TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

6.7

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

492















TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИКЛАДНОЙ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Труды по раднотехнике УШ

Таллин 1980

492

Eesti NSV Teaduslik A Recmetukogu . IV Swei- Akodes



Таллинский политехнический институт 1980

₩ 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED TPYJE TAJJUHCKOFO HOJUTEXHUYECKOFO UHCTUTYTA

> удк 621.378.9 Х.В. Хинрикус

РАСЧЕТ СИСТЕМ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ С УЧЕТОМ ИЗБЫТОЧНЫХ ШУМОВ

В квантовой области работы информационных и измерительных систем сказываются эффекты, которые не проявляются в классическом радиодиапазоне. Можно выделить следующие основные особенности квантового диапазона (где энергия кванта h) сравнима с энергией тепловых колебаний кТ).

I. В квантовой области нельзя предполагать непрерывность излучения, как это имеет место в классической области, где hv << кТ. Излучение в квантовой области имеет статистический характер.

 В классической области может существовать чистый монохроматический сигнал, не содержащий шума.

В квантовой области сигналу всегда присущи флуктуации. Это является следствием принципа неопределенности применительно к измерению числа квантов п колебания и его фазы ф

$$\Delta n \Delta \phi \ge \frac{1}{2}$$
.

В приближении полуклассической теории можно говорить об интенсивности излучения [I]. Излучение идеального лазера является наиболее близким к монохроматическому сигналу с постоянной амплитудой. Интенсивность излучения идеального лазера не имеет флуктуаций и закон распределения интенсивности является дельта-функцией

$W(I) = \delta(I); \sigma_T = 0.$

Однако при квантовом рассмотрении число фотонов не является детерминированным. Излучению идеального лазера соответствует пуассоновское распределение числа фотонов, проходящих через площадку. 3. В классической области приемные устройства обладаит аддитивными шумами. Уровень шума приемника определяется известным соотношением

$$P_{\rm w} = \kappa T_{\rm w} \Delta \varphi$$
,

где Т_ш -щумовая температура входа приемника. Коэффициент щума F также определяется только аддитивным щумом.

Для идеального нешумящего приемника

$$\Gamma_{\rm w}=0 \quad {\rm I} {\rm I} {\rm I} {\rm F}_{\rm w}=1.$$

Такой приемник не имеет собственных шумов.

В квантовой области процесс фотодетектирования имеет статистический характер. В процессе преобразования фотонэлектрон всегда к сигналу добавляется мультипликативный шум. Флуктуации фотоотчетов имеют место даже в отсутствии флуктуаций интенсивности оптического сигнала. В этом случае распределение вероятности фотоотсчетов определяется законом Пуассона и имеет минимальную дисперсию.

$$\sigma_m = \overline{m}$$

Итак, идеальный приемник в квантовой области не является нещумящим.

В итоге ясно, что даже идеальная система в квантовой области имеет щумы. Эти щумы определяются физическими закономерностями и являются в принципе неустранимыми.

С другой стороны, в реальной системе во всех основных ее узлах (передатчик, приемник, среда распространения)имеются источники дополнительного щума. В результате в реальной системе возникают избыточные по отношению к щумам в идеальной системе щумы, например, технические щумы лазера, возможные флуктуации излучения в среде распространения, технические щумы приемника и т.п.

Качество реальной информационной или измерительной системы квантовой электроники определяется близостью ее свойств в шумовом смысле к свойствам идеальной системы.

Рассмотрим на основе обобщенной структурной схемы систему, которая включает как основные элементы передатчик (лазер), среду распространения и приемник, возможность описания щумов в системах при реальных условиях их работы с учетом неидеальности всех основных элементов системы. В случае •идеальности элементов схеми при определении статистических свойств сигнала и шума в системе не возникает затруднений. Схема описания шумов в идеальной системе приведена на фиг. I.



Фиг. 1. Шумовые свойства идеальной системы.

Идеальный передатчик (лазер) не имеет флуктуаций интенсивности, $\sigma_1^2 = 0$. Распределение фотонов в выходящем потоке W(n) определяется законом Пуассона.

Идеальная среда распространения не вносит потерь и не является случайно неоднородной, т.е. не вносит статистические возмущения сигнала.

Приемник является квазиидеальным, т.е. отсутствурт собственные щумы (аддитивный щум) и флкутуации в процессе преобразования. Квантовая эффективность приемника η может отличаться от единицы. Так как на вход приемника падает поток фотонов без избыточных флуктуаций, то на выходе приемника имеет место пуассоновское распределение фотоотсчетов m

$$P(m,T) = \frac{(\overline{m})^m}{m!} e^{-\overline{m}},$$

где Т - время наблюдения, с дисперсией

$$r = \overline{m} = \eta \overline{n}$$
.

В этом случае отношение сигнал-щум на выходе системы определяется простым выражением

$$\frac{P_c}{P_m} = \overline{m}$$
.

В реальных системах в связи с неидеальностью их элементов при проблеме описания шумов возникают серьезные трудности. Статистические свойства сигнала и шума на выходе си-





идеальный идеальная неидеальный
передат-
чик
$$W_4(I) = \delta(I)$$
 $W(m,T) = ?$
 $\sigma_{1I} = 0$ $\sigma_m = \overline{m} \cdot F$



Фиг. 2. Схема описания шумов реальной системы.

стемы одновременно определяются флуктуациями сигнала и шумами во всех неидеальных элементах системы. Учет всех действующих факторов неидеальности вместе на основе одной модели является весьма сложным и даже нецелесообразным, так как свойства отдельных элементов имеют принципиально различный характер.

При описании шумов в реальной системе (фиг. 2) выбран метод рассмотрения влияния неидеальности определенного элемента системы на результирующие шумы в системе в отдельности. Остальные элементы системы при этом предположительно обладают идеальными свойствами.

В первом случае среда распространения предполагается идеальной и приемник – квазиидеальным. Отличие статистических свойств сигнала и щума на выходе системы от статистики сигнала и щума в идеальной системе обусловлено только учетом неидеальности передатчика (лазера). Влияние неидеальности передатчика наиболее просто и наглядно может быть учтено путем сравнения свойств сигнала и щума на выходе системы в случае идеального и неидеального передатчика. Это отличие может быть количественно оценено введенным в работе [I] параметром неидеальности лазера F_L, показывающим, насколько хуже данный лазер по сравнению с его идеальным аналогом. Параметр неидеальности лазера F_L связан с коэффициентом флуктуаций интенсивности излучения С

$$F_{L} = \overline{I} \frac{\sigma_{I}}{(\overline{I})^{2}} = \overline{I} C,$$

где I - среднее значение интенсивности излучения.

Во втором случае предполагается идеальность передатчика и средя распространения. Отличие процессов на выходе системы от статистики сигнала и шума на выходе идеальной системы обусловлено только неидеальностью приемника. Наличие собственных щумов и избыточных флуктуаций преобразования в приемнике добавляют шумы аддитивного и мультипликативного характера. Отличие шумов на выходе реальной системы от щумов на выходе идеальной системы может в данном случае оцениваться параметром неидеальности приемника F, введенным на основе обобщенной модели приемника в работе [2], который по смыслу соответствует коэффициенту шума приемника. Параметр F показывает, насколько данный приемника

7

хуже идеального. В простейшем случае пуассоновской статистики падащего на приемник издучения

$$\overline{\tau} = \frac{\alpha}{\eta} \left(1 + \frac{\mathsf{Pmin}}{\mathsf{Pc}} \right),$$

где η - квантовая эффективность;

коэффициент избыточных шумов умножения фототока;

Р_{min} - уровень приведенных ко входу собственных щумов приемника и

Рс - уровень сигнала на входе приемника.

В третьем случае предположительно являются идеальными передатчики и приемник и неидеальной является среда распространения. Статистически неоднородная среда вызывает избыточные флуктуации интенсивности сигнала на входе приемника. Для учета влияния среды распространения не удается ограничиться одним параметром неидеальности. Необходимо знать ряд величин: ослабление сигнала, уровень фонового излучения, уровень флуктуаций интенсивности и пространственные флуктуации луча.

Информационные и измерительные системы квантовой электроники можно разделить на две большие группы. Во-первых, системы, где сигнал от передатчика к приемнику распространяется по закрытому тракту. В этом случае среду распространения можно считать квазиидеальной: имеют место потери сигнала при распространении, но отсутствует фоновое излучение и флуктуации луча. Во-вторых, открытие системы, где сигнал от передатчика к приемнику распространяется в естественной среде (атмосфера, вода). В этом случае среда распространения вносит затухание, флуктуации сигнала и имеется фоновое излучение.

Рассмотрим сначала щумы в закрытых системах. В случае квазиидеальности приемника отношение дисперсии фотоэлектронов на выходе системы с неидеальным источником σ_m к дисперсии фотоотчетов на выходе системы с идеальным источником σ_0 на основе результатов работы [I] представляется в виде

$$\frac{\sigma_{\rm m}}{\sigma_{\rm o}} = 1 + \eta \, F_{\rm L} \,. \tag{I}$$

Отношение щум-сигнал на выходе системы в этом простейшем случае просто выражается через соответствующее отношение на выходе идеальной системы:

$$\frac{P_{\rm u}}{P_{\rm c}}/p = (1 - \eta F_{\rm L}) \frac{P_{\rm u}}{P_{\rm c}}/{\rm ug} .$$
⁽²⁾

Переходя от случая квазиидеального приемника к реальному приемнику необходимо дополнительно учесть коэфо́ициент шума приемника F и отношение

$$\frac{P_{\omega}}{P_{c}}/p = (1 + \eta F_{L}) F \frac{P_{\omega}}{P_{c}}/ug.$$
(3)

Эта формула является общим выражением для отношения шумсигнал (по мощности) на выходе реальной системы в случае идеальности среды распространения. Дополнительный множитель

$$A = (1 + \eta F_L) F$$
(4)

показывает, во сколько раз отличается отношение щум-сигнал в реальной системе от отношения шум-сигнал в идеальной системе.

При неполной модуляции сигналом лазерного излучения выражение отношения шум-сигнал несколько изменится. Сказываются аддитивный шум за счет немодулированной части излучения и эквивалентное уменьшение уровня сигнала. Выражение в этом случае примет вид:

$$\frac{P_{\rm w}}{P_{\rm S}}/P_{\rm p} = \left(1 + \eta F_{\rm L} + \frac{1-M}{M}\right) \frac{F}{M} \frac{P_{\rm w}}{P_{\rm S}}/_{\rm ug}, \qquad (5)$$

где М - коэффициент модуляции лазерного излучения по интенсивности.

В качестве примера в таблице ї приведены результаты расчета отношения шум-сигнал по напряжению $\frac{N}{S}$ в двух системах с гелий-неоновым лазером и лазером на CO_2 . Для сравнения даны результаты прямого измерения отношения шум-сигнал в этих системах. Расхождение расчетных и измеренных величин в пределах 15 % объясняется прежде всего неточностью измерения исходных для расчета $\frac{P_{ud}}{P_S}/ug$ данных (\bar{P}_S и \bar{n}).

По величине отдельных множителей в формуле (5) можно определить доминирующий источник щумов в системе. Так из рассмотренных двух систем в системе на волне 0,63 мкм доминирует неидеальность приемника, обусловленная малой квантовой эффективностью.В системе с лазером на CO₂ доминируют избыточные флуктуации излучения лазера.

Параметры неидеальности источника F_L и приемника F зависят от уровня сигнала. Поэтому отличие отношений сигнал-щум в реальной и идеальной системах также будет различным на разных уровнях сигнала.

Таблица І

Расчет отношения щум-сигнал в закрытых лазерных системах

and a second				
110	00	B 400	m	-
112	12	NOP 1		
110	20	THO.	- A - A	~

and the second		
λ MRM	0,63	I0,6
источник	JIT-36	JIT-23
приемник	ФЭУ-51	inderen anter gebee
P.	9.10-7	6·10 ⁻⁵
$\overline{n} = \frac{\overline{P}}{2h\sqrt{fmax}}$	3.105	0,72.108
$\frac{N}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}}$	I.8.10 ⁻³	I,2·10 ⁻⁴
M Vn	I TO MARK	I
Fuiter	8	I60
F-the Land found	40	3,3
$A = (1 + \eta F_L) F$	I,24.40=49,5	48,5·3,3=I60
$\frac{N}{S/p} = \sqrt{(1+\eta F_L) F} \cdot \frac{N}{S/ug}$	I,3·10 ⁻²	I,5·I0 ⁻³
расчетное (по напряжению) <u>N</u> измеренное 5 (по напряжению)	1.13.10-2	I,6·I0 ⁻³

Зависимости отношения щум-сигнал и параметра A от уровня сигнала для этих же двух систем приведены на фиг. З. Точками на фигуре указаны результаты прямого измерения отношения щум-сигнал.

Параметр А имеет характерный ход: неидеальность системы сильнее сказывается при относительно высоких уровнях сигнала, где доминируют классические флуктуации интенсивности излучения источника. На низких уровнях сигнала рост А объясняется влиянием собственных аддитивных шумов приемника (в силу малости собственных шумов и высокого внутреннего усиления ФЭУ эта область на волне 0,63 мкм находится за пределами масштаба графика). По характеру зависимости $\frac{N}{S}/p$ видно, что при более низких уровнях сигнала доминирует уже квантовый шум, обусловленный дискретностью излучения, который характеризует идеальные системы. Неидеальность системы обусловливает только более высокий уровень шума, по сравнению с ицеальной системой.

