

Power over Ethernet (PoE) וכבלי תקשורת נתונים

מאת ד"ר חנן ינון

על שולחן העבודה שלי מצויים, בנוסף למחשב גם מקלדת, מסך, מדפסת, סורק, עכבר, רמקולים ועוד מספר אביזרים שונים ומשונים. בעבר כל אביזר התחבר לשני כבלים: כבל לאספקת זרם וכבל תקשורת, אך היום כולם מתחברים לרכזת USB הנמצאת מאחורי השולחן וכך מספר הכבלים על שולחני כבר לא גורם לעוורת התקפת לב. הסיבה היא, כמובן, שתקן ה-USB מאפשר הספקת זרם ותקשורת על אותו כבל לכל אביזר. מהנדסי תקן התקשורת אתרנט (ועדת IEEE 802.3) הבינו את היתרון הגלום בהעברת הספק ותקשורת על אותו כבל, ופרסמו בשנת 2003 תקן המגדיר העברת הספק לאביזרים המחוברים לרשת האתרנט. מאמר זה מתאר את עקרונות הטכנולוגיה ומציג שיקולים בבחירת הכבלים המתאימים והשימוש בהם.

מהו Power over Ethernet?

השם הנפוץ לטכנולוגיה זו הוא "הספק על גבי אתרנט" – Power over Ethernet – PoE. התקן שפורסם ב-2003 – IEEE 802.3af – הגדיר שיטה להעברת הספק (זינה) מצידוד הפעלה (התקן מקור הזינה – PSE – Power Sourcing Equipment) ליחידת קצה (הנקראת התקן מוזן – PD – Powered Device). ה-PSE יכול להיות ממוקם בקצה ערוץ התקשורת יחד עם מקור המידע, או באמצע הערוץ. זינת ה-PD נעשית על גבי שניים מתוך ארבעת הזוגות בכל כבל תקשורת נתונים תקני – החל מכבלי Cat 5e ועד כבלי Cat 7A, וזאת במקביל להעברת המידע על אותם זוגות (יחד עם זוגות שאינם משמשים לזינת הספק).

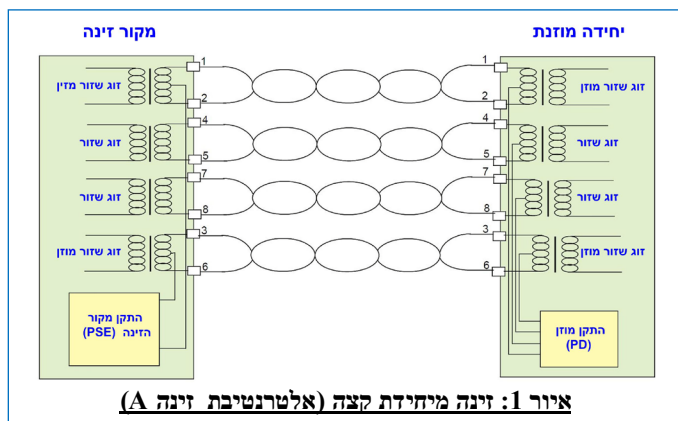
איור 1 מתאר זינה מיחידת קצה, ואיור 2 מתאר זינה מאמצע הערוץ. תקן IEEE 802.3af הגדיר הספק זינה של עד 15.4 וואט (זרם של עד 350 מיליאמפר), אולם בשל מפל המתח הצפוי על הכבלים לאורך של עד 100 מטר, ההספק הזמין ל-PD יכול לרדת עד 12.95 וואט.

ההספק שהוגדר ב-2003 היה נמוך מדי ולא איפשר שימוש נרחב ב-PoE. לפיכך בשנת 2009 עודכן התקן (תחת הקוד IEEE 802.3at) כך שניתן פת לספק עד 34.2 וואט מה-PSE (600 מיליאמפר). עקב הפסדים בערוץ הנחשת ההספק הזמין לתקן המוזן (PD) יורד עד 25.5 וואט. ערך זה מאפשר העברת הספק למצלמת טלוויזיה במערכת בקרה מרחוק ומגוון רחב של פירטי ציוד נוספים. על מנת להבחין בין הגדרות התקן מ-2003 וזה מ-2009 אנו מסמנים אותם כ-PoE ו-PoE+ בהתאמה. טבלה 1 מסכמת את הפרמטרים החשמליים השונים של שתי גרסאות ה-PoE.

