

6. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНТЕГРИРАНИ ОПТОЕЛЕКТРОННИ СЕНЗОРИ С АНАЛОГОВ ИЗХОД

1 Цели на лабораторното упражнение:

- Запознаване с техническите характеристики и възможности на оптоелектронните сензори с аналогов изход.
- Запознаване с особенностите на схемите на включване и снемане на сигнали от тези сензори.
- Измерване електрическите параметри на интегрирани оптоелектронни сензори с аналогов изход и анализ на получените резултати.
- Разучаване принципа на действие, на електрически схеми с интегрираните оптоелектронни сензори с аналогов изход от практиката.
- Придобиване практически опит при подвключването на интегрирани оптоелектронни сензори с аналогов изход в конкретни електрически схеми.
- Осъществяване измервания на оптично излъчване с интегрирани оптоелектронни сензори с аналогов изход и изчисляване конкретни техни параметри. Построяване графически съответните характеристики.

2 Физични основи

2.1 Оптично излъчване [1]

Общоприето е разпределението на енергията на излъчване в зависимост от дължината на електромагнитната синусоидална вълна или от честотата и да се нарича **спектр на излъчване**. Условното деление на спектъра на излъчване на електромагнитните вълни е показано на фигура 6.1.

Оптичният диапазон на спектъра на електромагнитното излъчване започва от дължина на вълната $1 \cdot 10^{-8} \mu\text{m}$ или $0,01 \mu\text{m}$ и се простира до дължини на вълните приблизително $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ или $1000 \mu\text{m}$. Широкият оптичен диапазон от своя страна е прието да се разделя условно на следните поддиапазони; ултравиолетов, видим и инфрачервен. В таблица 6.1 е дадено разпределението на спектъра в оптичния диапазон.

В различни области на науката могат да се срещнат и други разделения на спектъра на електромагнитните колебания, които в определени случаи се оказват по-удобни за използване. Този факт показва условността на избраните граници за разделяне на поддиапазоните.

6. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНТЕГРИРАНИ ОПТОЕЛЕКТРОННИ СЕНЗОРИ С АНАЛОГОВ ИЗХОД

1 Цели на лабораторното упражнение:

- Запознаване с техническите характеристики и възможности на оптоелектронните сензори с аналогов изход.
- Запознаване с особенностите на схемите на включване и снемане на сигнали от тези сензори.
- Измерване електрическите параметри на интегрирани оптоелектронни сензори с аналогов изход и анализ на получените резултати.
- Разучаване принципа на действие, на електрически схеми с интегрираните оптоелектронни сензори с аналогов изход от практиката.
- Придобиване практически опит при подвключването на интегрирани оптоелектронни сензори с аналогов изход в конкретни електрически схеми.
- Осъществяване измервания на оптично излъчване с интегрирани оптоелектронни сензори с аналогов изход и изчисляване конкретни техни параметри. Построяване графически съответните характеристики.

