

# Ensayos de máquinas eléctricas accionadas por inversores

eDrive de HBM  
**Analizador de potencia**

**Cálculo de potencia en TIEMPO REAL**

...y también...

**adquisición en continuo de datos para  
revisión, verificación y análisis  
posterior**



# Motores eléctricos: Varios ejemplos de aplicación



Inversor Frec. Variable Industrial



Motor industrial AC multi-fase



Bombas de alto rendimiento



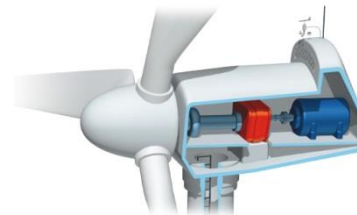
Coche eléctrico o híbrido



Motor de barco eléctrico



Carretilla elevadora eléctrica



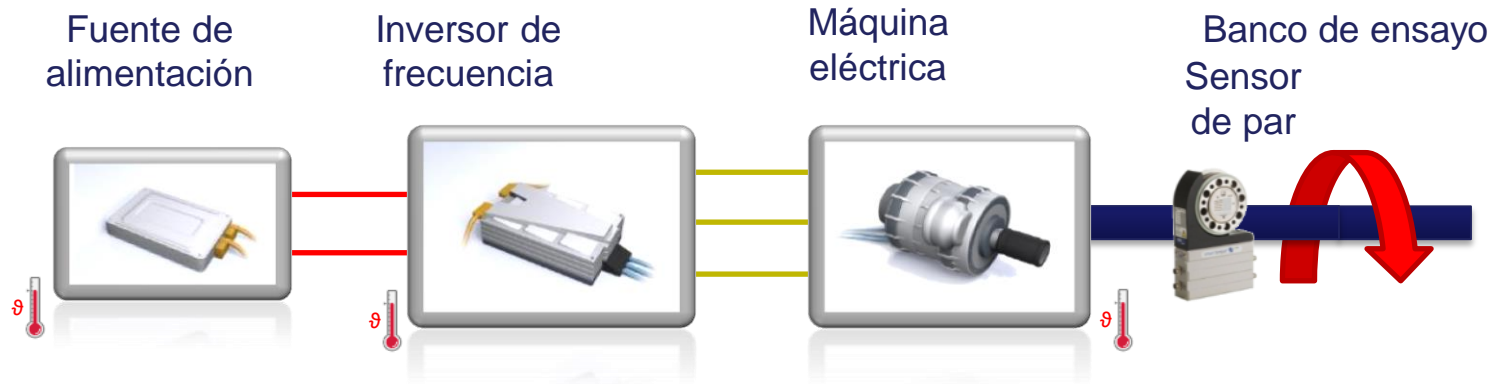
Generador de energía eólica



Accionamiento eléctrico en Airbus A320



Tren de alta velocidad



- Componentes del tren de transmisión eléctrica (simplificado)
  - Fuente de alimentación
  - Inversor de frecuencia
  - Máquina eléctrica
    - Opción: con transmisión
- Para mejorar la eficiencia del sistema, existen algunas posibilidades:
  - Mejorar el inversor
  - Mejorar la máquina eléctrica
  - Mejorar la relación entre inversor / máquina eléctrica
  - Mejorar la "estrategia" del conjunto

# eDrive: requerimientos del DAQ en transmisiones eléctricas



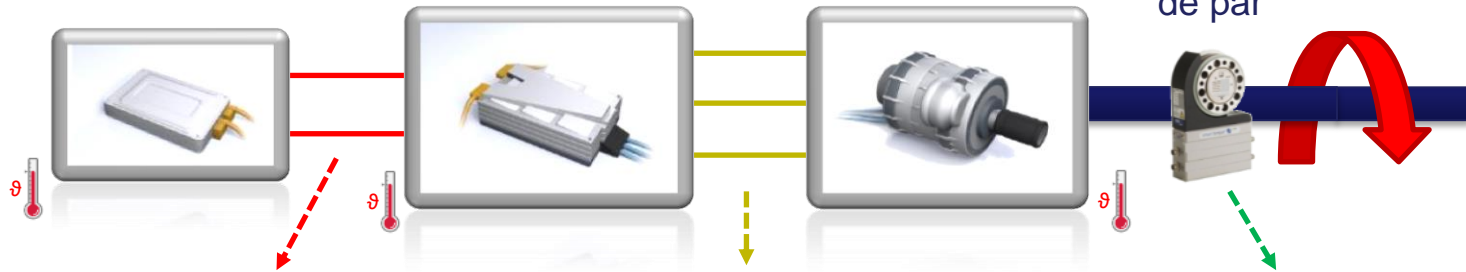
Fuente de alimentación (batería)

Inversor de frecuencia

Máquina eléctrica

Banco de ensayo

Sensor de par



## Salida Fuente de alimentación

- \* Voltaje
- \* Corriente
- \* Temperatura de la batería
- \* **Potencia eléctrica  $P_{in}$**

## Salida Convertidor de frecuencia

- \* Voltaje n-fase, pulsos modulados
- \* Corriente
- \* Comandos de control por CAN
- \* **Potencia eléctrica  $P$**

## Salida Máquina eléctrica

- \* Par
- \* Velocidad y posición
- \* Temperatura en el bobinado
- \* **Potencia mecánica  $P_{mech}$**

**Eficiencia convertidor de frecuencia**

**Eficiencia motor eléctrico**

**Eficiencia transmisión eléctrica**



## Problemas:

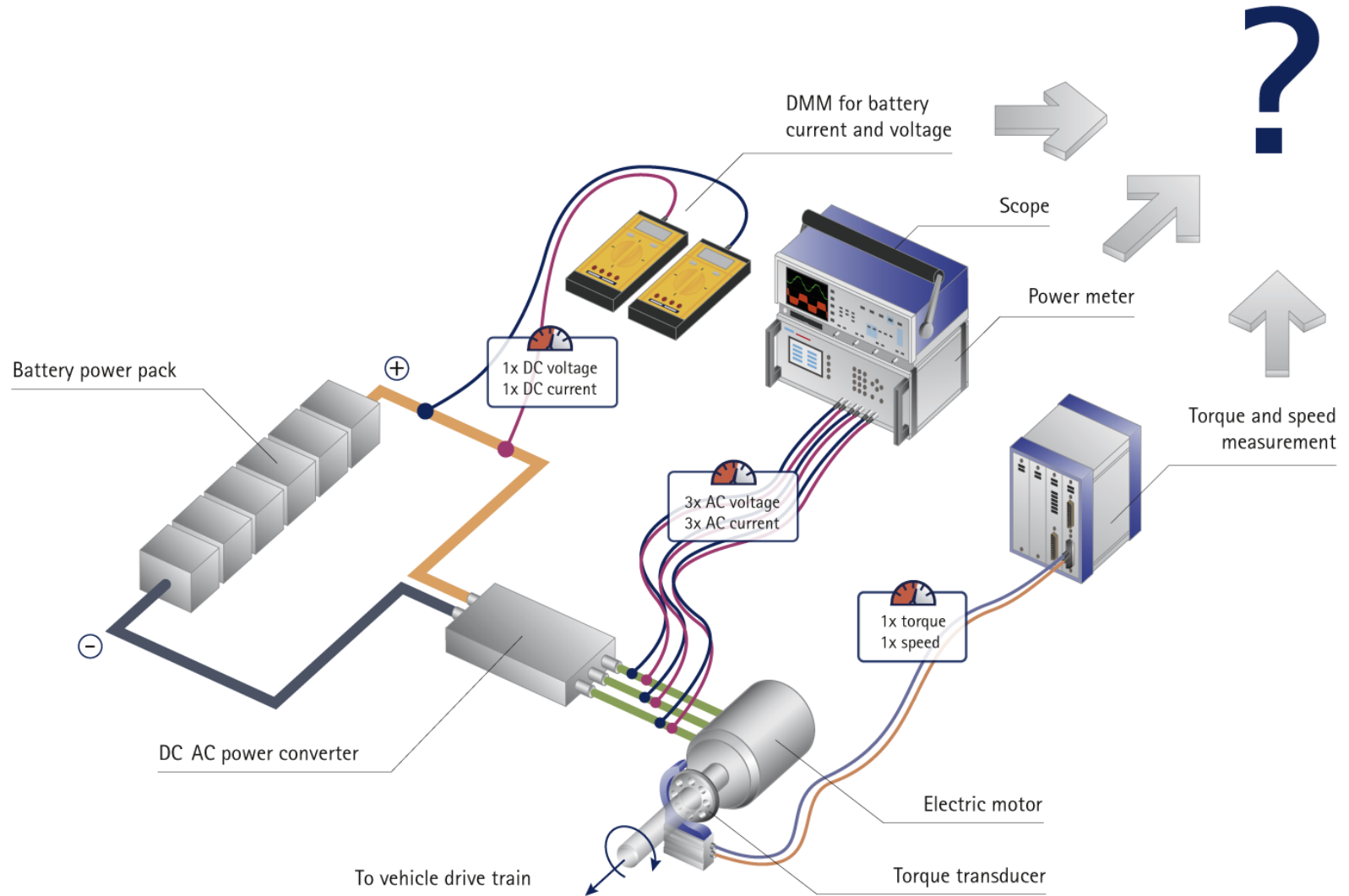
1. Sin datos originales (Raw data) disponibles para verificación o análisis
2. Sincronización de tiempo difícil entre distintos sistemas DAQ
3. Almacenamiento de datos en diferentes sistemas y formatos
4. Analizadores de potencia ofrecen poco número de cálculos por segundo y no son fiables en condiciones de cargas dinámicas (transitorios o rampas)
5. Sin verificación posible de cálculos, dado que no hay datos guardados



Comentario de un usuario:

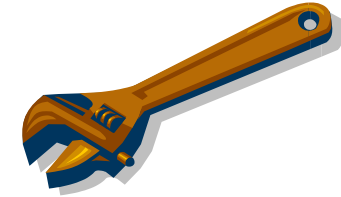
***“En ocasiones la eficiencia medida es superior a 1. No es un dato fiable, pero no podemos seguir analizando por no tener datos guardados”***

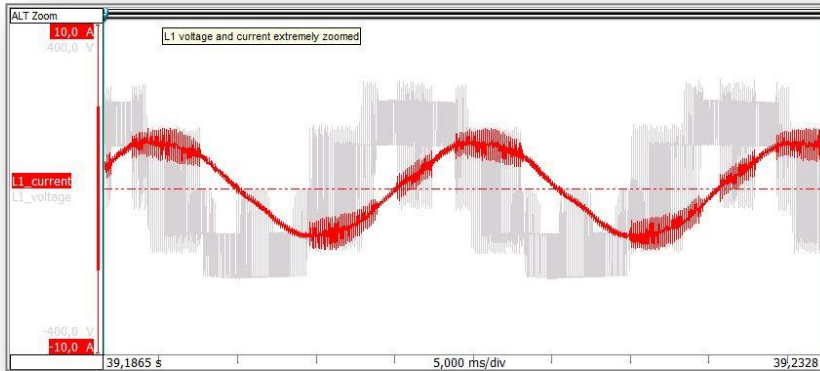
# eDrive: Ensayo de accionamientos eléctricos – Método tradicional



Note: For simplification, temperatures and CAN signals are not shown

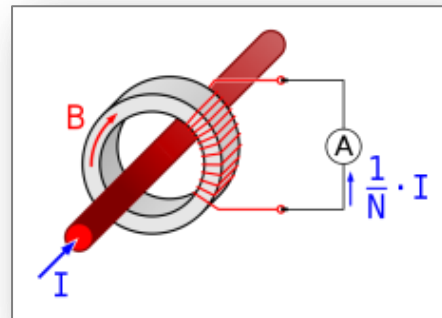
- Configuración simple del sistema
  - Un sistema para adquirir todas las señales
    - Voltaje, corriente, par, velocidad
    - Posición, temperatura, CAN, vibración...
  - Setup simple
- Adquisición fiable
  - Muestreo simultáneo de todas las señales
    - Sin desfase causado por diferentes sistemas de adquisición
  - Almacenamiento continuo a disco, con buffer circular
  - Un único formato para todos los datos adquiridos
- Resultados mejores y más rápidos
  - Análisis por medio ciclo con algoritmos documentados y trazables.
  - Resultados verificables
  - Análisis avanzados en base a datos brutos (Raw data)
- Integración en sistemas de control más fácil
  - Formato Open data
  - Software Interfaces modernos
  - Transferencia de datos Real Time a sistema de automatización





## Transformador de corriente

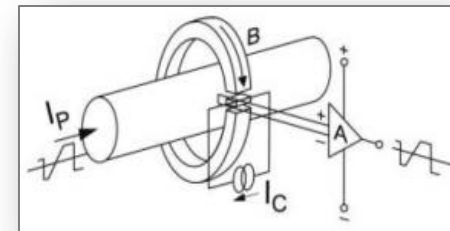
- Gran precisión y medio ancho de banda
- Complicación en la instalación
- Necesaria la adaptación de la señal (Salida en corriente)



