Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

факультет електроніки

кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

**Методичні вказівки**

**до самостійної роботи студентів**

з дисципліни:

«Вимірювальні перетворювачі фізичних величин»

на тему:

«**Фоторезистори**»

**Вступ**

***Об’єкт дослідження:*** в даній роботі буде досліджуватися метрологічна характеристика фоторезистора як давача освітленості. Як об’єкт дослідження було обрано фоторезистор моделі VT935G. Даний фоторезистор призначений для перетворення світлового потоку в зміну опору і, як наслідок, зміни струму, який протікає через такий фоторезистор. Використовується в давачах освітленості, люксметрах і в різній світловій автоматиці. Основна перевага фоторезисторів - майже лінійна залежність опору від освітленості. Тому їх зручно використовувати в аналогових приладах. В якості напівпровідникового матеріалу для фоторезисторів найчастіше використовують сульфід кадмію, селенід кадмію або сульфід свинцю.

***Мета дослідження:*** дослідити принцип перетворення фізичної величини в електричний сигнал, побудувати метрологічну характеристику для фоторезистора.

***Актуальність дослідження.*** В сучасному виробництві контроль неелектричних (механічних, теплових, хімічних, оптичних, акустичних) величин є актуальною темою, оскільки науко-технічний розвиток спрямований на подальшу автоматизацію виробництва, що в свою чергу потребує більш точного та досконалого контролю неелектричних величин. Дана тенденція спричиняє розвиток та удосконалення вимірювальних перетворювачів. Давачі фізичних величин є первинними постачальниками інформації про значення різних фізичних величин і невід'ємними компонентами різних інформаційно-вимірювальних систем - систем управління, контролю, вимірювання.

Фоторезистор, що досліджується в даній роботі, досить широко застосовується в світловій автоматиці, давачах освітленості, люксметрах.

**Короткі теоретичні відомості**

Фоторезистор - це фотоелектричний напівпровідниковий приймач  
випромінювання, принцип дії якого заснований на ефекті фотопровідності.  
Для фоторезисторів характерні стабільність фотоелектричних харак-  
теристик в часі, простота пристрою, що допускає різні кон-  
структорсько-технологічні рішення, невисока вартість, високі фотоелектри-  
чні властивості, малі габарити. Фоторезистори вигідно відрізняються від фотодіодов майже лінійною вольтамперною характеристикою, що важливо при точних вимірах і відсутністю паразитних гармонік при змінних сигналах.  
Вибір напівпровідникового матеріалу дозволяє отримати селективну фоточутливість за спектральною характеристикою. Фоторезистори на основі CdS і CdSe чутливі до видимого і УФ -випромінювання, а фоторезистори на основі InSb і CdHgTe - до довгохвильового ІЧ-випромінювання. Так як до фотоопору пред'являються найрізноманітніші вимоги, то і сам фотоопір обов'язково повинен мати різні параметри, різні характеристики. Універсальний фотоопір не підходить для ряду областей його застосування.

Фоторезистивний ефект - зміна електричного опору напівпровідника, під впливом оптичного випромінювання. Зміна опору, або провідності (σ), пов`язана зі зміною концентрації носіїв заряду.  
Якщо σсв> 0, то фоторезистивний ефект називають позитивним, якщо  
σсв <0 - негативним. Провідність σо = σт, обумовлену рівноважними  
носіями заряду, називають темновою. Повна провідність може бути  
представлена у вигляді суми темнової і світлової провідностей:

; (1)

де - рухливість електронів (дірок), e - заряд електрона, δn, δp - надлишкові концентрації електронів і дірок, створювані світлом.

Власне поглинання світла призводить до генерації електронів і дірок  
δp = δn в рівних кількостях. Поглинання світла вільними носіями заряду не приводить до зростання їх концентрації, однак при цьому порушується рівноважний розподіл носіїв заряду, внаслідок чого їх рухливість може змінюватися. Це в свою чергу призводить до зміни рівняння провідності.

Кажучи про фоторезистивний ефект, мають на увазі збільшення  
провідності. Однак при освітленні напівпровідника можливо її зменшення провідності. Пояснення цього явища полягає в наступному: порушення рівноваги між тепловою генерацією і рекомбінацією поблизу поверхні напівпровідника, викликане світлом, призводить до зростання швидкості рекомбінації в області, куди дифундують неосновні носії заряду, що призводить до зменшення концентрації основних носіїв заряду отже і до  
зростання опору.

