

А. А. Омиров

ОАО «Владыкинский механический завод»

58, Дмитровское шоссе, Москва, 127238, Россия

E-mail: mosvmz@mail.ru

ПОДАВЛЕНИЕ ЩЕЛЕВОГО ВИДА КОЛЕБАНИЙ В КОАКСИАЛЬНЫХ МАГНЕТРОНАХ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

Среди всех конкурирующих видов колебаний в коаксиальном магнетроне (КМ) наибольшие трудности создает щелевой вид. Применение эффективного реактивного подавления этого вида позволяет повысить КПД магнетрона за счет ослабления диссипативного подавления. Имеющиеся в научной литературе методы расчета параметров щелевого вида колебаний содержат ошибки и некорректны в случае применения периферийной стенки анодной замедляющей системы (АЗС) более $0,1\lambda$. Также отсутствуют исследования по применению реактивного подавления щелевого вида колебаний в КМ миллиметрового (мм) диапазона длин волн. Устранены ошибки в существующем методе расчета параметров щелевого вида колебаний. Предложена модификация алгоритма расчета, а также новый метод, применимый при использовании АЗС с толщиной периферийной стенки более $0,1\lambda$. Предложен способ реактивного подавления щелевого вида колебаний в КМ мм диапазона длин волн путем изготовления щелей связи прямоугольного профиля различной аксиальной протяженности. Рассмотрен процесс «разрушения» спектра пространственных гармоник и структуры ВЧ-поля щелевого вида колебаний при применении реактивного подавления. Результаты исследования свидетельствуют о том, что при группировке щелей связи прямоугольного профиля различной аксиальной протяженности в КМ мм диапазона длин волн возможно достижение реактивного «разрушения» щелевого вида колебаний как минимум, не хуже, чем в сантиметровом (см) диапазоне длин волн при применении щелей связи различного профиля. Результаты исследований расширяют знания о способах реактивного подавления щелевого вида колебаний в КМ и могут быть применены при разработке и улучшении параметров КМ как см так и мм диапазона длин волн. Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: коаксиальный магнетрон, миллиметровый диапазон длин волн, щелевой вид колебаний, реактивное «разрушение» спектра пространственных гармоник ВЧ-поля.

В коаксиальном магнетроне (КМ) возможно селективное подавление всех конкурирующих видов колебаний, за исключением щелевого вида, практически без ущерба рабочему виду H_{011} стабилизирующего резонатора (СР).

Мешающее воздействие щелевого вида колебаний, называемого также длинноволновым π -видом (ДПВ), связано с тем, что потенциал синхронизации ДПВ меньше, чем у рабочего вида колебаний анодной замедляющей системы (АЗС), а потери во внешней нагрузке отсутствуют. Известны различные методы его подавления – диссипативный (или активный), реактивный и комбинированный.

Диссипативный метод реализуется установкой поглотительной керамики у конца щелей связи АЗС. В отсутствие группировки щелей связи требуется достаточно сильное перекрытие щелей связи поглотительной керамикой. При этом поглотительная керамика влияет не только на щелевой, но и на рабочий вид колебаний. Известно, что в некоторых приборах (например, МИ-463) при постановке керамики наблюдается падение добротности рабочего вида колебаний на величины до 45 %. Падение КПД, соответствующее столь сильному росту потерь на рабочем виде колебаний, в современных условиях неоправданно.

Реактивное подавление представляет собой объединение щелей связи в различные группы, отличающиеся конфигурацией. Изготовление щелей связи различного профиля эквивалентно нарушению однородности резонаторной системы, что, как известно, приводит к увеличению количества пространственных гармоник в суммарном ВЧ-поле щелевого вида колебаний, вследствие

чего уменьшается амплитуда конкурирующей гармоники. Также увеличивается интенсивность низших пространственных гармоник по отношению к основной и происходит рост излучения в торцы системы. Наиболее часто применяется группировка щелей связи гантельного и прямоугольного профилей.

