

# 4XBulletin

גיליון מס' 2 אפריל 2020

תמונת החודש!



חוגגים את הפסח בתחנת חובבי הרדיו – חג שמח!

- 1 - גיליון מס' 2 אפריל 2020
- 2 - דבר העורך
- 5 - לחובב המתחיל
- 9 - קליטת שידורים ספרתיים בעזרת מקלט SDR ותוכנות פענוח
- 11 - מספר מחשבות על הטופולוגיה של הרשת
- 13 - תחרות "ארץ הקודש" 2020
- 17 - Special Award "VILNIUS GAON 300" rules
- 18 - Controlled Impedance Printed Wiring Boards

## דבר העורך

שלום חברים,  
לאחר שהתקבלו תגובות אוהדות לגיליון הראשון של ה- 4XBulletin, התחלנו בעריכת הגיליון השני והנה הוא מוצג בפניכם. להלן כמה הבהרות:

- א. שמו של העיתון הוא 4XBulletin ולא אחר כפי שסברו כמה חברים...
- ב. עיתון זה הוא במידה רבה עצמאי ויוצא לאור כיוזמה של מספר חובבי רדיו, המאמינים שרצוי שיהיה עיתון כלשהו בנושאים הקשורים לחובבות הרדיו בישראל, ובו יפורסמו כתבות על פעילות החובבים בארץ ובעולם.
- ג. בדומה לכל עיתון אחר, נביא לידיעת הקוראים חדשות שהגיעו למערכת ממקורות שונים.
- ד. אנו מעוניינים ופועלים כדי להוסיף מדורים חדשים כגון אנטנות, מידע על מבחנים לחובבי רדיו, וכאמור שיטות התקשרות בתחומים חדשים במאה ה-21.

ה. נקבל בברכה כל חומר שיישלח אלינו וכל שיתוף פעולה עם כל חובב רדיו.  
ו. לחברים אשר יש להם ידע בנושאים טכניים/תקשורתיים, אך אינם מורגלים בכתיבה:  
אנו מציעים לכם לכתוב כפי שנוח לכם, ואנו במערכת כבר נעשה הגהה ותיקון לשוני כנהוג  
במערכות האחרות.  
ז. יחסנו לאגודת חובבי הרדיו בישראל: אם כי שבשנה האחרונה התגלעו חילוקי דעות בין עורכי  
העיתון והאגודה באשר להופעתו של עיתון "הגל", שבו כתבנו במשך שנים רבות, הרי המטרה  
מקדשת את האמצעים ואנחנו נשמח לקבל מידע מאגודת חובבי הרדיו ולפרסמו כלשונו לטובת  
הקוראים.

ומה בגיליון השני?

ישראל סגורה ומסוגרת – מרבית התושבים נמצאים בסגר, וכמה מהמנהיגים שוהים בבידוד.  
ואצלנו החובבים מתנהלת פעילות שיא בקשרים בינינו בעיקר בוואטסאפ, על גלי האתר ואנו אף  
מגבירים את הפעילות על הגל הוותיק והחביב 40 מטר בתדר 7.130 מגה"ץ. אין פלא שזהו  
תמונת השער המתאימה להיום!

הגאון מווילנה, הוא כינויו של רבי אליהו בן שלמה זלמן קרמר (23/4/1720 – 9/10/1797) או  
בראשי תיבות הגר"א (הגאון רבנו אליהו) היה פוסק ומקובל שבלט במעמדו כסמכות רבנית  
עליונה, כן היה בקיא במדעים והיה ממנהיגי ההתנגדות לחסידות באירופה. אגודות רבות קיימות  
על שמו, המספרות על התמדתו הגדולה בלימוד התורה.

והנה חובבי רדיו מליטא ארגנו תחרות בינלאומית לכבוד 300 שנה להולדתו של הגאון מווילנה  
תנאי התחרות (באנגלית) שהחלה ב 1/4/2020 ותמשך עד 30/4/2020 מצורפים בהמשך. תודה  
למרק שטרן 4Z4KX (שהוא עצמו יליד ליטא) שהעביר לנו מידע זה.

משנכנס אדר מרבין בשמחה: מזה עשרות שנים מתקיימת בארץ תחרות האביב של חובבי הרדיו  
אם איני טועה פעם קראו לה תחרות הפסח ובשנים האחרונות היא ידועה בתור תחרות ארץ  
הקודש – נכון, ארץ ישראל היא קדושה לדתות ה"אברהמיות" יהדות, הנצרות והאסלם. והשם  
"HolyLand" ממש מתאים ומרתק, הלוואי והיה זה גם שם המסמל שלום עולמי.

אין ספק שזו תחרות חשובה מאוד לנו החובבים בארץ, וגם למדינת ישראל – האמירה שלנו  
בתחרות זאת לדעתי היא "חזרנו לארץ המקור שלנו – הקמנו מדינה למופת והנה אנחנו על  
המפה הבינלאומית". התחרות תתקיים בשבת 18/4/2020 שעת התחלה 00:00 עד שעת הסיום  
23:59 לפי זמן מקומי (ישראל). תנאי התחרות מצורפים בהמשך. בהצלחה לכל המשתתפים!  
תודה למרק שטרן 4Z4KX מנהל התחרות על שהעביר לנו מידע זה.

בברכת 73 ! וקריאה נעימה ! נפתלי בלבן-אוכרהנר 4Z1RM, עורך הגיליון הנוכחי.

משתתפים בגיליון זה: משה אינגר 4Z1PF, ד"ר בן ציון שעל 4X1IL, אבנר דרורי 4X1GE,  
מרק שטרן 4Z4KX, רונן פינצ'וק 4Z4ZQ.



מארגני יריד חובבי הרדיו Ham Radio 2020 בפרידריכסהפן, גרמניה, אשר מתוכנן ל-26-28 ביוני, הודיעו שהם פועלים במרץ לתכנון האירוע הקרוב, וישלחו עדכון נוסף באמצע אפריל 2020. בהודעה לעיתונות אותה פרסמו המארגנים נאמר:

הכנס בפרידריכסהפן – בשנה ה- 45 מאז שהחל, אמור להתקיים בגני התערוכה בין התאריכים 26-28 ליוני 2020 (על פי מידע מה- 31 במרץ 2020). חובבי רדיו מיבשת אירופה וממקומות שונים בעולם באים להיפגש להכיר זה את זה ולהחליף רשמים עם בעלי תחביבים דומים, ובאותה הזדמנות לצאת לקניות וטיולים באגם קונסטנץ.

"אנו פועלים באינטנסיביות על מנת לתכנן את תערוכת חובבי הרדיו הבינלאומית הקרובה מתוך הנחה שהאירוע יתקיים ולשמור על קשר הדוק עם אגודת חובבי הרדיו בגרמניה ה- DARC" מסבירה פטרה ראת'גבר מנהלת הפרויקטים. בהתייחסות להתפתחויות מגיפת וירוס הקורונה העולמית והאפשרות לביטול האירוע הנוכחי – תפורסם הודעה מיוחדת באמצע אפריל ש.ו. ועוד נמסר כי יותר מ-180 מציגים מ-32 מדינות נכחו בשנה שעברה בפרידריכסהפן, והציגו את מוצריהם בתחום קשר הרדיו וכן את הטכנולוגיות הנלוות. מועדון חובבי הרדיו בגרמניה ה-DARC מזמין אתכם להשתתף בכנס ה-71 שלו, המתוכנן להתקיים באזור אגם קונסטנץ ויכלול מפגשים והרצאות רבות. (מבוסס על מידע מאת משרד דובר התערוכה ליום 31/3/2020).

