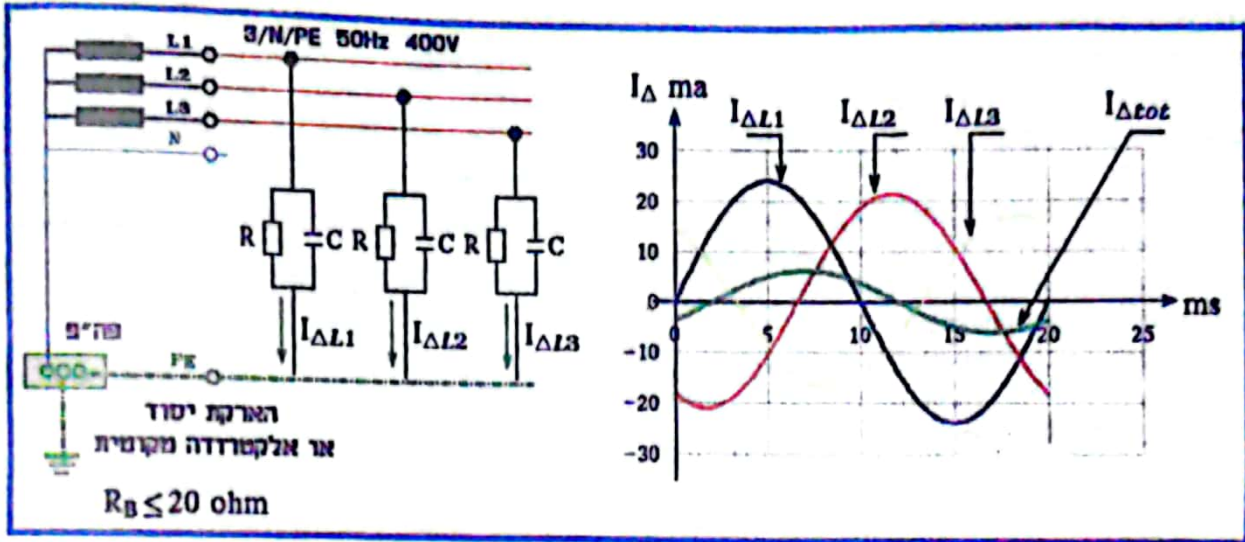


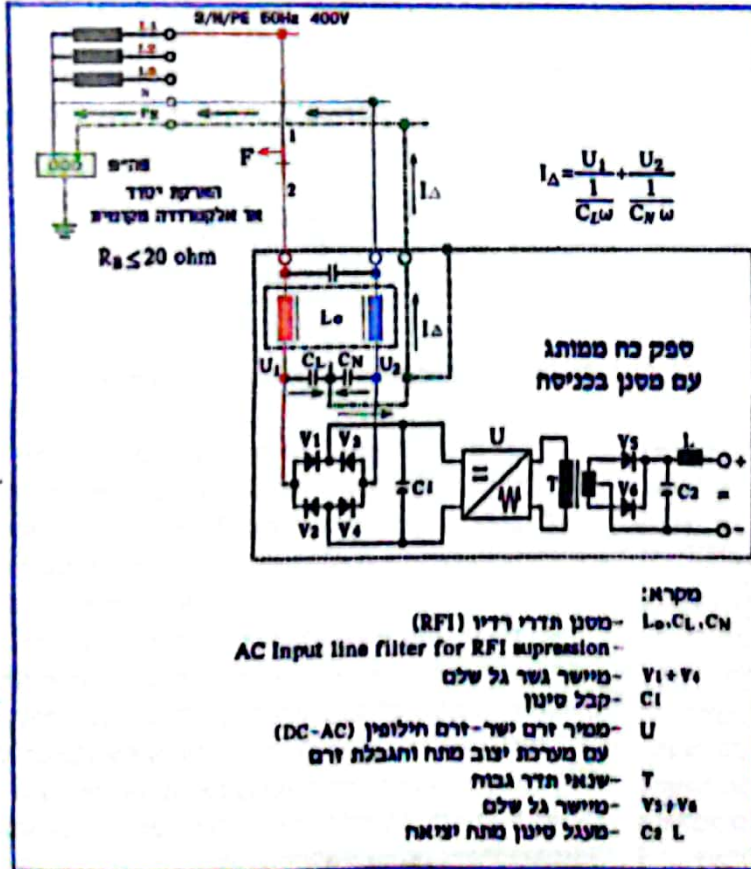
ביליון 13 | יוני 2007

זרמי דלף וניתוק מוליך האפס

אינג'ני שי גוסמן



איור 1. קיזוז זרמי דלף מתמידים במעגל תלת-מופעי



איור 2. זרמי דלף מתמידים של ספקי כח ממותגים

תקציר

נתק במוליך האפס של מתקני צרכנים ביתיים ותעשייתיים, כמו תנורי בישול, מכונות כביסה, מקררים, רדיאטורי חימום, מרשבים, מסכים, מנורות פלאואוסנטיות וכדומה, נדרם לעליית זרמי דלף כמעט פי שתיים לעומת זרמי דלף נומינליים מתמידים. מדובר בציוד "סוג I" חד-מופעי, המחובר לרשת שאמצעי ההגנה מפני חשמול בהם TT או TN-S. האם התופעה מתוארת לעיל קיימת באמת? ואם כן, מהו החסבר העיוני והפיסיקלי להופעתה? האם ידוע בעולם על התופעה ומה היו ההמלצות למניעת הפסקות לא רצויות של מפסקי זרם דלף?

האם בארץ היו בעיות עם זרמי דלף כתוצאה מציתוק מוליך האפס, ומה היו הפתרונות? התשובות לשאלות אלה הן נושא של ייאמר זה.

רקע היסטורי

