

# מבוא לרספברי פיי פיקו

## 1. כללי

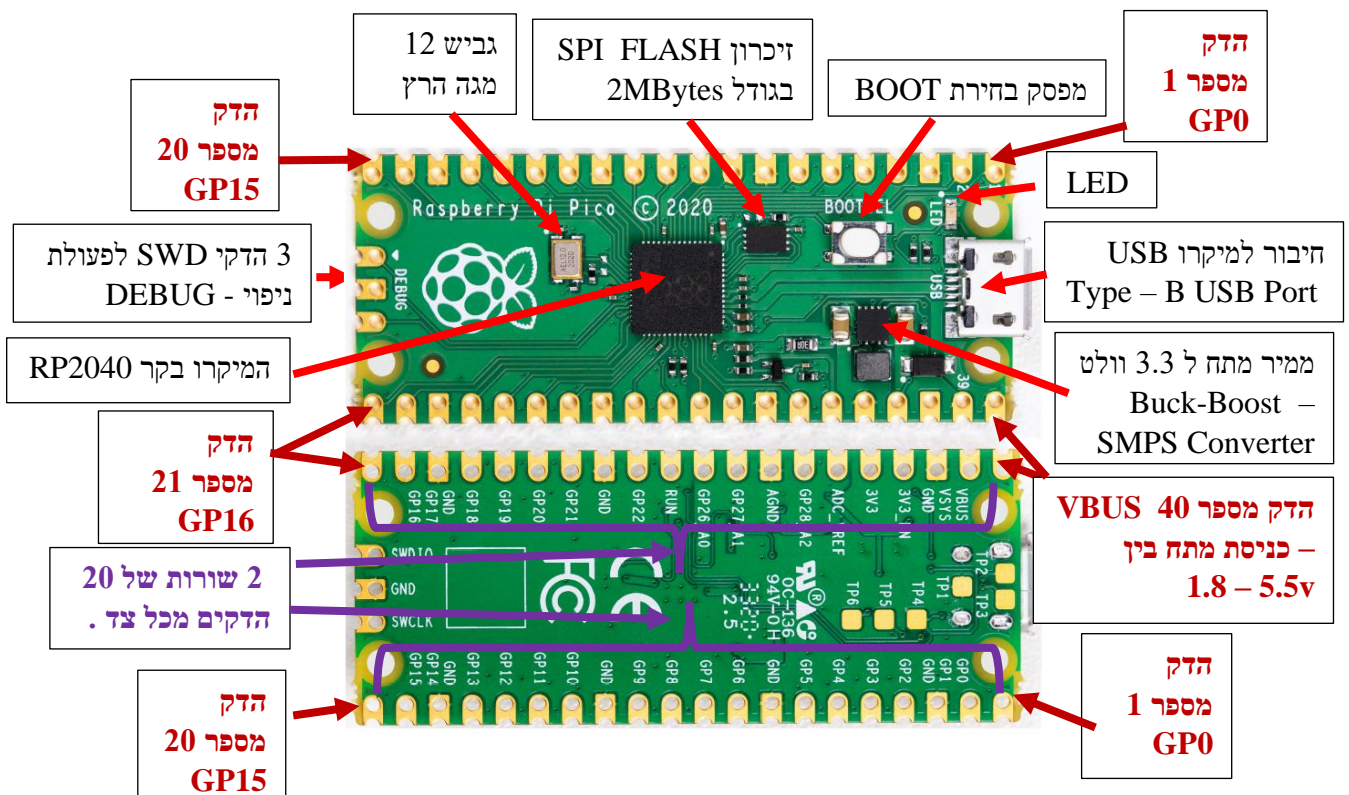
כרטיס קטן וזול ( במחיר של כ 4 דולר ) עם מיקרו בקר RP2040 שתוכנן על ידי חברת רספברי פיי באנגליה. זהו המיקרו בקר הראשון של החברה והוא הוצג בינואר 2021 .

RP הוא קיצור של Raspberry Pi . המספר 2 מתייחס למספר הליבות ( 2 ליבות). המספר 0 מציין את סוג הליבה : Arm Cortex-M0+ .

המספר 4 מציין את כמות ה RAM האפשרית. הכמות מחושבת בעזרת המשוואה :  $\text{floor}(\log_2(\text{ram}/16k))$  . המספר 0 האחרון מציין את כמות הזיכרון הבלתי נדיף שברכיב לפי המשוואה :  $\text{floor}(\log_2(\text{nonvolatile}/16k))$  (ברכיב שלנו 0 – אין זיכרון בלתי נדיף כמו FLASH – זיכרון תוכנית – בתוך הרכיב).

**floor** היא פונקציית הערך השלם הנקראת גם פונקציית רצפה והיא מחזירה לכל מספר ממשי x את המספר השלם הגדול ביותר שקטן או שווה ל x (מעגלת כלפי מטה) . לדוגמה:  $\text{floor}[2.7] = 2$  .

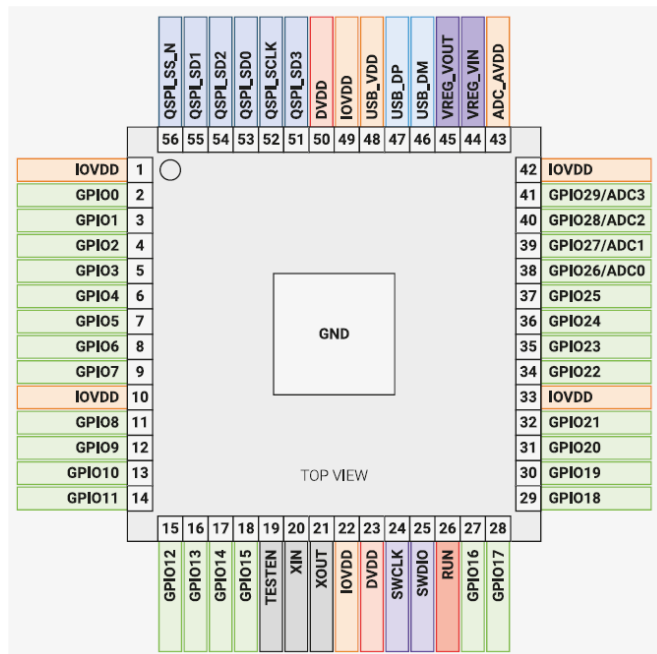
בהמשך העבודה נקרא לכרטיס בקיצור בשם פיקו במקום בשם הארוך רספברי פיי פיקו . האיור הבא מתאר את הכרטיס משני צדדיו :



איור 1 : כרטיס רספברי פיי . החלק העליון צד הרכיבים והחלק התחתון הצד המודפס.