В чистом виде реактивное подавление не применяется – дополнительное снижение эффективности щелевого вида происходит с помощью активного поглощения, и метод называется комбинированным. Этот способ получил наибольшее распространение в современных КМ сантиметрового (см) диапазона длин волн. В миллиметровом (мм) диапазоне длин волн в настоящее время используют только диссипативный метод подавления, что связано с ухудшением теплоотвода и уменьшением жесткости цилиндрической части АЗС при изготовлении щелей связи гантельной формы. Таким образом, поиск метода технологической реализации реактивного «разрушения» спектра пространственных гармоник (ПГ) ВЧ-поля ДПВ в КМ мм диапазона длин волн является актуальной задачей разработчиков.

Большое количество публикаций, посвященных способам реактивного подавления ДПВ, среди которых выделяются патенты [1, 2] и работа [3], говорят об актуальности проблемы. Однако на практике большая часть предлагаемых идей применения так и не нашла.

В публикации [4] показано, что задача оценки «разрушения» спектра пространственных гармоник ВЧ-поля щелевого вида колебаний требует нахождения проводимости щелей связи. В единственной известной методике [5], приме-

няемой для этих целей, существуют ошибки. В работе [6] предпринята попытка исключить их, однако повторный анализ показал, что полностью устранить недостатки не удалось.

Дальнейшее рассмотрение метода, изложенного в пособии [5], проведено с учетом работ [7, 8]. Установлено, что формулы для расчета щелей связи преобразованы из зависимостей, указанных в [7] для расчета проводимостей резонаторов прямоугольной и сложной (в частности, типа «щель–отверстие») форм замедляющей системы магнетрона. Во все эти выражения входит рабочая длина волны λ (фактически это рабочая длина волны в свободном пространстве). Вероятно, в формуле для расчета проводимости отверстия в щели связи гантельной формы также необходимо проводить эту замену. Помимо этого, автор работы [5] добавляет множитель $\sqrt{1 - (\lambda_{св} / \lambda_{кр})^2}$ в параметр $Y_{1шл}$ (1.1), объясняя это необходимостью рассчитывать его как для волноводов с H_{10} -волной, а не как для ленточной двухпроводной линией с волной TEM . В пособии [8] тем же автором эта формула приводится с иным множителем – $\sqrt{1 - (\lambda_{св} / \lambda_{кр})} / 2$. Исходя из имеющихся физических предпосылок, применение метода, использующего волноводные свойства при рассмотрении щели связи как двухпроводной длинной линии, не является корректным. Также обнаружена ошибка в записи формулы для расчета щелей связи сложной формы: согласно работе [7], в знаменателе должна находиться не сумма величин, а их разность.

Таким образом, при расчете щелей связи как двухпроводных длинных линий стоит пользоваться формулами (1)–(3), указанными в работе [7], с изменением длины волны свободного пространства на длину волны в волноводе, однако без добавления дополнительных множителей. Обозначение геометрических параметров щелей связи приведено на рис. 1.

Формула для расчета щели связи прямоугольного профиля:

$$Y_{шл} = -Y_{1шл} \operatorname{ctg} \left(\frac{2\pi l_{шл}}{\lambda_{в}} \right); \quad (1)$$

$$Y_{1шл} = \frac{j}{377} \frac{t_{ст}}{t_{щ}}; \quad (1.1)$$

$$\lambda_{в} = \frac{\lambda_{св}}{\sqrt{1 - (\lambda_{св} / \lambda_{кр})^2}},$$

где $t_{ст}$ – толщина периферийной стенки АЗС; j – мнимая единица; $\lambda_{св}$ – длина волны в свободном пространстве; $\lambda_{кр}$ – критическая длина волн щели связи.

