

4XBulletin

גיליון מס' (21) נובמבר 2021



היינריך הרץ, 1857-1894 מהנדס הרדיו הראשון בעולם

מה בגיליון:

חדשות חובבי רדיו מהארץ והעולם.
האם חובבי רדיו הקימו את גל"צ?
יום שדה נוסף של חובבי הרדיו.
מפגשי פרלמנט החובבים ביגור.
על מכשיר פלא לתיאום אנטנות.
חובבי העולם – הפעם סיפור בולגרי.
מגברי הספק טרנזיסטורים לחובבים.
על ההיסטוריה של ראשית הרדיו בעולם.

- 3 - דבר העורך 1/11/2021
- 5 - הפרלמנט החיפאי המקורי
- 8 - תרומתם של חובבי הרדיו בהקמת גלי צה"ל
- 11 - ביקור בתחנה של עמי שמי 4X1DK
- 15 - יום שדה במצפה משואה
- 16 - את חטאי אני מזכיר היום
- 17 - אגודת חובבי הרדיו הבולגרית BFRA
- 19 - על תאום אנטנות ומכשיר הפלא NanoVNA
- 20 - מגברי הספק במשדרי ת"ג של חובבי רדיו
- 29 - היינריך הרץ - מהנדס הרדיו הראשון בעולם

משתתפים בגיליון זה:

פרופ' עלי לוי	
דניאל רוזן	4X1SK
צביקה סגל	4Z1ZV
עופר עזרא	4X1ON
אריה סתר	4X4OA
אברהם אמיר	4X4FW

בברכת 73, וקריאה נעימה! נפתלי בלבן-אברהם 4Z1RM, עורך הגיליון.
 סיוע לעריכה: אבנר דרורי 4X1GE, דורון טל 4X4XM, תודה לעדו רוזמן 4X6UB
 על עזרתו המקצועית.

לקריאת גיליון זה וגם את הקודמים של העיתון ניתן להיכנס לאתר: <https://4xbulletin.org/>
 כתובת המערכת לתגובות בקשות או משלוח מאמרים: 4xbulletin@gmail.com
 עיתון זה נכתב ונערך בהתנדבות עבור חובבי רדיו שלא למטרות רווח, יש אפשרות לפרסם
 קטעים ממנו במקומות אחרים וזאת בתיאום עם המערכת. מסת"ב 978-965-765-705-8
 כתובת המערכת: "הוצאת אחוזה-חיפה", ת.ד. 3773, חיפה 3103701 פקס: 15348256064
 הערה: המאמרים המופיעים בגיליון זה הם באחריות הכותבים בלבד.



דבר העורך 1/11/2021

מאת: נפתלי בלבן-אוברהנד, 4Z1RM

הגענו לגיליון ה-21 בעיתון המקוון שלנו, אשר נוסד בתחילתם של ימי הקורונה. בנוסף, הגיליון הזה מסיים פעילות שהחלה ב-2020, ושנת 2021 עומדת להסתיים בקרוב. בתמונת השער ניתן לראות את הרץ הפיזיקאי, אשר הצליח להפיק ולקלוט אותות חשמליים באוויר, ופתח את העולם למהפכת תקשורת הנמשכת כבר 130 שנה, ובכל שנה ישנם חידושים לאין ספור.

מובן שהרץ לא המציא את מכשירי הרדיו, אלא גילה את יכולתם של הגלים האלקטרומגנטיים. ידוע לנו שמרקוני נחשב בתור ממציא הרדיו, אם כי ישנה גלריה שלמה של ממציאים שאף הם נושאים תואר זה, ממש בתקופתו של גוליאלמו מרקוני, ביניהם ניקולא טסלה הסרבי ואלכסנדר פופוב הרוסי.

רחובות בישראל נקראים לרוב על שמם של ציונים שהלכו לעולמם. מן הראוי הוא שיקראו רחובות גם בשמותיהם של ממציאים גדולים.

בירושלים היה קיים קולנוע אדיסון, ובחיפה באזור הצ'ק פוסט ישנם רחובות על שמם של הרץ, מרקוני ואדיסון. אילו פרנסי העיר היו יודעים את עברו של מרקוני, ייתכן והיו נמנעים מקריאת רחוב על שמו... מרקוני היה חבר במפלגה הפשיסטית של מוסוליני, אך הוא לא היה היחיד. כמה מגדולי התעשיינים אפילו העריצו את הנאצים, ביניהם הנרי פורד, ורבים אחרים.

טוב שבחיפה קראו רחוב על שמו של הרץ, שנולד להורים יהודיים שהתנצרו לפי צו האופנה בגרמניה. הטכנולוגיה שהתפתחה המידה ניכרת במאות ה-19 וה-20, הביאה שלל ממציאים דגולים. טוב היה אילו בערים נוספות בארץ היו קוראים רחובות על שמות גדולי הממציאים בעולם.

חדשות בקצרה:

א. משלחת DX עומדת לצאת מישראל (ארץ הקודש) לרואנדה במרכז אפריקה ב-24/11/2021 המשלחת 9X4X תשהה באפריקה עד ה-1/12/2021 ותפעיל שלוש תחנות בגלים: CQWW DX CW contest (Nov 27-28) גם ב-160-10m – CW, SSB, RTTY, FT8 לפרטים נוספים: <http://9x4x.qrz.co.il/home>

Holyland DX Group, Expedition 2021 to Rwanda



Operators:

Jan 4X1VF, Hanan 4Z1DZ, Mark 4Z4KX, Hilik 4X6YA, Slava 4Z5MU, Ruben 4Z5FI, Ros 4Z5LA

ב. רבים בציבור הרחב טוענים שישנה סכנה לבריאות בקרינת גלים אלקטרו-מגנטית (רדיו), והנה התפרסמה ידיעה על חובב רדיו זקן הפעיל מדי יום ברשתות הקשר. האם העיסוק ברדיו הוא סגולה לחיים ארוכים? אולי, כדאי לצפות בכתבה באתר: **חובב רדיו בן 98**.



ג. באתר "טלקום ניוז", התפרסמה כתבה המתארת את הקשיים שיש לחובבים בארץ המעוניינים להקים רשת חרום **AREDN** בתחום המיקרוגלים, לקריאת הכתבה: <https://bit.ly/3cmVQgP>

ד. ידועה לנו עזרתו הראויה לציון של מרק שטרן 4Z4KX לחובבי רדיו אשר עלו מחבר העמים, והנה איליה 4Z1UF ואדיק NT2X חיברו את השיר "לאחינו החובבים" לכבוד מרק, ומאות המפגשים עם החברים שהוא יזם על 40 מטר בשבתות בבוקר מאז 1990.
<https://www.youtube.com/watch?v=9HOZDIaxvFw>





הפרלמנט החיפאי המקורי

סופר על ידי צביקה סגל 4Z1ZV מרעננה



מיכאל קסימוב 1935-2018
4Z4ZT SK

בעבר הלא רחוק, כל פעם שרציתי להדגים פעילות על הממסרי חובבי הרדיו, מבלי לחשוף את השיממון עליהם, הייתי לוחץ PTT על ממסר חיפה R12, בדיעה שמיכאל 4Z1ZT ז"ל, הידוע גם כשומר ממסר חיפה (כמעט 24/7), למעט שנ"ץ ויום שלישי בבוקר, יענה בוודאות.

מדוע מיכאל אינו זמין יותר בממסר בימי שלישי בבוקר? שווה להמשיך לקרוא.

אז לוחצים PTT על ממסר חיפה - "הכול ביסיידר?", ישאל. כאן "זולו טנגו, זולו טקסס". אני אשאל: "מה שלומך, מיכאל?" והוא יחזור על דבריו: "הכל ביסיידר..." כחובב צעיר עניין אותי לדעת מי מסתתר מאחורי המבטא הרוסי החביב, ושאלתי אותו איך ניתן להתראות.

"מה הביעה, תגיע לפרלמנט החיפאי, כל יום שלישי בבוקר בקפה

אלכסנדר ברחוב נורדאו פינת חיים". וכך היה. הייתי מגיע אחרי כחצי שעה של חיפוש חניה ופוגש שם את מיכאל ז"ל ולרוב לצידו את איש הספר ועורך הביולטין נפתלי, טולק, 4Z4RM לימים "ידידי האנרכיסט", ועוד שפע של חברים חביבים אוהדי "מיכאלה" ובעל המסבאה שכיניו אלכסנדרה מבלי לפרט..

הסתבר שמיכאל "עולה חדש", שעשה עליה מווילנה בשנות ה-70, שירת בצבא האדום כקצין קשר ובארץ כנהג רכב כבד בצה"ל, ובהמשך עבד כמהנדס ויצא לפנסיה מ"דשנים וחומרים כימיים" במפרץ חיפה.

נשיתי, בקסמם של מיכאל והחבורה, ומידי יום שלישי הייתי מגיע מרעננה להשתתף בפרלמנט ומשם ממשיך לביקורי "הסבתות" - חמותי ואימי המתגוררות בחיפה. לאחר שהחברים היו מתפזרים, נפתלי ומיכאל, ולפעמים גם אני, היינו הולכים לשתות קפה ב-5 שקל אצל המתחרה של קופיקס, שבין היתר סיפק כרטיס חבר עם ניקובים המזכה בכוס קפה חינם בשיטת הצבירה.

הנוהג נפסק כשבית הקפה העלה את המחיר ב-20% ל-6 שקלים..

לימים התרחב חוג הפרלמנט, ובית הקפה היה צר מלהכיל את החברים. אז גם למדתי שמיכאל מגיע מקריית אתא, מחליף 2 אוטובוסים ומטרונית, ואחרי לחץ פיזי מתון של נפתלי, התרצה מיכאל והפרלמנט עבר למשכנו החדש בקפה-קפה בחניון חוצות המפרץ.



המפגשים בקפה קפה - חוצות המפרץ טרם עידן הקורונה

בשלב הזה פתחתי קבוצת ווטסאפ בשם "פרלמנט חיפה הגרעין הרך", המונה כיום 25 חברים קבועים, ובנוסף אורחים מזדמנים. לימים פרצה הקורונה, ומגבלות התו הצבעוני מנעו את המשך ההתכנסות. אבל לא איש כמו ידידי האנרכיסט, נפתלי, ייכנע, והוא מצא לנו פינת חמד בטבע במרכז המסחרי של יגור בקפה יוניקו.



המפגשים ביגור בואכה קפה יוניקו

בתחילה התיישבנו על שולחנות נוסח קק"ל, וכאשר אזלו המושבים, הבאנו כיסאות מתקפלים, ועם תחילת הטפטוף ו/או השמש הקופחת, התנחלנו תחת קורת גג פתוח בסמוך לבית הקפה יוניקו אשר סיפק לנו שולחנות וכסאות, הכל במגבלות התו הצבעוני.

אז מה עושים בפרלמנט - מתכנסים בין תריסר איש לשני מניינים ויותר של חובבים, מתקשקים על ענייני דיומא, מקבלים החלטות אסטרטגיות כמו מי יהיה ראש הממשלה הבא ופה ושם גם על נושאים הקשורים בחובבות רדיו. הפרלמנט גם הפך לנקודת איסוף ומסירה של משלוחים שונים לחובבים ממרכז הארץ ומצפונה, משהוא כמו אלטרנטיבה אמינה לצב של דואר ישראל.