באיור רואים 40 הדקים במבנה של 2 שורות, 20 הדקים בכל צד ( מבנה הנקרא בג'וק Dual – DIP ( Inline Package ). הכרטיס קטן מאוד במידות של 51x21 מ"מ .

האיור הבא מתאר את המיקרו בקר RP2040, הרגליים שלו והחיבור אל ההדקים של הכרטיס.



איור 2 : הדקי המיקרו בקר

רואים שלרכיב יש 56 רגליים בזיוד – אריזה - ריבועי הנקרא QFN-56, של 14 רגליים בכל צד וגודלו 7X7 מ"מ. מבנה QFN-56 הוא קיצור של 56-Pin Quad Flatpack No-Lead Logic Package (אריזה של 56 הדקים שטוחה מרובעת בלוגיקה ללא הולכה).

במיקרו בקר יש את היחידות הבאות :

- המעבד עובד בתדר של 48 מגה הרץ ויכול להיות מואץ עד 133 מגה הרץ ובנוי סביב מעבד ליבה כפולה Arm CORTEX M0+.
- בכרטיס 40 פנינים ( הדקים ) מהם 23 הדקים דיגיטאליים ו 3 הדקים של ADC .
- 2 מגה בתים של זיכרון תוכנית מסוג FLASH עם תמיכה ל 16 מגה בתים חיצוני.
- 264 קילו בתים זיכרון SRAM .
- 2 יחידות תקשורת טורית UART ( Universal Asynchronous Receiver Transmitter ) משדר מקלט אסינכרוני אוניברסלי).
- 2 יחידות של תקשורת טורית I2C ( Inter-Integrated Circuit ) .
- 2 יחידות של תקשורת טורית SPI ( Serial Peripheral Interface – ממשק טורי היקפי).
- 16 ערוצים של PWM ( אפנון רוחב דופק Pulse Width Modulation ) .
- טיימר עם 4 אזעקות.

- מונה זמן אמת – RTC (Real Time Counter).
- 2 רכיבי IO היקפיים שניתנים לתכנות.
- קונקטור Micro USB שנותן מתח ספק כוח ונתונים.
- 26 הדקי GPIO (General Purpose Input Output – הדקי קלט פלט למטרה כללית) של 3.3 וולט.
- 3 הדקים לפעולת ניפוי - Arm Serial Wire Debug port .
- מתח ספק הכוח מקונקטור Micro USB או מספק כוח או בטרייה/סוללה של 3.3 וולט .

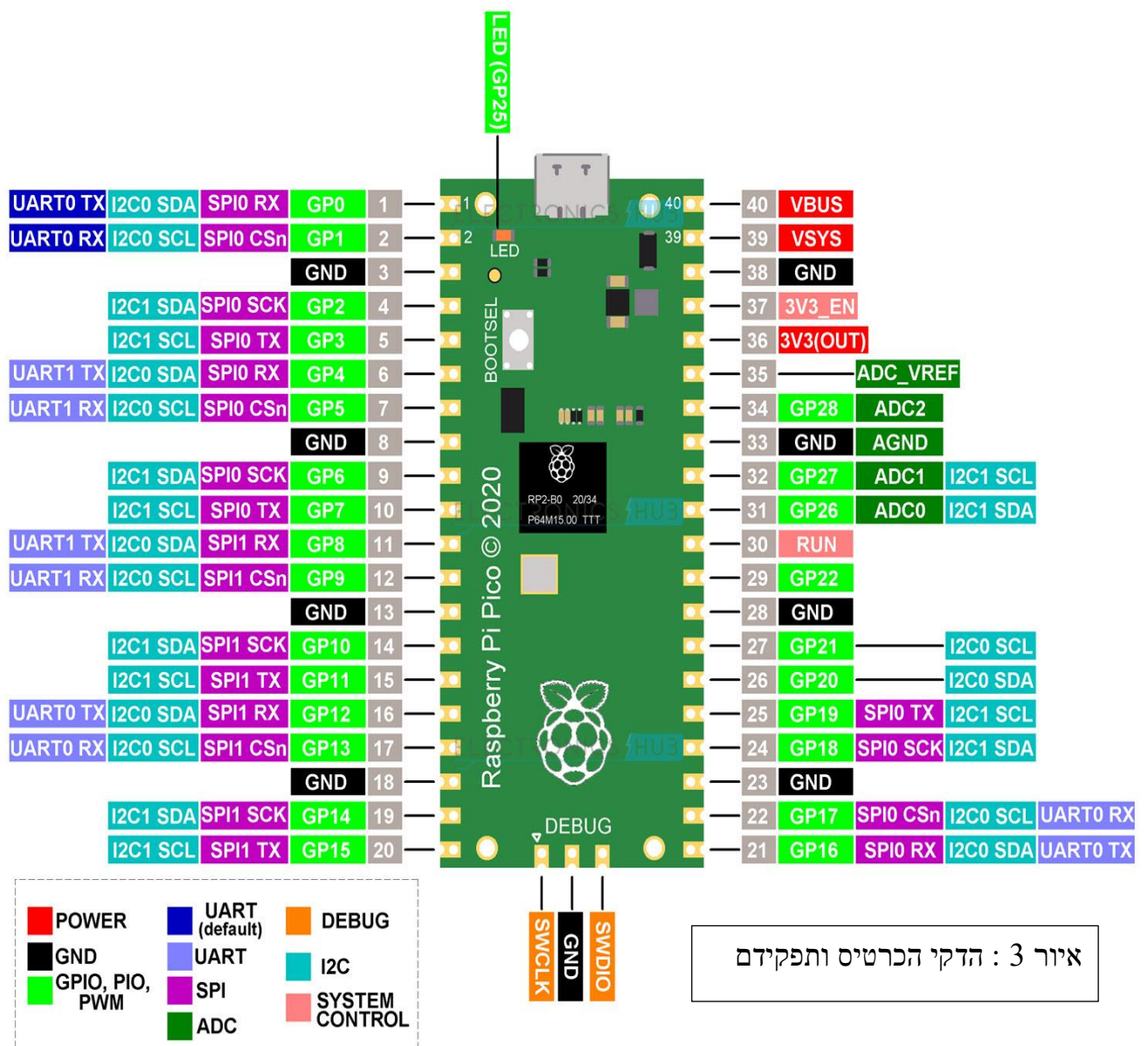
סיכום התכונות מתואר בטבלה הבאה:

Feature	Availability
Microcontroller	RP2040
Architecture	Dual-core Arm Cortex M0+ processor
Flash	2MB
SRAM	264KB
GPIO Pins	26
I2C	2
UART	2
SPI	2
PWM	8 PWM Blocks – 16 Outputs
ADC	3 12-bit ADC
State Machines	8 × Programmable I/O (PIO) state machines
DAC	0
USB	USB 1.1 with device and host support
Timer	single 64-bit counter
Watchdog	one 32-bit
Real time clock	1- RTC

טבלה 1 : טבלה מסכמת של תכונות המיקרו בקר .

