



טכנולוגיות רדיו טקטי ב'הגנה' ובצה"ל – מהקמת שירות הקשר ועד מלחמת שלום הגליל

אל"ם בדימוס דניאל רוזן

גרסה 1.00, חשון התשפ"ו, נובמבר 2025

העמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב

תוכן העניינים

1	מבוא
2	שירות הקשר – צעדים ראשונים
2	צעדים ראשונים
3	מכשירים נפוצים
4	מק-18
12	מלחמת העצמאות – עודפי ציוד קשר ממלחמת העולם השנייה
12	הערכות למלחמה
12	מק-21
16	מק-536
20	מק-300
24	מק-610/מק-510
26	מק-608/מק-508
30	מק-190/מק-191
35	מק-62
38	מלחמת סיני – תחילת ה'מודרניזציה'
38	התארגנות ומיסוד
38	מק-6
41	מק-9/מק-10
47	מלחמת ששת הימים – עידן הג'י.אר.סי
47	התמורות בצה"ל
49	ג'י.אר.סי
55	מלחמת יום הכיפורים ומלחמת שלום הגליל – עידן הפי.אר.סי/וי.אר.סי
55	התעצמות
56	פי.אר.סי
64	וי.אר.סי
72	סיכום
74	אחרית דבר

תמונות ללא ציון מקור הן מהמוזיאון הווירטואלי בעמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב,
ראו : <https://museumkesher.org.il> ; הצלם : מיכאל נגל.

מבוא

ההתקדמות הטכנולוגית המהותית משלהי המאה ה-20 הביאה להתקדמות מהירה בטכנולוגיות קשר הרדיו הטקטי הדי־מְגִמִי לְמִחְצָה (Half Duplex) ששימשו בציד קשר בשירות הקשר של 'ההגנה' ובעשורים הראשונים של צה"ל, ונסקרו במאמר זה.

מהקמת שירות הקשר בשלהי שנות ה-30 ועד מלחמת העצמאות, קשר הרדיו התבסס על איתות מורס ושימוש בציד ת"ג (תדר גבוה) מבנייה עצמית. הקשר נעשה בעיקר מתחנות נייחות. עם תחילת מלחמת העצמאות והפעלת מסגרות לוחמות נידות, החל שירות הקשר להשתמש בקנה מידה רחב בציד רדיו טקטי מעודפי צבא, מהדגמים ששימשו בצבאות בנות הברית (בעיקר בצבא ארה"ב ובצבא הבריטי) במלחמת העולם השנייה.

במהלך השנים הצטייד צה"ל בציד קשר רדיו טקטי חדיש ונוצרה הבחנה בין שימושי ציד הרדיו הטקטי:

- קשר רדיו קצר טווח לדרג הלוחם (מחלקה ופלוגה), שהתבסס בעיקר על קשר דיבור את"ד (אפנון תדר) בתג"ם (תדר גבוה מאוד);
- קשר רדיו ארוך טווח בת"ג, למפקדות מרמת הגדוד, לסיוע וליחידות מיוחדות, שהתבסס במלחמת העצמאות ובמלחמת סיני על קשר באיתות מורס ובהמשך, לקראת מלחמת ששת הימים, על קשר דיבור בחד־פס;
- קשר רדיו בין כוחות קרקעיים למטוסים, שהתבסס על קשר דיבור בתא"ג (תדר אולטרה גבוה), באת"ן (אפנון תנופה).

מאמר זה מתמקד בהתפתחות הטכנולוגית של ציד הרדיו קצר הטווח בדרג הלוחם, מימי שירות הקשר של 'ההגנה' (1937) ועד מלחמת שלום הגליל (1982).¹ המאמר מתאר את אלה:

- ציוד הת"ג מבנייה עצמית ששימש את שירות הקשר עד מלחמת העצמאות, כאשר עיקר הפעילות הייתה נייחת;
- ציוד הרדיו הטקטי בדרג הלוחם הנייד במלחמת העצמאות, שחלקו היה בטכנולוגיה של את"ן או איתות מורס בת"ג, וחלקו היה בטכנולוגיה של את"ד בתג"ם. כל הציוד היה מעודפי מלחמת העולם השנייה;
- ציוד הרדיו הטקטי לקשר קצר טווח בדרג הלוחם במלחמת סיני ובמלחמת ששת הימים, שהיה בטכנולוגיה של את"ד בתג"ם, תוך שימוש בציד חדש שפותח לאחר מלחמת העולם השנייה – ציד קשר נישא מק-6 ומק-9/מק-10, ציד קשר לרכב ורק"ם (רכב קרבי משוריין) ממשפחת גי.אר.סי;
- ציוד הרדיו הטקטי לקשר קצר טווח בדרג הלוחם במלחמת ההתשה, במלחמת יום הכיפורים ובמלחמת שלום הגליל, שהתבסס אף הוא על קשר דיבור את"ד בתג"ם, ועל ציד מהדור החדש יותר – ציד קשר נישא ממשפחת פי.אר.סי, ציד קשר לרכב ולרק"ם ממשפחת וי.אר.סי.

¹ הציוד לקשר רדיו ארוך טווח בת"ג מתואר במאמר: דניאל רוזן, **טכנולוגיות רדיו ת"ג בדרג הלוחם: מהקמת צה"ל ועד למלחמת יום הכיפורים**, העמותה להנצחת חילי חיל הקשר והתקשוב, תשרי התשפ"ו – ספטמבר 2025. ראו: https://www.amutakesher.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/HF_Radio_Technology_1.01.pdf

שירות הקשר – צעדים ראשוניים

צעדים ראשוניים

עם הקמת שירות הקשר ב'הגנה', בשלהי שנות ה-30, השתמשו בציוד רדיו מבנייה עצמית, שהתבסס על שפופרות ריק ששימשו במקלטי רדיו ביתיים, שאותן ניתן היה לרכוש ללא קושי ומבלי לעורר חשד,² ובאמצעותן נבנו משדרים שהתבססו על שידור מורס (CW – Continuous Wave) בהספק מוצא של כ-5 עד 7 וואט, בתחומי התדרים מ-3 עד 6.5 מה"ץ, ומקלטים שהיו משני סוגים עיקריים: האחד היה הוספת 'מתנד פעימה' (BFO – Beat frequency Oscillator) למקלט את"ן ביתי, כך שיוכל לקלוט את שידורי המורס; השני היה מקלט רגנרטיבי עם שפופרת תדר רדיו אחת, ושפופרת אחת או שתיים להגברת שמע.

הציוד הופעל בדרך כלל בתחנות נייחות. האנטנות בהן השתמשו היו בדרך כלל אנטנות תיל ארוך (Long Wire) באורך של 10 – 20 מטר, שנקראו אנטנה 'ר'. במשדר הותקן מתאם אנטנה פשוט (בדרך כלל סליל וקבל משתנה, ששימש גם לכיוון הדרגה הסופית של המשדר). תיל האנטנה היה בדרך כלל תיל נחושת גמיש, מהסוג ששימש באותה תקופה לאנטנות קליטה ביתיות.

בהספקי השידור הנמוכים ובאנטנות הפשוטות, קשר מורס איפשר קשר אמין ואורך טווח באמינות טובה מהותית בהשוואה לקשר דיבור. עם ציוד זה, באמצעות אנטנה פשוטה, ניתן היה ליצור קשר בתוך הארץ משך רוב שעות היום, ואף לקיים קשר מהארץ לאירופה ולספינות מעפילים בלב ים.

תדרי המשדר נקבעו בדרך כלל באמצעות גביש קוורץ. גביש קוורץ טבעי שימש כמתנד (Oscillator) לבקרת תדר בציוד אלקטרוני משנת 1921, ומשנות ה-30 עד שלהי שנות ה-50 היה האמצעי המקובל לקביעת תדר במשדרים. לגביש קוורץ במבנה מסוים יש תכונה פיזיקלית – מתח חשמלי המופעל על הגביש יוצר כוח מכני – ולחילופין, כוח מכני יוצר מתח חשמלי. הגביש מתנהג כמעגל תהודה מדויק, בתדר הנקבע על פי המידות הפיזיות של הגביש.³

ציוד זה חייב בדרך כלל מקור מתח של 6.3 וולט ל'חימום' השפופרות (הפעלת תיל הלהט בקתודה – Filament) ומתח אנודי של 100 עד 300 וולט (בהתאם לסוג שפופרות הריק בהן השתמשו). בהפעלה נייחת ממקור ז"ח (זרם חילופין) השתמשו בספקי כוח דומים לאלה של רדיו ביתי (מבוססים על שפופרות ריק, כמיישרי זרם). בהפעלה מסוללות השתמשו בסוללות נפרדות למתח 'חימום' ולמתח אנודי. בפעולה ממצברים של 6 או 12 וולט, השתמשו בספקי כוח שהיו מבוססים על רֶפֶט (Vibrator) או על דִינָמוֹטוֹר (Dynamotor).⁴ צריכת הזרם הגבוהה הייתה מגבלה מהותית, ועיקר הציוד הופעל במתקנים נייחים, בהזנת ז"ח.

² בארץ ישראל המנדטורית החלו שידורי רדיו לציבור בשנת 1936. השפופרות המקובלות במשדרים המחתרתיים היו מהסוג המיועד לשימוש בדרגות הספק השמע של מקלטי רדיו ומגברים ביתיים, מסוג 6V6 או 6L6.

³ במלחמת העולם השנייה הוחלט בארה"ב לבסס את ציוד הקשר הצבאי על גבישים, כדי לפשט את ייצור הציוד ולאפשר ייצור המוני. באותה תקופה יוצרו גבישים בארה"ב בידי יותר ממאה חברות, ועד תום שנת 1944 יוצרו כ-85 מיליון גבישים – הישג תעשייתי מהותי, במיוחד נוכח העובדה כי במהלך כמעט שני עשורים, עד שנת 1939, יוצרו בארה"ב כ-50 אלף גבישים בלבד. הפעילות נוהלה בידי ה־ Quartz Crystal Coordination Section בחיל הקשר האמריקאי, מחלקה שהוקמה במרץ 1942.

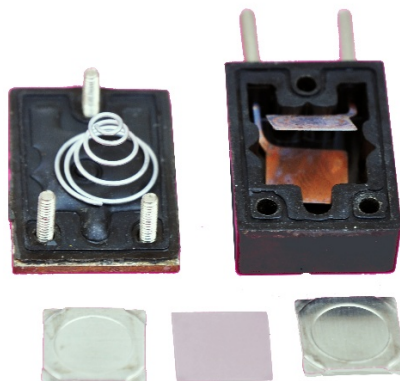
Clifford Frondel, *History of the Quartz Oscillator-Plate Industry, 1941-1944*, The American Mineralogist, May-June 1945, Vol. 30, Nos. 5 and 6, pp. 205-213.

⁴ רֶפֶט (Vibrator) הוא אלמנט אלקטרוני ששימש להמרת זרם ישר למתקפים, אותם ניתן היה להזין לשנאי שהגדיל את המתח, שיושר, סונן ושימש כמתח גבוה עבור ציוד שהשתמש בשפופרות ריק. רטט סינכרוני סיפק

שירות הקשר הארצי הפעיל בהסתר ובהיחבא כעשרים בתי מלאכה חשאים (מעבדות), לייצור משדרים מקלטים ולתחזוקתם. בית המלאכה הראשון היה במעבדת סוכנות 'פילקו' ברחוב אלנבי 54, פינת רחוב גאולה, בתל אביב; בתי מלאכה חשובים נוספים היו 'פודור' (על שם טכנאי בשם זה) ברחוב אדם הכהן 8 בתל אביב, שם יצרו 'מזוודת' מורס מק-8 ומכשיר למורס ודיבור שנקרא מק-10; 'בית-דין צביקה' ברחוב בן-יהודה 128 בתל אביב, שם ייצרו מכשיר גבישי למורס ודיבור מק-14; 'דויד צבי' ברחוב סלומון 20 (פינת רחוב פיין) בתל אביב; מעונות עובדים ח' בתל אביב; דירתו של נפתלי (נפתא) רז ברחוב לסל 6 בתל אביב; דירתו של ישעיהו (איש) לביא (למברגר) ברחוב פרוג 16 בתל אביב; 'יהלום' ברחוב ז'בוטינסקי 127, פרדס כץ, בני ברק (במרתף מלטשת יהלומים); 'רשת' ברחוב אבן גבירול 8 (פינת רחוב אבן עזרא, כיום רחוב הרב שבזי) בני ברק, במרתף בית חרושת 'אושא' לגדרות ברזל; קיבוץ גבת.⁵



גביש קוורץ בתושבת FT-243



תושבת פתוחה

לוח גביש טבעי נחתך בזווית המתאימה ללוח זעיר ונקבע בין שני לוחות מתכת, שהחזיקו אותו בארבע פינותיו, כך שיוכל לרטוט.

מכשירים נפוצים

מכשירים נפוצים בשירות הקשר היו:⁶

- **משדר שהופעל עם מקלט רדיו ביתי**, שסיפק את המתחים להפעלת המשדר – מתח ז"ח 6.3 וולט ל'חימום' הקתודה, מתח אנודי של 250 וולט ז"י (זרם ישר). בין אלה ראוי להזכיר את

מתח ז"י ללא שימוש בשופרת יישור. דינמוטור (Dynamotor) הוא מנוע חשמלי וגנרטור על ציר משותף – המנוע מופעל מזרם ישר במתח מסויים (לדוגמה: 12 וולט) והגנרטור יוצר מתח ז"י אחר (לדוגמה: 500 וולט).

⁵ דניאל רוזן, **מיקום מפקדות ומתקני קשר לפני קום המדינה ובמלחמת העצמאות**, העמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב, אייר התשפ"ב – מאי 2022.

https://amutakesher.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/Signal_Service_Sites_1.03.pdf

⁶ גבי שריג, **מכשירי הרדיו של שירות הקשר ב'הגנה'**, קשר ואלקטרוניקה, גיליון מס' 84, כרך ז' מס' 12, מפקדת קצין הקשר והאלקטרוניקה הראשי, תשרי תשל"ד – אוקטובר 1973.

ראו: גבי שריג, **אסופת מאמרים**, העמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב, כסלו התשפ"ג – נובמבר 2022. http://amutakesher.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/Gabi_Sarig_Keshet_Velelectronica_Articles_1.02.pdf

מכשירי 'צבר' (צבי בית-דין רדיו), שנבנו בבית מלאכה חשאי במרתף ברחוב בן-יהודה 128 בתל אביב (הם כונו מאוחר יותר בשם מק-14).

משנות ה-40 עשה שירות הקשר שימוש לא רק במקלטי רדיו ביתיים, אלא גם במקלטים 'מקצועיים', שונים, רובם מעודפי צבא.

- **מקלט רדיו ביתי בו 'נשתל' משדר מוסווה** (כך שלא ניתן יהיה לגלותו). בין אלה ראוי להזכיר את מקמ"ש 'אמבסדור' (שכונה מאוחר יותר בשם מק-7), על בסיס מקלט דגם KB תוצרת חברת RCA, ומקמ"ש 'מוסיקה' (שכונה מאוחר יותר בשם מק-105), מכשירים שיוצרו בארה"ב כתרומה עבור שירות הקשר במפעל של היהודי האמריקאי דייל פולק.⁷
- **'מזוודות'**: מקמ"ש (מקלט/משדר) ב'מזוודה' מעץ, בגודל דומה לזה של תיק משרדי (כ-13×27×45 ס"מ), במשקל כ-7 ק"ג, נוח לנשיאה ולטלטול בתנאי מחתרת, בהספק שידור של כ-10 וואט. עד קום המדינה בנו טכנאי שירות הקשר, בהסתר ובהיחבא, כמה מאות 'מזוודות'. מקמ"ש ה'מזוודה' הראשון נקרא מק-8. הדגם הבא נקרא מק-9.⁸

מק-18

במהלך שנת 1947 רוכז המאמץ של שירות הקשר בבניית מק-18, 'פסגת הטכנולוגיה' של המשדרים מבנייה עצמית, ממנו יוצרו כ-150 יחידות. המכשיר תוכנן במעבדת צבי דויד (ליד התחנה המרכזית בתל אביב – רחוב סלומון 20, פינת רחוב פיין), ויוצר בבית מלאכה בקיבוץ גבת. מק-18 היה משדר מורס ודיבור (את"ן), שפעל עם גביש או 'תב"ש' (תדר בר שינוי), בתחום התדרים 3 עד 7 מה"ץ, והיה המכשיר הראשון בשירות הקשר שאיפשר לאלחוטן שמיעה עצמית (באזניות המקלט). הספק השידור היה 10 וואט בדיבור, 12 וואט במורס. לשם כיוון מתאם האנטנה הותקנה נורית במילואת המכשיר, והכיוון היה לתאורה בעוצמה מירבית בנורית זו. המכשיר הופעל עם ספק כוח חיצוני. היו שני סוגי ספקים: האחד לז"ח 220 וולט, השני לז"י 6 וולט (על בסיס רטט סינכרוני, ללא צורך במיישרי זרם).⁹ מק-18 הופעל עם מקלט 'מקצועי', כאשר המקלטים המקובלים היו דגם S-38 מתוצרת Hallicrafters בארה"ב ודגם NC-57 תוצרת National בארה"ב.¹⁰

⁷ לימים פרופסור לחשמל באוניברסיטת בן-גוריון בנגב בבאר שבע. ד"ר דייל פולק הוזמן ארצה בידי דוד ברגוריון, ונפגש עמו בסוף מרץ 1948, לאחר שבחן את מצב שירות הקשר. ד"ר פולק הביע עמדה חיובית על שירות הקשר, יעץ לרכוש אמצעי קשר נוספים, והמליץ לרכז את מאמצי המחקר לקידום פיתוח עצמי של אמצעי לחימה.

ה'מפעל' שייצר את 'מוזיקה רדיו' היה חברה 'פיקטיבית' בכתובת שאינה קיימת. דגם המקמ"ש כונה DB-63. הם ראשי התיבות של דוד בן-נעט, מהנדס רדיו אמריקאי יוצא חיל הקשר האמריקאי, שעסק בייצור המקמ"שים. 63 זו הגימטריה של המילה 'הגנה'.

⁸ בשנת 1941 ו-1942 סיפקה 'ההגנה' משדרים-מקלטים 'מזוודה' לשימוש מנהלת המבצעים המיוחדים (ה'SOE) הבריטית. דניאל רוזן, **כמה עולה לבנות מזוודה?** העמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב, סיון התשע"ט – יוני 2019, https://www.amutakesher.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/Suitcase_Radio_Costs_1.00.pdf

⁹ דניאל רוזן, מיכאל נגל, **משדר ת"ג מק-18**, העמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב, טבת תש"ף – ינואר 2020, <http://amutakesher.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/18.pdf>

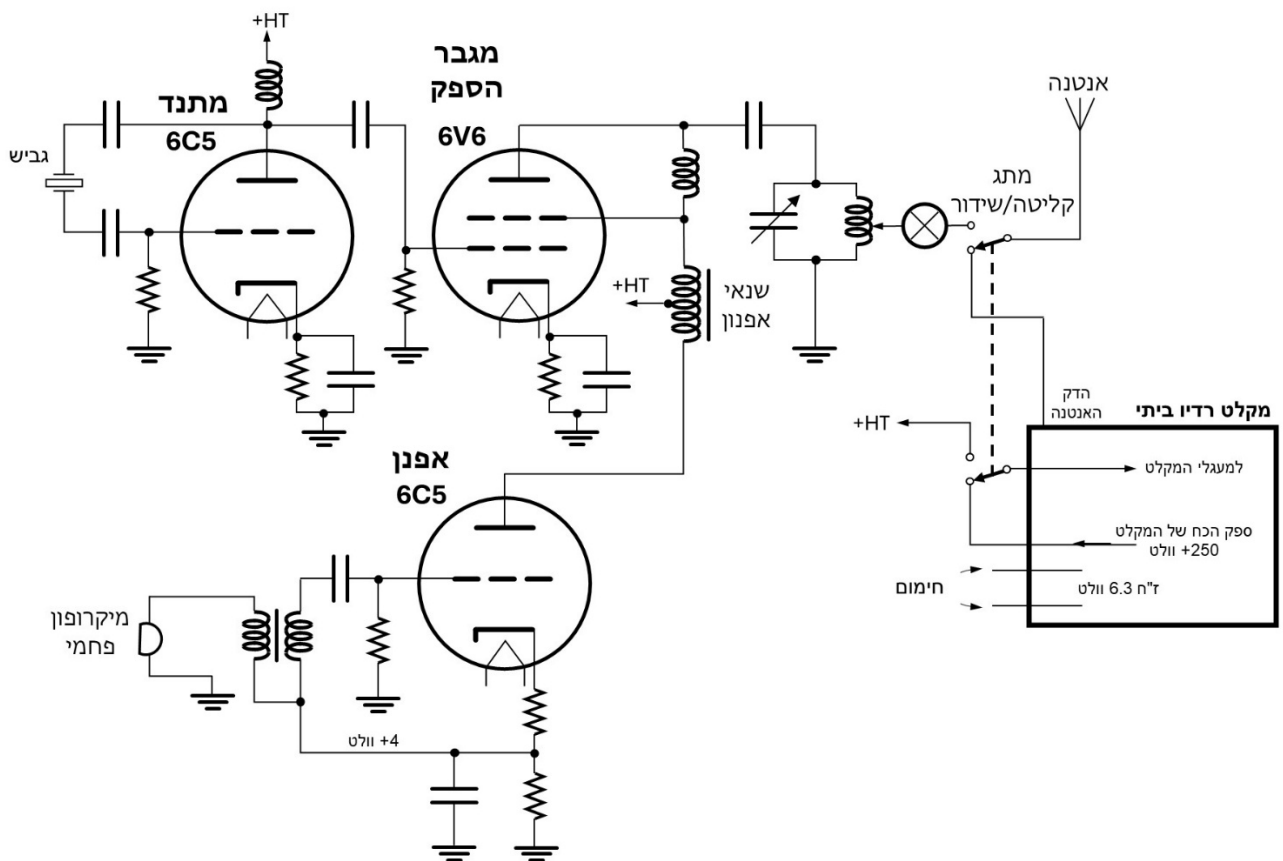
¹⁰ דניאל רוזן, **מקלט רדיו ת"ג S-38**, העמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב, תשרי תש"ף – אוקטובר 2019, http://amutakesher.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/S-38_1.01.pdf
דניאל רוזן, **מקלט רדיו ת"ג NC-57**, העמותה להנצחת חללי חיל הקשר והתקשוב, כסלו תשפ"ג – נובמבר 2022, http://www.amutakesher.org.il/Uploads/dbsAttachedFiles/HF_Receiver_NC57.pdf