IO



Фиг. 3.

Зависимость шумов системы от уровня сигнала на волнах 0,63 мкм (сплошные кривые) и 10,6 мкм (пунктирные кривые):

 отношение Рш/Рс в идеальной системе;

2 - отношение $P_{\omega}/P_{c|p}$: $P_{\omega}/P_{c|uq} = A;$

3 - отношение Р_ш / Р_с в реальной системе.

В открытых лазерных системах кроме неидеальности источника и приемника следует учесть также неидеальность среды распространения. На приемник падает оптическое излучение, которое складывается из сигнального излучения интенсивностью \bar{I}' и фонового излучения интенсивностью I_{ϕ} . Сигнальное излучение может обладать избыточными флуктуациями как за счет неидеальности источника сигнала с соответствующей дисперсией флуктуаций интенсивности σ_{L}^{2} , так и за счет неидеальности среды распространения с дисперсией флуктуаций интенсивности σ_{L}^{2} .

Суммарную дисперсию флуктуаций фототока на выходе системы можно определить в общем виде по аналогии с работой [I]:

$$\sigma_{m\Sigma} = \eta T \bar{I}_{\Sigma} + \eta^2 I^2 \sigma_{\Sigma},$$

 $\vec{I}_{\Sigma} = \vec{I}' + \vec{I}_{\varphi}; \quad \vec{I}' = \tau \vec{I};$

 $\sigma_{z} = \sigma_{1} + \sigma_{T};$

τ - ослабление среды;

I - интенсивность излучения источника.

Фоновое излучение, как правило, имеет тепловой характер и избыточными флуктуациями интенсивности не обладает. Тогда общее выражение для $\sigma_{m_{\Sigma}}^{2}$ имеет вид $\sigma_{m_{\Sigma}} = (\eta^{2}T^{2}\sigma_{L} + \eta^{2}T^{2}\sigma_{T} + \eta T\tau\overline{I} + \eta T\overline{I}_{\Phi}).$

Отношение дисперсии флуктуаций на выходе реальной системы к дисперсии флуктуаций на выходе идеальной системы

$$\sigma_m = \eta T I$$

может быть записано в виде

$$\frac{\sigma_{m\Sigma}}{\sigma_{mO}} = \tau + \eta \frac{\sigma_{L}}{\overline{L}} + \eta \frac{\sigma_{I}}{\overline{L}} + \frac{I_{\phi}}{\overline{L}}.$$

Переходя к отношению шум-сигнал в реальной системе, получим

$$\frac{P_{\rm u}}{P_{\rm s}}/_{\rm p} = \left(\frac{i}{\tau} + \frac{\eta}{\tau} F_{\rm L} + \frac{\bar{I}_{\phi}}{\tau\bar{I}}\right) F \frac{N}{S}/_{\rm ug} + \frac{\sigma_{\rm I}}{\tau^2\bar{I}^2}.$$
 (6)

По сравнению с выражением $\frac{P_{ud}}{P_S/p}$ в закрытой системе (3) формула (6) включает член, определяющий относительный урорень фонового излучения $\frac{I}{I}$ и уровень относительной паразитной модуляции сигнального излучения случайно неоднородной средой распространения $\frac{\sqrt{\sigma_I}}{\overline{I}}$. Обе эти величины могут быть вычислены. Для определения фонового излучения необходимо знать яркость фона и телесный угол приемника.

Для определения относительного уровня флуктуации интенсивности необходимо знать геометрию луча и приемника, относительную дисперсию флуктуаций интенсивности луча $\frac{\sigma_{\rm H}}{\bar{\Gamma}'}$ и пространственные параметры флуктуаций луча – дисперсию отклонения луча от центра антенны и дисперсию флуктуаций радиуса луча. Обусловленные пространственными флуктуациями луча уровень флуктуаций интенсивности на приемнике $\sqrt{\sigma_{\rm Inp}}$ можов били россимием не методние описанной в

<u>VOIRP</u> может быть рассчитан по методике, описанной в работе [3]. Входящие в формулу (6) суммарные флуктуации интенсивности

$$\frac{\sigma_{\mathrm{I}}}{(\overline{\mathrm{I}}')^2} = \frac{\sigma_{\mathrm{II}}}{(\overline{\mathrm{I}}')^2} + \frac{\sigma_{\mathrm{Inp}}}{(\overline{\mathrm{I}}')^2} \,.$$

В случае неполной модуляции лазерного излучения в выражение для отношения шум-сигнал входит величина эквивалентной глубины модуляции интенсивности лазерного излучечия М и формула (6) примет вид

$$\frac{P_{u}}{P_{s}}/_{p} = \left(\frac{1}{\tau} + \frac{\eta}{\tau}F_{L} + \frac{\overline{1}\phi}{M\tau\overline{1}} + \frac{1-M}{M}\right)\frac{F}{M}\frac{N}{s}/_{uq} + \frac{\sigma_{\underline{1}}}{\tau\overline{\underline{1}}^{2}}.$$
(7)

Как пример расчета шумов в открытой системе, рассмотрим системы, работакщие на длине волны 0,63 и 10,6 мкм. Длина трассы в открытой атмосфере 5,2 км. Уровень аппаратурных щумов в обеих системах может быть оценен по данным таблицы I. Данные экспериментального исследования флуктуаций сигнала на трассе и методика учета влияния пространственных флуктуаций приведены в работе [3]. По результатам этой работы

$\frac{\sqrt{\sigma_{II}}}{\overline{I}}$	= 0,3, на λ = 0,63 мкм и	$\frac{\sqrt{\sigma_{II}}}{\bar{I}'} = 0,25$ Ha $\lambda = 10,6$ MKM
$\frac{\sqrt{\sigma_{\text{Inp}}}}{\bar{I}'}$	= 0,6I	$\frac{\sqrt{\sigma_{\text{Inp}}}}{\overline{I}'} = 0,53$
$\frac{\sqrt{\sigma_{I}}}{I'}$	= 0,68	$\frac{\sqrt{\sigma_{I}}}{I'} = 0,58$

Очевидно, что при резльных уровнях фонового излучения при небольшом ослаблении на трассе ($\tau \approx 1$) $\bar{I}_{\phi} << \bar{I}$ и доминирующим в формуле (6) или (7) является последний член. В открытой атмосферной лазерной системе при хорошей погоде доминируют шумы за счет случайной неоднородности среды распространения. Уровень мультипликативного шума за счет флуктуаций луча превышает уровень аппаратурных шумов на два порядка:

Автор выражает благодарность бывшим студентам Р.В.Астрику и В.Э. Вихалему за проведение измерений шумов в системе лазер-приемник.

Литература

I. Хинрикус Х.В. Шумы фотодетектирования излучения неидеального ОКГ.- Изв. вузов СССР. Радиофизика, 1975, т. 18. № 10. с. 1439.

2. Хинрикус Х.В. Коэффициент шума приемных устройств в квантовой области. - Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника, 1974, т. 17, № 3, с. 12.

3. Сымера Т.П., Уусмаа П.А., Хинрикус Х.В., Мальсуб Ю.Э. Вероятность ошибки в атмосферной лазерной линии связи. - Квантовая электроника, 1976, т. 3. № 7, с. 1403.

4. Бётхер Р.Э., Вийтман Т.О., Хинрикус Х.В. Экспериментальное исследование флуктуаций лазерного луча на атмосферной трассе. - Квантовая электроника, 1975, т. 2, № 9, с. 1978.

I3

H. Hinrikus

The Calculation of Laser System with Excess Noise

Summary

In this paper the noise properties of nonideal communication and measurement systems with laser in comparison with the properties of the ideal ones are considered. For the description of excess noise in the nonideal systems the nonideality factors of laser and photoreceiver and the parameters of laser beam in turbulent atmosphere are used. The equations for signal-to-noise ratio in nonideal systems have been derived full excess noise having been taken into account. The noise in the systems at $\Lambda = 0.63 \mu$ and $\Lambda =$ = 10.6 μ are calculated and measured. № 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9:621.396

Б.В. Захаров, Ю.Ю. Лапимаа. П.А. Уусмаа, Х.В. Хинрикус

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Повышение эффективности лазерных систем связи, главным образом повышение их надежности в помехоустойчивости, может существенно расширить их применение в различных областях народного хозяйства.

Методы улучшения качества лазерных систем можно разделить на две категории. Во-первых, методы, которые обеспечиваит улучшение системы в физическом смысле, приближают свойства системы к идеальной системе и повышают энергетическое отношение сигнал-щум в системе. Во-вторых, методы, которые обеспечивают повышение качества передачи информации в системе без улучшения его физических параметров. Сюда относятся радиотехнические методы оптимальных способов модуляции-демодуляции, кодирования и т.п. Рассмотрим обе категории методов улучшения качества лазерных систем применительно к атмосферным оптическим системам передачи информации.

Анализ щумов в открытых лазерных системах показывает, что доминирующим источником неидеальности системы являются атмосферные факторы: флуктуации лазерного излучения в турбулентной атмосфере и фоновое излучение [I]. Флуктуации лазерного излучения складываются из двух частей: из флуктуаций интенсивности лазерного луча и из пространственных флуктуаций лазерного луча. Пространственные флуктуации положения луча относительно приемной апертуры и флуктуации поперечного размера луча вызывают соответствующие флуктуации падающей на приемную апертуру интенсивности излучения.

Методы улучшения энергетического отношения сигнал-щум в системе сводятся в данном случае к способам уменьшения флуктуаций интенсивности сигнала и уменьшения уровня фонового излучения. Методы повышения качества передачи информации сводятся к устойчивым сильной мультипликативной помехе способам передачи информации. Рассмотрим эти методы в отдельности.

Известно, что обусловленные атмосферой флуктуации ИНтенсивности глубокие, уровень относительных флуктуаций ПОстигает единицы. Глубину флуктуаций интенсивности принятого через атмосферу оптического сигнала можно уменьшить.используя или разнесенный прием или эффект осреднения на большой (по сравнению с радиусом корреляции флуктуаций) приемной апертуре. Эффект осреднения на приемной апертуре теоретически рассмотрен в работе [2], где показано, что пространственная корреляционная функция имеет характерный масштаб порядка размера зоны Френеля VAL, где L - длина трассы и λ - длина волны излучения. Наблюдаемый экспериментально эффект осреднения меньше, чем предсказуемый расчетами по теории плавных возмущений. Это объясняется тем, что в режиме сильных флуктуаций, в режиме насыщения пространственная структура флуктуаций интенсивности имеет пва масштаба корреляционной функции [3]. С увеличением степени турбулентности первый масштаб уменьшается, второй - увеличивается. Экспериментально флуктуации интенсивности наблюдаются даже при приеме полной интенсивности лазерного луча. Это может быть обусловлено эффектами, которые не учитываются в теории чистой турбулентной атмосферы: наличием в атмосфере флуктуаций центров рассеяния (гидрометеоры, твердые частицы). Таким образом, увеличение апертуры приемника уменьшает, но не устраняет флуктуаций интенсивности лазерного излучения.

Увеличение апертуры приемника позволяет уменьшить также влияние пространственных флуктуаций луча. В работе [4] в приближении геометрической оптики рассмотрена модель блуждания лазерного луча с гауссовским распределением интенсивности внутри луча и флуктуирующей шириной гауссовской кривой R(t) на круглой приемной апертуре. Задача вычисления падающей на апертуру суммарной интенсивности сигнала математически сходна с интегралом вероятности распределения Релея-Райса. С увеличением размера с приемной апертуры, по сравнению с поперечным размером луча R(t), обусловленным флуктуациями радиуса луча R(t), флуктуации

I6

становятся малыми при d > 2R(t). При радиусе приемной апертуры q ≈ 2R(t) влияние пространственных флуктуаций луча сравнимо с влиянием флуктуаций интенсивности.

Итак, увеличение радиуса приемной апертуры позволяет уменьшить флуктуации оптического сигнала из-за флуктуаций параметров лазерного луча.

С увеличением размера приемной апертуры увеличивается также уровень принятого оптического сигнала. Но, с другой стороны, с увеличением приемной апертуры увеличивается и уровень фонового излучения. Очевидно существует оптимальный с энергетических соображений размер приемной апертуры. Этот оптимальный размер определяется из условия максимума отношения сигнал-щум P_c/P_w при падающем в центр антенны луче

$$\frac{P_c}{P_w} = \frac{I_o^2 \eta^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{R}\right)^2\right)\right]^2}{2 e i_{\phi} \eta \pi a^2},$$

где I₀ - интенсивность в центре луча;

і. – плотность интенсивности фонового излучения;

е - заряд электрона;

п – коэффициент преобразования фотоприемника.

Исследование этого отношения на экстремум по отношению α/R дает для оптимального значения а величину а ~1,58 R. Оптимальный с энергетической точки зрения размер приемной апертуры близок к размеру апертуры, достаточному для уменьшения влияния флуктуаций дуча α/R ~2.

Однако увеличение приемной апертуры только уменьшает, а не устраняет флуктуации принятого оптического сигнала.Как показывают проведенные нами экспериментальные измерения вероятности ошибки в лазерной линии связи [5], даже при достаточно большом отношении с/R ≈ 3 количество ошибок в условиях максимальных флуктуаций возрастает. Ошибки появляются пачками в полуденные часы и средняя вероятность ошибки существенно увеличивается. Поэтому необходимо использовать помехоустойчивые способы модуляции-демодуляции.