## 2. הדקים ותפקידם

האיור הבא מתאר את הדקי הכרטיס ותפקידם



הצבע בצד כל הדק מתאר את תפקיד ההדק על פי המקרא שבשמאל למטה באיור . לדוגמה : הדקים מספר 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38 הם הדקי אדמה ונראים בצבע שחור. הכמות של 8 הדקים של האדמה GND מקטינה את הרעש על קו האדמה.

דוגמה נוספת : הדק 16 הוא הדק GP12 ויכול לשמש כהדק לשימוש כללי מספר 12 או הדק הקליטה בתקשורת SPI1 או הדק SDA בתקשורת I2C0 או הדק השידור של UART0 .

### 3. אספקת מתח ותכנות

בכרטיס הפיקו יש ספק כוח ממותג – SMPS – Switched Mode Power Supply - שיכול ליצור 3.3v (להפעלת ה RP2040 ומעגלים חיצוניים) ממתחי כניסה של כ 1.8 וולט עד 5.5 וולט , דבר המאפשר גמישות ממקורות מתח שונים כמו סוללת ליתיום-יון או 3 תאים של AA בטור.

תכנות זיכרון ה FLASH של הפיקו יכול להתבצע בעזרת ה USB ( בעזרת drag and drop – משוך והשלך – של קובץ אל הפיקו המופיע כרכיב mass storage ) או בעזרת פורט SWD ( Serial Wire Debug – ניפוי חוט טורי ). ה SWD יכול לשמש גם כקוד אינטראקטיבי שרץ על ה RP2040 .

שפות התכנות שבהם ניתן לכתוב לפיקו הן : מיקרו פייתון ו C/C++ .

### 4. שרטוט השמלי

האיור בעמוד הבא מתאר את השרטוט החשמלי של הכרטיס.

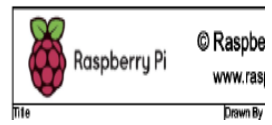
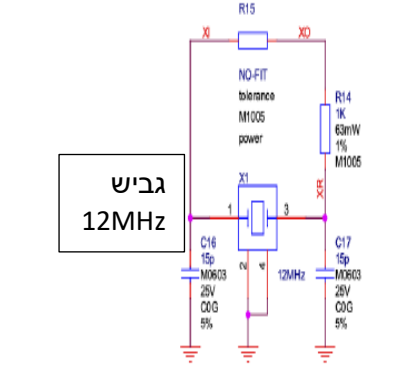
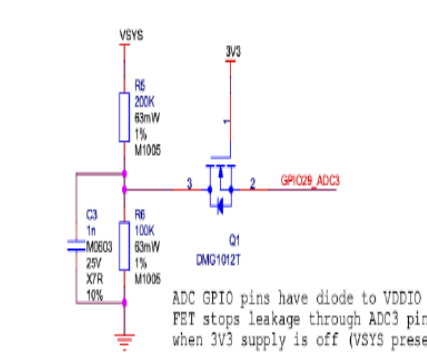
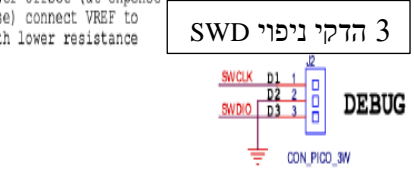
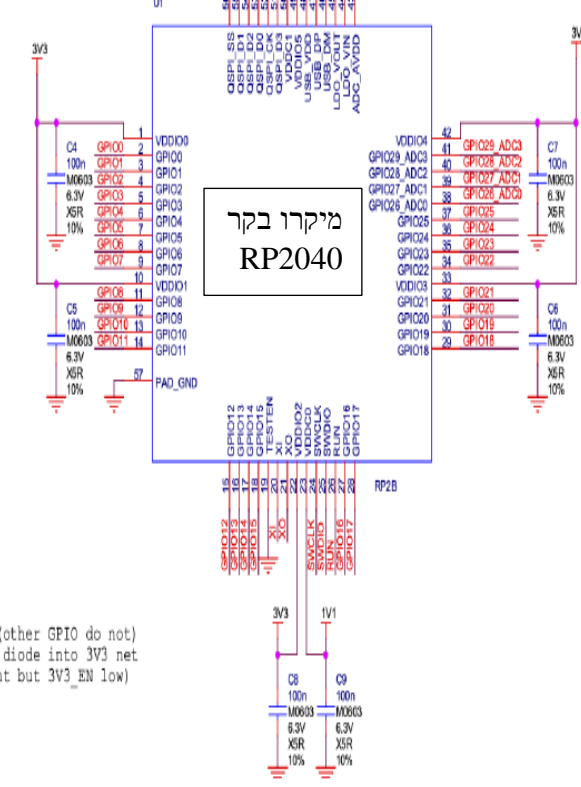
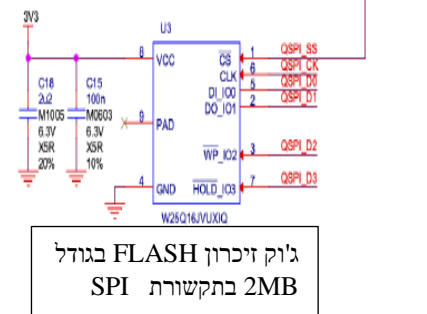
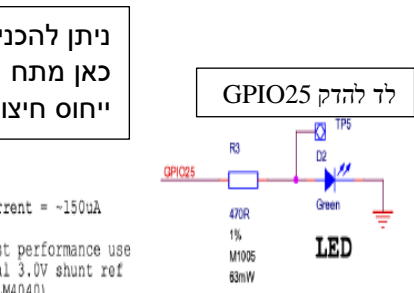
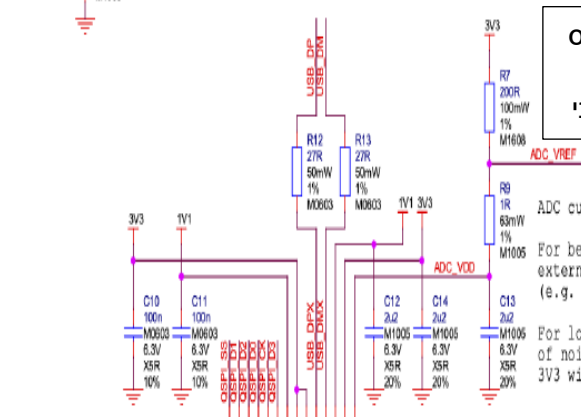
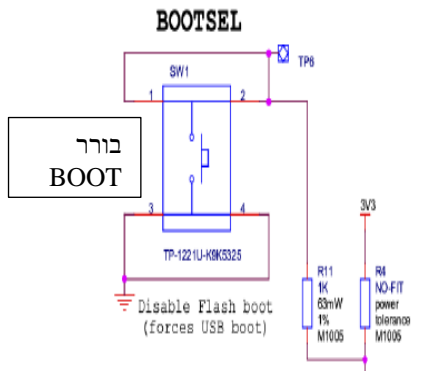
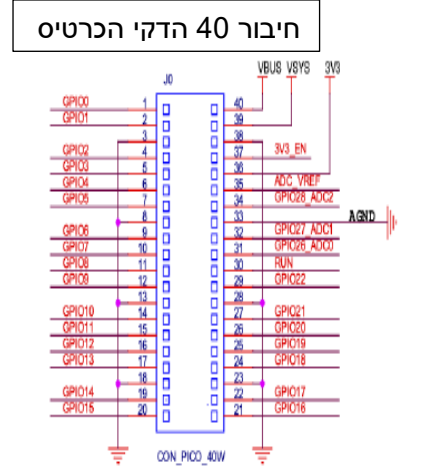
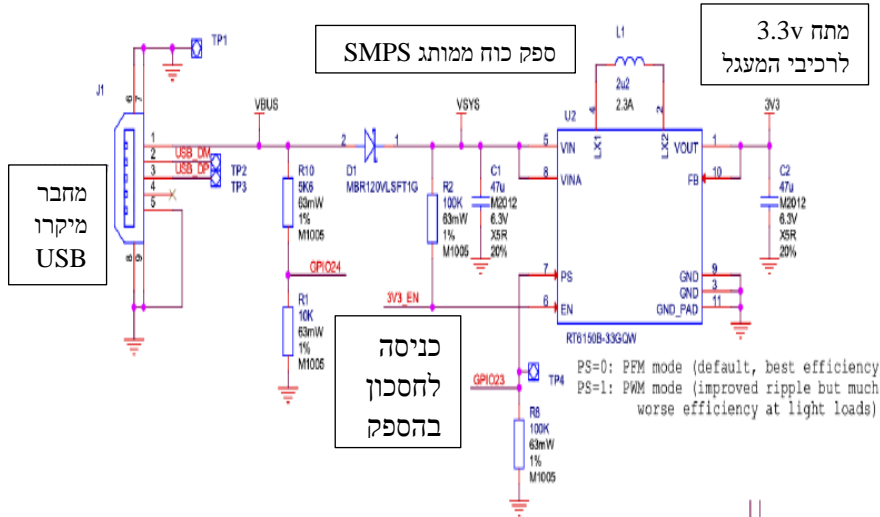
מספר הדקי GPIO של ה RP2040 משמשים לפעולות פנימיות . הדקים אלו הם :

