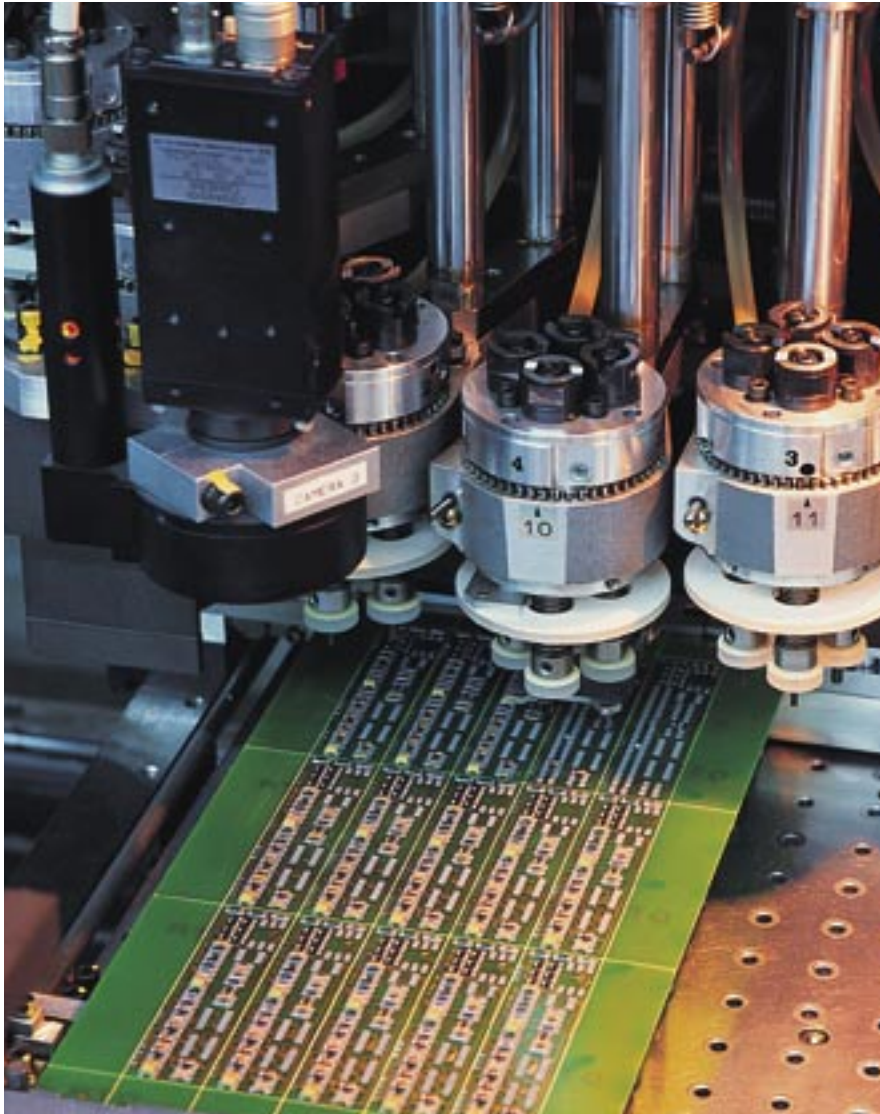


# קבלי סינון - למעלה או למטה?



מידת ההשפעה של קבלי סינון (Decoupling Capacitors) על היישום האלקטרוני נגזרת ממיקומם היחסי במעגל המודפס. אם כך, היכן כדאי למקם קבלי סינון - בצד העליון או בצד התחתון של המעגל?

< יבגני מכלין, CTO, סירקייטק

**ה**מורכבות הגוברת של המעגלים החשמליים טומנת בחובה בין היתר שימוש נרחב בקבלי סינון (Decoupling Capacitor). תפקיד קבלים אלו הוא הפרדה אלקטרונית של אזורים נבחרים במעגל. מידת ההשפעה של רכיבים אלו על היישום האלקטרוני נגזרת ממיקומם היחסי במעגל המודפס. במאמר זה אסקור את השאלה הנפוצה "היכן כדאי למקם קבלי סינון בצד העליון או בצד התחתון של המעגל?"

בתעשייה האלקטרוניקה בכלל ובתחום המעגלים המודפסים (PCB) בפרט, קיימים מספר דרכים של כללי אצבע אשר לעיתים אפילו מנוגדים ביניהם. ניתן בקלות יחסית לוודא אילו מבין כללים אלו גם הגיוניים וברי ביצוע בעזרת שיקול של כללי היסוד הפיסיקליים המעורבים בתהליך. הכללים המנחים במיקום קבלי סינון במעגל החשמלי מבוססים על יסודות פיסיקליים שאותם אפרוט במאמר זה.

