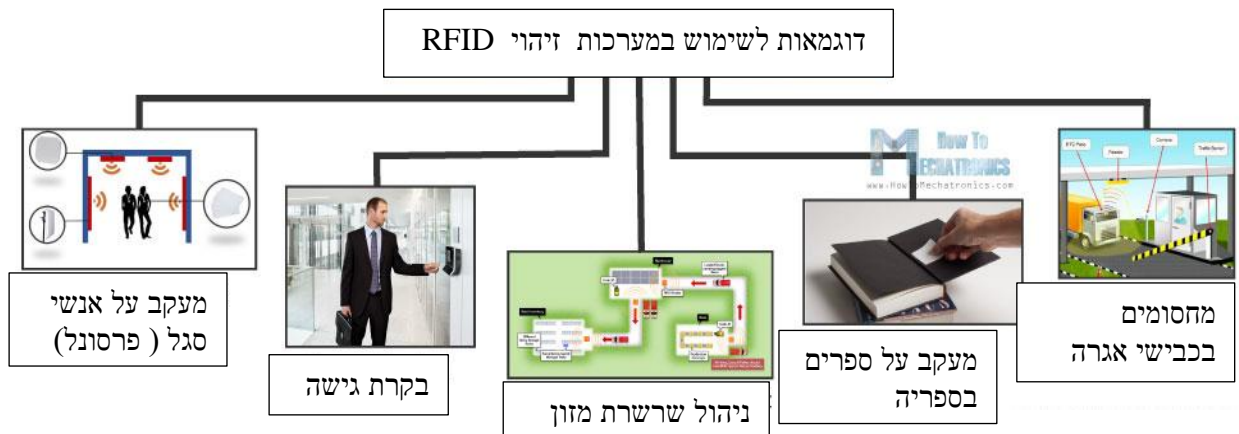


מערכת RFID ומודול - RDM6300

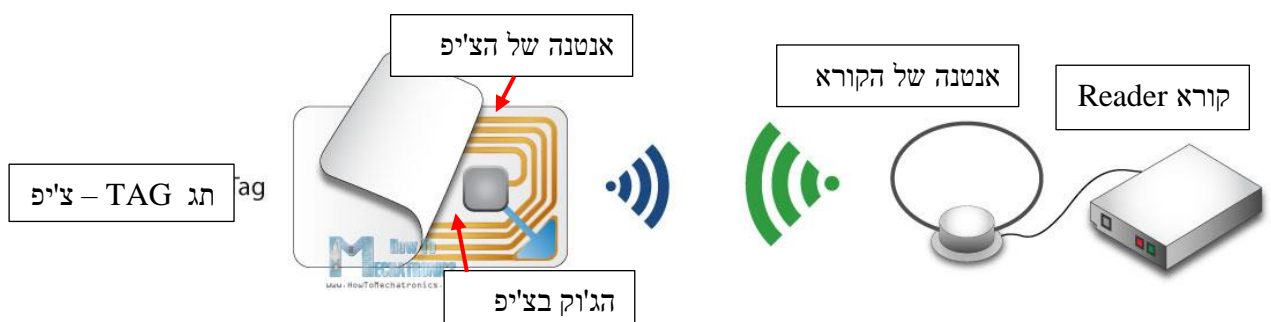
1. מבוא ל RFID

RFID הוא קיצור של Radio Frequency Identification - זיהוי תדר רדיו. זהו שימוש אלחוטי בתדר רדיו להעברת נתונים. מערכת RFID מורכבת מהמרכיבים: א. קורא - READER ב. אנטנות ג. תגים - צ'יפים. בעזרת מערכת כזו ניתן לזהות באופן ייחודי חפצים, ציוד, אנשים ולעקוב ולנהל מלאי במשרדים, מחסנים, מפעלים ומקומות עם ציוד/סחורה. אנשים הנושאים תגי RFID יכולים להיכנס למקומות עם בקרת כניסה/נוכחות (כמו משרדים, מועדוני ספורט, קאנטרי קלוב ועוד). האיור הבא מתאר מעט מהשימושים של מערכות RFID.



איור 1 : שימושים של מערכות RFID

באיור הבא רואים ממה מורכבת מערכת של RFID.



איור 2 : מערכת RFID

- תג RFID מורכב מאנטנה לקליטה ושידור של אותות ורכיב RFID (ג'וק, מעגל משולב) שבו יש את ה ID (מספר הזיהוי) של התג ונתונים נוספים. התג מצורף לאדם או לחפץ כדי שניתן יהיה לעקוב ולקרוא אותו בעזרת הקורא - Reader.
- הקורא והאנטנה שלו משדרים גלים אלקטרו מגנטיים בתדר רדיו אל התג (בצבע ירוק). התג קולט את הגלים האלקטרו מגנטיים ששודרו מהאנטנה של הקורא ומשדר נתונים בעזרת גלים אלקטרו מגנטיים בתדר רדיו (באיור בצבע כחול), את מספר הזיהוי שלו

לאנטנה של הקורא. הקורא מעבד את הנתון ומתנהג בהתאם (לדוגמה מאפשר פתיחת דלת ביישום של בקרת גישה). הוא יכול גם להעביר נתונים מתאימים אל מחשב אישי או מחשב מארח.

ישנם סוגים שונים של מערכות זיהוי RFID השונים ביניהם בטווח שבו הקורא מזהה את התג (מטווח של סנטימטרים בודדים ועד מעל ל 20 מטר ואפילו 100 מטר) . הבדל נוסף הוא בתחום תדר העבודה של הקורא והתג.

קיימים שלושה טווחי תדרים עיקריים המשמשים לשידורי RFID - א. תדר נמוך . ב. תדר גבוה. ג. תדר אולטרה גבוה.

1.1 - תדר נמוך - LF - Low Frequency

- * טווח תדרים הוא בין 30 קילו הרץ עד 300 קילו הרץ.
- * תחום תדרים ראשי (שבדרך כלל משתמשים) בין 125 קילו הרץ ל 134 קילו הרץ.
- * טווח קריאה – מגיעה ועד 10 ס"מ .
- * מחיר ממוצע של תג – 0.75\$ עד 5\$.
- * יישומים – מעקב על חיות, בקרת גישה , מפתח למכונית ועוד.
- * בעד - מחיר, עובד טוב ליד נוזלים ומתכות, סטנדרטים גלובליים.
- * נגד – טווח קריאה קצר מאוד, כמות זיכרון קטנה, קצב תקשורת נמוך.

1.2 : תדר גבוה - HF - High Frequency

- * תדר ראשי של 13.56 מגה הרץ.
- * טווח קריאה – מכמעט מגע ועד 30 ס"מ.
- * מחיר ממוצע של תג – 0.2\$ עד 10\$.
- * יישומים – ספריות ספרים, כרטיסי זיהוי אישיים, ציפים של משחקים/פוקר.
- * בעד – פרוטוקול NFC (Near Field Communication - תקשורת בשדה קרוב) המוכר על ידי ISO - מכון הסטנדרטים הבינלאומי , אופציה לזיכרון גדול.
- * נגד – טווח קריאה קצר, קצב תקשורת נמוך.

1.3 - תדר אולטרה גבוה - UHF - Ultra High Frequency

- * תחום תדרים מ 300 מגה הרץ ועד 3000 מגה הרץ.
- * תדרים ראשיים של 433 מגה הרץ ובין 680 מגה הרץ עד 960 מגה הרץ.

1.3.1 סוגי RFID בתחום ה UHF

- קיימים 2 סוגי RFID בתחום ה UHF : א. RFID אקטיבי ב. RFID פסיבי .
- ב RFID אקטיבי גם לקורא וגם לתג יש סוללה והם יכולים לעורר אחד את השני.
- ב RFID פסיבי לתג אין סוללה. הוא מופעל על ידי השדה האלקטרו מגנטי של הקורא שיוצר מקור מתח בתג ואז התג מעביר נתונים לקורא.

1.3.2 RFID אקטיבי

- עבודה בתדר 433MHz (תדר מורשה לשימוש אזרחי) . ניתן לעבוד גם בתדר 2.45GHz בתחום EHF - Extremely High Frequency Range .
- טווח קריאה – 30 ס"מ עד יותר מ 100 מטר .
- מחיר ממוצע של תג – 25\$ עד 50\$.
- יישומים – מעקב אחרי משאיות , ייצור אוטומטי , כרייה , בנייה ומעקבים .
- בעד – טווח קריאה ארוך, מחיר ייצור נמוך (יחסי לפסיבי) , זיכרון גדול, קצב תקשורת גבוה.
- נגד – מחיר תג גבוה, בגלל שימוש בסוללות יש הגבלות במשלוחים , נדרשת תוכנה מורכבת, יש הפרעות מנוזלים ומתכות, מעט סטנדרטים גלובליים .

