



חטיבת ייצור והולכה  
אגף הולכה והשנאה  
המטה הטכני  
מעבדת חשמל מרכזית

# בדיקות חשמליות ואיתור תקלות בשנאי הספק במתח גבוה



כל הזכויות שמורות

הכין: איגור ליטבין  
[uhro1@iec.co.il](mailto:uhro1@iec.co.il) 052-7467443

# סוגי בדיקות שנאים

- בדיקת התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב
- בדיקת גורם פיזור  $tg\ d$  וקיבולת של הבידוד
- בדיקת התנגדות סלילים
- בדיקת יחס תמסורת וקבוצת חיבורים
- בדיקת זרם ריקם ואיבודים בריקם
- בדיקת עכבה
- בדיקת ניתוח תגובת התדר (SFRA)
- בדיקת התפרקויות חלקיות
- בדיקת שמן שנאים

# ציוד לבדיקת שנאים



Insulation testing



Winding resistance



DDF & no load losses



Transformer ratio



Partial discharge



SFRA

# בדיקות בידוד בשנאי

- התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב הבידוד
- מקדם פיזור דיאלקטרי הבידוד
- קיבול של אזורי בידוד הציוד
- התפרקות חלקיות בבידוד



# התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב הבידוד

## התנגדות הבידוד

$\rho$  - התנגדות סגולית של הבידוד;

$S$  - שטח "אלקטרודות";

$d$  - עובי של אזור הבידוד הנבדק

$$R = \rho \times d / S$$



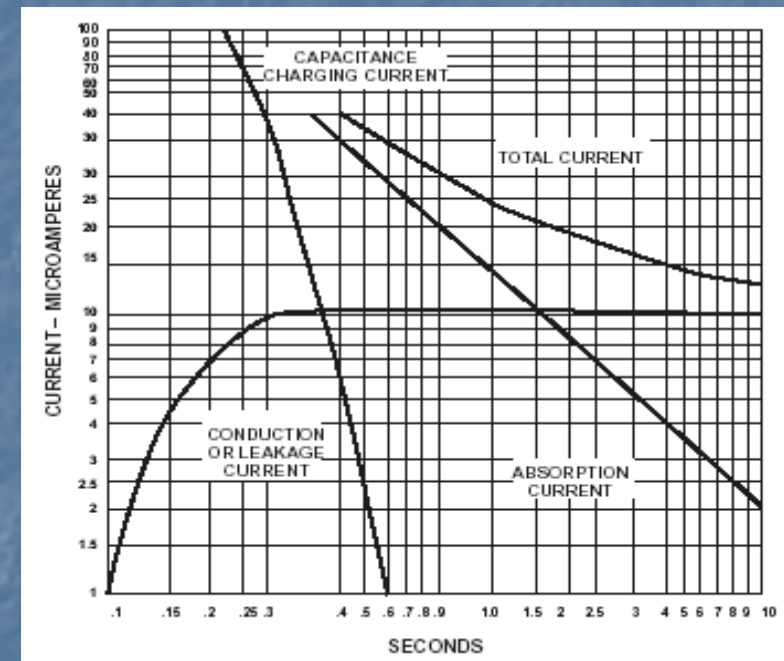
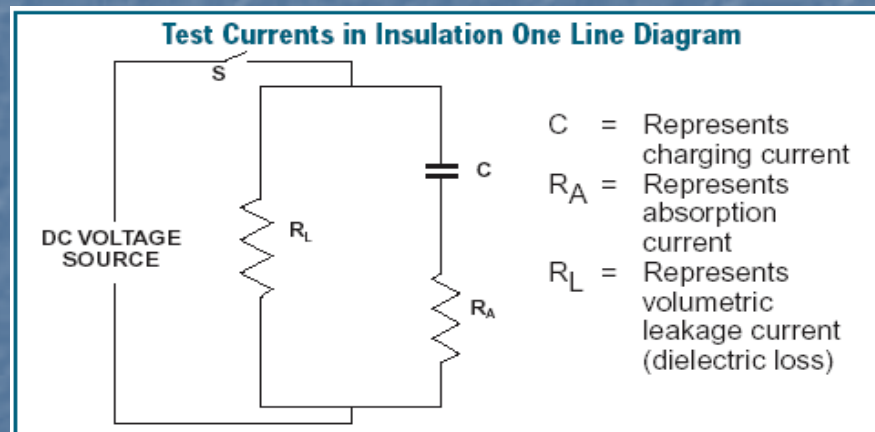
$U$  - מתח מדידה

