



סיון התשע"ט
יוני 2019

ציתות למערבל הבריטי: טכנולוגיה בשירות הש"י מאת: אל"ם (בדימוס) דניאל רוזן¹

מבוא

עם הקמת "תנועת המרי העברי" באוקטובר 1945 העביר שירות הידיעות (הש"י) של ה"הגנה" את מרכז הכובד של איסוף המידע על גורמי השלטון הבריטים בארץ ישראל (הנציב העליון, מפקדת הצבא, המשטרה והבולשת) מתל אביב לירושלים. אחד ממקורות המידע העיקריים היה ציתות לשיחות טלפון. הציתות נעשה מדירות פרטיות וממחסן עזוב של קופת חולים במרתף בית שיבר (רח' יפו 35), ובאמצעות "סייענים" מבין העובדים היהודיים של מחלקת הדואר והמברקה בממשלת המנדט שסייעו בהתחברות לקווי הטלפון.²

הבריטים, שחששו מציתות לטלפונים, התקינו בתחילת שנת 1946 מכשירי ערבול דיבור, לסיכול ההאזנה. מעבדות האלקטרוניקה של הטכניון העברי בחיפה ייצרו עבור הש"י מכשיר האזנה ש"שבר" את המערבל הבריטי ואיפשר האזנה יעילה, משלהי אפריל 1946.

לבריטים נודע על הציתות לשיחותיהם לכל המאוחר באוגוסט 1946, כתוצאה מהלשנה ומהשגת תזכירים ופרסומים של הש"י שכללו, בין היתר, ידיעות שמקורן בהאזנה, ומקור מודיעין זה סוכל.³ במאמר זה יתואר פיתוח מכשיר ההאזנה במעבדות הטכניון, ותרומתו של ג'ורג פהר, אז – מתלמד צעיר במעבדת האלקטרוניקה של פרופ' פרנץ אולנדורף, לימים – פרופסור באוניברסיטת סן דייגו בקליפורניה.