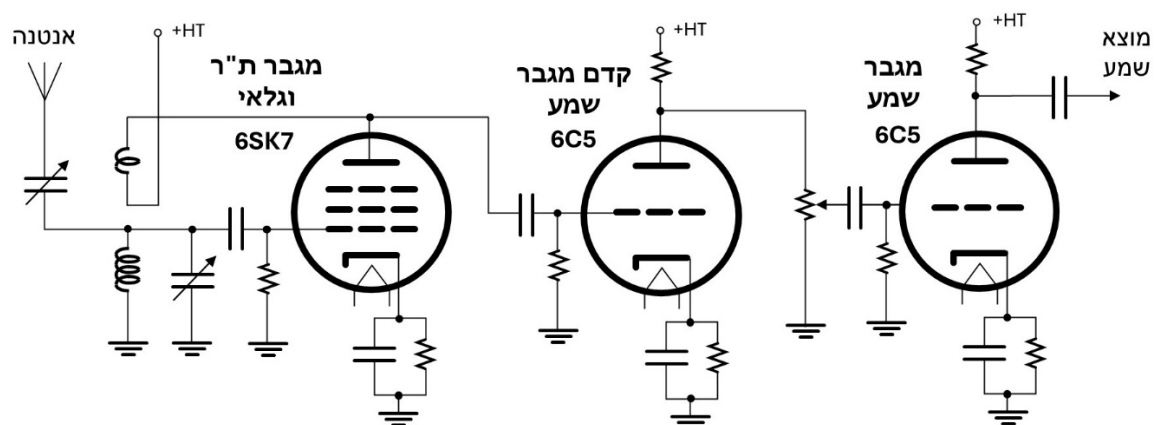
מקמ"ש
'מוסיקה'
מק-105



מקמ"ש
'מזודה'



מעגל חשמלי של משדר 'צבר', מק-14



מעגל חשמלי של מקלט רגנרטיבי, כמוהו נבנה ב'מזודות'



משדר
מק-18

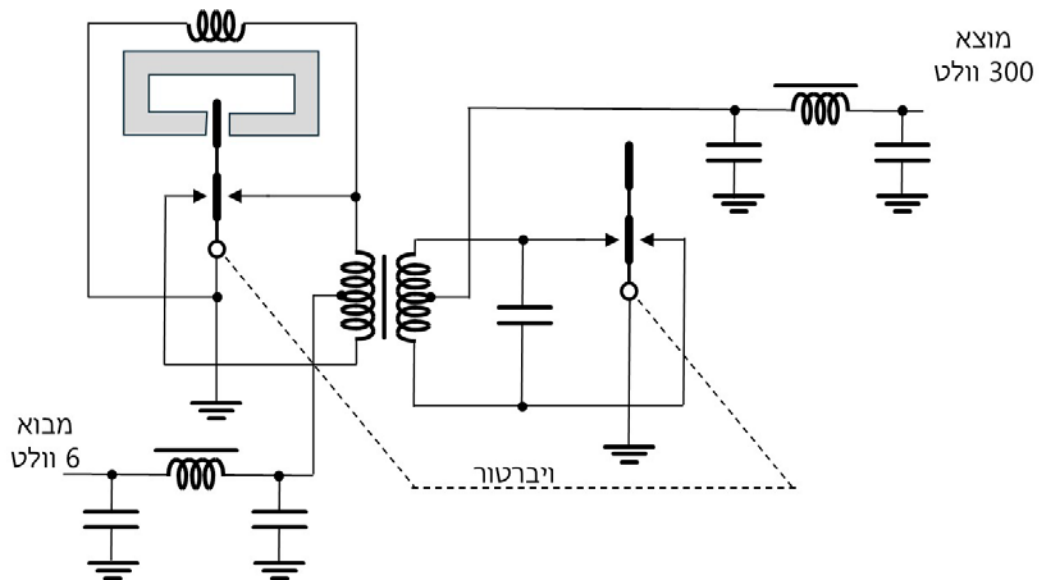




ספק כח
ז"ח 220
וולט
למק-18
(עם
שפופרת
מיישרת
5U4)



ספק כח
ז"י 6
וולט
למק-18
(עם רטט
סינכרוני)



מק-18 – מעגל חשמלי של ספק כח עם רטט סינכרוני

הרֶטֶט (Vibrator) הסינכרוני, ששימש במק-18, סיפק מתח ז"י ללא שימוש בשופרת יישור, זאת באמצעות שימוש במגנט קבוע – כאשר הזרם בסליל מעביר את המגע לאחד הצדדים, המגע יישמר עד שזרם נגדי יעביר את המגע לצד השני; שני זוגות מגעות מורכבים על אותו עוגן. רטט זה שימש למעשה כמיישר זרם אלקטרומכני.



מקלט רדיו S-38



מקלט רדיו NC-57



האלחוטנית רחל יעקובי מפעילה תחנת רדיו ת"ג חשאית עם מקלט National NC-57 בקיבוץ דורות, קיץ 1948

באדיבות לשכת העיתונות הממשלתית, ארכיון התצלומים הלאומי, D285-029



האלחוטנית שרה הורביץ מפעילה מק-18 עם מקלט National NC-57, מטה חטיבת יפתח,
רוחמה, קיץ 1948
באדיבות אוצר תמונות הפלמ"ח, 23699



האלחוטן נחום בלגלי בחדר קשר בקיבוץ
גבעת השלושה, 1948
באדיבות משפחת בלגלי

מלחמת העצמאות – עודפי ציוד קשר ממלחמת העולם השנייה

הערכות למלחמה

ערב מלחמת העצמאות הבין שירות הקשר כי אמצעי ציוד הרדיו בת"ג מבנייה עצמית, ששירתו אותו במערכת הנייחת ובמבצעי ההעפלה, אינם מתאימים לצרכי מסגרות צבאיות, בלחימה ניידת. ראש שירות הקשר יעקב ינאי (יאן) יצא לארה"ב בינואר 1948, רכש כמויות גדולות של ציוד קשר צבאי מעודפי מלחמת העולם השנייה, ופעל להבריחו ארצה תוך עקיפת האמברגו הבין-לאומי על אספקת נשק למזרח התיכון.¹ רוב הציוד הגיע ארצה עד אמצע אפריל 1948.

ציוד הרדיו הטקטי העיקרי שנרכש והגיע ארצה היה מקמ"שים נישאים מק-300 (שאז כונה מק-20), מק-21 ומק-536, מקמ"שים בתחום הת"ג לרכב ולהתקנות נייחות מק-62 ומק-190/מק-191 (שאז כונו מק-19), מקמ"שים לרכב מק-510/מק-610 ומקמ"שים לרק"ם מק-508/מק-608.²

מק-21

מק-21 הוא מקמ"ש ת"ג את"ן, עם ערוץ בודד בתחום התדרים 2.3 עד 4.5 מה"ץ, בהספק שידור של 200 מיליזאט. תדר הערוץ נקבע באמצעות שני גבישים (אחד לקביעת תדר השידור, שני לקביעת תדר הקליטה), ובבית מלאכה ניתן היה לכוונו לאחד מעשרים ערוצים. המכשיר יוצר משנת 1941, נבנה במקור ליחידות צנחנים בצבא ארה"ב, וטווח הקשר היה כ-1.5 ק"מ.³ המכשיר היה בקופסה מבקליט, היו בו שבע שפופרות ריק, והוא פעל עם אנטנה טלסקופית באורך 1.8 מ', שניתן היה לצמצמה לאורך כ-40 ס"מ, עם סליל עמיסה בבסיסה. משקלו היה כ-4 ק"ג. ניתן היה להפעילו עם מצבר פנימי או עם סוללה CRF-2022. במלחמת העצמאות הוא שימש כמכשיר קשר מחלקתי.⁴

מק-21 פעל עם שבע שפופרות ריק מיניאטוריות עם שבעה פינים. המקלט היה סופרהטרודין עם ארבע שפופרות: פנטודה 1R5 כערבל ומתנד מקומי, פנטודה 1T4 כמגבר תדר ביניים בתדר 455 קה"ץ, פנטודה ודיודה 1S5 כגלאי וקדם מגבר שמע ופנטודה 3S4 כמגבר שמע, המזין את האוזניות באמצעות שנאי. המשדר פעל עם שלוש שפופרות: פנטודה 1T4 כמתנד גבישי, פנטודה 3S4 כאפנן ופנטודה 3S4 כמגבר הספק. האפנן הוא 'אפנן זרם קבוע' (המכונה גם אפנן Heising – שפופרת האפנן מחוברת במקביל לשפופרת מגבר ההספק. כאשר שפופרת האפנן מוליכה, הזרם במגבר ההספק נמוך, כאשר שפופרת האפנן לא מוליכה, הזרם במגבר ההספק גבוה).⁵

במקלט היה מעגל וויסות עוצמה אוטומטי, אך לא היה בו משקט ולא היה בו ווסת עוצמת שמע, מה שהקשה על המפעילים. במשדר הייתה שמיעה עצמית.

¹ המוסד לעלייה ב' נטל תפקיד מרכזי בהברחת ספינות נשק לארץ, ול'גדעונים', אנשי שירות הקשר של 'ההגנה', היה תפקיד חשוב בפעילות זו.

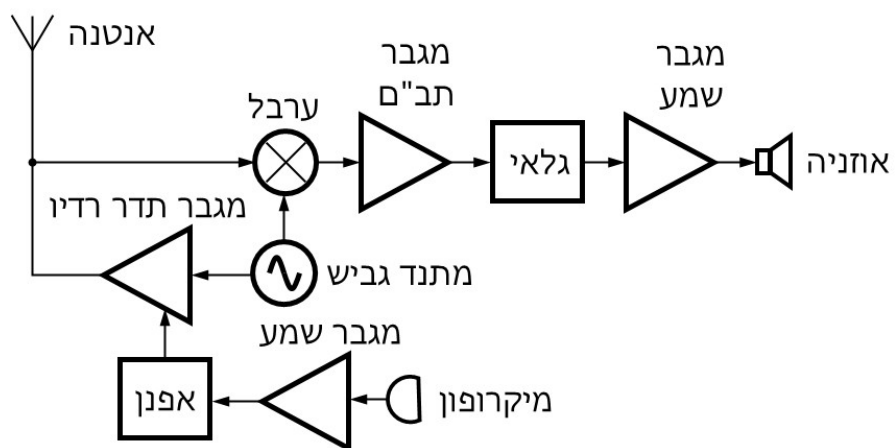
² דניאל רוזן, מיכאל נגל, **שבעים שנות חיל הקשר והתקשוב: מערכות, שיטות ואמצעים**, העמותה להנצחת חילי חיל הקשר והתקשוב, מהדורה שנייה, התשע"ט – 2018, עמ' 54–55.

³ הכינוי בצבא ארה"ב: MAB

⁴ ראו:

Instruction Book, Navy Model MAB Radio Telephone Transmitting and Receiving Equipment, Communications Company Inc., Florida, October 1942.

⁵ מעגל אפנן זה, ללא שנאי אפנן, היה מקובל בימים הראשונים של שידורי אפנן תנופה למרות ביצועיו המוגבלים.



מק-21 – מרשם מלבנים



מק-21 מוכן לפעולה, בתיק נשיאה



מרכיבי מק-21: משדר־מקלט, מיקרופון, אזניות במעטה בד, אנטנה, תיק נשיאה



קשרים עם מק-21, ינואר 1948

באדיבות אליהו גולדנברג וארכיון
צה"ל ומערכת הביטחון, 51227/0.

הקשרים בתמונה נושאים את
המכשיר על החזה.



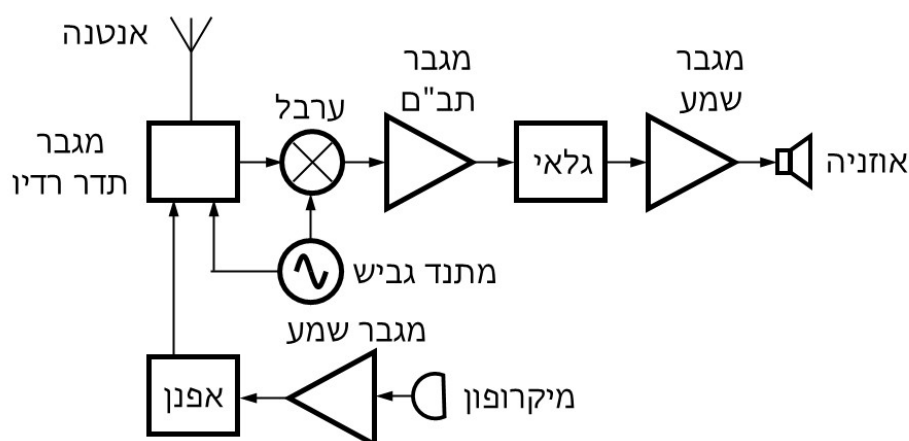
צוות קשרים במפקדת פלוגת חיל רגלים, 1948

מק-300 (מימין) לקשר למפקדת
הגדוד, מק-21 (משמאל) לקשר
למחלקות.

מק-536, מכשיר הקשר הנישא ביד (Hand Held) הראשון בצה"ל, הוא מכשיר ת"ג את"ן עם ערוץ בודד בתחום 3.5 עד 6 מה"ץ (בעזרת שני גבישים : אחד לשידור, שני לקליטה), ובבית מלאכה ניתן היה לכוונו לאחד מחמישים ערוצים. הספק השידור היה 170 עד 250 מיליזאט, וטווח הקשר היה כ-1.5 ק"מ. צבא ארה"ב הצטייד בו בכמויות גדולות משנת 1942.⁶ במכשיר היו חמש שפופרות ריק, והוא פעל עם אנטנה טלסקופית באורך 1 מ'. משקלו (עם הסוללות) היה כ-3 ק"ג. המכשיר ניזון משתי סוללות : סוללה בט-37 שסיפקה מתח של 1.5 וולט לחימום השפופרות וסוללה בט-38 שסיפקה מתח אנודי של 103.5 וולט. למכשיר לא היה מתג הפעל/הפסק : שליפת האנטנה הטלסקופית הפעילה את המכשיר.

המכשיר נכנס לשימוש צבא ארה"ב בשנת 1941, והשימוש המבצעי רחב ההיקף הראשון בו היה בנחיתה בצפון אפריקה בנובמבר 1942. השימוש במכשיר קשר נישא מסוג זה היה אז חידוש של ממש. במכשיר, שתוכנן מראש כמכשיר קשר לשדה הקרב, היה חידוש מהותי בכך שהאוזנייה, המיקרופון, לחצן השידור והאנטנה הורכבו על המכשיר עצמו (ניתן היה לחבר לו אוזניות אז-30 ומיקרופון מיק-45 חיצוניים באמצעות מחבר בבסיסו).

המכשיר פעל עם חמש שפופרות ריק מיניאטוריות עם שבעה פינים. המקלט היה סופר-הטרודין עם חמש שפופרות : פנטודה VT-174 (3S4) כמגבר תדר רדיו, פנטודה VT-171 (1R5) כערבל ומתנד מקומי מבוקר גביש, פנטודה VT-173 (1T4) כמגבר תדר ביניים בתדר 455 קה"ץ, פנטודה ודיודה VT-172 (1S5) כגלאי וקדם מגבר שמע ופנטודה VT-174 כמגבר שמע, המזין את האוזנייה באמצעות שנאי. המשדר פעל עם ארבע שפופרות (אותן השפופרות ששימשו במקלט, כאשר מגבר תדר הביניים אינו פועל בעת שידור) : פנטודה VT-171 כמתנד מבוקר גביש (במכשיר היו שני גבישים, אחד לקליטה ושני לשידור, כאשר גביש השידור היה בתדר נמוך ב-455 קה"ץ מזה של גביש הקליטה), פנטודה VT-174 כאפנן, פנטודה VT-172 כמגבר שמע להזנת האפנן ופנטודה VT-174 כמגבר הספק. האפנן הוא 'אפנן זרם קבוע' (אפנן Heising). לחצן השידור הפעיל 14 מתגים, לשינוי המעגלים ממצב קליטה למצב שידור.⁷



מק-536
מרשם
מלבנים

⁶ הכינוי בצבא ארה"ב : SCR-536, Handie-talkie

⁷ ראו : TM 11-235, Radio Sets SCR-536-A, -B, -C, -D, -E, and -F, War Department, May 1945



מכשיר
קשר
נישא
מק-536



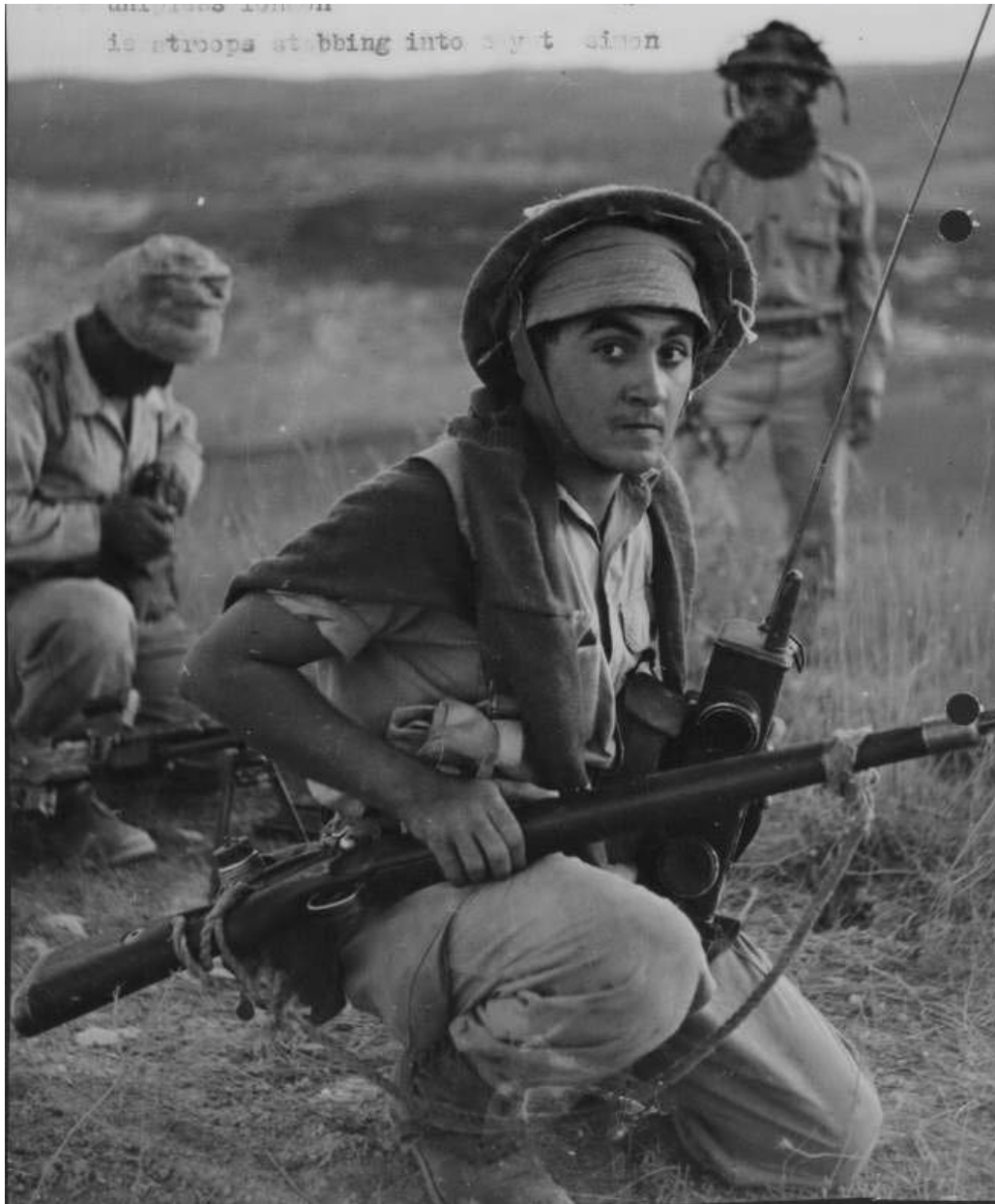
מפקד עם תת־מקלע סטון וקשר עם רובה צ'כי ומק-536, מלחמת העצמאות
 צלם: בוריס כרמי. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 1, 38/6



