**המיקרו בקר ATmega328**

1. **מבוא**

המיקרו בקר שייך למשפחת המיקרו בקרים מסוג AVR שלהם פס נתונים בן 8 ביטים. למשפחה זו שייכים גם הרכיבים : ATmega48, ATmega88, ATmega168 שלהם זיכרון תכנית מסוג FLASH בנפח של 4/8/16 קילו בתים (בהתאמה), הנצרב בתוך המערכת שבה הוא נמצא ( In System ), כלומר לא צריך להוציא אותו מהמעגל שבו הוא נמצא ולצרוב אותו בעזרת מכונה שנקראת Programmer . המספר הראשון מתאר את כמות הבייטים ברכיב והשני את כמות הביטים בכל בייט. ל ATmega328 יש זיכרון תכנית של 32 קילו בתים בכל בייט 8 ביטים.

**AVR** - הוא ראשי תיבות של : **A**lf (Egil Bogen) and **V**egard (Wollan)'s **R**ISC processor שקשורים לארכיטקטורה הנקראת [modified Harvard architecture](http://en.wikipedia.org/wiki/Modified_Harvard_architecture) - ארכיטקטורת הרווארד מותאמת - שבה התכנית והנתונים מאוחסנים בשני אזורי זיכרון פיזיים שונים, במרחבי כתובות שונים, אבל יש להם יכולת לקרא נתונים מזיכרון התכנית עם הוראות קריאה ספציפיות.

המושג RISC – Reduced Instructions Set Computer – מחשב עם סט הוראות מופחת , כך שיחידת הפענוח של הפקודות קטנה יותר ומהירות העבודה גדולה יותר.

1. **מאפיינים כללים**
* AVR של 8 ביט, עם ביצועים גבוהים ותצרוכת הספק נמוכה.
* ארכיטקטורת RISC מתקדמת
	+ 131 הוראות – רובן מבוצעות במחזור שעון אחד
	+ 8\*32 רגיסטרי עבודה למטרות כלליות.
	+ פעולה סטטית מלאה ( אפשרות עבודה בתדרים נמוכים מאד).
	+ עד 20 MIPS ( Mega Instructions Per Second - מיליוני הוראות בשנייה), ב 20MHz .
	+ מכפל תדר פי 2 בתוך הרכיב.
* סגמנטים של זיכרון בלתי נדיף עם כושר עמידות גבוה (זמן ארוך).
* 32 קילו בתים של זיכרון תכנית מסוג FLASH הנצרב בתוך המעגל שבו נמצא.
* זיכרון EEPROM של 1K בתים .
* SRAM בנפח 2K בתים .
* 10000 מחזורי כתיבה/מחיקה לזיכרון ה FLASH ו 100000 מחזורי כתיבה מחיקה ל EEPROM .
* שמירת נתונים בזיכרון : 20 שנים ב 85 מעלות צלסיוס ו 100 שנים ב 25 מעלות צלסיוס.
* קטע קוד אתחול אופציונלי עם ביטי נעילה בלתי תלויים

+ תכנית צריבה In System (בתוך המערכת – ללא הוצאת הרכיב ממקומו) בתכנית האתחול בתוך הרכיב.

 + פעולת קריאה בזמן כתיבה

 + נעילת תכנות לביטחון תכנה.

