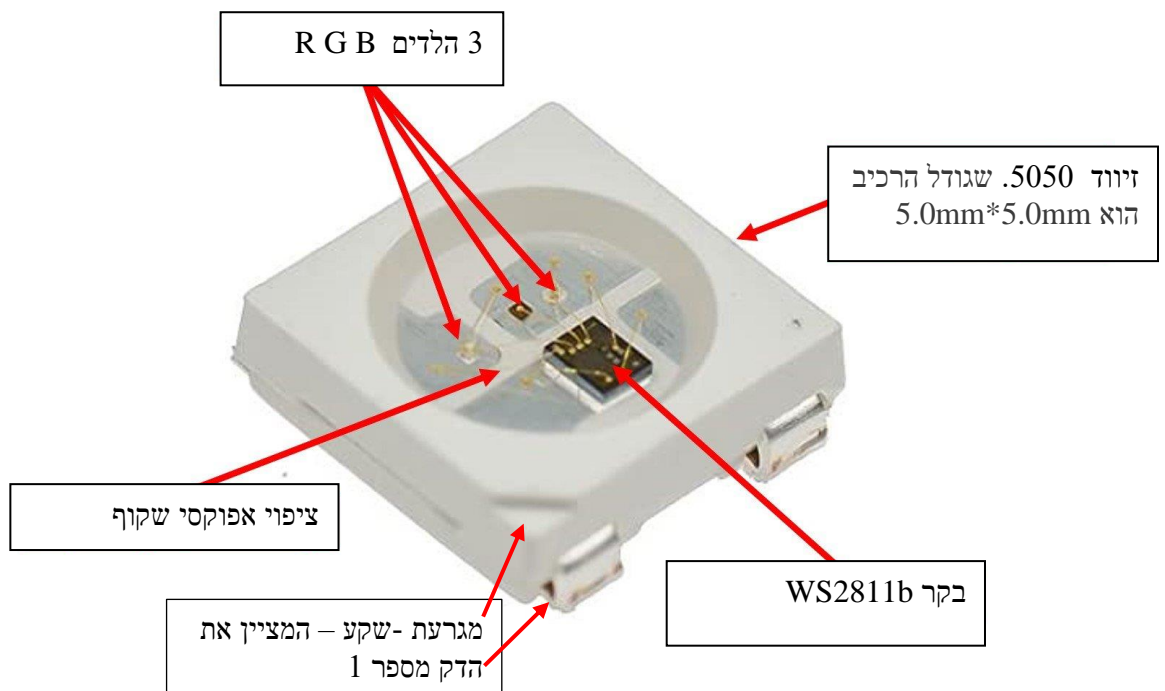


לד WS2812B ופס – שרשרת - לדים

1. כללי

רכיב לד WS2812B הוא Intelligent control LED integrated light source – לד מבוקרת בחכמה משולבת כמקור אור. WS2812B הוא רכיב לדים RGB פופולרי ביותר. בכל רכיב יש 3 לדים בצבעים אדום ירוק כחול + ג'וק של מעגל בקרה שמסייע לשלוט בצבע ובבהירות של הלד. הרכיב מקבל פקודה טורית הנשלחת אליו ממיקרו בקר ומדליק את הצבע הרצוי. ניתן לחבר שרשרת של רכיבי לדים המחוברות אחת אחרי השנייה על אותה רצועה (פס). שרשרת כזו משמשת לקישוטים ולפרויקטים שונים. לרכיב הלד בתוך פס לדים נקרא בהמשך המאמר – למען הנוחיות – פיקסל – PIXEL. פס הלדים שנעסוק בהם במאמר זה בנוי משרשרת לדים מסוג WS2812B המחוברים בטור אחת אחרי השנייה של חברה בשם WorldSemi. ניתן לקבוע לאחת הלדים שנרצה בשרשרת להאיר בצבע הרצוי בעזרת פקודות טוריות ממיקרו בקר. כל לד בנויה בדרך כלל בטכנולוגיית SMD – Surface Mounted Devices – רכיבים המורכבים על משטח. רכיב SMD 5050 אומר שגודל הרכיב הוא 5.0mm*5.0mm ויש בו 3 דיודות לדים בבית אחד. הלד נראית באיור הבא :



איור 1 : לד RGB WS2812B

הטבלה הבאה מתארת את תפקיד ההדקים של הלד.