למידע נוסף: <https://www.hamradio-friedrichshafen.com/>

**חידוש רישיונות חובבי רדיו בארה"ב:** לאלה מאיתנו שיש בידם רישיון חובבים אמריקני – מסתבר שלאחרונה השתנו תנאי חידוש רישיונות אלה. נודע שרשויות ה- FCC לא שולחים רישיונות נייר בדואר. הנוהל כולו מתבצע ברשת. כידוע שהרישיונות מוענקים לתקופה של 10 שנים ולאחר מכן יש לחדש את הרישיון ל 10 נוספות. לחידוש רישיון יש למלא את כל הפרטים ולהמתין לקבלת רישיון במייל, לאחר מכן יש להדפיסו במדפסת הביתית. מצאתי חברה בארה"ב אשר מתמחה בחידוש רישיונות אמריקניים. פניתי אליהם והם ענו לי כי חידוש רישיון יתבצע תוך שבועיים. גבו אצלי 6 דולר אמריקני באמצעות כרטיס אשראי... ואתמול ממש כפי שהבטיחו – קיבלתי את הרישיון החדש במייל.

כתובת האתר: <https://buckmasterinternational.com/vec>



## לחובב המתחיל

אינגר משה 4Z1PF

*מדור זה עוסק ביסודות החשמל והאלקטרוניקה ומיועד לחובבים שבדרך ולא לשמעוניינים להשלים את ידיעותיהם בתחומים אלו. אנסה להתמקד בהסברים פיזיקליים ולהמעיט עד כמה שניתן בפיתוח משואות מתמטיות מורכבות.*

### פרק ראשון: מבנה החומר, זרם ומתח חשמלי

#### מבנה החומר

יסודות החשמל והאלקטרוניקה מבוססים על הבנה בסיסית של מבנה החומרים השונים. בפרק זה ננסה להבין עקרונות בסיסים ומושגי יסוד.

החומרים שאנו פוגשים בחיינו היומיומיים ניתן לחלק באופן גס לשתי קבוצות. קבוצת היסודות וקבוצת החומרים.

היוונים הקדמוניים ערכו "ניסיון מחשבתי". הם שאלו את עצמם וגם השיבו לשאלה: מהו החלק הקטן ביותר של החומר? נניח שניקח מטיל ברזל (או כל חומר אחר) ונחלקו לשניים והחלק שחולק נחלקו פעם נוספת וכך נמשיך בתהליך, נקבל בסופו של דבר חלק קטנטן שיותר לא נוכל לחלקו. חלק זה נקרא לו בשם אטום (אטום – בלתי מתחלק). היום אנו יודעים שגם חלק זה בנוי מאבני בניין נוספים.

החומרים הבסיסיים והפשוטים שקיימים בטבע נקראים בשם "יסודות". מאבני היסודות האלו ניתן להרכיב אינסוף חומרים. מספר אבני הבניין האלו, היסודות, הוא מספר קטן ומוגבל. מספר היסודות בטבע הוא 92 בלבד. ביניהם נמצאים ברזל, חמצן, מימן, נחושת, יוד, ניאון, אורניום ועוד. (הצלחנו לייצר במעבדה 26 יסודות נוספים אך אלו אינם יציבים ומתפרקים ליסודות פשוטים יותר).

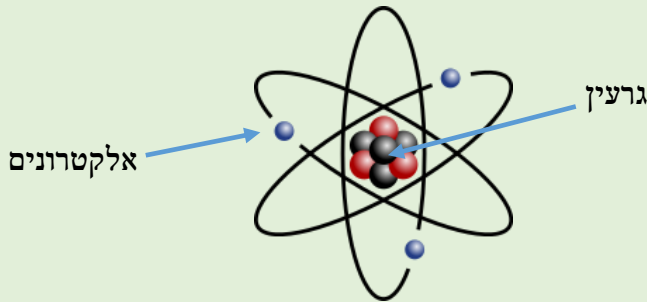
החלק הקטן ביותר של היסוד ששומר עדיין על תכונות היסוד נקרא **אטום**.

מאותן 92 אבני יסוד ניתן להרכיב חומרים שונים (שנכנה אותם בשם חומרים) למשל הרכב של מימן וחמצן ביחסים מתאימים יצור לנו חומר שמוכר לנו בשם "מים". הרכב של היסוד ברזל עם יסוד בשם פחמן יצור לנו את החומר שנקרא "פלדה". מספר האפשרויות הוא רב מפני שניתן גם להרכיב זה עם זה שלושה או ארבעה יסודות וכך הלאה.

החלק הקטן ביותר של החומרים שבנינו שעדיין שומר על תכונות אותו חומר נקרא בשם "פרודה" או "מולקולה".

עם התפתחות המדע והאפשרויות לביצוע מדידות מאוד מדויקות הסתבר שהחלק ה"בלתי מתחלק", האטום, כן ניתן לחלוקה והוא עצמו בנוי מאבני יסוד קטנים יותר. המבנה הפנימי של האטום מורכב מחלקיקים קטנים שעד לכתובת שורות אלו לא נראו ולא צולמו אבל התיאוריה שסביבם לא הופרכה עד היום.

האטום מורכב ממספר אבני יסוד ששלושה מהם הם האלקטרון, הפרוטון והניטרון. האטום הפשוט ביותר מורכב מפרוטון אחד ואלקטרון אחד זהו היסוד מימן. שאר היסודות יהיו מורכבים ממספר שונה של יסודות בניין אלו. המבנה המשוער של האטום נראה כגרעין בו דחוסים הפרוטונים והניטרונים. סביבם חגים במעגלים האלקטרונים. דומה הדבר לתנועת כוכבי הלכת סביב לשמש.



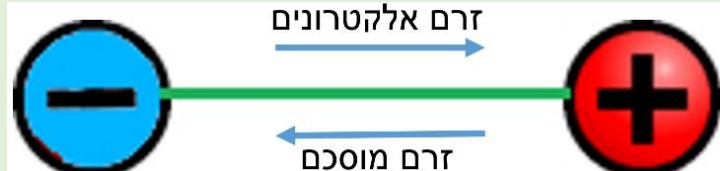
איור 1 : מבנה האטום

ניסוי לבדיקת תכונות החלקיים הוביל אותנו למסקנה שבין האלקטרונים והפרוטונים קיימים כוחות משיכה או דחיה. בין חלקיקים שווי סימן פועל כוח דחיה ובין חלקיקים שוני סימן פועל כוח משיכה. הניטרונים מבחינה זו ניטרליים ואין בינם לבין האלקטרונים או הפרוטונים כוחות משיכה או דחיה. כוחות אלו שמכונים כוחות אלקטרוסטטיים הובילו אותנו לסמן באופן מוסכם ושרירותי את האלקטרונים ב"מינוס" ואת הפרוטונים ב"פלוס". באופן דומה הגדרנו את התכונות האלו של החלקיקים כמטען שלילי (גוף שיש בו יותר אלקטרונים מאשר פרוטונים) ומטען חיובי (גוף שיש בו יותר פרוטונים מאלקטרונים). הניטרונים שאינם שותפים בכוחות האלקטרוסטטיים הם כמובן ניטרלים ומטענם אפס.

גוף שבו מספר האלקטרונים שווה למספר הפרוטונים יהיה גוף מאוזן מבחינת המטען.

גרעין האטום שמורכב מפרוטונים וניטרונים קשה מאוד לחלוקה. לעומת זאת ניתן לנתק אלקטרונים ממבנה האטום בקלות יחסית. לדוגמה על ידי חיכוך (שפשוף) חומר מסוג אחד בחומר מסוג אחר. מוכרת לנו התופעה שהורדת חולצה מגופנו גורמת לנו לחוש בכוחות משיכה בין החולצה לשערות ראשינו. תופעה שנוצרת עקב מעבר מטענים שליליים מהחולצה לגופנו. החולצה נשארת עם עודף פרוטונים (מחסור באלקטרונים שעברו עקב החיכוך לגופנו) ועודף אלקטרונים בגופנו שיוצרים כוחות משיכה בין שני מטענים שוני סימן. זרם חשמלי

באיור 2 מוצגים שני גופים הטעונים במטענים שוני סימן. בין המטענים קיימים כוחות משיכה. לגוף הטעון מטען שלילי קיים עודף אלקטרונים ולגוף החיובי עודף פרוטונים. חיבור מוליך חשמלי (לדוגמה: מוליך נחושת, זהב, כסף וכו'), בין שני הגופים יגרום לתנועת אלקטרונים מהגוף הטעון מספר רב של אלקטרונים לגוף שחסר בו אלקטרונים. תנועה מסודרת זו בין המטען השלילי לחיובי נקרא בשם "זרם אלקטרונים".



