

## שעון זמן אמת - RTC - DS1307

### תאור כללי:

רכיב שעון זמן אמת המתחבר בתקשורת טורית  $I^2C$  עם מיקרו בקר. לרכיב תצרוכת הספק נמוכה עם זמן ותאריך ועוד 56 בתים של RAM סטאטי לשימוש כללי על פי רצון המשתמש.

השעון מספק לנו זמן הכולל שניות, דקות ושעות ואת התאריך הכולל יום בשבוע, יום בחודש והשנה. סוף החודש מתעדכן אוטומטית בחודשים שיש להם פחות מ 31 יום כולל תיקונים לשנה מעוברת.

השעון יכול לעבוד בפורמט של 24 שעות או בפורמט של 12 שעות עם ציון של AM ו-PM. בתוך הרכיב יש מעגל שמרגיש בנפילת מתח ובאופן אוטומטי הוא ממתג את המעגלים אל מתח סוללת גיבוי. יצירת הזמן שמירת הזמן ממשיכה גם שהרכיב מופעל מסוללת הגיבוי החיצונית.

הרכיב מופעל בפרוטוקול תקשורת טורית  $I^2C$  ומשמש כרכיב SLAVE בתקשורת זו.

### מאפיינים:

- (א) שעון זמן אמת הסופר שניות, דקות, שעות, היום בחודש, היום בשבוע, השנה כלל שנה מעוברת ותיקון שנה מעוברת ותקף עד לשנת 2100.
- (ב) 56 בתים של RAM כללי הניתנים לגיבוי בסוללה חיצונית עם כמות פעולות כתיבה בלתי מוגבלות.
- (ג) ממשק טורי  $I^2C$ .
- (ד) אות יציאה של גל מרובע בתדר הניתן לתכנות.
- (ה) גלאי אוטומטי של גלאי מתח שנותן מיתוג ממתח הרשת לסוללת הגיבוי או להיפך.
- (ו) צריכת זרם קטנה מ-500nA כאשר מחברים סוללת גיבוי ואין מתח ספק חיצוני.
- (ז) תחום טמפרטורה תעשייתית מ-40- מעלות עד 85 מעלות.
- (ח) ניתן להשיג באריזה של 8 פין פלסטיק DIP או SO.

### ערכים נקובים מקסימאליים:

תחום מתח בכל אחד מההדקים יחסית לאדמה מ-0.5V עד 7V.

### תחום טמפ' עבודה:

מסחרי : מ-0 מעלות עד 70 מעלות.  
תעשייתי : מ-45- מעלות עד 85 מעלות.

**תחום טמפ' אחסנה:** מ-55- מעלות עד 125 מעלות.  
(DIP) תחום טמפ' הלחמה מ-260 מעלות במשך 10 שניות.

### תנאי פעולה מומלצים:

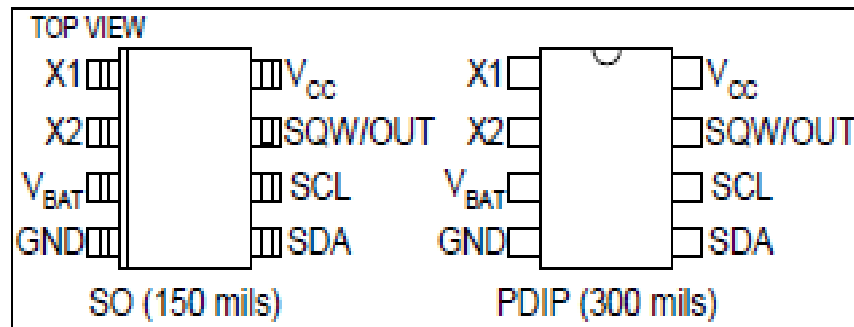
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Logic 1 Input	$V_{IH}$		2.2		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input	$V_{IL}$		-0.3		+0.8	V
$V_{BAT}$ Battery Voltage	$V_{BAT}$		2.0	3	3.5	V

טבלת 1 - מתחים מומלצים

מתוך הטבלה ניתן לראות שמתח הספק בין 4.5V עד 5.5V.  
מתח כניסה של '1' לוגי הוא מ - 2.2V ועד מתח  $V_{CC}+0.3V$ .  
מתח '0' לוגי בכניסה הוא מ-0.3V ועד מאקסימום 0.8V ('0' לוגי מקסימום).  
מתח סוללת הגיבוי מ-2V עד 3.5V.

## תפקיד ההדקים:

## PIN CONFIGURATIONS



איור 1 – תצורת ההדקים

### רגלים 2,1 - X1 X2

בין שתי הרגלים האלו מחברים גביש קוורץ בתדר של 32.768HZ המספק גל מרובע להפעלת המעגלים בתוך השעון. X1 היא הכניסה של המתנד הפנימי ובמקום גביש ניתן לחבר בכניסה זו מתנד חיצוני בתדר 32.768 KHZ או גל מרובע אחר בתדר זה. דיוק הגביש יקבע את דיוק השעון.

### רגל 3 - VBAT

כניסת המתח החיובי של סוללת הגיבוי. סוללת הגיבוי היא סוללה של 3 וולט (ניתן לחבר סוללה בין 2 ל 3.5 וולט). ההדק השני של סוללת הגיבוי יתחבר לאדמה. אם לא משתמשים בסוללת הגיבוי החיצונית יש לחבר את רגל 3 לאדמה. סוללה של 48mAh יכולה להחזיק 10 שנים.

### רגל 4 - GND

רגל האדמה של הרכיב.

### רגל 5 - SERIAL DATA - SDA

זוהי רגל הנתונים הדו כיוונית של ממשק התקשורת הטורית I<sup>2</sup>C. הרגל היא משפך פתוח (open drain) וצריך לחבר לרגל זו נגד משיכה למעלה חיצוני.

### רגל 6 - SERIAL CLOCK - SCL

הדק זה הוא כניסת השעון בממשק I<sup>2</sup>C זה משמש לסנכרון תנועת הנתונים בממשק הטורי גם כאן מחברים נגד PULLUP חיצוני.