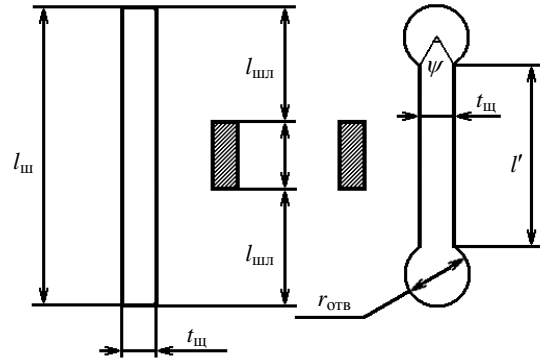


Рис. 1. Обозначение геометрических параметров щелей связи

Формула для расчета щелей связи сложной формы:

$$Y_{шл} = Y_{1шл} \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l'}{\lambda_{в}} \right) + \frac{Y_{нагр}}{Y_{1шл}}}{1 - \frac{Y_{нагр}}{Y_{1шл}} \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l'}{\lambda_{в}} \right)}, \quad (2)$$

для щели связи гантельной формы:

$$Y_{нагр} = \frac{j}{377} \frac{t_{ст}}{2\pi r_{отв}} \left[\frac{J_0(kr_{отв})}{J'_0(kr_{отв})} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{\sin m \frac{\psi}{2}}{m \frac{\psi}{2}} \right)^2 \frac{J_m(kr_{отв})}{J'_m(kr_{отв})} \right], \quad (3)$$

где $k = 2\pi / \lambda_{в}$ – волновое число; J_0, J_m – функции Бесселя нулевого и m -го порядков соответственно.

Далее будем называть данный метод шлейфовым. Фактически он отличается от метода, предложенного в работе [5]¹, наличием множителя $\sqrt{1 - (\lambda_{св} / \lambda_{кр})^2}$ в выражении (1.1). Необходимо отметить, что оба этих метода применимы только при небольшой толщине стенки АЗС, когда щель связи является тонкой диафрагмой. При толщине периферийной стенки АЗС более $0,1\lambda_{в}$ их использование не является корректным, так как щель связи в таком случае нельзя рассматривать как тонкую диафрагму.

Шлейфовый и предложенный в пособии [5] методы расчета проводимости щелей связи имеют приближение, согласно которому не учитывается в расчете участок щели связи на высоте замедляющей системы. Автором [5] указана рекомендуемая высота щелей связи – $l_{щ} = 2\lambda / 4 + h$, где λ – рабочая длина волны. В дальнейшем такие щели связи будем называть классическими. В см диапазоне длин волн погрешность от этого приближения можно считать допустимой: участок высоты анода составляет менее 17 % от всей

¹ Здесь и далее под методом, предложенным в [5], имеется в виду метод с рассмотренными выше исправлениями.

аксиальной протяженности щели. Однако при использовании щелей связи классического вида даже в длинноволновой части мм диапазона длин волн этот участок составляет более 33 %, увеличивая погрешность расчета более чем в два раза.

В мм диапазоне длин волн из-за необходимости улучшения отвода тепла возможно изготовление АЗС с толщиной периферийной стенки $t_{ст} > 0,1\lambda$ (в дальнейшем такие стенки будем называть «толстыми»). Это привело к разработке новой методики расчета щелей связи, применимой для «толстых» стенок АЗС. Щель связи в этом подходе рассматривается как участок прямоугольного (или гантельного) волновода, возбуждаемого на волне типа H_{10} . Проводимость щели связи считается как величина, обратная комплексному входному сопротивлению волновода (4):

$$Y_{вх} = \frac{1}{Z_{вх}}. \quad (4)$$

Величина потерь в волноводе столь малой длины пренебрежимо мала, что позволяет считать входное сопротивление мнимым. Согласно [9], выражение для входного сопротивления принимает вид

$$Z_{вх} = Z_e \frac{377 + Z_e \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda_B}\right)}{Z_e + 377 \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda_B}\right)}, \quad (5)$$

где Z_e – эквивалентное сопротивление волновода; l – соответствует $l_{щ}$ для щели связи прямоугольного профиля и l' для щели связи гантельного профиля; $Z_{св} = 377$ Ом – сопротивление свободного пространства.

