

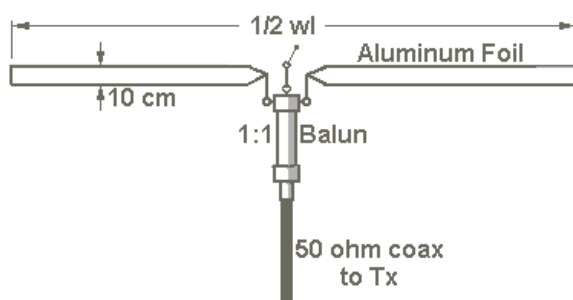
## אנטנות פנים ביתיות - Indoor antennas

מאת אלי קובו 4X4LH

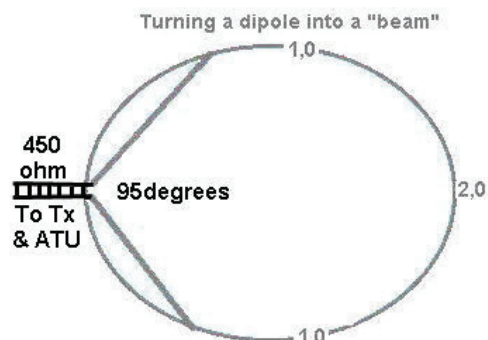
לאחרונה התלונן ידידי נפתלי 4X4JW על כך שבדירה החדשה אליה עבר, לא תהיה לו אפשרות להקים אנטנה כלשהיא בעיקר בגלל גג הרעפים של בית הדירות הגדול ובגלל החרדה האופנתית של השכנים מקרינה (ביחוד אלה שמדברים כל היום בפלאפון). מצאנו עצמנו במצב של חיפוש פתרונות, שיהווה בסיס למאמר הנוכחי ואולי יעזור לעוד חברים הנמצאים במצב דומה. אם זה יצליח להחזיר כמה מהחברים לחובבות הרדיו יהיה זה שכרי לעילה ולעילה.

אביא כאן כמה דוגמאות ורעיונות מתוך אין ספור אפשרויות מגוונות הקיימות בשטח. מכוון שבדירה אי אפשר להעמיד אנטנה לכל גל, כמו שאני ממליץ במאמריי, כאן אצטרך לסגת כמעט ולהסכים שצריך להשתמש באנטנה טיונר ולהעמיס בעזרתו את האנטנה היחידה שלרשותנו לכמה גלים ולהסתפק בתוצאות.

אנטנה שמתאימה לבית היא הדייפול הפשוט, אבל עם רעיון נחמד. ראה איור 1. הקונן כאן הוא, להטות את שני חלקי הדייפול ל  $95^\circ$ . מתקבלת תוספת קרינה של  $2\text{ dB} \sim$  יותר מאשר דייפול רגיל, בזכות שילוב הקרינה של שני החצאים קדימה וכמעט ביטולה לצד האחורי, התחלה לא רעה של שבח קידמי ויחס Front to Back. הזנה בקו פתוח  $450\Omega - 600\Omega$  תאפשר לך להפעיל את האנטנה לכמה גלים באמצעות אנטנה טיונר.



איור 2: דייפול העשוי סרט אלומיניום דק מגולגל להדבקה (נייר כסף בלשון העם)



