

Министерство образования и науки Российской Федерации
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А.Н.Туполева.

Кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств

РУКОВОДСТВО к лабораторной работе №710

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ МОДУЛЯТОРЫ И ВНЕШНЯЯ
МОДУЛЯЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ОКГ

по дисциплине «Оптические направляющие среды и
пассивные компоненты ВОЛС»
для студентов специальности 210401.65 «Физика и
техника оптической связи»

Составил: к.т.н. Якутенков А.А.

Казань 2013

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Введение.

Эффективность применения оптических квантовых генераторов во многом зависит от возможности получения лазерного излучения с требуемыми характеристиками. Так для лазерных систем передачи информации излучения ОКГ желательно иметь в виде коротких импульсов, следующих с высокой частотой повторения. Эту последовательность импульсов необходимо промодулировать по закону передаваемой информации. Для оптических дальномеров необходимо лазерное излучение в виде импульсов с большой пиковой мощностью и частотами следования от единиц до сотен герц и т.д.

Поэтому конкретные области применения лазеров требуют вполне определенных методов модуляции излучения ОКГ и, соответственно, определенных типов и конструкций модуляторов.

В настоящее время наиболее распространены модуляторы, использующие линейный электрооптический эффект. Поэтому данная лабораторная работа посвящена изучению электрооптических модуляторов и применению их для внешней модуляции излучения ОКГ.

I. Применение электрооптического эффекта для модуляции света.

Линейный электрооптический эффект можно использовать для осуществления фазовой, частотной, поляризационной, амплитудной модуляции, а также для модуляции интенсивности света. Причем амплитудная модуляция и модуляция интенсивности света связаны между собой, так как интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды электрического поля. Поэтому в дальнейшем будет говориться только об амплитудной модуляции и амплитудных модуляторах.

В лазерных системах связи в основном применяются поляризационная и амплитудная модуляция. Это связано с тем, что все существующие приемники света реагируют на амплитуду световой волны и не чувствительны к изменению частоты, фазы или поляризации света. Но поляризационную модуляцию легко можно преобразовать в модуляцию амплитуды с помощью поляризатора. Частотную и фазовую модуляцию тоже можно преобразовать в модуляцию амплитуды, но устройства осуществляющие такое преобразование сложны и обладают малой эффективностью. Исключение – гетеродинный метод приема. Однако и его применение связано со значительным усложнением приемного устройства, так как в месте приема необходимо иметь стабильный по частоте опорный лазер (гетеродин). Тем не менее такой метод приема используется в лазерных системах связи с CO_2 лазерами, так как на $\lambda=10,6$ мкм нет высокочувствительных и быстродействующих фотоприемников прямого детектирования лазерного излучения. Поэтому в лабораторной работе будут рассмотрены модуляторы, позволяющие осуществить поляризационную и амплитудную модуляцию и, так как поляризационный модулятор является составной частью амплитудного, то основное внимание будет уделено последнему.

II. Амплитудный модулятор света.

Амплитудный электрооптический модулятор состоит из двух поляризаторов и электрооптического кристалла, помещенного между ними Рис. 1.

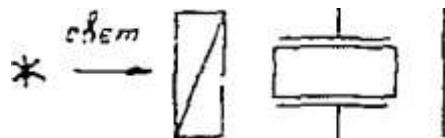


Рис. 1. Электрооптический амплитудный модулятор. 1 - поляризатор,

Входной поляризатор служит для преобразования света в поляризованный. Электрооптический кристалл устанавливается так, чтобы его кристаллографические оси составляли угол в 45° с плоскостью поляризации падающего на него света. Если свет плоскополяризован, то входной поляризатор не нужен. Входной поляризатор, часто называемый анализатором, устанавливается в скрещенное состояние с входным поляризатором, то есть их плоскости поляризации ортогональны. В этом случае модуляционная характеристика имеет вид, показанный на рис. 2. В некоторых случаях поляризаторы устанавливают и параллельно друг другу.

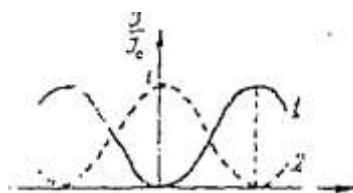


Рис.2. Модуляционная характеристика. 1-поляризаторы скрещены, 2-поляризаторы параллельны.

Уравнение модуляционной характеристики в случае скрещенных поляризаторов описывается выражением

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 \frac{\Gamma}{2}$$

Где в случае использования кристалла с продольным электрооптическим эффектом равна

В случае параллельных поляризаторов уравнение модуляционной характеристики имеет вид:

Для получения поляризационной модуляции выходной поляризатор не нужен.

III. Амплитудная модуляция света синусоидальным сигналом.

А) Модуляция без смещения рабочей точки.

Пусть в точку $U=0$ модуляционной характеристики подан сигнал (рис. 3).

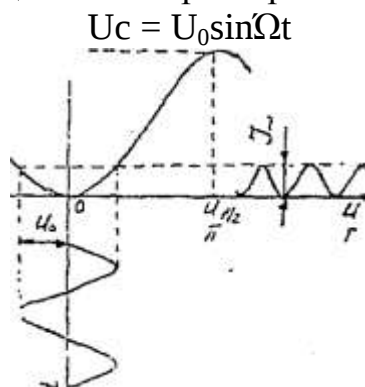


Рис. 3. Зависимость относительной интенсивности света от напряжения, - переменная составляющая света на выходе модулятора.

Тогда интенсивность света на выходе модулятора определяется выражением:

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{\Gamma_0}{2} \sin \Omega t\right) = \frac{1}{2} I_0 (1 - I_0(\Gamma_0) - 2 \sum_{k=1}^{\infty} I_{2k}(\Gamma_0) \cos 2k\Omega t), \quad (2)$$

где $\Gamma_0 = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{33} U_0$, $I_k(\Gamma_0)$ - функция Бесселя k -го порядка.

$$\text{и} \quad I_0(\Gamma_0) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} I_{2k}(\Gamma_0) = 1 \quad (3)$$

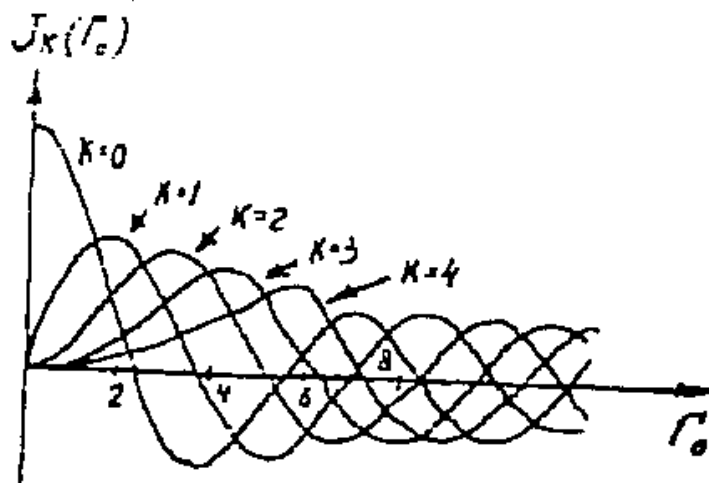


Рис. 4.