В условиях сильной мультипликативной помехи эффективными являются разработанные и хорошо изученные в радиодиапазоне помехоустойчивые методы, которые сводятся к различным вариантам дискретной импульсной модуляции или частотной модуляции. Некоторые новые возможности открываются при лазерных системах. Так имеется возможность в качестве носителя информации использовать параметр лазерного излучения, а именно поляризацию излучения, которая меньше других параметров подвержена влиянию атмосферы.

Теория предсказывает крайне малый эффект деполяризации при распространении в чистой турбулентной атмосфере. Малость паразитной демодуляции в атмосфере подтверждается также экспериментальными данными. Проведенные нами исследования [6] показали, что заметная деполяризованная компонента излучения возникает не при распространении луча B атмосфере, а за счет несимметричного распределения флуктуирующей в пространстве интенсивности излучения на приемной оптике. Поскольку пространственные флуктуации лазерного луча всегда присутствуют в атмосферных системах, то полностью исключить эффект паразитной цеполяризации при приеме лазерного дуча на оптическую антенну не удается. Однако влияние турбулентности на поляризацию существенно меньше, чем на другие параметры, например, интенсивность лазерного излучения. Поэтому паразитная деполяризация Heсколько уменьшает эффективность поляризационной модуляции, но существенно не уменьшает перспективность этого метода моцулящии.



Фиг. 1. Схема системы передачи аналогового сигнала способом модуляции угла поляризации;

 газовый лазер;
 усилители напряжения;
 электрооптический модулятор;
 а нализатор;
 й б - фотоприемники;
 и б - усилители;
 делитель сигналов;
 выходной усилитель. Рассмотрим ниже на примерах разработки атмосферных систем некоторые методы повышения их качества.

I. Применение поляризационной модуляции для передачи широкополосных аналоговых сигналов

В некоторых случаях целесообразно обеспечить качественную передачу сигнала в аналоговом виде. Нами исследован вариант такой системы (фиг. 1).

В схеме передачи широкополосного аналогового сигнала носителем информации выбран угол поляризации. В приемнике отдельно детектируются две ортогональные по поляризации компоненты излучения. Величины этих компонент флуктуируют из-за турбулентности среды, но их отношение, определяющее несущий информацию угол поворота поляризации. не поцвергается атмосферным флуктуациям. Квадратурное детектирование ортогональных поляризационных компонент в специальном демодуляторе позволяет существенно подавлять мультипликативную помеху. Система обеспечивает качественную передачу ситнала ЦТВ с параметрами, соответствующими ГОСТу 7845-72. Степень подавления мультипликативной помехи 30 пБ. Расчет щумов системы показывает. что по своему качеству система приближается к закрытым системам. Один вариант системы демонстрировался в режиме передачи сигнала ЦТВ на республиканской выставке рациоэлектроники (Таллин. 1974).

2. Применение поляризационной модуляции для передачи дискретных сигналов

Особое место занимает поляризационная модуляция в системах передачи дискретной информации. В видимом диапазоне достаточно эффективным является прием с интегрированием по апертуре и прямым детектированием. Последетекторную оптимальную обработку в таком приемнике можно существенно упростить и свести к счету фотонов, если использовать двоичную ортогональную поляризационную модуляцию (ОПМ). Преимуществом применения ОПМ является простая схема оптимального приемника и нулевой оптимальный порог. Реальные фотодетекторы из-за конечных постоянных времени не позволяют реализовать счет отдельных фотонов в режиме достаточно высоких уровней сигнала в системе. Регистрируются не отдельные фотоны, а интегральная величина в виде импульсов фототока. Квазиоптимальный прием при ОПМ обеспечивает высокое качество системы.

Нами разработана лазерная система передачи дискретной информации [4,5], техническое решение которой было выбрано из требований максимальной помехоустойчивости, с одной, и простоты реализации, с другой стороны. Дуплексная система работает на волне 0,63 мкм, применяется ОШМ. Используется выпускаемая в стране серийная аппаратура.Выходное излучение гелий-неонового лазера модулируется по поляризации внешним электрооптическим модулятором. Диаметр приемной оптики 50 см.

Прием модулированного по поляризации оптического ситнала осуществляется с интегрированием по апертуре и балансным приемником на двух фотоумножителях, детектирующих ортогональные составляющие поляризации после анализатора. Применение балансного приема позволяет существенно подавлять уровень аддитивного щума и увеличивать отношение ситнал-щум на 3 дБ за счет более эффективного использования мощности передатчика. Приемник имеет авторегулировку уровня оптического сигнала при помощи нейтрального фильтра переменной оптической плотности. Для уменьшения влияния мультипликативной помехи и обеспечения постоянства уровня выходного сигнала в широкополосном усилителе приемника предусмотрена быстродействующая система АРУ. В системе предусмотрена также схема фазовой автоподстройки дуча на приемник.

Дуплексная система может работать в режиме передачи дискретной информации со скоростью 2,5 Мбит/с или в комплекте с уплотнительной аппаратурой типа ИКМ (ИКМ-I2, ИКМ-30).

Система связи с газовым лазером установлена на трассе длиной I,2 км между двумя зданиями ВЦ Минсвязи ЭССР и применяется для обмена информацией между ЭВМ.

Проведены исследования качества передачи информации при работе системы в условиях эксплуатации. Вероятность ошибки измерялась в двух режимах работы системы: вероятность ошибки в телефонных каналах при работе оптической связи в комплекте с уплотнительной аппаратурой ИКМ-I2 М и вероятность ошибки при передачи импульсов ЭВМ через оптическую систему связи. В обоих случаях оптическая система связи работала в дуплексном режиме. При работе с ИКМ-I2 М скорость передачи информации I,2 кбит/с, время сеанса измерения I5 минут. При работе с ЭВМ скорость передачи информации 20 кбит/с (определяется режимом работи ЭВМ), время сеанса измерения 5 минут. Примененная методика позволила измерить вероятность ошибки, начиная с 10⁻⁶.

Результати измерения вероятности ошибки в двух режимах работы совпадают. В течение большей части суток вероятность ошибки в атмосферной оптической системе связи меньше 10⁻⁶. Вероятность ошибки существенно растет в дневные часы (2-3 часа около полудня) в хорошую погоду и достигает в отдельных сеансах величины порядка 10⁻⁴. Средняя вероятность ошибки по данным измерений 1,6·10⁻⁵.



Фиг. 2. Схема двухканальной портативной системы передачи аналогового сигнала:

 частотный модулятор; 2 – широтный модулятор;
 тактовый генератор 50 кГп; 4 – формирователь импульсов длительности 60 нс; 5 – усилитель мощности; 6 – лазерный диод; 7 – фотодетектор;
 импульсный усилитель; 9 – частотный детектор;
 широтный детектор; 11, 12 – выходные усилители каналов А и Б; 13 – головные телефоны или динамики. Устойчивыми к флуктуациям лазерного излучения являются также различные импульсные методы модуляции интенсивности.В этом случае целесообразно использовать работающие в импульсном режиме лазеры. Наиболее удобными для использования в импульсном режиме работы являются полупроводниковые лазеры.

Импульсные методы модуляции исследованы нами в системах с полупроводниковыми Gu: As лазерами на волне около 0,9 мкм.

- З. Применение импульсных методов модуляции
 - интенсивности для передачи аналогового сигнала

В этом случае носителями информации могут быть выбраны параметры импульсов, не зависящие от мультипликативной помехи, например, частота повторения или длительность импульсов.

Разработана и исследована портативная система передачи аналогового (звукового) сигнала по двум независимым каналам. Используется комбинированная частотно-импульсная и широтноимпульсная модуляция. Принципиальная схема двухканальной системы приведена на фиг. 2. Применение комбинированной молуляции позволяет удвоить скорость передачи информации без перегрузки полупроводникового лазера. В электронной части приемника системы происходит разделение каналов и обеспечивается переходное ослабление между ними не хуже 30 дБ. Диапазон передаваемых частот от 30 до 10000 Гц, нелинейные искажения не больше 0,5 %.Система перекрывает ослабление 01тического сигнала на трассе 50 дБ, что соответствует дальности действия до 5 км (при удовлетворительных условиях погоды). Портативная двухканальная лазерная система связи демонстрировалась на выставках "Достижения советской науки и техники", г. Милан, 1975 г., на национальной выставке СССР, г. Лос-Анжелес, 1977 г., в Вене, в Гренобле и др. выставках и международных ярмарках.

Применение импульсной модуляции интенсивности для передачи дискретной информации

Этот метод по своей простоте может найти самое широкое применение. Основной проблемой является преобразование дискретного сигнала к виду, удобному для модуляции полупроводникового лазера. Чтобы избежать перегрузки и нагрева полупроводникового лазера, целессообразно по оптическому тракту передавать короткие импульсы.



Фиг. 3. Схема системы передачи телетайпного сигнала:

 согласующее и фильтрующее устройство;
 схема лифференцирования и образование однополярных импульсов; 3 – импульсный формирователь; 4 – уовлитель мощности; 5 – лазерный днод; 6 – фотодетектор; 7 -усклитель мощности; 8 – триттер со счетным запуском для восстановлении импульсов телетайца; 8 – выходное устройство.

Расходимость излучения полупроводниковых лазеров больше чем у газовых. Поэтому в разработанных нами системах передачи дискретной информации с полупроводниковыми лазерами используется большая приемная оптика (зеркала диаметрами около 50 см).

Разработана и исследована система передачи телетайпного сигнала. Принципиальная схема системы приведена на фигуре З. Последовательность телетайных импульсов после соответствущей обработки преобразуется в последовательность коротких импульсов плительностью порядка 20 нс. Фактически передаются только обработанные соответственно фронты Teлетайпного сигнала. На приемной стороне по переданным по оптическому каналу фронтам импульсов восстанавливается форма телетайпного сигнала. При использовании временного VIIлотнения система может быть использована для передачи 5 телетайных каналов. С целью увеличения помехоустойчивости применена автоматическая установка исходного состояния и в случае процуска импульса или появления ложного импульса не происходит давинообразного нарастания ошибки. Система

23

является пороговой и обеспечивает устойчивую работу при отношении сигнал-щум, равном трем. Скорость передачи информации в системе определяется скоростью работы телетайпа. Дальность действия системы до 5 км.

Разработана и исследована система передачи дискретной информации для обмена информацией между ЭВМ. Система согласуется с ЭВМ при помощи адаптера. Принципиальная схема системы приведена на фиг. 4.





Фиг. 4. Схема системы с полупроводниковым лазером для передачи дискретной информации.

 устройство согласовання и формирователь импульсов диптельностью 50 нс; 2 – вспомогательный канал передатчика; 3 – микрофон; 4 – переключатель основного и вспомогательного каналов; 5 – усилитель мощности; 6 – лазерный диод; 7 – фотодетектор: 8 – усилитель и ограничитель наносекундных импульсов; 9 – расширитель импульсов; 10 – вспомогательный канал приёмника; 11 – громкоговоритель.

На вход передатчика поступают стандартные импульсы прямоугольной формы длительностью 0,5-2 мкс. Для накачки полупроводникового лазера, используемого в схеме, требуются импульсы тока длительностью не более 100 нс. Для преобразования сигнала в передатчике имеется формирователь наносекундных импульсов и усилитель накачки лазера. В приемнике после фотодетектора имеется усилитель-ограничитель импульсов, расширитель импульсов до первоначальной длительности и согласующий каскад.

Для удобства эксплуатации системы разработан вспомогательный канал связи для вызова и голосовой связи с абонентом, в котором используется частотно-импульсная модуляция [7]. В системе предусмотрено также дистанционное управление от выносного пульта.

Скорость передачи данных по основному каналу до 125 кбит/с (ограничивается параметрами используемого типа полупроводникового лазера). Диапазон передаваемых по вспомогательному каналу частот 300-4000 Гц. Предельная дальность действия системи 5 км.

Разработанная оптическая система обмена информации установлена в г. Таллине между зданиями Госплана ЭССР и ЦСУ ЭССР и используется внчислительными центрами этих организаций для связи между ЭВМ. Длина трасси 0.8 км.

Проводились измерения вероятности ошибки в системе в условиях эксплуатации [8]. Для измерения использовался прибор ШИК-ЕС 8503.4 в режиме передачи данных, что ограничило скорость передачи информации до IO кбит/с. Измеренная в течение нескольких месяцев многократными сеансами вероятность ошибки не превышает величины порядка IO⁻⁷ и увеличивается до 4,6·IO⁻⁶ только при малых углах Солнца к направлению трассы из-за возрастания фонового излучения. Качество системы удовлетворяет требованиям к каналам связи для использования в государственной сети вычислительных центров.

