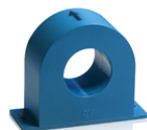


# שיפור בטיחות, דיוק ונוחות שימוש במידה ובקרה של הספק ואנרגיה חשמלית

**Prof. Mendel Krichevsky - SATEC Chief Scientist**

[mendelk@satec-global.com](mailto:mendelk@satec-global.com)





# השיטה הקיימת

- מדידת זרם, הספק ואנרגיה חשמלית קונבנציונאלית מבוצעת באמצעות שנאי זרם (CT) של 1 או 5 אמפר (בזרמים מעל 100 אמפר).
- הזרם מועבר למכשיר המדידה או הבקרה, ושם מותמר ע"י שנאי זרם נוסף לרמות של מילי-אמפרים על מנת להתאימו לרמות המתחים והזרמים המתאימים למערכות אלקטרוניות.
- במצב זה יש בכל מערכת שני שנאי זרם – חיצוני (CText) ופנימי (CTint).

## חסרונות השיטה הקיימת

- **דיוק** נמוך (המרה כפולה מגדילה את השגיא)
- **בטיחות** נמוכה (סכנת התחשמלות וחובת שימוש במהדקי קצר מכאניים)
- **נוחות** נמוכה (התקנה דורשת ניתוק צרכנים ומוליכים, נדרש גודל פיזי גדול, במיוחד כאשר המרחק גדול)
- חוסר לינאריות לאורך התחום
- אפשרות לתהודה (רזוננס) בין שני השנאים מגבילה את התגובה שלהם

# למה חשוב להגדיל דיוק מדידה?

$$\Delta = X_{\text{Measured}} - X_{\text{Real}}$$

Absolute error

שגיאות מדידה בעבר

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_{\text{max}}} \cdot 100, \%$$

Full scale error

שגיאות מדידה בהווה

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{Measured}}} \cdot 100, \%$$

Reading error

# אמא

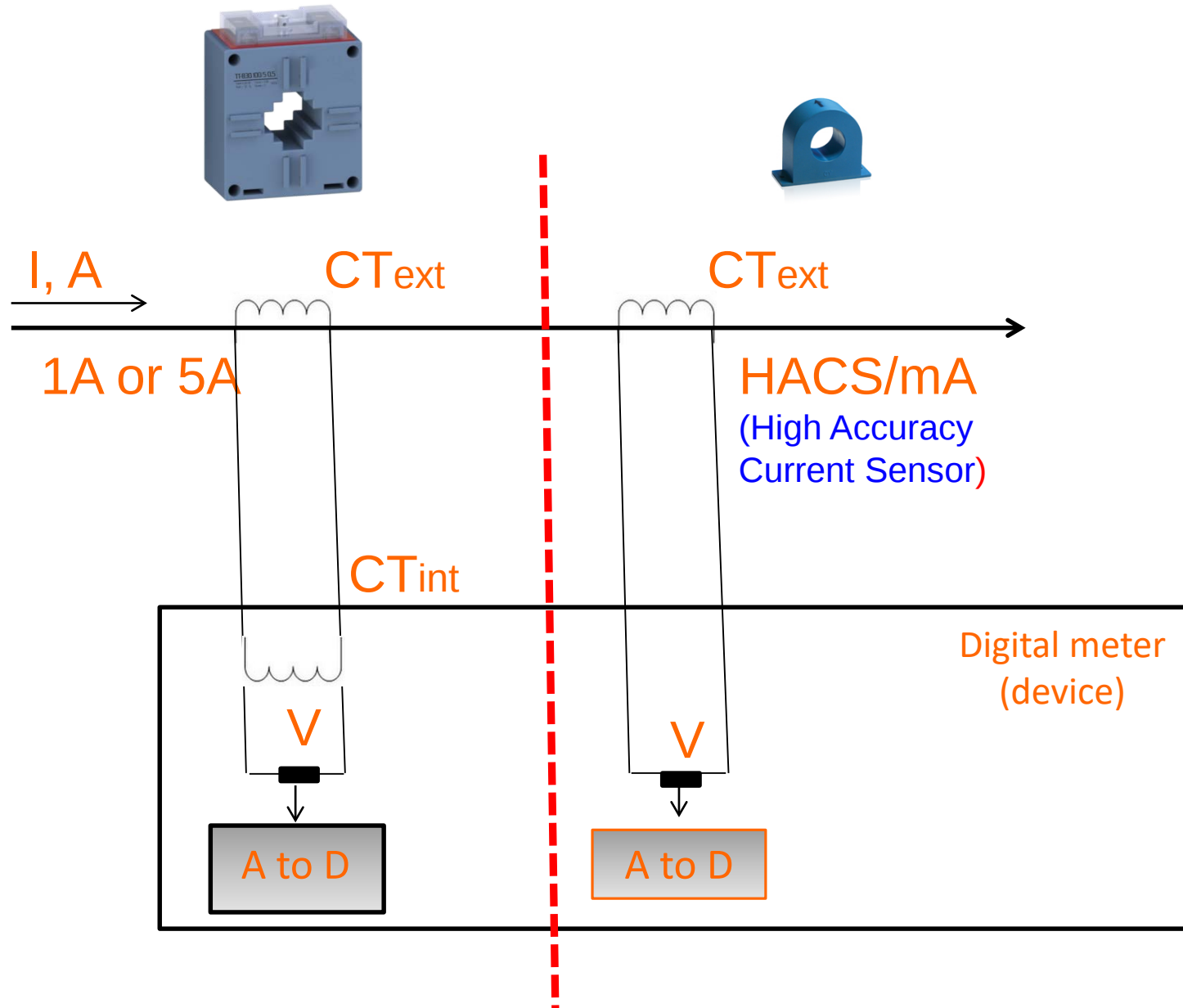
- ❑  $I_{\max} = 200\text{A}$  (Full scale)
- ❑  $I_{\text{nominal}} = 100\text{A}$
- ❑ Real Current =  $5\text{A}$  (5% from  $I_{\text{nom}}$ )
- ❑ Measured current =  $5.2\text{A}$
- ❑ Absolute error =  $5.2\text{A} - 5\text{A} = 0.2\text{A}$
- ❑ Full scale error =  $(0.2/200) \times 100\% = 0.1\%$
- ❑ Reading error =  $(0.2/5) \times 100\% = 4\%$