חיילות חיל קשר עם מק-536, מצעד צה"ל בתל אביב, יולי 1949
 צלם: דוד אלדן. באדיבות לשכת העיתונות הממשלתית, אוסף התצלומים הלאומי D145-046



חיילות חיל הקשר צועדות עם מק-536, מצעד צה"ל, 1952
צלם: בנו רותנברג, באדיבות אוסף מיתר בע"מ, 10210



לוחם עם מק-536, מלחמת סיני
ארכיון המדינה 000z34p – טס-3008/58

מק-300

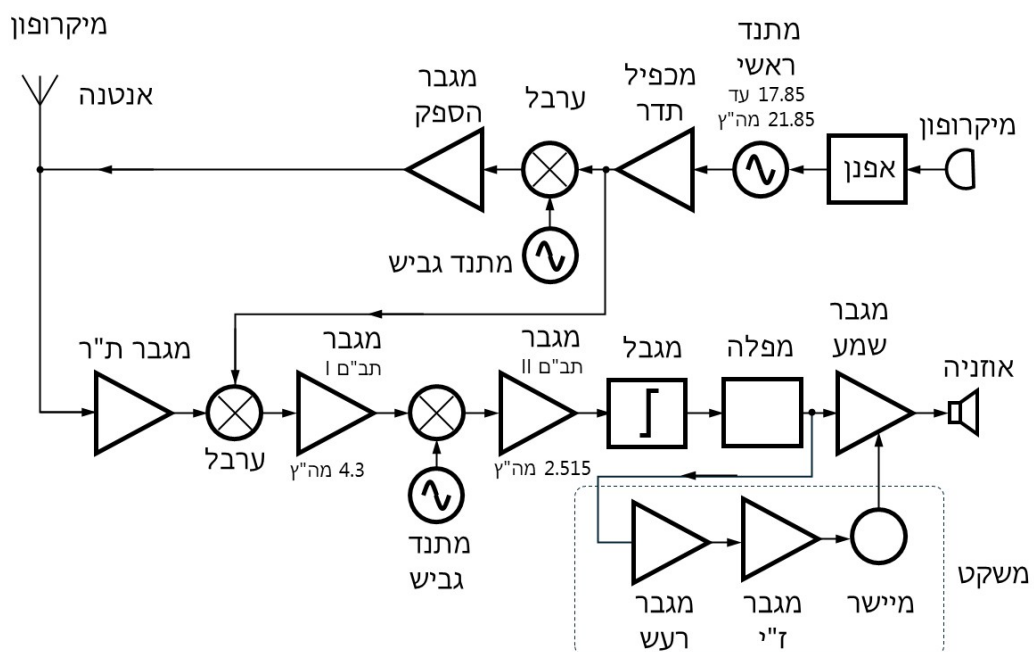
מק-300, שכונה אז מק-20, הוא מכשיר את"ד בתג"ם (תדר גבוה מאוד – VHF) הנישא הצבאי הראשון, החלוץ במעבר הקשר הטקטי הצבאי מאת"ן בת"ג לאת"ד בתג"ם. הוא פעל בתחום 40 עד 48 מה"ץ ואספקתו לצבא ארה"ב החלה בשנת 1943.⁸ היו לו 41 ערוצים (ברוחב 200 קה"ץ). הספק השידור היה 500 מיליואט, וטווח הקשר היה כ"5 ק"מ. איכות השמע הייתה גבוהה ומעגל משקט (Squelch) הקל מאוד על השימוש בו. המכשיר ניזון מסוללה בט-70, שסיפקה מתח של 4.5 וולט לחימום השפופרות ו-90 וולט כמתח אנודי. משקל המכשיר עם הסוללה היה כ"17 ק"ג. במק-300, מתנד משתנה שלט על תדר המקלט ותדר המשדר. בסקלה

⁸ הכינוי בצבא ארה"ב: SCR-300, Walkie-talkie

היו 41 ערוצים, כל ערוץ ברוחב 200 קה"ץ (ערוץ 0 היה 40 מה"ץ, ערוץ 40 היה 48 מה"ץ). ניתן היה לכייל 'פעילות אפס' להרמוניות של מתנד גבישי פנימי, בתדרים של 43.0 ו-47.3 מה"ץ. המכשיר פעל עם אנטנת עלים קצרה אנ-130 או עם אנטנת חוליות ארוכה אנ-131.

במכשיר היו 18 שפופרות ריק מיניאטוריות עם שבעה פינים. המקלט היה סופרהטרודין כפול עם דרגת תדר ביניים ראשונה בתדר של 4.3 מה"ץ ודרגת תדר ביניים שנייה בתדר 2.515 מה"ץ, שפעל עם 13 שפופרות: פנטודה VT-173 (1T4) כמגבר תדר רדיו, פנטודה 1L4 כערבל ראשון (שניזון מאות מתנד המשדר, בתדר 35.7 עד 43.7 מה"ץ), שתי פנטודות VT-173 כמגבר תדר ביניים ראשון, פנטודה VT-171 (1R5) כערבל שני עם מתנד גבישי, פנטודה VT-173 כמגבר תדר ביניים שני, שתי פנטודות 1L4 כמגבל (Limiter), דיודה 1A3 עם דיודה של VT-172 (1S5) כמפלה (Discriminator) ופנטודה של VT-172 כמגבר שמע. מעגל המשקט התבסס על פנטודה VT-172 כמגבר רעש, פנטודה 1L4 כמגבר ז"י ופנטודה VT-172 כמתג המשקט. המשדר השתמש בחמש שפופרות: פנטודה VT-173 כמתנד בתדרים 17.85 עד 21.85 מה"ץ, עם פנטודה 1L4 כאפן הגבי (Reactance Modulator), המשנה את תדר המשדר בהתאם לאפנון, פנטודה VT-174 כמכפיל תדר, שמוצאו הזין את הערבל הראשון במקלט ואת ערבל המשדר. פנטודה 3A4 כמתנד גבישי בתדר 4.3 מה"ץ (שהרמוניות ה-10 וה-11 שלו שימשו לכיול המכשיר) וערבל המשדר, ופנטודה 3A4 כמגבר הספק. המעבר מקליטה לשידור נעשה באמצעות מיתוג מתח החימום של שפופרות המשדר/מקלט.⁹

במלחמת העצמאות שימש מק-300 כמכשיר קשר לפלוגה ולגדוד. המכשיר שימש בצה"ל עד מלחמת ששת הימים, אז נעשה שימוש במק-300 בעיקר לקשר פנים ביחידות ארטילריה וביחידות הגנה מרחבית. בצה"ל הוא הופעל עם מערכת יד מעד-15, בה היה לחצן שידור (PTT).



מק-300 – מרשם מלבנים

⁹ TM 11-242, Radio Set SCR-300-A, War Department, February 1945



מקמ"ש
תג"ם נישא
מק-300



מק-300

פנים
המכשיר



**מק-300 בפעולה, מבצע 'יבوسی',
הקרוב בקטמון, ירושלים, אפריל
1948**

צלם: יהודה איזנשטרק,
באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת
הביטחון, אוסף איזנשטרק 239/0



אלחוטנית עם מק-300, 1954

צלם: אסף קוטין. באדיבות
ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון,
אוסף במחנה 1, 338/15



מק-300 בפעולה, חוליקאת (חלץ), אוקטובר 1948
באדיבות לשכת העיתונות הממשלתית, אוסף התצלומים הלאומי D283-038

מק-510/מק-610

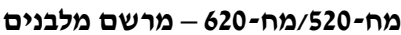
מק-510/מק-610 היו מכשירי את"ד תג"ם דו־ערוציים מבוקרי גביש להתקנה ברכב; מק-510, שהשתמש במקמ"ש מח-520, פעל בתחום 20 עד 27.9 מה"ץ; מק-610, שהשתמש במקמ"ש מח-620 פעל בתחום התדרים 27 עד 38.9 מה"ץ. ציוד זה סיפק קשר דיבור בטווח של כ־8 ק"מ. בבית מלאכה ניתן היה לכוון מק-510 לשניים מ־80 ערוצים, ומק-610 לשניים מ־120 ערוצים.

אספקת ציוד זה לצבא ארה"ב החלה בשנת 1941.¹⁰ הערוץ היה ברוחב 100 קה"ץ. הספק השידור של מח-520 היה 1.8 וואט ושל מח-620 היה 1.3 וואט. המכשיר הוזן במתח של 6 וולט או 12 וולט. במכשיר היו 14 שופרות ריק, הוא פעל עם אנטנה בת שלוש חוליות עם בסיס אנטנת בא-48. הטווח היעיל היה כ־8 ק"מ. המכשיר היה בנוי משתי יחידות, מקמ"ש וספק כח, שהותקנו אחת מעל השנייה. בהפעלה מסוללות הוא ניזון משלוש סוללות: בט-39, בט-40 ובט-41.

המקלט היה סופר־הטרודין עם תשע שופרות לוקטל שמונה פינים: פנטודה VT-179 (1LN5) כמגבר תדר רדיו, פנטודה VT-185 (3D6) כמתנד גביש מקומי, הפנטודה VT-178 (1LC6) כערבל, פנטודה VT-179 כמגבר תדר ביניים ראשון, פנטודה VT-179 כמגבר תדר ביניים שני, פנטודה VT-179 כמגבל, דיודה VT-183 (1R4) כמפלה, טריודה ודיודה VT-177 (1LH4) כאשר הטריודה משמשת כמגבר ז"י ליצירת ממתח (bias) לנעילת תדר השידור למקלט (המיוצב בידי גביש), והדיודה משמשת כחלק מהמפלה, וטרטודה VT-185 (3D6) כמגבר שמע. המשדר כלל אפנן פסיבי (סליל לא לינארי הפועל בסף הרוויה) ושלוש שופרות לוקטל 8 פינים: פנטודה

¹⁰ הכינוי בצבא ארה"ב: SCR-510/610.

כמגבר הספק.¹¹



TM 11-615, *Radio Sets SCR-609-A and -B and SCR 610-A and -B*, War Department, April 1945.
 TM 11-4022, *Radio Receiver and Transmitters BC-620-A, -B, -F, -G, -H and -J, Repair Instructions*, War Department, June 1945.

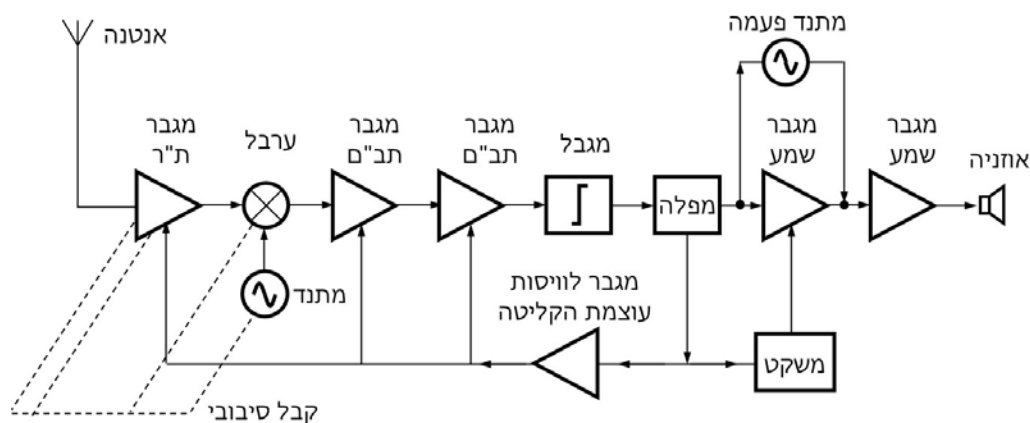
מק-508 הוא מכשיר קשר את"ד תג"ם לרק"ם, שהיה מכשיר הקשר העיקרי ברק"ם של צבא ארה"ב משנת 1941. באמצעותו עבר צבא ארה"ב להשתמש בטכנולוגיה של את"ד בתג"ם, על בסיס גבישי קוורץ.¹²

המכשיר מורכב ממסדר (מח-604) ושני מקלטים (מח-603). מק-528 היה תצורה עם מסדר ומקלט אחד. המכשיר פעל בתחום התדרים 20 עד 27.9 מה"ץ, במרווח אפיקים של 100 קה"ץ (80 ערוצים), וניתן היה לכוון בו 10 ערוצים בעזרת לחצנים, כאשר במסדר היה לכל ערוץ גביש, שקבע את תדר הערוץ, בעוד במקלט היה מתנד עם תדר בר שינוי וקיבוע ערוצים מכני. הספק השידור של המסדר היה 30 וואט. הציוד פעל עם אנטנה בת שלוש חוליות (10 רגל – 3 מטר) על בסיס אנטנה בא-15. ספק הכח לציוד התבסס על דינמוטור (Dynamotor) שניזון מז"י 12 או 24 וולט.

מק-608 היה מכשיר דומה למק-508, מורכב ממסדר (מח-684) ושני מקלטים (מח-683) שפעל בתחום התדרים 27 עד 38.9 מה"ץ, במרווח אפיקים של 100 קה"ץ (100 ערוצים), בהספק שידור של 20 וואט.¹³

המקלט מח-603/מח-683 היה סופרהטרודין עם עשר שפופרות ריק בתושבות אוקטל עם שמונה פינים: פנטודה 6AC7 כמגבר תדר רדיו, פנטודה 6AC7 כערבל, טריודה 6J5 כמתנד מקומי, פנטודה 12SG7 כמגבר תדר ביניים ראשון ופנטודה 12SG7 כמגבר תדר ביניים שני (בתדר 2.65 מה"ץ), פנטודה 6AC7 כמגבל (limiter), שפופרת עם זוג דיודות 6H6 כמפלה (Discriminator), שפופרת עם זוג טריודות 6SL7 כשטריודה אחת היא מגבר שמע והשנייה כמתנד פעמה, שתפקידו לסייע בכיוון המקלט לתדר המדויק של המסדר, שפופרת עם זוג טריודות 6SL7 כשטריודה אחת היא מגבר לוויסות אוטומטי של עוצמת הקליטה (AVC) והשנייה כמעגל משקט (Squelch), טטודה 6V6 כמגבר שמע.

במקלט היו 10 לחצנים לכיוון ערוצים מראש. לחיצה על לחצן בחרה ערוץ קליטה ובעזרת מערכת גלגלי שיניים סובבה את הקבל הסיבובי הראשי (Gang tuning capacitor), שהורכב מארבעה קבלים על ציר אחד, למצב שכוון מראש.



מקלט מח-603/מח-683 – מרשם מלבנים

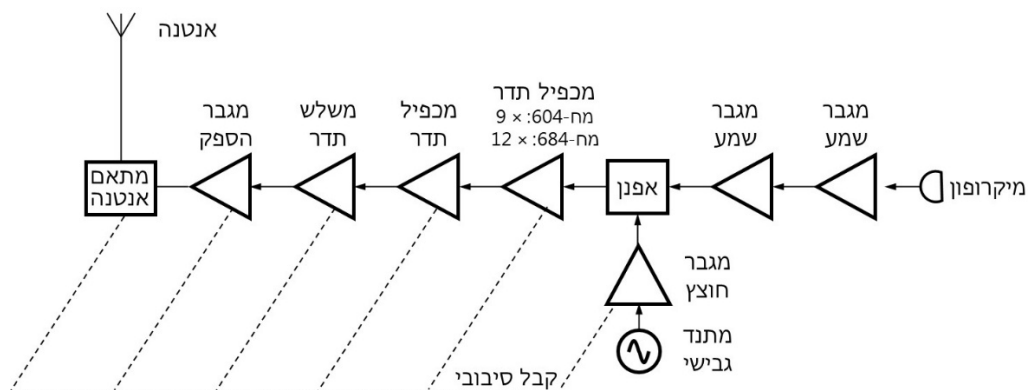
¹² האפנון מומש כאפנון פאזה (Phase Modulation).

¹³ הכינוי בצבא ארה"ב: SCR-508/SCR-608.

המשדר, מח-604/מח-684 פעל עם שמונה שפופרות ריק : טטרודת הספק (6L6) 1619 כמתנד גבישי (הגבישים הותקנו בתנור שהפעילים בטמפרטורה בין 21 ל-37 מעלות צלזיוס, כדי להבטיח את יציבות התדר), טטרודה 1619 כמגבר חוצץ (Buffer), טטרודה 1619 כמגבר שמע ראשון, טטרודה 1619 כמגבר שמע שני, אפנן פסיבי (סליל לא לינארי הפועל בסף הרוויה) וטטרודה 1619 כמגבר סוג C (מגבר Class C שהגביר רק את הפולסים החיוביים במוצא סליל האפנן) שמעגל התהודה במוצאו מכוון במח-604 להרמוניה התשיעית של תדר הגביש ומח-684 להרמוניה ה-12 של תדר הגביש, טטרודה 1619 כמכפיל תדר, טטרודה 1619 כמשלש תדר, וטטרודה (807) 1624 כמגבר הספק. שפופרת 1619 הייתה בתושבת אוקטל עם שמונה פינים, שפופרת 1624 הייתה בתושבת UY (חמישה פינים) עם חיבור לאנודה בראש השפופרת.

במשדר היו 10 לחצנים לכיוון ערוצים מראש. לחיצה על לחצן בחרה גביש שידור, ובעזרת מערכת גלגלי שיניים סובבה את הקבל הסיבובי הראשי (Gang tuning capacitor), שהורכב משישה קבלים על ציר אחר, למצב שכוון מראש.

אספקת הכח למכשיר התבססה על הזנת תילי הלהט של השפופרות ישירות ממקור מתח הז"י (חלק מתילי הלהט חוברו בטור, ובחיבור הטורי שולבו נגדים מתאימים), ויצירת מתח גבוה (600 וולט למשדר, 180 וולט למקלט) באמצעות דינמוטור לכל אחד מהמתחים. הדינמוטורים (במקלט, במשדר) למתח הזנה של 12 וולט ולמתח הזנה של 24 וולט היו מדגמים שונים, והחלפתם נעשתה בידי טכנאי.¹⁴



משדר מח-604/מח-684 – מרשם מלבנים

¹⁴ ראו :

TM 11-600, Radio Sets SCR-508-A, C, D, AM, CM, DM; and AN/VRC-5, War Department, May 1947
TM 11-4037, Radio Transmitters BC-684-A, -B, and -BM Repair Instructions, War Department, August 1945



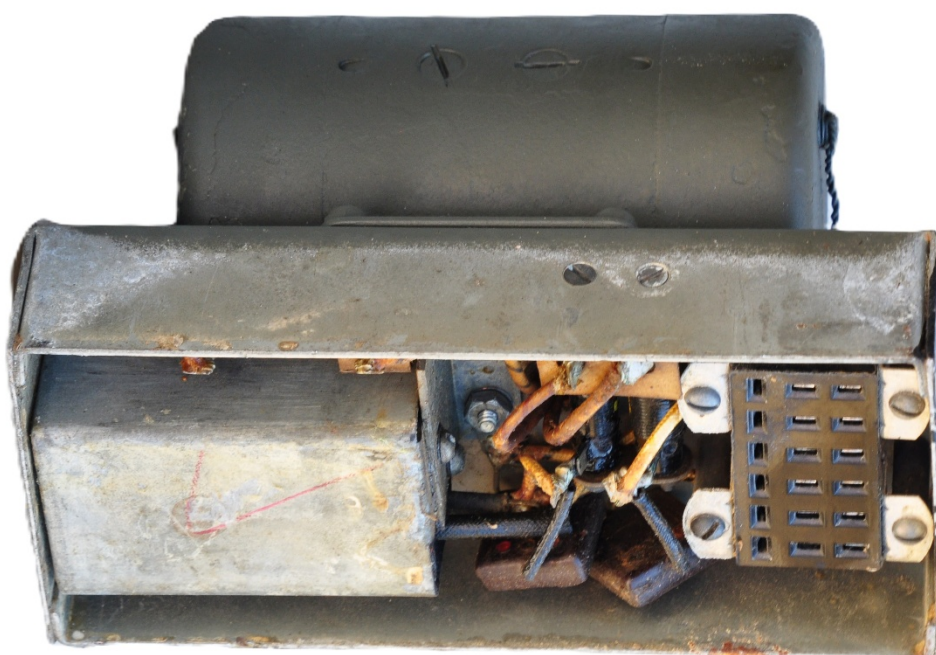
מק-508/מק-608: שני מקלטים ומשדר על מקבע



מקלט מח-
603
מח-683



משדר מח-604
מח-684



יחידת דינמוטור 12 וולט למקלט מח-603/מח-683



סרן (לימים אלוף) יעקב (ג'קי) אבן (אפשטיין), מ"פ טנקים, חובש קובע שריון ומקים קשר עם מק-508 מצריח טנק שרמן M4A1, 1954
 צלם: בוריס כרמי. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 1, 432/45

מק-190/מק-191

מק-190 ומק-191, שכונו אז מק-19, הם מכשירי קשר בריטיים שנכנסו לשימוש הצבא הבריטי בשנת 1940, היו מכשירי הקשר העיקריים ברק"ם בצבא הבריטי,¹⁵ ושימשו כמכשירי קשר רב־תכליתיים לקשר דיבור בטווח של כ־16 ק"מ וקשר באיתות מורס לטווח של כ־25 ק"מ.¹⁶ מק-190 הוא גרסה לתחנות קשר נייחות (גרסה 'סטטית', בעגת אותם הימים), ומק-191 הוא גרסה ניידת, להתקנה ברכב.