איור 1: הדייפול הזוויתי - דמוי Beam מראה מלמעלה - הדגמה סכמטית

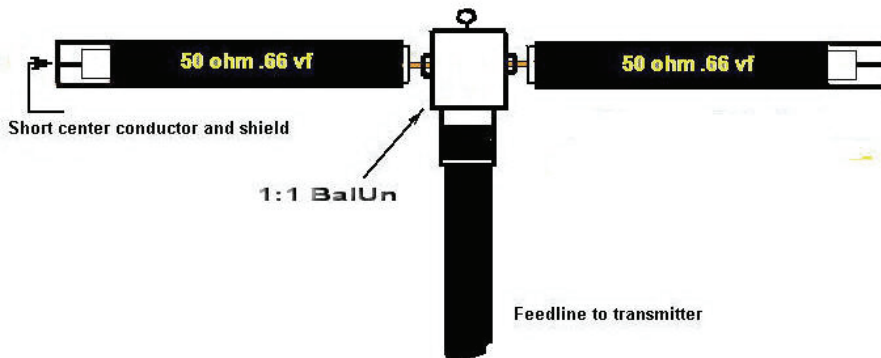
בתי מגורים עם גגות רעפים יכולים להביא חובבי רדיו לידי יאוש, אך לידיעתך, מתחת לרעפים אפשר לעשות חגיגה! אם יש לך גישה אל החלל שמתחת לרעפים ולא דוקא בזחילה, תוכל להשתולל ולחגוג לאורך הקורות ולמתוח אנטנות (כמעט) כאוות נפשך. סקור את הטופוגרפיה של המקום ובחר לך אנטנה ממיטב המבחר! אפילו אנטנה כונית מחוטים עם 2 או 3 אלמנטים, או חוט המקיף את כל תיקרת הגג, או כל הרכב אחר שהמקום מאפשר. אם נשתמש באותה אנטנה לכמה גלים, תציג האנטנה עכבת שונה בכל גל. לכן נאלץ להזין אותה בקו פתוח ( $600\Omega$ ) המסוגל לעמוד בדרישה רחבה כזאת במינימום הפסדים עצמיים. התאום הסופי מתבצע ע"י האנטנה טיונר.

רעיון יפה שניתן לביצוע מתחת לגג רעפים כזה, הוא אנטנת דייפול רחבת סרט במיוחד ע"י שימוש בסרט אלומיניום, כמו נייר דבק, ברוחב  $5\text{--}10\text{ cm}$  ס"מ. ראה איור 2. הסרט מתוח והדוק לקורות ע"י הדבק שעליו, או נעצים, או מדבקות דו סיטריות. אם חסר מקום, אפשר לעקם או לקפל את הקצוות. הבלון תלוי על מסמר. אני רוצה לנסות את הרעיון הזה בעצמי וכבר מצאתי סרט כזה מתוצרת Scotch 3M בפנית סרטי הדבק של חנות טובה לחומרי בנין. שם גיליתי גם בסיסים לאנטנות, צינורות אל מתכתיים לקצה העליון של עמוד אנטנה, קופסאות חשמל לבלונים ופריטי אינסטלציה שיכולים לעזור לנו מאד. נחזור לאנטנת הכסף שלנו - חיבור ההזנה לסרט לא צריך להדאיג אותך, הוא ניתן גם....להדבקה - כן להדבקה - באקדח של דבק חם או בסיליקון אחרי הידוק בשדכן. אין שם רוחות והחיבור יחזיק בהחלט מעמד.

כאן אני נזכר ברעיון מעניין של חובב אירופאי שחיבר קו הזנה פתוח, כמו באיור 4, למערכת המרוב שמסביב לגג הרעפים והצליח להפוך אותה לאנטנה, להעמיס אותה וגם לשדר. או שיש גם להם ילקוט הכזבים...

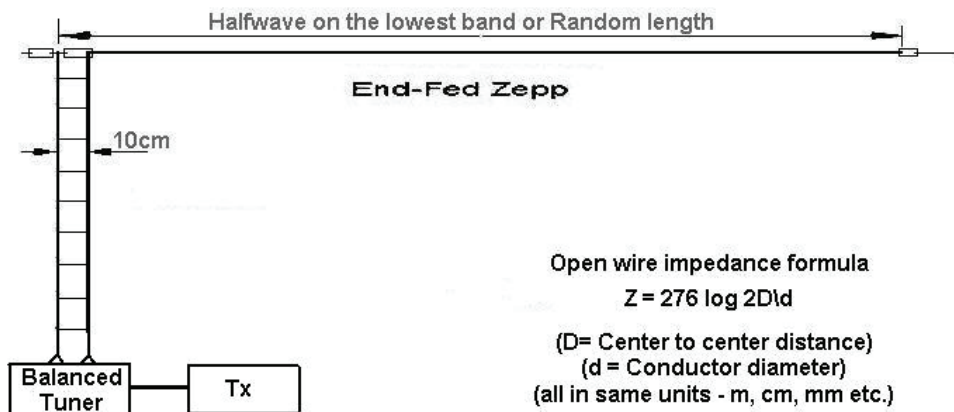
אנטנה נוספת שיכולה לבוא בחשבון היא האנטנה הקואקסאלית. צורתה כדייפול רגיל אלא שבמקום חוטים דקים נשתמש בשתי חתיכות קואקס. RG58, 213 etc. עבור שני חצאי הדייפול. הטריק כאן הוא, שהאורך הנורמלי של  $\lambda/2$