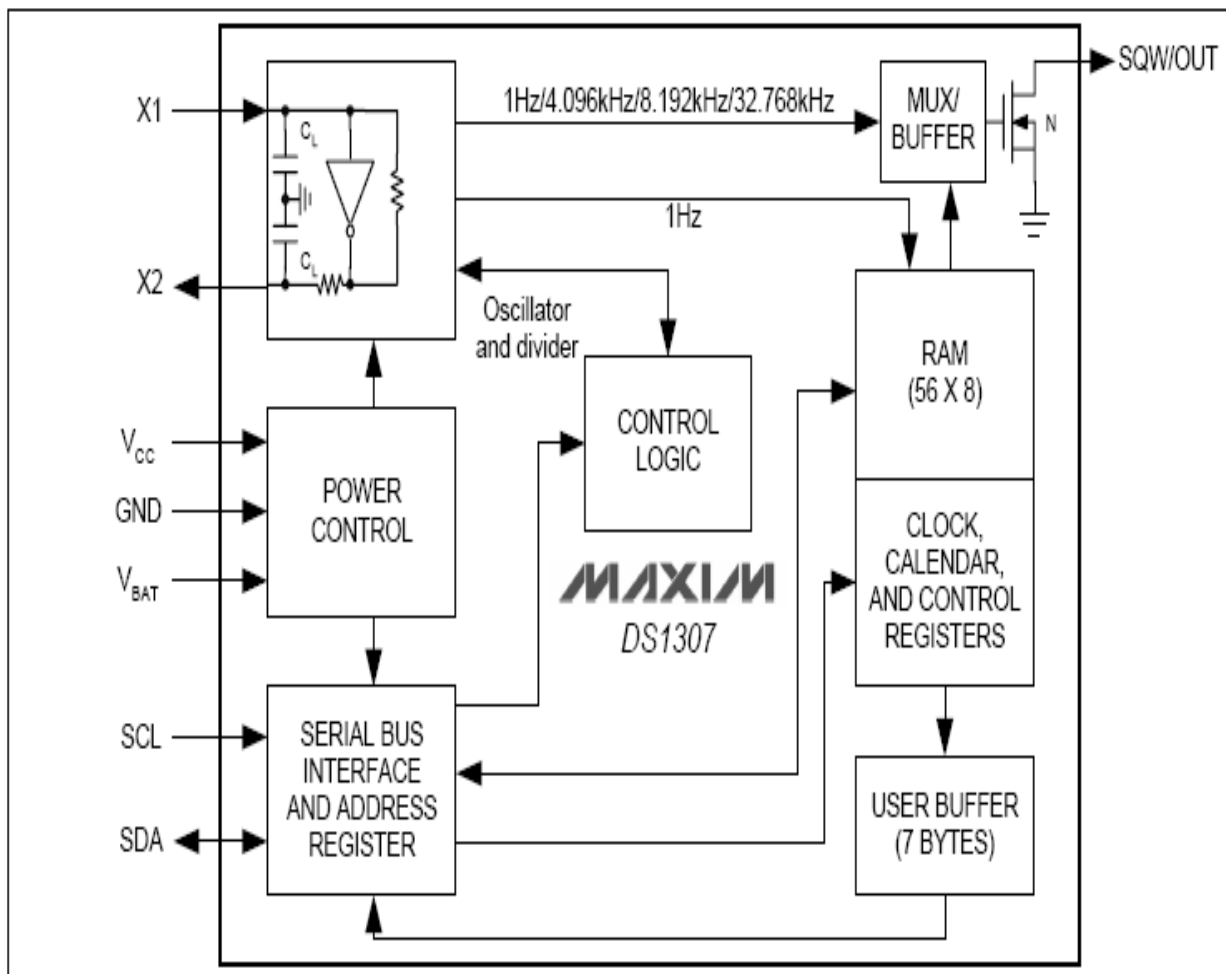
## רגל 7 - SQW/OUT

כאשר מאפשרים בתוכנה הוצאת גל מרובע בתדר רצוי ( 32KHZ,8KHZ,4KHZ,1KHZ ) יוצא ברגל זו הגל מרובע.  
גם ליציאה זו יש לחבר נגד משיכה לרגל למעלה.

## רגל 8 - VCC

זוהי רגל המתח החיובי של ספק הכוח.

## תרשים מלבנים:



איור 2 – סכימה מלבנית של הרכיב

### א. מעגל המתנד ומחלק התדר Oscillator and Divider

בצד שמאל למעלה נמצא מעגל המתנד ומחלק התדר. ניתן לראות את 2 הכניסות אליו  $x_1$  ו  $x_2$ . בין 2 רגליים אלו מחברים גביש של 32768 הרץ הקובע את תדר העבודה של הרכיב. מתדר זה גזור הרכיב את בסיס הזמן של השנייה. בתוך הרכיב ניתן לראות שמעגל הגביש מתחבר לשער מהפך. מיציאת המהפך מתחבר נגד אל הכניסה ומחזיר משוב שלילי שגורם למהפך לעבוד באזור הפעיל שלו ואז הוא משמש כמגבר ולא כמהפך. מנצלים את מעגל התהודה המקבילי של הגביש שמזיז מופע ב 180 מעלות. הגביש מחובר בין הכניסה והיציאה של המגבר (המהפך). המגבר הופך מופע ב 180 מעלות והגביש הופך מופע

גם הוא ב 180 מעלות וביחד קיבלנו 360 מעלות (או אפס מעלות). מכאן שבין האות בכניסה ובין האות החוזר לכניסה יש 0 מעלות וכך מקבלים את תנאי המופע של ברקהאוזן הנדרש לתנודות. את תנאי התנופה מספק המגבר שנותן  $\beta A=1$ . הנגד והקבלים (בעלי ערך נמוך של עשרות Pf בודדים) משמאל למגבר דואגים לקיזוז קל של היזז המופע של הגביש. היות והגביש איננו רכיב אידיאלי והוא איננו מזיז את המופע בדיוק ב 180 מעלות אז הקבלים "מקזזים" זאת ודואגים שיהיה ממש 180 מעלות.