המכשיר כלל שני מקלטים/משדרים: מקלט־משדר A פעל בתחום התדרים 2 עד 8 מה"ץ, בהספק שידור של 10 וואט באיתות מורס (גל רציף – CW), 2.5 וואט באת"ן (או באיתות מורס מאופנן – MCW), ויועד לקשר לטווח של 16 ק"מ באלחוט דיבור, 25 ק"מ באיתות מורס; מקלט־משדר B פעל בדיבור באת"ן, עם עשרה ערוצים בתחום התדרים 230 עד 240 מה"ץ, בהספק שידור של 0.4 וואט, ומיועד לקשר לטווח קצר (עד 1,500

¹⁵ במלחמת העולם השנייה ולאחריה יוצרו מהמכשיר 115,000 יחידות. ראו:

Nick Kendall-Carpenter, *Roger So Far, The first 100 years of the Royal Corps of Signals*, The History Press, 2020, page 58.

¹⁶ הכינוי בצבא הבריטי: Wireless Set No. 19 (Canadian) MK. III

מטר). המכשיר הוזן מזרם ישר של 12 או 24 וולט. היו לו שלושה חלקים : משדר-מקלט, ספק כוח ומתאם אנטנה (שכונה בשם וריומטר).

המכשירים שצה"ל רכש היו מדגם שיוצר בקנדה עבור צבא ברית המועצות, עם כיתוב באותיות קיריליות על מילואת המכשיר. בתום מלחמת העולם השנייה מכרו היצרנים בקנדה מכשירים חדשים שלא סופקו כגרסאות, והם נרכשו בידי אנשי ה'הגנה' והוברחו ארצה ערב מלחמת העצמאות.

בתחום A, המקלט היה סופרהטרודין עם שש שפופרות ריק : פנטודה 6K7 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) כמגבר תדר רדיו, טריודה-הקסודה 6K8 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) כערבל מקומי וכמתנד ראשי, שתי פנטודות 6K7 כמגברי תדר ביניים בתדר 455 קה"ץ, פנטודה ושתי דיודות 6B8 כגלאי את"ן ומגבר שמע וטריודה של 6K8 כמתנד פעמה ; במשדר היו שש שפופרות ריק : טריודה-הקסודה 6K8 כמתנד פעמה וערבל, שניזון מטריודה של 6K8 כמתנד ראשי, פנטודה EF50 כמגבר חוצץ (בתושבת לוקטל עם תשעה פינים), וטריודה 807 (בתושבת חמישה פינים UX5) כמגבר הספק. פנטודה 6B8 שימשה כמגבר שמע שאפנן את סריג הסיכוך של טטרודת מגבר ההספק. זוג דיודות 6H6 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) שימשו לייצור מתח מיקדם (Bias) לדרגה הסופית.

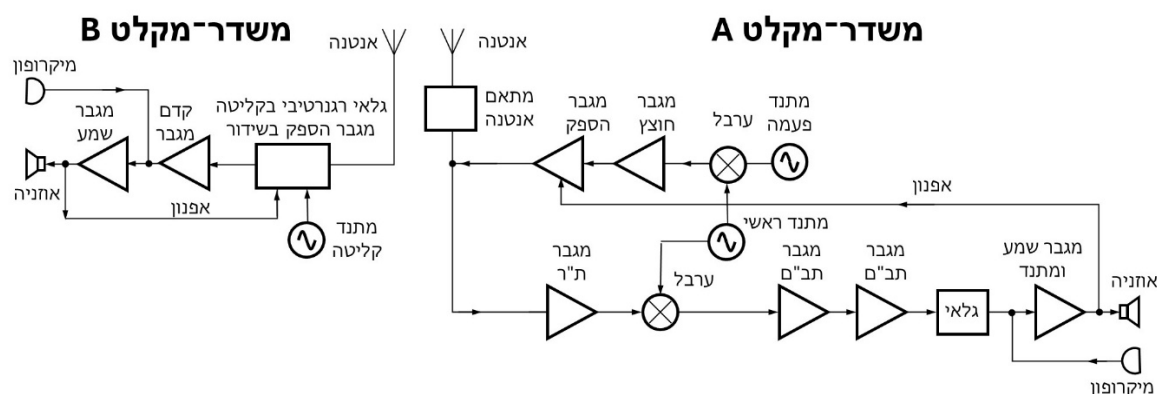
בתחום B, המקלט היה מקלט סופר-רגנרטיבי עם ארבע שפופרות ריק : טריודה E1148 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) כגלאי עם פנטודה 6K7 כמתנד, פנטודה 6K7 כקדם מגבר שמע ופנטודה 6V6 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) כמגבר שמע ; במשדר היו שתי שפופרות ריק : טטרודה 6V6 כמגבר שמע וטריודה E1148 כמתנד.



מקלט-משדר מק-191

מקלט-משדר (מימין), ספק כוח (משמאל). על המקלט-משדר מורכבים מתאם קשר-פינים לרק"ם (מימין) ומתאם אנטנה (משמאל).

ספק הכח התבסס על דינמוטור לשידור, ורטט אסינכרוני עם שפופרת יישור 0Z4A (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים, עם שתי דיודות) לקליטה, וסיפק מתחים של 265 וולט (מתח אנודי לכל השפופרות) ו-540 וולט (מתח אנודי למגבר ההספק של תחום A).¹⁷



מקלט-משדר מק-191 – מרשם מלבנים



אלחוטנית בחטיבת גולני עם מק-190, דצמבר 1948
צלם: יצחק מיכלין. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, 1733/0 ב.

¹⁷ מכשירי אלחוט מ"ק 19, 1948, (ארעי) אימוני קשר – חוברת מס' 12, מטכ"ל/שרות הקשר, אלול תש"ח – ספטמבר 1949.



מק-190, מבצע 'בתק', מגדל צדק, יולי 1948
באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף רגיל, 8179/0 ב



**אלחוטגית עם מק-191 במשוריין 'פורמן',
בדרך לירושלים, 1948**
באדיבות אוצר תמונות הפלמ"ח, ארכיון
הפלמ"ח, 190.



מק-191 בזחל"ס, מבצע 'חורב', דצמבר 1948
 באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף רגיל, 0/1282/ב



רס"ן פליקס (הרמן) באטוס, מפקד גדוד טנקים 82 (חטיבה 8, 'המשוריינת') חובש קובע שריון ומקים קשר באמצעות מק-191 לאחר כיבוש שדה התעופה לוד, יולי 1948

הגדוד הפעיל משוריינים וטנקים מסוגים שונים, והיה מורכב מלוחמים דוברי שפות שונות (בפלוגה אחת דיברו אנגלית, בפלוגה שנייה דיברו רוסית), שלא ידעו עברית. בגדוד לא היה דובר רוסית וגם אנגלית, ולכן ניתנו הפקודות ביידיש, ותורגמו מיידיש לרוסית ומיידיש לאנגלית.

צלם: בנו רותנברג. באדיבות ארכיון המדינה – אוסף בנו רותנברג

מק-62

מק-62, מכשיר קשר ת"ג בריטי רב-תכליתי, נכנס לשימוש הצבא הבריטי בשנת 1945.¹⁸ המכשיר פעל בתחום התדרים 1.6 עד 10 מה"ץ, בשני תחומים: 1.6 עד 4.0 מה"ץ ו-4.0 עד 19.0 מה"ץ, ופעל באיתות מורס (CW) או בדיבור (את"ן). הספק השידור היה 1 ואט במורס, 0.5 ואט בדיבור. המכשיר הוזן מזרם ישר 12 וולט. ניתן היה להפעילו כמכשיר מיטלטל (נישא בידי חיילים במנשאי גב או באמצעות בהמת משא. חייל אחד נשא את המכשיר וחייל שני נשא את המצבר), כמכשיר נייד (מותקן ברכב) או כמכשיר ניח. בצה"ל הוא שימש בעיקר למטרות טיווח ארטילרי (של אש תותחים ומרגמות).

המקלט היה סופרהטרודין עם שמונה שפופרות ריק: פנטודה ARP-8 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) כמגבר תדר רדיו, פנטודה ARP-8 כערבל, פנטודה ARP-12 כמתנד ראשי, שתי פנטודות ARP-12 כמגברי תדר ביניים בתדר 455 קה"ץ, טריודה כפולה AR8 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) שטריודה אחת ממנה משמשת כגלאי את"ן, פנטודה CV65 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) כמגבר שמע וטריודה של טריודה-הקסודה ARTH2 (בתושבת אוקטל עם שמונה פינים) כמתנד פעמה; במשדר היו שש שפופרות ריק: פנטודה ARP-12 כמתנד ראשי, טריודה של טריודה-הקסודה ARTH2 כמתנד פעמה, הקסודה ARTH2 כערבל, פנטודה ARP35 כמגבר חוצץ (בתושבת לוקטל עם תשע פינים), וטריודה VT510 (בתושבת לוקטל עם תשע פינים) כמגבר הספק. טריודה AR8 שימשה כקדם-מגבר שמע, שהזין מגבר שמע על בסיס פנטודה CV65, שאפן את סריג הסיכוך של טטרודת מגבר ההספק. ספק הכוח התבסס על דינמוטור (שכונה Rotary Transformer), וסיפק מתח של 150 וולט למקלט, 250 וולט למשדר.¹⁹

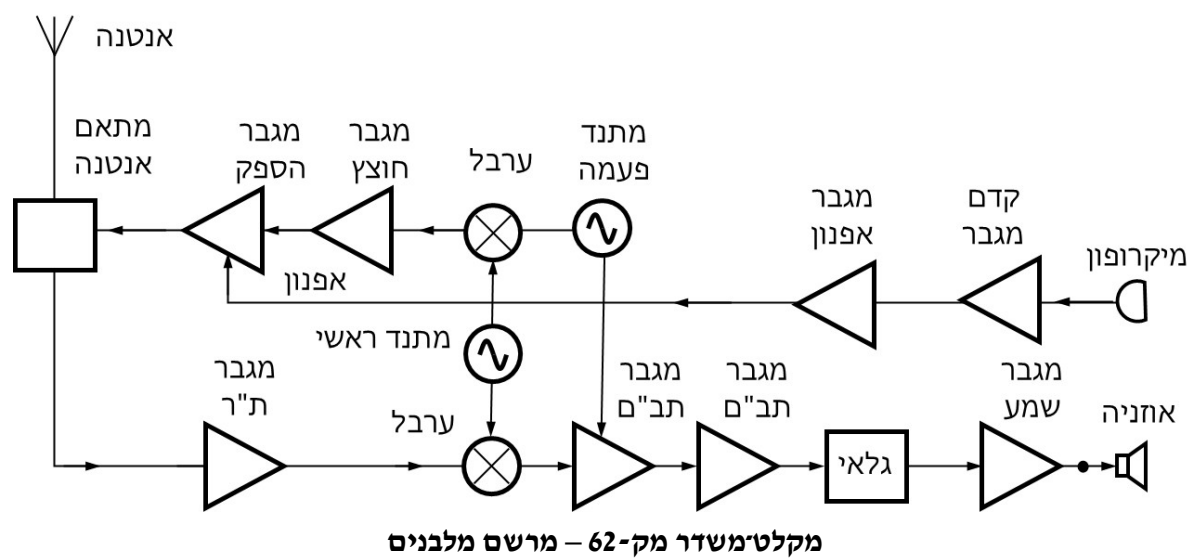
במכשיר זה ניתן לקבוע את תדר הקליטה/שידור באמצעות המתנד המשתנה הפנימי או באמצעות גביש קוורץ (בשלושה סוגי תושבות: CR1, X10 או FT 243).



מקלט-משדר מק-62

¹⁸ הכינוי בצבא הבריטי: Wireless Set No. 62 MK II

¹⁹ Wireless Set No. 62 Working Instructions, ZA 27690, The War Office, Whitehall, October 1945



קצין תצפית
מטווח ארטילריה
עם מק-62
וטלפון שדה,
אוקטובר 1948
באדיבות ארכיון
צה"ל
ומערכת הביטחון,
א/14222/0

התארגנות ומיסוד

בתקופה ממלחמת העצמאות עד מלחמת סיני עבר צה"ל תהליך התארגנות ומיסוד. צה"ל מוסד כצבא סדיר והוקם צבא המילואים. חיל הקשר עבר שינויים מהותיים, כולל רכש מהותי של ציוד קשר טקטי. הציוד מהתקופה שקדמה להקמת המדינה יצא משימוש. בדרג הלוחם יצאו מק-21 ומק-62 משימוש, אך צה"ל המשיך להשתמש במק-300, מק-536, מק-510/מק-610, מק-190/מק-191 ומק-508/מק-608, שהיה מכשיר הקשר העיקרי ברק"ם (רכב קרבי משוריין).

ערב מלחמת סיני הגיעו לראשונה מכשירי קשר חדישים, מכשירי מק-6 ומק-10, בכמויות קטנות. מכשירי מק-6 החליפו בהדרגה את מכשירי מק-536, מכשירי מק-9/מק-10 החליפו בהדרגה את מכשירי מק-300. אלה היו הניצנים הראשונים של הדור החדש של מכשירי קשר תג"ם, והם סופקו לחטיבות סדירות ולמספר יחידות לוחמות (לחלקן הגיע ציוד רק ערב המלחמה, כשהיחידות כבר היו בשטחי כינוס). באותה עת זה היה ציוד מתקדם, שפותח בשנת 1949 וייצורו הסדרתי החל בשנות החמישים. ציוד זה פעל באת"ד, בערוצים ברוחב 100 קה"ץ, בשלושה תת-תחומים, עם חפיפה של 900 קה"ץ בין התת-תחומים. כאשר בכל תת-תחום נדרש להשתמש במכשיר אחר.

ציוד התג"ם החדש פעל עם אביזרי שמע חדשים, עם מחבר שמע 10 מגעים (UG-77).

מערך התג"ם במלחמת סיני המשיך להישען על מכשירי מק-508/מק-528 (ביחידות שריון), מכשירי מק-608/מק-628 (ביחידות תותחנים) ומכשירי מק-300, שנקלטו עוד במלחמת העצמאות.

מק-6

מק-6 הוא מכשיר את"ד תג"ם נישא המוחזק ביד, שהיה מכשיר לקשר דיבור ברמת המחלקה בחיל הרגלים.²⁰ מק-6 פעל באפנון תדר, והיה לו גביש בודד באחד מ-43 ערוצים בתחום 47 עד 55.4 מה"ץ. הספק השידור היה 250 מיליזאט, והטווח היעיל היה כ-1.5 ק"מ. במכשיר היו 13 שפופרות ריק זעירות, והוא פעל עם אנטנת 'עלים' באורך 61 ס"מ. משקלו (עם הסוללה) היה כשלושה ק"ג. המכשיר ניזון מסוללה בט-270, שסיפקה שלושה מתחים – 1.5 וולט כמתח לחימום השפופרות, 45 וולט ו-90 וולט כמתחים אנוניים.

פיתוח מק-6 החל בארה"ב החל עוד בשנת 1945, כתחליף למק-536, אך ייצור סדרתי החל רק בשנת 1951. מכשירים מדגם זה פעלו בצבא ארה"ב ובצבאות מערביים שונים עד שלהי שנות השישים. המכשיר פעל עם שפופרות ריק סאב-מיניאטוריות, שפותחו בחברת ריִתְאון בארה"ב במיוחד לציוד קשר נייד.²¹

מק-6 פעל עם 12 שפופרות ריק סאב-מיניאטוריות, שפופרת ריק בודדת מיניאטורית שבעה פינים ושלוש דיודות גרמניות. המקלט היה סופר-הטרודין עם תשע שפופרות: פנטודה 5678 כמגבר תדר רדיו ראשון, פנטודה 5678 כמגבר תדר רדיו שני, טריודה-הפנטודה 2G21 כערבל, פנטודה 5672 כמתנד גבישי, שלוש פנטודות 5678 כמגבר תדר ביניים עם שלוש דרגות בתדר 4.3 מה"ץ, פנטודה 5678 כמגבל, מפלה עם שתי דיודות גרמניות ופנטודה 5672 כמגבר שמע. המשדר פעל עם ארבע שפופרות: פנטודה 5672 כאפנון, פנטודה

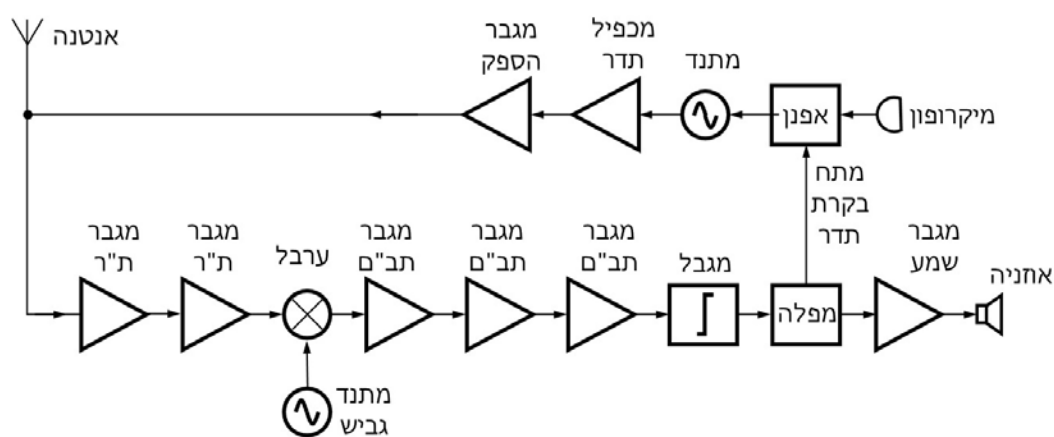
²⁰ הכינוי בצבא ארה"ב: AN/PRC-6.

²¹ שפופרות סאב-מיניאטוריות פותחו בידי חברת Raytheon בארה"ב בשנת 1939 לשימוש במכשירי שמיעה זעירים, כפתרון זעיר בממדיו, קל במשקל, אמין ועם צריכת זרם נמוכה. בשנת 1940 פותח קו צבאי של שפופרות אלה לשימוש במרעומי קרִבָּה (Proximity fuse), וטכנולוגיית הייצור הותאמה לעמידה בתנאי סביבה צבאיים נוקשים. ייצור שפופרות אלה נמשך עד פברואר 1986.