מעניין לראות את הפמליה "שמקצתם חיפאים אמיתיים", והשאר מגיעים מכל קצות הארץ לרבות מהצפון הרחוק, כמו גיל וגל מאזור מעין ברוך, שמעון מטבעון, יוסי מזיכרון, גדי מנורדיה, דני ואברהם ולפעמים נסטור מגבעת האלה, עופר מעפולה, נמרוד מקיסריה, דיקו מכפר סבא, דב מרמת השרון ועוד כהנה וכהנה, אשר בשל מגבלות CPU וזיכרון, כנראה שכחתי לציין.

גולת הכותרת הייתה במפגש שהתקיים היום, (26/10/2021) בו השתתף אורח הכבוד - הלא הוא חיים לוי 4Z1HL, האוחז בגאווה גם אות קריאה של גאנה 9G5AF ומתחזק גם את אות הקריאה המיוחד 9G2DX, אשר שימש את המשלחת הישראלית בגאנה במרץ 2019. חיים זכה אצלי לכינוי "התורם האלמוני" בזכות שורה של תרומות לרווחת חובבי הרדיו בישראל וכמובן הארגון למופת של המשלחת לגאנה.

בקיצר, עוד פן יפה של חובבות הרדיו – מפגשים חברתיים של אנשים החולקים אותו סוג של הפרעה מבורכת.



צביקה סגל 4Z1ZV , חיים לוי 4Z1HL , עמוס סובל 4X4MF



תרומתם של חובבי הרדיו בהקמת ובהפעלת גלי צה"ל

אברהם אמיר 4X4FW

לפי ההיסטוריה המקובלת, היוזמה להקמת תחנת השידור הצבאית בשנת 1950 הייתה של המטכ"ל של צה"ל, אשר עניין את ראש הממשלה דוד בן-גוריון ברעיון הזה. בן-גוריון התלהב מאוד והביא להחלטת הממשלה על הקמת התחנה. לעומת זאת, קיימת גרסה שונה, היוזמה להקמת תחנת שידור צבאית באה מאנשי חיל הקשר.

בתקופה זו, שרת **יחיאל ילזו** (יחי) 4X4BT כטכנאי בחיל הקשר והקצין הטכני שלו היה ג'ו בר 4X4AA. יחי היה בצוות הטכני שהחל במימוש רעיונו של ג'ו וחברו הקרוב מושיק בעל-קורא 4X4AB לבנות אולפן שידור ותחנת רדיו מעודפי ציוד אמריקאי שנמצא במחסני חיל הקשר. ציוד העודפים כלל קונסולה, פטפונים, ציוד הקלטה לאולפן שידור ומשדר BC-610.

באותה תקופה, יחי 4X4BT היה החונך שלי כחובב רדיו מתחיל כשגרנו במושב אביחיל. הוא סיפר לי שג'ו בר 4X4AA עניין את קצין חינוך ראשי בצה"ל ברעיון הקמת תחנה שידור צבאית מציוד אולפן ושידור הקיים במחסני חיל הקשר. קצין החינוך עניין את המטכ"ל שהביא את הרעיון לדוד בן-גוריון והשאר הוא היסטוריה.

אהרלה קשטן 4X4CX, יחי 4X4BT, יואל סלומון 4X4CC ויאיר בן-נסים 4X4GB היו בצוות שתכנן ובצע את בניית תחנת השידור ומערך האנטנות. הצוות הטכני בצע שינויים במשדר BC610 שבמקורו כסה תחום ת"ג מ-2 מה"ץ עד 18 מה"ץ. היה צורך לפעול בתדר 1,395 קה"ץ ולשם כך, הוסיפו כריכות לסלילי דרגות ההגברה ותיאום האנטנה. הספק השידור היה 300 וואט. בנוסף למשדר בגל הבינוני, הופעל משדר מ.ק. 81 בגלים קצרים בתדר 6.725 מה"ץ שנועד לכסות אזורים מרוחקים.

התחנה הוקמה בבניין בית ספר יסודי ברמת גן ואולם ההתעמלות שימש למשדרים. חדר המורים וחדר המנהל שמשו כאולפן ותקליטיה. מגרש חצר בית הספר שמש כשדה האנטנות. עבור משדר התחנה הצבאית בגלים בינוניים, נמתחה אנטנת T בין שני תרנים שמוקמו בשתי פינות המגרש. בתחתית הקטע האנכי של האנטנה הוצב מתאם אנטנה שנבנה ע"י צוות הטכנאים, ממנו

יצא קו הזנה קואקסיאלי עד למשדר. מסביב למתאם האנטנה נקברו באדמה עשרות כבלי נחושת ששמשו כרדיאלים באורך רבע גל.

לקונסולה באולפן חוברו פטפונים מקצועיים ורשמי קול, שנמצאו במחסן העודפים, אך הבעיה העיקרית הייתה השגת מיקרופון אולפן ברמה מקצועית. יחי 4X4BT "נידב" את "מיקרופון הסרט" - Ribbon Microphone שבו השתמש בתחנת החובבים שלו. מיקרופון זה שימש את התחנה בתחילת השידורים, עד שהגיעו המיקרופונים שהוזמנו מחו"ל. למיקרופון הסרט של יחי יש היסטוריה מוקדמת הקשורה בשידורי המחתרת בתקופת המנדט הבריטי. יחי קבל אותו מטכנאי רדיו בנתניה, אשר בנה את משדר האצ"ל שפעל באמצעות המיקרופון הזה.

במשך מספר חדשים התקיימו שידורי ניסיון לבדיקת ציוד השידור והאולפן. משרד הדואר הקצה לתחנה אות קשר של תחנה ניסיונית 4X4EA. שידורי הניסיון כללו מוזיקה רצופה עם הודעת ביניים שחזרה מידי פעם: "כאן ארבע איקס ארבע וו אלף". כרטיסי QSL של תחנת 4X4EA נשלחו למאזינים שדווחו על רמת וטיב הקליטה ברחבי הארץ. אשמח מאוד לקבל צילום של כרטיס כזה. התמונות הבאות הן של כרטיס QSL של גלי צה"ל כאשר התחנה נפתחה לשידור רשמי. הכרטיס הזה לא שינה את צורתו ותוכנו והוא נשלח למאזינים ברחבי העולם, מאז שנות החמישים. המיקרופון במודעה (מצד שמאל למטה) הוא מיקרופון הסרט של יחי 4X4BT.



כרטיס QSL של גלי-צה"ל

מודעה שפורסמה בעיתונות

המועד הרשמי לפתיחת השידורים נקבע לתאריך 27.8.1950 ופורסמו מודעות על כך בעיתונות, אך בפועל השידורים החלו בתאריך 24.9.50. בשנת 1952 נוסף דם חדש לצוות הטכני, עמי שמי 4X4DK הצטרף לצוות טכנאי האולפן. שרגא זלצשטיין 4X4AP ואברהם אמיר (פרנקו) 4X4FW הצטרפו לצוות תחנת המשדרים.

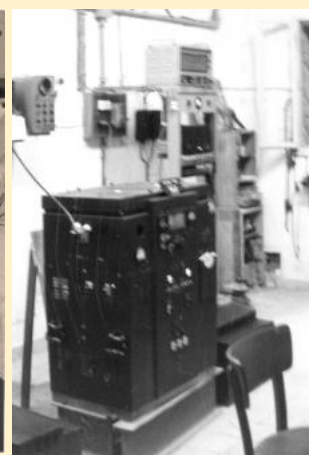
בשנת 1954 הצטרפו לתחנת המשדרים בצלאל בזק 4X4KR ואשר ידלינסקי 4X4AY. תחנה זו פעלה עד שנת 1958 והתמונה הבאה צולמה על ידי כשהייתי במשמרת האחרונה שלי בתחנה לפני סגירתה. למחרת, שידרנו מאתר חדש עם משדר של Collins בהספק של 10 קילו-וואט.



חדר הבקרה של האולפן 3-1952



מ.ק. 81
לשידור בגלים קצרים



ערב השידור האחרון
של משדר BC-610

לסיכום, מסיפור הקמתה של תחנת גלי צה"ל מבינים שהיוזמה להקמתה נבעה מרעיונו של חובב רדיו שחיפש דרך לניצולם של עודפי ציוד הפזורים ללא שימוש. ניתן להסיק מכך, שלולא יוזמתו של ג'ו בר 4X4AA לא הייתה קמה תחנת גלי צה"ל. בתקופה זו השידור הציבורי היה בשליטה מלאה של משרד ראש הממשלה ולא סביר שממלא תפקיד ציבורי כל שהוא היה חושב להעלות רעיון כזה לדיון.



לוח הנצחה שהוצב לרגל 60 שנה לגל"צ
בנין בית הספר בו פעלה התחנה בשנות החמישים.
הבניין כלל קומת קרקע וקומה ראשונה בלבד.

אני מודה לחובבי הרדיו הבאים שסייעו לי בהשלמת המידע לכתבה זו: שרגא 4X4AP, עמי 4X4DK, שלמה 4X1AS, בצלאל 4X4KR ויורם 4X4BP. מידע נוסף והערות להשלמת התחקיר שלי בנושא זה יתקבלו בברכה לדוא"ל: 4x4fw@iarc.org
עורך האתר: <http://www.telecom-milestones.com>



ביקור בתחנה של עמי שמי 4X1DK

נכתב בהתרגשות רבה על יד צביקה סגל 4X1ZV



עמי שמי בן ה-11 עם מקלט רגנרטיבי (שפופרת אחת)

אני שייך לדור שטחן בשקיקה את "הטכנאי הצעיר" אשר לימים נכרכו החוברות בספרים עם כריכה אדומה, ו"החובב הצעיר" בכריכה כחולה. בנוסף למאמרים כיצד בונים רדיו גביש בסבונה, זכורים לי המאמרים על חובב רדיו עול ימים בשם עמי שמי אשר היה משתתף בתחרויות עולמיות וזוכה במקומות הראשונים. תמונות הנער עם הבלורית היושב בתחנה ליד קופסאות גדולות ממדים נכרתה בזיכרוני, ואחד מחלומותיי היו לבקר בתחנה שלו. אמ'מה, עמי התגורר בירושלים ואני בחיפה, וככה החלום כמעט ונגזז.

עשרות שנים לאחר מכן, הצטרפתי למעגל חובבי הרדיו "הרשמיים" ושמו של עמי עלה מידי פעם בחיל ורעדה על ידי חובבים וותיקים והצטייר לי הרושם כי מדובר באדם קשיש, המתמחה בקריאות CQ, מתנשא, אשר רק יחידי סגולה יזכו לצקת מים על ידיו בזכות היותו אחד החובבים המוכרים בעולם, עם הישגים מרשימים ומקום ראשון בעולם ב-DXCC ב-SSB גל יחיד ובאופני שידור ובגלים שונים (MIX), מוביל בהפעלות בכל מוד וגל אפשרי בתחום החובבים. לכן כשחנן צבר 4Z1DZ התקשר אלי ערב אחד ושאל אם ברצוני להצטרף לביקור אצל עמי, התשובה הייתה נחרצת, חד משמעית ובלתי מתפשרת - "ברור, מתי, איפה"? מסתבר שעמי נדד לפני שנים רבות מירושלים לרחובות, בין לבין נהל עסק דפוס דיגיטאלי והאתגר הכי גדול בביקור היה למצוא חניה ברחובות העמוסים עד אפס מקום. לאחר כמה סיבובים הסתבר שטלפון של חנן לעמי הסתיים בהרמת השער לביתו. נכנסנו בחיל ורעדה לקודש הקודשים - חדר צנוע ממדים המלא עד אפס מקום בצידוד, בעמי ובדוד סודרי 4X4WN חובב רדיו המתגורר במושב "שורש" בואכה ירושלים, מקצוען בתחום ה-RF, אשר חנן היה מזכיר מידי פעם בהערכה רבה. קיצר, שתי ציפורים במכה. בנגוד לציפייה המוטעית, פגשתי איש חביב, מחייך, מסביר פנים וצנוע ששמח מאוד לארח אותנו בתחנתו. אם לא הייתי מודע לתאריך הלידה - 1935, הייתי מפחית כמה עשרות שנים מגילו הפורמאלי.