* מאפיינים היקפיים (פריפריאליים) :
* שני טיימרים/מונים בני 8 ביט כל אחד עם אפשרות לטעינת מספר התחלתי ואופן השוואה.
* טיימר/מונה של 16 ביט עם אפשרות לטעינת מספר התחלתי ואופן השוואה.
* מונה זמן אמת עם מתנד נפרד.
* 6 ערוצי PWM. ( Pulse Width Modulator - אפנון רוחב דופק ).
* 8 ערוצי של ADC של 10 ביט (באריזה -זיווד- TQFP ו QFN/MLF ) 6 ערוצים באריזה PDIP. מדידת טמפרטורה.
* USART טורי בר תכנות ( Universal Synchronous Receiver Transmitter - משדר מקלט טורי סינכרוני.
* ממשק טורי היקפי 1 SPI עבד/אדון
* ממשק טורי 2-WIRE (תואם I2C של פיליפס).
* טיימר "כלב שמירה" - Watch Dog בר תכנות עם מתנד. נפרד בתוך הרכיב.
* משווה אנאלוגי בתוך הרכיב
* פסיקה והתעוררות - Interrupt and Wake UP – בשינוי מצב בהדק.
* יישומי מיקרו בקר מיוחדים
* אתחול RESET בהפעלת חשמל וגילוי Brown-out בר תכנות ( גילוי נפילות מתח).
* מתנד פנימי בר כיול.
* מקורות פסיקה פנימיים וחיצוניים.
* 6 אופני שינה: סרק – Idle , הפחתת רעש ב ADC , חסכון בחשמל – Power Save , הורדת הספק – Power Down , היכון – Standby , והיכון מורחב Extended Standby.
* קלט/פלט ואריזה
* 23 קווי קלט/פלט ברי תכנות
* 28 הדקים באריזת PDIP, 32 מוליכים ב TQFP , 28 פדים ואפשרות גם ל 32 פדים ב QFN/MLF .
* מתחי הפעלה
* 1.8 וולט עד 5.5 וולט
* תחום טמפרטורה
* ממינוס 40 עד 85 מעלות צלסיוס.
* דרגות מהירות
* 0 עד 20 מגה הרץ בכל תחום המתחים מ 1.8 עד 5.5 וולט.
* צריכת הספק נמוכה ב 1 מדה הרץ , 1.8 וולט , 25 מעלות צלסיוס
* במצב פעולה – 0.2 מילי אמפר.
* במצב הורדת הספק – Power Down Mode – 0.1 מיקרו אמפר.
* במצב חסכון בהספק – Power-save mode – 0.75 מיקרו אמפר ( כולל RTC1 של 32 קילו הרץ).

.

1. **תיאור ההדקים עבור האריזות השונות**



שרטוט מספר 1 – הדקי הרכיב עבור האריזות השונות

1. **מאפיינים חשמליים**
2. **ערכים נקובים מקסימליים - Absolute Maximum Ratings**



טבלה מספר 1 – ערכים נקובים מקסימאליים.

ערכים אלו הם ערכים שאסור לעבור אותם כי יכול להיגרם לרכיב נזק בלתי הפיך.

1. טמפרטורת הפעלה - ממינוס 55 עד פלוס 125 מעלות צלסיוס.
2. טמפרטורת אחסנה - ממינוס 65 עד פלוס 150 מעלות צלסיוס.
3. המתח בכל הדק חוץ מ RESET יחסית לאדמה – ממינוס 0.5 עד Vcc+0.5v .
4. המתח בהדק ה RESET יחסית לאדמה - ממינוס 0.5v עד 13.0v .
5. מקסימום מתח הפעלה - 6.0v .
6. זרם ישר להדק קלט/פלט – 40.0mA
7. זרם ישר בהדקי Vcc והאדמה - 200.0mA .
8. **נתונים חשמליים DC**



טבלה מספר 2 – נתונים חשמליים

בשורה הראשונה נתון מתח הכניסה הנחשב כ 0 - Low - הנקרא ) Vil חוץ מההדקים XTAL1והדק ה RESET). רואים שהמתח 0 הכי נמוך שניתן להכניס הוא -0.5V . ה 0 המקסימאלי תלוי במתח הספק Vcc . בין מתחי ספק של 1.8 וולט עד 2.4 וולט ה 0 המקסימאלי הוא 0.2Vcc ובמתחי ספק מ 2.4 עד 5.5 וולט זה 0.3Vcc . כלומר עבור מתח ספק כוח של 5 וולט ה 0 המקסימאלי הוא 1.5 וולט.

בשורה השנייה נתון מתח הכניסה הנחשב כ 1 – HIGH הנקרא Vih ) - חוץ מההדקים XTAL1והדק ה RESET). . גם כאן הוא תלוי במתחי הספק . המתח המינימאלי הנחשב כ 1 במתחי ספק של 1.8 וולט עד 2.4 וולט המתח הוא 0.7Vcc ובמתחי ספק מ 2.4 עד 5.5 וולט זה 0.6Vcc . כלומר עבור 5 וולט ה 0 המקסימאלי הוא 1.5 וולט. עבור מתח ספק כוח של 5 וולט ה 1 המינימאלי הוא 3 וולט . אין לתת בכניסה מתח גדול מ Vcc+0.5 .