Transformer principle

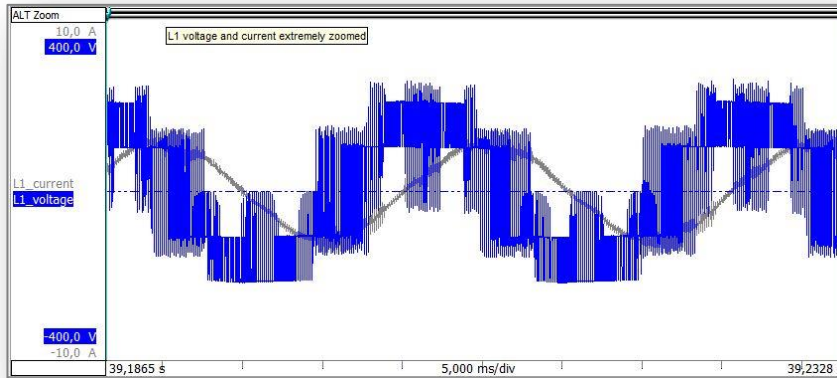
## Pinzas amperimétricas

- Menor precisión y gran ancho de banda
- Fácil uso



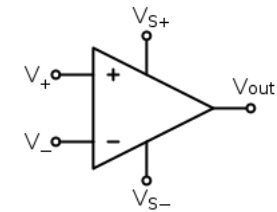
Hall effect principle

Otros métodos como los shunts de corriente es raro que se usen en aplicaciones eDrive



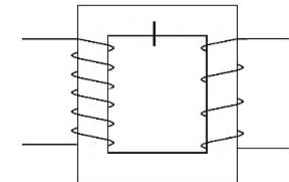
## Sonda activa diferencial

- Económico
- Fácil de usar
- Baja precisión



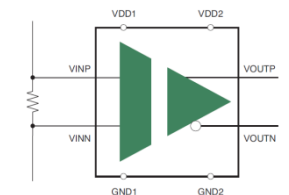
## Transductor/Transformador de voltaje

- Económico
- Necesita instalación
- Baja precisión

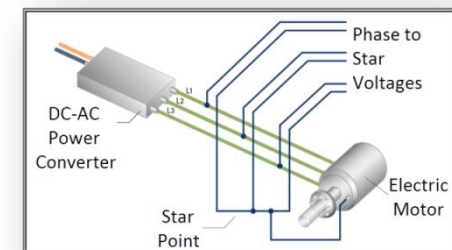
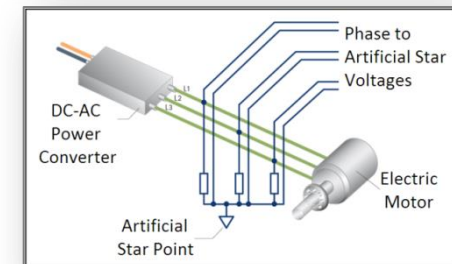
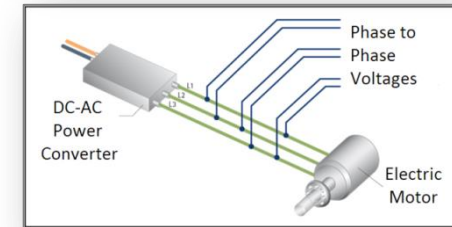
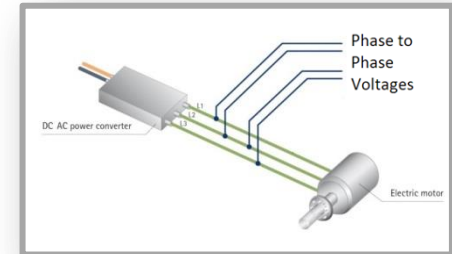


## Amplificador aislado

- Alto coste
- Seguro y fácil de usar
- Media precisión



- Fase a Fase n-1 (método de los 2 Watímetros)
  - Se miden los voltajes de dos Fase a Fase
  - Método económico, pero no valido para resultados por fase
  - Mal resultados con corrientes de entrada o de armadura
- Fase a Fase – Método común
  - Se miden los voltajes de tres Fase a Fase
  - Requiere cálculo matemático del voltaje de fase
  - No es bueno para medición de corrientes de entrada o de inducido
- Fase a estrella (artificial) – Método común
  - Se miden tres voltajes de Fase al „star point“ virtual
  - Requiere un adaptador de estrella virtual
  - La estrella artificial es creada por una red R/C
- Fase a estrella – Mejor método / Raramente usado
  - Se miden tres voltajes contra la estrella del motor
  - Es muy raro, porque normalmente no se puede acceder
  - Normalmente solo es posible en el estadio I+D del motor



- Para las señales mecánicas se utilizan transductores de par
  - El torquímetro T12 de HBM es el referente para esta aplicación
    - El transductor de par más preciso del mundo
    - Precisión hasta 0,01%
- Un transductor de par adquiere,
  - Par (M)
  - Velocidad (n) y ángulo ( $\gamma$ )
- La potencia mecánica entregada en el eje de accionamiento se calcula como:



$$P_{\text{mech}} = 2 \times \pi \times n \times M \quad \text{en} \left[ \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right]$$

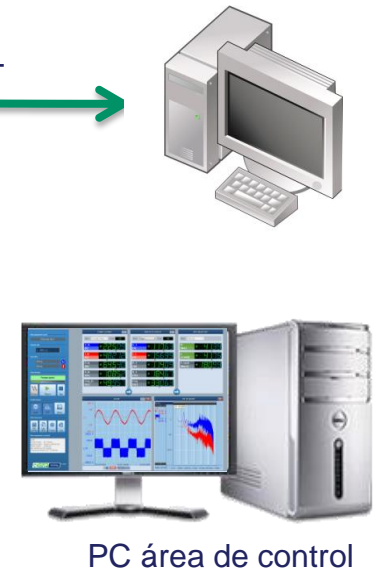
- Esta fórmula ofrece la potencia mecánica instantánea
  - Pero para un cálculo preciso de la eficiencia, la potencia mecánica debería ser calculada sobre el **mismo ciclo** que la potencia eléctrica

# eDrive: Concepto de ensayo de HBM



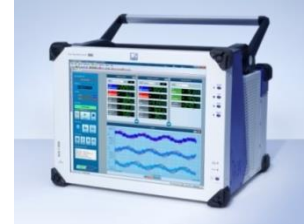
## Ventajas:

1. Adquisición síncrona de los datos en un solo archivo y formato
2. Grabación continua o snapshots por set point para la verificación y análisis
3. Cálculo de potencia en TIEMPO REAL, por cada medio ciclo
4. Transmisión de datos en tiempo real a sistema de automatización
5. Capacidades de análisis avanzado, como el space vector o la transformada dq0



- Sistema GEN DAQ

- Hasta **51 canales para mediciones de potencia (U & I)**
- Streaming continuo o **almacenamiento por setpoint en tiempo real**
- Soporta hasta 6 transductores de par



- Tarjeta de 6 canales de entradas aisladas (=3 canales de potencia)

- Voltaje hasta  $\pm 1000$  V, corriente mediante CT o pinzas amp.
- Frecuencia de muestreo 1 MS/s @ 18 bits. **Precisión en potencia 0,02%**
- Adaptador plug-in de estrella artificial
- Resistencias de carga Plug-in para los transformadores de corriente
- **Matemática programable por el usuario.** Resultados en tiempo real



- Transductor de par de alta precisión de HBM (con velocidad)

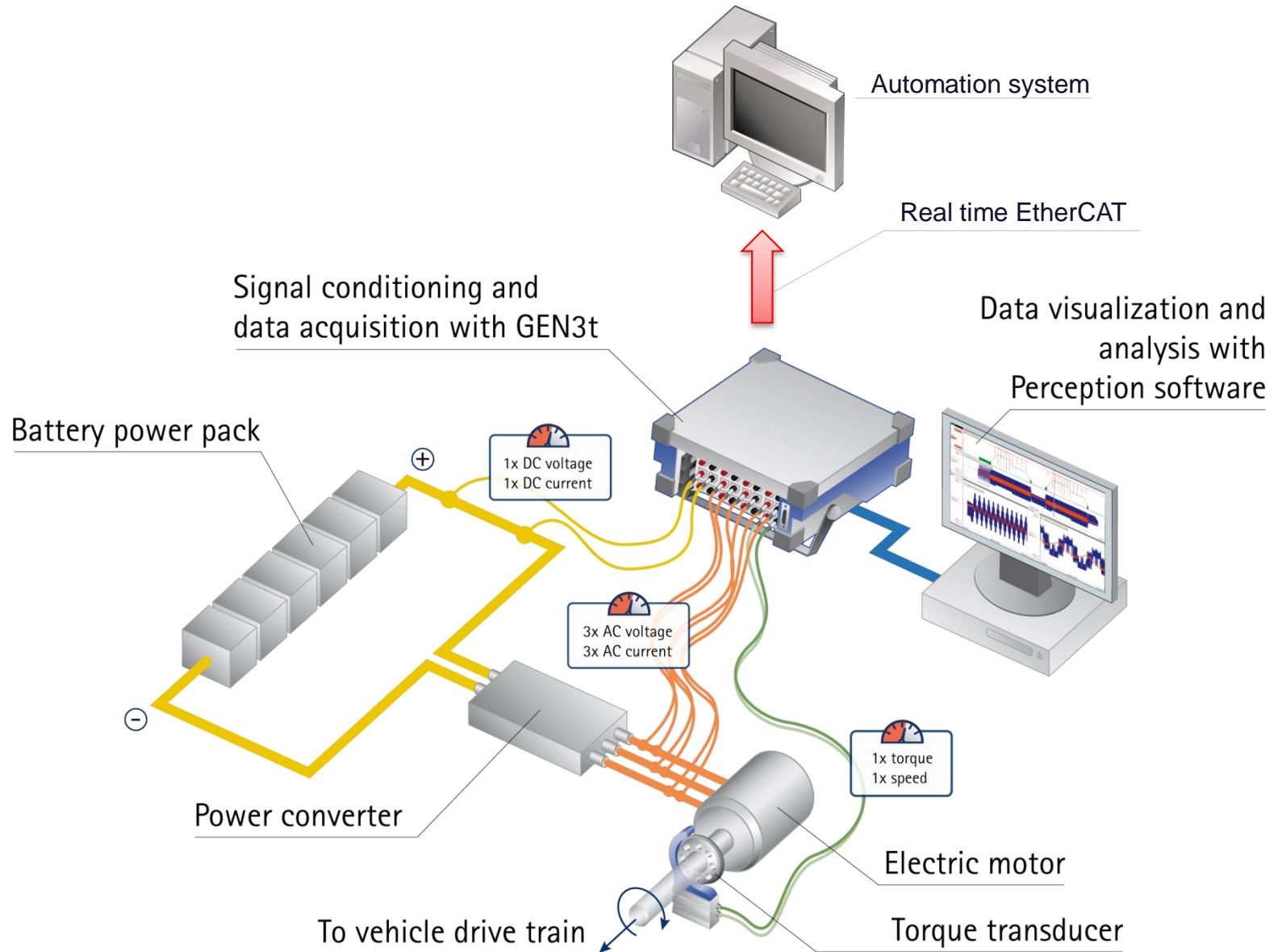
- T12HP. Precisión 0,02%

- Opciones

- Interfaz EtherCAT. **Transferencia de datos en tiempo real** a automatización
- Satélite de **temperatura**, 1 kV aislado, 8 canales
- Entrada **CAN**
- Entradas para **deformaciones, vibraciones...**



# eDrive: Concepto de ensayo de HBM





GEN7i mainframe for up to 21 power channels, T40B torque transducer, satellites for isolated TC and CAN, CT's and burden resistors, HV shielded cables

# eDrive SETUP: Configuración del ensayo en un menú sencillo, simple



**eDrive - Setup**

Next experiment name  
Drive test | 16

Acquisition setup  
1 MS/s | Change

Mode: Continuous

Length: 1 s

Pre trigger: 0 %

Learn more...

