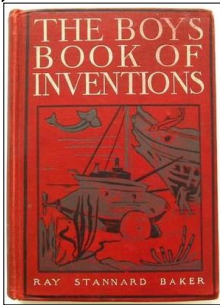


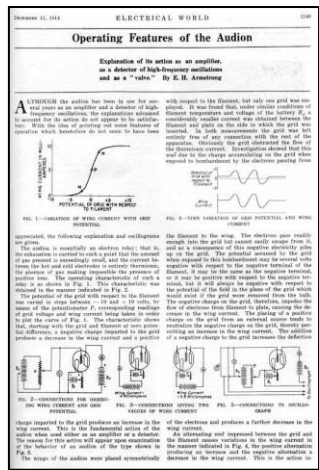
אדווין ארמסטרונג – Edwin Armstrong

אברהם אמיר – 4X4FW

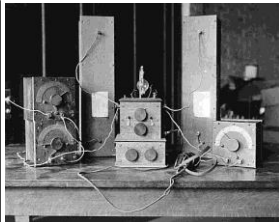
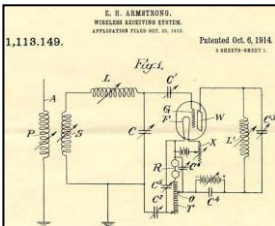
במאמרים שלי בנושא ההיסטוריה של התקשורת והאלקטרוניקה, הוזכרו שמותיהם של דמויות מפתח שהציבו אבני דרך חשובות לאורך הנתים הארוך שהחל בטלגרף הקווי ונמשך עד לימינו. ביניהם היה **אדווין ארמסטרונג** שתרם רבות לפיתוח ושללול המעגלים במקלטי הרדיו, הטלביזיה והמכ"ם. **אדווין ארמסטרונג** נולד בשנת 1890 בניו-יורק. אמו הייתה מורה ואביו היה סגן הנשיא של שלוחת ההוצאה לאור של אוניברסיטת אוקספורד בארה"ב. בגיל 14 ארמסטרונג החליט להיות ממציא וחדרו היה מלא במכשירי טלגרף אלחוטי מבניה עצמית, לפי ההנחיות בספר **The Boy's Book of Inventions**. הוא העריץ את **מרקוני** אשר מספר שנים לפני כן הצליח לקיים קשר טלגרף אלחוטי טרנס אטלנטי. בתקופת לימודיו בבית הספר התיכון הפך לחובב רדיו פעיל והמשיך בניסויים במכשירי האלחוט שבנה. בחצר בית המשפחה בפרבר וינקרס הקים תורן גבוה מאוד לניסוי סוגים שונים של אנטנות.



ארמסטרונג עקב אחרי התפתחות טכנולוגיית הרדיו והרכיבים החדשים, ביניהם שפופרת ה"אודיון" שהמציא לי **דה-פורסט** אשר שמשה בשלב הזה כגלאי בלבד. בגמר לימודיו בבית הספר התיכון החל בלימודי הנדסה באוניברסיטת קולומביה. עבודת המחקר הראשונה שלו באוניברסיטה הייתה ניתוח מעמיק ונרחב על תכונות ההתנהגות של שפופרת ה"אודיון". הוא ביצע סדרת מדידות בשפופרת ותיעד אותן באמצעות הגרפים של המתח והזרם באנודה והסריג. הממצאים הראשונים הראו לו שבנוסף להיותו גלאי רדיו מעולה, לאודיון יש תכונות הגברה. בניסויים מעשיים שביצע בתחנת החובבים שלו במקלט עם שפופרת אודיון, הוא יישם את תכונות ההגברה וגילה שקיים שיפור גדול מאוד בקליטת תחנות רחוקות. מאמר עם תוצאות מחקר בשם **Operating Features of the Audion** פורסם על ידי ארמסטרונג בגיליון דצמבר 1914 של **Electrical World**. מאמר זה שנחשב לאבן דרך, חשף למדענים את תכונות הטריודה והפוטנציאל הטמון בתכונות ההגבר שלה לשימוש במעגלי השידור והקליטה בטלגרף האלחוטי.



בהמשך ניסוייו ארמסטרונג חיבר קבל במקביל למעגל המוצא באודיון (כפי שהיה נהוג במקלטי הגביש) ונוכח בשיפור בקליטה. הוא התעמק בחקר התופעה והגיע למסקנה שהשיפור בהגברה נובע מהחזרת חלק מהאות באנודה לסריג (פעולת רגנרציה או



אב הטיפוס של המקלט הרגנרטיבי והתרשים באישור הפטנט למעגל הפועלים באמצעות מתנד שפופרת הטריודה. ארמסטרונג לא היה המדען היחיד שנתקל בתופעת הרגנרציה

והתנודות במעגל הקליטה עם אודיון. אלכסנדר מייסנר באוסטריה גילה את התופעות האלה ועל שמו נרשם מעגל המתנד הראשון. בשנת 1913 ארמסטרונג הגיש בקשה לפטנט עבור מעגלי המקלט הרגנרטיבי, אשר אושר בשנת 1914.