5676 כמתנד, פנטודה 5676 כמכפיל תדר ופנטודה 3B4 (השפופרת המיניאטורית היחידה במכשיר) כמגבר הספק. המשדר 'ננעל' לתדר המקלט באמצעות מעגל בקרת מתח ישר לאפנן.²²

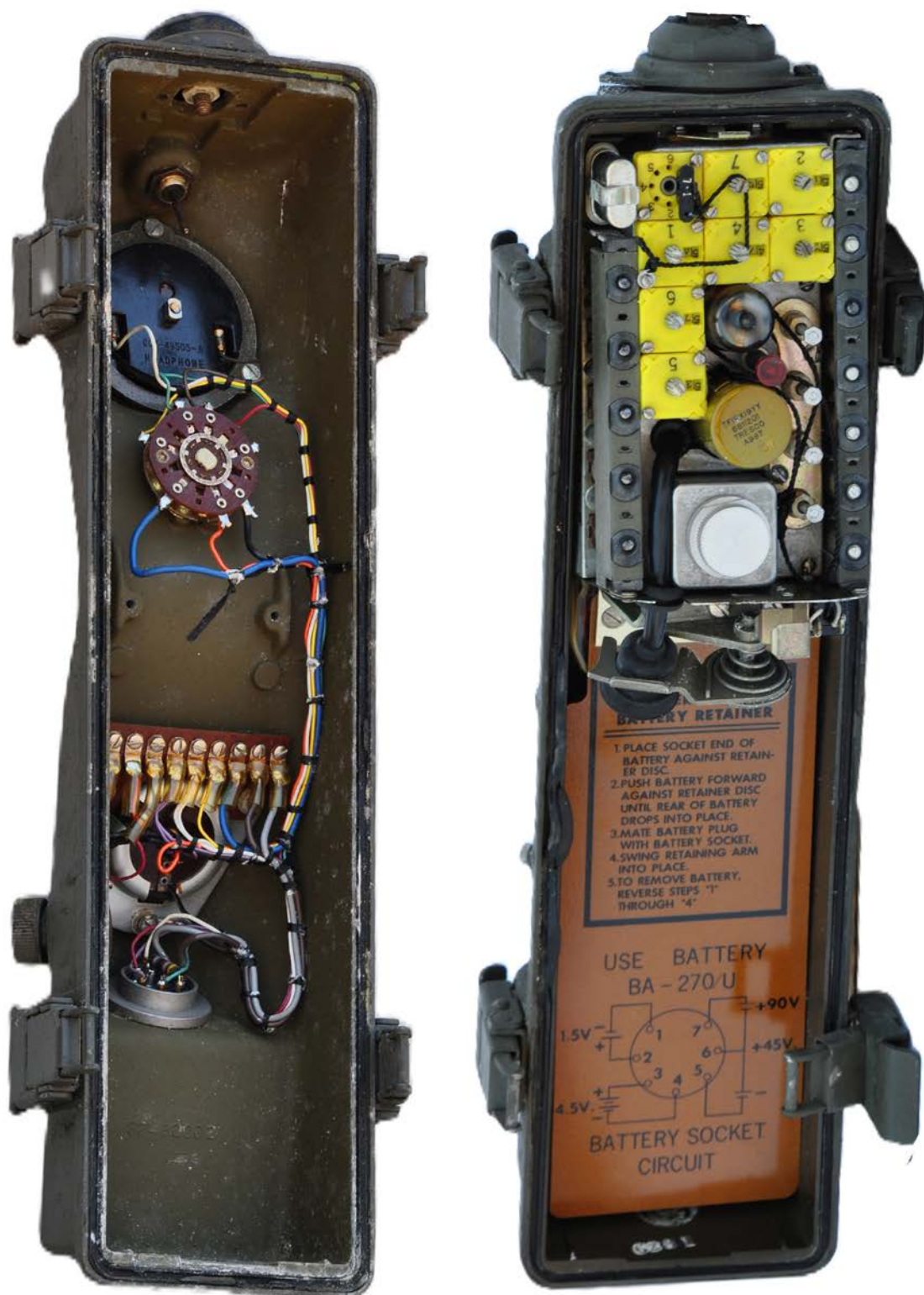


מקמ"ש תג"ם נישא מק-6



מק-6 – מרשם מלבנים

TM-11-4069, Radio Set AN/PRC-6, Field Maintenance, Department of the Army and Air Force, June 1952. ²²



מק-6 פתוח, ללא מכסים
שפופרות הריק הסאבמיניאטוריות מחוזקות משני צידי האשיה



**חיילת עם מקמ"ש תג"ם
נישא מק-6**

צלם : משה פרידן.
באדיבות לשכת העיתונות
הממשלתית, D733-104

מק-9/מק-10

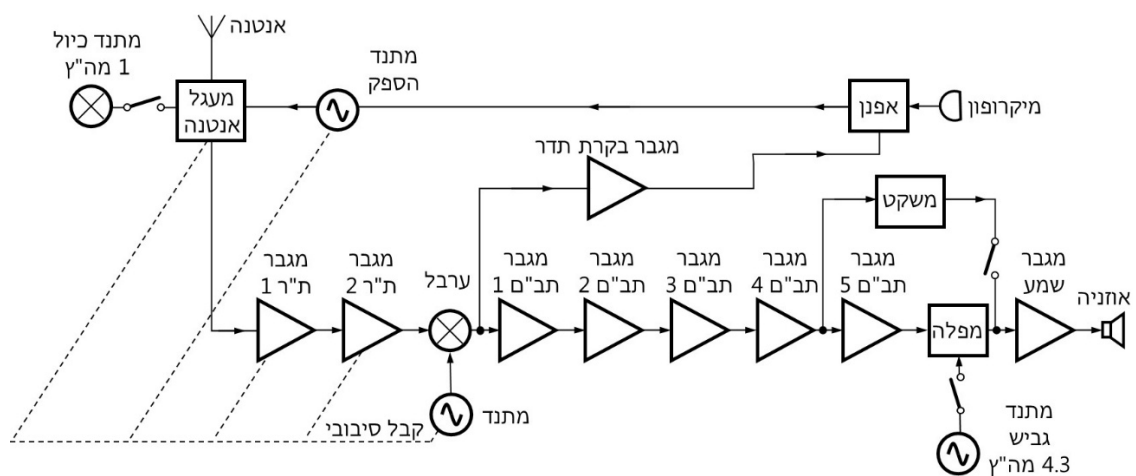
מק-9/מק-10 הם שני מכשירי קשר את"ד תג"ם כמעט זהים, בתחומי תדרים שונים : מק-9, לתחום התדרים 27 עד 38.9 מה"ץ, עם 120 ערוצים, ששימש ביחידות שריון ותותחנים ; מק-10, לתחום התדרים 38 עד 54.9 מה"ץ, עם 170 ערוצים, ששימש ביחידות חיל הרגלים.²³ המכשיר שקל (עם הסוללה, בט-279) כ-12 ק"ג, ונכנס לשימוש צבא ארה"ב בשנת 1951, יחד עם משפחת הג'י.אר.סי (ראו להלן).²⁴

²³ היה גם מק-8, בכמויות לא משמעותיות, בתחום התדרים 20.0 עד 27.9 מה"ץ. מכשיר זה שימש ברשת המצפים (צופי אוויר).

²⁴ הכינוי בצבא ארה"ב : AN/PRC-9/10

במכשירים אלה היו 16 שפופרות ריק. הספק השידור של מק-9 היה 1.0 ואט, הספק השידור של מק-10 היה 0.9 ואט. היו להם שתי אנטנות: אנטנה ארוכה (אנ-271), באורך כשלושה מטר ואנטנת 'עלים' קצרה (אנ-272), באורך 90 ס"מ. המכשירים פעלו עם מתנד בר-שינוי. גביש כיוול שימש לכיוון החוגה (הסקלה) כל מגה-הרץ, טווח המכשירים היה כחמישה ק"מ. הסוללה בט-279 סיפקה סדרת מתחים: 1.5, 6, 67.5 ו-135 וולט. בהפעלת המכשיר נדרש לכייל את החוגה לפעמית אפס עם גביש הכיוול הפנימי, ולאחר הכיוול ניתן היה להשתמש בשנתות על החוגה לכיוון הערוץ. מרכזת רשת נהגה לתת קריאת כיוון, כדי שהתחנות ברשת יוכלו להתכוון אליה במדויק.

מק-9/10 פעל עם 15 שפופרות ריק סאבמיניאטוריות, שפופרת ריק בודדת מיניאטורית תשעה פינים ושתי דיודות גרמניות. המקלט היה סופרהטרודין עם אחת עשרה שפופרות ושתי דיודות גרמניות: פנטודה 1AD4 כמגבר תדר רדיו ראשון, פנטודה 5678 כמגבר תדר רדיו שני, פנטודה 5678 כערבל, פנטודה 1AD4 כמתנד, חמש פנטודות 5678 כמגבר תדר ביניים עם חמש דרגות בתדר 4.3 מה"ץ, מפלה עם שתי דיודות גרמניות, פנטודה 5678 כמגבר משקט ופנטודה 5672 כמגבר שמע. המשדר פעל עם שלוש שפופרות: טריודה 5676 כאפנן ובקרת תדר אוטומטית (AFC - Automatic Frequency Control), יחד עם פנטודה 5672 כמגבר ז"י, לינעילת המשדר לתדר המקלט. פנטודת הספק 5A6 כמתנד בהספק גבוה (השפופרת המיניאטורית היחידה במכשיר, עם תשעה פינים). טריודה 5676 פעלה כמתנד גביש בתדר 1.0 מה"ץ, שההרמוניות שלו שימשו לכיוול המקלט, ופנטודה 5678 שימשה כימתנד פעמה, להזרקת אות 4.3 מה"ץ לכיוון מדויק של המקלט.²⁵



מק-9/10 – מרשם מלבנים



מילואת מקמ"ש תג"ס מק-9/מק-10
 למחבר הקואקסיאלי ניתן היה לחבר אנטנה מסוג אנ-1292 ('ספוטניק')



שפופרת ריק סאב-מיניאטורית – 5676

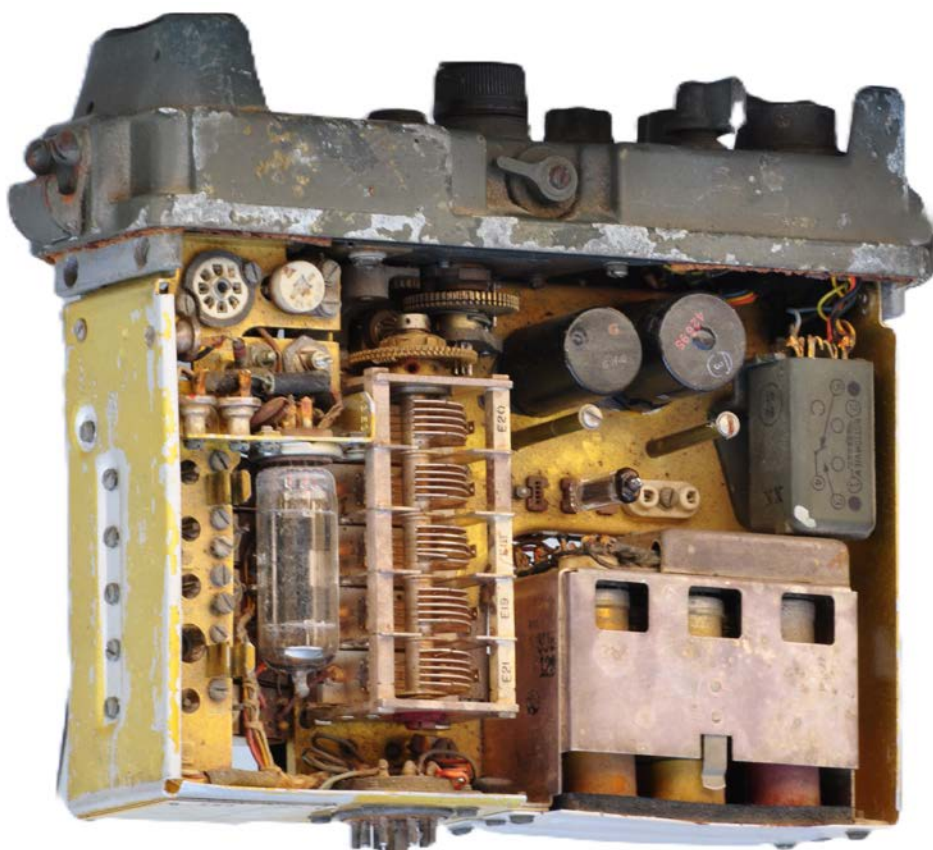


שפופרת ריק מיניאטורית

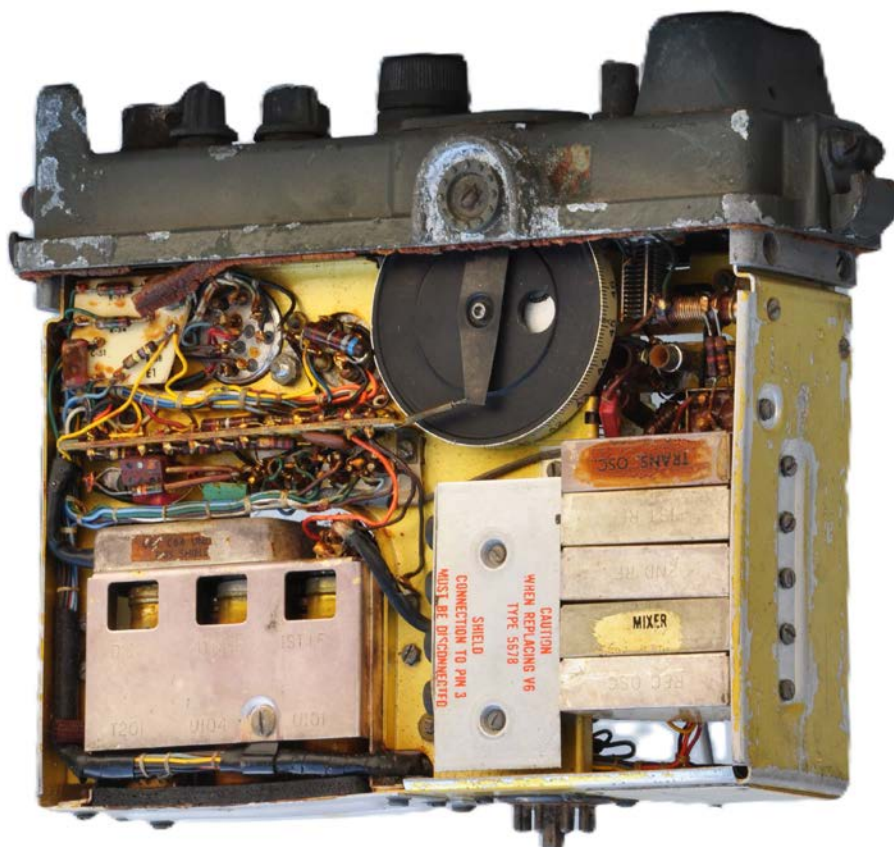
שפופרות ריק



מקמ"ש תג"ם נישא מק-9/מק-10



מק-9/מק-10 פתוח – מבט מלמעלה



מק-9/מק-10 פתוח – מבט מלמטה



קצין הקשר של גדוד 88 סג"ם דן שליט (מימין), עם מק-10, ומפקד הגדוד סא"ל (לימים רב'אלוף) מוטה גור (משמאל), בקרב המיתלה, 1956

לסג"ם דן שליט הוענק עיטור העוז על גילוי גבורה תוך חירוף נפש בקרב המיתלה.
 צלם : אברהם ורד. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 1, 1343/137

התמורות בצה"ל

בעשור מאז מלחמת סיני (אוקטובר 1956) עד למלחמת ששת הימים (יוני 1967) עבר צה"ל תמורה מהפכנית ומשמעותית, והפך מצבא רגלים לצבא ממונע, ממוכן ומשוריין. הסד"כ גדל מ-12 ל-21 חטיבות, מהן 11 משורינות וממוכנות.²⁶ סד"כ הטנקים גדל מ-350 טנקים במלחמת סיני ל-1,300 טנקים.²⁷ הצבא הצטייד ב-2,500 זחל"מים.

מלחמת ששת הימים הייתה המלחמה הראשונה של צה"ל בה נוהל הקרב בדיבור, בקולו של המפקד, בעיקר ברשתות תג"ם. קשר הדיבור בתג"ם היה 'מלך' שדה הקרב, הקשר העיקרי של הכוח הלוחם ביבשה, ואיפשר קשר איכותי וישיר בין המפקדים, בכל הרמות הלוחמות.

במלחמת ששת הימים היה מק-6 מכשיר הקשר העיקרי ברמת המחלקה בחיל הרגלים. הוא החליף את מק-536 המתיישן, שעדיין היה בשימוש. משפחת מק-9/מק-10 החליפה את המק-300, והייתה מכשיר קשר דיבור תג"ם הנישא העיקרי של צה"ל, בדרג הפלוגה והגדוד.



"שמונים ושבע כאן תלמיד, הר הבית בידינו! כאן תלמיד, הר הבית בידינו! עבור"

אשר קלוש, אלחוטן מילואים בפלוגת הקשר של חטיבת הצנחנים 55, מק-10 על גבו, בחפ"ק החטיבתי בהר הבית, 7 ביוני 1967. מכשיר הקשר היה ברשת המבצעים של הפיקוד, וממנו דיווח מפקד החטיבה, אל"ם מוטה גור (מזדהה בשם רשת המבצעים החטיבתית, 'תלמיד'), לאלוף פיקוד המרכז, האלוף עוזי נרקיס (שמונים ושבע), על השלמת המשימה.
צלם: מיכה ברעם. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 1, 6200/1575

²⁶ חטיבה עם שני גדודי טנקים וגדוד חרמ"ש כונתה חטיבה משורינת. חטיבה עם גדוד טנקים ושני גדודי חרמ"ש כונתה חטיבה ממוכנת.

²⁷ מול מירון חימוש בצבאות ערב, בעיקר בסיוע סובייטי, עמדו שנות השישים בסימן בניית כוחו ועוצמתו של צה"ל. מלחמת ששת הימים פרצה בתחילת השנה השלישית (והאחרונה) לתכנית 'בניאור', התכנית הרב-שנתית לבניין הכוח לשנים 1965 עד 1967. על פי תכנית זו, במרץ 1968 היה צה"ל אמור לכלול סד"כ יבשתי של 21 חטיבות: 6 חטיבות שריון, 5 חטיבות ממוכנות, 3 חטיבות מוצנחות ו-7 חטיבות חי"ר. מסד"כ זה – 3 חטיבות היו אמורות להיות סדירות: חטיבת שריון (חטי' 7), חטיבה מוצנחת (חטי' 35) וחטיבת חי"ר (חטי' 1). סד"כ מטוסי הקרב תוכנן להיות 230 מטוסים.



חפ"ק חטיבתי רגלי – חפ"ק חטיבת הצנחנים 55, בקרב על ירושלים
 המח"ט, אל"ם מוטה גור, גלוי ראש, במרכז. מכשירי הקשר הנישאים הם מק-10. קצין הקשר
 החטיבתי, סגן (לימים סא"ל) עזרא אורני, עומד קיצוני משמאל.
 צלם: עמוס צוקר. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 1, 6200/2009



חפ"ק חטיבתי רגלי – חפ"ק חטיבת הצנחנים 80 (המח"ט – אל"ם דני מט, לימים אלוף), בקרב
בדרום רמת הגולן, עם מכשירי קשר נישאים מק-10
 החטיבה נלחמה ב-5 ביוני בקרב על אום כתף בסיני, התארגנה ב-8 ביוני בשטח כינוס ליד יבנאל וב-10 ביוני
 הונחתה במסוקים סמוך לכפר תאופיק בדרום הרמה, בכוח של כ-1,000 לוחמים עם 18 גייפים. קצין הקשר
 החטיבתי היה רס"ן (לימים תא"ל) צבי אמיד.
 צלם: בניה ברנר. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 1, 20996/0

ההתפתחות המרכזית בתחום ציוד הקשר הטקטי הייתה החלפת הציוד מתקופת מלחמת העולם השנייה, מק-501/מק-610 ומק-50/מק-608, בציוד קשר חדיש, ממשפחת הג'י.אר.סי (GRC), מקמ"שי תג"ס מק-125/מק-126/מק-127/מק-128, מכשירי קשר את"ד תג"ס לקשר דיבור בערוצים ברוחב 100 קה"ץ,²⁸ שנכנסו לשימוש צבא ארה"ב בשנת 1950.²⁹ משנת 1964 סופקו לצה"ל מכשירי ג'י.אר.סי מתוצרת חטיבת הקשר של חברת תדיראן בישראל (היום – חלק מחברת אלביט מערכות),³⁰ שיוצרו על פי הסכם ידע עם חברת BUDD האמריקאית.

מק-125/מק-126 הם מכשירי קשר שנועדו לשריון ולתותחנים, בתחום התדרים 27 עד 38.9 מה"ץ (120 ערוצים), כאשר מק-125 היה מקמ"ש מח-67 עם מקלט עזר מח-1109, בעוד מק-126 היה מקמ"ש מח-67 בלבד. מק-127/מק-128 היו מכשירי קשר שנועדו לחיל רגלים, בתחום התדרים 38 עד 54.9 מה"ץ (170 ערוצים), כאשר מק-127 היה מקמ"ש מח-68 עם מקלט עזר מח-110, בעוד מק-128 היה מקמ"ש מח-68 בלבד. הרכבים נוספים כללו מגבר קשר פנים לרק"ם מח-65 ומקמ"ש נוסף, מח-70, שיועד לקשר רדיו פנימי במחלקת טנקים ופעל בתחום התדרים 47 עד 58.4 מה"ץ, והספקו היה חצי ואט.

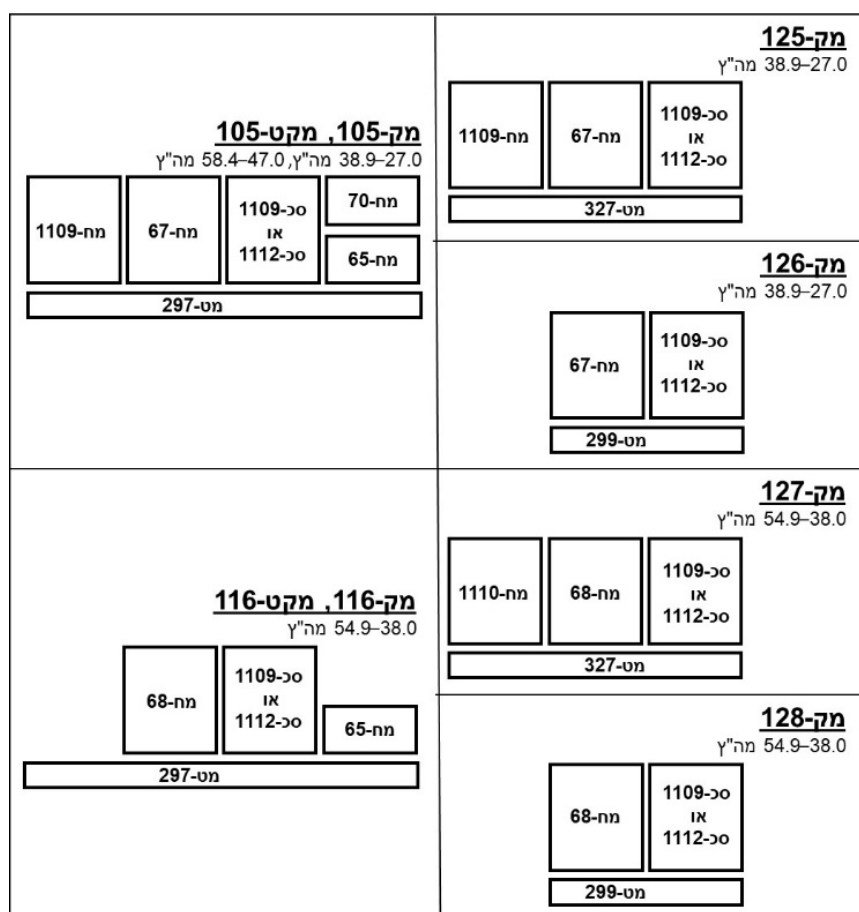
לציוד היו שני ספקי כח – סכ-1109 ל-12 וולט, סכ-1112 ל-24 וולט. מגבר קשר הפנים מח-65 סיפק מתח למח-70, וניתן היה להתקינו עם שני סוגי ספקים (שנמצאו בתוך המח-65): סכ-1281 ל-12 וולט או סכ-1282 ל-24 וולט. מערכת של מקמ"ש, מקלט עזר וקשר פנים צרכה בקליטה 9 אמפר ב-12 וולט, 5.3 אמפר ב-24 וולט. בשידור צריכת הזרם הייתה 18.3 אמפר ב-12 וולט, 11 אמפר ב-24 וולט. ספקי הכח פעלו בטכנולוגיה של רטטים סינכרוניים, עם שפופרות ניאון לייצוב מתח.