Input filter  
ON | 100 kHz | U

Actions  
System settings | Review formulas | Torque shunt

Next experiment comment  
*You can enter your comment text over here*

**eDrive testing** by HBM

**POWER SOURCE**

None  
 DC  
 1ph (or pulsed DC)  
 3ph: phase to phase (with star conversion)  
 3ph: phase to neutral

**INVERTER OUTPUT**

Phase to phase (with star conversion)  
 Phase to artificial star  
 Phase to star  
 Phase to phase n-1 (with star conversion)  
 Phase to ground (with star conversion)

**MOTOR OUTPUT**

None  
 Shaft only  
 Shaft only (with position)  
 Shaft and transmission  
 Differential lock only

Span (peak to peak)

**u\_in:** 1 kV

**i\_in:** 800 A

Current transducer

Type: Database sensor  
i\_in: LEM IT400 - HBR2.5

Span (peak to peak)

**Voltages:** 1 kV

**Currents:** 800 A

Current transducer

Type: Database sensor  
i\_1: LEM IT400 - HBR2.5  
i\_2: LEM IT400 - HBR2.5  
i\_3: LEM IT400 - HBR2.5

Span

**M\_mot:** 1000 Nm

**n\_mot:** 10000 RPM

**M\_mech:** 1000 Nm

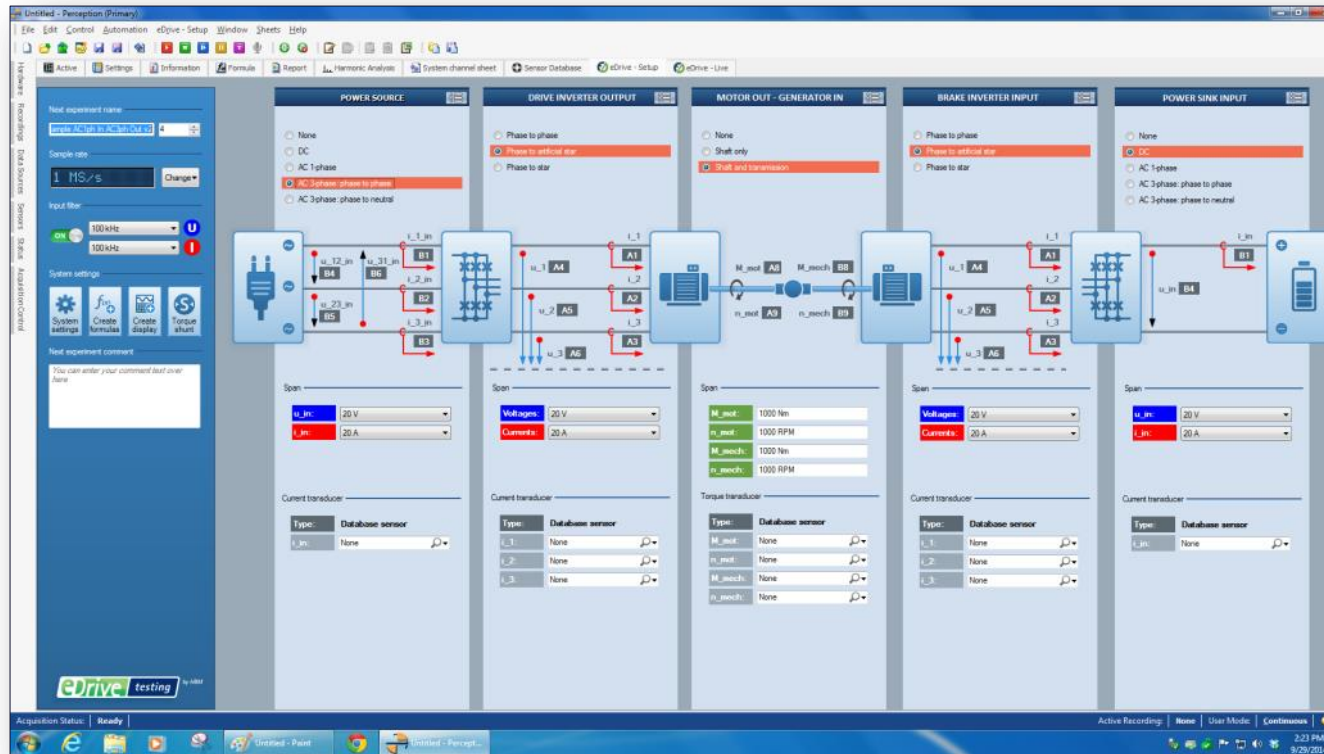
**n\_mech:** 10000 RPM

Torque / speed transducer

Type: Database sensor  
M\_mot: T40B 1 kNm 60 kHz  
n\_mot: T40B 1 kNm RPM  
M\_mech: T40B 1 kNm 60 kHz  
n\_mech: T40B 1 kNm RPM

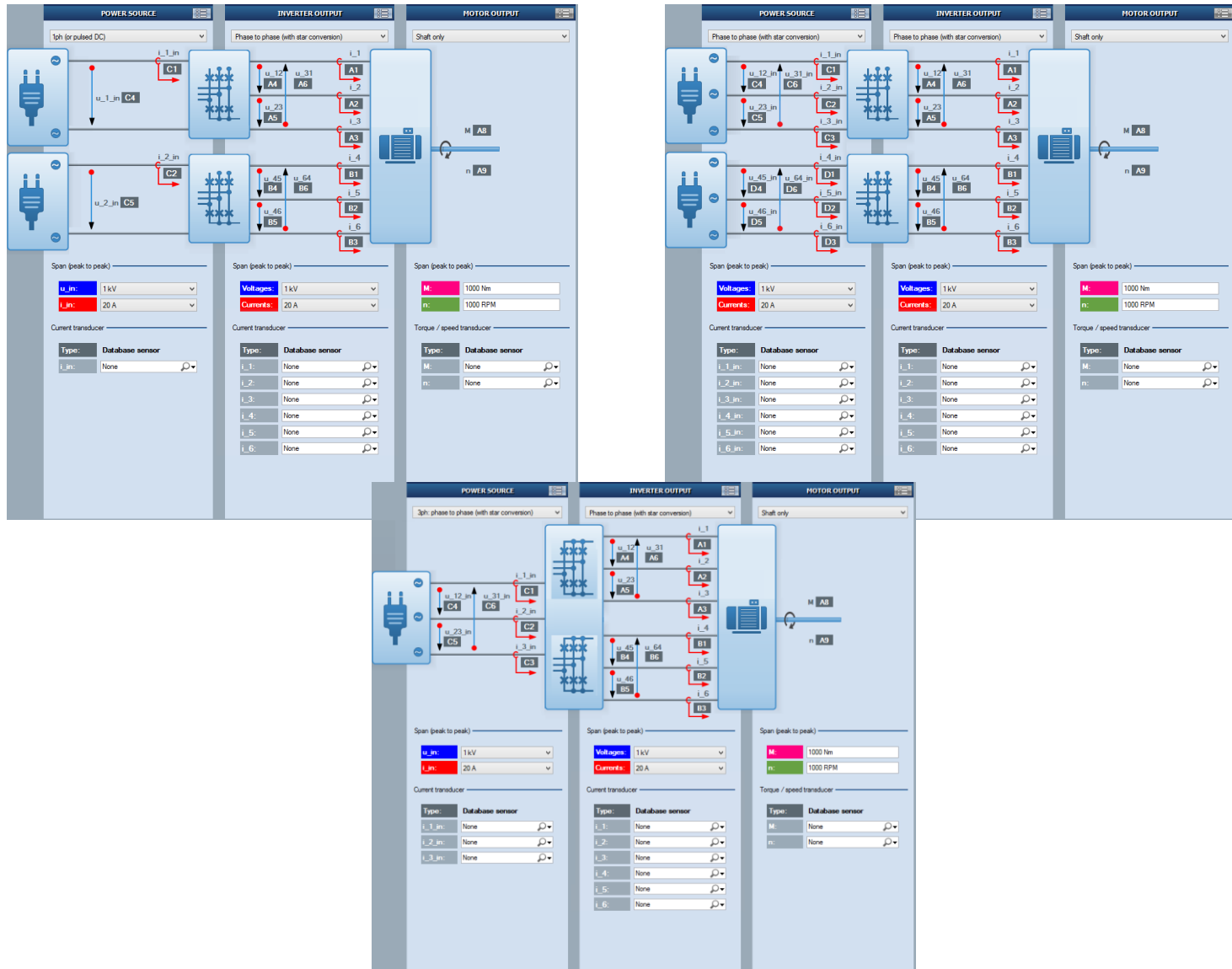
16

- Una máquina eléctrica se prueba enfrentada a sí misma
  - Las tablas de eficiencia para el motor y el modo generador se hacen juntas
  - Por lo tanto, el tiempo de ensayo se acorta



- Con un analizador de potencia estándar necesita **dos unidades** sincronizadas
- Con eDrive tan solo es necesario tres tarjetas -> **menor coste**
  - La interficie del software iguala la aplicación (imagen)

# eDrive setup: 6 fases



# eDrive LIVE: Resultados numéricos como un Power Meter tradicional



The screenshot displays the eDrive LIVE software interface, which is organized into three main vertical columns for data monitoring: POWER SOURCE, INVERTER OUTPUT, and MOTOR OUTPUT. Each column contains several digital readouts (DMMs) for various electrical and mechanical parameters. The interface also includes a control panel on the left with settings for experiment name, sample rate, input filter, data storage, and screen layout. At the bottom left, there are icons for calculator, logging, freezing, and copying data. A comment box at the bottom provides details about the current experiment setup.

Parameter	Value	Unit
U <sub>in</sub>	+226.16	[V]
I <sub>in</sub>	+884.40	[A]
P <sub>in</sub>	+8589.0	[W]
S <sub>in</sub>	+8996.9	[VA]
Freq <sub>in</sub>	+849.98	[Hz]
U <sub>1</sub>	+800.00	[V]
I <sub>1</sub>	+888.58	[A]
P <sub>1</sub>	+803.88	[W]
S <sub>1</sub>	+859.62	[VA]
Freq	+820.88	[Hz]
M	+844.50	[Nm]
n	+832.89	[1/min]
P <sub>mech</sub>	+853.28	[Nm/s]

Next experiment name: ASM model 25r007

Sample rate: 1 MS/s

Input filter: 100 kHz

Data storage: Preview active

Screen layout: Scope, FFT, Meters

Other functions: Calc settings, Log values, Freeze, Copy

Next experiment comment: ASM  
Power source: AC 1-phase  
Inverter output: Phase to artificial star  
Motor output: Shaft only  
All currents via AYA clamps  
Torque and Speed via T12 500 Nm

eDrive testing by HBM

# eDrive LIVE: Resultados numéricos y osciloscopio



# eDrive LIVE: Resultados numéricos, osciloscopio y FFT



# LIVE: Resultados numéricos, osciloscopio y más contadores



**eDrive - Live**

Next experiment name  
ASM model 29x007

Sample rate  
1 MS/s

Input filter  
100 kHz

Data storage  
Preview active

Preview Record Stop

Screen layout  
Scope FFT Meters

Other functions  
Calc settings Log values Freeze Copy

Next experiment comment  
ASM  
Power source: AC 1-phase  
Inverter output: Phase to artificial star  
Motor output: Shaft only  
All currents via AYA clamps  
Torque and Speed via T12 500 Nm

**eDrive testing** by HBM

**POWER SOURCE**

Show: AC Single Phase Cycle: OK

U<sub>in</sub> [V] +225.74

I<sub>in</sub> [A] +885.73

P<sub>in</sub> [W] +8775.8

S<sub>in</sub> [VA] +12950

Freq<sub>in</sub> [Hz] +849.99

**INVERTER OUTPUT**

Show: Phase 1 Cycle: OK

U<sub>1</sub> [V] +109.51

I<sub>1</sub> [A] +1837.83

P<sub>1</sub> [W] +13289

S<sub>1</sub> [VA] +20121

Freq [Hz] +827.13

**MOTOR OUTPUT**

Show: Shaft only

M [Nm] +859.84

n [1/min] +832.11

P<sub>mech</sub> [Nm/s] +201.25

**METERS**

U <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>
109,5 v	1,837 A
U <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>
110,3 v	1,93 A
U <sub>3</sub>	I <sub>3</sub>
109 v	1,964 A
λ	P <sub>loss_inv</sub>
626,2 m	382,6 W
η <sub>inv</sub>	
50,69 %	