1.3.3 RFID פסיבי .

- * עבודה בתדר מ 760 מגה הרץ עד 960 מגה הרץ .
- * טווח קריאה - עד 25 מטר .
- * מחיר ממוצע של תג 0.09\$ עד 20\$.
- * יישומים – עקיבה על שרשרת אספקה , ייצור , רפואה, כבישי אגרה , מעקב מלאי , תחרות ריצה.
- * בעד – טווח קריאה גדול, מחיר תג נמוך, מגוון רחב של תגים וצורות, סטנדרטים גלובליים, קצב תקשורת גבוה.
- * נגד – מחיר הציוד גבוה, זיכרון לא גדול , הפרעות ממים ומתכת.

1.3.4 - תת קבוצות ב RFID פסיבי .

תחום התדר הרחב שבין 860 עד 960 מגה הרץ מוכר כסטנדרט גלובלי של UHF ל RFID פסיבי. נתחום מחולק ל 2 תת אזורים ראשיים : א. 865 עד 868 מגה הרץ ב. 902 עד 928 מגה הרץ

תחום 865 – 868 מגה הרץ

מכון התקנים האירופי לטלקומוניקציה (טלפון, רדיו, טלוויזיה וכו') - ESTI - European Telecommunication Standards Institute - מרשה לציוד RFUD לעבוד רק בתחום הזה בגלל שסוגי תקשורת רדיו ממוקמים בתחום בין 860 עד 960 מגה הרץ

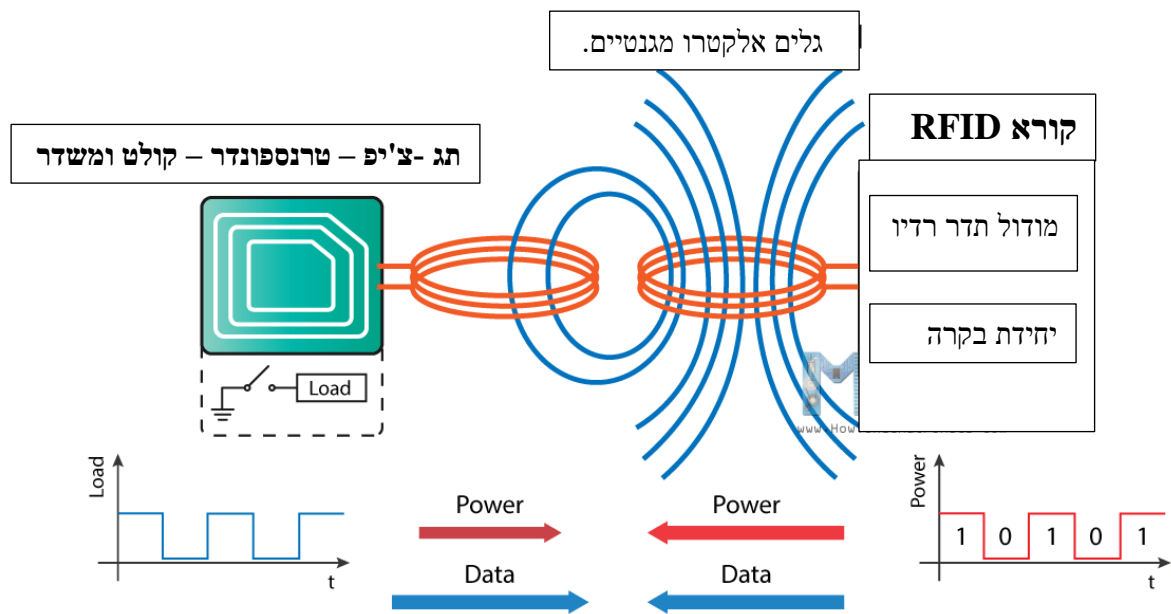
תחום 902 – 928 מגה הרץ

ועדת התקשורת הפדרלית בארצות הברית מאפשרת עבודה רק בתחום זה כי מערכות תקשורת נוספות עובדות בתחום זה.

2. על תגים וקוראים – Tags and Readers

2.1 הקשר בין הקורא והתג

האיור הבא מראה את הקשר בין הקורא והתג.



איור 3 : הקשר בין הקורא והתג.

קורא ה-RFID מורכב ממודול תדר רדיו, יחידת בקרה וסליל אנטנה. מהצד השני נמצא התג שהוא בדרך כלל רכיב פסיבי ללא סוללה פנימית. הוא מורכב רק מאנטנה ושבב אלקטרוני. הקורא מייצר שדה אלקטרומגנטי בתדר רדיו. כאשר מקרבים את התג לשדה האלקטרומגנטי של המשדר, בגלל האינדוקציה (השראות), נוצר מתח בסליל האנטנה שלה והמתח משמש כמקור מתח לשבב - ג'וק - שמשדר בחזרה אל הקורא. באיור רואים שהמשדר משדר נתונים - אפסים ואחדים - בצבע כחול הנקראים Data ונתונים אלו משמשים כהספק - Power בצבע אדום לתג. בתוך האפסים והאחדים יש תדר רדיו וההספק שמגיע לתג מעורר אותו לעבודה. התג מפעיל טכניקה הנקראת הפעלת עומסים - **load manipulation**. ההודעה מורכבת מנתונים של 0 ו 1 הגורמים הפעלה וביטול של טעינה באנטנה של התג שמשפיעה על צריכת ההספק של אנטנת הקורא שניתן למדוד כירידה במתח. שינויים אלה במתח החשמלי יילכדו כאחדים ואפסים וככה הנתונים יועברו מהתג לקורא. יש גם דרך נוספת להעברת נתונים בין הקורא לתג, הנקראת **backscattered coupling** - צימוד אחורי. במקרה זה, התג משתמש בחלק מהכוח שהתקבל ליצירת שדה אלקטרומגנטי אחר אשר ייאסף על ידי האנטנה של הקורא.

נסכם את תהליך קריאת התג עם הסבר חשמלי. התהליך הוא כך:

- הקורא משדר בעזרת האנטנה שלו גלי רדיו.
- גם לתג יש אנטנה הקולטת את האנרגיה שבגלי הרדיו של הקורא.
- גלי הרדיו של הקורא יוצרים בסליל האנטנה שלו שטף מגנטי משתנה. סליל האנטנה של התג נמצא בשדה מגנטי משתנה וכתוצאה מכך נוצר בו מתח חשמלי הנקרא כוח אלקטרו מגנטי מושרה - כ.א.מ.
- מתח החילופין מיושר ומשמש כסוללה - מקור מתח - למעגלים המשולבים שבתג המשדרים בחזרה אל אנטנת הקורא גלי רדיו עם הנתונים של התג.
- סליל האנטנה של הקורא נמצא בתוך הגלים האלקטרומגנטיים של התג ולכן נוצר בו כ.א.מ מושרה והקורא מזהה את האפסים והאחדים שבנתון.

2.2 תגים

קיימים סוגים שונים של תגים הנבדלים ביניהם בתדר העבודה, בגודל בצורה ובמחיר. התגים מופיעים בצורות שונות ורבות. הנפוצים יותר בנויים מפלסטיק עגול צבעוני בגודל מטבע גדול המשמש לבקרת כניסה כמו בקאנטרי קלאב או מכוני כושר, או כרטיסים בדומה לכרטיסי אשראי. באיור הבא מתואר מבנה פנימי של תג הנפוץ בכניסות למכוני כושר, קאנטרי קלאב ועוד.



איור 4 : מצד ימין תג כרטיס, באמצע תג פלסטיק ומשמאל מבט לתוך התג.

בכל תג יש 4 בנקים של זיכרון הנקראים: **RESERVED**, **USER**, **TID**, **ECP**. בנקים אלו מכילים מידע על החפץ שאליו הוא מצורף (כמו חבילה או בעל חיים) או מידע על התג עצמו. התג משדר את הנתונים מאחד מ 4 הבנקים לפי השימוש הרצוי. בנק זיכרון **EPC** – Electronic Product Code - קוד מוצר אלקטרוני – יכול להיות מ 96 ועד 496 ביטים . ביטים אלו יכולים להיות הקוד של היצרן או סתם מספר ייחודי ראנדומאלי .