ממעגל המתנד יוצאים 4 גלים מרובעים בתדרים שונים (מתוארים על ידי הקו העליון היוצא ממעגל המתנד). התדרים הם של 1Hz, 4.096KHz, 8.192KHz ו 32.768KHz. אחד מהתדרים האלה יצא מהחוצץ/מרבב ליציאת SQW/OUT (הדק 8 ברכיב).

הקו השני היוצא ממלבן המתנד הוא תדר של 1 הרץ למעגלי הזיכרון ולמעגלי השעון והרגיסטרים שלו.

הקו השלישי היוצא ממלבן המתנד מגיע ללוגיקת בקרה Control Logic מתאר מספר קווים דו כיווניים שבהם מעגל המתנד נותן גל מרובע למעגל לוגיקת הבקרה כדי שיפעל ומצד שני מעגל לוגיקת הבקרה אומר למעגל המתנד איזה תדר להוציא לכיוון רגל 8 SQW/OUT.

### **ב. מעגל MUX/BUFFER (חוצץ מרבב)**

מצד ימין למעלה, נמצא המעגל המורכב מטרנזיסטור FET עם מפק פתוח (Open Drain). מגיעים 4 תדרים של 1Hz, 4.096KHz, 8.192KHz ו 32.768KHz. אחד מהתדרים האלה – לפי תוכנה הנקב ע"י המשתמש - יגיע לשער של ה FET ויוכל לצאת במפק אם נחבר נגד בין המפק ובין ההדק החיובי של הסוללה. החוצץ יוציא את הגל המרובע ליציאת SQW/OUT (הדק 8 ברכיב).

### **ג. מעגל ה RAM מעגלי השעון, התאריך ואוגרי הבקרה**

בצד ימין במרכז נמצאים מעגלי ה RAM ומעגלי השעון. ה RAM הוא זיכרון כתיבה/קריאה בן 56 בתים. 8 בתים ראשונים שייכים לשעון, לתאריך ולרגיסטר הבקרה של השעון ושאר 48 הבתים יכולים לשמש לשמירת נתונים כללית. אם מחברים לרכיב סוללת גיבוי אז ניתן לשמור בזיכרון הרכיב נתונים שלא יימחקו גם כאשר נפסיק את מתח רשת החשמל למערכת.

ה RAM מתחבר אל מעגל SERIAL BUS INTERFACE and ADDRESS REGISTER ("ממשק פס טורי ואוגר כתובת"). התקשורת היא דו כיוונית. ניתן לכתוב או לקרא מה RAM.

גם מעגלי השעון, התאריך ואוגרי הבקרה מתחברים אל מלבן "ממשק הפס הטורי ואוגר כתובת" ומקבלים סנכרון לגבי פעולות הכתיבה או הקריאה של הנתונים לשעון ולתאריך.

מעגלי השעון והתאריך מתחברים בחלק התחתון של השרטוט אל USER BUFFER חוצץ משתמש של 7 בתים.

### **ד. USER BUFFER - חוצץ משתמש**

במלבן זה 7 בתים המתעדכנים מהבתים המתאימים של השעון והתאריך ב RAM של הרכיב. כאשר תבצע קריאה או כתיבה של אחד הנתונים של השעון או התאריך הם לא נלקחים ישירות מהבתים ב RAM אלא מהבתים בחוצץ משתמש. בצורה כזו מונעים קריאה או כתיבה של בית בזמן שמעגלי האלקטרוניקה הפנימיים מעדכנים את הבתים ב RAM.

### **ה. POWER CONTROL - בקרת הספק**

מלבן זה מקבל את האדמה, מתח ההפעלה של הרכיב (5 וולט) ואת מתח הגיבוי (בין 2 ל 3.5 וולט) ויודע למתג בינם. כאשר מתח ה 5 וולט יורד מתחת לערך הנקרא UTP של  $1.25 * U_{BAT}$ , הוא ממתג את

מתח הסוללה המפעילה את הרכיב. כאשר מתח ה 5 וולט חוזר הוא ממתג חזרה את המעגלים אל ה 5 וולט. כאשר סוללת הגיבוי ממותגת אל המערכת היא מפעילה את מעגלי האלקטרוניקה וה RAM אבל היא איננה מאפשרת תקשורת טורית.

**במידה ואין סוללת גיבוי יש לחבר את הדק סוללת הגיבוי אל האדמה !! אחרת הרכיב לא יעבוד!!**

**1. SERIAL BUS INTERFACE and ADDRESS REGISTER - ממשק פס טורי ואוגר כתובת**

מלבן זה אחראי על התקשורת הטורי I<sup>2</sup>C ומכאן על הפעולות שיבוצעו ברכיב. הוא מקבל את 2 הדקי התקשורת הטורית SCL - Serial Clock- שעות טורי ו SDA - Serial Data - נתון טורי. היות והרכיב שלנו משמש תמיד כ SLAVE בצורת התקשורת הטורית I2C אז השעות הטורי מגיע אליו מה MASTER. הנתונים הטוריים הם 16 כיווניים. מעגלי הממשק יודעים לקבל את הכתובת מרכיב ה MASTER ולסנכרן את פעולת הכתיבה או הקריאה.

**Address Register** הוא רגיסטר כתובות. הוא מצביע על הכתובת אליה פונים ברכיב. כתיבה או קריאה אל כתובות ה **RAM של השעות והתאריך** לא מתבצעים בצורה ישירה אלא דרך חוצץ המשתמש כאשר הנתונים האלה מגיעים לחוצץ ומעגל הממשק שולח אותות סנכרון מתי לכתוב או לקרא. לעומת קריאה או כתיבה לשאר הכתובות ב RAM מתבצעים בצורה ישירה. לפי הכתובת הנשלחת מה MASTER יודעים את הכתובת ב RAM אליה יש לפנות ולפי פקודת הקריאה או הכתיבה יודעים להעביר ל RAM את הנתון או להעביר מה RAM אל ה MASTER. כל נתון הנכתב ( או נקרא ) מקדם את אוגר הכתובות ב 1 אל הכתובת הבאה אוטומטית.

**2. CONTROL LOGIC - לוגיקת בקרה**

מלבן זה מקבל "ממשק הפס הטורי" את מילת הבקרה ויודע להפעיל את מלבן ה"מתנד ומחלק התדר" כדי לקבוע האם יוציא גל מרובע (בהדק מספר 7 של הרכיב) ובאיזה תדר או להוציא רמת מתח בהדק זה.

