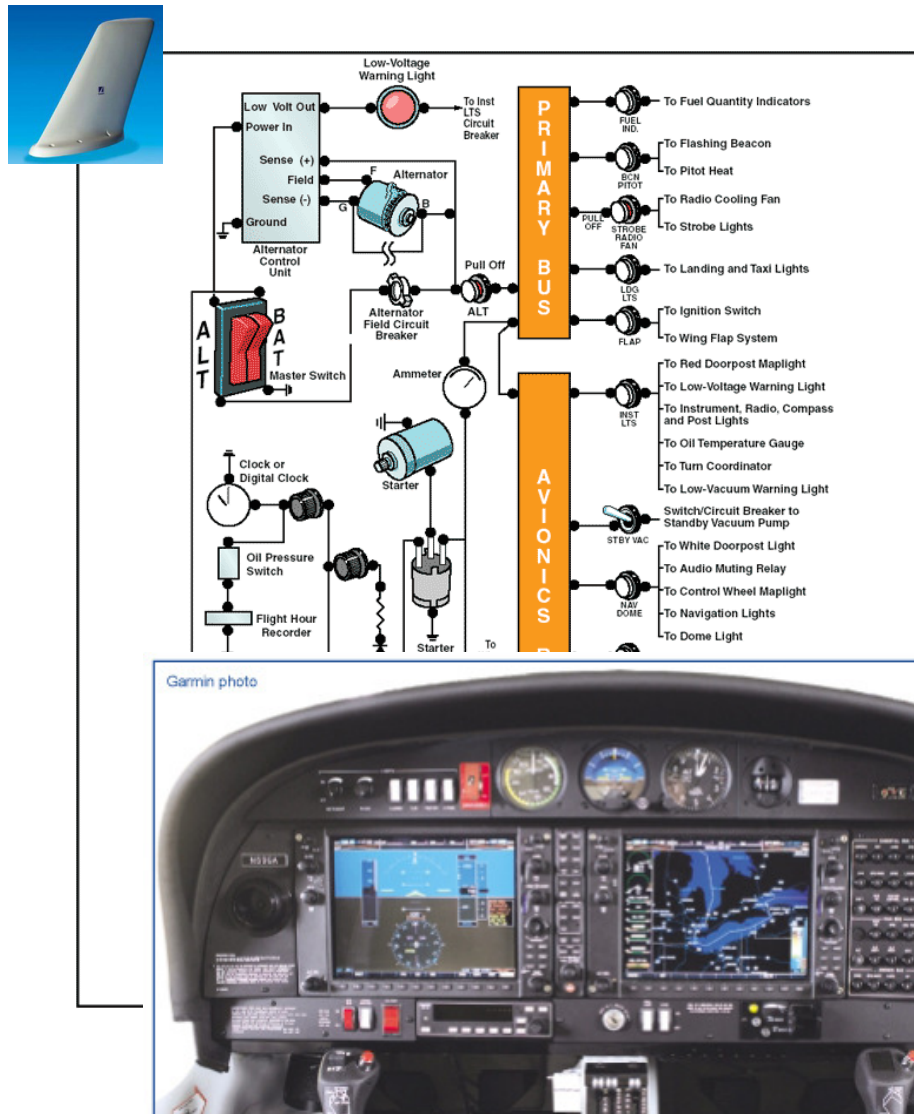


אריאל אריאלי

מערכות חשמל ואוויוניקה במטוסים בניינים ע"י חובב



ספר זה מוקדש ליהודית רז, בת הזוג שלי,
שסייעה רבות בסבלנות רבה ותמכה בי לכל
אורך הדרך, במהלך כתיבת הספר
ושעצותיה הנבונות עזרו לי לבחור את
המילים הנכונות.
תודה, יהודית

תוכן מסמך זה, חלקו, מקצתו או כולו, הינו קניין רוחני (intellectual
property) של **אדיאל אדיאלי** ואין להעבירו לאחר ו/או לצד שלישי
ו/או לעשות בו שימוש, ללא אישור מפורש בכתב מאת **אדיאל אדיאלי**

מהדורה שנייה - ינואר 2018

תוכן הענינים

פרק	סעיף	עמוד
א' הקדמה		4
	כללי	4
	מושגי יסוד	4
ב' עקרונות חיווט חשמלי במטוסים		6
ג' הגנות		10
ד' חלוקת הזרם לצרכנים		13
	כללי	13
	אורות הנחיתה וההסעה	17
	אורות הניווט	20
	פנסי מניעת התנגשות	22
ה' חוטים והטיפול בהם		25
	כללי	25
	מחברים	30
	נעלי כבל	32
	צלצול חוטים	34
ו' צמות - Bundles		36
	כללי	36
	העברת צמות דרך חציצים	39
	תוואי הולכת הצמות	41
	תמיכת הצמות	41
ז' הארקות		45
	כללי	45
	שיטת "שרשור הארקות"	46
	שיטת "כוכב" הארקות	47
	הארקת המנוע לגוף המטוס	48
	"בונדינג" - חיבור הארקה לגוף	49
ח' המצבר		52
	כללי	52
	מתח עבודה	52
	המתנע	52
	בחירת המצבר	53
	חיווט המצבר	55
ט' אוויוניקה - כללי		59
	מכשירי המנוע	59
	מכשירי טיסה	64
	מכשירי טיסה אלקטרוניים עם תצוגת מסך LCD	70

פרק	סעיף	עמוד
	מערכות תצוגה רב תכליתיות - MFD	72
	תקשורת בן מרכיבי מערכת EFIS	75
י'	אוויוניקה - רדיו ואינטרקום	78
	כללי	78
	מהו מכשיר רדיו	78
	קשר רדיו בתעופה	83
	אינטרקום	84
	שילוב מערכת השמע	86
	חיווט מערכת השמע במטוס	88
	מחברי השמע	90
	מכשירי הרדיו	94
י"א	אוויוניקה - אנטנות	99
	כללי	99
	תדירות ואורך גל רדיו	100
	סוגי אנטנות	101
	מיקום האנטנות	104

הקדמה

"הנתיכים, תפקידם להגן על חוטי החשמל ולא על המכשירים המוזנים על-ידם" משפט זה היה ה"טריגר" שדחף אותי לכתוב ספר זה.

משך שנים נוהלתי על פי התפיסה כי הנתיך, תפקידו להגן על המכשירים. אך יום אחד חדרה בי ההכרה, שהתחזקה כאשר למדתי את "התנ"ך של תחזוקת מטוסים,

ה - AC 43.13-1B - Acceptable Methods, Techniques, and Practices Aircraft Inspection and Repair, שהחדיר בי את התובנה כי, הנתיך תפקידו להגן על החוטים ולא על המכשירים.

כאשר, בשנת 1997, גמלה החלטה בליבי לבנות מטוס בבנייה עצמית, חזיתי בראשי את מערכת החשמל של המטוס ויש הטוענים (אולי בצדק), כי את המטוס בניתי סביב פאנל המכשירים שלו. אולם, כאשר חיפשתי חומר עזר בעברית הודן בנושא "חישמול מטוסים" לא מצאתי והיה עלי לפנות לספרות באנגלית, בדרך כלל, הספרות עסקה בחשמל ובאוויוניקה של מטוסים מרושיניים ומעט מאד חומר מצאתי המלמד חשמל ואוויוניקה של מטוסים בנויים ע"י חובב.

גם בין הפורומים השונים של בוני מטוסים, תמיד קיימת הטענה כי "על 5% האחרונים של הבנייה, עובדים 95% של הזמן" - ואותם 5% אחרונים, אצל רוב הבונים, הן מערכת החשמל והאוויוניקה.

הספר שלפניכם מביא חומר רלוונטי לבוני מטוסים עפ"י "חוק ה-51%" - בניית מטוסים ע"י חובב והמידע האצור בו מהווה סיכום של הידע שנצבר אצלי במהלך הבנייה, מעיון בספרות מקצועית הדנה בחשמל תעופתי, מה- AC43-13 ומספר שכתב בוב נוקולס - "The AeroElectric Connection".

אני מאמין כי החומר המוגש בספר יכול לספק ידע רב גם למי שאינו בונה, או מתעתד, לבנות מטוס, אלא מעוניין בהכרת נושא החשמל והאוויוניקה במטוסים, כמו למשל, טייסים, חניכים במקצועות התעופה וסתם מתעניינים.

השתדלתי להגיש את ההסברים באופן ברור ובשפה פשוטה וע"מ להמחיש ולהבהיר צירפתי תמונות, איורים, טבלאות וגרפים.

בתחילת הספר ישנו פרק כללי העושה לקורא הכירות עם מושגים בחשמל ובהמשכו, ישנם פרקים העוסקים בהיבטים שונים של החשמל והאלקטרוניקה במטוס: תכן, חיווט, צמות, מכשור ורדיו. נעשה ניסיון שלא להשתמש בנוסחאות מתמטיות אלא, אם נדרש לצורך הרחבה והסבר מפורט יותר, וגם אלו, הובאו בצורה פשוטה והגיונית.

כל פרק נפתח בהסבר כללי ואחר-כך מובא הסבר מפורט יותר בנושא הפרק.

בסוף הספר מוגשים מספר נספחים המרחיבים את ההסבר על השימוש בכלי עבודה מיוחדים לחיווט חשמל ואלקטרוניקה.

כדאי להדגיש, כי מקצת מהחומר המובא בספר, אינו תואם את הדרישות המקובלות בתעשיית התעופה ה"פורמאלית" (המרושיינת) ולכן אין לראות בספר אסמכתא, או אישור, לעבודה על מטוסים מרושיינים, אלא אך ורק למטוסים אקספרימנטאליים בנויים ע"י חובב. אני מודה מראש להערות והארות אשר יכולות לתקן ולשפר את החומר המובא בספר, ואשר ישולבו במהדורות הבאות.

אזהרה:

החומר המובא בספר אינו תואם בשלמותו את הדרישות לחשמל במטוסים מרושיינים (TC) ואין להשתמש בחומר המובא בו, בשום צורה ודרך במטוסים אלו ע"י מי שאינו מוסמך ומחזיק רישיון מתאים!

תודה מיוחדת אני חייב להילל ניסן שהעיר את הערותיו החשובות, שסייעו לי רבות בכתיבת הספר.

פרק א'

כללי

תורת החשמל מוגדרת כ"פרק בפיסיקה העוסק בהולכת מטענים חשמליים במוליכים" וזה להבדיל מתורת האלקטרוניקה הדנה ב"פרק בפיסיקה העוסק בהולכת מטענים חשמליים במוליכים, מוליכים למחצה ושפופרות ריק". אוויוניקה היא יישום מכשירים אלקטרוניים בכלי טייס. הספר יתרכז כאמור, בחשמל במטוסים ובמערכות אוויוניות. בתחילת כל פרק יינתן הסבר עקרוני של הנושא עליו מדבר הפרק ובהמשך, יבוא הסבר על אופן העבודה הרלוונטי לנושא הפרק.

מושגי יסוד

ע"מ להבין את הנאמר, יש להכיר ולהבין מספר מושגי יסוד הקשורים לנושא ואשר ייעשה בהם שימוש לאורך הספר.

מתח חשמלי - הפרש פוטנציאלים חשמלי אשר אם ישרור על מוליך - יזרום דרך המוליך זרם חשמלי.

זרם חשמלי - תנועת אלקטרונים חופשיים בצורה סדירה ובכיוון ידוע דרך המוליך.
התנגדות - תכונה הקיימת בכל מוליך, אשר מקיימת את הקשר המתמטי שבין המתח החשמלי הקיים משני קצות המוליך, לבין הזרם הזורם דרכו.
חוק אום - הנוסחה המקשרת בין המתח, הזרם וההתנגדות:
$$R = V/I \text{ ו- } V = I \times R, I = V/R$$
אימפדנס (עכבה חשמלית) - התנגדות (מדומה) למעבר זרם חילופין דרך מעגל חשמלי המכיל, לפחות, קבל או סליל. האימפדנס תלוי בתדירות.

במעבר זרם דרך מעגל שיש לו אימפדנס, מתקיים הפרש פאזה בין המתח לבין הזרם הזורם במעגל.

תגיבות (reactance) - התנגדות מדומה של קבל או של סליל.
תגיבות של סליל, עולה עם עליית התדר ותגיבות של קבל, יורדת עם עליית התדר.
מוליך חשמלי - תווך. חומר שדרכו ניתן להעביר זרם חשמלי. ע"מ שזה יתקיים, המבנה האטומי של החומר צריך להיות כזה, שבו אלקטרונים מה"קליפה החיצונית" של האטומים ממנו החומר עשוי, יכולים להתנתק מהאטום, תחת השפעת הפרש פוטנציאלים חשמלי, ולנוע בסדר ידוע בין שני קצות המוליך.

לכל מוליך ישנה התנגדות מסוימת, התלויה בסוג החומר ממנו הוא עשוי, מאורכו של המוליך ומשטח החתך של המוליך. ככלל, ככל שהמוליך ארוך יותר התנגדותו גדולה וככל שהוא בעל שטח חתך גדול יותר, התנגדותו קטנה.

מבודד - חומר שאינו מוליך חשמלי (למשל, אוויר יבש, וואקום, זכוכית, פלסטיק וכד')

וולט - יחידת המתח החשמלי.

אמפר - יחידת הזרם החשמלי.

אווהם - יחידת ההתנגדות החשמלית. (קילו-אווהם = אלף אוהם. מגה-אווהם = מליון אוהם)

עבודה - כמות האנרגיה המשתחררת (או נדרשת) במעבר אנרגיה מצורה אחת (למשל, אנרגיה

חשמלית) לצורה אחרת (למשל, חום)

ג'אול - יחידת האנרגיה (1 ג'אול מתקבל כאשר על מוליך שורר מתח של 1 וולט וזרם בו זרם של

1 אמפר למשך שנייה אחת. כל שנייה שהזרם ימשיך לזרום יתווסף עוד 1 ג'אול)

הספק חשמלי - כמות העבודה המתבצעת ביחידת זמן.

וואט - הספק חשמלי השווה לעבודה של 1 ג'אול למשך שנייה אחת. (אם במשך חמש שניות

תתבצע עבודה של 25 ג'אול, ההספק יהיה 5 וואט)

מאמ"ת (Circuit Breaker) - התקן אלקטרו-מכאני, המנתק את הזרם, כאשר ערכו של הזרם עולה

מעל ערך ידוע. ניתוק מעגל הזרם מתבצע או ע"י חום הנוצר באלמנט המדידה או ע"י שדה מגנטי

הנוצר עקב הזרם הזורם בו. לאחר ניתוק מעגל הזרם ניתן "לרסט" (reset) את ההתקן (אם ע"י

לחיצה על כפתור מתאים או ע"י הרמת ידית מפסק).

נתיך (Fuse) - רכיב חשמלי המנתק את מעגל הזרם, אם עלה על ערך נתון ע"י שריפה עצמית של

חוט בעובי ידוע. לאחר ניתוק הזרם יש להחליף את הנתיך.

פרק ב'

עקרונות חיווט חשמלי במטוסים

סוגי חוטים

עיקר העבודה של בונה מטוס בבנייה עצמית, בתחום "חישמול" המטוס, מתרכזת בחיווט בין מערכותיו החשמליות השונות של המטוס.

חוטי החשמל במטוס נועדו לתפקידים שונים: הולכת זרמים חזקים - מעל 20 אמפר (סטרטר, פס צובר BUS ראשי, אלטרנטור), זרמים בינוניים - 1 אמפר עד 20 אמפר (תאורה, חימום פיתו ומשאבת דלק חשמלית), אותות בקרה - פחות מאמפר אחד (העברת מידע ובקרה בין מערכות שונות), אנרגיה בתדר RF (רדיו - אנטנות) ואותות שמע (מיקרופון, אזניות וכד').

שלא כמו בחשמלאות רכב או בחשמל מסחרי וביתי, חוטי החשמל במטוס צריכים לעמוד בתקני בטיחות חמורים מאחר ואש במטוס יכולה להסתיים באסון.

לדרישה זו משמעות הן בטכניקה של חיווט המטוס והן בסוגי החוטים המשמשים לחיווט המטוס. חוט חשמל מאופיין במספר פרמטרים שחשוב להכיר ולהבין.

הפרמטר הראשון הוא סוג החומר המוליך. הפרמטר השני הוא סוג הבידוד.

שלושה סוגי חומרים משמשים בעיקר, בחיווט תעופתי: נחושת מצופה בדיל, נחושת מצופה כסף ואלומיניום. לנחושת, מקדם התנגדות נמוך. ציפוי בדיל משפר את יכולת ההלחמה ומגן בפני קורוזיה (התחמצנות, שיתוך) והוא זול וציפוי כסף יקר יותר והוא פחות רגיש להתחמצנות. אלומיניום הוא חומר מוליך פחות טוב מנחושת אך משקלו נמוך בהרבה.

היום כמעט לא נעשה שימוש באלומיניום מאחר והעבודה עם האלומיניום מאד מסובכת ודורשת ציוד וטכניקה מיוחדים. בנוסף, עמידות האלומיניום בטמפרטורות גבוהות - חלשה.

הפרמטר השני הוא סוג הבידוד.

מאחר וחוט חשמלי עלול להתחמם עקב עומס יתר, יש חשיבות יתר לעמידת הבידוד בטמפרטורות גבוהות מבלי לאבד את תכונות הבידוד.

בשום פנים ואופן אין להשתמש בחוטים מצופים PVC או גומי!

שני חמרי בידוד נפוצים בתעופה: הראשון הוא "טפזל" (ETFE) והשני "טפלון" (PTFE). ההבדלים המעשיים המבדילים ביניהם הם עמידה בטמפרטורה מכסימאלית וגמישות. טפזל יכול לעמוד בטמפרטורה מכסימאלית של 150°C והוא גמיש ונוח לעבודה. טפלון עומד בטמפרטורה מכסימאלית של 250°C והוא פחות גמיש ופחות נוח בעבודה.

ברוב המקרים, למטוס בנוי ע"י חובב, השימוש בבידוד טפזל מספק.

יש לציין כי ניתן לקבל את החוטים בצבעי בידוד שונים ובהמשך תבוא המלצה לבחירת צבע הבידוד עפ"י הפונקציה שהחוט משמש.

הסימון הצבאי של חוטי טפזל הוא:

MS-22759/16-AA-C

האותיות AA מציינות את מידת המוליך (שטח החתך) לדוגמא:

חוט 22AWG מספרו יהיה MS-22759/16-22

והאות C משמשת לקוד הצבע (מספר ללא סיומת ספרת הצבע, יהיה בצבע לבן):

5 - Green	0 - Black
6 - Blue	1 - Brown
7 - purple (Violet)	2 - Red
8 - Gray	3 - Orange
9 - White	4 - Yellow

עובי (קוטר) החוטים נמדד בשיטה האמריקאית AWG, כאשר ככל שהמספר קטן יותר - החוט בעל קוטר ושטח חתך גדול יותר:

הטבלה הבאה מביאה את הקשר בין מידת החוט AWG לבין שטח החתך שלו והתנגדותו -

AWG	קוטר (mm)	שטח החתך (mm ²)	התנגדות (mΩ/m) / (Ω/km)
0000 (4/0)	11.684	107	0.1608
000 (3/0)	10.405	85	0.2028
00 (2/0)	9.266	67.4	0.2557
0 (1/0)	8.251	53.5	0.3224
2	6.544	33.6	0.5127
4	5.189	21.2	0.8152
6	4.115	13.3	1.2960
8	3.264	8.37	2.0610
10	2.588	5.26	3.2770
12	2.053	3.31	5.2110
14	1.628	2.08	8.2860
16	1.291	1.31	13.1700
18	1.024	0.823	20.9500
20	0.812	0.518	33.3100
22	0.644	0.326	52.9600
24	0.511	0.205	84.2200

כדאי לזכור כי חיבור במקביל של שני חוטים בעלי שטח חתך זהה, יגדיל את שטח החתך האפקטיבי פי שניים ויקטין את ההתנגדות לחצי.

כאמור, כאשר זורם זרם דרך מוליך מתפתח עליו מתח. לפי חוק אום, מפל המתח על המוליך שווה למכפלת הזרם בהתנגדות המוליך. כאשר על מוליך מתפתח מתח חשמלי עקב הזרם הזורם במוליך, מתפתח בו הספק חשמלי השווה למכפלת המתח בזרם. ההספק החשמלי נמדד בוואטים.

$$\text{לפי הנוסחה הבאה: } P_{(\text{Watts})} = V_{(\text{Volt})} \times I_{(\text{Ampere})}$$

מאחר ומפל המתח יחסי לאורך החוט הרי שגם ההספק יחסי לאורך החוט. ההספק המתפתח בחוט, לאורך זמן, יוצר עבודה הבאה לביטוי בהתחממות המוליך ולעליית הטמפרטורה שלו. אם ידוע כמה מעלות מותר לחוט להתחמם מעל טמפרטורת הסביבה, הרי שמכך ניתן להגדיר את הזרם המכסימאלי שמותר להזרים דרך המוליך ע"מ שלא יתחמם מעל הערך המותר.

הטבלה הבאה קושרת בין מידת המוליך לבין הזרם המכסימאלי המותר שיגרום עליית טמפרטורת המוליך ב- 35°C מעל טמפרטורת הסביבה:

זרם מכסימאלי מותר להפרש 35°C מעל טמפ. הסביבה	מידת המוליך (AWG)
5A	26
6.6A	24
8.5A	22
11A	20
15A	18
18A	16
22A	14
30A	12
40A	10

הערכים המופיעים בטבלה הם ערכי מכסימום ומתאימים לחוטים קצרים. כאשר אורך החוט ארוך, התנגדותו החשמלית גדלה ואז, מפל המתח עליו (התלוי בזרם) גדל ככל שאורכו גדל. מפל המתח המותר על מוליך תלוי במתח העבודה של המערכות החשמליות המוזנות ע"י אותו המוליך ותלוי במתח המצבר של המטוס.

הטבלה הבאה מציינת מהו מפל המתח המותר במערכת חשמל של המטוס לפי מתח העבודה של מערכות החשמל של המטוס:

מפל מתח מכסימאלי רגעי (VDC)	מפל מתח מכסימאלי ליזמן ממושך (VDC)	מתח מערכת החשמל של המטוס (VDC)
1	0.5	14 (12 ^(*))
2	1	28 (24 ^(*))
8	4	115 (110 ^(*))
14	7	230 (220 ^(*))

(*) - מציין את הערך המקובל ב"שפה עממית"

כאשר מתכננים את מערכת החשמל, יש צורך להתחשב במפל המתח על המוליך לפי הזרם המיועד לעבור בו ועפ"י ההתנגדות התלויה באורכו של המוליך (ראה בטבלה הקושרת בין ההתנגדות לשטח החתך) ובהתאם, לבחור את שטח החתך המתאים (AWG).

בחירת צבע הבידוד, תהיה נתונה לשיקול דעתו של הבונה. אולם, ישנם צבעים מקובלים שיעזרו לאתר את התפקיד של החוט באופן אסוציאטיבי:

אדום - מתח חיובי.

שחור - מתח שלילי או אדמה.

לבן - אדמה או שימוש כללי.

כתום - מתח חיובי (אך נמוך יותר מהמתח החיובי של מערכת המטוס)

סגול ו/או כחול - מתח חיובי היוצא ממפסק אל צרכן.

שאר הצבעים - בחירה חופשית והשימוש בהם ייעשה עפ"י הנוחות באיתור חוט במהלכו דרך מקומות שונים במטוס.

פרק ג'

הגנות

קצר חשמי אינו נצמי! ובייחוד כשה קורה למס הנמצא באוויר.

ניסיון רב שנים, שנקנה בדם, הביא לתובנות הבאות:

- א. חוטי מערכת החשמל צריכים להיות כאלו שיהיו מסוגלים להעביר את הזרם המכסימאלי הדרוש למערכות המזונות על-ידם.**
- ב. יש להגן על חוטי חשמל במטוס באופן שבשום תנאי לא יתחממו מעל ערך ידוע מעל טמפרטורת הסביבה.**
- ג. ההגנות תהיינה על חוטי החשמל ולא על המכשירים המזונים על-ידם.**

ע"מ להגן על מוליכי החשמל, משתמשים באמצעי הגנה מסוגים שונים: נתיכים, מאמ"תים, או "חוליה חלשה".

אמצעי ההגנה ימוקמו בקצה המוליך, בצד בו מוזן הזרם (מקור הזרם).

תפקידו של אמצעי ההגנה הוא לנתק את המוליך ממקור הזרם במקרה שהזרם הזורם במוליך (מסיבה כלשהי) עולה על הערך המותר, שהוגדר בתכנון המעגל (בדרך כלל יהיה הזרם המכסימאלי הגורם לחימום המוליך בערך ידוע מעל טמפרטורת הסביבה, אך בפועל ישנה טבלה המציינת את ערך הנתיך המתאים לכל עובי חוט). בטבלה הבאה מובאים ערכי ההגנות המתאימות לכל עובי חוט:

מידת החוט (AWG)	ערך המאמ"ת (Circuit Breaker) (A)	ערך הנתיך (FUSE) (A)
22	5	5
20	7.5	5
18	10	10
16	15	10
14	20	15
12	30	20
10	40	30
8	50	50
6	80	70
4	100	70
2	125	100
1	---	150
0	---	150

נתיך יכול להיות נתיך זכוכית על חוט, או נתיך "סכין" המקובל בתעשיית הרכב. שיטת ההגנה, המתאימה מאד למטוסים בנויים ע"י חובב, היא "הגנת חוליה חלשה".

בהגנה זו, בוחרים נקודה הקרובה ככל הניתן למקור המזין את המוליך, חותכים את המוליך ומחברים במקום החיתוך, מוליך בדרגה אחת יותר דק מהמוליך עליו מגינים. למעשה, נוצרה כאן "חוליה חלשה" שהיא תהיה הראשונה להתחמם ולהישרף ובכך לנתק את המעגל. באופן מעשי, את החוליה החלשה מכניסים לתוך צינורית עשויה מחומר עמיד לחום (קרמיקה או זכוכית) שלא יתלקח עקב חום שריפת החוליה החלשה. הפרקטיקה אומרת כי מאמ"ת ש"קפץ" ניתק את המעגל עקב תקלה כלשהי (מכשיר שהתקלקל או קצר בין המוליך למוליך אחר או לגוף המטוס) ובמקרה זה אין לנסות ולהחזיר את המעגל לפעולה. יוצא מכלל זה הוא המקרה של נתיך שנועד להגן על אורות נחיתה או מערכת תאורה שבה ישנן מנורות הפועלות עם חוט להט. כאשר נורת חוט להט נשרפת, יכול לזרום דרכה זרם גבוה ביותר למשך זמן קצר, זרם שיקפיץ את המאמ"ת. אחרי שהנורה נשרפה, אם ישנן נורות נוספות במעגל, מותר להחזיר את המאמ"ת לפעולה ע"מ לאפשר הדלקת הנורות האחרות.



W31 Series



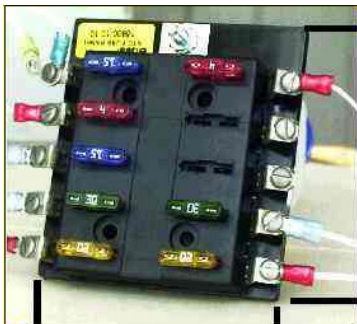
W58 Series



W23 Series

איור ג'1 - מאמ"תים: 1. Manual break, 2. Resettable, 3. CB + Switch.

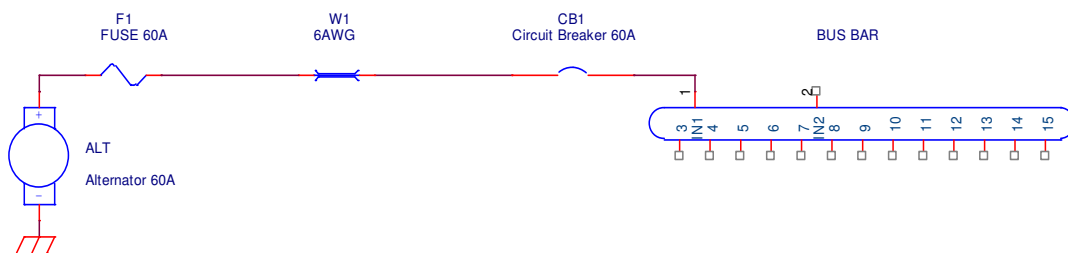
הערה: השימוש במאמ"ת כמפסק, אינו מומלץ מאחר וחיבור/ניתוק לעיתים מוזמנות, פוגע בתכונות ההגנה של המאמ"ת ומקצר את חייו.



איור ג'-2 - נתיכים: 1. Fuse Holder. 2. FUSE. 3. Automotive knife block and fuses

בחירת החוטים תעשה לפי הסדר הבא:

- א.** מציאת הזרם המכסימאלי של המכשיר אליו החוט מביא את הזרם.
- ב.** מציאת עובי החוט הנדרש עפ"י הזרם המכסימאלי שמותר להעביר דרכו (לחוטים קצרים) או, לפי מפל המתח המותר (בחישוב ההתנגדות, לפי האורך).
- ג.** בחירת הנתיך המתאים עפ"י הזרם המכסימאלי שמותר להעביר דרך החוט או בהתאם לטבלה. כאשר ישנה אפשרות כי מקור הזנת הזרם יהיה משני צידי המוליך (למשל, חוט המחובר את מוצא האלטרנטור אל פס הצבירה הראשי - BUS), מומלץ לשים הגנות משני הצדדים.



איור ג'-3 - חיבור אלטרנטור לפס הצבירה

באיור שלמעלה, ניתן לראות כי בצד פס הצבירה נמצא מאמ"ת (נתיך חצי אוטומאטי) ובצד האלטרנטור, נמצא נתיך רגיל.



איור ג'-4 - נתיך האלטרנטור

(נתיך זה נרכש מחנות לצידוד סטריאו)
לרכב עבור מגבר ההספק שמע. זהו נתיך
זכוכית של 80 - 60 אמפר הנתון במארז
(שקוף)

פרק ד' חלוקת הזרם לצרכנים

כללי

מקור האנרגיה החשמלית במטוס הוא המצבר. אולם, כאשר מנוע המטוס פועל, האלטרנטור הוא זה שבפועל מספק את האנרגיה החשמלית.

בתכנון נכון של מערכת החשמל במטוס יש לקחת בחשבון את צריכת הזרם הכללית של כל מערכות המטוס, שיכולות לפעול בו-זמנית, לסכם את סה"כ צריכת הזרם שלהן וזהו הזרם שצריך לספק האלטרנטור.

יש להדגיש כי הזרם המרבי שהאלטרנטור צריך לספק, אינו 100% סה"כ הזרמים של כל מערכות החשמל של המטוס, אלא רק, סה"כ הזרמים שיצרכו כל המערכות החשמליות שיכולות לפעול בו זמנית!

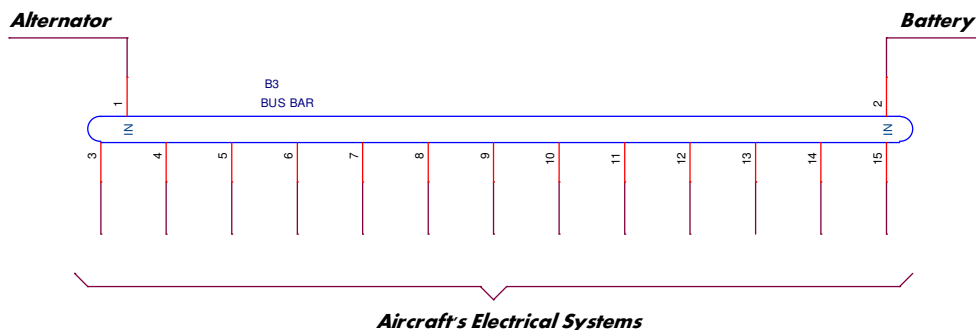
כאשר האלטרנטור מספק את הזרם, המצבר משמש מעין "רזרוואר" (מאגר) שמתפקידו לייצב את המתח במקרה של צריכת זרם רגעית גבוהה של אחד הצרכנים וכן לשמש אוגר רזרווי למקרה של תקלה באלטרנטור או הפסקת פעולת המנוע.

כמובן, שהמצבר משמש גם להתנעת המנוע.

ה"פילוסופיה" של מערכת האנרגיה של המטוס היא: מצבר להתנעה, אלטרנטור לפעולה רגילה ומצבר לייצוב המתח ולאספקת המתח בחירום.

עפ"י תפישה זו, כל מערכות החשמל צריכות להיות מחוברות באופן שיתאם לפילוסופיה זו. בצורה מופשטת, אפשר לראות את מערכת החשמל במטוס כצינור "T" אשר בשני קצותיו העליונים מתחברים, בצד אחד המצבר ובצד השני האלטרנטור וב"רגל" של ה-"T" יתחברו צרכני החשמל של המטוס.

מימוש פילוסופיה זו נעשה באמצעות "פס צבירה" (BUS) ראשי המזין הן מהמצבר והן מהאלטרנטור, ושאליו מתחברים כל שאר צרכני החשמל של המטוס.



איור ד'-1 - פס הצבירה של מערכת החשמל במטוס

יש להדגיש כי החוט המחובר בין האלטרנטור לפס הצבירה, צריך להיות מסוגל להעביר את סה"כ הזרמים שיכולות לצרוך כל מערכות המטוס, שיכולות לפעול ביחד בכל רגע נתון ואילו החוט המחובר בין המצבר לבין פס הצבירה, צריך להיות מסוגל להעביר את סה"כ הזרם של כל מערכות המטוס.

החוט המחובר בין האלטרנטור לפס הצבירה צריך להיות מוגן הן בצד פס הצבירה והן בצד האלטרנטור.

כל צרכן אנרגיה חשמלית נדרש לפחות לשני חוטים - חוט המביא את הזרם וחוט שני המחזיר את הזרם.

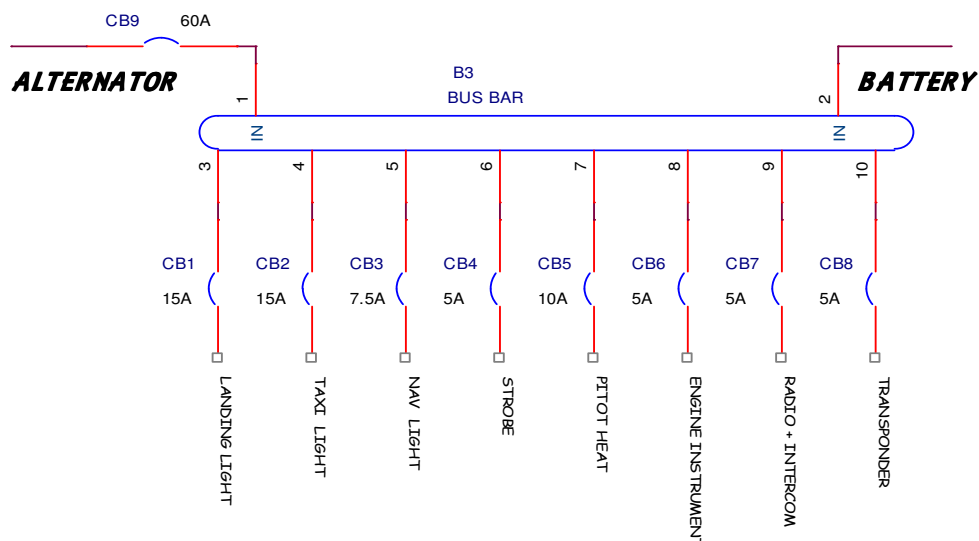
במטוסים עשויים מתכת (אלומיניום) ניתן להשתמש בגוף המטוס כחלק מהחוט המחזיר (הסבר יינתן בפרק על הארקות). מטוסים עשויים חומרים מרוכבים, החוט המחזיר חייב ללכת מהצרכן, כל הדרך חזרה למקור המתח.