המקמ"ש מח-67/מח-68 שקל 17.3 ק"ג. מקלט העזר מח-1109/מח-1110 שקל 12.7 ק"ג. מקמ"ש מח-70 שקל 7.7 ק"ג. מגבר קשר פנים מח-65 שקל 7 ק"ג. המקבע מט-297 שקל 26.2 ק"ג.

²⁸ חיל הקשר פעל להכפלת כמות האפיקים של מח-68, על ידי הסבתו מאפיקים של 100 קה"ץ לאפיקים של 50 קה"ץ, ובמש"א קשר הוקם קו הסבה ויוצרו דגמים. אספקה מסיבית של ציוד וי.אר.סי במסגרת הסיוע מארה"ב לאחר מלחמת יום הכיפורים הביאה לביטולו של מיזם זה.

²⁹ הכינוי בצבא ארה"ב 8 & 7, 6, 5, 4, 3-GRC/AN.

³⁰ בשנת 1976 הוקמה תדיראן קשר, החטיבה של קונצרן תדיראן שעסקה בפיתוח וייצור מכשירי קשר צבאיים. חטיבה זו הפכה לחברה עצמאית בשנת 1989, נרכשה בידי חברת אלביט מערכות בשנת 2000 ומוזגה לחטיבת מערכות יבשה ותקשוב באלביט מערכות בשנת 2007.



הרכבי ערכות ג'י.אר.סי

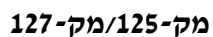
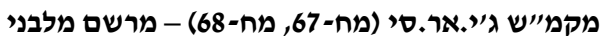
מכשירי מח-67/מח-68 היו מכשירים עם 27 שפופרות ריק, בהספק שידור של 16 וואט. ניתן היה לייצב (קביעה מוקדמת של ערוץ) בהם שני ערוצים.

המקלט היה סופרהטרודין כפול עם 14 שפופרות מיניאטוריות שבעה פינים: פנטודה 6AK5 כמגבר תדר רדיו; הפנטודה 1R5 כערבל ראשון, לערבול אות תדר הרדיו הנקלט עם הרמוניה של מתנד המה"ץ (ראה להלן); שתי פנטודות 1U4 כמגבר תדר ביניים משתנה, עד 4.45 עד 5.45 מה"ץ, עם שתי דרגות; הפנטודה 1R5 כערבל שני, הניזון ממתנד עשירות המה"ץ פנטודה 1L4; פנטודה 1U4 כמגבר תדר ביניים שני, בתדר 1.4 מה"ץ, ואחריו שתי דרגות מגבל עם פנטודות 1U4; זוג דיודות 1A3 כמפלה; פנטודה 3Q4 כמגבר שמע ראשון, טריודה כפולה 3A5 כמגבר שמע שני; פנטודה 3Q4 כמגבר שמע לשמיעה עצמית ולממסור; פנטודה 1S5 פעלה כמשתק.

במתנד הראשי, מחולל המגה"הרצים, היו שלוש שפופרות ריק מיניאטוריות שבעה פינים: טריודה כפולה 3A5 כמתנד גבישי ומחולל הרמוניות, פנטודה 3Q4 כמחולל הרמוניות המזין את הערבול הראשון במקלט, פנטודה 3Q4 נוספת המזינה את ערבול המשדר.

במשדר היו תשע שפופרות מיניאטוריות שבעה פינים ושפופרת אחת אוקטל שמונה פינים עם חיבור לאנטנה בראש השפופרת כדרגת תדר הרדיו הסופית: טריודה (חצי שפופרת 3A5) כמתנד משתנה בתחום 4.45 עד 5.45 מה"ץ, לקביעת תדר עשירות המה"ץ; זוג הפנטודות 1R5 כאפנן ומעגל בקרת תדר אוטומטית, ליניעילת תדר המשדר לתדר המקלט; טריודה כמתנד שמע בתדר 1,600 הרץ (חצי שפופרת 3A5) לשם אפנון ל'יצלצול'.

תדר רדיו ראשון ; זוג פנטודות 3B4 כמגבר מעורר ופנטודת הספק 2E24 כמגבר הספק.³¹





מקמ"ש
מח-67/מח-68



מקלט עזר
מח-1109/מח-1110



ספק כח
סכ-1112



מקמ"ש קשר מחלקתי
מח-70



מגבר קשר פנים מח-65



קופסת קשר פנים קפ-375



קשרית בג'יפ עם מק-128

צלם: משה מילנר. באדיבות לשכת העיתונות הממשלתית, D372-01

התעצמות

בתקופה בין מלחמת ששת הימים ומלחמת יום הכיפורים תוכננו ויושמו בצה"ל מספר תכניות רב שנתיות: מכבי, גושן, גושן ב' ואופק א'. התכניות התייחסו להתעצמות הכמותית והאיכותית של צבאות ערב (שביצעו תהליך שיקום מואץ לאחר מלחמת ששת הימים), ובעדיפות שנייה, אחרי חיל האוויר, נעשתה השקעה בפיתוח הכוח המשוריין, במגמה לבצע ברוזמנית מתקפה בשתי זירות, עם שניים שלושה מאמצים מערכתיים בכל זירה.³² תקציב הביטחון הוגדל מהותית (מ-10% מהתל"ג בשנים ערב מלחמת ששת הימים עד כדי 20% מהתל"ג), אך מגבלות תקציב פגעו בביצוע התכניות הרב שנתיות. מגבלות כוח האדם הביאו להעדפת גידול בסד"כ השריון על פני סד"כ החי"ר.

משנת 1968 ועד שנת 1973 גדל סד"כ צה"ל מ-1,300 ל-2,000 טנקים, כמחציתם טנקי סנטוריון (שוט) והיתר טנקי פטון (מגח), שרמן, טירן ו-AMX. הסד"כ גדל מ-7 ל-13 חטיבות שריון (ומחטיבה סדירה אחת, חטיבה 7, לארבע חטיבות סדירות – חטיבה 7, חטיבה 14, חטיבה 188 וחטיבה 401), מחמש לשש חטיבות ממוכנות. בשנת 1971 החל הצבא להצטייד בנגמ"שים "ברדלס" (M-113). סד"כ החי"ר והצנחנים נשמר: שמונה חטיבות חי"ר ושלוש חטיבות צנחנים. שולשה כמות גדודי הארטילריה המתנייעת 155 מ"מ M-109 (רוכב), והוקמו שלושה גדודי מרגמות כבדות מתנייעות (מכמ"ת) 160 מ"מ, שני גדודי תומ"תים כבדים M-107 עם תותח מתחלף 175/203 מ"מ, גדודי ארטילריה 130 מ"מ ו-122 מ"מ ומטולי רקטות (מטל"רים) סובייטים 240 מ"מ משלל מלחמת ששת הימים.

מערך הקשר הטקטי בתג"ס בצה"ל עבר תמורות מהותיות בין מלחמת ששת הימים ומלחמת יום הכיפורים: הציוד הנישא מק-9/מק-10 הוחלף בציוד חדיש ממשפחת הפי.אר.סי (PRC), מק-25/מק-77;³³ ציוד ממשפחת הגי.אר.סי המותקן ברק"ם וברכב הוחלף בציוד חדיש ממשפחת הוי.אר.סי (VRC).³⁴ ציוד זה פעל באת"ד בתג"ס, בתחום התדרים 30 עד 75.95 מה"ץ, בשני תת-תחומים: 30.00 עד 52.95 מה"ץ, 53.00 עד 75.95 מה"ץ. היו לו 920 אפיקים ברוחב 50 קה"ץ, שיפור משמעותי לעומת הציוד שקדם לו. אלה היו הדור הראשון של ציוד קשר צבאי בו הטכנולוגיה של מוליכים למחצה (Solid State) החליפה את שפופרות הריק, מה שתרם לשיפור ניכר בביצועים ובאמינות.³⁵ מרכיב תדרים (Frequency Synthesizer) ייתר את הצורך בכיוון וכיוון, ופישט מאוד את התפעול. שיפור דיוק ויציבות התדר איפשרו לעבור לערוצים במחצית הרוחב מכפי שהיו מקובלים עד אז (50 קה"ץ במקום 100 קה"ץ), והביאו להגדלה משמעותית בכמות הערוצים. המבנה המודולרי של הציוד איפשר את ייעול ייצורו ותחזוקתו.³⁷ שיפור נוסף היה מעבר לאבזורי שמע עם מיקרופון דינמי,³⁸ ששיפר משמעותית את איכות השמע, ומחברי שמע עם חמישה מגעים (U-229, U-182/U).

³² מגבלות תקציביות הביאו לכך שבשנת 1971 שונתה הגישה, ואומצה אסטרטגיה של מתקפה בזירה בודדת ובלימה בכל יתר הגזרות.

³³ הכינוי בצבא ארה"ב: AN/PRC-25.

³⁴ הכינוי בצבא ארה"ב: AN/VRC-12.

³⁵ טרנזיסטורים מגרמניום. בשנות השבעים הוסבו יחידות נתקעות רבות לגרסה עם טרנזיסטורים מסיליקון (ובהמשך – לדגמים מתקדמים יותר של טרנזיסטורים מסיליקון).

³⁶ מרכיב התדרים האנלוגי היה אז חידוש של ממש. במכשירים של היום משתמשים במרכיב תדרים ספרתי.

³⁷ בשנת 1975 הוענק למש"א קשר פרס קפלן (הפרס שניתן למפעלים ולמוסדות מצטיינים בהגברת פריון העבודה והייצור) על ההצלחה בשיקום מכשירי קשר טקטיים, שהתבססה בין היתר על מיכון תהליך תיקון, בדיקה וכיוון של יחידות נתקעות' בציוד פי.אר.סי/וי.אר.סי. בתקופה בה כותב המאמר היה מפקד בית המלאכה האלקטרוני של המש"א. הפרס ניתן בזכות העובדים והמנהלים, ובזכות רס"ן (לימים סא"ל) אבינועם כהן, מפקדו הקודם של בית המלאכה. רס"ן דניאל, **פרס קפלן – למרכז לשיקום ציוד קשר ואלקטרוניקה**, קשר ואלקטרוניקה, כרך ט' מס' 11 (107), תשרי תשל"ו – ספטמבר 1975.

³⁸ כל הדורות הקודמים השתמשו במיקרופונים פחמיים.

לציוד פי.אר.סי/וי.אר.סי היו שני סוגי משקטים (Squelch): משקט 'ישן' (Old), שזיהה גל נושא בתדר השידור, כמו בציוד שקדם לו, ומשקט 'חדש' (New), שנפתח מזיהוי צליל של 150 הרץ שנילווה לשידור.³⁹ תכונה חשובה הייתה מישק X-Mode, שאיפשר לחבר ציוד הצפנה חיצוני ולבצע תקשורת ספרתית בקצב של כ-15 קס"ש.

בשונה מהדורות הקודמים, שהיו מבוססים על תיול 'נקודה לנקודה', המבנה הפנימי של ציוד פי.אר.סי/וי.אר.סי התבסס על 'יחידות נתקעות', שהיו מעגל מודפס קטן (לראשונה נעשה שימוש במעגלים מודפסים בציוד קשר טקטי. אלה היו מעגלים מודפסים חד-שכבתיים או דו-שכבתיים) עליהם הותקנו רכיבים אלקטרוניים, עם מכסה מתכת, שהורכבו על 'לוח אם', אף הוא מעגל מודפס. המעבר למבנה פנימי זה איפשר לכלול במכשירים פונקציות מורכבות והקל מאוד על התחזוקה.⁴⁰

ההחלטה להפסיק להצטייד בציוד קשר מדור קודם, ולהצטייד בציוד פי.אר.סי/וי.אר.סי, נפלה עוד בשנת 1965, ואז גם הוחלט כי הציוד החדש ייוצר ברובו בחברת תדיראן בישראל, על בסיס הסכמי ידע עם חברת Magnavox האמריקאית. הזמנות ראשונות יצאו עוד ביולי 1966, אך אספקה סדירה והצטיידות מואצת החלה רק לאחר מלחמת ששת הימים, בשנת 1968. ההחלפה המהירה של כל ציוד התג"ס בצה"ל בציוד חדיש הייתה אירוע רחב היקף וייחודי, שהתחייב מהתיישנות מערך הציוד הוותיק ומהצורך להגדיל מהותית את כמות ערוצי הרדיו, עקב גידול הסד"כ.

פי.אר.סי

פיתוח ציוד הפי.אר.סי בארה"ב התחיל בשנת 1952. אספקות ראשונות של מק-25 לצבא ארה"ב החלו בשנת 1962, אך ההחלטה על רכש מסיבי התעכבה כמעט ארבע שנים, והמכשירים הוכנסו לשימוש מסיבי בצבא ארה"ב רק בשנת 1967. הציוד הנישא שידר בהספק של 1.6 ואט בתחום הנמוך, 1.1 ואט בתחום הגבוה, ופעל עם אנטנת שוט קצרה, אנ-892, או עם אנטנת שוט ארוכה, אנ-271.

מכשירי את"ד תג"ס מק-25 (המקמ"ש כונה מח-505) ראשונים סופקו לצה"ל בפברואר 1968 ושימשו בצה"ל יותר מ-20 שנה, עד שהוחלפו במק-77. ציוד זה נבנה בטכנולוגיה של שילוב טרנזיסטורים ושפופרות ריק (דרגות מגברי ההספק לתדר רדיו השתמשו בשפופרות ריק, וכל הדרגות האחרות התבססו על טרנזיסטורים) ונבנה בצורה מודולרית, קלה לתחזוקה. המכשיר פעל עם סוללה בט-386 (ששודרגה מאוחר יותר לסוללה בט-3386) שסיפקה שני מתחים (3 וולט לחימום שפופרת השידור ו-15 וולט לכל יתר המעגלים) ואיפשרה פעולה במשך כ-20 שעות.

מכשירי מק-77 (המקמ"ש כונה מח-841), שדרוג טכני של מק-25 עם תכונות דומות, נכנסו לשימוש צבא ארה"ב בשנת 1965,⁴¹ נקלטו בצה"ל בשנת 1973 ושירתו את צה"ל כ-40 שנה.⁴² השינויים בהשוואה למק-25 היו בטכנולוגית מגבר ההספק, שהומרה משפופרת-ריק לטרנזיסטורים (שייתרו את הצורך במתח 3 וולט לחימום השפופרת), שיפור רוחב הסרט של המקלט והוספת מחבר X-Mode, לחיבור מכשיר הצפנה.⁴³

³⁹ בתקופת מלחמת יום הכיפורים הופעל רק משקט 'ישן', כדי להבטיח תאימות לכמות הקטנה יחסית של ציוד מהדור ישן, שעדיין היה בשימוש.

⁴⁰ אליה וקוץ בה – קפיצי המגעים החשמליים שחיברו את היחידות הנתקעות התרופפו במהלך השנים, והמגעים הרופפים פגעו באמינות הציוד.

⁴¹ הכינוי בצבא ארה"ב: AN/PRC-77.

⁴² מק-77 הוחלף בצה"ל במק-710 מתוצרת ישראל, שנכנס לשימוש צה"ל בשנת 2012.

⁴³ מק-77 היה מכשיר הקשר הצבאי הנפוץ בעולם. צבא ארה"ב רכש כחצי מיליון מכשירים, ומאות אלפים נוספים יוצרו לצבאות אחרים. היצרנים המובילים היו RCA, Magnavox, E-Systems ו-Cincinnati Electronics בארה"ב ותדיראן בישראל. בין

גרסה שנקראה מק-53 איפשרה מיתקון מק-25/מק-77 ברכב, עם ספק כח ומגבר שמע מח-2060, מקבע מט-1029 ואנטנה אנ-1729. גרסה שנקראה מק-53 כללה אבזרים נוספים, כך שבעת הצורך ניתן היה לפרק את המקמ"ש מהרכב ולהפעילו כמכשיר נישא.

המקלט היה סופר-הטרודין בתדר ביניים של 11.5 מה"ץ. אות תדר הרדיו מהאנטנה עבר דרך רשת פסיבית לתאום אנטנה ומעגל המוצא של מגבר ההספק, הוגבר בשתי דרגות הגברת תדר רדיו והגיע לערבל. הערבל ניזון ממתנד מקומי בתחום התדרים 41.50 עד 64.45 מה"ץ, בקפיצות של 50 קה"ץ. קבל סיבובי ראשי שהורכב מחמישה קבלים על ציר אחד (Ganged tuning capacitor), שלט על המתנד המקומי ומעגלי תדר הרדיו. מוצא הערבל עבר מסנן גבישי בתדר 11.5 מה"ץ, והוגבר ביחידת מגבר תדר ביניים, בתוכה היו חמש דרגות הגברה (היה לה הגבר של כ-85 ד"ב), והדרגה האחרונה פעלה כמגבל. מוצא היחידה הועבר למפלה לגילוי השמע. אות השמע הועבר ליחידת מגבר שמע (ששימש גם לשימיעה עצמית/ בשידור) מעגל משקט הפעיל ממסר משקט, להשתקת השמע בהעדר אות. מעגל המשקט פעל בשני מצבים: משקט 'ישן' על פי רמת רעש, ומשקט 'חדש', שזיהה שידור אות 150 הרץ. בשידור סופק אות 150 הרץ למעגל המשקט, כדי לאפשר שמייעה עצמית.

מוצא המיקרופון של מערכת היד הוגבר במגבר שמע, שכלל גם מגבל, והוגש לאפנן (יחד עם אות שמע בתדר 150 הרץ, להפעלת המשקט). האפנן התבסס על מתנד בתדר 11.45 מה"ץ בתחום הנמוך ו-11.55 מה"ץ בתחום הגבוה. המתנד יוצב באמצעות רשת גבישים שחבורה במקביל למעגל התהודה שלו. האות המאופנן עבר לערבל, שניזון ממתנד מקומי בתחום התדרים 41.00 עד 63.95 מה"ץ, בקפיצות של 50 קה"ץ. מוצא הערבל עבר שלוש דרגות הגברת תדר רדיו ודרגת הספק, שהייתה מבוססת על פנטודה מיניאטורית תשעה פינים 2DF4, השפופרת היחידה במכשיר, שלצורך הפעלתה נדרש ספק כח שסיפק מתח גבוה של 125 וולט וממתח של 45- וולט, באמצעות ממיר מתח שפעל בתדר 4,000 הרץ. השוני העיקרי בין מק-25 למק-77 היה החלפת השפופרת בטרנזיסטור הספק ייעודי מסיליקון, במארז TO-60, וביטול ספק המתח הגבוה לשפופרת (וכמובן – התאמת מעגלים בהתאם). בעת שידור הופעל ממסר 'ש' קיצר את האות במבוא המקלט. קבל סיבובי ראשי (Ganged tuning capacitor), שהורכב מארבעה קבלים על ציר אחד, שלט על מעגלי תדר הרדיו.

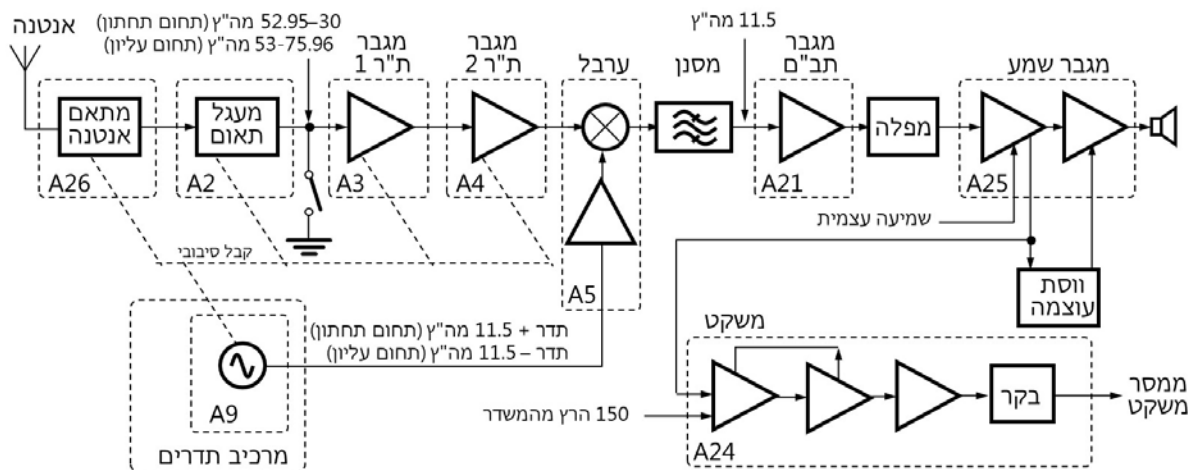
מרכיב התדרים פעל במנגנון של 'לולאה סגורה' (Closed loop), בה מתח בקרת תדר (APC – Automatic Phase Control) 'נעל' מתנד משתנה לתדר הרצוי. תדר המתנד המשתנה בשידור נמוך ב-50 קה"ץ מהתדר בקליטה. מוצא המתנד מועבר דרך דרגות חוצץ (Buffer) לערבל הראשון, שהמתנד המקומי שלו הוא גביש מדויק בתדר 1 מה"ץ שמוצאו מועבר דרך מגבר היוצר הרמוניות עשירות עד 12 מה"ץ. מוצא הערבל עובר מסנן גבישי בתדר 53 מה"ץ. לדוגמה: כאשר המתנד המשתנה פועל בתדר 44.6 מה"ץ, ערבול עם ההרמוניה השמינית (8 מה"ץ) מציג אות של 52.6 מה"ץ.

