

הטכניון - מ.ט.ל.  
הפקולטה להנדסת חשמל



COMMUNICATION LABORATORY  
המטבדה לתקשורת

# חוברת עזר לתכנון - עריכה הדפסה והרכבה של PCB

Printed Circuit Board-PCB – לוח מודפס ליישום מעגל חשמלי

כתבו :  
ליאור עיני.  
דודו גריידי.  
ערך : משה נמר.

סמסטר קיץ 2006

## תוכן עניינים

### פרק 1: מבוא

- (1-1) כללי לייצור מעגל PCB
- (1-2) מטרת חוברת העזר.
- (1-3) פרוט השלבים השונים במהלך הפרויקט עד לקבלת PCB- מורכב .

### פרק 2: בחירת הרכיבים

- (2-1) בחירה עפ"י סוג המצע הנדרש (FR4, דורואיד, אלומינה ועוד).
- (2-2) על פי טכנולוגיית ההלחמה, הדבקה, Bonding ועוד.
- (2-3) על פי מתחי הספקה שה-PCB נדרש לעבוד .

### פרק 3: שרטוט לוגי ותכן המעגלי החשמלי

- (3-1) השירטוט הלוגי למה ?
- (3-2) תכן רשתות התיאום ואספקת המתחים לרכיבים .

### פרק 4: שרטוט המעגל החשמלי

- (4-1) מה נדרש לצורך השרטוט של המעגל החשמלי.
- (4-2) הכרת תוכנית השרטוט- OrCad (capture sys).

### פרק 5: העברת המעגל החשמלי לעריכה

- (4-1) מה נדרש לצורך העריכה של המעגל.
- (4-2) בדיקת ה-Layout של המעגל לפני הוצאה להדפסה.

### פרק 6: הרכבת המעגל

## פרק 1: מבוא

### (1-1) כללי- לייצור מעגל חשמלי – מעגל מודפס (Printed Circuit Board) PCB .

ייצור PCB – עלותו גבוהה . שעות רבות של הרבה אנשים מושקעות במטרה שלא תהיינה טעויות בייצור - שפירושו סבב נוסף. מכאן כי בייצור ה- PCB תמצא את עצמך מול מספר גורמים :

#### (א) עורך/ת המעגל:

יש לו דרישות, כדי להקל עליו את העריכה כגון:  
PACKAGE , NETLIST של הרכיבים , מפת מיקום הרכיבים, נתונים על רחבי פסים  
לאותות RF , לאותות סיפרתים מהירים, מתחים , משטחי GND, קירבה מותרת בין  
פסים , רכיבים, חלוקה לשכבות ועוד דרישות שיפורטו בהמשך .

#### (ב) מהנדס המעבדה – המנחה

המנהלים תקציב מוגבל ומעוניינים בהצלחת ייצור ה-PCB ב-"מכה הראשונה" :  
איזה מצע לבחור ? בסיכומו של דבר קיים מלאי מוגבל של מצעים במעבדה .  
איזה רכיבים בחרת ? האם ניתנים להשגה בכמויות קטנות במסגרת מעבדת הוראה ?  
יתכן וקיימים רכיבים דומים במלאי המעבדה ?

#### (ג) מול עצמך :

שאין לך ניסיון בייצור PCB ומעוניין מאד להצליח ב-"מכה ראשונה" ולהימנע בהלוך  
ושוב בין העורך למנחה . סיבוב נוסף יתכן והוא בלתי אפשרי , הן משיקולים תקציביים והן  
משיקולי תוספת זמן משמעותי לפרויקט .

## (1-2) מטרת חוברת העזר:

- לחוברת עזר זו מספר מטרות:
- (1) תיאור השלבים העיקריים הדרושים לייצור מעגל חשמלי.
  - (2) להוות מסמך בסיסי שיקל את העבודה מול גורמים חיצוניים איתם יש לעבוד על מנת לייצר את המעגל בהצלחה ..
  - (3) להציג את התוכנות שאיתן נשתמש בתכנון המעגל החשמלי- ה-PCB .
  - (4) לתת דגשים (טיפים חשובים) לעבודה במטרה למנוע שגיאות ותקלות .

## (1-3) השלבים השונים במהלך הפרויקט עד לקבלת -PCB מורכב

- למידה , הבנת הנושא וקבלת החלטה ברורה – מהו המעגל החשמלי אותו הנך מבקש לממש .
- תרשים לוגי במבנה בלוקים- (Visio , Orcad , או אחרים) המתאר את הפרויקט/המעגל אותו הנך מבקש לממש .
- בחירת הרכיבים לצורך המימוש .(להתייחס למצאי הקיים במעבדה) .
- שרטוט חשמלי –ORCAD – הכולל את כל הרכיבים בפרויקט .
- לקיים PDR ראשון עם המנחה ומהנדס המעבדה , ולהסביר ולנמק את התכנון ובחירת הרכיבים . (רצוי לשלב את ה-PDR עם מצגת האמצע של הפרויקט) .
- תיקונים והערות בעקבות ה-PDR .
- הוצאת המעגל לעריכה במקביל להזמנת הרכיבים .(לעורך יש דרישות- בעיקר רישום מדויק של שמות הרכיבים והמארזים שלהם) .
- נושא המארזים הינו חשוב במיוחד : יש לקבוע ביחד עם העורך/ת את שמות המארזים כפי שרשום בספריה שלהם .
- יש להיות ערים לעובדה שנותנים לעורך סוגי מארזים של רכיבים שאינם במצאי המעבדה ובסיום הזמנת הרכיבים החדשים מגיעים מארזים שונים .
- הוצאת המעגל לייצור ה-PCB לא לפני CDR ראשון .
- הרכבת המעגל ה-PCB ע"י טכנאי המעבדה (ניתן לסטודנט להשתלב בהרכבה).
- לקיים CDR שני ולהסביר את מערכי המדידה , הציוד הנדרש ואופן בצוע המדידות .
- ביצוע המדידות .

אנו מקווים שחוברת זו תסייע לסטודנטים המבצעים פרויקטים במעבדה במימוש חמרה , ותאפשר להם להתמקד יותר בעקר של הפרויקט , ופחות להשקיע בלוגיסטיקה שמסביב , כך שההנאה תהיה שלימה יותר .