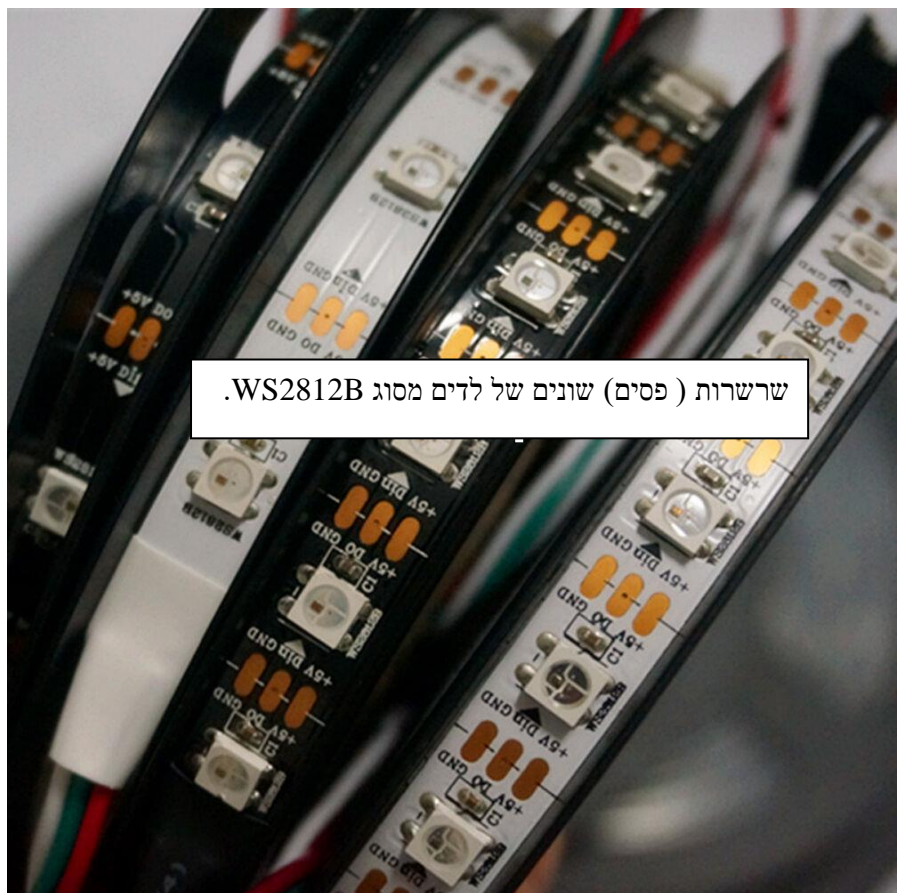
מספר ההדק	שם ההדק	התפקיד
1	VDD	הדק כניסת מתח מספק הכוח
2	DOUT	הדק נתון היציאה הטורי
3	VSS	הדק האדמה
4	DIN	הדק נתון הקלט הטורי

טבלה 1: תפקיד הדקי הלד.

מהטבלה רואים את הדברים הבאים :

- הדקים 1 ו 3 הם כניסות המתח 5 וולט VDD ואדמה VSS.
- כניסת Din היא כניסה של נתונים ממיקרו בקר (או כל מערכת שיודעת לשרר נתונים טוריים) .
- יציאת Dout היא יציאת נתונים אל הפיקסל הבא אחרי שהנתון עבר בתוך הרכיב עיצוב צורה והגברה מחדש (כדי לא לקבל עיוותים בנתון).

הלד מופיעה בדרך כלל בתוך שרשרת/פס לדים בגדלים שונים כאשר כמות הלדים במטר שונה וניתן לחתוך אותה למידות הרצויות. האיור הבא מתאר את השרשרות השונות.



שרשרות (פסים) שונים של לדים מסוג WS2812B.

איור 2 : שרשרות לדים מסוגים שונים .

ההבדל בין שרשרות הלדים הוא כמות הלדים למטר וצבע הפס עליו יושבות הלדים. הבדל נוסף הוא שיש פסי לדים שנכנסים בתוך שרוול שקוף כנגד רטיבות ונקראים Water Proof (אטום למים). באיור הבא ניתן לראות כיצד הלדים בשרשרת דולקים בצבעים שונים



איור 3 : הפעלת הלדים בצבעים שונים

כפי שאמרנו הרכיב WS2812B הוא מקור אור LED בקרה חכם שבו שבב – ג'וק - של מעגל בקרה ו 3 לדים RGB משולבים בזיוד של 5050. בתוך הרכיב יש :

- פורט נתונים עם נעילה – Latch .
- מעצב אות עם הגברה שתפקידו לקבל את הנתונים .
- מתנד פנימי מדויק ומקור זרם קבוע הניתן לתכנות שקובע ביעילות שצבע האור יהיה עקבי .

פרוטוקול העברת הנתונים משתמש בתקשורת NZR יחיד. לאחר איפוס RESET של הפיקסלים בשרשרת , כניסת DIN מקבלת נתונים מהבקר.

המיקרו בקר שולח בצורה טורית קבוצה של 24 ביטים. 8 ביטים עבור הצבע האדום , 8 ביטים עבור הצבע הירוק ו 8 ביטים עבור הצבע הכחול .

במקרה שיש שרשרת של 3 פיקסלים הוא יישלח 3 קבוצות של 24 ביטים.

הרכיב/פיקסל הראשון אוסף את 24 הביטים הראשונים ואז נועל את הביטים ברגיסטרים הפנימיים שלו ומדליק את הלדים

בהתאמה. הנתונים הבאים בהמשך מקבלים עיצוב מחדש על ידי מעגל שיפור אות והגברה פנימיים ונשלחים לפיקסל הבא

בשרשרת דרך יציאת DO של הפיקסל הראשון המתחברת אל DI של הפיקסל הבא. 24 הביטים הבאים נאספים על ידי הפיקסל

הבא ונעלים אצלו , הלדים נדלקים בהתאמה לביטים שנשלחו ואז הוא יעביר את קבוצת 24 הביטים הבאה לפיקסל הבא.

דוגמה: נניח שיש 3 פיקסלים בשרשרת. המיקרו בקר שולח 3 קבוצות ביטים כשבכל קבוצה 24 ביטים.

הפיקסל הראשון מקבל את כל 3 הקבוצות של 24 ביטים . את הקבוצה הראשונה הוא נועל אצלו ומדליק את הצבע בהתאמה למה

שקיבל. ל 2 הקבוצות הבאות של הביטים הוא מבצע שיפור צורת גל ומוציא ב DO שלו את 2 הקבוצות הבאות.