Согласно [10], Z_e рассчитывается по формуле

$$Z_e = \frac{t_{щ}}{l} \frac{377}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_{св}}{\lambda_{кр}}\right)^2}}, \quad (6)$$

где a, b – размеры широкой и узкой стенки волновода соответственно (для гантельного волновода – размеры перемычки).

Для краткости в дальнейшем этот метод будет называться волноводным методом расчета. При малой толщине периферийной стенки АЗС применение этого метода является ошибочным в силу значительного влияния краевых эффектов, которые в расчете не учитываются. При использовании «толстых» периферийных стенок АЗС с физической точки зрения расчет этим методом является наиболее корректным.

В качестве прототипа для расчета взяты АЗС двух импульсных КМ длинноволновой части мм диапазона длин волн. АЗС 1 соответствует высоковольтному КМ, АЗС 2 – низковольтному. Для каждой из систем сравнение результатов расчета выполнено по трем параметрам (табл. 1):

– варианты 1 и 2 показывают изменение частоты ДПВ при уменьшении ширины щелей связи классического вида с толщиной периферийной стенки АЗС менее $0,1\lambda_B$ и более $0,1\lambda_B$ соответственно;

– вариант 3 показывает изменение частоты целевого вида колебаний при увеличении толщины периферийной стенки АЗС с использованием щелей связи неклассического вида.

Результаты расчета сведены в табл. 1.

Таблица 1

	АЗС 1			АЗС 2		
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 1	вариант 2	вариант 3
N	40			44		
$r_{дз}$, мм	2,9			1,9		
$r_{дз}$, мм	4,48			3,75		
τ , мм	0,22			0,13		
h , мм	2,0			2,0		
$f_{раб}$, ГГц	37,334			30,910		
$t_{ст2}$, мм	0,4	2	0,4/2	0,5	2,5	0,5/2,5
$t_{щ2}$, мм	0,4/0,2	0,4/0,2	0,4	0,3/0,15	0,3/0,15	0,3
$l_{щ2}$, мм	6,0	6,0	4,5	6,0	6,0	4,5
$r_{отв2}$, мм	0,4			0,3		
$r_{экр. пр}$ (метод Шлифера), мм	6,10/5,92	5,52/5,15	5,77/4,97	5,32/4,92	4,38/4,09	4,90/4,08
$r_{экр. гант}$ (метод Шлифера), мм	6,25/19,0	6,03/3,74	5,97/5,21	5,45/5,85	4,55/5,64	5,08/4,19
$r_{экр. пр}$ (шлейфовый метод), мм	6,30/6,30	6,29/6,27	5,91/5,12	5,61/5,36	4,84/4,42	5,08/4,18
$r_{экр. гант}$ (шлейфовый метод), мм	6,29/11,0	6,25/3,87	5,97/5,22	5,43/6,02	4,52/6,46	5,03/4,15
$r_{экр. пр}$ (волноводный метод), мм	5,47/5,16	4,71/4,59	5,83/5,32	5,07/4,74	4,19/3,98	5,84/6,69
$r_{экр. гант}$ (волноводный метод), мм	5,46/5,09	4,67/4,53	5,61/4,78	4,94/4,44	4,01/3,81	5,10/4,14

Примечания: N – количество резонаторов; $r_{дз}$ – радиус периферийной стенки АЗС; τ – толщина ламелей; $f_{раб}$ – частота π -вида колебаний АЗС; $r_{экр}$ – радиус по периферийной стенке резонатора, эквивалентного открытому

Анализ полученных результатов показал:

- Уменьшение ширины щели связи приводит к приближению глубины резонаторов, эквивалентных резонаторам с щелями связи («открытых»), к глубине резонаторов без щелей связи («закрытых»).