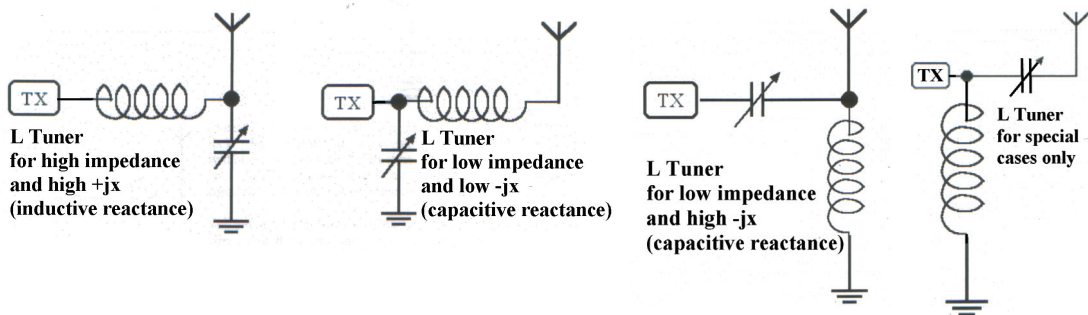
מוכפל ב Velocity factor (0,66) של הקואקס ומקצר את האורך הכללי ב 33% ולמרות זאת ההתנהגות שלה כדייפול רגיל לפחות מצד המשדר. איור 3. בשעת קליטה, השטח מסביב לאנטנה העומד מול הגלים הבאים אליה - יותר קטן ואז הקליטה יותר חלשה וגם בשידור השבח יותר קטן במקצת מדייפול נורמלי. כך או כך, זה בכל זאת פיתרון למבנה פנים ביתי. בגלל העובי של הקואקס מתקבל רוחב פס יותר גדול (שטוח), כלומר אם בתדירות האמצע שבחרנו ה SWR הוא 1:1,2, בקצות התדר ה SWR לא יעלה מעבר ל 1,3:1. ראה איור 8. בקצוות הקואקס יש לחבר את הסיכוך עם חוט האמצע, לעומת קצות הסיכוך הקרובים לבלון שלא מחוברים כלל. אפשר להצמיד את האלמנט הקואקסיאלי הזה לקיר בצורה די אסטטית בעזרת אומגות מפלסטיק וכדומה. על הכנסת בלון כבר אמרתי? להזכירך: דייפול היא אלמנט סימטרי מאוזן והמעבר ממנו ליציאת המשדר הלא מאוזנת, מצריך בלון.