ברוב מוחלט, אם לא בכל, המטוסים, גוף המטוס הוא בעל פוטנציאל שלילי (-) ופס הצבירה הוא בעל פוטנציאל חיובי (+).

מאחר וגוף המטוס בעל פוטנציאל שלילי והחוטים המביאים את הזרם, בעלי פוטנציאל חיובי, יש להימנע ממצב שבו מוליך יוכל לגעת בגוף המטוס. מגע של מוליך בגוף המטוס יגרום קצר, שעלול לגרום לשריפת בידוד החוט ולהצתת שריפה.

החוט המחובר בין המצבר לבין פס הצבירה, צריך להיות מוגן בצד המצבר (בהמשך, יבוא הסבר כיצד מחברים חוט זה למצבר).

כאמור, כל חוט היוצא מפס הצבירה אל מערכת חשמלית כלשהי, צריך להיות בעובי המתאים לצריכת הזרם של המערכת והוא צריך להיות מוגן עפ"י עוביו.



איור ד'-2 - פס הצבירה והגנות הצרכנים

ישנם צרכנים המוזנים בחשמל כל זמן פעולת המטוס וישנם כאלו, שיופעלו עפ"י הנדרש. ע"מ לאפשר הפעלה מבוקרת של אותם הצרכנים, נעשה שימוש במפסק. המפסק יימצא פיזית במקום שהגישה אליו נוחה. מניסיון, מומלץ לשים מפסקים שהפעלתם דרושה בטיסה, בצד שמאל (כדי לאפשר להשאיר את יד ימין אוחזת בהגה המטוס) וכאלו שהפעלתם נעשית על הקרקע, בצד ימין. כמובן, שבסופו של דבר, מיקום המפסקים יהיה בהתאם לעיצוב תא הטייס.

בחירת המפסק אינה דבר מיידי. לא דומה פעולת מפסק למנורת להט לזו של מנוע חשמלי. לכל צרכן יש להתאים את המפסק שיענה על הדרישות הספציפיות של הצרכן.

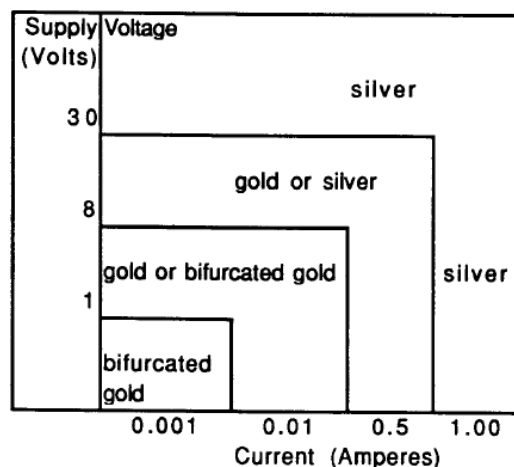
בטבלה הבאה יוגדרו הדרישות לגבי בחירת המפסק:

מתח מערכת החשמל של המטוס	סוג העומס המופעל באמצעות המפסק	גורם המכפלה בין זרם המפסק לזרם העומס (*)
28V	נורת להט	8
28V	עומס השראי (ממסר)	4
28V	גוף חימום	2
28V	מנוע חשמלי	3
14V	נורת להט	5
14V	עומס השראי (ממסר)	2
14V	גוף חימום	1
14V	מנוע חשמלי	2

(*) - הזרם המרבי המותר של המפסק צריך להיות מכפלה של זרם העומס בגורם המכפלה.

הסיבה לקיום גורם המכפלה, היא העובדה כי בעת הפעלה וניתוק צרכן תחת מתח, נוצר זרם רגעי (Rush Current) הגבוה מזרם הפעולה הממושך של הצרכן.

לא רק הזרם המכסימאלי משמש גורם בבחירת המפסק. חשוב מאד לדעת כי למעגלי בקרה, בהם זורם זרם נמוך מאד, יש חשיבות לסוג חומר מגעי המפסק. למפסק ישנה גם הגדרה לזרם הניתוק המינימאלי והגדרה זו נובעת מחומר המגעים של המפסק. הטבלה הבאה קושרת בין זרם הפעולה המינימאלי של המפסק לבין החומר ממנו עשויים מגעי המפסק.

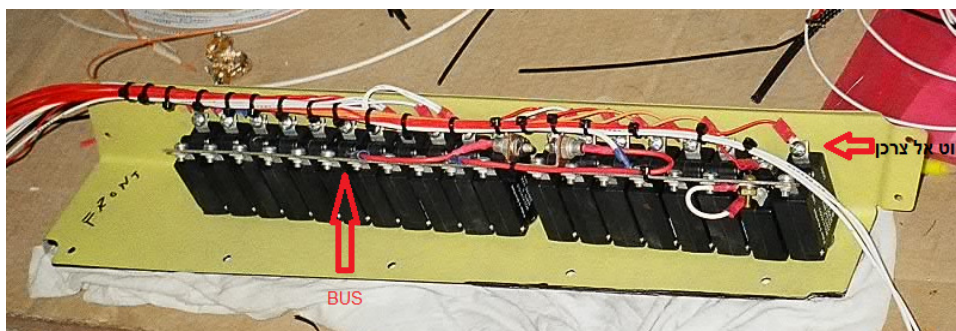
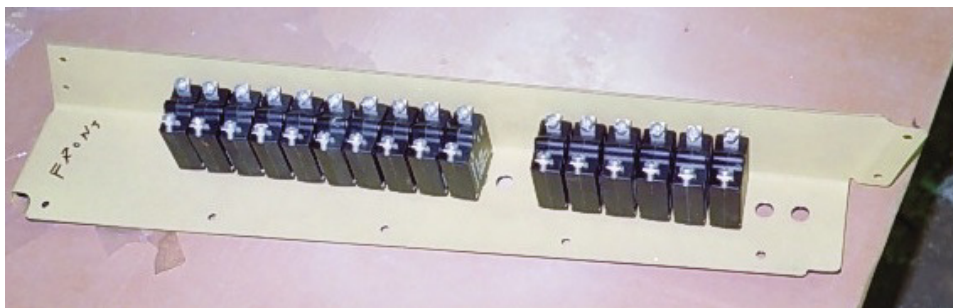


אמנם לא חשמל, אך פרקטיקה נכונה אומרת כי ידיות ההפעלה של המפסקים השולטים בפעולת הגלגלים והמדפים, רצוי שצורתן הפיסית תזכיר את המערכת הנשלטת על ידיהן - למפסק המדפים תהיה ידית שטוחה ואפקית ולמפסק הורדת הגלגלים תהיה ידית שבקצה גלגל.



איור ד'-3 - מפסק לבקרת כן הנחיתה ומפסק לבקרת המדפים

החוטים המזינים את מערכות החשמל של המטוס יוצאים מפס הצבירה, מקבלים את ההגנה הנדרשת באמצעות מאמ"תים (Circuit Breaker) או נתיכים ומשם ממשיכים דרכם למפסקים - היכן שיש צורך או ישירות אל הצרכנים השונים. מטעמי נוחות מומלץ לרכז את כל המאמ"תים בפאנל אחד, שאליו הם יורכבו באופן מכאני, באופן שניתן להשתמש בפס נחושת מחורר כפס הצבירה, אשר יוצמד אל צד אחד של כל המאמ"תים ומצדם השני של המאמ"תים ימשיכו החוטים אל הצרכנים.



איור ד'-4 - הרכבת המאמ"תים לפאנל וחיבור פס הצבירה את המאמ"תים וחוט הזנת הצרכנים

כמה מילים על תאורות במטוסים:

כאשר מטוס צריך לטוס טיסות לילה, נדרשות מספר תאורות:

1. אור נחיתה ואור הסעה (Landing and Taxi Light)
2. אורות ניווט (Position Lights)
3. אורות מניעת התנגשות (Anti Collision Lights)
4. תאורת תא ותאורת מכשירים

אורות הנחיתה וההסעה

משמשים, כשם, להאיר את נתיב הגלישה בזמן נחיתה ולהאיר את הדרך לפני המטוס, במהלך ההסעה.

שני אורות אלו משמשים גם לזיהוי המטוס בתוך האזור הטרמינאלי של שדה התעופה ובתנאי ראות ירודים.

לא תמיד ניתן למצוא את שני סוגי האורות וישנם המשתמשים באור אחד בלבד. (למטוס המיועד לטיסת מכשירים דרוש שיהיו לפחות שני פנסים).

פנס אור הנחיתה הוא פנס בעל הספק תאורה גבוה ורפלקטור המייצר אלומה צרה מאד אשר מקרינה את אלומת האור למרחקים של עשרות ואף מאות מטרים.

פנס אור ההסעה הוא פנס בעל אלומה רחבה שצריכה להאיר שטח נרחב שלפני המטוס ע"מ שניתן יהיה לראות מכשולים שעלולים להפריע למהלך ההסעה.

עד השנים האחרונות, מקור התאורה הייתה נורית להט (ליבון) שפעלה במתח העבודה של מערכות המטוס (12DCV or 24DCV). כפי שצוין קודם, מנורת להט מפיקה את האור ע"י חימום, עד להלטה, של סליל טונגסטן, אשר מפיק אור בתחום אורך הגל הנראה ($600 \times 10^{-10} \text{m}$) ובטמפרטורת צבע שבין 3000°K ל- 3500°K , שזהו אור "חם".

נורות להט מפיקות את האור בנצילות מאד נמוכה (היחס בין ההספק של האור לבין ההספק החשמלי המושקע) ולכן, ע"מ לקבל עוצמת תאורה גבוהה, נדרש הספק חשמלי גבוה ומאחר והמתח נמוך, נדרש זרם גבוה (באמפרים). ובנוסף. מאחר וסליל הלהט מגיע לטמפרטורות מאד גבוהות ואז, התנגדותו האוהמית היא ההתנגדות שנותנת את ההספק החשמלי הנומינאלי, הרי שלפני הדלקת הנורה, סליל הלהט קר ולכן התנגדותו האוהמית מאד נמוכה. משמעות הדבר, בזמן ההדלקה של הנורה, נצרך זרם גבוה מאד, עד ארבע פעמים ויותר, של זרם העבודה הנומינאלי, מה שמצריך שימוש במפסקים שזרם הניתוק שלהם גבוה פי כמה (ראה בטבלה של אפיון המפסקים) מזרם העבודה.

צריכת הזרם הגבוהה בהדלקה מקצרת את חיי הנורה כמו גם את חיי המפסק.

פתרון אלגנטי לבעיה זו, אפשר לתת ע"י חיבור של נגד במקביל למגעי המפסק. הנגד יחושב כך, שכאשר המפסק מנותק, עדיין יזרום 10% עד 20% מזרם העבודה הנומינאלי של הנורה. זרם זה ישמור את סליל הלהט חם (התנגדות גבוהה) ואז זרם ההדלקה יהיה גדול רק במעט מזרם הפעולה ובכך יימנע העומס על מגעי המפסק וגם הנורה תהיה חשופה פחות ל"שוק" של ההדלקה.

יש לשים לב לשני דברים בבחירת הנגד: האחד, התנגדות הנגד (שבחיבור הטורי עם הנורה, יזרים זרם של 10% עד 20% מזרם הנומינאלי של הנורה. והשני, ההספק המתפתח על הנגד יכול להגיע לכדי 5 עד 15 וואט, כלומר הוא מתחמם ולכן יש לדאוג למקומו במקום שהחום לא יזיק למערכות אחרות ובדרך כלל, כדאי לדאוג למפזר חום (Heat Sink) שיפזר את חום הנגד לסביבה.

השימוש בטכניקה זו יכול להאריך עד פי שלוש, את אורך חיי הנורה!



איור ד'-5 - אור נחיתה/הסעה. למעלה מימין - נורית להט. למעלה משמאל - פנס קסנון ומשמאל פנס מותקן בשפת התקפה

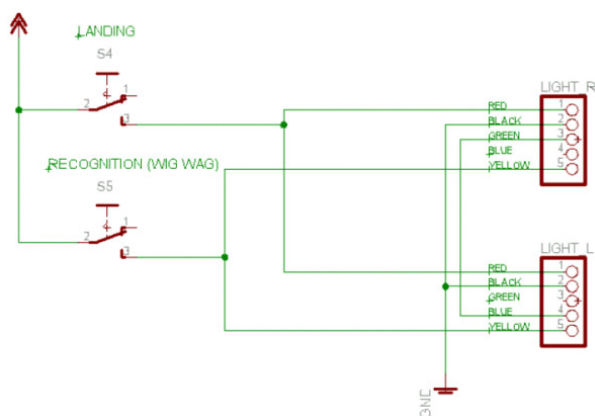
בשנים האחרונות, התפתחה מאד הטכנולוגיה של ה-LED's (דיודה פולטת אור) והיום נכנסו לשימוש פנסי תאורה המבוססים על לדים. לתאורת הלדים ישנן כמה תכונות העושות אותן מתאימות מאד לשימוש כמקור אור נחיתה והסעה. נצילות המרת האנרגיה של הלדים גבוהה עד פי חמש מזו של נורות הלהט. נורה של 11 וואט מספקת אותה כמות תאורה כמו נורת להט של 55 וואט! יש לציין כי בגלל הגודל הפיסי של מקור האור - קטן ביותר, ניתן ליעל את האופטיקה - הרפלקטור, ע"מ לקבל אלומה צרה בעלת חדירות למרחקים גבוהים מאד. כלומר, מתקבלת עוצמת תאורה ליחידת שטח גבוהה מאד.

טמפרטורת הצבע של הלדים המשמשות תעופה הוא בסביבות 4000°K עד 4500°K (קרוב יותר ללבן).

מאחר ואין מדובר בהתנגדות התלויה בטמפרטורה אין צורך לשימוש במפסקים מיוחדים למיתוג התאורה. תכונה זו, מאפשרת גם מיתוג מהיר של התאורה ובמספר מנורות כאלו הוכנסה יחידה המאפשרת לשלוח פקודה שתגרום למנורה להבהב לצורך זיהוי המטוס. והיתרון, אולי העיקרי, הוא אורך חיי הלדים, שיכול להגיע לכ-ארבעים עד חמישים אלף שעות עבודה! (נורת ליבון לא מוגנת יכולה להגיע לאורך חיים של כמה עשרות שעות ונורה מוגנת יכולה להגיע למאה עד מאתיים שעות)



איור ד'-6 - פנסי תאורת לדים. במרכז ובשמאל - פנסי לדים המיועדי להחליף 1 ל-1 פנסי להט



איור ד'-7 - מעגל מיתוג שתי לדים לתאורה רציפה ולהבהוב (WIG-WAG)

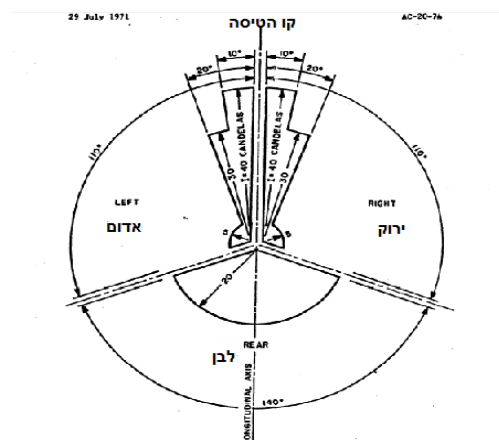
אורות הניווט

משמשים, לזיהוי מקורב של כיוון הטיסה של המטוס, ממטוס אחר.

דרישת הנראות של אורות הניווט היא:

כנף ימין - אור ירוק (קרוב לכחול) נראה מקו ישר קדימה מאף המטוס עד זווית של 110° אחורה וימינה.

כנף שמאל - אור אדום, נראה מקו ישר קדימה מאף המטוס עד זווית של 110° אחורה ושמאלה.
זנב המטוס, או קצות כנפי המטוס - אור לבן, נראה מזווית של 70° ימינה מקו הטיסה אחורה ועד זווית של 70° מקו הטיסה ושמאלה. בסה"כ זווית של 140° אחורה, סימטרי לקו האורך של המטוס.



איור ד'-8 - זוויות הנראות של אורות הניווט (עפ"י AC20-74)

זווית הנראות של אורות הניווט, בכל הכיוונים, מעלה 40° ומטה 40° . כמו אורות הנחיתה וההסעה, כך גם אורות הניווט היו עד השנים האחרונות עשויים מנורות להט. בשנים האחרונות נכנסו לשימוש אורות ניווט מבוססי לדים. מאחר לדים ניתנות לייצור במגוון צבעים וגוונים, ביניהם גם אדום וירוק, ניתן לקבל אורות ניווט כאשר מקור האור היא לד אדומה ולד ירוקה ואז להשתמש ב"עדשות" שקופות. השימוש בעדשות שקופות מאפשר הכנסת אור הנחיתה, אור הניווט ואור מניעת ההתנגשות, תחת חיפוי שקוף אחד, שיהיה בעל מבנה אווירודינמי להקטנת הגרר. היום כבר פנסים לדים מחליפים את פנסים תאורת הניווט, ניתן להשיג תאורת ניווט מבוססת לדים הן לתעופה אקספרימנטלית והן לתעופה מרושית.



איור ד'-9 - פנסים תאורת ניווט נורות להט (ימין - ירוק, אחור - לבן ושמאל אדום)



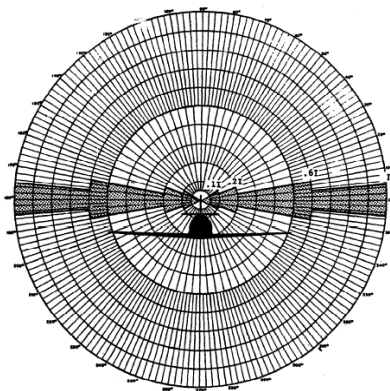
איור ד'-10 - פנס תאורת ניווט לדים (ימין - פנס ניווט צד שמאל TSO'd, משמאל - תאורת ניווט לדים ל-LSA)



איור ד'-11 - אור נחיתה ואורות ניווט מתחת לחיפוי אווירודינאמי שקוף בקצה כנף

פנסי מניעת התנגשות

Anti collision Lights. פנסים אלו נקראים בשפה עממית "נצנצים" או "Strobe Lights" והם, משמשים להגברת הנראות של המטוס בתנאי ראייה ירודים או בשעות הלילה. AC20-74 מגדיר את הזוויות שבהן ניתן לראות אורות אלו:



איור ד'-12 - זווית הנראות של אורות מניעת ההתנגשות במישור האנכי

במישור האופקי אורות מניעת ההתנגשות חייבים להראות מכל הכיוונים. קיימות טכניקות שונות ליצירת אורות מניעת ההתנגשות. הקלאסית והיותר נפוצה בתעופה המרושיינת, היא שימוש בנורות קסנון. נורות אלו הן נורות בנויות מ"צינור" זכוכית בצורת קשת או סליל, הממולא בגז קסנון (בלחץ נמוך). בשני קצות הצינור נמצאות אלקטרודות מתכת החודרות

פנימה, לתוך הצינור, אנוודה וקטודה. בצד הקרוב לקטודה, על גבי הצינור, מלוכף חוט מתכת דק הנקרא Trigger. הקטודה מקבלת את הצד השלילי של המתח והאנוודה מקבלת את הצד החיובי של המתח. הפרש הפוטנציאלים שבין האנוודה לקטודה הוא בסדר גודל של כמאתיים עד מאתיים וחמישים וולט. הפרש פוטנציאלים זה מיוצר בספק הממיר את מתח ה-DC של המטוס למתח הגבוה הנדרש ואוגר אותו בקבל.

מעגל מיוחד מייצר, אחת לפרק זמן ידוע, פולס מתח של כמה אלפי וולטים, ביחס לקטודה, ושולח אותו אל סליל ה-Trigger. השדה החשמלי שנוצר בין סליל ה-Trigger לבין הקטודה גורם ליינון הגז שבתוך הצינור ואז חלה התפרקות חשמלית (יינון) הפורקת את האנרגיה שנאגרה בקבל המתח הגבוה דרך הגז שבצינור. האנרגיה החשמלית שהייתה בקבל, בעוברה דרך הגז המיונן, מייצרת אנרגיית אור. עוצמת האור המופק בנורת הקסנון מאד גבוהה ונראית למרחקים גדולים מאד. פולס הטריגר מיוצר בפרקי זמן לא אחידים ע"מ למשוך תשומת לב מרבית. ישנן מערכות (בעיקר, אך לא רק) במטוסים גדולים, שבהן יש יותר ממנורת מניעת התנגשות אחת, שהפולסים המיוצרים בהן, מסונכרנים כך שכל הפנסים מאירים באותו הזמן וישנן מערכות בהן אורות מניעת ההתנגשות נדלקות עפ"י סדר מסוים ע"מ למשוך תשומת לב מרבית ממטוסים החולפים בסביבה.



איור ד'-13 - פנסי אור מניעת התנגשות: נורת קסנון, מנורת קסנון עם הספק עם אור ניווט לבן (לד) משולבים ביחידת קצה כנף ונורת קסנון משולבת עם אור ניווט שמאל ואחור ביחידת קצה כנף



איור ד'-14 - ספק מרכזי לתאורת מניעת התנגשות (Whelen)

הספק שבתמונה מתחבר לעד שלוש נורות קסנון ומדליק אותן בקצב X__X__X

("X" פולס אור, "-" רווח המתנה) וגם ניתן להגדיר את סדר התאורה בין שלוש הנורות השונות. בנוסף, ישנה אפשרות לסנכרן את התאורה עם מערכת שנייה (חיבור בין המחבר שבו רואים חוט מקצר, לבין ספק אחר). יש להדגיש כי בשימוש בספק מרכזי, יש צורך בשימוש בכבל מיוחד להעברת המתחים הגבוהים בין הספק לבין נורות הקסנון (פירוט יובא בהמשך).



איור ד'-15 - מערכת תאורת מניעת התנגשות מבוססת לדים והכוללת ספק ייעודי

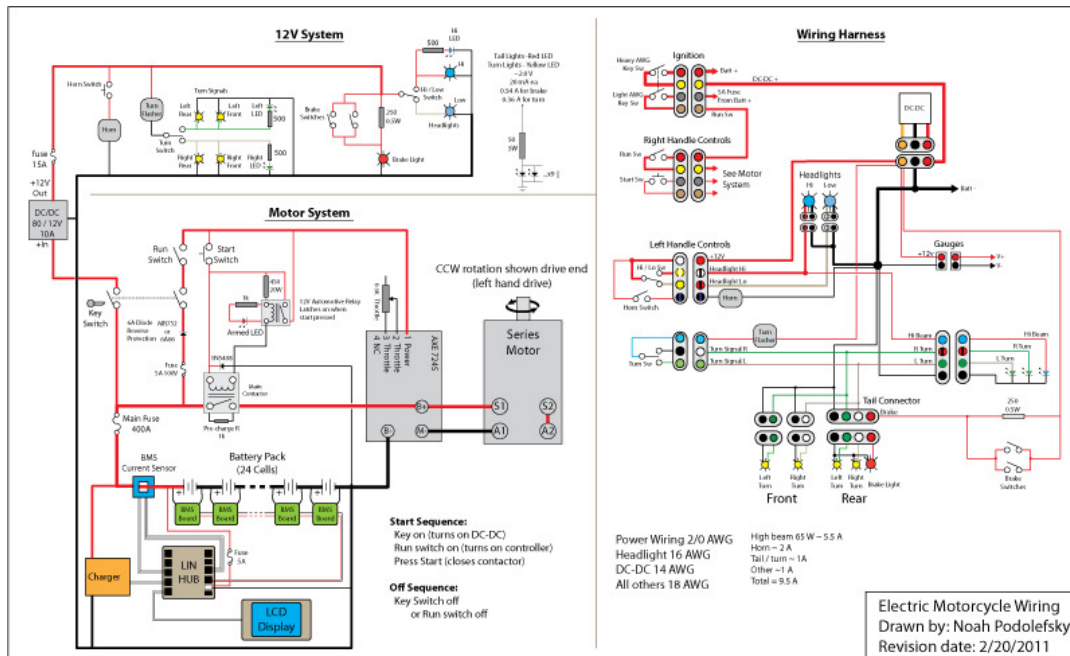
פרק ה' חוויות והטיפול בהם

כללי

הולכת החוויות ממרכזיית המאמ"תים אל הצרכנים היא ה"אומנות" של חיווט המטוס. החשמל יכול לזרום גם במערכת חשמל "מבולגנת", אבל, חיווט מסודר יקל מאד הן על עבודת ההתקנה, אבל ובעיקר על תחזוקת המטוס. שני אלמנטים יקבעו את איכות העבודה: **א.** סימון נכון, ברור ועמיד לאורך זמן של כל חוט וחוט. **ב.** ארגון החוויות בצמות והולכתן בצורה יעילה ובטוחה, שתמנע אפשרות של שפשוף ושחיקה (Chafing) של הבידוד ופגיעה בו, מה שעלול לגרום, עם הזמן למגע בין המוליך לבין גוף המטוס ולקצר חשמלי.

כל בונה צריך להחליט על שיטת הסימון המתאימה לו. בכל שיטת סימון, שתבחר, יש להקפיד על זיהוי נכון של כל חוט, מאין יצא ולאן הולך. התחלת ההתחלות של חיווט נכון היא הכנת שרטוט מפורט של מערכת החשמל ומתן מספר, שם או חיבור של שניהם לכל מקטע של כל קו (המייצג חוט) בשרטוט. קיימות מספר תוכנות שרטוט - *OrCad, AutoCad, Windows Visio* etc. כל אחת ויתרונותיה. בתכנת Orcad אפשר להפיק רשימה מסודרת של כל מרכיבי מערכת החשמל בטבלת רכיבים (BOM - Bill Of Materials), שניתן יהיה להיעזר בה לצורך תכנון הרכש וחישוב עלויות מערכת החשמל.

מומלץ לזהות את המוליכים עפ"י תפקידם או המעגל בו הם נמצאים. יש המוסיפים גם בשיטת הסימון שלהם את צד המקור ואת צד היעד. **אין זה משנה מה שיטה תיבחר, אך יש לשמור על אחידות ובעיקר על העיקרון כי כל חוט המסומן בשרטוט יישא את אותו הסימון גם במטוס!**



איור ה-1 - שרטוט חשמלי ותכנון צמה

בזמן פריסת החוטים במהלך הבנייה, אפשר להשתמש ב"מסקינג טיפ" עליו ייכתב בטוש לא מחיק הזיהוי של החוט, בכל אחד מקצותיו, אותו זיהוי שיוטבע על החוט לאחר הנחתו הסופית במטוס. יש לשים לב כי טבעו של ה"מסקינג טיפ" להתייבש וליפול עם הזמן ולכן, מומלץ להיעזר בשיטה זו רק אם לא יחלוף זמן רב מפריסת החוט עד חיבורו הסופי וסימונו הקבוע.



איור ה-2 - סימון החוט בשרטוט



איור ה-3 - סימון זמני באמצעות מסקינג טיפ



איור ה'-4 - פתקית "DYMO" להדבקה ע"ג החוט



איור ה'-5 - הפתקית מודבקת ע"ג החוט ועליה שרוול שקוף מכווץ בחום

חיבור קטעי חוטים (Splicing) יכול להיעשות בכמה דרכים:

א. הלחמה

ב. מחבר לחיצה

ג. מחבר סכין

הלחמה היא הדרך הפשוטה ביותר לחבר ולהאריך חוט. אולם, חיבור בהלחמה חייב לקחת בחשבון כי במקום ההלחמה, החוט כבר אינו גמיש. המעבר מקטע מוליך גמיש לקטע מוליך קשיח מהווה נקודת תורפה וכאשר המוליך ייחשף לרעידות תתקבל נקודת שבר. לכן, כאשר רוצים לחבר שני חוטים, זה לזה, בהלחמה, יש לחשוף את המוליך הפנימי באורך של כעשרה עד 15 מ"מ בשני קצות החוטים, להצמידם זה לזה ולשזור אותם אחד סביב השני. רק לאחר השזירה אפשר לבצע את ההלחמה וגם אז, ההלחמה לא תהיה לכל אורך השזירה, אלא, בערך שליש (האמצעי) מאורכה (אך יש להקפיד כי הבדיל יחדור לכל עומק השזירה). לאחר ביצוע ההלחמה יש לצפת את מקום ההלחמה, לפחות 1.5 ס"מ מכל צד, בשרוול בידוד מתכווץ ולכווצו באמצעות Heat-Gun. דרך נוספת לחיבור בהלחמה היא השימוש במחבר הלחמה ייעודי:

גם כאן יש לחשוף כשמונה מ"מ מקצות החוטים, להלביש על חוט אחד את המחבר הייעודי, להשחיל מצידו השני של המחבר את החוט השני ואז לחמם באמצעות Heat-Gun עד לקבלת התכה של הבדיל ולספיגתו במוליכים החשופים של המוליכים.



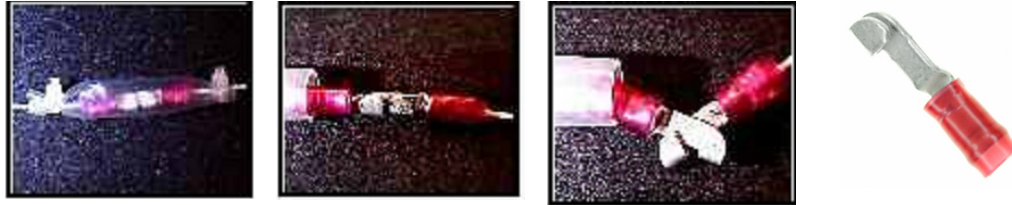
איור ה'-6 - א. חשיפת קצוות החוטים. ב. השחלת החוטים למחבר ההלחמה. ג. חימום עד להתכה של הבדיל

שיטה שנייה לחיבור חוטים היא השימוש **במחבר לחיצה**. יתרונה של שיטה זו היא הגמישות של החוט ובכך מניעת האפשרות של היווצרות "נקודת שבר" במקרה של רעידות. גם בשיטה זו יש לגלות כחמישה עד שמונה מ"מ של המוליך. את הקצוות החשופים משחילים לתוך מחבר לחיצה Double Crimp Splice ואז לוחצים באמצעות לוחץ ייעודי את המחבר בשני צידיו. לאחר הלחיצה יש לוודא כי הלחיצה נעשתה כראוי ולצורך כך יש למשוך את החוטים המחוברים בכוח של שנים עד שלושה ק"ג ולוודא שהחיבור אינו ניתק.



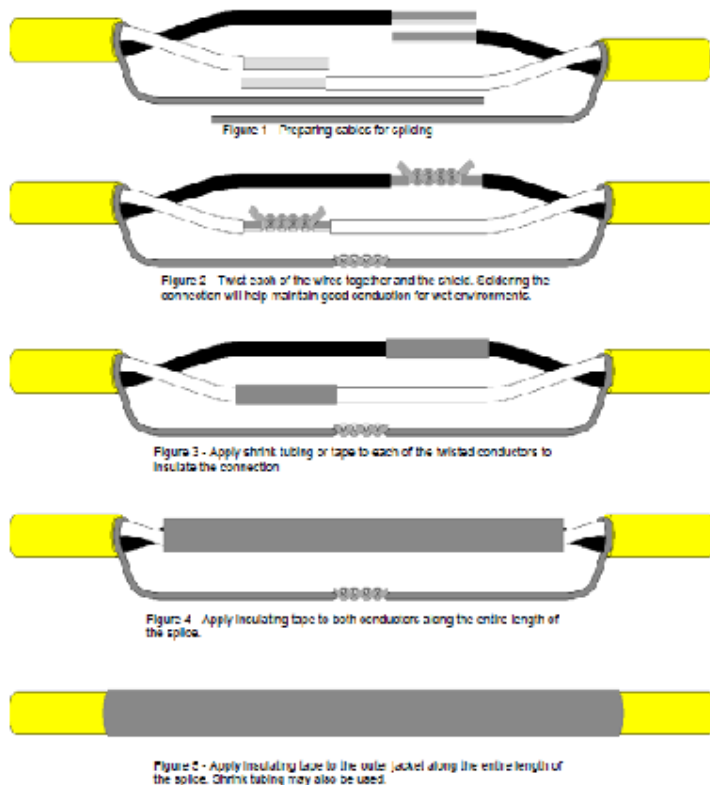
איור ה'-7 - מחבר לחיצה Mil Spec #7928/5

מחברי הלחיצה באים בשלושה גדלים: **אדום** - לחוטים בעובי AWG 18/22, **כחול** - לחוטים בעובי AWG 14/16 ו**צהוב** - לחוטים בעובי AWG 10/12. חיבור ההלחמה וחיבור הלחיצה, משמשים לביצוע חיבור קבוע (בדרך כלל, להארכת חוט קצר) אולם, לפעמים, יש צורך בחיבור שניתן לנתקו, לצורכי תחזוקה. במקרה זה ניתן להשתמש במחברי סכין. **במחבר סכין**, מחברים, בלחיצה, כל קצה חוט לחלק אחד של מחבר הסכין ולאחר מכן משלבים את שני חלקי המחבר, זה בזה, ולבסוף, מצפים את החיבור כולו בשרוול מתכווץ, אשר משמש הן לבידוד והן לאבטחת החיבור שלא ישתחרר.



איור ה-8 - מחבר סכין - חלק אחד, שילוב שני חלקים, נעילת שני החלקים וציפוי בשרוול מתכווץ

בדרך כלל חיבור מכשיר, או צרכן, למערכת החשמל של המטוס יהיה באופן שניתן לנתקו, לצורך תחזוקה או החלפה.



איור ה-9 - תהליך חיבור בין שני חוטים מסוככים

ע"מ לחבר שני חוטים מסוככים זה אל זה, יש לפעול עפ"י הסדר שלהלן:

א. גילוי וחיתוך החוטים.

ב. חיבור פיזי של הקצוות המגולים (יכרו - הלחמה טובה זו הלחמה שאינה צריכה בדיל!) והלחמתם זה לזה.

ג. ציפוי המוליכים המולחמים בשרוול מתכווץ (את השרוול יש להלביש על החוטים לפני חיבורם זה לזה)

ד. ציפוי המוליכים הפנימיים בשרוול מתכווץ.

ה. חיבור, ושזירה של הסיכוכים של שני הכבלים זה לזה **והלחמתם**.

ו. ציפוי כל אזור ההלחמה וכיסוי 2 ס"מ מכל צד, בשרוול מתכווץ.

מחברים - Connectors

חיבור חוט לצרכן או למכשיר, ניתן לעשות במספר דרכים.

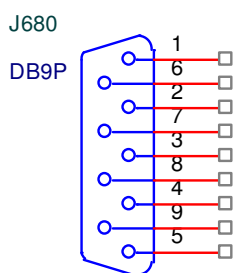
א. מחבר ייעודי

ב. נעל כבל

ג. טרמינל בלוק

ישנם מכשירים המגיעים עם מחבר ייעודי המתאים למכשיר. במחבר הייעודי נשלף מהמכשיר אליו מחברים את החוטים השונים ולאחר חיבור החוטים מחברים את המחבר אל המכשיר. ניתן למצוא סוגים שונים של מחברים ייעודיים, לכל יצרן ישנן העדפותיו שלו ולכן מגוון המחברים רחב מאד.