Щоб описати фоторезистивний ефект, необхідно знати світлову  
концентрацію носіїв заряду. Вона визначається з рівнянь неперервності:

(2)

(3)

де jn, jn і Gn, Gp - струм і швидкість генерації, , - часи життя електронів і дірок, відповідно. Розглянемо напівпровідник, в якому струму немає:

jn = jn = 0. У такому випадку рівняння (2) і (3) спрощуються:

(4)

(5)

Якщо відомі швидкості генерації носіїв заряду , , то з рівняння  
(4) і (5) можна знайти концентрацію носіїв заряду і тим самим світлову провідністьσсв. У стаціонарному стані і рівняння (4) і (5) мають просте рішення:

; (6)

; (7)

Вирази (6) і (7) мають назву першого характеристичного відношення для фоторезистивного ефекту. Вони визначають залежність світлової  
провідності від інтенсивності світла і області спектра. Таким чином, для  
світлової провідності можна записати:

; (8)

де b - відношення рухливості електронів і дірок.

Величина σсв залежить від довжини хвилі падаючого світла λ і від його интенсивності, а - від надлишкової концентрації, яка залежить в свою чергу від швидкості генерації. Швидкість генерації визначається інтенсивністю світла j і коефіцієнтом поглинання . Дійсно, в обсязі l в одиницю часу поглинається енергія - , рівна:

; (9)

В одиниці об'єму поглинається енергія:

; (10)

Якщо виразити інтенсивність світла j через потік фотонів , то  
число поглинених фотонів в одиниці об'єму в одиницю часу дорівнює:

(11)

Таким чином, число фотонів, що поглинаються в одиницю часу в одиниці об'єму Ф1 дорівнює добутку коефіцієнта α і потоку фотонів Ф. Нехай  
кожен поглинений фотон з ймовірністю β породжує вільний носій (або пару частинок). Величина βФ1 є швидкістю генерації носіїв заряду:

; (12)

; (13)

Величини і називаються квантовим виходом фотоіонізації. Якщо  
світлова провідність зумовлена поглинанням локалізованого стану, то одна з величин - або - дорівнює нулю. З фізичних міркувань ясно, що величина може приймати одне з можливих значень: 0 або 1.

Щільність фотоструму jф, зумовлена світловою провідністю:

*;* (14)

де Е - напруженість електричного поля.

Якщо через позначити розміри напівпровідника в напрямку поля і через U - напругу на ньому, то , , де і - швидкість дрейфу електронів і дірок відповідно. Час дрейфу і . Напруженість поля за час, за який носії заряду проходять по напівпровіднику:

; (15)

Підставивши (15) в (14), отримаємо:

; (16)

Помножимо вираз (16) на площу поперечного перерізу S напівпровідника: - фотострум. Якщо зразок досить тонкий, а поглинання світла слабке, то в усіх точках напівпровідника однакове. Позначимо через Фu повне число поглинених фотонів в повному об`ємі напівпровідника і через k величину:

; (17)

Тоді фотострум дорівнює:

; (18)

Якщо (або один з них рівний нулю), то величина:

; (19)

є повною генерацією носіїв заряду в одиницю часу, а величина:

; (20)

носить назву коефіцієнт підсилення. Тоді вираз для фотоструму можна записати у вигляді:

; (21)

Вона називається другим характеристичним співвідношенням для фоторезистивного ефекту.

**Опис фоторезистора** **VT935G**

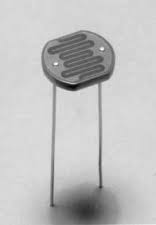


Рис.1. Зовнішній вигляд фоторезистора VT935G

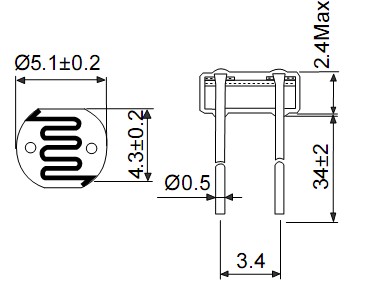


Рис. 2. Габаритні і з’єднувальні розміри фоторезистора VT935G

Табл.1. Основні технічні характеристики фоторезистора VT935G

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристики |  |
| Робоча напруга, В | 100 |
| Діапазон темнового опору, Ом | 1М |
| Розсіювана потужність, мВт | 80 |
| Інтервал робочої температури, С0 | від -50 до +75 |
| Маса, г | 5 |

**Розрахункова частина**

**Приклад визначення залежності опору фоторезистора від температури та освітленості.**

Для характеристики інтенсивності світла використовують фізичну величину – освітленість (E), що показує кількість світлового потоку, що досягає будь-якої поверхні площею S. Одиниця освітленості – люкс (лк).