מתנד נוסף קובע את צעד ה-100 קה"ץ (100 kc interval oscillator), ונע בתחום 46.85 עד 47.75 מה"ץ, בקפיצות של 100 קה"ץ. התדר הספציפי תלוי בתדר שנבחר במתג הקה"ץ, ובבחירת 50 קה"ץ או 100 קה"ץ. התדר הוא 46.85 מה"ץ מעל נקודת 100 קה"ץ (0.00 מה"ץ, 0.10 מה"ץ, 0.20 מה"ץ וכו') או 46.90 מה"ץ מעל נקודת 50 קה"ץ (0.05 מה"ץ, 0.15 מה"ץ, 0.25 מה"ץ וכו'), ו-45.90 מה"ץ מעל נקודת 0.95 מה"ץ (התדר יהיה 46.85 מה"ץ בנקודה 0.05 או 0.10 מה"ץ, 46.95 בנקודה 0.15 או 0.20 מה"ץ, 47.75 מה"ץ בנקודה 0.85 או 0.90 מה"ץ).

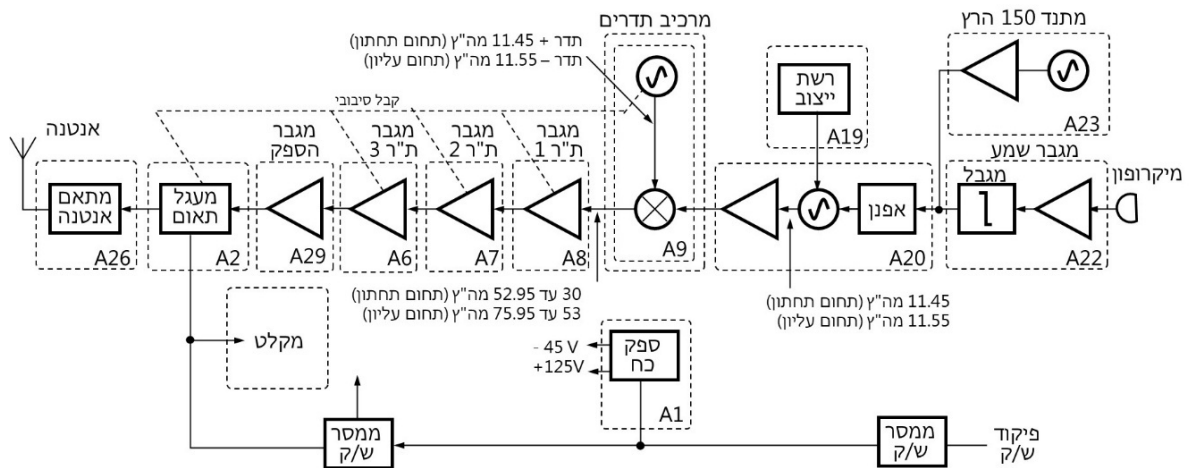
הצבאות שהצטיידו בציוד זה: ארה"ב, אוסטרליה, אוסטרליה, אירן, אלסלבדור, ברזיל, גרמניה, טיוואן, ירדן, לבנון, נורבגיה, ניוזילנד, פיליפינים, פינלנד, פקיסטן, צ'ילה, סינגפור, ספרד, דרום קוריאה, שבדיה, שווייץ, תאילנד.

שני האותות מוגשים לערבל השני. בערוץ 100 קה"ץ, מוצא הערבל הוא 5.65 מה"ץ בקליטה ו-5.60 בשידור. בערוץ 50 קה"ץ, מוצא הערבל הוא 5.60 מה"ץ בקליטה ו-5.55 בשידור. מוצא הערבל עובר הגברה של כ-40 ד"ב ומוגש למפלה ולמשווא מופע. למשווא המופע מוגש אות צעד 50 קה"ץ (50 kc interval oscillator), שהוא תוצאה של בחירת התדר (ערוץ של 50 או 100 קה"ץ), והאם המכשיר בשידור או בקליטה. בנקודת 50 קה"ץ, התדר הוא 5.60 בקליטה, 5.55 מה"ץ בשידור. בנקודת 100 קה"ץ, התדר הוא 5.65 בקליטה, 5.60 מה"ץ בשידור.

רשת ההשוואה (Antihunt network) משלבת את מוצא המפלה ומוצא משווא המופע ויוצרת את מתח בקרת התדר (APC), ה'נועלי' את המתנד המשתנה לתדר הרצוי.⁴⁴



מק-25 – מקלט – מרשם מלבנים



מק-25 – משדר – מרשם מלבנים



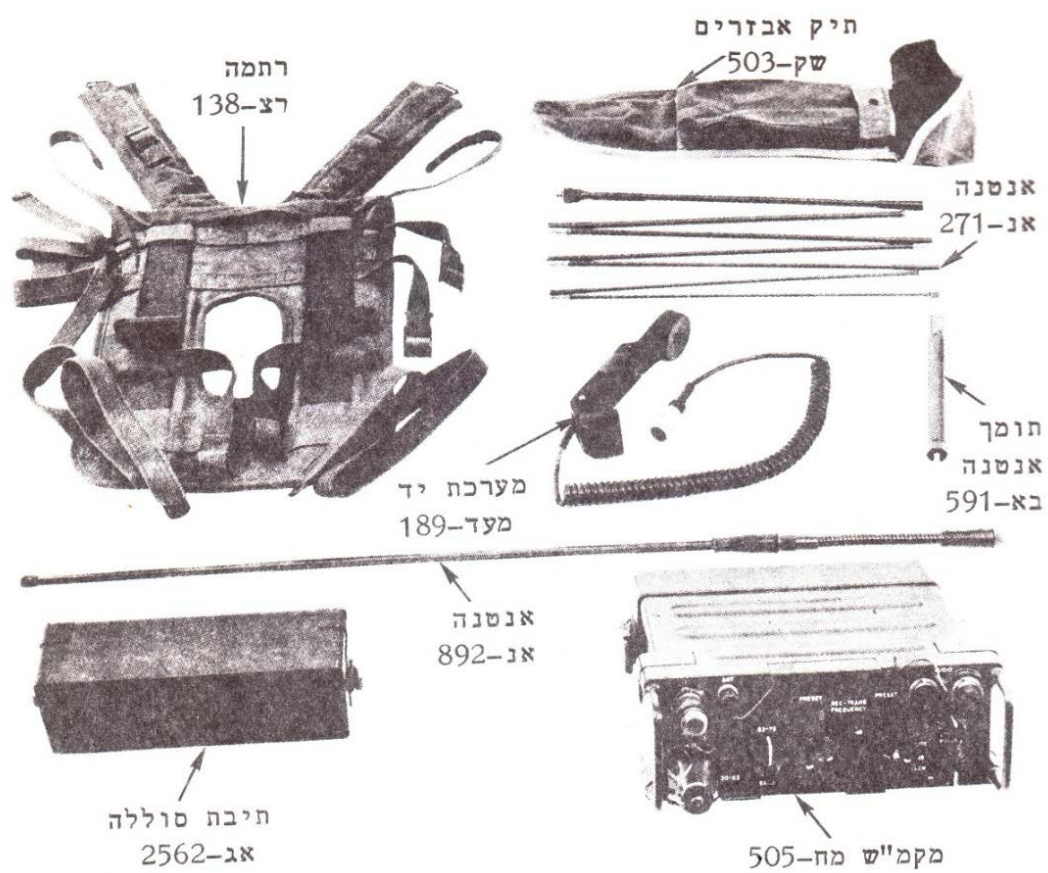
מקמ"ש תג"ם נישא מק-25/מק-77



מקמ"ש תג"ם נישא מק-77



מקמ"ש תג"ם נישא מק-77



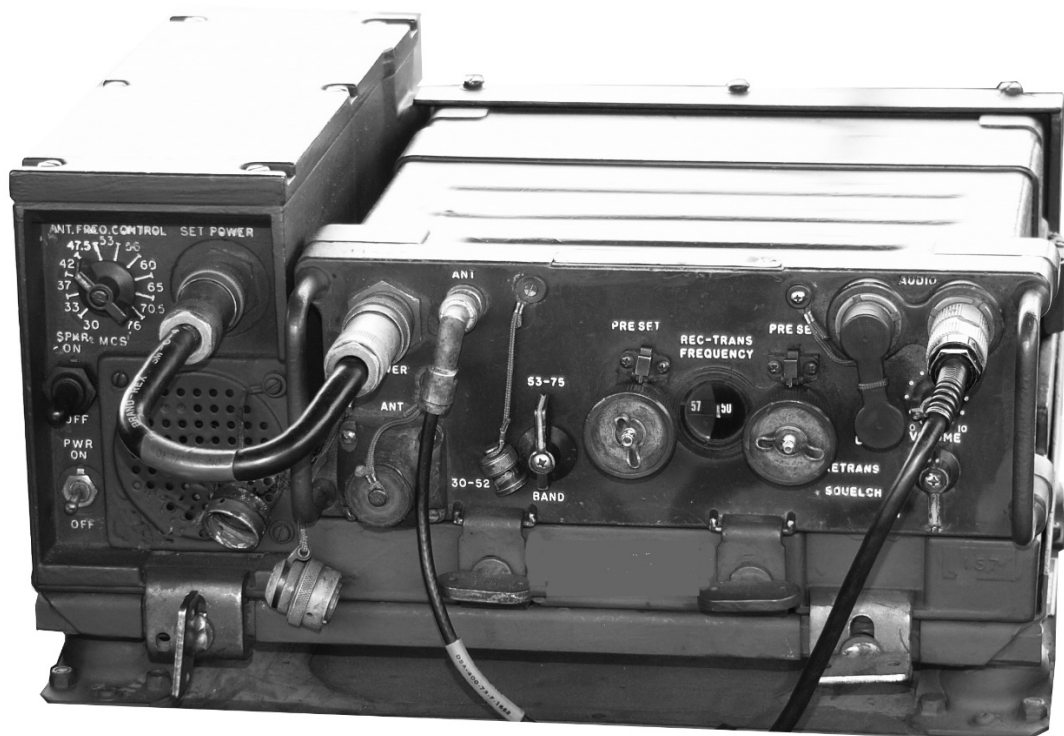
77

ערכת מק-25

מקור: המטה הכללי/עקד קשר 7-337, מק-25-53 למפעיל, 1971, עמ' 3



סוללה בט-3386



מכשיר קשר לרכב מק-53 – מק-25/מק-77 עם מגבר שמע מח-2060



חפ"ק חטיבה 35 במבצע 'רודוס', כיבוש האי שדואן במפרץ סואץ, ינואר 1970
 מימין לשמאל: רס"ל (לימים רס"ר) ארביב ויטוריו, אלחוטן ראשי בפלוגת הקשר החטיבתית, עם מק-25;
 סגן (לימים סא"ל) אבי דולב, סגן קצין הקשר החטיבתי, עם מק-25; עומד: אל"ם (לימים אלוף) חיים נדל,
 מפקד החטיבה; סרן (לימים תא"ל) עמוס קוצר, קמב"ץ החטיבה (צופה במשקפת).
 באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף דובר צה"ל, 93/12



חפ"ק חטיבה 35, מלחמת שלום הגליל 1982, לאחר הנחיתה בשפך נהר האוואלי
 מימין: מפקד החטיבה, אל"ם (לימים אלוף) יורם יאיר (יהיה); משמאל: קצין הקשר החטיבתי, סרן
 (לימים סא"ל) דוד דוכן, עם מק-77; מאחור, מוסתר: קצין המודיעין החטיבתי, סרן (לימים תא"ל) יובל
 חלמיש.

צלם: מיקי צרפתי. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 1, 1640/382



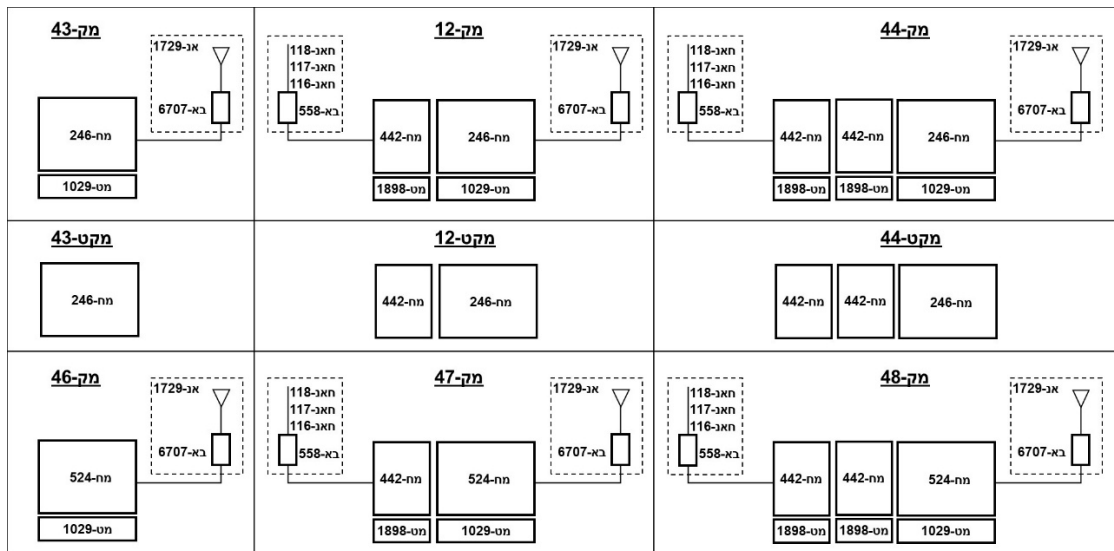
צנחנים עם מק-77, מלחמת שלום הגליל, 1982
 צלם: מיקי צרפתי. באדיבות ארכיון צה"ל ומערכת הביטחון, אוסף במחנה 2, 1767/141

וי.אר.סי

מקמ"שי את"ד תג"ס וי.אר.סי, מק-12/מק-43/מק-44/מק-46/מק-47/מק-48 נכנסו לשימוש בצבא ארה"ב בשנת 1963 ואספקתם לצה"ל החלה בשנת 1968, לאחר מלחמת ששת הימים. צה"ל החל בהוצאת ציוד זה משימוש והחלפתו בציוד חדיש יותר לאחר מלחמת שלום הגליל, בשלהי שנות ה-80. החלפת המכשירים נמשכה למעלה מעשור, ובצה"ל עדיין השתמשו בציוד זה בתחילת שנות ה-2000.

הרכבי וי.אר.סי בצה"ל כללו מקמ"שי ידני, מח-524; מקמ"שי אוטומטי, מח-246, בו ניתן היה לייצב מראש לחצנים ל-10 ערוצים, כדי לאפשר מעבר מהיר בין הערוצים – בלחיצה על לחצנים במילואה או מקופסת פיקוד מרוחקת; ומקלט עזר, מח-442. המקמ"שים הותקנו על מקבע מט-1029, ומקלטי העזר הורכבו על מקבע מט-1898. ההרכבים השונים כללו מקמ"שי אוטומטי או מקמ"שי ידני, ללא מקלט עזר, עם מקלט עזר אחד ועם שני מקלטי עזר.

מקמ"שים פעלו עם אנטנה אנ-1729, אנטנת דיפול מוזנת במרכז שבבסיסה מתאם, בא-6707, והגיעו לביצועי קשר משופרים מהותית בהשוואה לדור הקודם. כבל בקרה בין המקמ"שי לבסיס האנטנה בא-6707 שלט על כיוון מתאם האנטנה לתחומי התדרים השונים. מקלטי עזר פעלו עם אנטנת שוט בעלת שלוש חוליות, ללא מתאם בבסיסה.



הרכבי מערכות וי.אר. סי בצה"ל

מק"ט היא מערכת קשר לטנק, שאינה כוללת מקבעים ואנטנות, שהם חלק מזיווד הרק"ם

המקלט היה סופר־הטרודין בתדר ביניים של 11.5 מה"ץ. אות תדר הרדיו מהאנטנה עבר דרך ממסר קואקסיאלי לרשת תאום והגנה מפני מתח יתר (יחידה A1100), הוגבר בשתי דרגות הגברת תדר רדיו (A1200 ו-A1300) והגיע לערבול (A1400). הערבול ניזון ממתנד מקומי (A1500). בתחום התחתון (A) בתדר 11.5 מה"ץ מעל הערוץ הנקלט, ובתחום העליון (B) בתדר 11.5 מה"ץ מתחת הערוץ הנקלט. מוצא הערבול עובר דרך מסנן גבישי, מוגבר בשתי דרגות ביחידת תדר הביניים הראשונה (A4100), עובר מסנן גבישי נוסף ומוגבר בשלוש דרגות הגברה נוספות ביחידת תדר הביניים השנייה (A4200), מגבר תדר הביניים החמישי פועל כמגבל, והיחידה כללה גם מפלה. מוצא המפלה עבר לקדם מגבר שמע (A4300). יחידת השמע (A5100) נשלטת בידי יחידת משקט (A5300), בהתאם למצב המשקט שנקבע במתג במילואה (מופסק, ישן, חדש). ביחידת המשקט היה מסנן 150 הרץ לזיהוי אות בפעולה עם משקט יחדש, ומסנן ל-7.3 קה"ץ לזיהוי רעש בפעולה עם משקט ישן.

מוצא המתנד המקומי (A1500) עובר דרך מסנן מעביר גבוהים לערבול מאוזן (A3200), שם הם מעורבלים עם 12 הרמוניות של מתנד גבישי בתדר 1.12 מה"ץ (A3100). זוג התדרים הסמוכים ל-53 מה"ץ עוברים דרך מסנן גבישי לערבול נוסף (A3300), שם הם מעורבלים עם אות המתנד הגבישי (A2000), בו נבחר אחד מ-10 גבישים בתדרים במרחק 100 קה"ץ זה מזה, בתדרים 46.65 עד 47.75 מה"ץ. מוצא הערבול עובר דרך מגבר (A3400) ומסנן גבישי, והוא 5.60 מה"ץ (כאשר ספרת עשרות הקה"ץ היא 5, כמו: 30.05, 30.15 וכו') או 5.65 מה"ץ (כאשר ספרת עשרות הקה"ץ היא 0, כמו: 30.00, 30.10 וכו'). האות מוגבר במגבר תדר ביניים עם מגבל (A3500), ומושווה לאות מתנד ייחוס גבישי, 5.60 או 5.65 מה"ץ, באמצעות שני מנגנונים הפועלים במקביל: מחולל חיפוש (Hunt generator) (A3600), הרגיש לסטיות תדר גדולות ומבצע כיוון גס של המתנד המקומי (A1500), בדיוק של ± 400 קה"ץ, ולמפלה מופע (Phase discriminator) (A3700) הרגיש לסטיות תדר קטנות ומבצע כיוון עדין של המתנד המקומי, בדיוק של ± 3.5 קה"ץ. מוצאי מחולל החיפוש והמפלה משולבים ומוגשים כמתח ז"י לתיקון תדר ולינעילת המתנד המקומי (A1500).

בשידור, מבוא השמע עובר מגבר שמע (A8500), בו שלוש דרגות הגברה, ומוגש לאפנן בתדר 11.5 מה"ץ (A8100). מפלה מופע (A8200) משווה את מוצא האפנן למוצא ערבול המקלט, המוגבר באמצעות מגבר תדר

ביניים (A8300), במנגנון דומה למנגנון מרכיב התדרים (כיוון גס וכיוון עדין) ומוציא אות ז"י ל'נעילת' המתנד הראשי של המשדר (A6300), יחד עם אות שמע לאפנונו (ראו להלן איור להבהרת הרכיבים של עניבת בקרת תדר המשדר). מוצא המתנד הראשי עובר מגבר חוצץ (A6400) ומעורר (A6100), ומגיע למגבר ההספק (A6200), בו מותקנת טטרודת הספק ייחודית, 7843, המקוררת בהולכה באמצעות קולט חום עם קירור אוויר מאולץ (עם מאוורר ייעודי) בתעלת אוויר ייחודית (כך שפנים המכשיר מבודד מהאוויר הזורם בתעלת האוורור). ספק כוח ייעודי (A9000) מספק מתחים גבוהים של 700 וולט ו-275 וולט, וממתח של 21- וולט, לשפופרת ההספק, באמצעות ממיר מתח הפועל בתדר 2,000 הרץ. הספק השידור היה 35 וואט לפחות (הוא נע בין 35 ל-65 וואט).

מערכת גלגלי שיניים שלטה על מעגלי תהודה ביחידות תדר הרדיו במקלט (A1100, A1200, A1300) במתנד הראשי (A1500), על בחירת הגבישים (ביחידה A2000) ועל מעגלי תהודה ביחידות תדר הרדיו במשדר (A6300, A6400, A6100 ו-A6200).