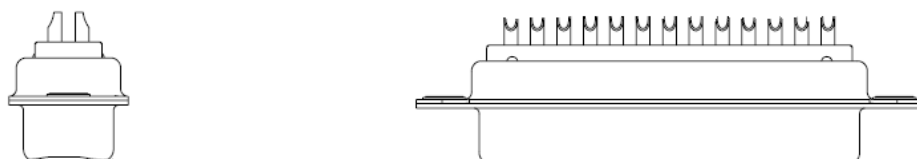
בשנים האחרונות, עם התפתחות התעופה האקספרימנטאלית בכלל והמטוסים הבנויים ע"י חובב (שאינם בעלי תעודת סוג TC), חל זינוק אדיר במגוון מערכות האוויוניקה והחשמל, המוצעות לבונה ויצרנים רבים בוחרים להשתמש במחבר מסוג **D-TYPE** (מגיע במספר הרכבים של פינים: 9 פינים, 15 פינים, 25 פינים, 37 פינים וחמישים פינים).



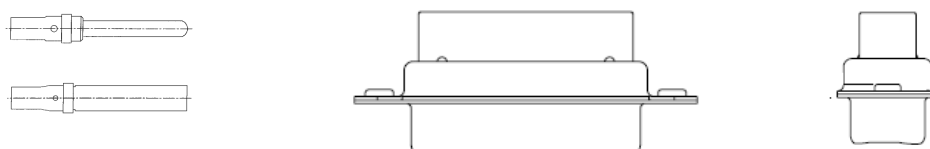
איור ה-10 - מחבר D-TYPE 25 פינים זכר (בשרטוט - מחבר 9 פינים)

הבחירה בין מחבר זכר או מחבר נקבה, תלויה בשיקולי היצרנים וכל אחד מחליט מה יבוא בצד המכשיר ומה יהיה סוג המחבר אליו מתחברים החוטים ממערכת המטוס.

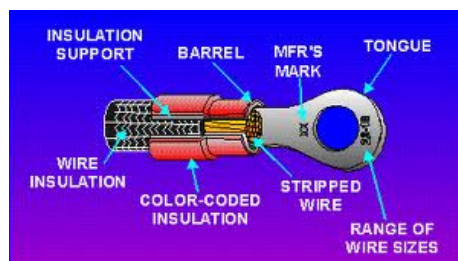
חיבור החוטים למחברים אלו, יהיה בשתי שיטות: **הלחמת החוטים** לפינים היצוקים בגוף המחבר ו**לחיצת החוטים** לפינים והשחלת הפינים לגוף המחבר. שיטת הלחיצה נפוצה יותר במחברים איכותיים, שהפינים שלהם חרוטים (בדרך כלל עשויים ברוזנה ומצופים זהב). שיטת ההלחמה נפוצה במחברים שהפינים שלהם עשויים פח מכופף (חלקם מצופים זהב וחלקם מצופים בדיל) ובדרך כלל, אלו מחברים באיכות פחותה מאשר אלו המשתמשים בפינים חרוטים.



איור ה'-11 - מחבר D-TYPE פינים להלחמה



איור ה'-12 - מחבר D-TYPE פינים ללחיצה

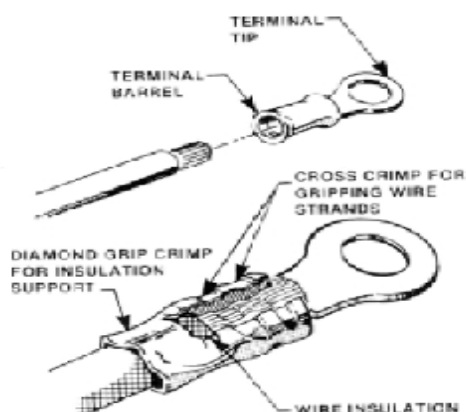


איור ה'-13 - נעלי כבל לחיצה

נעלי כבל

משמשות בחיבור חוטים לאביזרים שהתחברות אליהם נעשית באמצעות ברגים. נעל כבל מאופיינת בשני נתונים: עובי החוט אליה היא מתחברת וקוטר הבורג של האביזר. עובי החוט מוגדר ע"י שלושה צבעים: **אדום** - לחוטים בעובי AWG 18-22, **כחול** - לחוטים בעובי AWG 14-16 ו**צהוב** - לחוטים בעובי AWG 10-12. קוטר הבורג מכתוב את גודל החור של הבורג והוא מתאים למספר קטרי ברגים. המידה היא עפ"י השיטה האמריקאית להגדרת קוטר הבורג (מס' 6, מספר 8, מספר 10 (3/16"), 1 1/4" ו- 5/16" ו- 3/8").

את נעלי הכבל מצמידים אל החוט באמצעות **לחיצה** (Crimp). לחיצת נעל הכבל אל החוט נעשית באמצעות מכשיר לחיצה ייעודי - **אין להשתמש בכלי שאינו מיועד לכך!** ברוב המקרים, מכשיר הלחיצה מאפשר לחיצת נעל הכבל בכל שלושת הגדלים, כאשר, ליד כל חוט ישנו סימון בצבע המתאים לקוטר החוט.



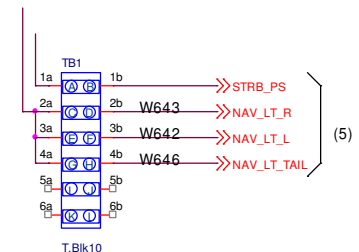
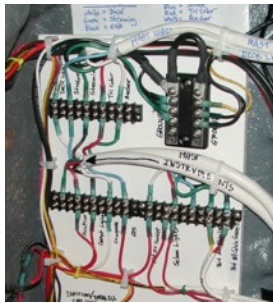
איור ה'14 - לוחץ נעלי כבל - מתאים לנעלי כבל, מחברי חוטים וכבלי קואקס

לאחר לחיצת נעל הכבל, יש לבדוק את איכות הלחיצה ע"י משיכת החוט מתוך נעל הכבל. חיבור נעל הכבל אל החוט, בהתקנות נייחות, יכול להחזיק מעמד גם אם לא נעשה כשורה, אבל קיימת דרישה הלקוחה מהתקנים הצבאיים, כמו גם מהניסיון שנצבר, שהחיבור יהיה תקין ויחזיק מעמד לאורך שנים, אם במשיכת החוט בכוח, עפ"י הטבלה הבאה, החוט לא ייתלש, החיבור יחזיק מעמד לאורך שנים רבות ואיכות המגע החשמלי תהיה כנדרש.

יחזיק משיכה בכוח של לפחות:		עובי החוט (AWG)
ק"ג	ליברות	
6.83	15	22
8.65	19	20
17.30	38	18
22.75	50	16
31.85	70	14
50.00	110	12
68.25	150	10

השימוש בטרמינל בלוק נעשה במקומות שבהם רוצים לחבר חלק "פריק" מהמטוס (למשל, כנף) מגוף המטוס.

אמנם אפשר להשתמש במחבר ייעודי, אך רבים מעדיפים שימוש בטרמינל בלוק אשר בצידו האחד מתחברים החוטים המגיעים מגוף המטוס ומצידו השני - החוטים המגיעים מהכנף. החוטים מתחברים אל הטרמינל בלוק ע"י ברגים ולכן, כל חוט מסתיים בנעל כבל מתאימה. הטרמינל בלוק מוצמד לגוף המטוס באמצעות מספר ברגים (בדרך כלל - ארבעה) ומתחתיו יש לשים חומר מבודד רך (גיליון פלסטי) עליו ניתן למספר את הברגים לצורך זיהוי המעגלים. חשוב מאד לשים טיפת "לוק-טייט" (Locktite) על תבריג הברגים ע"מ למנוע התרופפות החיבור עם הזמן, עקב רעידות מתמשכות.



איור ה'-15 - טרמינל בלוק

לפעמים, משאירים חוט רזרווי שאינו מחובר לאביזר כלשהו, אלא נשאר עבור חיבור עתידי של אביזר, או מכשיר כלשהו. ע"מ למנוע שהמוליך של החוט ייגע, בטעות בנקודה שיש לה פוטנציאל חשמלי, נהוג לסגור את קצה החוט ע"י "מכסה לחיצה". גם מכסה הלחיצה מגיע בשלושה גדלים עפ"י קוד הצבעים של נעלי הכבל.



איור ה'16 - סיומות "מכסה לחיצה"

בחיווט כבל בין ספק תאורת מניעת התנגשות מרכזי, לבין נורות הקסנון, יש לקחת בחשבון מספר גורמים:

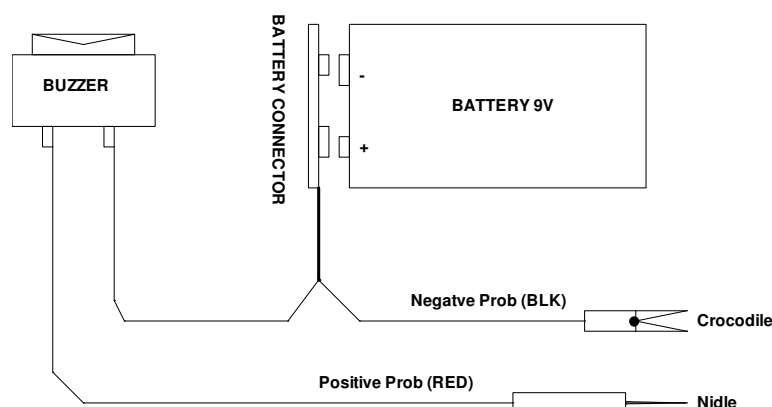
בחוטים שבכבל עובר מתח גבוה מאד (בין האנודה לקטודה מתח של עד מאתיים וחמישים וולט וחוט ההצתה - מתח שיכול להגיע עד לכ-עשרת אלפים וולט - פולס). המתח הגבוה מחייב שימוש בכבל המתאים לעמידה במתחים אלו והעובדה כי בכבל מעבירים מתח גבוה בפולס, יכולה לגרום להפרעות במערכת הקשר. לכן, יש להשתדל להרחיק, ככל הניתן את הכבל מסביבת דלק (מיכלים וצנרת) וכן יש להשתמש בכבל מסוכך ולהרחיקו, ככל הניתן מכבלי הקואקס של אנטנות הקשר.

צלצול חוטים

זוהי טכניקה לאיתור חוטים בתוך צמות או בתוך מערך חוטים סבוך. מדובר בשימוש במכשיר פשוט, שבעזרתו בודקים רציפות אוהמית של חוט. בעיקרון, מדובר במכשיר שיכול להוות מד התנגדות פשוט, המשמיע צליל, כאשר ההתנגדות הנמדדת נמוכה מערכת ידוע - פונקציה הקיימת כמעט בכל מכשירי ה-DVM, רב-מודד ספרתי. במדידה זו נוגעים בשני קצות החוט ואז, אם הם, באמת, שני קצות חוט אחד, יישמע צפצוף. אפשר, אמנם, להשתמש במכשיר קנוי, אך כל אחד יכול לבנות לעצמו, במחיר זעום, מכשיר פשוט ונוח לשימוש. יתרון נוסף של המכשיר הבנוי הוא האפשרות שהוא נותן, לבדוק גם דרך הבידוד של החוטים.

כל מה שנדרש לבניית המכשיר, הם הפריטים הבאים: לוח פרטינקס מחורר (רצוי, כזה שיש בצידו האחורי פסי נחושת), סוללה של 9 וולט, מחבר לסוללה 9 וולט, צפצפה אלקטרונית או זמזם למתח של 12 וולט, זוג חוטים, (אדום ושחור) באורך של כמטר עד מטר וחצי כל אחד, "קרוקודיל" המתחבר לחוט המדידה השחור ו"פרוב" מאולתר העשוי מחט תפירה המחוברת אל אחד מחוטי המדידה באמצעות מהדק חשמל מס' 2.

השרטוט הבא מראה את אופן חיבור כל מרכיבי ה"מכשיר":



איור ה'17 - בודק רציפות - בנייה עצמית

המכשיר שבציור למעלה, מאפשר בדיקת רציפות של חוט ו/או מעבר חשמלי בין חוטים. כאשר רוצים לוודא כי חוט מסוים מתחיל בנקודה "א" ומסתיים בנקודה "ב", מחברים את הקרוקודיל לנקודה "א" ונוגעים עם הפרוב בנקודה "ב". אם, אכן, אלו הם שני קצותיו של אותו החוט, הצפצפה תשמיע צליל. כך גם, אם שני חוטים מקוצרים ביניהם. כאשר נוגעים בקצהו של חוט אחד ואם חוט זה מקוצר לחוט שני, נגיעה באחד מקצותיו של החוט השני תשמיע צליל ופירושו של דבר שהחוטים מקוצרים ביניהם.

היתרון של השימוש בפרוב "המחט" היא האפשרות לנעוץ את המחט דרך הבידוד של החוט ובכך לוודא ולאחר חוט בתוך צמה של חוטים או בתוך סבך של חוטים. לאחר הוצאת המחט, הבידוד "חוזר לעצמו" ואינו נפגע.

ניתן להשתמש במכשיר גם לזיהוי חוטים המתחברים בצמה למחבר. כאשר מייצרים כבל ובו שני מחברים משני צידיו, מחברים את כל החוטים למחבר בצד אחד ואחר-כך "מצלצלים" את החוטים: מחברים את הקרוקודיל חוט כלשהו ומחפשים את הפין במחבר ש"מצלצל", זהו הפין שאליו מחובר החוט. כך ניתן, בקלות רבה, לזהות את החוטים, גם אם כולם באותו הצבע.

פרק ו'

צמות - Bundles

כללי

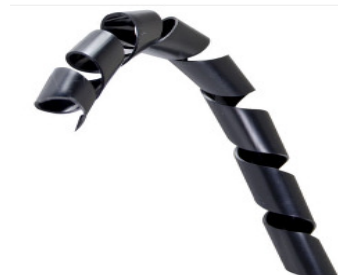
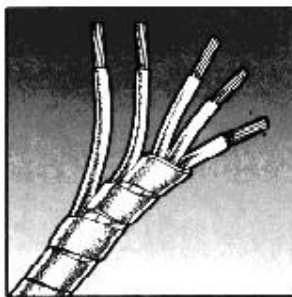
הולכת החוטים בין מקור הזרם (אמצעי הגנה - מאמ"ת או נתיך או מפסק) אל הצרכן, רצוי שתעשה במסלול הקצר ביותר האפשרי, אבל, באופן מעשי, מרכזים מספר חוטים ההולכים בתוואי נתון ל"צמה" (Bundle) אליה ניתן לצרף, או לפצל, במקטעים שונים, חוטים נוספים. במהלך פריסת החוטים וצירופם לצמות, כדאי להשתמש ב"אזיקונים" (Tie-Wraps), שניתן לרכוש בכל חנות לציוד טכני ואפילו כדאי להשתמש בזולים ביותר. במהלך החיווט, מוסיפים או גורעים חוטים ובכל פעם חותכים את האזיקונים ומשתמשים בחדשים. כאשר הצמה סופית, חותכים בכל פעם אזיקון ישן ומחליפים אותו באזיקונים איכותיים, כדוגמת 4-CTN (10 ס"מ אורך) או CTN-6 (16 ס"מ), אותם ניתן לרכוש בחנויות (בחו"ל) המוכרות ציוד חשמל למטוסים. למשל:

Aircraft Spruce -

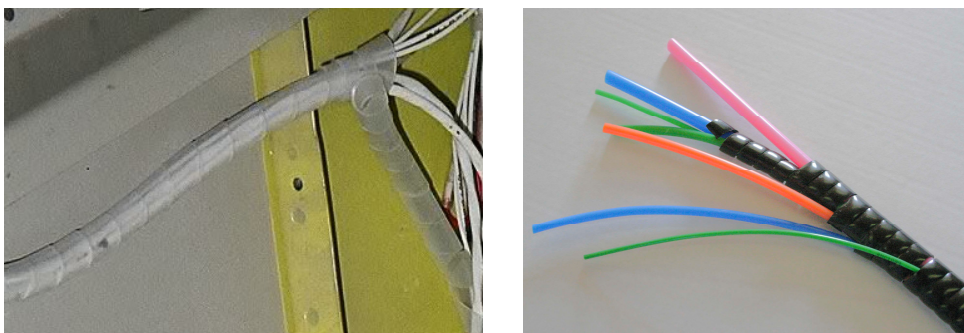
<http://www.aircraftspruce.com/search/search.php?s=TIE+WRAPS&x=0&y=0>

צריך להדגיש כי הקשירה הסופית של הצמה צריכה להיות הדוקה, אך לא לוחצת במידה שתפגע בבידוד החוטים.

אפשרות נוספת לאיסוף חוטים לצמה, היא שימוש בניילון ספיראלי המלופף על הצמה ומקנה לה מראה אסטטי ויפה.



איור ו'-1 - ניילון ספיראלי לקשירת צמות



איור ו'-2 - קשירת צמה באמצעות ניילון ספיראלי

יש הנוהגים לסמן גם את הצמות בתווית זיהוי, אבל, מי שעושה זאת, כדאי שיזכור כי חוט מסוים יכול לעבור במספר צמות ואז יהיה קשה לזהות את התוואי שבו הוא עובר. כאשר יש להעביר מספר חוטים לאורך תוואי ישר, וכאשר לכל אורך התוואי אין חוטים נוספים, המצורפים, מומלץ להעביר את החוטים דרך צינור הולכה. השימוש בצינור מאפשר הוספה עתידית או שליפה של חוטים. למשל, בין שורש הכנף לקצה הכנף מומלץ להעביר את החוטים המשמשים לאורות הניווט והנצנץ דרך צינור הולכה ובכך להבטיח כי חוט או חוטים לא "יסתבכו" במערכת הניהוג של המאזנות והמדפים. כמובן שבעתיד, אם יהיה צורך להחליף חוט או להוסיף חוט הדבר יוכל להיעשות בקלות, למרות שאין גישה לחוטים לכל אורך תוואי הולכתם בתוך הכנף. צינור ההולכה יכול להיות עשוי אלומיניום או פלסטיק. במקרה של שימוש בצינור פלסטי, יש לבחור כזה שמוצר מחומר מעכב בעירה.

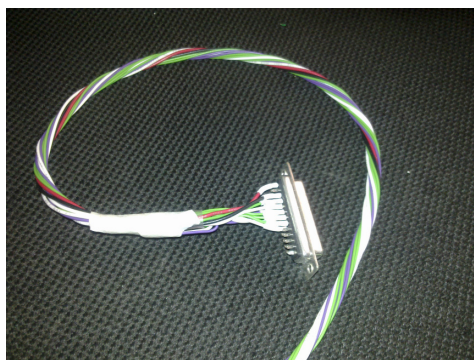


איור ו'-3 - צינורות הולכה פלסטיים חצי גמישים

לעיתים, רוצים להעביר צמת חוטים בין חלקים שאינם קבועים בצורה קשיחה זה לזה. במקרה זה ניתן ורצוי להשתמש בשרוול ארוג גמיש, דרכו מעבירים את החוטים, כאשר אינם קשורים זה לזה, ובכך מתאפשרת תנועה חופשית של החוטים בתוך הצמה ובתוך השרוול הגמיש. שיטה נוספת לקבלת גמישות, היא שזירת החוטים עפ"י כיוון הפיתול הטבעי של החוטים. שזירת החוטים בצורה זו מצריכה סבלנות ואין להשתמש במקדחה לביצוע השזירה. אולם, יש לקחת

בחשבון כי צמה שזורה מקשה מאד על הוספה עתידית של חוטים, אם הוכנסה לתוך שרוול ארוג גמיש.

למרות חסרון זה, לשזירת חוטים לצמה יתרון רב בגמישות הרבה המתקבלת, דבר, שמאפשר שימוש בה במקומות בהם נדרשת תנועה בין חלקים שונים של המטוס (למשל, אם מנוע סרוו מותקן במשטח היגוי - מאזנות, הגה כיוון או הגה גובה)



איור ו'- 4 - "צמה" מלופפת

יש להשתמש בשרוול העשוי ניילון אך ורק במקומות שאינם מתחממים ו/או קרובים לחלקים חמים. השרוולים הגמישים באים בקטרים שונים ובצבעים שונים.



איור ו'- 5 - שרוול ארוג גמיש

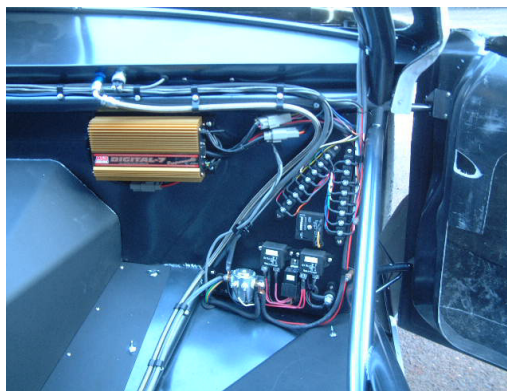
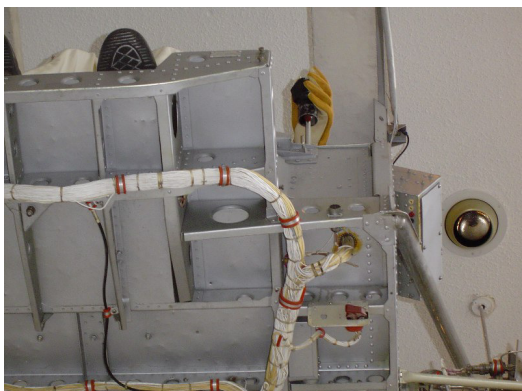
השרוול הגמיש מגיע בקוטר התחלתי מסוים וכאשר משחילים בתוכו את החוטים ניתן להגדיל את הקוטר ע"י "קירוב קצותיו זה לזה. עזיבת הקצות תאפשר לשרוול להתכווץ עד לקוטר המתאים לעובי הצמה כולה.

מאחר וככל שקוטרו של השרוול מוגדל מערכו ההתחלתי, אורכו של השרוול מתקצר ויש לקחת זאת בחשבון בתכנון אורכו ההתחלתי.

קצות השרוול נוטים להתבדר ולכן רצוי, בזמן החיתוך של השרוול, "לצרוב" באמצעות מלחם חם את הסיבים בחופשיים ובכך להדביקם זה לזה ואז קצות השרוול לא ייפרדו.

לאחר השחלת כל החוטים בצמה (מומלץ להוסיף עוד חוט אחד, או שניים אשר יכולים לשמש כחירוה לשימוש עתידי), רצוי לשים שרוול מתכווץ בחום בשני קצות הצמה ולכווץ (יש לשים לב שלא לחמם את השרוול המתכווץ עצמו, ע"מ שלא להתיך את הסיבים שלו).

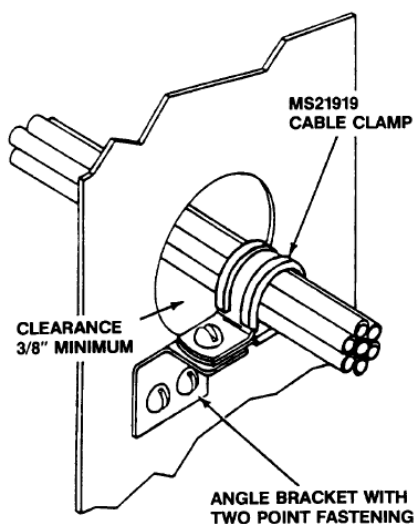
כמובן, שאת השרוולים המתכווצים בחום צריך לשים ע"ג השרוול הגמיש לפני השחלת החוטים בו!



איור ו'6 - הולכת צמות בתוואים שונים

העברת צמות דרך חציצים

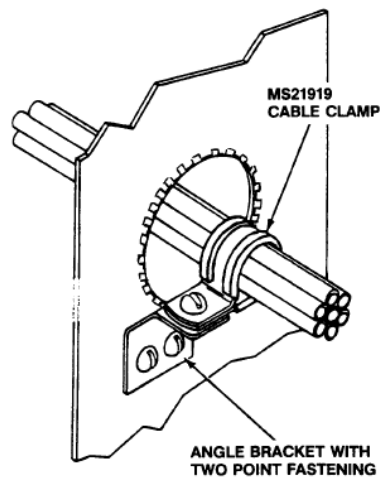
כאשר מוליכים צמות דרך חציצים, יש לוודא כי קוטר החור יהיה גדול מעובי הצמה. המרחק בין קוטר החיצוני של הצמה לבין הקוטר הפנימי של החור (או הפתח) לא יקטן מעשרים מ"מ. הצמה תוצמד אל החציץ באמצעות תומך זוויתי (יכול להיות מסומרר קבוע אל החציץ) אליו יחובר, באמצעות בורג ואום נעילה עצמית ותפס (Clamp) מרופד שאוחז את הצמה מכל עבריה.



A. CUSHION CLAMP AT BULKHEAD HOLE.

איור ו'7 - הולכת צמות דרך חציץ

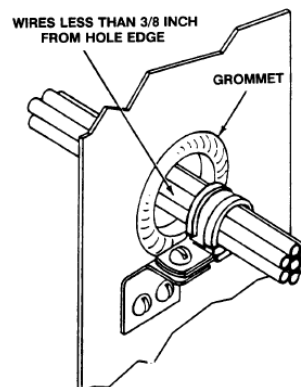
שולי החור (או הפתח דרכו עוברת הצמה) יצופו ע"י מגן פלסטי ("טרקטור") ע"מ למנוע אפשרות חיתוך בידוד חוטים שבצמה.



C. CUSHION CLAMP AT BULKHEAD HOLE WITH MS21266 GROMMET.

איור ו-8 - הולכת צמות דרך חציץ כאשר שולי החור מצופים דיפון "טרקטור"

כאשר קוטר החור מוגבל, והמרחק בין שולי החור מרוחקים פחות מ- 100 מ"מ מקוטרה החיצוני של הצמה, יש להשתמש בדיפון שולי החור באמצעות "גרומט" מגומי או מפלסטיק (Busing).



B. CUSHION CLAMP AT BULKHEAD HOLE WITH MS35489 GROMMET.

איור ו-9 - הולכת צמות דרך חציץ כאשר שולי החור מצופים דיפון "גרומט"



איור ו-10 - גרומט גומי וגרומט פלסטי "בושינג" Bushing

תוואי הולכת הצמות

במקומות שבהם נדרש "כיפוף" צמת חוטים, הכיפוף ייעשה בצורה מעוגלת ברדיוס מינימאלי השווה, לפחות, עשר פעמים קוטר החוט העבה ביותר בצמה.

כמה כללי יסוד שצריך לזכור:

א. אין להוליך צמות במקביל לצנרת דלק או חמצן.

ב. במקרה של הולכת צמה ליד קצה פח, יש לוודא "ריפוד" הפח באופן שלא ייוצר חיכוך שעלול לשפשף את בידוד הצמה ולפגוע בו.

ג. אין להוליך צמות ליד אלמנטים חמים (אגוז וחלקים חמים של המנוע).

ד. בכל מקרה, בעת תכנון תוואי הולכת צמות, יש להימנע מהולכתן במקומות וליד אביזרים שעם הזמן, עלולים לגרום לשפשוף ופגיעה בבידוד של חוטים בצמה.

הולכת צמות תהיה, בדרך כלל, לאורך קירות או חציצים.

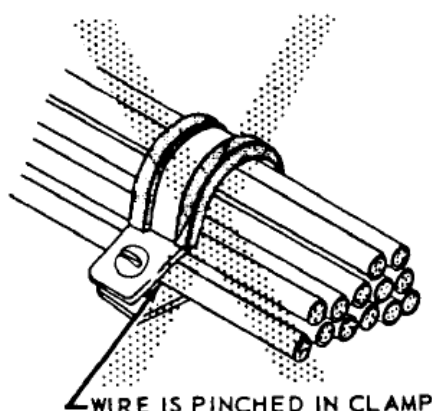
תמיכת הצמות

הצמה תוצמד לקיר ע"י "חבקים מרופדים" (Clamps), שהם חבק מתכת (בדרך כלל, עשוי נירוסטה) המרופד בגומייה להגנה על החוטים האגודים בצמה. את החבקים מצמידים לקיר באמצעות בורג בעל ראש רחב (וחרץ למברג שטוח) המושחל לחבק מצד הצמה ומאובטח לקיר באמצעות בורג ודיסקית.



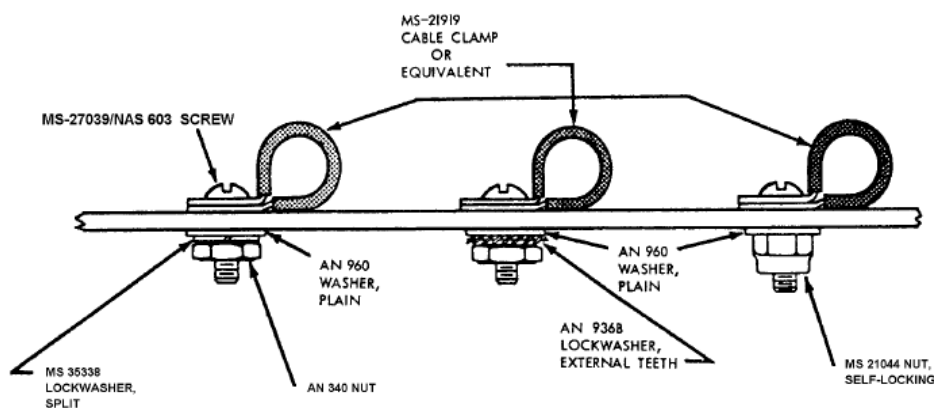
איור ו-11 - חבק מרופד MS-21919 Cable Clamp

החבק בא בגדלים שונים המתאימים לקוטר החיצוני של הצמה.
 המספר הקטלוגי MS21919WDG6 מגדיר את החלק, כאשר הספרה האחרונה (בדוגמה - 6, מתאימה לקוטר צמה חיצוני של **8 מ"מ**) (החבקים הללו מתאימים גם להצמדת צנרת - דלק, לחץ אוויר או הידראוליקה).
 יש להדגיש כי על החבק להיות מתאים בגודלו לקוטר החיצוני של הצמה, כך שהוא יהדק אותה אך בשום אופן לא ימחץ את החוטים.



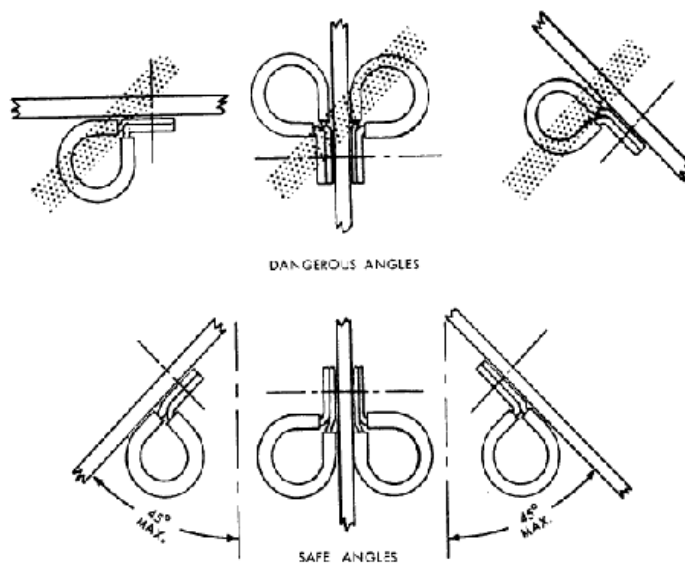
איור ו-12 - הידוק לא נכון של חבק סביב הצמה

באיור הבא ניתן לראות שיטות שונות להצמדת חבק מרופד אל הקיר. הבורג יצמיד את שני קצות החבק, כשהם סגורים עד הסוף ומקבילים זה לזה, אל הקיר מבלי שיעוות אותם ומבלי שיווצר לחץ יתר על החוטים בצמה.



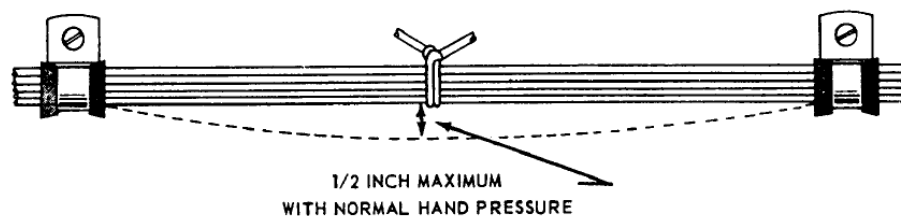
איור ו-13 - שיטות הצמדת חבק מרופד לקיר ושימוש באום נעילה

אם הקיר אינו אופקי, יש להתקין את החבקים באופן שמשקל הצמה לא יפעל בכיוון "פתיחת החבק ולא באופן שישאף לעוות את צורתו.
 האיור הבא מראה את המותר והאסור בהצמדת חבק מרופד לקיר שאינו אופקי.
 שלושת הציורים העליונים אסורים בשימוש ואלו שלמטה נכונים.



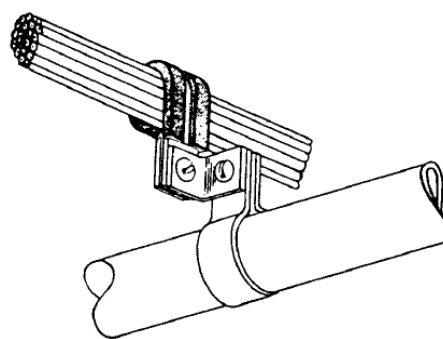
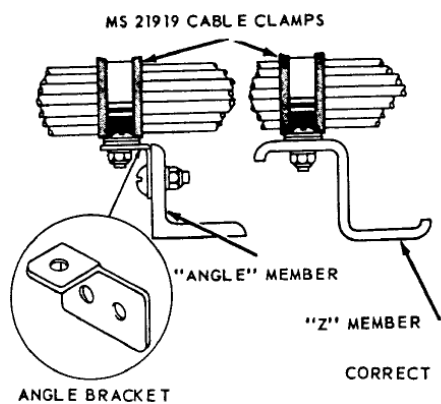
איור ו'- 14 - כיוונים אסורים ומותרים בהצמדת חבקים לקיר

החבקים יוצמדו לקיר, ככל האפשר, במרחקים שווים והמרחק ביניהם יהיה כזה, שהצמה הנתמכת בהם תובל בקו ישר ולחיצה ביד, בכוח סביר, תיצור קשת הקטנה מ-10, עד 13 מ"מ. כמובן שהמרחק תלוי בקוטר החיצוני של הצמה. ככל שהקוטר יגדל, כך יגדל המרחק בין החבקים.



איור ו'- 15 - מרחק נכון בין חבקים

לא תמיד עומד לרשות הבונה קיר לתמיכת הצמה. לעיתים יש לתמוך את הצמה אל צינורות עגולים. למשל במטוס שגופו עשוי שלד פלדה או באזור המנוע, שם נושא המנוע עשוי צינורות פלדה. במקרים אלו, מומלץ להשתמש בשני חבקים האוחזים זה בזה: האחד מוצמד אל הצינור והשני עוטף את הצמה. אם הצמה מולכת לאורך הצינור, החבקים יוצמדו ישירות זה לזה ואם הצמה עוברת בניצב לצינור, יש להשתמש בזוית מתכת שתחבר בין שני החבקים.