1 люкс означає, що на поверхню розміром 1 m2 ріномірно падає світловий потік в 1 люмен (лм). Отже, . У реальному житті світло практично ніколи не падає на поверхню рівномірно, тому освітленість виходить більше в середньому значенні. Для порівняння наведені деякі приклади освітленості (таблиця №2):

Табл. 2. Основні значення освітленості

|  |  |
| --- | --- |
| Довколишне середовище | Освітленність (Lx) |
|
| Повний місяц | 0,1 |
| Сутінки | 1 |
| Аудиторія | 10 |
| Навчальний клас | 30 |
| Світанок чи захід сонця | 400 |
| Операційна лікарні | 500-1000 |
| Сонячний день (в тіні) | 8тис. - 25тис. |
| Пряме сонячне проміння | 32тис.-130тис. |

Взаємозв'язок між освітленістю і електричним опором фоторезистора описує формула:

; (22)

де y - це чутливість, яка рівна 0,9 для даного фоторезистора.

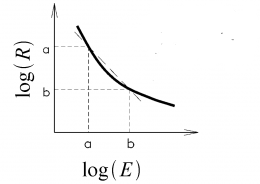


Рис.3. Залежність опору від освітленості

Як видно на вищенаведеному графіку, на логарифмічній шкалі освітленість і опір знаходяться приблизно в лінійній залежності. Відомі дані однієї точки (**а**) з вищевказаного графіка: 18,5 kОм опір (RA) при 10 lx освітленості (EA). Таким чином, є координати першої точки **(а)**. Для обчислення будь-якої іншої точки вистачить тільки однієї координати. Якщо виміряти опір давача (RB), то можна з рівняння обчислити освітленість (EB), яка падає на давач. Або задаючи освітленість (EB) визначати опір (RB).

Запишемо рівняння лінії EB:

; (23)

Формула (23) дозволяє обрахувати освітленість, якщо відомий опір. Обрахуємо залежність опору від освітленості і запишемо результат у таблицю № 3. Відповідно до отриманих даних побудуємо графік залежності опору від освітленості (рис. 2). Для зручності сприйняття інформації графік побудований у логарифмічному масштабі.

Табл. 3. Залежність опору фоторезистора від освітленості

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Освітленість, lx | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Опір, Ом | 146764,6 | | 78649,18 | 54602,44 | 42147,05 | 34478,49 | 29260,73 | 25470,24 |
| Освітленість, lx | 8 | | 9 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Опір, Ом | 22586,05 | | 20314,35 | 18476,56 | 9901,34 | 6874,04 | 5306 | 4340,58 |
| Освітленість, lx | 60 | | 70 | 80 | 90 | 100 | 200 | 300 |
| Опір, Ом | 3683,70 | | 3206,5 | 2843,41 | 2557,42 | 2326,06 | 1246,50 | 865,3 |
| Освітленість, lx | 400 | | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| Опір, Ом | 667,98 | | 546,44 | 463,75 | 403,67 | 357,96 | 321,96 | 292,83 |
| Освітленість, lx | | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 |
| Опір, Ом | | 156,92 | 108,94 | 84,09 | 68,79 | 58,38 | 50,81 | 45,06 |

Рис. 4. Залежність опору фоторезистора від освітленості

Залежність опору фоторезистора від температури (за відсутності інших формул) можна представити рівнянням залежності опору напівпровідника від температури:

; (24)

де - енергія активації яка дорівнює 2,42 еВ (для CdS, матеріал з якого виготовлений фоторезистор), k- константа Больцмана 1,38\*10-23Дж/К.

За допомогою формули (24) визначимо залежність опору фоторезистора від температури і занесемо дані до таблиці №4. *R0*(T) приймемо таким, який був визначений у таблиці 3.