Для дополнительного улучшения качества передачи информации, а также для увеличения радиуса действия лазерных систем могут быть использованы другие возможности лазерных систем. Так, в лазерных системах связи достижимы большие скорости передачи информации, которые превышают скорость потока информации от современных дискретных систем. Для увеличения помехоустойчивости можно использовать избыточность канала передачи информации и применять специальные помехоустойчивые коды или повторную передачу информации с проверкой правильности пачек переданной информации в приемном устройстве. Принцип импульсной модуляции интенсивности при передаче дискретной информации используется также в системе связи на полупроводниковом лазере, предназначенной для двухсторонней связи между малогабаритной ЭВМ Д-I5 фирмы DATA-SAAB и его терминами. Практически система связи установлена между процессором ЭВМ Фацит-5I24 и удаленным рабочим местом (или несколькими рабочими местами) Фацит-5I33. Система, по сравнению с рассмотренной выше системой обмена информацией между ЭВМ, является более совершенной.



Фиг. 5. Схема системы связи с полупроводниковым лазером для работы с малогабаритной ЭВМ.

1 – ЭВМ или рабочее место; 2 – адаптер: 3 – формирователь импульсов длительностью 50 нс; 4 – усилитель мощности; 5 – лазерный диод; 6 – фотодетектор; 7 – усилитель и ограничитель наносекундных импульсов; 8 – формирователь 0,5 мкс импульсов.

Принципиальная схема полупроводниковой системы связи приведена на фиг. 5. Между оптическим приемопередатчиком и процессором (или рабочим местом включается) адаптер. Адаптер включает преобразователь трехуровневого кода системы процессор-рабочее место в короткие импульсы, которые передаются по лазерной линии связи. Адаптер производит обработку сигнала ЭВМ таким образом, чтобы передать информацию об изменениях сигнала ЭВМ, а также об окончании кода ЭВМ.

Выходной сигнал адаптера в виде коротких импульсов усиливается в импульсном усилителе с большой выходной мощностью и управляет режимом работы полупроводникового лазера-передатчика. В приемнике используется фотодиод с последукщим импульсным усилителем. Адаптер преобразует выходной сигнал приемника в требуемый для работы ЭВМ трехуровневий код. ЭВМ проверяет правильность информации в пакете из 12 знаков и в случае ошибки передача повторяется.

Система работает в автоматическом полудуплексном режиме. Радиус действия 2 км (ограничен параметрами используемых полупроводниковых лазеров). Скорость передачи информации до 200 кбит/с.

Разработанная система связи установлена и используется в г. Таллине между зданиями Министерства местной промышленности ЭССР и заводом "Сальво".

В итоге можно заключить, что комплексное использование методов уменьшения атмосферных флуктуаций и методов помехоустойчивой передачи информации позволяет добиться достаточно высокого качества передачи информации по атмосферным лазерным линиям связи.

Литература

I. Хинрикус Х.В. Расчет систем квантовой электроники с учетом избыточных щумов. См. наст. сб. с. 3.

2. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М., Наука, 1967.

3. Гочелашвили К.С., Певсов В.П., Шишов В.И. Насищение флуктуаций интенсивности лазерного излучения на больших дистанциях в турбулентной атмосфере. – Квантовая электроника, 1974, т. I., № 5, с.II56.

4. Сымера Т.П., Уусмаа П.А., Хинрикус Х.В., Мальсуб Ю.Э. Вероятность ошибки атмосферной лазерной линии связи. - Квантовая электроника,1976, т. 3. № 7. с. 1403. 5. Мальсуб Ю.Э., Сымера Т.П., Сювала Р.Я., Уусмаа П.А., Хинрикус Х.В. Линия оптической связи на волне 0,63 мкм. — Электросвязь, 1977, № 2, с. 26.

6. А финогенов В.Н., Хинрикус Х.В. Деполяризация лазерного излучения в оптическом канале. – Изв. вузов СССР, Радиоэлектроника, 1972, т. 15, № 12, с. 1501.

7. Лапимаа Ю.Ю. Служебный канал лазерной системы связи. См. наст. сб. с. 35.

8. Мейгас К.Б., Уусмаа П.А. Измерение вероятности ошибки при передаче данных в системе связи на полупроводниковом лазере. См. наст. сб. с. 29.

> B. Zakharov, Y. Lapimaa, P. Uusmaa, H. Hinrikus

The Methods for Increasing the Quality of Laser Communication Systems in Atmosphere

Summary

We have considered the methods for increasing signalto-noise ratio in the systems and methods for modulation and demodulation of signals with multiplicative noise. These methods are used in laser communication systems made in the Tallinn Polytechnic Institute. Here a communication system using He-Ne laser with the information capacity 2.5 Mb/s, a system using Ga:As laser for analog signal, two systems using Ga:As laser for data transmission between computer with the information capacity of 150 kb/s and a system using Ga:As laser for teletype signal transmission have been developed. № 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9

К.Б. Мейтас, П.А. Уусмаа

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ЛАЗЕРЕ

В связи с созданием вычислительных центров коллективного пользования (ВЦКП) возникает необходимость объединения многих абонентов в единую сеть. Для создания этой единой сети необходимы каналы связи. При использовании телефонных линий для этих целей в канале связи могут возникнуть помехи, которые нарушают нормальную работу ВЦКП. Прокладка же специальных коаксиальных линий в условиях города сложна и, зачастую, не представляется возможной. В связи с этим весьма перспективно применение лазерных систем связи.

Настоящая статья посвящена изучению вопроса помехоустойчивости лазерной системы связи на полупроводниковом лазере, объедичяющем вычислительные машины Госплана ЭССР с вычислительным центром ЦСУ ЭССР. Протяженность трассы составляет около I км, проходит трасса в условиях города на высоте от 25 до 40 м.

Линия связи состоит из двух приемопередатчиков, в качестве излучателя применяется полупроводниковый лазер типа ЛД-I8 с длиной волны излучения около 0,9 мкм. Диаметр приемной апертуры составлял 0,60 м, диаметр передающей апертуры - 0,04 м. Мощность излучения лазера составляет 2 Вт при длительности импульса 50 нс [I].

Для проведения измерений один из приемопередатчиков был включен сам на себя, то есть система работала в системе шлейфа.

Структурная схема включения лазерной системы связи для проведения измерений вероятности ошибки приведена на



от ослабления в трассе.

фиг. І. Измерения проводились со скоростью передачи информации до ІО кбит/с. В качестве измерителя использовался прибор для измерения коэффициента ошибки ПИК-ЕС 8503.4, позволяющий измерять вероятность ошибки до I,25·IO⁻⁷ [2]. Измерения проводились в любую погоду в период с 28.I2.78 по 30.03.79 г. Данные измерений приведены в таблице I. Как видно из таблицы, вероятность ошибки не превышала величины 7·IO⁻⁷ и только в условиях малых углов по отношению к солнцу достигала значения 4,6·IO⁻⁶, что обусловлено чрезвычайно высоким уровнем фона.

30

Для выяснения динамического циапазона системы были проведены эксперименты с нейтральными ослабителями, которые помещались перед фотоприемником и уменьшали мощность излучения попадающего на фоточувствительный слой приемника. Результаты эксперимента приведены в виде графика на фиг. 2. Как следует из графыка ослабление сигнала в 450 раз не приводит к увеличеник ошибки в пределах чувствительности прибора.

При достижении величины ослабления 450 раз вероятность ощибки резко возрастает, что и естественно, так как система связи имеет пороговое устройство, порог которого установлен выше уровня шумов.



Для выяснения влияния турбулентности атмосферы на вероятность ошибки был проведен эксперимент с ограничением апертуры приемника. Площаль апертуры линейно уменьшалась до значения 0,1 % от первоначальной. Зависимость вероятности ошибки от площади приемной апертуры приведена на фиг. 3. Резкое возрастание вероятности ошибки происходило при площади апертуры приемника 0,3 %. При больших площадях апертуры вероятность ошибки не превышала 1,25.10⁻⁷⁷ и влияние состояния атмосферы на нее не было отмечено, так как в период измерений погода, как правило, была пасмурная и ветренная. В таких условиях турбулентность атмосферы сказыва-

3I

Таблица І

Ne	Время из- мерения	Вероятность ощибки	Примечания
I	пекабрь	<1.25.10-7	e aber anoriere
2		<1.25.10-7	оноя
3	"	<1,25.10-7	
4		4,3.10-6	Малый угол между солн-
5	11	4,6.10-6	цем и оптической осью приемника
6	Ħ	< I,25·10 ⁻⁷	ясно
7	11	<1,25.10-7	and the second second
8	**	<1,25.10-7	Дымка над горизонтом,
9	**	<1.25.10-7	солнечно
IO	=	<1.25.10-7	
II	ÿ	7.10-7	
I2	Ħ	<1,25.10-7	
13	**	<1,25.10-7	ясно
I4		<1,25.10-7	
15	январь	<1,25.10-7	
I6	Ħ	<1,25.10-7	ясно
I7		<1,25.10-7	- hard and a second second
I 8	19 300 11 2010	<1,25.10-7	
I9	Ħ	<1,25.10-7	небольшой снег
20	H	<1,25.10-7	ЯСНО
2I	п	3,4.10	
22	an "rates	<1,25.107	
23	The second s	<1,25.107	пасмурно
24	TT I I I I I I I I I I I I I I I I I I	<1,25.107	
25	11	<1,25.10	
26	d and a second	<1,25.107	
27		<1,25.10	метель
28	The Paralley of	<1,25.10-7	
29	февраль	<1,25.10	
30	"	<1,25.10	ясно
3I	a a "sama man	<1,25.10	

ется незначительно на распространение оптического луча [3].

Таким образом, данная линия связи на полупроводниковом лазере обеспечивает вероятность ошибки в канале не хуже I,25·IO⁻⁷ и способна перекрыть затухание 450 раз. На трассе протяженностью I км приемная апертура может быть уменьшена без ущерба для качества передачи информации.

Величина вероятности ошибки I,25·10⁻⁷ вполне достаточна для осуществления связи между ЭВМ. Проведенные эксперименты позволяют надеяться на перспективность применения лазерных систем связи при создании ВЦКП.

Литература

I. Отчет ТПИ по хоздоговорной работе XT-704, Таллин, 1974.

2. Прибор ПИК-ЕС 8503.4. Техническое описание.

3. Y u r a, H.T. Short-term average optical-beam spread in a turbulent medium. - J. Opt. Soc. Amer., 1973, v. 63, N 5.

K. Meigas, P. Uusmaa

The Error Probability Measurements of Data Transmission by Semiconductor Laser Communication System

Summary

The error probability of data transmission is measured in laser communication system using Ga:As laser. The system is established in Tallinn between two computers, the distance is 1 km. The error probability is measured at the information transmission speed of 10 kb/s. The error probability measured during three months is better than $7 \cdot 10^{-7}$.


№ 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9

Ю.Ю. Лапимаа

СЛУЖЕБНЫЙ КАНАЛ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Для удобства при эксплуатации системы связи разработана вспомогательная система для вызова и переговора с абонентом голосом.

Рассмотрим передающую часть вспомогательного канала (фиг. I). Она состоит из следующих функциональных узлов:

- I) модулятор на операционном усилителе D,;
- задащий генератор на однопереходном транзисторе V₄;

3) устройство согласования с кабельной линией – на транзисторах V₂ и V₃ и трансформаторе Тр1.

Модулятор служит для усиления слабых колебаний о́т динамического микрофона (желательно с низким внутренним сопротивлением – порядка 300 0м) до величины, достаточной для модуляции задающего генератора. Микрофонный сигнал порядка 5 мВ поступает на инвертирующий вход D₄ и усиливается до величины порядка 5 В. Применение инвертирующего входа для усиления выгодно тем, что при отключенном источнике сигнала усиление D₄ становится равным единице и чувствительность модулятора к наводкам резко снижается. Рассчитывается усиление по формуле

$$K_u = \frac{R_5}{r_u}$$

где ru - внутреннее сопротивление источника сигнала, в нашем случае около 300 Ом.

Подставляя величины, получаем, что у нас Ки = 1100.

Модулятор одновременно служит и генератором вызова.Вызов осуществляется нажатием кнопки "Вызов". В этом случае подключается с инвертирующего входа к общему минусу резистор R₁. Также соединяется выход D₁ с его неинвертирующим входом через цень R₄C₄. Таким образом, создается положи-

35



тельная обратная связь и для уверенной генерации повышается усиление D₄. Частота генератора вызова лежит в пределах 600-800 Гц.

С выхода D, НЧ сигнал через частотно зависимую цепь C5 R6 R7 поступает на задающий генератор. Частотно-зависимая цепь служит для осуществления низкочастотных предыскажений, которые принято вводить при ЧМ в целях уменьшения помех. Постоянная времени т = R 6 C 5 выбрана таким образом, что с частоты I,6 кГц начинается подъем переходной частотной характеристики и на частоте 4.2 кГц этот поцьем составляет около ІО дБ по отношению к низким частотам. Задающий генератор собран на однопереходном транзисторе V. Частотно-задающая цепь выбрана таким образом, что в положении покоя средняя частота вырабатываемых импульсов fc = = 16 кГц. Более высокая частота нецелесообразна с точки зрения экономичности и временного ресурса при использовании старотипных лазерных диодов, как, например, ЛД-13, ЛД-15, и ЛЛ-18. Более низкая частота приводит к усложнению электрической схемы, поскольку для подавления неприятного свиста поднесущей требуются дополнительные усилия.

Частота следования импульсов прямо пропорциональна напряжению, которое приложено к резистору R₈, через который заряжается конденсатор C₆. Глубину осуществляемой модуляции можно определить в следующем порядке. Рассчитаем коэффициент передачи R₆C₅R₇R₈ на низких частотах от *ф*ыхода

D, к эмиттеру V,. Сопротивлением емкости C₅ можно пренебречь. Получаем

$$T_{u} = \frac{R_{8}}{R_{6} + R_{7} + R_{8}},$$

где Т. - коэффициент передачи по напряжению.