Из соотношений (1)-(2) следует, что глубина модуляции света равна 100% при любой величине U_0 (рис. 4). При малых Γ_0 , т.е. при малой величине модулирующего сигнала, значение функции Бесселя $I_4(\Gamma_0)$, $I_6(\Gamma_0)$ и т.д. равны нулю (рис.4). Поэтому интенсивность света промодулирована по синусоиде с частотой 2Ω . При больших Γ_0 (больших U_0) в интенсивности света появляются компоненты с частотами 4Ω , 6Ω и т.д. Таким образом в рассмотренном случае сигнал на выходе модулятора получает большие нелинейные искажения.

Б) Модуляция со смещением рабочей точки.

Для того, чтобы уменьшить нелинейные искажения, рабочую точку необходимо вывести на линейный участок модуляционной характеристики. Это достигается подачей на кристалл одновременно напряжения смещения и модулирующего напряжения (рис. 5.). Следовательно, на модулятор подается сигнал.

$$U = \frac{1}{2} U_{\frac{\lambda}{2}} + U_0 \sin \Omega t$$

Тогда интенсивность света на выходе модулятора определяется выражением

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\Gamma_{\text{см}}}{2} + \frac{\Gamma_0}{2} \sin \Omega t \right) = I_0 \left(\frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k+1}(\Gamma_0) \sin(2k+1)\Omega t \right) \quad (4)$$

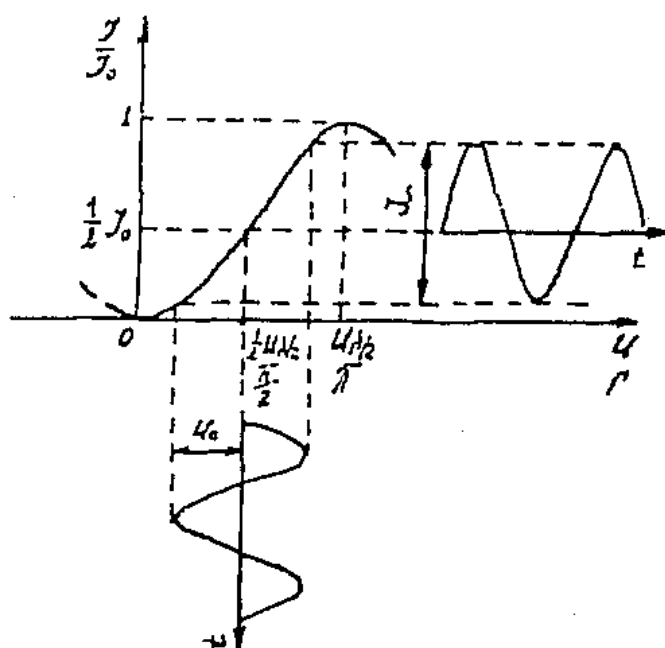


Рис.5. Зависимость относительной интенсивности света от напряжения. - переменная составляющая света на выходе модулятора.

Из соотношения (4) следует, что глубина модуляции излучения в данном случае зависит от амплитуды переменного напряжения. При малых значениях Γ_0 (при малых U_0) значения функций Бесселя $J_2(\Gamma_0)$, $J_3(\Gamma_0)$ и так далее, равны нулю. Поэтому излучение промодулировано по синусоиде с частотой Ω , то есть искажения практически отсутствуют. При увеличении Γ_0 в интенсивности света появляются компоненты с частотами 3Ω , 5Ω и т.д. Из сказанного можно сделать вывод: модуляция излучения синусоидальным сигналом без искажений возможна лишь при малых значениях U_0 . Эффективность модулятора, определяемая отношением в этом случае оказывается низкой.

$$\eta = \frac{I_{\text{с}}}{I_0}$$

IV. Четвертьволновой амплитудный модулятор.

Помимо рассмотренной схемы амплитудного модулятора, называемого полуволновым, существует четвертьволновый модулятор, схема которого представлена на рис. 6. Так как в этой схеме световое излучение проходит через кристалл, то величина $\frac{U_1}{2}$ снижается вдвое по сравнению со схемой, изображенной на рис. 1.

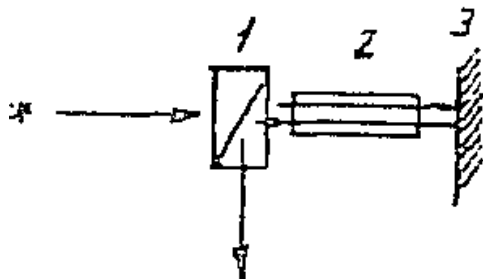


Рис. 6. Четвертьволновой электрооптический модулятор. 1 - поляризатор, 2 - электрооптический кристалл, 3 - 100% отражающее зеркало.

V. Вторичный электрооптический эффект и частотная характеристика электрооптического модулятора.

Так как все кристаллы, используемые в электрооптических модуляторах, являются пьезоэлектрическими, то при подаче электрического напряжения в кристалле возникают механические деформации, обусловленные обратным пьезоэффектом. Но известно, что изменение показателя преломления вещества возможно не только при воздействии электрического поля, а так же при механических деформациях упругой среды. Это явление носит название фотоупругости.

Таким образом, электрооптический эффект, называемый обычно первичным или истинным, сопровождается вторичным электрооптическим эффектом, обусловленным явлением фотоупругости.