Full scale error

**0.1%**

Reading error

**4%**



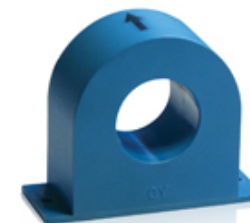
# השוואת CT ו- HACS



**CT**



**HACS**



|                 |                         |                          |                         |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <b>Class</b>    | 0.5/0.5S                | 0.5S                     | 0.2S/0.1                |
| <b>Isec</b>     | = 1/5A                  | 0,02A                    | 0,04A                   |
| <b>Distance</b> | 5-10 meters (5 Amp)     | 200 meters               | 200 meters              |
| <b>Cable</b>    | 2.5/4/6 mm <sup>2</sup> | 6 x 0, 5 mm <sup>2</sup> | 6 x 0,5 mm <sup>2</sup> |
| <b>Range</b>    | 5-120%                  | 0,5-200%<br>(1-2000%)    | 0,5-200%<br>(1-2000%)   |

# אורך כבלי חיבור

## HACS

## CT

### אורך חוט ל-HACS

עד **200 מטר** ללא שינוי בדיוק מדידה.

חתך חוט 0.5 כבל גמיש אחד

בעל 6 גידים 0.5

למכשיר תלת פאזי

עבור 3 HACS



### אורך חוט לשנאי

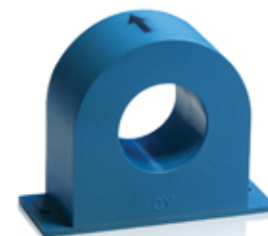
– 3 VA

חתך 2.5 עד 7 מטר

חתך חוט 2.5/4/6

# HACS Accuracy report (solid core)

| CS1 100A/40mA |                  |                  |
|---------------|------------------|------------------|
| Current, A    | Error            |                  |
|               | Current Error, % | Phase Error, min |
| 6             | 0,05%            | 0                |
| 12            | 0,01%            | 0,6              |
| 18            | 0,01%            | 0                |
| 24            | 0,01%            | 0                |
| 30            | 0,01%            | 0,6              |
| 36            | 0,00%            | 0                |
| 42            | 0,00%            | 0                |
| 48            | 0,00%            | 0                |
| 54            | 0,00%            | 0                |
| 60            | -0,01%           | 0                |
| 66            | -0,01%           | 0                |
| 72            | -0,01%           | 0                |
| 78            | -0,01%           | 0                |