בשנת 1913 ארמסטרונג קיבל תואר ראשון בהנדסה מאוניברסיטת קולומביה והמשיך לעבוד שם כאסיסטנט לממציא הפרופ' מייקל פופין. הוא המשיך במחקרים לשכלול והרחבת השימוש בשפופרות האודיון. כאשר החל הגיוס לקראת הצטרפותה של ארצות הברית למלחמה העולמית, התגייס ושרת כקצין בחיל הקשר האמריקאי בפריס. על ארמסטרונג הוטלה המשימה להקים תחנת האזנה קליטת שידורי האויב במגדל אייפל. במהלך פעילותו פיתח מעגל קליטה חדש שכינה "מקלט הטורודיון", בו ערבל את האות הנקלט עם אות ממתנד פנימי לשמיעת אותות מורס. בהמשך, הוא פיתח את "מקלט הסופר-הטורודיון" שבו ערבול האותות יוצר אות בתדר ביניים קבוע,



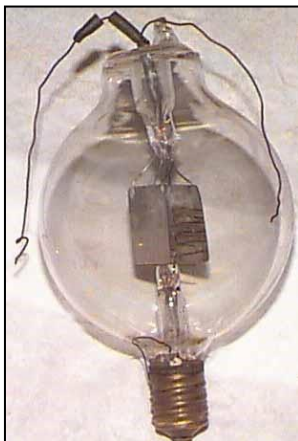
ארמסטרונג במדי קצין צעיר



ארמסטרונג ליד מקלט הסופר-הטורודיון

המוגבר במספר דרגות טריודה שקלט בתחנה במגדל אייפל מאוד, עם שמונה שפופרות טריודה שקלט בתחנה במגדל אייפל תחנות רחוקות וחלשות מאוד. מאז ועד היום, מעגל הסופר-הטורודיון נמצא בשימוש כמעט בכל מעגלי הקליטה ברדיו, טלביזיה ומכ"ם. ארמסטרונג הועלה לדרגת מייג'ור (רב-סרן) וקבל את עיטור לגיון הכבוד הצרפתי על פועלו. כשהוא חזר לארצות הברית, הוא נוכח שהטלגרף האלחוטי התפתח מאוד כתוצאה מהמעבר לשימוש בשפופרות הטריודה. היצרנים הגדולים החלו לפעול לקראת תחילת שידורי הרדיו בקול ומוסיקה לקהל הרחב. חברת ווסטינגהאוז שהייתה החלוצה בהפעלת שידורי הרדיו, רכשה את שני הפטנטים הראשונים של ארמסטרונג בסכום הענק של 335,000 דולר.

המאבק בין ארמסטרונג לדה-פורסט על זכויות הפטנטים



שפופרת האודיון בה בצע ארמסטרונג את מחקרו הראשונים

שפופרת האודיון של לי דה-פורסט יצרה עניין רב בקרב העוסקים בטלגרף האלחוטי. בנוסף לדה-פורסט, חוקרים בצפון אמריקה ואירופה וחובבי הרדיו של אותה תקופה החלו ליישם את האודיון כגלאי במקום גלאי הגביש. בשלב הזה נוכחו לדעת שהשיפור בקליטה אינו מצדיק את מחירו הגבוה של האודיון ורובם המשיכו עם גלאי הגביש. בשנת 1912 דה פורסט הציע לחברת AT&T שימוש בשפופרת האודיון לשיפור בקווי התמסורת הטלפונית וביצע ניסויים במעגלי הגברה לאותות שמע. הוא נתקל בתופעה של צליל שריקה לא מוסבר בתדר שמע וחפש דרכים למנוע את התופעה. באותו זמן, ארמסטרונג בתחנת החובבים שלו נתקל בתופעת הנדנוד העצמי במעגל האודיון. שלא כמו דה-פורסט, ארמסטרונג מצא שניתן לשלוט במשוב החיובי במעגל ולפני שהוא נכנס למצב תנודה, עצמת הקליטה גוברת מאוד ועל עקרון זה אושר לו הפטנט בשנת 1914. בשנת 1915 לי דה-פורסט הגיש בקשה לפטנט עבור אותה המצאה וטען שהיא כלולה בזכויות על

האודיון שמכר לחברת AT&T. כשהחל עידן הרדיו, חברת AT&T נרתמה למאבק על הסבת הפטנט של ארמסטרונג לטובת דה-פורסט. בין השנים 1922-1934 נמשכו הדיונים בבתי המשפט בין חברת AT&T לבין RCA ו-Westinghouse שהיו בעלי הזכויות לפטנט של ארמסטרונג. לאחר תהפוכות רבות בפסקי דין וערעורים הנושא הגיע לדיון סופי בבית המשפט העליון שם הוחלט על זכותו של דה-פורסט על הפטנט. הקהילה המדעית ובראשם איגוד מהנדסי החשמל בארצות הברית לא ראו בעין יפה את החלטת בית המשפט העליון וטענו שהיא נבעה מחוסר הבנה טכנית ומדעית.