- Практически во всех случаях с увеличением толщины периферийной стенки АЗС частота щелевого вида колебаний приближается к рабочему π -виду. Анализ исключений показал, что график зависимости проводимости щели связи от толщины стенки АЗС носит монотонный характер, однако с разным углом наклона в различных методах. Зависимость проводимости лопаточного резонатора, нагруженного на проводимость Y_1 , от последней имеет нелинейный характер, чем и объясняются данные результаты.

- Расчет проводимостей гантельных щелей связи методом [5] показывает значительный разброс значений глубин «открытых» резонаторов, вплоть до уменьшения по сравнению с «закрытыми» (например, при увеличении толщины стенки АЗС). Шлейфовый метод в тех же точках показывает меньший разброс значений. Однако при отношении $r_{отв}/t_{щ}$, близком к единице, «открытые» резонаторы с гантельными щелями связи, согласно шлейфовому методу, являются более короткими, чем «открытые» резонаторы с прямоугольными щелями связи. Волноводный метод расчета показывает, что «открытые» резонаторы с гантельными щелями связи являются во всех случаях короче «открытых» резонаторов с прямоугольными щелями связи.

- Согласно шлейфовому методу и методу [5], уменьшение аксиальной протяженности щелей связи приводит к уменьшению глубины резонаторов, эквивалентных «открытым». Наоборот, согласно волноводному методу, уменьшение высоты щелей связи приводит к увеличению глубины этих резонаторов. Можно предположить, что при малой толщине стенок АЗС корректным является метод [5] либо шлейфовый, так как щель связи в таком случае представляет собой тонкую диафрагму. Наоборот, при «толстой» периферийной стенке АЗС необходимо использовать волноводный метод, так как тогда щели связи нельзя рассматривать как тонкую диафрагму. Для подтверждения правильности и определения границ применимости различных методов необходима экспериментальная проверка полученных результатов.

Группировку щелей связи возможно реализовать и при применении щелей связи только прямоугольного профиля. Она может быть вы-

полнена двумя способами: изменением аксиальной протяженности или ширины щелей связи.

Анализ работы магнетронов см диапазона длин волн с применением гантельных щелей связи позволяет сделать вывод, что при изменении ширины щели связи на уровне высоты анода приводит к модуляции вида H_{011} СР. Поэтому группировку щелей связи прямоугольного профиля целесообразно выполнять путем изменения аксиальной протяженности в различных группах.

Далее рассмотрены группировки щелей связи в АЗС, имеющих малую толщину периферийной стенки. По этой причине дальнейший расчет будет проводиться на основе метода [5] (результаты расчета шлейфовым методом в случае прямоугольных щелей связи имеют лишь незначительное количественное отличие). Известно, что максимальное «разрушение» спектра ПГ ВЧ-поля ДПВ достигается при наибольшем размере неоднородности, соответствующем максимальному различию по высоте щелей связи. Однако слишком большая разница по высоте между короткими и длинными щелями связи может привести к модуляции вида H_{011} СР. По этой причине разница между аксиальной протяженностью длинных и коротких щелей связи выбрана равной 15 % от высоты длинной щели связи.

В работе [6] показано, что эффективное «разрушение» спектра ПГ ВЧ-поля щелевого вида колебаний достигается при изготовлении двух групп щелей связи различного профиля. Аксиальная протяженность щелей связи при этом не изменялась. Максимальное «разрушение» спектра ПГ ВЧ-поля ДПВ достигается, когда количество «открытых» резонаторов с большей глубиной меньше $N/4$. Состав групп зависит от разницы по проводимости между различными щелями связи: чем она больше, тем количество щелей связи, соответствующих более глубоким «открытым» резонаторам, должно быть меньше.

