



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ИМПУЛЬСНОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ЛАЗЕРНОМ ДАЛЬНОМЕРЕ

БЫКОВ М.М., ТЮРИН В.С., ТЮРИН С.В.

Приводятся результаты моделирования процесса формирования сигналов в лазерных системах дистанционного измерения расстояний. Моделирование было проведено в среде MATLAB, с помощью прикладного пакета программ SIMULINK.

1. Введение

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения точности измерений и оптимизации параметров лазерных измерительных устройств, широко применяющихся в последнее время в различных промышленных отраслях.

Точность измерений в таких устройствах существенно зависит от характеристик измерительного тракта и параметров сигнала. При этом наибольшее влияние на точность измерений оказывают флуктуационные процессы в передающем, приемном и атмосферном каналах. Для снижения этого влияния используют разнообразные методы, однако они эффективны только для конкретной реализации конструкции, элементной базы и алгоритмов обработки измерительных устройств [1]. При этом временные затраты по оптимизации их параметров могут достигать 60% от общего времени разработки. Для экономии временных и финансовых ресурсов и повышения эффективности методов снижения влияния различных факторов на точность измерений необходимо разрабатывать универсальные модели процессов формирования сигналов, учитывающие изменения параметров устройств и условий измерений. Решению этой задачи и посвящена данная статья.

Цель исследования – создание модели, адекватно описывающей процесс формирования сигналов в импульсном полупроводниковом лазерном дальномере.

Задачи исследования:

- 1) определение максимального количества факторов, обуславливающих характер процесса формирования измерительных сигналов;
- 2) определение математического аппарата, описывающего влияние всех факторов и флуктуаций параметров измерительного тракта;

3) синтез структуры модели, реализующей математические преобразования сигнала.

2. Математическая модель

На основе структурной схемы лазерного устройства и принципов его работы была разработана математическая модель. Она построена на основе программной системы MATLAB и включает в себя совокупность блоков-субсистем, объединенных алгоритмом функционирования дальномера и имеющих сложную внутреннюю структуру.

Эти субсистемы характеризуются высоким уровнем интеграции и реализуют весь математический аппарат, на основе которого данное лазерное устройство работает [2]. Каждый блок имеет панель ввода и коррекции исходных параметров, позволяющую в соответствии с алгоритмом реализовать внутренние математические преобразования, а также исследовать его функциональные возможности. Модель предусматривает возможность визуализации всех выходных сигналов блоков с помощью осциллографов, внесенных в ее структуру. Результат измерения дистанции фиксируется индикаторным устройством.

Блок «Зондирующий сигнал» представляет собой субсистему, которая моделирует формирование зондирующего сигнала $S_1(t)$ дальномера в виде гауссова импульса (рис. 1), описываемого выражением:

$$S_1(t) = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{(t - m_t)^2}{2 \cdot \sigma_t^2}\right), \quad (1)$$

где P_0 – пиковая мощность лазерного излучателя (в модели $P_0=75\text{Вт}$); t – непрерывное модельное время; m_t – математическое ожидание (в модели $m_t=35\text{нс}$); σ_t – среднее квадратическое отклонение (в модели $\sigma_t=19\text{нс}$).

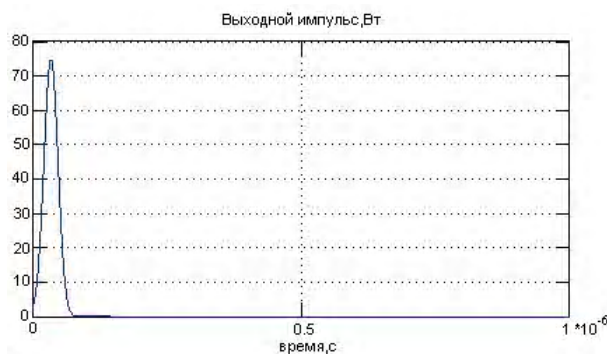


Рис. 1. Выходной импульс дальномера

Параметры m_t и σ_t выбраны в целях получения длительности зондирующего сигнала, равной 30 нс по уровню 0,5 от максимума. В блоке предусмотрена возможность формировать последовательности (пачки) импульсов, а также осуществлять изменение формы зондирующих сигналов. Субсистема построена на основе имеющихся в библиотеке Simulink элементарных блоков. Блок «Clock» формирует непрерывное модельное время, начало отсчета привязано к старту модели.