Механические деформации кристалла зависят от частоты воздействующего электрического поля. Они резко увеличиваются на частотах собственных колебаний кристаллов, которые определяются их геометрическими размерами. На очень высоких частотах деформации кристаллов малы и имеет место только первичный электрооптический эффект. На низких частотах, если не принято специальных мер, изменение показателя преломления всегда обусловлено суммой первичного и вторичного электрооптического эффекта. Это приводит к неравномерной частотной характеристике модулятора света, что может вызвать сильные амплитудно-частотные искажения передаваемого сигнала (рис. 7.).

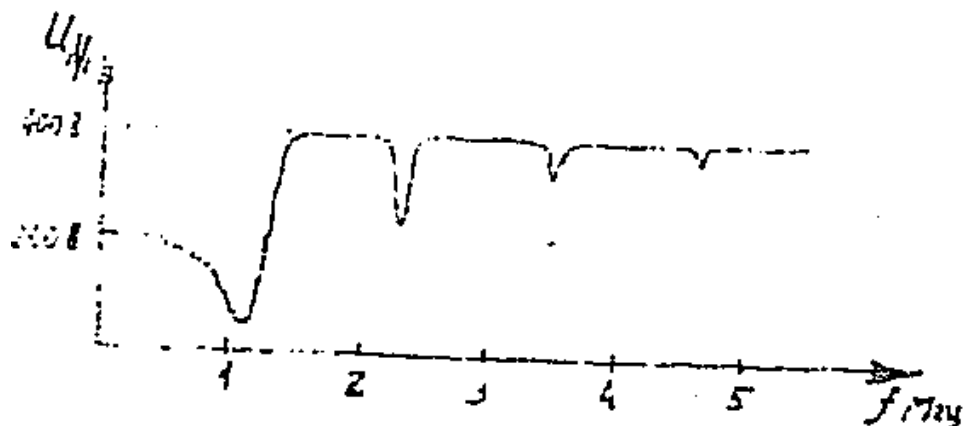


Рис. 7. Частотная характеристика электрооптического модулятора МЛ-4.

Вторичный электрооптический эффект приводит также к смещению модуляционной характеристики оптического модулятора. Величина и направление смещения модуляционной характеристики определяется величиной подаваемого на кристалл напряжения (рис. 8.) и ориентацией его относительно осей кристалла.

Рис. 8. Модуляционная характеристика амплитудного оптического модулятора. 1 - при отсутствии на модуляторе переменного напряжения, 2 - при подаче на модулятор переменного напряжения.

Для устранения вторичного электрооптического эффекта применяют демпфирование кристалла модулятора.

VI. Конструкция электрооптического модулятора.

При использовании продольного электрооптического эффекта направления электрического поля и распространения света совпадают, поэтому в модуляторе должны применяться прозрачные для света электроды. В качестве прозрачных электродов могут быть использованы стекла, покрытые проводящей прозрачной для света закисью олова. Иногда используются нанесенные непосредственно на поверхность кристалла полупрозрачные золотые электроды. Однако, такие электроды вносят значительные потери, связанные с поглощением света в материале электрода. Поэтому электроды часто выполняют в виде металлических полосок ширины a , которые охватывают концы кристалла (рис. 9).

$$d \leq \frac{\ell}{4} \text{ и } a = \frac{\ell}{6}$$

При измерении напряженности электрического поля по поперечному сечению кристалла не превышает 2%. Значительный выигрыш по напряжению можно получить используя поперечный электрооптический эффект. Этот выигрыш равен $l/2d$. При поперечном электрооптическом эффекте электроды наносят на боковые поверхности кристалла по всей его длине. Это значительно упрощает конструкцию модулятора, так как отпадает необходимость в пропускании света сквозь электроды

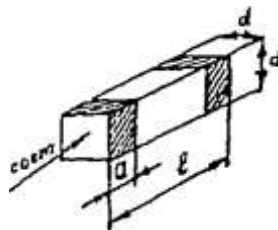


Рис.9. Конструкция модулирующего элемента. Электроды заштрихованы.

Для устранения вторичного электрооптического эффекта кристалл заливается компаундом, который, демпфирует пьезоколебания кристалла. Кроме того, заливка кристалла компаундом устраняет возможность электрического пробоя по поверхности кристалла между электродами и защищает кристалл от воздействия окружающей среды. Это имеет существенное значение для модулирующих элементов, выполненных из кристаллов типа , которые являются гигроскопичными. С этой же целью на торцы таких кристаллов наклеивают стекла, защищающие торцы кристалла от разрушения влагой, содержащейся в воздухе. Конструкция такого модулирующего элемента показана на рис.10. В некоторых конструкциях модулирующий кристалл помещают на массивную медную пластинку, которая одновременно служит одним из элементов (рис. 11). Кроме того, эта пластинка является основанием корпуса модулятора. Верхний электрод так же выполняется из достаточно толстой медной пластинки. Наличие двух массивных электродов позволяет подавить пьезоколебания кристалла и осуществить эффективное охлаждение кристалла, который нагревается при подаче на него модулирующего высокочастотного напряжения.

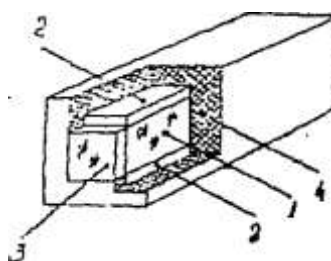


Рис. 10. Конструкция модулирующего элемента. 1 - кристалл КДР, 2 - электроды, 3 - защитное стекло, 4 - компаунд.

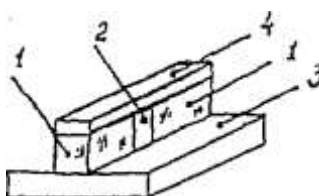


Рис. 11. Конструкция модулирующего элемента. 1 - электрооптический кристалл, 2 - пластинка, 3 - основание, 4 - электрод.

При использовании в такой конструкции гигроскопических кристаллов, необходимо предусмотреть меры по его защите от воздействия влаги. Модулирующий элемент помещается в корпус, к которому крепятся поляризаторы. В некоторых конструкциях модуляторов поляризатор склеивают с электрооптическим кристаллом.