משמאל לימין – המגבר האגדתי, עמי, חנן ודוד

“הסיור” בתחנה של עמי התחיל בארון עם פנל אפור עתיר שעונים, אשר בז'רגון של חובבי הרדיו נקרא מגבר לינארי שפופרתי עתיר הספק. מגבר שעמי שפצר ומורכב משתי משקולות – המגבר עצמו, וספק כוח בריון לא פחות. ללא ספק סוג של ציוד שהיה גורם התרגשות רבה לחברו הקרוב ערן אברבנאל ז”ל 4X1MO SK, בזכות שפופרת הספק ומבנה מכני מרשים.



משם המשכנו למסע מרשים בין מגבר אחד למשנהו, כולם או משפצור של ציוד רוסי עתיק יומין עם זיכרון מכני מרשים ועד דרך מגבר של מוטורולה שעבר הסבה ועד למגבר טרנזיסטורי מבניה עצמית אשר הוא משלים את בנייתו בימים אלו.

גולת הכותרת הייתה העלייה "לשדה האנטנות" על גג ביתו. העלייה לגג דורשת טיפוס על סולם וחדירה דרך פשפש. עמי הוביל אותנו כשהוא מטפס במיומנות המאפיינת צעיר בן 16. על גג ביתו ניתן היה להבין כי מדובר בלקוח רציני של חברת יאזו, מחלקת מסובבי אנטנות. בכל מקום בגג, יש תורן אשר למעט האנטנות הוורטיקליות, לכל אחת יש מנוע. רוב התחומים מ-20 מטר ומעלה מכוסים על ידי אנטנות יאגיי לרבות לוג פריודית.



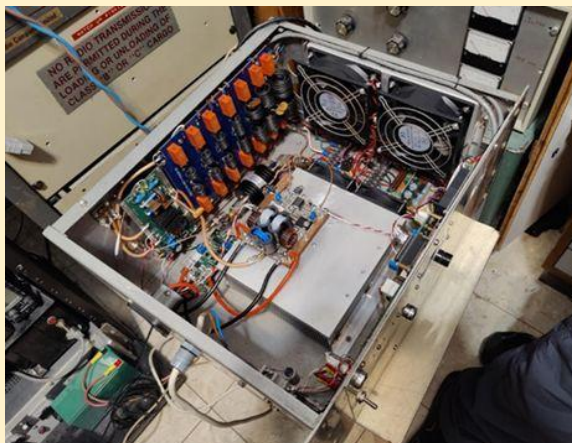
"שדה האנטנות" על הגג של עמי

האנטנה המעניינת היא דווקא וורטיקאלית ל-160, 80 ו-60 מטר המתנוססת לגובה של 27 מטר, על מתקן מכני מרשים ביותר, הנושא את האנטנה על ציר עם מבודדים המאפשר הורדה שלה לתחזוקה בציר סבוב לאלכסון הארוך של הגג. בצמוד לבסיס האנטנה נמצא ארון מתכת בו נמצאים מעגלי התאום של האנטנה, וכך גם בצריף במרכז הגג.

זוכרים – כל האנטנות חייבות להיות מתואמות, ואם נדרש תאום, הוא יעשה בסמוך לאנטנה ולא בתחנה.

זה פותר את הצורך במתאם בתחנה, מקטין קרינה והפרעות מקווי התמסרת ולרוב גם משפר את יעילות הקרינה של האנטנה.

לסכום הביקור הראה לנו דוד את מגבר האנטנה "המתחרה" שהוא בונה, גם הוא על טהרת ה-SOLID STATE.



מסתבר שחובבות הרדיו מעבר לעיסוק מרתק, בנייה ואינטגרציה של מכלולים ואנטנות, יצירת קשר חובק עולם, גם מייצרת מפגשים מרתקים, וכנראה מי שמתמיד בעיסוק זוכה "לשמון רציף" של גלגלי השיניים במוח ובגוף וכפועל יוצא נשאר צעיר בגופו ורוחו.



יום שדה במצפה משואה

בנוף מרהיב ביערות שמדרום מזרח לבית שמש, בנוף הנשקף ממערב למצפה, בשפלת החוף הנפרשת עד קו חוף הים! נערך ב-23/10/2021 יום שדה אליו הגיעו עשרות חובבי רדיו. כמה מהם הפעילו תחנות רדיו והחלק הארי, הגיע למפגש חברתי עם כיבוד ושתייה וגם חלק אמנותי שכלל שירה בציבור. האירוע הופק ע"י ועד האגודה! היה כיף ושניפגש בפעם הבאה, 73!
כתב עופר עזרא 4X1ON צילמו חברים שלנו.



אברהם סלע 4Z1IZ עם חברים ומשפחה



אייל רסקין 4X1RE עם חיים לוי 4Z1HL



חברים מתארגנים למשלחת לרואנדה



משפחת שטסל עם משרד ה- QSL בשדה



את חטאי אני מזכיר היום

מאת: אריה סתר 4X40A

גלים בינוניים

נכון, שידרתי בגלים בינוניים; פעם ב- 600 קה"צ ופעם ב- 1,700 קה"צ, פעם ב- AM ופעם ב- FM. פעם למרחק 20 ק"מ ופעם למרחק 0 ק"מ.

בימי תשרי, הימים בהם נוהגים לעשות חשבון נפש, הרהרתי והחלטתי להתוודות. העבירות הפליליות הנ"ל, בוצעו לפני כ- 35 שנה. איני פוחד מחשיפה כי חלה כאן התיישנות. אל תיקחו את דברי יותר מדי ברצינות, אך הדברים שאספר להלן, הם אמת לאמיתה.

האנטנה

מה שאפשר לי לבצע את העבירות, זו אנטנת חוט באורך 117 מ', גבוהה יחסית ומרוחקת ממבנים חוסמים. אנטנה זו נבנתה עבור 160 מ' (3/4 אורך גל) ב- 1.820 מה"צ - תחום הדיבור של 160 מ'. עבודה ב- 1.7 מה"צ התאפשרה גם כן. התהודה שלה ברבע אורך גל הייתה בסביבת 600 קה"צ.

Two Way בלב ה-Broadcast

יום ששי בערב. אנו מארחים זוג חברים. הבעל הוא חובב. לפני שנפרדנו בשעה 03:00 לערך, קבענו שנעשה ניסוי. אני אשדר בתדר 603 קה"צ AM והוא יקלוט שידור זה במקלט המכונית. בכיוון הנגדי הוא משדר אלי בשני מטר סימפלקס. והעסק עבד! לאורך כל הדרך דיברנו, אך בדיוק כשהיינו בשלבי פרידה, הוא הפסיק לשמוע אותי ובמקום זה הוא שמע צפצוף. גם אני שמעתי צפצוף זה במקלט המקמ"ש איתו שידרתי. מה שקרה זה שהתחנה הקפריסאית שמשדרת ב- 603, הדליקה את המשדר לקראת תחילת יום השידורים.

האזנה והתפרצות לטלפון אלחוטי

כיום קיים תקן אחיד לטלפון אלחוטי ביתי (Cordless) הלא הוא ה- DECT. טלפונים ישנים פעלו במגוון שיטות ותדרים. היה גם סוג שפעל ב- Analog FM בתחומי התדרים 49 מה"צ ו- 1.7 מה"צ.

להזכירכם, טלפון עובד ב- Full Duplex. תדר אחד מהבסיס לנייד ותדר שני מהנייד לבסיס. באותה תקופה לא ידעו לעשות דופלקסר קטן וזול, מכאן הפער הענק בין התדרים. הייתי קולט טלפונים אלחוטיים בתחום 1.7 מה"צ FM, יום אחד שמעתי קול מוכר, נערה מדירת הפנטהאוז, שחוט האנטנה שלי עבר לידו.

חיכיתי לשלבי הגמר של השיחה, לחצתי PTT וקראתי בשמה; "מי זה?" היא שאלה מייד. לא מתחתי אותה יותר מדי, הזדהיתי והסברתי לה איך עליתי על הקו.



אגודת חובבי הרדיו הבולגרית BFRA

מאת: עזרא עופר LZ1ONN / 4X1ON

אגודת חובבי הרדיו הבולגרית (האגודה) הוקמה בשנת 1990, לאחר הקמת דמוקרטיה פרלמנטרית, שנה אחרי נפילת המפלגה הקומוניסטית, ששלטה לאורך השנים בבולגריה לצד ברה"מ והשתייכותה לברית ורשה.

בבולגריה כ-6500 חובבי רדיו מורשים, רק כ-360 מהם רשומים כחברים משלמי מיסי חבר באגודה (מיסי חבר שם רק כ-40 ש"ח לשנה). מספרם המועט נובע מכך שיש הרבה התארגנויות אזוריות, חובבים שמארגנים בעצמם פעילויות מקומיות. אתיחס לכך בהמשך.

כמאה חובבים בשנה לומדים בקורסים לקראת בחינה לקבלת רישיון, במסגרת מועדונים מקומיים ואזוריים, הצעירים בבתי ספר תיכוניים והמבוגרים במועדונים עירוניים (מתנ"סים). ההדרכה מתבצעת באחריות אגודת חובבי הרדיו הארצית. כל מי שעובר מבחן פנימי במסגרת הקורס/מועדון יכול לגשת למבחן הרשמי של משרד התקשורת שיעניק את הרישיון הנכסף, כאשר הבוחנים הם מטעם אגודת חובבי הרדיו הארצית.

גיל המינימום להוצאת רישיון הוא 12, כאשר עד גיל 16 הוא מותנה בליווי של חובב מבוגר ו/או עמידה במבחן מעשי נוסף לבחינת שליטתו של הנער כחובב עצמאי.

העלות היא חינם לחברי האגודה, או תשלום סכום ששוויו בערך 200 ש"ח למי שאינם חברים.

דרגות הרישיון בבולגריה הן: א', ב' ו-ד' לפי הסכם CEPT, ר"ת של:

European Conference of Postal & Telecommunications Administrations

הספק שידור מירבי: ב' - עד 350 וואט, א' - 350 וואט, בתחרויות ובהפעלות מיוחדות אפשר לקבל היתר עד 1500 וואט, המותנה בבקשת אישור ממשרד התקשורת, באמצעות פנייה מקוונת.

מערכות הממסרים בבולגריה מתוחזקות ע"י צוותים אזוריים בהתנדבות מלאה ומיקומם בד"כ הוא על בסיס של התקשורת המקומית, כמו מגדלי שידור ממשלתיים, מחנות צבא, אתרים בחזקת רשות שמורות הטבע וכדומה הניתנים חינם אין כסף.

רוב הממסרים הגיעו בעבר מתרומות (כולל מישראל) או מפירוקים של ג'אנק אזורי/צבאי שתוקנו והורכבו ע"י החובבים עצמם.

בשנים האחרונות התקבל ציוד חדש ומודרני שכולל, בין השאר, רשת DMR ארצית/מקומית.