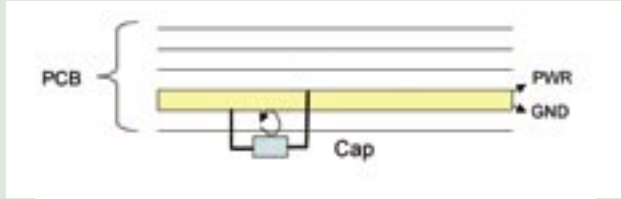
קיימות שתי מטרות מרכזיות במיקום קבלי סינון במעגל החשמלי. האחת לספק טעינה לרכיב ה-IC, השנייה היא למזער את ההתנגדות החשמלית משכבות המתח/אדמה לטובת הפחתת השפעות התהודה של המתח החשמלי. כדי ליישם אפליקציות אלו, נדרש לשקול כל מטרות בצורה

נפרדת כיוון שפתרון לבעיה אחת לא בהכרח פותר גם את הבעיה השנייה ולהיפך. לדוגמה: כדי לספק טעינה לרכיב ה-IC על קבל הסינון להתחבר בין שכבת המתח לשכבת האדמה ולהתמקם קרוב לנקודות המתח/אדמה של רכיב ה-IC כדי למזער את השפעת ההשראה. כאשר משתמשים בקבלי סינון לטובת שליטה על התהודה עליהם להתחבר בין שכבות PCB שכנות ללא קשר למאפייניהם. ייעוד קבלים אלו הינו הפחתת ההתנגדות הנגרמת מהיחס ההשראתי בין שכבות אלו ולכן על קבלים אלו להתפרס על כל רוחב ה-PCB.

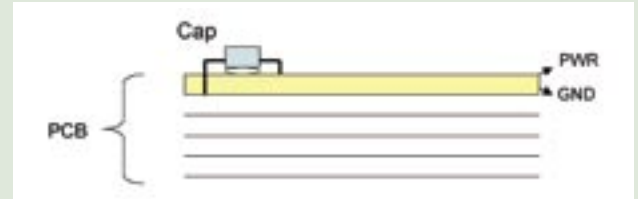
באופן כללי, ללא קשר לייעוד קבל הסינון במעגל, האפקטיביות בשימוש רכיב זה הינה פונקציה של מידת ההשראות אשר הוא יוצר. השראות זו היא נגזרת של הגיאומטריה במיקום הקבל במעגל. מיקום צמוד של קבל הסינון לרכיב ה-IC מאפשר לו להיטען מיידית בהשראות נמוכה. לאחר שספק המתח טען את קבל הסינון, רכיב

ה-IC מקבל את הטעינה הראשונית שלו מהקבל הממוקם בסמוך אליו ואינו צריך להזדקק לשכבת המתח הנמצאת במיקום רחוק יותר ולכן מושפעת מהשראות גבוהה יותר. כאשר נקודות החיבור (VIA) של הקבל נמצאות במיקום רחוק אחת מהשנייה או לחלופין כאשר השכבות המיועדות לסינון נמצאות הרחק מקצוות המעגל (החלק העליון או התחתון) ההשראות המתקבלת עם הקבל תהיה גבוהה והשימוש בו לא יהיה אפקטיבי, בעיקר בתדרים מהירים.

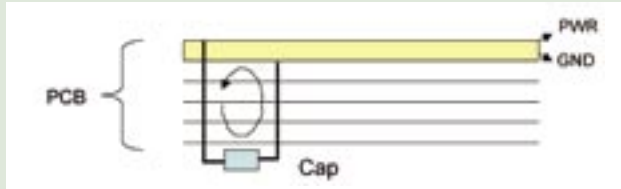
חישוב מדויק של מידת ההשראות הנוצרת נמדדת בעזרת נוסחה מורכבת. אך למרות זאת כיוון שמידת ההשראות נמצאת ביחס ישר לשטח הנמצא בין הקבל ובין שכבת המתח/אדמה, ניתן לפשט את הבעיה המורכבת ע"י שרטוט סכמתי של השטח הקיים בין הקבל והשכבות. השוואה של פרמטר זה בין אפשרויות התכנון השונות נותן אינדיקציה לגבי מידת <



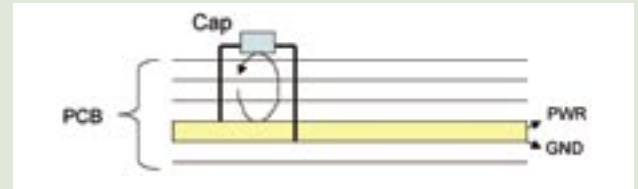
**איור 2**  
השראות נמוכה כאשר הקבל ממוקם בחלק התחתון של המעגל