$I$  - זרם זליגה בבידוד

$$R = U / I$$

# התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב

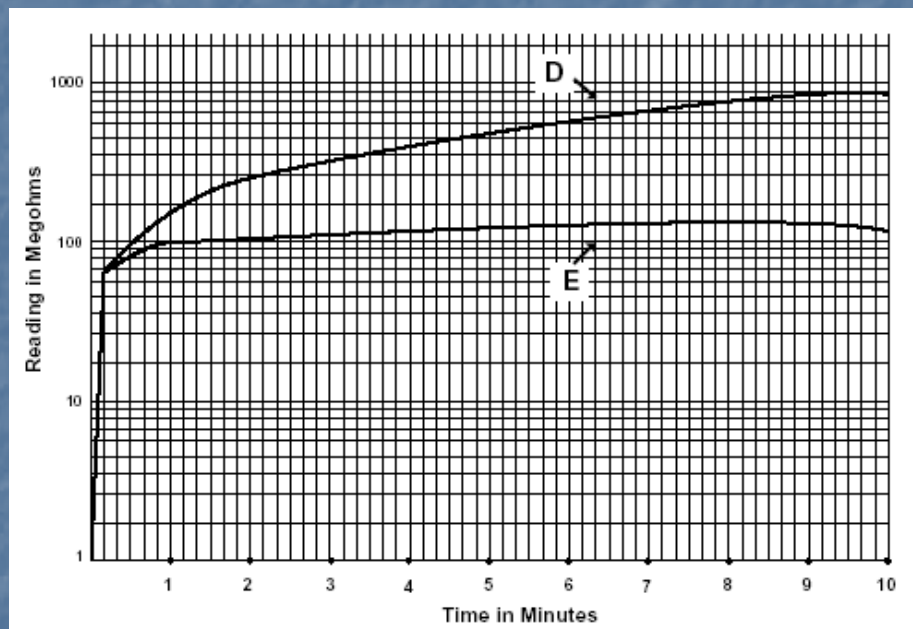
## הבידוד



# התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב

## הבידוד

מקדם קיטוב הבידוד PI



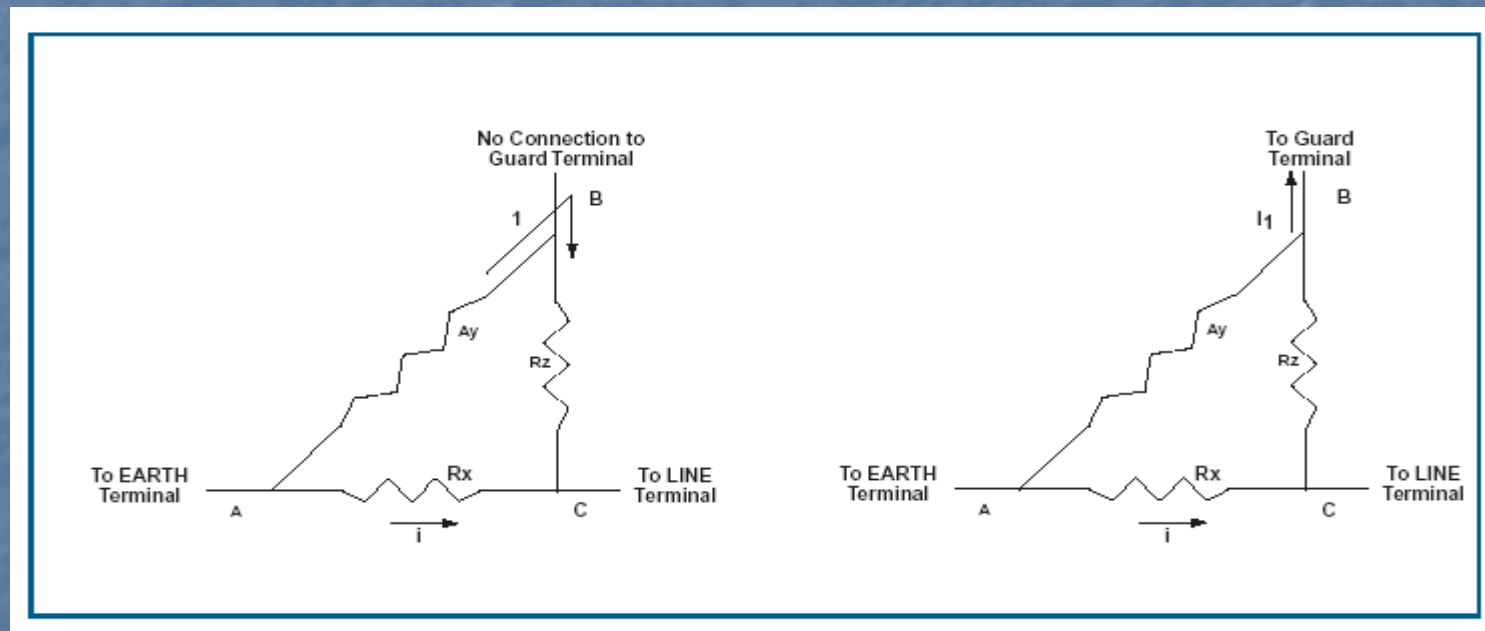
$$PI = R10/R1$$

R10 - התנגדות הבידוד הנמדד  
לאחר 10 דקות

R1 - התנגדות הבידוד הנמדד  
לאחר דקה אחת

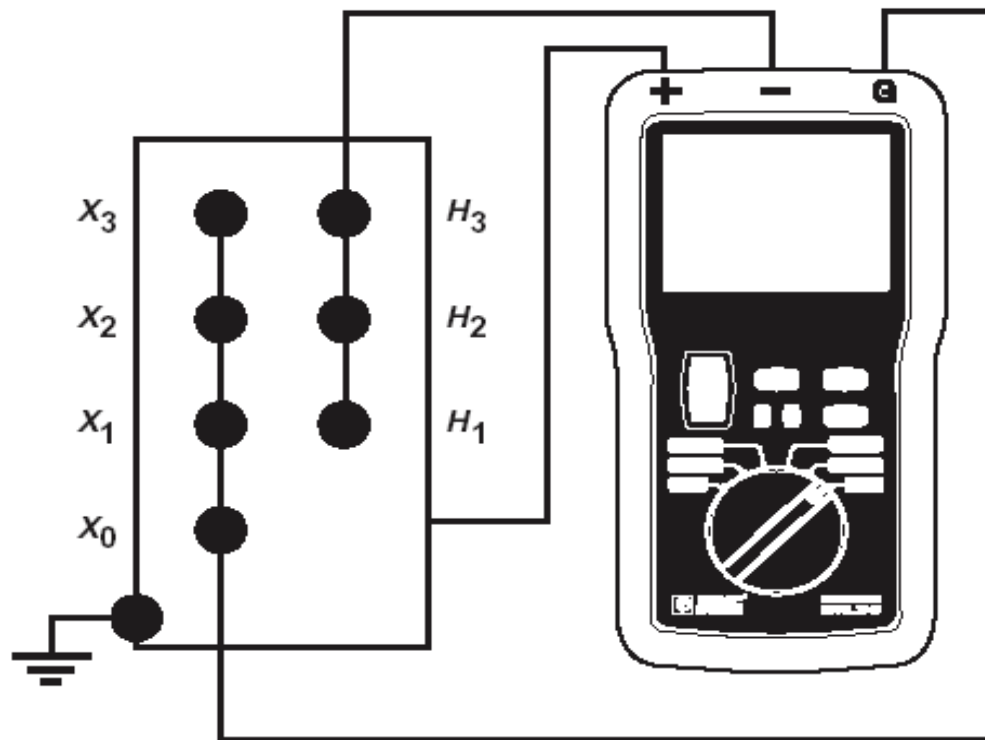
# התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב

## הבידוד



# התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב

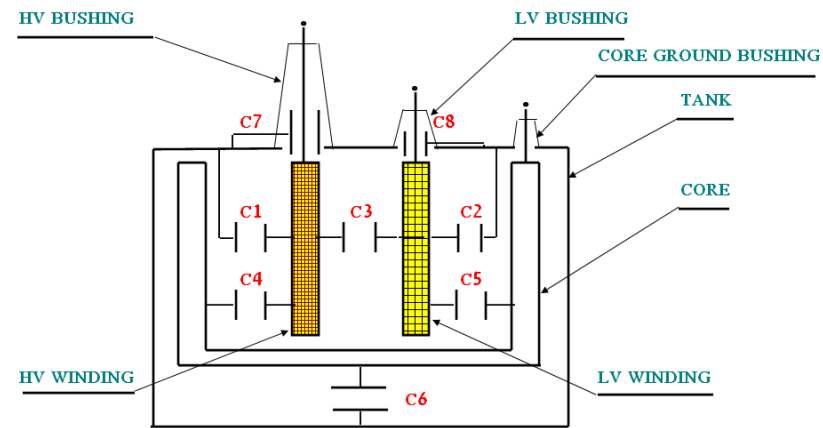
## הבידוד



~. High voltage winding to ground with low voltage winding to guard

# מודל שנאי הספק

C-MODEL OF POWER TRANSFORMER

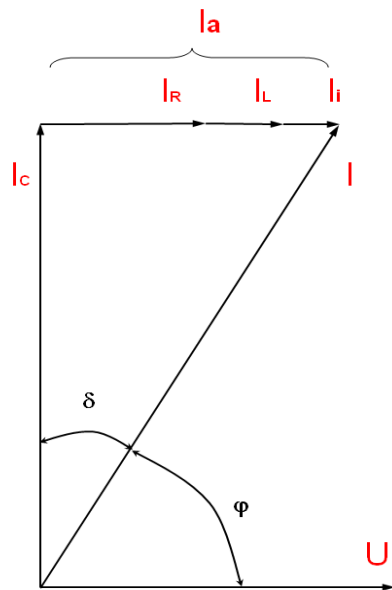


CAPACITANCE

- C1** HV WINDING TO TANK
- C2** LV WINDING TO TANK
- C3** HV WINDING TO LV WINDING
- C4** HV WINDING TO CORE
- C5** LV WINDING TO CORE
- C6** CORE TO TANK
- C7** HV BUSHING TO TAP TEST
- C8** LV BUSHING TO TAP TEST

# מקדם פיזור דיאלקטרי וקיבול הבידוד

טנגנס דלתה של הבידוד



$$\tan \delta = I_a / I_c$$

זרם בבידוד ← I

זרם קיבולי ← Ic

$$I_a = I_R + I_L + I_i$$

$$I = I_a + I_c$$

מתח בדיקה ← U

זרם אקטיבי ← Ia

זרם שיחרור ← IR

זרם זליגה ← IL

זרם יוניזציה ← Ii

$$P = U^2 \times \omega \times C \times \tan \delta$$

P – איבודים דיאלקטריים בבידוד

$$C_x = e \times S / d$$

e – מקדם חדירות דיאלקטרית;

S – שטח "אלקטרודות";

d – עובי של אזור הבידוד הנבדק

$$C_x = I_c / 2\pi f U$$

Ic – זרם קיבולי שעובר בבידוד

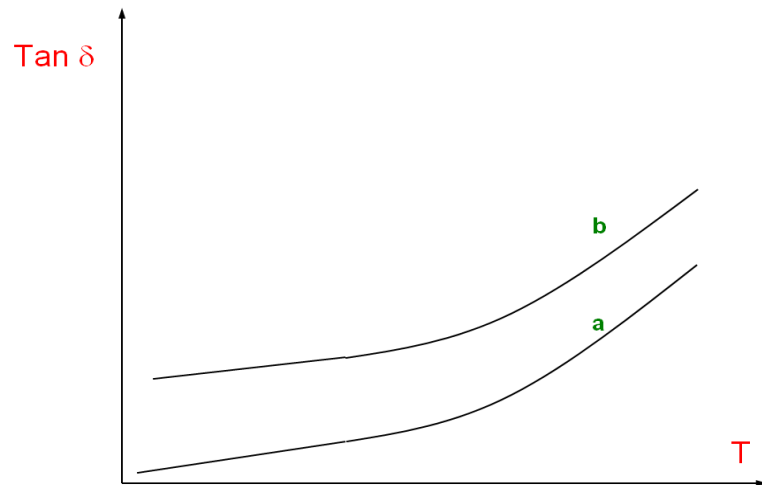
U – מתח המדידה

f – תדר

# מקדם פיזור דיאלקטרי של הבידוד

טנגנס דלתה של הבידוד  
כפונקציה של טמפרטורה

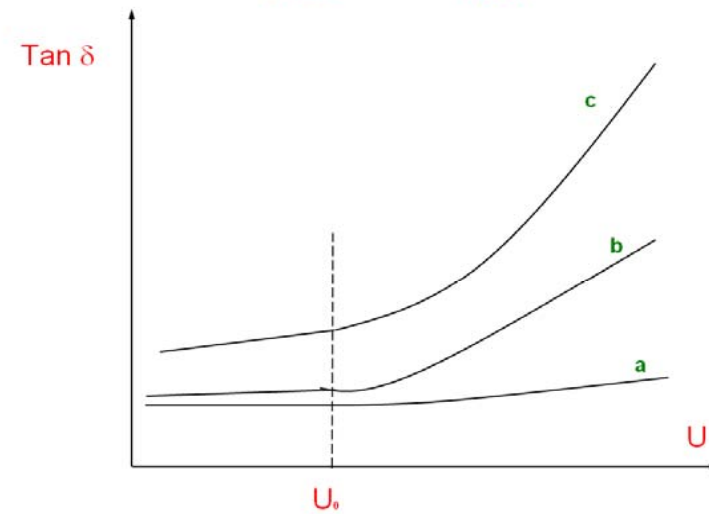
$$\text{Tan } \delta = f(T)$$



- של שמן  $\text{Tan } \delta$  ← a
- של נייר רווי שמן  $\text{Tan } \delta$  ← b