VII. Влияние естественной анизотропии электрооптического кристалла на модулирующую характеристику.

При исследовании поперечного электрооптического эффекта в некоторых кристаллах, например в **КДР** и **LiNbO₃**, существенную роль играет разность фаз между ортогонально поляризованными компонентами света, связанная с естественной анизотропией кристалла

$$\Gamma_z = \frac{2\pi}{\lambda} (n_t - n_o) l$$

Так при $L=1\text{см}$, $\Gamma_0=10^3$ изменение температуры кристалла приводит как к изменению его длины, так и изменению n_t и n_o . Поэтому при использовании кристаллов типа **КДР** и **LiNbO₃** с поперечным электрооптическим эффектом резко возрастают требования к качеству торцевых поверхностей кристаллов и к допустимой нестабильности температуры. Причем, основную роль играют температурные уходы значений показателей преломления. Например, при изменении температуры на $0,1^\circ\text{C}$ происходят изменения Γ_0 на 68° для кристалла КДР с длиной 10 см. (Рис. 12). Следовательно, незначительное изменение температуры может привести к смещению рабочей точки на модуляционной характеристике в нелинейную область и вызвать искажения передаваемого сигнала или полное нарушение работ модулятора.

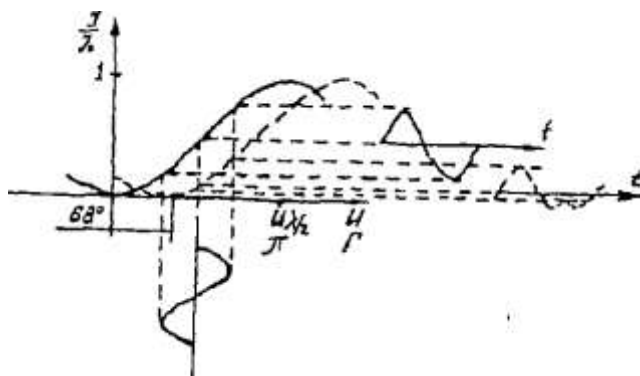


Рис. 12. Смещение модуляционной характеристики при изменении температуры кристалла на $0,1^\circ\text{C}$.

Следовательно необходимо стабилизировать положение рабочей точки на модуляционной характеристике. Этого можно достигнуть термостатированием модулятора, но при этом возрастают его габариты в целом, что не всегда желательно. Другой путь состоит в использовании схемы температурной компенсации естественной анизотропии кристалла.

VIII. Методы температурной компенсации влияния естественной анизотропии электрооптического кристалла.

А) с использованием поворота кристалла:

Компенсацию можно осуществить следующим, образом. Используется, система из двух одинаковых кристаллов, повернутых относительно друг друга на 90° (рис. 13).

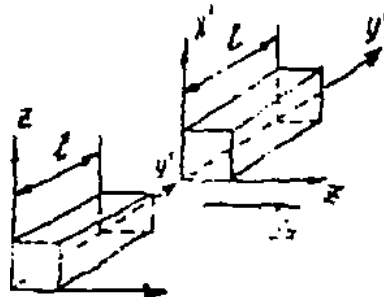


Рис. 13.

Для первого кристалла
$$\Gamma_{x1} = \frac{2\pi}{\lambda}(n_x - n_0)\ell,$$

для второго
$$\Gamma_{x2} = \frac{2\pi}{\lambda}(n_0 - n_x)\ell$$

При одинаковом уходе температуры кристаллов разность фаз, связанная с естественным двулучепреломлением

$$\Gamma_x = \Gamma_{x1} + \Gamma_{x2} = \frac{2\pi}{\lambda}(n_x - n_0)\ell + \frac{2\pi}{\lambda}(n_0 - n_x)\ell = 0$$

Для того, чтобы разность, связанная с электрооптическим эффектом суммировалась, необходимо соблюдать соответствующую полярность напряжения, подаваемого на второй кристалл.

Б) С использованием поворота поляризации света.

В этом случае разворачивают на 90° не кристалл, а ортогонально поляризованные компоненты световой волны, распространяющейся в кристалле. Осуществляется это с помощью полуволновой фазовой пластинки (рис. 14). Полуволновая фазовая пластинка выполняется из одноосного двулучепреломляющего кристалла кварца. Вырезается пластинка так, чтобы оптическая ось была параллельна плоскости пластинки. Толщина ее выбирается из условия

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda}(n_t - n_0)\ell = \pi(2n + 1), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

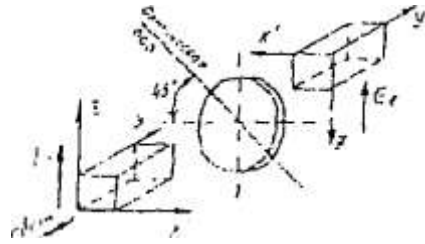


Рис. 14. Схема температурной компенсации.

Если плоскость поляризации падающего на пластинку излучения ориентирована под углом 45° к оптической оси, то плоскость поляризации излучения на выходе пластинки развернется на 90° . Для того, чтобы разность фаз, связанная с электрооптическим эффектом, суммировалась, второй кристалл развернут относительно первого на 180° . Достоинством такой схемы является простота конструкция электродов (рис. 11.), так как направление электрического поля одинаково для обеих кристаллов.

IX. Поляризатор.

Важной частью оптических модуляторов является поляризатор. Поляризатор - оптическое устройство, которое преобразует проходящий через него неполяризованный свет поляризованный. Действие поляризатора состоит в том, что он разделяет первоначальную световую волну на две компоненты, плоскости поляризации которых ортогональны. Затем поляризатор пропускает одну компоненту и поглощает или отклоняет другую. В оптических модуляторах и других устройствах квантовой электроники в основном используются двулучепреломляющие поляризаторы.

Один из распространенных поляризаторов - поляризатор Рошона. Он представляет собой склейку двух призм (рис. 15). Призмы изготовлены из двулучепреломляющего кристалла. Чаще всего используется кристалл исландского шпата CaCO_3 .

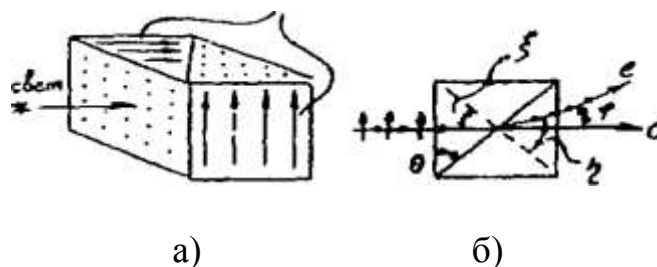


Рис. 15. Поляризатор Рошона.

Это одноосный кристалл. Ориентация оптических осей призм показана на рис. 15а. Оси призм взаимно перпендикулярны. В первой призме излучение распространяется по оптической оси.