בנק זיכרון **TID** - Tag Identifier - מזהה התג. זהו מספר ראנדומאלי ייחודי שניתן על ידי היצרן ולא ניתן לשינוי. בנק זיכרון **USER** - המשתמש – יכול להיות מ 32 ביטים עד למעלה מ 64K ביטים והוא לא תמיד נמצא ברכיב. ניתן להשתמש בבנק זה לתאור המוצר/חפץ/בעל החיים שאליו מוצמד התג. הוי יכול להכיל נתונים כמו סוג המוצר, תאריך שימוש אחרון או מספר סידורי כלשהו.

בנק זיכרון **RESERVED** – שמור המכיל את סיסמת גישת נעילה המאפשרת למשתמש לנעול את זיכרון התג ולבקש את הסיסמה כאשר רוצים לראות או לערוך את זיכרון המשתמש .

ג'וקים נפוצים בתגים הוא T5557, MCFR200, MCFR250, MCFR630 של חברת Microchip .

2.3 קוראים – READERS

קורא RFID הוא "המוח" של מערכת RFID. קוראים נקראים גם "חוקרים" והם משדרים וקולטים גלי רדיו כדי לתקשר עם תגי RFID. הם בדרך כלל מחולקים לשני סוגים:

א. **FIXED RFID Readers** – קוראי RFID קבועים.

ב. **Mobile RFID Readers** – קוראי RFID ניידים.

הקוראים הקבועים ממוקמים על קירות, שולחנות או כל מיקום קבוע. תת קבוצה של קוראים קבועים הם **Integrated RFID Reader** – קורא משולב עם אנטנה משולבת בתוכו. קוראי RFID קבועים כוללים בדרך כלל יציאות אנטנה חיצוניות שיכולות להתחבר בכל מקום, מאנטנה אחת נוספת ועד לשמונה אנטנות שונות. עם תוספת של מולטיפלקסר. קוראים מסוימים יכולים להתחבר ל- עד 32 אנטנות RFID. מספר האנטנות המחוברות לקורא אחד תלוי באזור הכיסוי הנדרש עבור יישום RFID.

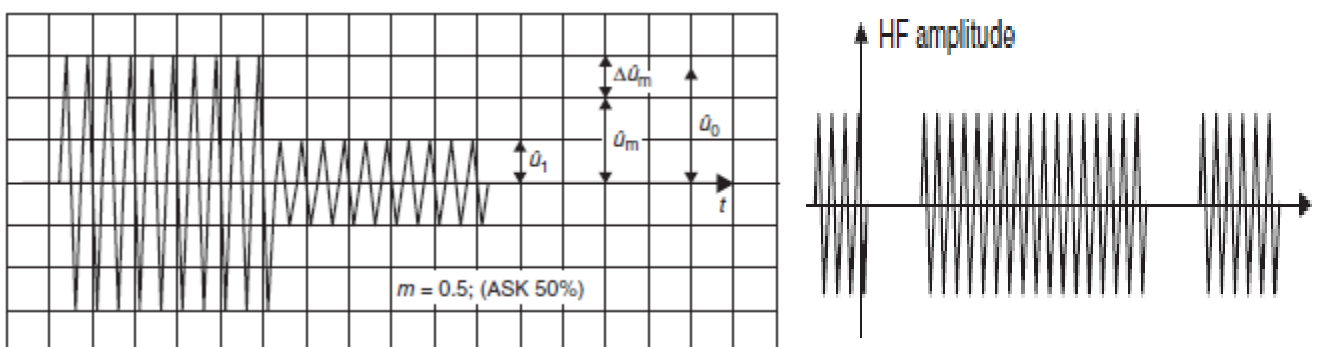
קוראים ניידים הם התקני כף-יד המאפשרים גמישות בעת קריאת תגי RFID ועדיין יכולים לקיים תקשורת עם מחשב מארח או עם התקן חכם. קיימות שתי קטגוריות עיקריות של קוראי RFID ניידים – קוראים עם מחשב מובנה, הנקרא התקני מחשב ניידים וקוראים המשתמשים בחיבור Bluetooth או עזר להתקן חכם או לטאבלט.

ג'וקים נפוצים בשימוש בתוך קוראים בתדר 125KHz הם EM4095 ו U2270B של חברת ATmel.

2.4 שיטות שידור גלי הרדיו

דיברנו על שידור נתונים של אפסים ואחדים מהקורא לתג ולהיפך. שידור האפסים והאחדים מתבצע באחת משיטות האפנון הבאות:

1. **אפנון ASK – Amplitude Shift Keying** – מפתוח זיזת אמפליטודה. האיור הבא מתאר את צורת תקשורת זו:



איור 5: אפנון ASK (מהספר RFID Handbook - המחבר Klaus Finkenzeller בהוצאת WILEY)

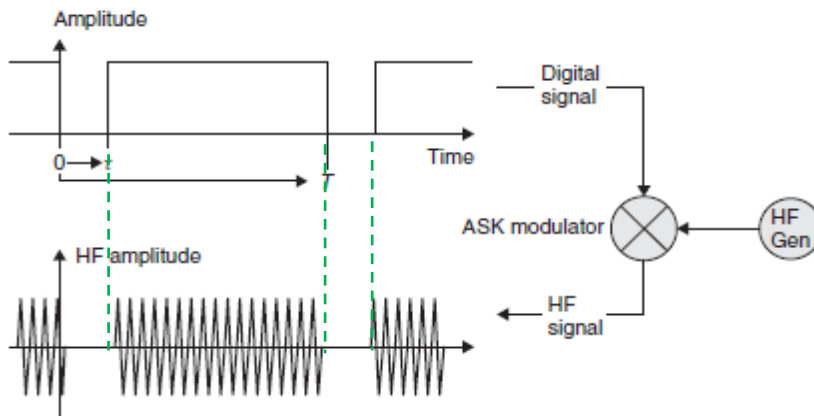
באיור רואים 2 דוגמאות לאפנון ASK. מימין עם 100% אפנון ומשמאל עם 50%. רואים שהתדר איננו משתנה בין רמת מתח אחת לשנייה. ישנן 2 רמות מתח של שידור. במצב של '1' משודר גל באמפליטודה מסוימת (בדוגמה משמאל 3 משבצות) ובמצב של '0' משודר גל של באמפליטודה אחרת (בדוגמה משמאל משבצת אחת). במקרה כזה ה duty factor המסומן באות m שווה ל m=0.5 לפי הנוסחה:

$$m = (u_1 - u_0) / (u_1 + u_0)$$

הם האמפליטודות של המתח במצב 1 ו 0 בהתאמה.

באיור מימין m=100%.

באיור הבא מתואר כיצד ליצור אפנון ASK עם m=100%:

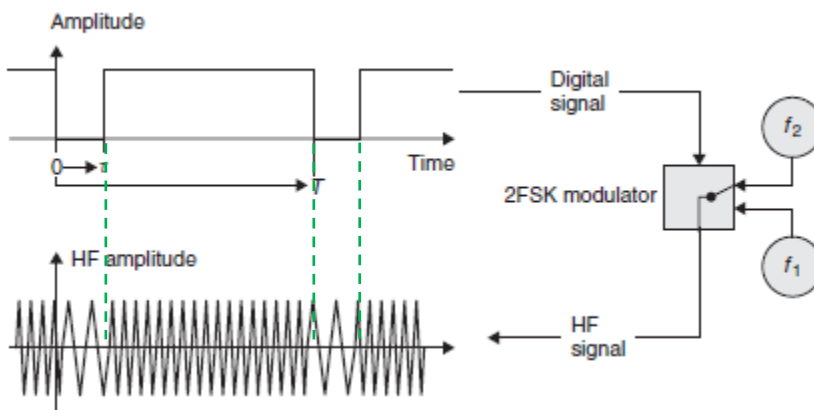


איור 6: יצירת אפנון ASK (מהספר RFID Handbook - המחבר Klaus Finkenzeller בהוצאת WILEY)

אות דיגיטאלי נכנס בצד שמאל של האיור ומגיע אל אפנון ASK (ASK modulator). האפנון מקבל מצד ימין את אות החילופין ממחולל תדר גבוה (HF Gen). אות זה נקרא הגל הנושא. בחלק התחתון של האפנון מקבלים את הגל המאופנן עם m=100%. במצב '1' יש שידור ובמצב '0' אין שידור. תדר הגל מהאפנון יכול להיות בתדר מחולל ה HF או באחת ממכפלות התדר של המחולל (לפי פוריה).

2.5 אפנון 2 FSK - 2 Frequency Shift Keying - מפתוח זיזת תדר עם 2 תדרים שונים.