ימי שדה והפעלת המועדונים, היא יוזמה בד"כ מקומית/אזורית.

פעם בשנה, לקראת סוף חודש יוני, מתקיימת האספה השנתית של האגודה, שבו מגיעים מכל קצוות המדינה לעיר [Kazanlak](#), הממוקמת בעמק הוורדים במרכז המדינה, לשלושה ימים של מפגשים, הרצאות, שוק לקניה ומכירה של ציודים, הופעות והמון אוכל ושתייה (אלכוהולית בעיקר HI).



ציד שועלים בתחום ה-VHF



קורס עזרה ראשונה והחייאה לחובבי רדיו צעירים



תחרות בין לאומית של ציד שועלים שנערכה בבולגריה שזכתה למקום ה-1

כל מה שרצית לדעת ולא העזת לשאול על תאום אנטנות ומכשיר הפלא NanoVNA

קראתי במרשתת על הרצאתו של צביקה 4Z1ZV ב-28/10/2021 במרכז המדעים בהרצליה: השתתפו קרוב ל-60 איש, למרות ש-40 חובבים שנרשמו לא הגיעו והיו כמה שבלטו בהעדרותם הרועשת... ההרצאה הייתה מאלפת וזאת על פי כמה מהתגובות של משתתפיה. ההרצאה נגעה בנושאי הליכה בחובבות הרדיו – תאום אנטנות, שיטות מדידה כולל שימוש במכשיר ה-NanoVNA בעלות של 50 עד 100 דולר עם יכולות המתקרבות לציוד שעולה כ-50,000 דולר. לינק: [פרטים לגבי רכישת המכשיר מחו"ל](#).
...בשירות הצבאי לצורך בדיקת אנטנה, היינו מטפסים על תורן ומעלים עם גלגלת מחולל אות וספקטרום אנלייזר, כל אחד 35 ק"ג, כבל מתח מאריך ומצמד כווי. היום זה נכנס בכיס ונותן הרבה יותר... (צביקה סגל)



חובבי הרדיו מקשיבים בעניין להרצאה



צביקה סגל 4Z1ZV בפעולת הסברה על מכשיר הפלא NanoVNA -

ליקט וערך נפתלי 4Z1RM צילום אלי פרוינד 4X5EF



מגברי הספק במשדרי ת"ג של חובבי רדיו

דניאל רוזן, 4X1SK

מבוא

מגברי הספק לת"ר (תדר רדיו) בתחום הת"ג (High Frequency), 160 עד 6 מטר (1.8 עד 54 מה"ץ) הם מרכיב בסיסי בתחנת חובבי רדיו, כחלק מהמקמ"ש (משדר/מקלט) או כפריט העומד בזכות עצמו (בדרך כלל: מגבר לינארי, להגדלת הספק המקמ"ש).

חומר הלימודים לבחינות חובבי רדיו כולל רק דרישות בסיסיות בתחום המגברים: שימוש בטרנזיסטור כמגבר, הגבר מהו, מאפייני מגברים, סוגי מגברים;¹ מבנה מגברים איננו נכלל בחומר הבחינה. מאמר זה משלים ידע בסיסי על מבנה מגברי הספק לת"ר המקובלים בשימוש חובבי רדיו, המבוססים על טרנזיסטורים תופעת שדה להספק גבוה, בטכנולוגיה של MOSFET.²

בשנים עברו, מגברי הספק ת"ג בשימוש חובבי רדיו היו מבוססים על שופרות ריק, גם כאשר נעשה שימוש רב ברכיבי מצב מוצק (Solid State), שכן מגברי הספק ת"ר על בסיס טרנזיסטורים היו יקרים. בעשור האחרון המציאות השתנתה – זמינות רכיבי הספק לת"ר מסוג MOSFET ו-LDMOS בביצועים גבוהים ועלות נמוכה הביאה לכך שהשימוש בהם בידי חובבי רדיו הוא נפוץ ומקובל, ושופרות ריק יוצאות משימוש.

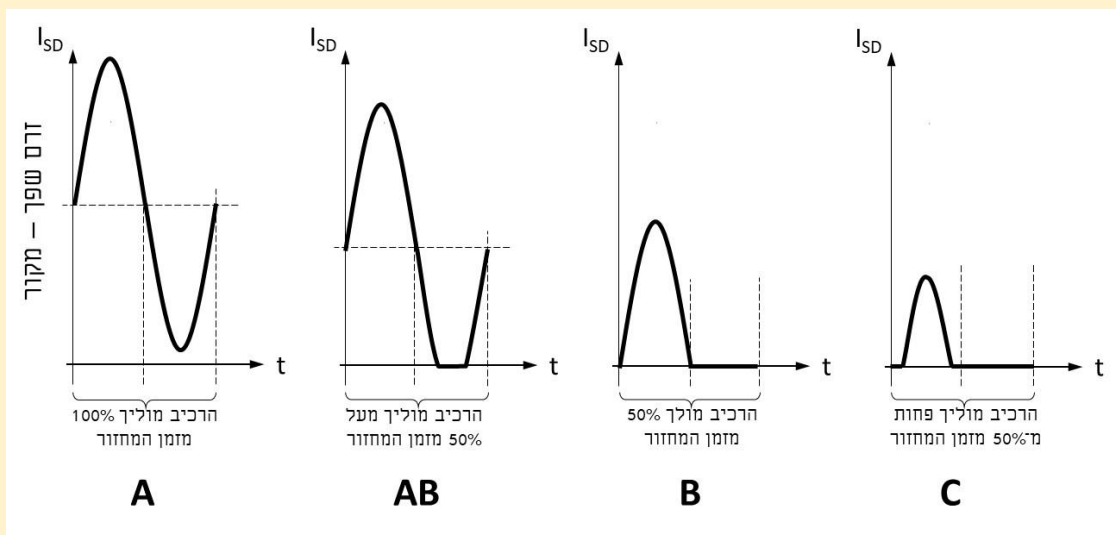
סיווג מגברים

מגברי הספק לת"ר מסווגים על פי ייעודם (מגבר לינארי או מגבר לא-לינארי), ועל פי החלק מזמן המחזור בו הרכיב המגביר מוליך, הנקבע באמצעות המיקדם (bias) לרכיב המגביר, דבר שיש לו השפעה מהותית על נצילות המגבר, כדלקמן:

- **מגבר סוג A (Class A)** הוא מגבר בו הרכיב המגביר מוליך כל זמן המחזור (100% מזמן המחזור). צורת עבודה זו מאפיינת מגבר אות חלש. מגבר זה הוא **מגבר לינארי**, דהיינו: האות המוגבר במבוא המגבר זהה בצורתו לאות בכניסה, בעיוותים מזעריים.
- **מגבר סוג AB (Class AB)** הוא מגבר בו הרכיב המגביר מוליך פחות מכל זמן המחזור, אך יותר מ-50% ממנו. צורת עבודה זו מאפיינת מגברי הספק, וכדי שהמגבר יהיה לינארי, משתמשים בשני רכיבי הגברה שתפוקותיהם משתלבות – האחד פועל במחצית המחזור הראשונה, והשני פועל במחצית המחזור השנייה. שיטה זו מכונה בשם דחסף (קיצור של דחף – סחף, Push – Pull).
- **מגבר סוג B (Class B)** הוא מגבר בו הרכיב המגביר מוליך 50% מזמן המחזור. גם צורת עבודה זו מאפיינת מגברי הספק לינאריים, בהם משתמשים בשני רכיבי הגברה בשיטת דחסף.
- **מגבר סוג C (Class C)** הוא מגבר בו הרכיב המגביר מוליך פחות מ-50% מזמן המחזור. המגבר איננו לינארי ואיננו מתאים לאותות לינאריים. מגברים כאלה שימשו בעבר למשדרי מורס (CW – Continuous Wave), כי מעגלי תהודה ומסנן מעביר נמוכים במוצא המגבר מנחיתים את הרכיבים ההרמוניים ומאפשרים הוצאת אות 'נקי'. במשדרים מודרניים, מגברים סוג C משמשים בעיקר לשידורי אפנון תדר (FM) או אפנון מופע (PM).

¹ דניאל רוזן, **מדריך לבחינות חובבי רדיו (דרגה ג' ודרגה ב')**, אגודת חובבי הרדיו בישראל, תל אביב, התש"ף – 2020 (להלן: רוזן, **מדריך לבחינות**), עמ' 40–48, 63–65.

² Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. רוזן, **מדריך לבחינות**, עמ' 50–53.



סיווג מגברי הספק MOSFET לפי יחס זמן מחזור הולכת הזרם בין השפך למקור
 זרם ברכיב המגבר. עירור המגבר באות בצורת סינוס

מגבר הספק ת"ר לינארי בשיטת דחסף

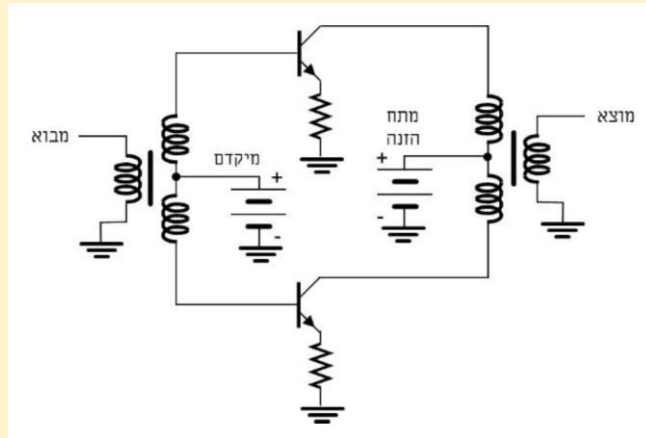
מגבר בשיטת דחסף בנוי משני מוליכים למחצה (טרנזיסטורים או MOSFET) במיקדם (Bias) הקובע להם נקודת עבודה בה הם מוליכים בחצי מחזור (מגבר סוג B) או מעט יותר מחצי מחזור (מגבר סוג AB). הרכיב האחד מוליך במחצית אחת של המחזור, והרכיב השני מוליך במחצית הבאה של המחזור. השנאי במבוא מזין את שני הרכיבים, והשנאי במוצא מחבר את האותות משני הרכיבים לאות אחד.

מעגלי דחסף מתאימים במיוחד למגברי הספק, שכן כל רכיב יכול להגביר במלוא התחום הלינארי שלו, וכאשר אין אות במבוא המגבר, צריכת הזרם של המגבר נמוכה מאוד.

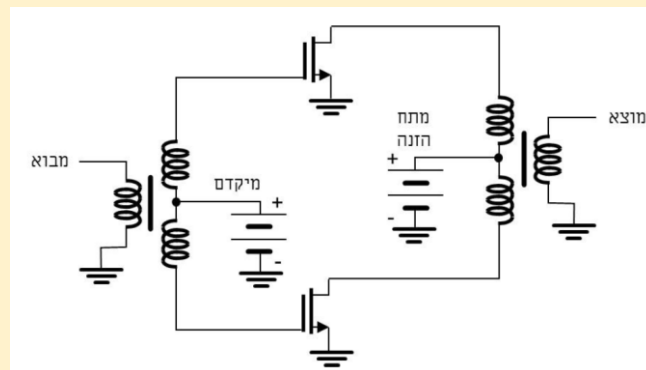
במגבר מסוג זה, עיקר העיוותים חלים באזור המעבר, כאשר רכיב אחד מפסיק להוליך והרכיב השני מתחיל להוליך. עיוותים אלה נקראים עיוותי מעבר (Crossover Distortion). מיקדם נכון, שייקבע נקודת עבודה במצב AB, מצמצם עיוותים אלה. כמובן שיש חשיבות לתאימות בין שני הרכיבים – אם שני הרכיבים (והשנאים) מאוזנים, ההרמוניות הזוגיות במוצא המגבר יתבטלו, ולינאריות המגבר תשתפר.