Следовательно, двулучепреломления не происходит. Во второй призме свет распространяется перпендикулярно оптической оси. В этом случае наблюдается двулучепреломление, то есть световая волна разбивается на две компоненты: обыкновенную и необыкновенную, для которых показатели преломления равны соответственно n_t и n_o .

Рассмотрим прохождение света на стыке двух призм. Для обыкновенной волны показатели преломления света слева и справа равны n_o , то есть обыкновенная волна пройдет через обе призмы не изменяя своего направления. Для необыкновенной волны показатели преломления слева и справа от места склейки двух призм уже не равны: слева (первая призма) n_o , справа (вторая призма) n_t . Согласно закону преломления на границе двух сред

$$\frac{\sin \xi}{\sin \eta} = \frac{n_t}{n_o}$$

Необыкновенная компонента отклонится от первоначального направления распространения (рис. 15б). Угол отклонения зависит от угла Θ и от n_t и n_o . Как правило угол $\Phi=10-20^\circ$.

Пропускание такого поляризатора при просветлении рабочих граней близко к 100%.

Х. Импульсные лазерные системы связи.

Аналоговая модуляция в лазерных системах связи находит ограниченное применение. Это связано с тем, что как оптические модуляторы так и фотоприемники вносят существенные нелинейные искажения в передаваемую информацию. Поэтому в лазерных системах связи очень широко используются импульсные методы модуляции, которые обладают рядом преимуществ:

1. Эффективность модулятора достигает 100%;
2. Некритичность к нелинейным искажениям;
3. Лучшее подавление фоновых помех

В импульсных системах связи полезная информация перед передачей преобразуется в последовательность двоичных символов. Эта операция осуществляется с помощью стандартных преобразователей типа "аналог-цифра". В двоичной системе исчисления символы называются "нулями" и "единицами". Последовательность двоичных символов модулирует оптическое излучение. Причем в зависимости от исследуемого метода модуляции различают следующие системы связи:

1. Система связи с кодово-импульсной модуляцией по интенсивности (КИМ-ИМ);
2. Системы связи с кодово-импульсной модуляцией по поляризации (КИМ-ПМ);
3. Системы связи с кодово-импульсной модуляцией и амплитудной

модуляцией на

поднесущей (КИМ-АМ на поднесущей);

4. Система связи с кодово-импульсной модуляцией с частотой модуляции на поднесущей (КИМ-ЧМ на поднесущей).

XI. Система связи с КИМ-ИМ.

В системе связи с КИМ-ИМ символу "1" соответствует посылка оптического излучения длительностью, а символу "0" отсутствие посылки. Блок-схема лазерной системы связи представлена на рис.16. Лазер генерирует излучение в виде последовательности коротких импульсов (рис. 17). Излучение поступает на амплитудный электрооптический модулятор, на который подается напряжение передаваемого сигнала. передаваемого сигнала.

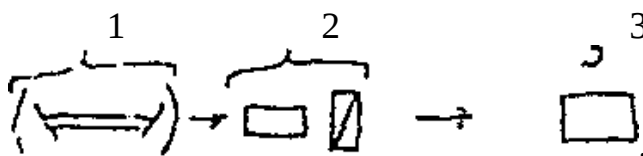


Рис. 16. Система связи с КИМ-ИМ. 1 - лазер, 2 - амплитудный электрооптический модулятор, 3 - фото-приемники.

Если передает двоичная "1", то модулятор полностью пропускает лазерное излучение. При передаче двоичного "0" модулятор остается закрытым и излучение на выходе модулятора отсутствует (рис. 17). В приемном устройстве лазерное излучение детектируется и направляется в систему обработки информации.

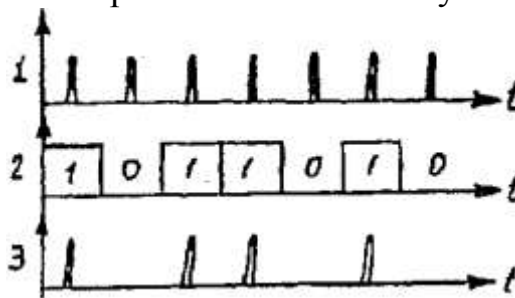


Рис. 17. Временные диаграммы. 1 - излучение лазера, 2 - двоичный сигнал подаваемый на модулятор, 3 - излучение на выходе модулятора.

XII. Система связи с КИМ-ПМ.

В системе связи с КИМ-ПМ символу «1» соответствует, например, излучение с вертикальной поляризацией лазерного излучения, а символу "0" с горизонтальной поляризацией. Блок-схема лазерной установки системы связи представлена на рис. 18, а временные диаграммы на рис. 19.

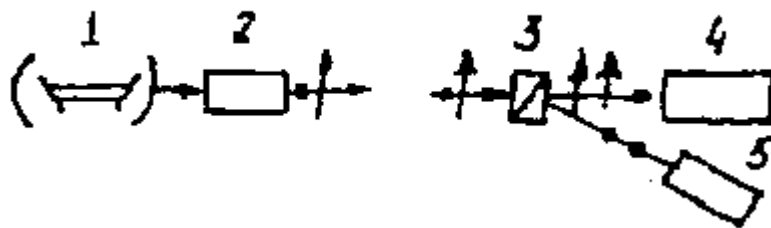


Рис. 18. Система связи с КИМ-ПМ. 1 - лазер, 2 - поляризационный электрооптический модулятор, 3 - поляризатор, 4 - фотоприемник 1,5-фотоприемник 2.

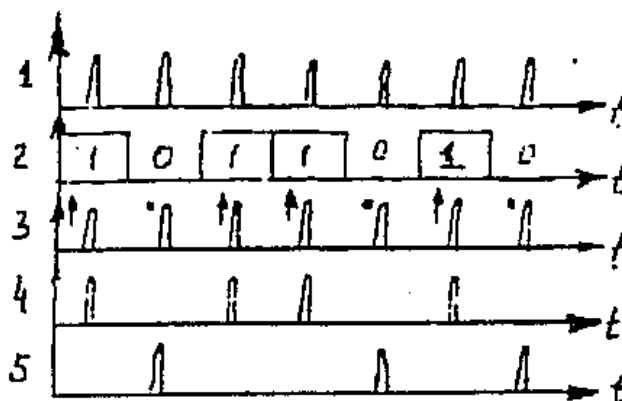


Рис. 19. Временные диаграммы, 1 - излучение лазера, 2 - двоичный сигнал, подаваемый на модулятор, 3 - излучение на выходе модулятора, 4 - сигнал на выходе фотоприемника 1,5 — сигнал на выходе фотоприемника 2, $\uparrow$ - излучение с вертикальной поляризацией, $\rightarrow$ - излучение с горизонтальной поляризацией.