איור ו-15 - הצמדת צמה לצינור (הצמה ניצבת לצינור) והצמדת חבק לאורכן (Longhorn)

פרק ז' הארקות

כללי

המעגל החשמלי מבוסס על העיקרון של מקור מתח המחובר אל הצרכנים בשני חוטים: חוט המביא את המתח אל הצרכן וחוט המחזירו למקור. בתעופה מקובל כי החוט המחזיר יהיה החוט השלילי. מקובל לקרוא לו "המוליך המשותף" או, במטוס עשוי מתכת - "הארקה". אחד היתרונות של מטוס הבנוי מתכת (אלומיניום), הוא האפשרות להשתמש בגוף המטוס בתור "המוליך המחזיר". במטוסים עשויים חומרים מרוכבים, אין ברירה, אלא להשתמש בחוט כבמוליך המחזיר. אולם, למרות היתרון של המטוס העשוי מתכת, גם לו יש מגבלות, שיש להתחשב בהן ולתכנן את ההארקה כנדרש. למרות שההתנגדות האוהמית של גוף המטוס נמוכה, עד זניחה, בכל זאת קיימת התנגדות מסוימת, שביזרום דרכה זרם, מתפתח הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות על גוף המטוס. נכון, הפרש פוטנציאלים זה נמוך מאוד (יכול להיות בסדר גודל של מילי-וולטים בודדים) אבל, למערכות האוויוניקה הפרש פוטנציאלים זה מפריע ויכול לשבש את פעולתן (רעש במערכות השמע - הרדיו והאינטרקום וקריאה מזויפת ולא יציבה של נתוני המנוע הנקראים במכשירים אלקטרוניים או ע"י ה-EFIS).

חשוב להדגיש כי הארקה טובה מונעת "צרות" רבות במערכת

החשמל!

כדי למדוד את ההתנגדות בין צרכן כלשהו לבין מקור המתח, מחברים מד זרם בין הקוטב החיובי של מקור המתח (למשל, המצבר) לבין כניסת המתח החיובית של הצרכן. מפעילים את הצרכן ומודדים באמצעות מד מתח (ייתכן כי לשם כך צריך יהיה להאריך את אחד החוטים של הפרובים של מד המתח) את הפרש הפוטנציאלים שבין גוף הצרכן לבין הקוטב השלילי של מקור המתח. את התוצאה המתקבלת במילי-וולטים מחלקים בזרם באמפרים ומקבלים את התנגדות הכללית (במילי-אוהמים) שבין הצרכן לבין המקור. בכל מקרה, מפל המתח שבין המקור לבין הצרכן על המוליך השלילי, אסור שיעלה על כמה עשרות מילי-וולטים (עבור צרכני DC - מנורות מנועים וכד') וכמה מילי-וולטים בודדים (פחות מעשרה) במעגלים אלקטרוניים. דגש מיוחד יש לשים להארקה נכונה של מנוע המטוס אל גוף המטוס ואל הקוטב השלילי של המצבר (נרחיב על כך בהמשך).

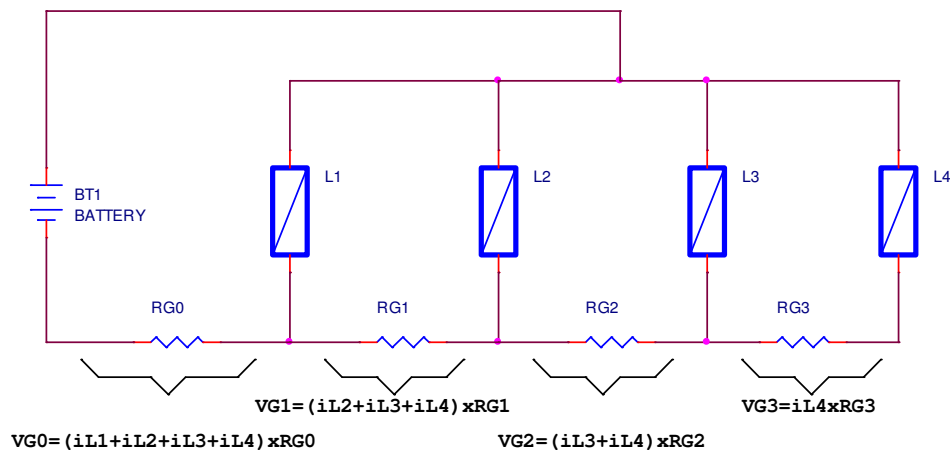
קיימות שתי שיטות עיקריות בחיבור הארקה במטוס:

א. שיטת "שרשור"

ב. שיטת "כוכב"

שיטת "שרשור הארקות"

בשיטת השרשור (מלשון "שרשרת") הצרכנים מחוברים אל ההארקה במקומות שונים כך, שניתן לראות כאילו הם מחוברים אחד אחרי השני במסלול הזרם החוזר. בשרשור, הפרש הפוטנציאלים לאורך נתיב החזרה של הזרם את המצבר הוא אוסף של מפלי המתח לאורך המסלול.



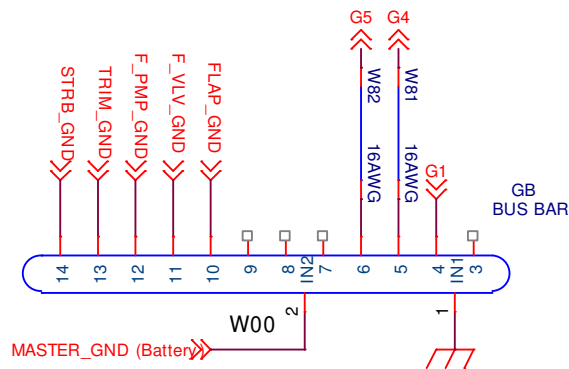
איור ז'-1 - חיבור הארקות בשיטת "שרשור"

באיור שלמעלה, מודגם מצב שבו קיים הפרש פוטנציאלים בין נקודות ה-"0" של צרכנים שונים. אם נניח כי הפוטנציאל של הקוטב השלילי של המצבר (BT1) הוא "0" מוחלט, נראה כי הפוטנציאל של נקודת ה-"0" של העומס הראשון L1, כבר גבוה ב- VG0 מפוטנציאל ה-0 של המצבר. מפל המתח על RG0 שווה לסה"כ הזרמים של כל הצרכנים, המוכפל בהתנגדות המוליך RG0. פוטנציאל האפס של צרכן L2 כבר שונה מפוטנציאל האפס של L1 ב- VG1, השווה לסה"כ הזרמים של L2, L3, ו-L4 המוכפל ב RG1. כלומר, אנו רואים מיד כי מתקבל הפרש פוטנציאלים בין נקודות ה-"0" של הצרכנים השונים! מאחר והתנגדויות מקטעי ההחזרה השונים קטנות מאד, הרי שהפרש הפוטנציאלים יהיה נמוך ולגבי עומסים הפועלים במתח המערכת וצורכים זרם גבוה (מתח המצבר של המטוס), הבעיה אינה כה קריטית. לעומת זאת, מכשירי אוויוניקה הפועלים עם סיגנלים (אותות) נמוכים (תפוקת מיקרופון במערכת השמע, מתחי הגששים השונים של נתוני המנוע, אנטנות הקליטה של מכשירי הרדיו והניווט), יושפעו ופעולתם תשובש עקב אותם מתחי ההחזר.

שיטת "כוכב" הארקות

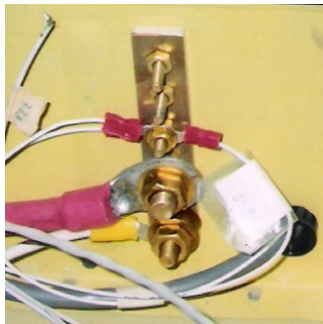
בשיטת הכוכב, כל מוליכי ה-"0" של הצרכנים השונים, מתחברים לנקודה מרכזית אחת (בדרך כלל, GROUND BUS) ואז, למעשה, לא קיים הפרש פוטנציאלים בין נקודות ה-"0" של המכשירים השונים!

בפרקטיקה, ניתן לחבר את צרכני הזרמים הגדולים אל גוף המטוס בנקודות שונות (למשל, את אור הנחיתה ואת חימום הפיטו אפשר לחבר לקורת הכנף), אך את כל מכשירי האוויוניקה ומכשירי המנוע, לחבר לנקודה אחת מרכזית (GROUND BUS) מאחורי פאנל המכשירים. את ה-GROUND BUS ניתן לחבר לגוף המטוס בנקודה שבו הוא נמצא כי למרות הפרש הפוטנציאלים שיכול להיווצר בין נקודה זו ל-"0" של המצבר, עדיין כל המכשירים הפועלים עם האותות הנמוכים מתחברים לנקודת ה-"0" משותפת ואין הפרש פוטנציאלים ביניהם.



איור ז'-2 - חיבור הארקות בשיטת "כוכב" ל-GROUND BUS

מוליכי ה-"0" של כל המכשירים השונים מתחברים לפס הארקה ("3" עד "14" בשרטוט), המוצמד אל גוף המטוס באמצעות ברגים ("1" בשרטוט) ומפס הארקה הולך מוליך עבה אל ה-"0" של המצבר ("2" בשרטוט).



איור ז'-3 - פס הארקות GROUND BUS

החוט העבה באיור שלמעלה, מתחבר אל ה-"0" של המצבר. הבורג המשמש לחיבור החוט העבה, הוא גם הבורג המחבר את פס הארקות אל גוף המטוס. הברגים הדקים משמשים לחיבור מוליכי ה-"0" של המכשירים האלקטרוניים.

לאותו פס הארקות, ניתן לחבר גם את כל נקודות ה-"0" של מכשירי הרדיו והאינטרקום. אך יש להדגיש כי כאשר מחברים את שקעי מערכות הראש (אזניות/מיקרופון) לנקודה מרוחקת, יש לוודא כי ה-GND של המחברים, יהיו מבודדים מגוף המטוס. ישנן שתי שיטות להשיג מטרה זו: א. להצמיד את השקעים ללוח מחומר מבודד ואת הלוח לחבר לגוף המטוס. ב. להלביש טבעות מבודדות בין הברגת השקעים לבין הפח אליו מחברים את השקעים (ראה איור - י - 21).



איור ז' - 4 - שקעי מערכות הראש מתחברים אל גוף המטוס באמצעות לוח מבודד

באיור ז' - 4, מודגם השימוש בלוח "סנדוויץ'" העשוי חומר פלסטי בעל שלוש שכבות: שתי חיצוניות, שחורות ואחת, פנימית, לבנה. הכיתובים נעשו בחריצה (פנטוגרפיה) מה שמקנה לפאנל את צורתו האסתטית. (שני המפסקים התחתונים, הוספו לפאנל מאוחר יותר ולכן, הכיתוב מעליהם נעשה באמצעות סרט כתוב המופק ע"י מכשיר Dymo).

הארקת המנוע לגוף המטוס

להארקת המנוע אל גוף המטוס, חשיבות מרובה, משתי סיבות. האחת - זרם מנוע המתנע זורם דרך גוף המנוע ויש "להחזירו" אל המצבר - וזהו זרם גבוה מאד! הסיבה השנייה היא הצורך בשמירה על הפרש פוטנציאלים נמוך ביותר בין גוף המנוע לפס הארקה של ציוד האוויוניקה, אליו מחוברים כל מכשירי המדידה של נתוני המנוע, המודדים את תפוקות הרגשים השונים שהן בסדר גודל של מיליולטים וכל הפרש פוטנציאלים בין המנוע לכניסת מכשירי המדידה, תשנה את הקריאה של נתוני המנוע. באיור שלמטה ניתן לראות שיטה טובה להארקת המנוע בו מתואר שימוש במוליך "סרוג" גמיש המחבר בין גוף המנוע לבין פס הארקה המחובר ע"ג קיר האש.

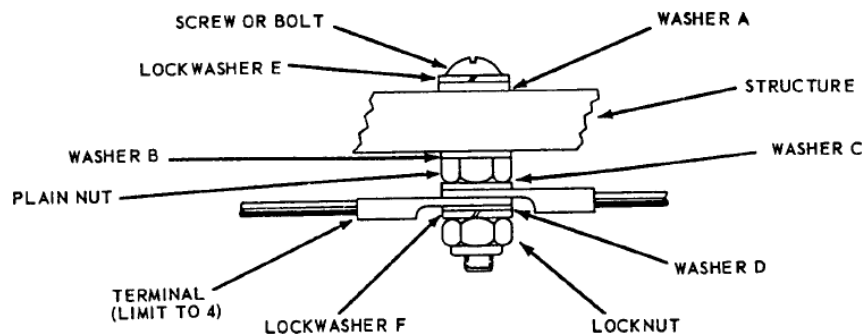


איור ז'- 5 - הארקה המנוע לגוף המטוס

החוט הלבן העבה (2AWG) המתחבר אל פס ההארקה המוצמד לקיר האש, מחובר לנקודת ההארקה הראשית שליד המצבר.

"בונדינג" - חיבור הארקה לגוף

כאשר מחברים צרכן זרם גבוה אל גוף המטוס, יש לקחת בחשבון כי החיבור נעשה באמצעות נעל כבל העשויה מתכת (בדרך כלל, נחושת או פליז מצופה בדיל) אל גוף המטוס העשוי אלומיניום. חיבור מתכות שונות זו לזו, עלול ליצור, כאשר חודרת לחות למקום החיבור, הפרש פוטנציאליים חשמלי קבוע, אשר עם הזמן יגרום לשיתוך (קורוזיה) ולא יכול המתכת בנקודת החיבור. לכן, יש לקחת בחשבון עובדה זו בעת תכנון הארקה במטוס.



איור ז'- 6 - חיבור נעל כבל אל גוף המטוס באמצעות בורג

הטבלה הבאה מציגת מהם החומרים המותרים והמומלצים בשימוש בחיבור נעל כבל מצופה בדיל אל גוף המטוס באמצעות בורג.

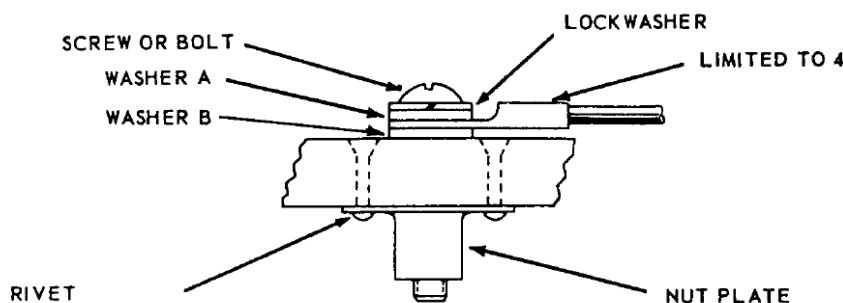
Lock washer F	Lock washer E	Washer C & D	Washer B	Washer A	Plain nut	Screw or Bolt and Lock nut	Structure
דיסקת נעילה "F"	דיסקת נעילה "E"	דיסקות "C" & "D"	דיסקה "B"	דיסקה "A"	אום הבורג לגוף הבטחת	בורג ואום הנעילה	החומר ממנו עשוי גוף המטוס
פלדה מצופה קדמיום או אלומיניום	פלדה מצופה קדמיום	פלדה מצופה קדמיום	סגסוגת אלומיניום	סגסוגת אלומיניום	פלדה מצופה קדמיום	פלדה מצופה קדמיום	סגסוגת אלומיניום
פלדה מצופה קדמיום	פלדה מצופה קדמיום	פלדה מצופה קדמיום	אין צורך לשים	אין צורך לשים	פלדה מצופה קדמיום	פלדה מצופה קדמיום	פלדה (*) מצופה קדמיום

(*) בדרך כלל שימושי כאשר מחברים נעל כבל אל גוף עשוי צנרת פלדה, כאשר אל אחד הצינורות מולחמת

"לשונית", שאליה מחברים את מוליך ההארקה.

כאשר משתמשים במספר נעלי כבל, אפשר לשימון אחת ע"ג השנייה, עד סה"כ 3 נעלי כבל. יש לשים לב לכיוון נעלי הכבל.

בכל מקרה, יש להימנע מהצמדת נחושת למגנזיום !



איור ז'-7 - חיבור נעל כבל אל גוף המטוס באמצעות Nut Plate

הטבלה הבאה מציינת מהם החומרים המותרים והמומלצים בשימוש בחיבור נעל כבל מצופה בדיל אל גוף המטוס באמצעות אום צף (Nut Plate).

Washer B	Washer A	Lockwasher	Rivet	Screw or bolt and nut plate	Structure
דיסקה "B"	דיסקה "A"	דיסקת הנעילה	המסמרות המצמידות את האום הצף	הבורג והאום הצף	החומר ממנו עשוי גוף המטוס
אין צורך לשים	פלדה מצופה קדמיום או אלומיניום	פלדה מצופה קדמיום	סגסוגת אלומיניום	פלדה מצופה קדמיום	סגסוגת אלומיניום
פלדה מצופה קדמיום	פלדה מצופה קדמיום או אלומיניום	פלדה מצופה קדמיום	פל"ב"מ (נירוסטה)	פלדה מצופה קדמיום	פלדה מצופה קדמיום

כאשר משתמשים במספר נעלי כבל, אפשר לשימון אחת ע"ג השנייה, עד סה"כ 4 נעלי כבל. יש לשים לב לכיוון נעלי הכבל.

פרק ח'

המצבר

כללי

למצבר, במערכת החשמל של המטוס, ישנם שלושה שימושים:

א. מקור האנרגיה להתנעת המטוס.

ב. מאגר אנרגיה חשמלית חזרונית למקרה של תקלה באלטרנטור.

ג. ייצוב ושמירה על מתח יחסית קבוע, של מערכת החשמל במטוס.

שלושה שימושים אלו, מנמיכים את בחירת סוג המצבר ואת גודלו.

מתח העבודה

מערכת החשמל במטוסים השייכים לקבוצת התעופה הכללית, פועלת במתח ישר (DC) 12 או 24 וולט. שני ערכים אלו הם גנריים, כי, למעשה, מטוס הפועל במתח 12 וולט - מתח מערכת החשמל שלו הוא בסביבות 14 וולט ואילו מערכת חשמל של 24 וולט, למעשה היא מערכת הפועלת במתח ממוצע של 28 וולט.

בחירת מתח הפעולה של מערכת החשמל במטוס מוכתבת משני גורמים: גודל המטוס (אורכי חוטי החשמל) והמחיר.

משיקולים אלו, רוב מטוסי התעופה הכללית פועלים על 12 וולט. (מטוסים אלו אינם גדולים, מה שאינו מחייב שימוש בחוטים ארוכים והשיקול השני הוא הזמינות של אביזרי החשמל. במטוסים מבנייה עצמית אפשר להשתמש באביזרי חשמל רכב, ואלו, כידוע, רובם פועלים במתח של 12 וולט, מה שמוזיל משמעותית את מחירם).

יש לקחת בחשבון כי ככל שמתח הפעולה של הצרכנים החשמליים גבוה יותר, הזרם הנצרך על-ידם נמוך יותר. לכן, מערכת הפועלת במתח של 24 וולט מאפשרת שימוש בחוטים דקים יותר ומאחר ובמטוסים גדולים יש צורך להשתמש בחוטים ארוכים, ככל שהזרם נמוך יותר, אפשר להשתמש בחוטים ארוכים יותר ללא חשש ממפל מתח גבוה מדי.

המתנע

רוב מטוסי התעופה הכללית, הבנויים בידי חובב, מצוידים במתנע חשמלי (Starter) המשמש להתנעת המנוע ע"י סיבוב גל הארכובה של המנוע דרך תמסורות גלגלי שיניים: שיניים על גלגל התנופה ושיניים על ציר המתנע.

ציר המתנע בנוי באופן שבזמן אספקת המתח למנוע המתנע, גלגל השיניים "היושב" עליו מוזז באמצעות סולנואיד (אלקטרו-מגנט) ומשתלב בשיני גלגל התנופה. יחס התמסורת גבוה מאד וע"י כך מושג כוח רב. בעוד שציר מנוע המתנע מסתובב במהירות גבוהה, גלגל התנופה מסתובב

במהירות נמוכה המספיקה ליצירת הניצוץ ע"י המגנטו (אם קיים כזה במנוע) הדרוש להצתת התערובת בחלל הצילינדרים.
יחס גלגלי השיניים הוא גם יחס המהירויות והיחס ההפוך של יחסי המומנטים.

מהירות ציר המתנע	שווה	כוח על גלגל התנופה
חלקי		חלקי
מהירות גלגל התנופה		כוח המופק במתנע

גם אם הכוח הנדרש מהמתנע הוא, יחסית נמוך, עדיין מדובר בכוח (בהספק חשמלי) גבוה מאד. הזרם הנצרך, עקב כך, מהמצבר יכול להגיע לערכים שבין 150 ל- 250 אמפר! עובדה זו מצריכה בחירת מצבר המסוגל להזרים זרם קצר (CRANK CURRENT) בערכים אלו. נכון כי מדובר בצריכה לזמן קצר של כמה שניות, אך, עדיין מדובר בזרם מאד גבוה. יש להתחשב בעובדה כי התנעת מנוע קר בטמפרטורות חיצוניות נמוכות, גם מעלה את הזרם הנדרש וגם יכולת של המצבר לספק זרמים גבוהים בטמפרטורות נמוכות יורדת.

בחירת המצבר

על סמך כל האמור למעלה, יש לבחור מצבר בעל זרם קצר של כמאתיים וחמישים עד שלוש- מאות אמפר.
הזרם הגבוה הנדרש להתנעת המנוע, דורש שימוש בחוטים עבים במיוחד (בדרך כלל, החוטים יהיו 4AWG עד 2AWG. בנוסף, מיתוג זרמים כה גבוהים מצריך מפסק בעל יכולת ניתוק זרם גבוה ועל כך יבוא הסבר בהמשך.
באולטראלייטים (מטוסי LSA) המצוידים במנוע רוטאקס, הזרם הנדרש להתנעת המנוע, נמוך משמעותית, ביחס למנועי התעופה הכללית (לייקומינג וקונטיננטל) ויכול להגיע עד כמאה, מאה ועשרים אמפר. חוט במידה 4AWG ואפילו 6AWG יכול לספק את המטרה ומצבר בעל זרם קצר של 120 עד 150 אמפר יספיק לצורך התנעת המנוע.
כאמור, המצבר צריך לשמש "מאגר חרווה לחשמל" במקרה של תקלה באלטרנטור. לכל מצבר ישנו ערך "אמפר שעה" שזהו "זרם הקיבול" של המצבר. משמעות מושג זה היא כמה זרם ניתן לצרוך מהמצבר לכמה זמן. ככלל, מצבר של 14 אמפר שעה יכול לספק זרם של 14 אמפר למשך שעה אחת, או, אמפר אחד למשך 14 שעות או, כל קומבינציה המקיימת את המכפלה:

$$\text{זרם צריכה} \times \text{זמן אספקה} = \text{אמפר שעה של המצבר.}$$

בבחירת זרם הקיבול של המצבר יש לקחת בחשבון את צריכת הזרם הכללית של כל מערכות החשמל שיכולות לפעול ביחד, במטוס, להגדיר לכמה זמן רוצים שניתן יהיה להמשיך ולטוס ללא

אלטרנטור, והמכפלה של שניהם תיתן את האמפר שעה הנדרש מהמצבר. (יש לשים לב כי לא תמיד יש קשר ישיר בין זרם הקיבול של המצבר לבין זרם הקצר שהוא מסוגל לתת). מאחר ולא תמיד מנוע המטוס מסתובב באותו הסל"ד, חשוב כי, בסיבובים נמוכים של המנוע, כאשר האנרגיה המופקת באלטרנטור, נמוכה, המצבר ישמור על מתח הפעולה של המערכת. לצורך כך, יש לתכנן את מערכת החשמל בהתאם, שתאפשר שמירה על מתח יציב גם בסיבובי מנוע נמוכים. למעשה, פירושה של דרישה זו כי על המצבר לשמור למשך זמן ידוע את המתח שהיה עליו בזמן שהאלטרנטור טען אותו. (מתח הטעינה של האלטרנטור יהיה בסביבות 14.5 וולט עד 15.5 וולט. מתח זה צריך להישאר ביציאת המצבר למשך זמן ארוך ככל הניתן, לאחר שמתח האלטרנטור ירד בגלל סיבובי מנוע נמוכים).

לסיכום כל הנאמר עד כאן:

- יש לבחור מצבר בעל מתח פעולה של 12 או 24 וולט בהתאם למערכת החשמל של המטוס.
- יש לבחור מצבר שזרם הקיבול שלו יספיק למשך הזמן שהוגדר עפ"י צריכת הזרם של כל המכשירים החשמליים שיכולים לפעול ביחד, בטיסה.
- המצבר צריך להיות מסוגל לספק זרם קצר של כ- 250 אמפר, לפחות (ב-LSA יספיק זרם קצר של 150 אמפר).
- המצבר צריך לשמור על מתח הטעינה למשך זמן ארוך, ככל הניתן לאחר הפסקת הטעינה.

נתון נוסף שיש להתחשב בו, היא יכולתו של המצבר לפעול במצבי טיסה שונים (טיסה הפוכה - ג'י שלילי וטיסה על הצד) שזהו נתון קריטי לטיסה אוירובאטית.

מאחר ותהליך יצירת האנרגיה החשמלית במצבר כרוך בתהליך כימי של שחרור מימן המופק מחומצה גופריתית, חשוב מאד כי אדי החומצה והמימן לא יגיעו לגוף המטוס ולמערכות שונות במטוס ולא יגרמו בכך לאיכול ולשיתוך. לכן, היום מקובל להשתמש בתעופה במצברים אטומים (Maintenance Free) או במצברים אשר החומר אלקטרוליטי שבהם אינו נוזלי אלא מעין משחה או ג'ל. מצברים אלו אינם פולטים מימן ואדי חומצה ואינם נשפכים כאשר המצבר "עומד על ראשו". ניסיון שנצבר אצל המחבר, מעלה כי ניתן להשיג מצברים שיענו על כל הדרישות שהועלו כאן, לא בהכרח מספקי ציוד תעופתי וניתן למצוא בשוק החופשי מצברים טובים ובעיקר זולים, בעלי ביצועים לא פחות טובים ואף, לפעמים, טובים יותר מאשר המצברים הנמכרים כ"תעופתיים".

האיור שלמעלה, מתאר את סביבת המצברים והחיווט הסמוך אליהם.
שני המצברים BAT1 ו-BAT2 הם מצברים של 12V 20AH כל אחד. זרם הקצר של כל אחד מהם, כ- 150 אמפר.

המצברים חוברו במקביל באמצעות שני פסי נחושת בעלי שטח חתך של 60 מ"ר. הקוטב השלילי של המצברים חובר, ע"י כבל 2AWG אל גוף המטוס ואל פס אדמה ראשי הנמצא ליד שורש הכנף במרחק של בערך מטר אחד מהמצבר. למעשה, זוהי נקודת ה-"0" הראשית של המטוס.

STD1 הוא בורג פליז בקוטר "3/8" המוברג ע"ג לוח פרטינקס (מבודד) שמוצמד אל אחד החציצים שמאחורי מושב הנוסע. בורג זה מחובר אל הקוטב החיובי של זוג המצברים באמצעות כבל W001, בעובי 2AWG ומאפשר התנעת המטוס במקרה שהמצבר התרוקן, ע"י זוג כבלי התנעה של רכב פרטי. יש לציין כי מפאת הזרם הגבוה שאמור לזרום דרכו, אין לו הגנת קצר ולכן הושם דגש מיוחד לנתבו בנתיב שימנע, ככל הניתן, אפשרות להיווצרות קצר בינו לבין גוף המטוס ובנוסף, על הבורג מולבש צינור בידוד שיש להסירו כאשר משתמשים בכבלי התנעה חיצוניים. אל בורג זה מחברים את הכבל החיובי של מצבר ההתנעה החיצוני ואת הכבל השלילי מחברים אל גוף המטוס.

הסולנואיד K1 הוא "מפסק הזרם הראשי" של המטוס (MASTER SWITCH). זהו ממסר זרם חזק שמותר לו לפעול לזמן בלתי מוגבל. צידו האחד של מפסק הממסר (IN) מתחבר, באמצעות כבל W10 אל הקוטב החיובי של המצבר. בממסר זה יש חשיבות לחבר את צד הכניסה למצבר מפני שלאותו צד מחובר גם צד אחד של סליל הממסר. ע"מ למצוא את צד הכניסה, אפשר למדוד את ההתנגדות האוהמית בין בורג סליל הממסר לבין כל אחד מהברגים העבים של הממסר. הצד שבינו לבין בורג הסליל יש התנגדות של אוהמים אחדים, זהו צד הכניסה (של הממסר)

הסליל מתחבר אל המוליך החיובי המגיע מהמצבר וצידו השני של הסליל מתחבר דרך בורג הסליל אל מפסק "טוגל" הנמצא בפאנל המטוס ומסומן "BATTERY MASTER". כאשר מפסק זה נותן אדמה לסליל, הממסר "תופס" ומחבר את המצבר למערכת החשמל של המטוס באמצעות כבל W13 במידה 2AWG וכבל W12 במידה 6AWG. W13 מתחבר לבורג הכניסה של סולנואיד K2 שהוא ממסר ההתנעה של המנוע. לאותו בורג, מתחבר מוליך W12 אשר מחבר בין המצבר לבין פס הצבירה הראשי של המטוס דרך SHUNT, שהוא נגד בעל התנגדות עליה מתפתח מתח של 50 מיליוולט כאשר זרם בו זרם של 60 אמפר. משני קצות ה-SHUNT יוצאים חוטים W111 ו-W112, דקים המעבירים את המתח המתפתח ע"ג ה-SHUNT אל מד הזרם (יוסבר בהמשך).

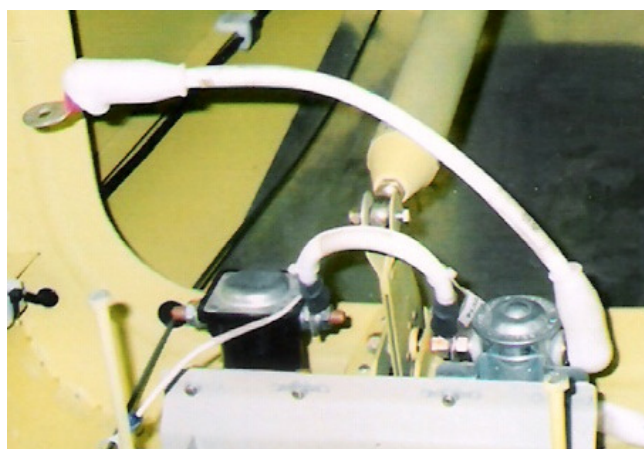
K2 הוא ממסר ההתנעה של המטוס. זהו סולנואיד שמיועד להעביר זרם גבוה אך לפעול למשך זמן קצר (יש לדעת כי ממסר התנעה אינו מתאים לשמש כממסר ראשי MASTER SOLENOID). שלא כמו הממסר הראשי, בממסר ההתנעה שני קצות הסליל יוצאים החוצה. צד אחד מחובר עם חוט

אל בורג הצמדת הממסר לגוף המטוס ומשמש אדמה והצד השני מתחבר לחוט W122 המגיע ממפסק (או לחצן) ההתנעה, ה- STARTER הנמצא בפאנל המכשירים של המטוס.



איור ח'-3 - מימין - ממסר ראשי (MASTER) משמאל ממסר התנעה (Starter)

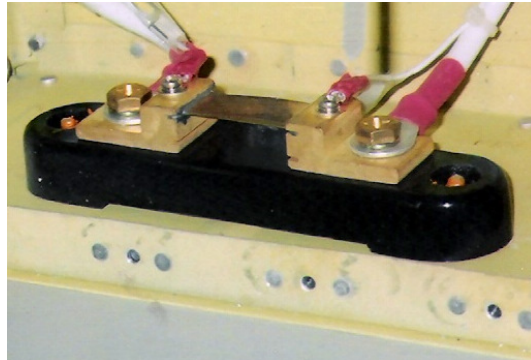
הקוטב השני של ממסר ההתנעה מחובר ע"י כבל W121 במידה 2AWG, אל המתנע הנמצא על המנוע. עקב הזרם הגבוה המיועד לעבור בו, כבל זה אינו מוגן ע"י נתיך. כאן יש להדגיש נקודה חשובה: יש הנוהגים למקם את ממסר ההתנעה בקרבת המנוע. מי שעושה כך, כדאי שיהיה מודע לעובדה כי הכבל המגיע מהממסר הראשי אל ממסר ההתנעה (W13), אינו מוגן והוא "חם" (נושא מתח חשמלי) כל זמן שהממסר הראשי מחובר. לכן, עדיף למקם את ממסר ההתנעה קרוב ככל הניתן אל הממסר הראשי. יציאת ממסר ההתנעה לא חייבת להיות מוגנת מפני שהכבל היוצא ממנה, אינו "חם" אלא רק כאשר מתניעים את המטוס.



איור ח'-4 - ממסר ראשי (בצד ימין) וממסר התנעה (צד שמאל)

יש לציין את העובדה כי הזרם הדרוש למתנע, אינו עובר דרך ה-SHUNT ואינו נמדד. צידו השני של ה- SHUNT מתחבר ע"י חוט W11 במידה 6AWG אל פס הצבירה הראשי. באמצעות ה- SHUNT ניתן למדוד את זרם הטעינה/פריקה של המצבר. מד הזרם מחובר אל שני קצות ה- SHUNT והוא מתרגם את המתח המתפתח ע"ג ה- SHUNT לקריאת זרם. חיבור מד הזרם

אל ה-SHUNT נעשה בקוטביות (+) אל צד פס הצבירה וה- (-) אל צד המצבר. באופן זה ניתן לקבל קריאה האם המצבר נטען (ואז צד פס הצבירה חיובי ביחס לצד המצבר) או נפרק (צד המצבר חיובי ביחס לצד פס הצבירה).
בטיסה, כאשר המצבר טעון מד הזרם יורה קריאה "0" כלומר, אין טעינה ואין פריקה וזאת משום שהאלטרנטור מספק את החשמל הדרוש לכל מערכות המטוס. ואז לא זורם כל זרם ב-SHUNT.



איור ח' - 5 - SHUNT למדידת זרם טעינה . פריקה

פרק ט' אוויוניקה כללי

אוויוניקה - כל ציוד האלקטרוניקה המצוי במטוס ואשר קשור לתפעולו.
ישנם שלושה שטחים בהם ניתן למצוא ציוד אלקטרוני:

א. מכשירי מנוע

ב. מכשירי טיסה

ג. קשר וניווט

מכשירי המנוע

עד לשנים האחרונות, רוב אביזרי המנוע, או, למעשה מדדי ביצועי (פרמטרים) המנוע, היו מכאניים או אלקטרו-מכאניים.

לדוגמא, מד טמפרטורת שמן מכאני, היה מורכב מרגש החשוף למגע עם שמן המנוע ואשר הכיל נוזל בעל מקדם התפשטות תרמי כזה שעם עליית טמפרטורת השמן היה מגדיל את נפחו בתוך חלל הרגש ו"עודף הנפח" היה מוזרם דרך צינור מתכתי אל מד טמפרטורת השמן שבתוכו נמצא התקן המתרגם את כמות הנוזל שנכנסה אליו לתנועה מכאנית אשר, דרך מערכת תמסורת, הייתה מסובבת מחוג המצביע על הטמפרטורה המתאימה לטמפרטורת השמן הנמדדת, אשר היה מודפס ע"ג סקאלה עגולה.



איור ט'-1 - מד טמפרטורת שמן מכאני

אז, מד סיבובי המנוע היה בנוי מציר גמיש, עטוף בצינור מתכת גמיש, ואשר קצהו האחד של הציר התחבר אל תמסורת האביזרים במנוע וקצהו השני נכנס אל מד סיבובי המנוע שבתוכו נמצא מנגנון מכאני המסובב משקלות. ככל שמהירות הסיבוב הייתה גבוהה יותר, המשקלות התרחקו מהמרכז, עקב הכוח הצנטריפוגאלי, מהציר המסתובב והתרחקותן הזיזה מעין "מזלג" שהיה מחובר באמצעות מנגנון מכאני על מחוג שנע בהתאם להתרחקותן של המשקלות, והמחוג הצביע על המספר המתאים למהירות סיבובי המנוע לדקה (סל"ד), אשר היה מודפס ע"ג הסקאלה של מד הסיבובים.