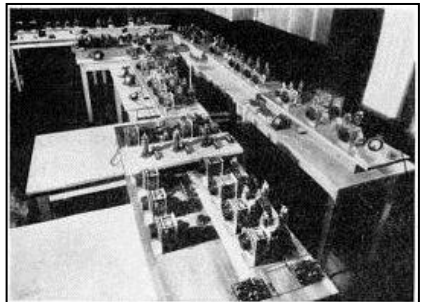
המצאת אפנון התדר - FM

לאורך שנות המאבק שלו על הפטנטים, ארמסטרונג המשיך בפעילותו המדעית בנושא הרדיו ובסוף שנות העשרים החל לבדוק את הרעיון המשותף שלו ושל מורו פרופ. פופין למניעת הרעש הסטטי מהתפרקות אטמוספירות במקלטי הרדיו שפעלו בשיטת אפנון תנופה - AM. מקור הבעיה נובע מזה שהרעש הסטטי מתמזג עם אות השמע במעטפת הגל הנושא. ארמסטרונג החליט לשנות את השיטה מאפנון תנופה לאפנון תדר - FM שהייתה ידועה למדענים, אך הייתה להם דעה קדומה שאין לה יתרון על אפנון התנופה הקיים. כמו כן נטען כי שיטת אפנון התדר דורשת פס תדר יותר רחב שיגרום להגברת הרעש. דעות אלה התבססו על אנליזה מתמטית שבוצעה על ידי המדען John Carson מ-AT&T. ארמסטרונג לא נכנע לדעות אלה וסבר כי הגבלה וקיצוץ אות הרעש במעטפת הגל הנושא ניתנת לביצוע, גם עם פס תדר רחב מאוד.

לאחר מחקר ופיתוח ליישום הרעיון החדש, ב-1933 הוא סיים לבנות מערכת שידור וקליטה בשיטת FM בה האות שנקלט בניסויים היה באיכות מעולה וללא כל השפעה מהפרעות סטטיות ואטמוספירות. בשנת 1935 ארמסטרונג הציג את שיטת אפנון התדר בכנס IRE אליו הוזמנו גם בכירי תעשיית הרדיו. לאחר הרצאה בה תאר את שיטת השידור ב-FM הפעיל את המקלט והשמיע לקהל שידור שנקלט ממשרד FM שהתקין בשכונת יונקס. הנוכחים נחשפו לשידור נקי מרעשים ואיכות צליל שלא נשמעה עד אז, כתוצאה מרוחב הפס.

התוצאה המעשית של הדגמה זו הייתה הפוכה ממה שהיה צפוי. בכירי תעשיית הרדיו ובראשם נשיא חברת RCA דייוויד סרנוף ציפו לשיפורים וביטול הרעשים בשיטת אפנון התנופה הקיים. השיטה שארמסטרונג הציג הייתה מהפכנית ביותר וסרנוף חשש מהסיכון הכלכלי לאימפריית השידור שלו ומההוצאות הכרוכות בהחלפת המשרדים וקווי הייצור. סרנוף העדיף להשקיע ברעיון החדש שבו הגה – הטלביזיה.

המשבר הכלכלי של שנות השלושים לא היה הזמן המתאים להשקעות הגדולות הכרוכות בהקמת תחנות שידור ומערך הייצור למקלטי רדיו בטכנולוגיית השידור החדשה. בתמונה מימין נראית תחנת השידור הניסיונית הראשונה של ארמסטרונג באפנון תדר בבנין Empire State שפעלה באות הקשר W2XDG. היא שידרה בשנים 5-1934 בתדר 41 מה"ץ בהספק 2 קילו-וואט.



ארמסטרונג נאלץ להמתין עד 1940 כדי לקבל את הרישיון להקמתה של תחנת השידור הרשמית הראשונה בשיטת

FM. התחנה הוקמה מכספו הפרטי על גדת נהר ההדסון בניו-ג'רסי. הוא נאלץ להמתין עוד שנתיים כדי לקבל את הקצאת התדרים לתחנה מה-FCC, אך בתקופת מלחמת העולם השנייה שוב לא ניתן היה ליישם את הרעיון של שידורי FM. לאחר גמר המלחמה ארמסטרונג פעל להקמת תחנות חדשות ונתקל במכשולים גדולים. רשתות הרדיו המובילות חששו משינוי שיטת השידור החדשה שתגרום להפסדים ענקיים מהצורך לזרוק לגרוטאות את תחנות השידור ב-AM ואת קווי הייצור למקלטי רדיו במפעלים. המכשול השני נוצר כתוצאה מהחלטת ה-FCC לשנות את תחום התדרים הקודם לשידורי FM לתחום החדש - 108 MHz – 88.