Подставляя значения резисторов, получаем, что $T_u \approx 0.44$. Развиваемый размах напряжения на выходе D_4 составляет порядка I3 В. Следовательно, на эмиттере V_4 действует изменение напряжения $\Delta U = T_u \cdot U$, где U размах на выходе D_4 . Получаем, что $\Delta U = I.43$ В. Нетрудно рассчитать, что при условии покоя на конценсаторе условно действовало бы напряжение I4.3 В (при подключении эмиттера V_4 напряжение не будет I4.3 В, а всего лишь порядка вольта). Рассчитаем относительное изменение напряжения, получим IO %. Следовательно и средняя частота изменяется на IO %, что составляет I,6 кГц.

Таким образом, глубина модуляции составляет ±5 % на низких частотах и порядка ±15 % на частоте 4,2 кГц.

Для развязки V₄ от следующей схемы и усиления служит эмиттерный повторитель на V₂. Для согласования с низкоомной кабельной линией служит ключевой каскад на транзисторе с нулевым базовым смещением. Нагрузкой V₃ служит согласующий понижающий трансформатор Тр1 с коэффициентом передачи 5:2. Для развязки в цепи питания V₃ стоит фильтр Dp1C₈.

На виходе вторичной обмотки трансформатора получаются импульсы амплитудой около 6 В и длительностью около 0,5 мкс. Фронт нарастания около 10 нс. Эти импульсы подаются на лазерный передатчик и лазер высвечивает световые импульсы в сторону абонента. На приемной стороне абонента эти световые импульсы принимаются и на выходе фотоприемника формируются снова электрические импульсы длительностью 0,5 мкс и амплитудой 6 В. С выхода фотоприемника импульсы поступают на вход приемной части вспомогательного канала.

Функционально приемная часть состоит из следующих узлов фит. 2.

I) согласующая цепь - R, и R₂;

2) расширитель импульсов - на D₄ ÷ D₄;

3) фильтры низких частот - 2 пассивных - R₄C₃ и R₁₂LC₉ и один активный фильтр на D₅;

4) оконечный усилитель НЧ - на D₆V₁V₂.

Вход канала согласован с кабелем с волновым сопротивлением 75 Ом. С выхода согласователя сигнал поступает на расширитель импульсов, который вырабатывает импульсы с длительностью около 47 мкс. Схема особенностей не имеет. С выхода

D₄ через разделительный конденсатор C₂ длинные импульсы поступают на интегрирующую цепочку R₄C₃ с частотой среза около 3,4 кГц. С выхода этой цепочки сигнал поступает на вход активного фильтра второго порядка с частотой среза 3,4 кГц. Активным элементом D₅ служит операционный усилитель. С выхода активного фильтра НЧ сигнал поступает на пассивный фильтр второго порядка R₄₂L₄C₉. Резонансная частота L₄R₉ лежит около 3,4 кГц. Добротность колебательного



фиг. 2. Смема приёмника вспомогательного канала

контура выбирается подбором величины резистора R₁₂. Оказалось возможным при указанной на схеме величине R₁₂ выровнить частотную характеристику до частоты 4 кГц. Использование трех фильтров НЧ последовательно и в последующем еще в оконечном усилителе НЧ позволило подавить несущую частоту I6 кГц около 60 дБ. С выхода фильтра R₁₂L₁C₉ НЧ сигнал поступает на вход оконечного УНЧ с коэффициентом усиления около I0 на низких частотах и до I на частоте I6 кГц. Для уменьшения выходного сопротивления и увеличения выходной мощности использовано два низкочастотных комплементарных транзистора средней мощности. Пиковая выходная мощность около I,5 Вт, средняя 0,7 Вт.

Основные параметры вспомогательного канала следующие:

I. Метод модуляции - ЧИМ;

2. Средняя частота несущих импульсов - 16 кГц;

3. Глубина модуляции - +5 %;

4. Полоса передаваемых и воспроизводимых частот от 100-4000 Гц;

5. Нелинейные искажения - менее 5 %;

Вчходная мощность звукового канала – номинальная
 0,7 Вт, максимальная I,5 Вт;

7. Уровень щумов не хуже 50 дБ;

8. Вход и выход согласованы на коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом;

9. Передача от микрофона МД 200, МД 64 и т.д.;

IO. Имеется тональный вызов.

J. Lapimaa

Laser Communication System Service Channel

Summary

The communication channel on the laser system is described in detail.

This service channel was used to transmit telephone signals in frequency band 100...4000 Hz. Technical characteristics and electronic circuits constructions are presented here. № 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED ТРУЛЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

YIK 621.378.9

А.А. Таклая

(3)

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ЛЕЙСТВИЯ НАПРАВЛЯЮЩЕЙсобирающей оптической системы

Определим коэффициент полезного действия п направляюцей-собирающей системы как отношение энергии Р. собираемой приемной апертурой к энергии Ро излучаемой передатчиком без учета потерь в оптике на отражение и поглощение, т.е. рассмотрим ту часть к.п.д., которую мы в силе изменять изменением фокусного расстояния и диаметра приемного и передающего объектива. По определению к.п.д. равен:

$$\eta = \frac{P_c}{P_0}.$$
 (I)

Во многих случаях распределение интенсивности в поперечном сечении лазерного пучка - гауссово. Как показано в [I] в этом случае при радиусе пучка R у приемника мощность, собираемая приемной апертурой раднусом г, дается выражением

$$P_{c} = P_{o} \left[1 - Q \left(\frac{P}{R} ; \frac{r}{R} \right) \right],$$

$$\mathbf{r}_{\mathbf{A}\mathbf{e}} \qquad Q \left(a, b \right) = \int t \, e^{-\frac{t^{2}+a^{2}}{2}} J_{o}(at) \, dt ,$$
(2)

здесь о - расстояние между центрами цучка и приемной апер-TYPH;

J. - функция Бесселя чисто мнимого аргумента;

Q(a,b) - функция, табулированная в [2].

Если центр пучка точно настроен в центр приемной апертуры, $\mathbf{N} \mathbf{0} = \mathbf{0}$ or

$$Q(0; \frac{r}{R}) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{R}\right)^2}.$$

Тогда выражение (2) упрощается и собираемая приемной апертурой мощность внчисляется с помощью более престого выра-REHMA

$$P_{c} = P_{o} \left(1 - e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{R} \right)^{2}} \right).$$

Отсюда для к.п.д. получаем выражение

$$\eta = 1 - e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{R}\right)^2}.$$
 (5)

(4)

Из (5) видно, что η зависит только от отношения r/R. Поэтому при изучении возможностей повышения к.п.д. направляющей-собирающей системы естественным является интересоваться возможностями увеличения отношения r/R. Поскольку от радиуса приемной апертуры зависит не только величина сигнала, но и величина шума на фотоприемнике, то увеличивать р можно только до определенных пределов. От величины приемной апертуры зависит величина дробового щума, возниканцего от попадания фонового издучения на фотоприемник. Весьма часто шумы приемника определяются дробовым шумом. Такая ситуация карактерна для атмосферных линий связи C полупроводниковыми излучателями. В этом случае в приемном тракте нельзя использовать узкополосные оптические фильтры иля подавления фона, поскольку частота этих излучателей нестабильна и спектр излучения относительно широк.

Фототок Ј от фона, возникатций в фотодетекторе, пропорционален площади фоточувствительной поверхности, т.е. при круглой апертуре пропорционален квадрату радиуса приемной апертуры

$$J = mr^2, \tag{6}$$

где m - коэффициент пропорциональности.

Среднеквадратичное значение дробового щума in этого тока на единицу полосы частот

$$v_n = \sqrt{2gJ} = \sqrt{2gmr^2} = \kappa r, \qquad (7)$$

где q - заряд электрона;

к - коэффициент пропорциональности.

При гауссовом распределении интенсивности в пучке света фототок сигнала определяется выражением

$$i_{s} = i_{o} \left(1 - e^{-\frac{4}{2} \left(\frac{\Gamma}{R} \right)^{2}} \right),$$
 (8)

где и - сигнал при захвате всего потока излучения.

Отношение сигнал-шум в этом случае

$$\frac{i_{s}}{i_{n}} = \frac{i_{o}\left(1 - e^{-\frac{4}{2}\left(\frac{r}{R}\right)^{2}}\right)}{\kappa r} .$$
(9)

Оптимальный радиус приемной апертуры, максимизирующий выражение (9) получим, если производную этого выражения по приравняем к нулю

$$\frac{\partial(\frac{i_{s}}{i_{n}})}{\partial r} = \frac{i_{0} \frac{1}{2R^{2}} \cdot 2r \cdot e^{-\frac{i}{2}(\frac{r}{R})^{2}} \kappa r - i_{0}(1 - e^{-\frac{1}{2}(\frac{r}{R})^{2}}) \kappa}{\kappa^{2} r^{2}} = 0.$$
 (I0)

Последнее условие выполняется, если числитель выражения (10) равен нулю, то есть

$$e^{\frac{1}{2}(\frac{r}{R})^2} - (\frac{r}{R})^2 = 1.$$
 (II)

Из выражения (II) видно, что максимальное отнощение сигналщум определяется только отнощением $\frac{\Gamma}{R}$. Это достигается при значении

$$\frac{1}{R} = 1,6$$
 (12)

При увеличении приемной апертурн выше оптимальной шумы растут быстрее, чем сигнал. Таким образом увеличивать η за счет увеличения приемной апертуры следует только до определенного предела (r/R = I,6, η = 72%). Дальнейшее повышение к.п.д. оптической системы приводит к ухудшению соотношения сигнал-шум.

Литература

I. Таклая А.А. Флуктуации мощности при блуждании лазерного пучка. Квантовая электроника 4, 1977, № 4.

2. Барк Л.С. и др. Таблицы распределения Релея-Райса. М., Изд. вычисл. центр. АН СССР, 1964.

A. Taklaja

Efficiency Factor of Optical Directing-collecting System

Summary

The expression for efficiency factor dependence on aperture to beam radius ratio $\frac{r}{R}$ is derived for gaussian beam. Also the optimum value of this ratio that minimizes the signal-noise ratio is derived. The optimum value of $\frac{r}{R} = 1.6$.

₩ 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9

А.А. Таклая

ЗАВИСИМОСТЬ ШИРИНЫ ЦУЧКА У ПРИЕМНИКА ОТ РАДИУСА И ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ПЕРЕДАКЩЕГО ОБЪЕКТИВА

Радиус цучка у приемника на расстоянии L от издучателя внчисляется с помощью выражения

$$R^{2} = a^{2} \left[1 - \frac{L}{f} \right]^{2} + \frac{c^{2} L^{2}}{F_{1}^{2}} + \frac{L^{2}}{\kappa^{2} a_{0}^{2}}, \qquad (I)$$

где q - радиус передатией апертуры;

- f расстояние, на которое фокусируется издучение; Если пучок, выходящий из передающей апертуры, расходится, то перед f ставят знак минус и мнимый фокус находится за передающим объективом. Если пучок параллелен, то f = ∞.
- с радкус некогерентного источника, в случае когерентного источника (лазера) С = 0;
- F1 фокусное расстояние переданцей оптики;
- d₀ эффективный радйус когерентности, который вычисляется как

$$\frac{1}{a_0^2} = \frac{1}{a_2} + \frac{1}{\rho_0^2}, \qquad (2)$$

где ρ_0 - раднус когерентности излучения в турбулентной атмосфере [I]

$$\rho_{0} = (0,545 c_{n}^{2} \kappa^{2} L)^{-\frac{3}{5}}, \qquad (3)$$

Сп - структурная постоянная, карактеризующая величину оптических неоднородностей;

 $\kappa = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число излучения с длиной волны λ . Первые два члена в выражении (I) показывают ход дучей с точки зрения геометрической оптики. Эти члены дают квадрат геометрического радиуса $R^2_{\text{геом}}$. Третий член показывает уширение пучка за счет дифракции на передающей апертуре и из-за турбулентности атмосферы. Этот член дает квадрат дифракци-







б) уширение пучка, вызванное ро.

онного радмуса пучка R² лиф. Таким образом

$$R^2 = R^2_{\text{reom}} + R^2_{\text{qut}}.$$
 (4)

Для повышения к.п.д. системы следует пучок по возможности сузить. Обычно в практике стараются пучок сфокусировать на приемник, т.е. получить f = L, тогда при работе с когерентным источником (лазером) c = 0 и выражение (I) примет вид

$$R^{2} = \frac{L^{2}}{\kappa^{2} d_{2}^{2}}.$$
 (5)

Или учитывая (2)

$$R^{2} = \frac{L^{2}}{\kappa^{2}} \left(\frac{4}{\alpha^{2}} + \frac{4}{\rho_{0}^{2}} \right).$$
 (6)

Как выдно из этого выражения, нет смысла выбирать радиус апертуры передатчика намного больше, чем ρ_0 . Сказанное выше касается случая, не учитывающего абераций в объективе и качества других оптических элементов (окна, направляющие зеркала), а также неполной когерентности полупроводникового лазера. используемого в системе.