זרמי דלף הן תופעות הקיימות בכל מתקני החשמל הביתיים או התעשייתיים. במתקני חשמל שאמצעי ההגנה בהם הם TT או TN-S זרמי דלף דולפים להארקה דרך הבידוד או על מניו, וגם דרך הקיבוליות של הציוד (פיליבינג). כלים, ממסרים, שטאי (פיקוד וכו') לגוף המתכתי שגם הוא מחובר

להארכה. במתקנים ביתיים ותעשייתיים, שבהם רוב הציוד הוא תלת-מופעי ושיעור התנגדות הבידוד (אומי + קיבולי) לגבי ההארכה שווה לכל מופע, יש קיומו ומפסקי זרם דלף לא יפעלו, למרות שבכל מופע זרם הדלף עובר את זרם ההפעלה הנומנלי של המכשיר (ראה איור 1).

בעשור האחרון נכנס לשימוש גם בישראל, כמו בכל העולם המודרני, ציוד שרכיביו האלקטרוניים דומיננטיים מחשבים, מסכים, מכונות כביסה עם ויסות מהירות. מהירות, מיישרים ממותגים, מערכות אל-פסק וכדומה. ציוד זה הוא מקור של תדרי רדיו, שחדירתם לרשת הייתה 50 הרץ מפריעה לפעולה התקינה של ציוד אודיו-וידאו, ציוד תקשורת וכדומה. כדי להוריד או להפחית את השפעתם של תדרי רדיו לרמה סבירה ומוסכמת משתמשים במסנני תדרי רדיו (AC RFI suppression Input line filter for) RFI (ראה איור 2).