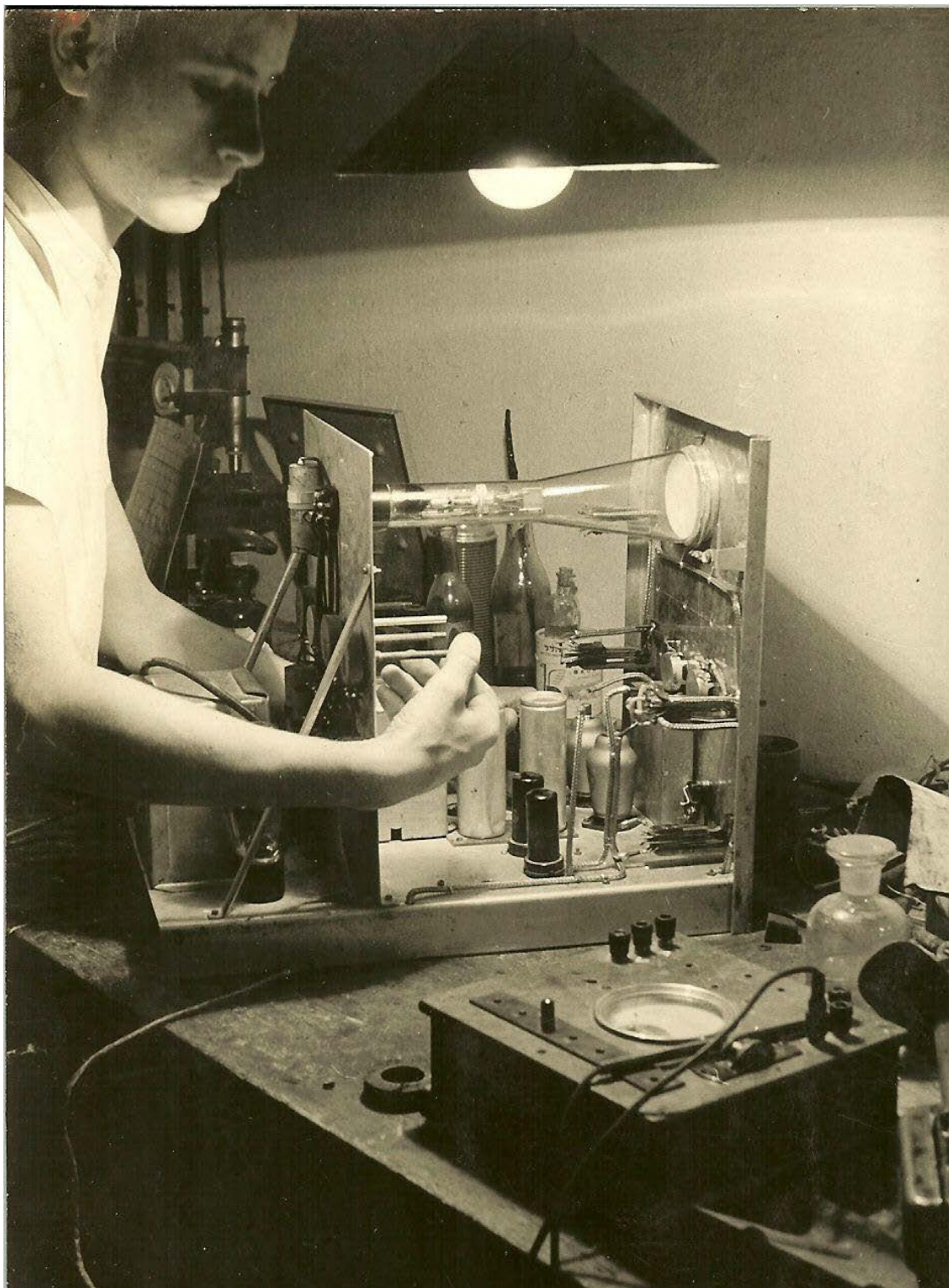
ג'ורג פהר (George Feher), 1924-2017, יליד בראטיסלבה, צ'כוסלובקיה. גורש מבית הספר בגין יהדותו בשנת 1938. עלה ארצה בשנת 1941 במסגרת עליית הנוער (עם ניירות הונגריים מזויפים, במסלול דרך הונגריה, רומניה, תורכיה, לבנון – ונעצר בעתלית, עם הגיעו ארצה) ונשלח לקיבוץ מרחביה, שם לא מצא את מקומו ועבר לחיפה. עסק בתיקוני רדיו ולמד בב"ס מקצועי (שם סיים לימודים של שנתיים בשנה). פרופ' פרנץ אולנדורף נוכח בכישרונותיו וגייסו כאסיסטנט למעבדתו בטכניון. בין היתר בנה שם את משקף התנודות (אוסצילוסקופ) הראשון בארץ (שכיאה למכשיר עברי, פעל מימין לשמאל). לא התקבל ללימודי הנדסה בטכניון עקב כישלון בבחינות כניסה בתנ"ך, ונאלץ לצאת ללמוד בארה"ב (את נסיעתו מימן מייצור מיקרופונים פיאצראלקטריים ומכירתם למועדוני לילה), שם פיתח קריירה אקדמית חשובה. חתן פרס וולף לכימיה לשנת תשס"ז–2006,

¹ תודתי לאורלי כהן ולשמרי סלומון מהארכיון לתולדות ה"הגנה", לפרופסור רחל נחשתאי, הפקולטה למתמטיקה ולמדעי הטבע, האוניברסיטה העברית, לד"ר ניר מן ולסא"ל (במילואים) נרי אראלי על סיועם והערותיהם המועילות. תודה ל"Crypto Museum" ול"British Telecom Heritage and Archives" על הסכמתם לשימוש בתמונות מאוספיהם.

² יצחק גסקו, לימים קצין הטלפונים הארצי הראשון בשירות הקשר במלחמת העצמאות, הפעיל מטעם ה"הגנה" את עובדי מחלקת הדואר והמברקה בירושלים.

³ יואב גלבר, שורשי החבלות: המודיעין ביישוב, 1918-1947, משרד הביטחון, תשנ"ב – 1992, עמ' 587-589.

יחד עם פרופ' עדה יונת, על פיתוח מכשירים ספקטרוסקופים חדשניים ומהפכניים ושימוש בהם בתחומי הביוכימיה והביופיזיקה.⁴



ג'ורג פהר ומשקף התנודות הראשון בארץ ישראל, מעבדות הטכניון, 1944
עוזבון ג'ורג פהר, באדיבות פרופ' רחל נחשתאי

⁴ לסיפור חייו של ג'ורג פהר ראו <http://www.life.illinois.edu/govindjee/history/FeherGeorgePP.pdf>

מערכת הדיבור הבריטי

מערכת הדיבור הבריטי באותה עת פעל בשיטה של ערבול תדר (Frequency Domain Scrambling), ומנגנון הערבול היה היפוך תדר (Frequency Inversion).