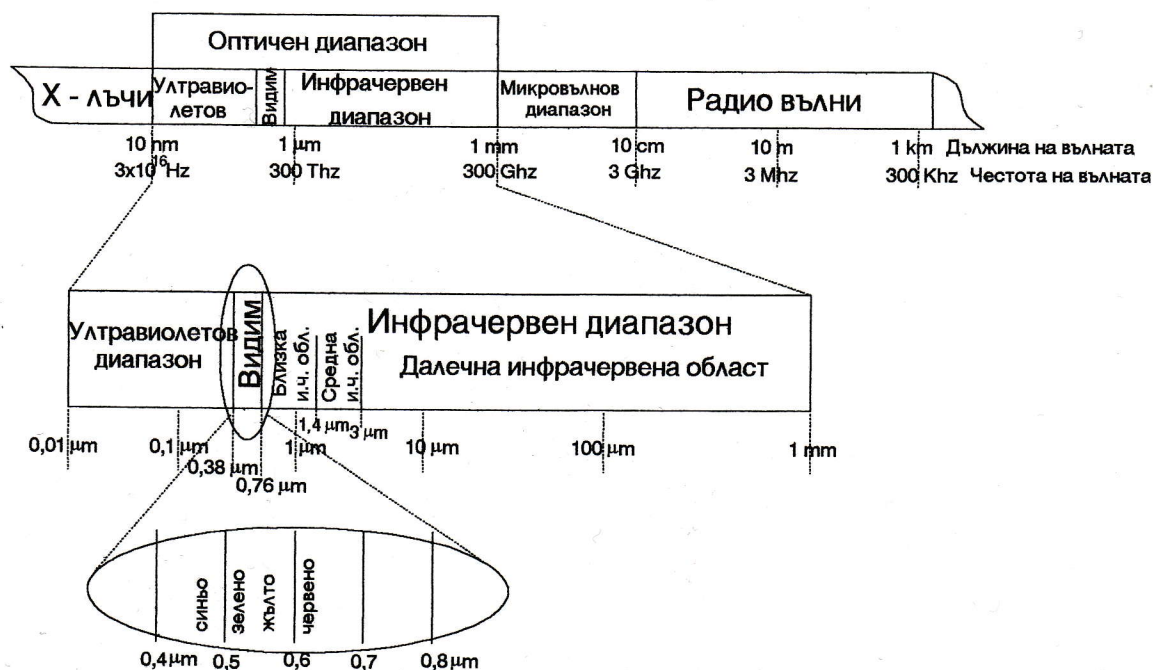
2 Физични основи

2.1 Оптично излъчване [1]

Общоприето е разпределението на енергията на излъчване в зависимост от дължината на електромагнитната синусоидална вълна или от честотата и да се нарича **спектр на излъчване**. Условното деление на спектъра на излъчване на електромагнитните вълни е показано на фигура 6.1.

Оптичният диапазон на спектъра на електромагнитното излъчване започва от дължина на вълната $1 \cdot 10^{-8} \mu\text{m}$ или $0,01 \mu\text{m}$ и се простира до дължини на вълните приблизително $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ или $1000 \mu\text{m}$. Широкият оптичен диапазон от своя страна е прието да се разделя условно на следните поддиапазони; ултравиолетов, видим и инфрачервен. В таблица 6.1 е дадено разпределението на спектъра в оптичния диапазон.

В различни области на науката могат да се срещнат и други разделения на спектъра на електромагнитните колебания, които в определени случаи се оказват по-удобни за използване. Този факт показва условността на избраните граници за разделяне на поддиапазоните.



Фигура 6.1. Спектър на електромагнитните вълни.

В оптичния диапазон видимата за човешките очи област заема съвсем тясна ивица от $0,38 \mu\text{m}$ до $0,76 \mu\text{m}$. В този диапазон на електромагнитното излъчване посредством очите, човек възприема приблизително 80% от информацията за обкръжаващия го свят. Ултравиолетовите лъчи също се регистрират от човека, но само като краен болезнен резултат при продължително облъчване, което предизвиква "изгаряния" на човешката кожа. Това показва несъвършенството на човешките очи и кожа в качеството им на приемник на ултравиолетови лъчи. Инфрачервеното излъчване въздейства на нервните клетки на човешкия организъм, които го възприемат като студено и топло. Те са също приемник, но с ниско качество.

Таблица 6.1

Област	долна граница	горна граница
Оптичен диапазон	$0,01 \mu\text{m}$	$1000 \mu\text{m}$
Ултравиолетова област	$0,01 \mu\text{m}$	$0,38 \mu\text{m}$
Видима област	$0,38 \mu\text{m}$	$0,76 \mu\text{m}$
Близка инфрачервена	$0,76 \mu\text{m}$	$1,4 \mu\text{m}$
Средна инфрачервена	$1,4 \mu\text{m}$	$3 \mu\text{m}$
Далечна инфрачервена	$3 \mu\text{m}$	$1000 \mu\text{m}$

2.2 Параметри на оптичното излъчване.