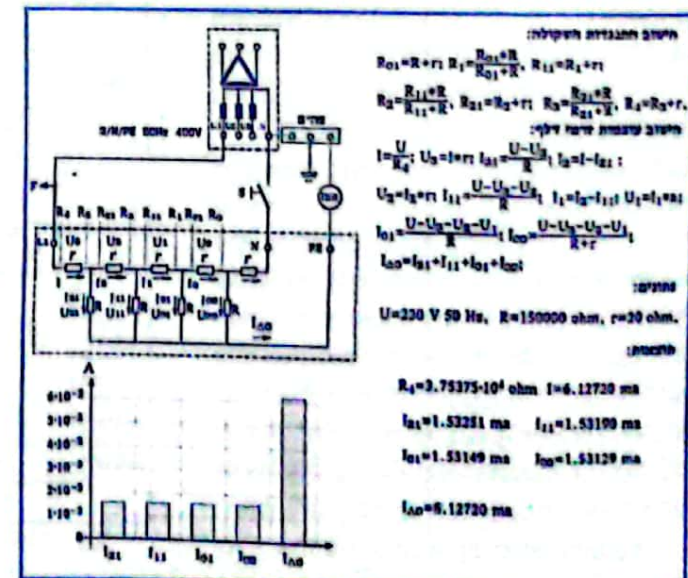
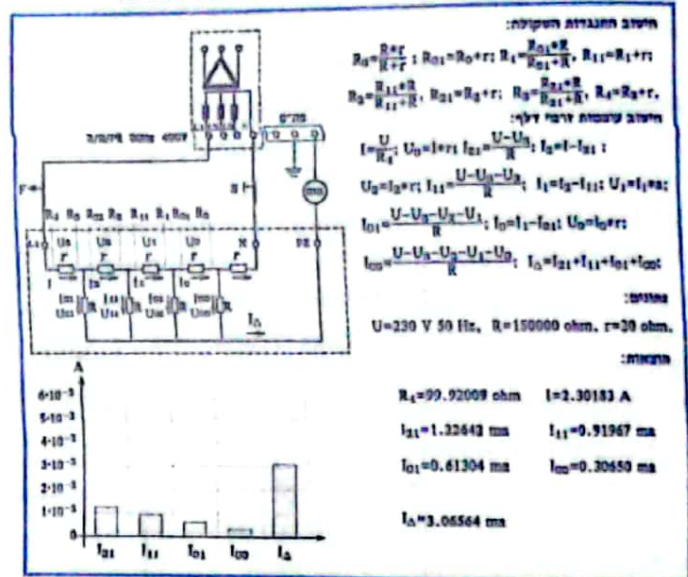
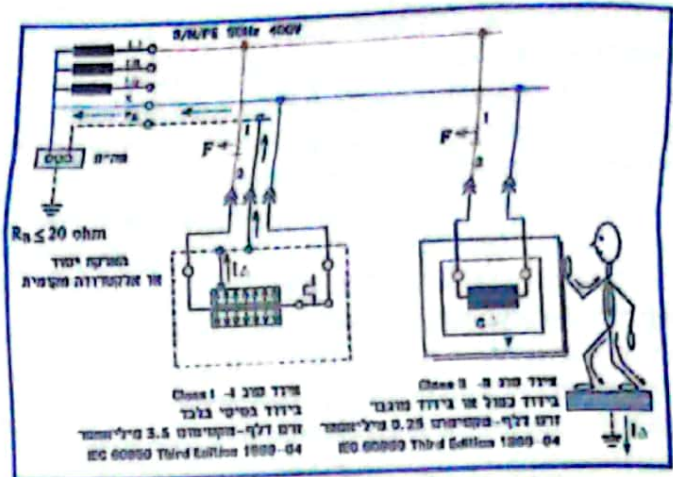
המסנן מונע מתדרי הרדיו לחדור לרשת 50 הרץ, אולם מצד שני מופיעים זרמי דלף מתמידים כפונקציה של ערכים של הקבלים CN ו-CL. יש להדגיש, שזרמי דלף מתמידים של ציוד כגון מחשבים, מסכים, מכונות כביסה עם ויסות מהירות, זורמים להארכה אפילו כשמהמכשירים אינם מועלים.

באיור 3 מוצגים זרמי דלף מותרים בהתאם ל-IEC 60950. גם התקן הישראלי י"י 1121 "בטיחות טכנולוגיית מידע", מרשה לחבר ברשת מוארקת (TN-S או TN-C-S) ציוד כגון מחשבים, מסכים, מדפסות וכדומה, אם זרם הדלף של כל מכשיר לחדר, או של שני מכשירים מחוברים לרשת עם אותו בית-תקע (מחשב + מסך) אינו עובר 5.3 מיליאמפר (ma). אם זרם הדלף גדול יותר מ-3.5 מיליאמפר (ma) מותר לחבר ציוד לרשת בתנאים הבאים:

- חיבור לרשת באמצעות בית תקע תעשייתי,
- זרם דלף - לא יותר מ-5% מזרם הכניסה במופע,
- שטח החתך של מוליך הארקה בתוך הציוד הוא לפחות 1 מ"ר,
- שלט אוהרה מותקן על הציוד או על ידו, ובו כתוב: "זרם דלף גבוה. יש לבדוק את ההארכה לפני החיבור לרשת".