משנת 1940, ציוד הקצה שחובר למערכת הדיבור הבריטי היה טלפון דגם 328, הטלפון הסטנדרטי של הדואר הבריטי באותה עת. שפופרת הטלפון הייתה בצבע ירוק. בראש הטלפון היו שני כפתורים: SCRAMBLE ו-NORMAL (הכפתור השלישי, בין שני אלה, נועד לאיתות למזכירה).

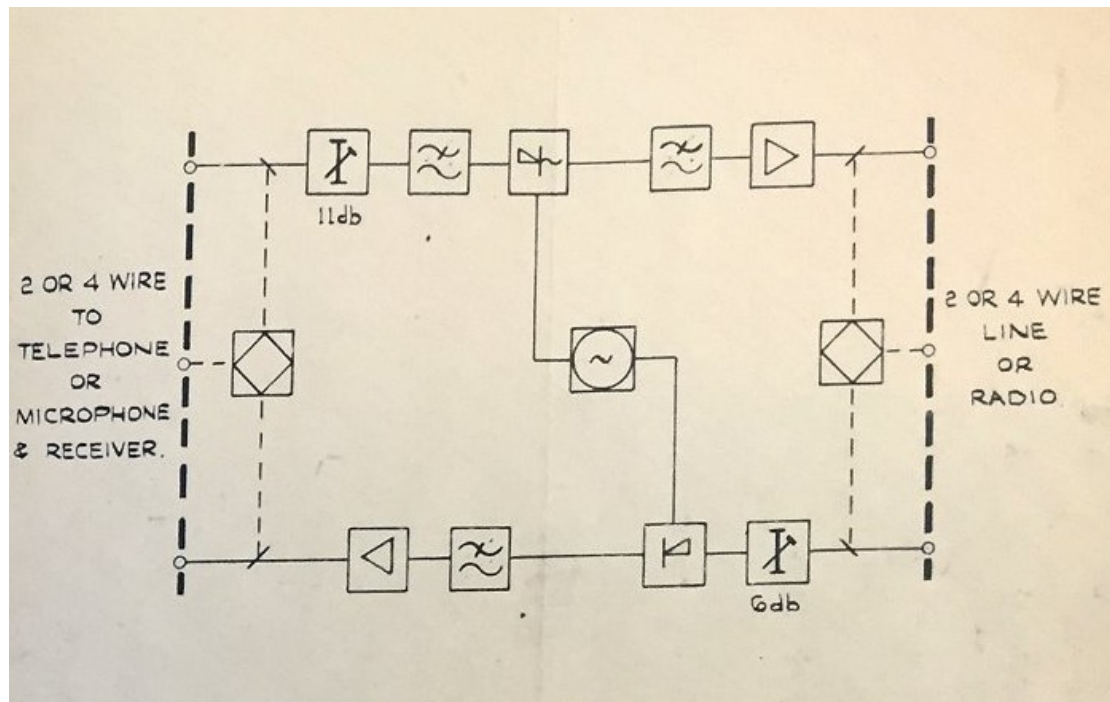


טלפון דואר "תקני" דגם 328 עם שפופרת ירוקה, המחובר למערכת

Courtesy of Crypto Museum

המערכת חובר בין הטלפון לקו והותקן בתיבת מתכת גדולה, על קיר, בסמוך לטלפון. מרשם מלבנים של המערכת מוצג באיור מס' 1. הפעלת המערכת נעשתה בקו דו-תלילי או ארבע-תלילי, והתבססה על העקרונות הבאים:

- בשידור (החלק העליון של המרשם): האות מהמיקרופון של מכשיר הטלפון מונחת כדי לצמצם את התחום הדינמי של האות, ומועבר דרך מסנן מעביר נמוכים (Low Pass), כך שרק תחום התדרים 20 עד 2,000 הרץ יוזרם למערכת (Mixer), שם מצרפים לו אות 2,500 הרץ ממתנד מקומי. במוצא המערכת שני אותות, הסכום של אות השמע ואות המתנד המקומי וההפרש בין אות השמע ואות המתנד המקומי, כאשר הפרש זה הוא "תמונת ראי" של אות השמע המקורי: תדר נמוך הופך לתדר גבוה, תדר גבוה הופך לתדר נמוך. מסנן מעביר נוסף מעביר רק את אות ההפרש, המוגבר ומועבר לקו.
- בקליטה (החלק התחתון של המרשם): המעגל דומה, בסדר הפוך. תוצר ההפרש דומה לאות המקורי, והוא מוגבר ומועבר לאזנייה.