| 84            | -0,01%           | 0                |
| 90            | -0,01%           | -0,6             |
| 96            | -0,02%           | 0                |
| 102           | -0,02%           | 0                |
| 108           | -0,02%           | -0,6             |
| 114           | -0,02%           | 0                |
| 120           | -0,02%           | 0                |



# Conventional CT Accuracy test

## CT 200/5 - Conventional CT 0.5

|                      |      |       |       |       |       |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Measured, A          | 0,99 | 0,494 | 0,246 | 0,122 | 0,048 |
| % from Inom = 5A     | 20%  | 10%   | 5%    | 2,5%  | 1%    |
| Calibrator output, A | 1    | 0,5   | 0,25  | 0,125 | 0,05  |
| Error %              | 1    | 1,2   | 1,6   | 2,4   | 4     |



# SATEC HACS 400A Accuracy test

## שנאי מתפצל (split core)

| Current(A) |      | 8      | 40    | 80    | 160   | 800   | DCR<br>(KΩ) |
|------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| SPEC       | f(%) | ±1     | ±0.5  |       |       |       | 1.7±<br>10% |
|            | δ(') | ≦30'   |       |       |       |       |             |
| 1#         | f(%) | -0.436 | 0.075 | 0.111 | 0.128 | 0.156 | 1.69        |
|            | δ(') | 13.56  | 5.97  | 4.94  | 4.36  | 3.27  |             |
| 2#         | f(%) | -0.432 | 0.008 | 0.040 | 0.058 | 0.089 | 1.72        |
|            | δ(') | 12.58  | 6.36  | 5.35  | 4.77  | 3.48  |             |
| 3#         | f(%) | -0.403 | 0.051 | 0.085 | 0.102 | 0.126 | 1.69        |
|            | δ(') | 13.06  | 6.14  | 5.08  | 4.52  | 3.52  |             |
| X          | f(%) | -0.424 | 0.045 | 0.079 | 0.096 | 0.124 | 1.70        |
|            | δ(') | 13.07  | 6.16  | 5.12  | 4.55  | 3.42  |             |
| MAX        | f(%) | -0.436 | 0.075 | 0.111 | 0.128 | 0.156 | 1.72        |
|            | δ(') | 13.56  | 6.36  | 5.35  | 4.77  | 3.52  |             |

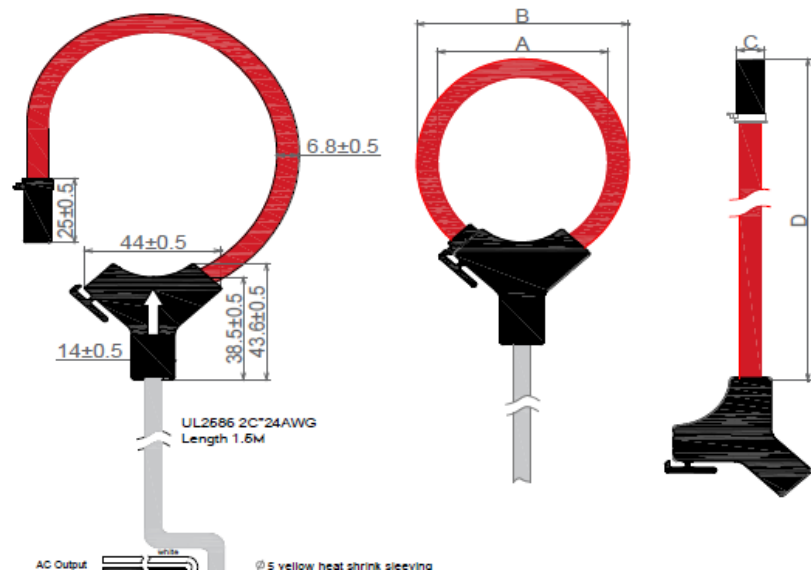
**יתרון**  
 נוחות הרכבה ברשת קיימת, ללא  
 ניתוק צרכנים