איור ט'-2 - מד סיבובים מכאני והצינור הגמיש המחבר בינו לבין המנוע

שתי דוגמות אלו מראות את הפשטות של אמצעי המדידה ולמעשה, פשטות זו הביאה לאמינות מאד גבוהה ולחזרתיות (Repeatability) של המדידה. אולם, מערכות מכאנית שכאלו דורשות כיוול להתאמה בין השונות הקיימת במהלך הייצור ולכן, בגדול, ניתן היה לקבל מדידות מדויקות "בעירבון מוגבל".

בשנות החמישים ועד שנת אלפיים נעשה שימוש במדים חשמליים אשר היו מורכבים משני אלמנטים נפרדים: המשדר (Sender) והמכוון (Gauge).

המשדר הוא אלמנט המתחבר פיסית אל המנוע לאותו מקום שבו ניתן למדוד, למשל, את טמפרטורת השמן או את לחץ השמן ואותו אלמנט היה מתרגם את הערך הפיסי הנמדד לערך חשמלי (מתח או התנגדות) אשר ניתן למדידה באמצעות מכוון ה"יודע" לקרוא את הערך החשמלי המגיע מהמשדר ולתרגמו להזנת מחוג המצביע על הערך הפיסי הנמדד, המודפס ע"ג הסקאלה. משנות התשעים ואילך החלו להופיע מכוונים אלקטרוניים המסוגלים לתרגם את האות החשמלי המגיע מהמשדר לתצוגה המציגה בערך מספרי (דיגיטלי) את הפרמטר הנמדד ע"י המשדר.



איור ט'-3 - מד טמפ. שמן. משדר ומכוון חשמלי ואלקטרוני

בתמונה שלמעלה ניתן לראות את משדר טמפרטורת השמן, המחובר ע"י מוליך בינו לבין המכוון המציג באמצעות מחוג את טמפרטורת השמן. גוף המנוע/מטוס משמש כ"חוט המחזיר". המכוון השני, כולל מד טמפרטורת שמן ומד לחץ השמן.

כמובן, שלשם מדידת לחץ השמן נדרש, בנוסף למשדר הטמפרטורה, משדר מיוחד הממוקם במקום במנוע שבו ניתן למדוד את לחץ השמן (בדרך כלל, בבלוק המנוע, שם יש פתח אליו מברייגים את משדר לחץ השמן) וחוט חשמלי המחבר בין המשדר לבין המכוון. המכוון מציג את הקריאות הן בצורה "כמו אנלוגית" ע"י שורת לדים (LEDs) המציגה את הערך הנמדד כאילו באמצעות מחוג הנע במעגל וכן גם ע"י הצגת הערך המספרי של הפרמטר הנמדד (ניתן לבחור בין מדידת הטמפרטורה למדידת הלחץ).



איור ט'- 4 - מד טמפ. ראש צילינדר, מד טמפ. גזי הפליטה וגוש משדר טמפ. גזי פליטה

בתמונה שלמעלה מוצגים מדי טמפ. ראש צילינדר (CHT) וטמפ. גזי פליטה (EGT) ומשדר טמפ. גזי הפליטה.

משדר גזי הפליטה ומשדר טמפ. ראש הצילינדר, בנויים בטכנולוגיה של "צומת תרמית דו מתכתית". בטכנולוגיה זו, המתאימה למדידת טמפרטורות גבוהות, מנצלים את האפקט שבו, בצימוד שני סוגי מתכת שונים, זה לזה, נוצר הפרש פוטנציאלים היחסי לטמפרטורת הצומת. סוגי צמתים שונים מפיקים מתחים שונים בטמפרטורות זהות. וגם היחס בין המתח לטמפרטורה מקיים פונקציה לא ליניארית שונה.

לכן, יש לבחור את הצמידים הנוחים למדידת הטמפרטורות אותן רוצים למדוד ובעיקר כי אי הלינאריות בטווח הטמפרטורות הנמדד, תהיה מינימאלית. גודל המתח המופק הוא בסדר גודל של מילי-וולטים אחדים ובטבלה הבאה מוצגים ערכי המתחים המתאימים לטמפרטורות שונות עבור שני צמדי מתכות הנפוצים במדידת הטמפרטורות הנ"ל: צמד "נ" וצמד "K".

צמד "K" - הקוטב החיובי **כרומל** ($\text{Chromel} = 90\% \text{ Nickel} \& 10\% \text{ Chromium}$) והקוטב השלילי **אלומל** ($\text{Alumel} = 95\% \text{ Nickel}, 2\% \text{ Manganese}, 2\% \text{ Aluminium} \& 1\% \text{ Silicon}$). שימושי בטווח הטמפרטורות 200°C עד 1350°C . מקדם המתח/טמפרטורה שווה, בממוצע (ע"פ התחום) $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

צמד "נ" - הקוטב החיובי **ברזל** (Iron) והקוטב השלילי **קונסטנטן** ($\text{Constantan} = \text{Copper} \& \text{Nickel}$). שימושי בטווח הטמפרטורות 0°C עד 750°C . מקדם המתח/טמפרטורה שווה, בממוצע (ע"פ התחום) $50\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Temp (°C)	J	Delta (mV)	K	Delta (mV)
0	0.000	---	0.000	---
50	2.585	2.585	2.023	2.023
100	5.269	2.684	4.096	2.073
150	8.010	2.741	6.138	2.042
200	10.779	2.769	8.138	2.000
250	13.555	2.776	10.153	2.015
300	16.327	2.772	12.209	2.056
350	19.090	2.763	14.293	2.084
400	21.848	2.758	16.397	2.104
450	24.610	2.762	18.516	2.119
500	27.393	2.783	20.644	2.128
550	30.216	2.823	22.776	2.132
600	33.102	2.886	24.905	2.129
650	36.071	2.969	27.025	2.120
700	39.132	3.061	29.129	2.104
750	42.281	3.149	31.213	2.084
800	45.494	3.213	33.275	2.062
850	48.715	3.221	35.313	2.038
900	51.877	3.162	37.326	2.013
950	54.956	3.079	39.314	1.988
1000	57.953	2.997	41.276	1.962

החוטים המחוברים בין הגשש למודד הם המשכם של החוטים המהווים את הצמד התרמי. ולכן, יש צורך, בהארכה, להשתמש באותם חוטים. בנוסף, יש חשיבות לאופן חיבור החוטים אל המודד (אל פינים או ברגיי כניסת המתח הנמדד למודד) ע"מ שלא ליצור הפרש פוטנציאלים בין החוט לבין המתכת ממנה עשויה כניסת המתח למודד (Cold Junction Temperature) או, לתקן מתח זה באמצעות מערכת תיקון (אלקטרונית או בתוכנה).

היתרון הגדול של שיטת המדידה אלקטרונית/דיגיטאלית, היא היכולת לבצע התאמת המכוון למשדרים מסוגים שונים והיכולת לכיול של המכוון לקבלת קריאות מדויקות של הפרמטר הנמדד.

בסביבות שנת אלפיים, החלו להופיע (בתעופה הכללית) יותר ויותר מכשירים המציגים את הפרמטרים השונים באמצעות מסך וידאו אשר "מוזן" ע"י מיקרו מחשב, שאליו מגיעים האותות החשמליים מכל המשדרים המודדים את פרמטרי המנוע. המיקרו מתרגם את האותות החשמליים המופקים במשדרים השונים, לערכים דיגיטאליים, מבצע חישוב ל"יישור" אי הלינאריות של המשדרים, מתקן את שגיאות המדידה ע"י טבלות כיול השמורות בזיכרון המחשב ואת הערכים הנכונים מציג ע"ג המסך.

עם הכניסה לתצוגה ע"י "מסך זכוכית" נכנסה התעופה הכללית לעידן ה-Glass Cockpit. יש לציין כי טכנולוגיית ה-Glass Cockpit נכנסה לתעופה המסחרית כבר בשנות השבעים והשמונים, אלא, שהמערכות שהיו מקובלות בתעופה המסחרית, היו יקרות בסדרי גודל של מאות אלפי דולר. מערכות ה-Glass Cockpit שנכנסו לתעופה אקספרימנטלית והכללית, עלו בסדרי גודל של עשרות אלפי דולר בשנים הראשונות ועם השנים, מחירן ירד לאלפי דולר. יש לציין כי המערכות שנכנסו לתעופה הכללית, היו לא פחות מדויקות ולא פחות אמינות מהמערכות שהיו מקובלות בתעופה המסחרית!

יתרון משמעותי נוסף של מערכות ה-Glass Cockpit, הוא יכולתן לקבל ערכי גבול להתראות (ערכי מכסימום/מינימום) ולאזהרות אשר בהגיע אחד הפרמטרים לערכים אלו, מופיעה אזהרה ע"ג המסך לחריגה.

ישנן מערכות Glass Cockpit, אשר אף שולחות אזהרה קולית, דרך האינטרקום, על חריגה מערך מותר של פרמטר כלשהו של המנוע.

בדרך כלל, מערכת הצגת נתוני המנוע מורכבת משני אלמנטים: התצוגה ויחידת איסוף הנתונים. כל הגגשים מפקים סיגנלים חשמליים, אנלוגיים, המובלים אל יחידת האיסוף באמצעות חוטים המתחברים בין הגשש לבין היחידה בעזרת מחבר (בדרך כלל D-Type) או אל ברגים בטרמינל סטריפ.

יחידת איסוף הנתונים מורכבת ממיקרו-בקר הדוגם בצורה רציפה (ומהירה מאד) את הערכים האנלוגיים (מתח, זרם או התנגדות) המופקים בגגשים הממוקמים במקומות הנדרשים למדידה, במנוע, "מנרמל" אותם לערכים הפיסיקאליים הנמדדים ומשדר את תוצאות המדידה אל מכשיר התצוגה המתרגם את הערכים שהתקבלו ממערכת האיסוף, לצורה גראפית להצגה ע"ג המסך. במכשיר התצוגה ישנו מחולל גראפי היודע להציג את הנתונים עפ"י בחירת הטייס. ישנן תצוגות המאפשרות לטייס לבחור האם התצוגה תהיה בצורה עגולה או סרט ואת מיקום כל נתון ע"ג המסך.



איור ט'-5 - EFIS - צג נתוני מנוע ומערכת איסוף נתוני המנוע

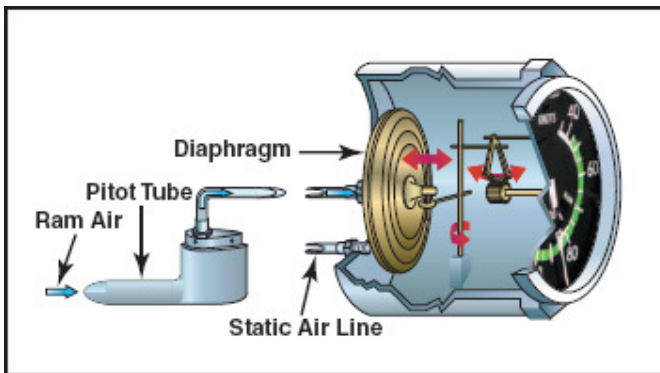
מכשירי טיסה

מכשירי הטיסה מיועדים לספק לטייס את נתוני הטיסה הרלוונטיים, הדרושים לביצוע הטיסה הן בהיבט הבטיחות והן במובן ניהול הטיסה עפ"י התכנון שאליו התכוון הטייס כאשר הכין את הטיסה.

על מכשירי הטיסה לספק לטייס את כל הנתונים הדרושים לניהול הטיסה: מהירות, גובה, כיוון. מצב המטוס ביחס לאופק והאם המטוס טס ישר או מבצע שינוי ממסלול טיסתו הישר. מכשירי הטיסה הם מכשירים אוטונומיים, שבעיקרון, אינם נזקקים לחשמל ממערכות המטוס. למעשה, מכשירי הטיסה העיקריים הדרושים, באופן ישיר להטסת המטוס - מהירות, גובה, שיעור טיפוס/הנמכה ואופק, פועלים באמצעות מערכת "וואקום", מערכת הפועלת דרך צנרת החשופה, בצורה זו או אחרת, לאוויר החיצוני.

מד המהירות (ASI) מחובר באמצעות שני צינורות, האחד מתחבר לצינור ה**פיטו** - המספק את לחץ האוויר הדינאמי (Ram Pressure) והשני, אל פתח האוויר הסטאטי, המספק את הלחץ האטמוספרי החיצוני השורר בגובה הטיסה (פתח האוויר הסטאטי יכול להימצא גם הוא ע"ג צינור הפיטו).

מד המהירות מודד את הפרש הלחצים באמצעות אנרואיד (Diaphragm) הקשור, במערכת מכאנית, אל המחוג הנע בהתאם להפרש זה, היחסי למהירות הטיסה, ומצביע על המספר המתאים למהירות הטיסה.



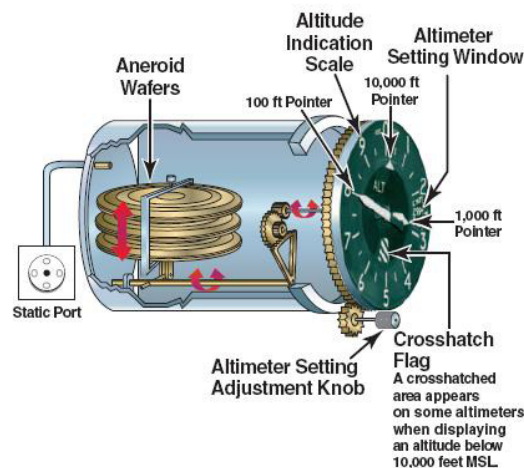
איור ט'-6 - מד מהירות אוויר וצינור פיטו

מד הגובה (Altimeter) מחובר אל פתח האוויר הסטאטי (למעשה אותו הפתח אליו מחוברת כניסת הלחץ הסטאטי של מד המהירות) ומודד, באמצעות אנרואיד אשר "מתנפח" או מתכווץ עפ"י לחץ זה. תזוזת האנרואיד ממקומו מועברת ע"י מערכת מכאנית אל מחוג הנע והמצביע על מספר הגובה, המודפס ע"ג הסקאלה. מכיוון שתטווח המדידה של מד הגובה, רחב מאד, יש צורך במערכת מכאנית מורכבת שתניע שלושה מחוגים: אחד (הארוך) מודד מאות רגל (בסיבוב אחד אלף רגל

עם חלוקה ממוספרת ע"ג הסקאלה למאות רגל עם חלוקת משנה לעשרים (רגל). השני מודד אלפי רגל (בסיבוב שלם עשרת אלפים רגל חלוקת המאות של מחוג האלף משמשת לחלוקת אלפים למחוג עשרת אלפים רגל). והמחוג השלישי מודד עשרות אלפי רגל (כל חלוקה ממוספרת על הסקאלה שווה לעשרת אלפים רגל).



איור ט'-8 - הצגת הגבהים במד הגובה



איור ט'-7 - מד גובה - מבנה

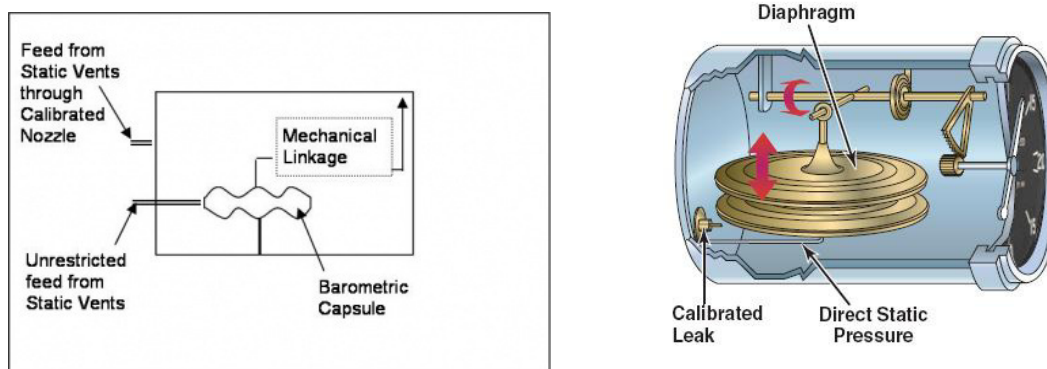
מאחר ולחץ האוויר האזורי משתנה עפ"י תנאי מזג האוויר, יש לאפשר "כיוול" מד הגובה בהתאם ללחץ האוויר האזורי (הלחץ הסטאנדרטי בגובה פני הים הוא 1013 מילי-באר והמכשיר מציג את הגובה מעל פני הים עפ"י מפל הלחץ הסטאנדרטי. אם הלחץ בפני הים שונה, תתקבל שגיאת גובה. לכן, יש צורך "להגיד" למכשיר מהו הלחץ בגובה פני הים - QNH, ואז עפ"י נקודת ייחוס זו, המכשיר יורה את הגובה האמיתי מעל פני הים).

הכיוול נעשה בעזרת כפתור, אשר ע"י סיבובו משנים את מיקום נקודת האחיזה של האנרואיד הפנימי ובאותו הזמן משתנה גם המספר המופיע בחלון הגובה. ישנם מכשירים בהם התצוגה מובאת במילי-באר וישנם כאלו שבתצוגה מופיע הלחץ באינץ' כספית (ישנם גם כאלו שיש בהם שני חלונות להצגת הלחץ בשתי השיטות).

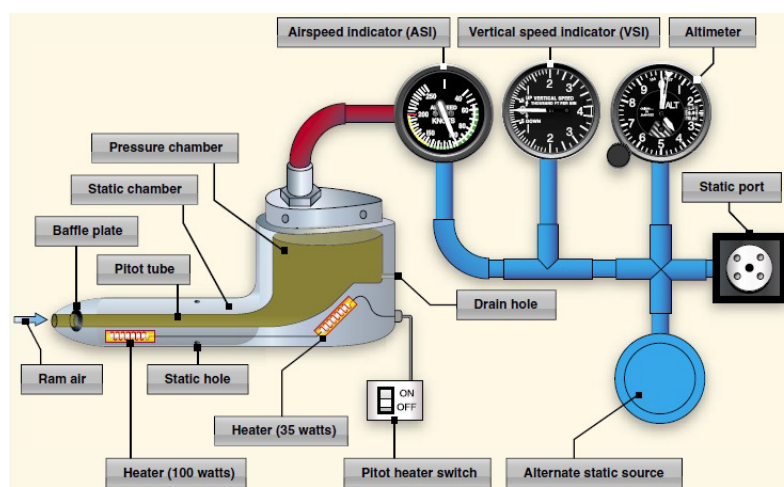
המכשיר השלישי המחובר למערכת הוואקום הוא **מד שיעור הנסיקה (VSI)**. מכשיר זה, כמו מד הגובה מודד את לחץ האוויר באמצעות אנרואיד. אלא, שהאנרואיד נמצא בסביבה בה הלחץ יכול להשתנות בקצב ידוע וזאת ע"י פתח שבו ישנו "וונטיל" מכוייל המאפשר זרימת אוויר במהירות קבועה.

כאשר המטוס טס בגובה קבוע, הלחץ המגיע מהפתח הסטאטי שווה ללחץ שבתוך המכשיר וכאשר המטוס מטפס או מנמיך הלחץ המגיע למכשיר מהפתח הסטאטי עוקב בזמן אמת אחרי השינוי בגובה. אולם, הלחץ הסביבתי שבתוך המכשיר משתנה (דרך הוונטיל) בקצב איטי יותר.

האנרואיד מודד את הפרש הלחצים ובאמצעות מערכת מכאנית מזיז את המחוג המצביע על המספר השווה לשיעור הטיפוס/הנמכה של המטוס.



איור ט'-9 - מד שיעור נסיקה מבנה פנימי ועקרון הפעולה



איור ט'-10 - חיבור כל מכשירי ה"וואקום" אל פתח האוויר הסטאטי

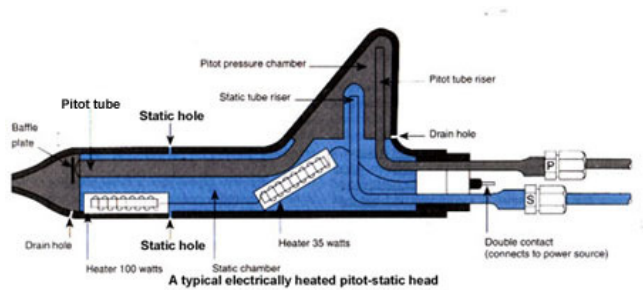
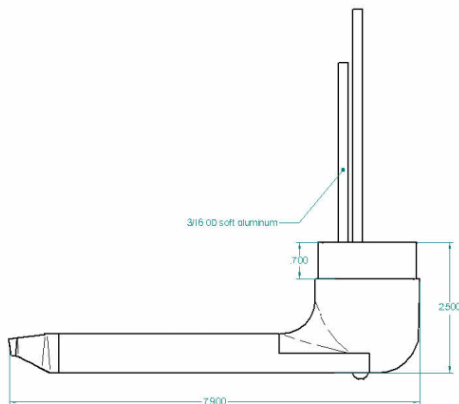
בציור שלמעלה ניתן לראות את האופן שבו מחוברים מכשירי הטיסה הפועלים על לחץ האוויר. מאחר ומטוס הטס בגבהים גבוהים, עלול לסבול מהתקרחות וסתימה (חלקית או מלאה) של פתח האוויר הסטאטי, יש צורך בפתח אוויר סטאטי חלופי הנקרא Alternate. פתח חלופי זה הוא דרישה מנדטורית לכלי טייס המיועדים לטוס טיסת מכשירים.

צינור הפיטו הוא הרגש אשר מספק למד המהירות את הלחץ הדינאמי. הפיטו יכול להיות צינור אלומיניום פשוט, צינור פיטו מעוצב המעביר רק את הלחץ הדינאמי או כזה שמעביר גם את הלחץ הסטאטי. ישנם צינורות פיטו המיועדים לפעול בתנאי IMC (טיסת מכשירים) אשר יש לחממם, ע"מ למנוע בניית קרח שעלול לסתום את הפתח הדינאמי או את הסטאטי, ואלו נקראים צינור פיטו מחומם. ישנם צינורות פיטו המכילים פתח נוסף, המוטה כלפי מטה בזווית ידוע ודרך פתח זה

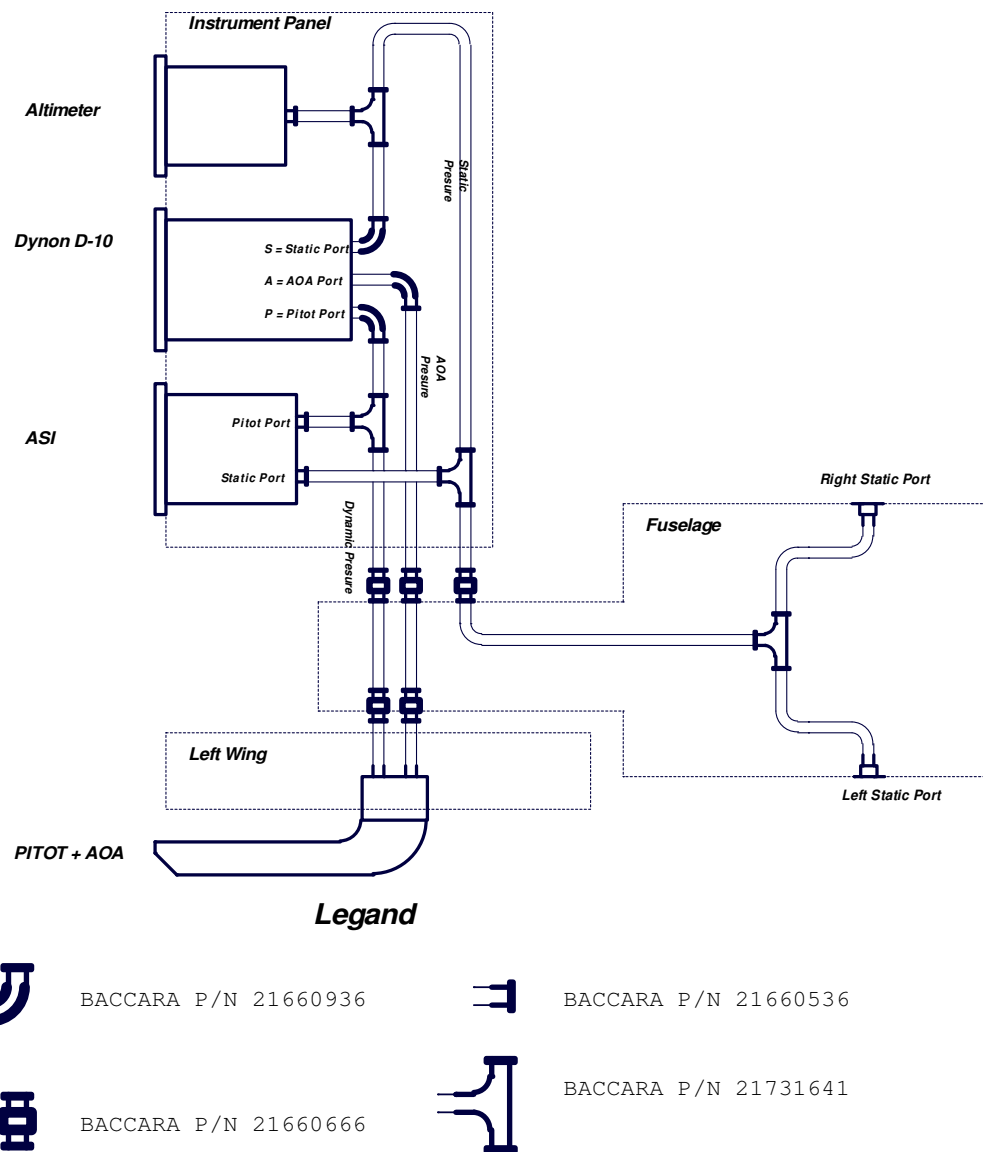
מסופק לחץ דינאמי התלוי בזווית ההתקפה של כנף המטוס. מפתח זה מוליך צינור אל מכשיר המודד את זווית ההתקפה (הסבר יבוא בהמשך).
בונה המטוס יבחר איזה סוג צינור פיתו יתקין במטוסו עפ"י אופי הטיסה במטוס.



איור ט'-11 - צינורות פיתו שונים (צינור פשוט, פיתו מעוצב עם הארכה)



איור ט'-12 - צינור פיתו מחומם וצינור פיתו עם פתח לכניסת לחץ דינאמי עבור AOA



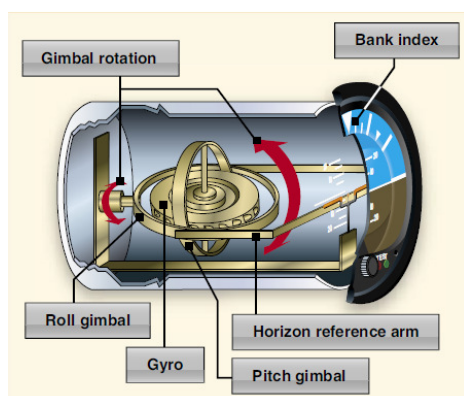
איור ט'-13 - דוגמא למערכת ואקום שהותקנה במטוס RV8A - 4X-OAA

מד **האופק המלאכותי** הוא מכשיר המורה לטייס את מצב אף המטוס ביחס לאופק. בתוך המכשיר נמצא סביבון ג'ירוסקופי המסתובב במהירות מאד גבוהה ובכך מתקבל האפקט הג'ירוסקופי. הסביבון קשור, במערכת מכאנית, למעין "כדור" הצבוע חום בחציו התחתון (מייצג את "האדמה") ותכלת בחציו העליון (מייצג את השמיים) כאשר הקו המפריד בין שני הצבעים הוא "קו האופק". כל מכלול הגירו והכדור נמצא בתוך "כלוב" (Gimble) החופשי לנוע בשני צירים: ציר אורכי (המקביל לציר האורך של המטוס) וציר אנכי (המקביל לציר האנך העובר דרך מרכז המטוס). מאחר ועם הזמן פועלים כוחות משתנים (פרצסיה) על מערכת הג'ירו, תתקבל שגיאה - היסט, ההולכת וגדלה עם הזמן. ישנם מדי אופק אשר מידי פעם, המערכת מבצעת "תיקון" ע"י קפיצים פנימיים וישנם מדי אופק שיש לתקן את ההיסט באמצעות כפתור חיצוני.

סיבוב הסביבון שבתוך מד האופק יכול להתבצע ע"י מנוע חשמלי אך אפשר לסובב את הסביבון גם ע"י הספקת וואקום ממקור חיצוני. המקור החיצוני יכול להיות משאבת וואקום המחוברת לתיבת האביזרים של המנוע או לצינור וונטירי חיצוני שבשעת הטיסה מייצר את הוואקום הדרוש לסיבוב הסביבון.

אספקת וואקום מצינור וונטירי חיצוני הייתה מקובלת במטוסים ישנים ובמטוסים שמהירותם אינה גבוהה מידי.

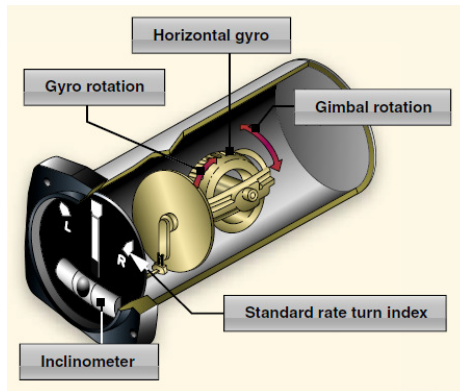
הפעלת הסביבון באמצעות וואקום "משחררת" את מד האופק המלאכותי מתלות במערכת החשמל של המטוס. ישנם מטוסים אשר בהם כלל לא קיימת מערכת חשמלית ובמטוסים אלו ניתן קריאת מד אופק הפועל באמצעות הוואקום.



איור ט'- 14 - אופק מלאכותי. מימין - תצוגה משמאל - מבנה פנימי

מכשיר נוסף המצוי במטוסים הוא **מד שיעור הפניה**. מכשיר זה מורה לטייס את שיעור הפנייה שלו ביחס לכיוון טיסתו. גם מכשיר זה פועל על סביבון ג'ירוסקופי, אשר צירו מצוי על הקו הדמיוני העובר מקצה כנף לקצה כנף (אופקי וניצב לכיוון הטיסה).

המד שיעור הפנייה נוסף עוד מכשיר המורה לטייס את שיעור ההחלקה שלו. זהו מעין צינור זכוכית קשתי הממולא בנוזל כלשהו (אלכוהול או נפט) שבתוכו ישנו כדור מתכת. כדור המתכת ישאף להימצא במקום "הנמוך" ביותר בקשת הצינור. המקום הנמוך ביותר הוא המקום שכוח הפועל בניצב לציר האורך של המטוס מושך אותו אליו. כאשר המטוס טס טיסה אופקית וישרה, כוח זה הוא כוח המשיכה של כדור הארץ. כאשר המטוס מצוי בפנייה מתואמת, הכוח הפועל על הכדור הוא הכוח המקביל ציר העילוי. בהחלקה החוצה הכוח הפועל על הכדור הוא השקול שבין כוח העילוי לבין כוח המשיכה של כדור הארץ. במקרה זה, הכדור יזוז פנימה לצד ההטיה. בהחלקה פנימה, יפעל על הכדור כוח השקול בין העילוי לבין הכוח הצנטרפוגאלי ואז הכדור יוסט החוצה להטיה.



איור ט'-15 - מד פניה והחלקה. מימין - תצוגה משמאל - מבנה פנימי

מכשירי טיסה אלקטרוניים עם תצוגת מסך LCD.

היום ניתן להשיג מערכת תצוגת נתוני הטיסה הפועלת על טהרת האלקטרוניקה והמציגה את נתוני נטיסה ע"ג מסך LCD. במערכת זו נתוני הוואקום (לחץ אוויר סטאטי, לחץ אוויר דינאמי - פיתול ולחץ אוויר דינאמי תלוי בזווית ההתקפה) מגיעים אל יחידת עיבוד המכילה את רגשי הלחץ (רגש לחץ אבסולוטי למדידת הלחץ הסטאטי ורגשי לחץ דיפרנציאליים - למדידת לחץ הפיתול ולחץ זווית ההתקפה). זו מתרגמת לחצים אלו, בעזרת מיקרו בקר, לערכים דיגיטליים המשודרים בקו תקשורת סריאלית (RS232 or RS485) אל יחידת התצוגה, שבה מיקרו בקר מקבל את הערכים הנמדדים, מעבד אותם ומציג אותם על המסך בצורה המזכירה את צורת הצגתם בשעונים אנלוגיים (סרט להצגת הערך האנלוגי ומספר להצגת הערך המדויק)



איור ט'-16 - מערכת להצגת נתוני הטיסה - EFIS

ברוב המטוסים מכשירי הטיסה ממוקמים בתצורה קלאסית הנקראת "T":

השימוש בציוד אלקטרוני מאפשר הצגת נתונים ע"ג המסך, שבמערכות האנלוגיות, הצריכו מכשירים נפרדים, שתפסו מקום רב ע"ג הפאנל. בנוסף, ניתן להציג גם את זווית ההתקפה בסמוך למד המהירות ואת מד שיעור הנסיקה/הנמכה, בסמוך למד הגובה. נתוני מד המהירות ומד הגובה מוצגים הן בצורה אנלוגית - סרט והן בצורה דיגיטלית - מספרית. יתרון נוסף של התצוגה הגראפית ע"ג המסך, הנובעת מהשימוש במעגלים אלקטרוניים דיגיטליים, היא היכולת להציג את נתוני המצפן מתוך רגש הדוגם את קווי השטף המגנטי של כדור הארץ בצורה אלקטרונית ללא כל חלקים נעים ובכך לבטל את הצורך להשתמש במשקלות לאזן את השקיעה המגנטית וע"י זה, לבטל גם את הצורך להתחשב בפיגור (או הקדמה) של תצוגת המצפן המכאני, בפניות ובתאוצות/תאטות. ישנם יצרנים המציגים את שיעור הפניה (מעלות לדקה) באמצעות קו הנמתח ממרכז המצפן, ימינה או שמאלה, לכיוון שאף המטוס ימצא בו בעוד דקה.



איור ט'-19 - רגשי איסוף נתונים למערכת תצוגה EFIS.

מימין - רגש איסוף נתוני וואקום: לחץ סטאטי, לחץ דינאמי פיתו ולחץ דינאמי זווית התקפה. משמאל - רגש מדידת קווי השטף המגנטי של כדור הארץ - למצפן.

מערכות תצוגה רב תכליתיות = MFD - Multi Function Display

היום ניתן למצוא יותר ויותר מערכות תצוגה רב תכליתיות המציגות לטייס, ע"ג מסך יחיד את כל המידע הנדרש לו לניהול הטיסה ובטיחותה. הצגת הנתונים נעשית ע"ג מסך MFD - Multi Function Display, וברוב המערכות, הטייס יכול לבחור מה יוצג ע"ג המסך. ישנם מטוסים רבים שמותקנים בהם שני מסכים ובמקרה זה, מקובל להציג ע"ג מסך אחד את נתוני המנוע וע"ג המסך השני את נתוני הטיסה והניווט. אולם, בכל רגע נתון, אפשר להחליף בין המסכים ואפשר להעלות על כל מסך נתונים אחרים (ע"ג מסך המנוע את נתוני הניווט ו/או נתוני הטיסה וע"ג מסך נתוני הטיסה והניווט את נתוני המנוע). ניתן גם, על-מנת להוריד את עומס העבודה מהטייס, שלא להציג נתוני מנוע מסוימים וכאשר מתרחשת חריגה, הנתון "קופץ" על המסך בליווי אזהרה על מהות החריגה.



