



איכות החשמל

ערך וכתב: סגל אריאל

איכות החשמל

- המטרה של יצרן החשמל היא לספק ללקוחותיו אנרגיה חשמלית שתהיה במתח נקוב, ובתדר נקוב תוך שמירה על ערכים אלה קבועים.
- במציאות אספקת החשמל נפגמת ע"י תופעות שונות שבחלקן הן תופעות מעבר ובחלקן תופעות קבועות.

תקנים בעולם

EN50160

EN50160 – במקור תקן בריטי לתאימות אלקטרו-מגנטית שהפך לתקן כלל אירופאי והיום מקובל מאוד בכל העולם, לרבות במדינות אשר בד"כ יש להן תקנים עצמאיים כמו ארה"ב ויפן (למרות תקן מקומי ה- EN50160 בשימוש נרחב). מטרת התקן היא להגדיר את רמת איכות החשמל שחברות חשמל צריכות לספק לצרכנים שלהן ולכן הוא עוסק באיכות המתח בלבד. מכיוון שחברות החשמל היו גורם משמעותי בכתיבתו, התקן אינו מחמיר במיוחד. התקן הישראלי, ת"י 50610, הוא למעשה התקן האירופאי עם שינויים ותוספות לאומיים.

תקנים בעולם

IEEE 519

IEEE 519 – תקן אמריקאי שאינו מחייב (Recommended Standard) המציע כיצד לתכנן רשתות אמינות. למרות שהוא כולל פרמטרים נוספים, כגון תופעות מעבר, הוא ידוע בעיקר בזכות הספים שלו להרמוניות – הן הרמוניות מתח (כמו תקנים אחרים) והן הרמוניות זרם. מהדורת 1992 של התקן משמשת כלי תכנוני בכל העולם לעמידות רשתות חשמל להרמוניות. בשנת 2014 יצאה מהדורה חדשה המכילה שני שינויים עיקריים – הקלה בהרמוניות מתח (לספים דומים לתקן האירופאי) והקלה בהרמוניות זרם הגבוהות אם קיים ציוד לסינון ההרמוניות הנמוכות.

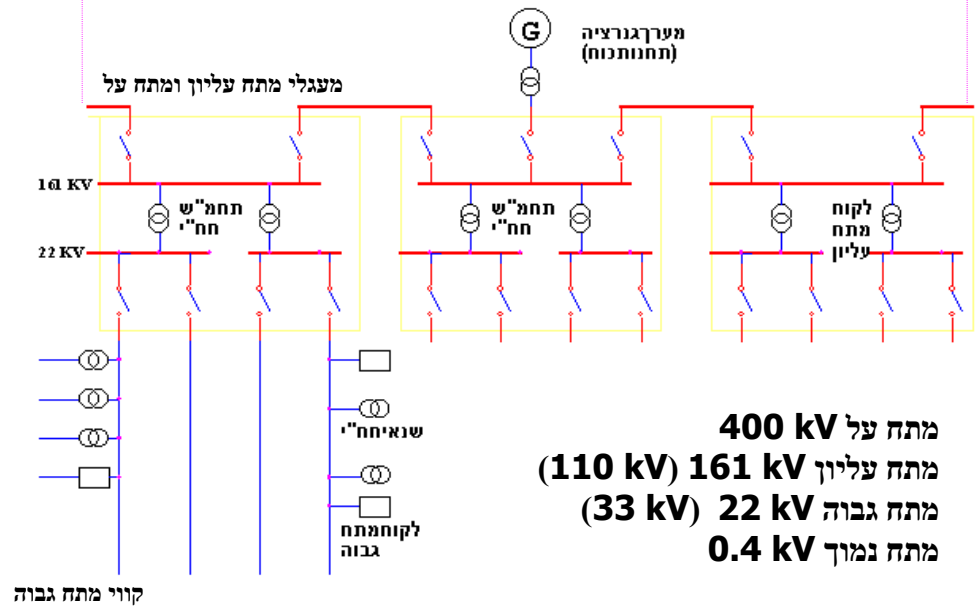
תקנים בעולם

IEC 61000-4

IEC 61000-4 – סדרה של תקנים אירופאים שמגדירים את שיטות המדידה, הדיוקים וכו'. התקנים האחרים מפנים אליהם – לדוגמה, סף הבהובי מתח ימדד ע"פ שיטת המדידה המוגדרת בתקן IEC 61000-4-15 או תקן IEC 61000-4-7 למדידת הרמוניות. תקן IEC 61000-4-30 מגדיר רמות דיוק למכשירי המדידה כאשר הגבוהה ביניהן היא Class A ולאחריה Class S, למרות שאין דרישה לדיוק בתקן המפנה.

בעולם קיימים עוד תקנים רבים אחרים כגון תקן איכות החשמל האמריקאי (IEEE 1159 (לא IEEE 519) תקן ההרמוניות הבריטי P5/4, התקנים הרוסיים GOST13109 ו-GOST54149 ועוד...

מבנה סכמתי של רשת החשמל



מאפיינים של מתח ותדר

רמת מתחים:

מתח גבוה: ערך נומינלי 22kV, 33kV, 13.8kV

בתקן אירופאי לאיכות החשמל EN50160 והאמנה בין חברת חשמל ללקוחותיה, ערכו **הממוצע** של המתח הגבוה יהיה בגבולות:

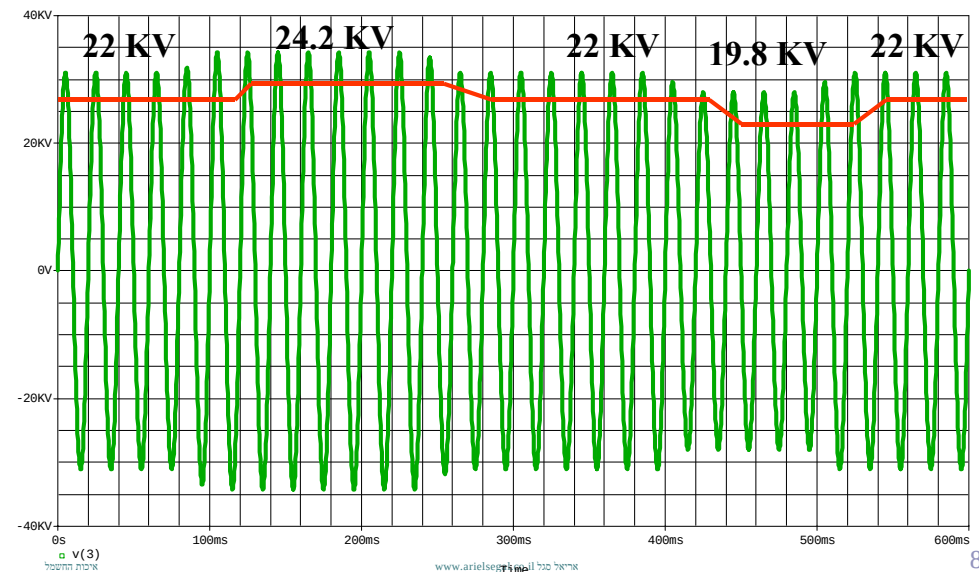
לדוגמא:

$$22 \text{ kV} \pm 10\% \quad (19.8 \text{ kV} \div 24.2 \text{ kV})$$

ב- 95% ממדידות שבועיות המתבצעות לפרק זמן של 10 דקות.