**איור 1**  
השראות נמוכה כאשר הקבל ממוקם בחלק העליון של המעגל



**איור 4**  
השראות גבוהה כאשר הקבל ממוקם בחלק התחתון של המעגל



**איור 3**  
השראות גבוהה כאשר הקבל ממוקם בחלק העליון של המעגל

סוגי סיון (סיון 20x20)	סוגי סיון (סיון 11x11)	סוגי סיון (סיון 20x20)	סוגי סיון (סיון 20x20)	סוגי סיון (סיון 20x20)
1.38	2	5.1	9.6	$6005 + 2^{*}10\mu\Omega$
2.2	3	4.3	4.1	$8005 + 2^{*}10\mu\Omega$
8.8	1.1	1.74	2.3	$6003 + 2^{*}10\mu\Omega$
1.3	2.1	3.15	3.3	$8003 + 2^{*}10\mu\Omega$

**טבלה 1**  
ערכי השראות (nH) בחיבור קבלי סיון טיפוסיים

< ההשראות העלולה להיגרם במעגל בכל מקרה. אם פתרון מסוים מתאר שטח קטן יותר בין הקבל לשכבת המתח/אדמה סימן שגם מידת ההשראות אשר הוא יוצר נמוכה יותר ולכן הפתרון יהיה גם מועדף יותר. באיורים 1 ו-2 ניתן לראות מצבים בהם מתקבלת השראות נמוכה, ומנגד באיורים 3 ו-4 ניתן להבחין ביצירת השראות גבוהה. באיורים 3 ו-4 קיימת שונות גדולה בשטח הלולאה בין הקבל ובין המשטח חים. באיור 3 כאשר משטחי המתח/אדמה קרובים יותר לצד התחתון של המעגל מאשר לצד העליון, מידת ההשראות יכולה לפחות משמעותית אם נמקם את קבל הסינון דווקא בצד התחתון של ה-PCB. טבלה 1 מתארת את מידת ההשראות עבור מספר דוגמאות של קבלי סיון המ- מוקמים במרחקים שונים משכבות המתח/אדמה. על אף שהשימוש בנוסחה המורכבת לחישוב מידת ההשראות מדויק יותר, ניתן לקבל תוצאות בקירוב טוב מאוד אשר מספיקות לרוב היישומים הנדרשים בעזרת שימוש בנוסחה פשוטה הרבה יותר.

$$L_{int} = \frac{\mu}{\pi} \left[ 2\sqrt{h^2 + w^2} - 2(w+h) - h \ln \left[ \frac{h + \sqrt{h^2 + w^2}}{w} \right] - w \ln \left[ \frac{w + \sqrt{h^2 + w^2}}{h} \right] + h \ln \left[ \frac{2h}{r} \right] + w \ln \left[ \frac{2w}{r} \right] \right]$$

כאשר: W - רוחב השטח הלולאתי (מרחק בין חורי המעבר VIA)  
h - גובה השטח הלולאתי (מרחק בין החלק העליון/תחתון של המעגל לשכבות הרלוונטיות)  
r - רדיוס המוליך (קוטר ה-VIA)

עמוק בתוך המעגל, קרוב לצד התחתון, השטח הלולאתי הנוצר בינה לבין נקודות המתח/אדמה של רכיב ה-IC הינו גבוה. שטח זה מפחית משמעותית את ההשפעות החיוביות של שכבת קיבול זו. ברם, אם נבנה את סדר השכבות כך ששכבת הקיבול תמוקם בסמוך לחלק העליון של המעגל השטח הלולאתי שנוצר הינו קטן ומאפשר לרכיב ה-IC לקבל את היתרונות האלקטרוניים של הקיבוליות ללא יצירת השראות מיותרת. אין תשובה אבסולוטית נכונה לשאלה האם למקם קבל סיון תמיד בצד העליון או בצד התחתון של המעגל המודפס. המיקום הטוב ביותר הוא כאשר השטח הלולאתי בין הקבל לבין שכבות המתח/אדמה הוא הקטן ביותר, כך שתיווצר ההשראות הנ- מוכה ביותר. ❖

$\mu$  - קבוע מתמטי חשוב לציין כי הפרמטר r המתאר את רדיוס המוליך (היקף ה-VIA) הוא בעל השפעה שולית על תוצאת הנוסחה. לעומת זאת הפרמטרים w ו-h, המייצגים את המרחק בין ה-VIA והגובה עד לשכבות, בהתאמה, ואשר יוצרים יחד את השטח הלולאתי בין השכבות לקבל הסינון הם פקטור משמעותי בערך ההשראות המת- קבל מנוסחה זו. סוג ניתוח זה הינו חיוני גם במקרים בהם נדרש להחליט האם להשתמש בתהליכי ייצור מיוחדים ויקרים כדי להשיג תוצאות טובות יותר. לדוגמא: האם מיקום של קיבול פנימי בתוך שכבות ה-PCB (Burried Capacitance) שווה את עלות מבנה השכ- בות (Stackup) המורכבת והיקרה, יש לציין, הנגזרת ממנה. אם שכבת קיבול זו ממוקמת