**חסרון**  
 דיוק 0.5% לעומת דיוק 0.1%  
 של שנאי solid core



# Rogowsky Coil Accuracy test

| Current(A) |                    | 20                  | 40     | 80     | 400                |
|------------|--------------------|---------------------|--------|--------|--------------------|
| SPEC       | f(%)               | $\pm 1.5$           |        |        | $\pm 1$            |
|            | $\delta(^{\circ})$ | $\cong 120^{\circ}$ |        |        | $\cong 30^{\circ}$ |
| 1#         | f(%)               | -0.890              | -0.480 | -0.430 | 0.140              |
|            | $\delta(^{\circ})$ | 79.40               | 52.50  | 41.30  | -20.70             |
| 2#         | f(%)               | -0.920              | -0.510 | -0.460 | -0.020             |
|            | $\delta(^{\circ})$ | 73.70               | 46.00  | 36.60  | -18.20             |
| 3#         | f(%)               | -0.960              | -0.820 | -0.530 | 0.060              |
|            | $\delta(^{\circ})$ | 79.70               | 54.30  | 42.10  | 19.10              |
| $\bar{X}$  | f(%)               | -0.923              | -0.603 | -0.473 | 0.060              |
|            | $\delta(^{\circ})$ | 77.60               | 50.93  | 40.00  | -6.60              |
| MAX        | f(%)               | -0.960              | -0.820 | -0.530 | 0.140              |
|            | $\delta(^{\circ})$ | 79.70               | 54.30  | 42.10  | 19.10              |
| MIN        | f(%)               | -0.890              | -0.480 | -0.430 | -0.020             |
|            | $\delta(^{\circ})$ | 73.70               | 46.00  | 36.60  | -20.70             |



## Technical characteristics of SATEC HACS

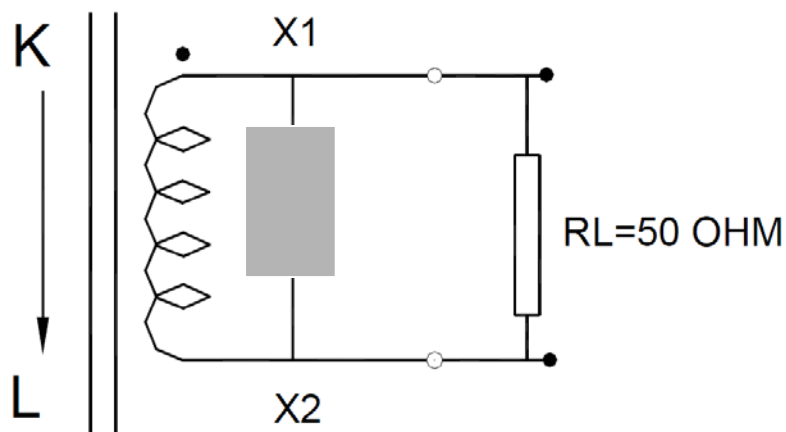
|                                                    |                               |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| Nominal frequency                                  | 50/60Hz                       |
| Cable length (standard)                            | 2.5 m                         |
| Operating temperature                              | O <sub>T</sub> -40°C to +70°C |
| Storage temperature                                | O <sub>T</sub> -40°C to +85°C |
| Nominal voltage                                    | 230V                          |
| Maximum operating voltage                          | 600V                          |
| Insulation strength                                | 4 kV/min                      |
| Insulation strength (Voltage peak)                 | 6.5 kV                        |
| Nominal Secondary current                          | 20 mA                         |
| Nominal Secondary current (CS05S)                  | 2.5 mA                        |
| Nominal power, VA                                  | 0.02 VA                       |
| MTBF                                               | 300 000 hours                 |
| Rated thermal current (1 sec)                      | 80 I <sub>nom</sub>           |
| Rated current of electro-dynamic stability (1 sec) | 160 I <sub>nom</sub>          |
| Secondary load                                     | 50 Ohm                        |
| Life time                                          | 40 years                      |