השורות 3 עד 6 מציינות את רמות המתח של ה 0 וה 1 בהדקי ה XTAL1 וה RESET .

השורות שבע ושמונה מראות את המתח של 0 ו 1 לוגי כאשר מתייחסים להדק ה RESET כאילו הוא הדק "רגיל" של קלט/פלט ( יש אפשרות כזאת).

השורה האחרונה מראה מה המתח בהדק יציאה של הרכיב במצב של 0 - Vol (חוץ מהדק RESET ). רואים שבמתח ספק כוח של 5 וולט ובזרם של 20 מילי אמפר בטמפרטורה 85 מעלות צלסיוס המתח לא יעלה על 0.9 וולט ובטמפרטורה של 105 מעלות צלסיוס הוא לא יעלה על 1 וולט. בזרם נמוך יותר המתח יהיה נמוך יותר.

1. **סכימה מלבנית של הרכיב**

נעבור על כל מלבן שבשרטוט . נתחיל בחלק העליון בצד שמאל , נעבור למלבנים מימינו ואז נרד לשורה מתחתיו וכך נמשיך עד שנסיים את כל המלבנים .

1. **watchdog Timer** - טיימר כלב שמירה.

זהו טיימר שתפקידו לגלות ליקוי בתפקוד של החומרה או התוכנה של המיקרו בקר. המתכנת יכול לקבוע לו זמן רצוי. בכל ריצה של התוכנה המתכנת מאתחל את הטיימר מהתחלה. במידה והתכנית "נתקעת" כתוצאה מטעות בתכנית או מבעית חומרה ולא מגיעים לאתחול חדש של הטיימר , הוא מסיים את הספירה שלו ונותן פסיקה. בעזרת הפסיקה ניתן להפעיל את המערכת מחדש.

1. **Power suppression POR/BOD & RESET**

מלבן זה הוא ל POR – Power On Reset - - אתחול בהפעלת החשמל. ול BOD – Brown-Out Detection - לגילוי נפילות מתח .

1. **debugWIRE**

זהו פרוטוקול תקשורת טורית שתוכנן על ידי Atmel ומשמש לניפוי debugging למיקרו מעבדים מסוג AVR . זוהי אלטרנטיבה ל JTAG שעוזר בניפוי תכנית . זה מאפשר שימוש לכל הזיכרון ושליטה על זרימת ביצוע התכנית. הוא תומך בצעד יחד – single step , רוץ עד הסמן – run to cursor , צעד החוצה (או מעבר ) – step out , והוראות שבירה בתוכנה. הפרוטוקול עובד ביחד עם **program logic** - לוגיקת תוכנית.

1. **PROGRAM LOGIC – לוגיקת בקרה**

לוגיקת הבקרה עובדת ביחד עם debugWIRE לצורך ניפוי התכנית.

****

שרטוט מספר 2 - סכימה מלבנית

1. **Oscillator circuits / clock generation – מעגלי המתנד / מחולל תדר השעון**

את תדר השעון של המיקרו ניתן לקבל ממספר מקורות : מגביש המתחבר אל הדקי המיקרו , ממתנד חיצוני או ממעגל מתנד RC פנימי בתדר 8 מגה הרץ ( הרכיב מגיע עם פיוז הדואג שברירת המחדל – default – תהיה מתנד זה) . פולסי השעון המתקבלים מגיעים למעגלים השונים בתוך הרכיב. ניתן לקבוע מאיזה מקור ניקח את פולסי השעון. כמו כן ניתן למנוע בתוכנה את הגעת תדר השעון למעגלים כלשהם ועל ידי כך הם לא יעבדו וכך נחסוך בתצרוכת ההספק של הרכיב. המעגלים המקבלים את פולסי השעון הם : 1. ליבת ה CPU ברכיב. 2. מעגלי הקלט/פלט 3. זיכרון ה FLASH 4. מעגלי הטיימרים 5. מעגלי ה ADC .

