Спустя 200250 периодов сигнала с частотой f_{tube} переходный процесс практически заканчивается. К этому моменту формируется устойчивая конфигурация электронного облака с шестью спицами (минус первая пространственная гармоника $N/2-1$ нормальной моды ЭС), как на рис. 3, б работы [9]. Спектр выходного сигнала «очищается» (нижний график на рис. 5). Помимо доминирующей составляющей с частотой $N/2-1$ моды, в нем присутствует неожиданной большой гармоника $N/2$ вида с амплитудой всего около $-5-7$ дБ от амплитуды высоковольтной моды. Причина столь сильного возбуждения $N/2$ моды электронным потоком, конфигурация которого на первый взгляд ортогональна пространственной структуре этой моды, остается пока не выясненной.

5. Выходной спектр магнетрона при пропуске импульса

Как отмечено в работе [2], особенностью включения приборов М-типа, установленной в ходе вычислительных экспериментов, является то, что переход от предгенерационного состояния магнетрона к генерирующему обычно происходит лишь в узком интервале анодных напряжений, в пределах порядка 1,01,05 от порогового напряжения. За верхней границей данного диапазона предгенерационный этап иногда существенно удлиняется, часто вообще не переходя в устойчивую генерацию (это вызывает пропуск импульса магнетронного генератора). Вначале, при больших анодных напряжениях, группировка электронного потока нарастает значительно быстрее, чем при напряжениях, близких к пороговому, но затем она начинает ослабевать и постепенно разрушается. В то же время генерирующий прибор функционирует в значительно большем интервале анодных напряжений, порядка 1,01,2 от напряжения Хартри и выше, без срыва колебаний. Таким образом, «мягкий» режим включения магнетрона реализуется только вблизи порогового напряжения.

Если имеет место пропуск импульса, т.е. переходный процесс в магнетроне не заканчивается установлением какого-либо из возможных видов колебаний ($N/2$, $N/2-1$ и т.д.), со временем формируется одно из состояний электронного потока, характерных для сгруппированной втулки в магнетронном

диоде. Однако при этом на протяжении нескольких десятков наносекунд в ЭС присутствует шумоподобный сигнал с максимумами спектральной плотности в области резонансных частот нормальных мод. Он является следствием упомянутого выше жесткого режима возбуждения прибора и вызван кратковременным увеличением амплитуды нормальных мод ЭС в результате их возбуждения начавшим группироваться электронным потоком. Разумеется, мощность этих колебаний невелика, на 3040 дБ меньше, чем ее значение в рабочем режиме, однако для мощных магнетронов абсолютное значение данных компонент может составлять несколько десятков ватт. Аналогичные процессы в амплитроне описаны в работе [2].

Из анализа указанных явлений вытекает следующая картина. Как известно, пороговое напряжение соответствует синхронизму с ВЧ-полем ЭС только внешней границы втулки. Внутри втулки напряженность электрического поля быстро уменьшается с радиусом (это следует из теоретических соображений и доказано в численных экспериментах).

Поэтому большая часть электронов в облаке объемного заряда при анодных напряжениях порядка порогового отстает от ВЧ-поля. В магнетроне такая втулка наводит в ЭС составляющую поля с частотой, меньшей рабочей частоты прибора (см. рис. 2), что уменьшает рассинхронизм и дает возможность сформироваться спицам (напомним, что колебания в данном приборе вначале возникают на частоте, меньшей рабочей, и лишь затем, с ростом спиц, «подтягиваются» к ней). В амплитроне, наоборот, частота входного сигнала фиксирована, и первоначальное колебание, возникающее на меньшей частоте, не имеет тенденции к «подтягиванию» к ней, поскольку в отсутствие существенной группировки втулки система еще достаточно линейна. Амплитуда же составляющей поля, наводимой этим колебанием в нерезонансной ЭС, недостаточна для его дальнейшего возбуждения.

Непонятным остается момент, почему при анодных напряжениях, заметно больших порогового, в амплитроне возникают спи-

цы (хотя и не на рабочем виде колебания), а в магнетроне, как правило, нет. Возможно, это связано с подвозбуждающим действием входного сигнала. Заметим, однако, что в ряде случаев наблюдается возбуждение и магнетрона при больших анодных напряжениях, причем предгенерационный этап при этом значительно короче, чем когда анодное напряжение близко к пороговому.