Блок «Принимаемый сигнал» представляет собой подсистему, осуществляющую формирование отраженного от объекта сигнала с учетом его задержки, связанной с распространением импульса до объекта и обратно, а также ослабления, обусловленного влиянием атмосферы, приемо-передающей оптики, отражающей поверхности и длины трассы. Задержка импульса оценивается выражением:

$$\tau = \frac{2 \cdot R}{c}, \quad (2)$$

где τ – задержка; R – расстояние до объекта; c – скорость света.

Задержка импульса осуществляется с помощью блока библиотеки Simulink, позволяющего устанавливать произвольное время задержки входного сигнала на сигнальном входе путем задания времени задержки на втором входе.

Параметр ослабления (A) отраженного сигнала был получен из уравнения лазерной локации [3]:

$$A = \frac{D_{\text{пр}}^2 \cdot \rho_0 \cdot T_{\text{ос}} \cdot \cos(\varphi)}{4 \cdot R^2} \cdot \exp(-2 \cdot R \cdot (\alpha_A + \alpha_D)), \quad (3)$$

здесь A – параметр ослабления; $D_{\text{пр}}$ – диаметр приемного объектива; ρ_0 – спектральный коэффициент отражения объекта; φ – угол между нормалью к поверхности объекта и направлением зондирующего лазерного пучка; $T_{\text{ос}}$ – коэффициент пропускания приемо-передающих оптических систем; R – расстояние до объекта; α_A – коэффициент поглощения лазерного излучения в атмосфере на заданной длине волны; α_D – коэффициент рассеяния лазерного излучения в атмосфере на заданной длине волны.

Параметр ослабления формируется комбинацией блоков, реализующих приведенные математические операции.

Таким образом, можно утверждать, что принятый сигнал $S_2(t)$ представляет собой копию зондирующего сигнала, сдвинутого на время задержки τ и умноженного на параметр ослабления A :

$$S_2(t) = A \cdot S_1(t - \tau). \quad (4)$$

Вместе с полезным (отраженным) сигналом на вход приемного устройства поступает и шумовой сигнал. Сложение полезного сигнала с шумовым происходит на сумматоре, который установлен в модели после второго блока (рис.2).

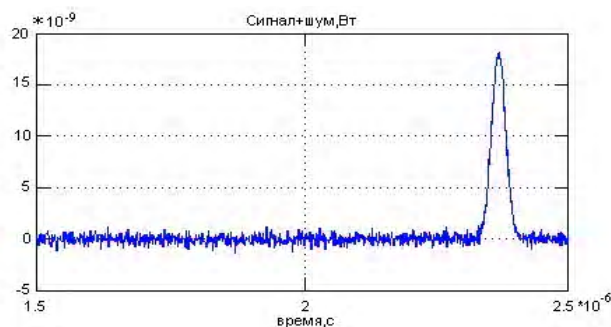


Рис. 2. Сложение полезного и шумового сигналов

Блок «Шум» представляет собой подсистему, в которой формируется шумовой сигнал, приведенный ко входу фотодетектора и состоящий из дробового шума темнового тока фотодетектора, дробового шума самого полезного сигнала, дробового шума фонового излучения и теплового шума электронного тракта. Влияние обратного рассеяния лазерного излучения существенно снижено за счет стробирования начального участка измерительной трассы.

Тогда шумовой сигнал $S_{\text{ш}}(t)$ можно представить в виде:

$$S_{\text{ш}}(t) = P_{\text{ш}} \cdot n(t), \quad (5)$$

где $P_{\text{ш}}$ – суммарная мощность всех составляющих шума; $n(t)$ – нормальный белый шум с нулевым средним и единичной дисперсией.

Шумовой сигнал формируется из стандартного блока библиотеки Simulink «Белый гауссов шум» и комбинации блоков, осуществляющих расчет суммарной мощности шума.

Блок «Фотодиод» осуществляет преобразование оптического сигнала в импульс тока $i_{\text{ф}}(t)$ (рис.3) согласно выражению:

$$i_{\text{ф}}(t) = (S_2(t) + S_{\text{ш}}(t)) \cdot \varepsilon_{\lambda}, \quad (6)$$

где $S_2(t)$ – мощность отраженного сигнала; $S_{\text{ш}}(t)$ – мощность шумового сигнала; ε_{λ} – спектральная чувствительность фотодиода.