איור מס' 1: מרשם מלבנים של מערבל הדיבור הבריטי

Courtesy of Crypto Museum



מערבל דיבור דגם 6A, ללא הכיסוי. הדגם שהיה בשימוש הבריטים מינואר 1943
הציוד מבוסס על שלוש שופרות ריק (למעלה משמאל). שופרת ריק נוספת משמשת כמיישר זרם
(למעלה מימין). המכשיר ניתן להפעלה מז"ח 110 או 220 וולט.

Courtesy of British Telecom Heritage and Archives, TCB 417/E 12342

הבריטים הניחו שהמערבל מספק אבטחה סבירה מפני מאזין מקרי, כמו מרכזנית או טכנאי טלפונים, אך לא יעמוד בפני האזנה מקצועית, ולכן אסרו לנהל במכשיר זה שיחות סודיות.⁵

השגת מידע על מערבלי הדיבור הבריטי

חיים בן מנחם, מפקד הש"י בירושלים, העיד בשנת 1955 כי: "בהאזנה לשיחות הטלפוניות בין ראשי שלטון המנדט בארץ – הנציב העליון, המזכיר הראשי, ראש ה-CID [הבולשת הבריטית] וכו' – נתקלו אנשינו בקושי רב, מאחר שלא יכלו להבין את השיחות שנשמעו כבליל צלילים. התברר שעל יד הטלפונים האלה הותקנו מכשירים שהופכים את השיחות לסודיות. כדי להתגבר על הקושי הזה צריך היה לבנות מכשיר דומה.

אולם כיצד להשיג את שרטוט המכשיר?

תפקיד זה נטלתי על עצמי. לא עבר זמן רב והשרטוט נגנב מתוך משרד הדואר, מבלי שהמהנדס שהיה אחראי לו הרגיש בדבר. נודע לי שהשרטוט נמצא בידי פקיד יהודי, מראשי פקידות הדואר וחבר ה'הגנה', והוא נגנב ממנו בתוך משרד הדואר בלי שירגיש בכך.

לאחר בדיקה התברר שהשרטוט בלבד אינו מספיק ויש צורך בפרטים נוספים של יודע דבר. אדם זה היה משה ברמן,⁶ ממנו נגנב גם השרטוט והוא לא ידע. לפני שנים הוא היה חבר ה'הגנה' והיה ביחידה שהדרכתיה בתרגילי רובים על הר הצופים, הוא ובן דודו, שני ברמנים היו בקבוצה היא. בזאת נזכרתי בלי לדעת מיהו האיש שאני זקוק לו עכשיו. נודע לי שהוא גר בתלפיות ובחרתי לבקר אותו באופן פתאומי בליל שבת. הוא עצמו פתח לי את הדלת ומשראה אותי – החוויר כסיד. בקשתיו לשבת ואמרתי לו מה רצוני. הוא התחנן לפני שאניח לו, מאחר שנתן מילת-כבוד שלו לשלטון שלא יגלה את הסוד, וגילוי סוד זה יהיה כפצע במצפוננו... הרגעתי אותו, הזכרתי לו את מעשי האנגלים שנתנו לעמנו פעם מילת כבוד, דיברתי על אנייות המעפילים וכו' – זה היה אחרי סטרומה⁷ – ואצל ברמן היו דמעות בעיניים. גיליתי לו שהשרטוט בידי ואמרתי לו לבוא ביום שלישי למשרדי באוניברסיטה ולהסביר את השרטוט מבלי לחשוש לגילוי הדבר בפני הממונים עליו.