1. **זיכרון FLASH**

זהו זיכרון בגודל 32 קילו בתים שניתן לתכנות חוזר כשהוא נמצא בתוך המעגל שלו – In System Programming – בעזרת תקשורת SPI . בזיכרון זה נמצאת התוכנית שכתבנו. היות ופקודות הארדואינו הן בנות 2 בתים (או 4 בתים) אז זיכרון זה מאורגן כזיכרון של 16K כתובות על 16 ביטים . מטעמי בטחון הוא מחולק ל 2 אזורים. 1. אזור האפליקציה שם נמצאת התכנית שכתבנו. 2. אזור טעינת ה BOOT לתקשורת בין המעבד למחשב (כמו בארדואינו לדוגמא).

ניתן לכתוב , למחוק ושוב לכתוב עד 10000 פעמים. מונה התכנית שלו הוא בן 14 ביטים (להגיע עד 16 קילו כתובות) . לזיכרון ביטים של נעילה כדי למנוע גניבה של התוכנה שנכתבה לזיכרון, עם מספר דרגות בטחון. קביעת מצב מסוים לביטים אלו מאפשרת לתכנית להתבצע פקודה אחר פקודה על ידי המעבד אבל לא מאפשרת לקרא את הפקודות עצמן מחוץ למעבד כדי "להבין" מה כתוב בתוכנה.

1. **זיכרון - SRAM**

זהו זיכרון RAM סטטי בגודל 2 קילו בתים. כאן נמצאים המשתנים שאנו מגדירים בתכניות שלנו. החיסרון שלו הוא נדיפות – Volatile (בכיבוי חשמל הנתונים נעלמים).

1. **AVR CPU**

זוהי ליבת מעבד המיקרו בקר. הסבר מפורט יותר בפרק הבא.

1. **זיכרון EEPROM**

זהו זיכרון בלתי נדיף בגודל 1 קילו בתים. וכאן אפשר לשמור נתונים שאיננו רוצים שיימחקו בהפסקת חשמל ( כמו סיסמא שהמשתמש מקיש).

1. **8 bit T/C 0 - טיימר/קאונטר 0 בעל 8 ביטים**

זהו מונה בן 8 ביט שמספרו 0 המשמש או כטיימר או קאונטר ( מונה רגיל )לשימוש כללי. יש לו 2 יחידות של יציאות השוואה בלתי תלויות ותמיכה ב PWM . הוא מאפשר תזמון ביצוע תכנית מדויק (ניהול אירועים) ויצירת גלים. פולסי הספירה יכולים לבא ממערכת שעון פנימית ( עבודה כטיימר ) או ממקור חיצוני ( עבודה כקאונטר - לספירת אירועים חיצוניים). יש לו יציאת בקשת פסיקה כאשר הוא הגיע למקסימום שלו 0xFF או מספר אחר שנרצה ( הקטן מ 0xFF).

1. **טיימר/קאונטר 1 בן 16 ביטים - Timer /Counter 1 bits 16**

זהו מונה בן 16 ביטים שמספרו 1 . גם לו יש 2 יחידות של יציאות השוואה בלתי תלויות ותמיכה ב PWM . גם הוא מאפשר תזמון ביצוע תכנית מדויק (ניהול אירועים) ויצירת גלים. פולסי הספירה יכולים לבא ממערכת שעון פנימית ( עבודה כטיימר ) או ממקור חיצוני ( עבודה כקאונטר - לספירת אירועים חיצוניים). יש לו יציאת בקשת פסיקה כאשר הוא הגיע למקסימום שלו 0xFFFF או מספר אחר שנרצה ( הקטן מ 0xFFFF).

1. **ממיר ADC - ADC CONV.**

זהו ממיר מאנאלוגי לדיגיטאלי עם רזולוציה של 10 ביט העובד בשיטת שערוך מוצלח - Successive Approximation . הו מתחבר ל 8 כניסות אנאלוגיות (מפורט A ) וניתן לבחור מי מהן תיכנס להמרה. הוא מכיל מעגל דגימה ואחזקה להבטיח שהמתח קבוע בזמן ההמרה. יש לו מתח ספק נפרד AVcc . מתח הייחוס יכול להיות פנימי או חיצוני.

**תכונות חשובות:**

1. אי ליניאריות – 0/5LSB
2. דיוק ±2LSB
3. 13-260µsec – זמן המרה
4. עד 76.9 קילו דגימות בשנייה ( עד 15 קילו דגימות בשנייה ברזולוציה מלאה).
5. ערוץ למדידת חיישן טמפרטורה.
6. תחום כניסת מתח מ 0 עד Vcc .
7. פסיקה בסיום המרה.
8. ניתן לבחור מתח ייחוס של 1.1v .
9. **טיימר/קאונטר 2 בן 8 ביטים - 8 bit Timer/Counter 2**

דומה לטיימר 0 . גם לו יש PWM .