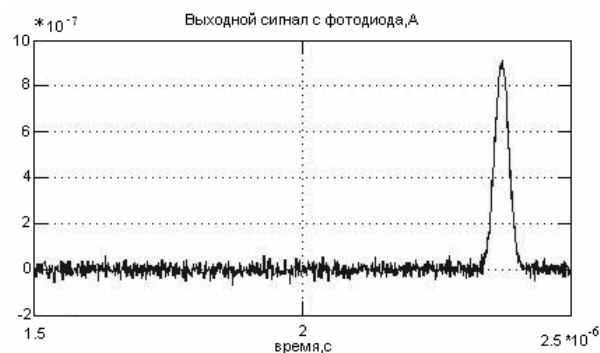


Рис. 3. Преобразование оптического сигнала в импульс тока

Блок «1-й усилитель» осуществляет преобразование импульса тока в импульс напряжения с общим импедансом $z=10\text{кОм}$. В модели он представлен как последовательное включение блока идеального усилителя, перемножителя, на вход которого подается стробимпульс от генератора функции включения (время формирования задается из требований к величине мертвой зоны), а также фильтра верхних частот (ФВЧ). С помощью ФВЧ (частота среза 1 МГц) реализуется схема дифференцирования с параметром $\tau_d=1\text{ мкс}$.

Тогда сигнал $u_{1y}(t)$ с выхода 1-го усилителя можно представить в виде (рис.4):

$$U_{1y}(t) = i_{\text{ф}}(t) \cdot z. \quad (7)$$

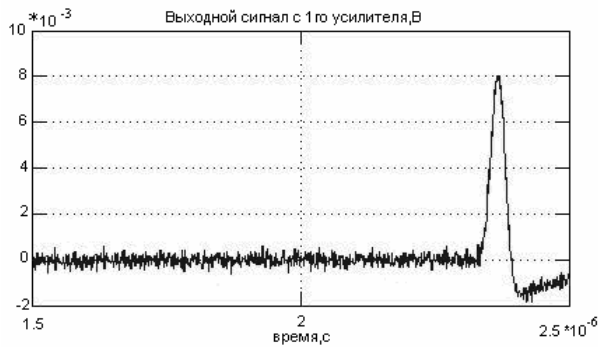


Рис. 4. Преобразование импульса тока в импульс напряжения

Блок «2-й усилитель» представлен как идеальный усилитель напряжения с фиксированным коэффициентом усиления и ограниченной полосой пропускания (рис.5). Реализован как последовательное включение блока усилителя, фильтра низких частот (частота среза 30 МГц) и блока ограничителя, моделирующего процесс насыщения в усилительном каскаде. Полоса пропускания Δf выбиралась из значения ширины спектра зондирующего сигнала:

$$\Delta f \approx \frac{1}{\tau_{\text{и}}}, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{и}} = 30$ нс – длительность лазерного импульса.

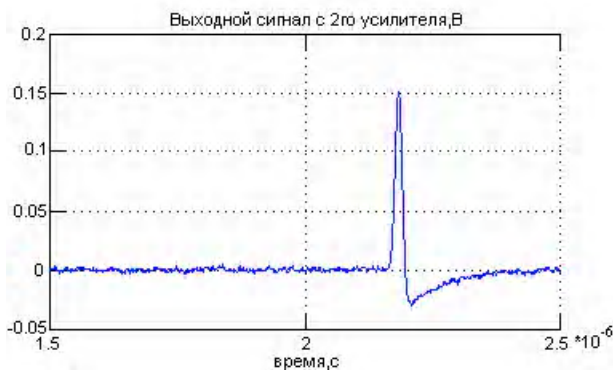


Рис. 5. Усилитель напряжения

Коэффициент усиления был рассчитан из условия обеспечения требуемой величины напряжения для срабатывания компаратора. На практике эта величина составляет $U_k = 100$ мВ и более [4]. С учетом типичных значений эквивалентной мощности шума современных лавинных фотодиодов ($NEP \approx 10$ пА/√Гц) и величины отношения сигнал/шум ($q=10$), необходимой для обеспечения уверенного обнаружения сигнала на фоне шумов, получим минимальное значение импульса тока (i_{min}) на выходе фотодиода для этого случая:

$$i_{\text{min}} = NEP \cdot \Delta f \cdot q = 0,55 \text{ мкА}. \quad (9)$$

Тогда коэффициент усиления 2-го усилителя k_2 будет равен:

$$k_2 = \frac{U_k}{z \cdot i_{\text{min}}} = 18,28, \quad (10)$$

где $z = 10^4$ Ом – импеданс 1-го усилителя; $U_k = 100$ мВ – напряжение срабатывания компаратора.