מאפיינים של מתח ותדר ברשת מתח גבוה

צורת גל — ערך אפקטיבי (יעיל)



מאפיינים של מתח ותדר

רמת מתחים:

מתח נמוך: ערך נומינלי 400 V (מתח פאזי: 230 V)

בתקן האירופאי לאיכות החשמל EN50160 והאמנה בין חברת חשמל ללקוחותיה, ערכו **הממוצע** של המתח הנמוך יהיה בגבולות:

$$400 \pm 10\% \quad (360 \text{ V} \div 440 \text{ V})$$

$$230 \pm 10\% \quad (207 \text{ V} \div 253 \text{ V})$$

ב- 95% ממדידות שבועיות המתבצעות לפרק זמן של 10 דקות.

9

איכות החשמל

www.arielsegal.co.il סגל אריאל

מאפיינים של מתח ותדר

תדר – קצב מחזור של גל היסוד

ערכו הנומינלי של התדר במדינת ישראל הוא 50Hz (גל הסינוס חוזר על עצמו 50 פעם בשנייה)

הערכים המותרים של תדר הרשת על פי תקן EN50160:

50 Hz $\pm$ 1% (49.5 $\div$ 50.5) Hz 99.5% of a year

50Hz + 4%/-6% (47 $\div$ 52) Hz 100% of the year

10

איכות החשמל

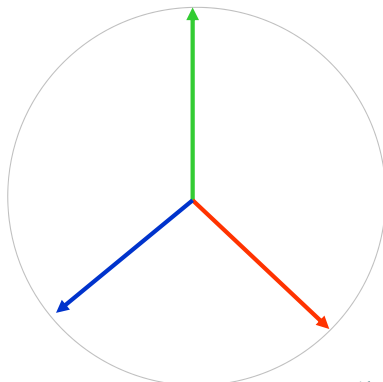
www.arielsegal.co.il סגל אריאל

מאפיינים של מתח ותדר

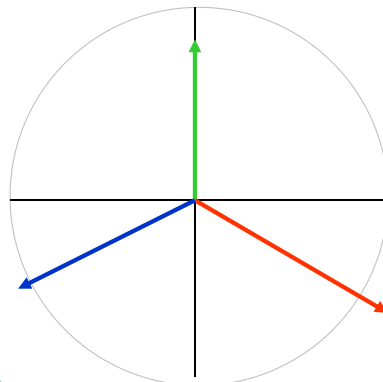
סימטריה

ערכי המתחים והזוויות בין שתי פאזות רציפות:

מצב תקין: מתחים מאוזנים



מצב חריג: מתחים לא מאוזנים



11

איכות החשמל

www.arielsegal.co.il סגל אריאל

סוגי הפרעות ברשתות חשמל

- תת מתח/מתח יתר over Voltage/under Voltage.
- סטיות מתח.
- הפסקות חשמל קצרות – short supply interruption (עד 3 דקות)
- הפסקות חשמל ממושכות – long supply interruption (3 דקות ומעלה)
- שקיעות מתח – supply voltage dip
- גל מתח יתר – transient overvoltage
- הבהוב - flicker
- הרמוניות – harmonic distortions

12

איכות החשמל

www.arielsegal.co.il סגל אריאל

תת-מתח/מתח יתר - over/under voltage

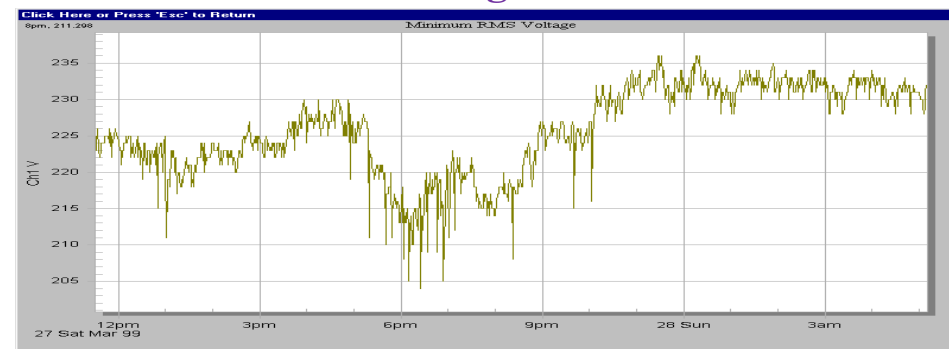
תת-מתח/מתח יתר - over/under voltage - חריגה של המתח מהמעטפת של $\pm 10\%$ לזמן ממושך יחסית

תוצאות אפשריות:

תת מתח: תפקוד לקוי של התקנים רגישים, שחרור מגענים, ירידה בנצילות, פגיעה במשך חיי התקנים, הפחתה בעצמת אור של נורות וקושי בהדלקת נורות פריקה.

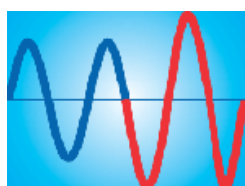
מתח יתר: נזק למכשירים וציוד, שריפת נורות, אור חלש, קיצור משך חיי התקני חשמל, החלשת בידוד.

תת-מתח - under voltage



לקוח	חח"י
גורמים	חתך רשת, מגע רופף, שינויים ביצור בין יום ולילה בשל מתקני יצור (פוטו וולטאי).
טיפול	שינוי דרגה בשנאי, הגנת ציוד רגיש, שיפור רשת פנימית, חיזוק ובדיקת חיבורים, מייצבי מתח.

מתח יתר - Over Voltage



OVER VOLTAGE

לקוח	חח"י
גורמים	תקלה במחלף דרגות, בשעות שפל בצריכה סמוך לשנאי, מקדם הספק קיבולי.
טיפול	קבלים רבים מדי, מתקנים פוטו וולטאים או מקורות יצור סמוכים הפסקת קבלים, מייצבי מתח, תכנון

סטיות מתח - Voltage deviation

- גורם מרכזי שינויים בעומס הגורמים לשינוי במפל המתח ברשת החלוקה.
- גורם אפשרי אחר: ניתוק מוליך האפס ברשת ההזנה.
- הארכת שיטה בנקודה מרוחקת מהשנאי.
- הארכת שיטה בתצורה לא נכונה.

הפסקות חשמל ממושכות

הפסקה ממושכת - long supply interruption - ירידה של המתח מתחת ל- 1 % מהמתח הנומינלי לזמן העולה על 3 דקות.

תוצאה אפשרית: הפסד זמן עבודה, נזק לסחורה, חוסר נוחות, מחיקת מידע במחשבים ובבקרים, הפסקת פעולת ציוד חשמלי לסוגיו.