Табл. 4. Залежність опору фоторезистора від температури при різній освітленості

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Освітленість, lx | Температура,К | | | | |
| 275 | 285 | 295 | 305 | 315 |
| Опір,Ом | | | | |
| 1 | 146764,6 | 88058,74 | 66044,06 | 37033,7 | 29973,36 |
| 2 | 78649,18 | 47189,51 | 35392,13 | 19845,87 | 16062,33 |
| 3 | 54602,44 | 32761,47 | 24571,1 | 13778,06 | 11151,32 |
| 4 | 42147,05 | 25288,23 | 18966,17 | 10635,14 | 8607,588 |
| 5 | 34478,49 | 20687,09 | 15515,32 | 8700,098 | 7041,456 |
| 6 | 29260,73 | 17556,44 | 13167,33 | 7383,479 | 5975,845 |
| 7 | 25470,24 | 15282,14 | 11461,61 | 6427,009 | 5201,723 |
| 8 | 22586,05 | 13551,63 | 10163,72 | 5699,23 | 4612,692 |
| 9 | 20314,35 | 12188,61 | 9141,458 | 5126,003 | 4148,749 |
| 10 | 18476,56 | 11085,94 | 8314,454 | 4662,267 | 3773,423 |
| 20 | 9901,346 | 5940,807 | 4455,606 | 2498,447 | 2022,127 |
| 30 | 6874,041 | 4124,424 | 3093,318 | 1734,555 | 1403,868 |
| 40 | 5306 | 3183,6 | 2387,7 | 1338,885 | 1083,631 |
| 50 | 4340,584 | 2604,351 | 1953,263 | 1095,277 | 886,4668 |
| 60 | 3683,707 | 2210,224 | 1657,668 | 929,5249 | 752,3143 |
| 70 | 3206,513 | 1923,908 | 1442,931 | 809,1125 | 654,8581 |
| 80 | 2843,415 | 1706,049 | 1279,537 | 717,4905 | 580,7035 |
| 90 | 2557,425 | 1534,455 | 1150,841 | 645,3256 | 522,2966 |
| 100 | 2326,062 | 1395,637 | 1046,728 | 586,9446 | 475,0458 |
| 200 | 1246,506 | 747,9033 | 560,9275 | 314,5358 | 254,5707 |
| 300 | 865,3904 | 519,2343 | 389,4257 | 218,3675 | 176,7365 |
| 400 | 667,9858 | 400,7915 | 300,5936 | 168,5556 | 136,4211 |
| 500 | 546,4472 | 327,8683 | 245,9012 | 137,8873 | 111,5996 |
| 600 | 463,7512 | 278,2507 | 208,6881 | 117,0202 | 94,71076 |
| 700 | 403,676 | 242,2056 | 181,6542 | 101,8612 | 82,44175 |
| 800 | 357,9647 | 214,7788 | 161,0841 | 90,3267 | 73,10624 |
| 900 | 321,9608 | 193,1765 | 144,8823 | 81,24168 | 65,75325 |
| 1000 | 292,8338 | 175,7003 | 131,7752 | 73,89195 | 59,80472 |
| 2000 | 156,9258 | 94,15545 | 70,61659 | 39,59772 | 32,04856 |
| 3000 | 108,9462 | 65,36772 | 49,02579 | 27,49084 | 22,24981 |
| 4000 | 84,09443 | 50,45666 | 37,84249 | 21,21989 | 17,1744 |
| 5000 | 68,79363 | 41,27618 | 30,95713 | 17,35898 | 14,04955 |
| 6000 | 58,38282 | 35,02969 | 26,27227 | 14,73198 | 11,92338 |
| 7000 | 50,8198 | 30,49188 | 22,86891 | 12,82357 | 10,3788 |
| 8000 | 45,06509 | 27,03905 | 20,27929 | 11,37146 | 9,203531 |
| 9000 | 40,53246 | 24,31948 | 18,23961 | 10,22772 | 8,277843 |
| 10000 | 36,86559 | 22,11936 | 16,58952 | 9,302446 | 7,528968 |

З отриманих даних було побудовано залежність опору фоторезистора при зміні температури (рис.5).

Рис. 5. Залежність опору фоторезистора від температури

З графіку видно, що при збільшенні температури опір зменшується (пряма зміщується вниз). Це потрібноа враховувати при проектуванні давачів з використанням фоторезисторів. Для зручності сприйняття даних графік побудовано в логарифмічному масштабі.

**Висновки**

Внаслідок виконання роботи вивчено та проаналізовано особливості функціонування фоторезистора при зміні освітленості і температури.

Досліджена метрологічна характеристика фоторезистора як функція двох змінних: освітленості і температури. Температура навколишнього середовища має найбільший вплив на фоторезистор серед інших вторинних фізичних величин. З отриманих даних видно, що зі збільшенням освітленості опір спадає майже за лінійним законом, що узгоджується з теоретичним аналізом. Відповідно до отриманих даних виявлено, що зі зростанням температури опір фоторезистора спадає по експоненті.