Лазер генерирует последовательность коротких импульсов. Поляризационный модулятор согласно передаваемой информации преобразует излучение ОКГ в излучение с вертикальной или горизонтальной поляризацией. Поляризатор на приемном конце системы распределяет излучение в зависимости от поляризации на тот или иной приемник. Сигналы с выходов фотоприемников поступают в систему обработки информации. Достоинство рассматриваемой системы связи состоит в том, что в ней отсутствуют потери лазерного излучения в модуляторе. В предыдущей системе связи при равновероятном следовании символов «1» и «0» теряется половина мощности излучения лазера. Иногда в системе связи с КИМ-ПМ используются для передачи символы «1» излучения лазера, например, с левой круговой поляризацией, а для передачи символа «0» - с правой круговой поляризацией. В этом случае на выходе поляризационного модулятора и перед поляризатором на приемном конце устанавливают четвертьволновые пластинки.

ХIII. Система связи с КИМ-АМ с поднесущей.

В системе связи с КИМ-АМ на поднесущей символу «1» соответствует лазерное излучение промоделированное по интенсивности частотой f течении интервала времени t . Глубина модуляции интенсивности при этом достигает 100%. Символу «0» соответствует лазерное излучение без модуляции интенсивности в

течении того же интервала времени t . Причем величина интенсивности лазерного излучения равна половине максимального значения. Блок-схема лазерной системы связи представлена на рис. 20, а временные диаграммы на рис. 21.

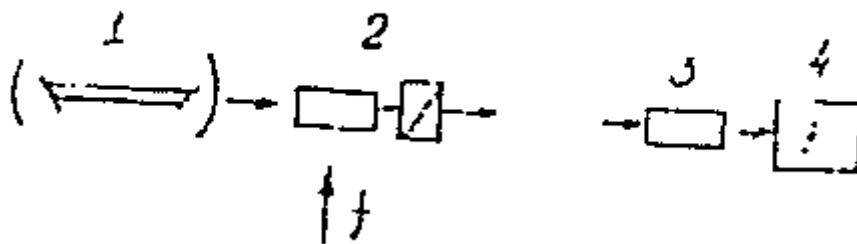


Рис. 20. Система связи КИМ-АМ. 1-лазер, 2-амплитудный электрооптический модулятор, 3-фотоприемник, 4-частотный фильтр.

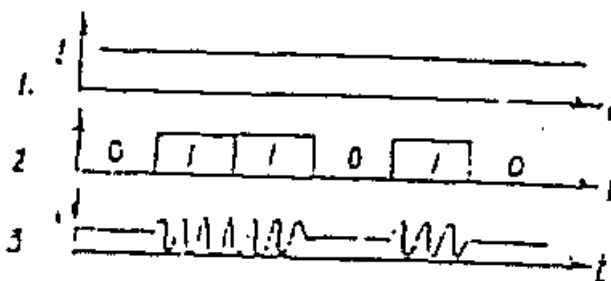


Рис.21. Временные диаграммы. 1-лазерное излучение на входе модулятора, 2-передаваемый сигнал в двоичном коде, 3-лазерное излучение на выходе модулятора.

XIV. Система связи с КИМ-ЧМ на поднесущей.

В системе связи на КИМ-ЧМ на поднесущей символу «1» соответствует лазерное излучение промодулированное по интенсивности на частоте f_1 в течении интервала времени t , а символу "0" соответствует излучение промодулированное по интенсивности на частоте f_2 в течении того же интервала времени.

Блок-схема лазерной системы связи представлена на рис. 22, а временные диаграммы на рис. 23.

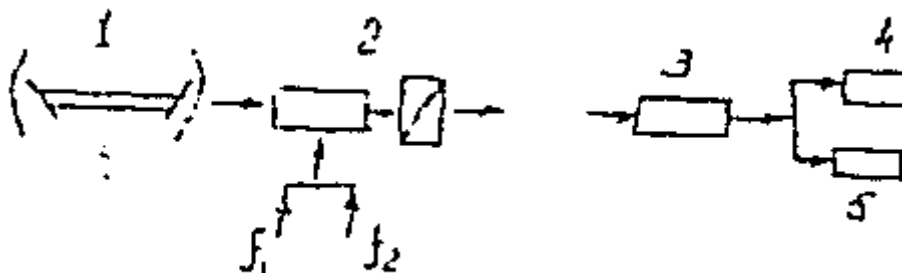


Рис. 22. Система связи с КИМ-ЧМ на поднесущей. 1-лазер, 2-амплитудный модулятор, 3-фотоприемник, 4-фильтр на частоту f_1 , 5-фильтр на частоту f_2 .

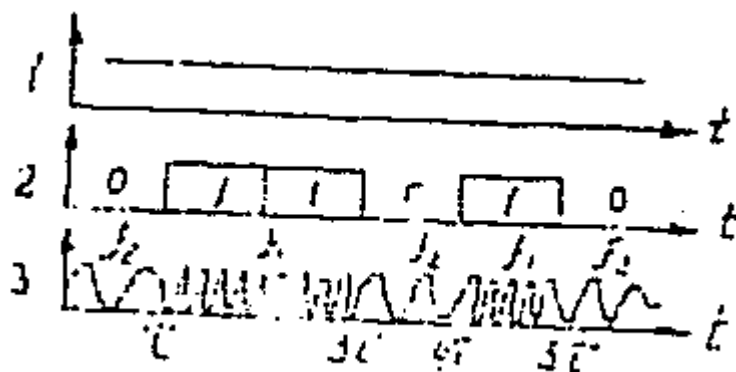


Рис.23. Временные диаграммы. 1-лазерное излучение на входе модулятора, 2-передаваемый сигнал в двоичном коде, 3-лазерное излучение на выходе модулятора.

XV. Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка состоит из двух частей: оптической и электрической. Схема оптической части лабораторной работы приведена на рис. 24, электрической на рис. 25.