גורמים להפסקות בלתי צפויות:

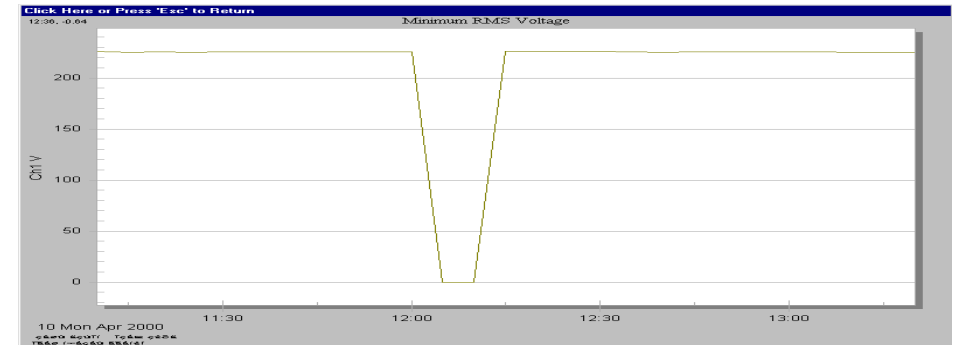
- פגיעה בציוד/תיל/כבל על ידי גורם חיצוני
- חוסר גנראציה: השלות תדר/ניהול מחסור

גורמים להפסקות ארוכות צפויות:

- הפסקות חשמל מתוכננות (התראה מראש)
- ניהול מחסור (התראה של כשעה מראש במידת האפשר)

17

הפסקות חשמל ממושכות



גורמים	לקוח	חח"י
גורמים	תקלה פנימית	בלאי, גורם חיצוני, מזג אוויר, הפסקה מתוכננת לצורך ביצוע עבודה
טיפול	גיבוי לזמן ממושך - גנרטור	אחזקה, התקנת אמצעים חדישים לאיתור מהיר, אספקה חלופית מקו אחר

18

הפסקות חשמל קצרות

הפסקת חשמל קצרה - short supply interruption - הפסקת המתח לזמן של עד 3 דקות

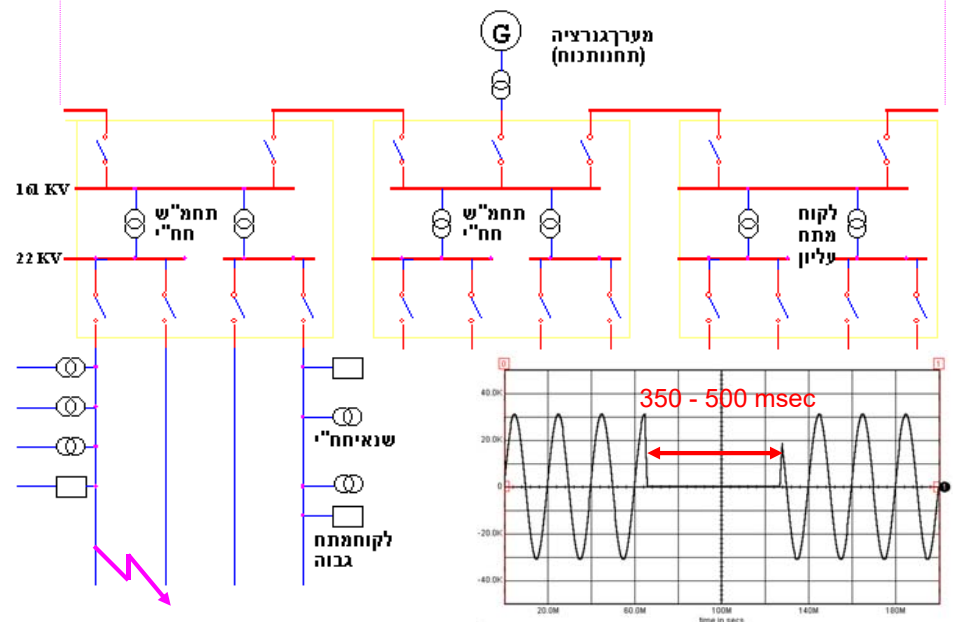
תוצאה אפשרית: הפסקת מחשבים ובקרים, פגיעה בתהליכים רציפים, הפסד חומר גלם, נזקים לציוד, הפסקת פעולת מכשירי חשמל לסוגיהם.

גורמים להפסקות קצרות (חולפות):

- זיהוי קצר בקו מתח גבוה
- פריצות במבודדים
- מזג אוויר סוער
- גופים זרים
- ציפורים

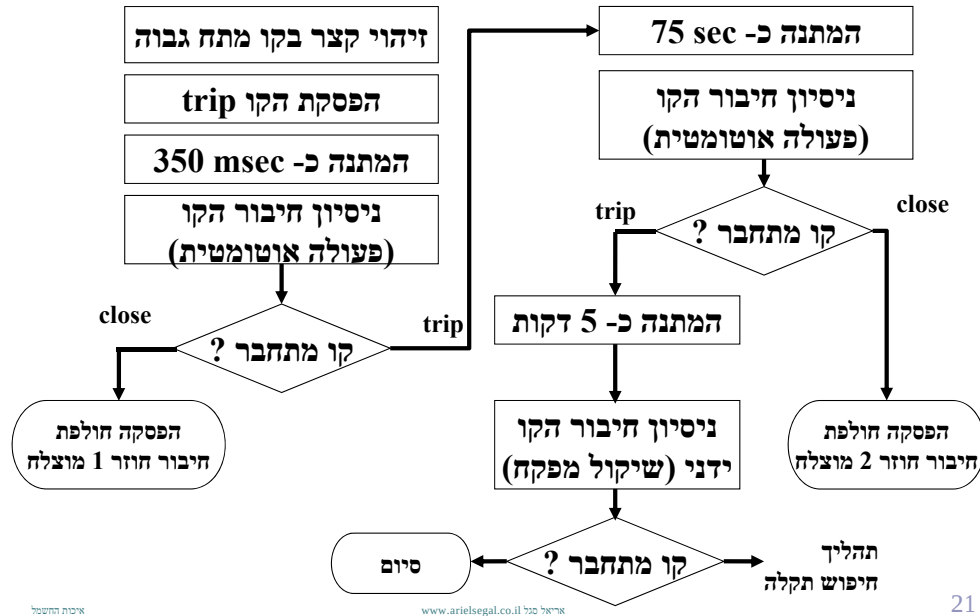
19

הפסקות חשמל קצרות



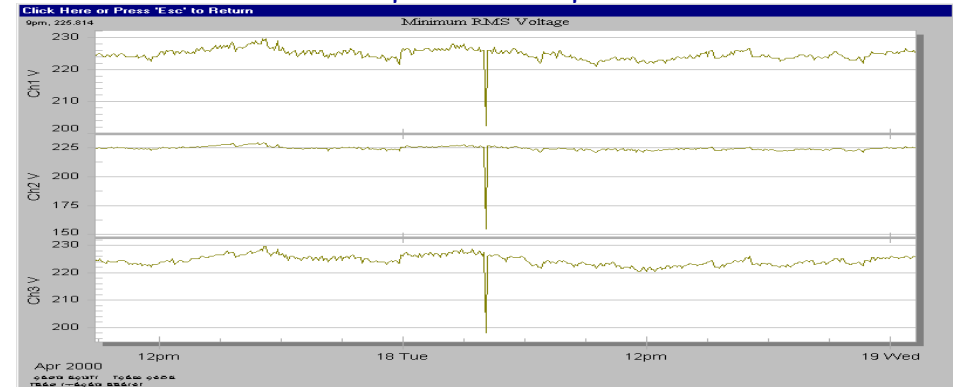
הפסקות חשמל קצרות

מנגנון חיבור חוזר אוטומטי:



21

הפסקות חשמל קצרות



גורמים	לקוח	חח"י
גורמים	קצרים ברשת פנימית, מגע רופף, רגישות יתר של הגנות	פריצות במבדדים, מזג אוויר סוער, גופים זרים, ציפורים
טיפול	השהיות למגענים, הפרדת הזנה וגיבוי למערכות בקרה, צמד מנוע גנרטור, מע' אל-פסק	אחזקה, גיזום עצים, שטיפת מבדדים, סריקות תרמוגרפיות, קיצור קווים.