הוא הופיע במועד שנקבע, ואני למדתי מפיו את השרטוט כשם שלומדים בעל-פה שיר בשפה בלתי ידועה. חזרתי ושניתני לפניו על השיעור עד שהודה שאני מסביר נכון. את ההסבר הזה מסרתי מילה במילה לבעל-מקצוע ובהתאם לכך נבנה מכשיר כזה במעבדתו של פרופסור אולנדורף.⁸

⁵ הבריטים עשו שימוש בציד דומה עד אמצע שנות השבעים. בשנת 1951 שונה שמו מ"מערבל" (Frequency Changer) ל"התקן פרטיות" (Privacy Set). בשנת 1962 עברו משימוש בשפופרות לשימוש בטרנזיסטורים.

⁶ משה אליהו ברמן, לימים מנהל שירותי הנדסה – רדיו במשרד הדואר.

⁷ "סטרומה" הייתה ספינת מעפילים שהפליגה מרומניה ב-11 בדצמבר 1941, עם 766 מעפילים, והגיעה לאיסטנבול. בקשת הסוכנות להוריד את המעפילים לחוף ולהעבירם לארץ תוך ניכוי מספרם ממכסת הסרטיפיקטים הרשמית נענו ריקם. בפברואר 1942 נגררה הספינה ללב ים, וב-24 בפברואר 1942 זוהתה בטעות בידי צוללת סובייטית כ"ספינת אויב", וטובעה. רק מעפיל בודד ניצל. טביעת הספינה עוררה סערת רוחות ביישוב בארץ, והשם "סטרומה" הפך לסמל למדיניות הבריטית אטומת הלב כלפי פליטי השואה.

⁸ ארכיון תולדות ה"הגנה", 19.00038.

פיתוח מכשיר לפיענוח המערבל

ד"ר יהודה בונפניוולי (לימים: פרופסור יהודה נאות), מעוזריו הקרובים של פרופסור פרנץ אולנדורף, פנה בראשית שנת 1946 אל ג'ורג פהר, אז טכנאי צעיר במעבדת האלקטרוניקה של פרופסור אולנדורף בטכניון העברי בחיפה, שהתבלט בכושר ההמצאה שלו, והטיל עליו את המשימה: לבנות מכשיר לפיענוח המערבל. הפיתוח המאומץ נעשה בחשאיות רבה, לילות כימים, מבלי שיתר אנשי המעבדה ידעו דבר.

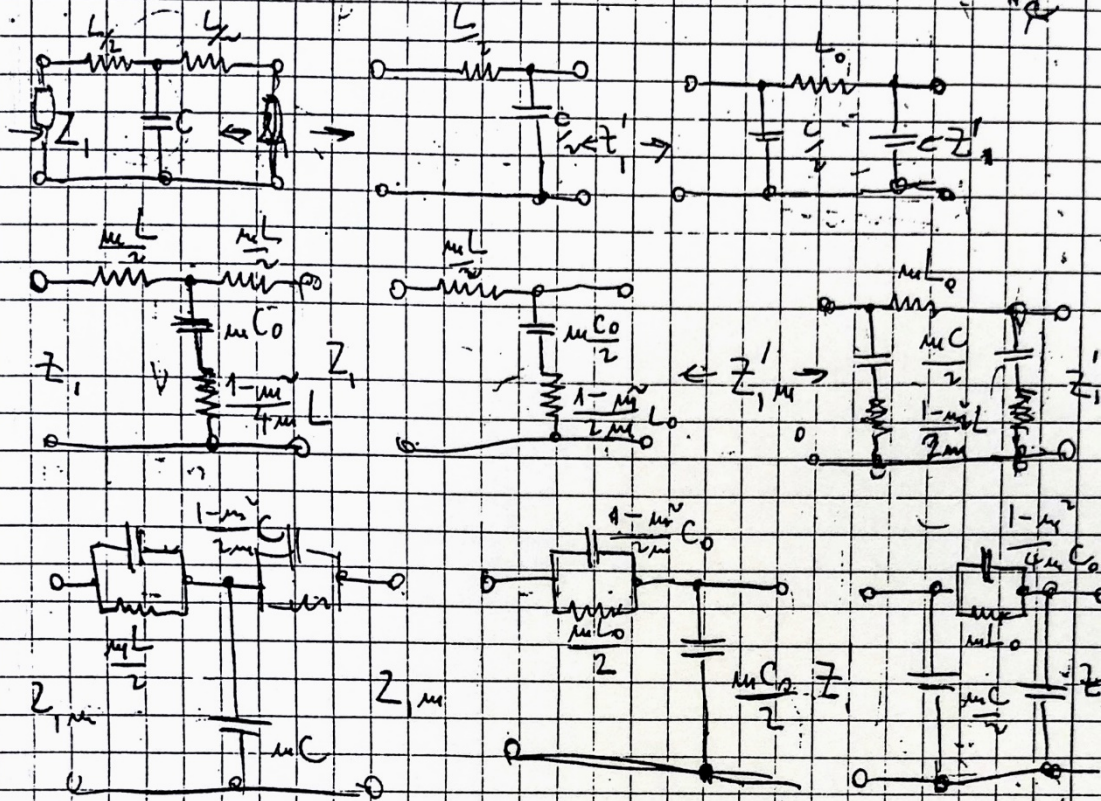
ג'ורג פהר, שקיבל מהש"י את שרטוטי המערבל, הבין היטב את שיטת פעולתו וכיצד יש לבנות מכשיר פיענוח. מכיוון שהוא לא ידע מה תדר המתנד המקומי הוא פיתח מכשיר פיענוח מתאים לתחום תדרים רחב.