טנגנס דלתה של הבידוד  
כפונקציה של מתח בדיקה

$$\text{Tan } \delta = f(U)$$



- מצב הבידוד תקין ← a
- קיים תהליך יוניזציה ← b
- קיים זרם זליגה גדול ויוניזציה חזקה ← c

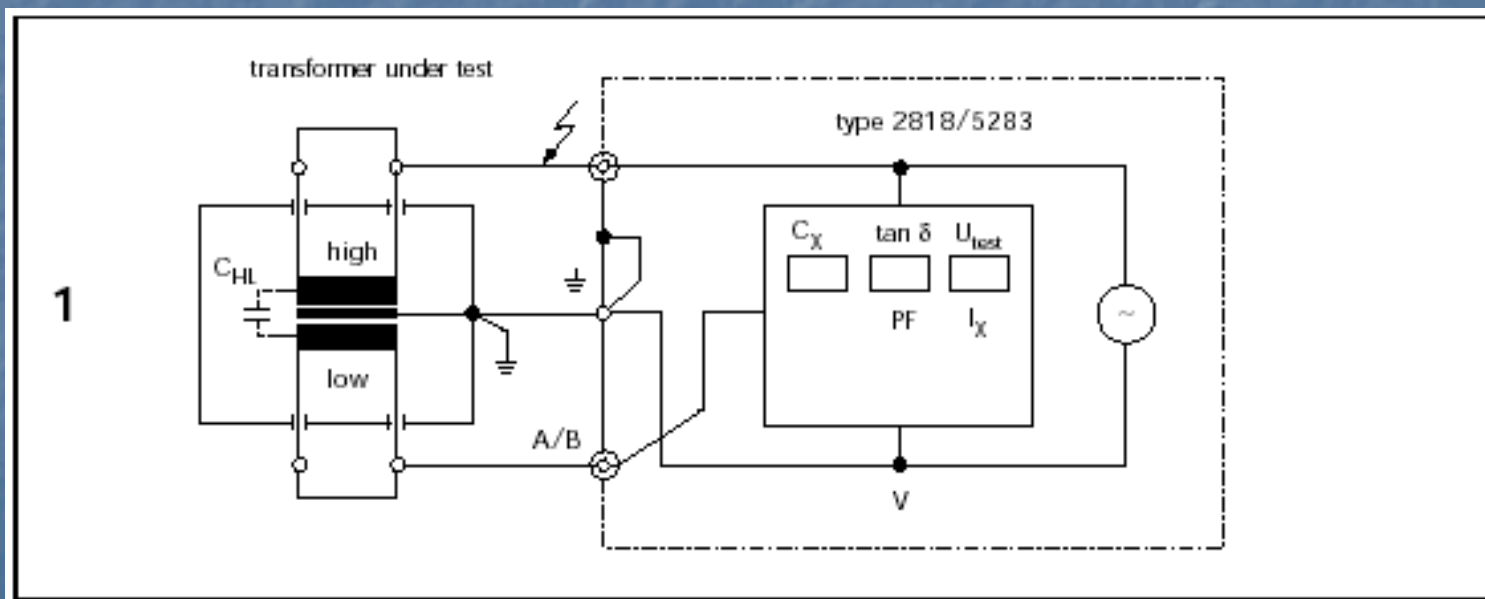
# בדיקות בידוד בשנאי הספק



# בדיקות בידוד בשנאי הספק

## 1. Ungrounded Specimen Test:

UST/A (Ungrounded Specimen Test):  
UST/B  $C = C_{HL}$   
UST/A + B



# מבדדים במתח גבוה/עליון



■ בידוד חיצוני:

■ גוף המבדד מחרסינה.

■ בידוד פנימי:

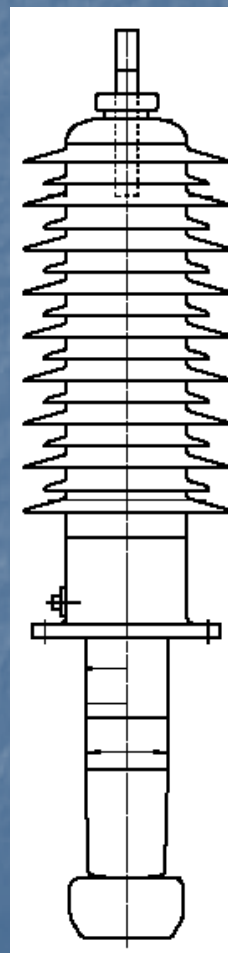
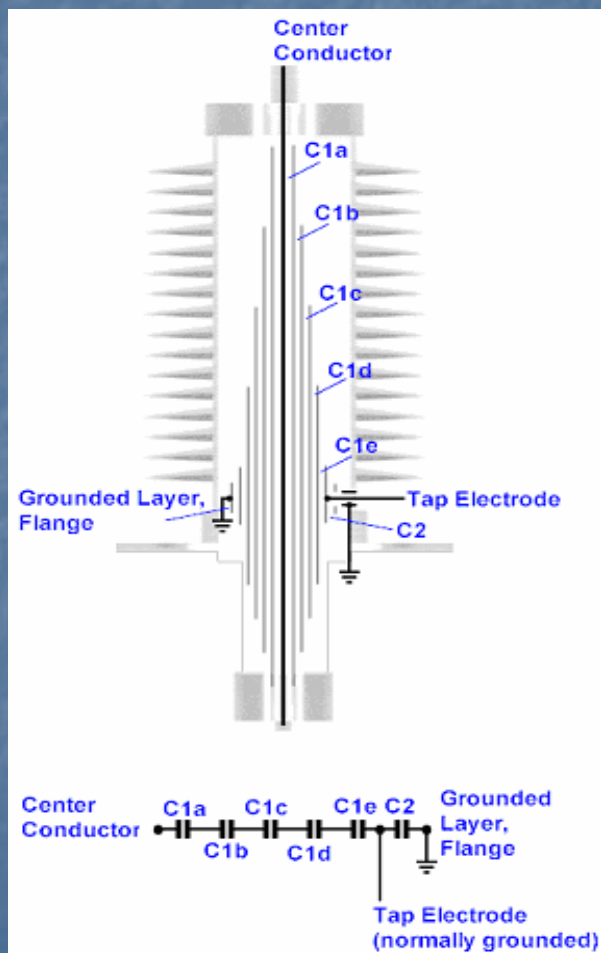
■ שמן ונייר רווי שמן (OIP);

■ שמן או ג'ל ונייר ציפוי לכה (RBP)

■ שמן או ג'ל ונייר רווי שרף (RIP)

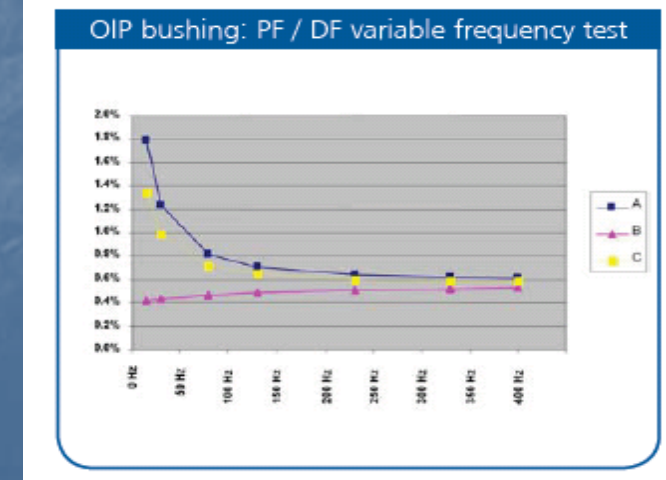
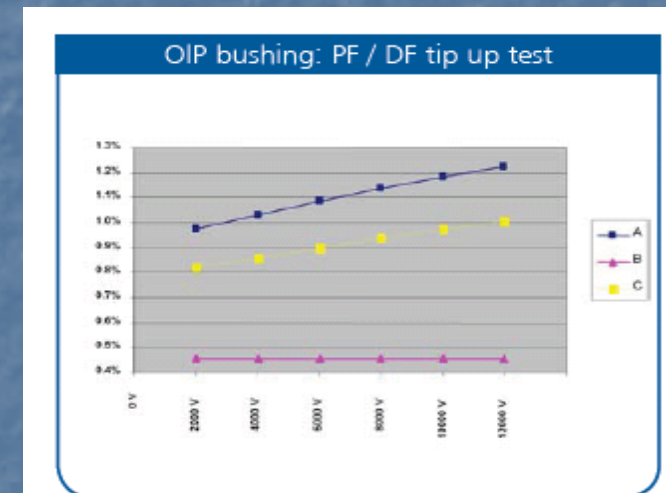