**השעות והתאריך**

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds			Seconds	00-59	
01h	0	10 Minutes			Minutes			Minutes	00-59	
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours			Hours	1-12 +AM/PM 00-23	
		24	PM/AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY		Day	01-07	
04h	0	0	10 Date		Date			Date	01-31	
05h	0	0	0	10 Month	Month			Month	01-12	
06h	10 Year			Year			Year	00-99		
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h-3Fh								RAM 56 x 8	00h-FFh	

0 = Always reads back as 0.

טבלה 2 - אוגרי זמן, תאריך ובקרה

כל הנתונים בשעון הם בקוד BCD מצופף, כלומר כל 4 סיביות משמשות כספרה עשרונית אחת. לדוגמא 30 דקות יצוין בכתובת 1 ב 30H כלומר 0011 0000 בבינארי. (הספרה העשרונית המקסימאלית ב 4 הספרות יהיה 1001 שזה 9. לא יכול להופיע מספר גדול מזה).  
 כתובת 0 מכילה את השניות. ביט 7 הנקרא CH - Clock Halt – עצירת שעון - הוא ביט שנשלט ע"י המתכנת. 0 בביט גורם לשעון לעבוד. אם שמים 1 בביט זה מעגל המתנד מפסיק לעבוד. בהפעלת חשמל הביט יכול להתעורר על מצב אקראי. יש לאתחל את הביט ל 0. עצירת השעון כדאית אם רוצים להאריך את חייה של סוללת הגיבוי החיצוני. עצירת השעון גורמת לכך שמעגלי האלקטרוניקה ברכיב אינם מופעלים ובכך מקטינים בצורה משמעותית את תצרוכת האנרגיה מהסוללה. טבלה מספר 3 מתארת את הזרם הנצרך מסוללת הגיבוי כאשר לא מחברים מתח ספק כוח חיצוני (המעגלים ברכיב עובדים אבל לא ניתן ליצור תקשורת!) . ניתן לראות בשורה הראשונה את תצרוכת הזרם מהסוללה כאשר הרכיב עובד ולא מוציאים גל מרובע ברגל 7 של הרכיב (יוסבר בהמשך). הזרם האופייני הוא 300 ננו אמפר. אם מוציאים גל מרובע – שורה שנייה בטבלה - עולה הזרם ל 480 ננו אמפר. כאשר מפסיקים את מעגל המתנד (מעגלי האלקטרוניקה לא מופעלים) - יורד הזרם - שורה שלישית בטבלה - ל 10 ננו אמפר.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V <sub>BAT</sub> Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I <sub>BAT1</sub>			300	500	nA
V <sub>BAT</sub> Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I <sub>BAT2</sub>			480	800	nA
V <sub>BAT</sub> Data-Retention Current (Oscillator Off)	I <sub>BATDR</sub>			10	100	nA

טבלה 3 - צריכת הזרם מסוללת הגיבוי

ביטים 0 עד 3 הם ספרת היחידות של השניות. הביטים 4 עד 6 הם של עשרות השניות.

כתובת 1 מכילה את הדקות. גם כאן הסיביות 0 עד 3 הן של ספרת השניות וסיביות 4 עד 6 הן ספרת העשרות. סיבית 7 תמיד ב 0.

כתובת 2 מכילה את השעות. ניתן לעבוד עם באופן עבודה של 12 או 24 שעות. הביטים 0 עד 3 קובעים את ספרת היחידות של השעות. ביט 6 קובע אם עובדים באופן של 12 שעות (1 בביט זה) או 24 שעות (0 בביט). אם עובדים באופן של 12 שעות אז ביט 5 אומר האם AM (לפני הצהריים) או PM (אחר הצהריים) כאשר 1 בביט אומר PM (אחר הצהריים). אם עובדים באופן של 24 שעות אז ביט 5 ביחד עם ביט 4 הם ספרת העשרות של השעות. לדוגמא אם כותבים לכתובת 2 את הנתון הבינארי 00100011 זה אומר שעובדים באופן של 24 שעות (ביט 6 ב 0) והשעה היא 23 (11 בלילה).

כתובת 3 מכילה את היום בשבוע. בסיביות 0 עד 2 יכול להופיע המספר בין 1 ליום ראשון ועד 7 ליום שבת. שאר הסיביות הן 0.

כתובת 4 מכילה את היום בחודש (מספר בין 1 ל 31). הסיביות 0 עד 3 את ספרת היחידות בחודש והסיביות 4 ו 5 את ספרת העשרות של החודש. 2 הסיביות 6 ו 7 תהיינה ב 0.

כתובת 5 מכילה את החודש (מספר בין 1 ל 12). סיביות 0 עד 3 את ספרת היחידות. סיבית 4 לספרת העשרות. שאר הסיביות הן 0.

כתובת 6 מכילה את השנה (מספר בין 0 ל 99 - המציין את השנים 2000 עד 2099). סיביות 0 עד 3 את ספרת היחידות והסיביות 4 עד 7 את ספרת העשרות.

החלפת היום בשבוע מתבצעת בחצות הלילה. יש להכניס נתונים רלוונטיים. יום ראשון בשבוע יש לציין כ 1, יום שני כ 2 וכך הלאה. הכנסת נתונים לא הגיוניים תגרום לתוצאות לא הגיוניות.

## רגיסטר הבקרה

רגיסטר הבקרה נמצא בכתובת 7 של ה RAM

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

איור 3 - מבנה רגיסטר הבקרה

בכתובת 7 נמצא רגיסטר הבקרה. המתכנת יכול לקבוע האם להוציא ברגל SQW/OUT (רגל 7) של הרכיב גל מרובע או לקבוע ברגל זו רמה לוגית קבועה רצויה. אם המתכנת רוצה להוציא גל מרובע, יש לו אפשרות לבחור תדר אחד מתוך 4 תדרים אפשריים. במידה והמתכנת איננו רוצה להוציא גל מרובע הוא יכול לקבוע האם ברגל יציאה זו (רגל 7) יהיה 0 או 1.