Для надежной работы компаратора коэффициент усиления k_2 выбран равным 20. Тогда напряжение с выхода 2-го усилителя будет описываться соотношением:

$$U_{2y}(t) = U_{1y}(t) \cdot k_2. \quad (11)$$

Блок «Компаратор» представляет собой подсистему, которая осуществляет формирование стоп-импульса (рис.6) для измерителя временных интервалов.

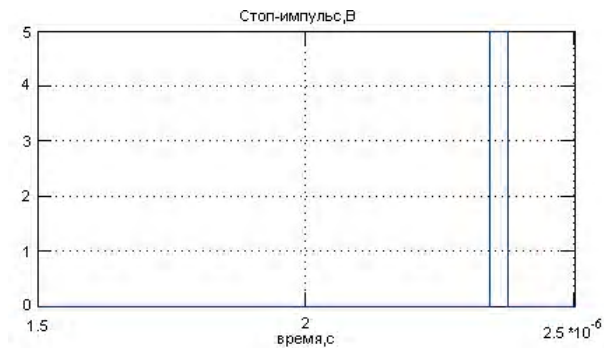


Рис. 6. Формирование стоп-импульса

Компаратор выполнен в виде двух элементарных блоков, один из которых производит сравнение мгновенных значений сигналов на обоих своих входах и в случае превышения сигнала относительно порогового $U_{\text{пор}}(t)$ выдает команду на второй блок для формирования выходного напряжения, равного напряжению питания схемы. На опорный вход компаратора подается сигнал с формирователя адаптивного порога, выполненного на основе пикового детектора и реализованного комбинацией элементарных блоков (рис.7).

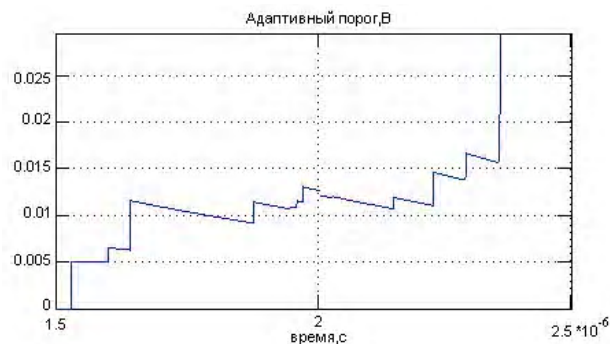


Рис. 7. Формирование адаптивного порога

В цепи формирования адаптивного порога находится блок установки требуемого отношения сигнал/шум (q), величина которого определяется заданными значениями вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги. Тогда в случае

$$U_{2y}(t) > U_{\text{пор}}(t) \quad (12)$$

на выходе компаратора формируется сигнал. В противном случае выходное напряжение компаратора

равно нулю. Пороговое напряжение рассчитывается согласно выражению:

$$U_{\text{пор}}(t) = S_{\text{ш}}(t) \cdot \varepsilon_{\lambda} \cdot z \cdot k_2 \cdot T_{\text{д}} \cdot q, \quad (13)$$

где $S_{\text{ш}}(t)$ – мощность шума на входе фотодиода; ε_{λ} – спектральная чувствительность фотодиода; z – импеданс 1-го усилителя; k_2 – коэффициент усиления 2-го усилителя; $T_{\text{д}}$ – импульсный отклик пикового детектора; q – отношение сигнал/шум, определяемое заданными значениями вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги.

Блок «Измеритель временных интервалов» представляет собой подсистему, в которой осуществляется подсчет числа периодов сигнала (T_0) опорного кварцевого генератора в течение измеряемого интервала по двухконтурной схеме. В первом контуре осуществляется грубое измерение временного интервала по целому числу периодов n_1 сигнала опорного генератора (рис.8), а во втором контуре, реализованном комбинацией элементарных блоков, производится точное измерение временного интервала уже в пределах одного периода опорной частоты (рис.9).