**SCOPE**

5,0 A  
500,0 V

2,5  
250,0

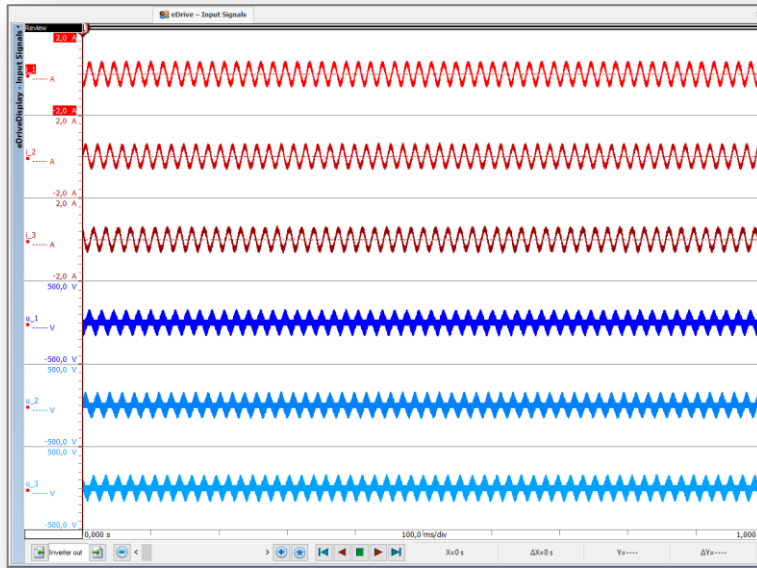
-2,5  
-250,0

-500,0 V  
-5,0 A

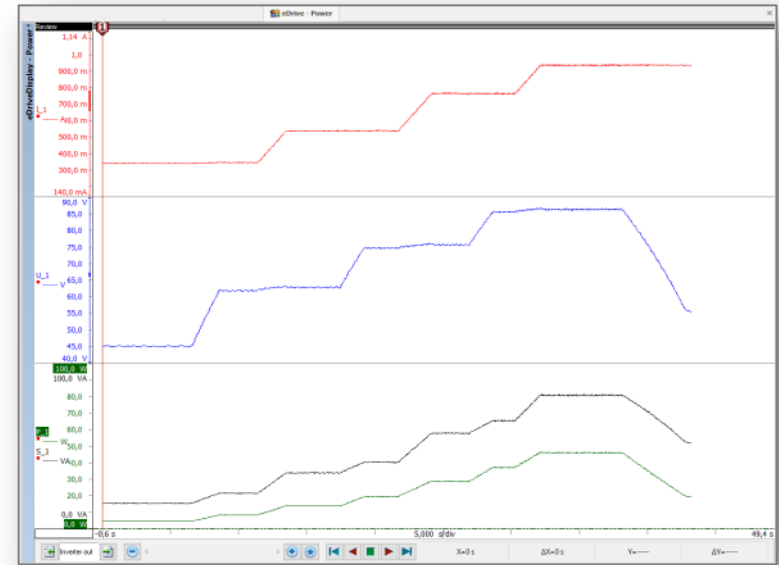
I<sub>1</sub>  
u<sub>1</sub>

05:26,0286 5,000 ms/div 05:26,0786

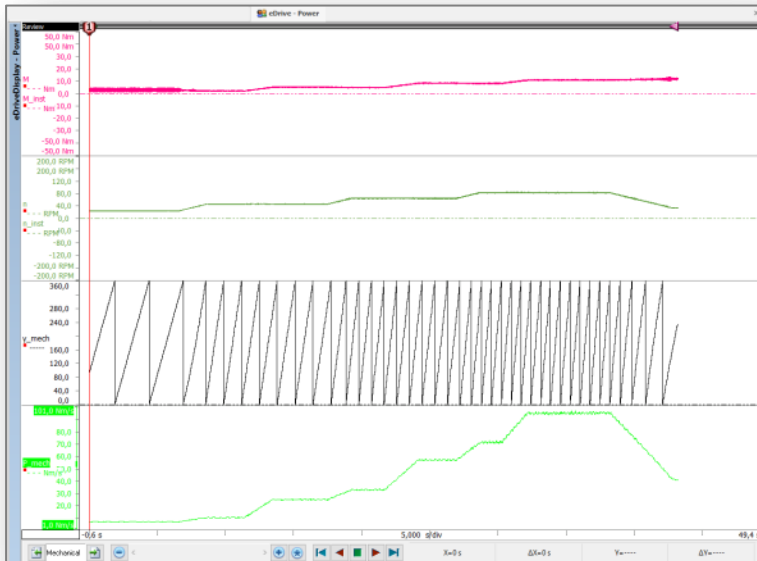
# eDrive LIVE: Pantallas con señales de entrada, potencia, eficiencia...



