

Результаты расчета контура линии D1 приведены на Рис. 5. Результирующее значение уширения линии излучения по полувысоте составляет $\Delta\lambda=2.9\cdot 10^{-12}$ м.

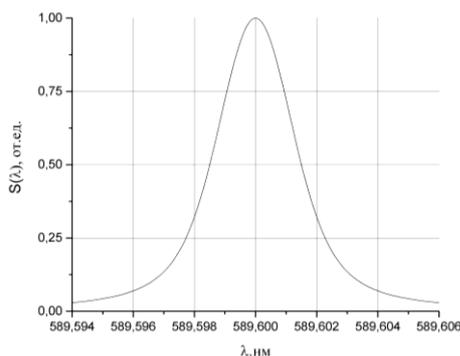


Рис.5 Контур линии D1 натрия

4. Обобщение результатов и выводы

Результаты экспериментов показывают, что мы имеем дело с усилением спонтанного излучения на D-линиях натрия. Потому как наблюдается нелинейная зависимость интенсивности излучения на D-линиях от интенсивности накачки и укорочение фронта импульса, при появлении излучения на линиях натрия. Пороговая плотность мощности накачки при которой наблюдается регистрация ASE-излучения на D-линиях равна 2-3 МВт/см², что соотносится с данными других авторов [1]. Для дальнейших оценок перспективности и возможности усилительных характеристик активных сред на парах щелочных металлов необходимо провести ряд экспериментов по измерению однопроходового усиления среды и ширины спектра излучения (и поглощения) на D₁ и D₂ линиях.

Рассчитанная полуширина линии излучения 2.5 пм, оказывается одного порядка с полуширинами атомных линий на самограниченных переходах меди и других металлов, используемых в активных оптических системах (лазерном проекционном микроскопе и лазерном мониторе) [2].

Авторы выражают благодарность Суханову В.Б., Солодовой Т.А. и Соковику В.Г. за помощь при подготовке экспериментов и обсуждение результатов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

Список литературы:

- [5] Markov, R.V., Plekhanov, A.I. & Shalagin, A.M. 2001, "Population inversion on transitions to the ground state of atoms upon nonresonance absorption of laser radiation", *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, vol. 93, no. 5, pp. 1028-1034.
- [6] Evtushenko G.S. From a metal vapor laser projection microscope to a laser monitor (by the 50 year-anniversary of metal vapor lasers). // *Proc. of International Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers (AMPL-2015) Tomsk, Russian Federation, September, December 15, 2015, Eds. Victor F. Tarasenko and Andrey M. Kabanov Proc. of SPIE, Volume 9810, pp. 98101F1-98101F-9.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЕТАТРОНА МИБ-7.5/4

Затонов Иван Андреевич, Штейн Михаил Михайлович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Штейн Михаил Михайлович

E-mail ivan.zatonov@yandex.ru

Основной проблемой при увеличении частоты циклов ускорения бетатрона является его перегрев. Как показали многочисленные предыдущие исследования, наибольшая температура имеет место в центральной части электромагнита бетатрона, где расположены магнитные шунты, обмотки смещения и контрактора а также ускорительная трубка. Особенности конструкции бетатрона затрудняют эффективный отвод тепла от центра электромагнита путем вентиляции или другими известными способами охлаждения. Отвод тепла осуществляется, в основном, за счет теплопроводности, что требует высокого градиента температур и, следовательно, приводит к перегреву центра электромагнита.

Для оценки возможности повышения частоты бетатрона МИБ-7,5/4, который сейчас эксплуатируется на частоте 300 Гц, были сняты температуры в нескольких точках центральной части электромагнита. Была

поставлена задача определить величины установившейся температуры при работе бетатрона в циклическом режиме «работа -пауза». Так как при работе бетатрона происходит его нагрев, а во время паузы охлаждение, то при анализе теплового режима цикл правильнее назвать «нагрев-охлаждение».