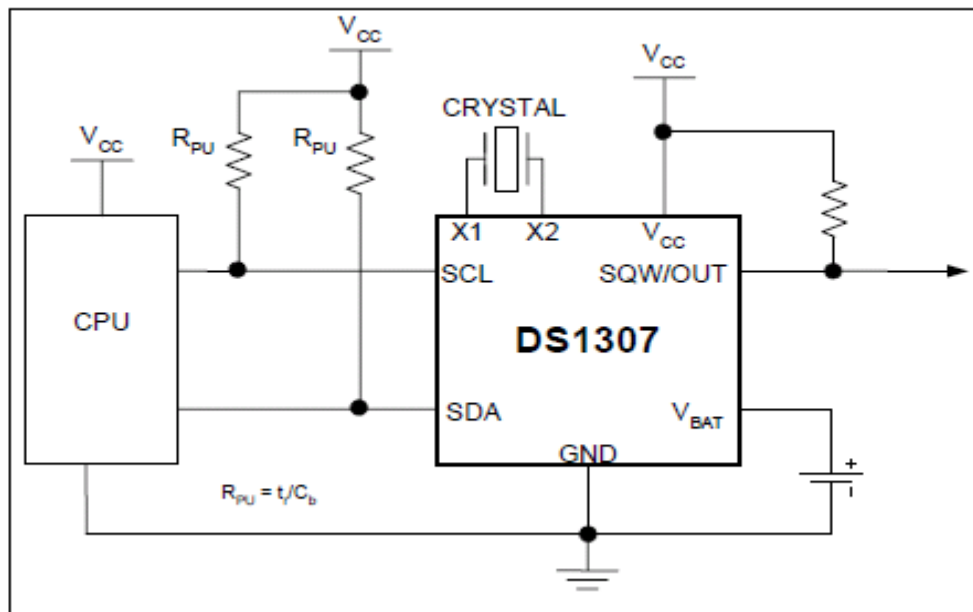
בעזרת ביט 4 Square Wave Enable – SQWE – אפשר גל מרובע - קובעים האם לאפשר להוציא גל מרובע (שמים 1 בביט) או לא לאפשר (שמים 0 בביט). במידה ושמנו 1 בביט 4 (מאפשרים יציאת גל מרובע) אז הסיביות 0 ו 1 (RS0 RS1) קובעות את התדר היוצא ברגל זו. RS – Rate Select - בחירת קצב. הטבלה הבאה – טבלה 4 - מסכמת את הנאמר.

RS1	RS0	SQW/OUT OUTPUT	SQWE	OUT
0	0	1Hz	1	X
0	1	4.096kHz	1	X
1	0	8.192kHz	1	X
1	1	32.768kHz	1	X
X	X	0	0	0
X	X	1	0	1

טבלה 4 - מצבי עבודה של רגיסטר הבקרה

אם נשים בביט 4 את הערך 0 (לא מאפשרים הוצאת גל מרובע) אז בסיבית 7 של הרגיסטר הנקראת OUT - ניתן לקבוע האם ברגל 7 של הרכיב יהיה 0 או 1. אם נשים בביט 0 אז ברגל 7 יהיה 0 ואם בביט 7 נשים 1 אז ברגל 7 יהיה 1.

מכתובת 8 ועד 3FH (55 עשרוני) נמצאים כתובות של RAM לשימוש כללי לפי רצון המשתמש.

מעגל הפעלה אופייני

איור 4 – מעגל תקשורת בין הרכיב למעבד

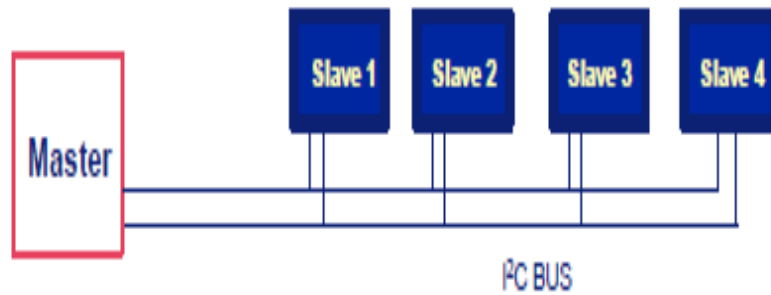
הרכיב מתחבר כ SLAVE אל מעבד CPU - המשמש כ MASTER בעזרת 2 קווים של תקשורת I<sup>2</sup>C . רגל SDA של נתון טורי – Serial Data ורגל SCL - השעון הטורי Serial Clock , המסכנת את הכנסת הנתון הטורי מהמעבד אל הרכיב או ממנו אל המעבד. יש לחבר 2 נגדי "משיכה למעלה" - R<sub>pu</sub> ( Pull Up) משתי רגליים אלו אל מתח ה V<sub>cc</sub> . הסיבה לכך היא שבתוך הרכיב יש טרנזיסטורי FET בחיבור Open Drain (מפק פתוח). הסיבה לחיבור זה היא שעל 2 קווי תקשורת I<sup>2</sup>C אלו, ניתן לחבר במקביל מספר נוסף של רכיבים כמו EEPROM , ADC FLASH וכו' ולא רוצים שהנגדים בתוך הרכיב ישפיעו – יעמיסו - את קווי התקשורת. נגד חיצוני נוסף רואים גם ביציאה ברגל 7 של הרכיב – SQWE/OUT . גם כאן יציאת הרכיב היא Open Drain ויש לחבר נגד חיצוני. נגד ה PullUp החיצוני שנחבר הוא נגד בסדר גודל של 2 קילו אום עד עשרה קילו אום.

I<sup>2</sup>C תקשורת

הרכיב מתקשר אל מעבד בתקשורת I<sup>2</sup>C . על פס תקשורת I<sup>2</sup>C יכולים להתחבר מספר רכיבים שונים (זיכרונות , ממירים, שעוני זמן אמת וכו). הרכיב המנהל את תהליך התקשורת (המעבד) נקרא MASTER והרכיבים המתחברים אליו נקראים SLAVES . בתקשורת זו ישנם שני קווים. קו הנתונים הטורי - SDA - שהוא דו כיווני וקו השעון הטורי - SCLK - שהוא חד כיווני ומופעל על ידי ה MASTER . בנוסף, ה MASTER שולט על הגישה לפס ויוצר את מצבי ה START (התחלה) וה STOP (סיום).