מגברי הספק בשיטת דחסף מסוג AB, המקובלים בשימוש חובבי רדיו בתחום הת"ג, מציגים יעילות גבוהה (50% עד 60%) ועיוותים נמוכים (פחות מ-2%).

שידורי מורס (CW) משתמשים אף הם במגברי הספק לינאריים, כדי לצמצם 'נקישות מפתח' (Key Clicks).

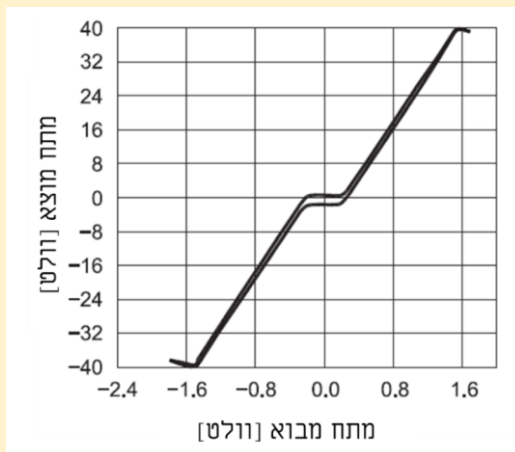


מגבר עם
טרנזיסטורים
דוקטביים

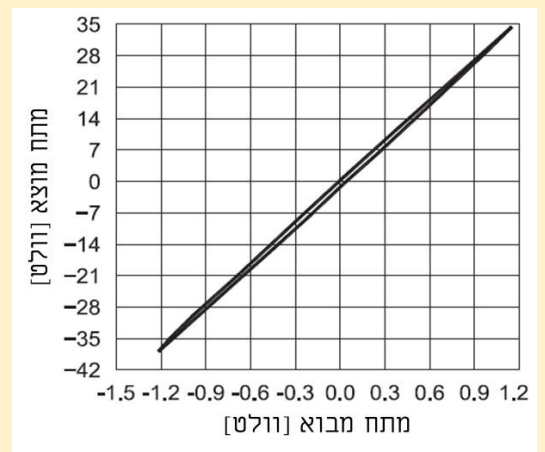


מגבר עם
טרנזיסטורים
MOSFET

מבנה עקרוני של מגבר דחסף



אותו המגבר, עם מקדם לא נכון ואות מבוא בעוצמה גבוהה יתר על המידה



מגבר לינארי, עם מיקדם נכון

מתח במבוא מול מתח במוצא: עיוותים במגבר דחסף, בתצוגת X-Y במשקף תנודות

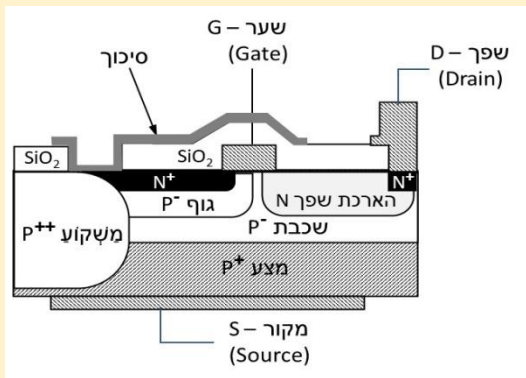
מקור: © ARRL, The ARRL Handbook for Radio Communications, 2020, עמ' 17.2.

רכיבי MOSFET במגברי הספק

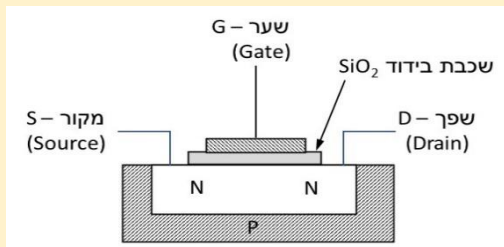
ראשוני מגברי ההספק לת"ג עם רכיבי מוצק שהופיעו בשוק השתמשו ברכיבי מצב מוצק MOSFET. בשנים האחרונות עברו היצרנים להשתמש ברכיבי LDMOS (Laterally Diffused MOS).

טרנזיסטור תופעת שדה MOSFET בנוי ממצע (באיור : חומר מסוג P) עליו מושתלת 'תעלה' של חומר בעל אילוח שונה (באיור : חומר מסוג N), ומעליו שער (Gate) מעל שכבה דקה של חומר מבודד (באיור : תחמוצת סיליקון). כשמופעל מתח חשמלי בין השפך למקור, הפעלת מתח על השער שולטת על זרימת האלקטרונים ב'תעלה'. ללא מתח על השער, התעלה לא מוליכה.

טרנזיסטור LDMOS פועל בעיקרון דומה, אך במבנה יותר מורכב. השער מסוכך כדי להקטין את הקיבול בינו לבין יתר מרכיבי הטרנזיסטור, והדבר משפר את הלינאריות של הטרנזיסטור. המקור (Source) מוארק ישירות – זה האלמנט המהודק מכנית למִפְנֵי החום (Heat Sink) ולכן מאפשר פיזור חום יעיל, ומאחר שהוא לא נזקק לתילי חיבור, השראותו נמוכה מאוד. השפך (Drain) הוא בצד השני של פרוסת הסיליקון (Wafer), וכך נשמרת רמת בידוד גבוהה בין השפך למקור. מבנה זה נועד במיוחד למגברי הספק בתדרי רדיו.



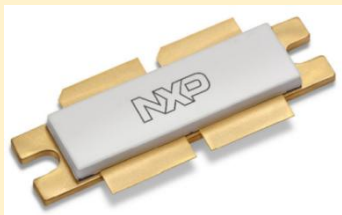
N Channel LDMOSFET



N Channel MOSFET

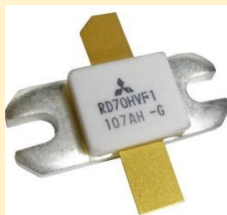
מבנה טרנזיסטורים תופעת שדה (FET) המשמשים במגברי הספק

טרנזיסטורים LDMOS מיוצרים במספר אריזות, חלקם כטרנזיסטור בודד וחלקם כזוג טרנזיסטורים מתואם. המשותף לכולם הוא כי את המקור (Source) ניתן להדק מכנית למפזר החום.



MRF1K25HR5

זוג רכיבי LDMOS במארז קרמי אחד.
משמש במגבר SPE Expert 1.3K-FA,
מופעל במתח 50 וולט ומשדר בהספק
1,300 ואט



RD70HVF1C-121

רכיב LDMOS במארז קרמי. משמש במקמ"ש ICOM-7300. זוג רכיבים כאלה מופעל במתח 12 וולט ומשדר בהספק 100 ואט



RD16HHF1

רכיב LDMOS במארז פלסטי.
משמש במגברי ת"ג. זוג רכיבים
כאלה מופעל במתח 12 וולט
ומשדר בהספק 30 ואט

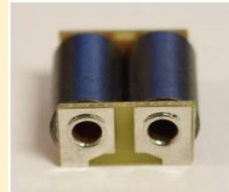
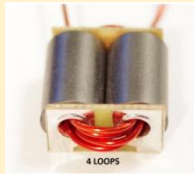
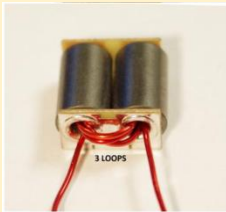
טרנזיסטורים LDMOS אופייניים במגברי הספק לת"ג בציוד חובבי רדיו

טרנזיסטורים LDMOS מסוגלים לשאת הספקים גבוהים, ובדרך כלל לא רגישים לכך שקו הזן לאנטנה פתוח או מקוצר. לעומת זאת, הם רגישים מאוד למטעני חשמל סטטיים, ויש לנקוט באמצעי זהירות מתאימים בעת טיפול בהם.

שנאים ותאום

מגברי הספק עם שפופרת ריק השתמשו בדרך כלל במעגל π במוצא המגבר, כאמצעי יעיל לתאם בין העכבת הגבוהה של שפופרת הריק (הרבה יותר מ-50 אום) לבין קו הזן. מגברי מצב מוצק הם בעלי עכבת מוצא נמוכה (הרבה פחות מ-50 אום), ושיטת התיאום המקובלת במגברי הספק בתחום הת"ג היא שימוש בשנאי רחב סרט. השנאים הם פריט חשוב מאוד במגבר הספק המבוסס על רכיבי מצב מוצק ומשפיעים על יעילות (efficiency), שְקִיחוּת ההגבר (gain flatness),³ יחס הגלים העומדים (SWR) במבוא והלינאריות של המגבר.

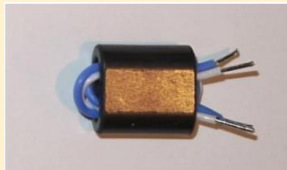
מגבר עם שפופרת ריק מחייב כיוון לתדר הפעולה הספציפי. בשונה מכך – במגבר הספק עם רכיבי מצב מוצק, השנאים רחבי הסרט המשמשים במבוא ובמוצא מציגים עכבת קבועה בתחום תדרים רחב, ולא נדרש לכוון את המגבר לתדר הפעולה הספציפי. השנאים המקובלים בנויים מתיל מבודד המלוּפף על פְּרִיט (חומר פרומגנטי קרמי עם חלחלות (permeability) גבוהה), המבטיח צימוד הדוק בין סלילי השנאי. הגרעין חייב להיות מספיק גדול, כדי שלא ייכנס לרוויה מגנטית (saturation) שתגרום לחימום יתר ולעיוות האות במוצא המגבר.



הליפוף הבודד עשוי מצינורות נחושת בתוך גרעין הפריט, שבצד אחד הם מקוצרים ובצד השני הם פתוחים

שנאי מוצא רחב סרט של מגבר הספק – ליפוף בודד בראשוני, ארבעה ליפופים במשני

מקור: WA2EJ HARDROCK 50 Assembly Instructions, 2021



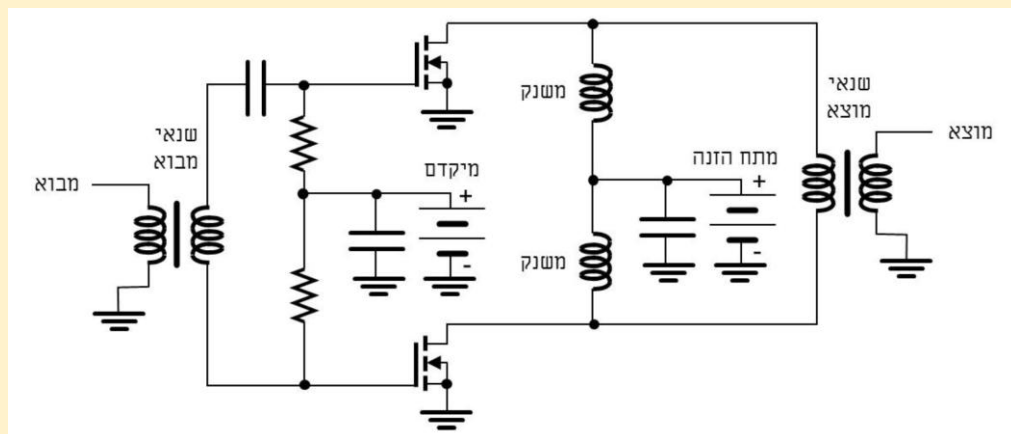
שנאי מבוא רחב סרט של מגבר הספק – שני ליפופים בראשוני, שני ליפופים במשני

מקור: WA2EJ HARDROCK 50 Assembly Instructions, 2021

³ שְקִיחוּת ההגבר היא השינוי בהגבר בתחום תדרי העבודה של המגבר.