Електромагнитното излъчване, съпровождащо процесите и явленията е една от формите на съществуване на енергията. При разглеждането на електромагнитното излъчване в различните случаи съвременната наука го

представя или като поток движещи се частици кванти енергия или като разпространяващи се електромагнитни вълни. Както едното така и другото представяне са следствие от квантовата механика. Когато електромагнитното излъчване се представя като разпространяващи се електромагнитни вълни, основен параметър е дължината на вълната λ .

Излъчване, което е съпроводено с разпространение на електромагнитни вълни чиито дължини се различават много малко $\Delta\lambda \rightarrow 0$ е прието да се нарича монохроматично.

Връзката между дължината на разпространяващата се вълна и енергията на кванта (респективно фотона) се дава от съотношението:

$$W_c = \frac{h \cdot c}{\lambda} = h \cdot \nu$$

където: $c=3.10^8 \text{ m/s}$ - скорост на разпространение на вълновия фронт във вакуум, λ - дължина на вълната, $\nu=c/\lambda$ - честота на повторение на вълната, $h=6,625.10^{-34} \text{ J.s}$ - константа на Планк.

2.2.1 Поток на излъчването Φ_e

Основна величина, която изразява количеството излъчена енергия е потокът или мощността на излъчването. Изразява количеството енергия излъчена, погълната или пренесена в единица време. В най общ вид се определя от зависимостта:

$$\Phi_e = \frac{dW}{dt} \quad W,$$

където: dW - е енергията на излъчването, dt - времето за което действа тази енергия.

Когато пренасянето на енергията се осъществява с постоянна скорост, потокът на излъчване се определя по формулата:

$$\Phi_e = \frac{W}{t} \quad W.$$

Единицата за измерване на потока на електромагнитното излъчване е Ват W .

Потокът на излъчване може да бъде съсредоточен в малък диапазон на различие между дължините на вълните $d\lambda$, тогава той се нарича спектрален или монохроматичен Φ_λ . Спектралния или монохроматичен поток в най общ случай е функция от дължината на вълната λ . Спектралният поток на излъчване, отнасящ се за единичен интервал на дължината на вълната в

диапазона $d\lambda$ се нарича спектрална плътност на потока на излъчване, може да бъде определен като:

$$\Phi_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \quad \left[\frac{W}{\mu m} \right]$$

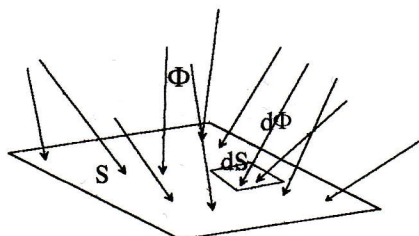
Спектралната плътност на потока на излъчване се измерва във Ват на микрометър $\left[\frac{W}{\mu m} \right]$.

2.2.2. Повърхностна плътност на електромагнитния поток.

Осветеност E_e . Светимост R_e .

По аналогия с пространствената плътност на потока на излъчване се разглежда и случая когато излъчването насища определена повърхност т.е. - повърхностна плътност на потока.

Повърхностната плътност на електромагнитния поток се определя като величината лъчист поток погълнат или преминал или излъчен от единица площ. В зависимост от това дали се разглежда повърхностна плътност на излъчването, създавана от източник, за точки разположени върху повърхността на самия източник или за точки от повърхност, отдалечена от него, се разглеждат два случая на повърхностна плътност - светимост и осветеност.

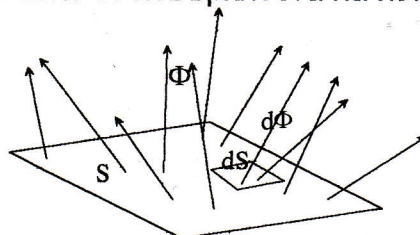


Фигура 6.2 Осветеност на повърхност S.