יום אחד הופיע במעבדה איש ש"י שהציג עצמו כ'דב', הודיע שתדר המתנד הוא 2,500 הרץ, ודרש שהמכשיר יהיה מוכן לפעולה תוך שלושה שבועות וחצי.

באותם הימים, מהנדסים נהגו להחזיק "מחברת עבודה" (Engineering Notebook) ולרשום בה בצורה מסודרת את כל הנעשה בפרויקט עליו הם עבדו: דרישות, חישובים, מרשמים, מדידות וניסויים, וכו'. על מבנה מכשיר הפיענוח ועל תהליך הפיתוח ניתן ללמוד ממחברת העבודה של ג'ורג פהר. לצורך פיתוח מכשיר הפיענוח ובדיקתו הוא בנה סימולטור של המערבל עצמו. הקושי העיקרי עמו התמודד היה פיתוח המסננים, שכן אות המתנד, 2,500 הרץ, "זלג" למוצא ופגע במובנות. מהרישומים במחברת ניתן להתרשם כי נעשו ניסיונות רבים להגיע לאופטימיזציה של המסנן הפסיבי במוצא הערבל, כמו גם לבחור נקודת עבודת מתאימה לשפופרות הערבל.

57 Low pass filters

$$Z_2 R_2 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$



$$Z_1 = R_0 \sqrt{1 + \frac{Z_2}{4Z_0}}$$

$$Z_{1,\mu} = Z_1' \left[1 + (1-\mu^2) \frac{Z_1}{4Z_0} \right]$$

$$Z_1 = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4Z_0}}}$$

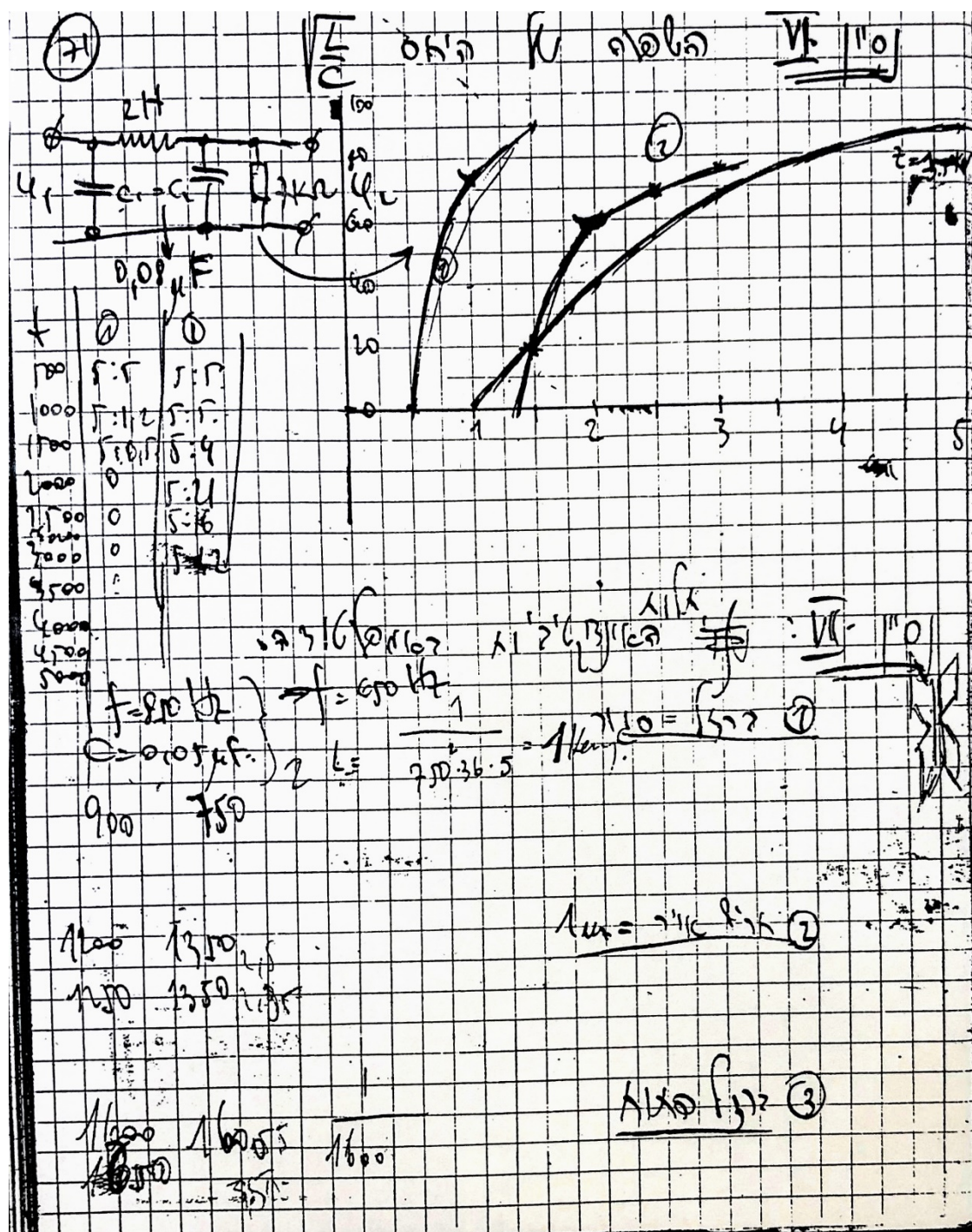
$$Z_{1,\mu} = \frac{Z_1'}{1 + (1-\mu^2) \frac{Z_1}{4Z_0}}$$