Для облегчения выбора передающей апертуры на фиг. I, приводятся зависимости ρ_0 и R от расстояния между приемником и передатчиком.

Литература

I. Yura, H.T. J. Opt. Soc. Amer., 1973, v. 63, N 5.

A. Taklaja

Dependence of Beam Radius on the Receiver Plane on Focus Length and Aperture Radius of Transmitter Objective

Summary

The beam radius expression that takes also atmospheric turbulence and noncoherent source dimensions into account is derived. In the case of noncoherent source (light emitting diode) the main factor determining the beam radius is the ratio of source radius to focus length. In the case of coherent source (laser), the limiting factor is usually an atmospheric turbulence. № 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED TPYJH TAJJNHCKOFO HOJNTEXHNYECKOFO NHCTNTYTA

> УДК 621.378.9 Э.П. Полма

РАБОТА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

В ряде случаев применения полупроводниковых лазеров, например, для зондирования газового состава атмосферы, необходимо обеспечить перестройку его рабочей длины волны. Как известно, полупроводниковый лазер представляет собой кристалл малого размера, который является активным веществом и резонатором. Для изменения рабочей длины волны надо какими-то факторами воздействовать на этот кристалл.

Этими факторами могут быть:

 гидростатическое давление – т.е. механическое воздействие [3];

 2) магнитное поле – т.е. воздействие на лазер внешним магнитным полем [4];

3) температура - т.е. изменение температуры лазера [2]. Некоторые результаты, полученные этими методами, приведены в таблице I [I].

Из таблицы I видно, что перестройка под влиянием температуры является наиболее эффективной. Изменение длины волны можно объяснить изменением линейных размеров резонатора (тепловое расширение) и изменением ширины запрещенной зоны в полупроводнике.

Одним из путей изменения длины волны лазера является изменение его накачки. Можно предположить, что в каком-то участке изменения мощности возбуждения отношение между мощностями излучения и тепловыми потерями не изменяется, а это значит, что в данном участке температура лазера изменяется пропорционально току накачки. Следовательно, можно получить зависимость $\lambda = f(I_{\rm H})$.

Таблица І

Перестройка рабочей длины волны полупроводникового лазера

C SVC. 195 MIL I	идрост	гатическим	давлением	AND REAL ROLL OF
Рабочее вещество	TK	P _{Makc} , koap	λ min, mem	μ Marc, MRM
PbSe	77	14	7,3	22
N	arhuti	ным полем		
Рабочее вещество	TK	B _{Marc} ,	H MILH , MRM	Marc, MRM
Рьте	IO	30	6,39	6,60
Pb Se	IO	50	8,27	8,52
PbS	IO	35	4,25	4,32
Pb0.79 Sn0.21 Te	IO	IO	14,45	15,38
Pb0.74 S0.26 Te	IO	IO	21,75	24,80
Pbog Snot Se	IO	20	23,62	27,87
InAs	2	90	3,04	3,13
InSb	2	70	5,06	5,25
Pboza Snozz Se	IO	58	18,65	23, 18
Pb 0,81 Sn 0,19 Se	IO	80	25,57	34
Температурой				
Рабочее вещество	TMEH	K TMARC K	X.MEH, MRM	λ _{Make} , MRM
Ph Se	4,2	80	6,89	8,27
Pb 0,94 Sn 0.06 Se	4,2	I00	9,76	13,8
Pb 0,9 Sn 0,1 Se	4,2	100	13,8	24.8
Pb 0.72 Sn 0.28 Se	4,2	85	II,8	17,7
Pb 078 Sn 0.22 Se	4,2	65	20,0	27,6

В данной работе приведены некоторые результаты исследования работы полупроводникового лазера в режиме изменения тока накачки.

Полупроводниковый лазер может работать как в импульсном, так и в непрернвном режиме. В импульсном режиме мощность импульса составляет 3-5 Вт ($f = 6 \ \text{кГц}, \tau_u = 100 \ \text{нс}$), непрерывном режиме мощность излучения - несколько милливатт. Преимущество непрерывного режима в том, что легче сформировать необходимый ход тока накачки, который обеспечил бы линейное во времени изменение длины волны. Но так как плотность тока накачки в лазерном режиме составляет несколько тысяч ампер на квадратный сантиметр, в непрерывном режиме рассеиваемая мощность при комнатной температуре намного выше допустимой.

Проблему можно решить применением охлаждения, например. жилким азотом. Наряду со своими неудобствами охлаждение имеет некоторые преимущества. Во-первых, пороговый ток лазера имеет температурную зависимость І ~ Т³ [2]. При снижении температуры от 290 до 77 К (температура жидкого азота) значительно уменьшается и пороговый ток для лазерного режима. Это дает возможность упростить устройства для H3--качки лазера. Во-вторых, если мы применяем охлаждение XUIIким азотом, у нас гарантируется постоянная начальная температура лазера, мало зависящая от внешних условий. Это 3H8чит. что при сканировании длины волны лазера всегда обеспечивается одинаковая начальная длина волны.



фиг. 1. Схема эксперимента исследования спектра полупроводникового лазера.

Нами проведено исследование температурной зависимости длины волны полупроводникового лазера на структуре GaAs. Схема экспериментальной установки приведена на фиг. I.



Фиг. 2. Зависимость длины волны лазера. от тока накачки.

Ток накачки лазера регулируется реостатом R и регистрируется при помощи амперметра А. Виходящее из лазера излучение модулируется дисковым модулятором МОД. Приемником излучения является фотоэлектронний умножитель - ФЗУ. Регистрируется сигнал при помощи осциллографа Осц и милливольтметра В. Для исследования спектра излучения применялся спектрометр СМ (типа SPM2, разрешанщая способность 0.01%)

Результат эксперимента, функция $\lambda = f(I_{H})$ приведена на фиг. 2.

Литература

I. Мелнгайлис Д. Использование дазеров для контроля загрязнения атмосферы. ТИИЭР, 1972, Е-IO, и I, с. 24-40

2. Натан Р. Полупроводниковые лазеры. ТИИЭР, 1966, 54. # 10. с. 102-128.

3. Mayerhofer, D. Frequency tuning of GaAs laser diode by uniaxial stress. - Appl. Phys. Lett., 1963, 3, N 11, p. 171-172.

4. M e l n g a i l i s, J. Magnetically tunable CW InAs diode maser. - Appl. Phys. Lett., 1963, 2, N 6, p. 202-203.

E. Polma

The Diode Laser Working in Regime of Turning Radiation Wavelength

Summary

There are three main factors by which we can change the diode laser radiation wavelength. They are magnetic field, pressure and temperature. The principles of turning the diode laser wavelength by temperature are considered. The device for the investigation of this dependence is described. The temperature of diode laser crystal is changed by the current of diode. The dependence $\lambda = f(I_p)$ is given.



₩ 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9

Э.П. Полма

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЫО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

В настоящее время стала очень актуальной проблема загрязнения атмосферы. В связи с этим важное место занимают системы контроля уровня загрязнения и системы определения состава и количества примесных газов. В этой отрасли новую перспективу открыли системы, использущие лазерное издучение.

В настоящее время более распространени четыре метода определения газового состава атмосферы с использованием лазеров: это -- методы комбинационного рассеяния (эффект Ландсберга-Манделштама-Рамана), резонансной флуоресценции, теплового излучения и метод поглощения.

Метод поглощения имеет ряд преимуществ перед другими. Методы комбинационного рассеяния и резонансной флуоресценции требуют от лазеров весьма больших мощностей, метод же теплового изучения может быть применен только для горячих газов. Для метода поглощения характерны малые мощности лазеров, возможность контроля в точке и на дистанции, большая чувствительность и простота измерительной системи. Основной недостаток метода поглощения состоит в том, что надо удалить приемник от передатчика или применить какой-либо отражатель. Кроме того, накладываются определенные ограничения на спектр излучения лазера и на его перестройку.

В данной статье приведени некоторые результаты исследования возможностей применения полупроводникового лазера для зондирования атмосферы методом поглощения.

Основой этого метода является способность веществ поглощать излучение на характерных им частотах. Если мы имеем на местности какой-либо отражатель (диффузионный), удаленный от излучателя мощностью P₀ и приемник площадыю F на расстояние R, то регистрируемая мощность может быть определена так [1]

$$P(R) = \rho \frac{P_0}{\pi} \cdot \frac{F}{R^2} \exp(-2\int \alpha(r) dr),$$

где р - коэффициент отражения отражателя;

 коэффициент экстинкции, который совмещает в себе рассеяние Релея, рассеяние на частицах аэрозоля и поглощение молекулами.

Последнее имеет резко выраженную; зависимость от частоты излучения и используется для определения примесных газов атмосферы.

Реальная чувствительность метода составляет около 10⁻² части на 10⁶ и возрастает с удлинением дистанции (то есть возрастание объема исследуемого газа). Теоретическая чувствительность намного выше и составляет 10⁻⁵ частей на 10⁶ [2].

Как было уже сказано, метод поглощения предъявляет некоторые требования к источникам излучения. Основное из них – это возможность перестройки рабочей длинн волны. В проведенном намя эксперименте источником излучения служил полупроводниковый лазерный диод, длина волны излучения которого перестраивалась изменением тока накачки. Пределы изменения длины волны составляют 0,87-0,9 мкм. Чтобы обеспечить близкое к линейному изменение длины волны во времени, был создан блок накачки лазера, основным узлом которого является генератор изменяящегося напряжения. Схема построена так, что можно изменять форму и скорость изменения тока накачки во времени.

Для данной системи, работанщей на методе поглощения, информация заключена в амплитуде принятого сигнала для кахдого спектрального диапазона. Так как наш приемный элемент – ФЭУ – чувствителен и к излучению фона, применяется модуляция полезного сигнала. Для модуляции применяется простая система с дисковым модулятором.

Самая простая сигналообрабативащая схема приведена на фиг. I а. Дуч лазера модулируется модулятором М. После прохождения трасси сигнал регистрируется с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ. Электрический сигнал усилива-

56



Фиг. 1. а) структурная схема 1; б) структурная схема H; в) структурная схема Ш. ется усилителем и пропускается через настроенный на частоту модуляции f полосовой фильтр ПФ. Вывод информации осуществляется при помощи двухкоординатного самописца. На у-вход сигнал подается с выхода полосового фильтра, т.е. информация об амплитуде проходящего атмосферу излучения; на Х-вход поступает информация об изменении тока накачки, т.е. об изменении длины волны излучения. Самописец рисует спектр поглощения этмосферы. Первый недостаток системы определяется методом накачки. Вместе с изменением тока накачки изменяется и выходная мощность (фиг. 2). Второй недостаток в том, что в результате видны и функции выходной мощности лазера. В-третьих, надо предусмотреть в системе интегратор, чтобы уменьшить влияние атмосферных флуктуаций.



Фиг. 2. Зависимость выходной мощности лазера от тока накачки.

Для ликвидации двух первых недостатков будет использована двухканальная система. У основного и опорного канала отдельные приемные элементы. Оптический сигнал на входе основного каналов несет информацию о поглощении. Приемник опорного канала (фотодиод) находится непосредственно у лазерного диода и регистрирует излучение, которое содержит информацию только об изменении мощности лазера. Сигналы обрабатываются в соответствующих каналах и поступают в обрабатывающую схему. На ее выходе сигнал содержит информацию только о поглощении в атмосфере. В качестве обрабатыванией схеми следует применять делитель и, если считать, что виходная мощность Р_в лазера мало изменяется по сравнению с поглощением в атмосфере, можно применять и схему вичитания.

Структурная схема двухканальной системы приведена на фиг. 1 б.

Для опорного канала используется немодулированное излучение. Последнее регистрируется фотодиодом ФД, усиливается, интегрируется и сигнал поступает в обрабатывающую схему. Основной канал подобен структурной схеме 1, добавлен только интегратор.

На основе этой схемы был создан макет установки.

Был проведен ряд экспериментов. В качестве обрабатыващей скемы использовали операционный усилитель с дифференциальными входами, значит, элемент вычитания. В коде работы выявился ряд недостатков скемы.

I. При отсутствие сигнала на входе основного канала на виходе схеми появилось отрицательное напряжение от опорного канала.

2. Не удалось использовать в роли обрабативащей схемы делитель. Если входной сигнал изменялся в X раз, то на входах обрабатыващей схемы эти изменения были намного больше за счет усиления соответствущих каналов. Делителя с таким большим динамическим диапазоном не удалось создать, поэтому была применена схема вичитания.

При создании новой структурной схемы все эти обстоятельства были учтены. Окончательная схема изображена на фиг. I в. Различие двух последних схем закличается в основном в применении делителя и в изменении места его включения, а также в том, что в опорном канале используется модулированный сигнал. Делитель находится сразу на входе системы и работает с мало изменящимися сигналаме.

Результатом работы является макет, который позволяет проводить эксперименты зондирования атмосферы по принципу поглощения.

Измерення проходили на трассе длиной около 600 м.Так нак излучатель и присмник находились в одной точке, применяется специальный отражатель для поворота луча.

bab

₩HГ. 3.

- а) Спектр поглощения атмосферы (24 мая 1977 года, погода сухая, температура воздуха 12 °С):
 - 1 выходной сигнал при выключенном опорном канале;
 - 2 выходной сигнал при включенном опррном канале.

AN MAN A IMN VW N M N N N 14 0,880 0,871

Фиг. 3.