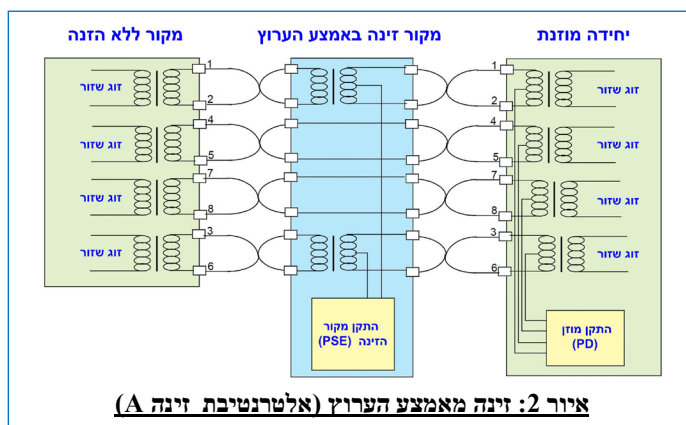
זינת ההספק נעשית על גבי תשתית תקשורת האתרנט המוכרת – כבלי קטגוריה החל מ-Cat 5e, מחברי RJ-45 וקיסטונים. התקנים מגדירים שתי שיטות חיבור המתח:

- אלטרנטיבה A – שני הזוגות הקיצוניים מוזנים
- אלטרנטיבה B – שני הזוגות הפנימיים מוזנים.

ההתקן המוזן יודע לזהות את אלטרנטיבת הזינה באופן אוטומטי. איורים 1 ו-2 מתארים את אלטרנטיבה A. ב-PoE המבוסס על התקן מ-2003 ניתן להזין רק שני זוגות בו זמנית (הן על פי אלטרנטיבה A והן על פי אלטרנטיבה B). אולם ב-PoE+ על פי התקן מ-2009 ניתן להזין את כל 4 הזוגות, אם כי לא בו-זמנית.



איור 2: זינה מאמצע הערוץ (אלטרנטיבת זינה A)



ע"פ - PoE+ 802.3at	ע"פ - PoE 802.3af	תכונה
34.20 W	15.40 W	הספק מוזן על ידי ה-PSE
25.50 W	12.95 W	הספק זמין ב-PD
50.0 - 57.0 V	44.0 - 57.0 V	תחום מתחים ב-PSE
42.5 - 57.0 V	37.0 - 57.0 V	תחום מתחים ב-PD
600 mA	350 mA	זרם מכסימלי על פני 2 זוגות בכבל
החל מ-Cat 5e עד Cat 7A	החל מ-Cat 3 עד Cat 7	סוגי כבלים מותרים (ללא תלות בקוטר המוליכים)
כמו ב-PoE, אך ניתן להזין את כל ארבעת הזוגות	שני זוגות מוזנים	שיטות זינת ההספק

טבלה 1: פרמטרים ע"פ PoE ו-PoE+



מגע	אלטרנטיבה A	אלטרנטיבה B
1	V_{PSE} שלילי (*)	
2	V_{PSE} שלילי (*)	
3	V_{PSE} חיובי (*)	
4		V_{PSE} חיובי
5		V_{PSE} חיובי
6	V_{PSE} חיובי (*)	
7		V_{PSE} שלילי
8		V_{PSE} שלילי

(*) ניתן להפוך את הפולאריות באלטרנטיבה זו

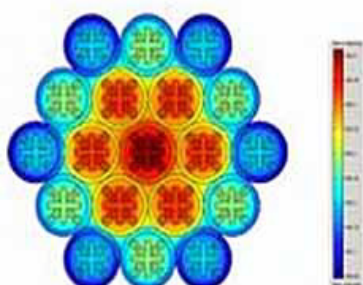
איור 3: חיבור מגעים בקיסטון

התקנים מגדירים את המגעים בקיסטון שיש לחבר בכל אחת מן האלטרנטיבות – ראה איור 3.

התחממות הכבלים

כאמור ניתן להעביר את הזרם המוגדר על כל כבל נתונים שקוטר המוליכים בו הוא 0.5 מ"מ ומעלה (24AWG), כלומר החל מכבלי Cat 5e ועד, כמובן, כבלי Cat 7A. אולם יש לקחת בחשבון יצירת חום במוליכים בעת זרימת הזרם החשמלי. כידוע החום הנוצר במוליך תלוי בריבוע הזרם החשמל ובהתנגדות המוליך. התנגדות המוליך תלויה כמובן בקוטר. אם כך נראה כי טמפרטורת הכבל תהיה גבוהה יותר ככל שקוטר המוליכים שבו קטן יותר. אולם הטמפרטורה אינה תלויה רק ביצירת חום במוליך, אלא גם בפיזור החום על ידי הכבל. פיזור זה תלוי בסביבה בה הכבל נמצא. כבל בודד הנמצא באוויר החופשי מפזר היטב את החום הנוצר בו ולכן הטמפרטורה בו תעלה מעט מאד אפילו אם קוטר המוליכים הוא 0.5 מ"מ. אולם אגד של מספר רב של כבלים (למשל צמה) הנמצא באזור סגור כמו תעלה עלול להתחמם אפילו אם קוטר המוליכים הוא 0.63 מ"מ (22AWG).