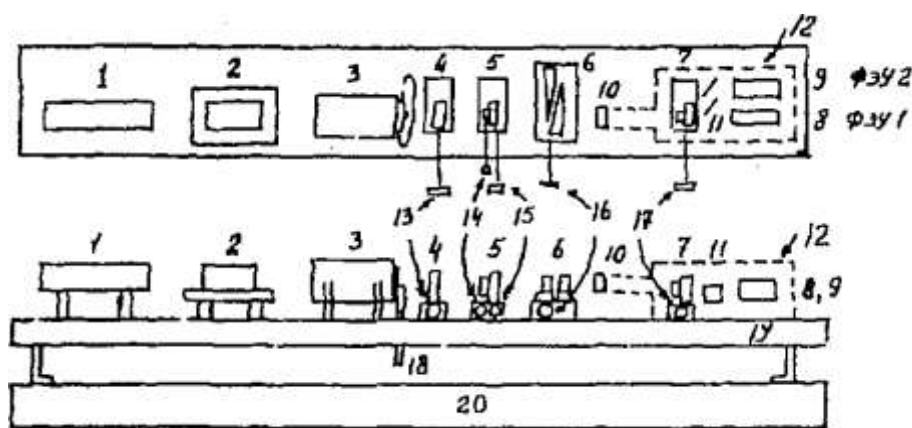


Рис. 24.
1 — лазер
ЛГ-72, 2

Рис.24. 1-лазер ЛГ-72, 2-электрооптический модулятор ЛМ-4, 3-электрооптический модулятор МЛ-3, 4 - четвертьволновая пластинка, 5 - поляризатор, 6 - ослабитель лазерного излучения, 7 - поляризатор блока фотоприемника, 8,9 - фотоэлектрические умножители ФЭУ-55, 10 - светофильтр, 11 - поворотные зеркала, 12 - кожух блока фотоприемника, 13 - ручка ввода-вывода четвертьволновой пластинки, 14 - ручка установки поляризатора, 15 - ручка ввода-вывода поляризатора, 16 - ручка установки ослабителя, 17- ручка ввода-вывода поляризатора блока фотоприемников, 18 - ручка установки кристалла модулятора МЛ-3, 19 - оптическая скамья, 20—основание.

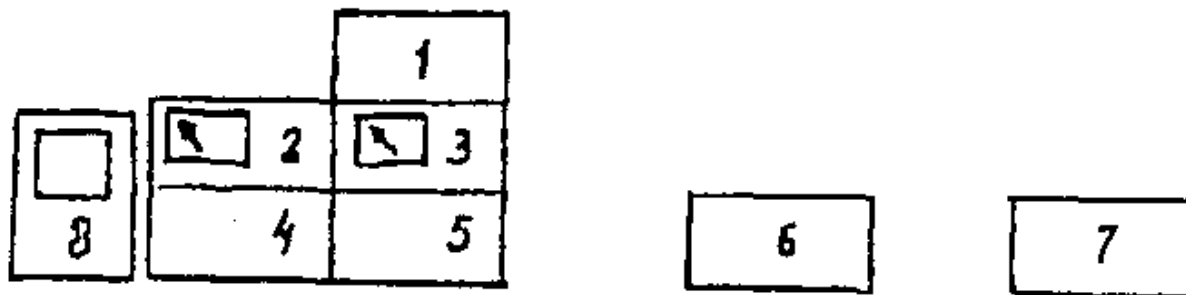


Рис. 25. 1- блок питания ЛГ-72, 2 - блок управления, 3 - блок смещения модуляторов, 4 - низковольтный блок питания, 5 - блок питания подмодуляторов, 6-блок подмодуляторов, 7 - блок питания ФЭУ, 8 - осциллограф.

Излучение лазера ЛГ-72 плоскополяризовано в вертикальной плоскости. Излучение поступает на амплитудный модулятор. МЛ-4, в котором используется поперечный электрооптический эффект в кристалле LiNbO_3 ($E=E_z, E_{xx}$ по оси ОУ). Плоскость поляризации излучения на выходе МЛ-4 ориентирована горизонтально. Далее излучение поступает на модулятор МЛ-3, в котором используется поперечный электрооптический эффект в кристалле КДР. Ручка 18 позволяет установить электрооптический кристалл модулятора МЛ-3 относительно плоскости поляризации лазерного излучения. Угол между наведенной осью ОУ и плоскостью поляризации лазерного излучения можно определить по шкале в левой части МЛ-3. После МЛ-3 излучение ОКГ поступает на четвертьволновую пластинку и далее на поляризатор 5. Положение плоскости поляризации поляризатора определяется по шкале на его корпусе и устанавливается вращением ручки 14. При установке "О" плоскость поляризации расположена горизонтально. Четвертьволновую пластинку 4 и поляризатор 5 можно вывести из излучения ОКГ нажатием на ручки 13 и 15 до упора. Далее излучение поступает на ослабитель, который обеспечивает линейный режим работы ФЭУ. После ослабителя излучение поступает на фильтр 10 и поляризатор 7. Поляризатор 7, в зависимости от положения плоскости поляризации излучения, направляет его или на ФЭУ1 (8) или ФЭУ2(9). Если убрать поляризатор 7 (нажать на ручку 17 до упора), то излучение будет поступать только на ФЭУ 1(8).

Назначение блоков (рис. 25).

1. Блок питания ОКГ ЛГ-72 - служит для питания лазера ЛГ-72;
- 2- Блок управления - служит для управления работой блока подмодуляторов и для индикации тока ФЭУ, напряжений синусоиды к амплитуды импульсов, поступающих на МЛ-3 и МЛ-4;
3. Блок смещения модуляторов — вырабатывает постоянные напряжения для установки рабочих точек модуляторов МЛ-3 и МЛ-4;
4. Низковольтный блок, питания - вырабатывает напряжения, необходимые для работы остальных блоков;
5. Блок питания подмодуляторов - вырабатывает напряжения для питания подмодулятора МЛ-3 ит МЛ-4;
6. Блок подмодуляторов - вырабатывает синусоидальное напряжение,

подаваемое на МЛ-4 или формирует импульс отрицательной полярности с амплитудой от 50 до 300 В, формирует импульс положительной полярности с амплитудой от 300 до 800 В, подаваемый на МЛ-3;

7. Блок питания ФЭУ - вырабатывает напряжение для питания ФЭУ.

8. Осциллограф - служит для наблюдения формы сигналов, снимаемых с нагрузок фотоумножителей. Сигналы с нагрузок ФЭУ подаются на дифференциальный усилитель, выход которого соединен со входом осциллографа (рис. 26).