איור 2: זרם אלקטרונים וזרם מוסכם

בתחילת המחקר של תורת החשמל לא היה ברור ממה מורכב הזרם החשמלי לכן נקבע, באופן שרירותי, שכיוון הזרם הוא מהפלוס למינוס. עם התקדמות המחקר התברר ששגו בכיוון הזרם והכוון הנכון הוא בכיוון הפוך. גם לאחר הבנה זו המשיכו בעבר וגם כיום, לציין את הזרם בכיוון הפוך לתנועת האלקטרונים וזה יקרא עתה "זרם מוסכם" או "זרם חשמלי".

הזרם החשמלי יסומן באות  $I$  ויחידת הזרם תיקרא אמפר ותסומן באות  $A$ .

יחידת האמפר מבטאת את כמות האלקטרונים שעוברים במוליך במשך שניה אחת. כמות זו היא  $6.28 \times 10^{18}$  אלקטרונים. כמות זו של אלקטרונים נקראת בשם מטען של 1 קולון על שם המדען שארל-אוגוסטן דה קולון שעסק בחקר החשמל במאה ה-18.

### מתח חשמלי

הכוח שגורם לתנועת האלקטרונים מהמטען השלילי למטען החיובי (איור 2) נקרא בשם מתח חשמלי ומסומן באות  $U$  (סימונים נוספים למושג מתח יהיו  $V$  או  $E$ ).

יחידת המתח החשמלי נקראת בשם וולט על שם המדען אלסנדרו וולטה. יחידת הוולט מסומנת באות  $V$ .

אחד וולט מוגדר ככמות האנרגיה שיש להשקיע במטען של אחד קולון כדי להביאו מהאינסוף לנקודה מסוימת (הגדרה פשוטה יותר תינתן בפרק הבא).

- יסוד – אבן הבניה הפשוט ביותר בטבע. לא ניתן להרכיבו מחומרים אחרים.
- אטום – החלק הקטן ביותר של היסוד ששומר עדיין על תכונות היסוד.
- חומר – מורכב על ידי חיבור כימי של מספר יסודות.
- פרודה – החלק הקטן ביותר של החומר ששומר על תכונות החומר.
- מטען – ריכוז של אלקטרונים או אטומים בהם מספר הפרוטונים גדול ממספר האלקטרונים.
- קולון – יחידת המטען החשמלי.
- זרם – תנועה מסודרת של מטענים חשמליים.
- אמפר – יחידת הזרם החשמלי.
- מתח – הכוח שמניע את האלקטרונים.
- וולט – יחידת המתח החשמלי.





## קליטת שידורים ספרתיים בעזרת מקלט SDR ותוכנות פענוח

מאת: רונן פינצ'וק, 4Z4ZQ אפריל 2020

בשנים האחרונות התווספו לשיטות התקשורת הרגילות של חובבי הרדיו שיטות תקשורת ספרתיות. במאמר זה נסקור את האפשרויות הקיימות בידי החובב להאזין לשידורים ספרתיים, בדגש על שיטת ה-DMR (שאומצה על-ידי החובבים בישראל) בעזרת ציוד פשוט וזול.

כדי לפענח שידור ספרתי נדרש להוציא אות נקי ללא שום פילטרים מיציאת גלאי המקלט. במקלטים קונבנציונליים. הדבר דורש יציאה ישירה מגלאי ה-FM ולשם כך יש לעשות "תפירה" במקלט, ולא תמיד זה בר ביצוע.

פתרון הרבה יותר פשוט הינו שימוש במקלטים בטכנולוגיית SDR.

ישנם כיום בשוק מקלטים זולים מאוד הנקראים RTL-SDR הם נראים כמו Disk-on-Key הם משמשים במקור לקליטת טלוויזיה, אך מאפשרים קליטה מ-40 מגה"ץ עד כ-1,800 מגה"ץ, ומחירים כ-20 דולר.

היתרון במערכות SDR הוא שהמידע המפוענח במקלט נקי ללא פילטרים וקל להעבירו לתוכנות המסוגלות לפענח את האותות הספרתיים. כדי להפעיל מקלטי SDR נדרשת תוכנה ייעודית. קיימות בשוק תוכנות רבות, שהנפוצות שבהן: [SDRCONSOLE](#), [SDRSHARP](#), [HSDR](#).

מאחר ורוב התוכנות המפעילות SDR מפענחות רק AM, FM, SSB, CW דרושה תוכנה נוספת המסוגלת לפענח את השיטות הספרתיות. התוכנה הכי נפוצה לפענוח שיטות ספרתיות וביניהן גם ה-DMR היא [DSDPlus](#).

התוכנה הזאת מקבלת כניסת שמע (האמור להגיע מיציאת השמע של המקלט), ואת יציאת השמע היא מעבירה ליציאת השמע של המחשב. (הכול ניתן להגדרה). מאחר ותוכנת SDR במצב רגיל מנתבת את השמע ליציאת הרמקולים של המחשב, נדרש התקן שיתפוס את יציאת השמע של המקלט ויעביר אותו לתוך תוכנת הפענוח במקום אל הרמקולים, ויאפשר לתוכנת הפענוח להעביר את האות המפוענח ליציאת הרמקולים. הדבר הזה מתבצע בעזרת תוכנה שנקראת Virtual audio cable. תוכנת חינם כזו נקראת: [VB-AUDIO](#). היא יוצרת ערוץ וירטואלי המאפשר העברת שמע דרכו וניתובו להתקנים שונים.

ה- Setup הדרוש:

1. חיבור דונגל RTL-SDR לכניסת ה-USB

2. הורדת תוכנה בשם **ZADIG** והתקנתה. זהו דרייבר המאפשר למחשב לזהות את ה SDR ולדאוג לכך שתוכנת ה SDR תוכל לדבר אתו.
3. התקנת תוכנת **Virtual audio cable**,
4. התקנת תוכנת SDR (אחת התוכנות שהוזכרו בתחילת המאמר). בחירת המקלט המתאים בתוכנה והגדרת יציאת השמע של התוכנה במקום לרמקולים (שהיא ברירת המחדל) ל- **Virtual audio cable**.
5. התקנת תוכנת **DSDPlus**.

### הפעלה:

1. מפעילים את תוכנת ה-SDR. מכוונים לגילויי NFM עם רוחב סרט של כ-12Khz. יש לדאוג לכך שהתוכנה לא תעשה de emphasis או פילטר כלשהו על יציאת השמע, ולדאוג לכך שיציאת השמע בתוכנה תנותב ל **Virtual audio** ולא לרמקולים. (ברגע שזה יבוצע, המקלט לא ישמיע יותר רעש או גילויי ברמקולים).
2. הפעלת תוכנת ה- **DSDPlus** – יש לוודא שכניסת השמע שלה מוגדת ככניסת **Virtual audio cable**, ויציאת השמע מנותבת לרמקולים. ברגע שהמקלט יכוון לשידור ספרתי, המכיל **DMR**, תוכנת ה **DSD** תפענח אותו, והפענוח יישמע ברמקולים של המחשב.

לאחרונה יצאה תוכנת SDR חדשה שרצה בשלב זה רק על מחשב עם **Windows 64** ביט ותומכת רק בדונגל מסוג **RTL-SDR**, והיא מפענחת **DMR**. היתרון שלה בכך שהיא תוכנה בודדת המפענחת **DMR**, ללא צורך ב **Virtual audio** וב- **DSDPlus**. שם התוכנה – **OpenEar**. כל שנדרש לעשות הוא להפעיל את התוכנה לכוון לתדר הנקלט ולבחור את שיטת ה- **DMR** לפיענוח אין צורך להתקין **Virtual audio cable** ולא **DSDPlus** כמו כן אין צורך להתקין תוכנת SDR מאילו שהוזכרו קודם הכל מתבצע בתוכנה הזו.