## פרק 2: בחירת הרכיבים

### (2-1) בחירה עפ"י סוג המצע (FR4, דורואיד, טפלון, אלומינה ועוד)

- איכות המצע הנה פונקציה של תדרי העבודה. בתדרים גבוהים RF ומיקרוגל נדרש מצע באיכות גבוהה יותר. המצע הפשוט והזול ביותר הינו FR4, והאיכותיים יותר מצעי הטפלון והאלומינה.
- קו תמסורת מודפס, יישמר את תכונתו באימפדנס אופייני ZO- עפ"י איכות המצע. במצע פשוט כגון FR4, הדפסת קו תמסורת עבור פולס מהיר, לעומס מתואם, יתקבלו החזרות מהעומס עקב אי שמירת האימפדנס האופייני לאורך הקו המודפס.
- הדפסת קו תמסורת על מצע "עבה" – הווה אומר - הפסדים גדולים יחסית לאות. אך גם מצע "דק" אף הוא גורם להפסדים גדולים ( עם מצע בעובי אפס הרי אי אפשר להדפיס מעגל ).
- מצעי טפלון טובים לעבודה בתדרים גבוהים, אך הינם רכים ואינם מתאימים לטמפ' גבוהות. בנוסף לא כל חברות ייצור הכרטיסים מוכנות לעבוד עם טפלון עקב זה שהינו רעיל עבור ייצור Vias ( חורים מוליכים בין שכבות הכרטיס ).
- קיימים כללי אצבע לבחירת עובי המצע:
  - בתדרים נמוכים עד כ- 3GHz ניתן לבחור מצעים בעוביים מ- 20mil ועד 31mil
  - בתדרים 5GHz – 10GHz ניתן לבחור עד 10mil.
  - בתדרי עבודה מעל 10GHz לבחור 5mil – 10mil.
  - אין לעבוד במצעים שעוביים קטן מ 5mil.
- טכנולוגיית ה- Microstrip הנה הטכנולוגיה הפשוטה ביותר להדפסת קווי תמסורת. קיימים מחשבוני לחישוב רוחב הפס W- בהדפסת קו ZO על מצע בעובי H ( TxLine בתכנת M.W.Office ועוד ).
- רוחב הפס W, צריך שיתאים בקירוב לרוחב ה-PAD של הרכיבים אותם הנך בוחר. ייתכן ותדרש פשרה בין מצע נתון למרווחי Pinouts של הרכיב הנבחר.

#### מסקנה:

לפני חיפוש ואיתור הרכיבים – יש להחליט איזהו המצע.

#### הערה!

את הרכיבים נחפש לרוב באתרים של מספר חברות ידועות ומוכרות כגון HITTITE, ANALOG DEVICES ועוד. ישנן חברות שלא מאפשרות רכש בכמויות קטנות כפי שנדרש למעבדה.  
רשימת החברות המומלצות ניתן לקבל במעבדה.

## (2-2) בחירה עפ"י טכנולוגיית ההלחמה, הדבקה, Bonding

- קיימים סוגי רכיבים שונים הדורשים שיטות שונות של הלחמה לכרטיס.
- רכיבים לתדר גבוה, בד"כ הינם קטנים והפדים שלהם "מסתתרים" ולא ניתן לגשת אליהם עם מלחם. במקרה כזה יש לבצע הדבקה מדויקת הן בעזרת משחות בדיל לסוגיהן או דבק מוליך, וליבש בשיטות Reflow – הזרקה אויר חם.
- רכיבים הדורשים הספק פיזור, פעמים מיוצרים עם פד GND יחיד המכסה את תחתית הרכיב. טיפול ברכיבים כאלה דורש טכנולוגיה ייחודית.
- פעמים הרכיב האפשרי היחיד המתאים לתכנן מופיע בצורת Chip או Die שהן צורות לא ארוזות. רכיבים כאלה יש להדביקם ע"י Bonder.

### חשוב לזכור

- שילוב של מספר טכנולוגיות הדבקה על אותו כרטיס מהווה בעיה מהסיבות:
  - כל אחד מהתהליכים דורש טמפרטורות עבודה שונות.
  - בזמן הרכבה ניתן לדאוג להדבקה לפי סדר טמפרטורות יורד, אך באם הינך נידרש לפרק / לתקן רכיב, תוך חימום הלוח עלולים "להתפרק" רכיבים נוספים.
  - יש להשתדל לא לשלב רכיבים בעלי טכנולוגיות שונות.

## (2-3) בחירה עפ"י מתחי הספקה הדרוש למעגל

- חשוב לחפש רכיבים בעלי תחום רחב של מתחי הספקה: הרצוי ביותר מתחי הספקה של 2.7V- 6V. דבר זה מאפשר שימוש בפחות רכיבי ייצוב מתח.
- כדאי להקפיד על זרמים נמוכים, במיוחד מעגלים המיועדים להפעלה בסוללה. רכיבים בטכנולוגיית GaAs הינם צרכני זרם גבוהים לעומת ה-CMOS.
- טרנזיסטורים / מגברי הספק הדורשים ממתח שלילי בנוסף למימתוח החיובי. כן חשוב סדר הפעלת המתחים (קודם השלילי ורק אח"כ החיובי), יש להשתמש ברכיבים מיוחדים שיוצרים לממש סדר הפעלה.
- במידה והינך נידרש לספק יחיד עבור המעגל, עליך להשתמש ברכיבי DC-DC Converters המסוגלים להפיק כל מתח חיובי או שלילי הדרושים במעגל. יש להיזהר משידור הפרעות מרכיבי DC-DC מאחר ועיקרון פעולתם מבוסס מתנד.

### חשוב לזכור

- הרבה יותר קל ליישם מעגל שאין בו ריבוי מתחי הספקה.

## פרק 3: שרטוט לוגי ותכן המעגל החשמלי

### (3-1) השרטוט הלוגי למה ?

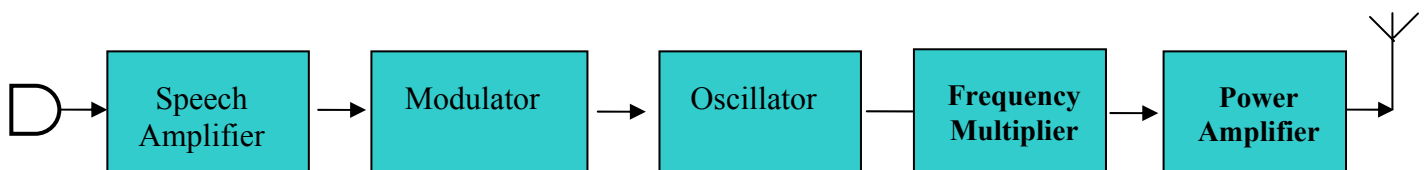
בסיום השלב הראשון של הלמידה והבנת אופן המימוש של דרישות הפרויקט, תתבקש לקיים דיון ראשוני PDR, עם המנחה ומהנדסי המעבדה בו תתבקש לנמק ולהסביר את הסכימה העקרונית אשר ברצונך לממש, לצורך זה יש לשרטט סכימה לוגית של המעגל (אפשרי מבנה בלוקים), בנוסף לתרשים החשמלי.

תוכנות אפשריות: Visio, OrCad, Word אולוגי ועוד ..

חשוב מאד שהשרטוט יכלול Link Budget של האות. ( רישום מהלך הספקים, מתחים במוצאי הבלוקים החל מכניסות האות ועד ליציאות ).

השרטוט הלוגי מקל על ההבנה של התנהגות המעגל בהסתכלות ראשונית עליו עוד לפני שדנים ברמה בסיסית יותר של תכן המעגל החשמלי, כמוכן גם בשלב זה ניתן לאתר שגיאות משמעותיות עוד לפני שניגשים לתכנון מדויק יותר של המעגל החשמלי.