הפיקסל השני מקבל 2 קבוצות של 24 ביטים. קבוצה אחת הוא נועל אצלו (ומדליק צבע בהתאמה) ולקבוצה השלישית הוא

מבצע שיפור צורת גל ושולח ב DO של ל DI של הפיקסל השלישי .

הפיקסל השלישי מקבל את הקבוצה הבאה ונועל אותם אצלו ומדליק את הלדים בצבע שקיבל.

2. תכונות ומפרטים

- מתח ספק כוח (VDD) : +3.5 עד +5.3 וולט
- מתח אות כניסה : -0.5 ל +0.5 VDD וולט
- זרם אות כניסה : $1\mu A$
- קיבוליות ספק : 15pF
- תדר פעולה : 400 הרץ
- מהירות שידור נתונים: 800Kbps .

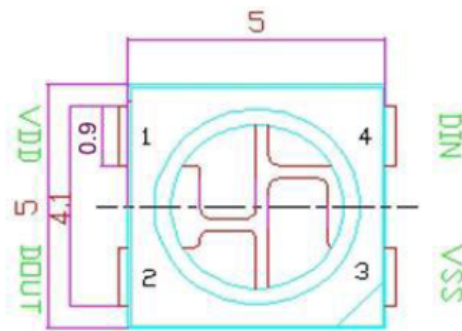
חלק מהתכונות "המגניבות" של WS2812B הן :

1. הגנת על הג'וק גם אם מחברים מתח ספק כוח הפוך .
2. יש לו מעגל RESET - איפוס בתוך הרכיב בזמן הפעלת ספק הכוח או נפילת מתח

3. לכל פיקס יש 3 צבעים כשכל לד יכולה לקבל בהירות של 256 דרגות שונות כך שסה"כ יש 2^{24} שהם 16777216 צבעים שונים ותדירות סריקה של לפחות 400 הרץ בשנייה.
4. כדי למנוע עיוותים של אותות הנכנסים אליו יש לו מעגל עיצוב אות מחדש שעובר לרכיב הבא בשרשרת. כך מבטיחים שלא יצטברו עיוותים מדרגה אחת לזו שאחריה.
5. זהו ממשק של קו אחד.
6. ספק הכוח משותף הן לגיוק יחידת הבקרה וגם ללדים עצמן.

האיור הבא מתאר את קונפיגורציית ההדקים של רכיב הLED/פיקסל והטבלאות מתחתיו מתארות את ההדקים ותפקידם ובטבלה התחתונה רואים את טבלת הערכים הנקובים המקסימליים.

PIN configuration



PIN function

NO.	Symbol	Function description
1	VDD	Power supply LED
2	DOUT	Control data signal output
3	VSS	Ground
4	DIN	Control data signal input

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Ratings	Unit
Power supply voltage	V _{DD}	+3.5~+5.3	V
Input voltage	V _I	-0.5~V _{DD} +0.5	V
Operation junction temperature	T _{opt}	-25~+80	°C
Storage temperature range	T _{stg}	-40~+105	°C

Electrical Characteristics (T_A=-20~+70°C, V_{DD}=4.5~5.5V, V_{SS}=0V, unless otherwise specified)

איור 4 : קונפיגורציית של ההדקים וטבלאות תפקיד ההדקים והערכים הנקובים המקסימליים.

בטבלה התחתונה של הערכים הנקובים המקסימליים - Absolute Maximum Ratings - רואים בשורה הראשונה את תחום ערכי מתח ספק הכוח, בשורה השנייה את ערכי מתח הכניסה V_i בכניסת Di של הרכיב, בשורה השלישית את תחום טמפרטורת העבודה של הרכיב ובשורה האחרונה את תחום טמפרטורת האחסנה.

הטבלאות הבאות מתארות את מאפייני הצבעים של הלדים (טבלה למעלה) ואת זמני ה 0 וה 1 של התקשורת.

RGB IC characteristic parameter

Emitting color	Model	Wavelength(nm)	Luminous intensity(mcd)	Voltage(V)
Red	13CBAUP	620-625	390-420	2.0-2.2
Green	13CGAUP	522-525	660-720	3.0-3.4
Blue	10R1MUX	465-467	180-200	3.0-3.4

Data transfer time(TH+TL=1.25μs±600ns)

T0H	0 code ,high voltage time	0.4us	±150ns
T1H	1 code ,high voltage time	0.8us	±150ns
T0L	0 code , low voltage time	0.85us	±150ns
T1L	1 code ,low voltage time	0.45us	±150ns
RES	low voltage time	Above 50μs	

טבלה 2 : מאפייני הצבעים של הלדים (טבלה למעלה) ואת זמני ה 0 וה 1 של התקשורת הטורית.

בטבלה העליונה של הצבעים רואים בעמודה הימנית את המתח הנופל על כל לד. על הלד בצבע אדום נופל בזמן הולכה 2 עד 2.2 וולט. על הלד הירוקה והכחולה נופל מתח של 3 עד 3.4 וולט.

בטבלה התחתונה רשומים זמני ה ON ו OFF של התקשורת. אלו זמנים ב PWM – אפנון רוחב דופן שנסביר בהמשך.