חישובי זרמי דלף

באיורים 4 ו-5 מוצג אותו תרשים של מעגל אוהמי בשני מצבים: חיבור לרשת החשמל במצב נורמלי וחיבור לרשת החשמל כשמוליך האפס מנותק. בכל אידו מופיעות בפרוטרוט הנוסחאות לחישוב ההתנגדות השקולה וגם חישוב של זרמי דלף. התוצאות מופיעות גם בגרפים שמוכיחים שהיחס בין זרם דלף של צרכן עם מוליך האפס מנותק לגבי זרם דלף מתמיד, מתקרב ל-2. כדי לאמת את המגמה שינינו את היחס בין R ו-r והתוצאות מוצגות באיור 6. באיורים 7 ו-8 מוצג באותה שיטה חישוב זרמי דלף של מעגל קיבולי. התוצאות דומות לתוצאות של מעגל אוהמי.



תיאוריה ופרקטיקה

על מנת לבחון את התוצאות של האיורים 4, 5, 7-8 ערכתי מדידות של זרמי דלף במכשירי חשמל שנמצאים בשימוש כמעט בכל בית אב בישראל. הערכים מרוכזים בטבלה 1 ומוכיחים שיש התאמה בין התיאוריה והפרקטיקה עם סטיית קטנות בשני הצדדים בפונקציה של היחס בין r-ו R או בין C-ו c.

החסבר הפיסיקלי

עד כמה שהדבר נראה מוזר, החסבר לתופעה זו הוא פשוט מאוד: במכשירים חשמליים המחוברים לרשת החשמל באופן תקין סך כל זרמי דלף פרופורציונליים, עם מפלי מתח בתוך המכשיר. בניתוק מוליך האפס אין מפלי מתח וזרמי דלף עולים כמעט פי שתיים. מדוע לא למדנו בפקולטה להנדסת חשמל על התופעה? למחבר מאמר זה אין תשובה לכך.

היסטוריה

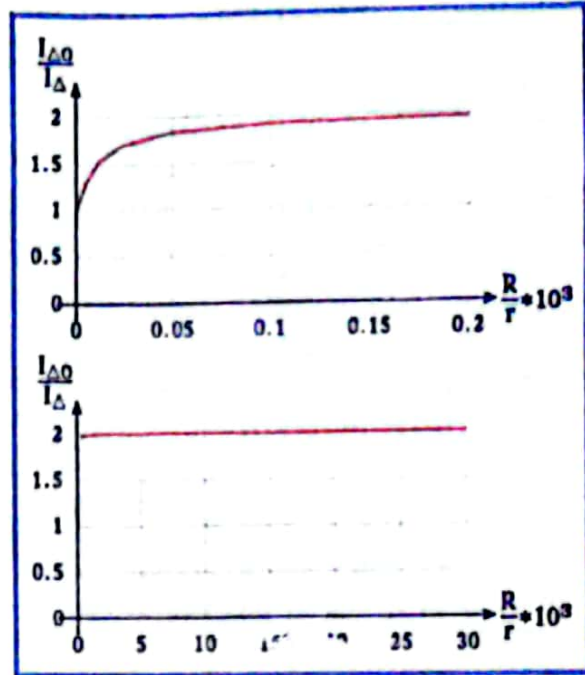
זרמי דלף מתמידים גורמיה גם להפסקות לא רצויות של מפסקי זרם דלף, הן של מתקנים ביתיים והן של מתקנים תעשייתיים. במתקן ביתי ההפסקות הלא רצויות מהוות מטריד ולפעמים גורמות גם נזק כשתכולת המקרר או המקפיא מתקלקלת; לעומת זאת, במתקנים תעשייתיים כגון מחשבים ותקשורת, כמעט כל הפסקה לא רצויה גורמת לאובדן נתונים ולפעמים גם להפסדים כספיים גדולים.