יחס עכבות בשנאי הוא ריבוע יחס הליפופים (בין הראשוני למשני).⁴ הדבר מכתוב יחסים של 1, 4, 9, 16 או 25 (ביחסים גבוהים יותר, רוחב הסרט מצטמצם מהותית). יצרני רכיבי LDMOS למגברי הספק מתחשבים באילוץ זה, ומפתחים רכיבים בהתאמה: רכיבים בהספק עד 100 וואט לפעולה במתח 12 וולט, רכיבים בהספק עד 1,800 וואטים לפעולה במתח עד 65 וולט. כדי להגיע להספקים גבוהים יותר מאחדים מוצא של מספר מגברים.

כדי להשתמש בשנאים פשוטים יותר ולהבטיח את 'איזון' שני רכיבי מגבר דחסף, המעגל העקרוני של המגבר עובר שינויים, בהתאמה, כמתואר באיור המציג מעגל 'דחסף משופר'.



מעגל 'דחסף משופר' של מגבר הספק לת"ג עם טרנזיסטורים LDMOS

כדי להפחית את ההרמוניות במוצא המגבר ולהבטיח אות ת"ר 'נקי', מחברים למוצא המגבר מסנן מעביר נמוכים. היות ובמוצא מגבר דחסף ההרמוניות הזוגיות מונחתות, המסנן נדרש להנחית רק הרמוניות לא זוגיות. הדבר מפשט את מבנה המסנן.

הספק המוצא של מגברים אלה רגיש ליג'יע של העומס (האנטנה), ולכן נפוץ השימוש במתאם אנטנה, כדי להבטיח יג'יע נמוך במוצא המשדר.

ייצוב מגברים (Stabilization)

יציבות (Stability) המגבר חשובה ליצירת אות 'נקי' במגבר הספק, ולאורך החיים של הטרנזיסטורים, שכן אם במגבר ייווצרו תנודות טפיליות (Parasitic Oscillations), נאבד את השליטה על המגבר, והטרנזיסטורים עלולים להתחמם ולהישרף. תנודות טפיליות הן הגורם העיקרי להרס טרנזיסטורים במגברי הספק!

במגבר הספק, בו המוצא והמבוא הם באותו תדר, נדרש להבטיח צימוד נמוך בין המוצא והמבוא. במגברי הספק עם רכיבי LDMOS חשוב להקפיד על הגנת שער הטרנזיסטור (עם נגדים או חרוזי פְּרִיט) ולשלב רכיבים שיצרו 'משוב שלילי', לדיכוי נטייה לתנודות בתדרים נמוכים. בבניית מגבר חשוב להבטיח חיבורים קצרים ולהרכיב קבלי סינון רבים, מתאימים לתחום תדרי הרדיו, על קווי הזרם הישר.

תכנון תרמי וקירור

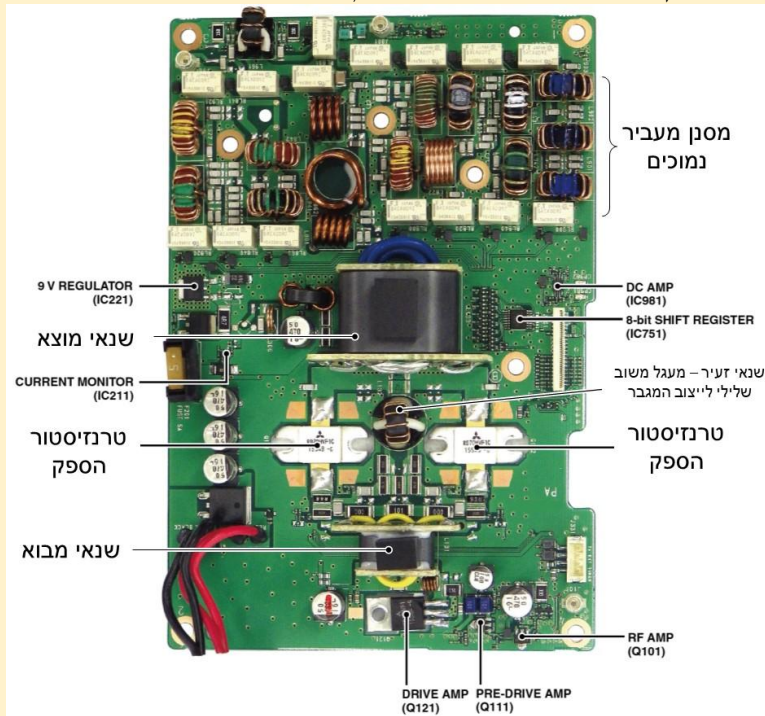
מגברי הספק יש לקרר באמצעות שימוש במפזר חום מתאים, בדרך כלל שילוב של מפזר חום עם שטח פנים גדול ומאווררים (במגברים להספק גדול במיוחד משתמשים בקירור מים), אחרת הטרנזיסטורים – פיסות סיליקון זעירות – יינזקו.

במגברי הספק, הטרנזיסטורים של דרגת ההספק מהודקים בברגים למפזר החום, כאשר לפני ההרכבה מורחים בין הטרנזיסטורים למפזר החום שכבה עדינה של משחה תרמית (Thermal Paste), שיש לה מוליכות תרמית גבוהה, כדי למנוע 'כיסוי אוויר' ולהבטיח מגע תרמי הדוק בין כל שטח הטרנזיסטור למפזר החום. בדרך כלל מלחמים את הטרנזיסטורים למעגל המודפס רק לאחר שהם מורכבים על מפזר החום.

פיזור החום הוא נושא מורכב, יש 'מפל חום' על מסלול העברת האנרגיה מהסיליקון החוצה (בדומה למפל מתח על נגד), התפשטות חום איננה מיידית, ופעמים רבות, גלאי חום הממוקם במקום לא נכון יתריע על חום יתר רק אחרי שהטרנזיסטורים כבר ניזוקו! השימוש בגלאי למדידת טמפרטורת מפזר החום של המגבר הוא חיוני, ובתפעול שוטף של מגבר יש לעקוב אחר טמפרטורה זו.

מגברי הספק בשימוש חובבי רדיו – דוגמה

כדי להמחיש את הנאמר, נציג את מגבר ההספק של המקמ"ש הפופולרי ICOM IC-7300. זה מגבר 100 ואט לתחום התדרים 1.8 עד 54 מה"ץ המשתמש בשני טרנזיסטורים LDMOS מסוג RD70HVF1C-121, הפועלים במתח של 12 וולט, במעגל דחסף. בתמונה רואים את שנאי המבוא, שנאי המוצא וזוג הטרנזיסטורים. מוצא המגבר עובר דרך מערך מסננים מעבירי נמוכים (סלילים וקבלים הממותגים באמצעות ממסרים, בהתאם לתדר העבודה). השנאי הזעיר בין שני הטרנזיסטורים הוא חלק ממעגל היוצר משוב שלילי, להבטחת יציבות המגבר.



מגבר ההספק במקמ"ש ICOM IC-7300

המגבר עושה שימוש בזוג טרנזיסטורים RD70HVF1C-121, LDMOS, המהודקים בברגים למפזר החום

התקנת מגבר לינארי בתחנת חובבים

רוב מקמ"שי החובבים המודרניים מספקים הספק מוצא של 100 ואט בתחום הת"ג (זו מגבלת ההספק לחובבים בדרגה ג'). כדי לשדר בהספק גבוה יותר (דרגה ב' – עד 250 ואט, דרגה א' – עד 1,500 ואט) משתמשים במגבר לינארי (Linear Amplifier) חיצוני.⁵

התיאום לאנטנה הוא נושא חשוב. יש מגברים לינאריים בהם מותקן מתאם אנטנה פנימי, בדרך כלל אוטומטי, ויש מגברים לינאריים ללא מתאם אנטנה, ובשימוש בהם מומלץ להתקין מתאם אנטנה חיצוני, שכן מגבר מספק הספק מירבי רק ביג"ע של 1:1.

המגבר כולל בדרך כלל מנגנוני הגנה, כדי להגן על רכיבי המגבר מפני מתחים גבוהים הנוצרים כאשר משדרים לקו זן מנותק, ומפני זרמים גבוהים הנוצרים כאשר משדרים לקו זן מקוצר. מנגנוני הגנה אלה לא מטפלים בדרך כלל בעירור יתר (Over Drive), נושא הראוי לתשומת לב מיוחדת: (א) משיקולי הגנה על הטרנזיסטורים בדרגת ההספק, שכן עירור יתר עלול לפגוע בצומת השער של הטרנזיסטורים הסופיים; (ב) כדי למנוע שידורי שווא (Spurious) למיניהם.⁶

ניקיון האות במוצא מגבר לינארי רגיש מאוד לעוצמת האות במבוא המגבר. עירור יתר של מגבר ההספק (הזנתו באות ת"ר בעוצמה גבוהה מדי) יגרום ליצירת רכיבי אֶפֶנֶן הֶדְדִי ולהגברת רעש בנוסף לאות הרצוי. עירור יתר משפיע לרעה גם על האות הרצוי בתחום המעבר, שכן הוא מגדיל מהותית את עוצמת הרעש על האות המשודר, שנשמע כעיוותים, וגורם לכך שתוצרי האפֶנֶן ההדדי מתפשטים גם לערוצים סמוכים (תופעה המכונה בשם 'התזת אנרגיה' – Splatter).

כדי לצמצם את שידורי השווא, רשות התקשורת הפדרלית בארה"ב (FCC) מגבילה הגבר של מגבר לינארי ל-15 ד"ב, ורוב המגברים בשימוש חובבי רדיו בעולם עונים לדרישה זו.⁷ המשמעות: כדי להגיע להספק המירבי המותר לדרגה א', 1,500 ואט, נדרש הספק מבוא של כ-50 ואט.

כדי למנוע עירור יתר משתמשים במנגנון בקרת הגבר אוטומטי (ALC – Automatic Level Control), השומר על עירור קבוע במבוא דרגת ההספק, ומונע עירור יתר. ברוב המקמ"שים יש כניסת ALC, המיועדת לחיבור אות מהמגבר הלינארי, לשם וויסות אוטומטי של הספק העירור למגבר.