1. **משווה אנאלוגי - Analog Comparator**

המשווה האנאלוגי משווה את הערך הנכנס בכניסה החיובית AIN0 והכניסה השלילית AIN1 . כאשר המתח בכניסה החיובית גדול מזה שבשלילית היציאה של המשווה – ACO – נמצאת ב 1 . יציאת המשווה יכולה להתניע את כניסת טיימר/קאונטר 1 במצב פעולה CAPTURE - לכידה או תפיסה). כמו כן ניתן לקבל פסיקה כאשר המשתמש יכול לקבוע האם נקבל פסיקה בעלייה או ירידה או בהחלפת מצב ( מעליה לירידה או להפך).

1. **INTERNAL BANDGAP - תחום פנימי**

מלבן זה משמש לגילוי נפילות מתח ( Brown-out ) וכמו כן עוזר ליצירת מתח הייחוס של 1.1v דרך מגבר פנימי.

1. **USART 0 - Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transmitter 0 - משדר מקלט סינכרוני ואסינכרוני אוניברסלי מספר 0**

זהו רכיב תקשורת טורית וניתן להשתמש בו גם ב Master SPI (על תקשורת SPI בסעיף הבא). זהו משדר מקלט דו כיווני לשידור וקליטה של תקשורת טורית גם סינכרונית וגם אסינכרונית. ניתן לקבוע אם עובדים עם זוגיות ואם כן האם זוגיות זוגית (even) או אי זוגית ( odd ). ניתן לקבוע את קצב התקשורת כאשר תדר השעון יכול להיות חיצוני או פנימי.

1. **SPI - Serial Peripheral Interface – ממשק היקפי טורי**

זוהי העברת נתונים טורית שבין MASTER ( אדון – מיקרו בקר) ל SLAVE ( עבד – כמו רכיבי קול, שעוני זמן אמת - RTC , חיישנים למיניהם, רכיבי זיכרון ועוד).

תכונות:

1. העברת נתונים סינכרונית דו כיוונית של מינימום 3 קווים ( 3 קווים מה MASTER אל ה SLAVE והם : SS – Slave Select – בחירת העבד, קו נתון טורי MOSI – Master Out Slave In , וקו השעון – SCLK - Serial CLocK ). בדרך כלל יש עוד קו MISO - Master In Slave Out - נתון טורי מה SLAVE אל ה MASTER ועוד קו של פסיקה בסיום הודעה מה SLAVE אל ה MASTER.
2. אפשרות להעברת הנתון מביט MSB אל ה LSB או להיפך .
3. 7 קצבי עבודה הניתנים לתכנות.
4. דגל פסיקה בסיום השידור.
5. **TWI – Two Wires Interface - ממשק 2 חוטים (תקשורת טורית עם 2 חוטים).**

זוהי תקשורת אופיינית למיקרו בקרים. בתקשורת זו יש 2 קווים דו כיווניים : SDA - Serial Data - נתון טורי ו Serial Clock - SCL – שעון טורי. ניתן לחבר 128 רכיבים שונים על 2 קווים אלו. כל שצריך הוא 2 נגדי משיכה למעלה pull up resistors . לכל רכיב יש כתובת משלו . קצב התקשורת עד 400 קילו הרץ (400 אלף ביטים בשנייה).

1. **PORT D , PORTB , PORTC - פורטים D , B , C**

פורטים D ו B הם בני 8 הדקים (מ 0 עד 7 ) ופורט C הוא בן 7 הדקים ( מ 0 עד 6 ). כל הדק יכול להיות קלט או פלט כרצוננו. כל הדק המתוכנת כפלט יכול לקבל (SINK) או לתת (SOURCE) זרם של עד 40 מילי אמפר. במצב של קלט ניתן לתכנת האם קלט ללא נגד משיכה ( Pull Up) או עם נגד משיכה של התנגדות בין 20 ל 50 קילו אוהם פנימית בתוך הרכיב.