## יתרונות HACS

- דיוק גבוה באופן משמעותי (Class 0.1)
- גודל פיזי קטן יחסית, במיוחד בשימוש במרחקים גדולים
- שימוש במוליכים בעלי חתך נמוך
- ניתן להשאיר את המשני ללא קצר ואין סכנה לשריפת המשני"ז  
עקב נתק במעגל
- לינאריות גבוהה במיוחד, החל מ-0.5% ועד פי כמה מהזרם  
הנומינלי
- התמרה אחת מונעת רזוננס ומאפשרת תגובה מעולה לשינויים
- עמידה בתקני דיוק Class 0.5S עם שנאים מתפצלים  
(splitcore) מאפשר נוחות בשימוש ללא התפשרות בביצועים

## בטיחות

□ במקרה של ניתוק מעגל משני של HACS יש הגנה אלקטרונית בתוך שנאי HACS שבאופן אוטומטי מקצרת מעגל בזמן ניתוק

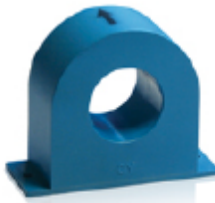


יחס הספק המתפזר במקצר אלקטרוני (Pdin<sub>0.02A</sub>) ב HACS לעומת הספק CT רגיל (Pdin<sub>1A</sub>) הוא:  $P_{din} = I^2 / R_{din}$

$$P_{din1} / P_{din0.02} = 2500$$

$$P_{din5} / P_{din0.02} = 62\ 500$$

# תחום זרמים רחב של HACCS

| ORDER STRING<br>(Catalog no.) | CS05S / RS5<br>(HX0140)                                                           | CS1<br>(EL0072)                                                                   | CS1L<br>(EL0115)                                                                    | CS1S<br>(HX0118)                                                                    |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |  |  |  |  |
| MAX CURRENT                   | 10A                                                                               | 100A                                                                              | 100A                                                                                | 100A                                                                                |
| WINDOW                        | Ø 16mm<br>0.62"                                                                   | Ø 12mm<br>0.47"                                                                   | Ø 23mm<br>0.9"                                                                      | Ø 16mm<br>0.63"                                                                     |
| CORE                          | Split                                                                             | Solid                                                                             | Solid                                                                               | Split                                                                               |
| ACCURACY [%]                  | 0.5                                                                               | 0.1                                                                               | 0.1                                                                                 | 0.5                                                                                 |
| WEIGHT                        | 98.2g<br>0.22 lbs                                                                 | 156.4g<br>0.34 lbs                                                                | 206.3g<br>0.45 lbs                                                                  | 103.4g<br>0.23 lbs                                                                  |