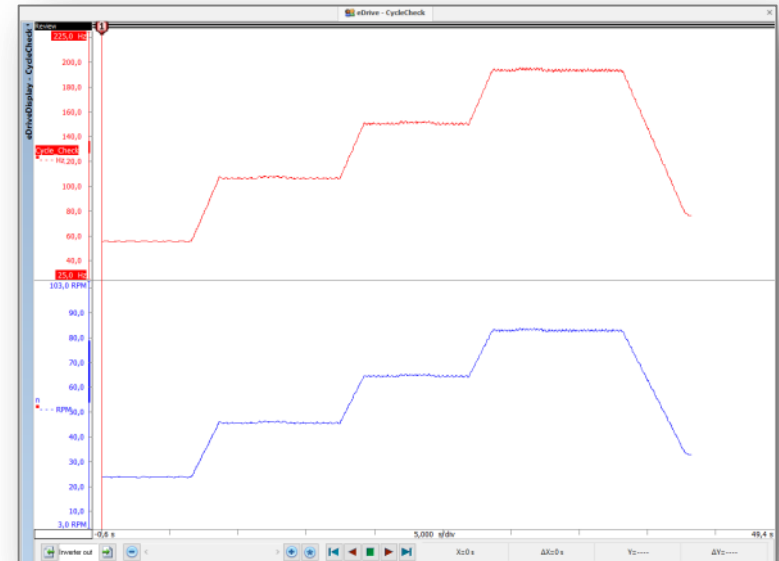
Input voltages and currents



Phase 1 RMS of voltage and current, P, S

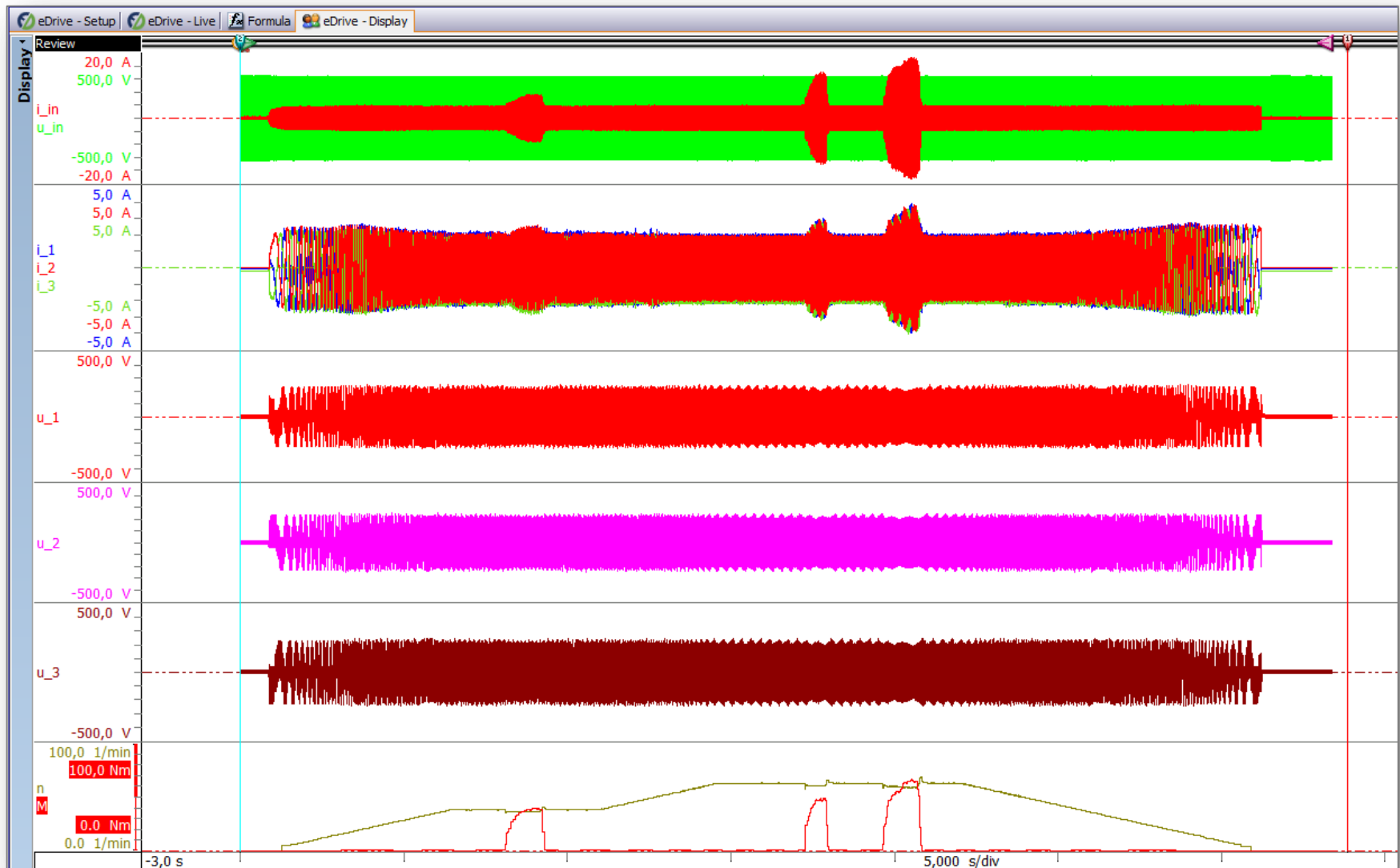


Torque, speed, angle and mechanical power

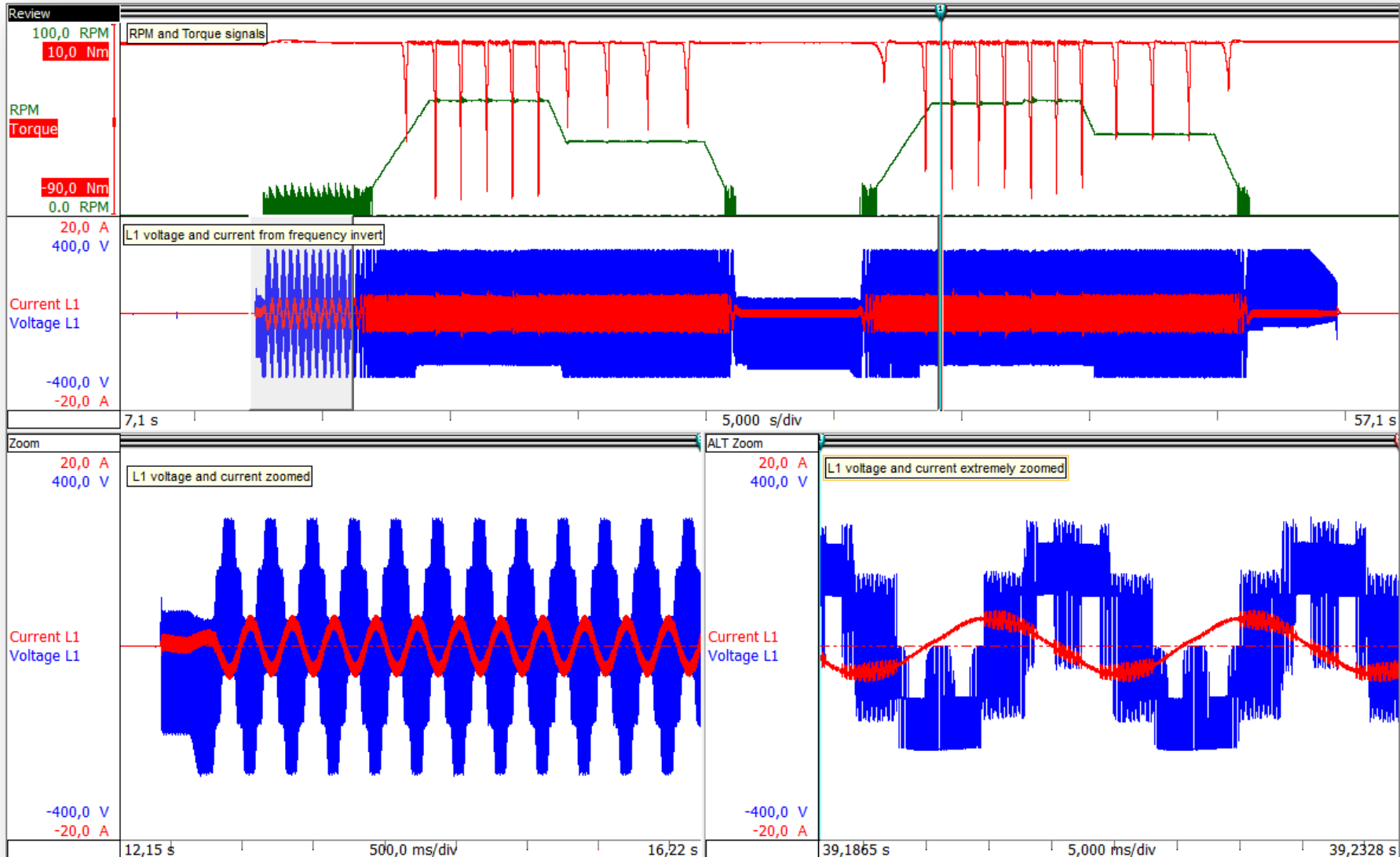


RPM and CycleCheck signal

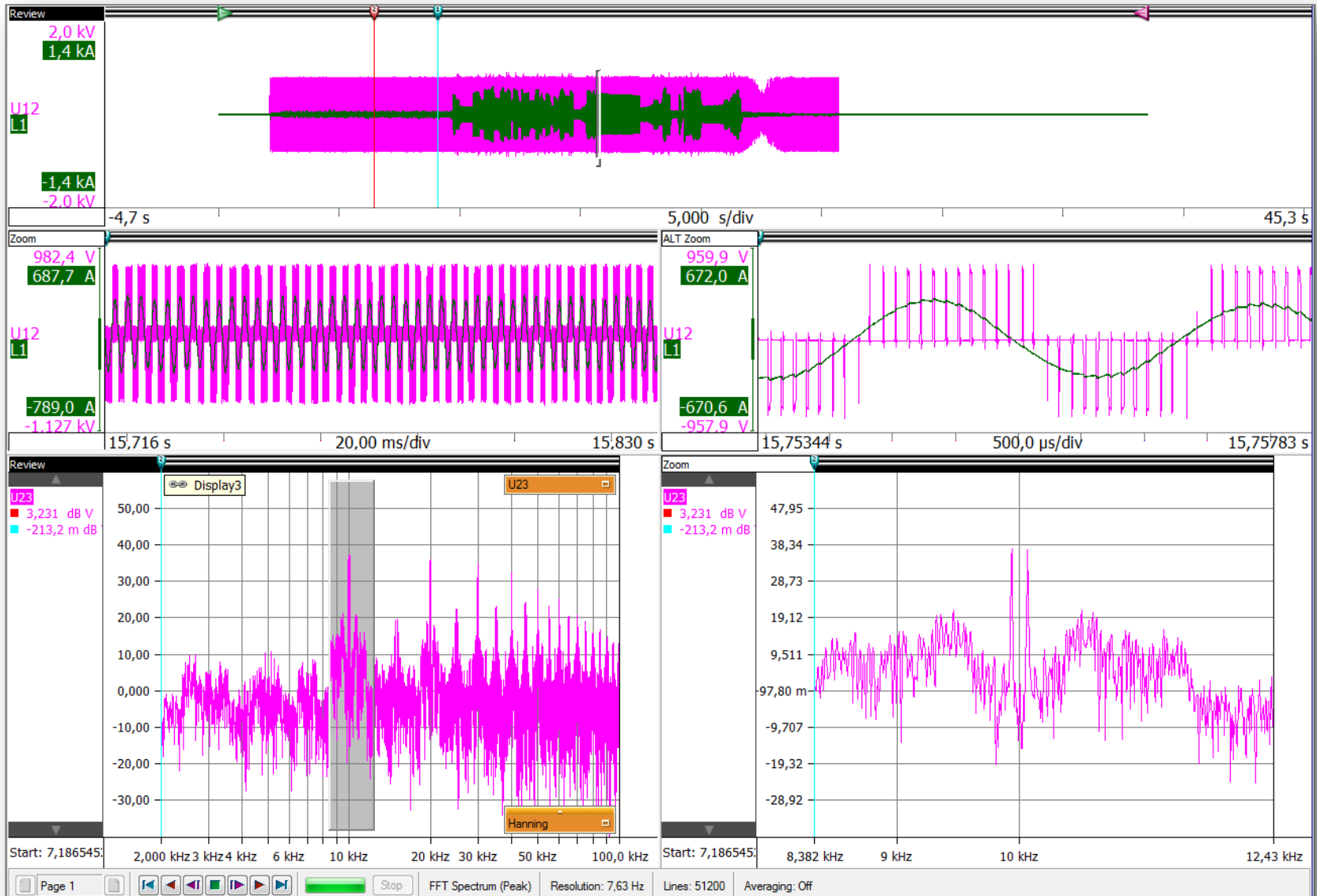
# REVISIÓN: Señales típicas, adquisición continua durante 1 minuto



# REVISIÓN: Información general, zoom y segunda ventana de zoom



# eDrive: Voltaje de una fase, corriente y espectro



- Señales de entrada que se medirán

- Voltaje  $u$
- Corriente  $i$
- Par  $M$
- Velocidad  $n$

- Cálculo de potencia (simplificado)

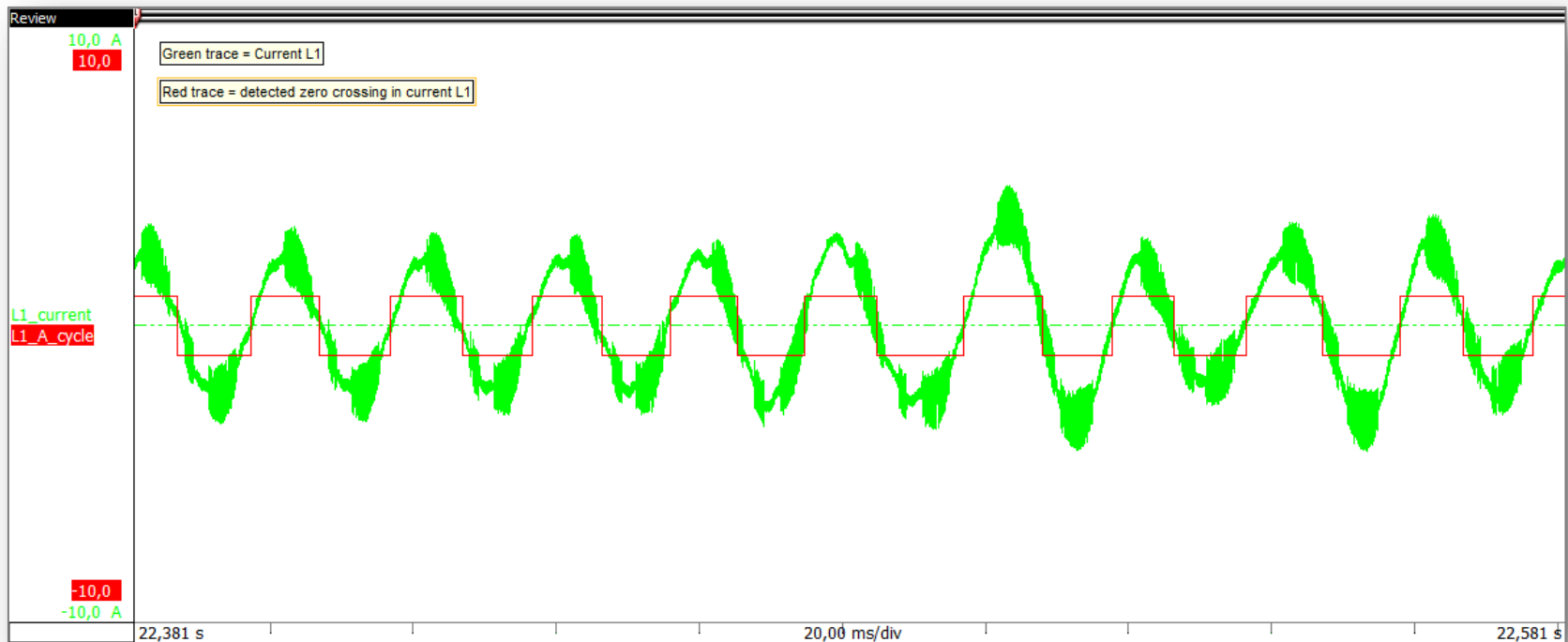
- Potencia eficaz  $P = \text{MEAN}_{\text{cycle}} (u \times i)$
- Potencia aparente  $S = (\text{RMS}_{\text{cycle}} u) \times (\text{RMS}_{\text{cycle}} i)$
- Potencia mecánica  $P_{\text{mech}} = \text{MEAN}_{\text{cycle}} (2 \times \pi \times n \times M)$

- Cálculo de eficiencia

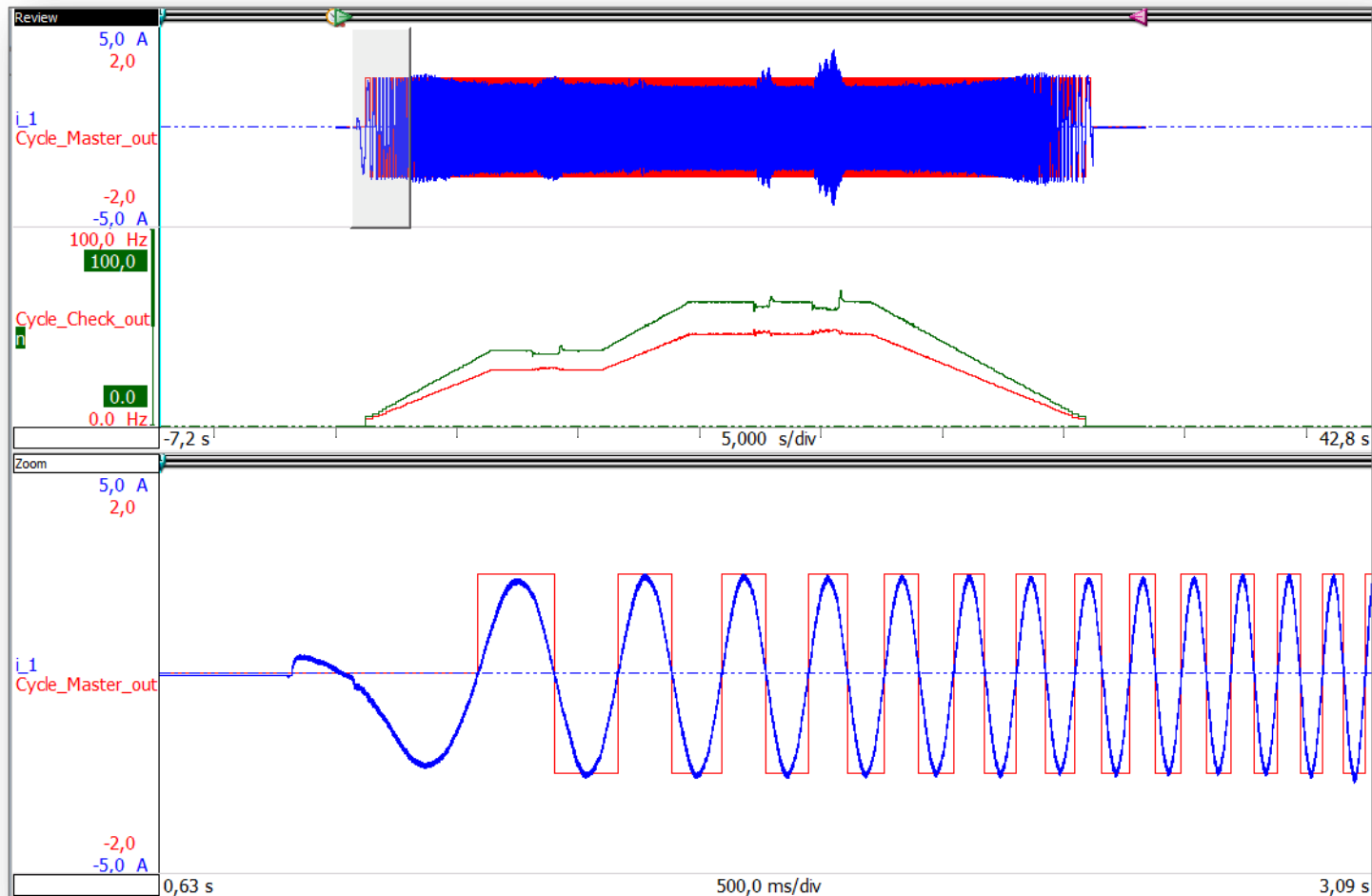
- Eficiencia del motor eléctrico  $\eta \text{ (Eta)} = P_{\text{mech}} / P$

Nota: Todo este análisis se realiza en tiempo real. Se puede rehacer en el post-proceso






- Para calcular la potencia es necesario conocer los ciclos de las señales
- Detectar el paso por cero de las señales es difícil debido al ruido eléctrico
- El software Perception detecta el ciclo usando algoritmos avanzados
  - El resultado es mostrado para poderse verificar



# eDrive: Verificación de la “detección de ciclo”



- La integridad de la detección de ciclo se comprueba por la frecuencia de la señal
  - La frecuencia del ciclo no debe contener picos o caídas (= doble/perdida de ciclo)
  - Debe tener la misma forma de onda que las rpm

- Detección de ciclo  

- RMS del voltaje y la corriente de cada fase  

- Potencia instantanea por fase  

- Potencia efectiva por fase  

- Potencia mecánica  

- Eficiencia del motor

99	Cycle_Master_out	@CycleDetect ( Cycle_source_out ; Cycle_level_out ; Cycle_hyst_out )	
----	------------------	--	--

109	I_1	@CycleRMS ( i_1 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	
110	I_2	@CycleRMS ( i_2 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	
111	I_3	@CycleRMS ( i_3 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	