1. **ליבת המעבד**

בשרטוט 3 מתואר מבנה מלבני של ליבת מעבד המיקרו בקר. התפקיד העיקרי של המעבד הוא להבטיח ביצוע נכון של התוכנית. מכאן שהוא חייב להיות מסוגל לפנות לזיכרונות, לבצע חישובים, לשלוט על רכיבים פריפריאליים ולטפל בפסיקות.

****

שרטוט מספר 3 : ליבת המעבד

כדי להגיע לביצועים ולמקביליות מיטביים – משתמש ה AVR בארכיטקטורת Harvard- עם זיכרונות נפרדים לתוכנית ולנתונים. ההוראות שבזיכרון התכנית מבוצעות עם קו צינור ( pipelining ) בעל רמה אחת. כאשר מתבצעת פקודה כלשהי , מביאים את הפקודה הבאה מזיכרון התכנית. דבר זה מאפשר ביצוע פקודה בכל מחזור שעון.

נתחיל ונתאר את המלבנים שבצד שמאל , נעבור למרכז ואח"כ המלבנים שמימין - בשרטוט מספר 3 .

1. **זיכרון תכנית מסוג FLASH - FLASH PROGRAM MEMORY**

זיכרון התכנית הוא מסוג FLASH – הבזק, והוא נצרב בתוך המעגל שבו הוא נמצא – In System Reprogrammable . הוא בגודל 32Kbytes . זיכרון ה FLASH של התכנית מחולק לשני חלקים : חלק תכנית ה Boot ( אתחול) וחלק תכנית האפליקציה – היישום (שם נמצאת התכנית שאנחנו כתבנו). לשני החלקים יש ביטים של נעילה עבור כתיבה ועבור הגנת קריאה/כתיבה. הוראות SPM - Store Program Memory הכותבות לחלק של היישום נמצאות בחלק של ה Boot . זרימת התכנית מאופיינת על ידי קפיצות מותנות או לא מותנות ועל ידי קריאה לפרוצדורות. ניתן לגשת לכל כתובת במרחב הזיכרון ישירות . רוב הפקודות הן בנות 16 ביטים או 32 ביטים. כל כתובת במרחב התוכנית מכילה הוראה של 16 או 32 ביטים.

1. **INSTRUCTION REGISTER – רגיסטר הוראה.**

זהו הרגיסטר אליו מביאים את הפקודה הנוכחית מזיכרון התכנית.

1. **INSTRUCTION DECODER – מפענח הפקודה**

הפקודה שהמעבד הביא מזיכרון התכנית נמצאת ברגיסטר ההוראה. זהו צירוף של אפסים ואחדים. מפענח הפקודה מפרש מה אומרת הפקודה שמתוארת על ידי האוסף של האפסים והאחדים. מתחת למלבן זה יש קווי בקרה שתפקידם לבצע את הפקודה שפוענחה.

1. **PROGRAM COUNTER – מונה תכנית**

המלבן נמצא למעלה במרכז . מונה זה מראה מאיזו כתובת בזיכרון התכנית יש להביא את הפקודה לרגיסטר ההוראה.

1. **STATUS and CONTROL – סטאטוס ובקרה**

זהו רגיסטר בקרה וסטאטוס. אחרי פעולה חשבונית מתעדכן רגיסטר הסטאטוס – Status Register - כדי לתת חיווי (לשקף) על התוצאה שהתקבלה. כמו כן יש לו מספר ביטים של בקרה (לדוגמא : אפשור גלובאלי של פסיקות).

1. **32\*8 GENERAL PURPOSE REGISTERS – 32 רגיסטרים בני 8 ביטים לשימוש כללי**

קבוצת הרגיסטרים מכילה 32 רגיסטרים בני 8 ביט לשימוש כללי עם זמן גישה של מחזור שעון יחיד. דבר זה מאפשר פעולה אריתמטית לוגית ב ALU במחזור שעון יחיד. בפעולה זו 2 אופרנדים מועברים מקבוצת הרגיסטרים, הפעולה האריתמטית או הלוגית מבוצעת והתוצאה נשמרת באחד הרגיסטרים והכל במחזור שעון אחד. 6 מתוך 32 הרגיסטרים יכולים לשמש כ 3 רגיסטרים של 16 ביטים ולשמש כמצביעים על אזור זיכרון הנתונים. רגיסטרים אלו נקראים X Y ו Z . אחד מהמצביעים יכול להצביע על זיכרון התכנית (למשל בטבלאות המרה – look up tables).