Осветеност на елемент от дадена повърхност, фигура 6.2 е отношението на лъчистия поток, падащ нормално към повърхността, към площта на елементарен елемент от нея. Бележи се с E_e и представлява:

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Светимостта на елемент от повърхността на източника е отношението на



Фигура 6.3. Светимост на повърхност S

излъчвания лъчист поток, разпространяващ се в пространството т.е. в полусфера, към площта на този елемент от повърхността на източника фиг.6.3. Бележи се с R и се записва:

$$R_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Единицата за измерване на светимостта и осветеността и ват на метър квадратен $\left[\frac{W}{m^2} \right]$. Ако потока, който създава осветеността респективно светимостта е равномерно разпределен по повърхността, то можем да се освободим от диференциали и зависимостите за E и R придобиват вида:

$$E_e = \frac{\Phi_e}{S} ; \quad R_e = \frac{\Phi_e}{S} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Спектралната плътност на светимостта и осветеността представлява частта светимост и осветеност съответстваща на безкрайно малък интервал от разлики в дължините на вълните на предизвикващия ги лъчист поток:

$$E_\lambda = \frac{dE_e(\lambda)}{d\lambda} ; \quad R_\lambda = \frac{dE_e(\lambda)}{d\lambda} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot \mu m} \right]$$

2.3 Фотодиодни, структури

Фотодиода представлява полупроводников елемент с диодна структура, предназначен да генерира сигнал пропорционален на погълнатите фотони. Конструктивно фотодиодите могат да бъдат изпълнени по няколко различни технологии.

2.3.1. Планарно - дифузионни фотодиоди.

Този тип фотодиоди представляват най простата и разпространена в практиката конструктивна структура. Реализира се като върху високоомна подложка от n - полупроводник, чрез дифузия или йонна имплантация на бор се образува слой от p - полупроводник фиг.6.4. Дебелината на този слой е от порядъка на $1 \mu m$. От p - областта е формиран извод посредством алуминиево покритие, който представлява анода на фотодиода. Върху p - полупроводника е нанесена маска от SiO_2 , която е непрозрачна и фиксира геометрията на фоточувствителната област. Върху цялата структура е нанесено защитно прозрачно покритие.

Фигура 6.4 Напречен разрез на планарно-дифузионен фотодиод.

Между p и n слоевете се образува p/n преход известен още като обеднен слой. В зависимост от дебелината им и концентрацията на токоносители в материалите, могат да се променят параметрите на фотодиода. Такива като спектрална характеристика, чувствителност и постоянна на време.

Когато фотони попадат върху чувствителната площадка на фотодиода, в зависимост от енергията си те проникват на различна дълбочина в структурата където се поглъщат. На фигура 6.5 е показана зависимостта на дълбочината на проникване за 90% поглъщане (дълбочината на поглъщане) в зависимост от дължината на вълната на фотоните. За фотони с дължина на вълната по-малка от $0,4\mu m$, 90% поглъщане има при дълбочини в структурата под $0,5\mu m$. Докато при дължина на вълната по-голяма от $1\mu m$ дълбочината на проникване е над $200\mu m$ и по нататък рязко се увеличава. Тези широки граници на поглъщане на електромагнитните вълни във фотодиодната структура позволяват да се реализират различни спектрални параметри в зависимост от конструктивните особености.

Фигура 6.5 Дълбочина на проникване на фотоните при 90% поглъщане в зависимост от дължината на вълната.

Поглъщането на фотон в полупроводника води до образуването на двойка електрон-дупка. Фототок протича, когато генерираните от фотоните токоносители се разделят, като електроните отиват към n -областта, а дупките към p -областта на p/n прехода. Такова разделяне може да настъпи, когато токоносителите се образуват в област от полупроводника, където има електрическо поле. Алтернатива на разделянето е процеса на рекомбинация, който не предизвиква насочено движение на заряди и следователно няма принос към фототока.