Ниже представлены результаты расчета «разрушения» спектра ПГ ВЧ-поля ДПВ в различных магнетронах (АЗС 1 и 2 в табл. 1) с использованием группировки прямоугольных щелей связи по высоте. Длинные щели связи имеют аксиальную протяженность 6,0 мм, короткие – 5,1 мм. Для каждого случая рассчитаны варианты по ширине щелей связи – 0,2 и 0,4 мм для АЗС 1, 0,15 и 0,3 мм для АЗС 2. В табл. 2 и на рис. 2 приведены данные для АЗС 1, в табл. 3 и на рис. 3 – для АЗС 2. Здесь и далее потери измеряются в условных единицах, связанных с тем, что в расчете не учитываются физические свойства материала системы.

Таблица 2

Тип групп.	Ширина щели 0,4 мм			Ширина щели 0,2 мм		
	Частота	Потери	Потери отн.	Частота	Потери	Потери отн.
0д – 20к	25377	9905	1,000	27098	9777	1,000
5д – 15к	25007	11999	1,211	26168	17235	1,763
6д - 14к	24933	12297	1,241	26022	17255	1,765
7д - 13к	24868	12424	1,254	25907	16871	1,726
8д - 12к	24812	12412	1,253	25816	16335	1,671
20д - 0к	24430	10014	1,011	25324	9910	1,014

Таблица 3

Тип групп.	Ширина щели 0,3 мм			Ширина щели 0,15 мм		
	Частота	Потери	Потери отн.	Частота	Потери	Потери отн.
0д – 22к	22539	6764	1,000	24347	6638	1,000
6д – 16к	22339	7281	1,076	23951	9092	1,370
7д – 15к	22304	7364	1,089	23892	9209	1,387
8д – 14к	22271	7418	1,097	23841	9198	1,386
9д – 13к	22241	7441	1,100	23798	9098	1,371
10д – 12к	22214	7438	1,099	23762	8939	1,347
22д – 0к	21969	6835	1,010	23493	6681	1,006

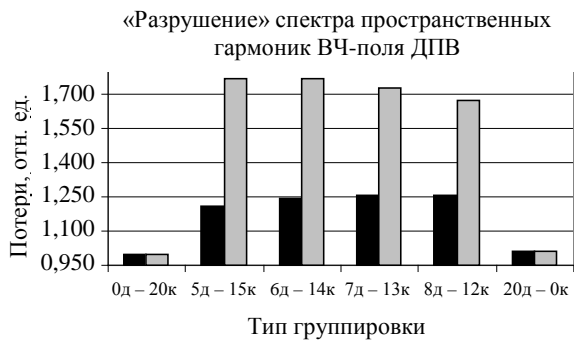


Рис. 2. Зависимость относительных потерь от количества щелей связи в длинноволновой группе при щелях связи шириной 0,4(■) и 0,2 (□) мм в АЗС 1

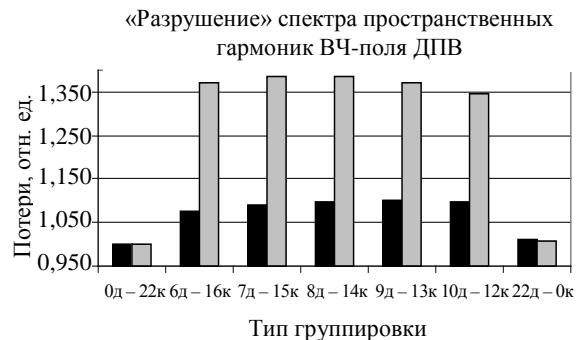


Рис. 3. Зависимость относительных потерь от количества щелей связи в длинноволновой группе при щелях связи шириной 0,3 (■) и 0,15 (□) мм в АЗС 2

Согласно полученным данным, группировка по высоте при изготовлении более узких щелей связи приводит к более сильному «разрушению» спектра ПГ ВЧ-поля щелевого вида колебаний, чем при изготовлении широких. При одинаковом изменении высоты прямоугольной щели связи (15 % от аксиальной протяженности длинной щели связи) максимально достижимое в 44-резонаторной системе (АЗС 2) «разрушение» спектра ПГ ВЧ-поля слабее, чем в 40-резонаторной (АЗС 1).