דוגמא לשרטוט לוגי:



## (3-2) תכן רשתות התאום והאספקה לרכיבים המוכללים ( ICs , MMICs ) ע"י קבלים, סלילים ונגדים .

- מעגל חשמלי כולל רכיבים מוכללים- ( MMICs ) אקטיביים כגון: מגברים, מסיטי פאזה, ערבלים ועוד, וכן רכיבים לוגיים מהירים .
- רכיבים פאסיביים במבנה רכיבים מוכללים כגון: מנחתים, מסננים, ערבלים ועוד .
- רכיבים פאסיביים דיסקרטיים: נגדים, סלילים, קבלים המשמשים ברשתות התאום וברשתות הספקת המתחים .
- רכיבי שירות: מייצבים ומחברים לממשק חיצוני כגון: מחברים לביצוע מדידות, לאספקת מתחים, חיבור למחשב ועוד ...

### קבלים

- קבלי הצמוד הנם בד"כ בתפקיד DC-Blocking אך פעמים מתפקדים גם כמתאמי אימפדנס אל הדרגה הבאה . כקבל צימוד נדרש עבורם ערך קטן ככל האפשר הן באימפדנס והן בגודל הפיסי: ערך של אומים בודדים בתדר העבודה . לדוגמא:  
בתדר 1GHz נבחר קבל בערך של 100pf ובגודל פיסי של 0.0603.  
בתדר 10GHz נבחר קבל בערך של 10pf ובגודל פיסי של 0.0402 .  
( 0603 = 60mil אורך \* 30mil רוחב ) .
- קבלי הסינון מתחלקים לשני סוגים:  
(א) קבלים לסינון ה-DC -  
בד"כ נשתמש בקבלים קרמיים ונימנע ככל האפשר משימוש בקבלים אלקטרוליטיים. כאן לא נדרש ערך מדויק של הקבל .  
הכללים לפיהם נתכנן :
  - רכיבים הצורכים זרם של מיליאמפרים בודדים – קבל אחד של 100nF קרוב מאד לכניסת המתח לרכיב .
  - רכיבים הצורכים זרם של עשרות מיליאמפרים, זרוש להוסיף עוד קבל קרמי של לפחות - 4.7micF ואותו לא חייבים לחבר קרוב מאד לכניסה, אלא בסביבת הרכיב .

### (ב) קבלים שתפקידם למנוע זליגת ה-RF אל ה-DC

- במידה והרכיב פועל בתדרים גבוהים, נדרש בנוסף לנ"ל, עוד קבל לדיכוי זליגת ה-RF אל ה-DC . לדוגמא: רכיב הפועל בתדר של 1GHz נוסף במקביל לנ"ל עוד 1nF בגודל פיסי של 0.0603 . בתדר של 10GHz ערך הקבל יהיה 100pF ובגודל של 0.0402 .



## הערות

- רכיב הפועל בתדר גבוה ובעל צריכת זרם גבוהה – יש להרכיב בכניסת ה-DC שלו 3 קבלים מסוגים שונים ולא לאחד אותם לקבל אחד (ערך מדויק פחות חשוב). לכל קבל יש תפקיד אחר.
- קבלים למימוש רשתות בהן נדרש ערך מדויק של הקבל (מסננים, רשתות תאום ועוד) . בשימוש זה דרוש ערך מדויק של הקבל ויש צורך לדעת מה ה-Q שלו. (ככל שה-Q גבוה יותר בתדר העבודה, הרי שנקודה זו רחוקה מהנקודה בה הוא מתהד) .
- ניתן להשיג קבלים בערכי Q של 1000. בגודל פיסי קטן (0402) ערך ה-Q גבוה יותר.

## סלילים

תפקידם העיקרי של הסלילים באספקת המתח הינו מניעת זליגת ה-RF אל מקור האספקה .:

**RF Chock** – מחובר בטור לכניסת ה-DC לרכיב. תפקידו למנוע זליגת RF אל הספק.

- הזרם דרכו הנו הזרם לרכיב. ערכו גם אם אינו מדויק לא ישנה את הזרם אך (ה-Q, המרחק בתדר שבו הוא מתהד) יקבע את ערך הבידוד / זליגה של ה-RF אל הספק.
- בתדר נתון ככל שכמות הליפופים של הסליל רבה יותר, ה-Q שלו נמוך יותר (יותר קבולים פרזיטיים בין הליפופים) . לכן נבחר סלילים קטנים ככל האפשר בגודל הפיסי ובלבד שהאימפדנס שלהם יהיה לפחות 500 אום. (לא להעמיס קו תמסורת ל-RF).
- ככל שנעלה בתדר, stubs מודפסים ברבעי אורכי גל, יחליפו את הסלילים הדיסקרטיים, כאשר מתח הספק מתחבר אליו ע"י מבנה קונוסי.