**GPIO29=IP** מצד שמאל למטה באיור המשמש באופן פעולה של ADC ( ADC3 ) כדי למדוד את VSYS/3.

**GPIO25=OP** במרכז האיור מצד שמאל מתחבר אל לד. אם בהדק זה נשים '1' הלד נדלקת.

**GPIO24=IP VBUS SENSE** - בהדק זה יש מתח גבוה אם יש מתח VBUS ממחבר המיקרו USB או נמוך אם לא מתחבר מיקרו USB .

**GPIO23=OP** שולט על חיסכון בהספק של הספק הממותג.



חוץ מהדקי ה GPIO והאדמה יש 7 הדקים נוספים בממשק ה 40 הדקים (שנראה בצד ימין למעלה באיור) והם :

**הדק 40 = VBUS** הוא מתח הכניסה ממחבר המיקרו USB ומתחבר להדק 1 של המחבר. הוא בדרך כלל ( 5v או 0v אם ה USB איננו מחובר או לא פועל).

**הדק 39 = VSYS** הוא מתח הכניסה הראשי שיכול להשתנות בתחום של מ 1.8 ועד 5.5 וולט. ממתח זה יוצר ה SMPS ( Switched Mode Power Supply – ספק כוח אופן ממותג) את המתח 3.3v ל RP2040 ול GPIO שלו.

**הדק 37 = 3V3\_EN** מתחבר להדק איפשור SMPS והוא מתחבר דרך נגד משיכה למעלה – pull up – של 100KΩ . כדי לא לאפשר את ה 3.3v (ועל ידי כך לא להעביר מתח ל rp2040 ) יש לקצר את ההדק לנמוך.

**הדק 36 = 3V3** הוא המתח הראשי ל rp2040 ולהדקי ה IO שלו. הוא נוצר על ידי הספק הממותג SMPS . ניתן להשתמש בהדק זה כדי לספק מתח חיצוני למעגלים חיצוניים (מומלץ לא להעמיס את ההדק ביותר מ 300mA).

**הדק 35 = ADC\_VREF** הוא מתח ספק הכוח ומתח הייחוס של ה ADC . המתח נוצר על ידי סינון מתח ה 3.3V . הדק זה יכול לשמש ככניסת מתח ייחוס אם נדרש ביצוע טוב יותר.

**AGND** משמש כאדמה אנלוגית עבור הדקים GPIO26 עד 29 שהם כניסות למדידת מתח אנלוגי . אם לא משתמשים ב ADC או ביצועי ה ADC לא קריטיים ניתן לחבר את הדקי AGND לאדמה הדיגיטאלית.

**RUN** הוא הדק האפשור של ה rp2040 ויש לו נגד pull-up של כ 50 קילו אוהם המחובר ל 3.3v . כדי לבצע reset ניתן לקצר את ההדק לנמוך.