התחממות מוליכים כתוצאה מזרימת הזרם החשמלי עלולה ליצור בעיה, מכיוון שהתחממות זו גורמת לעליית ההתנגדות וכתוצאה מכך עליית הניחות בערוץ. מודל העברת הנתונים על גבי כבלי תקשורת נתונים רגיש מאד לניחות בכבלים. עלייה משמעותית בניחות עלולה להביא לעלייה בקצב השגיאות בערוץ ואפילו להפסקת התקשורת. תקן ה-ISO/IEC-11801 מחייב הקטנת אורך ערוץ התקשורת כאשר טמפרטורת המוליכים עולה מעל 20 מעלות צלזיוס. כלומר אורך הכבל האופקי (הוריונטלי) בטמפרטורה גבוהה מ-20 מעלות צלזיוס יהיה קטן מ-90 מטר.



איור 4: פילוג טמפרטורות באגד של 19 כבלים

מסמך של ארגוני ISO ו-IEC – ISO/IEC TR29125 - מתייחס לנושא התחממות הכבלים. הוכן מודל המחשב את התחממות כבלים מסוגים שונים המאורגנים באגדי כבלים (צמות). איור 4 מתאר, לדוגמא, את ממצאי המודל באגד של 19 כבלים הנמצאים באזור פתוח. הצבע האדום מייצג טמפרטורות גבוהות והצבע הכחול מייצג טמפרטורות נמוכות.

ממצאי המודל מתוארים בטבלה 2. הטבלה מראה את עליית הטמפרטורה כפונקציה של סוג הכבל ומספר הכבלים באגד הנמצא באוויר חופשי וכאשר מוזרם בכל זוג זרם מכסימאלי של 600 מיליאמפר (ע"פ PoE+). לטבלה זו הוספתי טור המראה את האורך המכסימאלי של כבל בו ניתן להשתמש ועדיין לקבל ערוץ תקשורת מתפקד היטב. הערכים בטבלה חושבו בהנחה שהכבלים מסוככים, וקוטר המוליכים בכל הכבלים הוא הקוטר המינימאלי הנדרש לעמוד בדרישות התקן. אורך הערוץ חושב על פי ההגדרות בתקן ISO/IEC 11801.

סוג הכבל										מספר הכבלים באגד
Cat 7A		Cat 7		Cat 6A		Cat 6		Cat 5e		
אורך m, ערוץ	עליית טמפ' °C	אורך m, ערוץ	עליית טמפ' °C	אורך m, ערוץ	עליית טמפ' °C	אורך m, ערוץ	עליית טמפ' °C	אורך m, ערוץ	עליית טמפ' °C	
90	0.6	90	0.6	90	0.6	90	0.6	90	0.8	1
90	0.9	90	1.0	90	1.0	90	1.1	90	1.4	7
89.5	1.6	89.5	1.8	89.5	1.8	89.5	2.1	89.5	2.6	19
89.5	2.9	89.5	3.2	89.5	3.2	89.5	3.7	89	4.7	37
89	4.4	89	4.8	89	4.8	89	5.5	88.5	6.9	61
89	6.2	88.5	6.7	88.5	6.7	88.5	7.7	88	9.7	91
88.5	8.3	88	9.0	88	9.0	88	10.4	87.5	13.1	127
88	10.8	88	11.7	88	11.7	87.5	13.5	87	16.9	169