### הערות אחדות:

1. תוכנת ה- **DSDPlus** יודעת לפענח שידורים ספרתיים נוספים חוץ מ- **DMR**, אך יש לכוון את רוחב הסרט של המקלט לרוחב הדרוש לאותה שיטה.
2. מאחר ומדובר בפענוח תוכנת, דרוש סיגנל טוב בעל יחס אות לרעש כדי לקבל פענוח טוב.
- 3 שיטות ספרתיות דורשות דיוק תדר גבוה ורוחב סרט מתאים לכן חשוב לכוון את המקלט בדיוק לתדר המדויק ולדאוג שהאות הנקלט יהיה כולו בתוך הפילטר של המקלט

### לסיכום:

בעזרת מקלט שעלותו כ-20 דולר ותוכנות חינמיות, ניתן להאזין למסרי ה- **DMR** במקום לקנות מקמ"ש יקר. מומלץ להאזין למסרי ה **DMR** של החובבים.



## מספר מחשבות על הטופולוגיה של הרשת

מאת: ד"ר בן ציון שעל 4X1IL

תקשורת המחשבים בתדר של 13 ס"מ באה לאפשר לציבור החובבים להתקשר לרשת "פרטית" אינטראנטית בלעדית המספקת להם שרותים שונים. המשמעות הזו של הרשת ניתנת למיצוי במיוחד בעיתות חרום, בעת שהתקשורת הסטנדרטית תקרוס ולא תפעל. מבנה הרשת והטופולוגיה שלו נבנים כך שבמרכז עומד החובב בנקודת הקצה, לו מיועדים השירותים והשימוש במערכת. הידע הרב שנרכש בקבוצת AREDN האמריקאית מהווה בסיס מוצק להתוויית הטופולוגיה גם באירופה וגם כאן. אם כי בגלל המבנה הטופוגרפי ואופי מצבי חירום. במצבי חרום האירועים שם הם אזוריים, לעומת המצב הלאומי הגלובלי כאן. השידרה המרכזית (Backbone) חייבת על כן לכסות את הארץ מצפון לדרום, ולתת מענה לריכוזי אוכלוסיה.

דרישות הסף של המערכת כאן מתחלקת לשניים. ראשית אפיון הדרישות למשתמש בקצה מחד. ומאידך מצד שני, הגדרות לציוד הציבורי המחבר בין החובב או קבוצת חובבים אחת לשנייה. נוכל לכנות את הציוד הציבורי כשידרה המרכזית של המערכת, כאשר היא ממוקמת במקומות גבוהים המאפשרים כיסוי טווח מירבי לריכוזי החובבים ברחבי הארץ.

הדרישות הטכניות מציוד הקצה דורשות הספק נמוך ואנטנה רב כונית לתקשורת עם חברי באזור המצומצם. במקרה של ריחוק מצומת של השידרה המרכזית יידרשו הספק גבוה יותר ואנטנה כיוונית. לחילופין, קבוצת חובבים עשויה להתקין ממסר מקומי פרטי שיחבר את הציוד שלהם לשידרה המרכזית. רוחב הסרט הנדרש לתחנת הקצה הוא מזערי, וניתן להסתפק ב-5 מה"ץ (לא מצפים להעברה של חוזי HD אפילו בחירום כשצריך לספק לדוגמא תמונות לגורם אחר). גורם מכריע הוא המחיר, ואכן רכישת ננו סטיישן לוקו בתדר של 5 גה"ץ תעלה כפליים מזו של 2.4 גה"ץ. על כן, ובהתחשב כי רוב המערכות הן נקודות קצה יש לדבוק בהנחה של שימוש בתדר של 13 ס"מ עבורם. מה גם שמספר הערוצים הבלעדי בתחום הזה העומד לרשותנו מוגבל לשניים, כאשר בשאר הערוצים חולקים עמנו כל עם ישראל עם ציוד הויי פיי, והרעש בהתאם.

הפרמטרים לשידרה המרכזית הם שונים בהחלט. ניתן לכסות את הארץ כולה מצפון ועד דרום עם שבעה או שמונה צמתים. המרחקים בין צומת לצומת עשויים להגיע עד מאה קילומטרים ויותר. ולכן נדרש ציוד בעל הספק, ואנטנות בעלות שבח גבוה. יתרה מזו למערכת נדרש רוחב סרט נרחב (20 מה"ץ ויותר) להעברה התעבורה מרכזית בעורקים הראשיים. וכל זאת דורש רוהב גל בעל מספר רב של ערוצים שלא יפריעו לפעילות, ובעיקר יהיה גל שקט.

הדרישות הללו מתקיימות בציוד המיועד לפעול בשני התחומים הבאים: תחום ה-3.5 גה"ץ ותחום 5 גה"ץ שהם בלעדיים עבורינו כחובבי רדיו (אם כי על בסיס משני, שאומר באם קיימת הפרעה יש להפסיק את הפעילות. אבל בפועל לא נראה שמצב כזה יתקיים). קיים ציוד להפעלה בתדר של 3.5 גה"ץ, אולם הוא יקר לרכישה בהשוואה לשאר. ולכן הפיתרון בכללותו הוא ציוד מתאים בתחום 5 גה"ץ.

יוצאים מן הכלל יהיו עורקים שההפעלה ב-5 גה"ץ לא תצלח. אזי ניתן לעבור לתדר הנמוך של 3.5 גה"ץ שיאפשר זאת או אפילו ל-2.4 גה"ץ אבל כך שלא יפגע בציבור משתמשי נקודות הקצה. מצד שני, כאשר קיימת הפרעה לצרכני נקודות הקצה על ידי ממסר בתדר 2.4 גה"ץ, ניתן לעבור לעורק של 3.5 גה"ץ או אפילו 5 גה"ץ.

כל אותם צמתים שמומלץ שיהיו במקומות גבוהים ובולטים מעל סביבתם, יאפשרו תקשורת לאותן נקודות הקצה. התקנים מתאימים בתדר של 2.4 גה"ץ יחברו באמצעות רכות להתקני השידרה עם אנטנות מתאימות שיכוונו לריכוזי חובבים באזימוט המתאים. אמנם במידה ועיקרון

זה לא מתממש, אזי ניתן ליצור עורק בתדר 3.5 או אפילו 5 גה"ץ לממסר קבוצתי מתאים בסביבתם.

אכן הקו המנחה הוא הפשטות הפעולה לציבור הנרחב שמספר ההתקנים בידיו הוא רב יותר ועלותו צריכה להיות המזערית ביותר. הציוד הציבורי שכמותו פחותה בהרבה ומשולמת על ידי הכלל, הקופה הציבורית, תפעל בגלים הגבוהים שמחירים והשגתם וקבלת רשיון ההפעלה שלהם מסובכת. הערכה תקציבית של הציוד תלויה במספר גורמים שנוכרו לאורך כל המאמר הזה. ההוצאה למערכת ביתית בנקודת קצה הקרובה לצומת בשידור המרכזית ושיש קו ראייה ביניהם תעלה כמאה שקל בתחום 2.4 גה"ץ. בגבול העליון עשויה העלות להיות כארבע מאות שקלים כאשר נדרשת אנטנה צלחת כיוונית לצומת. בדומה, ממסר מקומי לקבוצת חובבים עם צלחת כמו מקודם מתומחרת בחמש מאות שקל, וכוללת בין השאר יחידה לטווח קצר במאה שקל. העלות של ציוד ציבורי הוא בין אלף לאלפיים שקל. באם נניח כי ניתן לכסות את המדינה כאמור לעיל בשבעה עד שמונה צמתים אזי ההוצאה הציבורית תהיה כעשרת אלפים שקל. גזירה שציבור יכול לעמוד בה.