האיור הבא מתאר שיטת אפנון זו:

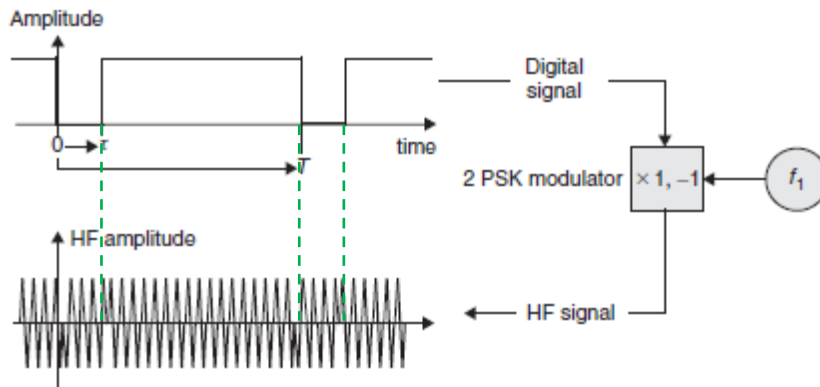


איור 7: אפנון 2 FSK (מהספר RFID Handbook - המחבר Klaus Finkenzeller בהוצאת WILEY)

באיור רואים בצד שמאל למעלה את האות הדיגיטאלי הנכנס לאפנן 2FSK. האות הדיגיטאלי ממתג את המפסק האלקטרוני שבאפנן. במצב '0' נכנס תדר f_1 ובמצב '1' נכנס תדר f_2 . האות המאופנן יוצא בחלק התחתון של האפנן ונראה בצד שמאל למטה. כאן האמפליטודה של הגל הנושא איננה משתנית אלא עובדים עם 2 תדרי גל נושא שונים.

2.6 - אפנון 2 PSK – Phase shift Keying - 2 - מפתוח זיזת פאזה.

באיור הבא מתואר אפנון PSK.

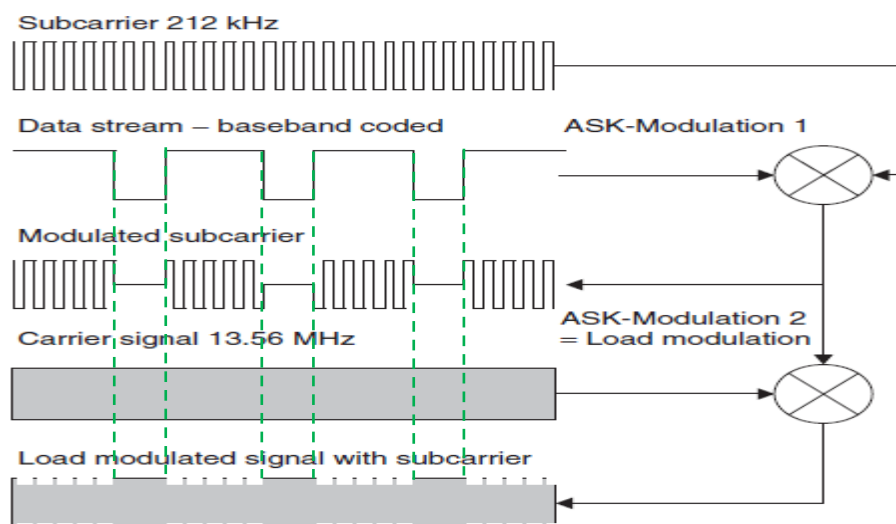


איור 8 : אפנון 2 PSK

באיור רואים שעבור כל רמת מתח משנים את הפאזה של תדר הגל הנושא ב 180 מעלות.

2.7 אפנון מרובה - Multiple Modulation

ישנה אפשרות לבצע אפנון מספר פעמים. האיור הבא מסביר את התהליך :



איור 9 : אפנון מרובה.

באיור רואים 2 אפננים מסוג ASK. האפנן העליון מקבל מצד ימין שלו גל נושא בתדר 212 קילו הרץ. מצד שמאל הוא מקבל את המידע הדיגיטאלי. ביציאה שלו מקבלים גל מאופנן ASK עם $m=100\%$, כלומר כשיש בנתון הדיגיטאלי '1' יש תדר גל נושא של 212 קילו הרץ וכאשר יש '0' אין תדר נושא. ראשון הנכנס לאפנן השני. האפנן השני מקבל תדר של 13.56 מגה הרץ וביציאת אפנן ה-ASK השני מקבלים את צורת הגל התחתונה שמשמאל למטה והיא עם m שונה מ-100%. כלומר כאשר יש '1' משדרים גל נושא בתדר 13.56 מגה הרץ ובאמפליטודה מסוימת וכאשר יש '0' משדרים גל נושא בתדר 13.56 מגה הרץ באמפליטודה גבוהה יותר (בדוגמה כאן משדרים ברמה של '0' מתח גבוה יותר מזה של רמה '1'). לא רואים באיור את התדר 13.56 מגה הרץ כי מראים את התדר של ה-212 קילו הרץ ובתוך כל מחזור של 212 קילו יש כ-64 מחזורים של 13.56 מגה הרץ ולא ניתן לתאר זאת בציור.

2.8 קוד מנצ'סטר

התג ייצור שינוי רמה באמצע הביט. מעבר מנמוך לגבוה מייצג מצב של '1' ומעבר מגבוה לנמוך מייצג מצב של '0'.

Binary data | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Modulator Control 

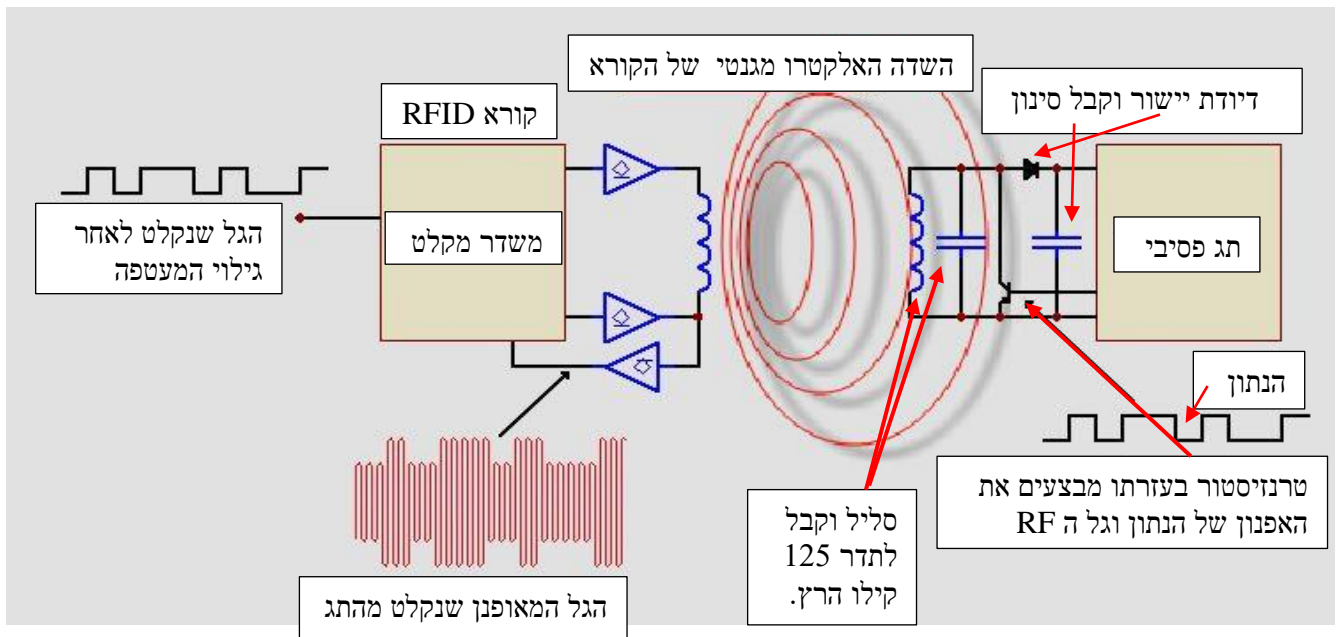
איור 10 : קידוד מנצ'סטר

מהאיור רואים :

- כאשר יש '1' יש מעבר באמצע הביט ל '1'. בסיום הביט בודקים מה עם הביט הבא. הוא הוא '1' אז יורדים ל 0 ובאמצע הביט שוב עולים ל '1'.
- אם הביט הוא '1' ומגיע ביט של '0' אז נשארים ב '1' ובאמצע הביט של ה '0' יורדים ל '0'.
- אם נמצאים ב 0 וממשיך להגיע ביט של '0' אז עולים בתחילת הביט החדש ל'1' ובאמצע הביט יורדים ל '0'.
- אם נמצאים ב '0' ומגיע ביט של '1' אז נשארים ב '0' ובאמצע הביט עולים ל '1'.