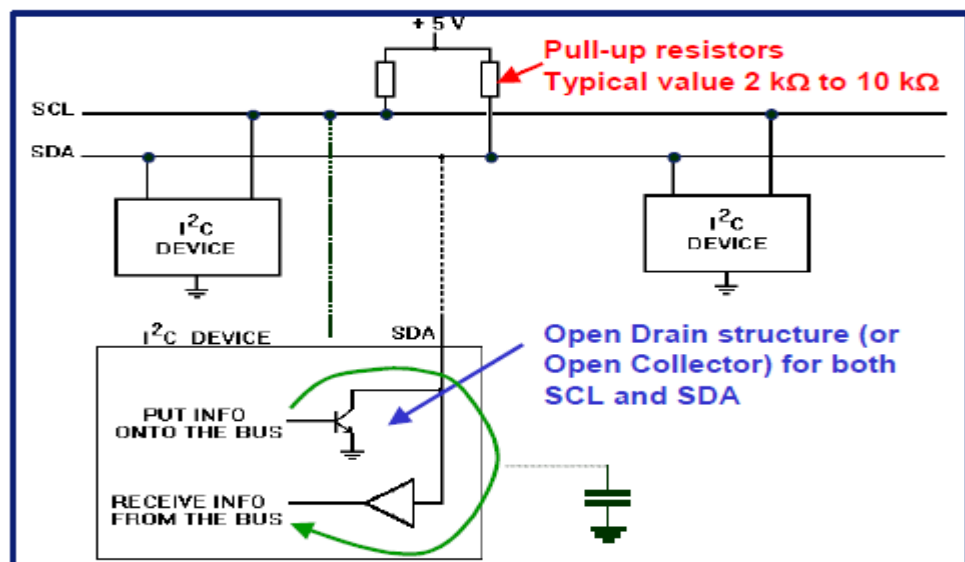
איור 5 מתאר מספר רכיבים המתחברים על קו התקשורת I<sup>2</sup>C





איור 5 א' - חיבור של מספר רכיבי SLAVE אל MASTER

באיור 5 א' ניתן לראות 4 רכיבי SLAVE המתחברים אל MASTER. באיור 5 ב' יש פרוט של נגדי ה PullUp וכיצד נראית דרגת היציאה והכניסה של רכיב המתחבר בתקשורת I<sup>2</sup>C.



איור 5 ב' - קו תקשורת I<sup>2</sup>C מפורט

ניתן לראות שעל 2 הקווים SDA (קו הנתון) ו SCL (קו השעון) יכולים להתחבר מספר רכיבים. לכל רכיב יש כתובת ייחודית משלו. לרכיב DS1307 הכתובת היא 1101000X (D0H או D1H). באיור רואים 2 רכיבים המתחברים על הקווים. בחלק התחתון של האיור רואים מבנה פנימי של רכיב ורואים שהרכיב מתחבר בעזרת חוצץ (מתואר על ידי המשולש) המקבל נתון מהקו. מעל החוצץ יש טרנזיסטור בחיבור קולט פתוח (Open Collector) או טרנזיסטור תופעת שדה - FET - בחיבור מפק פתוח (Open Drain), שיכול לכתוב לקו נתון. לטרנזיסטור יש לחבר נגד חיצוני בין 2 קילו אוהם ל 10 קילו אוהם. הערכים נבחרים כך שמצד אחד הנגדים לא יהיו קטנים מידי כדי שלא יזרום זרם גדול דרך הקווים ודרך הרכיב (במצב שהרכיב מוציא 0) ומצד שני שהנגד לא יהיה גדול מידי כי הוא קובע את זמן הטעינה והפריקה במעברים בין 0 ל 1 ולהפך ונגד גדול מידי יגביל את קצב התקשורת.

## כללים והגדרות בתקשורת I<sup>2</sup>C

- העברה יכולה להתחיל רק כאשר הקו לא עסוק - NOT BUSY.
- בזמן העברת נתון, קו הנתון חייב להישאר יציב כאשר קו השעון במצב גבוה. שינוי בקו הנתון כאשר קו השעון הוא גבוה יתפרש כאותות בקרה.

מגדירים את מצבי הפס הבאים :

### Bus Not Busy - פס לא עסוק

גם קו הנתון וגם קו השעון בגבוה.

### START DATA TRANSFER - התחל העברת נתון

שינוי במצב קו הנתון מגבוה לנמוך כאשר השעון נמצא בגבוה מוגדר כמצב START .

### STOP DATA TRANSFER - עצור העברת נתון

שינוי במצב קו הנתון מנמוך לגבוה כאשר השעון במצב גבוה מוגדר כמצב STOP .

### DATA VALID - תקפות נתון

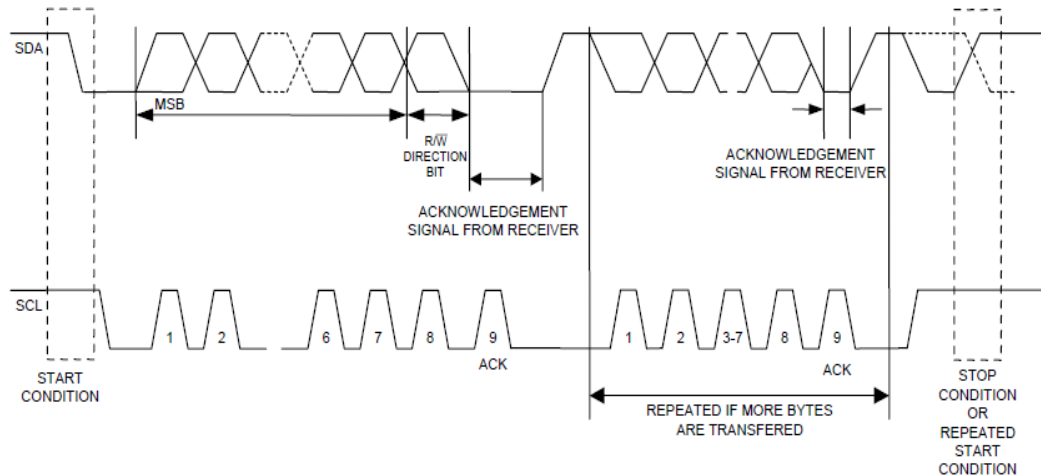
מצב קו הנתון מייצג תקפות נתון כאשר לאחר מצב START , קו הנתון יציב למשך זמן הגבוה של אות השעון. הנתון בקו חייב להשתנות רק בזמן מצב נמוך של אות השעון. יש פולס שעון אחד עבור כל ביט של נתון.