3. בקר כתובות טורי WS2812B

לבקר הטורי יש רגיסטר של 24 ביט הנקרא SISO . Serial In Serial Out – כניסה טורית, יציאה טורית. הרגיסטר מקבל נתון טורי ושומר אותו. על פי הנתון של 24 ביטים שקיבל הוא שולט על הבהירות והצבע של לדים ה RGB. הרגיסטר מחולק ל 3 חלקים של 8 ביטים והם: B0 – B7, G0 – G7, R0 – R7. כל אחד מהחלקים מכיל את הערכים של העוצמה של כל אחד מהצבעים בהתאמה. בדרך זו ניתן להציג מגוון רב של צבעים.

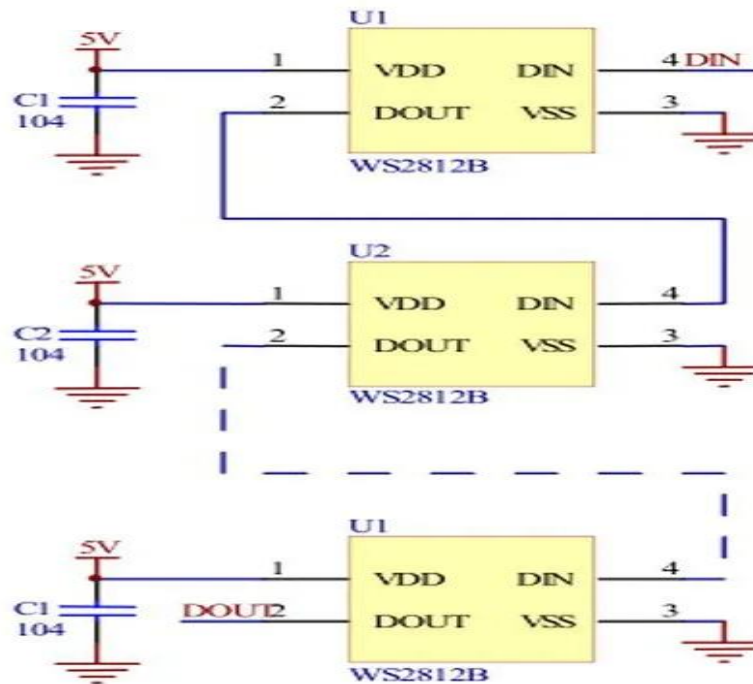
4. כמה צבעים ניתן להציג ?

השאלה היא כמה צבעים ניתן לייצר מרכיב WS2812B? התשובה הפשוטה היא מיליונים של צבעים שונים. בצורה מתמטית מדובר ב 2^{24} צבעים שונים שהם 16,777,216 צבעים שונים. (ניתן לחשב גם לפי $256*256*256$). האם לעין יש כושר אבחנה כה רב בין הצבעים? התשובה היא לא

5. חיבור בשרשרת של רכיבי בקרי הכתובות WS2812

בקר הכתובות משמש גם כשעובדים עם פסי לד שבהם הלדים מחוברות בשרשרת אחת אחרי השנייה. ההדק Din מקבל נתון טורי וההדק Dout משדר נתון טורי. ההדק Dout משמש לשידור הנתון הטורי שהתקבל על ידי רכיב ה RGB LED הראשון ולהעביר אותו לכניסת Din של הרכיב הבא. בצורה דומה ה Dout של הרכיב השני יעבור אל הכניסה של הרכיב השלישי וכך הלאה. לכל רכיב בשרשרת נקרא בהמשך גם פיקסל.

האיור הבא מתאר את חיבור הרכיבים בשרשרת:



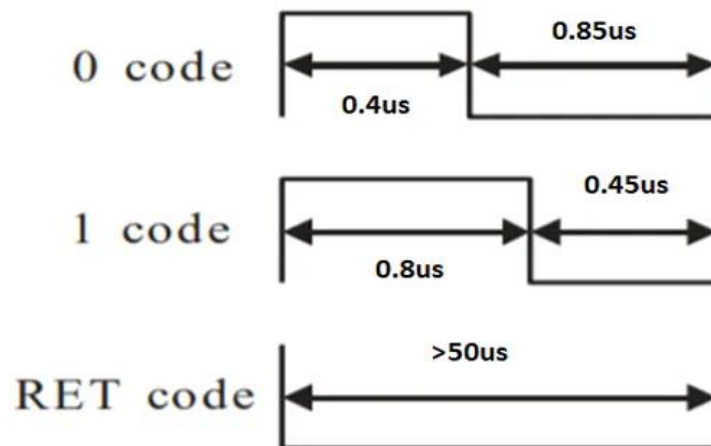
איור 5 : חיבור בשרשרת Daisy Chain של רכיבי WS2812B

באיור רואים שלכל הרכיבים אותה אדמה V_{SS} ואותו מתח ספק כוח של 5 וולט. בכל רכיב יש קבל סינון של 104pF וולט יישאר מתח DC נקי ממתחי חילופין. ($104\text{pF} = 100000\text{pF} = 0.1\mu\text{F}$). בין ה 5 וולט לאדמה שתפקידו לסנן אותות חילופין (רעש AC) לאדמה כדי שבקו ה 5

האות הטורי Din של הרכיב הראשון בשרשרת מחובר אל המיקרו בקר (או כל רכיב תקשורת טורית אחר). אות היציאה Dout של הרכיב הראשון מתחבר אל Din של הרכיב השני וכך הלאה עד הרכיב האחרון בשרשרת.