המתכננים אינם מודאגים ל... מההשפעות השליליות של ניתוק מוליך האפס בזמן החלפת הזינה בין רשת חברת החשמל

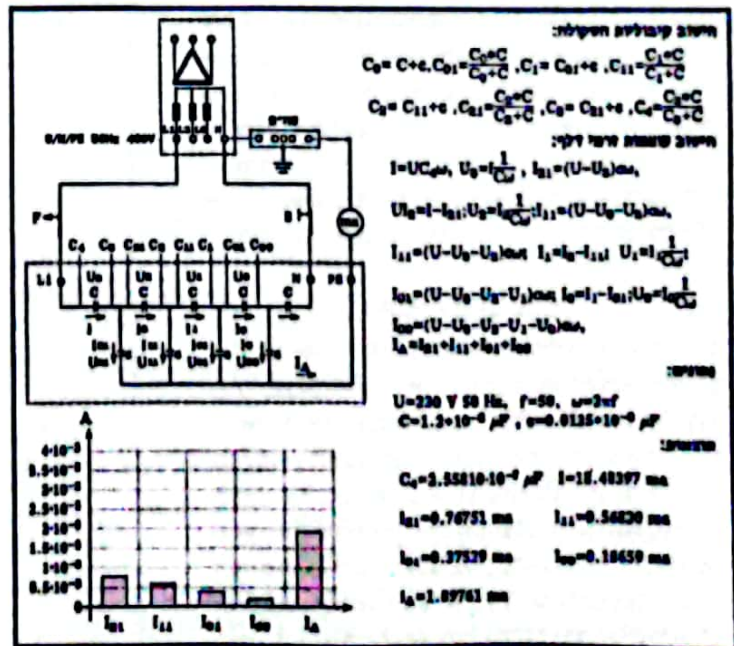
ובין דיזל גנרטור, וכל הפסקת חשמל הופכת לסיוט כשמפסקי זרם דלף "קופצים" ללא סיבה. הסיבה למקרה כזה טובא בהמשך.

החל משנת 1970 צויידו כל מתקני החשמל של מרכזות הטלפונים של משרד התקשורת - באותו תקופה - במפסקי זרם דלף בשלוש רמות: 30 מיליאמפר עבור בתי תקע, 300 מיליאמפר עבור מעגלי תאורה, 2 אמפר עבור יציאות מהלוח הראשי.

כבר מהפעלת לוח הכוח הראשון, עם קונפיגורציה כנ"ל, התגלו בזמן החלפת הזינה מחברת החשמל לדיזל גנרטור ולהיפך, הפסקות לא מוסברות של מפסקי זרם דלף. ההפסקות היו רק במסגרי דלף שזרם הפעלה שלהם היה 2 אמפר. תחילה האשימו את זרמי הזליגה של מאות נורות פלואורסנטיות, אבל ההפסקות נחזרו גם בזמן שמעגלי תאורה לא היו בפעולה. רק בשנת 1977, לאחר אינסוף ניסיונות וקצת מזל, הגענו למסקנה, שסגירת קוטב האפס של מפסק-מחלף ארבעה-קוטבי צריכה להתבצע לפני קטבי המופעים, ופתיחת קוטב האפס צריכה להתבצע לאחר פתיחת קטבי המופעים. לאחר שהוויסותים בתצו בכל הארץ הסייט נגמר.



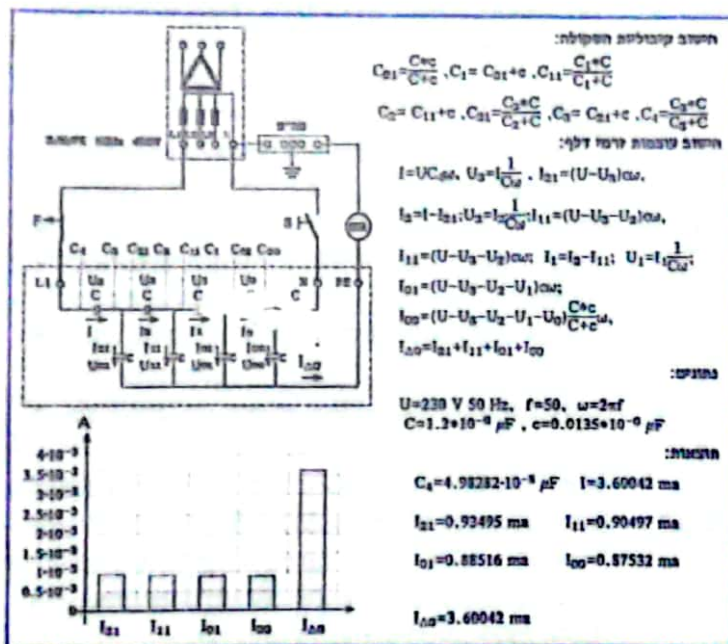
איור 6. שיעור עליית זרם דלף של צרכן אומי עם ניתוק האפס