איור 3: מבנה סכמטי של אנטנה קואקסיאלית קצרה

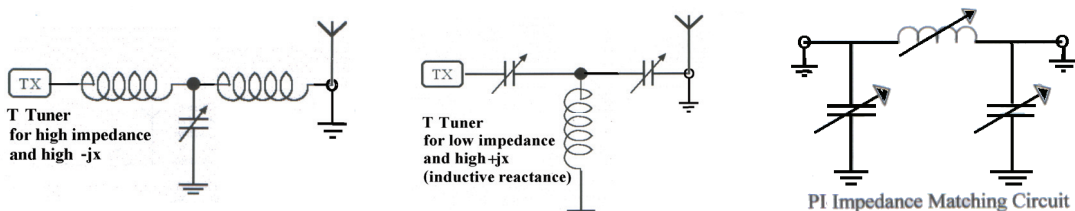
הנטיה שלי לאפשר לך להוציא את האנטנה בכל זאת החוצה לא מניח לי ורוחף אותי לכוון ה Endfed Zepelin. אם מול החלון שלך בית נוסף ויש לך גישה אליו (גלויה או סמויה) מתח חוט חשמל דק בין חלונך לבין הבית הנ"ל עם מבודד בכל צד. כדאי שהאורך יהיה חצי אורך גל על הגל הנמוך ביותר. אם העדיפות העיקרית שהמבודדים יהיו מוסתרים, האורך יכול להיות אקראי - ממילא הטיינר ידאג למשדר. צורתו של אופיין השידור - זה סיפור אחר. מלאכה כזאת ניתנת לביצוע גם בלילה. באור היום האנטנה כמעט בלתי נראת ולא מפנה תשומת לב. תכין לך קו פתוח מחוט דק ו spacers דקים ומקם אותם כל 30 ס"מ. הפנה את הקו הזה מקביל לקיר כדי לשמר את האיזון בין שני חוטי הירידה המבטיח ביטול קרינה ממנו ובמרחק 30 ס"מ מהקיר. ייצב אותו בכמה מקומות בעזרת חוטי ניילון של דייגים, כך שלא יושפע מהקיר וגם לא יתנדנד ברוח ויעורר תשומת לב. חבר חוט אחד של הקו הפתוח לקצה האנטנה והחוט השני חבר לצדו השני של המבודד. את הקצה התחתון של "סולם התרנגולות" (כמו שהשווייצרים קוראים לו) תכניס ל shack - חבר אותו לאנטנה טיינר - And you are in business! . אין צורך בבלון - הטיינר יעשה את מלאכת התאום. איור 4.





איור 4 : אנטנת Zeppelin מתכווננת לכמה גלים בעזרת אנטנה טינור מאוזן. ראה נוסחת העכבת של קו פתוח שהוספת  
איור 5 : מתאמי אנטנה בסיסיים מטיפוס L

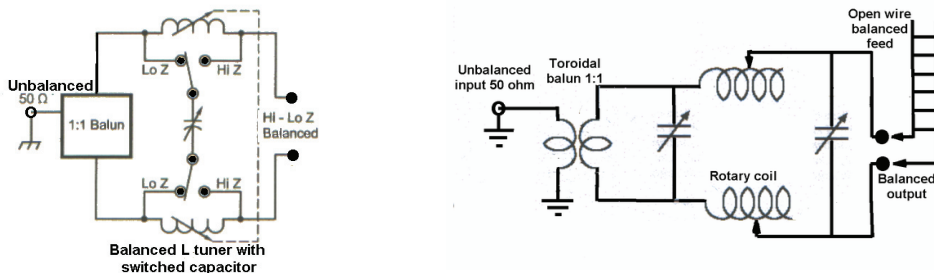
כאן אני חייב לעצור את "ההתלהבות" שלך ולהגיד מילה על אנטנה טינור מאוזן. ברוב המקומים "המודרניים" שלנו מותקנים מתאמים רחבי פס למוצא לא מאוזן של  $50\Omega$  בלבד. הם מתחלפים עם החלפת הגל, לעומת המשרדים הישנים בהם ה ATU היה חלק אינטגרלי מהמשרד ובכך ניתנה לנו האפשרות לתאם במידה רבה את המשרד לתכונות המשונות של האנטנות ולסחוט את המקסימום מהמשרד בנוי הבית. המתאמים המודרניים הללו מוגבלים למדי ומתוכננים בקונפיגורציה פשוטה של L או  $\pi$  או T (ראה איורים 5-6) שמתאימים להזנת האנטנה ע"י קואקס של  $50\Omega$  בלבד. סטיה



מתדר התהודה או עכבת המשרד תפעיל את ה AGC הפנימי שיוריד את עוצמת המוצא של הטרנזיסטורים הסופיים!  
איור 6 : מתאמים בסיסיים מטיפוס  $\pi$  T 1

הדרישות הניצבות לפנינו בתהליך השידוך בין האנטנה למשרד הלא גמיש שלנו, הן דרישות קשות למדי, כמו:

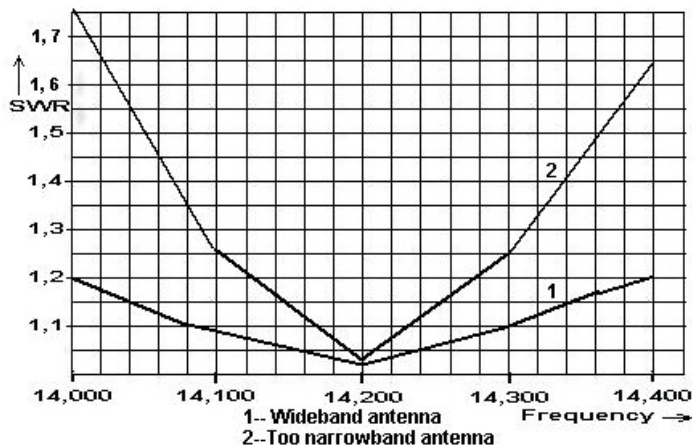
1. כסוי כמה גלים באותה אנטנה.
  2. אי הפרעה מוחלטת לשכנים והעצצועים הרבים שלהם.
  3. מזעור הפסדי מערכת התאום והקרינה, כדי לא להוסיף על אלה שיש לנו כבר מנתוני הסביבה.
  4. הכנסת האנטנה לסד בניגוד למה שהיא זקוקה
  5. על האנטנה להיות רחבת פס ולהתאים לשידור CW בקצה התחתון של הגל ול SSB בהמשך העליון.
  6. להיות מסוגלת לעמוד בעוצמת שידור של לפחות 150 וואט.
  7. להיות זולה וקלה לבניה
- וזה עוד לא הכל (כדי לא לשעמם אותך).



איור 7 : שני סוגים של טינורים מאוזנים. חיבור לאדמה של צד אחד של המוצא הופך אותו חזרה ללא מאוזן.

אחד הפיתרונות לחלק גדול מהדרישות האלה הוא השימוש באנטנה טיונר מאוזן חיצוני. במיקרים רבים ניתן לשדרג טיונר לא מאוזן ששכב בבידים, ע"י הרמת חלק מהאדמות, בעיקר של הקבלים והוספת סליל או שניים, כמו שאני עשיתי. ראה איור 7. במאמר זה לא אכנס לדיון יותר מעמיק על טיונרים – הדבר מצריך כמה מאמרים עוקבים ואף יותר.

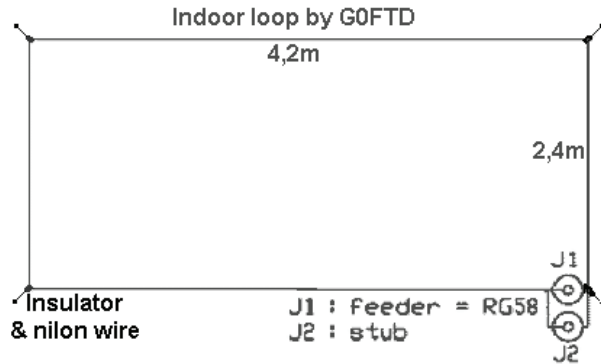
לפני שנחזור לסוגים נוספים של אנטנות – הסבר קצר על המספר  $-jx$   $+jx$  "המפחיד". בעשרות הנוסחאות לחישוב ההתנהגות של אנטנות ובמיוחד בפרמטר העכבת, מופיע המספר של ההתנגדות הטהורה יחד עם מספר נלוה. אם ההאנטנה מקבלת מהמסדר גל שהיא חתוכה עבורו, כלומר היא בתהודה מושלמת,  $x$  של המספר הזה יהיה קרוב לאפס – תהודה! על כל סטייה מהמצב הזה מספר ה  $jx$  ילך ויגדל. מה זה אומר? אם ירדנו לתדרי המורס, האנטנה קצרה מדי – יש פחות מדי אינדוקציה ויותר מדי קיבול,  $jx$  מקבל סימן -. אם עלינו בתדר, האנטנה ארוכה מדי – יש יותר מדי אינדוקציה,  $jx$  בסימן +. כדי לאזן את המצב ולספק למשדר התנגדות טהורה לה הוא זקוק, במקרה הראשון נגדיל את האינדוקציה-הסליל שבטיונר, במקרה השני נפצה את עודף האינדוקציה ע"י תוספת קיבול שכאילו מקטיץ את האנטנה. הכאילו הזה נקרא בשפה הטכנית מספר מורכב – Complex Number. הוא מראה לנו לאיזה כוון קיימת סטייה. לאחר תיקון הסטיות באמצעות הטיונר, המשדר שלנו חושב שהאנטנה שוב בתהודה מושלמת ובשמחה מוציא שוב את מלוא העוצמה! כדי שלא נגיע למצבים קיצוניים שכל תזווה בתדר דורשת תיקון ופיצוי כנ"ל, אנו בחיפוש מתמיד של אנטנות בעלות פס רחב ושטוח. האמצעים המיידים שברשותנו להרחבת הפס הם א. שימוש בחוט יותר עבה וב. שמוש בחוט שזור שקוטרו גדל מלאכותית ~פי שתיים, בגלל תופעת ה Skin effect בורימת גלי רדיו. איור 8. (לא בושה לקרוא את הפסקה הזאת פעם נוספת.)