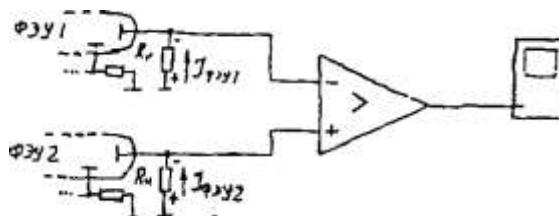


Рис. 26. Схема подключения нагрузок ФЭУ к осциллографу.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Включение установки. Предварительно установить все потенциометры на блоках в крайнее левое положение. Тумблер "на блоке управления установить в положение «—», переключатель должен находиться в положении $J_{ФЭУ1}$. Четвертьволновая пластинка 4, поляризаторы 5 и 7 должны быть выведены из лазерного излучения (нажать на ручки 13, 15, 17 до упора). Включить тумблер сеть на блоке питания ЛГ-72 и низковольтном блоке питания. Прогреть приборы в течении 2-3 минут. Переключатель на блоке смещения модуляторов установить в положение 400В. Переключатель полярности напряжения на МЛ-4 установить в положение «—». Потенциометром регулировки напряжения смещения МЛ-4 установить напряжение 180В. Ослабителем установить ток ФЭУ=150 мкА. Ручкой 18 установить кристалл модулятора МЛ-3 под углом 45°. Включить осциллограф. Установка готова к работе.

1. Снять модуляционные характеристики модуляторов МЛ-4 и МЛ-3.

а) Медленно вращая потенциометр регулировка напряжения смещения МЛ-4 от 400В до 0 зарегистрировать напряжения, при которых значение $J_{ФЭУ1}$ принимает максимальные и минимальные значения. Установить переключатель полярности в положение «+». Определить напряжения при которых $J_{ФЭУ1}$ принимает максимальные и минимальные значения. По полученным точкам нарисовать модуляционную характеристику модулятора МЛ-4. Установить напряжение смещения МЛ-4 соответствующее полному пропусканию света.

б) Переключатель установить в положение 800В. Ввести поляризатор 5. Установить плоскость поляризации поляризатора горизонтально. Аналогично пункту а) снять модуляционную характеристику модулятора МЛ-3. Вывести поляризатор 5 из лазерного излучения.

2. Определить влияние положения рабочей точки на модуляционной характеристике на искажения синусоидального сигнала амплитудным модулятором МЛ-4.

Переключатель на блоке модуляторов установить в положение 400В. Тумблер " ~ " на блоке управления установить в положение «—», переключатель в положение "U-". Потенциометром "Ампл" установить по индикатору амплитуду синусоиды 30 В. Длительность развертки осциллографа установить 0,2 мсек/см. Зарисовать форму синусоиды для следующих значений напряжения смещения МЛ-4:

- а) соответствующего минимальному пропусканию модулятора;
- б) соответствующего линейному участку модуляционной характеристики.
- в) соответствующего пункту б), уменьшенному или увеличенному на 45В. Объяснить полученные результаты.

3. Получить излучение лазера в виде последовательности коротких импульсов с помощью модулятора МЛ-4.

Импульс, подаваемый на МЛ-4 с блока подмодуляторов, имеет отрицательную полярность. Рис. 25. Смещение модуляционной характеристики модулятора МЛ-4 составляет В на 100 В управляющего сигнала.

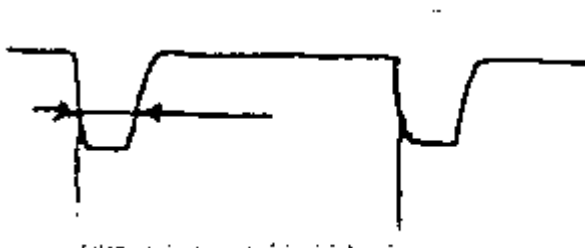


Рис. 25. Форма импульса напряжения, подаваемая на МЛ-4.

С учетом вышесказанного, на модуляционной характеристике МЛ-4 выбрать положение рабочей точки и определить необходимую амплитуду импульса. Занести в отчет модуляционную характеристику с выбранной рабочей точкой и импульсом напряжения, подаваемому на МЛ-4.

На блоке управления тумблеры " - " и "МЛ-4" перевести в положение "___" и соответственно. Переключатель поставить в положение " Включить тумблер "включить" на блоке питания подмодуляторов и дать нагреться блоку 2-3 минуты. Затем выключить тумблер питания подмодулятора МЛ-4. Установить потенциометром "5СИ-300 В" шатору на блоке управления требуемую амплитуду импульса. На блоке смещения приборов установить напряжение соответствующее выбранной рабочей точке. Длительность развертки осциллографа установить мксек/см.

4. Получить КИМ-АМ

Согласно пунктам 3-4 подать импульсное напряжение на модуляторы МЛ-3 и МЛ-4.

Зарисовать осциллограмму.

5. Получить КИМ-ЧМ

Вывести из излучения поляризатор 5 и ввести поляризатор 7.

Зарисовать осциллограмму.

Контрольные вопросы

1. Принципы работы амплитудного модулятора света.
2. Что представляет собой модуляционная характеристика модулятора света?
3. Амплитудная модуляция света синусоидальным сигналом.
4. Четвертьволновой амплитудный модулятор.
5. Вторичный электрооптический эффект и частотная характеристика электрооптического модулятора.

6. Конструкция электрооптического модулятора.
7. Влияние естественной анизотропии электрооптического кристалла на модулирующую характеристику.
8. Методы температурной компенсации влияния естественной анизотропии электрооптического кристалла.
9. Система связи с КИМ-ИМ.
10. Система связи с КИМ-АМ на поднесущей.
11. Система связи с КИМ-ЧМ на поднесущей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Звелто О. Принципы лазеров. – М.: Лань, 2008.- 720 с.
2. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. – М.: Мир, 2005. – 541 с.
3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – М.: Техносфера, 2006. – 496 с.
4. Гринев А.Ю. и др. Оптические устройства в радиотехнике: Учеб. Пособие для студ. вузов / Под ред. В.Н.Ушакова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Радиотехника, 2009. – 264 с.
5. Е.Р.Мустель, В.Н.Парыгин. Методы модуляции и сканирования света. – М.: Наука, 1970. – 296 с.
6. А.Г.Шереметьев, Р.Г.Толпарев. Лазерная связь. – М.: Связь, 1974. – 384 с.
7. В.К. Пратт. Лазерные системы связи. – М.: .: Связь, 1972. – 323 с.