22

הפסקות חשמל קצרות

התקן האירופאי מדבר על עשרות עד מאות הפסקות חולפות בשנה!!!!

3.6 Short interruptions of the supply voltage

Indicative values:

Under normal operating conditions the annual occurrence of short interruptions of the supply voltage ranges from up to a few tens to up to several hundreds. The duration of approximately 70 % of the short interruptions may be less than one second.

NOTE: In some documents short interruptions are considered as having durations not exceeding one minute. But sometimes control schemes are applied which need operating times of up to three minutes in order to avoid long voltage interruptions.

23

שקיעות מתח - Sag

שקיעות מתח - supply voltage dip - ירידה מהירה של המתח לערך בין 90 % ל- 1 % מהמתח הנומינלי למשך עשרות/מאות מילישניות

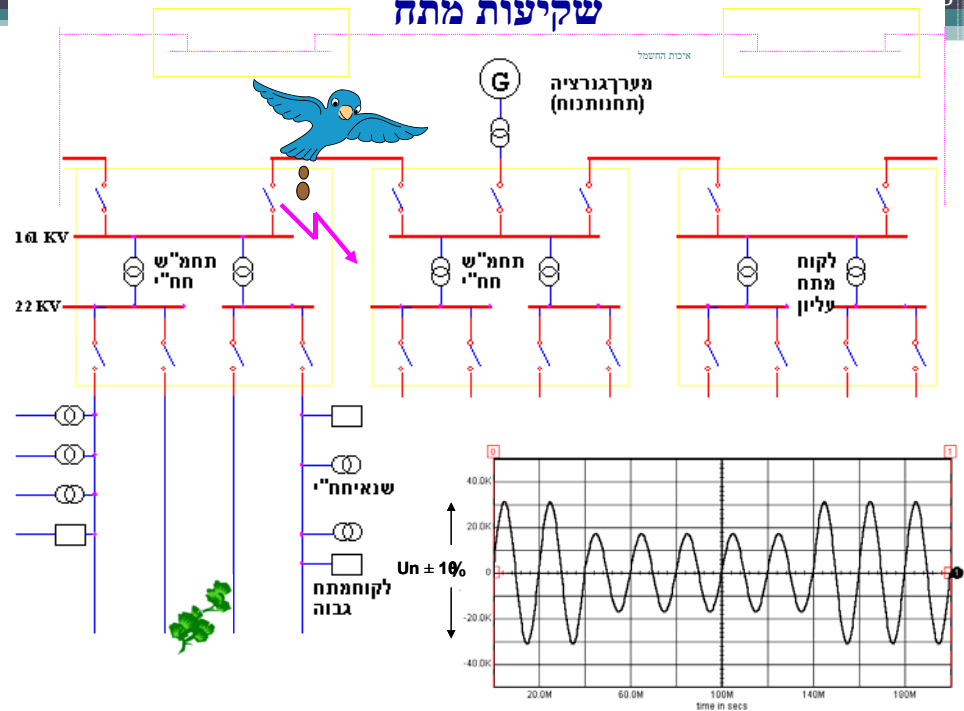
תוצאות אפשריות: הפסקת ציוד ברמת "רגישות" גבוהה, פגיעה בתהליכים רציפים "רגישים" מאוד, הבהוב בתאורה ובצגים.

סיבות לשקיעות מתח:

- קצרים במעגלי מתח עליון
- קצרים בקווי מתח גבוה המחוברים לאותו פס צבירה
- התנעת מנועים גדולים, הפעלת עומסים לסירוגין בקצב גבוה, חיבור קבלים.

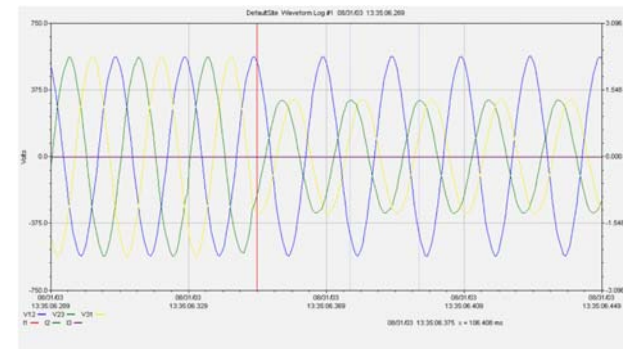
24

שקיעות מתח



25

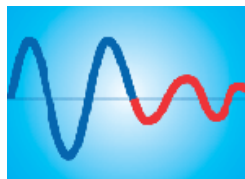
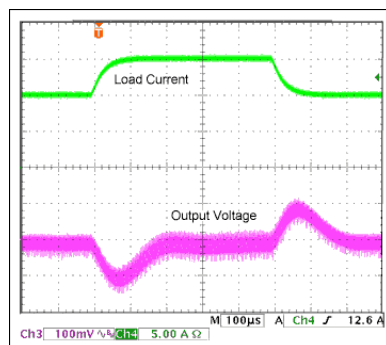
שקיעות מתח



חח"י	לקוח	
קצר ב.מ.ע, קצר במתח גבוה, התנעת מנועים גדולים	התנעות, חתך רשת	גורמים
איתור וטיפול בגורם ההפרעה להקטנת כמות השקיעות	השהיות, גיבוי לפיקוד, מנוע-גנרטור, קבלים, U.P.S, מיצבי מתח	טיפול