Разпределението на електрическото поле в полупроводниковия диод е неравномерно. В p -дифузната област (предната част) и n -дифузна области (задната част) полето е много по слабо отколкото в областта между тях или обеднената зона. Фотодиода трябва да бъде направен така, че да позволява поглъщането на максимален брой фотони именно в него. Т.е. фотоните не трябва да се поглъщат преди да са навлезли в него и трябва да са погълнати преди да са го напуснали.

Дебелината на обеднения слой зависи от специфичното съпротивление на по слабо легираната област на p/n прехода (базата) и от приложеното обратно напрежение. Обеднения слой съществува дори и когато не е приложено обратно напрежение. Той се дължи на "вграденото поле", което се създава в следствие на дифузията на неосновни токоносители през p/n

прехода. Обратното напрежение създава поле, което е съпосочно с "вграденото" и следователно разширява обеднения слой.

Ширината на обеднения слой при определено обратно напрежение е по-голяма при диодите с по-голямо специфично съпротивление на полупроводниковия материал в областта на p/n прехода. Противоположно изискване е необходимо за създаването на омически контакти към диода, необходимо е областите на предната и задна повърхности на кристала да бъдат нискоомни. При p/n фотодиодите, тънката p - дифузионна област позволява получаването на добра чувствителност към късите вълни, но е необходимо прилагането на сравнително голямо обратно напрежение за да се разшири обеднения слой до дълбочината, необходима за добра чувствителност към дългите вълни. Дълбоката p - дифузионна област влошава чувствителността към късите вълни, но намалява стойността на необходимото обратно напрежение за получаване на добра чувствителност към дългите вълни.

Оптимизирането на чувствителността на фотодиода както и намаляването на собствения капацитет на структурата изисква pin вместо pn структура.

2.3.2 Фотодиодна pin структура

Фотодиода с pin структура фиг.6.6 има тънка p - дифузионна област (отпред) и n - дифузионна област (отзад) изградени в много високоомна силициева пластина. Между двете области е изграден изолационен материал с високо специфично съпротивление. Областта която заема се нарича област със собствена проводимост или I слой. Този слой има толкова високо съпротивление, че дори и без да е приложено обратно напрежение обеднения слой се разпространява от p - областта до около средата на I слоя. Само при около 5V обратно напрежение обеднения слой достига до n - областта. Това напрежение се нарича напрежение на слепване (punch-through). Пробивното напрежение на подобни структури обикновено е по-голямо от 200V. Това позволява фотодиода да работи при напрежения по-високи от напрежението на слепване като по този начин се поддържа I слоя напълно обеднен дори при повисоки стойности на поглъщания електромагнитен поток. Това осигурява най-добра линейност и бързодействие на фотодиода.

Фигура 6.6 Фотодиодна pin структура.

2.3.3 Други фотодиодни структури.

2.4 Параметри и характеристики на фотодиодите.**2.4.1 Оптични параметри и характеристики на фотодиодите.****2.4.2 Волт-амперна характеристика на фотодиода.****2.4.3 Еквивалентна електрическа схема на фотодиода.****2.5 Електрически схеми за усилвателни на сигнал от фотодиоды.****2.5.1. Усилвател по напрежение и фотодиод.****2.5.2. Трансимпедансен усилвател и фотодиод.****3 Основни характеристики и форми на реализиране на оптоелектронни сензори с аналогов изход. [2,4,5,6,7,].****4 Примери на интегрални оптоелектронни сензори с аналогов изход.****4.1 Оптоелектронни сензори с аналогов изход на фирмата Texas Instr.uments [5].****4.2 Оптоелектронни сензори на фирмата Burr Braun [7].****5 Приложения на интегралните оптоелектронни сензори с аналогов изход.**

Интегралните оптоелектронни сензори намират голямо приложение в промишлеността, техниката и бита. Основна причина за тяхното широко разпространение е факта, че използването им позволява да се опрости както механичната така и електронната части на фотоприемната част на оптоелектронния урез.