$$Z_1 = \omega L$$

$$Z_2 = \frac{1}{\omega C}$$

$$\frac{0.84}{1 - 0.118}$$

חישוב רכיבי המסנן
דף 57 במחברת של ג'ורג פהר
באדיבות הארכיון לתולדות ה"הגנה", 80/4119/1



ניסויים לבדיקת השפעות יחס L/C וסוג הגרעין בסלילים על ביצועי המסנן

דף 71 במחברת של גיורג פהר

באדיבות הארכיון לתולדות ה"הגנה", 80/4119/1

העברת מכשיר הפיענוח לש"י בירושלים

בריאיון שנערך עם פרופסור ג'ורג פהר בשנת 1992 הוא סיפר כיצד הועבר המכשיר ליעדו באפריל 1946:⁹

"כשסיימתי את הבנייה עשיתי עם יהודה [ד"ר יהודה בונפיניולי – נאות] כמה ניסיונות, וסברנו שהמכשיר מצליח לבצע את המשימה. קראנו לו X-25. הכנסנו אותו לתוך קופסה של מכשיר רדיו רגיל, ויהודה הורה לי להעביר את המכשיר לירושלים.

ההוראות היו לגשת לבניין מסוים בשעה חמש בבוקר ולשאול את השומר בפתח מה השעה. הוא היה אמור להגיד לי 'השעה ארבע', ולבקש את המכשיר. הוא הביט בי, אחריכך הציץ בשעון ואמר: 'השעה חמש', ולא הוסיף דבר. הסתלקתי מהמקום במהירות.

פתאום הבנתי, שאני בעצם לא יודע דבר על מזמיני המכשיר. האדם היחיד שיכולתי לפנות אליו בשאלה היה יהודה נאות. הלכתי לבית הדואר ושלחתי אליו מברק, בו רמזתי שפעולת המשלוח נכשלה וביקשתי הוראות נוספות.