בשלב זה לא נראה כי קיימים הגבלות סטטוטוריות של הרגולטור כלומר משהת"ק בהקשר להפעלה על 13 ס"מ. הציוד הקיים לרכישה וליבוא אישי והמותר להפעלה תקף לא רק לנו כחובבי רדיו אלא לכלל הציבור. השימוש בערוץ 1- (2402 מה"ץ) הוא עדיין בתחום גל ISM (2400-2483 מה"ץ) ומותר לנו לשימוש בתנאים מסוימים ובהספק העולה על מגבלת 100 מיליוואט eirp. להפעלה בערוץ 2- (2397 מה"ץ) כנראה תדרש אסדרה רגולטורית, שהיא בעלת השגה, להחרגה שלנו כחובבי רדיו (לאחר שעמדו בבחינות הקשות של משהת"ק והם בעלי ידע בנושא) מהכלל. בתחומים הגבוהים לא קיים מצב של יבוא חופשי לציוד הנדרש. התדרים הללו שבהם מותר הספק ושבח אנטנה מספק בתחום 9 ס"מ (3400-3475 מה"ץ) ובתחום 6 ס"מ (5670-5725 מה"ץ), אכן מיועדים לנו, אם כי על בסיס משני. אמנם, לכל הציוד הזה קיימים אישורי FCC או ETSI וכו', אך יידרש אישור סוג והתאמה שללא ספק ניתן לקבלו.

לסיכום, מומלץ לתכנן את הרשת כך. רובן של נקודות הקצה יפעלו בתחום של 13 ס"מ, זאת בגלל מספרם הרב ומחירים הנמוך יחסית. כל המערכות הציבוריות יפעלו על התדרים הגבוהים יותר לפי הצורך. רק במקרים חריגים ניתן יהיה לאפשר עורקים בתחום 2.4 גה"ץ.

מראי מקום לעיון נוסף:

אתר קבוצת AREDN <https://www.arednmesh.org>

"AREDN - A High-Speed Data Network" by Andre Hansen, K6AH. QST June 2017

<https://www.arednmesh.org/content/qst-june-2017>

רשימת הציוד המותרת ביבוא אישי ושימוש, הפריטים הצבועים בצהוב תואמים את קושחת AREDN

<http://www.ildcg.org/docs/approved-he.pdf>

פירוט תכנון הגל בתדר 13 ס"מ לפי יארו איזור 1

<https://www.iaru-r1.org/wp-content/uploads/2020/03/UHF-Bandplan.pdf>

פירוט תכנון הגל בתדרי 6 ו-9 ס"מ לפי יארו איזור 1

<https://www.iaru-r1.org/wp-content/uploads/2020/03/SHF-Bandplan.pdf>



## תחרות "ארץ הקודש" 2020

התקבל ממארק שטרן 4Z1KX

### נוהל הפעלה לחובבים ישראלים

#### תאריך

משבת ה 18 באפריל 20.20 משעה 00.00 זמן מקומי עד 18 באפריל שעה 23.59 זמן מקומי.

#### מטרה

לעודד קשר בין חובבי הרדיו בעולם לבין עמיתיהם בישראל. לסייע לכל חובבי הרדיו להשיג את התעודות הישראליות – כפרט תעודות ארץ הקודש. לעודד פעילות מיוחדת גם במצבי תחרות.

#### התחומים

IARU Region 1 – לפי המלצות 1.8 ו 3.5, 7, 14, 21, 28

#### הקטגוריות

מפעיל יחיד כל הגלים, 2 או 3 מודים (SSB/CW/Digital)

מפעיל יחיד רק CW

מפעיל יחיד רק SSB

מפעיל יחיד רק Digital, אפנונים RTTY, PSK31 או FT8

מפעיל יחיד, גל אחד, תחנה קבועה (מינימום 100 קשרים)

מפעיל יחיד, כל הגלים, תחנה ניידת (עד 5 ריבועים שונים)

מפעיל יחיד, כל הגלים, תחנה ניידת (עד 10 ריבועים שונים)

מפעיל יחיד, כל הגלים, תחנה נישאת (ריבוע יחיד)

מפעילים רבים, (כולל תחנת מועדון), משדר יחיד, כל הגלים

מפעילים רבים, (כולל תחנת מועדון), משדר נייד יחיד או נישא

חובב דרגה ג',

חובבים שומרי שבת המצטרפים במוצאי שבת

מאזינים

חובב חדש (רישיון חדש פחות משנתיים)

שיטות אפנון

FT8, RTTY, PSK31, SSB, CW

## דיווח

תחנות ישראליות ידווחו RST + 'ריבוע' (לדוגמה F15RH)  
תחנות DX ידווחו RST + מספר רץ החל מ 001.  
מאזינים SWL ידווחו רק על תחנות DX שמסרו רפורט ומספר רץ וגם ריבוע של תחנה ישראלית איתה נעשה קשר.

## קבילות קשר

כל תחנה יכולה להתקשר עם כל תחנה אחרת 3 פעמים על כל תחום ב CW, Digital ו SSB.  
סך הכול 18 קשרים עם אותה תחנה על כל התחומים. קשר מעורב בין סוגי אפנון ו/או תחומים שונים – אסור.

## ניקוד

2 נקודות עבור כל קשר (כולל ישראל) בתחומים 1.8, 3.5 ו 7 מה"ץ  
1 נקודה עבור כל קשר (כולל ישראל) בתחומים 14, 21 ו 28 מה"ץ  
לאור פניות חובבים מחו"ל על כך שבשבת בערב כבר לא ניתן לשמוע הרבה תחנות ישראליות,  
ינתן ניקוד כפול לתחנות ישראליות על הקשרים בין 20:00 ל 23:59  
4 נקודות עבור כל קשר (כולל ישראל) בתחומים 1.8, 3.5 ו 7 מה"ץ.  
2 נקודות עבור כל קשר (כולל ישראל) בתחומים 14, 21 ו 28 מה"ץ.

## מכפילים

כל מופע ראשון של מדינה מארצות ה DXCC בכל גל – 1 מכפיל.  
כל מופע ראשון של ריבוע של תחנה ישראלית בכל גל – 1 מכפיל.

## סיכום נקודות

סכום כל נקודות הקשרים, מכל הגלים, מוכפל בסך כל המכפילים, מכל התחומים.

## יומני התחנה

כל רישום חייב להכיל זמן, אות קריאה, תדר RST +, ריבוע שנשלח RST, ומספר רץ שהתקבלו, מכפילים וניקוד עבור הקשרים.  
את היומנים חייבים להגיש לא יאוחר מ 31.5 (לפי חותמת הדואר).

מען למשלוח יומנים : יומנים האלקטרוניים יש לעלות ישירות באתר האגודה.  
על הקובץ להיות בפורמט Cabrillo כמפורט בדף הבא  
: <http://www.iarc.org/iarc/#LogUpload>  
יומני נייר יש לשלוח :

מארק שטרן, 4Z4KX ת.ד. 73, ראשל"צ, 7510001.  
או במייל : 4Z4KXX@GMAIL.COM

מומלץ לעבוד עם תוכנת הלוג HolyLogger שזמינה להורדה בלינק:  
<https://4z1kd.github.io/HolyLogger/>

### פרסים

גביעים למנצחים בכל הקטגוריות, מגנים למקום שני ושלישי.  
פרסים מיוחדים מטעם מארגני התחרות.  
מדליות לכל החובבים שהפעילו לפחות 6 שעות ועבדו לא פחות מ 250 תחנות.

### הפעלה מיוחדת מתחנות ניידות (ריבוי מיקומי הפעלה)

יש שתי קטגוריות בהפעלת לתחנות הניידות בזמן התחרות

תחנה ניידת עד 5 ריבועים שונים

תחנה ניידת עד 10 רבועים שונים

אות הקריאה ישתנה כאשר עוברים מרצוע אחד לריבוע אחר. לדוגמא:

4Z1SL/1, 4Z1SL/2, 4Z1SL/3, 4Z1SL/4, 4Z1SL/5, 4Z1SL/6..4Z1SL/9 ,4Z1SL/0

ההפעלה חייבת להימשך לפחות חצי שעה לפני שינוי מקום לריבוע הבא.

לאורך כל התחרות התחנה לא תהיה מחוברת לרשת החשמל הארצית.