כל העברת נתונים מתחילה עם מצב START ומסתיימת עם מצב STOP . כמות הבתים המועברת בין START ל STOP לא מוגבלת ונקבעת על ידי רכיב ה MASTER . האינפורמציה מועברת ביית אחרי ביית וכל מקלט מאשר קבלת הבית עם ביט תשיעי של ACKNOWLEDGE . בהגדרות של I<sup>2</sup>C יש תקן של קצב ב 100KHz ויש תקן ל 400KHz . הרכיב DS1307 עובד בקצב של 100KHz בלבד.

### ACKNOWLEDGE – אישור

כל רכיב קולט חייב בסיום קליטת ביית, שהועבר אליו, ליצור ביט ACKNOWLEDGE . רכיב ה MASTER יוצר פולס שעון נוסף הקשור לביט זה. רכיב היוצר ACKNOWLEDGE חייב להוריד את קו הנתון הטורי – SDA – ל 0 בזמן פולס השעון, כלומר שקו הנתון יהיה יציב בנמוך בזמן שקו השעון בגבוה. רכיב ה MASTER מסמן ל SLAVE על סיום התקשורת על ידי **אי יצירת** ביט ה ACKNOWLEDGE כאשר הוא קלט את הביית האחרון מה SLAVE . במקרה כזה על ה SLAVE להשאיר את קו הנתון בגבוה כדי לאפשר ל MASTER ליצור מצב STOP .

באיור 6 ניתן לראות העברה של נתון טורי.



**איור 6 - העברת נתון בקו תקשורת טורית I<sup>2</sup>C**

את הקו SCL (הקו התחתון בשרטוט) יוצר תמיד ה MASTER. כדאי לשים לב שמצב START קורה כאשר קו SCL בגבוה ואז ה MASTER הוריד את קו הנתון ל 0. לאחר מכן ה MASTER יוצר 8 פולסי שעון ואז הוא שולח בקו הנתון - SDA - 8 ביטים. 7 ביטים הם כתובת הרכיב והביט ה 8 אומר האם הוא רוצה לכתוב אל הרכיב או לקרוא ממנו (0 - כתיבה, 2 - קריאה). לאחר מכן ה MASTER יוצר פולס 9 נוסף שבו ה SLAVE צריך להחזיר ACKNOWLEDGE. לאחר מכן אין צורך ב START נוסף והבתים שנשלחים אחד אחרי השני כאשר הצד הקולט נותן ACKNOWLEDGE בביט מספר 9. מצב STOP (או START חוזר) מתואר בצד ימין של איור 6. הוא נוצר כאשר קו השעון ב 1 ואז בקו הנתון יש מעבר מ 0 ל 1. מצב START חוזר משורטט בקו מקווקו ובו רואים שבזמן שקו השעון ב 1 יורד קו הנתון ל 0.

## **I<sup>2</sup>C העברת נתון בתקשורת**

שתי אפשרויות העברת נתונים קיימות בקו תקשורת I<sup>2</sup>C:

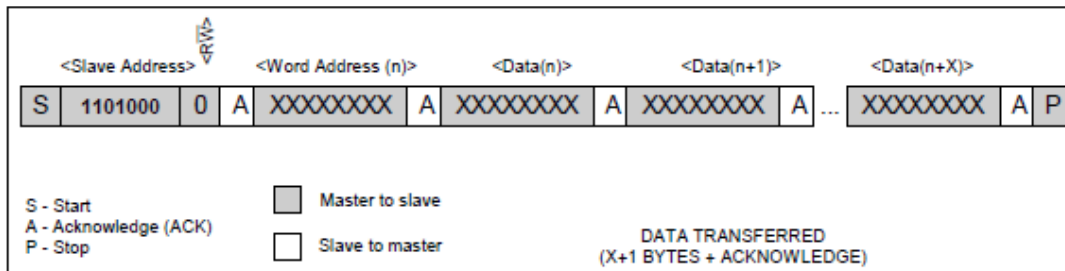
### **א. ה MASTER משדר וה SLAVE קולט - אופן כתיבה - Write Mode**

במקרה זה הביית הראשון המשודר על ידי ה MASTER הוא הכתובת של ה SLAVE (במקרה של רכיב DS1307 הכתובת היא 1101000X - D0H במקרה של כתיבה לרכיב או D1H אם קוראים מהרכיב). לאחר מכן יבואו מספר בתים של נתונים. ה SLAVE מחזיר ACKNOWLEDGE בסיום כל ביית נתונים שקלט. הנתון מועבר עם ביט ה MSB ראשון !!

### **ב. ביית משודר מה SLAVE אל ה MASTER - אופן קריאה - Read Mode**

במקרה זה הביית הראשון שנשלח הוא על ידי ה MASTER השולח את כתובת ה SLAVE שמחזיר מצידו את ביט ה ACKNOWLEDGE. מכאן ה SLAVE שולח מספר בתי נתונים. ה MASTER מחזיר ביט ACKNOWLEDGE אחרי כל קליטת ביית נתון חוץ מהביית האחרון שהוא איננו מחזיר ACKNOWLEDGE או אפשר להגיד שהוא מחזיר Not ACKNOWLEDGE.