איור 8: שתי דוגמאות של תוצאות גרף הי"גע של אנטנת פס רחב (1) ואנטנה צרת פס (2)

פרסתי כאן רק כמה דוגמאות כלליות של טיונרים קלים לביצוע ואני סומך עליך שתדוש בחומר קצת יותר ותוציא מהמחסן כמה חלקים מתאימים שעוד לא נרכבו, יחד עם המלחם של ה 100 ואט ותבנה לך מכשיר יעיל ויפה.

אם מזלך שפר וברשותך חדר מספיק גדול תוכל למתוח חוטים בקיר הארוך קרוב לתיקרה והחוט השני – הרפלקטור- בקיר האחורי. קיבלנו אנטנת Beam שני אלמנטים! כאן יש מקום לאזהרה: הצצה חטופה על פריסת הזרם והמתח בדייפול מראה שהמתח מקסימלי בקצוות! הרמז הוא שיש לבודד אותה מהקיר ולדאג שיד אדם לא תגיע ותיגע בהם בשעת שידור (קרוב לתיקרה).



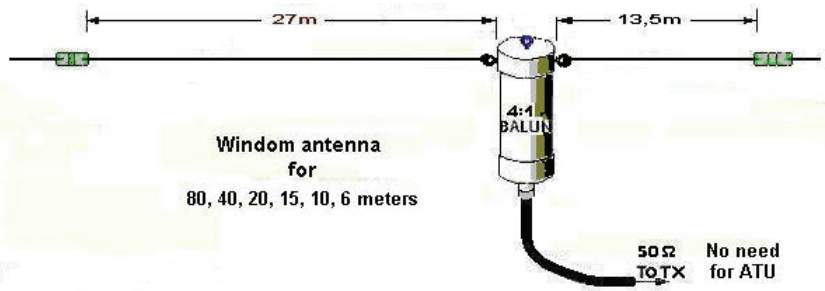
איור 9 : אנטנת Loop ניצבת

חובב הרדיו האנגלי Andy Foad G0FTD מספר על עצמו ועל מיקצועו - הקמת אנטנות נסתרות. הוא נפצע בעבודתו ומקבל קיצבת נכות ועכשיו יש לו זמן לתרום מהידע שלו לחובבות הרדיו. הוא מביא אנטנת Loop מלבנית הממוקמת על אחד הקירות בחדרו ומעיד שהצליח לעשות אין ספור קשרים מאנגליה לצפון ודרום אמריקה. הוא מזכיר במיוחד את הקשר עם איי הפסחא עם משדר של 25 וואט. אך הוא גם מודה ביושר שזה קרה בתקופה של פיסגת פעילות השמש. המימדים של האנטנה לא גדולים מדי - ראה איור 9 - ומתאימים מאד לתליה בחדר ממוצע. היא משדרת לשני כוונים כמו דייפול, כלומר לתוך הדף וממנו. היא יכולה להגיע לשבח של  $\sim 3\text{dBd}$ , אך קשה להסתמך על כך בגלל הקירבה לקיר ומיסוך של בטון מזוין בסביבה. העכבת משתנה כמובן מגל לגל וכמקצוען הוא מזכיר לנו חוק יסוד - Rule of thumb "יש לבצע את כל התאום הדרוש ליד האנטנה"! הוא עושה בדיוק את זה באנטנה שבחדרו ע"י החלפת פיסות קואקס (Stubs) של RG58 פתוחות בקצה ואורכם לפי טבלת האורכים שלמטה. הן מספקות את הקיבול והאינדוקציה הדרושה בכל גל כדי לקבל יג"ע מינימלי. הן חתוכות לכל גל בנפרד ומתחברות למחבר קואקס נקבה מקביל המיועד למטרה הזאת. עם החלפת גל צריך להחליף stub פתוח. התחל בשני ס"מ יותר ארוך וקצץ כל פעם חצי ס"מ עד שתגיע ליי"גע של  $\sim 1:1,2$ . אני הייתי מנסה להשתמש במפסק ארבעה מצבים של RF לאנטנות ומחבר אליו ארבע חתיכות קואקס כאלה, תוך לקיחה בחשבון את תוספת הקיבול והאינדוקציה שהמפסק יכניס.