6. Выводы

Спектры сигналов в СВЧ-приборах, с одной стороны, и переходные процессы в них — с другой, настолько тесно связаны между собой, что имеет смысл только совместное (комплексное) их исследование. Спектральная методика моделирования СВЧ-приборов как нельзя лучше подходит для этой цели.

Переходный процесс как в автогенераторах, так и в усилителях М-типа с катодом в пространстве взаимодействия и замкнутым в азимутальном направлении электронным потоком можно условно разделить на три этапа, различающихся физичес-

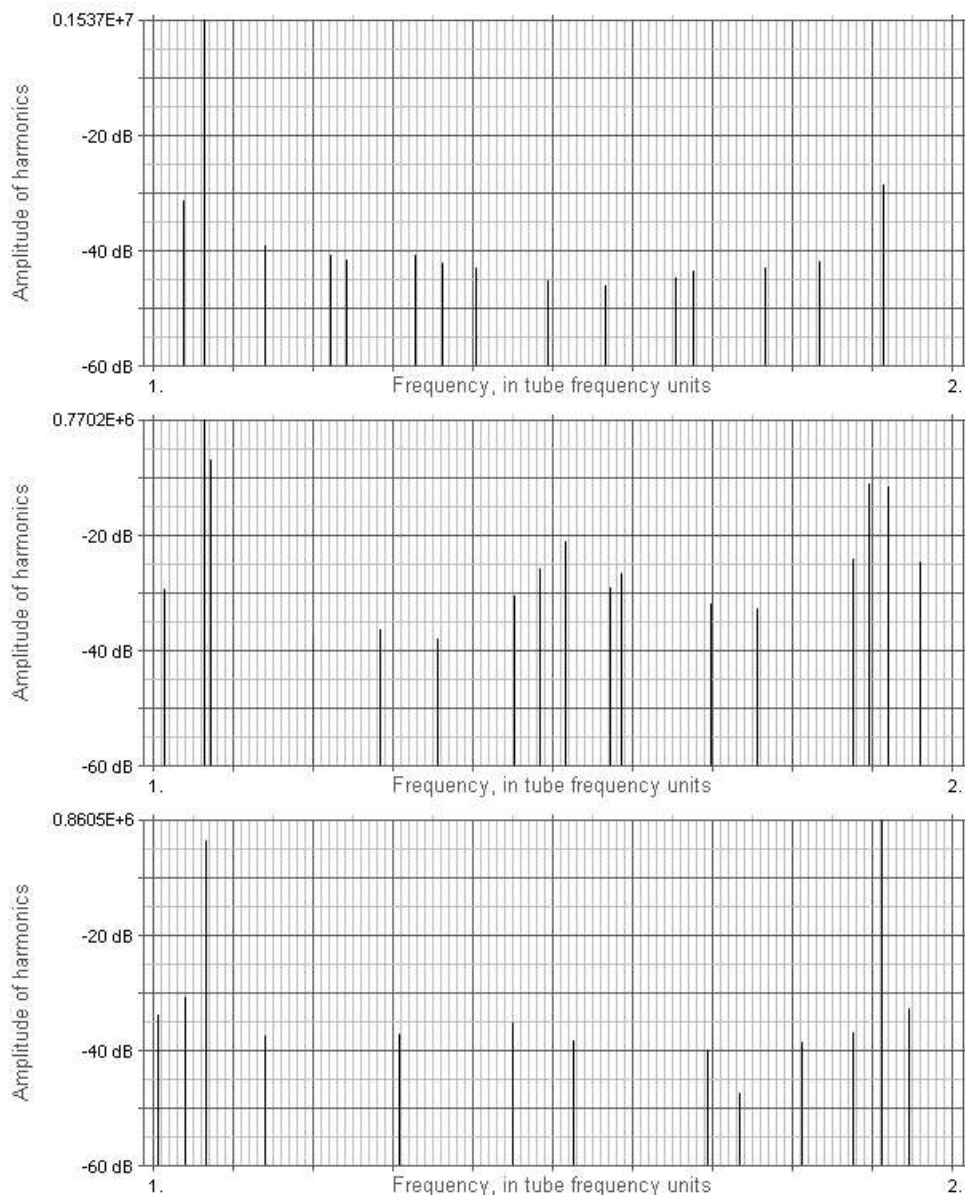


Рис. 5. Эволюция спектра выходного сигнала магнетрона при изменении вида колебаний

кой сущностью происходящих в течение их явлений. Это предгенерационный этап, этап линейного взаимодействия и этап нелинейного взаимодействия.