# מבדדים במתח גבוה/עליון



# מבדדים במתח גבוה/עליון

Dissipation factor / power factor in % *)			
Type	RIP	OIP	RBP
Insulation	Resin impregnated paper	Oil impregnated paper	Resin bonded paper
IEC 60137	< 0.70	< 0.70	< 1.50
IEEE C57.10.01	< 0.85	< 0.50	< 2.00
Typical new values	0.3 - 0.4	0.2 - 0.4	0.5 - 0.6



# התפרקויות חלקיות בבידוד

$$E = k \times U / d$$

U - מתח בדיקה

d - עובי של הבידוד

K - מקדם אי-הומוגניות

של שדה חשמלי

התפרקויות חלקיות בבידוד נגרמות מפריקות מטען מאלקטרודה בתוך בידוד הומוגני, בגבול בין חומרי בידוד שונים בשדה חשמלי עם חוזק מסוים

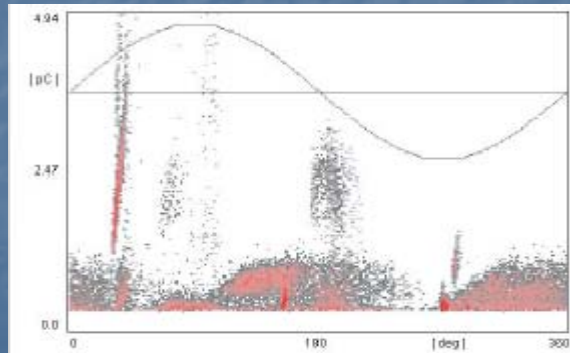
פרמטרים של התפרקויות חלקיות:

Q - מטענים פריקות;

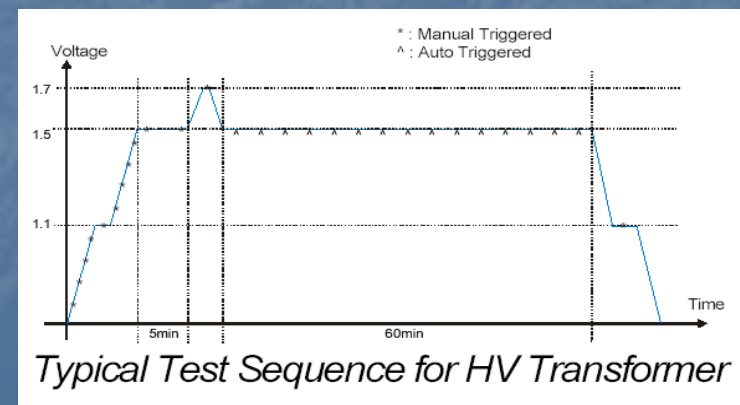
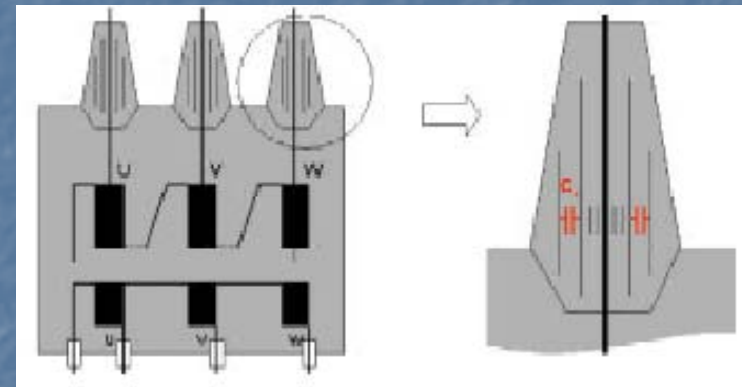
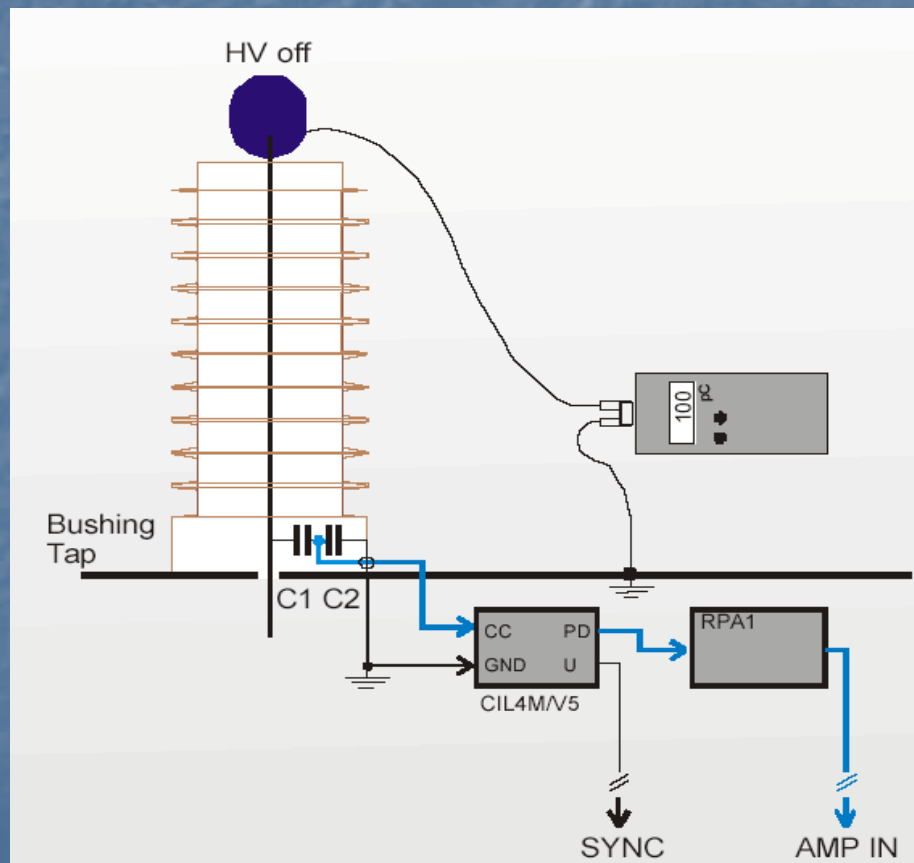
N - כמות הפריקות במשך זמן מסוים;

U<sub>e</sub> - מתח התחלתי של ההתפרקויות החלקיות;