איור 7. חישוב זרמי דלף מתמידים של צרכן קיבולי, שיטת ההגנה TN-S או TT

$\frac{I_{\Delta 0}}{I_{\Delta}}$	זרם דלף דרך מוליך החאגרה		מדידות-מודד דגם M68
	$I_{\Delta 0}$	I_{Δ}	
1.992	2.75	1.77	מחשב Pentium 4 + מסך 17" 775FT + מסך 17" 753DFX + מדפסת 930C + טורק 3500C
1.886	3.15	1.67	מכונת כביסה עם משנה מהירות
1.990	0.0408	0.0205	קומקום
1.905	0.0402	0.0211	מגנץ
2.21	0.31	0.14	מזגן חלון
1.937	0.31	0.16	תנור
1.977	0.89	0.45	מסך 17" 753DFX
2.00	0.40	0.20	טורק 3500C
1.437	0.046	0.0322	כבל מאריך 3x2.5 ממיר 4 מ'

I_{Δ} זרם דלף מתמיד
 $I_{\Delta 0}$ זרם דלף עם מוליך אפס מנותק
טבלה 1. זרמי דלף של צרכנים ביתיים



איור 8. חישוב זרמי דלף של צרכן קיבולי עם אפס מנותק. שיטת ההגנה TN-S או TT

- גם למפסקים ידניים ארבעה-קוטביים צריך להיות לקוטב האפס אותו סידור.
- בתכנון מעגלים חשמליים יש לזכור בחשבון גם זרמי דלף מתמידים (נתונים של היצרן או מדידות), במעגלים עם צרכנים חיוניים מומלץ להתקין מפסקי זרם דלף עם השהיה של מינימום 10 מילישניות (ms), ולהגביל את זרמי הדלף המתמידים לערך מירבי של 7 מיליאמפר.

התקינה וניתוק מוליך האפס

- בארץ קיימים שני תקנים של מפסקי זרם דלף: ת"י 832, שאימץ את תקן IEC 1008 - מפסק הפועל בזרם דלף ללא שילוב הגנה
- ת"י 1038, שאימץ את תקן IEC 1009 - מפסק משולב הפועל בזרם דלף.

בשני התקנים בסעיף 8.1.2 Mechanism נדרש:
 A switched neutral pole shall open after and close before the other pole(s)
 כאן נשאלת שאלה חשובה: האם החברות שמייצרות מפסקי זרם דלף דואגות שסגירת ופתיחת קוטב האפס תהיה לפי סעיף 8.1.2? לפי הנתונים הטכניים שמופיעים בקטלוגים רק שתי חברות מציינות בתרשים את הדרישה.

ניתוק מוליך האפס והפסקות לא רצויות של מפסקי דלף

- להלן חלק מהפעולות שגורמות להפסקות לא רצויות של מפסקי זרם דלף, הן במשק הבית והן במשרדים או בתעשייה:
- חיבור של מכשירים לרשת החשמל באמצעות בית תקע (מכונת כביסה, מחשבים וכו'), המכשירים במצב מופסק.
 - חיבור של מכשירים לרשת החשמל באמצעות מפסק של כבל מאריך, המכשירים במצב מופסק.
 - הדלקת מנורות פלואורסנטיות המחוברות לרשת החשמל דרך מפסק זרם דלף חד-מופע.
 - הפעלת יותר מ-7-8 מחשבים באמצעות מפסק של כבל מאריך, המכשירים במצב מופסק.
 - ניסוי לחיבור חוזר של מפסק זרם דלף ש"קפץ" ללא סיבה.
 - החלפת הזינה בין רשת חברת חשמל ובין דיזל גנרטור באמצעות מפסק מחלף ארבעה-קוטבי במעגלים עם הזנה ממערכת אל-פסק.

מסקנות

- איך מתמודדים עם הפסקות לא רצויות של מפסקי זרם דלף הנגרמות על-ידי ניתוק מוליך האפס? להלן כמה המלצות, הן למתכנן והן לאיש האחזקה:
- במתקני חשמל עם מפסק מחלף ארבעה-קוטבי, סגירת קוטב האפס צריכה להקדים את סגירת יתר קוטבי המופעים, ופתיחת קוטב האפס צריכה להתבצע לאחר פתיחת יתר קוטבי המופעים.