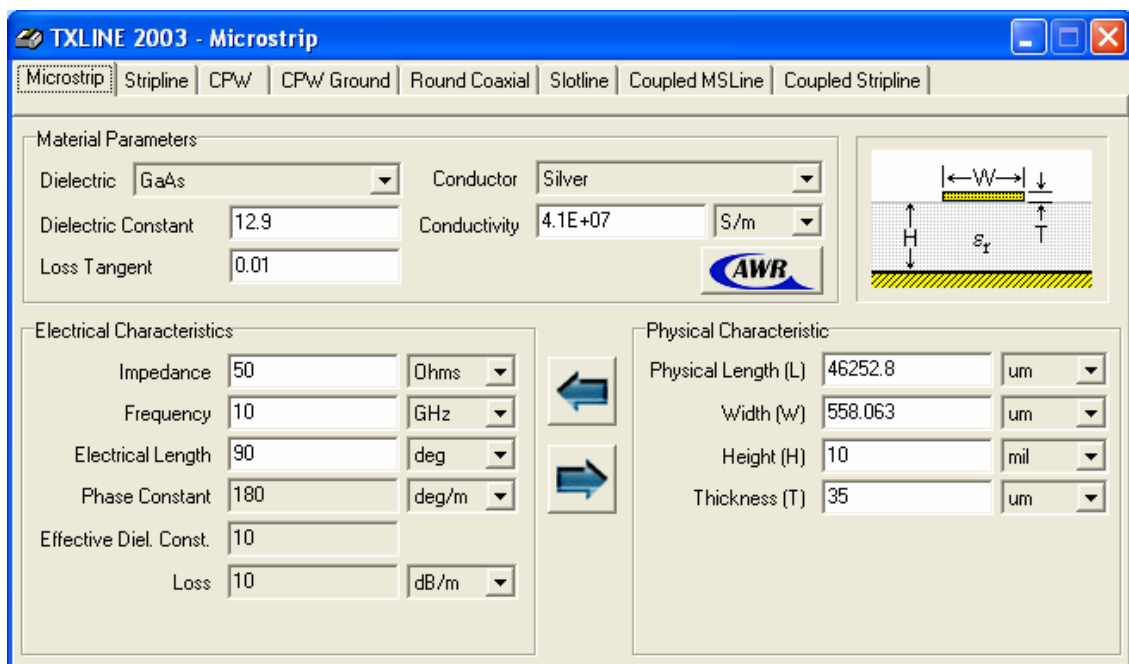
## פרק 4 : שרטוט המעגלי החשמלי

### (4-1) מה נדרש בכדי להתחיל בשרטוט המעגל החשמלי ?

- לצורך שרטוט המעגל החשמלי, יש צורך להכיר ולהבין היטב את ה-Datasheets של הרכיבים. "האותיות הקטנות" ב-Datasheets מכילות לעיתים מידע חשוב לאופן הטיפול ומיקום הרכיב במעגל.
- ברוב החברות ניתן להפיק באתר החברה Application Note ובו ניתן לקבל מידע רב נוסף אודות הרכיב והתאמתו למעגל.
- **EVB (Evaluation Board)** – הינו מעגל אבלואציה עליו ניתן לבצע מדידות איכותיות של הרכיב. התבוננות באופן המימוש וההשמה של הרכיב במעגל פועל, נותן תרומה רבה להבנת אופן יישום הרכיב.
- תכן קווי התמסורת - רוחבי פסי ה-RF:  
תכן אפשרי – מחשבון Txline בתוכנת הסימולציה Microwave office (תחת Tools):

- יש להכניס את הפרמטרים של מצע הכרטיס:
- א. חומרים: סוג המוליך, סוג החומר הדיאלקטרי.
  - ב. תדר העבודה בו יעבוד המעגל (אמצע התחום במקרה של תחום רחב).
  - ג. מימדים: גובה החומר הדיאלקטרי (H) ועובי המוליך (T).
  - ד. אימפדנס נדרש.

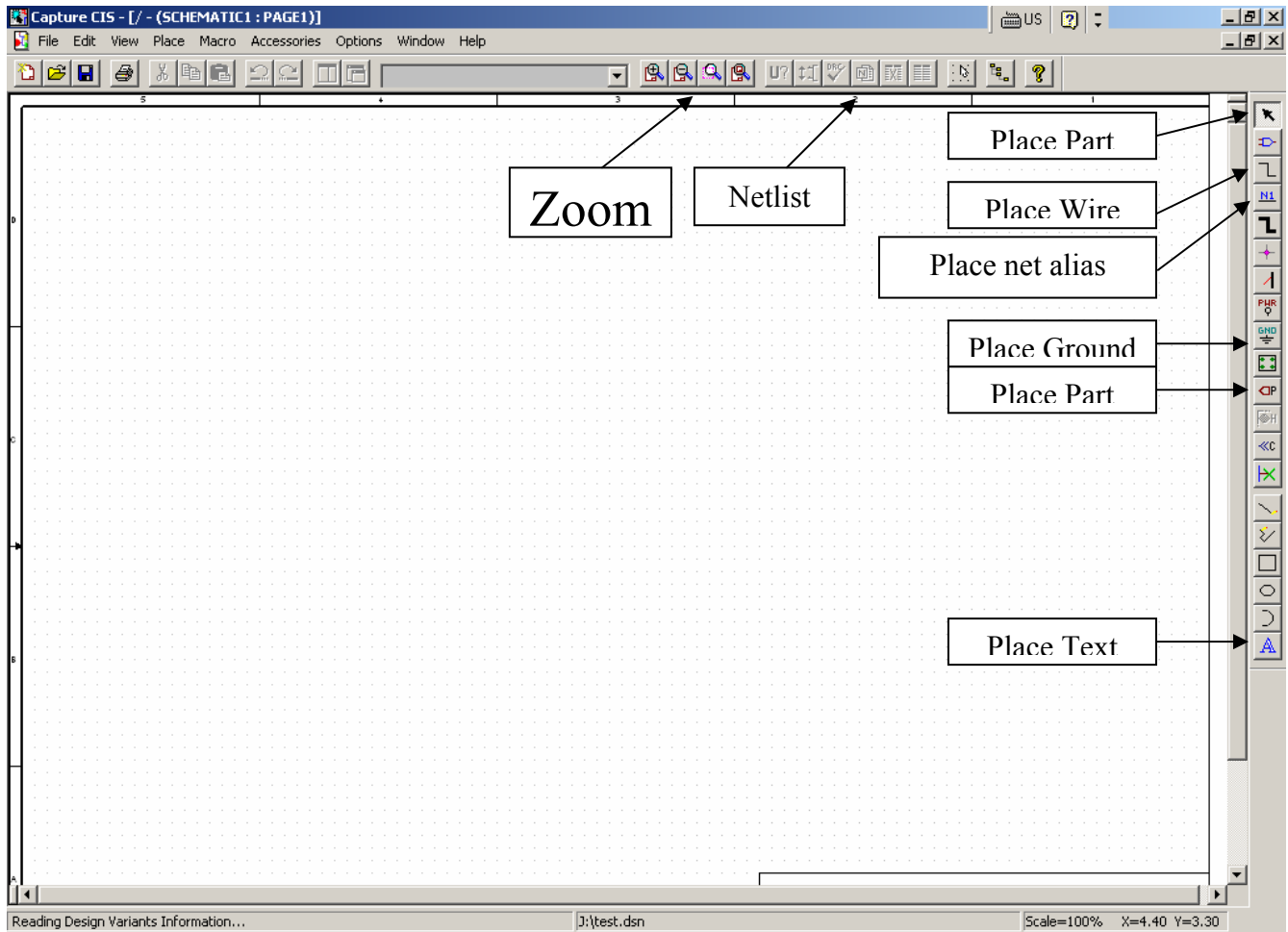
המחשבון מחשב עבורינו:  
א. רוחב הקו (W).  
ב. Loss – ניחות הקו.



## OrCad (capture cis) הכרת תוכנית השרטוט (4-2)

(א) יצירת פרויקט חדש (מעגל חדש):

- בוחרים בתפריט File->New->Project – נפתח חלון "Project Name".
- בוחרים שם לקובץ הפרוייקט, סוג הפרוייקט "Schematic" ומציינים את המקום בו רוצים לשמור את קבצי הפרוייקט.
- נפתח חלון העריכה הראשית של התוכנה:

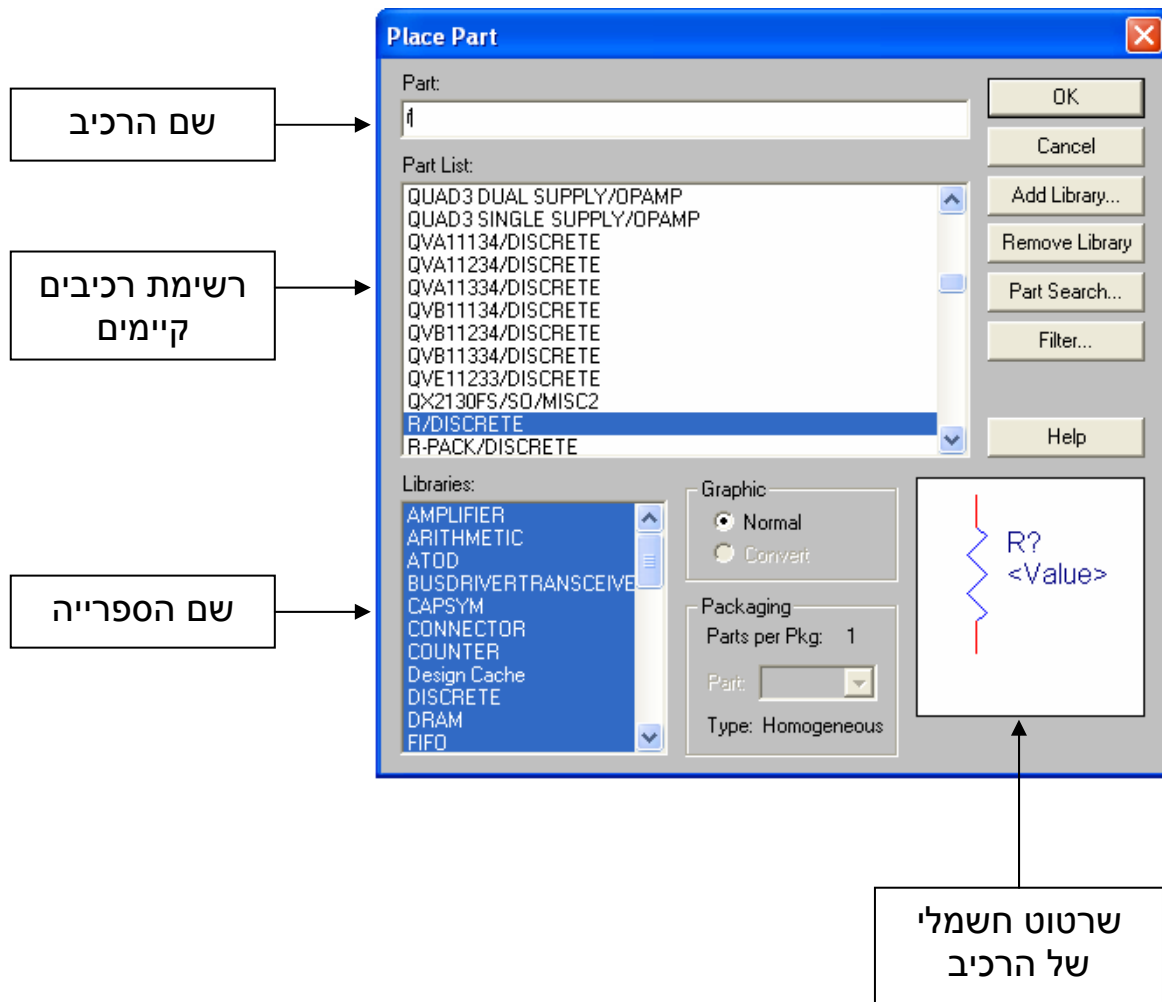


בשרטוט מסומנים הלחצנים העיקריים בהם נשתמש בשרטוט המעגל החשמלי.

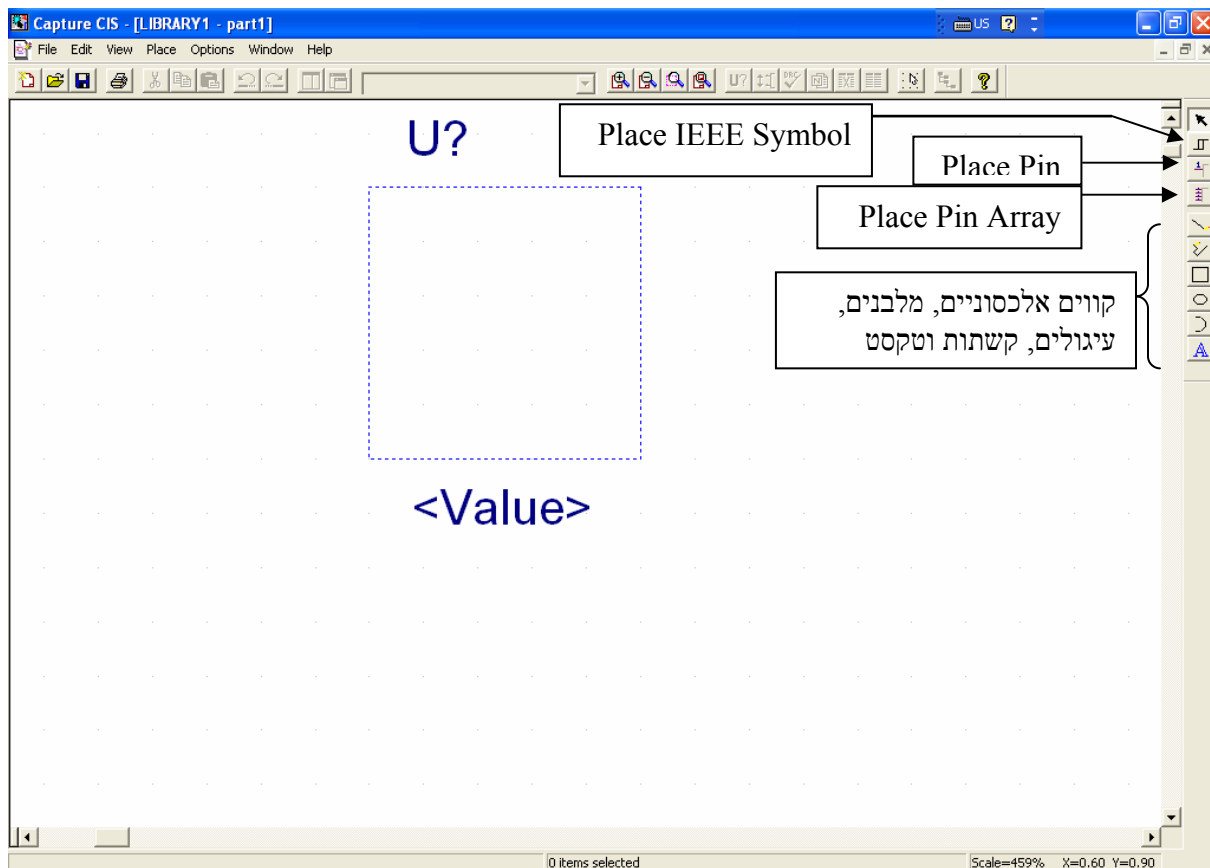
(ב) יציאה מתוך מסך העריכה, חזרה למסך הראשי של הפרוייקט:

- ע"י מזעור מסך העריכה.
- בחירה בתפריט Window-> <project name>.opj

- (ג) הוספת רכיב:
- נלחץ על "Place part". יפתח החלון הבא:

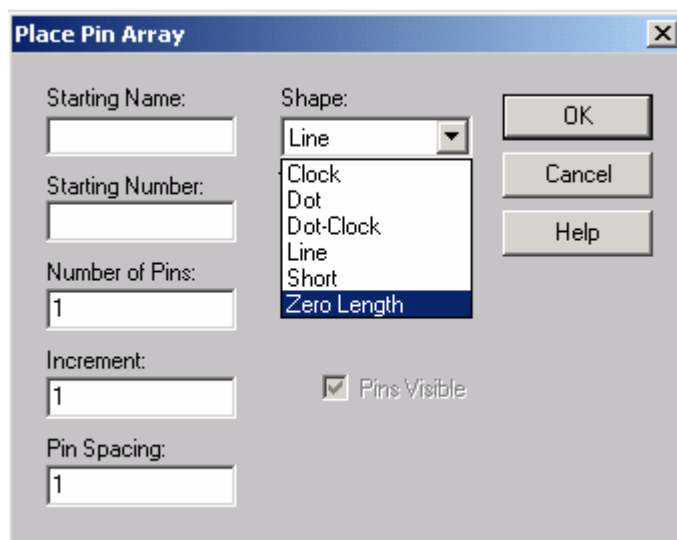


- (ד) צירת רכיב חדש (שאינו מופיע ברשימה):
- מתוך המסך הראשי של הפרויקט : File->New->Library – יוצר ספריית רכיבים חדשה בפרויקט (תחת תיקיית "Library" יתווסף פריט בשם "Library1.olb").
  - קליק ימני על שם הספרייה החדשה שנוצרה - New Part. נפתח חלון שבו יש להכניס את שם הרכיב החדש בלבד (שאר הפרמטרים לא רלוונטים).
  - יפתח חלון חדש:

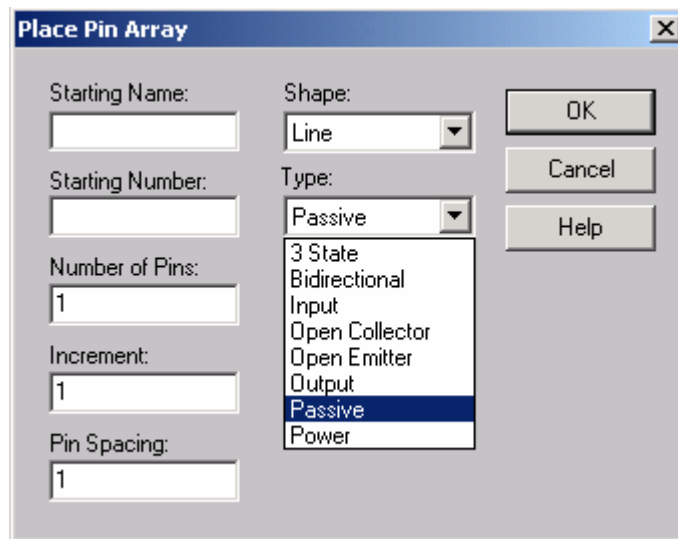


זהו משטח העבודה שלנו, קווים מקווקוים לא מופיעים כשנציג את הרכיב ולכן אסור לשכוח לשרטטם.

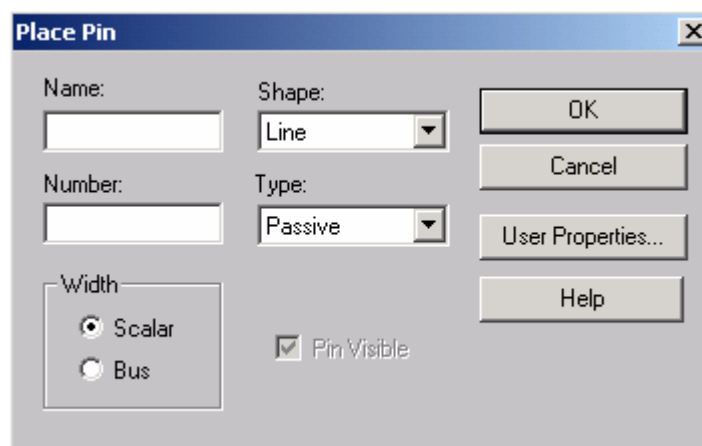
דוגמא:  
 במידה ועלינו לשרטט רכיב בעל 8 רגליים, 4 בכל צד, נבחר קודם בסימן המלבן ונסמן מלבן בגודל הרצוי, אח"כ נמקם סדרה של 4 רגליים ע"י שימוש ב- Place Pin Array



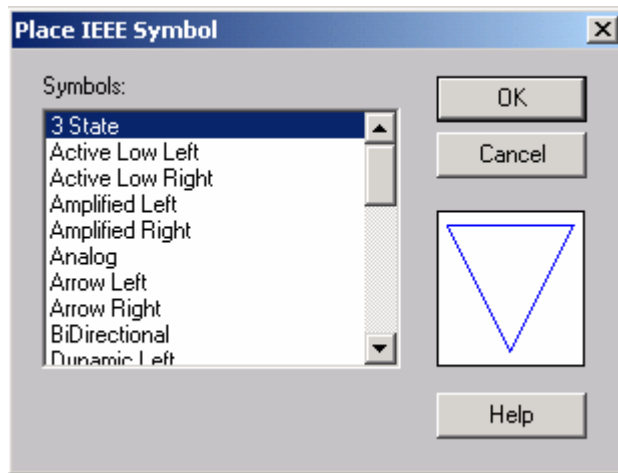
- תחת Shape ניתן לשנות את צורת הרגליים, בדר"כ נבחר ב-Line או ב-Short, תחת Type ניתן לבחור את סוג המערך.
- ניתן לראות בתפריט כי המספור נעשה אוטומטית וניתן לציין את הקפיצה בין רגל לרגל ואת הרווח הפיסי שלה.



- לאחר מכן נמקם עבור הצד השני. בבחירה של סדרת פינים המספור נעשה בצורה אוטומטית, כלומר אם נמקם 4 פינים, מספרם יהיה 1 עד 4.
- Place Pin – אותן אפשרויות כמו במערך הפינים אך ללא מספור אוטומטי כמובן מכיוון שמדובר בפין יחיד.



- Place IEEE Symbol – אפשרות להוסיף סימון מוכר לרכיב, לדוגמא : אם עלינו לשרטט מגבר אופרטיבי, נבחר בסימון המקובל של משולש .
- כמו כן, ניתן להשתמש בסימונים על הרכיב ששרטטנו כדי להמחיש ויזואלית את ייעודו.



- כאשר נסיים לשרטט את הרכיב נוכל לתת לו שם שיופיע לצידו במעגל, נעשה זאת ע"י לחיצה כפולה על U. מתחת לרכיב מופיע <VALUE> זהו נתון שרלוונטי לרכיב הניתן לבחירה בכמה ערכים כגון : קבל , נגד וכו...
  - יש לזכור ששם זה אינו נתון קריטי וניתן לשינוי בכל עת גם ללא עורך הרכיבים.
  - בסיום שרטוט הרכיב, נשמור אותו ונוכל להשתמש בו בשרטוט המעגלים תחת הספרייה שייצרנו.