המתנתי עם המכשיר הכבד בבית הדואר במשך כל היום. היה נדמה לי, שד"ר בונפיניולי שכח אותי, או אולי נבהל מההתפתחות הבלתי צפויה. רק לפנות ערב הגיע מברק תשובה. נאמר לי לגשת לאחד מבתי המלון בירושלים, להמתין בחדר מסוים ולא לזוז, עד שיבוא איש קשר לקחת את המכשיר.

כך החלו היומיים הנוראיים ביותר בחיי. ההוראה הייתה חד-משמעית: לא לעזוב את החדר אף לרגע אחד. איש הקשר היה אמור להגיע לשניות בודדות. נדרשתי לתת לו את המכשיר מבלי לשאול שאלות. אלא שההמתנה התמשכה הרבה מעבר לצפוי. הלילה עבר, הבוקר שלמחרת הפציע, ואיש הקשר עדיין לא הגיע. הייתי רעב מאוד, אבל הבעיה היותר קשה הייתה רציתי ללכת לשירותים. חדר האוכל והשירותים היו רחוקים מאוד מהחדר שלי, ולא יכולתי לגשת אליהם. הייתי משוכנע שאיש הקשר צפוי להגיע כל רגע, וחששתי לנטוש את החדר.

ההמתנה הבלתי אפשרית הזו נמשכה יומיים, אבל הייתי צעיר אידיאליסט. לאחר יומיים הגיע אל החדר בחור צעיר שלא הכרתי. הוא פתח את הדלת, ושאל 'יש?' אמרתי 'יש!', ומסרתי לידי את המכשיר. קשה לתאר את ההקלה שחשתי באותו רגע.

חזרתי לחיפה ושכתי לעבוד במעבדה. יהודה בונפיניולי לא דיבר איתי מילה וחצי מילה על המכשיר, והתנהג כאילו לא קרה דבר. הייתי מופתע מהתנהגותו, אבל לא אמרתי דבר. אבל אחרי שלושה שבועות לא יכולתי להתאפק עוד. הסקרנות המקצועית ניצחה ושאלתי אותו, מה עלה בגורל המכשיר. הוא סירב לענות לי. ביקשתי ממנו להגיד לי לפחות, אם המכשיר עבד או לא. התשובה שלו הייתה קצרה וחד-משמעית: אל תדבר על זה עם איש, כל ימי חייך."

סוף דבר

שיתוף פעולה בין הש"י לבין העובדים היהודים במחלקת הדואר והמברקה של ממשלת המנדט היה הבסיס למאמץ הסיגינט של הש"י, שחלקו הגדול התבסס על האזנה לקווי טלפון גלויים.

⁹ שלמה אברמוביץ', **הסוד השמור ביותר**, ידיעות אחרונות – מוסף 7 ימים, כ' ניסן תשנ"ב – 23 אפריל 1992, עמ' 13-17, 50. פרופ' פהר אמר שנית דברים אלה בראיון שהוקלט בשנת 2008.

הפיתוח המהיר של הפתרון הטכני האלגנטי איפשר ציתות לקווי טלפון של בכירים בריטיים, בהם נעשה שימוש במערבלי דיבור. היכולת הטכנולוגית הגבוהה של הטכניון ושיתוף הפעולה ההדוק עם הש"י הניבו מענה טכנולוגי מהיר ומעשי לבעיה מבצעית.

הש"י הצליח אומנם ליישם תוך זמן קצר פתרון טכנולוגי שאיפשר ציתות לבריטים, אך ההישג היה מוגבל, שכן הבריטים נזהרו לא לדבר בנושאים סודיים בטלפון המעורבל, ועקב ביטחון שדה בלתי מספיק ו"אבטחת מקורות" לקויה בש"י התגלה דבר הציתות תוך חודשים ספורים, וההישג הטכנולוגי סוכל. עקב הקפדת הבריטים על קיום הוראות ביטחון קשר נבצר מהש"י להפיק מודיעין מבצעי מהציתות לטלפוניה המנדטורית, והוא לא הצליח למלא את הציפיות מהפיתוח הטכנולוגי המבריק.¹⁰

¹⁰ יואב גלבר, שורשי החבצלת: המודיעין ביישוב, 1918-1947, משרד הביטחון, תשנ"ב – 1992, עמ' 726.