б) Спектр погмощения атмосферы (25 мая 1977 года, погода ясная, температура воздуха 8 °C): 1 - в 22,20; 2 - в 22,30.

Фиг. 3.

- в) Спектр поглощения атмосферы (26 мая 1977 года, погода сухая, температура воздуха 9 °С):
 - 1 в 22.10; 2 в 22.20; 3 в 22.30.

AMM MM 14 In hour My My My My Wywwhat had W 41 0.877 0.882

Фиг. 3.

- г) Спектр поглощения атмосферы (24 мая 1977 года, небольшой дождик, температура воздуха 12 °C):
 - 1 в 22.05; 2 в 22.20.

Испитаниям подвергались макеты, которые были созданы на основе всех трех вариантов структурной схемы, I и II только в лабораторных условиях, не выхода на трассу. С третьим макетом установки были проведены эксперименты на трассе, обычно с темное время суток. Это позволило значительно увеличить чувствительность (за счет уменьшения фонового излучения возрастает отношение сигнал-щум на входе).

Из результатов эксперимента видно, что в разных опытах есть повторяющеся линии поглощения, которые выделяются на фоне щумов. Для увеличения чувствительности системы надо уменьшить спектральную ширину линии издучения. В ходе работы еще не удалось няйти для этого оптимального режима накачки. Это значит, что система имеет большие потенциальные возможности при сужении линии издучения лазера.

На фит. 3 а, б, в, г приведены несколько результатов, характеризущих эксперименты зондирования атмосферы. Спектры поглощения сняты в разные дни в разное время (отмечено у спектра). Каждому результату добавлена для сравнения временная диаграмма шумов системы.

Литература

I. Brinkmann, U. Air pollution studies using lasers. Laser 75 Opto-Electron. - Conf. Proc., Munich, 1975. Guildford, 1976, p. 268-270.

2. Мелнгайлис Д. Использование лазеров для контроля загрязнения атмосферы. ТИИЭР, 1972, Е-IO, # I, с. 24-40.

E. Polma

Some Results of Atmosphere Pollution Monitoring Employing Tunable Diode Laser

Summary

IN TRACTING CONTRACTORY OF A CONTRACT OF A CONT

A method for atmosphere pollution monitoring by resonance absorption is considered. Three principles for the development of a device for sounding atmosphere are given. The two-channel system excludes the effect of laser radiation fluctuation in output signal. An experiment of monitoring atmospheric transparency is described. Some results of this experiment are given.



婚 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУЛЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9

Б.В. Захаров, Ю.Ю. Григорьев

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ НА НРИНЦИПЕ СОВМЕЩЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ НА ФОТОКАТОДЕ ФЭУ

Импульсные методы измерения расстояний. использующие оптическое излучение, обладают рядом преимуществ перед фазовыми, однако, проигрывают им по точности измерений. 0cновная проблема, стоящая при использовании импульсного метода, заключается в сложности точной фиксации момента прихода импульса. Обычно считается, что точность системы **N3**мерения расстояния импульсным методом определяется плительностью фронта принимаемого импульса, которая, как правило, составляет 0.5-2 нс. Фиксация времени прихода MMцульса с такой точностью приводит к точностям 15-30 см. Однако такая точность измерения не всегда приемлема, поэтому поиски технических решений, позволяющих повысить точность ИМПУЛЬСНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРСНИЯ РАССТОЯНИЙ, ПРОВОДЯТСЯ ВЕСЬМА интенсивно [I. 2].

В настоящей работе рассматривается один из возможных методов повышения точности измерений расстояний с помощью импульсного дальномера, основанный на совмещении светового импульса с электрическим на фотокатоде фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).

Импульсная модуляция фототока ФЭУ с помощью внешнего модулирующего устройства использовалась в [3], однако в этой работе рассматривается лишь стимуляция эмиссии фотокатода импульсным сигналом, подводимым с помощью внешнего модулятора. Нами предлагается компенсация фототока ФЭУ,возникающего под действием светового импульса с помощью электрического импульса, совмещенного во времени со световым.

Фиг. I иллострирует сказанное. При подаче на фотокатод электрического импульса положительной полярности проискодит отсечка эмиссии фотокатода на время, равное длительности фронта электрического импульса. Поэтому, если в этот момент на фотокатод поступает световой импульс, фототок, вызванный им, будет скомпенсирован током смещения, возникающим в промежутке, модулирующий - электрод-фотокатод ФЭУ при подаче электрического импульса. Сказанное можно записать аналитически.

Фототок, вызванный световым импульсом, определяется так:

$$i_{\phi} = N \eta e / \tau_{\mu}$$

где

N - число фотонов сигнального импульса;

η – квантовая эффективность фотокатода;

е - заряд электрона;

tu - длительность светового импульса.

Учитывая, что N = $\frac{P_{np}}{h_{\nu}/\tau_u}$, где P_{np} – мощность светового импульса на поверхности фотокатода; h_{ν} – энергия одного фотона, можно выразить величину фототока через мощность принимаемого излучения:

$$t_{\phi} = \frac{P_{np}}{h\nu} \eta e$$
.

При подаче на фотокатод электрического импульса в промежутке фотокатод-модулирующий электрод возникает ток смещения:

$$\dot{L}_{CM} = - \epsilon \epsilon_0 S_K \frac{1}{L} \frac{dU_3}{dt},$$

где S_к - площадь фотокатода;

 – расстояние между модулятором и фоточувствительным слоем фотокатода;

U3 - амплитуда запирающего импульса;

- диэлектрическая проницаемость защитного стекла фотокатода;
- ε0 диэлектрическая проницаемость вакуума.

Для компенсации фототока током смещения необходимо условие:

T.e.
$$i_{CM} + i_{\Phi} = 0,$$
$$\frac{P_{np}}{h_{22}} \eta e = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S_K}{L} \frac{dU_3}{dt}$$

Отсюда можно определить необходимую величину запирающего имцульса:





б) компенсация сигнального импульса электрическим.

$$U_{3} = \frac{P_{np}\eta e}{h\nu \epsilon \epsilon_{0}} \frac{l}{s_{\kappa}} \tau_{\phi}^{3},$$

где τ_{ϕ}^{3} – длительность фронта запирающего электрического импульса.

При соблюдении этого условия, при полном соемещении светового и фронта электрического импульса во времени, на нагрузке будет наблюдаться отсечка эмиссии фотокатода на время, равное длительности фронта электрического импульса. Основываясь на описанном выше методе был построен макет импульсного светодальномера, структурная схема которого приведена на фиг. 2.



Фиг. 2.

 генератор импульсов; 2, 5 - дискретные линии задержки; 3, 6 - плавноперестраиваемые линии задержки; 4 - полупроводниковый лазер; 7 - внешний модулирующий электрод; 8 - ФЭУ; 9 - индикатор; 10 - передающая и приемная оптика; 11 - отражатель.

Принцип работи макета следующий: запускающий импульс от генератора I, через дискретную линию задержки 2 и плавную линию задержки 3 запускает полупроводниковый лазер 4. Световой импульс через передающую оптику IO направлялся на отражатель II и возвращался через приемную оптику IO' на фотокатод ФЭУ 8. Тот же самый запускающий импульс от генератора I, через дискретную 5 и плавную 6 линии задержки подавался на фотокатод ФЭУ с помощью внешнего модулирующего электрода 7. Сигнал с нагрузки ФЭУ наблюдался на индикаторе 9. Изменяя времена задержки в опорной цепи (дискретная 5 и плавная 6 линии задержки) добивались полного сосмещения фронта электрического запирающего импульса со све-
товым импульсом, и по показаниям линий задержки 5 и 6 определялась задержка светового импульса на оптической трассе, однозначно связанная с длиной трасси:

$$\tau_{ont} = 2 \frac{nL}{C}$$
,

где n - показатель преломления атмосферы;

L - длина трассы;

С - СКОРОСТЬ СВЕТА В ВАКУУМЕ.

Линии задержки 2 и 3 служили для выравнивания задержек в опорной и измерительной цепях при закороченной оптической трассе, то есть для установления начала отсчета.

Измерения проводились для двух случаев:

I. Длительность светового импульса и фронта электрического импульса одинаковы τ_u = τ³_b.

2. Длительность фронта запирающего импульса меньше длительности светового импульса $\tau_u > \tau_{cb}$.

В первом случае при полном совмещении светового импульса с фронтом электрического наблюдалась полная компенсация светового импульса и измерения проводились на минимум сигнала.

Во втором случае на сигнальном импульсе наблюдалась временная метка (провал), равная по длительности фронту запиракщего импульса; изменяя задержку спорной цепи можно было помещать ее в любую точку импульса.

На фиг. З приведены осциллограммы сигнала на нагрузке ФЭУ для обоих случаев:

Второй случай предпочтительнее, так как временную метку можно сделать весьма короткой и помещать в любое место импульса. Обычно метку лучше всего помещать в центр тяжести импульса, так как при искажении импульса атмосферой он смещается незначительно.

Измерения, проведенные на макете импульсного светодальномера на трассе порядка IOO м с диффузионным отражателем показали, что при использовании этого способа точность измерений существенно возрастает. Погрешность измерения в эксперименте составила около I см, что позволяет надеяться на перспективность этого метода. Потенциальную точность метода можно определить, в случае $\tau_u > \tau_{\phi}^3$ следующим образом:



Фиг. 3. а) $ilde{L}_{\phi} > ilde{T}_{\phi}^{3}$, наблюдается провал, равный по длительности $ilde{T}_{\phi}^{3}$.



Фиг. 3. б) T_u = T⁹_p, наблюдается компенсация сигнального импульса фронтом электрического импульса.

$$\Delta L = \frac{c}{U} \frac{\Delta U}{U_0} (\tau_u - \tau_{\varphi}^{\vartheta}).$$

Сказанное поясняется на фиг. 4.

Одним из источников ошибки является стабильность линий задержки. Плавноперестриваемая стабильная линия задержки была разработана авторами и описана в [4].

В заключение необходимо отметить, что точность измерения расстояний методом совмещения импульсов на фотокатоде ФЭУ может быть увеличена за счет введения временной девиации сигнального импульса относительно электрического.



от положения замирающего импульса при т₃ < т_с.

Литература

I. Большаков В.Д., Демушкин А.И., Клюшин Е.Б. Электронно-оптический способ определения расстояний. Авт. свид. № 178507 от 22.01.1966 г. Бюллетень изобретений № 3.1966.

2. Захаров Б.В., Григорьев Ю.Ю., Хинрикус Х.В. Зондирование турбулентной атмосферы с помощью электрооптического рециркулятора. - Сб. Трудой Ш Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. Томск, 1975.

3. Скибарко А.П., Петрухин Г.Д., Мартюшев Г.Д. - Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника, том XIУ, 1971, № 7.

4. Григорьев №.№., Захаров Б.В. Плавноизменяемая задержка на диодах с накоплением заряда.-Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1977, № 429.

B. Zakharov, Y. Grigoryev

Method of Distance Measurement Using Pulse Coincidence of Photoelectric Multiplier Cathode

Summary

In this paper the method of photoelectric multiplier cathode emission control using pulse signals is described. The optical pulse rangefinger using this method is presented.

By using this kind of optical pulse rangefingers it is possible to measure the distance from 1 to 100 m for diffusion reflective surfaces.

₩ 492

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 621.378.9

Ю.Ю. Григорьев

ВРЕМЕННАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ПРОХОЖДЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА В СИСТЕМЕ СВЯЗИ НА ПОЛУПРОВОЛНИКОВОМ ЛАЗЕРЕ

Лазерные системы передачи информации находят весьма пирокое применение для создания пирокополосных каналов связи. В некоторых случаях возникает необходимость передавать информацию с высокой временной точностью, т.е. в случае дискретной информации, знать возможные временные сдвиги принятого импульса.

Рассмотрению подлежит система связи на полупроводниковом лазере, работающая в условиях открытой атмосферы. При прохождении импульсного сигнала по системе связи возможны два вида нестабильности: нестабильность времени прохождения светового импульса в атмосфере, обусловленная неоднородностями атмосферы $\Delta \tau_{0nt}$ и нестабильность прохождения электрического импульса по цепям обработки и формирования сигнала $\Delta \tau_{36}$. Таким образом, общая нестабильность

 $\Delta \tau^2 = (\Delta \tau_{\text{ODT}})^2 + (\Delta \tau_{\text{AA}})^2.$

Рассмотрим факторы, влиямцие на нестабильность времени прохождения светового импульса в открытой атмосфере $\Delta \tau_{ont} = \Delta n \frac{L}{c}$,

где L – длина трасси. Очевидно, что нестабильность времени прохождения светового импульса определяется скоростью распространения излучения в воздухе, которая непосредственно связана с показателем преломления его:

$$n - 1 = 0,37916 \left[A + \frac{3B}{\lambda^2} + \frac{5C}{\lambda^4} \right] \frac{P}{T} - 15,2 \cdot 10^{-6},$$

где А, В, С - дисперсионные коэффициенты;

- λ длина волны излучения;
- Р давление в мбарах;
- е давление водяных паров;
 - Т температура в К.

Для нашего случая $\lambda = 0,84$ мкм, тогда выражение для коэффициента преломления может быть записано так:

$$n-1 = (78, 4P - 15, 2e) \frac{40}{T}$$
.