6. עבודה עם WS2812B

הרכיב WS2812B מזהה 3 סוגי נתונים הפועלים ב PWM – Pulse Width Modulation - אפנון רוחב דופק. הנתונים הם: '0', '1', reset. 3 הצורות של אות ה PWM נראות באיור הבא:



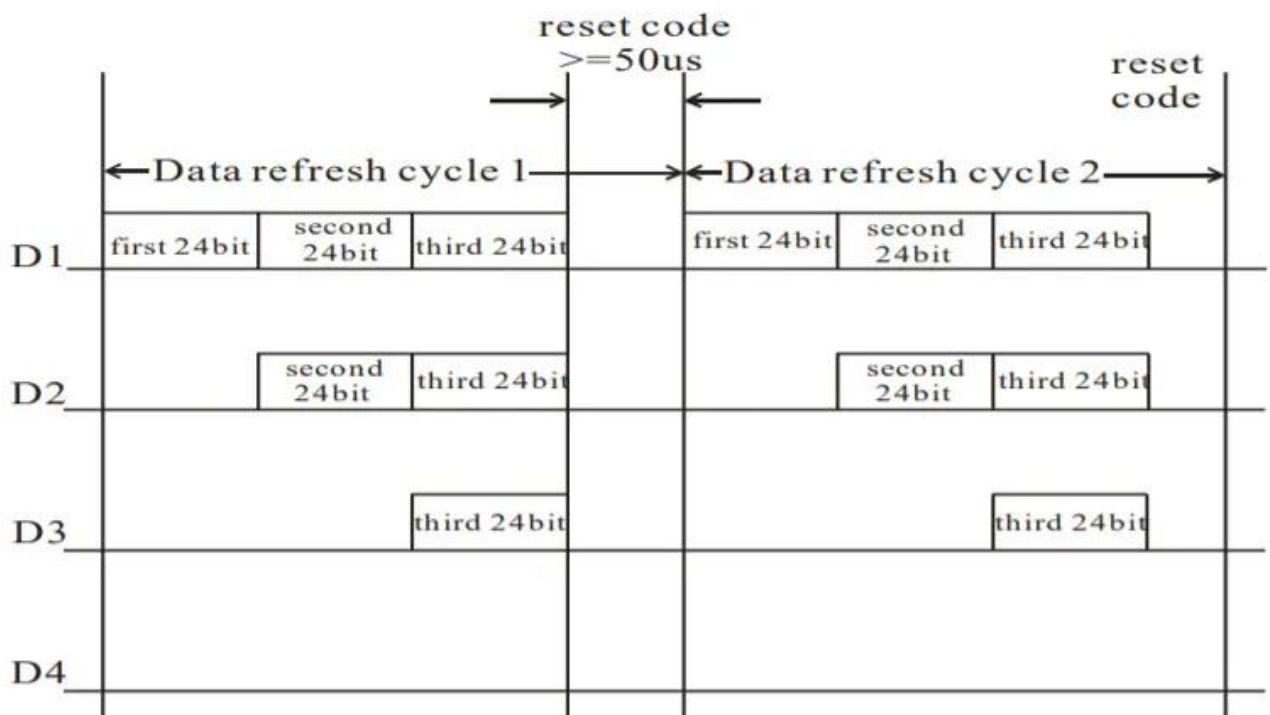
איור 6 : הצורות של PWM

מהאיור רואים :

- רוחב הפולס הכולל של האותות '0' ו '1' הוא 1.25 מיקרו שניות.
- ה Duyt Cycle – מנת הדופק – עבור '0' הוא 36% ועבור '1' 64% .
- פולס ה Reset צריך להיות גדול מ 50 מיקרו שניות.

אופן התקשורת הוא single NRZ (נסביר את המושג בסוף הפרק) . הרכיב הראשון בשרשרת מקבל נתון של 24 ביטים , נועל אותו אצלו וגם מעביר אותו ל Din של הרכיב הבא שם הוא נכנס למעצב אות ולמגבר (לשיפור האות שהתקבל – יש לפעמים עיוותים בגלל קיבוליות הקווים הדקים שבשרשרת ובגלל אורך השרשרת) . גם הוא נועל את הנתון אצלו ומעביר אותו לרכיב – פיקסל – הבא וכך הלאה. אחרי השידור של הנתונים לכל הפיקסלים משודר Reset כדי להכין את כל הפיקסלים לקבלת השידור הבא .

האיור הבא מתאר דיאגרמת זמנים של ה WS2812B . כל WS2812B מקבל כתובת בסדר שנראה בדיאגרמת הזמנים.



איור 7 : דיאגרמת זמנים עבור כתובת של כל WS2812B

בדיאגרמה רואים 4 צורות גל עבור 3 פיקסלים של רכיב WS2812B . D1 היא כניסת Din של הפיקסל הראשון. D2 היא כניסת Din של הפיקסל השני (למעשה זוהי גם יציאת Dout של הפיקסל הראשון), D3 היא כניסת Din של הפיקסל השלישי (שהוא יציאת Dout של הפיקסל השני) ו D4 היא יציאת הפיקסל השלישי (לא מתחברת לאף מקום כי יש רק 3 פיקסלים) . בצד שמאל למעלה רשום Data refresh cycle 1 שפרושו ריענון נתונים מחזור ראשון. רואים ש D1 מקבל 3 פעמים 24 ביטים . את 24 הביטים הראשונים הוא נועל ושומר לעצמו וליציאת ה Dout שלו המתחברת אל Din של הפיקסל השני (