Температура измерялась в четырех точках. Один термодатчик был наклеен прямо на провод обмотки смещения. Второй располагался на поверхности центрального магнитного шунта на радиусе, примерно равном половине радиуса самого шунта. Для установки в это место в немагнитных прокладках была сделана соответствующая прорезь. Еще один датчик был размещен на внутренней поверхности баллона трубки в зазоре между ней и шунтами. Четвертый термодатчик был прикреплен к выводу анода ускорительной трубки.

Датчиками температуры служили тонкопленочные платиновые сопротивления М222 Pt1000 со следующими параметрами: размеры 2,3x2,1 мм, номинальное сопротивление 1000 Ом при 0оС, температурный коэффициент сопротивления 3,85x10⁻³ К⁻¹, класс допуска А, диапазон измеряемых температур -50...300 оС. Зависимость сопротивления датчика от его температуры, имеет вид

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \quad (1)$$

,где: R_0 - сопротивление термодатчика при 0°С; α - температурный коэффициент сопротивления; T- температура в месте установки датчика.

Абсолютная температура определяется не только выделяемой мощностью, но и температурой окружающей среды. Более точно тепловые свойства самого объекта характеризует температура перегрева:

$$\theta = T - T_0 \quad (12)$$

, где T_0 - некоторая начальная температура.

Экспериментальные исследования проводились только для одного циклического режима работы бетатрона: «30 минут нагрев- 30 минут охлаждение». Этот цикл был выбран потому, что он является одним из пунктов приемо-сдаточных испытаний.

Эксперимент на каждой из частот длился по 150 минут. Таким образом, в ходе эксперимента были сняты данные для трех процедур нагрева с чередованием между ними двух процедур охлаждения. Такое время измерений достаточно, потому что на третьем цикле процессы нагрева и охлаждения можно считать практически установившимися.

Аппроксимация температурных циклов производилась для обмотки смещения и магнитных шунтов. В первую очередь была поставлена задача определения возможности построения дополнительных теоретически-рассчитанных циклов ($t > 150$ мин) при режиме работы «30 минут нагрев-30 минут охлаждение» на основе имеющихся экспериментальных данных.

В работе [1] подробно рассмотрено математическое описание циклических тепловых режимов и предлагается делать это описание в виде одной или в более сложных случаях суммой нескольких экспонент. Для обмотки смещения нужны минимум две экспоненты, которые условно можно назвать быстрой и медленной. Для шунта удовлетворительную точность может дать и одна экспонента.

Основываясь на этой рекомендации, предлагается следующее аналитическое описание температуры для обмотки смещения (3.5):

$$\begin{aligned} T_h(t) &= a * [1 - \exp(-b * t)] + c * [1 - \exp(-d * (t + S_{hi}))], 0 \leq t \leq t_h \\ T_c(t) &= a * \exp(-b * t) + c * \exp(-f * (t + S_{ci})), 0 \leq t \leq t_c \end{aligned} \quad (3)$$

, где a,b- коэффициенты аппроксимации быстрой экспоненты; c,d,f- коэффициенты аппроксимации медленной экспоненты; $T_h(t)$ - температура во время этапа нагрева; $0 \leq t \leq t_h$ - длительность этапа нагрева;

$T_c(t)$ - температура во время этапа охлаждения; $0 \leq t \leq t_c$ -длительность этапа охлаждения; S_{hi} - температурное смещение при нагреве на i-том цикле; S_{ci} - температурное смещение при охлаждении на i-том цикле. В формулах (3) время t всегда отсчитывается от начала этапа.

Формулы, описывающие температурные циклы для центральных магнитных шунтов, отличается отсутствием второй экспоненты.

Рассчитав коэффициенты аппроксимации при помощи программ математического моделирования, были получены теоретические температурные циклы при времени t большем 150 минут, а также рассчитаны

другие циклы работы бетатрона: «45 минут нагрев – 15 минут охлаждение»; «15 минут нагрев – 15 минут охлаждения».