ישנן 6 נקודות בדיקה TP1-TP6 ( Test Point ) והן :

**TP1 = Ground – אדמה** . זוהי האדמה שמתחברת גם אל האדמה של מחבר ה מיקרו USB .

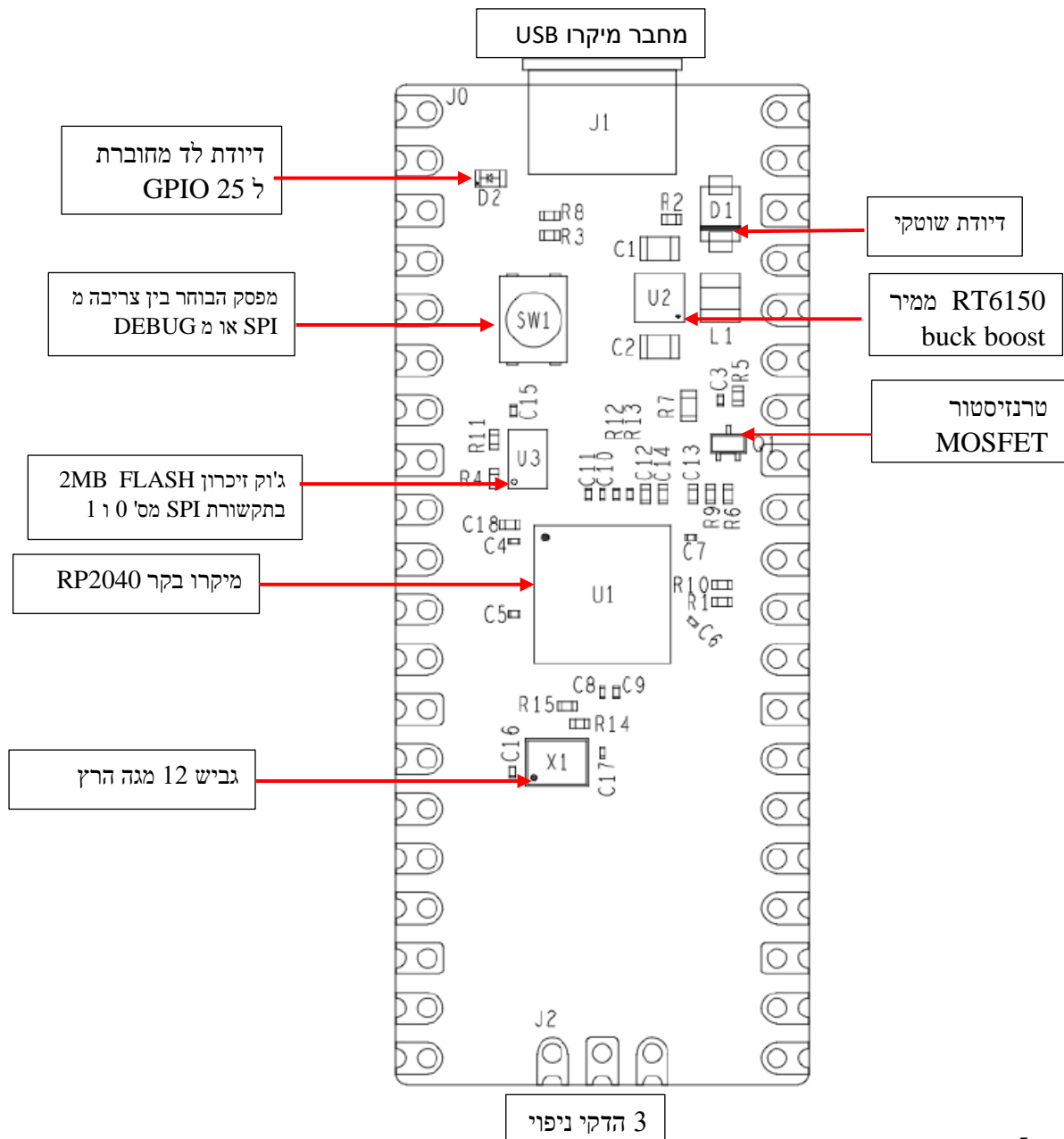
**TP2, TP3** הם הדקי הנתון של מחבר המיקרו USB .

**TP4** מתחבר להדק GPIO23 השולט על SMPS . בעזרת הדק זה ניתן לשלוט על מתח הספק הממותג.

**TP5** נקודת בדיקה שבה ניתן לראות את המתח על ה led שבמעגל הפיקו.

**TP6** נקודת בדיקה של בחירת ה boot .

## 4.1 מיקום רכיבים



איור 5 : מיקום הרכיבים בכרטיס.

## 5. יישומים

### 5.1 תכנות (צריבת) ה FLASH

תכנות זיכרון ה QSPI FLASH של 2Mbyte יכול להתבצע או מפורט הניפוי החוט הטורי Serial Wire Debug port או על ידי אופן USB Mass Storage. ה Quad Serial Peripheral Interface - QSPI – ממשיך טורי היקפי מרובע מאפשר צריבה מבחון של זיכרון ה FLASH תוך שימוש ב SPI. הדרך הפשוטה ביותר לצריבת ה FLASH הוא שימוש באופן USB.



כדי לעשות זאת יש לכבות את המתח וללחוץ על מפסק BOOTSEL תוך כדי חיבור המתח חזרה. (לדוגמה יש ללחוץ על המפסק ואז לחבר את כבל ה USB). הפיקו מופיע כעת במחשב כ USB Mass Storage Device – רכיב USB לאחסון המוני. גרירה – DRAG - קובץ עם סיומת uf2 לתוך הדיסק יכתוב את הקובץ ל FLASH ויאחל – restart - את הפיקו.

## 5.2 קלט פלט כלליים – General Purpose IO

בפיקו יש 26 מתוך 30 פנינים GPIO המחוברים ישירות להדקי הפיקו. GPIO0 עד GPIO22 הם דיגיטאליים ו 26 עד 28 יכולים לשמש או כהדקים דיגיטאליים או ככניסות ADC (ניתן לקבוע בתוכנה). יש לציין שלהדקים GPIO26-29 יש דיודה המחוברת הפוך אל ה VDDIO (3V3) – (הקתודה ל 3.3 וולט) ולכן על מתח הכניסה לא לעבור את המתח VDDIO פלוס כ 300 מילי וולט (מפל המתח על הדיודה). כמו כן אם לא מחברים מתח ספק ל rp2040 ונותנים מתח לאחד מהדקי ה GPIO המתח זולג דרך הדיודה לקו ה VDDIO. להדקים הרגילים מ 0 ועד 25 וגם הדקי ה DEBUG אין את הבעייה הזו בגלל FET הגנה (צד שמאל למטה בשרטוט החשמלי) וניתן לחבר להדקים אלו מתח גם ללא מתח ספק ל RP2040.