U<sub>c</sub> - מתח סופי של ההתפרקויות החלקיות



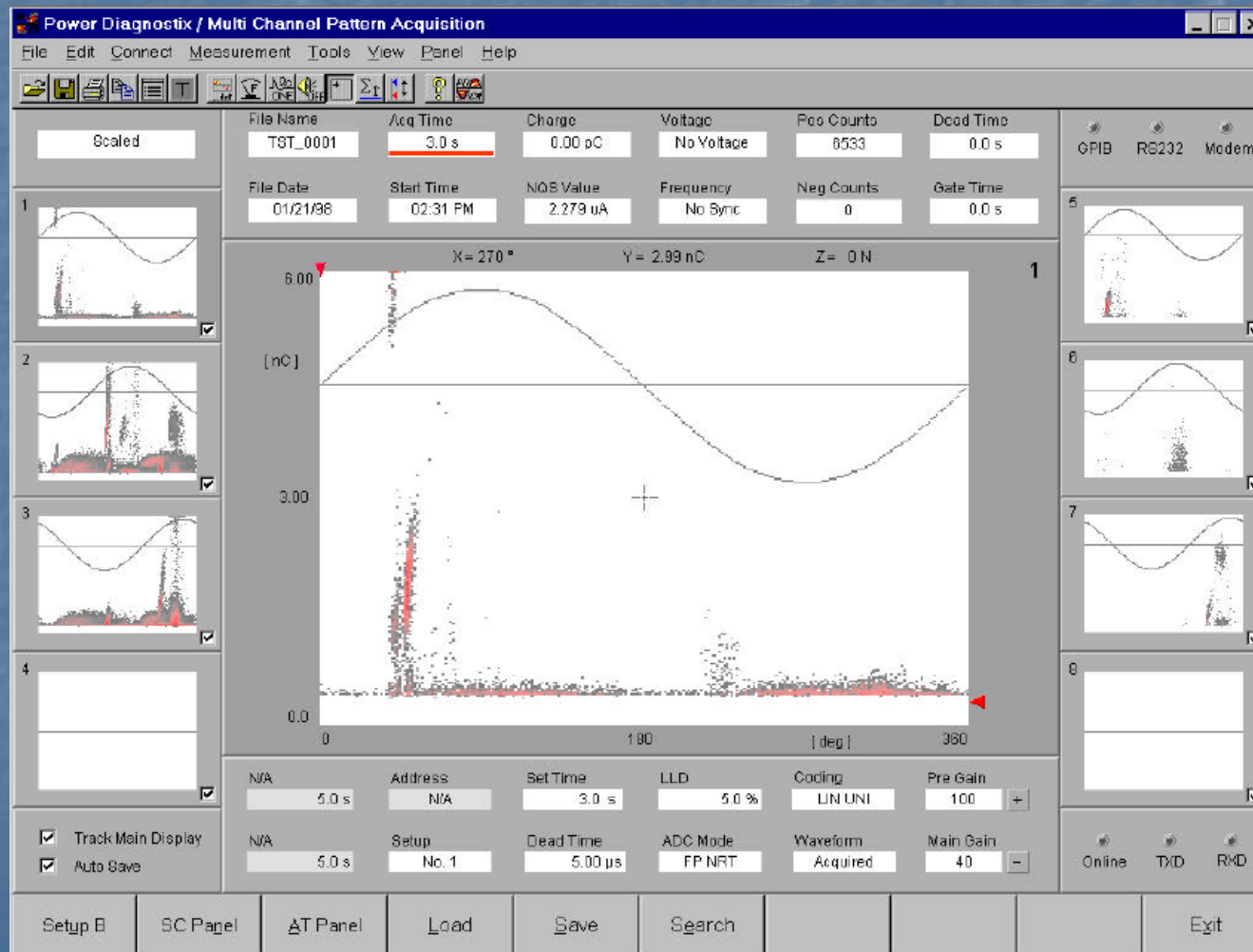
# התפרקויות חלקיות בבידוד



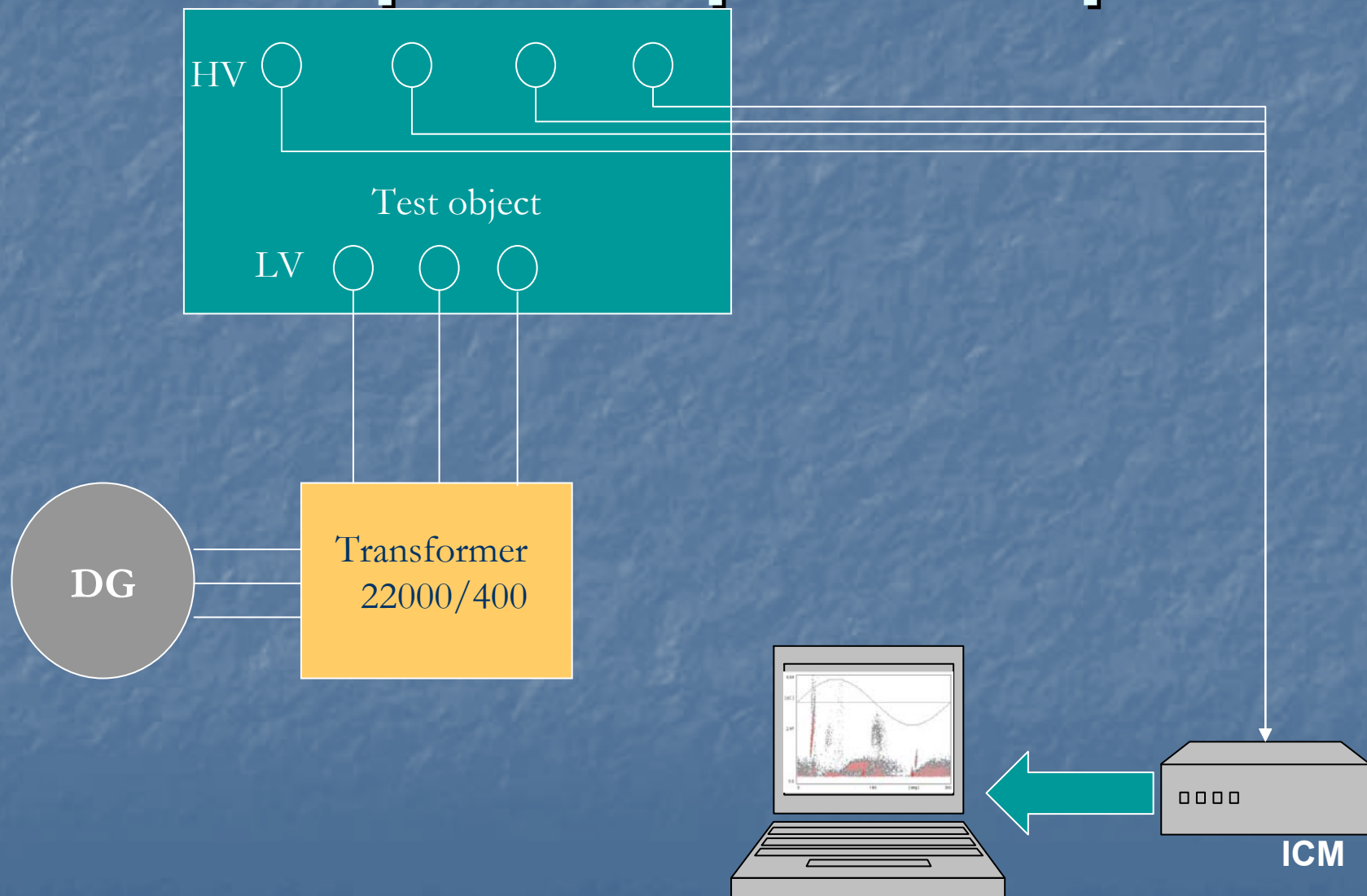
# התפרקויות חלקיות בבידוד



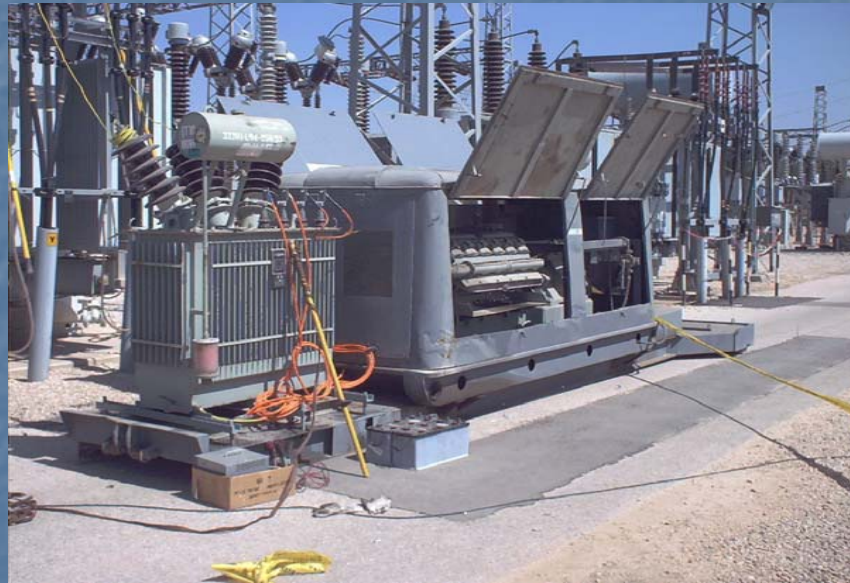
# התפרקויות חלקיות בבידוד



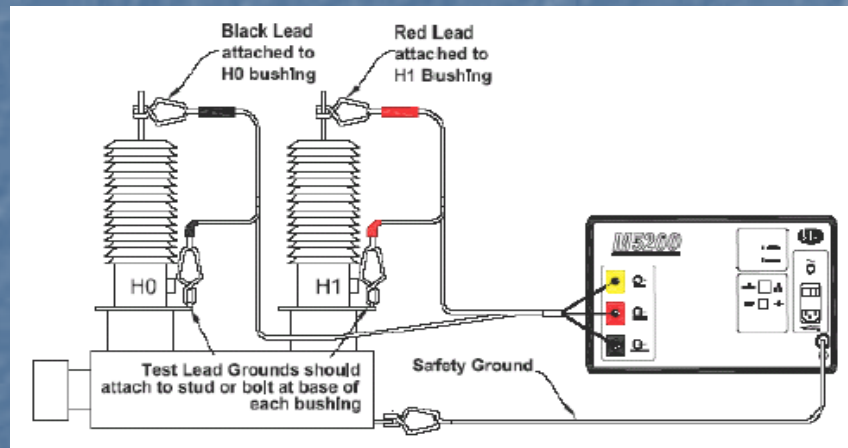
# בדיקת התפרקויות חלקיות בבידוד



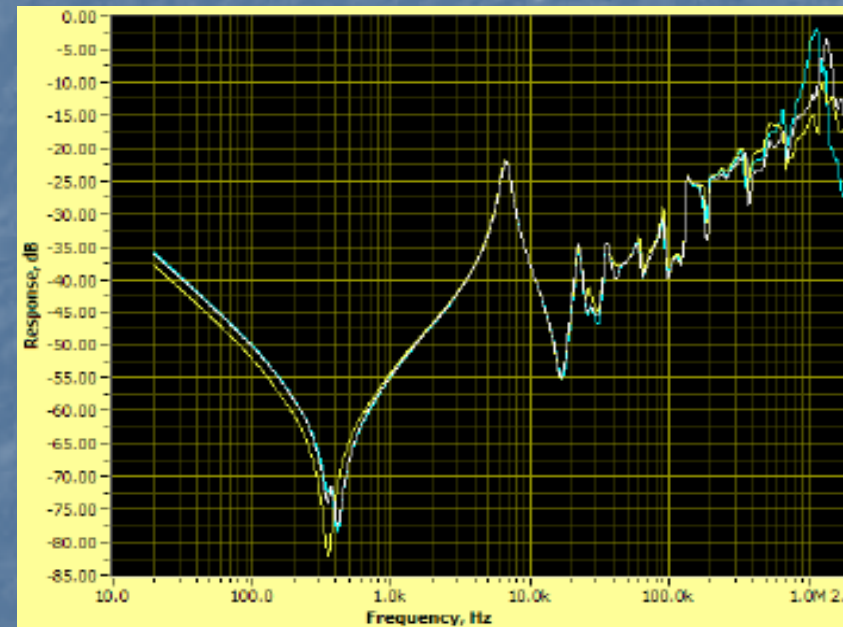
# בדיקת התפרקויות חלקיות בבידוד



# ניתוח תגובת התדר SFRA

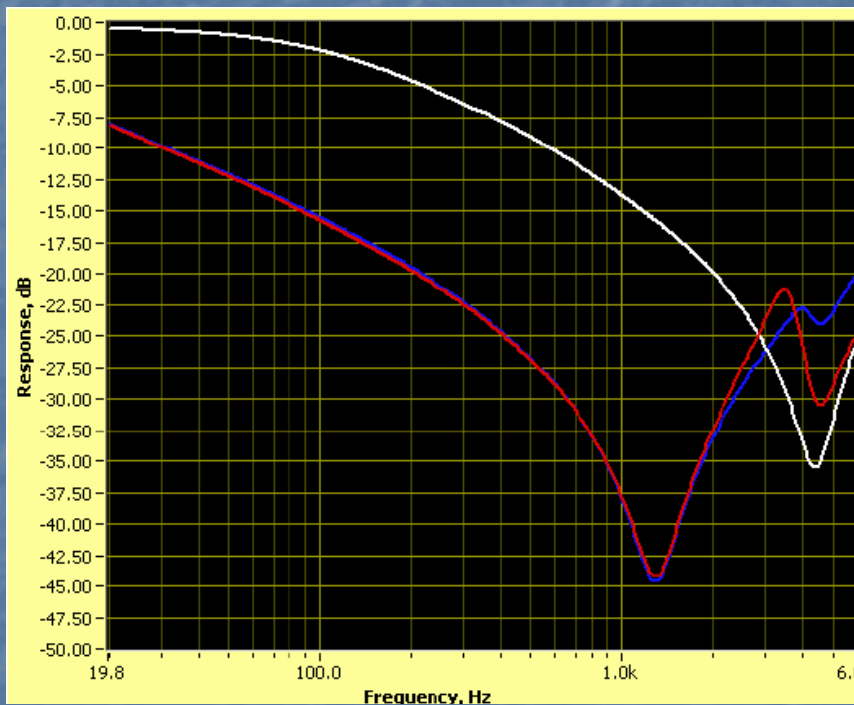


חיבור אופייני לבדיקה SFRA

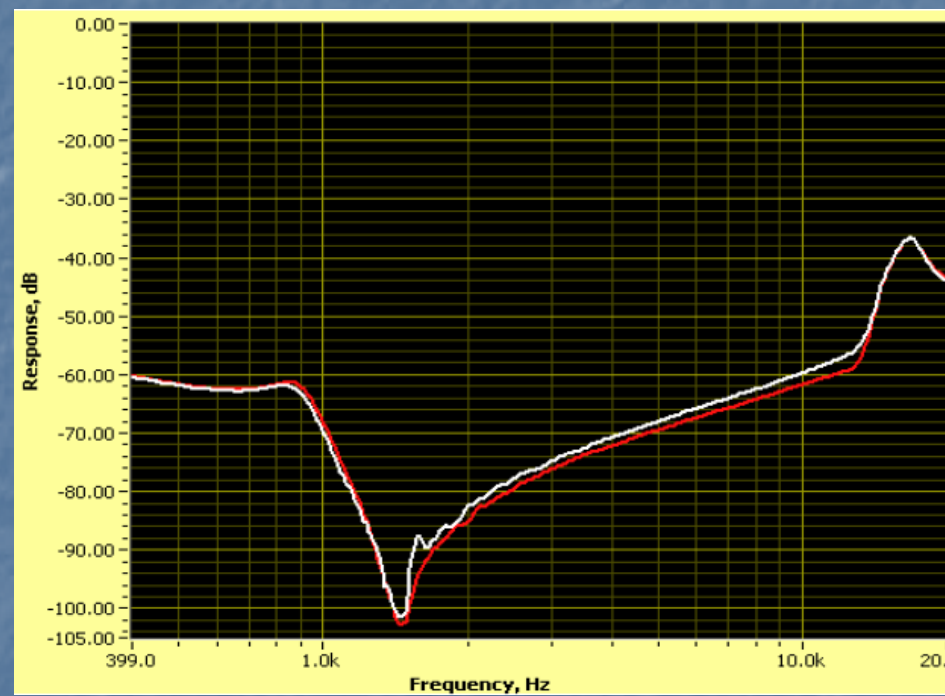


תוצאה אופיינית של שנאי

# ניתוח תגובת התדר SFRA



קצר בליפופי השנאי



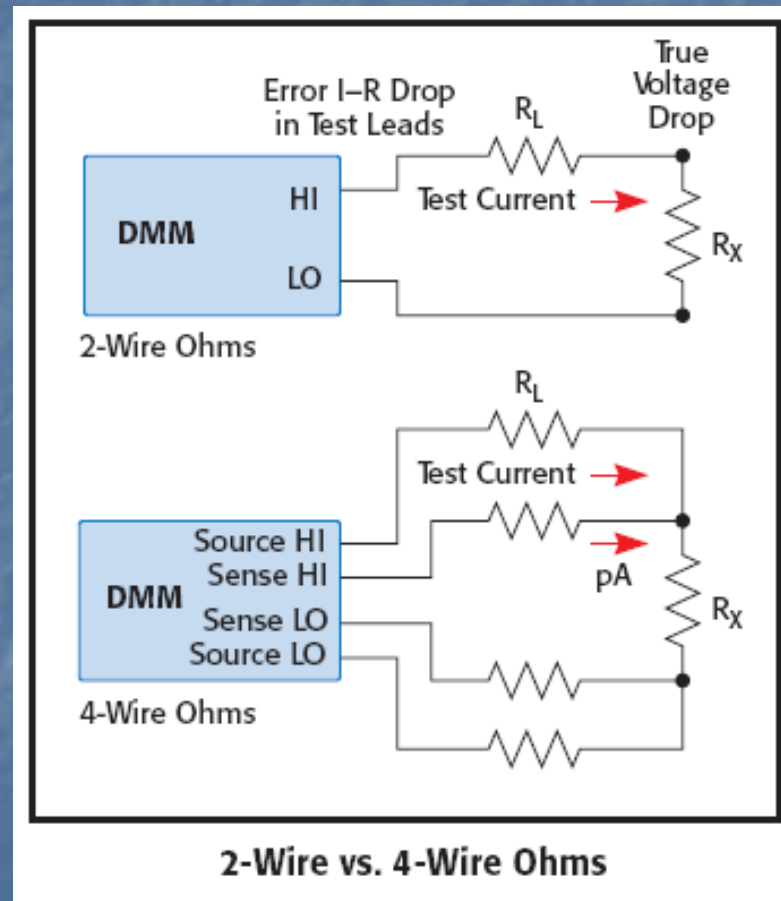
הארקה נוספת לגרעין השנאי

# בדיקת יחס תמסורת וקבוצת

## חיבורים

Group	Connection	Connection	Connection
0	<p>Yy 0</p>	<p>Dd 0</p>	<p>Dz 0</p>
1	<p>Yd 1</p>	<p>Dy 1</p>	<p>Yz 1</p>
5	<p>Yd 5</p>	<p>Dy 5</p>	<p>Yz 5</p>
6	<p>Yy 6</p>	<p>Dd 6</p>	<p>Dz 6</p>
1	<p>Yd 11</p>	<p>Dy 11</p>	<p>Yz 11</p>

# בדיקת התנגדות סלילים



# בדיקות שמן שנאים

- תכולת מים
- חומציות
- חוזק דיאלקטרי – מתח פריצה
- הפסדים דיאלקטריים
- תכולת גזים (DGA)
- מוצרי פירוק צלולוזה בשמן : פורנים
- שלמות הצלולוזה DP

# ציוד לבדיקת שמן שנאים



Oil DDF



Oil acid number



Oil break down voltage



Moisture-in-oil



Dissolved gas analysis

# בדיקות שמן שנאים-סיווג שנאים

52.1 קבוצות אופייניות של סוגי ציוד חשמלי ופרק זמן בין מדידות שגרה (שנים)