Таким образом, используя формулы (3) стало возможным произведения расчета теоретических параметров. При наличии экспериментальных данных температур перегрева на двух частотах, возможно произвести максимальную частоту бетатрона МИБ-7,5/4, при которой будет обеспечена его достаточно длительная надежная работа. Полученные данные позволяют более глубоко исследовать температурные режимы бетатрона, в частности, определить температуры при других временных циклах «нагрев-охлаждение» и, возможно, оптимизировать эти циклы с целью уменьшения максимальной температуры.

Список литературы:

[1] Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. *Тепловые режимы электронной аппаратуры. Учебное пособие для студентов высших технических заведений. «Энергия», 1971. С 248.*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАДАРА ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С КОММУТИРУЕМОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ

*Балзовский Евгений Владимирович, Буянов Юрий Иннокентьевич
Национальный исследовательский Томский государственный университет
tduty5@mail.ru*

Использование радаров подповерхностного зондирования для исследования автодорог позволяет диагностировать скрытые дефекты и вовремя предотвращать повреждения дорожного полотна. Несмотря на существование готовых технических решений и приборов, невысокая скорость сканирования при движении и высокая цена на зарубежные изделия являются препятствиями для внедрения таких устройств. При создании отечественного сканера автодорог могут быть применены алгоритмы радиовидения объектов, скрытых за непрозрачными препятствиями [1, 2]. Облучение поверхностного слоя и нижележащих слоев дорожной одежды сверхширокополосными (СШП) импульсами наносекундной длительности обеспечивает высокое пространственное разрешение, а наличие энергии в низкочастотной части спектра – проникающую способность. Из-за увеличения потерь в среде с ростом частоты, для увеличения глубины зондирования используются СШП импульсы, спектр которых смещен в область низких частот и занимает полосу 0,5–2 ГГц. Для построения радиоизображения неоднородностей дорожного полотна синтезируется апертура перемещением приемно-передатчика радара вдоль дороги, а для увеличения ширины сканируемой полосы используется матрица антенн, последовательно подключаемых к генератору или приемному устройству [3].

Элемент антенной решетки георадара выполнен по технологии комбинированных антенн [4], представляет собой совокупность излучателей электрического и магнитного типов, имеет малые электрические размеры и слабо меняющиеся характеристики направленности и входной импеданс в полосе частот 0,5–4 ГГц [5, 6]. На пластине стеклотекстолита (1–4 на *рис. 1*) размером 110×110×1 мм, закрепленной в алюминиевом уголке 5 сечением 120×120 мм длиной 0,6 м, печатным способом выполнен излучатель электрического типа 6, а свободный от металла участок платы 7 является излучателем магнитного типа. Амплитудно-фазовые соотношения для возбуждения излучателей обоих типов определяются размерами участка 7 и целевой линии 8.

Моделирование антенного элемента и антенных решеток проведено в программном продукте CST Studio Suite с академической лицензией. Расчетный и измеренный коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) одиночного элемента не превышает величины КСВН = 2 в диапазоне частот 0,6–4,3 ГГц. В диапазоне до 2 ГГц результаты расчетов и измерений практически совпадают, на более высоких частотах расхождение зависимостей КСВН может быть связано с тем, что потери в материалах антенны при моделировании учтены недостаточно точно. КСВН антенн в составе решетки ухудшается в области низких частот. Нижняя граница полосы согласования по уровню КСВН = 2 поднимается до 0,78 ГГц.

Проведено моделирование приемной и передающей антенных решеток, расположенных над диэлектрическим слоем, геометрия задачи представлена на *рис. 2*. Антенный элемент 1 возбуждается биполярным импульсом напряжения длительностью 0,4 нс, элементы 2–4 регистрируют отраженные импульсы при наличии пластины 5 толщиной 150 мм с дисперсионными свойствами, соответствующими сухому бетону: диэлектрическая проницаемость равна 5,5–6 на частотах до 4 ГГц, тангенс угла диэлектрических потерь имеет величину до 0,25 на частоте 1 ГГц. Выявлено, что направленные свойства