26

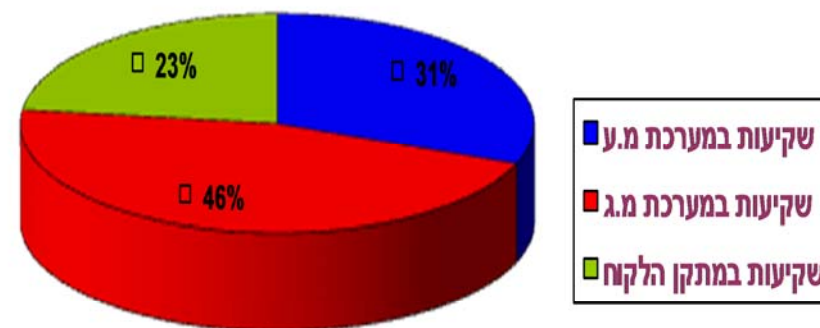
שקיעות מתח



27

שקיעות מתח

שקיעות מתח (SAGS) במערכת החשמל בישראל



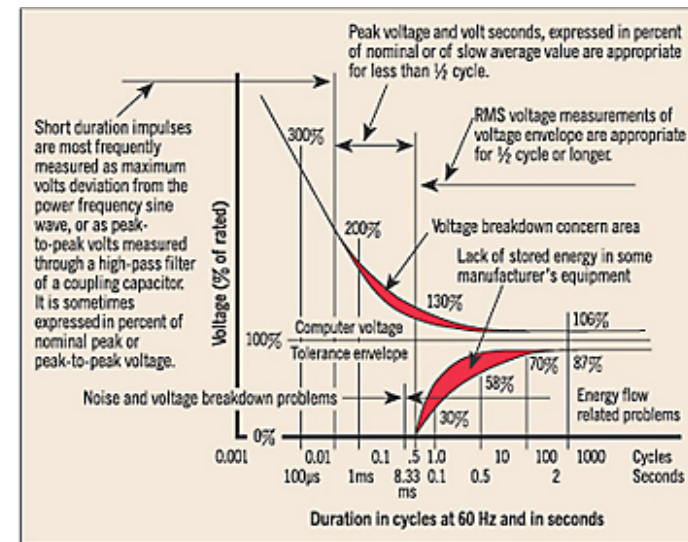
28

עקומות CBEMA

- המסמך הקרוב ביותר לתקן הוא עקומת (Computer Business Equipment Manufacturers Association). שפותחה על ידי יצרני ציוד מחשב.
- העקומה מציגה את רגישות ציוד מחשבים ובקרה בשקיעות המתח.
- העקומה מראה שהמשך תפקוד הציוד תלוי במשך שקיעת המתח.
- הציוד אמור להמשיך ולפעול במקרה של שקיעת מלאה לרמה של 0% מתח למשך חצי מחזור ו- 13% שקיעת מתח עבור 30 מחזורים (חצי שניה בתדר 60Hz).

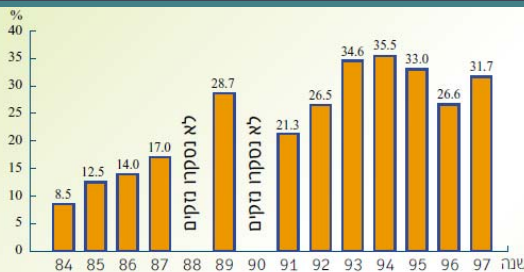
29

עקום CBEMA

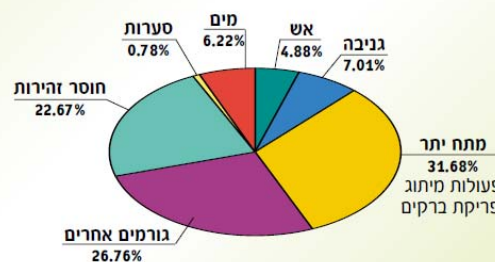


30

סיבות לנזק בציוד אלקטרוני



איור 4 א: התפתחות הנזקים עקב מתח יתר חולפים

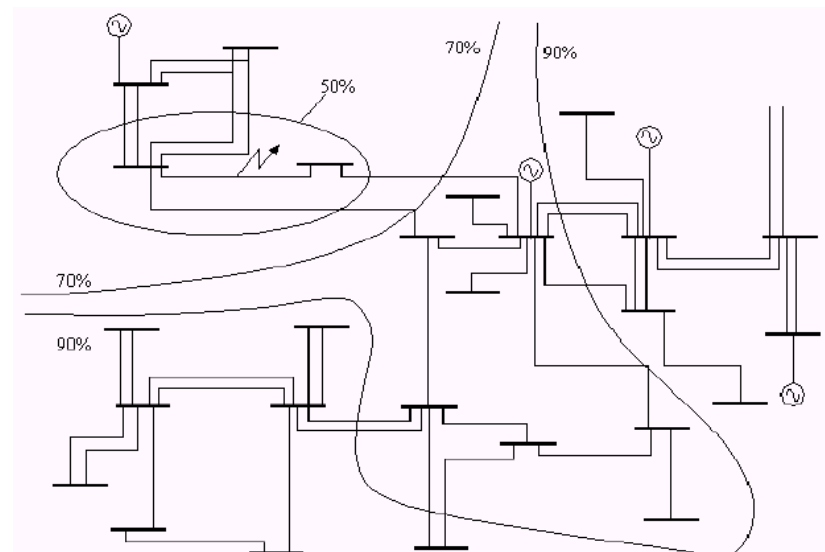


איור 4 ב: נזק לציוד אלקטרוני בשנת 1997 (מניתוח של 9600 מקרי נזק)

31

שקיעות מתח

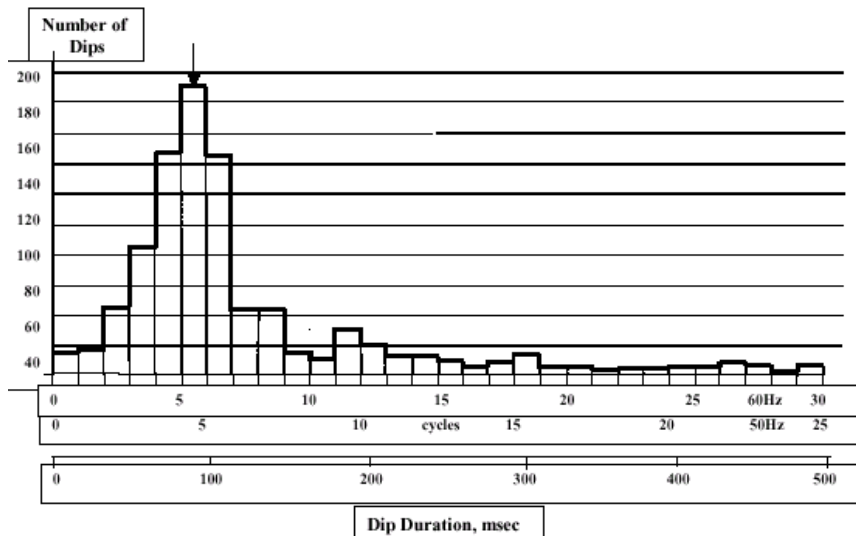
השתנות עומק שקיעת מתח כתלות במרחק מנקודת הקצר



32

שקיעות מתח

התפלגות שקיעות מתח לפי משך זמן השקיעה בארה"ב (נדגמו 1076 שקיעות)



33

שקיעות מתח

התקן האירופאי EN50160 מדבר על עשרות עד 1000 שקיעות מתח בשנה!!!

Page 20
EN 50160: 1994

3.5 Supply voltage dips

Voltage dips are generally caused by faults occurring in the customers' installations or in the public distribution system. The annual frequency varies greatly depending on the type of supply system and on the point of observation. Moreover, the distribution over the year can be very irregular.

Indicative values:

Under normal operating conditions the expected number of voltage dips in a year can be from up to a few tens to up to one thousand. The majority of voltage dips have a duration less than one 1 s and a depth less than 60 %. However, voltage dips with greater depth and duration can occur infrequently. In some areas voltage dips with depths between 10 % to 15 % of U_c can occur very frequently as a result of the switching of loads in customers' installations.