5.1 Приложения с оптоелектронните аналогови сензори TSL 25X TSL26X.**5.2 Приложения с оптоелектронните аналогови сензори OPT 2XX [7].****6 Контролни въпроси.**

- Какво представлява осветеността на дадена повърхност?
- Какъв е механизмът на генериране на токоносители при фотодиода? Има ли генериране на токоносители във фотодиода вследствие на температурата?
- Колко режима на работа се различават при функционирането на фотодиода? Прямо какъв критерий се различават?

- Какъв е динамичния диапазон при регистриране на електромагнитния поток от фотодиода? Изменя ли се при подвключване на външна усилвателна схема?
- Какви електронни схеми познавате за усилване на сигналите от фотодиоди? Какви са предимствата им и недостатъците им?
- Защо се интегрират схемите за усилване и фотодиодите в един корпус? Какво се паечели?

7 Задачи за предварителна подготовка (самостоятелна работа).

Задача 1.

Задача 2.

Задача 3.

Задача 4.

Задача 5.

8 Задачи за изпълнение.

8.1. Да се разучат техническите параметри, и характеристики на интегрираните оптоелектронни сензори:

- TSL 250, TSL251, TSL252;
- TSL260, TSL261, TSL262;
- OPT 101; OPT102.

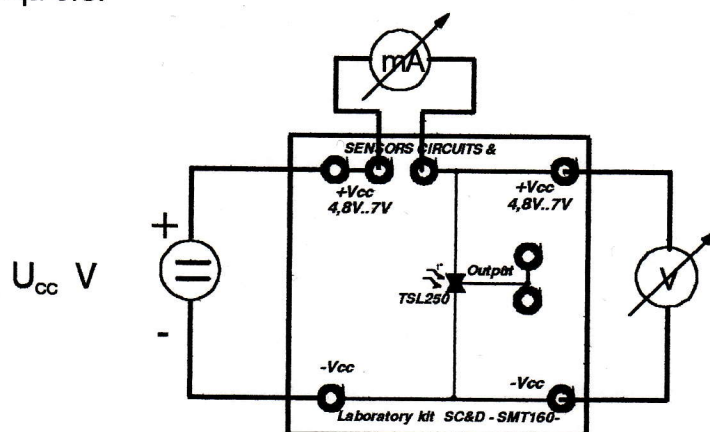
8.2 Да се разучи конструкцията и възможностите за закрепване на оптоелектронните сензори и излъчвателните елементи.

- Да се поставят някои от оптоелектронните сензори, като се провери надеждното закрепване на кабелите.
- Да се поставят някои от излъчвателните елементи, като се провери надеждното им закрепване.

8.3 Да се снее зависимостта на тока на консумация I_k на сензорите TSL250, TSL251 от захранващото напрежение.

- Да се реализира схемата на измерване, показана на фиг.6.6.

- Да се провери работоспособността на оптоелектронния сензор подвключен към лабораторния макет фиг.6.6.
- Подава се захранващо напрежение $U_{cc}=5V$.
- Изменя се осветеността на оптоелектронния сензор и се наблюдават показанията на волтметъра измерващ изходното напрежение на сензора. Ако показанията се променят с промяна на осветеността - сензора работи нормално.
- Захранващото напрежение си променя в диапазона $U_{cc}=1\div 9V$ при неосветен оптоелектронен сензор. Отчита се тока на консумация като резултатите се нанасят в таблица 6.3.
- Захранващото напрежение си променя в диапазона $U_{cc}=1\div 9V$ при осветен оптоелектронен сензор. Отчита се тока на консумация като резултатите се нанасят в таблица 6.3.



Фигура 6.6 Схема на включване на лабораторния макет за измерване тока на консумация на сензора SMT160TSL 250

Таблица 6.4

U_{cc} V	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_k , неосветен сензор									
I_k , осветен сензор									

8.4 Да се снемe зависимостта на тока на консумация I_k на сензорите TSL250, TSL251 от осветеността при постоянно захранващото напрежение.