Рис. 8. Грубое измерение временного интервала

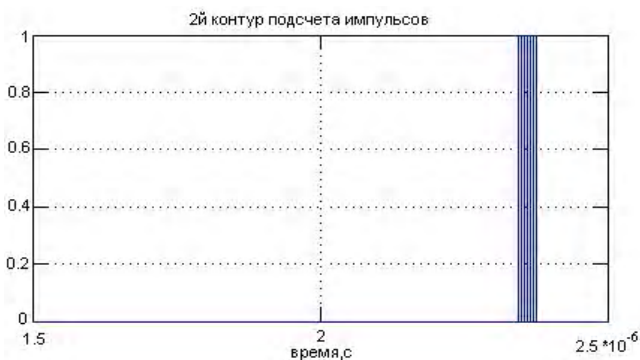


Рис.9. Точное измерение временного интервала

При этом период расширяется в k раз с помощью преобразователя «время – амплитуда – время» и подсчет периодов опорной частоты (n_2) осуществляется уже на этом интервале. Результаты подсчетов поступают в микроконтроллер.

Блок «Микроконтроллер» представляет собой подсистему, которая осуществляет расчет расстояния (R) на основе результатов оценки временного интервала в соответствии с выражением:

$$R = \frac{c}{2} \cdot \left(T_0 \cdot \left(n_1 + \frac{n_2}{k} \right) - \Delta t_3 \right), \quad (14)$$

где R – расстояние до объекта; c – скорость света; T_0 – период опорных импульсов; n_1 – число периодов опорных импульсов 1-го контура; n_2 – число периодов опорных импульсов 2-го контура; k – масштабный коэффициент расширения периода опорных импульсов; Δt_3 – время задержки измерительного импульса в цепях модели дальномера.

Для устранения погрешности измерения расстояния, связанной с уменьшением амплитуды сигнала при увеличении дальности до объекта, вводится корректировочная таблица. Она строится на зависимости оценки дальности ($\hat{R}$) от текущего расстояния (R). В простейшем случае такая зависимость может быть аппроксимирована прямой, уравнение которой имеет вид:

$$\hat{R} = a + b \cdot R, \quad (15)$$

где a и b – корректировочные коэффициенты.

Тогда для получения корректировочных данных ($\tilde{R}$) осуществляется следующее преобразование:

$$\tilde{R} = \frac{\hat{R} - a}{b}. \quad (16)$$

3. Заключение

Научная новизна проведенных исследований заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель формирования измерительных сигналов в импульсном полупроводниковом лазерном дальномере.
2. Проведена оценка всех факторов, характеризующих влияние передающего, приемного и атмосферного каналов.
3. Синтезирована структура модели процесса измерения расстояния с учетом всех факторов, влияющих на точность получаемых результатов.

Практическая значимость исследований состоит в следующем:

1. Разработанная модель позволяет оценить степень влияния различных факторов на результаты измерений.
2. Оценка параметров измерительных сигналов в модели позволяет разработчикам быстро оптимизировать структуру и характеристики устройства, что обуславливает существенную экономию временных и финансовых ресурсов.
3. Разработанная модель может использоваться при создании, тестировании и анализе функционирования самых разнообразных лазерных систем.

Сравнение полученных результатов с реальными сигналами лазерных измерительных систем показывает, что данная модель достаточно корректно описывает

процесс формирования сигналов в передающем, приемном и атмосферном каналах лазерного дальномера. При этом точность измерения расстояния в модели определяется параметрами блоков и задержкой сигнала в приемном канале.

Литература: 1. *M. A. Trishenkov*. Detection of Low-Level Optical Signals. Photodetectors, Focal Plane Arrays and Systems. Kluwer Academic Publishers, 1997. P.458. 2. *Байбородин Ю.В.* Основы лазерной техники. Киев.: Высш. школа, 1988. 383 с. 3. *Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б.* Основы проектирования лазерных локационных систем: Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов. М.: Высш. школа, 1983. 207 с. 4. *Kilpela A., Pennala R., Kostamovaara J.* Precise pulsed time-of-flight laser range finder for industrial distance measurements. Review of Scientific Instruments. 2001. Vol. 72, No. 4. P. 2197-2202.