1. **ALU – ARITHMATIC LOGIC UNIT - יחידה אריתמטית לוגית**

ה ALU - תומכת בפעולת חשבוניות ולוגיות בין רגיסטרים או בין קבוע ורגיסטר. פעולה על רגיסטר בודד (כמו הגדלתו ב 1 ) מתבצעת גם היא ביחידה זו. אחרי פעולה חשבונית מתעדכן רגיסטר הסטאטוס – Status Register - כדי לתת חיווי (לשקף) על התוצאה שהתקבלה.

1. DATA SRAM - SRAM נתונים

ה SRAM בן 2Kbytes הוא חלק מזיכרון הנתונים של המעבד. מפת זיכרון הנתונים נראית כך :



שרטוט מספר 4: זיכרון הנתונים

במפה שבשרטוט רואים למעלה את 32 הרגיסטרים שתוארו בסעיף ו' והם "תופסים" את מרחב הכתובות מ 0 עד 001Fh . בכתובות הבאות נמצא את מרחב זיכרון ה I/O המכיל 64 כתובות של היחידות הפריפריאליות המתפקדות כרגיסטרים של בקרה, SPI ותפקידי I/O . ניתן לפנות ישירות לזיכרון ה I/O או כמו למיקום מרחב הנתון העוקב לקובץ הרגיסטרים, 0x20 עד 0x5F על תפקיד אזור זה בסעיפים הבאים. בנוסף, יש הרחבה של מרחב ה I/O מ 0x60 עד 0xFF. אחרי אזור זה נמצא ה SRAM היושב בתחום הכתובות מ 0x100 ועד 0x8FF . ניתן לפנות לזיכרון ה SRAM באחת מחמש שיטות מיעון – Addressing Mode .

בזמן פסיקות וקריאות לפרוצדורה מאוחסנת כתובת החזרה במחסנית . המחסנית נמצאת ב SRAM . כל תכניות המשתמש צריכות לאתחל את מצביע המחסנית – SP – Stack Pointer - לכתובת הרצויה לפני שקוראים לפרוצדורה או מבצעים פסיקה. ניתן לקרא מה SP או לכתוב אליו. הוא נמצא במרחב ה I/O .

1. **EEPROM – Electrically Erasable Programmable ROM – זיכרון קריאה בלבד בר תכנות ומחיקה חשמלית.**

זהו זיכרון בנפח של 1Kbytes . זהו זיכרון בלתי נדיף שמשמש לשמירת נתונים. הוא מאורגן כמרחב זיכרון נפרד וניתן לקרא/לכתוב ממנו/אליו בייט (BYTE). ניתן למחוק/לכתוב לפחות 100000 פעם.

1. **I/O LINES – קווי קלט / פלט .**

יש 23 קווי קלט פלט הניתנים לתכנות לקלט או פלט כרצוננו. במצב שקבענו קו כלשהו כפלט הוא יכול לקבל - SINK או לתת - SOURCE- עד 40 מילי אמפר. במצב קלט ניתן לקבוע האם ההדק יהיה קלט "רגיל" או קלט עם נגד משיכה למעלה Pull Up Resistor (של 20 עד 50 קילו אוהם). ראה גם סעיף יט' בפרק הקודם.

1. **Interrupt Unit, SPI Unit, WATCH DOG TIMER, ANALOG COMPRATOR**

יחידות אלו הוסברו בפרק הקודם.

למערכת הפסיקות יש רגיסטר במרחב ה I/O עם ביט אפשור פסיקה גלובאלי הנמצא ברגיסטר הסטאטוס. לכל הפסיקות יש וקטור פסיקה (כתובת בזיכרון התכנית) בטבלת וקטור הפסיקות. לפסיקות יש עדיפות. ככל שכתובת ווקטור הפסיקה נמוכה יותר העדיפות שלה גבוהה יותר.

1. **I/O MODULE 1….N - מודולים של קלט/פלט 1 עד N**

במילה I/O Modules הכוונה ל טיימרים/קאונטרים, לממיר ה ADC ל USART ולשאר היחידות שהזכרנו בפרק הקודם.