מותר להפעיל ציוד, כולל אנטנה שנמצאים מחוץ לרכב. כלומר אין הכרח להימצא בתוך הרכב

בזמן ההפעלה.

מותר לחזור לריבוע שממנו כבר הפעילו קודם ואז להזדהות עם המספר של ההפעלה הקודמת

שהייתה בריבוע זה.

כל הפעלה מריבוע חדש תחשב כתחנה נפרדת ותחייב רישום אות הקריאה בהתאם (#תוספת)

חובה לציין את נקודת ההפעלה מכל ריבוע וריבוע.

במידה ובקובץ הלוג יהיו 5 או פחות דיווחי מיקומים, ההפעלה תחשב אוטומטית כהשתתפות

בקטגוריה של 5 מיקומים. במידה ובקובץ הלוג יהיו 6 ויותר דיווחי מיקומים ההפעלה תחשב

אוטומטית כהשתתפות בקטגוריה של 10 מיקומים.

## הפעלה מתחנה נישאת (מיקום הפעלה יחיד)

תחנה נישאת תופעל אך ורק בתנאי שדה ומחוץ לריבוע הקבוע של מקום תחנתו הקבועה של המתחנה. לאורך כל התחרות היא לא תהיה מחוברת לרשת החשמל הארצית ותופעל רק מאותו ריבוע כל זמן התחרות. היא תזדהה עם סיומת P/ לאות הקריאה שלה בכל זמן התחרות.

## לסיכום

אנו מבקשים מהחובבים להשתתף בתחרות כדי לגרום להצלחתה ולהביא את שמה של ישראל וחובבי הרדיו שלה אל תודעת החובבים של העולם. אנו מקווים שתופעלנה הרבה תחנות ניידות ונישאות גם מריבועים נדירים. ריבוי תחנות ניידות בזמן התחרות הוא ערובה להצלחת התחרות כולה!

אנו מבקשים לשמור על חוקי התחרות ומגבלות הרישיון שברשותכם, לתת הזדמנות שווה לתחנות רחוקות - DX - וחלשות, QRP - לבצע ולהשלים את הקשר, במיוחד על התדרים הנמוכים. חובבים אשר לא יעמדו בחוקי התחרות - ייפסלו. כל קשריהם עם תחנות חוץ ו"ריבועים" מהם הפעילו, לא יוכרו לצורך התחרות או לתעודת "ארץ הקודש". נא לא לשכוח לשלוח יומני התחרות לבדיקה עד התאריך (לפי חותמת הדואר) הקובע כי: "יומן לא שלחת - כאילו בתחרות לא השתתפת!"

אנו מאחלים לכולם הנאה והצלחה בתחרות "ארץ הקודש".  
הוועדה המארגנת





## Special Award “VILNIUS GAON 300” rules

2020 year was announced in Lithuania as a year of the Great Lithuanian Rabbi Elijas ben Saliamon Zalman, known also as Vilnius Gaon, born in April 300 years ago.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Vilna\\_Gaon](https://en.wikipedia.org/wiki/Vilna_Gaon)

To celebrate this big event there will be 2 active special amateur radio stations on the air :

**LY300GAON** from Lithuania and **4Z0GAON** from Israel,

The date of beginning: 01.04.2020 till 30.04.2020

To receive this special e-award need to make **6** contacts on **3** different bands and on **2** different modes with the special event stations:

**LY300GAON (3 QSO)** and **4Z0GAON (3 QSO)**

Also need to make **5** contacts with any **LY** and **5** contact with any **4X/4Z** stations.

**Total 16** contacts on any bands or modes.

For the radio amateurs **outside Europe** and **Asia** need to work only **once** the special callsigns **LY300GAON**, **4Z0GAON** and **2** additional contacts with **2** different LY and with **2** different 4X/4Z stations.

**Total 6** contacts on any bands or modes

Please send your award applications to:

**Award Manager , Rolandas LY4Q** [ly4q@qrz.lt](mailto:ly4q@qrz.lt) , till **31.05.2020**

QSL Manager , Valerijus LY2QT

Good luck,

Sekmes,

בהצלחה



## CONTROLLED IMPEDANCE PRINTED WIRING BOARDS

### ערוך ע"י אבנר דרורי 4X1GE

מבוא

למרות שהנושא מלווה את התעשייה האלקטרונית כבר למעלה מ-20 שנה, רק בשנים האחרונות הוא נכנס לשימוש רחב.

ההערכה היא ש-20% מהמעגלים, הנכנסים היום לשימוש, מכילים אלמנטים של עכבה מבוקרת ואחוז זה יוכפל בשנה הבאה. הסיבה לכך היא מעבר, במעגלים דיגיטליים, לקצב מיתוג הגבוה מ-100 מ"ה.

כמו בכל כניסה לנושא חדש, גם כאן הכניסה מלווה בחבלי לידה ומחלות ילדות המשפיעים יקר על זמן העריכה והיצור של הדגמים שהוא גורם משמעותי במחזור התכנון של המוצר הסופי. קיצור זמן היצור של הדגמים הוא תוצאה של תיכון בר יצור Design for Manufacturability הכרת תכונות המעגל בעל העכבה המבוקרת שיאפשר תיכון נכון וקיצור לוחות זמנים. יש לדעת כי בעבר יצרני ה-מע"מ היו חייבים לעמוד בדרישות המכניות של המעגל. הכוונה למידות אורך, רוחב ועובי. ליצרני המעגלים הייתה יד חופשית בבחירת חומר הגלם של הלוח ומשחק במבנה השכבות כאשר מדובר במעגלים רבי שכבות. המעבר, למעגלים בעלי מוליכים בעלי עכבה מבוקרת, שינה את כללי המשחק ועכשיו נדרש תאום הדוק בין המזמין/המתכנן ובין היצרן.

בהמשך המאמר יתוארו נושאים הקשורים לתיכון, העריכה, היצור והבדיקה של המעגל המודפס.

### רקע

מקובל להניח שזיורד, של ציוד אלקטרוני, הינו נושא של שקולים מכניים בלבד. הזיורד עסק, בעבר, באוסף של רכיבים אקטיביים ופסיביים שהיו זקוקים לתמיכה פיזית, הגנה מפני תנאי סביבה עוינים, פזור חום, מעברים חשמליים בהתאם לצורך ובדוד חשמלי במקומות בהם אין מוליכים. כל זאת בשיטות המבטיחות עלויות מזעריות.

הזיורד האלקטרוני מיושם היום בעיקר בעזרת מעגלים מודפסים שהתחשב, בעבר, בנושאים שהוזכרו לעיל אולם לא תמיד התחשב בתכונות הנדרשות ממעגלים בעלי מיתוג מהיר. נתקים וקצרים היו הפרמטרים החשמליים הבלעדיים שנלקחו אז בחשבון.

הזיורד האלקטרוני נעשה מסובך יותר. האלקטרוניקה המודרנית מכילה אמצעי מיתוג, המאפיינים את הטכנולוגיה של ה-"אלקטרוניקה הדיגיטלית", המשתכללים במידה רבה הן בקצב המיתוג שלהם והן בצפיפות על יחידת שטח (CHIPS).

אנו רואים את קצב המיתוג העולה מדי שנה. אם בעבר עסקנו ב-מה"צ בודדים הרי שהיום עוסקים בקצבים (CLOCK RATE) של מאות מה"צ. זמני העליה של מתקפים (PULSES) נעשים קצרים ומגיעים לערכים של ננו ופיקו שניות.

אם בעבר עסקנו בתכונות חשמליות של קצרים ונתקים בלבד, היום נדרשת גישה אחרת. תיכון זיווד אלקטרוני חייב להתייחס למושגים הקשורים לטכנולוגיה של מהירויות מיתוג גבוהות. יש להתחשב, בעת התיכון, גם בזמן ההתפשטות (PROPAGATION TIME), מקדם ההחזרות (REFLECTION COEFFICIENT), ערב דבור (CROSS TALK), קבול (CAPACITANCE) ועוד.