Исходя из вышеизложенных физических предположений, следует отметить, что при изготовлении «толстых» стенок АЗС необходимо использовать волноводный метод расчета. «Открытым» резонаторам с большей глубиной соответствуют в этом случае щели связи меньшей аксиальной протяженности. Поэтому для максимального

реактивного «разрушения» спектра ПГ ВЧ-поля ДПВ таких щелей связи должно быть меньше, чем более длинных. Качественная картина при этом не изменяется.

При группировке прямоугольных щелей связи с использованием вариации по высоте возможно разместить поглотительную керамику щелевого вида колебаний таким образом, чтобы она не перекрывала более короткие щели связи, а длинные имели значительное перекрытие. Это приведет к увеличению поглощения щелевого вида колебаний и уменьшению диссипативных потерь рабочего по сравнению с системой без использования группировки щелей связи.

Таким образом, можно сделать вывод о принципиальной возможности реактивного «разрушения» спектра ПГ ВЧ-поля ДПВ в мм диапазоне длин волн с помощью изменения аксиальной

протяженности прямоугольных щелей связи. Применение такой группировки позволит повысить КПД КМ мм диапазона длин волн. Ввиду наличия упомянутых выше разночтений, результаты расчета требуют экспериментальной проверки и оценки границ применимости. Только после этого возможно выработать окончательные рекомендации по группировке прямоугольных щелей связи для достижения максимального «разрушения» спектра ПГ ВЧ-поля ДПВ.

Библиографический список

1. Пат. США № 3.034.014. Кл. 315-39.77 / J. Drexler; заявитель «Bell Telephone Lab., Inc»; приоритет в США. – 1958.
2. Пат. США № 2.976.458. Кл. 315-39.77 / J. Feinstein; заявитель «Bell Telephone Lab., Inc»; приоритет в США. – 1958.
3. Гурко А. А. Пути и средства совершенствования параметров магнетронов миллиметрового диапазона: дис. ...-д-ра техн. наук / А. А. Гурко. – М., 2004. – 220 с.
4. Омиров А. А. Способы подавления щелевого вида колебаний в коаксиальном магнетроне / А. А. Омиров, К. И. Чистяков // Тр. XII межвуз. науч. шк. молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» / Моск. гос. ун-т. – М., 2011. – С. 185–190.
5. Шлифер Э. Д. Расчет и проектирование коаксиальных и обращенно-коаксиальных магнетронов / Э. Д. Шлифер. – М.: Моск. энергет. ин-т, 1991. – 168 с.
6. Омиров А. А. Электродинамика анодной замедляющей системы коаксиального магнетрона с реактивным подавлением щелевого вида колебаний / А. А. Омиров // 6-я отраслевая конф. Технологии информационного общества: тез. докл. / Моск. техн. ун-т связи и информатики. – М., 2012.
7. Магнетроны сантиметрового диапазона: в 2 т. Т. 1 / пер. с англ. под ред. С. А. Зусмановского. – М.: Сов. радио, 1950. – 420 с.
8. Шлифер Э. Д. Расчет многорезонаторных магнетронов / Э. Д. Шлифер. – 2-е изд. – М.: Моск. энергет. ин-т, 1966. – 144 с.
9. Лебедев И. В. Техника и приборы сверхвысоких частот: в 2 т. Т. 1 / И. В. Лебедев. – М.–Л.: Гос. энергет. изд-во, 1961. – 512 с.
10. Алмазов-Долженко К. И. Техническая электродинамика и устройства СВЧ / К. И. Алмазов-Долженко, А. Н. Королев. – М.: Науч. мир, 2006. – 263 с.