## אופן כתיבה – ה MASTER משדר אל אחד מה SLAVES



**איור 7** - אופן כתיבת נתון מה MASTER כשה SLAVE הוא המקלט.

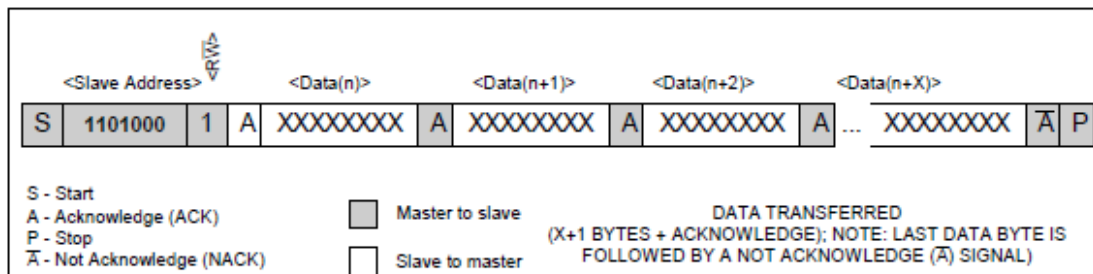
באיור 7 מתואר מצב שבו ה MASTER כותב אל ה SLAVE המשמש כמקלט. החלק הכהה שבאיור הוא מה ששולח ה MASTER. החלק הבהיר הוא מה ששולח המקלט – ה SLAVE. ה MASTER יוצר מצב START (מסומן ב S). לאחר מכן הוא שולח 7 ביטים של כתובת הרכיב - D0H במקרה של הרכיב DS1307 - והביט ה 8 הוא 0 המציין שהוא הכותב וה SLAVE הוא המקלט. על ה SLAVE לענות ב ACKNOWLEDGE (מסומן ב A). לאחר מכן ה MASTER שולח ביית נוסף הטוען את מצביע (אוגר) הכתובות בתוך הרכיב. הנתון הבא נכתב לכתובת זו ומצביע הכתובות גדל אוטומטית ב 1. כל נתון נכתב בכתובת שבמצביע הכתובות ומצביע הכתובות מתקדם ב 1. אחרי כל ביית שנקלט על ידי ה SLAVE הוא שולח אישור שקלט – ACKNOWLEDGE. ה MASTER מסיים את התקשורת בעזרת מצב STOP (מופיע בצד ימין עם האות P).

## אופן קריאה - ה SLAVE משדר אל ה MASTER

גם מצב זה מתחיל תמיד במצב שבו ה MASTER משדר אל ה SLAVE אבל כאן הוא אומר שהוא רוצה לקרא ממנו. הבית הראשון שה MASTER משדר נקלט על ידי ה SLAVE כמו שתואר בפסקה הקודמת, כלומר ה MASTER יוצר מצב START, יישלח את 7 הביטים של הכתובת 10110001 אבל הביט השמיני יהיה 1 שבו הוא אומר שהוא רוצה לקרא. מכאן ה SLAVE משדר את הנתונים וה MASTER עונה עם ביט ACKNOWLEDGE. בביית האחרון, כשה MASTER רוצה בסיום התקשורת, הוא איננו מגיב בביט ה 9 ולא שולח ACKNOWLEDGE (מסומן באיור ב  $\bar{A}$ ) וגם שולח ביט עשירי של STOP.

הנתונים המשודרים מה SLAVE מתחילים מהכתובת האחרונה שבה נמצא מצביע הכתובות. כל נתון שה SLAVE שולח הוא מקדם את מצביע הכתובות לכתובת הבאה – אוטומטית.

איור 8 מתאר מצב תקשורת זה. גם כאן הצבע הכהה הוא של ה MASTER והבהיר של ה SLAVE.

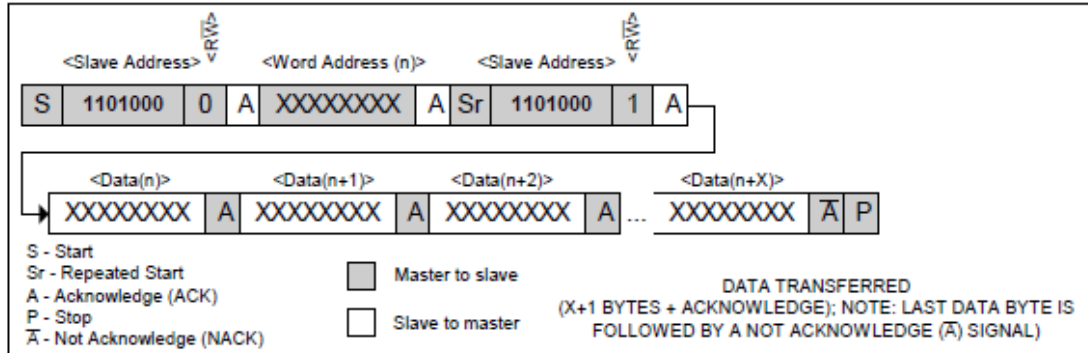


**איור 8** - אופן קריאה – ה MASTER הוא המקלט

בדרך כלל תהליך התקשורת יהיה הבא: ה MASTER יכתוב 2 בתים אל הרכיב. בבית הראשון הוא אומר לרכיב שהוא פונה אליו לכתובה. בבית השני הוא יציין את הכתובת הרצויה. מיד לאחר מכן יישלח

STOP ( או START חוזר ) ואז יבצע תקשורת חדשה שבו הוא ייפנה לרכיב לקריאה מהכתובת ששלח אליו בפעולת הכתיבה.

איור 9 מתאר פעולת כתיבה וקריאה מהכתובת הרצויה. גם כאן הצבע הכהה הוא של ה MASTER והבהיר של ה SLAVE .



איור 9 – פעולה משולבת של כתיבה ל SLAVE כדי לציין כתובת רצויה וקריאה מה SLAVE

מהאיור רואים שה MASTER שלח 2 בתים אל ה SLAVE . מיד לאחר מכן יצר מצב START חוזר (מסומן ב Sr), שלח בית נוסף שבו יש את כתובת הרכיב 10110001 ( הבית השמיני הוא של קריאה ) ומרגע זה ה SLAVE משדר וה MASTER מגיב ב ACKNOWLEDGE . בסיום התקשורת ה MASTER לא נותן ACKNOWLEDGE (מסומן ב A̅) ולאחר מכן נותן מצב STOP .