# תחום זרמים רחב של HACS

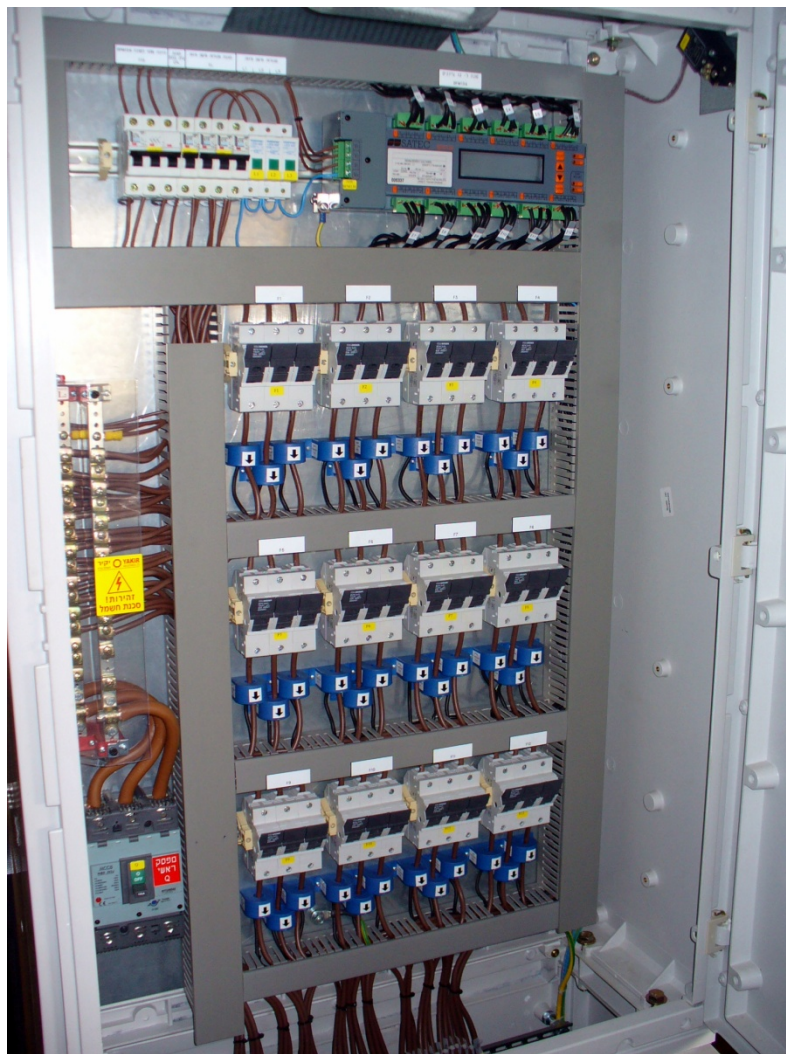
| ORDER STRING<br>(Catalog no.) | CS1H<br>(HX0161)                                                                  | CS2<br>(EL0142)                                                                    | CS2S<br>(HX0145)                                                                    | CS2SL<br>(HX0156)                                                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |  |  |  |  |
| MAX CURRENT                   | 100A                                                                              | 200A                                                                               | 200A                                                                                | 200A                                                                                |
| WINDOW                        | Ø 13mm<br>0.05"                                                                   | Ø 23mm<br>Ø 0.9"                                                                   | 24.5x23.1mm<br>0.96x0.9"                                                            | 43x33mm<br>1.69x1.3"                                                                |
| CORE                          | Split                                                                             | Solid                                                                              | Split                                                                               | Split                                                                               |
| ACCURACY [%]                  | 0.1/0.2                                                                           | 0.1                                                                                | 0.5                                                                                 | 0.5                                                                                 |
| WEIGHT                        | 280g<br>0.6lbs                                                                    | 206.3g<br>0.45 lbs                                                                 | 160g<br>0.34lbs                                                                     | 450g<br>1lbs                                                                        |

# תחום זרמים רחב של HACS

| ORDER STRING<br>(Catalog no.) | CS4<br>(EL0117)                                                                   | CS4S<br>(HX0157)                                                                  | CS8<br>(EL0125)                                                                     | CS8S<br>(HX0158)                                                                    |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |  |  |  |  |
| MAX CURRENT                   | 400A                                                                              | 400A                                                                              | 800A                                                                                | 800A                                                                                |
| WINDOW                        | Ø 26mm<br>1.02"                                                                   | 43x33mm<br>1.69x1.3"                                                              | 100x32/62mm<br>4x1.28/2.44"                                                         | 80x50mm<br>3.1x1.9"                                                                 |
| CORE                          | Solid                                                                             | Split                                                                             | Solid                                                                               | Split                                                                               |
| ACCURACY [%]                  | 0.1                                                                               | 0.5                                                                               | 0.1                                                                                 | 0.5                                                                                 |
| WEIGHT                        | 214g<br>0.47lbs                                                                   | 450g<br>1lbs                                                                      | 525g<br>1.16lbs                                                                     | 900g<br>1.9lbs                                                                      |

| ORDER STRING<br>(Catalog no.) | CS12S<br>(HX0153)                                                                  | CS20S<br>(HX0154)                                                                   | CS30S<br>(HX0155)                                                                    |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |  |  |  |
| MAX CURRENT                   | 1200A                                                                              | 2000A                                                                               | 3000A                                                                                |
| WINDOW                        | 120x80mm                                                                           | 160x80mm                                                                            | 160x80mm                                                                             |