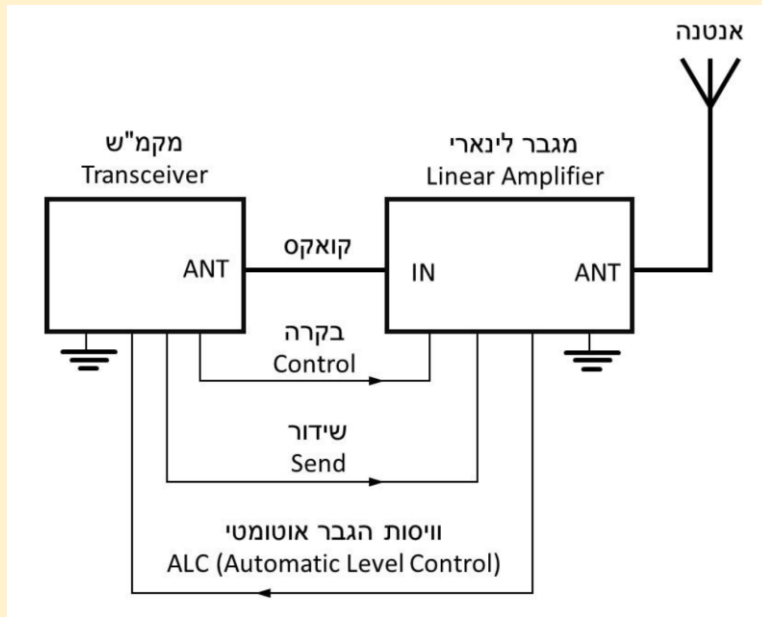
האיור הבא מציג את אופן החיבור של מגבר לינארי למקמ"ש: מוצא האנטנה של המקמ"ש מחובר בכבל קואקסיאלי למבוא המגבר. במקביל יש חיבורים נוספים: (א) קו בקרת הגבר אוטומטי (ALC), המזין אות מהמגבר למקמ"ש, כדי לשלוט על עוצמת השידור במוצא המקמ"ש; (ב) קו שידור (Smd), להעברת המגבר ממצב קליטה למצב שידור, שכן המגבר נמצא בדרך כלל במצב קליטה, והוא עובר למצב שידור רק בעת פקודה מתאימה מהמקמ"ש; (ב) קו בקרה, לקביעת תחום התדר של המגבר, בהתאמה לתחום התדר שנקבע במקמ"ש.⁸

⁵ הספק מירבי מותר, בהספק מעטפת שיאי [ואט], נספח ד' (טבלת תדרים, הספקים ושיטות שידור) לרישיון חובב רדיו, משרד התקשורת, ינואר 2020.

⁶ רוזן, מדריך לבחינות, עמודים 86–90.

⁷ כללי FCC: 47 CFR § 97.317 - Standards for certification of external RF power amplifiers.

⁸ יש מגברים המאתרים אוטומטית את תחום תדר השידור באמצעות דגימת תדר השידור (RF Sensing), וממתגים בהתאמה את המסננים הנדרשים.



חיבורים טיפוסיים של מגבר לינארי בתחנת חובבי רדיו



היינריך הרץ - מהנדס הרדיו הראשון בעולם

פרופ' עלי לוי, מכללת אפקה להנדסה ElyL@afeka.ac.il



היינריך רודולף הרץ 1857-1894 Heinrich Rudolf Hertz נחשב לאדם הראשון שהוכיח התפשטות של גלי רדיו באוויר. בהמשך לפרסום תיאורית האלקטרומגנטיות על ידי ג'יימס קלרק מלקסוול, הרץ בנה לראשונה מכשור לשידור וקליטה של פולסים אלקטרומגנטיים והוכיח את התפשטותם במהירות האור. לכבודו נקראת יחידת המידה של התדירות (מספר התנודות בשנייה).

קורות חייו של הרץ

היינריך רודולף הרץ נולד בשנת 1857 בהמבורג, גרמניה לאביו גוסטב פרדיננד הרץ (במקור דוד גוסטב הרץ) שהיה עורך דין וציר בפרלמנט ולאמו אנה אליזבת פפרקורן. הוריו היו ממוצא יהודי אך התנצרו בשנת 1834. היינריך הרץ הצעיר שלמד בהמבורג גילה בילדותו עניין רב במדעים ובשפות. בבגרותו סיים לימודים גבוהים באוניברסיטאות של דרזדן, מינכן וברלין. מדריכו לתואר השני והשלישי היו גוסטב קירכהוף והרמן הלמהולץ. לאחר שסיים את לימודי הדוקטורט בשנת 1880 קיבל משרות אקדמיות בכירות באוניברסיטאות של קיל וקרלסרוהה (שם גם מונה לפרופסור). בשנת 1886 נישא לאליזבת דול ונולדו להם שתי בנות – יוהנה ומתילדה. בשנת 1888 מונה לראש המכון לפיסיקה באוניברסיטת בון ושם פירסם את ספרו החשוב:

The Principles of Mechanics Presented in a New Form, McMillan London (1889).

Die Prinzipien der Mechanik in Neuen Zusammenhange, Dargestellt Leipzig (1894).

ונזכיר כאן את שני ספריו האחרים:

Die Constitution der Materie, eine Vorlesung Guber die Grundlagen der Physik (1884).

Electric Waves Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space (1893).

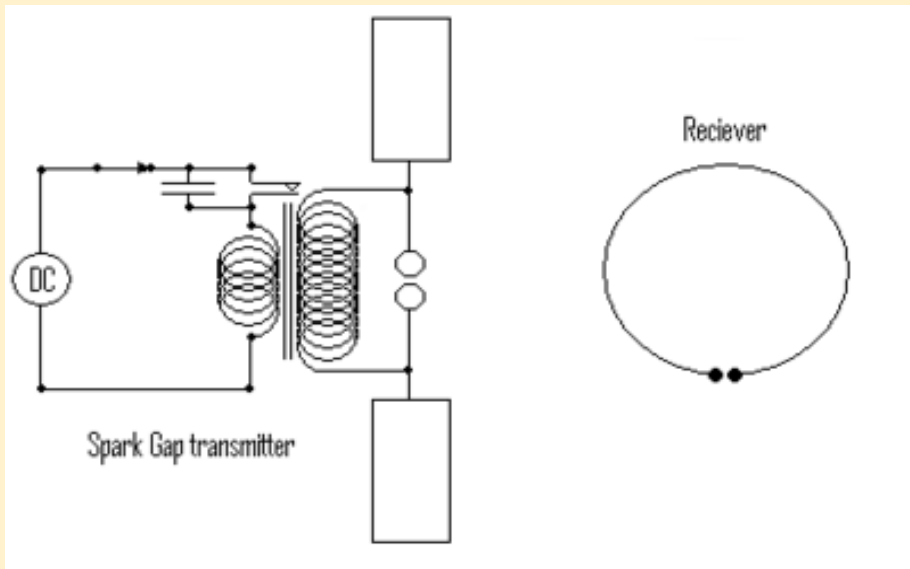
הרץ נפטר ממחלה בשנת 1894 ונקבר בהמבורג.

הרץ גילה עניין רב בתורת החומרים (מטלורגיה) ובתרמודינאמיקה של נוזלים ומוצקים. הוא עסק גם באופטיקה של אור נראה (טבעות ניוטון) ובקרני רנטגן, אך עיקר הישגו המדעי היה בתחום גלי הרדיו. מעניין לציין כי השלטון הנאצי ראה בו אדם בעל מורשת יהודית (למרות שהיה נוצרי לכל עניין) וסילק את דיוקנו שהיה תלוי בבית עיריית המבורג.

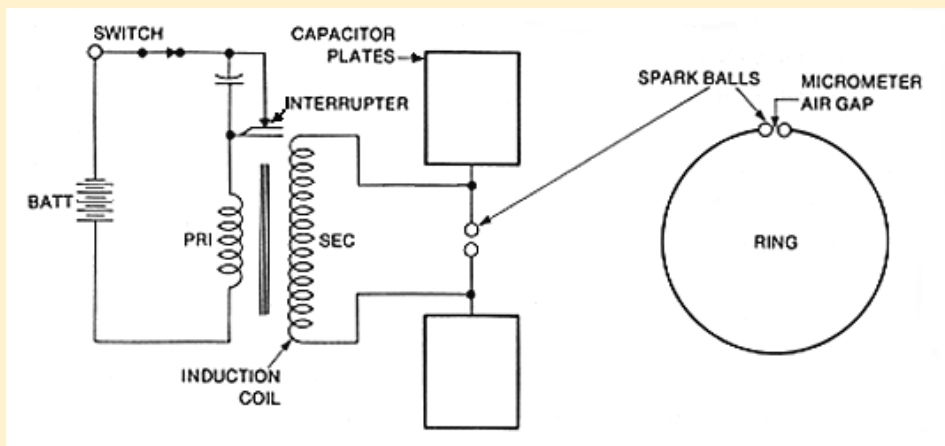
לאחר פרסום המשוואות התיאורטיות של ג'יימס קלרק מקסוול בשנת 1865 J, K, Maxwell, A Dynamical theory of the Electromagnetic Field, Philosophical Transactions of the Royal Society of London הציע הלמהולץ להרץ להוכיח את התיאוריה בפועל. הלמהולץ קיווה שהרץ תלמידו המובהק יזכה בפרס ברלין לאלקטרומגנטיות אך תקווה זו לא מומשה והפרס מעולם לא הוענק. הרץ ביצע את הניסויים הראשונים באוניברסיטת קרלסרוהה בשנת 1886. מערך הניסוי הבסיסי כלל גנרטור ניצוצות שהפיק פולסים קצרים של זרם חילופין, שהיה מחובר לדיפול חשמלי באורך 2 מטר. בקצות הדיפול חוברו כדורי אבץ בקוטר 30 סנטימטר ששימשו כקבלים. מערך הניסוי מתואר באיורים 1-2 והמימוש הפיזי של הדיפול והקבלים מתואר באיור 3. הדיפול החשמלי שידר גלי רדיו בתדר 100 MHz והם נקלטו על ידי לולאה עם מרווח אוויר קטן.

הדיפול החשמלי המונח באופן אופקי מעל הקרקע מכונה עד היום בשם דיפול הרציאני והוא נחקר אנליטית לפרטי הפרטים לאורך עשרות שנים. הגלים שהרץ יצר ומדד מכונים גם גלי הרץ Hertz Waves והם משקפים באופן נאמן את התיאור התיאורטי של מקסוול. הגל החשמלי הוא נגזרת בזמן של הגל המגנטי והגל המגנטי הוא נגזרת בזמן של הגל החשמלי. שניהם מתקדמים באופן משולב במהירות האור כאשר הם מאונכים זה לזה. מעניין לציין כי ניקולה טסלה, שפעל אחרי הרץ, הציע לייצר ולהוביל חשמל בעזרת גלים עם אופן התפשטות שונה מגלי הרץ. הוא קרא להם Non Hertzian Waves ותאר אותם כגלים אורכיים Longitudinal Waves שאינם דועכים כמו גלי הרץ ולכן הם יעילים להעברת הספק חשמלי למרחקים ארוכים.

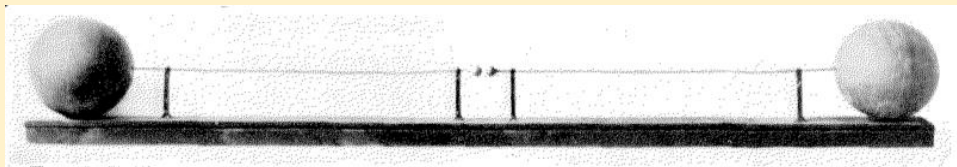
מערך הניסויים המתקדם יותר שבנה הרץ בשנים 1889 – 1887 (איור 4) כלל הצבת הדיפולים מעל רפלקטור פרבולי בגודל כ-2 מטר. אנטנה זו פעלה כעדשה וריכזה את הקרינה באלומה צרה יותר (או כפי שאנו מכנים כיום הייתה בעלת שבח גבוה). כתוצאה מכך טווח הפעולה בין המשדר והמקלט היה גדול יותר ואפשר ניסויים במרחקים גדולים יותר במסדרונות אוניברסיטת קרלסרוהה. באנטנה הפרבולית בוצעו ניסויים בתדר אופייני של 450 MHz בטווחים של 10 עד 20 מטר. הרץ הוכיח את קיומם הנפרד של שדה חשמלי ושל שדה מגנטי וכן מדד את מהירות ההתפשטות שלהם. הוא ערך גם ניסויים בקיטוב של גלי רדיו. בתקופתו לא הכירו עדיין בחשיבות הטכנולוגית הרבה של גלי רדיו, אך חוקרים ומהנדסים המשיכו לבנות מכשירי רדיו וכבר בשנת 1896, שנתיים בלבד לאחר מותו של הרץ, הצליח ג'ולילמו מרקוני לשדר אות טלגרף אלחוטי מאמריקה לאירופה.