Band	160m	80m	40m	30m	20m	17m	15m	12m	10m	6m
Stub Length	70cm	5cm	19cm	38cm	20cm	6cm	7cm	12cm	5.5cm	8.5cm

טבלת אורך ה Stub המתאם את האנטנה הזאת עבור כל גל

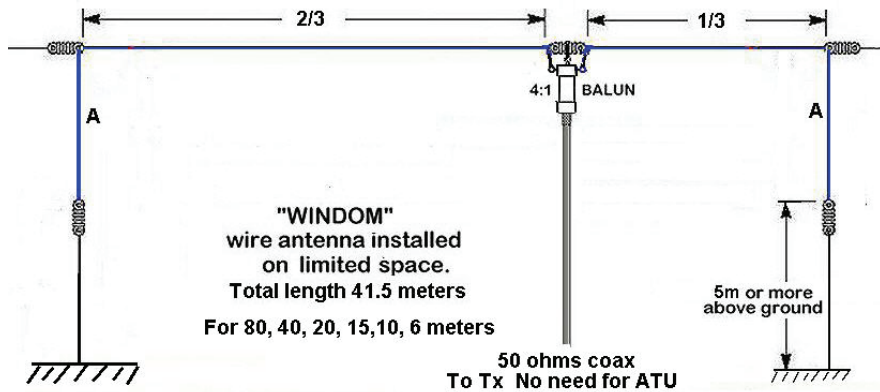
אחרונה אחרונה חביבה: אנטנת Windom המומלצת ע"י הרבה חובבים. היא פועלת על כמה גלים ובכך מתאימה לאלה מאיתנו שלא יכולים להרבות באנטנות.



איור 10 : אנטנת Windom רב גלית - ללא צורך בטיינר !

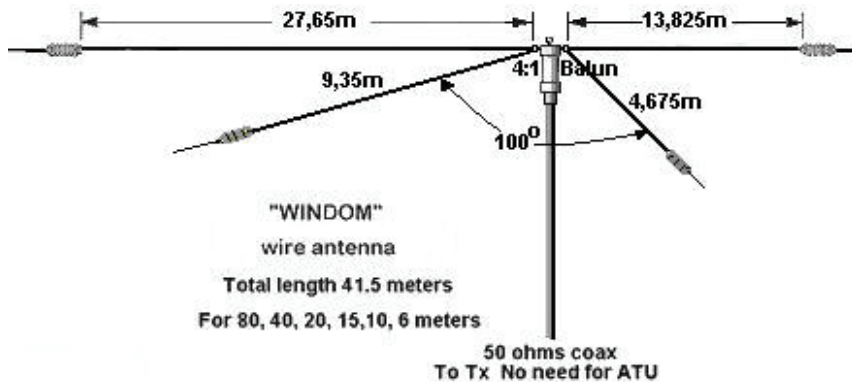
היא הומצאה בשנת 1929 ע"י חובב הרדיו W8GZ Loren Windom, התפרסמה והתחכבה על חובבי הרדיו מכוון שענתה על הצורך לעבוד על מכפלות גלים, ללא הקמת אנטנות נוספות וללא שימוש באנטנה טיונר. הוא גילה שהזנת ההזנה מהאמצע של דיפול לעבר שלישי ממנו, נותנת תופעה מדהימה של כיסוי מכפלות הגלים עליהם אנו משדרים - עם יג"ע נמוך! לא במקרה הוקצו לנו גיזרות שידור שהן מכפלות - הרבה יותר קל גם לבנות משדר שיוציא לשידור מכפלה של 3,5 או 7 מגההרץ.