פתרון הבעיות הקשורות לפרמטרים הנ"ל, בציווד שאינו מורכב על מעגלים המודפסים, נעשה ע"י שימוש בקווי תמסורת (TRANSMISSION LINES) בעלי עכבה מבוקרת (CONTROLLED IMPEDANCE). היישום נעשה בעיקר בעזרת קוים קואקסיאליים (COAX) או זוגות מפותלים (TWISTED PAIRS).

השימוש ברכיבים, המכילים מספר רב של התקני מיתוג מהיר, מחייב תכנון זוווד הכולל קווי תמסורת גם בתוך המעגלים המודפסים.

קווי התמסורת, במעגלים מודפסים, ניתנים להגשמה הן בשכבות חיצוניות (MICRO-STRIPS) והן בשכבות פנימיות של מעגלים רבי שכבות (STRIP-LINES). קווי תמסורת אלה חייבים להיות מתוכננים בזמן עריכת המעגלים כאשר מצויות היום תוכנות מחשב המסייעות בכך. יצור המעגלים, המכילים קטעים של מוליכים בעלי עכבה מבוקרת, חייב להתבצע תוך שמירה קפדנית על החומרים שבשימוש ועל הפרמטרים הגיאומטריים המשפיעים על העכבה.

### מעגלים העלולים להיות מושפעים

הצורך בקווי תמסורת כבר קיים כאשר המוליכים הם באורך העולה על עשירית אורך גל. קל מאד למצוא מוליכים באורך זה במעגלים רגילים, במיוחד ב-"מעגלי אם", אפילו אם הם בגודל שאינו חריג.

היחס המקובל, בין רוחב הסרט הנדרש (BW) וזמן העליה (Tr=Rise Time) של פולס, הוא  $BW=0.35/Tr$ . ברכיבי ECL אפשרי זמן עליה של 1 nS המתאים לרוחב סרט של 350 מה"צ. זמן עליה של 5 nS נפוץ בשימוש והתדר המתאים עבורו הוא 70 מה"צ. במקרה האחרון אורך הגל הוא 2.5 מטר ועשירית ממנו היא 25 ס"מ. אי לכך, יש להשתמש בקוים בעלי עכבה מבוקרת, למעגלי ECL, רק באותם המקרים בהם אורכי הקוים עולה על 25 ס"מ.

## עקרונות קווי תמסורת

על מנת להבטיח שמהירות ההתפשטות תהיה זהה לכל התחום הנדרש לתדרים, יש לשמור על עקרונות נוסחת מקסוול לקווי תמסורת:-

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

נהוג לכנות את  $Z_0$  בשם "עכבה אופיינית" (Characteristic Impedance) והיא מושגת ע"י בקרה הדוקה של ממדי המעגל המשפיעים על  $L$  (השראות) ו- $C$  (קיבול) ומכאן שמה: "עכבה מבוקרת".

לעכבה מבוקרת מקובלים ערכים של 50 אום, בעיקר לקווים בעלי מוליך בודד, וערכים של 90 עד 130 אום האופייניים לקווים המורכבים מזוגות מאוזנים.

אנו מכירים את יישום העכבה המבוקרת בקווים קואקסיאליים או זוגות מאוזנים (מסוככים ולא מסוככים) ואפשר ליישם, בצורה מקבילה, גם במעגלים מודפסים.

את ה- $L$  וה- $C$  מחשבים לפי ממדי המעגל ותכונות המקדם הדיאלקטרי. נוסחאות החישוב תהינה שונות בהתאם ליישום (MICROSTIP, STIPLINE, קו בודד, קוים מאוזנים וכדומה).

## מבנה השכבות

מבנה השכבות והמוליכים (מבנה גיאומטרי) חייבים להיות מוגדרים. כמו כן המקדמים הדיאלקטריים ( $Er = \text{Dielectric Constant / Permittivity}$ ) של חומר הבסיס והפרפרג. (שכבת הדבקה שמשמשים בה בתהליך היצור של מעגלים רבי שכבות). יש להשתמש בחומרים בהם קיימת יציבות בערכי  $Er$  וההפסדים הדיאלקטריים נמוכים. השפעות המבנה הן:-

- רוחב מוליכים - העכבה יורדת ככל שהרוחב עולה
  - מקדם דיאלקטרי - העכבה יורדת ככל ש- $Er$  גבוה יותר
  - מרווח בין המוליך ומשטחי אדמה - העכבה עולה ככל שהמרווח עולה
  - קרבה למוליכים אחרים - העכבה יורדת ככל שמתקרבים למוליכים אחרים
- השפעות אלה פועלות, לעתים, בניגוד לאילוצים של הנדרש מהמעגל. יש לדעת זאת ולהתייחס לכך בזמן תיכון מבנה השכבות ובחירת החומרים של המעגל.

## תיכון ועריכה

עריכת המעגל חייבת לכלול, בנוסף לניתוב המוליכים, גם את חשובי המבנה הגיאומטרי לצורך השגת העכבות הנדרשות.

קיימות נוסחאות שפותחו לפני כ-15 שנה והמאפשרות את חישוב המבנה הגאומטרי עבור מוליכים חיצוניים (מיקרוסטריפ) ומוליכים פנימיים (סטריפליין). הנוסחאות הקיימות מתבססות על מעגלים עבים (1.6 מ"מ ומעלה) ומוליכים רחבים (1 מ"מ - 40 מ"ל), שהיו מקובלים באותה תקופה.

הטכנולוגיות הקיימות (רוחב מוליך של 0.15 מ"מ ומרווחים של 0.1 מ"מ) דורשות שנוי של הנוסחאות הידועות. הידע, כיצד להתאים את הנוסחאות, נמצא אצל יצרני המעגלים ולא אחת קיימת התנגשות בין הלקוח, המשתמש בנוסחאות המקוריות, ובין היצרנים המכירים את הנוסחאות המתוקנות.

ניתן לתכנן, את מבנה השכבות, בעזרת תוכנות מחשב פשוטות המסוגלות לבצע חשבוים אלגבריים. ישנן תוכנות מחשב מורכבות יותר המסוגלות לחשב, בנוסף לעכבה, גם פרמטרים אחרים (קבול, הפסדים, מהירות התפשטות וכדומה). יש לזכור, יחד עם זאת, את מגבלות הנוסחאות שרב תוכנות המחשב מתבססות עליהן.

ניסיון לערבב מיקרוסטרפי וסטריפליין בין שכבות שונות כלפי מישור אדמה אחד, יוצר מציאות חדשה מכיוון שחורגים מגבול האפשרויות הסטנדרטיות. אחד הפתרונות הוא לעבור לחומרים לא תקינים (בנוסף לגלס אפוקסי) אבל זה כבר יוצא מגבול התכנון הסטנדרטי. חומרים חריגים אלה לרוב אינם זמינים ולכן צריך להתריע על הדרישה מראש.

חוסר ידע ואי בצוע תאום, בין הלקוח והיצרן, עלול לפגוע בלוחות זמנים החשובים במיוחד עבור דגמים. הלקוח והיצרן חייבים לעבוד במשותף. העבודה המשותפת צריכה להתחיל במקביל לתיכון המעגל (אפילו הרבה לפני עריכת המעגלים) כדי להגדיר את כללי המשחק וכדי למנוע את הצורך בשנויים רבים בשלבים הבאים.

### **חומרי בסיס**

חומר המעגל צריך להיבחר על מנת לענות על דרישות העכבה הנדרשת, על העובי הסופי של המע"מ, על ההפסדים בתדרים גבוהים וגם על מחיר המעגל.

חומרים בעלי מקדם דיאלקטרי נמוך מאפשרים, לכאורה, לקבל בצועים טובים יותר תוך שימוש בטכנולוגיות (רוחב מוליך) לא הדוקות במיוחד. יחד עם זאת, אין חובה להשתמש בחומרים מיוחדים (בעלי מקדם דיאלקטרי נמוך). ניתן להשתמש בהם רק במקרים שהם מהווים את הפתרון הבלעדי לדרישות המעגל. חומרים אלה יקרים, לא תמיד זמינים ועיבודם דורש תהליכים יקרים.