## 5.3 שימוש ב ADC

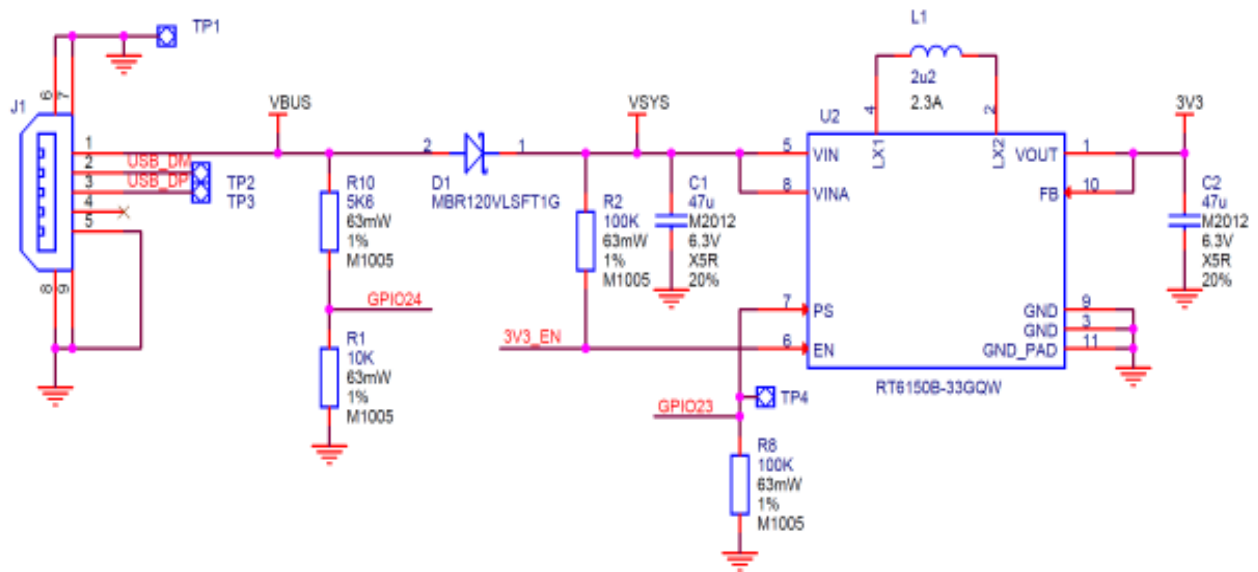
ל ADC של ה RP2040 אין מתח ייחוס במעגל ולכן הוא משתמש במתח ספק הכוח שלו כמתח ייחוס. הדק ה ADC\_AVDD בפיקו (מתח הספק של ה ADC) נוצר ממתח ה 3.3v של הספק הממותג לאחר סינון בעזרת רשת RC המורכבת מנגד של 201 אוהם וקבל 2.2 מיקרו פאראד. זהו פתרון פשוט עם החסרונות הבאים:

- מסתמכים על מתח ה 3.3v של הספק הממותג שאיננו מדויק מספיק.
- הסינון איננו מספיק ויכול להיות רועש.
- ה ADC עובד עם מתח הספק של 3.3 וולט וזהו גם מתח הייחוס ל ADC. יש שינוי זרם בין רכיב לרכיב והדבר יכול לגרום ל offset קטן ולאי דיוק קל.

לשיפור הביצועים ניתן להכניס מתח ייחוס חיצוני של 3.0 וולט בהדק ADC\_VREF יחסית לאדמה.

## 5.4 ספק הכוח בפיקו

הפיקו יכול לקבל מתח להפעלה מסוללות או ספק חיצוני. האיור הבא מתאר אפשרויות חיבור מתחי הפעלה.



איור 6 : חיבור מתח הפעלה

VBUS הוא כניסת 5 וולט מקונקטור המיקרו USB. המתח עובר דרך זיודת שוטקי – זיודה מהירה המורכבת ממתכת (האנודה) וחצי מוליך (הקתודה) - שמונעת כניסת מתח הפוך ולאחריה יש את המתח VSYS שהוא VBUS-0.2v. מתח זה מגיע ל RT6150 וזהו ספק ממותג מסוג buck-boost שיוצר מתח של 3.3 וולט עבור ה RP2040 והדקי ה IO שלו. VSYS מסונן בעזרת מסננת RC ומחולק ב 3 (על ידי R5, R6 ו C3 בצד שמאל למטה בשרטוט החשמלי) וניתן למדוד אותו בערוץ 3 של ה ADC. ניתן להשתמש בו לבדיקת מתח סוללה (לא הכי מוצלחת...).

הספק הממותג SMPS יכול לעבור ממצב buck למצב boost ולכן הוא נותן מתח של 3.3 וולט ביציאה שלו עבור מתחי כניסה מ 1.8 ועד 5.5 וולט דבר המאפשר גמישות בבחירת מקור המתח להפעלה.

GPIO24 בודק שהמתח VBUS קיים ו R1 ו R10 מושכים את קו ה VBUS ל 0 אם המתח VBUS לא נמצא.

GPIO23 שולט על הדק PS של ה RT6150. כאשר PS נמוך ( ברירת המחדל בפיקו) נמצא במצב אפנון תדר פולס – Pulse Frequency Modulation – שעבור עומס קל חוסך הספק בצורה משמעותית על ידי ההעברה למצב ON של טרנזיסטורי MOSFET מידי פעם לשמור על רמת המתח של קבלי היציאה. אם נעביר את PS לגבוה מעבירים את המייצב למצב אפנון רוחב דופק – PWM - Pulse Width Modulation. מצב זה מכריח את ה SMPS להיות ממותג קבוע דבר המקטין את הגליות עבור עומסים קלים אבל בהרבה פחות יעילות. עבור עומסים גדולים ה SMPS יהיה ב PWM ללא קשר למצב הדק PS.

הדק EN של SMPS נמשך למצב VSYS על ידי נגד של 100K ומאפשר על ידי הדק 37 של הפיקו. אם נקצר את ההדק לאדמה לא נאפשר את הספק הממותג והוא יהיה במצב הספק נמוך.

בתוך ה RP2040 יש מייצב ליניארי שמייצר מתח של 1.2 וולט ממתח ה 3.3 וולט. מתח זה מפעיל את הליבה של ה RP2040. (הוא כמובן לא נראה בשרטוט החשמלי).