אורך האנטנה כאורכו של דיפול בתדר הכי נמוך. איור 10: כוון האנטנה נעשה ע"י קיצור או הארכה של החלק הקצר, (השלישי) שנמצא יותר קרוב לתחנה לגל האהוב עלינו. היג"ע על שאר הגלים יהיה קצת שונה ותלוי במידה רבה בגובה האנטנה מהאדמה - וכל המרבה הרי זה משובח.



איור 11: אנטנת Windom עם קצוות מקופלים. אורכי A,A זהים, היחס של 2\3--1\3 נשמר!

במיקרה של חוסר מקום ניתן לקפל את הקצוות במידה שווה, בלי לשנות את האורך הכללי. ראה איור 11. הגובה של הקצה התחתון של A מהאדמה לפחות 5 מטר. מהקצה העליון של הקואקס עשה לך RF Choke וחבר אותו לבלון. אם תעבור את "כל" השלבים האלה, תקבל אנטנה שלא מפסיקים לשבח בכל העולם.



איור 12: אנטנת וינדום של KH2D עם חוטים נוספים ל 15 ו 30 מטר, SWR נמוך, ללא צורך ב ATU.

יחס גלים עומדים אופייני

3.800mHz	1.5:1
7.000	2.2:1
10.125	3.4:1
14.000	1.9:1
18.110	1.5:1
21.100	1.5:1
24.900	1.4:1
28.500	2.1:1

בדיווחים על השימוש באנטנת ווינדום המקורית נאמר על קשיים לכוון את ה-15 וה-30 מטר ליג"ע סביר כמו בשאר הגלים. החובב Jim מ-KH לאנד - Guam החליט לפתור את הבעיה ע"י הוספת עוד שני חוטים במיוחד לגלים האלה-ראה טבלת יג"ע לעי"ל שהוא השיג.

השימוש בבלון צריך להיות ברור: תפקידו לתרגם את העכבת האופיינית של האנטנה ל-50Ω. הוא מורכב מטבעת פריט שאינה יכולה לפעול ביג"ע גבוה יותר מ-1:2.5. במצב כזה הבלון יגיע לרוייה או חום גבוה או לפריצת מתח בליפופים. הכנסת טיונר פותרת את הבעיות רק עבור המשדר. הדרך הנכונה לפתור את בעיות הבלון היא להאריך או לקצר את האנטנה. התיקון צריך להתבצע בתחילת הרשת - לא בסופה! בהקשר לכך, חוק יסוד בקומוניקציה אומר בצורה הרחבה ביותר – "אל תשנה מערכת מכוילת ומכוונת היטב בגלל שההתקן שלפניך שולח לך אות לא תקין- דאג לתיקון במקור". חלק מהאנטנות שהבאתי כאן הן בכל זאת אנטנות חוץ, מתוך הרצון לאפשר לך לעשות גם די אקסים. הן כמעט לא מפנות תשומת לב הסביבה "האודהרת". אם תשתמש במשדר של 150 וואט וכבל קואקס דק – RG58, בלון קטן וקומפקטי ו RF Choke העשוי מאותו קואקס דק ותעשה את הפריסה בשקט בליל קיץ נעים לאור הכוכבים, תוכל להנות מפעילות סדירה, ללא הפרעה לנוף המשגע של השכנים וללא גירגורי ה SSB במחשב המכובה שלהם. הבאתי כאן מבחר מייצג של אפשרויות, בחזקת קצה הקרחון, שבודאי ידליק לכם רעיונות נוספים, כמו שנאמר "די לחכימא בקצה חוט" ... בהצלחה!

Reference:

antenneX archive

Karl Rothammel Y21BK "Antennenbuch"

ARRL Compendium 1-5

L.B.Cebik W4RNL

Igor Grigorov RK3ZK "Tape Antennas"

F.H.V. Geerlings PA0FRI