# שימוש בHACS במכשיר רב-ערוצי BFM



## BFM II + HACS 100A total accuracy, better than 0.1%

| AVG CURRENT |          |        |          |        |          |        |
|-------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| I, A        | PhaseA,% | Worst  | PhaseB,% | Worst  | PhaseC,% | Worst  |
|             |          |        |          |        |          |        |
| 0.5         | -0.120   | -0.120 | -0.140   | -0.140 | -0.119   | -0.120 |
| 1           | -0.032   | -0.090 | -0.092   | -0.130 | -0.095   | -0.130 |
| 2.5         | 0.068    | 0.068  | 0.056    | 0.056  | 0.060    | 0.060  |
| 5           | 0.068    | 0.068  | 0.054    | 0.056  | 0.034    | 0.056  |
| 15          | 0.034    | 0.037  | 0.024    | 0.024  | -0.001   | -0.001 |
| 25          | 0.020    | 0.030  | 0.016    | 0.018  | -0.012   | -0.013 |
| 50          | 0.005    | 0.012  | -0.001   | -0.009 | -0.019   | -0.025 |
| 100         | -0.012   | -0.020 | -0.015   | -0.023 | -0.027   | -0.033 |

**Average (typical) values of errors for Current. Worst values of error in individual measurements (These values were found based on more than 20 individual measurements, in each testing point.)**

## התאמת הספק סנסורים זרם עם הספק צריכה מכשירי מדידה ובקרה דיגיטאליים

- מכשירים דיגיטאליים הם בעלי התנגדות נמוכה בעשרות פעמים ממכשירים אנלוגיים וצריכה שלהם היא (0.1 – 0.02VA)
- לקבלת דיוק נומינאלי של מכלול סנסור זרם ומכשיר מדידה **חשוב להבטיח התאמה** מקסימאלית של הספק סנסור זרם עם צריכת המכשיר
- הספק של HACS הוא (0.1 – 0.02VA)

# בדיקות השוואתיות בוצעו במעבדה מוסמכת

## ISO 17025



 **הרשות הלאומית להסמכת מעבדות**  
**Israel Laboratory Accreditation Authority**

**ISO/IEC 17025: 2005**      **Calibration Laboratory**

**Accreditation Certificate No. 357**

**SATEC Calibration Lab.**

Main site (Main Laboratory): Zeev Lev 25, Jerusalem, 9145001, Israel

**Valid from: 20.11.2016**      **Until: 19.11.2018**

The organization was assessed by the Israel Laboratory Accreditation Authority (ISRAC) and found to be worthy of accreditation to the detailed schedule attached. The schedule is an integral part of this certificate and is numbered with the above certificate number.

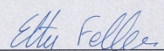
Accreditation demonstrates technical competence and operation of an internationally recognized quality management system. The organization accredited by ISRAC complies with the standards/requirements mentioned above, meets the technical competence requirements and management system requirements that are necessary for it to consistently deliver technically competent results.

This accreditation is granted in accordance with the requirements of ISO/IEC 17011:2004, and entails periodic surveillance and reassessment by ISRAC to ensure that the organization continues to comply with the accreditation requirements.

The accreditation is valid provided that the organization continues to meet the criteria as laid down by ISRAC.

This certificate does not constitute an approval in accordance with article 12 of the standard law.

**Date of first accreditation: 20.11.2016**

  
**General Manager**  
**Israel Laboratory Accreditation Authority**

  **Version 1**

## סיכום:

- **דיוק:** סנסורים HACS מאפשרים התאמה אופטימאלית לעומת CT רגילים ומגדילים דיוק מדידה לפחות **פי 2** לעומת שנאי זרם CT הקיימים
- **בטיחות:** במקרה של ניתוק מעגל משני של HACS יש הגנה אלקטרונית אוטומטית בתוך שנאי HACS
- **נוחות:** נוחות הרכבה ברשת קיימת, ללא ניתוק צרכנים עם דיוק גבוה 0.5%
- אורך חוט ל-HACS עד 200 מטר ללא שינוי בדיוק מדידה

# תודה, חורף בריא ושמח!