117	U_1	@CycleRMS ( u_1 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	
118	U_2	@CycleRMS ( u_2 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	
119	U_3	@CycleRMS ( u_3 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	

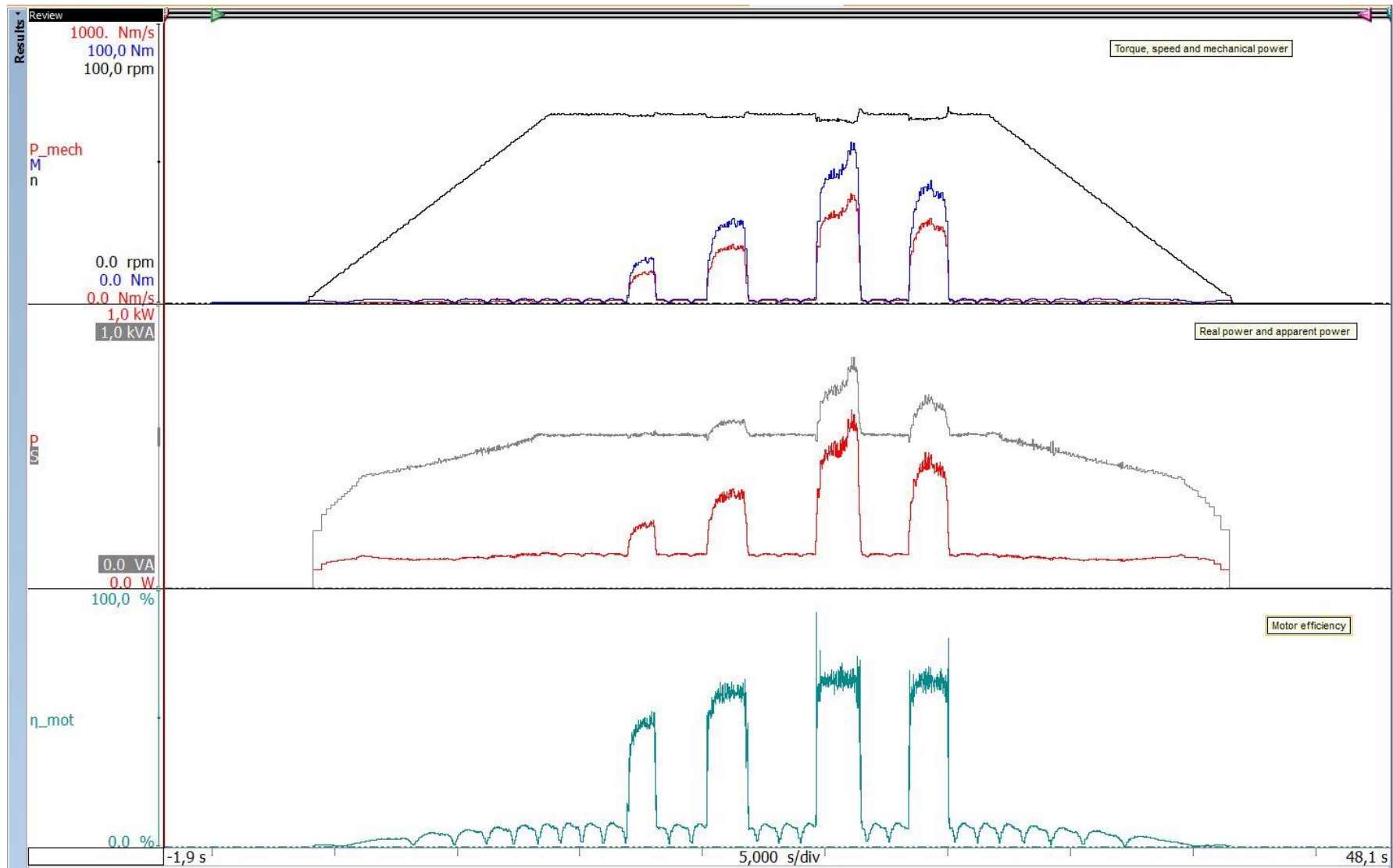
128	p_1	u_1 * i_1	W
129	p_2	u_2 * i_2	W
130	p_3	u_3 * i_3	W

132	P_1	@CycleMean ( p_1 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	W
133	P_2	@CycleMean ( p_2 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	W
134	P_3	@CycleMean ( p_3 ; Cycle_count_out ; Cycle_Master_out )	W
135		The sum of the active power per phase gives the total active power	
136	P	P_1 + P_2 + P_3	W

196	P_mech	$2 * \pi * n / 60 * M$	Nm/s
-----	--------	------------------------	------

257	$\eta_{mech}$	$(P_{mech} / P) * 100$	%
-----	---------------	------------------------	---

# eDrive: Algunos resultados calculados mostrados Perception

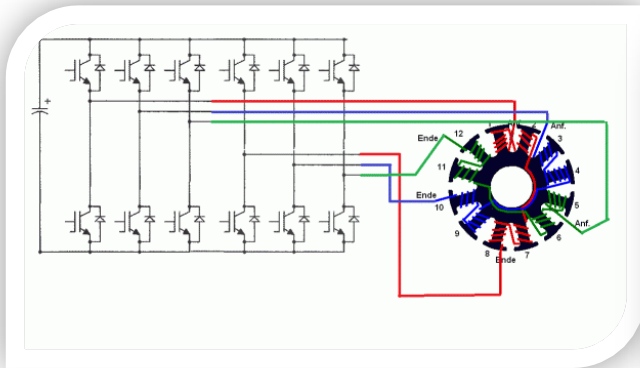


De arriba a abajo: energía mecánica, energía eléctrica (P y S), Eficiencia Motor

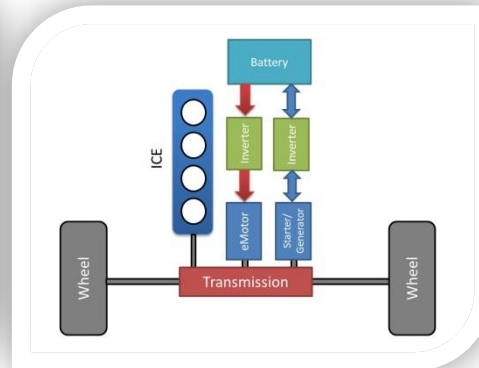
- El análisis mostrado hasta ahora se basa en fórmulas almacenados en el sistema
- Los resultados calculados incluyen
  - Conversion Delta a Star & Aron a Star
  - TrueRMS de todas las señales de tensión y corriente
  - $p, P, Q, S$  de entrada y salida del inversor, por fase y total
  - $\lambda, \varphi_{\text{fund}}, \cos\varphi_{\text{fund}}$  de entrada y salida del inversor
  - $P_{\text{mech}}$  de uno o dos transductores de par
  - $\eta, P_{\text{loss}}$  para el inversor, el motor, la transmisión y total
- Todo esto se realiza en tiempo real mientras la adquisición se está ejecutando. Los resultados se almacenan en el archivo de datos y se pueden revisar en segundos
- Los siguientes ejemplos de análisis muestran lo que puede hacer con los datos, creando el usuario sus propias fórmulas

# Cálculo de potencia en tiempo real para aplicaciones exigentes

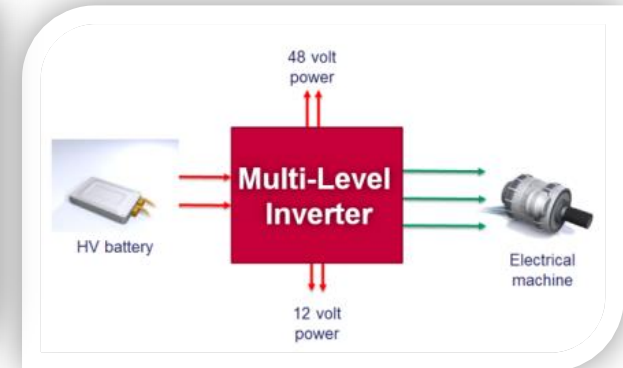
- El usuario puede introducir sus propias fórmulas para responder a necesidades específicas
  - Estas fórmulas de usuario se ejecutan en tiempo real
  - Los resultados se pueden mostrar como trazas y en metros, y se almacenan
- Así, el usuario puede adaptar el sistema a aplicaciones complejas



Máquina de 6 fases



Tren de transmisión híbrido



Inversor multinivel

Example formulas:

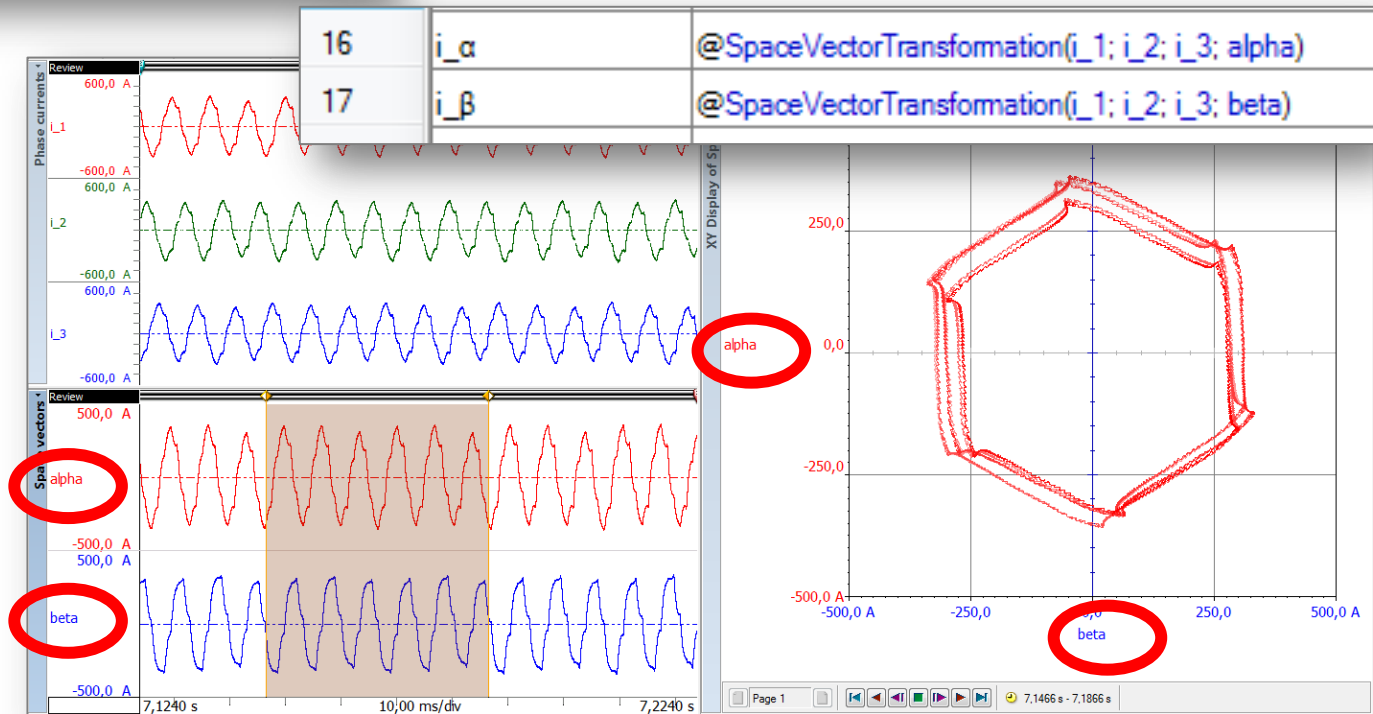
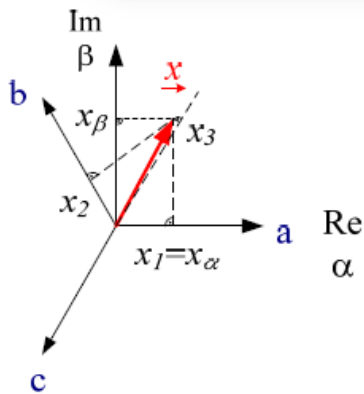
P_L1	@CycleMean ( RTFormulas.p_1 ; RTFormulas.Cycle_Master )
P_L2	@CycleMean ( RTFormulas.p_2 ; RTFormulas.Cycle_Master )
P_L3	@CycleMean ( RTFormulas.p_3 ; RTFormulas.Cycle_Master )
	The sum of the active power per phase gives the total active power
P_tot	RTFormulas.P_L1 + RTFormulas.P_L2 + RTFormulas.P_L3