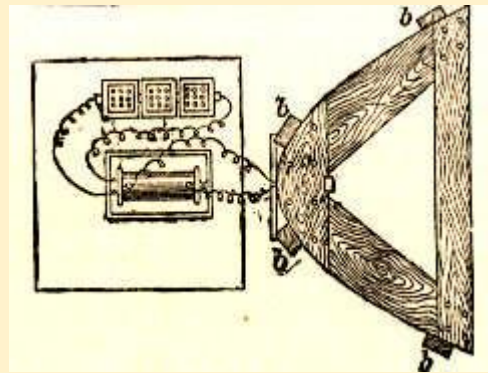
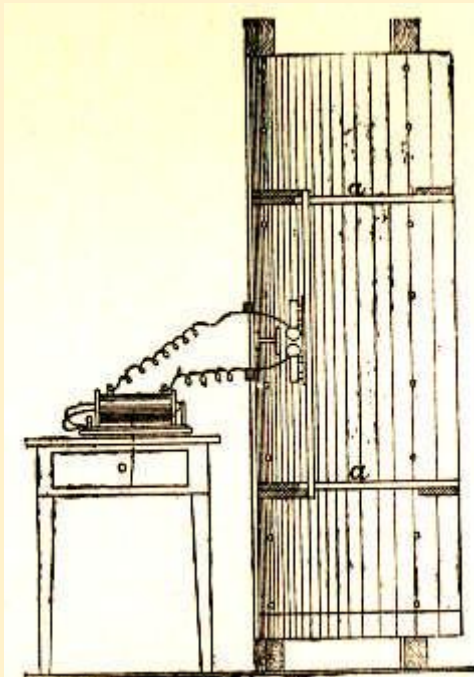
איור 1 תיאור סכמטי של ניסוי הרדיו הראשון של הרץ.
מצד שמאל מוצג המשדר - גנרטור ניצוצות המחובר לדיפול חשמלי.
מצד ימין מוצג המקלט - לולאה עם מרווח אוויר קטן.



איור 2 פירוט פונקציונלי של ניסוי הרץ הראשון.



איור 3 תיאור פיזי של הדיפול שבנה הרץ.
ניתן לראות את המרווח במרכז שבו נוצרים הניצוצות.
בקצות הדיפול מחוברים שני כדורי ששימשו כקבלים.
תדירות הגלים בניסוי זה הייתה 100 MHz



איור 4 תיאור פיזי של מערך ניסוי מתקדם של הרץ.
שבו השתמש בדיפולים המונחים על רפלקטורים.
תדירות הגלים בניסוי זה היתה 450 MHz

הספקטרום האלקטרומגנטי

מכסוול חישב והרץ הדגים כי הגלים האלקטרומגנטיים מורכבים מצירוף של שדה חשמלי ושדה מגנטי הפועלים במשולב כזוג גלים הרמוניים מתקדמים במרחב (סינוס וקוסינוס). ניתן גם לתאר את הקרינה על ידי שטף חלקיקים הנקראים פוטונים. הגלים האלקטרומגנטיים (או הפוטונים) מתקדמים במהירות האור $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$. מספר התנודות שהגלים מבצעים בשנייה אחת היא התדירות f ולכן אפשר לומר כי זמן מחזור אחד של הגלים הוא T כאשר

$$(1) \quad f = 1/T$$

המרחק שהגל או הפוטון עובר במהלך מחזור אחד נקרא אורך הגל λ ועל פי קינמטיקה אלמנטרית קיים הקשר

$$(2) \quad f \lambda = c$$

הספקטרום האלקטרומגנטי הכל כך מגוון (גלי רדיו, אינפרא אדום, אור נראה, אולטרה סגול, קרינת רנטגן וקרינת גמא) נבדל באופן עקרוני על ידי אורך הגל או על ידי התדירות כפי שאפשר להתרשם מטבלה 1.

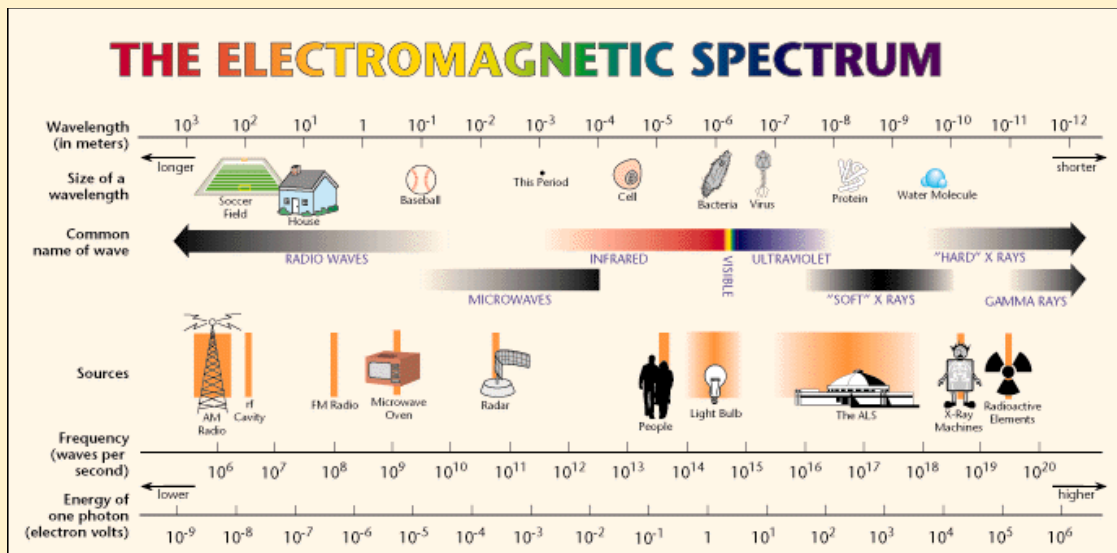
יש להזכיר כאן את חוק פלנק הקושר בין תדירות הקרינה לבין האנרגיה שנושא הפוטון הבודד:

$$(3) \quad E = h f$$

היכן ש- h הוא קבוע פלנק $h = 6.63 \times 10^{-31} \text{ Joule second}$

ניתן אפוא גם להמיר את סקלת התדירות או אורך הגל לסקלת האנרגיה של הפוטון הבודד המבוטאת בדרך כלל ביחידות $\text{eV} = \text{Electron Volt}$. נזכיר גם כי אם התנע של הפוטון הוא p ניתן לרשום את אורך הגל של דה-ברולי לפי

$$(4) \quad \lambda d = h / p$$



טבלה 1 הספקטרום האלקטרומגנטי ושימושו.

הסקלה העליונה מציגה את אורך הגל במטרים.

הסקלה האמצעית מראה את התדירות ביחידות הרץ.

הסקלה התחתונה מראה את האנרגיה של הפוטון הבודד ביחידות eV .

לאנשי התקשורת יש ענין מיוחד בגלי הרדיו המשתרעים מתדירות 0 ועד תדירות של מאות GHz ומשמשים את מערכות הקשר האלחוטיות, הטלפון הנייד, המכ"מים, הניווט ומערכות רבות נוספות. לתחומי התדר של גלי הרדיו ניתנו שמות שונים כגון על ידי ארגון התקשורת העולמי ITU ארגון מהנדסי האלקטרוניקה IEEE והאיחוד האירופאי / נאט"ו כמודגם בטבלאות 2-4

Band	Symbol	Frequency	Wavelength
1	ELF	3 – 30 Hz	10,000 to 100,000 km
2	SLF	30 – 300 Hz	1,000 to 10,000 km
3	ULF	300 – 3000 Hz	100 to 1,000 km
4	VLF	3 – 30 kHz	10 to 100 km
5	LF	30 – 300 kHz	1 to 10 km
6	MF	300 – 3000 kHz	100-1000 m
7	HF	3 – 30 MHz	10 to 100 m
8	VHF	30 – 300 MHz	1 to 10 m
9	UHF	300 – 3000 MHz	10 to 100 cm
10	SHF	3 – 30 GHz	1 to 10 cm
11	EHF	30 – 300 GHz	1 to 10 mm
12	THF	300 – 3000 GHz	0.1 to 1 mm

טבלה 2 תחומי תדרי הרדיו לפי ITU

Band	Frequency	Verbal
HF	3 – 30 MHz	High Frequency
VHF	30 – 300 MHz	Very High Frequency
UHF	300 – 1000 MHz	Ultra High Frequency
L	1 – 2 GHz	Long Waves
S	2 – 4 GHz	Short Waves
C	4 – 8 GHz	Compromise Waves
X	8 – 12 GHz	Cross Waves
Ku	12-18 GHz	Kurz Under
K	18-26 GHz	Kurz
Ka	26-40 GHz	Kurz above
V	40-75 GHz	Very Kurz
W	75-110 GHz	W follows V
mm	110-300 GHz	Millimeter

טבלה 3 תחומי תדרי מכ"ם לפי IEEE

Band	Frequency
A	0 – 250 MHz
B	250 – 500 MHz
C	500 – 1000 MHz
D	1 – 2 GHz
E	2 – 3 GHz
F	3 – 4 GHz
G	4 – 6 GHz
H	6 - 8 GHz
I	8 - 10 GHz
J	10 - 20 GHz
K	20 - 40 GHz
L	40 – 60 GHz
M	60 - 100 GHz

טבלה 4 תחומי תדרים לפי EU/NATO

סיכום

היינריך הרץ למד, לימד וחקר בלא פחות מ-6 אוניברסיטאות חשובות בגרמניה (דרזדן, מינכן, ברלין, קיל, קרלסרוהה ובוון) במיטב המסורת האקדמית המעודדת גיוון במוסדות ההשכלה של הסטודנט והחוקר. הרץ עסק במגוון נושאים שונים – מכאניקה, מטלורגיה תרמודינאמיקה, אופטיקה, גלי רדיו וקרינת רנטגן. גם בכך הוא מסמן בהבלטה את ההיקף הרחב של תחומי הידע של אנשי הרנסנס המדעי במאה ה-19 (נקל להשוות אותו לאיש רב תחומי אחר שפעל לפניו - תומאס יאנג 1773-1829 או למהנדס המזהיר שפעל אחריו –ניקולה טסלה 1856-1943). הרץ כיהן בקרלסרוהה ובבון כפרופסור לפיסיקה, אך למעשה היה מהנדס גאוני שהצליח לבנות כמו ידיו ציוד בלתי רגיל ולהוכיח בניסויים את תורת האלקטרומגנטיות מבית מדרשם של קולון, גאוס, ביו, סבר, אמפר, ארסטד, פאראדיי ומכסוול. נמצאנו למדים כי מדע מדויק ניתן להיעשות

או על ידי תורה מתמטית המסוגלת לנבא מציאות, או על ידי ניסוי אמפירי. בשתי הגישות ניתן להגיע לפסגת היצירה המדעית.