## 5.5 מתח להפעלת הפיקו

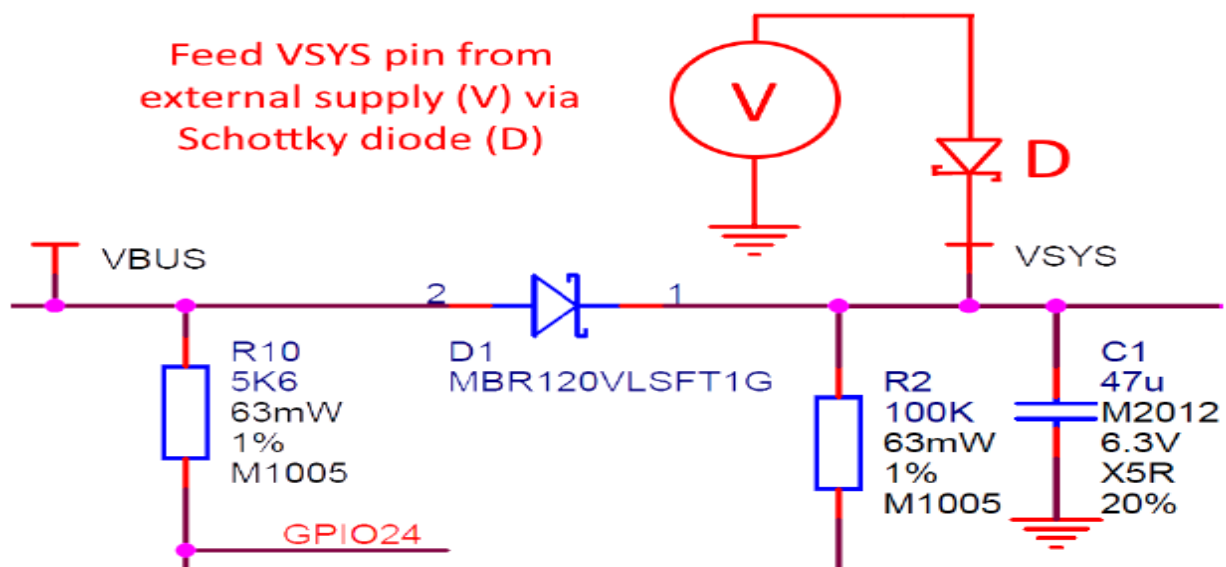
הדרך הפשוטה לחיבור מתח הפעלה הוא בעזרת כבל מיקרו USB שייתן מתח VBUS של 5 וולט לכרטיס הפיקו. המתח עובר דרך דיודת שוטקי ונקרא VSYS ששווה מתח VBUS פחות המתח על דיודת השוטקי ( כ 0.2 עד 0.25 וולט).

אם פורט ה USB הוא מקור הכוח היחיד אפשר לקצר בין VSYS ו VBUS .

אם לא משתמשים בפורט ה USB ניתן לחבר את VSYS למקור המתח ( בתחום של 1.8 עד 5.5 וולט ) .

### 5.5.1 הוספת מקור מתח עם דיודת שוטקי נוספת

הדרך הפשוטה להוסיף מקור מתח נוסף הוא לחבר אותו אל VSYS בעזרת דיודת שוטקי נוספת. האיור הבא מראה את החיבור:

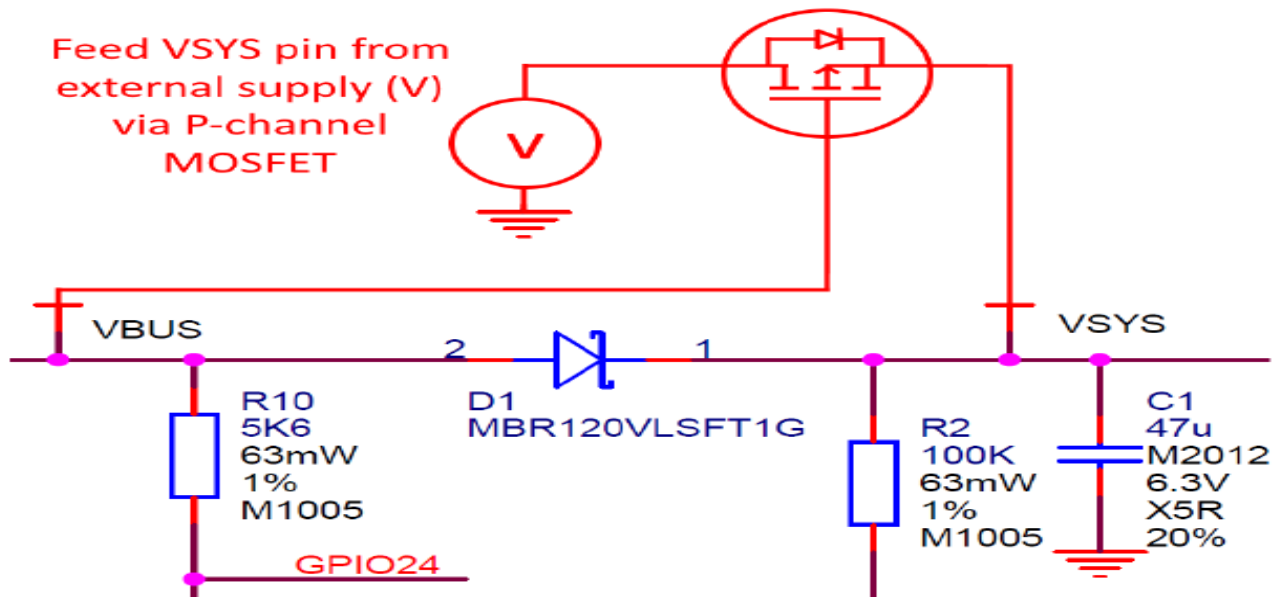


איור 7 : חיבור מקור מתח נוסף לפיקו

מצב זה נותן פעולת OR בין 2 המתחים דבר המאפשר למתח הגבוה מבין ה VBUS והמתח החיצוני לתת את המתח לקו ה VSYS . הדיודות מונעות ממקור מתח אחד להזרים דרך מקור המתח השני. לדוגמה : סוללה של ליתיום יון (מתח בין 3.0 עד 4.2 וולט) תעבוד תקין כמו גם 3 תאי AA (מתח בין 3.0 עד 4.8 וולט) וכל ספק אחר בתחום 2.3 עד 5.5 וולט. החיסרון הוא מפל מתח על דיודת השוטקי המוריד מהיעילות.