34

נחשולי מתח - Swell

גל מתח יתר - **transient overvoltage** - עליה חדה ומהירה של המתח לפרק זמן קצר ביותר - בד"כ מספר מילישניות

תוצאה אפשרית: נזק לצידוד, שריפת נתיכים, פריצת בידוד, שריפת מעגלי כניסה

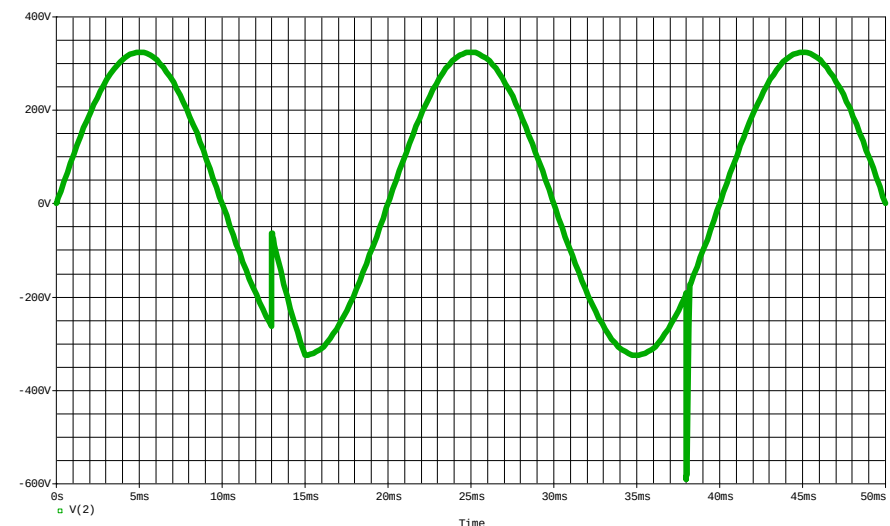
גורמים לנחשולי מתח:

- פגיעת ברק ישירה או השראתית
- פעולות מיתוג ברשת החשמל (מיתוגי קבלים, פעולות חיבור/ניתוק)
- קצרים לאדמה.
- פעולות מיתוג קבלים לשיפור מקדם ההספק.
- הפעלת עומסים השראותיים (מנועים, משאבות)

35

נחשולי מתח

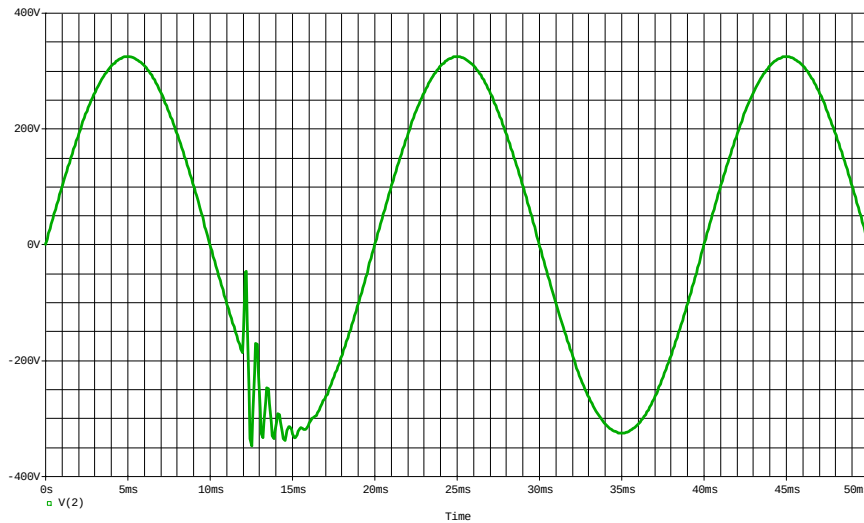
פעולות מיתוג ברשת:



36

נחשולי מתח

פעולות מיתוג קבלים :

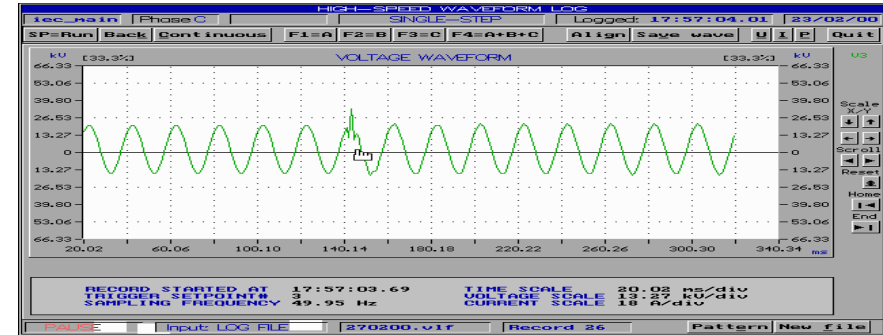


איכות החשמל

www.arielsegal.co.il

37

נחשולי מתח



חח"י	לקוח	גורמים
ברקים, מיתוגים, מיתוג קבלים ועומסים אינדוקטיביים	ברקים, מיתוגים	גורמים
אפיון ומדידה, המלצות ללקוחות, פרסום, בחינת הגנות	התקנת הגנות (מפרצים, דיוודת שיכוך, שנאי רווי וכו')	טיפול

איכות החשמל

www.arielsegal.co.il

38

הגבלת מתחי יתר (נחשולי מתח) במבנים

הגנה על מבנים מפני פגיעות ברק:

ת"י 1173 דן בצורך במערכות הגנה על מבנים בפני פגיעות ברק, בתכנון, בביצוע ובבדיקתן.

תקן זה כולל הנחיות להתקנה של מערכת הקליטה, ההורדה וההארקה על מנת להפחית את הנזקים מפגיעות ברקים.

הגנה על מתקני החשמל

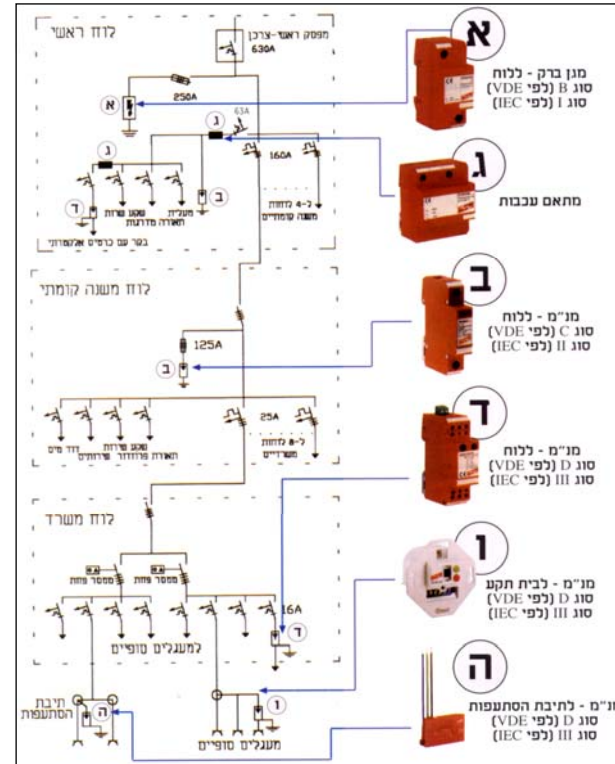
בארץ פועלים על פי תקן ישראל 61643 חלק 11 – התקני הגנה מפני נחשולי מתח וזרם המחוברים למערכות אספקת חשמל במתח נמוך, דרישות ביצועים ושיטות בדיקה. תקן זה זהה לתקן IEC/EN 61643-11.