טבלה 2: עליית הטמפרטורה באגד כבלים על פי מספר הכבלים. בכל זוג זרם של 600 mA

מטבלה 2 ברור כי אם אכן הכבלים נמצאים באוויר חופשי, השפעת הזרמים הצפויים על פי PoE+ גורמת לקיצור מועט של אורך הערוץ. לכן ברוב המכריע של ההתקנות (אפילו בחוות שרתים - Data Center) לא צפויה כל בעיה בשימוש בכבלי קטגוריה תקינים. אולם לעתים כדאי לשקול התקנת כבלים בעלי קוטר מוליכים גדול מהרגיל כגון 0.63 מ"מ (22AWG). למשל כאשר צמת כבלי תקשורת גדולה נמצאת בקרבה יתרה למקורות חום כגון כבלי חשמל, תאורה, מתחת לגג שאינו מבודד היטב, או בתוך מובל (צינור) צר. בנוסף, ישנם בשוק כבר היום מוצרים הדורשים הספקי זינה גבוהים מהמוגדר ב-PoE+. ארגון HDBaseT עוסק באספקה של עד 95 וואט כדי לאפשר ביטול מוחלט של כבלי חשמל למכשירי טלוויזיה וציוד מדיה אחר. המידע הדיגיטלי וזינת החשמל מתבצעת על גבי כבלי קטגוריה בלבד, אפילו כבלי UTP הנהוגים בארה"ב ובמדינות רבות אחרות. במקרים קיצוניים של צמות כבלים הנושאות 95 וואט יתכן ויהיה צורך לקצר את אורכי הכבלים או להשתמש בקטרי מוליכים גבוהים. נושא נוסף אליו יש לשים לב כאשר תשתית הכבלים נושאת הספק, והוא חיבור וניתוק המחברים. מחברי RJ-45 והקיסטונים המתאימים לא תוכננו לשאת זרמים ומתחים גבוהים. ניתוק וחיבור המחברים תחת מתח יביא אפוא מהר מאד להרס המגעים. תקן ISO/IEC 29125 מגדיר בפרוש שחיבור וניתוק המחברים צריך להיעשות רק לאחר ניתוק מקור הזינה.

סיכום PoE-ו

נושא סיכום כבלי תקשורת נתונים זכה לאחרונה לתשומת לב רבה בעקבות אי הבנה של משמעות הסיכום והגדרת ביצועיו. מטרתו היחידה של הסיכום היא למנוע חדירת רעשים מחוץ לכבל אל הזוגות נושאי המידע, וזליגת אותות מהכבל החוצה. לפי חוק החשמל בישראל (ומקומות אחרים) חובה להאריק את הסיכום לפחות בצד אחד של הערוץ כדי להגן בפני מצבים קיצוניים של השראת מתחים גבוהים העלולים לסכן בני אדם. ההשראה יכולה לנבוע אך ורק ממקורות חיצוניים לכבל התקשורת ולא מהכבל עצמו. גם אם הכבל נושא הספק של 95 וואט תחת מתח DC של עד 120 וולט, עדיין לא תיתכן השראת מתחים מסוכנים על סיכום הכבל. לכן לפי חוק החשמל אין צורך בהגדרות מיוחדות של התנגדות הסיכום. חיזוק לכך ניתן למצוא בעובדה שניתן בהחלט להעביר 95 וואט תחת מתח DC של עד 120 וולט גם בכבלים ללא סיכום כלל (UTP) ולכן ללא כל הארקה. הפרמטר היחיד המגדיר את איכות הסיכום, אינו, אם כך, תכונות ההארקה שלו (כגון התנגדות אורכית) אלא איכות הסיכום שהוא מספק. איכות הסיכום מוגדרת היטב בתקן IEC 61156-5 המתייחס לכבלי תקשורת נתונים בהם אנו עוסקים. על פי התקן הנ"ל על הסיכום לאפשר לכבל לעמוד בדרישות Transfer Impedance ו-Coupling Attenuation. בניגוד למידע מטעה שפורסם לאחרונה לגבי שינויים צפויים בתקן IEC 61156-5, לא יהיו שינויים בהגדרת הסיכום, ולא תהיה כל דרישה לגבי התנגדות אורכית של הסיכום או אחוז הכיסוי שלו.

סיכום

כבלי תקשורת הנתונים המוכרים לכולנו חודרים כעת לכל פינה בבית, במשרד ובחווות השרתים. הם נושאים איתם היום מידע יחד עם זינת הספק לפרטי ציוד מכל הסוגים, החל מטלפון ועד מכשירי טלוויזיה. הרבת הייעוד של הכבלים הללו לא תחייב שינוי במבנה שלהם או בתכונותיהם. הכבלים הקיימים יאפשרו את כל מגוון הזרמים והמתחים שידרשו בעתיד. במידה ותהיה דרישה להזין ציוד זולל הספק, הציוד יתוכנן מחדש כדי לתפקד תחת ההספק שכבלי התקשורת יוכלו לשאת, ולא ההפך.