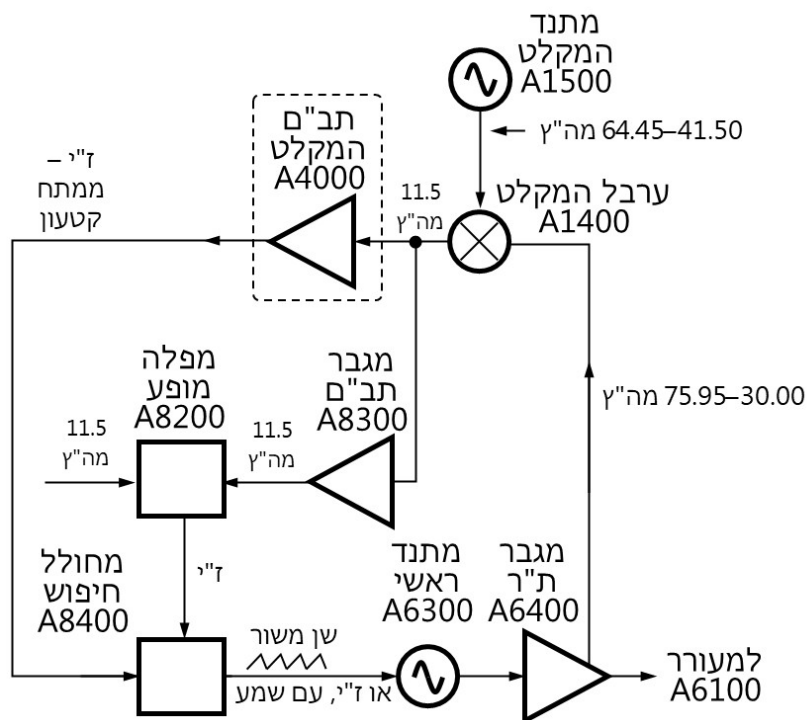
במקמ"ש האוטומטי (מח-246) הייתה מערכת סָרוֹ (Servo system), שאיפשרה כיוון המקמ"ש מראש לעשרה ערוצים ומעבר מהיר לערוץ נבחר באמצעות לחיצה על לחצן במילואה או שינוי מצב מתג בקופסת פיקוד חיצונית (שכונתה קפ-2242). מנוע סרוו סובב את מנגנון גלגלי השיניים לתדר שנבחר מראש. המערכת פעלה רק כאשר המתג במילואה היה במצב 'אוטומטי'. לחיצה על לחצן ערוץ הפעילה את ממסר K1702, שהפעיל את מנוע בחירת התחומים לבחירת תחום התדרים שיוצב (נמוך או גבוה), ומפעיל רגעית את 'מתג האיפוס' (Null switch), המפעיל את הממסר K9002 המפעיל ספק כוח שמספק 115 וולט ז"ח, בתדר 400 הרץ. מתח זה מפעיל את ממסר K7101 ומסופק לשנאי T301, המוריד אותו ל-24 וולט ומגישו לרשת הסטת מופע ולגשר הכולל את הנגדים המשתנים R303 ו-R1701, הוא נגד בחירת התדר בערוץ הספציפי, שכוון מראש (הכיוון מראש נעשה באמצעות לחיצה על מתג הכיוון, Tune, וכיוון הנגד המשתנה באמצעות מברג כך שמנוע הסרוו מסובב את הסקלה לערוץ הנדרש, ומתייצב שם). כאשר הגשר לא מאוזן מנוע הסרוו נע (עם או נגד כיוון השעון – בתלות האם המתח במוצא רשת הסטת המופע חיובי או שלילי). סיבוב המנוע מסובב את הנגד המשתנה R303 עד שהגשר 'מתאזן' לערך של R1701. הנגד R304 קובע את רגישות מערכת הסרוו. זרם ההפעלה של מנוע הסרוו מועבר דרך הממסר K7001 לשנאי T7001, השומר על פעולת ממסר K7101 עד שהזרם נפסק. הפעלת ממסר K1701 מפעילה את סולנואיד השחרור L301, ה'משחרר' את מערכת גלגלי השיניים ו'נועל' אותם מחדש כאשר ממסר K1701 מפסיק לפעול. מתג גבול (limit switch) מונע נזק למערכת גלגלי השיניים כאשר מערכת הסרוו 'שוגה' ומנסה להתכוון לתדר מתחת 30 מה"ץ או מעל 75.95 מה"ץ.⁴⁵

הציוד נבנה בצורה מודולרית, קלה לתחזוקה. אותם המודולים (יחידות נתקעות) היו משותפים לכל סוגי המכשירים (מח-246, מח-442, מח-524).

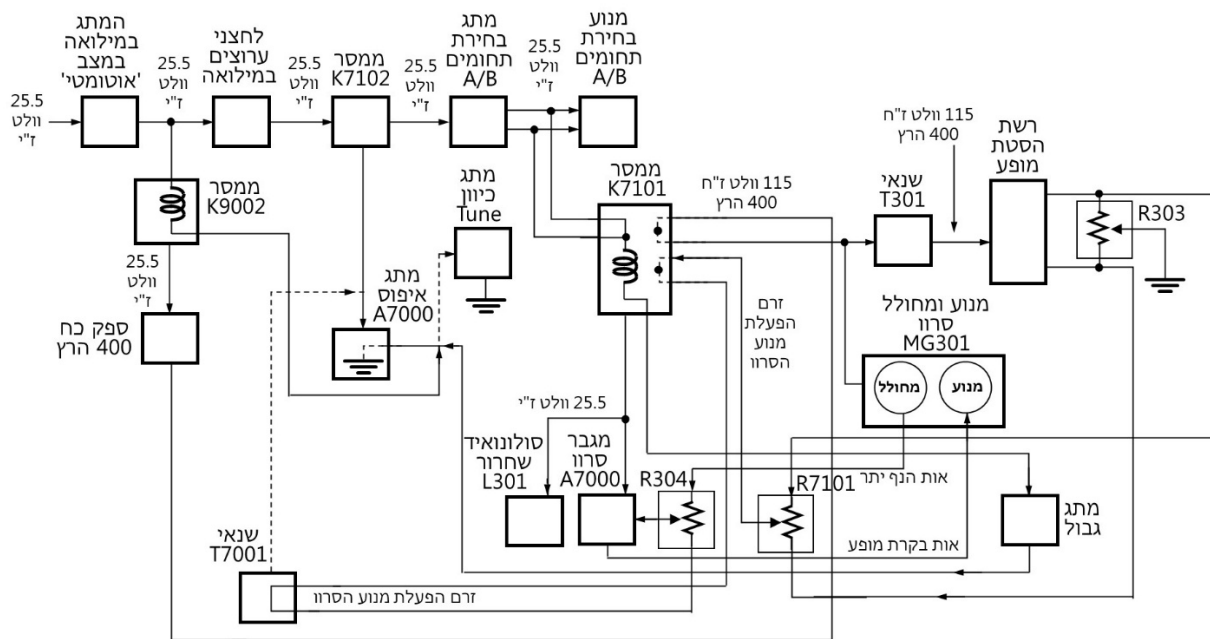
ציוד הפי.אר.סי.וי.אר.סי פעל עם אבזרי שמע דינמיים עם מחבר שונה מאבזרי השמע של הדור הישן. מערכת היד נקראה מעד-189, המיקרופון נקרא מיק-248 והאוזנייה נקראה אז-248. הרמקול (להתקנה ברכב) נקרא רמק-454. בהמשך נעשה שימוש ברמק-454, שכלל ווסת שמע ומחבר שמע, ויועד לערכות דופן בנגמ"שי פיקוד.

⁴⁵ ראו :

TM 11-5820-401-34-2, Technical Manual, Direct Support and General Support Maintenance Manual, Radio Sets AN/VRC-12, AN/VRC-43, AN/VRC-44, AN/VRC-45, AN/VRC-46, AN/VRC-47, AN/VRC48 and AN/VRC-49, Receiver-Transmitters Radio RT-246/VRC and RT-524/VRC, Vol 1 & 2, Department of the Army and Navy, April 1984.



וי.אר.סי – עניבת בקרת תדר במשדר – מרשם מלבנים



מקמ"ש אוטומטי מח-246, מערכת הסרוו – מרשם מלבנים



מק-12 – מקמ"ש מח-246 עם מקלט עזר מח-442



מק-47 – מקמ"ש מח-524 עם מקלט עזר מח-442



מח-524, ללא מכסה עליון וכיסוי אחורי



מח-524, ללא מכסה תחתון, כיסוי אחורי וכיסוי צד



שפופרת ריק 7843, המשמשת
בדרגת הספק תדר רדיו סופית
במח-524/מח-246



קפ-2242 – קופסת בקרת
ערוצים חיצונית למח-246

סיכום

מתקופת מלחמת העולם השנייה, רשת רדיו דו־מַחֲצֵה (Half Duplex) טקטית לטווח קצר (CNR – Combat Net Radio) היא כלי מרכזי לפיקוד ושליטה בקרב בצבאות לוחמים,⁵⁶ וזה המצב גם בצה"ל. קשר רדיו טקטי יעיל ואמין הוא תנאי לתפקודו התקין של כוח צבאי לוחם בשדה קרב. הפעלת קשר כזה היא משימה מרכזית של חיל הקשר והתקשוב.

הציוד ששימש לקשר רדיו טקטי התפתח במהלך השנים, במקביל להתפתחות הצבא: במערכה הנייחת למחצה בתקופה 'ההגנה' וערב הקמת המדינה נעשה שימוש בקשר באיתות מורס על בסיס ציוד מבנייה עצמית. במלחמת העצמאות בה עיקר הכוח פעל ככוח לוחם נייד, נעשה שימוש נרחב בציוד קשר צבאי מעודפי מלחמת העולם השנייה, שהוברח ארצה. במלחמת סיני החלה הצטיידות בציוד קשר צבאי מודרני, מהסוג ששימש את צבא ארה"ב במלחמת קוריאה, בד בבד עם הפיכת צה"ל מצבא שעיקרו חי"ר לצבא ממוכן ומשוריין, ובמלחמת ששת הימים היה עיקר הכוח הלוחם מצויד בציוד זה – מק-9/מק-10 ומשפחת הגיי.אר.סי.

לאחר מלחמת ששת הימים, במהלך מלחמת ההתשה, החלה הצטיידות מסיבית בציוד חדיש יחסית לתקופתו, משפחת הפי.אר.סי/וי.אר.סי, מסוג ששימש את צבא ארה"ב במלחמת וייטנאם, שהיה אז הציוד התקני בצבא ארה"ב, ציוד שאיפשר לוחמת שריון ניידת במתארי הלחימה החזויים. זה היה ציוד הקשר הטקטי העיקרי בצה"ל במלחמת יום הכיפורים ובמלחמת שלום הגליל, וקליטתו בצה"ל שיפרה באופן ניכר את ביצועי מערכת הקשר הצבאית הטקטית בדרג הלוחם.

כאשר מתבוננים על תקופה של חמישים שנה, מתחילת שנות ה־40 ועד שלהי שנות ה־80, ניתן לסכם את ההתפתחויות הטכנולוגיות הבאות:

- שיפור איכות השמע, פשטות ההפעלה ונוחיות המפעילים, שנעשה על ידי אלה:
 - מעבר מת"ג לתג"ם: עד שנות ה־40 נעשה שימוש בת"ג בלבד. משנות ה־50 ציוד הרדיו הטקטי מתבסס על תג"ם. ת"ג ממשיך לשמש לקשר רדיו טקטי ארוך טווח, שלא נידון במאמר זה.
 - מעבר מאת"ן לאת"ד: עד שנות ה־40 נעשה שימוש באת"ן בלבד. משנות ה־50 ציוד הרדיו הטקטי מתבסס על את"ד.
 - פישוט התפעול: המעבר מציוד מבוסס גבישים לציוד עם מתנד בר שינוי יצר קושי תפעולי של צורך ב'כיול', שהקשה מאוד על הפעלת הציוד בידי חיילים לא מאומנים. המעבר לשימוש במרכיב תדרים בציוד הגיי.אר.סי ולאחר מכן בציוד פי.אר.סי/וי.אר.סי, פישט מאוד את התפעול.
- שיפור יכולת מבצעית, בדרך של:
 - הגדלת כמויות הערוצים: בשנות ה־40 נעשה שימוש בציוד עם ערוצים בודדים, מבוקרי גביש. בציוד הראשון שפעל בתחום תדרים רחב יחסית, מק-300, היו 41 ערוצים, ולמק-508/מק-608 היו 80 ו־120 ערוצים. לציוד של שנות ה־60, מק-9/מק-10 וגיי.אר.סי, היו 170/120 ערוצים. לציוד הפי.אר.סי/וי.אר.סי, שנכנס לשימוש בשלהי שנות ה־60, היו 920

⁵⁶ הגדרת המונח CNR בתקן האמריקאי ATIS-0100523.2019, ATIS Telecom Glossary:

Combat Net Radio (CNR): A radio operating in a network that (a) provides a half-duplex circuit and (b) uses either a single radio frequency or a discrete set of radio frequencies when in a frequency hopping mode. Note: CNRs are primarily used for push-to-talk-operated radio nets for command and control of combat, combat support, and combat service support operations among ground, sea, and air forces.

ערוצים. הגדלת כמות הערוצים הושגה באמצעות הרחבת תחום התדר (הציוד החדש פעל בתחום תדר רחב, מ־30 עד 76 מה"ץ), ומעבר מערוצים ברוחב 100 קה"ץ לערוצים ברוחב 50 קה"ץ.⁵⁷

- שיפור טווח הקשר – שהושג באמצעות הגדלת ההספק, שיפור באנטנות ושיפורים טכנולוגיים. שיפור גדול הושג במעבר לוי.אר.סי, שהשתמש באנטנות מתואמות, מוזנות במרכז, במקום אנטנות שוט פשוטות ששימשו את כל יתר הציוד.

• שינויים טכנולוגיים, ששיפרו את ביצועי הציוד ואת אמינותו:

- מעבר לשימוש בשפופרות ריק סאב־מיניאטוריות, ולאחר מכן לדיודות גרמניים ולטרנזיסטורים – גרמניים תחילה, לאחר מכן סיליקון. המעבר משפופרות ריק למוליכים למחצה הגדיל עד מאוד את אמינות הציוד. יחד עם זאת: דרגת הספק תדר הרדיו של משפחת הוי.אר.סי נשארה עם שפופרת ריק.

- שינוי שיטות בניית הציוד משנות ה־60: מעבר מהרכבת מרכיבים אלקטרוניים על אשיה ותיוול מורכב ביניהם, למבנה מודולרי באמצעות מעגלים מודפסים, לוחות אם (Motherboards) ו"יחידות נתקעות" (Plugin modules), שאיפשר ליישם ציוד מורכב יותר ופישט את תחזוקתו.

- פתרונות יצירתיים לפתרון הבעיה הטרמית של הפעלת ציוד קשר טקטי בנפח מצומצם בהספקים גבוהים.

ציוד הרדיו העיקרי, שתואר כאן, הוא רק חלק מהתמונה. כדי להפעילו בשדה הקרב נדרש להעמיד לרשות המשתמשים אמצעים מגוונים: סוללות, מצברים ומטענים, גבישים, אביזרי שמע, אנטנות, קשר פנים ברק"ם, אמצעי שליטה מרחוק, ועוד. מערך לוגיסטי, שיכלול בין היתר יכולת תחזוקה צמודה לכוחות, חלקי חילוף וציוד מדידה, אמור לספק צרכים אלה, והפעילות חייבת להיות מלווה במערך של חלוקת תדרים והפקת הוראות קשר. כל זה חייב להיתמך במערכת הדרכה ואימונים שתבטיח את הכשרת המפעילים ובעלי המקצוע למשימותיהם ותוודא את יכולתם למלא את משימתם ביום פקודה. החלפת ציוד קשר טקטי בדרג הלוחם היא 'אירוע' המקיף את כל אלה, וזו אחת המשימות העיקריות של חיל הקשר והתקשוב.

ההתפתחויות הטכנולוגיות המתוארות, ששיפרו עד מאוד את אמינות התקשורת ברשתות רדיו טקטיות, שיפרו את איכות התקשורת בין המשתמשים ופישטו את התפעול, הביאו להרחבת כמות רשתות הרדיו הטקטיות ותפוצת ציוד הרדיו הטקטי, השפיעו על תורת הלחימה וגרמו לשינוי אופי השימוש ברשתות רדיו טקטיות בצה"ל. דיבור ברשתות הרדיו הטקטיות הפך ממלחמת ששת הימים לאמצעי העיקרי לפיקוד ושליטה בקרב היבשה, ותורת הלחימה בצה"ל התפתחה במשך שנים ארוכות, עד תקופת 'המהפכה הדיגיטלית',⁵⁸ סביב שימוש בתקשורת דיבור ברשת רדיו טקטית, שעיצבה את תפישת הפיקוד והשליטה, את תורת הלחימה, את קצב הקרב, את תרבות הלוחמים ואת הבנת הווית שדה הקרב.

⁵⁷ להמחשה: הגידול המהיר בסד"כ לאחר מלחמת ששת הימים הביא לקושי גדול בהקצאות תדרים ברשתות הגיי.אר.סי, וכמות 'מכפלות התדרים' (הקצאת אותו תדר ליחידות שונות), ברמת הפלוגה, הייתה אז פי 14 (דהיינו: אותו תדר שימש ב־14 רשתות פלוגתיות שונות...). המעבר לוי.אר.סי הביא לצמצום מהותי בכמות 'מכפלות התדרים'.

⁵⁸ אגף התקשוב, שהוקם בשנת 2003 עם החזון "לחיות ולהילחם ברשת", הוביל שינוי מהותי בצה"ל, ומשנת 2014 הוביל פעילות להשגת עליונות תקשורתית והטמעת תפישת 'הלוחמה הרשתית'. מבצע 'צוק איתן' בשנת 2014 היה המבצע הראשון בו צה"ל "חי ונלחם ברשת [הדיגיטלית]".

אחרית דבר

ציוד הפי.אר.סי/וי.אר.סי, ששימש את צה"ל בנאמנות במלחמת ההתשה, מלחמת יום הכיפורים, מלחמת שלום הגליל ובמערכה ברצועת הביטחון בלבנון, פינה בהדרגה את מקומו לציוד חדיש יותר לאחר מלחמת שלום הגליל, אז הותנע תהליך הצטיידות מסיבי במכשירי קשר תג"ם מודרניים ומתקדמים שפותחו ויוצרו בישראל. לראשונה הפסיק צה"ל להשתמש בציוד קשר טקטי שמקורו בחו"ל ועבר לציוד ישראלי, שפותח בידי התעשייה הישראלית בהתאם לדרישות צה"ל.

המכשירים החדישים יוצרו בגרסה נישאת וגרסה לרכב. המכשירים התאפיינו באמינות גבוהה במיוחד, במשקל נמוך ובצמצום מהותי בהפרעות הדדיות, כך שניתן היה להפעיל מספר רב של מכשירים על רכב פיקוד מבלי שיפריעו זה לזה. אספקות סדירות מייצור סדרתי של מכשירי קשר נישאים החלו בשנת 1986; אספקות סדירות מייצור סדרתי של מכשירי קשר לרכב ורק"ם החלו בשנת 1989.

צה"ל אמור היה להצטייד בציוד זה בכמויות גדולות לשם החלפת מערך הפי.אר.סי/וי.אר.סי המתיישן, אך בשלהי שנות השמונים נעצרה ההצטיידות עקב אילוצים תקציביים. אחרי תהליך ממושך הוחלט בשנת 1996 להצטייד בציוד תג"ם אחר, שאף הוא פותח ויוצר בישראל. מכשירים ראשונים סופקו בשנת 1999, ותוך כעשור הוחלפה כל יתרת מערך הוי.אר.סי. המדובר במקמ"ש/מקלט לרק"ם ולא מערכת תג"ם כוללת, וביצועיו היו נחותים מביצועי ציוד התג"ם הספרתי החדיש, אך האילוצים התקציביים הכריעו לטובת הצטיידות רחבה בציוד זה. הייחוד במערכת זו היה התאמה למערך המקבעים והאבזרים של משפחת הוי.אר.סי, כך שלשם החלפת מכשיר ממשפחת וי.אר.סי במכשיר החדש נדרש לבצע שינויים מזעריים במתקוני רק"ם.

במקביל הצטייד צה"ל במכשירי קשר נישאים שהחליפו את מערך הפי.אר.סי המתיישן. מכשירים אלה אופיינו במשקל נמוך ונוחיות נשיאה, וסוללות מיוחדות שאיפשרו פעולה רצופה ממושכת.⁵⁹

ציוד הקשר ההיסטורי המתואר במאמר זה לא נמצא בשימוש מזה עשרות שנים. האתגר נשאר: קשר רדיו טקטי אמין ואיכותי הוא תנאי לחימה יעילה בשדה הקרב המודרני, צרכי הקשר הולכים וגדלים עם השנים, וחיל הקשר והתקשוב נדרש לרתום את מיטב היכולות הטכנולוגיות כדי לספק לכוח הלוחם ציוד מתאים.

הצטיידות צבא בציוד קשר רדיו טקטי היא מטבעה הצטיידות מסיבית, שיש לה משמעויות כלכליות כבדות. החלפת ציוד קשר מתיישן בציוד קשר מודרני איננו מהלך של מה בכך, במיוחד בתחום הרדיו הטקטי. חיל הקשר והתקשוב השכיל, משך כל דרכו, לתעדף את הקשר בדרג הלוחם, ולבצע במשך השנים תהליך מסודר, יעיל יחסית, של החלפת 'דורות' ציוד, לקידום יכולת הלחימה.

⁵⁹ ציוד זה לא מוצג במאמר, שכן העמותה נמנעת מלעסוק באמצעים שעדיין משרתים את צה"ל.