איכות החשמל

www.arielsegal.co.il

39

הגבלת מתחי יתר (נחשולי מתח) במבנים



40

הבהוב - flicker

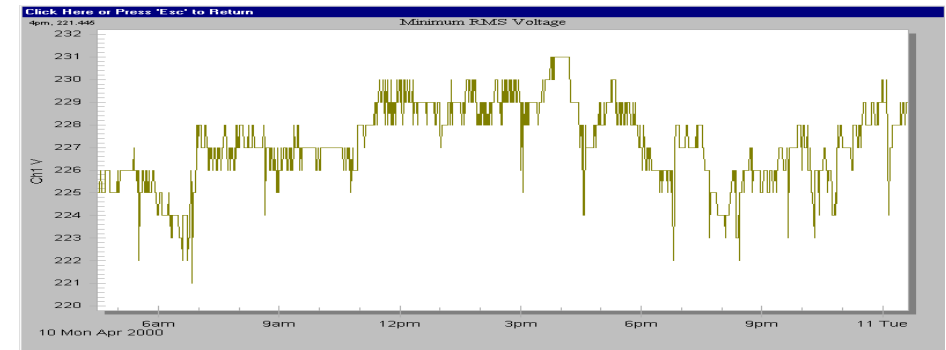
הבהוב - flicker - תחושה של חוסר יציבות ונוחות בתחושה הויזואלית של העין האנושית כתוצאה מתנודות בתאורה. מעל סף מסויים הופך ההבהוב למטרד הגובר בהתאם לתדירות ההבהוב.

תוצאות אפשריות:

- הבהוב בתאורה, כאבי ראש, עייפות ועלולה לגרום להתקף אפילפסיה לסובלים ממחלת הנפילה.
- תפקוד לקוי של התקנים רגישים, שחרור מגענים.
- ירידה בנצילות ובמשך חיי התקנים.

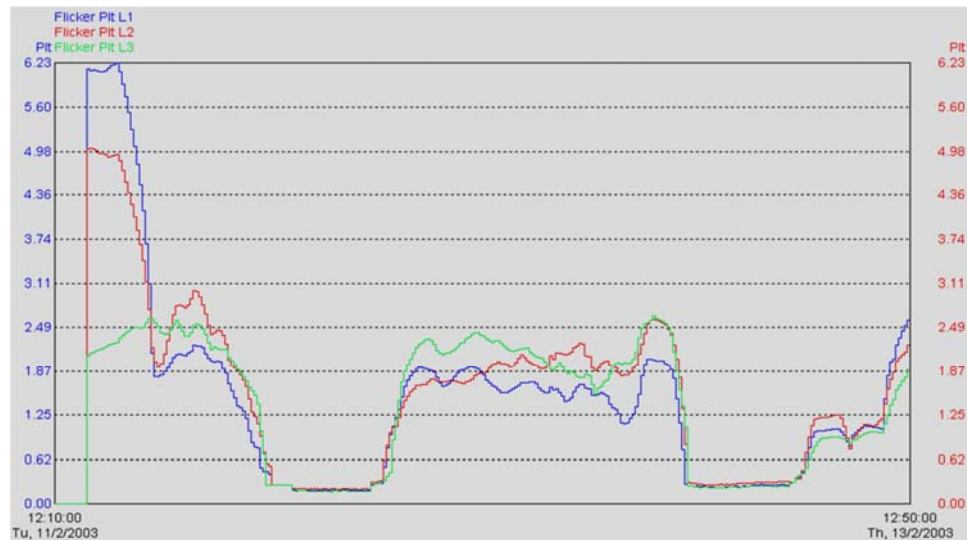
מכיוון שכיום יש מעט נורות ליבון, רוב העומסים אינם רגישים להבהובים כך שהבעיה קטנה משמעותית מאשר בעבר.

הבהוב - flicker



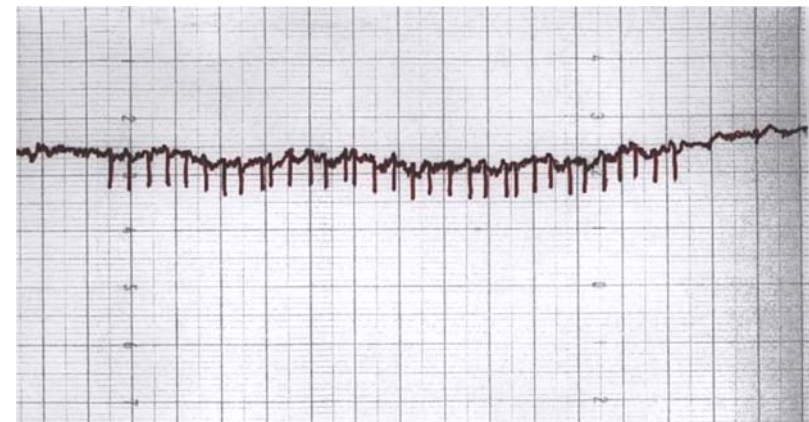
גורמים	לקוח	חח"י
חיבור לקוי, התנעות (מנועים, רתכות), חתך רשת ואורכה	איכות חיבורים, אורך וחתך רשת	
שיפור חיבורים והתאמת הרשת, שיכוך התנעות	מדידה ואבחון, שיפור חיבורים, שיפורים ברשתות, אכיפת כללים	

הבהוב - flicker



הבהוב - flicker

הבהובים כתוצאה מהפעלת מזגן:



הרמוניות

מתח סינוסואידלי בעל תדר שווה למכפלת תדר הבסיס במכפלות של מספרים שלמים.

הרמוניות
harmonics

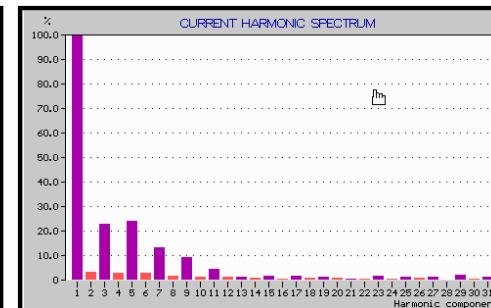
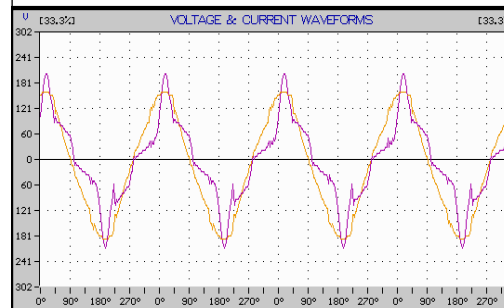
צרכנים לא לינאריים במתקני הצרכנים.

סיבה להווצרות

שריפת קבלים, הפרעות לפעולת ציוד אלקטרוני ותקשורת, שריפת שנאים, מנועים, שדות מגנטיים מוגברים, פעולת מפסקי זרם אלקטרוניים, זרם מוגבר במוליך האפס.