Погрешность в оценке показателя преломления, связанная с влиянием влажности при использовании оптической несущей, незначительна, ориентировочно влияние влажности на значение показателя преломления в 10² раз меньше, чем влияние температуры и давления. Поэтому с достаточной для наших целей точностью можно пользоваться более простым выражением:

$$n - 1 = \frac{P}{T} \cdot 10^{-6} \cdot 78, 4$$
.

В стандартных условиях P = IOI3.25 мбар и T = 288 К величина показателя преломления составляет n = I,000275. При изменении температуры в пределах от 283 К до 300 К это значение будет меняться от n =I,000280 до n = I,000264. Таким образом, если на трассе, где работает система связи, температура различных участков различается на 5-7 К, TO это приводит к изменению значения показателя преломления на величину An = I 6·10⁻⁵, то же самое произойдет при изменении давления. Так при изменении давления от Р = 900 до P = 1020 мбар, величина показателя меняется от I.000245 до I,000277, т.е. An = 3,2·10⁻⁵ [I]. При влиянии STAT факторов одновременно это отклонение может составить Δn = = 5.10⁻², что дает для нестабильности времени прохожления светового сигнала на трассе протяженностью 5 км величину:

$$\Delta \tau_{\text{ont}} = \Delta n_{\text{ont}} \stackrel{\text{L}}{=} = 8,3 \cdot 10^{-10} \text{ c}.$$

Учитывая, что система связи может работать в самых различных условиях и подстилающая поверхность может быть очень сложной, величина нестабильности прохождения светового импульса на трассе протяженностью порядка 5 км может достигать величины Δτ_{орт} ≈ 1 нс.

Закон распределения этой величины во времени, видимо, можно считать лог-нормальным, так как этому закону подчиняются флуктуации неоднородности атмосферы [2].

Надо отметить, что оценка $\Delta \tau_{ont}$ проведена для предельных колебаний Т и Р. На практике эти параметры испытивают мгновенные флуктуации в меньших пределах. Однако, если передача информации происходит достаточно долго. эта оцен-





- генератор накачки лазера; усилитель-ограничитель; - источник информации;
 - 01 10 - лазер; 4 - приёмник;
 - приёмник информации. 1

8 3

ка $\Delta \tau_{OIIT}$ представляется весьма реальной, особенно в условиях сложной подстигающей поверхности.

Оценим теперь величину нестабильности времени задержки электрического сигнала, проходящего по блокам обработки системи связи.

В нашем конкретном случае электрический тракт можно разбить на основные блоки, где возможно возникновение нестабильности (фиг. I). Тогда общая нестабильность прохождения сигнала по электрическому тракту может быть представлена суммой нестабильностей каждого блока (источник информации и приемник информации не рассматриваются).

Индексы каждого слагаемого соответствуют нумерации блоков на фит. I.

$$\Delta \tau_{3A}^2 = \Delta \tau_2^2 + \Delta \tau_3^2 + \Delta \tau_4^2 + \Delta \tau_5^2.$$

Рассмотрим каждое из этих слагаемых более подробно. AT2 - нестабильность прохождения сигнала в генераторе накачки лазера. Генератор накачки лазера содержит формирователь и мощный оконечный усилитель, работающий в ключевом режиме. Так как сигнал от источника информации неизменен по амплитуде (или его можно сделать неизменным по амплитуде с помощые согласующего устройства). то нестабильность этого блока будет зависеть, в основном, от нестабильности порога формирователя, порога оконечного усилителя и стабильности источника питания. Без учета CTaбильности источника питания нестабильность этого блока составляет:

$$\Delta \tau_2^2 = \Delta \tau_{\phi opm}^2 + \Delta \tau_{uc}^2,$$

или с учетом нестабильностей порогов формирователя и усилителя:

$$\Delta \tau_{2}^{2} = \left(\frac{\Delta U_{nop}^{\phi opM}}{U_{c}} \tau_{\phi}^{c}\right) + \left(\frac{\Delta U_{nop}^{yc}}{U_{c}} \tau_{\phi}^{\phi opM}\right)^{2},$$

где

△ U^{форм} - величина неопределенности срабатывания формирователя;

- △ U^{yc} величина неопределенности срабатывания оконечного усилителя накачки, работакщего в ключевом режиме;
- Uc амплитуда входного сигнала;
- τ₆ крутизна фронта вкодного сигнала;

τформ - крутизна фронта импульса после формирователя.

Следующая нестабильность вносится нестабильностью времени высвечивания лазера. Полупроводниковый лазер MOMHO представить также в виде порогового устройства, так как он начинает излучать только при превышении токового импульса над порогом генерации, величина которого в общем случае зависит от длительности импульсов накачки и от температуры. Зависимость величины порога от длительности импульсов носит экспоненциальный характер и при изменении длительности импульса от IOO нс по 20 нс возрастает в 3-4 раза [3]. Зависимость величины порога от температуры описывается законом Т³ [4]. Если изменения порога за счет длительности импульса не происходит, так как в данной конкретной системе их длительность постоянна, то влияние температуры MOXET сильно сказаться на величине этого порога. Нестабильность высвечивания лазера во времени можно записать в виде:

$$\Delta \tau_3 = \frac{\Delta U_{nop} + \Delta U_{nop}(T)}{\Pi_{q}} \tau_{\phi}^{yc},$$

где $\Delta \cup_{nop}^{\wedge}$ - неопределенность порога лазерной генерации; ∆U[∧](T) - изменение порога генерации за счет изменения температуры:

т ^{ус} - крутизна фронта импульса накачки.

Следующим блоком, вносящим нестабильность, является приемник. В случае фотодиода эта нестабильность пренебрежительно мала, в случае же ФЗУ может быть определена из выражения

$$\tau_{\varphi \ni y} = \frac{10^{-\circ}}{a\sqrt{U} + b},$$

T фан - время задержки сигнала в умножительной сигде стеме ФЭУ:

U - напряжение питания ФЭУ;

а и b - козффициенты, зависящие от конструкции ФЭУ [5].

Отсюда видно, что эта нестабильность зависит только от стабильности питания ФЭУ и величина ее определяется

$$\Delta \tau_4 = \frac{a}{2} \tau_{\phi \ni y} \frac{\Delta U}{U}.$$

Следующая нестабильность времени прохождения сигнала вносится усилителем-ограничителем и может быть выражена:

$$\Delta \tau_5 = \frac{\Delta U_c}{U_c} \tau_{\phi}^c,$$

где AUc - изменение амплитуды сигнала на выходе фотоприemHura:

- U. амплитуда сигнала на выходе приемника;
- т_ крутизна фронта сигнала на выходе ФЭУ.

Таким образом, даже стабилизируя напряжения питания всех блоков и введя термостабилизацию, избавиться от нестабильности прохождения сигнала по электрическому тракту не удается. Точный расчет величины нестабильности электрического тракта сложен, оценочный расчет дает общую величину нестабильности $\Delta \tau_{2A}^2 \approx I_{,5}$ нс при условиях термостабилизации и стабилизации питающих напряжений. Эта величина может значительно изменяться также при заменах лазерного диода И изменения режима его работн. Кроме того, можно отметить, что большой вклад в общую нестабильность вносят колебания амплитуды сигнала фотоприемника, уменьшить который MOKHO путем введения АРУ и обострения фронта принимаемого IMпульса.

Измерения нестабильности проводились на трассе порядка I км, причем приемопередатчик был включен сам на себя, а на конце трасси устанавливался отражатель. При подаче запускающего импульса в такой системе устанавливаются колебания, частота которых зависит от суммарной величины задержки сигнала на трассе и в электрической схеме. Период этих колебаний может быть определен так:

T MRC	Me e	τ MRC	₩.	TMKC	00	
5, 8143	9.	5,8147	I7.	5,8152		
5,8146	IO.	5,8147	I8.	5,8138		
5, 8143	II.	5,8148	I9.	5,8139		
5,8151	I2.	5,8149	20.	5,8137		
5,8148	I3.	5,8153	21.	5,8139		
5,8140	I4.	5,8151	22.	5,8137		
5,8146	I5.	5,8151	23.	5,8I36		
5,1847	I6.	5,8151	24.	5,8138		
	^т мкс 5,8143 5,8146 5,8143 5,8143 5,8143 5,8148 5,8140 5,8146 5,8146 5,1847	[™] MKC № 5,8I43 9. 5,8I46 IO. 5,8I43 II. 5,8I51 I2. 5,8I48 I3. 5,8I40 I4. 5,8I46 I5. 5,8I47 I6.	τ _{MKC} № τ _{MKC} 5,8I43 9. 5,8I47 5,8I46 IO. 5,8I47 5,8I43 II. 5,8I47 5,8I43 II. 5,8I47 5,8I43 II. 5,8I47 5,8I43 II. 5,8I48 5,8I51 I2. 5,8I49 5,8I48 I3. 5,8I53 5,8I40 I4. 5,8I51 5,8I46 I5. 5,8I51 5,8I47 I6. 5,8I51	τ _{MKC} μ τ _{MKC} μ 5,8143 9. 5,8147 17. 5,8146 10. 5,8147 18. 5,8143 11. 5,8147 18. 5,8143 11. 5,8148 19. 5,8151 12. 5,8149 20. 5,8148 13. 5,8153 21. 5,8140 14. 5,8151 22. 5,8146 15. 5,8151 23. 5,1847 16. 5,8151 24.	τ MKC μ τ MKC μ τ MKC 5,8143 9. 5,8147 17. 5,8152 5,8146 10. 5,8147 18. 5,8138 5,8143 11. 5,8148 19. 5,8139 5,8151 12. 5,8149 20. 5,8139 5,8148 13. 5,8153 21. 5,8139 5,8140 14. 5,8151 22. 5,8137 5,8146 15. 5,8151 23. 5,8136 5,8147 16. 5,8151 24. 5,8138	

 $\tau = \tau_{0n\tau} + \tau_{\vartheta \Lambda} \quad \text{MAN} \quad \tau = n \, \frac{L}{C} + \tau_{\vartheta \Lambda}.$

Таблица І

Таким образом, многократно измеряя период колебаний, можно определить временную нестабильность сигнала, проходящего по системе связи и оптической трассе.

Данные этих измерений приведены в таблице I, где приведены значения периода генерации, обусловленные как оптической, так и электрической задержкой. В случае, если необходимо измерять нестабильность только электрических цепей, длину оптической трасси следует сделать такой, чтобы задержка на ней была незначительна и нестабильность ee вносила малый вклад в общую временную нестабильность CIстемы связи на полупроволниковом лазере.

Литература

I. Применения лазеров / Под ред. В.П. Печинского. М., Map. 1974.

2. Гурвич А.С., Кон А.И., Миронов В.Л. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере. М., Наука, 1976.

3. Полупроводниковые лазеры. М., Наука, 1976,

4. Натан Р. Лолупроводниковые лазеры. ТИИЭР, т.54, I966. № IO.

5. Оптические измерения. Киев. Техника. 1967.

Y. Grigoryev

Temporary Instability of Pulse Signal in Communication System of Diod Laser

Summary

Instability factors affecting the pulse signal passing through an open atmospheric canal are dealt with in this article. One of the factors has to do with the refraction coefficient of the atmosphere, the other with instability of passing the pulse signals through electric circuits.

Table 1 shows experimental data obtained in an atmospheric canal of 1 kilometre.

Содержание

1.	Х.В. Хинрикус. Расчет системы квантовой элек-	
	троники с учетом избыточных шумов	3
2.	Б.В. Захаров, Ю.Ю. Лапимаа, П.А. Уусмаа, Х.В.	
	Хинрикус. Методы повышения эффективности атмо-	
	сферных лазерных систем связи	15
3.	К.Б. Мейгас, П.А. Уусмаа. Измерение вероятно-	
	сти ошибки при передаче данных в системе связи	
	на полупроводниковом лазере	29
4.	Ю.Ю. Лапимаа. Служебный канал лазерной системы	
	СВЯЗИ	35
5.	А.А. Таклая. Коэффициент полезного действия	
	направляющей-собирающей оптической системы	41
6.	А.А. Таклая. Зависимость ширины пучка у прием-	
	ника от радиуса и фокусного расстояния передар-	
	щего объектива	45
7.	Э.К. Полма. Работа полупроводникового лазера в	
	режиме перестройки длины волны излучения	49
8.	Э.К. Полма. Некоторые результаты зондирования	
	атмосферы с помощью полупроводникового лазера.	55
9.	Б.В. Захаров. Ю.Ю. Григорьев. Метод определения	
	расстояния на принципе совмещения импульсов	
	на фотокатоде ФЭУ	67
TO.	D. D. Тригорьев. Временная нестабильность про-	
10.	хожления импульсного сигнала в системе связи на	
	TO TVIDOBO THEKOBOM TABEDE	75

82

Teaduslik Reamatukogu

eduste All



ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ Труды ТПИ № 402 ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИКЛАДНОЙ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ Радиотехника УШ

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 28.03.80 Редактор И. Эйскол. Техн. ред. М. Тамме Подписано к печати 28.11.80 Вумага 60х90/16. Печ. л. 5,25 + 0,25 прил. Уч.-нэд.л. 5,0. Тираж 300. МВ-09071, Ротапринт ТПИ Таллин, ул. Коскла 2/9. Зак.№ 631 Цена 75 коп.



Цена 75 коп.