Предгенерационный этап является определяющим с точки зрения возбуждения колебаний в приборе. На данном этапе, между периодом самогруппировки втулки, с одной стороны, и периодом ее синхронизации полем нормальной моды ЭС – с другой, лежит период подвозбуждения собственного колебания электронного облака ВЧ-полем электродинамической системы, т.е. в спектре выходного сигнала присутствуют две частоты: частота собственных колебаний втулки и частота возбуждаемой нормальной моды ЭС.

При изменении вида колебаний магнетронного автогенератора, в течение переходного процесса электронный поток имеет сложную конфигурацию, вызванную воздействием на него электромагнитных полей затухающей и нарастающей нормальной мод ЭС с сопоставимыми амплитудами. В результате спектр выходного сигнала обогащается многочисленными комбинационными составляющими.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые теоретически проанализированы спектры сигналов приборов со скрещенными полями в нестационарном режиме; изучена их временная эволюция в течение переходных процессов; выяснены физические механизмы, вызывающие расширение выходных спектров генераторов и усилителей М-типа с замкнутым электронным потоком.

Практическое значение данной работы заключается в возможности применения полученных результатов для выработки технических предложений по оптимизации конструкции и режимов работы приборов со скрещенными полями, позволяющих минимизировать уровень шумов и побочных колебаний, и тем самым обеспечить выполнение современных жестких требований к ЭМС радиоэлектронных средств.

Аналогичные результаты до настоящего времени практически отсутствовали в литературе. Спектры сигналов, приведенные в монографии [1] и ей подобных, получены в многочастотном приближении, не являющемся достаточно адекватным для решения поставленных во введении целей и задач.

Целью дальнейших исследований должно быть выяснение влияния описанных выше явлений на качество сигнала конкретных радиотехнических, электронных и технологических систем.

Литература: 1. Кураев А.А., Байбури В.Б., Ильин Е.М. Математические модели и методы оптимального проектирования СВЧ приборов. Мн.: Навука і тэхніка, 1990. 392 с. 2. Васянович А.В., Грицунов А.В., Фролова Т.И., Чурюмов Г.И. Нестационарные процессы в приборах М-типа // Радиоэлектроника и информатика. 2001. № 1. С. 38–41. 3. Грицунов А.В. О спектральном подходе к моделированию СВЧ-приборов // Радиотехника и электроника. 2004. Т. 49, № 7. С. 882–885. 4. Козорезов Г.Г. Режимы работы амплитронного СВЧ-усилителя при аномально высоких значениях магнитного поля // Изв. Академии наук РФ. Сер. Физическая. 2001. Т. 65, № 12. С. 1708–1711. 5. Грицунов А.В. К расчету коэффициентов матричного уравнения возбуждения резонаторной замедляющей системы // Радиотехника. 2002. Вып. 124. С. 16–23. 6. Волин С.А., Грицунов А.В., Загорин В.А. Неавтономные генераторы М-типа // Тезисы докл. X Всес. науч. конф. «Электроника СВЧ». Том 1. Минск: МРТИ. 1983. С. 172. 7. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с. 8. Терентьев А.А. Конкуренция видов колебаний в магнетроне // Физические основы радиоэлектроники и полупроводников. Саратов: Изд-во Саратовск. пед. ин-та. 2000. Вып. 5. С. 24–25. 9. Gritsunov A.V., Turenko L.Y. Harmonic Decomposition of an Exciting Current in Simulation of the Electron Devices // Telecomm. and Radio Engineering. 2002. V. 58, No. 11–12. P. 56–66.

Поступила в редколлегию 04.10.2004

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Лучанинов А.И.

Васянович Анатолий Владимирович, канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры физических основ электронной техники ХНУРЭ. Научные интересы: компьютерное моделирование СВЧ-приборов со скрещенными полями. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 702-14-84.

Грицунов Александр Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедры микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: радиофизика и физическая электроника. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 702-13-62, e-mail: gritsunov@kture.kharkov.ua.

Лебедев Олег Григорьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры радиолокационных систем Харьковского института военно-воздушных сил. Научные интересы: компьютерный анализ и синтез современных радиолокационных систем. Адрес: Украина, 61165, Харьков, ул. Клочковская, 228, тел.: (0572) 30-82-14.

Чурюмов Геннадий Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физических основ электронной техники ХНУРЭ. Научные интересы: моделирование физических процессов в вакуумных и твердотельных электронных приборах. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 702-10-57.