תוצאה אפשרית
ונזקים

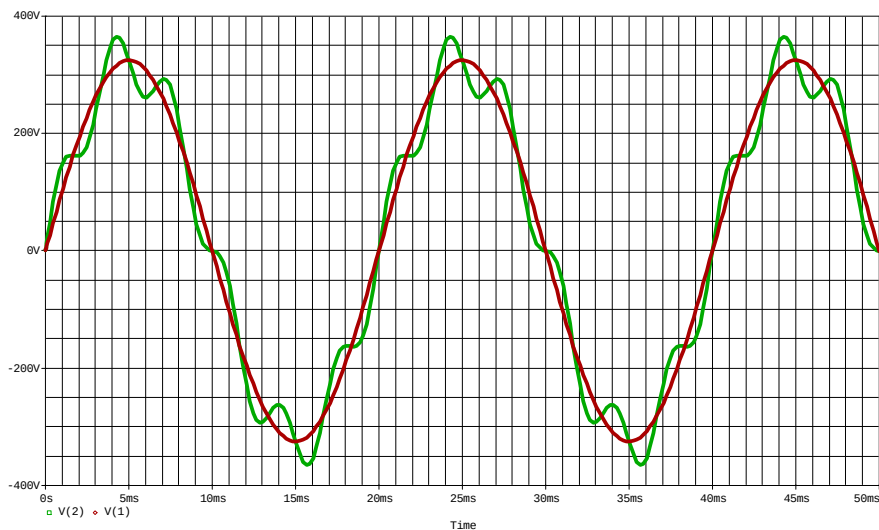
הרמוניות



גורמים	לקוח	חח"י
גורמים	עומסים לא לינאריים (ממירים, וסתי מהירות, וכו)	מקור העיוות הינו במתקני הלקוחות
טיפול	התקנת מסננים, התקנת ציוד ע"פ הוראות היצרן,	מדידה ואבחון, זיהוי וטיפול בלקוחות "מזהמים"

הרמוניות

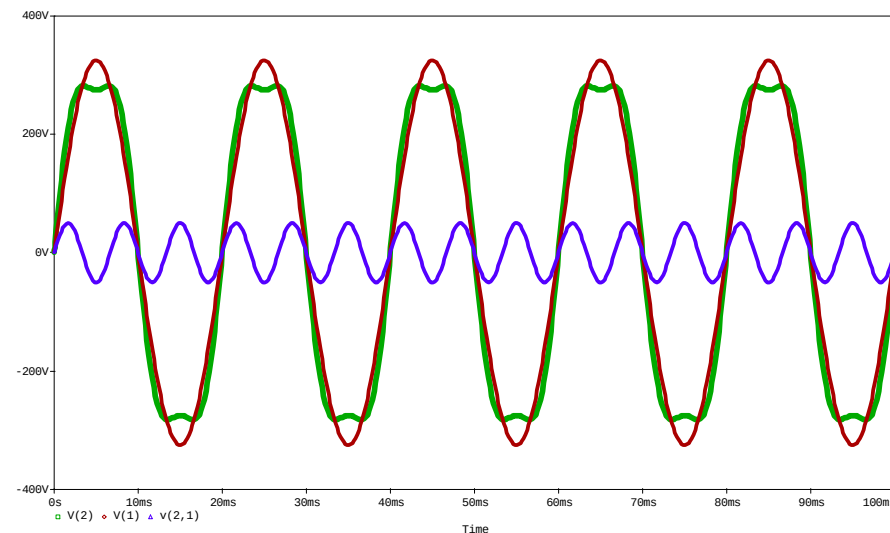
הרמוניות הנגרמות ע"י מיישר תלת פאזי



עיוותים הרמוניים

גל בתדר 50 Hz
גל בתדר 150 Hz
גל בפועל

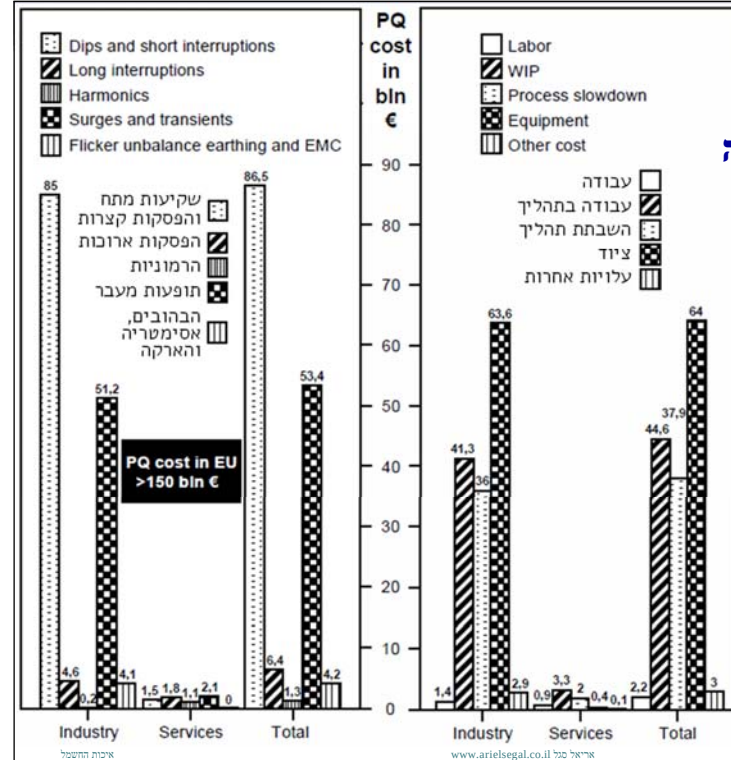
השפעת ההרמוניה השלישית (150 Hz) על צורת הגל:



הנזקים המצטברים מאיכות חשמל לקויה

"מה אכפת לי מאיכות חשמל?", "מה החזר ההשקעה?", "המנהל שלי מבין רק כסף". אלו מקצת מהתגובות כאשר עולה לדיון נושא איכות החשמל. אז נתחיל ממה איכות חשמל לא עושה - ברוב המקרים שיפור איכות חשמל לא יקטין את צריכת החשמל באופן משמעותי. מצד שני, איכות חשמל משפיעה באופן ישיר על הוצאות המתקן.

על פי אירגון Leonardo Energy הנזקים המצטברים מאיכות חשמל לקויה באיחוד האירופאי הם מעל 150 מיליארד אירו בשנה ובתעשייה רגישה מגיעים הנזקים ל-4% מהמחזור העסקי של החברה. ההוצאות הן בעיקר נזק לציוד, אובדן שעות עבודה ועלויות השבתת מתקן. הדו"ח המלא כולל מידע נוסף, כגון העובדה שציוד אלקטרוני אחראי למירב הנזקים ולאחריו בתעשייה זה ווסתי מהירות ומנועים בעוד שבשירותים זה מתחלק בין קבלים, קבלים, ציוד תאורה וממסרים.



הנזקים המצטברים מאיכות חשמל לקויה באיחוד האירופאי

פתרונות לבעיית הרמוניות

תלויים בבחירת ROI האפקטיביות ו- הפתרון המתאים