שנים	סוג הציוד	קבוצה
1	שנאים הספק עם מתח נומינאלי מעל 400kV	O
2	1. שנאי הספק עם מתח נומינאלי בין 170kV ל- 400kV 2. שנאי הספק בכול המתחים חיוניים לאספקה סדירה (שנאים ראשים, ניידים תעשייתיים)	A
3	שנאי הספק וריאקטורים עם מתח נומינאלי בין 72.5kV ל- 170kV. לא נכללים בקבוצה A	B
4	1. שנאי הספק וריאקטורים עד 72.5kV עבור יישומים מיוחדים למתח בינוני ונמוך כגון שנאי בקטרי רכבת. 2. מזב"ש עבור מתחים מעל 72.5kV 3. מפסקים ומסדרים עם שמן עם מתח שווה או מעל 16kV	C
6	שנאי מדידה והגנה עם מתח נומינאלי מעל 170kV	D
6	שנאי מדידה והגנה עם מתח נומינאלי עד 170kV	E
5	שמן במיכל diverter של מחליף דרגות on load	F
5	1. מזב"ש עבור מתחים שווה או עד 72.5kV 2. מפסקים ומסדרים עם שמן עם מתח מתחת ל- 16kV	G

# בדיקות שמן שנאים-ערכי סף

52.2 בדיקות שגרה. גבולות תפעוליים והמלצות				
תכונה	סוג הציוד	גבולות לנקיטת פעולות		
		טוב	בינוני	גרוע
צבע ומראה ISO 2049	כל סוגי הציוד	בהיר ללא זיהומים שניתנים לאבחנה	כהה או עכור	אם המוצב לא "טוב" חפש סיבה
מתח פריצה (kV) IEC 60156	O, A, D	60<	50-60	50>
	B, E	50<	40-50	40>
	C	40<	30-40	30>
	F	TC בקוטב נויטרלי או TC של שנאים B, C, O, A 25 > TC מחוברים או חד פאזים 40 >		
	G	30>		
מים (מ"ג מים לק"ג שמן) IEC 60814	O, A, D	15> (5>)	20-15 (10-5)	20< (10<)
	B, E	20> (5>)	25-20 (15-5)	25< (15<)
	C	25> (10>)	35-25 (25-10)	35< (25<)
	F	לפי השטאי		
	G	לא ישים		
חומציות (מ"ג KOH לגרם שמן) IEC 62021-2/1	O, A, D	0.10>	0.15-0.10	0.15<
	B, E	0.10>	0.20-0.10	0.20<
	C	0.15>	0.20-0.10	0.30<
	F, G	לא בדיקה שגרה		
מקדם איבודים דיאלקטריים 60Hz עד 40Hz ב-90°C IEC 60247	O, A	0.10>	0.20-0.10	0.20<
	B, C	0.10>	0.50-0.10	0.50<
	D	0.01>	0.03-0.01	0.03<
	E	0.10>	0.30-0.10	0.30<
	G, F	לא בדיקה שגרה		

# בדיקת גזים מומסים בשמן - DGA

## Measured gases

H<sub>2</sub> (Hydrogen)

CH<sub>4</sub> (methane)

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (Ethylene)

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (Ethane)

C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (Acetylene)

CO (Carbon Monoxide)

CO<sub>2</sub> (Carbon Dioxide)

O<sub>2</sub> (Oxygen)

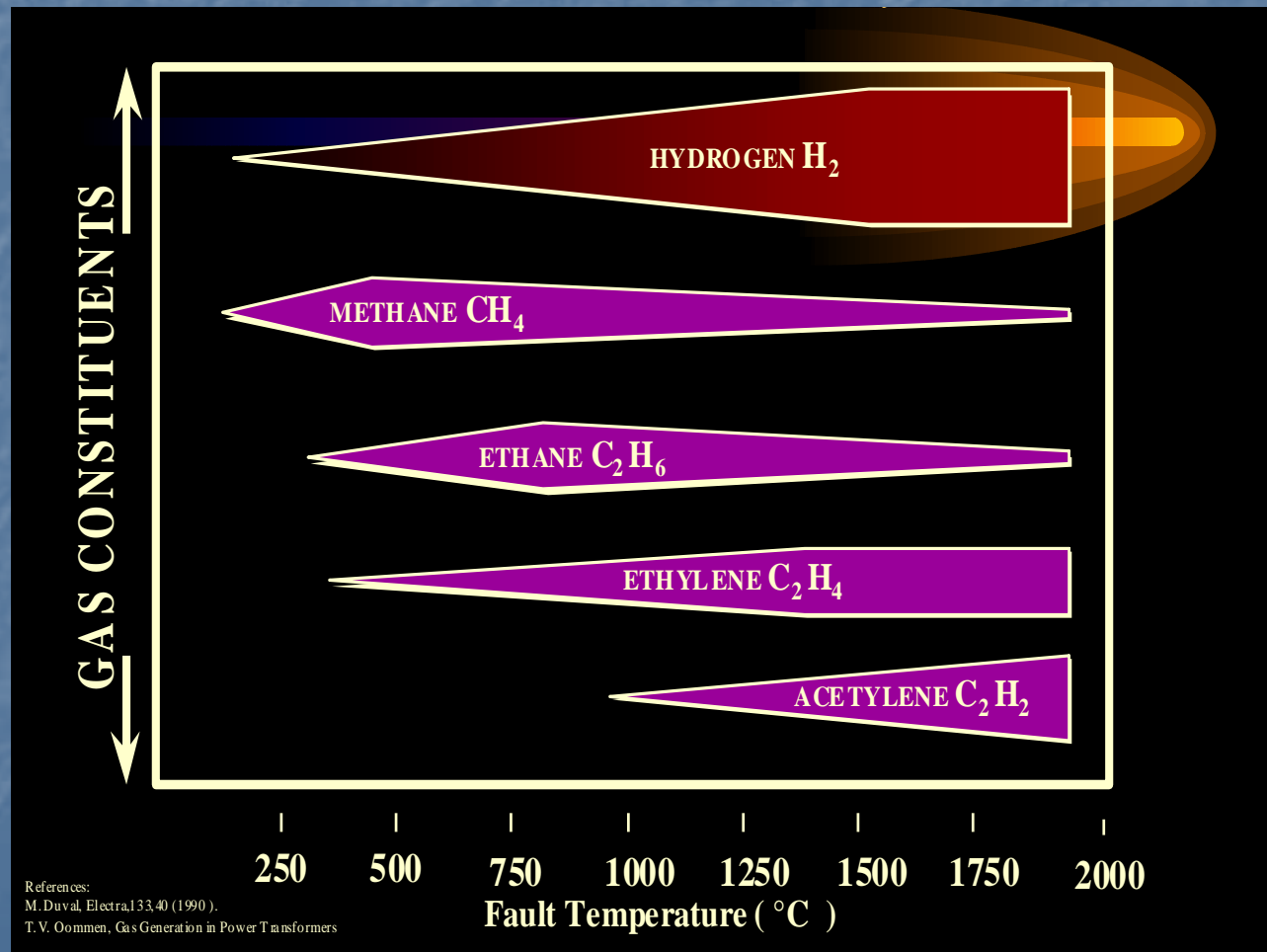
N<sub>2</sub> (Nitrogen)