### דגשים לשרטוט :

א. שימוש ב Ports :

יש להמנע משרטוט קווים ארוכים אשר מקשים על הבנת המעגל. כדי לציין חיבור ישיר למקור מתח יש להשתמש ב ports ולציין את שם המקור וערכו על כל אחד מה ports ולא לבצע חיבור, כך יודע עורך המעגלים לחבר את הנקודה הנ"ל למקור המתח.

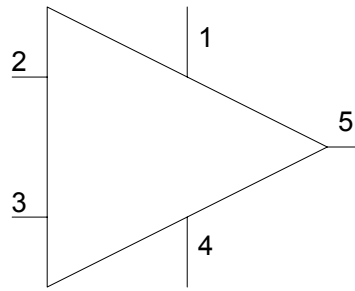
סימון port :

ב. מחברים (connectors) :

חשוב מאוד : לוודא שהמחבר מתאים לתחום התדרים איתו עובד הרכיב. יש לשים לב לאותיות הקטנות במפרט המחבר (רצוי לקחת מחבר שעובד בתחום תדרים רחב יותר מהנדרש כדי למנוע שגיאה).

ג. כיתובים :

- 1) גודל הכיתוב של הרכיב – יש לשמור על פרופורצייה ביחס לרכיב עצמו ולשאר הכיתובים במעגל (להבליט כיתובים משמעותיים).
  - 2) סימון רגליים של רכיב : מקובל לסמן במספרים (ולא ע"י שמות כגון : Out , Vdd וכו').
- דוגמא :



- (3) לשים לב שמספרי הרגליים לא מוסתרים ע"י הקווים במעגל.
- (4) כיתוב מינימלי, פשוט.

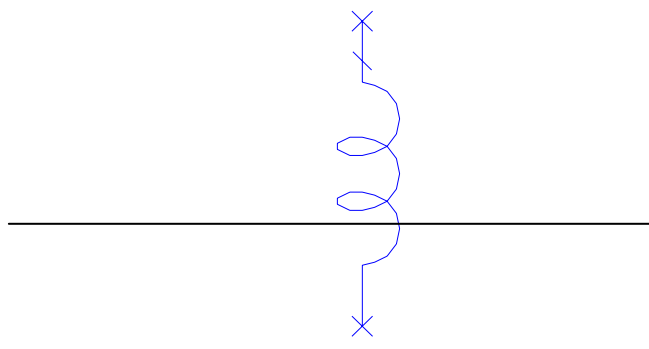
ד. Package Ground – יש לוודא האם נדרש (עפ"י הגדרות הרכיב) – יש לציין זאת באופן ברור בסכמה. ע"י טקסט בסמוך לרכיב.

ה. קבלים:

- (1) יש לבחור בקבלי צימוד קטנים ככל האפשר.
- (2) רצוי לקבוע קבצי צימוד אחידים בגודלם לאותו תחום תדר. במידה ויש חלוקה של תחומי תדר (RF, IF, לדוג'), נבחר קבלים שונים לכל תחום אך זהים בכל תחום.
- הערה: כל האמור בסעיף זה נכון בתנאי שהרכיב מתואם ל  $50\Omega$ . במידה ולא, יש לתאם עם קבל צימוד מדויק בערכו.
- (3) יש לשים קבלי צימוד על קו המיקרוסטריפ במידה והרכיב לא מכיל קבלים כאלו – זאת על מנת למנוע יציאת מתח DC שיפגע במכשירי המדידה (Network Analyzer לדוגמא). רק לאחר בדיקת המעגל ע"י ציוד המדידה ווידוא כי אין מתחי DC ביציאה ובכניסת הרכיב, ניתן בתיאום עם מהנדס המעבדה להסירם.

ו. סלילים:

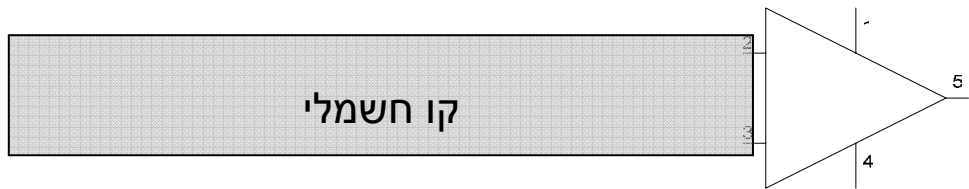
- (1) גודלם תלוי בזרם.
- (2) מותר להרכיב סליל רחוק מהמגבר עם חוט דק.



ז. רכיבים (כללי):

- (1) יש להתאים את רוחב הקווים למרווח בין רגלי הרכיבים:



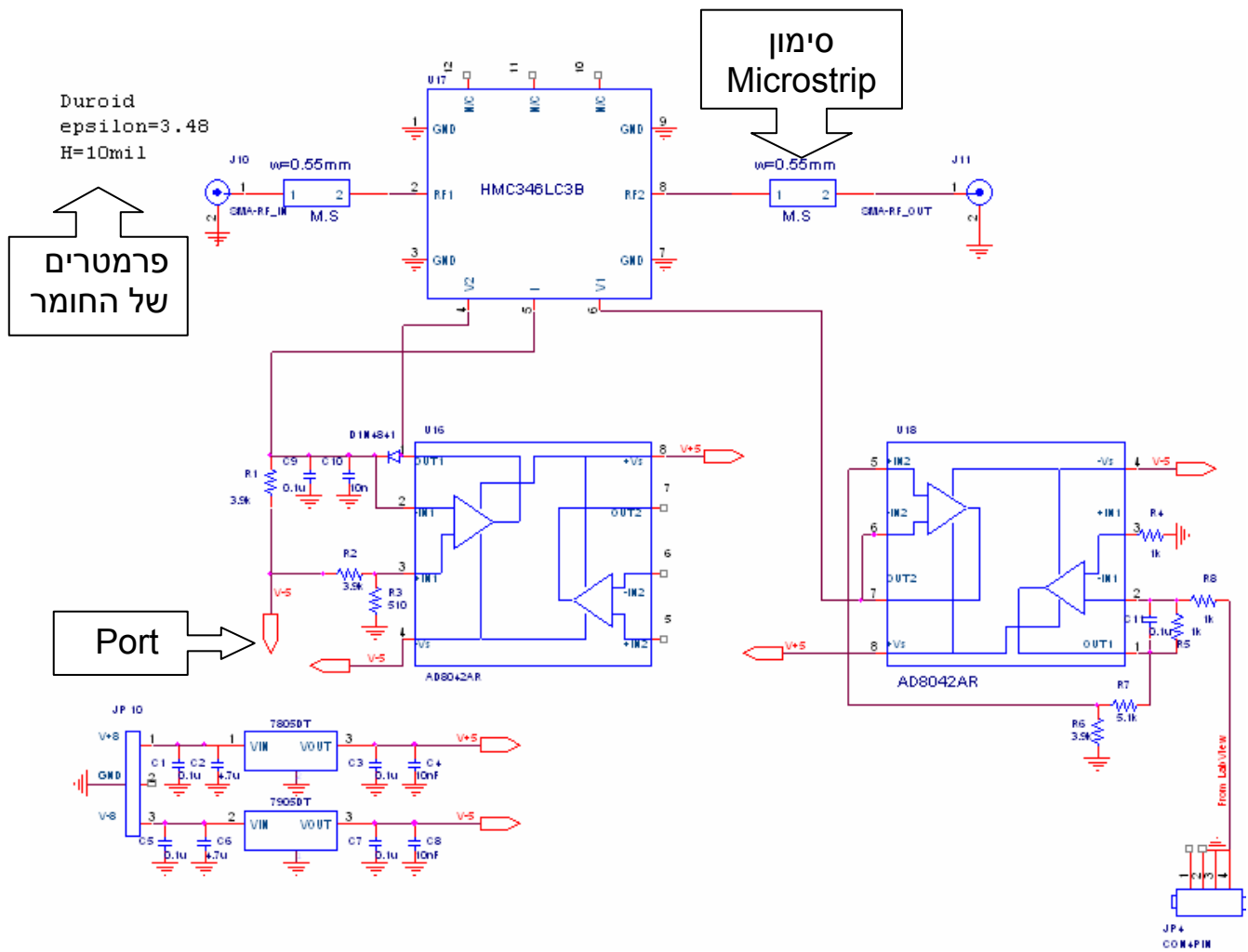


קל לראות שבמקרה זה הקו החשמלי מקצר שתי כניסות של המגבר !

(2) לשים רכיבים באותו כיוון (למנע מרכיבים הפוכים) – כדי לצמצם שגיאות בהרכבה.

בסיום השרטוט החשמלי יש לקיים דיון בו יהיו נוכחים : מהנדס המעבדה, המנחה והסטודנטים.  
בדיון יידרשו הסטודנטים להסביר ולנמק את פרטי השרטוט.

דוגמא לשרטוט :



## פרק 5: העברת המעגל החשמלי לעריכה

(5-1) מה נדרש לעורך לצורך העריכה :

5.1 Data sheet – אריזות של כל הרכיבים.

5.2 סכמה בקובץ ושרטוט מודפס.

אם הסכמה מתוכנת :

א. ב Orcad אז לכל רכיב יש להכניס PCB – Footprint – שם אריזת רכיב מספריה של תוכנת עריכה.

ב. ב Design Architect – יש להכניס Geometry Name – שם אריזת רכיב מהספריה של תוכנת העריכה.

5.3 לצורך עריכה יש לצרף את הפרטים להלן :

א. מידות הכרטיס.

ב. כמות וסדר שכבות.

ג. עובי קווים.

ד. מיקום רכיבים כללי מומלץ (במידה וברצונכם לציין זאת).

ה. דרישות מיוחדות.

5.4 Netlist :

אם הסכמה מותכנת :

א. ב Orcad – יש להוציא Netlist בפורמט TANGO ו MENTOR.

ב. ב Design Architect – יש להוציא Netlist בפורמט MENTOR.

דוגמא לצורת המידע ב-Netlist :

```
]
C1
0603
u0.1
[
]
C10
0603
n10
.
.
.
)
N94953
U16,3
R2,2
R3,2
(
```

5.5 -BOM ( Bill Off Materials ) לדוגמא :

1	6	C_out1,C1,C_in4,C4,C_out, 0.1u	
		C_in	
2	2	C_in1,C_in3	4.7u
3	2	C_out3,C_out4	10nF
4	1	C2	10n
5	1	C3	1n
6	1	D1	d
7	1	J7	SMA-RF_IN
8	1	J8	SMA-RF_OUT
9	2	R5,R10	500
10	2	R6,R7	3.92k
11	1	R8	300
12	3	R11,R12,R13	1k
13	2	U13,U15	AD8042AR
14	1	U14	HMC346MS8G_1
15	1	U19	9Pin
16	1	U21	J_Volt
17	1	U22	7905DT
18	1	U23	7805DT

## 5-2) בדיקת ה- LAYOUT של המעגל בסיום העריכה

5.6 בסיום העריכה מוציאה העורכת תדפיסים ושקפים על מנת לבדוק ולהעיר הערות:

- א. תדפיס הכולל את החיבורים במעגל (ראה תמונה).
- ב. תדפיס הכולל את הרכיבים במעגל.
- ג. תדפיסים בגודל אמיתי של המעגל.

5.7 יש לעבור על התדפיסים ולוודא שהמעגל נערך כהלכה. דברים שרצוי לשים אליהם לב:

- א. נכונות החיבורים של הרכיבים ושל הכניסות לכרטיס.
- ב. קיום הארקות כנדרש.
- ג. קביעה נכונה של הקבלים/נגדים/סלילים – בהתאם ל BOM.

הערה : לעורך יש לפעמים אילוצים למספור שונה של הרכיבים, יש צורך לתקן את השרטוט החשמלי וה-Netlist בהתאם לעריכה הסופית.

בסיום העריכה יש לקיים CDR עם מהנדס המעבדה,המנחה כדי לאשר סופית את החוצאה לייצור.

## פרק 6 - הרכבת המעגל

### (6-1) קבלת ה-PCB מייצור

- עם קבלת ה-PCB מייצור (כמובן שמתפעלים מהצורה- האם כך חשבנו שיראה).
- לוודא כי המעגל תואם את ציפיותינו : משטחי אדמה, ציפויי דופן בכרטיס, קצרים, נתקים, עובי הציפויים ועוד ...
- הכנת KIT הרכיבים במארזים לצורך הרכבת הכרטיס.

### (6-2) הקשחת ה- PCB

- PCB דק עלול להישבר, לכן יש צורך להקשיחו. להרכיבו על בסיס יציב אשר יקנה לו קשיחות פיזית. ההקשחה ע"י CARRIER – מנשא פליז .
- כאשר ה- PCB עשוי דו שכבתי ויתכנו מוליכים בשכבת ה- GND, יש צורך לכרסם ב-CARRIER כדי למנוע קצרים. אפשרות נוספת לבודד במקום הכרסום .

### (6-3) הלחמת / הרכבת הרכיבים ב- PCB

1. במקרים מסוימים הרכיבים יורכבו ע"י מרכיב/ה מקצועי .
2. במקרים אחרים ניתן לשלב הסטודנט בהרכבה (לאחר שיעברו הדרכה מתאימה).
3. מחברי RF – מיוחדים לתדר גבוה, יולחמו בדרי"כ ע"י אדם מנוסה (טכנאי המעבדה) זאת בשל הדיוק הרב הנדרש בהרכבתם .
4. חיווט חיצוני יוכן ע"י הסטודנטים ויחובר למעגל: על כל חוט יסומן ייעודו חשוב ה-CARRIER מחוזק לכרטיס באמצעות ברגים, יש לדאוג לקחת זאת בחשבון ולא למקם רכיבים בסמוך לקצוות, פתיחה וסגירה של הברגים עלולה לפגוע ברכיבים על המעגל. להקפיד על צבעי הבננות – על מנת לצמצם שגיאות בחיבור לספקים.