ניתן להשיג, את הדרישות מהמעגל, גם תוך שימוש בחומרים רגילים (כגון FR-4) המסופקים היום בצורה המתאימה ליצור מעגלים בעלי עכבה מבוקרת. יצרני המעגלים קשורים עם ספקי חומרי הגלם ומתעדכנים באופן שוטף בחומרים הקיימים.

### **רגישויות לשנויים בפרמטרים**

מקובלת אפיצות של 10% בעכבה האופיינית. הגורמים העיקריים, המשפיעים על העכבה, הם רוחב המוליכים, המרחק בין המוליכים למשטחי האדמה והמקדם הדיאלקטרי. אותם פרמטרים משפיעים גם על הקיבול ויציבותו.

כדי להשיג את העכבה הנדרשת, יש לשמור על רוחב מוליכים באפיצות של 1 מיל (אלפית מ"מ), יש לשמור על מרווחים בתחום של 20% ומקדם דיאלקטרי בתחום של 20%. לעובי המוליכים

ישנה השפעה מזערית בלבד. אפיצויות אלה ניתנות להשגה ושמירה בתהליכי יצור מבוקרים רגילים.

### **בדיקות ומדידות**

אם לפני מספר מועט של שנים היו רק מעטים שיישמו את השימוש במעגלים בעלי עכבה מבוקרת, הרי שהיום אין כמעט מערכת שאינה כוללת אלמנטים כאלה. הרחבת השימוש חידדה את הצורך בכלים שיבטיחו את השגת התכונות הנדרשות כאשר הדגש הושם גם על אמצעי המדידה.

המדידה, הפשוטה לכאורה, נעשית בעזרת מערכות TDR (Time Domain Reflectometer) רב-שימושיות. תפעול מערכות המדידה, המיועדות בדרך כלל לשימושים מגוונים, הינו מורכב ומסובך למפעיל הפשוט. הפתרונות העכשוויים הם שימוש במערכות TDR, שפותחו במיוחד לבדיקת מעגלים מודפסים בעלי עכבה מבוקרת, המבוססות על שילוב יעיל של חומרה ותוכנה. התוצאה היא מערכת פשוטה לתפעול המסוגלת לתת תוצאות מידיות מדויקות. מערכות אילו מבוקרות מחשבים ומאפשרות אגירת נתונים ובצוע ניתוחים סטטיסטיים.

לא ניתן לבדוק עכבה של מוליכים פונקציונליים, במעגל המודפס עצמו, ואי אפשר להסתמך על כך. הבדיקות ניתנות לבצוע, באופן מעשי, על ספחים מיוחדים (קופונים) המיוצרים יחד עם המע"מ. ניתן, באם יש מספיק שטח חופשי, לשתול "מוליכי בדיקה" אפילו בתוך המעגל עצמו.

### **הגדרת המוצר**

ראשית - מתכני המעגלים האלקטרוניים חייבים להנחות, את עורכי המעגלים, שמעגל שהם עורכים מכיל מוליכים בעלי עכבה מבוקרת. העורכים אינם מסוגלים לגלות זאת בעצמם. לא תמיד ניתן לזהות, מתיעוד (עריכה) של מע"מ, שמדובר על מעגלים בעלי דרישה לעכבה מבוקרת. יש להדגיש זאת במפורש בתיעוד המזמין.

חייבים להגדיר את מבנה השכבות כולל מוליכים, חומרי בסיס ופרפרג. הגדרה זו חייבת להיות בתוך התיעוד של הלקוח. יחד עם זאת יש לזכור שהמידע העדכני, בנושא חומרים ותהליכים, קיים בידי יצרן המעגלים ובחירה נכונה של חומרים ותהליכים עשויה לחסוך סכומים נכבדים. מכיוון שנדרשים דיוקים חריגים, נדרש תאום מיוחד לגבי סוגי החומרים שמהם יהיה מורכב המע"מ והגדרה מדויקת לאפיצויות המותרות. הדרישות, למע"מ מסוג זה, הן הדוקות מאד, דבר זה העלול לעשות את המע"מ למוצר ב-LEVEL C לפי הגדרות IPC-D-275.

נדרשת הגדרה מדויקת לשיטות הבדיקה. יש לקבוע באיזה אמצעים יבדקו הדגמים ו/או סדרות היצור. יש לקבוע, בצורה ברורה, גם את קני המידה לעמידה בבדיקות אלה. מומלץ להתקין ספחים מיוחדים לבדיקת העכבה. הרבה יותר קל לבדוק אותם מאשר את עכבת המוליכים במעגל עצמו.

**עלויות וכדאיות כלכלית**

מחירו של המעגל נקבע בהתאם לעלויות הקשורות לחומרי גלם, תהליכי היצור ושיטות הבחינה והבדיקה. הכתבת דרישות, שאינן מתואמות עם יצרן המעגלים, עלולה לגרום לעלויות מיותרות. ניתן להשיג חסכון במחיר ע"י תאום הדוק בין מתכנני/עורכי המעגל ובין היצרן המיועד. היצרן יודע כיצד ניתן להשתמש בטכנולוגיות שגרתיות להשגת המטרות הפונקציונליות.

רוב הלקוחות, בארץ, נתקלים בנושא זה בפעם הראשונה ואינם יודעים כיצד להתמודד איתו. יצרני המעגלים צברו כבר ניסיון, בשטח זה, ומוכנים להעמידו לרשות הלקוח.

### **קיצור לוחות זמנים**

רוב הבעיות, הקשורות ליצור המעגל המודפס, מתגלות כאשר מוזמן "דגם" וכל פיגור במועד הספקתו עלול לפגוע בלוח הזמנים של הפרויקט כולו. הבעיות הנפוצות המתגלות בשלב הבדיקה ההנדסית, אצל יצרן המעגלים, הן:

- המוליך אינו נמצא בין שכבות אדמה.
- סתירות בין תוכנות עריכה שונות.
- "תיכון יתר" של קוים שאינם דורשים עכבה מבוקרת.
- התבססות על "מוליכים שקועים" מבלי לקחת בחשבון את עובי הבידוד.
- מוליכים החוצים או רצים במקביל למוליכי עכבה מבוקרת.
- "הקפאה" ו-"שחרור" של שרטוט עם נתונים לא בדוקים.
- ניתן לקצר את מועד ההספקה באם שומרים על הכללים הבאים:
- יש להתייעץ עם יצרן המעגלים בשלבי התיכון והעריכה.
- אמצו לכם תוכנה לשימוש קבוע ומומלץ זו המקובלת אצל יצרן המעגל. יתכנו שנויים בין התוצאות המתקבלות בתוכנות השונות ולכן רצוי להכיר את תוכנת יצרן המעגלים ולהשתמש בה ולו רק ככלי לאימות החשובים בלבד.
- הימנעו מתיכון יתר והשתמשו בעכבה מבוקרת רק היכן שצריך באמת. מיינו את הקווים והחליטו מה באמת נדרש לבצוע כעכבה מבוקרת תוך התחשבות בתדרים ובאורכי הקווים.
- שימו לב לצורת היישום (מיקרוסטריפ, סטריפליין, קוים קבורים ואחרים). ניתן לשלב אותם ביחד אבל צריך לדעת כיצד.
- החליטו ותעדו כיצד יבדקו המעגלים (שיטת הבדיקה, ספחי בדיקה, מוליכי המעגל וכדומה).
- תעדו את כל הדרישות בצורה מרוכזת וברורה בשרטוט.

\* \* \* \* \*

### **הערת העורך:**

מאמר זה נכתב, במקור, בשנת 1989 ולמרות שנושא זה התקדם במשך השנים העקרונות עדיין שייכים.

יש לשים לב שמזמן כתיבת המאמר קצב ה-CLOCK עלה בהרבה וזמני העלייה ירדו גם הם. אי לכך ישנם מוליכי העכבה המבוקרת חייבים להתאים למעגלים מודפסים במימדים קטנים יותר מאלה שתוארו במאמר.