# בדיקת גזים מומסים בשמן

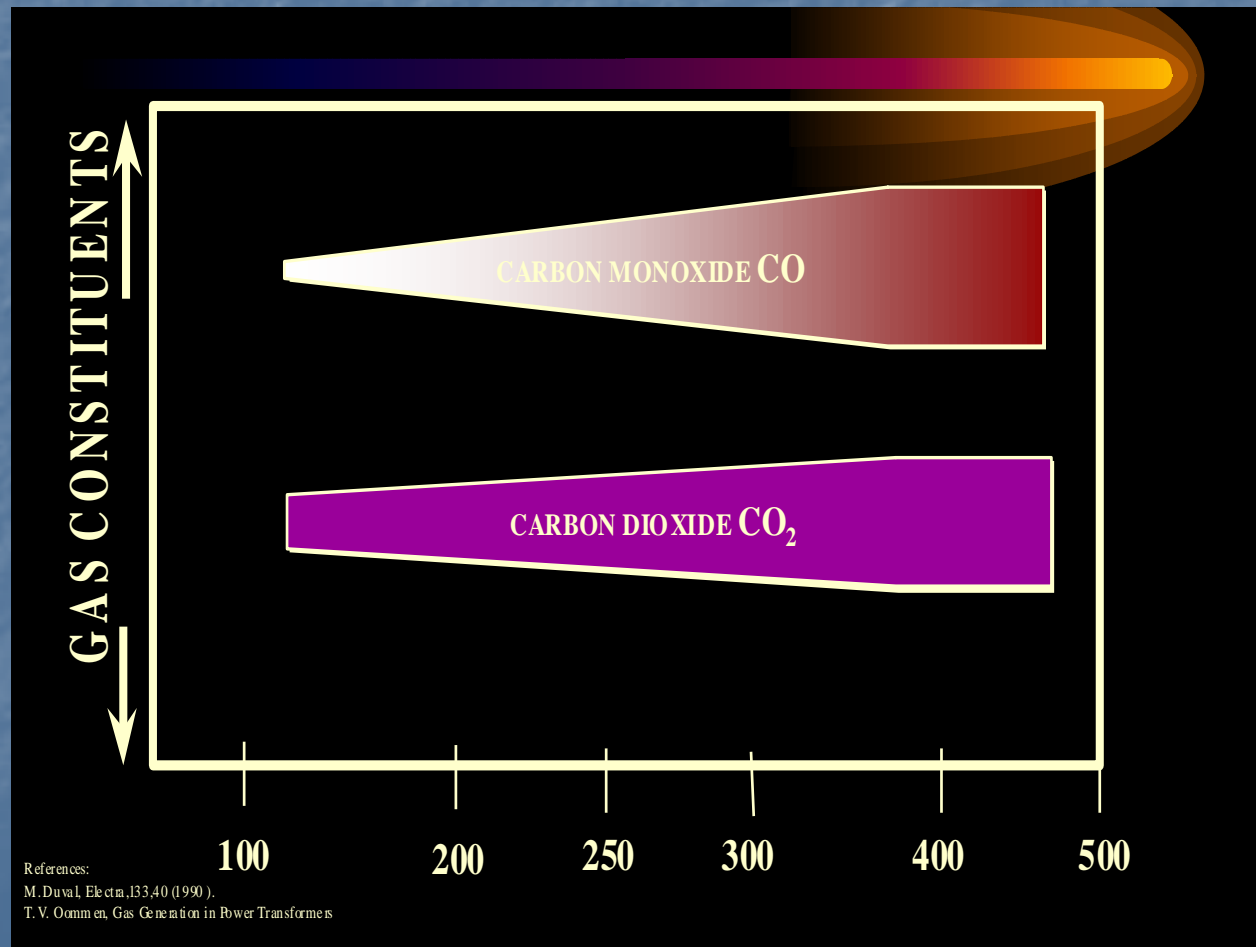
## Key gases

H <sub>2</sub>	PD and discharges of low energy
CH <sub>4</sub>	oil pyrolysis at the temperature 200- 500 °C
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	symptom of overheating above 500 °C when forming of carbon could be expected
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	discharges of high energy, oil overheating above 800 °C, intensive formation of carbon particles in oil, metal fusion
CO	overheating cellulose
CO <sub>2</sub>	Intensive oil oxidation

# פירוק שמן לגזים-Oil pyrolysis



# פירוק נייר-Cellulose pyrolysis



# סיווג תקלות

Symbol	Faults
PD	Partial Discharges
D1	Discharges of low energy
D2	Discharges of high energy
T1	Thermal fault $T < 300$
T2	Thermal fault $300 < T < 700$
T3	Thermal fault $T > 700$

# שיטות לניתוח DGA

Method IEC 60599

Rodgers Method (IEEE)

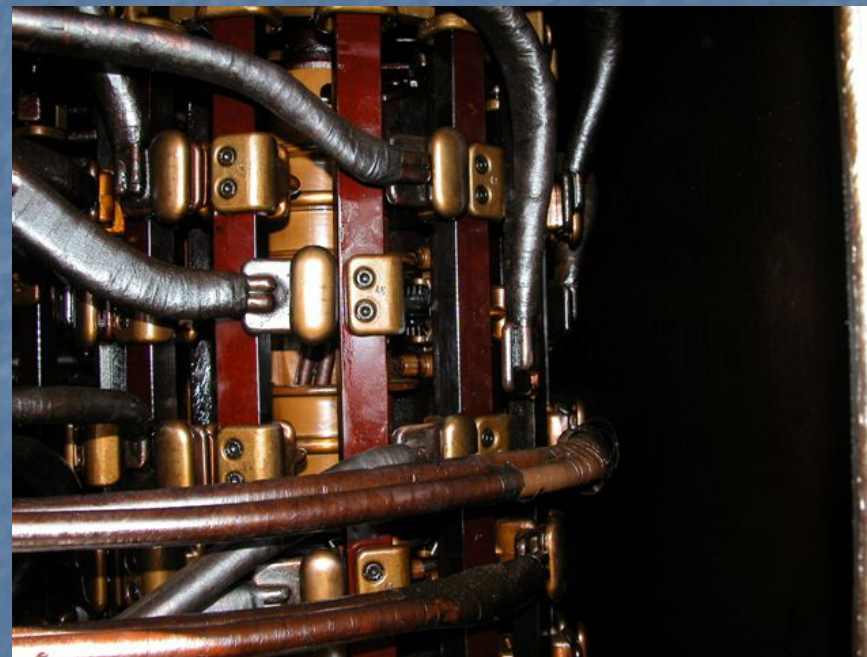
Duval triangle

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



מגע רופף

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



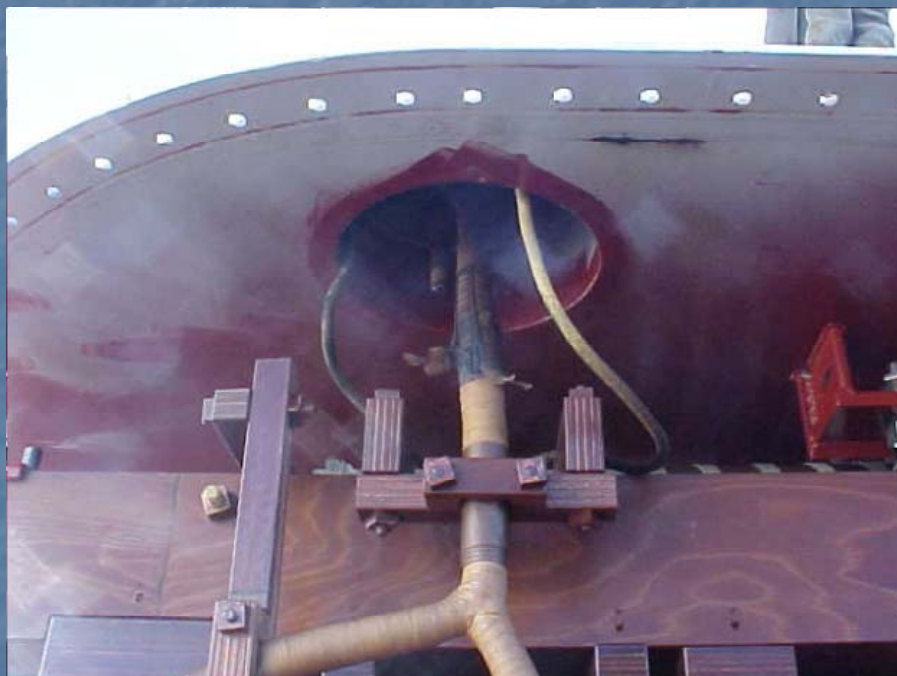
מגע רופף

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



מגע רופף

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



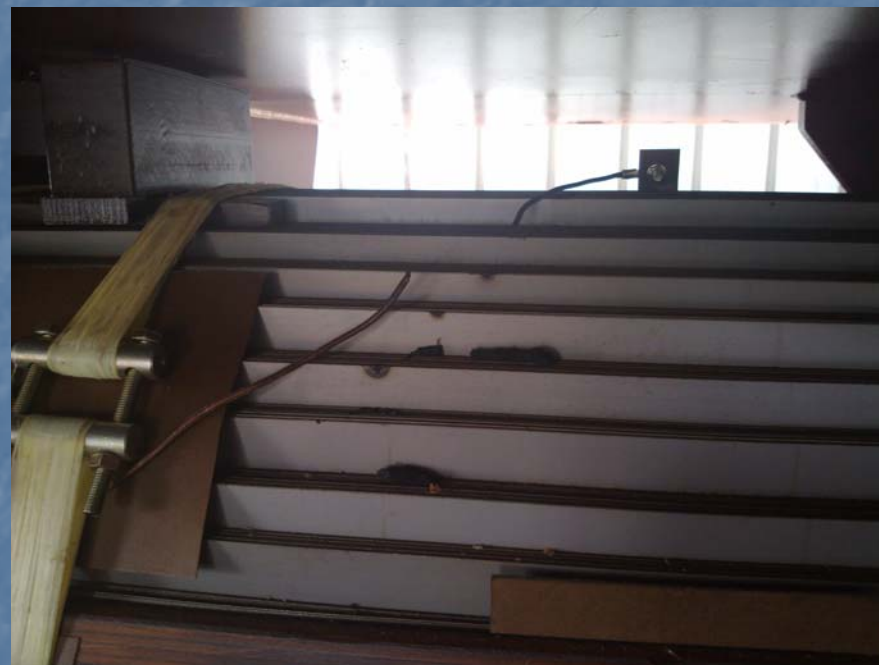
חדירת מים בתוך השנאי

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



חדירת מים בתוך השנאי

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



נתק בהארקת הגרעין

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



פיצוץ מבודד

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



דפורמציה של סלילים

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



דפורמציה של סילים

# דוגמאות לתקלות בשנאים הספק



שחרור בורג

# סיכום

- ביצוע כל הבדיקות הנ"ל מאפשר הסקת מסקנות נכונות על מצב שנאי הספק.

၇၀၀