2.9 הסבר נוסף : איך עובדת מערכת RFID ?

באיור הבא מתוארת פעולת מערכת RFID טיפוסית. התגים מכילים מידע החל ממספר ביטים בודדים ועד מערך של ביטים שיכול לתאר קוד זיהוי, מידע רפואי אישי, או כל סוג מידע שנרצה לשמור בצורה בינארית.



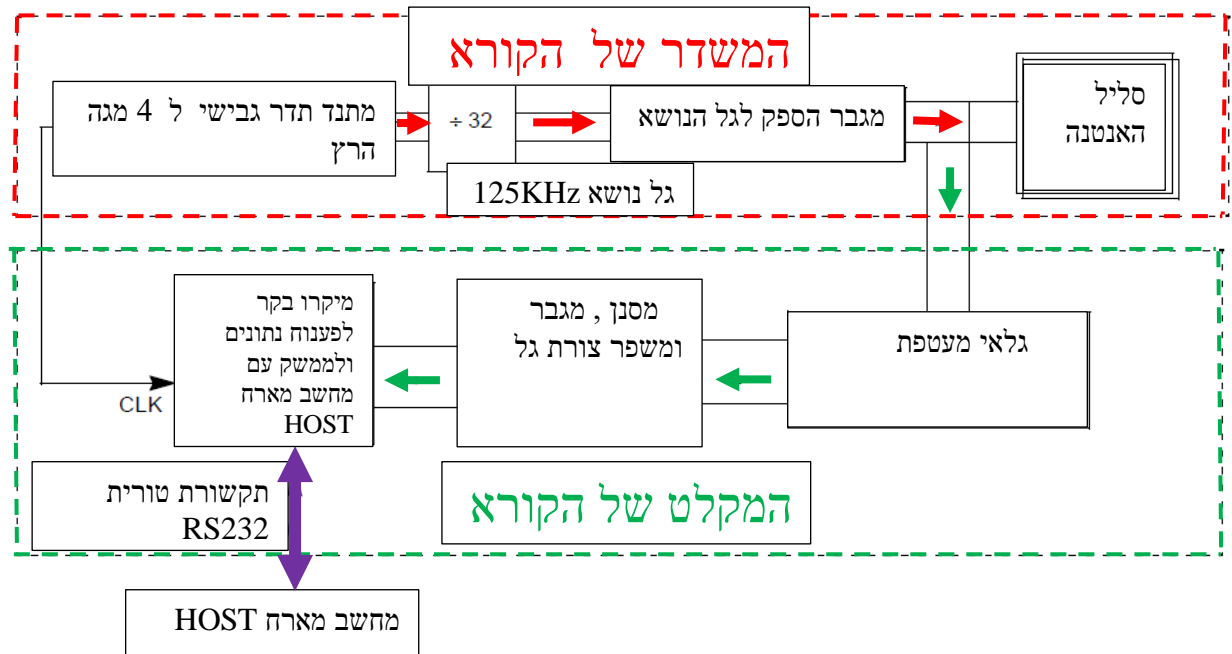
איור 11 : איך עובדת מערכת RFID ?

באיור רואים את הקורא שנקרא באיור TRANSCEIVER (קיצור של משדר מקלט) המתחבר אל תג פסיבי הנקרא RFID TRANSPONDER.

- הקורא שולח גלי רדיו לסליל האנטנה שלו והאנטנה משדרת גלים אלקטרו מגנטיים לאוויר.
 - כאשר התג נמצא בתוך השדה המגנטי של הקורא, בסליל האנטנה שלו מושרה מתח הנקרא כוח אלקטרו מגנטי – כ.א.מ.
 - הקבל במקביל לסליל יוצר עם הסליל מעגל תהודה מקבילי לתדר הגל הנושא ששלח הקורא. המתח המתפתח על מעגל התהודה בתג עובר יישור על ידי הדיודה וסינון על ידי הקבל שמימין לדיודה כך שעל הקבל יש מתח ישר שהוא ספק הכוח של הג'וק בתג.
 - הג'וק בתג מפעיל את הטרנזיסטור בתג ומכניס אותו לרוויה או קטעון בהתאם לאפסים והאחדים בנתון שהוא רוצה לשדר אל הקורא.
 - כאשר הטרנזיסטור ברוויה נשלח אל הקורא תדר גל נושא באמפליטודה אחרת מזו שבמצב שהטרנזיסטור בקטעון. סליל האנטנה משדר את הנתונים אל הקורא בעזרת גלים אלקטרו מגנטיים.
 - האנטנה של הקורא נמצאת בשדה מגנטי משתנה ומושרה בה מתח כ.א.מ הנראה בחלק התחתון באיור (מצויר באדום).
 - סוג אפנון כזה נקרא ASK (מופיע בסעיפים הקודמים).
 - בקורא יש גלאי שמגלה את המעטפת של הגל הנושא וזהו הגל שנקרא RECEIVED DATA באיור ובעברית הגל שנקלט אחרי גילוי המעטפה.
- כאשר מרחיקים את התג מהקורא הספק ממשיך לתת כוח לג'וק עוד זמן קצר והוא ממשיך לשדר עד שמתח על הקבל יורד למתח שלא מצליח להפעיל את הג'וק. הקבל ממשיך להתפרק עד ל 0 וולט.

2.10 סכמה מלבנית מפורטת של קורא RFID

האיור הבא מתאר את המלבנים הנמצאים במערכת הקורא של RFID.



איור 12 : סכמה מלבנית של מערכת RFID

החלק המקווקו באדום הוא החלק המשדר של הקורא והחלק הירוק הוא החלק הקולט. החיצים האדומים – הגל המשודר. החיצים הירוקים – הגל הנקלט.

2.10.1 בחלק המשדר יש את המעגלים ליצירת הגל הנושא (125KHz), מגבר הספק ואת סליל האנטנה.

בצד שמאל למעלה יש מתנד גבישי לתדר של 4 מגה הרץ. תדר זה מחולק ב 32 ומקבלים את תדר ה 125KHz. תדר זה נקרא תדר גל נושא – Carrier Wave. תדר זה מוגבר על ידי מגבר ההספק ועובר לסליל האנטנה המחובר במקביל לקבל (שלא נראה באיור) ויוצרים מעגל תהודה לתדר 125KHz. האנטנה משדרת את הגל לאוויר. כל מדינה מגבילה את עצמת הקרינה המותרת. בארצות הברית הרמה היא של 19.2 מיקרו וולט לכל מטר, כך שבמרחק של כ 30 מטר מהמערכת היא לא צריכה להיות מורגשת.

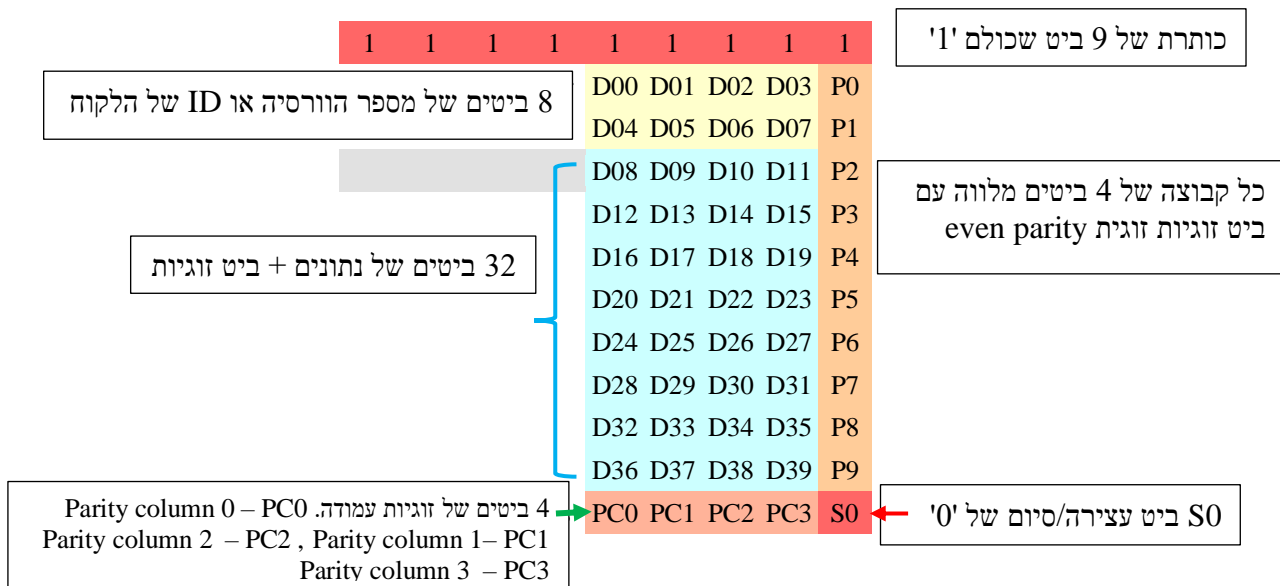
2.10.2 בחלק הקליטה של הקורא נמצא את המעגלים הבאים : א. האנטנה – במערכת הקוראת תגים/כרטיסים מטווח קרוב יש אנטנה אחת לשידור ולקליטה. במערכת לקריאת תגים/כרטיסים לטווח רחוק יש 2 אנטנות נפרדות, אחת לשידור ואחת לקליטה. ב.