УДК537.86

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ ПАМЯТИ

*АХРАМОВИЧ Л.Н., ГРИБСКИЙ М.П.,
ГРИГОРЬЕВ Е.В., ЗУЕВ С.А.,
СТАРОСТЕНКО В.В., ЧУРЮМОВ Г.И.*

Описывается методика экспериментальных исследований по непосредственному воздействию импульсных электромагнитных полей на современные микросхемы памяти. Приводятся пороговые значения полей, при которых начинаются сбои в работе микросхем, деградиционные явления в микроструктурных элементах кристалла и катастрофический отказ микросхем.

Введение

Работоспособность и штатное функционирование радиоэлектронной аппаратуры определяют большое количество различных факторов, в том числе внешних. Одним из них являются электромагнитные поля, в первую очередь импульсные. Сбои в работе радиоаппаратуры при воздействии электромагнитного излучения обусловлены сбоями в работе элементной базы, которая в приемной и управляющей аппаратуре представлена в основном интегральными микросхемами. В [1 - 4] приведены основные результаты исследований по воздействию на микросхемы 140, 155, 174, 315, 555, 559, 561 и 564 серий. При воздействии электромагнитных полей основными являются сведения о пороговых значениях напряженности электрической компоненты поля, при которых начинаются сбои в работе, деградиционные явления в микроструктурных элементах кристалла и катастрофический отказ микросхем. Пороговые значения полей в значительной степени зависят от взаимной ориентации микросхем и поля, поскольку именно поляризационный фактор определяет величины дополнительных напряжений, приложенных к микроструктурным элементам кристалла микросхем [1 - 4].

РИ, 2006, № 4

Поступила в редколлегию 17.10.2006

Рецензент: д-р

физ.-мат. наук, проф. Дзюбенко М.И.

Быков Михаил Макарович, канд. техн. наук, профессор кафедры ФОЭТ ХНУРЭ. Научные интересы: лазерная и оптоэлектронная техника. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-84.

Тюрин Владимир Сергеевич, аспирант кафедры ФОЭТ ХНУРЭ. Научные интересы: лазерная и оптоэлектронная техника, математическое моделирование, конструирование лазерных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-84.

Тюрин Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, «Институт голографии» АНПРЭ, заместитель генерального директора. Научные интересы: лазерная и оптоэлектронная техника, математическое моделирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Чичибабина, 1, тел. 705-12-38.

Результаты исследований по воздействию электромагнитных полей на микросхемы [1 - 4] позволили выявить основные закономерности процессов в микроструктурных элементах микросхем, связать параметры полей и микросхем с результатом воздействия. Современные микросхемы отличаются от тех, для которых были проведены исследования по воздействию электромагнитного излучения, по используемым материалам, технологии изготовления, степени интеграции, наличию защиты от электростатического разряда и т.д.

Представляют интерес исследования по воздействию электромагнитного излучения на современные микросхемы памяти и их микроструктурные элементы. Целью данной работы является исследование связи параметров электромагнитных полей и характеристик микросхем с пороговыми значениями полей, определяющих функциональное состояние микросхем.

1. Методика проведения экспериментальных исследований

Исследование воздействия электромагнитных полей на микросхемы осуществлялось в волноводном тракте прямоугольного поперечного сечения 34x72 мм, на установке, структура которой приведена на рис.1. В качестве источника полей был взят магнетрон МИ-387, генерирующий радиоимпульсы длительностью порядка 1 мкс, скважностью 104, мощностью $P_{и} < 28$ кВт, средней мощностью $P_{ср} < 3$ Вт, на частоте $f = 3050$ МГц. Количество импульсов от 1 до 104 или время работы магнетрона (до 30 мин) задавалось с помощью специально изготовленного электронного блока управления в модуляторе. Установка также включала в себя: вентиль, аттенуатор, измерительную секцию для исследования непосредственного воздействия полей на микросхемы. Направленный ответвитель, детекторная секция и осциллограф позволяют контролировать работоспособность установки и характеристики полей, прошедшая мощность измерялась калориметрическим ваттметром (см.рис.1). Значения мощности и напряженности электрической компоненты падающей волны определялись по снятым