איור ט'- 20 - מסך MFD עליו מוצגים נתוני המנוע, נתוני הטיסה ונתוני הניווט (מקור-gps)

אחד היתרונות הגדולים של מסך ה-MFD היא האפשרות "לתקשר איתו" באמצעות Soft Keys. כלומר, מקשים אשר תפקיד כל אחד מהם מוגדר ע"י "חלונית" קטנה המופיעה בסמוך ללחצן. תוכן החלונית מוגדר בתוכנה והוא מוצג, כאמור, ע"ג המסך, כחלק מהתמונה. כמובן שיתרון חשוב נוסף הוא החיסכון בשטח פאנל.

נתוני המנוע - נתונים אלו נאספים באמצעות יחידת איסוף נתוני המנוע (לכל יצרן יש לה שם משלו) הנמצאת ליד קיר האש. כל החושים המגיעים מהגששים השונים, מתחברים אל היחידה אשר בתוכה נמצאים המעגלים האלקטרוניים לנרמול הסיגנאלים למתחים המתאימים למדידה באמצעות ממירים אנלוגי לדיגיטלי ADC (אלו יכולים להיות רכיבים עצמאיים או חלק מהמיקרו בקר), המיקרו בקר המשמש לעיבוד המידע והכנתו עבור ה-MFD ומעגלי התקשורת הטורית בין היחידה ל-MFD.

נתוני הטיסה - ישנן מערכות אשר בהן נתוני הוואקום (פיטו, לחץ סטאטי ולחץ פיטו לזווית התקפה) נאספים ומעובדים בתוך יחידת ה-MFD וישנן מערכות אשר בהן ישנה יחידת איסוף נתוני הוואקום שאליה מגיעים נתוני הוואקום, בה נעשה העיבוד הראשוני והנרמול. בנוסף, בחלק מיחידות אלו ישנם גם הגששים הנוספים MEMS המודדים את התאוצות (בשלושה צירים) ואת השדה המגנטי של כדור הארץ. נתונים אלו דרושים ליצירת המידע הנדרש ליחידת התצוגה להצגת האופק המלאכותי, מד פניה ונטייה, מצפן, מהירות אוויר, זווית התקפה, גובה ושיעור טיפוס הנמכה. מדידת הטמפרטורה החיצונית, ע"י גשש מתאים, מאפשרת חישוב מהירות האוויר האמיתית. כל הנתונים הנאספים ביחידה זו, מעובדים, מנורמלים ומועברים בתקשורת טורית אל יחידת ה-MFD.

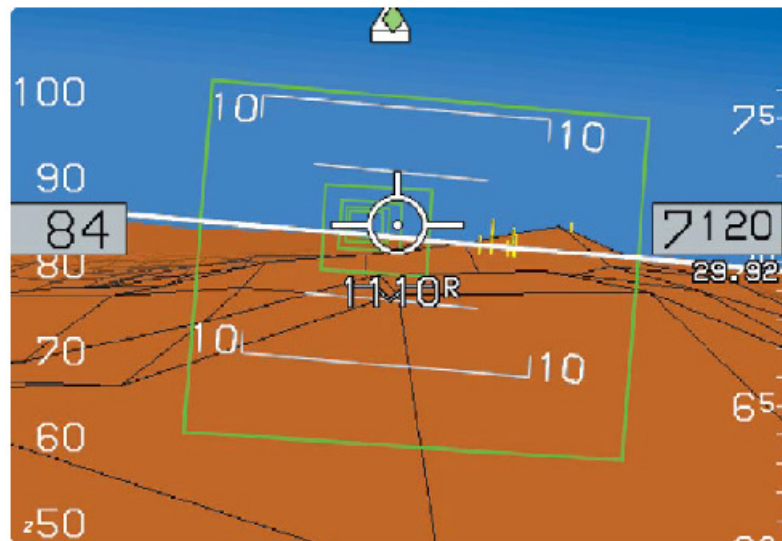
נתוני הניווט - נתונים אלו יכולים להתקבל ממערכות ניווט מסורתיות, ADF, VOR+G.S+Localizer, DME, ו/או ממערכת ניווט לווייני gps.

נתונים אלו יכולים להיות מוצגים ע"ג המסך הן בצורה הקלאסית כדוגמת ה-HSI או כ"אוטוסטראדה בשמיים" Highway in the Sky (שורת ריבועים הולכים וקטנים, המייצגים את

"הנתיב" הדמיוני - ימין שמאל ולמעלה למטה - שבתוכו יש לטוס), או בשילוב של שניהם. וכן להציג את פני השטח מעליו טסים כתצוגה סינטטית.

ישנן מערכות ה"צובעות" את פני השטח בתצוגה הסינטטית, לפי גבהים: מרווח מסוים מתחת למטוס (למשל 500 רגל מתחת למטוס ולמטה - בצבע ירוק) ממרווח זה עד מרווח קטן יותר (למשל בין 500 רגל ל- 150 רגל מתחת גובה המטוס - בצהוב) ושטחים שגובהם מהגובה הצהוב עד למעלה מגובה הטיסה (למשל מ-150 רגל מתחת לגובה הטיסה וכל מה שלמעלה מגובה הטיסה - באדום).

מאחר והמערכת מוזנת גם מ- gps, המערכת יכולה לחשב, עפ"י כיוון אף המטוס והנתיב האמיתי על הקרקע, את הסחיפה ומתוך כך לתת לטייס גם את נתוני הרוח.



איור ט'-21 - תצוגת HITS - Highway In The Sky, ע"ג מסך MFD



איור ט'-22 - מסך MFD מלא מאפשר הצגת נתוני המנוע, נתוני הטיסה ודפויות מידע תעופתי

תקשורת בין מרכיבי מערכת EFIS

בדרך כלל, אם לא בכל המערכות, התקשורת בין מרכיבי המערכת נעשית באמצעות Serial Bus - קו תקשורת טורית.

ברמה החשמלית, ישנם מספר פרוטוקולים לתקשורת: RS-232, ARINC-1553, ARINC-429 ופרוטוקולים ייחודיים ליצרנים השונים.

השימוש בשלושת הפרוטוקולים RS-232, ARINC 1553 ו-ARINC-429, מאפשר אינטגרציה עם מערכות של יצרנים אחרים, למשל, טייס אוטומאטי Auto-Pilot, מנועי סרוו המשמשים טייס אוטומאטי וכן עם מכשירי קשר רדיו, שניתן לשלוט בהם מרחוק.



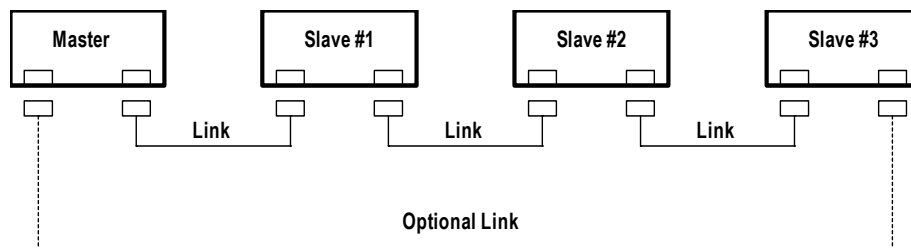
איור ט'-23 - מכשירים הנשלטים בתקשורת טורית: מימין רדיו. משמאל מנוע סרוו



איור ט'-24 - מערכת EFIS שלימה במחברת באמצעות תקשורת טורית

חיווט קו התקשורת הטורית נעשה בשיטות שונות, כאשר שתיים הן המובילות: חיווט "שרשרי" וחיווט "כוכבי".

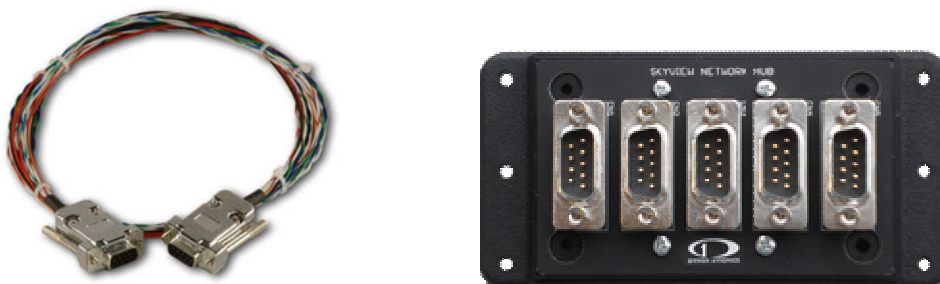
בשיטת השירשור, לכל מרכיב במערכת ישנם שני מחברים, מקבילים. כל המכשירים מתחברים ביניהם ע"י מספר כבלים, כאשר בקצותיו של כל כבל שני מחברים המחוברים בין שני מרכיבים בשרשרת. כלומר, ישנו מכשיר הנמצא בתחילת השרשרת ממנו יוצא כבל אל המכשיר הבא ומהמכשיר הזה יוצא כבל אל המכשיר הבא בתור וכך הלאה. בשיטה זו, ניתן להגדיל את רמת השיווריות (Redundancy) ע"י "סגירת במעגל" באמצעות כבל המחבר את המכשיר האחרון בשרשרת אל המכשיר הראשון. באופן זה, מבטיחים את רציפות העברת הנתונים בין המכשירים השונים גם אם אחד המחוברים ניתק או שאחד הכבלים ניזוק (נקרע).



איור ט'-25 - "תקשורת שרשרית" ה-Master מנהל את הרשת

שיטת החיבור השנייה מבוססת על רכיב אחד שבו קיימים מספר מחברים מקבילים, אשר בין כל אחד מהם לבין אחד המכשירים במערכת, מתחבר כבל תקשורת. באופן זה מבטיחים כי גם אם

מכשיר מסוים יתקלקל, המערכת תמשיך לפעול כרגיל ובנוסף, ניתן לחבר גם מכשירי גיבוי אשר "נכנסים לפעולה" כאשר המכשיר המגובה מתקלקל.



איור ט'-26 - "מרכזיית תקשורת" בשיטת "כוכב" וכבל תקשורת בין המרכזייה למכשירים

ברוב שיטות התקשורת המהירה יש חשיבות למניעת "התנגשויות" בין המידע המתקדם בכיוון אחד של הקו לבין אותו מידע החוזר מקצהו של הקו, אם הקו אינו "מועמס" מבחינה חשמלית כראוי. לכן, לכל קו מוגדרת "התנגדות" (Impedance) אופיינית ויש לוודא כי זוג החוטים המהווים את קו התקשורת, "יועמסו" ע"י התנגדות אוהמית, השווה לאימפדנס הקו. פרקטית, מחברים בשני הקצוות הרחוקים של זוג החוטים, שני נגדים הכפולים בערכם מהאימפדנס של הקו (כזכור, ההתנגדות השקולה של שני נגדים שווים המחוברים במקביל, שווה למחצית ערכו של כל נגד). חיבור הנגדים מונע תופעה הידועה בשם "גלים עומדים (חוזרים)" מה שעלול לשבש את המידע המועבר בקו התקשורת.

פרק י' אוויוניקה - רדיו ואינטרקום

כללי

הקשר בין הטייס לבין תחנות הבקרה האזוריות, מגדלי הפיקוח ועם מטוסים אחרים מתבצע באמצעות מכשיר הרדיו שבמטוס.

הקשר בין יושבי המטוס מתבצע באמצעות האינטרקום.

ע"מ לקיים תקשורת דיבור, כל משתמש צריך שיהיו לו מיקרופון ואזניות. בדרך כלל, אם לא בכל מערכות הדיבור, מדובר במערכת ראש שבה ישנם מיקרופון לדיבור ואזניות לשמיעה.

מאחר ואותה מערכת ראש משמשת גם לדיבור/שמיעת בין יושבי המטוס וגם לדיבור/שמיעה עם העולם החיצוני (באמצעות הרדיו) יש צורך בשילוב בין שתי המערכות.

בדרך כלל, השילוב נעשה במכשיר האינטרקום, אם כי, ישנן מערכות בהן, בתוך מכשיר הרדיו משולב גם אינטרקום.

מהו מכשיר רדיו

מכשיר רדיו, מאפשר העברת מידע (אינפורמציה) בין מקומות שונים ללא תווך פיזי (חוטים). העברת המידע נעשית באמצעות "שידור" גל אלקטרו-מגנטי הנושא עליו את המידע שאותו רוצים להעביר.

הגל האלקטרו-מגנטי מכונה "גל נושא" - Carrier ואופן "הלבשת" המידע עליו, נקרא "איפנון" Modulation.

הגל הנושא, כאמור, הוא גל אלקטרו-מגנטי שזוהי צורת התפשטות של אנרגיה. הגל נקרא כך משום שהאנרגיה המתפשטת במרחב היא צורה משתנה של אנרגיה, פעם אנרגיה חשמלית (שדה חשמלי) ופעם אנרגיה מגנטית (שדה מגנטי). קצב ההתחלפות שבין שתי צורות האנרגיה, נקרא תדירות והיא מבוטאת במספר מחזורים לשנייה - הרץ (Hertz).

מכוון שקצב ההשתנות מאד מהיר, משתמשים במכפלות של אלף:

אלף מחזורים בשנייה = קילו-הרץ = kHz

מליון מחזורים בשנייה = מגה-הרץ = MHz

אלף מליון מחזורים בשנייה = ג'יגה הרץ = GHz

מושג נוסף הקשור בגל אלקטרו-מגנטי, הוא "אורך הגל", אורך הגל הוא המרחק הפיזי במרחב שבין מצב של האנרגיה בצורתה החשמלית לבין אותו מצב, במחזור הבא.

אם מהירות ההתפשטות ידועה, ניתן לחשב את אורך הגל עפ"י הנוסחה:

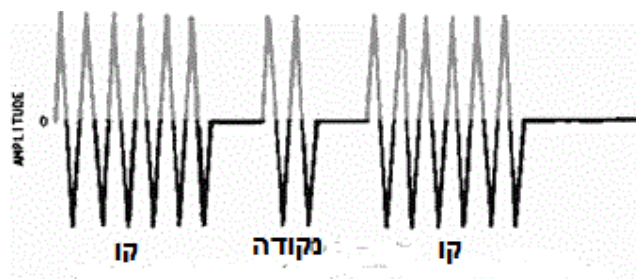
אורך הגל שווה מהירות ההתפשטות חלקי התדירות

$$\lambda = v/f$$

כאשר: λ = אורך הגל, v = מהירות ההתפשטות ו- f = התדירות

בתעופה האזרחית תדר השידור של מכשירי הרדיו לדיבור הוא התחום שבין 118.00 מה"צ ועד 135.975 מה"צ. מאחר ומהירות התפשטות הגלים במרחב היא 300 אלף ק"מ בשנייה, החישוב עפ"י הנוסחה שלמעלה מעלה כי אורך הגל של הגל המשודר הוא בין 2.54 מטר לבין 2.21 מטר. (בהמשך נסביר מהי החשיבות של אורך הגל).

ישנן שיטות אפנון שונות. לכל אחת היתרונות והחסרונות שלה. השיטה המוקדמת ביותר, שנעשה בה שימוש, נקראת "מיתוג גל נושא" CW. בשיטה זו הגל הנושא, פעם משודר ופעם לא. למשל, אם משך השידור יהיה מקוטע בשיטה של זמן ארוך/זמן קצר, אפשר יהיה לשדר מורס כאשר זמן שידור ארוך ייצג "קו" וזמן שידור קצר ייצג "נקודה". ואכן, בעבר שיטה זו הייתה נפוצה ביותר לשידורי מורס. שני יתרונות חשובים יש לשיטה זו: 1. משדר ומקלט פשוטים ומעגלי אפנון וגילוי פשוטים ביותר. 2. ניתן להשיג טווחי קשר גדולים ביותר באמצעות משדרים שאינם משדרים רבי-עצמה.

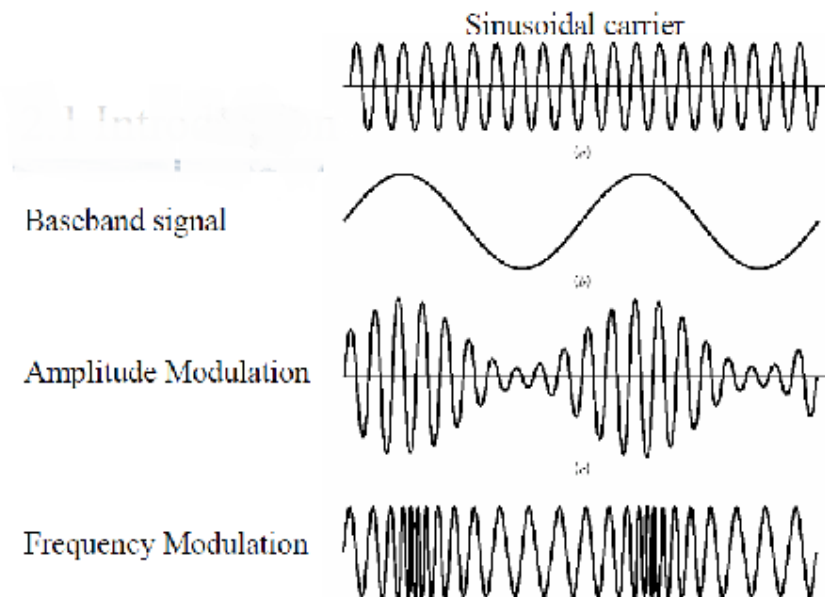


איור י' - 1 - "שידור מורס בשיטת CW"

החסרון הגדול של השיטה - צריך לדעת מורס וצריך להיות "מצוידיים" באוזניים מוזיקליות ע"מ להיות מסוגלים לדבר בין שני המקומות. חסרון נוסף - זמן ארוך נדרש להעברת מידע רב.

שיטת אפנון נוספת נקראת "אפנון תנופה" AM=Amplitude Modulation. בשיטה זו עוצמתו של הגל האלקטרו-מגנטי משתנה עפ"י גודל האות המאפן. בשיטה זו כבר ניתן להעביר דיבור.

מיקרופון הקולט את הדיבור בצורתו האקוסטית. מתרגם את האות האקוסטי לאות חשמלי שגודלו משתנה בכל רגע ורגע, עפ"י עוצמתו של האות האקוסטי. האות החשמלי המשתנה, המופק במיקרופון, מועבר למעגל האפנון, שמשנה את עוצמת הגל האלקטרו-מגנטי בהתאם. במקלט ישנו מעגל "גלאי" המתרגם את שינויי העוצמה של הגל האלקטרו-מגנטי הנקלט, לאות חשמלי הדומה בצורתו לאות הדיבור. אות חשמלי זה מוגבר, מועבר לאוזניות או לרמקול המתרגמים אותו לאות אקוסטי, שזהו, למעשה "שיחזור" של הדיבור המקורי. התמונה הבאה מתארת את הקשר שבין האינפורמציה (צליל) לבין הגל הנושא והתוצאה, כאשר מאפנים גל נושא עם הצליל בשיטת אפנון AM ובשיטת אפנון FM.



איור י' - 2- שידור באפנון AM ובאפנון FM

התמונה שלמעלה מתארת את האופן שבו מאפננים גל נושא (Sinusoidal Carrier) באמצעות צליל (דיבור) (Base Band Signal) בשתי שיטות: אפנון תנופה (Amplitude Modulation) ובאפנון תדירות (Frequency Modulation).

כאשר אין אות מאפנן, גודלו של הגל הנושא הוא גודל הגל המשודר. כאשר גודלו של האות המאפנן גדול יותר וחיובי, עוצמתו של הגל הנושא גדול יותר. כאשר האות המאפנן גדל בכיוון השלילי, גודלו של הגל הנושא נמוך יותר. ברור שישנו גודל מסויים של האות המאפנן שמעבר לו, לא ניתן להקטין את גודלו של הגל הנושא הגודל המכסימאלי הזה נקרא 100% אפנון. אחוז האפנון הוא היחס בין גודלו, בפועל של הגל המאפנן לבין גודלו המכסימאלי של האות המאפנן, שניתן לאפנן את הגל הנושא. בדרך כלל מאפננים ב-30% עד 50% כדי שלא להיכנס לעיוותים.

בשיטת אפנון תדירות, FM - Frequency Modulation, תדירות הגל הנושא משתנה בהתאם עם גודלו של אות (השמע) המאפנן. ככל שבנקודה מסוימת גודלו של האות המאפנן גדול יותר, התדירות של הגל הנושא גבוהה יותר. ללא אות תדר הגל הנושא הוא תדר העבודה.

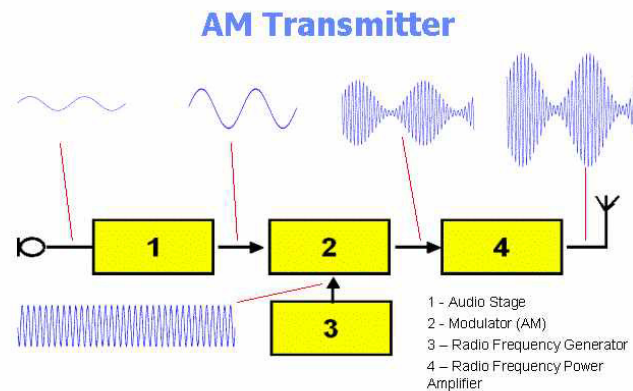
קיימות עוד שיטות אפנון, שמפאת קוצר היריעה ומכיוון שאינן נפוצות בתעופה, לא נתייחס אליהן במסגרת ספר זה.

אם נסכם את מבנה מכשיר הרדיו נוכל לתארו באופן הבא:

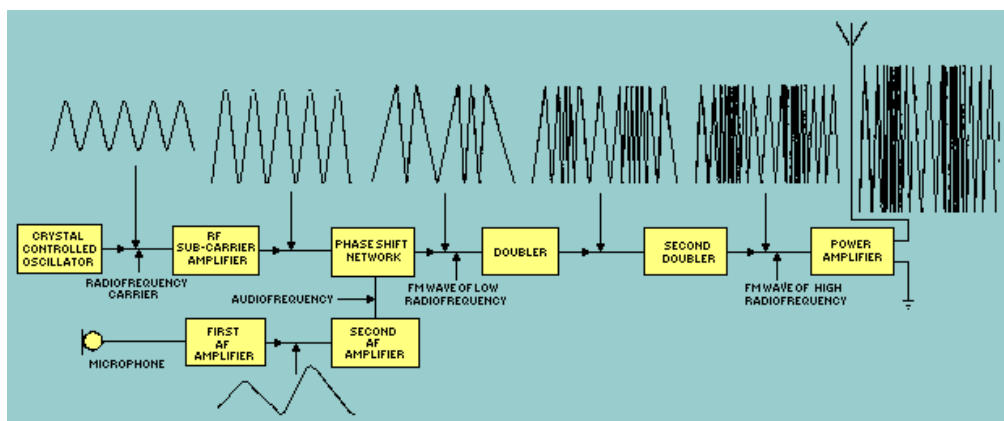
המשדר - מעגל אלקטרוני ליצירת האות החשמלי עבור הגל הנושא. אות חשמלי זה צריך להיות בתדר הגל הנושא. מעגל זה נקרא מתנד - Oscillator.

האות החשמלי ממוצא המתנד (תדר השידור) נכנס למעגל אפנון: במשדר AM עוצמתו של האות במוצא, תשתנה עפ"י אות הדיבור ובמשדר FM, תדר האות במוצא ישתנה בהתאם לאות הדיבור. האות המאופנן מועבר למגבר הספק המגביר אותו לעצמת השידור הנדרשת.

האות במוצא מגבר ההספק נמסר לאנטנה אשר הופכת את האות החשמלי המוגבר לגל אלקטרו-מגנטי המשודר למרחב.



איור י' - 3- דיאגרמת מלבנים של משדר AM



איור י' - 4- דיאגרמת מלבנים של משדר FM

המקלט - אות אלקטרו-מגנטי (אחד מיני רבים מאד) נקלט באנטנה ההופכת אותם לאותות חשמליים. מעגל מיוחד (תהודה) מכוון לקליטת אותות חשמליים בתדרים הקרובים לתדר הקליטה (מתחת ומעל תדר הקליטה). זהו הסינון הראשוני. הכל האותות מיציאת הפילטר הראשוני נכנסים למעגל הנקרא "ערבל" (Mixer). אל אותו המעגל מוכנס גם אות מתנד, שניתן לכוון את התדר שבמוצא שלו.

הערבל מבצע פעולה מתמטית של חיבור וחיסור בין שני האותות המוזנים אליו. באופן זה, יוצאים ממוצא הערבל ארבעה אותות בתדירויות הבאות: התדר הנקלט, תדר המתנד תדר הסכום של תדר המתנד עם תדר הקליטה ותדר ההפרש בין תדר המתנד לבין תדר הקליטה.

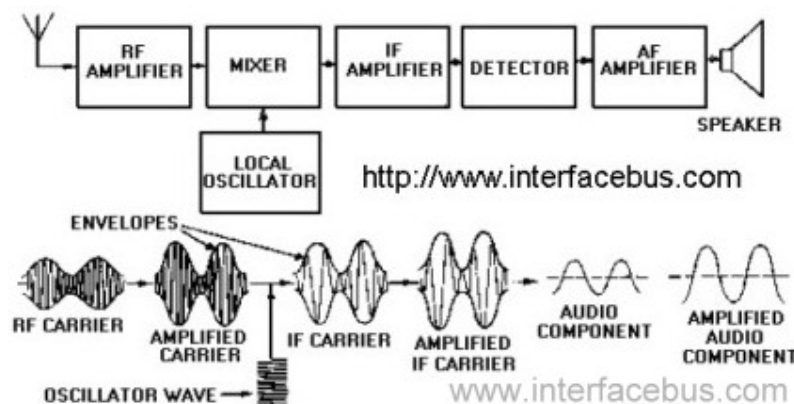
כל ארבעה אותות אלו מוזנים למעגל תדירות ביניים - IF אשר, באמצעות מעגלי תהודה, מסוגל להעביר רק תדר יחיד. תדר זה יכול להיות (עפ"י תכנון המכשיר) תדר ההפרש או תדר הסכום. נניח כי המערכת תוכננה לעבוד עם תדר ההפרש, אזי רק גל אלקטרו-מגנטי שתדרו שווה לתדר המתנד פחות תדר ה-IF, ייקלט במקלט.

באופן זה, בקרת תדר המתנד תאפשר בחירת תדר הקליטה.

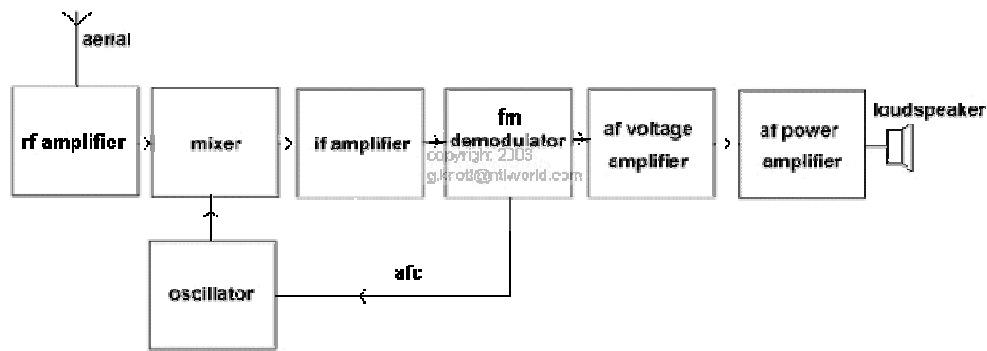
מקלט הפועל בשיטת בחירת תדר הקליטה שתוארה למעלה, נקרא מקלט "סופר-הטרודיין" Super Heterodyne.

האות המסונן במוצא ה-IF מוזן למעגל גילוי אשר מפריד את האות המאפנן מאות הגל הנושא. בשיטת AM המעגל נקרא "גלאי" Detector ובשיטת שידור FM המעגל נקרא "מבחן" או "מפלה" - Discriminator.

האות ממוצא הגלאי מועבר למגבר שמע המגביר אותו לעוצמה הדרושה לאוזניות ו/או לרמקול.



איור 5 - דיאגרמת מלבנים של מקלט AM



איור י' - 6- דיאגרמת מלבנים של מקלט FM

קשר רדיו בתעופה

מערכות הקשר המשמשות בתעופה האזרחית הן מערכות קשר דיבור באפנון תנופה AM הפועלות בתחום התדרים 118.00 to 135.975 MHz (מערכות הניווט המשמשים בתעופה האזרחית, פועלות בתחום התדרים 108.00 to 117.975 MHz).

יש לציין כי השימוש בשיטת אפנון AM נובע מסיבות היסטוריות (אם כי, יש הטוענים כי בשיטה זו ניתן לשמוע שני מקורות שידור הפועלים באותו התדר ואינם חוסמים זה את זה). בשיטת שידור באפנון תדר FM, איכות הקשר טובה בהרבה אך ישנה מגבלת חסימה של שני מקורות המשדרים באותו התדר. המקור החזק חוסם לחלוטין את המקור החלש יותר.

ישנן עוד שיטות תקשורת בתעופה האזרחית (תקשורת נתונים ו-HF-SSB), אך לענייננו, עבור בוני המטוסים, שיטות אלו אינן ישימות. כמובן, שעם חדירת הטלפוניה הסלולארית לחיינו, קיימות שיטות לחבר טלפונים סלולאריים למערכות הראש, בחיבור "עוקף" שלא דרך מכשיר הרדיו של המטוס. בהמשך נדון ונסביר את האופן שבו משלבים את מכשיר/מכשירי הרדיו במערכת הקשר של המטוס.



איור י' - 7- מכשיר רדיו תעופתי להתקנה בפאנל



איור י' - 8- מכשיר רדיו תעופתי ידני הכולל גם מקלט ניווט (VOR)

אינטרקום

אמנם, רוב מכשירי הרדיו מאפשרים חיבור ישיר של מערכת הראש (אזניות ומיקרופון) אל המקמ"ש (מקלט-משדר) ושנם אפילו כאלו המאפשרים חיבור של שתי מערכות ראש אל מכשיר הרדיו, אולם, הצורך בקשר דיבור בין היושבים במטוס, בינם לבין עצמם, מצריך מערכת תקשורת פנימית אליה יתחברו כל מערכות הראש של היושבים במטוס, לאפשר להם לדבר ביניהם וגם, לפחות לטייס ולטייס המשנה, לדבר בקשר חיצוני באמצעות מכשיר הרדיו. לצורך כך יש להתקין במטוס מערכת קשר פנים - אינטרקום. ניתן להשיג בשוק מערכות אינטרקום, מהפשוטות ביותר, אנלוגיות, עבור שני משתמשים ומכשיר רדיו יחיד ועד מערכות דיגיטאליות המאפשרות חיבור ארבעה ושישה יושבים במטוס + אפשרות קשר רדיו חיצוני לשני הטייסים ולשני מכשירי רדיו + אפשרות השמעת מוסיקה, מונו או סטריאו (המוחלשת ואף מושתקת, כאשר מתקיימת תעבורת רדיו חיצוני - קליטה ושידור). אחת הדרישות החשובות במערכת אינטרקום תעופתי היא האפשרות להתחבר אליה במערכות ראש שאינן מאותו סוג ו/או יצרן. מתכונה זו נקראת "בידוד" Isolation. בעבר המיקרופונים היו מיקרופונים דינאמיים (סליל נע בתוך שדה מגנטי) אולם היום נעשה שימוש נרחב במיקרופונים "אקטיביים" או "אלקטרוניים", שהם מיקרופונים מסוג "אלקטרט" (קיבולי) המכילים מגבר אלקטרוני פנימי בתוך המיקרופון, מכשיר האינטרקום מספק את מתח הפעולה של המגבר האלקטרוני ע"ג קו הדיבור. כאשר מחברים מיקרופון דינאמי (המייצר את האות החשמלי ללא צורך במקור חיצוני) לאחת מכניסות המיקרופון, מתח ה-DC הקיים בקו מתקצר לאדמה ואז, אם מחובר מיקרופון אלקטרט בכניסה השנייה, הוא לא יעבוד. לכן, יש צורך בשתי כניסות נפרדות, כניסה לכל מיקרופון, המספקות את המתח הדרוש לו ואת המעגלים הדרושים להפעלתו. זהו הפירוש של המושג "כניסות מבודדות".

תכונה נוספת, חשובה, של כניסות המיקרופון היא היכולת לספק את אות הדיבור הנדרש לשידור ברדיו, בעוצמה קבועה עבור תחום נרחב של עוצמות הדיבור - מחלש מאד עד חזק מאד.

מעגל זה נקרא **AGC** - Automatic Gain Control. ישנן מערכות אינטרקום אשר אליהן ניתן לחבר רמקול ומערכות ראש. דרך הרמקול יישמע השמע הנקלט ממערכת הקשר החיצוני, אך לא יישמע הדיבור בין היושבים במטוס. ישנן מערכות אינטרקום, המאפשרות שמיעת השמע המגיע ממערכות הניווט האלקטרוני: ADF, VOR, NDB וכו'. מערכות אלו כבר נקראות Audio Panel וברובן אפשר למצוא שורת מפסקים המאפשרים ניתוב מקורות השמע השונות למערכות הראש, לרמקול או לא לאף אחד מהם. כמובן שהשמע המגיע ממקלט הרדיו, תמיד ינותב לאוזניות שני אנשי הצוות שמערכות הראש שלהן מסוגלות לצאת לקשר חוץ. במטוסים בהם מותקנים שני מכשירי רדיו לקשר חוץ, מערכת קשר הפנים צריכה לאפשר בחירת מכשיר הרדיו ממנו יצא השידור החוצה (קליטת שני מכשירי הרדיו תתאפשר בלי קשר לאיזה מכשיר רדיו מנותב המיקרופון).



איור י' - 10 מכשירי אינטרקום אנלוגיים שני טייסים (מימין מונו ומשמאל סטריאו)



איור י' - 11 מערכת אינטרקום Audio Panel



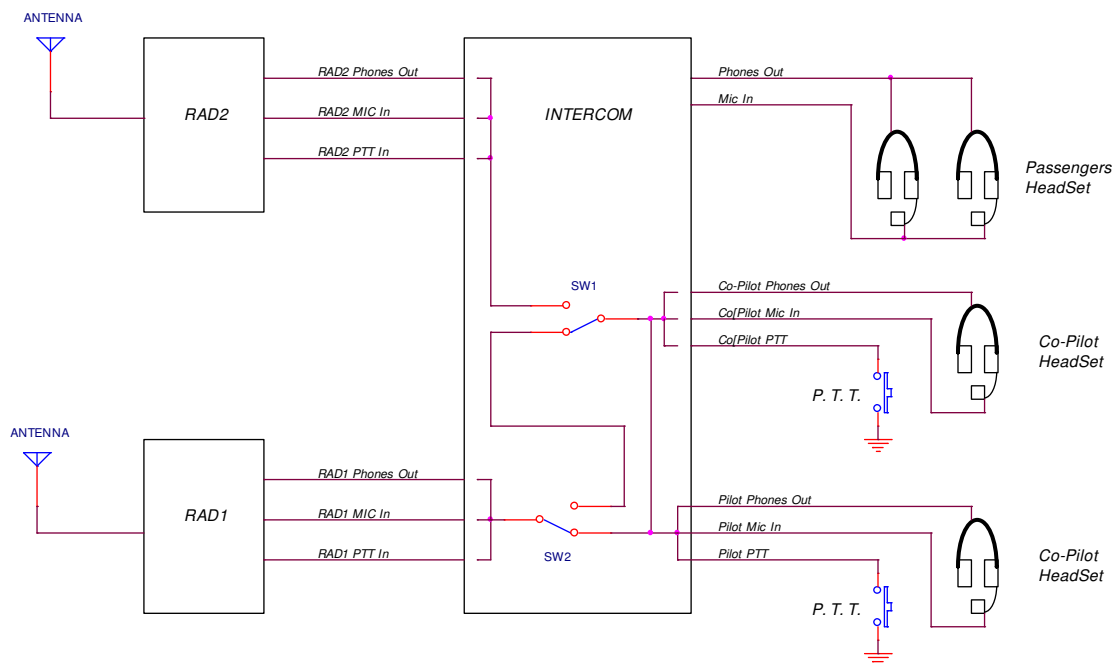
איור י' - 12 מערכת אינטרקום דיגיטלית Audio Panel

בציור שלמעלה, מכשיר ה-Audio Panel מאפשר בחירת חיבור מוצא השמע של מערכות הניווט השונות שבמטוס אל הרמקול ו/או מערכות הראש של היושבים במטוס, ניתוב שמע המיקרופון

מתאפשר, באמצעות המתג הסיבובי שבימין המכשיר (העליון), אל אחד ממכשירי הרדיו COM1 or COM2) ואת מוצאי שמע הקליטה שלהם לרמקול או למערכות הראש, כאשר תמיד, מוצא שמע הקליטה של הרדיו הנבחר לשידור יתחבר למערכת הראש של הטייסים גם אם לא נבחר ע"י המפסק.