למכשולים האלה נוספה בעיה חדשה, תביעות נגד ארמסטרוונג מצד יצרנים בענף הרדיו על זכויות הפטנטים לשידורי FM. המאבקים המשפטיים שנאלץ לנהל על זכויות הפטנטים שלו שנמשכו שנים רבות גרמו לפגיעה קשה בבריאותו. המדען המוכשר שתרם בפיתוחיו להתקדמות תעשיית השידורי הרדיו נרדף על ידי ראשי תעשייה זו, אשר שמרו על האינטרסים הכלכליים של משקיעיהם. ארמסטרוונג לא היה מסוגל לעמוד יותר במאבק ושם קץ לחייו בתאריך 31.1.1954.

אלמנתו של ארמסטרוונג לא ויתרה ויצאה למסע מחודש להכרה בזכויות בעלה שנפגעו על ידי חברות הרדיו המובילות. היא הגישה עשרים ואחת תביעות נגד החברות והחלה במאבק משפטי ארוך ועיקש שבסופו זכתה בפיצויים בשווי עשרה מיליון דולרים. למרות הכול, המומחים במקצוע קבעו באופן מוחלט שיטת ה-FM של ארמסטרוונג עדיפה על שיטת ה-AM ותחנות רדיו FM חדשות רבות הוקמו בצפון אמריקה ואירופה. לקראת סוף שנות הששים, פעלו בארה"ב כאלפיים תחנות ורוב מקלטי הרדיו שנמכרו כללו את תחום ה-FM. שיטה זו נכנסה לשימוש גם במכשירי הקשר הניידים לשימוש צבאי ואזרחי, תקשורת מיקרוגל, תקשורת הלוויינים ופס השמע בערוצי הטלביזיה.

אותות הוקרה

למרות ההישגים הרבים והחשובים של אדווין ארמסטרוונג בקידום טכנולוגיות הרדיו, מסכת חייו הייתה רצופה במאבקים מרים עם גורמים בתעשיית השידורי הרדיו שהביאו בסופו של דבר למותו הטראגי. מאידך, החוקרים והמדענים בתקופתו ולאחר מכן העריכו מאוד את הישגיו וזיכו אותו באותות הוקרה רבים וביניהם:

1917 – היה הזוכה הראשון בחברות הכבוד של ה-IRE (היום ה-IEEE)

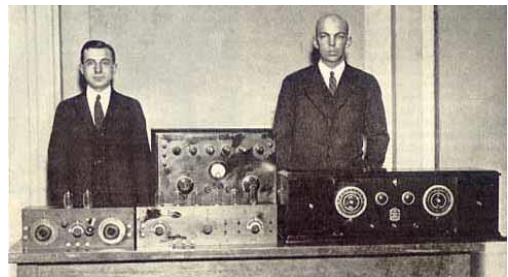
1919 – קבל את אות לגיון הכבוד הצרפתי על תרומתו במלחמת העולם

1941 – קבל את מדליית אדיסון של AIEE עבור פיתוח הסופר-הטרודין ושיטת השידור ב-FM

1955 – ה-ITU הוסיף את שמו לרשימת גדולי הממציאים בטכנולוגית החשמל

בנין הפקולטה לפילוסופיה באוניברסיטת קולומביה שבמרתפו ארמסטרוונג הפעיל את מעבדתו, הוכר כציון דרך היסטורית.

אדווין ארמסטרוונג הקפיד לשמר את כל המסמכים, היומנים והמכתבים הקשורים לפעילותו. הודות למאמציו הרבים של הרי האוק – Harry Houck שהיה עוזרו וחברו הקרוב במשך שנים, כל החומר נאסף ונשמר עד היום. חומר זה אפשר לחוקרים וביוגרפים שונים כתיבת ספרים על תולדות חייו, פעילותו ותרומתו של ארמסטרוונג להתפתחות טכנולוגית הרדיו.



ארמסטרוונג והאוק מציגים שלושה מקלטי סופר-הטרודין היסטוריים: (משמאל) מקלט שנבנה ע"י חיל הקשר האמריקאי בצרפת, (באמצע) אבי-טיפוס של מקלטי סופרטה הרמוניה שנייה, (מימין) מקלט סופר-הטרודין Radiola של RCA

הכותב הינו עורך האתר www.telecom-milestones.com