בגלאי המעטפת עבור אפנון ASK יש דיודה ליישור וקבל ונגד שתפקידם להטען למתח המעטפת של הגל הנושא וכך לגלות את האמפליטודה של הגל הנושא וכך מגלים את האפסים והאחדים של הנתון. ג. מסנן להעברת תדר 125 קילו הרץ וסינון רעשים לאדמה. ד. מגבר ומשפר צורת גל שתפקידו להפוך את זמני העלייה והירידה בגל שיוצא מגלאי המעטפת לגל ריבועי. ה. הגל המשופר נכנס ל מיקרו בקר, שם הוא עובר עיבוד כדי להפוך את האפסים והאחדים לנתונים מובנים. ו. המיקרו בקר יכול גם להתקשר למחשב מארח בתקשורת RS232 ולהעביר לו את הנתונים שנקלטו.

2.11 פרוטוקול EM4100

כדי שהקורא יוכל לקרוא את האינפורמציה שנמצאת בתג הקורא צריך לדעת את הפרוטוקול כדי שיוכל כדי שיוכל לחלץ את הנתונים כראוי. אחד הפורמטים הנפוצים של תגים הוא פרוטוקול EM4100. שמו ניתן לו כי הג'וק בתוך התג הוא בקר של חברת EM Microelectronic.

בתג יש 64 ביטים של זיכרון קריאה בלבד, כלומר ניתן לקרוא מידע מהתג ולא ניתן לכתוב/לשנות את הנתונים שבו. הנתונים הנמצאים בו מתוכנת עם מידע ראשוני ולא ניתן לשנות אותו. תבנית הנתונים מוצגת באיור הבא:



איור 13: תבנית הנתונים בפרוטוקול EM4100.

משתמשים בפורמט בזוגיות זוגית – Even Parity - כלומר כמות ה'1' בנתון + ביט הזוגיות יהיה זוגי.

- 9 הביטים הראשונים הם '1' כדי לציין את תחילת המחרוזת. רצף של 9 ביטים של '1' לא יופיע בהמשך כי כאשר יש 8 פעמים '1' ביט הזוגיות יהיה '0'. מכאן בגלל שגם בביט הזוגיות יש '1' זה מראה על התחלת המחרוזת ולא על נתון.
- לאחר מכן יש 10 קבוצות של 4 ביטים ועוד ביט זוגיות. מ D00 ועד P9. כל 4 ביטים הם נתון.
- לבסוף יש 4 ביטים של זוגיות עמודה ולבסוף ביט עצירה של '0'.

לאחר מכן השידור חוזר על עצמו כל עוד יש לתג כוח להפעיל את הג'וק שבתוכו (המתח על הקבל בספק הכוח מצליח להפעיל את הג'וק ברכיב).

במחרוזת שבאיור הבא מראים דוגמה של תג עם מספר ורסיה 06 ומספרו 001259E3.

1111111110000001100000000000000000000110010101010100101110100110010001000

0 6 0 0 1 2 5 9 E 3

9 ביטים של 1 להתחלה

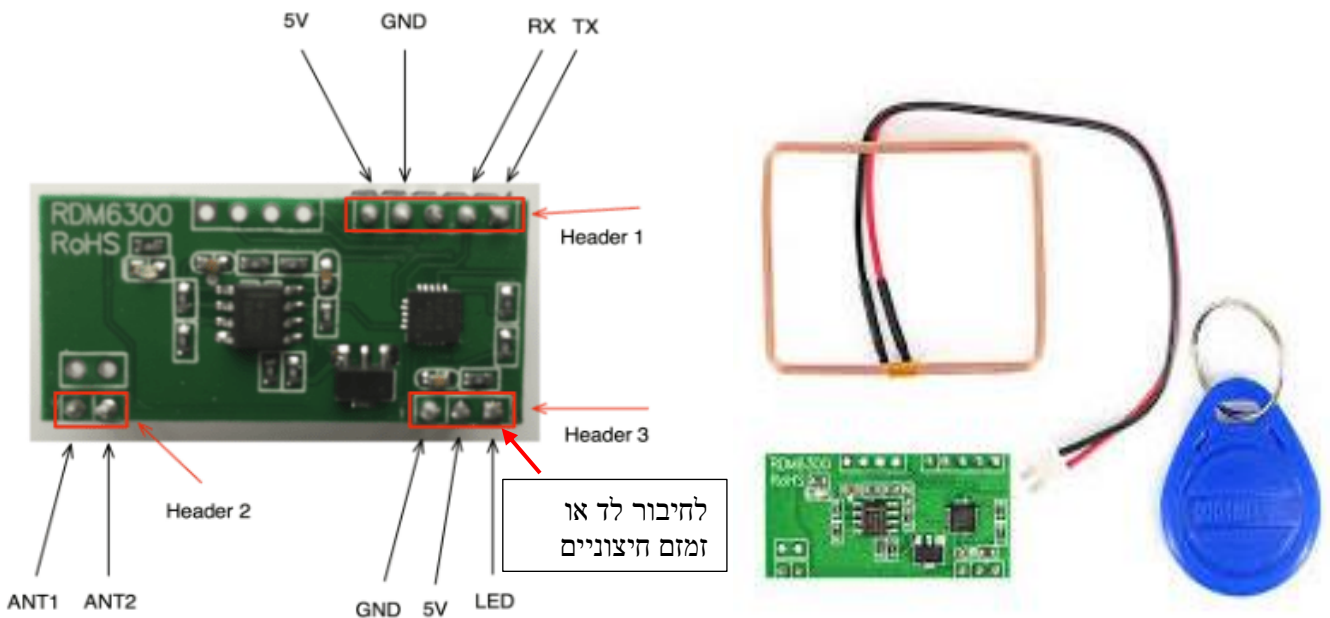
- ביט בדיקת זוגיות של עמודה ראשונה. רואים שיש 2 ביטים של 1 בביטים הירוקים ומכאן שביט הזוגיות יהיה 0.
- ביט בדיקת זוגיות של עמודה שנייה. יש 3 פעמים '1' בביטים של עמודה 2 אז בביט הזוגיות של העמודה יהיה '1'.
- ביט בדיקת זוגיות של עמודה שלישית.
- ביט בדיקת הזוגיות של עמודת רביעית. רואים שיש 4 ביטים של 1 (כל הביטים הכחולים) ולכן בביט הזוגיות יש 0.
- ביט סיום של אפס.

איור 14 : מחרוזת שידור של תג.

הביטים הצבועים בירוק הם הביט הראשון בכל רביעית נתונים וביט הזוגיות של הרביעיה. הביטים בצבע תכלת הם הביטים במיקום 4 בכל נתון. הוספת הצבע כדי שיהיה לנו קל יותר לבדוק זוגיות.

3. קורא RFID מודול RDM6300

תפקידו לקרא את הנתון – המספר - הרשום בתג (צ'יפ) RFID. באיור הבא נראים המודול והקונקטורים (מחברים) שבכרטיס. ניתן לרכוש את המודול במחיר של דולרים בודדים באינטרנט.



איור 15 : מימין באיור - מודול הקורא עם האנטנה המלבנית שלו ותג RFID. משמאל - המחברים בכרטיס מודול הקורא.

3.1 תפקיד, יישומים ומאפיינים.

בעזרת האיור הבא נסביר את תכונות שלו.