במכשיר זה ישנו גם מקלט לקליטת אלומת השידור של משדרי מיקום הגישה הסופית OM, MM Beacon and IM , להשמיעם באזניות או ברמקול ובנוסף, להדליק את נוריות החיווי של כל אחד מהם.

שילוב מערכת השמע (אינטרקום ורדיו)



איור י' - 13 מבנה עקרוני של מערכת אינטרקום בשילוב עם רדיו

הציור שלמעלה, מציג באופן סכמטי, את מעגלי השמע במערכת משולבת רדיו/אינטרקום. ניתן לראות בבירור כי האינטרקום (או Audio Panel) הוא "לב" המערכת ומשמש מעין "מרכזיה" של אותות השמע במטוס. דרך מכשיר האינטרקום עוברים כל אותות השמע ומנותבים, עפ"י הדרישה, בין המקורות השונים לבין הצרכנים השונים.

במערכת השמע המשולבת עם רדיו, ישנם שלושה אותות, שהם החשובים ומהותיים ביותר: שמע נקלט - **RX Audio**, שמע לשידור - **TX Audio** ובקרת שידור - **PTT**.

שלושה אותות אלו מנותבים באמצעות מערכת האינטרקום עפ"י הדרישה בין שני אנשי הצוות לבין מכשירי הרדיו.

השמע הנקלט בשני מכשירי הרדיו, COM1 ו-COM2, מנותב אל אזהניות שני אנשי צוות המטוס: הטייס וטייס המשנה ולא חייבים להגיע את אזהניות הנוסעים.

השמע לשידור היא תפוקת המיקרופונים של שני אנשי הצוות. אולם, ע"מ שהדיבור של איש הצוות יצא דרך המכשיר המשדר, אותו איש צוות צריך לשלוח פקודת PTT אל הרדיו שדרכו הוא רוצה לשדר. לחיצה על לחצן ה-PTT של איש הצוות תגרום למכשיר הנבחר לצאת לשידור ולתפוקת המיקרופון שלו להיכנס את כניסת השמע של אותו מכשיר רדיו נבחר.

בחירת מכשיר הרדיו שממנו ייצא השידור, נעשית ע"י המפסק הנקרא בשרטוט SW1. SW1 בוחר גם את מכשיר הרדיו אליו ינותב אות בקרת השידור PTT.

ישנם מכשירי אינטרקום שבהם ישנו מעגל הקובע עדיפות (Priority) לטייס ע"פ טייס המשנה וישנם מכשירים שבהם קיימת עדיפות "הראשון לוקח", כלומר, מי שלחץ ראשון על לחצן ה-PTT איש הצוות השני אינו יכול לצאת לשידור.

תכונה חשובה הקיימת במספר מכשירי אינטרקום היא הגבלת זמן שידור. מעגל אלקטרוני מודד את הזמן שלחצן ה-PTT לחוץ. אם זמן זה ארוך מפרק זמן מוגדר, יישלח צליל התראה לאזהניות ע"מ להזכיר לטייס כי הוא "תופס את הרשת" ומונע ממשתמשים אחרים לדבר ברשת.

המפסק SW2 הוא מפסק הנקרא Fail Safe. זהו מפסק (בדרך כלל ממסר), שבמקרה תקלה במכשיר האינטרקום, או כאשר אין מפעילים אותו, מערכת הראש של הטייס מתחברת ישירות אל מכשיר הרדיו COM1.

מכשירים אחרים הנמצאים במטוס ינותבו אל אזהניות הטייסים (והנוסעים) בהתאם למפסקים הנמצאים בפאנל מכשיר האינטרקום (אם זה הוא Audio Panel). למפסקים אלו שלושה מצבים: במצב אמצעי אות השמע אינו נשמע. במצב אחד, אות השמע מושמע באזהניות הטייסים ובמצב השלישי, אות השמע מושמע ברמקול המצוי בתא.

במכשיר האינטרקום מצוי כפתור לוויסות עוצמת השמע באזהניות וברמקול.

אם תפוקת המיקרופונים של אנשי הצוות מנותבת אל מכשירי הרדיו של המטוס רק כאשר נלחץ לחצן ה-PTT, הרי שתפוקת המיקרופונים של הטייסים (וגם הנוסעים) מגיעה לאזהניות שאר הנמצאים במטוס בשיטה הנקראת HOT MIKE. כלומר, ברגע שמישהו מדבר במיקרופון, תפוקת המיקרופון נשמעת אצל כל היושבים במטוס והמערכת פועלת כמערכת "קשר פנים". מעגל מיוחד, SQUELCH מונע מרעשי הרקע בקיימים בתא מלהגיע לאזהניות המשתמשים. מעגל זה "מודד" את עוצמת השמע ורק כאשר הוא מזהה עלייה (עקב דיבור במיקרופון) הוא "פותח" את מגבר המיקרופון ומאפשר לשמע הדיבור להגיע אל מגברי האזהניות של שאר המשתמשים (וגם של המדבר). ישנם מכשירי אינטרקום שניתן לכוון את עוצמת סף זיהוי הדיבור במיקרופון, באמצעות כפתור הנקרא Squelch.

במכשירי אינטרקום בהם ניתן להשמיע מוסיקה (אם זה ממקור חיצוני או מעגלים פנימיים - במכשירים דיגיטאליים), ישנם מעגלים אשר מחלישים את המוסיקה כאשר מתקיימת תעבורת קשר פנים.

וכאשר נשלח PTT לשידור ו/או כאשר נקלט אות שמע מהמקלט המוסיקה מושתקת לחלוטין. היום, יותר ויותר מערכות אינטרקום תומכות באוזניות סטריאופוניות באיכות שמע טובה ואפילו טובה מאד.

חיווט מערכת השמע במטוס

חיווט מערכת השמע במטוס דורש תשומת לב מרובה מפני שלא כמו מערכות הפועלות בזרם ישר (DC), במערכות השמע מועברים אותות זרם חילופין בעוצמות נמוכות ואשר איכות האות קובעת את איכות השמע. מאחר ומדובר באותות חלשים (תפוקת המתח של מיקרופון היא בסדר גודל של מילי-וולטים אחדים עד עשרות מילי-וולטים) רעשים הקיימים במערכת החשמל של המטוס, יכולים להיכנס למערכת השמע ולהפריע בצורה בלתי נסבלת.

לכן, חשיבות מרובה יש לתת הן למיקום החוטים והן לבחירת החוטים ואיכות ההתקנה. אחת הנקודות החשובות, שכבר נדונו בפרק הארקות, היא החיבור של מערכות השמע לאדמה. אם הודגש נושא הארקה כוכב, הרי שבמערכת השמע הדבר חיוני והארקה לא נכונה יכולה לשבש, עד לחוסר יכולת תפקוד מוחלט, של מערכת הקשר.

העיקרון המנחה בהארקות מערכת השמע והקשר הוא כי **לכל מערכות אלו צריכה להיות**

נקודת הארקה יחידה!

משמעות הדבר כי כל המכשירים הפועלים במערכת הקשר והאינטרקום יחוברו לאדמה **בנקודה יחידה**. גם אם גוף המכשירים עשוי מתכת, והמכשירים יוצרים מגע גלווני (חשמלי) עם גוף המטוס (אם הוא עשוי מתכת), הרי שנקודת ההארקה תהיה צמודה לאחד ממגשי המכשירים. כלומר, אם יש מספר מוליכים במערכת שצריכים להתחבר לאדמה, כל אלו יחוברו לפס צבירה שמוצמד למגש מכשירי הרדיו והאינטרקום ומשם ילך חוט עבה (לפחות 12AWG) יחיד אל נקודת ההארקה המרכזית של המטוס.

אם המטוס עשוי מחומרים שאינם מוליכים - חומרים מרוכבים או עץ, יש לקבוע את פס הצבירה של הארקות הקשר בסמוך למגש מכשירי הקשר ומשם למשוך חוט עבה אל נקודת ההארקה המרכזית של המטוס.

אספקת המתח לכל מכשירי הרדיו תגיע ממרכזיית המאמ"תים (או הנתיכים), כאשר כל בונה יכול להחליט האם יחוברו לנתיך יחיד לכולם או לפחות נתיך אחד לרדיו 1 ונתיך אחד לרדיו 2 ולאנטרקום (יש המעדיפים הפרדת מקור המתח בין שני מכשירי הרדיו ע"מ להגדיל את השוירות של מערכת הקשר).

בעבר היה נהוג לחבר מפסק ראשי לכל מערכות האוויוניקה, שמעבירים אותו למצב "OFF" בהתנעת המנוע - מתוך חשש לנזק שעלול להיגרם לאלו עקב "חשלים" Spikes ע"ג מערכת החשמל של המטוס בזמן התנעת המטוס. אולם היום, עם התרחבות השימוש במערכות EFIS המתחברות לסנסורים השונים של המנוע, המערכות האלקטרוניות מוגנות ולא ידוע על נזק שנגרם בזמן התנעת המטוס ולכן, אין צורך מיוחד לנתק את המכשירים מהמתח בזמן ההתנעה.

אם הבונה מעדיף גישה שמרנית, ניתן לצייד את מערכת החשמל בפס צבירה מיוחד למערכות האוויוניקה שיתחבר דרך מפסק לפס הצבירה הראשי של המטוס. עכ"פ, חוטי המתח של מערכת הקשר יחוברו לכל מכשיר עפ"י הנדרש למכשיר (ישנם מכשירים הנזונים מיותר ממקור אחד) ואין חשיבות מיוחדת לתוואי הולכת החוטים. ישנם מכשירים שביניהם עוברים חוטי בקרה או מידע דיגיטאלי (למשל, כאשר שני מכשירי רדיו מותקנים במטוס, ישנם שני חוטי בקרה העוברים בין המכשירים, אשר מחלישים את רגישות הקליטה של "המכשיר השני" בזמן שמכשיר משדר (ע"מ למנוע נזק למעגלי הקליטה הרגישים). חוטים אלו יכולים להיות חוטים רגילים (בדרך כלל 22AWG). אולם, כל החוטים המוליכים אותות שמע, רצוי ונדרש, שיהיו חוטים מסוככים.



איור י' - 14 חוטים מסוככים. מימין, חוט סיכוך עם שלושה מוליכים פנימיים. במרכז ובשמאל חוט סיכוך עם שני מוליכים

יש המעדיפים, להשתמש בחוטים רגילים לחיווט הרמקול - אם זה קיים במערכת, אך השימוש בחוטים מסוככים, עבים יותר, 20AWG, גם עבור הרמקול, מאפשר זיהוי קל של החוטים כשייכים למערכת השמע, במהלך תחזוקה של מערכת החשמל והאוויוניקה. כבלים מסוככים המשמשים לתעופה מקבלים את המספר: **27500/18-22-2-1** : כאשר המספר בנוי מהחלקים הבאים:

27500/18 - כבל מסוכך, בידוד חיצוני טפזל, לטמפרטורה מכסימאלית 150°C, מתח עבודה מכסימאלי 600 וולט.

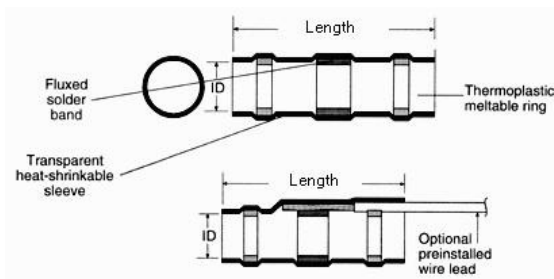
22 - עובי החוט ב-AWG (14=14AWG, 22=22AWG).

2 - מספר המוליכים הפנימיים (1= מוליך יחיד, 3=3 מוליכים).

1 - צבע הבידוד החיצוני עפ"י קוד הצבעים: 0=שחור, 1=חום, 2=אדום, 3=כתום, 4=צהוב, = ירוק, 6= כחול, 7= סגול, 8=אפור ו-9 = לבן

ע"מ לחבר את קצות החוט המסוכך ואת הסיכוך למחבר, יש להשתמש ב"מצמד חוט לסיכוך" (shield termination device) אשר יורכב ע"ג הסיכוך ואשר יהווה את "חוט ההארקה" לשאר החוטים שבכבל המסוכך.

מצמד זה בנוי מטבעת בדיל הלחמה אליה מוצמד חוט באורך של עשרה עד עשרים ס"מ ואלו נתונים בתוך שרוול מתכווץ בחום (Heat Shrink). לחיבור המצמד, מסירים את הבידוד מהכבל המסוכך באורך של כחמישה ס"מ מקצה הכבל, מלבישים את המצמד ע"ג הסיכוך החשוף עד שיגיע לקצה הבידוד של הכבל, כאשר החוט היוצא מהמצמד מופנה לכיוון הכבל (פנימה ולא לכיוון החוטים), חותכים את רשת הסיכוך קרוב ככל האפשר אל המצמד ומחממים באמצעות HetGun את המצמד עד להתכת בדיל ההלחמה ולהתכווצות השרוול המתכווץ. מכופפים את החוט של המצמד חזרה לכיוון החוטים (החוצה) ועוטפים את כל המצמד ועוד כס"מ נוסף ע"ג הבידוד של הכבל. מחממים באמצעות ה- HeatGun עד להתכווצות השרוול המבודד ובסופו של תהליך, מתקבל קצה כבל סיכוך אשר ממנו יוצאים המוליכים הפנימיים וחוט נוסף המשמש הארקה.

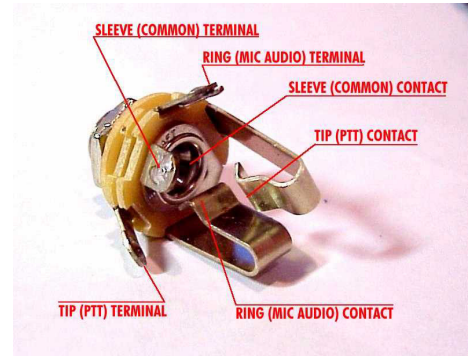


איור י' - 15 מצמדי חוט לסיכוך

עכשיו, כשיש לנו כבל מסוכך שבקצהו חוטים חופשיים, אפשר לחבר את החוטים למחברי השמע השונים, בהתאם לשרטוט.

מחברי השמע

מערכת הראש במטוס מתחברת באמצעות שני מחברי שמע. מחבר לאזניות ומחבר למיקרופון. שני אלו הם מחברים סטנדרטיים המשמשים בתחום ציוד השמע. מחבר האזניות הוא מחבר שקע לתקע $1/4"$ ($6.4\text{mm} = 0.25"$). למחבר זה ישנן שתי תצורות - מונו וסטריאו. מחבר השקע למיקרופון דומה מאד במבנהו למחבר השקע לאזניות סטריאו, אלא שקוטר החור הוא $0.21"$ (5.33mm).



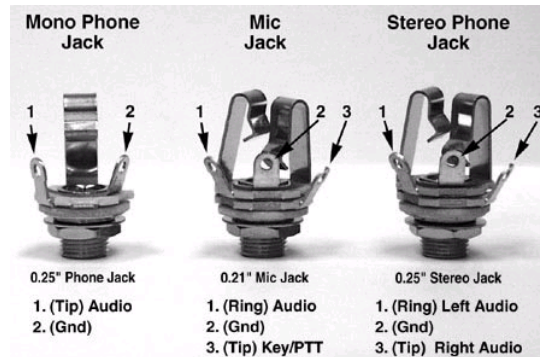
איור י' - 16 - שקעים 1/4" לאזניות. מימין - סטריאו ומשמאל - מונו



איור י' - 17 - פלאגים למערכת הראש. למעלה אוניות סטריאו. במרכז מונו ולמטה פלאג למיקרופון

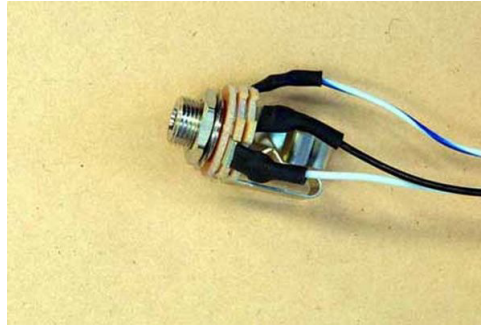
מחברי PL ("פלאג") הם מחברים מאד נפוצים בתעשיית השמע ויתרונם הגדול פשטות השימוש - נעימה ושליפה ויצירת מגע חשמלי מהיר ובדרך כלל אמין. למחברים שלו נקודות מגע חשמלי מוגדרות: קצה המחבר נקרא **TIP** השרוול הארוך נקרא **SLEEVE** ובמחבר סטריאו, הטבעת המרכזית נקראת **RING**

כאשר המחבר משמש לחיבור אזניות, השרוול מתחבר לסיכוך ולאדמה. באזניות מונו, החוט החם (נושא האות) מתחבר לקצה - TIP. באזניות סטריאו הסיכוך - GND, מתחבר ל-SLEEVE, החוט החם של אוזן שמאל מתחבר ל-TIP והחוט החם של אוזן ימין מתחבר ל-RING. בשימוש מיקרופון, הסיכוך (אדמה) לשמע וחזרה לבקרת השידור (PTT) מתחבר ל-SLEEVE. חוט השמע של המיקרופון מתחבר ל-RING וחוט בקרת השידור מתחבר ל-TIP.



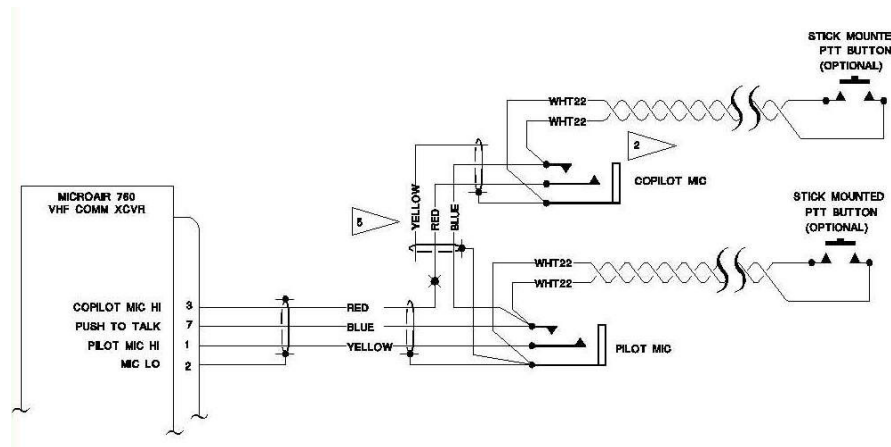
איור י' - 18 - התחברות לשקעי שמע, אזניות ומיקרופון

ע"מ לשמור על שיטתיות בחיווט אותות השמע, מקובל להשתמש בצבעי החוטים שירמזו על הפונקציה של כל חוט. הסיכוך יהיה לבן או שחור (החוט היוצא ממצמד הסיכוך) וזהו, כאמור, גם חוט ההארקה. באזניות החוט הפנימי הלבן יהיה מוליך האות לאוזניה השמאלית והכחול/לבן, לאוזניה הימנית. עבור המיקרופון, מומלץ להשתמש בחוט סיכוך עם שלושה מוליכים פנימיים: הלבן יתחבר במקביל עם הסיכוך, הכחול/לבן ישמש עבור אות המיקרופון והחוט הכתום/לבן ישמש לבקרת השידור PTT. חיבור החוטים אל המחברים ייעשה בהלחמה. לפני ההלחמה יש להלביש על המוליך שרוול מתכווץ באורך של כשני ס"מ ובקוטר כזה שיתלבש בחופשיות על נקודת ההלחמה של המחבר (לאחר ההלחמה). יש להסיר את הבידוד ולחשוף את המוליך הפנימי כשמונה מ"מ. לשזור את הסיבים של המוליך לקבלת שזירה אחידה, להשחיל בחור של המגע אליו מתחבר המוליך, לקפל בחזרה לקבלת צורת האות J האנגלית ואז להלחים את המוליך אל נקודת המגע. לאחר מכן, יש להלביש את השרוול המתכווץ על מקום ההלחמה, כאשר לפחות 1 ס"מ של השרוול מולבש על בידוד המוליך המולחם ואז לחמם את השרוול באמצעות HeatGun.



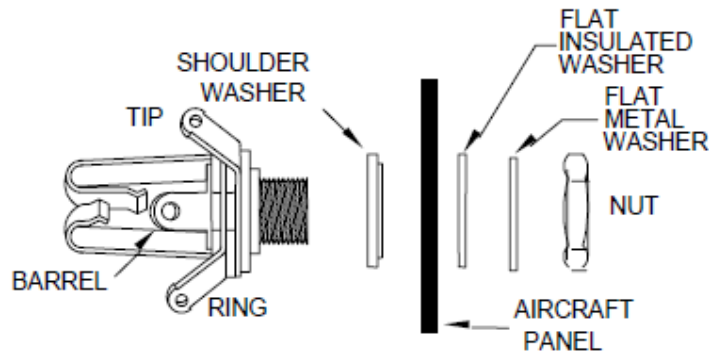
איור י' - 19 - כיסוי ההלחמות בשרוולים מתכווצים

כאשר מחוטים את מחבר המיקרופון, מלחימים אל נקודות ההלחמה של הסיכוך ובקרת השידור, זוג חוטים נוסף שייפרס אל לחצן PTT בסטיק, ע"ג ידית המצערת או בכל מקום אחר שייבחר. הוספת לחצן PTT נדרשת, מאחר וברוב מערכות הראש אין לחצן PTT ויש צורך למקמו במקום שיהיה נוח לשימוש. השרטוט הבא מתאר את אופן חיבור לחצני ה- PTT החיצוניים.



איור י' - 20 - חיווט לחצני PTT חיצוניים (משורטט רק מעגל המיקרופון ובקרת השידור)

חשוב להזכיר כי, כאשר מחברים את מחברי השמע לפאנל במטוס, יש להקפיד ולהשתמש בטבעות בידוד שימנעו מגע חשמלי בין המחברים לבין גוף המטוס. את ההארקה של הסיכוך והאזניות, מיקרופון ו- PTT יש לחבר אל המחבר המתחבר למכשיר האינטרקום (בשרטוט למעלה אפשר לראות את חיבור הסיכוך לנקודה 2 במחבר האינטרקום).



איור י' - 21 - התקנה מבודדת של מחבר שמע לפאנל

האיור שלמעלה מסביר כיצד יש לחבר מחבר שמע לפאנל מתכת באופן שיישמר בידוד גליוני בין ההארקה של המחבר לבין הפאנל. כאמור, אביזר השמע יקבל את האדמה דרך הסיכוך של הכבל המחבר בין המחבר לבין מכשיר האינטרקום (או הרדיו).

מכשירי הרדיו

מכשירי הרדיו משמשים לתקשורת עם העולם החיצוני. בעיקרון, אפשר לראות את מכשיר הרדיו כמעין "קופסה שחורה" שבצד אחד מתחברים אביזרי השמע ובצידה השני מתחברת האנטנה. אביזרי השמע יכולים להתחבר ישירות אל מכשיר הרדיו, או דרך מערכת האינטרקום. כאשר במטוס מותקנים שני מכשירי רדיו, ניתן, אמנם, לוותר על מערכת האינטרקום אך, התקנה כזו מצריכה שימוש במפסק חיצוני שיאפשר ניתוב אותות המיקרופון ובקרת השידור, למכשיר בו רוצים לשדר ולהוסיף מעגל המאפשר "סיכום" אותות השמע הנקלט בשני המקלטים למערכת הראש של הטייס.

כאשר משתמשים במכשיר רדיו יחיד, מאחר ורוב מכשירי הרדיו מכילים גם מעגלי אינטרקום "מנוון", אפשר לוותר על מערכת אינטרקום נוספת, אך יש לזכור, כי ברוב המכשירים אין "בידוד" לכניסות המיקרופון, מה שמחייב שימוש בשתי מערכות ראש זהות אם רוצים לאפשר דיבור משני המיקרופונים. (גם לדיבור בין שני המשתמשים במערכות הראש וגם ליציאה לשידור).

בכל מקרה של שימוש בשני מכשירי רדיו, מומלץ להשתמש במכשיר אינטרקום.

חיבור אותות השמע בין האינטרקום לבין מכשיר/מכשירי הרדיו ייעשה עפ"י השרטוטים המצורפים ע"י יצרני מכשירי הרדיו וש להקפיד על חיווט נכון ושימוש בחוטים מסוככים, לפחות, לכניסת השמע לשידור.

הסיכוך של חוטי הסיכוך יכול להתחבר בשני הצדדים של חוט הסיכוך, אבל, יש לחוות את חוטי ההארקות של שני מכשירי הרדיו ומכשיר האינטרקום לאותו פס צבירה של ההארקות של מכשירי הרדיו וקרוב ככל הניתן לכל שלושת המכשירים.

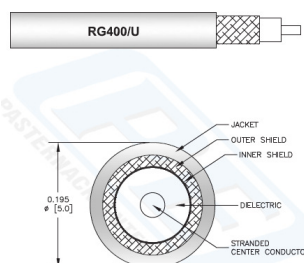
יש להזכיר כי ישנם מכשירי רדיו אשר בהם יש מעגל הגנה על מעגלי הכניסה מהאנטנה מפני אותות חזקים. מעגלים אלו מורידים את רגישות הקליטה של המקלט ומבוקרים ע"י מתח חיצוני המגיע מהמכשיר השני בזמן שידור. לכן יש לוודא חיבור נכון (למעשה, במעין "הצלבה" - יציאת בקרה בזמן שידור של מכשיר "א" תחובר לכניסת בקרה של מכשיר "ב" ולהיפך).

חיבור הרדיו אל העולם החיצוני נעשה באמצעות האנטנה. החיבור מכשיר הרדיו לבין האנטנה נעשה ע"י חוט קואקס. חוטי הקואקס מאופיינים בשני פרמטרים עיקריים: האימפדנס החשמלי האופייני והניחות (החלשת האות העובר בו) לפי האורך. חוט הקואקס השימושי במכשירי רדיו תעופתיים הוא בעל אימפדנס של **50Ω**. הניחות למטר, המותר לחוט הקואקס, תלוי באורך החוט המחובר בין הרדיו לאנטנה. ככל שאורך זה גדול יותר, נדרש ניחות למטר, נמוך יותר. בשימושים נפוצים, כאשר הכבל המחובר בין הרדיו לאנטנה אינו גדול ממטר וחצי, אפשר להשתמש בכבל מסוג RG-58 שלו ניחות של 0.25dB. כאשר נדרש אורך גדול יותר, יש להשתמש בכבל בעל ניחות נמוך יותר. הטבלה הבאה מציינת את ההפסדים (ניחות) ב- dB ל100 רגל (30.5 מטר).

Coax Cable Signal Loss (Attenuation) in dB per 100ft* (30.5m)								
Loss*	RG-174	RG-58	RG-8X	RG-213	RG-6	RG-11	RF-9914	RF-9913
1MHz	1.9dB	0.4dB	0.5dB	0.2dB	0.2dB	0.2dB	0.3dB	0.2dB
10MHz	3.3dB	1.4dB	1.0dB	0.6dB	0.6dB	0.4dB	0.5dB	0.4dB
50MHz	6.6dB	3.3dB	2.5dB	1.6dB	1.4dB	1.0dB	1.1dB	0.9dB
100MHz	8.9dB	4.9dB	3.6dB	2.2dB	2.0dB	1.6dB	1.5dB	1.4dB
200MHz	11.9dB	7.3dB	5.4dB	3.3dB	2.8dB	2.3dB	2.0dB	1.8dB
400MHz	17.3 B	11.2dB	7.9dB	4.8dB	4.3dB	3.5dB	2.9dB	2.6dB
700MHz	26.0dB	16.9dB	11.0dB	6.6dB	5.6dB	4.7dB	3.8dB	3.6dB
900MHz	27.9 B	20.1dB	12.6dB	7.7dB	6.0dB	5.4dB	4.9dB	4.2dB
1GHz	32.0dB	21.5dB	13.5dB	8.3dB	6.1dB	5.6dB	5.3dB	4.5dB
Impedance	50ohm	50ohm	50ohm	50ohm	75ohm	75ohm	50ohm	50ohm

*** Note:** Coax losses shown above are for 100 feet lengths. Loss is a length multiplier, so a 200 ft length would have twice the loss shown above and a 50 ft length would have half the loss. This multiplier factor is why you should keep cable installation lengths between radios and antennas as short as practical!

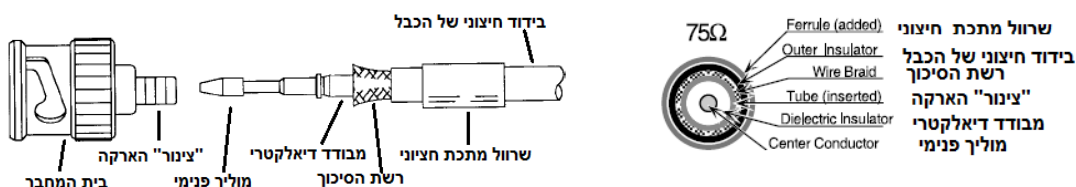
כדי לחשב את הניחות של כבל כלשהו, יש צורך למצוא את תדר העבודה האמצעי (בקשר תעופתי יהיה כ-125 מה"צ), למצוא את האורך הנדרש, למצוא את היחס בין האורך הנדרש ברגל (במטרים) לבין הניחות ב-100 רגל (30.5 מטר) ולכפול את היחס המתקבל בניחות בתדר העבודה ל-100 רגל (30.5 מטר). התוצאה תיתן את הניחות ב-dB. ע"מ שלא לפגוע בביצועי הרדיו, יש לשמור כי סה"כ הניחות לא יעלה על 1.5dB.



איור י' - 22 - מבנה כבל קואקסיאלי (כאן - RG400/U)

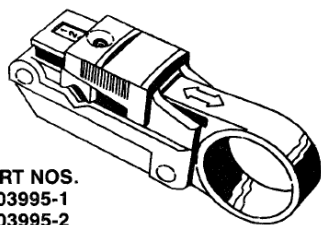
הכבל הקואקסיאלי מתחבר בצידו האחד אל מכשיר הרדיו ובקצהו השני אל האנטנה. ברוב מכשירי הרדיו התעופתיים משתמשים במחברים קואקסיאליים מסוג BNC. ברדיו יש מחבר נקבה (Socket) ועל החוט יהיה מחבר זכר "על כבל" (Plug). קיימים מחברי BNC המתאימים למערכות הפעלות עם כבלי קואקס בעלי אימפדנס של 75Ω (בדרך כלל, מערכות וידאו). ומערכות הקשר עובדות עם כבלי קואקס של 50Ω. לכן, יש להקפיד להשתמש רק בכבלי קואקס של 50Ω ובהתאמה, רק עם מחברי BNC של 50Ω ! להלן מתוארת הטכניקה של חיבור מחבר ה-BNC אל כבל הקואקס:

תהליך הרכבת מחבר BNC על הכבל, מורכב ממספר שלבים ומצריך כלי עבודה מתאימים. ע"מ להבין את התהליך נציג תחילה את השלב הלפני אחרון של הכנת הכבל.



איור י' - 23 - השלב האחרון, לפני חיבור הכבל למחבר

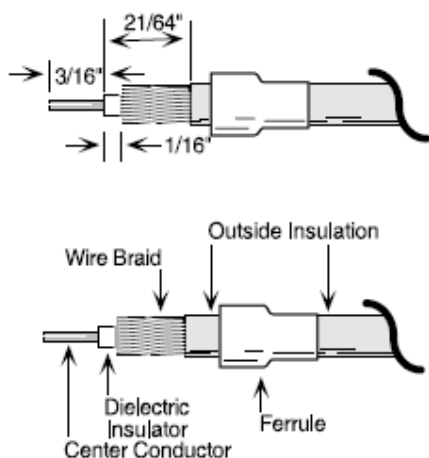
AMP® COAXIAL CABLE STRIPPER



PART NOS.
603995-1
603995-2
603995-3
603995-5
603995-6

השלב הראשון בתהליך הוא הסרת הבידוד החיצוני של הכבל וחשיפת המוליכים. לצורך ביצוע עבודה מקצועית ואיכותית, מומלץ להשתמש בכלי חשיפה לכבלי קואקס, שניתן לרכשו בחנויות אלקטרוניקה.

איור י' - 24 - כלי להסרת הבידוד מכבל קואקס

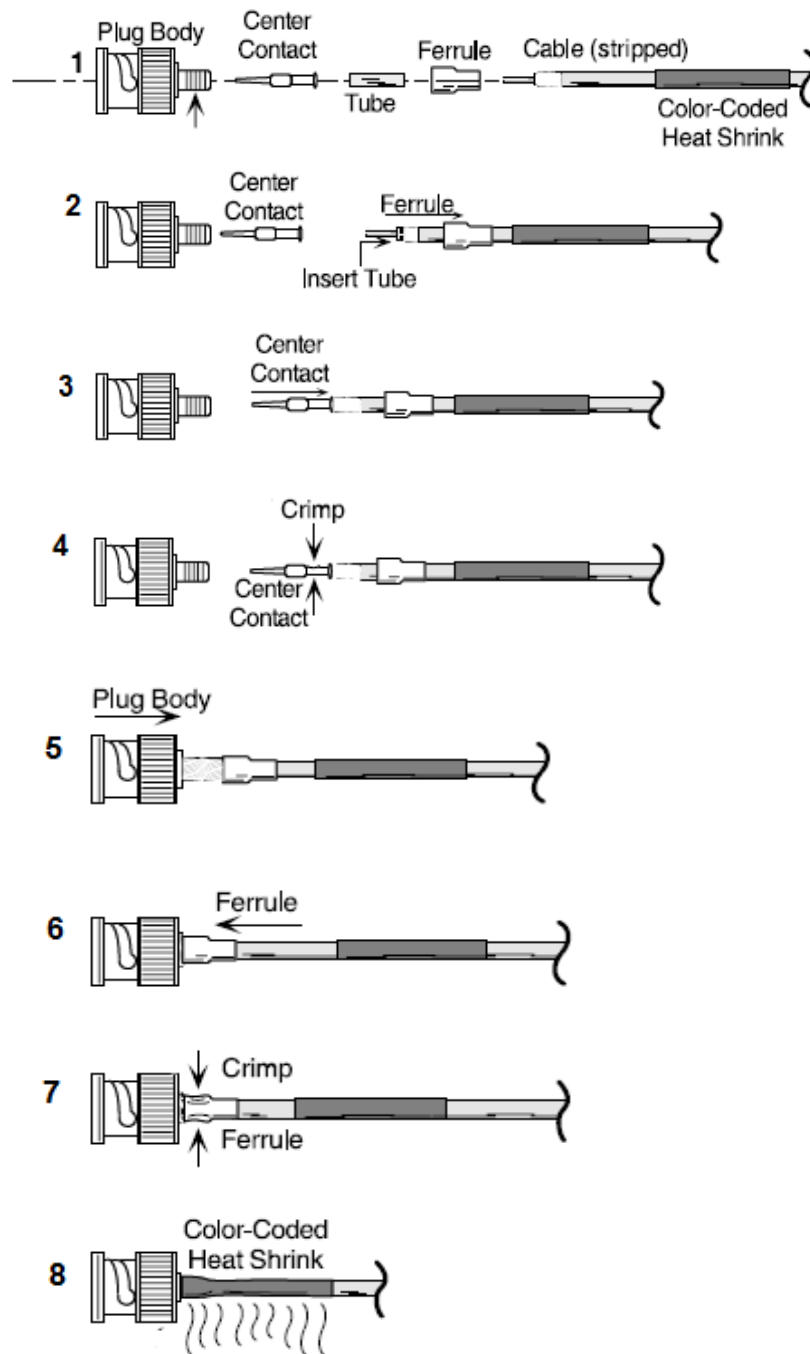


את הכבל יש לחשוף עפ"י הציור הבא:
שלב I - הסר את הבידוד החיצוני, ואת כל השכבות, עד למוליך המרכזי, באורך של 5.0 מ"מ.
שלב II - הסר את הבידוד החיצוני במרחק של 13.3 מ"מ מהקצה.
שלב III - חתוך את רשת הסיכוך במרחק של 1.6 מ"מ מקצה הבידוד הדיאלקטרי.
שלב IV - הלבש על הכבל את שרוול המתכת החיצוני (יש המעדיפים להלביש את השרוול, לפני שלבי חשיפת המוליכים).