- Да се подаде захранващо напрежение 5V на оптоелектронния сензор - схемата от фиг.6.6.
- Да се измери тока на консумация на сензора при различни стойности на захранващото напрежение на осветителя, резултатите да се нанесат в таблица 6.5.

Таблица 6.5

$U_{\text{осветител}}$	4V	6V	8V	10V	12V
$I_k, /U_{cc}=5V$					

8.4 Да се снемe зависимостта на максималното ниво на изходния сигнал от захранващото напрежение.

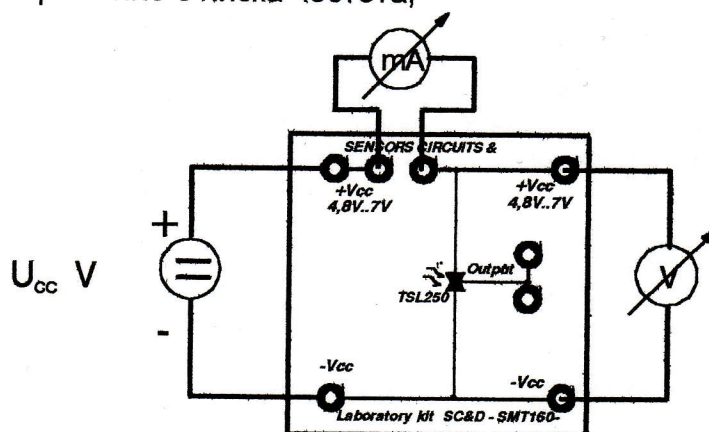
- За фиксирани стойности на захранващото напрежение се повишава напрежението на осветителя докато изходното ниво на сигнала престане да нараства.
- Отчита се тази стойност на изходния сигнал. Резултатите се нанасят в таблица 6.6.

Таблица 6.6

U_{cc}	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V
$U_{\text{out/max}} V$							

8.4 Да се снемe амплитудно честотната характеристика на оптоелектронните сензори TSL250 и TSL251.

- За всеки сензор да се реализира схемата показана на фиг.6.7;
- Да се захрани светодиодния излъчвател от сигналгенератора със синусоидално напрежение с ниска честота;



Фигура 6.7. Включване на оптоелектронния сензор за измерване на амплитудно-честотната характеристика и шумовите свойства.

- Да се наблюдава изходния сигнал на сензорите на осцилоскопа; Да се определи нивото на сигнала от връх до връх;
- Да се увеличава честотата на захранващото напрежение на светодиодния излъчвател, като същевременно се следи нивото на изходния сигнал на сензора. Честотата се увеличава до достигане ниво на изходния сигнал $U_{\text{out}} * 0,5$.
- Резултатите да се нанесат в таблица 6.7

Таблица 6.7

$F_{led} \text{ Hz}$										
$U_{out/отн} = U_{out/F} / U_{out/25Hz}$										

8.5 Да се наблюдават шумовете на изходния сигнал на сензорите при две нива на осветеност.

- Да се постави на тъмно съответния сензор. Да се наблюдава формата на сигнала на осцилоскопа фиг.6.7.
- Да се отчете средноквадратичната стойност на случайната компонента на изходния сигнал. Резултата да се нанесе в таблица 6.8
- Да се освети достатъчно сензора (нивото на изходния сигнал да е по-малко от напрежението на насищане). Да се наблюдава формата на сигнала на осцилоскопа.
- Да се отчете средноквадратичната стойност на случайната компонента на изходния сигнал. Резултата да се нанесе в таблица 6.8

Таблица 6.8

	TSL250	TSL251
Неосветен		
Осветен		

ЛИТЕРАТУРА

1. /235/335 Precision temperature sensors`` Data Sheets - National Semiconductot.
2. ``Digital temperature sensor SMT 160`` Data Sheets - LJK.
3. ``AD590 - 2wire curent output transducer`` Data Sheets - Harris Semiconductor.