125Khz RFID module – UART

RDM 125KHz card mini-module is designed for reading code from 125KHz card compatible read-only tags and read/write card . It can be applied in office/home security, personal identification, access control, anti-forgery, interactive toy and production control systems etc.

Note: Module will notify whenever 125khz tag approaches, tag serial number will be send via TX pin. Easy way for a RFID module on MCU projects or PC connection via UartSB.

Features

- Support external antenna
- Maximum effective distance up to 50mm
- Less than 100ms decoding time
- UART TTL interface
- Support EM4100 compatible read only or read/write tags
- Built-in external bi-color LED and buzzer driver
- Small outline design

איור 16 : תפקיד ויישומים

המודול מתוכנן לקרא קוד מכרטיסים ותגים של קריאה בלבד ובתדר של 125KHz המותאמים לעבודה אתו . הוא משמש באבטחה של משרדים/בתים , זיהוי אישי, בקרת גישה, נגד זיופים, צעצוע אינטראקטיבי, בקרת ייצור והיום אפילו משמש בכניסה לרכבים ללא צורך פתיחה עם מפתח או שלט.

הערה : המודול יודיע בכל פעם שמתקרב אליו תג RFID העובד ב 125 קילו הרץ. המספר הסידורי של התג יישלח דרך הדק TX של המודול אל מיקרו בקר או חיבור למחשב PC דרך UartSB .

תכונות :

- תומך באנטנה חיצונית.
- מרחק מקסימאלי אפקטיבי מהתג 50 מ"מ (5 ס"מ).
- זמן פענוח של המספר שנשלח אליו קטן מ 100 מילי שניות.
- ממשק UART (תקשורת טורית) עם רמות מתח TTL (0 ו 5 וולט).
- ניתן לחבר אליו לד וזמזם חיצוניים .
- תומך בתגים של קריאה או קריאה/כתיבה תואמי פרוטוקול EM4100 .

3.2. פרוטוקול השידור:

באיור הבא מתואר פרוטוקול השידור מהתג אל קורא ה RFID .



Decimal value of RFID tag: $0x008EC793 = 9357203$

Checksum Calculation: $0x14 \text{ XOR } 0x00 \text{ XOR } 0x8E \text{ XOR } 0xC7 \text{ XOR } 0x93 = 0xCE$

איור 17 : פרוטוקול השידור מהצ'יפ – תג – אל הארדוואינו.

פרוטוקול השידור הוא בן 14 בתים וכולל את הדברים הבאים :

- א. בית ראשון Head שהוא כותרת (בצ'יפים – תגים - שאנחנו השתמשנו ערכו 2) .
- ב. 10 בתים המחולקים בצורה הבאה : * 2 בתים שהם הגרסה Version * 8 בתים שהם נתוני התג.
- ג. 2 בתים של בדיקת סכום checksum . הבדיקה היא פעולת XOR בין 2 הבתים של הגרסה Version לכל 2 בתים של נתוני התג שבהמשך .
- ד. זנב Tail . בדרך כלל 3 .

המרובעים בצבע תכלת הם הקוד הבינארי שנשלח מהמודול למיקרו . המרובעים הכתומים הם תרגום האסקי ASCII של הנתונים בצבע התכלת. למשל אם נקלט 30H זהו המספר 0 . 31H זה המספר 1 וכך הלאה. במידה וקלטנו 41H מדובר בתו A . 42H הוא B וכך הלאה.

המספר הראשון 2 הוא המספר של ה Head . בדרך כלל זה 2 . לאחר מכן נקלט הנתון 31H שהוא 1 באסקי . המספר הבא 34H הוא 4 אסקי וכך הלאה.

באיור הבא מתואר כיצד נקבע המספר של התג.

ז.9.ב פרוטוקול השידור:

HEX Values: 2 31 34 30 30 38 45 43 37 39 33 43 45 3

Head: 2
 HEX value to ASCII character: 1 4 0 0 8 E C 7 9 3 C E
 Data: 31 34 30 30 38 45 43 37 39 33
 Checksum: 43 45
 Tail: 3

Version: 1 4 0 0
 Tag Info: 8 E C 7 9 3 C E

Decimal value of RFID tag: $0x008EC793 = 9357203$

Checksum Calculation: $0x14 \text{ XOR } 0x00 \text{ XOR } 0x8E \text{ XOR } 0xC7 \text{ XOR } 0x93 = 0xC E$

Calculator window: 8E C793
 HEX: 8E C793
 DEC: 9,357,203
 OCT: 43 543 623
 BIN: 1000 1110 1100 0111 10

איור 18 : מציאת המספר של התג.

בשורה שלפני אחרונה באיור רואים שהמספר שנקלט הוא 8EC793 בהקסה דצימלי שהוא 9357203 עשרוני. הפעלנו את המחשבון של המחשב במצב תכנות ואכן רואים שמספר זה הוא בעשרוני : 9357203 והוא שווה למספר שיצא לנו במחשבון. בשורה התחתונה באיור מבצעים פעולת XOR בין כל 2 בתים כתומים לשניים אחרים ותוצאת הפעולה היא CEH .

ניתן דוגמה נוספת מעשית מהתג שהשתמשנו בפרויקט שלנו :

על התג שלנו יש את המספר 0001917294 כפי שרואים באיור הבא .



איור 19 : התג שהשתמשנו בפרויקט שמספרו 0001917294

היות והחלטנו שתג זה הוא זה שנעביר במצב RFID בפרויקט קראנו את הספר שלו בעזרת התוכנה שכתבנו. נבדוק האם המספר שרשום על התג הוא אכן המספר שקראנו. לאחר שקראנו את התוכן של התג קיבלנו את הנתונים הבאים הרשומים בערכם העשרוני כי כך הדפסנו במסך הטורי של הארדואינו בזמן ביצוע הבדיקה:

```
byte masterRfid[14]={2,48,51,48,48, 49, 68, 52, 49, 54, 69, 51, 49, 3};
```

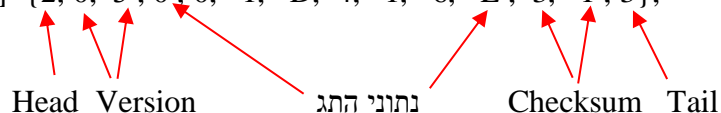
נראה שהמספר הרשום עליו והמספר שאנחנו קוראים זהים.

הבייט הראשון שהוא 2 זה ה Head . הבייט השני והשלישי הם הגרסה. 8 הבתים הבאים הם מספר הכרטיס. 2 הבתים אחר כך הם Checksum והבייט האחרון הוא ה Tail – אצלנו 3 . נהפוך כל בייט לערך האסקי שלו ונקבל :

```
byte masterRfid[14]={2,48,51,48,48, 49, 68, 52, 49, 54, 69, 51, 49, 3};
```

```
byte masterRfid[14]={2, 0, 3, 0, 0, 1, D, 4, 1, 6, E, 3, 1, 3};
```

ערך האסקי



כדי לדעת מהו מספר הכרטיס נבדוק מהו מספר הכרטיס החל מהבייט הרביעי משמאל ועד הבייט הרביעי מהסוף , כלומר רק את נתוני הכרטיס ללא הגרסה Version וללא בדיקת סיכום Checksum : 001D416E בהקסה דצימאלי. אם נהפוך את המספר לעשרוני נקבל : 0001917294 .

נבדוק את ה Checksum . הבדיקה כוללת את הגרסה , נתוני הכרטיס עד ה Checksum .