איור י' - 25 - מידות חשיפת הכבל

כאמור, כדאי להשחיל על חוט הקואקס, לפני התחלת תהליך החיבור, שרוול מתכווץ שקוף אשר ישמש לעטיפת פתקית זיהוי הכבל במערכת החשמל של המטוס. לאחר שלב החיבור הסופי, מדביקים את פיתקית הזיהוי ועליה משחים את השרוול המתכווץ ומחממים אותו באמצעות HeatGun.

האיור הבא מסכם את השלבים בתהליך חיבור חוט הקואקס למחבר BNC:



איור י' - 26 - שלבי תהליך חיבור כבל קואקס למחבר BNC

פרק י"א

אוויוניקה - אנטנות

כללי

האנטנה "מתרגמת" את האנרגיה החשמלית המופקת ביציאת המשדר לקרינה אלקטרו-מגנטית, במשדר ואת הקרינה האלקטרו-מגנטית, המתפשטת במרחב, לאנרגיה חשמלית. את האנטנות ניתן למיין לפי תחום התדר בו היא פועלת ועפ"י הכיווניות שלה. בתעופה משתמשים באנטנות הקולטות ומשדרות בכל הכיוונים והן פועלות בתחומי תדר המשמש את המכשירים השונים המצויים במטוס. המבנה המכאני והמימדים הפיזיים של האנטנה תלויים באורך הגל בו היא פועלת. שני סוגי האנטנה הנפוצים הם אנטנה בעלת אורך של רבע אורך גל ($\lambda/4$) ואנטנה בעלת חצי אורך גל ($\lambda/2$).

אנטנת רבע אורך גל היא אנטנת "מונו-פול" ואנטנה חצי אורך גל היא אנטנת "די-פול". גורם נוסף החשוב לפעולת האנטנה הוא הקיטוב של האנטנה. אם האנטנה פועלת אנכית, הקיטוב "אנכי". אם האנטנה פועלת אופקית, הקיטוב יהיה קיטוב אופקי. לאנטנה צורות רבות ושונות, המתאימות לדרישות הקרינה מהאנטנה. אנטנת מונו-פול, בדרך כלל תהיה "אנטנת שוט" כלומר, מוט מחומר מוליך היוצא מבסיס המתחבר אל גוף המטוס. הבסיס "קולט" את הכבל הקואקסיאלי, המעביר את האנרגיה החשמלית בין מכשיר הרדיו לבין האנטנה.

חלק חשוב מהאנטנה, הוא הבסיס עליו מותקנת האנטנה. אנטנת שוט משתמשת בגוף המטוס כ"משטח הארקה" המשלים את האנטנה לדי-פול. בעיקרון, חוט הקואקס מחובר אל האנטנה דרך בסיס האנטנה, שבו מתבצע החיבור החשמלי בין החוט המרכזי של כבל הקואקס לבין חלק האנטנה הנמצא בבסיס ואילו הסיכוך של הכבל הקואקסיאלי, מתחבר, דרך הבסיס אל גוף המטוס.

מבנה זה מתאים, כאמור, למטוסים שגופם עשוי מתכת. כאשר גוף המטוס אינו עשוי מתכת, יש צורך להשלים את ה"קוטב" המדומה של האנטנה באמצעות "משטח הארקה". משטח הארקה יהיה עשוי מלוח מתכת שטוח שבמרכזו יותקן בסיס האנטנה. רצוי שמשטח הארקה יהיה עגול וע"מ לקבל קרינה מיטבית, יש לדאוג כי הרדיוס של המשטח לא יהיה קטן מרבע אורך גל. עוד נקודה חשובה היא התיאום החשמלי של האנטנה. תיאום אופטימאלי ייתן לאנטנה יכולת לשדר את כל האנרגיה החשמלית שנמסרה לה כאנרגיה אלקטרו-מגנטית. אם האנטנה לא מתואמת כראוי, חלק מהאנרגיה החשמלית שנמסרה לה, תחזור בחזרה אל המשדר. זהו מצב לא בריא ומעבר לעובדה כי נצילות ההמרה של האנרגיה באנטנה תהיה נמוכה, הרי שגם עלול להיגרם נזק לדרגת ההספק של המשדר. את התיאום בין האנטנה לכבל הקואקס מודדים כ"יחס גלים עומדים" - VSWR.

התיאום האופטימאלי (מה שלא קיים למעשה) יהיה כאשר יחס הגלים העומדים יהיה 1:1. מקובל כי יחס גלים עומדים של 1:2 או אפילו 1:2.5 ייתן פעולה תקינה לאנטנה. מעבר לזה לא מומלץ. את יחס הגלים העומדים מודדים באמצעות מכשיר מיוחד המודד את היחס בין ההספק החשמלי המתקדם להספק החשמלי המוחזר ומעיון בטבלאות המרה ניתן לדעת מהו יחס הגלים העומדים. ישנם מכשירים המבצעים את החישוב בעצמם ומציגים את התוצאה המחושבת.



איור י"א - 1 - מדי יג"ע.

בתמונה שלמעלה, ניתן לראות שלוש טכנולוגיות המשמשות למציאת יחס הגלים העומדים (יג"ע): מימין מכשיר למדידת ההספק המתקדם וע"י סיבוב "דיודה" (העיגול בחלק התחתון של הפאנל) חישוב היג"ע. במרכז מכשיר אנלוגי המודד בו זמנית את ההספק המתקדם והמוחזר. משמאל מכשיר דיגיטאלי המודד ומחשב את היג"ע באופן אוטומטי.

תדירות ואורך גל רדיו

האנטנות "משרתות" מערכות הפועלות בתדרי רדיו שונים:

1. **קשר רדיו** - שידור/קליטה בתדר שבין 118.00 מה"צ לבין 136.975 מה"צ. תדר העבודה האמצעי $f = 127.500\text{MHz}$
2. **מקלט ניווט VOR** - קליטה בתדרים שבין 108.00 ל- 117.975 מה"צ. תדר העבודה האמצעי $f = 113.000\text{MHz}$
3. **מקלט ניווט ADF** - קליטה בתדרים שבין 540.00 קה"צ לבין 1620.00 קה"צ. תדר העבודה האמצעי $f = 1.00\text{MHz}$.
4. **מד מרחק DME** - שידור בתדר 978.00 עד 1213.00 מה"צ (תדר העבודה נקבע עפ"י התדר הנבחר במקלט ה- VOR - בהתאם לטבלת צמדים) וקליטה בתדר המוזן ב- 63.00 מה"צ מתדר השידור. תדר העבודה האמצעי $f = 1000\text{MHz} = 1\text{GHz}$.
5. **טרנספונדר** - קליטה בתדר 1030MHz ושידור בתדר 1090MHz. תדר העבודה האמצעי $f = 1060\text{MHz}$.

6. **GPS** - קליטה בשני תדרים: $L1=1575.42\text{MHz}$ ו- $L2=1227.60\text{MHz}$. תדר העבודה האמצעי $f = 1400\text{MHz}$.

כזכור, לגל אלקטרו-מגנטי יש "אורך גל" התלוי בתדר. מתוך האמור בפסקה הקודמת, אפשר לחשב אות אורך הגל של התדרים שבהם פועלים מכשירי הרדיו השונים:

1. אורך הגל הממוצע של קשר הרדיו שווה: $\lambda = 3 \times 10^8 / 127.5 \times 10^6 = 2.36\text{m}$.
2. אורך הגל הממוצע של מקלט ניווט VOR שווה: $\lambda = 3 \times 10^8 / 113.5 \times 10^6 = 2.64\text{m}$.
3. אורך הגל הממוצע של מקלט ADF שווה: $\lambda = 3 \times 10^8 / 1.0 \times 10^6 = 300\text{m}$.
4. אורך הגל הממוצע של מד מרחק DME שווה: $\lambda = 3 \times 10^8 / 1.0 \times 10^9 = 30\text{cm}$.
5. אורך הגל הממוצע של טרנספונדר שווה: $\lambda = 3 \times 10^8 / 1.0 \times 10^9 = 30\text{cm}$.
6. אורך הגל הממוצע של GPS שווה: $\lambda = 3 \times 10^8 / 1.4 \times 10^9 = 21\text{cm}$.

סוגי אנטנות

בידיעת כל הפרמטרים הללו, אפשר להגדיר לכל מכשיר רדיו את האנטנה האופטימלית שלו.

1. רדיו המשמש לקשר בין המטוס לבין מטוסים אחרים ובין מרכזי הבקרה והפיקוח פועל בתדר אמצעי של 127.500MHz , אורך הגל 2.36m , רבע אורך גל שווה 60cm , השידור בקיטוב אנכי. ובהנחה כי סביבת האנטנה מוסיפה (חשמלית) 5% לאורך המכאני שלה, **אורך האנטנה יהיה כ-55cm והיא תוצב בניצב למטוס**. האנטנה יכולה להיות מורכבת הן בחלקו העליון של המטוס והן בחלקו התחתון.



איור י' - 27 - אנטנות "שוט" VHF לקשר אווירי - מימין לשמאל: אנטנה נצילות גבוהה, אנטנה למטוסים מהירים, אנטנה מכופפת (מאפשרת גם התקנה מתחת לגוף המטוס) אנטנה נצילות נמוכה (מתאימה לאולטראליוויים)

2. אנטנת קליטה למקלטי VOR פועלות בתדר אמצעי של 113.000MHz , אורך גל של 2.64m . אנטנות אלו הן אנטנות דיפול באורך $\lambda/2$, ששווה 1.32m מטר פחות 5%, מה שנותן אורך פיסי של 1.25m מטר.

בנוסף, השידור של משדר התחנה הקרקעית פועל בקיטוב אופקי. לכן, האנטנה תוצב במטוס בצורה אופקית.



איור י' - 28 - אנטנות VHF לקליטת VOR. מימין אנטנת "שפם" להתקנה ע"ג מייצב הכיוון במרכז אנטנה "שטוחה" להטמנה בתוך כנף עשויה חומרים מרוכבים ומשמאל אנטנה שטוחה מקופפת להתקנה בקצות כנף העשויה חומרים מרוכבים.

3. ADF אנטנה מורכבת, למעשה, משתי אנטנות: **Loop Antenna** ו- **Sense Antenna**. אנטנת ה"לולאה" למעשה מורכבת משני סלילים המלופפים ע"ג גרעין פריט, כאשר הסלילים מצויים בזווית של 90° זה לזה. את האנטנה ממקמים בגחון המטוס בתוך מבנה מחומרים מרוכבים ובעל צורה אווירודינאמית להקטנת הגרר. ישנן מטוסים שבהם האנטנה מושקעת בתוך הגחון. אנטנת הלולאה קולטת את מרכיב השדה המגנטי של הגל האלקטרו-מגנטי המשודר מתחנת השידור **NDB - Non Directional Beacon**. השדה המגנטי הנקלט (קיטוב אופקי) מייצר בשני הסלילים שני מתחים בהפרש פאזה חשמלית היחסי לכיוון ממנו בא האות הנקלט (Sinus & Cosines). מאחר ושני מתחים אלו ייוצר בהפרש פאזה זהה עבור שני אותות המגיעים מכיוונים הפוכים ב- 180° זה לזה, יש צורך לזהות מי מהכיוונים הוא הכיוון הנבחר. לצורך כך, מוסיפים אנטנה לא כיוונית (**Sense Antenna**) הקולטת את השדה החשמלי (קיטוב אנכי) וע"י מדידת הפאזה בין האות החשמלי הנקלט בה לבין האותות הנקלטים באנטנת הלולאה, מגדירים את הכיוון ממנו הגיע הגל הנקלט. אנטנת ה-Sense יכולה להגיע בשתי צורות: "אנטנת שוט" הדומה בצורתה לאנטנה הרדיו, ובצורת חוט מתוח בין קצה מייצב הגובה לבין תקרת המטוס. מאחר ותדר השידור של משדר ה-NDB נמוך מאוד, אורך הגל ארוך מאוד ואין אפשרות לעשות אנטנה באורך השווה לרבע אורך גל, אזי מוסיפים מעגל חשמלי מיוחד (סלילים וקבלים) המתחבר בבסיס האנטנה אליו מחברים את חוט הקואקס ההולך אל מקלט ה-ADF ומעגל זה עושה את התיאום החשמלי לאורך הפיזי של האנטנה.

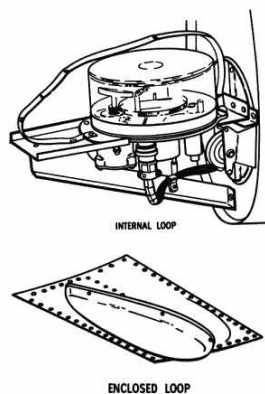


FIGURE 3.21.—Typical ADF antenna installations.

איור י' - 29 - אנטנת לולאה לקליטת השדה המגנטי של גל הרדיו המגיע ממשרד ה-NDB.

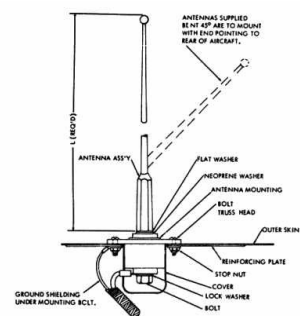


FIGURE 3.8.—Typical shockmounted antenna installation.

איור י' - 30 - אנטנת Sense לקליטת השדה החשמלי. מימין אנטנת "שוט" ומשמאל אנטנת "חוט ארוך".

4. אנטנת מד-מרחק DME, קולטת ומשדרת סביב תדר מרכזי של 1000MHz באורך גל של 30 ס"מ. רבע אורך גל שווה 7.5 ס"מ, פחות 5% שווה בערך 7 ס"מ. אנטנה זו הוא אנטנת "שוט" ומאחר והקיטוב אנכי, היא תוצב בצורה אנכית, ע"ג חלקו העליון של המטוס או בגחוונו של המטוס. (בגלל גודלה הזעיר, יש לשים לב, בשלבי צביעת המטוס, שלא לצבוע אותה (בייחוד אם הצבע מכיל עופרת).



איור י' - 31 - אנטנת DME

5. אנטנת טרנספונדר פועלת באורך גל קרוב מאוד לזה של ה-DME ולכן היא זהה לזו של ה-DME.

6. אנטנת GPS היא אנטנה ייעודית לכל מקלט של כל יצרן. האנטנה מגיעה כמכלול סגור (עשוי חומרים מרוכבים, או פלסטיק) ובדרך כלל היא כוללת, בתוך המכלול את האנטנה ומגבר קליטה רגיש לתדר הפעולה של ה-GPS.

מיקום האנטנות

חשיבות מרובה יש למיקום נכון של האנטנות. מאחר ועקומות הקליטה והשידור תלויות בתכונות חשמליות, שהן תלויות בגיאומטריה ובסביבה הסמוכה לאנטנה. "סביבה קרובה" היא כל מה שנמצא במרחק קטן מרבע אורך גל ועשוי חומר מוליך. לכן, כאשר ממקמים אנטנה יש לבחור מיקום שבו לא ימצאו מוליכים מקבילים אליה במרחק העלול להשפיע על התנהגות האנטנה. במטוסים שבהם יש שתי אנטנות לשני מכשירי קשר רדיו, יש לוודא כי המרחק הפיזי ביניהן יהיה לא פחות מרבע אורך גל. תמיד יהיה עדיף למקם (אם ניתן) אנטנה אחת בחלקו העליון של המטוס ואת האנטנה השנייה, בגחון המטוס.



איור י' - 32 - מיקום אנטנת קשר בגחון המטוס.

אנטנת VOR ממקמים במייצב הכיוון (מטוסים עשויים מתכת ואנטנת "שפם") או, בקצה הכנף, אם זו עשויה מחומרים מרוכבים.

אנטנות DME ו-Transponder אפשר למקם בגחון המטוס.

אנטנת ADF (למעשה, שתי אנטנות) את הלולאה ממקמים בגחון המטוס ואת ה-Sense ממקמים, בדרך כלל בחלקו העליון של המטוס.

אנטנת GPS חייבת להיות בחלקו העליון של המטוס (קליטת לוויינים) אך, אפשר למקמה גם בתוך תא הטייס, אם יש קו ראייה חפשי ממיסוך מתכתי, כלפי מעלה.

סיכום

בספר נעשה ניסיון להקנות ידע בתחום, שמצד אחד, דורש התמקצעות, אך יחד עם זאת, מדובר בבוני מטוסים שאינם אנשי מקצוע בתחום ורמת הידיעות שלהם אינה כמו זו של מי שעבר הכשרה פורמאלית ועמד בבחינות הסמכה.

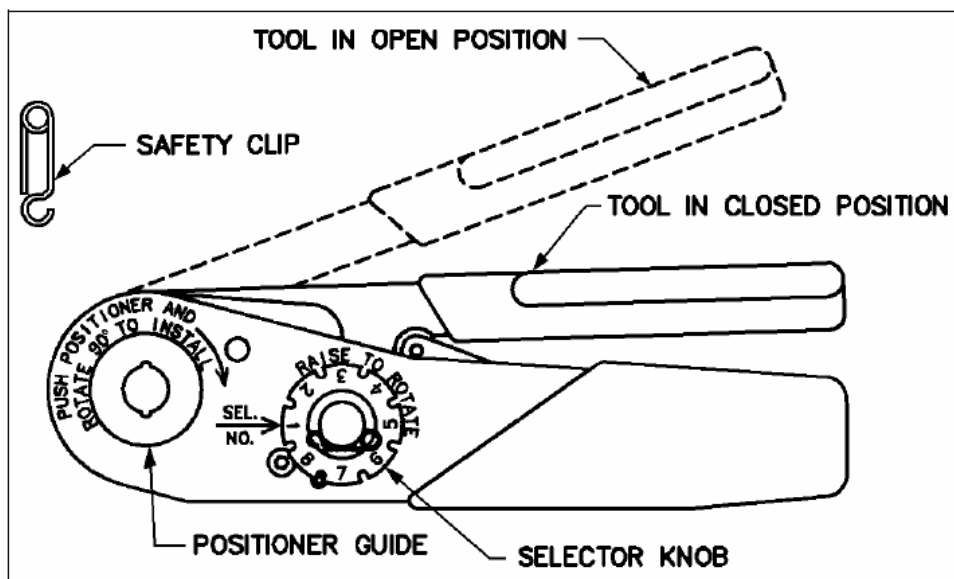
בניית מטוסים ע"י חובב, גם אינה דורשת מהבונה, שיעשה את כל מעשה בניית המטוס במאה אחוז לבדו.

מנהל התעופה האמריקאי, ה-FAA, וכך גם רת"א. אינם דורשים כי בתוך 51 האחוזים הנדרשים לבניית המטוס, יכללו עבודות הקשורות במנוע, ריפוד, צביעה חשמל ואוויוניקה. אם הבונה אינו בטוח כי ביכולתו לבצע את כל עבודות החשמל והאוויוניקה בעצמו, לא תהיה זאת בושה, ואפילו, אולי יתרון, להיעזר באיש מקצוע.

בסופו של דבר, גם אם הבונה מסתייע באיש מקצוע, האחריות על ביצוע התחזוקה השוטפת תהיה מוטלת על הבונה והכרת החומר שהוגש בספר זה, אנו מאמינים, עשויה לסייע לו בתחזוקה.

תפנית יד

HAND CRIMP TOOL - M22520/2-01



This Hand Crimp Tool has been designed for use with the following Datamate Signal Crimp Sockets (when used with Positioner T5747):

M80-01100XX - Large bore Female crimp contact for 22 AWG wire (used in all L-Tek, J-Tek and Mix-Tek female crimp connectors).

M80-01300XX - Small bore Female crimp contact for 24-28 AWG wire (used in all L-Tek, J-Tek and Mix-Tek female crimp connectors).

M80-04000XX - Large bore Male crimp contact for 22 AWG wire (used in L-Tek male crimp connectors).

M80-04100XX - Small bore Male crimp contact for 24-28 AWG wire (used in L-Tek male crimp connectors).

The following Datamate Signal Crimp Sockets can also be crimped (when used with Positioner Z80-193):

M80-19400XX - Large bore Male crimp contact for 22 AWG wire (used in J-Tek and Mix-Tek male crimp connectors).

M80-19500XX - Small bore Male crimp contact for 24-28 AWG wire (used in J-Tek and Mix-Tek male crimp connectors).

The following Datamate Power Crimp Sockets can also be crimped (when used with Positioner Z80-058):

M80-05500XX - Power Female crimp contact for 18-20 AWG (used in M80-716 and M80-719 series).

The following Power Crimp Sockets can also be crimped (when used with Positioner ZK3609-00):

K3606-46 - Power Male crimp contact for 18 AWG.

K3607-46 - Power Female crimp contact for 18 AWG.



Hand Crimping Tool [M22520/2-01](#):



Positioner T5747:

GENERAL INFORMATION

The Hand crimp tool M22520/2-01 consists of a basic hand tool, which should be used with a positioner.

The contact is correctly crimped when the tool is free to open at the fully closed position, i.e., when the ratchet releases. The tool cannot be opened without completing the cycle.

TOOL PREPARATION

1. Check that the tool is in the open position. Remove the safety clip from the positioner guide (do not discard).
2. Insert the Positioner into the positioner guide and turn it 90° in the direction shown on the tool, until the bayonet pins lock.
3. Install the safety clip back into the positioner guide (optional).
4. Check Table 1 for the correct crimp tool setting of the wire size you wish to crimp.
5. Remove the safety clip from the selector knob (do not discard).

6. Lift and turn the selector knob until the correct crimp tool setting is lined up with the "Sel.No." arrow. Lower the selector knob, ensuring the locating peg lines up with a notch.
7. Install the safety clip back into the selector knob.

CRIMPING PROCEDURE

1. Ensure that the wire to be crimped is within the specified range of sizes for the contact and the crimp tool. Failure to use the specified wire size will result in poor quality crimps and possible tool damage. (see Table 1)

Table 1:

Contact	Crimp Type	Wire Gauge (AWG)	Stranding (mm)	Crimp Tool Setting	Minimum pull-off force
M80-01100XX M80-04000XX M80-19400XX	Large Bore	22	19 (0.15)	6	50N (5kg)
M80-01300XX M80-04100XX M80-19500XX	Small Bore	24	7 (0.20)	6	44N (4.4kg)
		26	7 (0.15)	6	25N (2.5kg)
		28	7 (0.12)	6	12.5N (1.25kg)
M80-05500XX	Power Crimp	20	19 (0.20)	8	85N (8.5kg)
		18	19 (0.26)	8	140N (14kg)
K36XX-46	Power Crimp	18	Variable	8	142N (14.2kg)

2. Cut the end of the cable to be terminated so that there is a clean cut end (Figure A). Strip the cable to the correct length (Figure B) using a PTFE Wire stripper, preferably with adjustable rotating cutter. This should result in all the strands laying together neatly. If the lay of the strands is disturbed, it may be re-imposed with a slight twist.

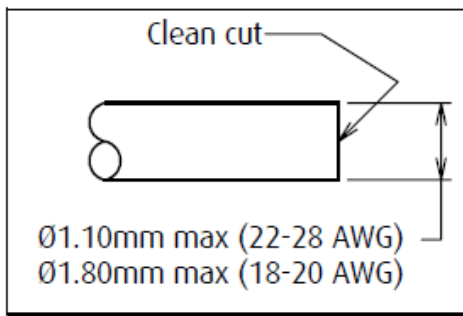


Figure A

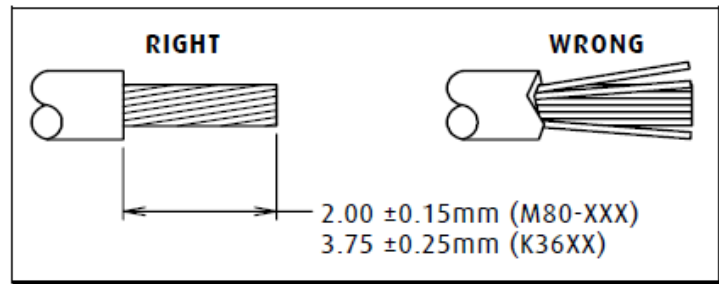


Figure B

3. Position the crimp socket fully into the positioner, with the crimp barrel uppermost.
4. Load the terminated end of the cable into the crimp barrel of the socket. Ensure the wire is fully home, with all strands in place (see Figure C).

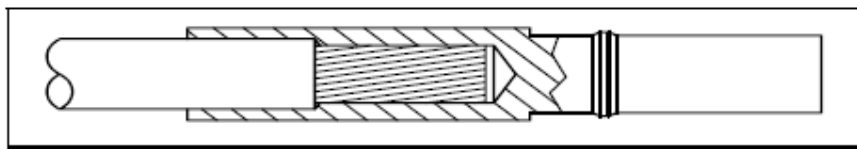


Figure C

5. Squeeze the handles of the crimp tool fully together, until the ratchet releases. The handle will return to the open position. Remove the crimped socket and wire. Using the sight hole on the side wall of the socket, ensure that adequate insertion of strands into the crimp socket has been achieved.
6. Crimp joints should be checked for:
 - a) Correct combination of cable, tool setting and crimp termination.
 - b) Correctness of form and location of crimp.
 - c) Freedom of fracture, rough edges and flash.
 - d) Adequate insertion of all conductor strands in the crimp barrel.
 - e) Absence of damage to the conductor or the insulation.

ASSEMBLY PROCEDURE

M80-XXX piece parts are assembled using the Assembly Tool Z80-280. See Instruction Sheet IS-25 for details on assembly.

K36XX piece parts are assembled using the Assembly Tool ZK3610-00. See Instruction Sheet IS-22 for details on assembly.

CARE OF TOOL

There is virtually no maintenance required for the M22520/2-01 tool. However, it is good practice to keep the indenter tips free of residual colour band deposits and other debris. A small wire brush may be used for this purpose.

We strongly recommend that you:

1. DO NOT immerse tools in any cleaning solution.
2. DO NOT spray oil into tool to lubricate.
3. DO NOT attempt to disassemble tool or make repairs.

This is a precision crimp tool and should be handled as such.

נספח ב'

שימוש בלוחץ נעלי כבל:



If you are using an un-insulated crimp and need to sleeve it, put a suitable piece of sleeving onto the wire. Typically 3:1 shrink ratio, adhesive lined heat shrink would ensure that good support of both the wire and crimp is made. A length at least 2 times the crimp barrel will usually give a good grip. Other sleeving can be used- in particular neoprene sleeves (Hellermann Sleeves) also work well.

Before carrying out a lot of crimps, it is probably worth doing a test crimp on representative wire and terminals to ensure you have settings correct.

Once you have determined the length of the wire is to strip the end, being careful not to damage the conductors. The length to strip may be stated on the packaging of the crimp, but if not should be so that when the wire is inserted in the crimp, 1-2mm extends out from it. Insert the wire into the crimp, making sure all strands are in, and none are left straying. It is not recommended to twist the strands together.

Carefully place the crimp in the wire in to the tool (you may find it easier to put the crimp into the tool prior to the wire with some crimps), and ensure the wire is seated home. Cycle the tool- if a ratchet tool, until the tool releases. Remove and inspect the crimp- ensure that the wire is in the correct position, and the insulation is gripped successfully. Give a small tug to ensure fully crimped.

If you are using some of the cheaper/ non-ratchet tools, you may have to crimp each terminal twice, possibly with two settings on the tool. If you need to do this, crimp the conductor end of the crimp first, followed by the insulation.

If using heatshrink, or other sleeving. Fit the sleeve and if necessary heat to shrink down. Use a suitable heat source- ideally a hot air gun, but items such as soldering irons can be used with a lot of care. Before shrinking, make sure the sleeving is in the correct place, not obstructing the terminal end of the crimp.

נספח ג'

כללי לחיצת פינים במחברי מולקס



ANATOMY OF A TERMINAL

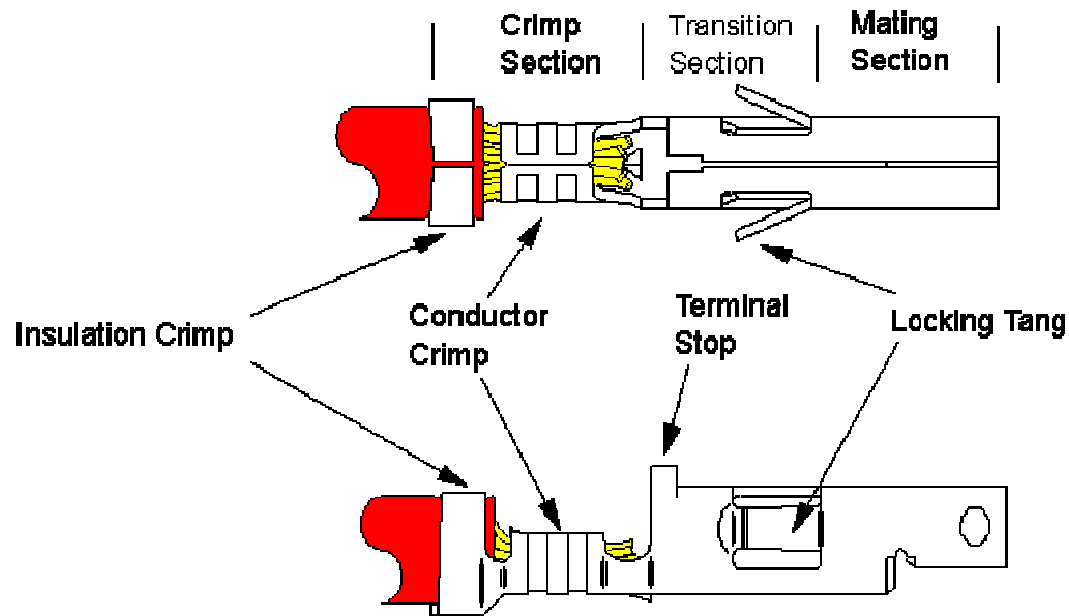
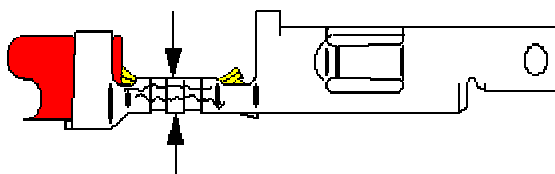


Illustration A.



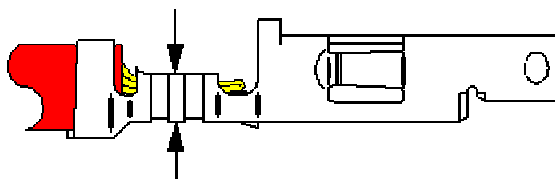
CONDUCTOR CRIMP TOO SMALL

Crimp Height Too Small Per Terminal/Wire Specification



Crimp Height Meets Terminal's Specification for Wire AWG

Good Crimp



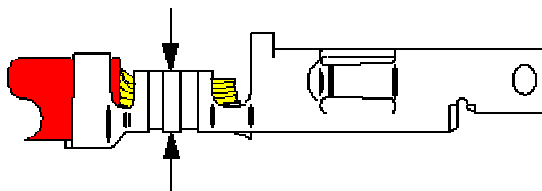
**Solution: Verify Correct Terminal for AWG or
Adjust Conductor Crimp Height on Press**

Figure I



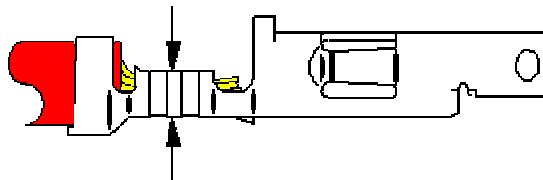
CONDUCTOR CRIMP TOO LARGE

Crimp Height Too Large Per Terminal/Wire Specification



Crimp Height Meets Terminal's Specification for Wire AWG

Good Crimp



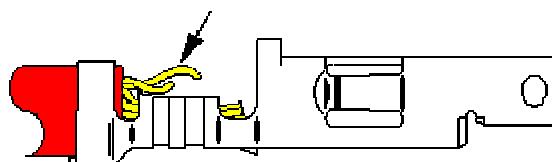
**Solution: Verify Correct Terminal for AWG or
Adjust Conductor Crimp Height on Press**

Figure II



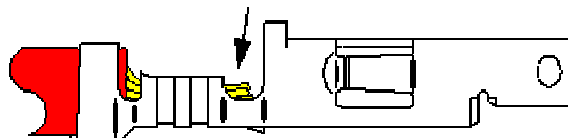
WIRE STRANDS LOOSE

All Wire Strands Are Not In Conductor Crimp Section



All Strands Fully Collected in Conductor Crimp Section

Good Crimp



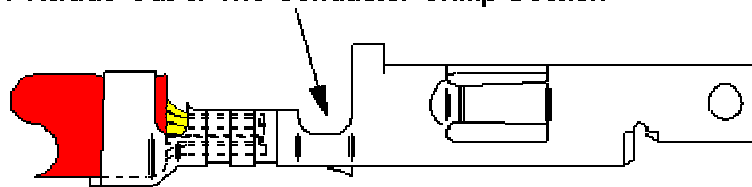
Solution: Gather Wire Strands Before Presenting to Crimp Die

Figure V

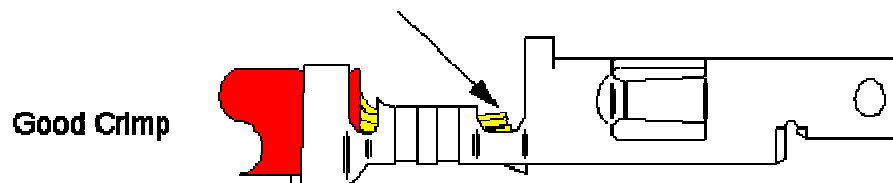


STRIP LENGTH TOO SHORT

Wire Does Not Protrude Out of The Conductor Crimp Section



Wire Protrudes Out of Crimp Section by One Wire Diameter Min.



**Solution Increase Strip Length or Insert Wire Further Into
Crimp Section Before Crimping. Also Watch for Proper
Insulation Position.**

Figure VI