Standard formulas for 3ph real power

P_L1	@CycleMean ( RTFormulas.p_1 ; RTFormulas.Cycle_Master )
P_L2	@CycleMean ( RTFormulas.p_2 ; RTFormulas.Cycle_Master )
P_L3	@CycleMean ( RTFormulas.p_3 ; RTFormulas.Cycle_Master )
P_L4	@CycleMean ( RTFormulas.p_4 ; RTFormulas.Cycle_Master )
P_L5	@CycleMean ( RTFormulas.p_5 ; RTFormulas.Cycle_Master )
	The sum of the active power per phase gives the total active power
P_tot	RTFormulas.P_L1 + RTFormulas.P_L2 + RTFormulas.P_L3 + RTFormulas.P_L4 + RTFormulas.P_L5

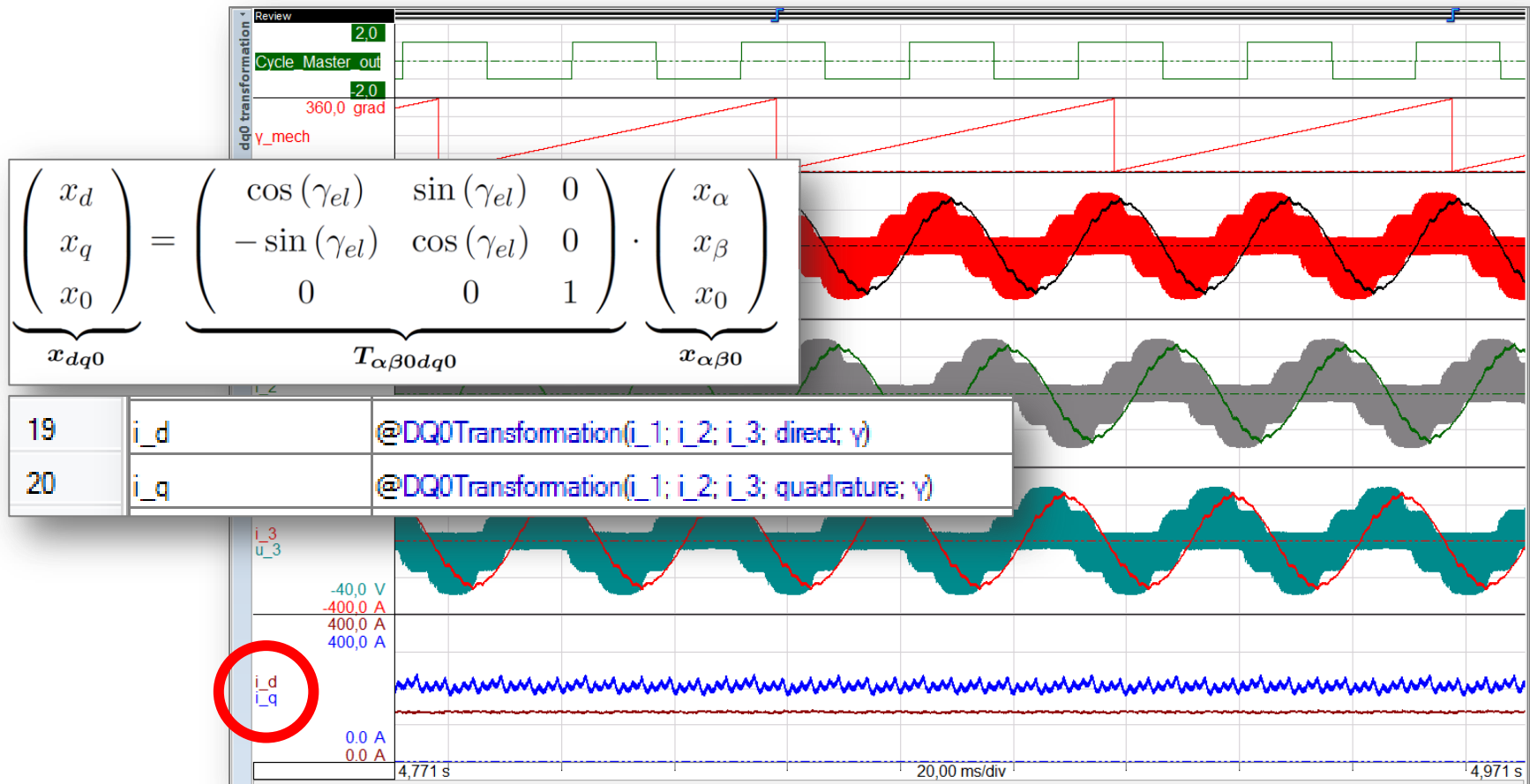
User entered formulas for 5ph real power

$$\vec{x}(t) = \frac{2}{3} (x_1(t) + \underline{a} \cdot x_2(t) + \underline{a}^2 \cdot x_3(t)) = x_\alpha + jx_\beta$$



- A partir de las corrientes de fase conocidas,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  se calcula los “space vector”  $i_\alpha$  y  $i_\beta$ .
- Vectores espaciales representan las tres entidades (a, b, c) de un sistema de 3 fases utilizando dos entidades independientes lineales ( $\alpha$ ,  $\beta$ ).
- Por lo tanto los modelos de motor se simplifican y los algoritmos de control pueden ser creados con mayor facilidad.
- El  $i_\alpha$  y  $i_\beta$  resultante se pueden representar como display xy y mostrar el desequilibrio del sistema.

# Post-Análisis: transformada dq0 (Park transformation)

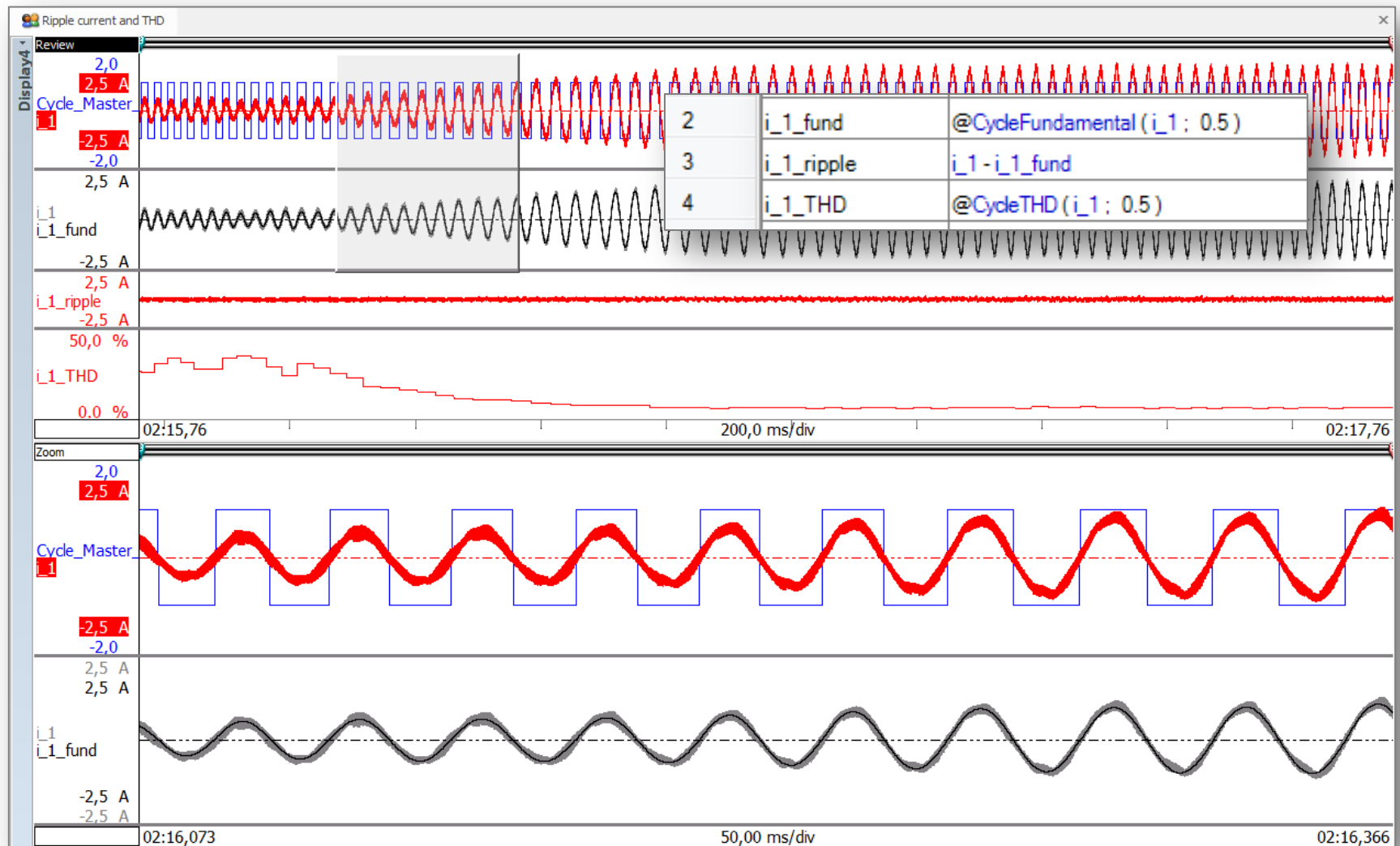


A partir de las señales  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ , se calculan los vectores espaciales  $i_\alpha$ ,  $i_\beta$  y usando el ángulo del motor  $\gamma$ , se transforma en un sistema de coordenadas rotacional.

Las corrientes resultantes  $i_d$  e  $i_q$  son constantes (para setpoints estáticos) representando los componentes de corriente que crean el Par y el flujo.

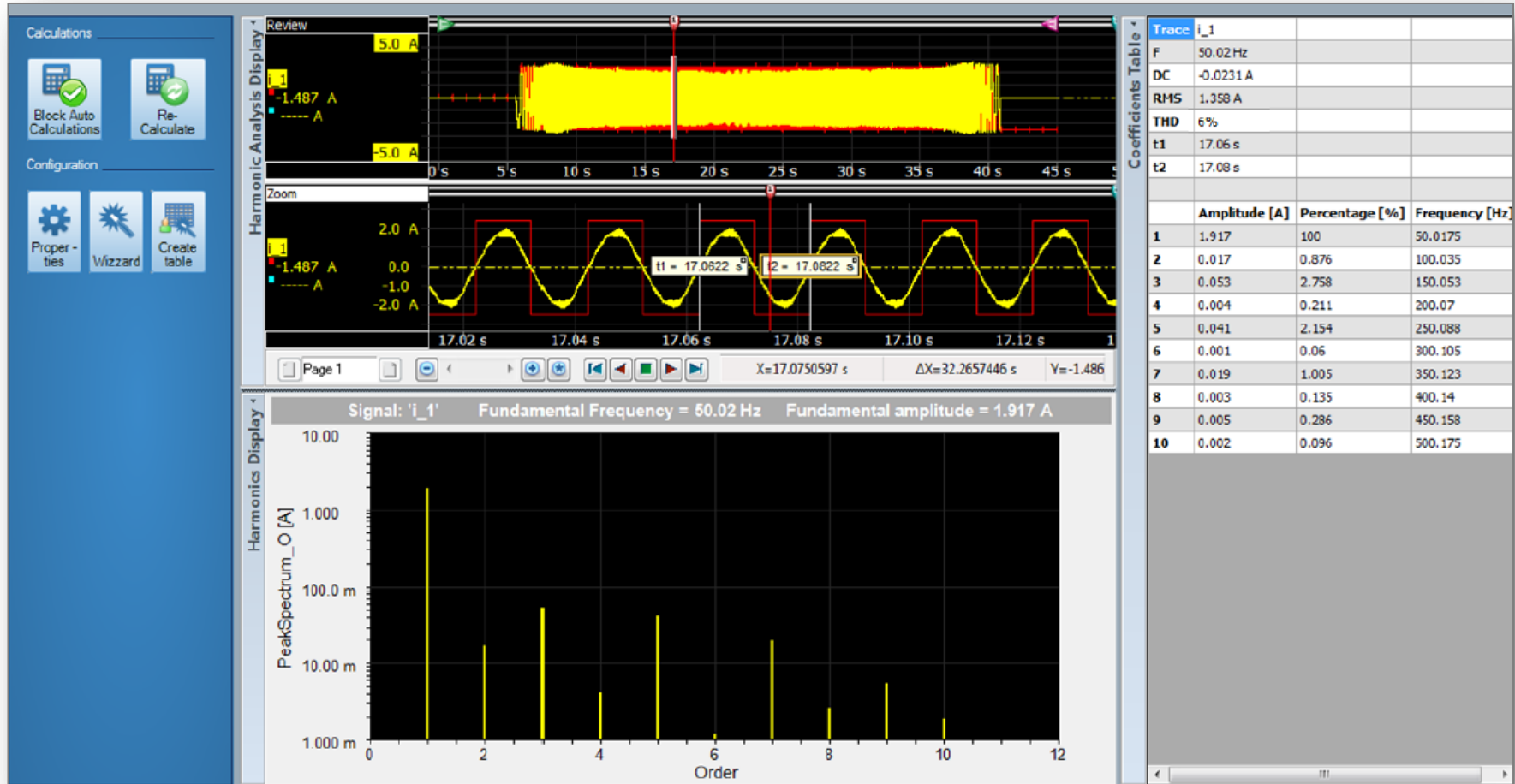
Por lo tanto, los algoritmos de control son muy fáciles de verificar.