כניסה D2 באיור) הוא מוציא את 2 קבוצות 24 הביטים הבאים. הפיקסל השני מקבל את 2 הקבוצות . את 24 הביטים הראשונים הוא נועל ושומר לעצמו וליציאת Dout שלו המחוברת לכניסת הפיקסל השלישי הנקרא באיור D3 הוא מעביר רק את 24 הביטים האחרונים. הפיקסל השלישי נועל ושומר את 24 הביטים הבאים אצלו. היות והסתיים שידור 3 קבוצות של 24 ביטים, כל פיקסל נעל את הנתונים עבור עצמו. הפיקסל השלישי לא מעביר נתונים ליציאת Dout שלו כי הסתיים שידור הנתונים של מחזור ראשון ולכן כניסת Din של הפיקסל הבא שנקרא D4 לא מקבלת נתונים (למעשה אין פיקסל רביעי). אחרי סט הנתונים הראשון עבור כל הלדים נותנים אות PWM של 50 מיקרו שניות שהוא Reset ואומר לכל הפיקסלים להתכונן למחזור חדש של נתונים שנקרא באיור 2 Data refresh cycle .
 סט נתונים עבור 3 רכיבים – פיקסלים - דורש שידור של $24 \times 3 = 72$ ביטים .
 זמן השידור של כל סט נתונים כזה הוא : $72 \text{bits} \times 1.25 \mu\text{Sec} = 90 \mu\text{Sec}$.

האיור הבא מתאר את 24 הביטים המשודרים עבור פיקסל מסוים.

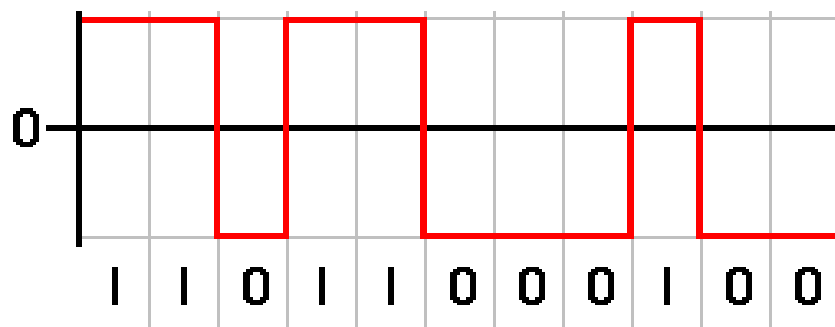
G7	G6	G5	G4	G3	G2	G1	G0	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Note: Follow the order of GRB to sent data and the high bit sent at first.

איור 8 : קבוצה של 24 ביטים עבור רכיב/פיקסל מסוים.
 מהאיור רואים שסדר הביטים הוא : 8 ביטים עבור הצבע הירוק , 8 ביטים עבור הצבע האדום ו 8 ביטים עבור הצבע הכחול. השידור מתבצע מביט ה MSB אל (G7) אל ה LSB (B0) .

6.1 תקשורת NRZ

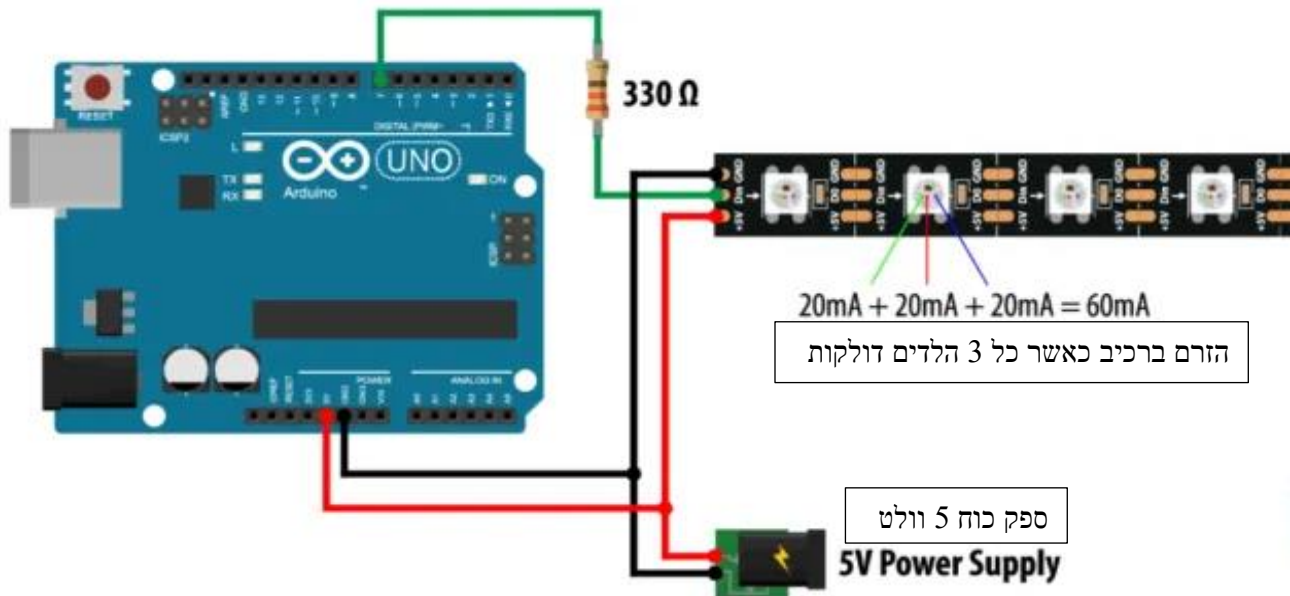
NRZ הוא קיצור של Non Return to Zero (ללא חזרה ל 0). זהו קוד בינארי שבו האחדים – '1' - מיוצגים על ידי תנאי משמעותי אחד , בדרך כלל מתח חיובי , בעוד אפסים מיוצגים על ידי מצב משמעותי אחר , בדרך כלל מתח שלילי, ללא מצב נייטרלי או מנוחה אחר.
 עבור קצב סיביות מסוים , קוד NRZ דורש רק חצי מרוחב הפס הבסיסי הנדרש על-ידי קוד Manchester (רוחב הפס של פס המעבר זהה). בפולסים ב - NRZ יש יותר אנרגיה מאשר בקוד Return to Zero RZ - חזרה לאפס שיש בו גם מצב מנוחה נוסף לצד התנאים עבור אחדים ואפסים.
 דוגמה לשידור NRZ :