### 5.5.2 חיבור עם טרנזיסטור MOSFET

דרך טובה יותר היא עם טרנזיסטור MOSFET עם ערוץ P שיחליף את דיודת השוטקי כמו שרואים באיור הבא:



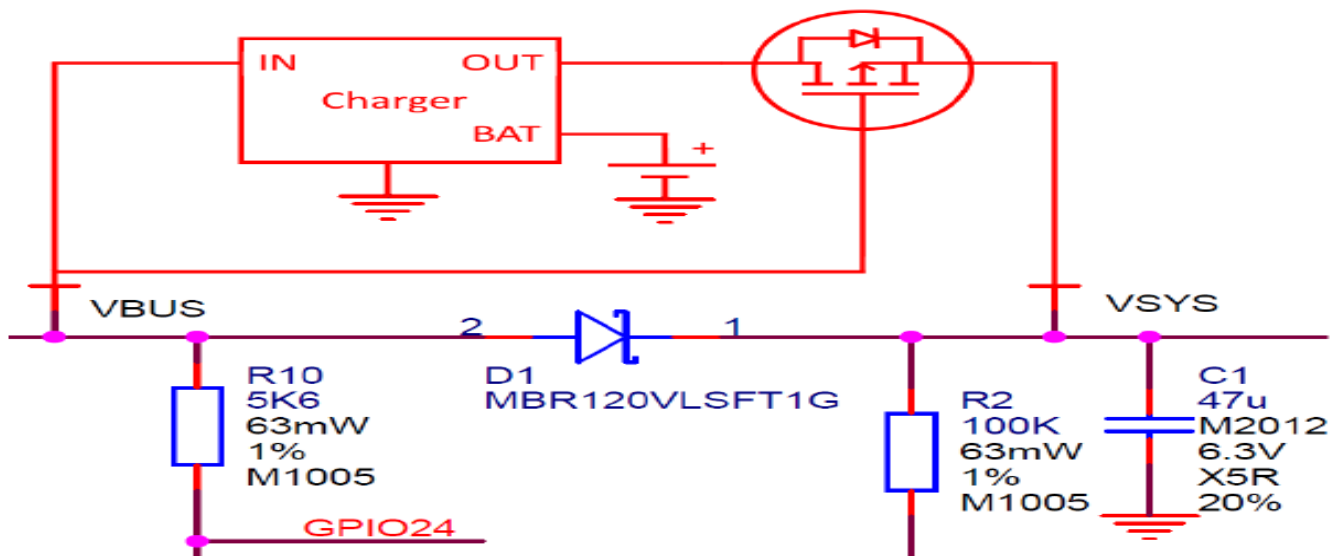
איור 8 : חיבור מקור מתח נוסף עם טרנזיסטור MOSFET

שער ה MOSFET נשלט על ידי מתח ה VBUS . כאשר קיים VBUS ה FET בקטעון ומנתק את מקור המתח הנוסף . כאשר לא קיים VBUS ה FET באזור האוהמי ( כמו רוויה בטרנזיסטור רגיל) ומקור המתח הנוסף הוא זה שנותן את המתח להפעלה. יש לבחור FET עם התנגדות  $R_{DS}$  נמוכה מאוד (עשיריות אוהמים) ובכך מתגברים על היעילות יחסית לדיודת שוטקי נוספת. גם מתח סף ההפעלה  $V_t$  ( TRESH HOLD ) חייב להיות מאוד נמוך. MOSFET כזה יכול להיות DMG2305UX.

### 5.5.3 חיבור מטען סוללה

גם כאן יש חיבור של טרנזיסטור MOSFET . במקרה הזה המתח יכול להגיע או מהסוללה המתחברת להדק BAT של המטען או מה VBUS במידה והוא קיים. הייתרון הוא שה VBUS מטעין גם את הסוללה.

האיור הבא מראה חיבור של מטען סוללה לפיקו :



איור 9 : חיבור מטען סוללות כמקור מתח

## 6. USB

ל RP2040 יש USB1.1 PHY ובקר שיכולים לעבוד במצב גם כ DEVICE וגם כ HOST . הפיקו יש 2 נגדי 27 אוהם חיצוניים שמביאים את הממשק למיקרו USB סטנדרטי.

USB1.1 PHY הוא גרסת IP של משדר/מקלט USB . הוא קולט נתונים עם DP ו DM ומעביר נתונים ל USB1.1 עם RCV , VM ו VP . המערכת מתוכננת לעבודה עם USB במהירות מלאה של 12Mbit/s או מהירות נמוכה של 1.5Mbit/s .

## 7. ניפוי DEBUG

פעולות הניפוי הבסיסיות כוללות : עצירת המעבד , צעד יחיד , גישה לאוגרים שבליבת המעבד , reset , HardFault ( סוגי תקלות שלא ניתן לטפל בהן על ידי אחד ממנגנוני התעופה האחרים. בדרך כלל זה משמש לתקלות מערכת בלתי הפיכים – unrecoverable ) , Vector Catch - המאפשר ל debugger ללכוד תעופות בהתבסס על כתובת , נקודות עצירה - breakpoints - של תוכנה בלתי מוגבלות וגישה מלאה לזיכרון המערכת. כמו כן יש 4 נקודות עצירה בחומרה , יחידת watcpoint – נקודת צפייה - התומכת ב 2 watchpoints .

watchpoints דומות מאוד ל breakpoints ומתייחסים אליהן כנקודות עצירה של נתונים. ההבדל ביניהן הוא ש breakpoint עוצרת את התוכנית כאשר מגיעים לפקודה רצויה בתוכנית ואילו watchpoint עוצרת את

התוכנית כאשר מגיעים לנתון מסוים. לדוגמה כאשר משתנה מסוים מתעדכן בנתון או כאשר כותבים לאזור במחסנית או מתבצעת קריאה מ buffer מסוים.

לפיקו יש ממשק SWD-Serial Wire Debug – ניפוי חוט טורי של 3 הדקים בחלק התחתון של הלוח.

לרכיב ה RP2040 יש משיכה למעלה pull-up בהדק SWDIO .

## 8. כתיבת תכניות לפיקו

את הראספברי פיי פיקו ניתן לתכנת עם מיקרו פייתון בתוכנה הנקראת Thonny או ב C/C++ עם IDE של ארדואינו או עם Visual Studio וישנן דרכים נוספות.

## 9. ביבליוגרפיה :

1. [Raspberry Pi Pico Datasheet](#)

2. [\(257\) Raspberry Pi Pico Complete Guide| Pinout+Features+ADC+I2C+OLED+Internal](#)

[Temperature Sensor+DHT11 - YouTube](#)