0000 0011 03H xor 00H

0000 0000

0000 0011 : תוצאה

0001 1101 xor 1DH

0001 1110 : תוצאה

0100 0001 xor 41H

0101 1111 : תוצאה

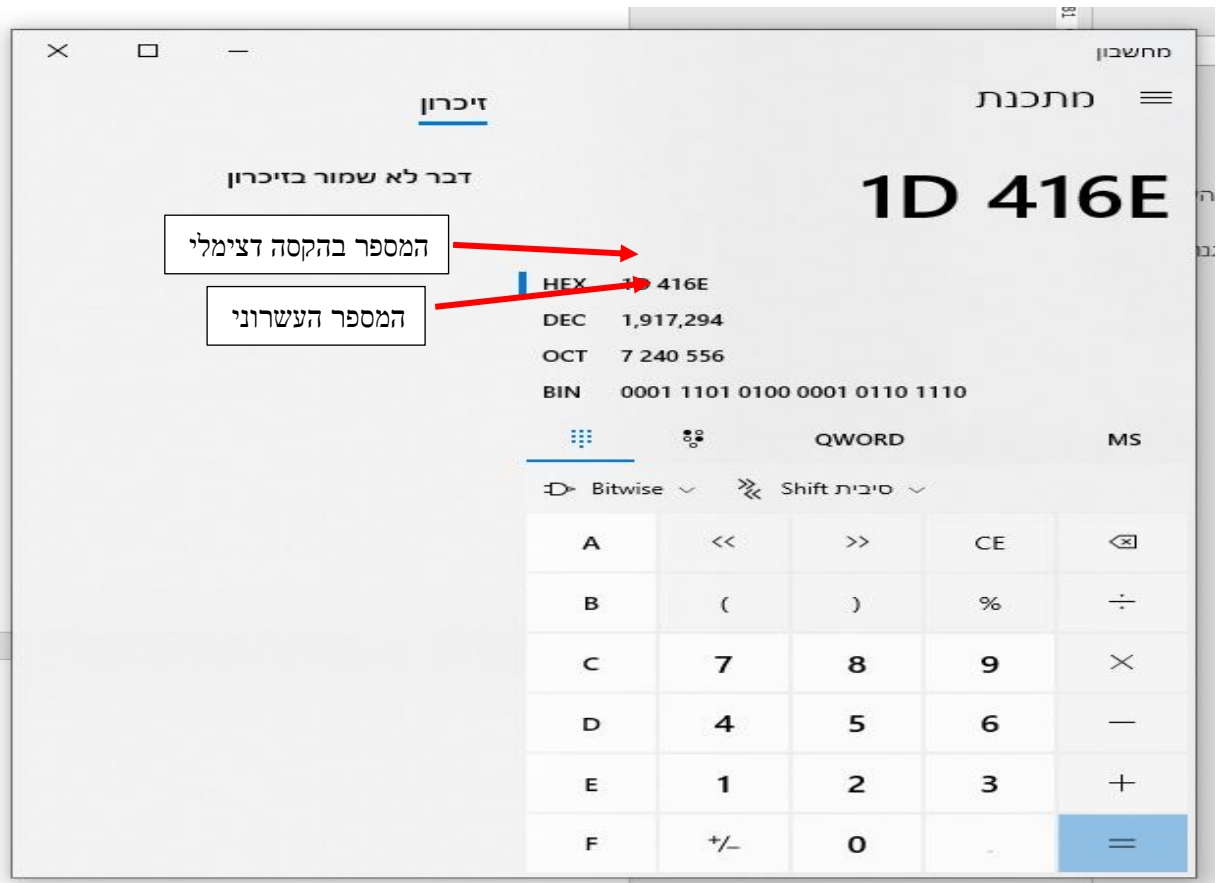
0110 1110 xor 6EH

0011 0001 : תוצאה סופית 31H

ואכן ה Checksum הנבדק הוא נכון .

הערה : באופן מעשי לא בצענו בדיקת Checksum כי ברגע שלא נקלוט נתונים נכונים המספר שנקלוט איננו המספר שהגדרנו בתוכנה ואז נצטרך לבדוק מהי הסיבה במקרה זה שהקליטה איננה נכונה.

נבדוק שאכן המספר שרשום על התג הוא מה שקיבלנו בעזרת המחשבון: 001D416e הם נתוני התג. נעביר בעזרת המחשבון של המחשב מהקסה דצימלי לעשרוני (באיור הבא) ונקבל:



איור 20 : העברה מהקסה לדצימלי בעזרת המחשבון במחשב.

4. תוכנה לארדואינו

המודול מחובר להדקים 2 ו 3 בארדואינו אונו (בארדואינו מגה יש לחבר להדק שהוא PC - Pin Changeable. התוכנית הבאה קוראת את הנתון שבצ'יפ ומשווה אותו עם קוד ידוע של צ'יפ חוקי. נעבוד עם תוכנת SoftwareSerial המדמה בתוכנה – UART של חומרה. ניתן לעבוד עם ארדואינו מגה עם כל תקשורת טורית UART מספר 1 עד 3 אבל אז יש להחליף בתוכנית את השורות שמופיע בהם המילה myRfid למילה Serial_n (מספר 21 או 2 או 3) וניתן להוריד את 2 השורות הראשונות בתוכנית. (ניתן לראות דוגמה אחרי הדוגמה הבאה).

```
#include <SoftwareSerial.h> // הכללת הספרייה הטורית שמדמה תקשורת טורית בתוכנה
SoftwareSerial myRfid(2,3); // RX, TX הגדרת אובייקט שההדקים של התקשורת הטורית שלו
byte rfidArray[14]; // לכאן ייכנסו הנתונים של הצ'יפ
byte masterRfid[14]={2,48,51,48,48, 49, 68, 52, 49, 54, 69, 51, 49, 3}; // הקוד של צ'יפ חוקי

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600); // אתחול התקשורת הטורית עם המסך הטורי ל 9600 ביטים בשנייה
  myRfid.begin(9600); // אתחול התקשורת הטורית של ה אר אף איי די לקצב 9600 ביטים בשנייה
}

void loop ()
{
  rfidRead();
}

// פונקציית הקליטה מה RFID וההדפסה למסך הטורי.

void rfidRead()
{
  int i;
  for (i=0; myRfid.available() && (i<14) ;i++) // התנאי הוא שנקלטו תווים ולא יותר מ 14 תווים
  {
    {
      rfidArray[i]= myRfid.read(); // קליטה של תו אחרי תו
      Serial.print(rfidArray[i],DEC);
    }
    Serial.println();
  }
  //Serial.print("i = ");
  //Serial.println(i);
}
```

```
// השוואה בין התווים שנקלטו ונתוני צ'יפ חוקי
if(i==14) // האם נקלטו 14 תווים ?
{
  for (i=0; i<14&&masterRfid[i]==rfidArray[i]; i++); // השוואה
  {
    if(i==14) // אם כל הנתונים זהים ?
      Serial.println("MASTER RFID");
    else // הנתונים שנקלטו אינם של צ'יפ חוקי
      Serial.println("Not MASTER RFID");
    while (myRfid.available()) // לרוקן את החוצץ הטורי
      myRfid.read();
  }
}
}
```

דוגמה נוספת לחיבור ארדואינו מגה לקורא כרטיסים RDM6300 עם תקשורת טורית Tx2

```
/*-----
```

* תוכנית לבדיקת RFID RDM6300

יש לחבר את הדק השידור TXD של כרטיס הקורא

אל אחד מהדקי הקליטה RX של כרטיס הארדואינו (בחרנו בדוגמה RX3 – הדק 15 בארדואינו)

התוכנית נכתבה על ידי אריק פורת

```
----- */
```

```
bool first; // עוזר בהוצאת הודעות למסך
byte rfidArray[14];
//byte masterRfid[14]={2,48,51,48,48, 49, 68, 52, 49, 54, 69, 51, 49, 3}; // הקוד של תג חוקי
byte masterRfid[14]={2,50,57,48,48, 66, 65, 53, 51, 70, 67, 51, 67, 3}; // הקוד של תג חוקי
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial3.begin(9600);

  first=1;
}
```

```
void loop ()
{
  rfidRead();
}

void rfidRead()
{
  int i;
  if (first)
  {
    first=0;
    // ----- ברוקן את החוצץ הטורי משאריות קודמות-----
    while(Serial3.available())
    {
      Serial3.read();
      delay(1);
    }
    Serial.println(" נא שים את התג בלולאה של הקורא ");
  }
  for (i=0; Serial3.available()>0 && (i<14) ;i++) // התנאי הוא שקלטנו 14 תווים ולא יותר
  {
    {
      rfidArray[i]=Serial3.read(); // קריאה של תו אחרי תו
      Serial.println(rfidArray[i],DEC);
      delay(1);
    }
  }
  if(i==14) // תווים 14 נקלטו האם?
  {
    for (i=0; i<14&&masterRfid[i]==rfidArray[i]; i++); // השוואה
    {
      if(i==14) // האם כל התווים שנקלטו שווים למסטר ?
        Serial.println("MASTER RFID");
    }
  }
}
```

```
else
  Serial.println("Not MASTER RFID");
Serial.println(" הסר את התג מהקורא ");
Serial.println("\n"); // צ'יפ חדש של נתונים לקרא
first=1;
delay(2000); // אם לא עושים קריאה של תג בלולאה אין סופית אז להוריד את ההשהייה
}
}
}
```

5. ביבליוגרפיה

1. RFID Handbook - המחבר Klaus Finkenzeller בהוצאת WILEY
2. האתר של Priority 1 Design .
3. howtomechatronics.com
4. דפי נתונים מהאינטרנט