איור 9 : קוד NRZ

7. חיבור ארדואינו אל פס לדים WS2812B

נראה דוגמה של חיבור ארדואינו אונו ו WS2812B. החיבורים הנדרשים נראים באיור הבא:



איור 10 : חיבור ארדואינו אונו לפס לדים. האיור והסבר נוסף נמצא בקישור -

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-control-ws2812b-individually-addressable-leds-using-arduino/>

הערות חשובות:

1. ישי לחבר ספק חיצוני של 5 וולט. כל לד ברכיב WS2812B צורכת 20 מילי אמפר בזמן הפעלה. סה"כ 60 מילי אמפר. ככל שנוסיף רכיבים לשרשרת הזרם יגדל וחייבים לחבר ספק חיצוני כדי להגן על המייצב של ה 5 וולט שבארדואינו.
2. חישוב הזרם של ספק הכוח :
3. יש לחבר נגד של 330 אוהם בין הדק 7 של הארדואינו ובין הדק Din של פס הלדים.

7.1 הקוד

ניעזר בספרייה FastLED כדי לשלוט על פס הלדים. יש להוריד אותה אל ספריית ה Library של הארדואינו. הקישור לספרייה :

[GitHub - FastLED/FastLED: The FastLED library for colored LED animation on Arduino. Please direct questions/requests for help to the FastLED Reddit community: http://fastled.io/r](https://github.com/FastLED/FastLED) We'd like to use github "issues" just for tracking library bugs / enhancements.

התוכנית הבאה מדליקה שרשרת של 20 לדים של WS8212B אחת אחרי השנייה בהפרש של חצי שנייה כל לד/פיקסל בצבע אחר.

```
#include <FastLED.h>
#define LED_PIN 7
#define NUM_LEDS 20
CRGB leds[NUM_LEDS];
void setup()
{
  FastLED.addLeds<WS2812, LED_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS);
}

void loop()
{
  leds[0] = CRGB(255, 0, 0);
  FastLED.show();
  delay(500);
  leds[1] = CRGB(0, 255, 0);
  FastLED.show();
  delay(500);
  leds[2] = CRGB(0, 0, 255);
  FastLED.show();
  delay(500);
  leds[5] = CRGB(150, 0, 255);
  FastLED.show();
  delay(500);
  leds[9] = CRGB(255, 200, 20);
  FastLED.show();
  delay(500);
  leds[14] = CRGB(85, 60, 180);
  FastLED.show();
  delay(500);
  leds[19] = CRGB(50, 255, 20);
  FastLED.show();
  delay(500);
}
```

הסבר התוכנית :

בהתחלה אומרים לקומפיילר לכלול את קובץ הכותר FastLED.h שבו יש הצהרות על פונקציות שנשתמש בהן בהמשך התוכנית והן נמצאות בספרייה FastLED שבספרייה Libraries של הארדוואינו. הפקודות #define LED_PIN 7 #define NUM_LEDS 20 הן הנחיות לקומפיילר שבכל מקום בתוכנית שנרשום את המילה LED_PIN הוא ירשום את המספר 7 (מספר ההדק של הארדוואינו המתחבר אל DI של הפיקסל הראשון בשרשרת) ובכל מקום שנרשום NUM_LEDS הוא ירשום 20 שמציין את כמות הלדים/פיקסלים שנרצה להדליק. שורות אלו נקראות הנחיות קדם-מעבד – Preprocessor כי הן מכוונות לקומפיילר (התוכנית המתרגמת) ולא למעבד עצמו.

השורה `CRGB leds[NUM_LEDS];` מגדירה מערך של 20 לדים/פיקסלים מטיפוס CRGB. טיפוס CRGB מכיל את ה LEDs עם 3 חברי נתונים של 3 בתים (24 ביטים) עבור כל אחד מהצבעים אדום ירוק כחול. היות והמערך הוא גלובאלי כל 20 האיברים שלו מקבלים את הערך 0.