Рукопись поступила 31.05.2012 г.

A. A. Omirov

SUPPRESSION OF THE SLOT OSCILLATION MODE IN THE MM WAVELENGTHS RANGE COAXIAL MAGNETRON

Among all the competing oscillation modes in coaxial magnetron (CM) the slot oscillation mode causes the greatest difficulties. Application of its effective reactive suppression allows to raise magnetron efficiency at the expense of easing active suppression. Available in scientific literature, the methods for a slot oscillation mode parameters calculation contain errors and are

incorrect in case of applying a peripheral wall of anode slowing down system (ASS) more than 0.1λ . Also there are no researches on application of a slot oscillation mode reactive suppression in a mm wavelengths range CM. The existing method of parameters calculation of a slot oscillation mode has been corrected. The calculation update and also a new method have been suggested for the use of ASS with peripheral wall thickness more than 0.1λ . The way of slot oscillation mode reactive suppression in a mm wavelengths range CM by manufacturing of two group of a rectangular profile slots with various axial extent has been suggested. “Destruction” of a spatial harmonics spectrum and the HF-field structure of a slot oscillation mode is considered at reactive suppression application. The research has shown that at grouping of a rectangular profile slot with various axial extent in a mm wavelengths range CM the achievement of reactive “destruction” of slot oscillation mode is possible at least not worse than in a cm wavelengths range at various profile slot application. Researches results expand knowledge about reactive suppression of a slot oscillation mode in CM and can be applied by working out and improvement of parameters CM including mm wavelengths range.

Key words: coaxial magnetron, mm wavelengths range, slot oscillation mode, reactive “destruction” of HF-field spatial harmonics spectrum.

A. A. Omirov

ЗАГЛУШЕННЯ ЩІЛИННОГО ВИДУ КОЛИВАНЬ У КОАКСІАЛЬНИХ МАГНЕТРОНАХ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Серед усіх конкуруючих видів коливань у коаксиальному магнетроні (КМ) найбільші труднощі створює щілинний вид. Застосування ефективного реактивного придушення цього виду дозволяє підвищити ККД магнетрона за рахунок ослаблення дисипативного заглушення. Наявні в науковій літературі методи розрахунку параметрів щілинного виду коливань містять у собі помилки та є некоректними у випадку застосування периферійної стінки анодної сповільнюючої системи (АСС), завтовшки більше $0,1\lambda$. Також відсутні дослідження із застосуванням реактивного придушення щілинного виду коливань у КМ міліметрового (мм) діапазону довжин хвиль. Усунуто помилки існуючого методу розрахунку параметрів щілинного виду коливань. Запропоновано модифікацію алгоритму розрахунку, а також новий метод, застосований при використанні АСС із периферійною стінкою завтовшки більше $0,1\lambda$. Запропонований спосіб реактивного заглушення щілинного виду коливань у КМ мм діапазону довжин хвиль шляхом виготовлення щілин зв'язку прямокутного профілю різної аксіальної довжини. Розглянуто процес «руйнування» спектру просторових гармонік і структури ВЧ-поля щілинного виду коливань при застосуванні реактивного заглушення. Результати дослідження свідчать про те, що при угрупованні щілин зв'язку прямокутного профілю різної аксіальної довжини у КМ мм діапазону довжин хвиль можливе досягнення реактивного «руйнування» щілинного виду коливань, як мінімум, не гірше, ніж у КМ сантиметрового (см) діапазону довжин хвиль при застосуванні щілин зв'язку різного профілю. Результати досліджень розширюють знання про засоби реактивного заглушення щілинного виду коливань у КМ і можуть бути застосовані при розробці та поліпшенні параметрів КМ як см, так і мм діапазону довжин хвиль.

Ключові слова: коаксиальний магнетрон, міліметровий діапазон довжин хвиль, щілинний вид коливань, реактивне «руйнування» спектру просторових гармонік ВЧ-поля.