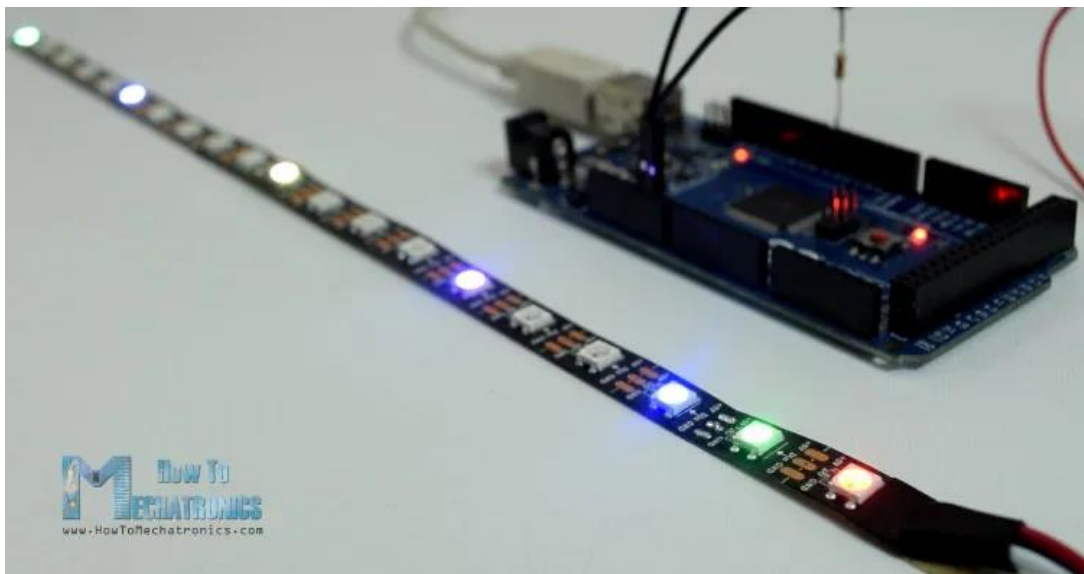
בפונקציית ה `setup` מאתחלים את `FastLED` עם הפרמטרים שהגדרנו בתחילת התוכנית. בפונקציית ה `main` אנו יכולים בעזרת הפונקציה `CRGB` להגדיר כל LED לכל צבע באמצעות שלושה פרמטרים של צבע אדום, ירוק וכחול. על מנת לגרום לשינוי לקרות על הפיקסלים אנחנו צריכים לקרוא לפונקציה/מתודה `FastLED.show()`. הפונקציה מוציאה את המערך של 20 הלדים אל הפיקסלים בשידור PWM מתאים. הפונקציה מוציאה את כל 20 האיברים במערך `leds`. כל איבר הוא קבוצה של 3 בתים – 24 ביטים. קודם את 8 הביטים של האדום, אחר כך את 8 הביטים של הירוק ולבסוף את 8 הביטים של הכחול.

לדוגמה: השורה: `leds[0] = CRGB(255, 0, 0);` אומרת שבמעריך הלדים במיקום 0 יש להדליק את הצבע האדום (מספר 255). מיד לאחר מכן מגיעה השורה: `FastLED.show();` שמוציאה את המערך של כל 20 האיברים לשרשרת הלדים. כרגע יידלק רק הפיקסל הראשון שבמיקום [0]. שאר הפיקסלים לא דולקים כי בשאר האיברים במערך יש 0. בשורה הבאה עושים השהייה של חצי שנייה. ב 2 השורות הבאות:

```
leds[1] = CRGB(0, 255, 0);
```

```
FastLED.show();
```

מעבירים למערך במיקום 1 את הצבע הירוק (המספר 255) ולאחר מכן מוציאים את כל איברי המערך לתצוגה עם הפונקציה `FastLED.show();`. מכאן שהלד במיקום 0 נדלק באדום (לא השתנה מהמצב הקודם) והלד השנייה שבמיקום [1] נדלקת בירוק. אם נמשיך ונעקוב נראה שאת הלד השלישית (במיקום 2) מדליקים בצבע כחול. את הלדים במיקום 3 ו 4 לא מדליקים. ללד במיקום 5 נותנים ערך וגם ללדים במיקום 9 14 19. התמונה שתתקבל בסיום נראית באיור הבא:



איור 11: מצב הפיקסלים בסיום התוכנית

תוכנית גוספת :

בעזרת לולאות for אפשר לבצע את התוכנית הבאה שמדליקה את פס הLEDים מהLED הראשונה עד האחרונה בצבע כחול ואחר כך עובדת הפוך ומדליקה את הLED האחרונה עד הראשונה בצבע אדום :

```
#include <FastLED.h>
#define LED_PIN 7
#define NUM_LEDS 20
CRGB leds[NUM_LEDS];

void setup() {
    FastLED.addLeds<WS2812, LED_PIN, GRB>(leds, NUM_LEDS);
}

void loop() {
    for (int i = 0; i <= 19; i++) {
        leds[i] = CRGB ( 0, 0, 255);
        FastLED.show();
        delay(40);
    }
    for (int i = 19; i >= 0; i--) {
        leds[i] = CRGB ( 255, 0, 0);
        FastLED.show();
        delay(40);
    }
}
```

ביבליוגרפיה :

.1

[WS2812B RGB LED Pinout, Working, Interfacing Arduino and Applications \(microcontrollerslab.com\)](http://www.microcontrollerslab.com/WS2812B-RGB-LED-Pinout-Working-Interfacing-Arduino-and-Applications/)
[Arduino and WS2812b example - Arduino Learning](http://www.Arduino-Learning.com/Arduino-and-WS2812b-example/)

.2

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-control-ws2812b-individually-addressable-leds-using-arduino/>