# Post-Análisis: Corriente Fundamental, corriente de rizado, THD

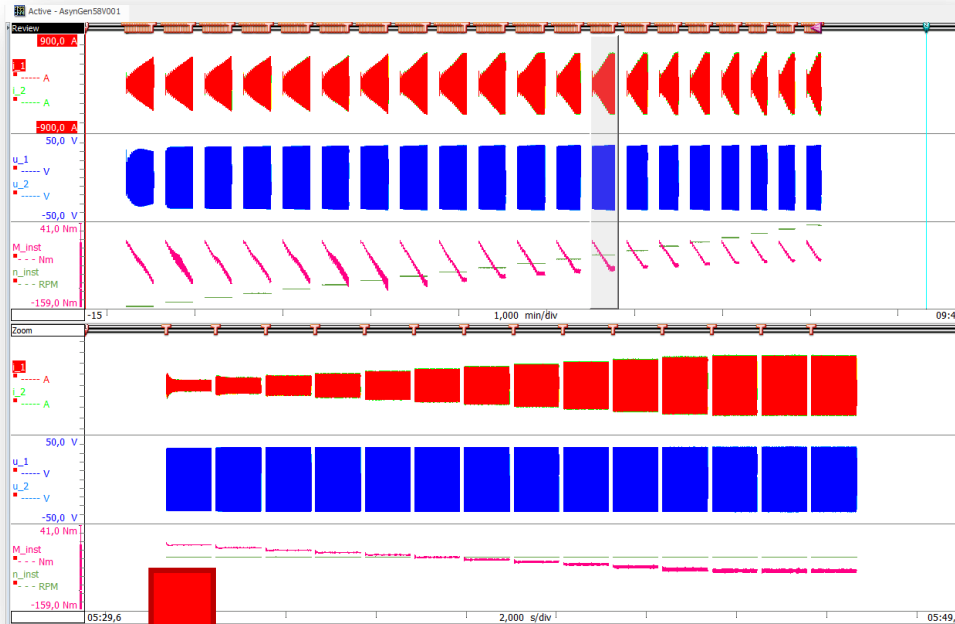


Corriente ( $i_1$ ), corriente fundamental ( $i_{1\_fund}$ ), corriente de rizado ( $i_{1\_ripple}$ ) y THD ( $i_{1\_THD}$ ); calculado por medio ciclo

# Post-Análisis: Armónicos de señal



Análisis Armónico bajo estándar → IEC61400-21 // EN61000-4-7 // IEC61000-3-2  
En versión 7.5 (Sept'18) en tiempo real

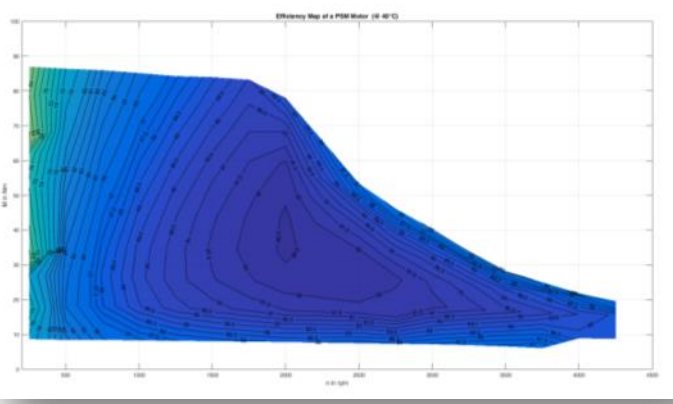


M	n	P_mech	P_elect	η	P_tot
43.40 Nm	240.00 rpm	1136.10 W	161.82 W	0.83	1300.35 W
52.80 Nm	240.00 rpm	1460.20 W	202.27 W	0.83	1660.52 W
62.20 Nm	240.00 rpm	1880.30 W	262.72 W	0.84	2143.25 W
68.60 Nm	240.00 rpm	2260.40 W	323.17 W	0.84	2583.53 W
78.20 Nm	240.00 rpm	2740.50 W	383.62 W	0.83	3124.10 W
87.80 Nm	240.00 rpm	3220.60 W	444.07 W	0.83	3664.67 W
97.40 Nm	240.00 rpm	3700.70 W	504.52 W	0.83	4205.24 W
107.00 Nm	240.00 rpm	4180.80 W	564.97 W	0.83	4745.81 W
116.60 Nm	240.00 rpm	4660.90 W	625.42 W	0.83	5286.38 W
126.20 Nm	240.00 rpm	5141.00 W	685.87 W	0.83	5826.95 W
135.80 Nm	240.00 rpm	5621.10 W	746.32 W	0.83	6367.52 W
145.40 Nm	240.00 rpm	6101.20 W	806.77 W	0.83	6908.09 W
155.00 Nm	240.00 rpm	6581.30 W	867.22 W	0.83	7448.66 W
164.60 Nm	240.00 rpm	7061.40 W	927.67 W	0.83	7989.23 W
174.20 Nm	240.00 rpm	7541.50 W	988.12 W	0.83	8529.80 W
183.80 Nm	240.00 rpm	8021.60 W	1048.57 W	0.83	9070.37 W
193.40 Nm	240.00 rpm	8501.70 W	1109.02 W	0.83	9610.94 W
203.00 Nm	240.00 rpm	8981.80 W	1169.47 W	0.83	10151.51 W
212.60 Nm	240.00 rpm	9461.90 W	1229.92 W	0.83	10692.08 W
222.20 Nm	240.00 rpm	9942.00 W	1290.37 W	0.83	11232.65 W
231.80 Nm	240.00 rpm	10422.10 W	1350.82 W	0.83	11773.22 W
241.40 Nm	240.00 rpm	10902.20 W	1411.27 W	0.83	12313.79 W
251.00 Nm	240.00 rpm	11382.30 W	1471.72 W	0.83	12854.36 W
260.60 Nm	240.00 rpm	11862.40 W	1532.17 W	0.83	13394.93 W
270.20 Nm	240.00 rpm	12342.50 W	1592.62 W	0.83	13935.50 W
279.80 Nm	240.00 rpm	12822.60 W	1653.07 W	0.83	14476.07 W
289.40 Nm	240.00 rpm	13302.70 W	1713.52 W	0.83	15016.64 W
299.00 Nm	240.00 rpm	13782.80 W	1773.97 W	0.83	15557.21 W
308.60 Nm	240.00 rpm	14262.90 W	1834.42 W	0.83	16097.78 W
318.20 Nm	240.00 rpm	14743.00 W	1894.87 W	0.83	16638.35 W
327.80 Nm	240.00 rpm	15223.10 W	1955.32 W	0.83	17178.92 W
337.40 Nm	240.00 rpm	15703.20 W	2015.77 W	0.83	17719.49 W
347.00 Nm	240.00 rpm	16183.30 W	2076.22 W	0.83	18260.06 W
356.60 Nm	240.00 rpm	16663.40 W	2136.67 W	0.83	18800.63 W
366.20 Nm	240.00 rpm	17143.50 W	2197.12 W	0.83	19341.20 W
375.80 Nm	240.00 rpm	17623.60 W	2257.57 W	0.83	19881.77 W
385.40 Nm	240.00 rpm	18103.70 W	2318.02 W	0.83	20422.34 W
395.00 Nm	240.00 rpm	18583.80 W	2378.47 W	0.83	20962.91 W
404.60 Nm	240.00 rpm	19063.90 W	2438.92 W	0.83	21503.48 W
414.20 Nm	240.00 rpm	19544.00 W	2499.37 W	0.83	22044.05 W
423.80 Nm	240.00 rpm	20024.10 W	2559.82 W	0.83	22584.62 W
433.40 Nm	240.00 rpm	20504.20 W	2620.27 W	0.83	23125.19 W
443.00 Nm	240.00 rpm	20984.30 W	2680.72 W	0.83	23665.76 W
452.60 Nm	240.00 rpm	21464.40 W	2741.17 W	0.83	24206.33 W
462.20 Nm	240.00 rpm	21944.50 W	2801.62 W	0.83	24746.90 W
471.80 Nm	240.00 rpm	22424.60 W	2862.07 W	0.83	25287.47 W
481.40 Nm	240.00 rpm	22904.70 W	2922.52 W	0.83	25828.04 W
491.00 Nm	240.00 rpm	23384.80 W	2982.97 W	0.83	26368.61 W
500.60 Nm	240.00 rpm	23864.90 W	3043.42 W	0.83	26909.18 W
510.20 Nm	240.00 rpm	24345.00 W	3103.87 W	0.83	27449.75 W
519.80 Nm	240.00 rpm	24825.10 W	3164.32 W	0.83	27990.32 W
529.40 Nm	240.00 rpm	25305.20 W	3224.77 W	0.83	28530.89 W
539.00 Nm	240.00 rpm	25785.30 W	3285.22 W	0.83	29071.46 W
548.60 Nm	240.00 rpm	26265.40 W	3345.67 W	0.83	29612.03 W
558.20 Nm	240.00 rpm	26745.50 W	3406.12 W	0.83	30152.60 W
567.80 Nm	240.00 rpm	27225.60 W	3466.57 W	0.83	30693.17 W
577.40 Nm	240.00 rpm	27705.70 W	3527.02 W	0.83	31233.74 W
587.00 Nm	240.00 rpm	28185.80 W	3587.47 W	0.83	31774.31 W
596.60 Nm	240.00 rpm	28665.90 W	3647.92 W	0.83	32314.88 W
606.20 Nm	240.00 rpm	29146.00 W	3708.37 W	0.83	32855.45 W
615.80 Nm	240.00 rpm	29626.10 W	3768.82 W	0.83	33396.02 W
625.40 Nm	240.00 rpm	30106.20 W	3829.27 W	0.83	33936.59 W
635.00 Nm	240.00 rpm	30586.30 W	3889.72 W	0.83	34477.16 W
644.60 Nm	240.00 rpm	31066.40 W	3950.17 W	0.83	35017.73 W
654.20 Nm	240.00 rpm	31546.50 W	4010.62 W	0.83	35558.30 W
663.80 Nm	240.00 rpm	32026.60 W	4071.07 W	0.83	36098.87 W
673.40 Nm	240.00 rpm	32506.70 W	4131.52 W	0.83	36639.44 W
683.00 Nm	240.00 rpm	32986.80 W	4191.97 W	0.83	37180.01 W
692.60 Nm	240.00 rpm	33466.90 W	4252.42 W	0.83	37720.58 W
702.20 Nm	240.00 rpm	33947.00 W	4312.87 W	0.83	38261.15 W
711.80 Nm	240.00 rpm	34427.10 W	4373.32 W	0.83	38801.72 W
721.40 Nm	240.00 rpm	34907.20 W	4433.77 W	0.83	39342.29 W
731.00 Nm	240.00 rpm	35387.30 W	4494.22 W	0.83	39882.86 W
740.60 Nm	240.00 rpm	35867.40 W	4554.67 W	0.83	40423.43 W
750.20 Nm	240.00 rpm	36347.50 W	4615.12 W	0.83	40964.00 W
759.80 Nm	240.00 rpm	36827.60 W	4675.57 W	0.83	41504.57 W
769.40 Nm	240.00 rpm	37307.70 W	4736.02 W	0.83	42045.14 W
779.00 Nm	240.00 rpm	37787.80 W	4796.47 W	0.83	42585.71 W
788.60 Nm	240.00 rpm	38267.90 W	4856.92 W	0.83	43126.28 W
798.20 Nm	240.00 rpm	38748.00 W	4917.37 W	0.83	43666.85 W
807.80 Nm	240.00 rpm	39228.10 W	4977.82 W	0.83	44207.42 W
817.40 Nm	240.00 rpm	39708.20 W	5038.27 W	0.83	44747.99 W
827.00 Nm	240.00 rpm	40188.30 W	5098.72 W	0.83	45288.56 W
836.60 Nm	240.00 rpm	40668.40 W	5159.17 W	0.83	45829.13 W
846.20 Nm	240.00 rpm	41148.50 W	5219.62 W	0.83	46369.70 W
855.80 Nm	240.00 rpm	41628.60 W	5280.07 W	0.83	46910.27 W
865.40 Nm	240.00 rpm	42108.70 W	5340.52 W	0.83	47450.84 W
875.00 Nm	240.00 rpm	42588.80 W	5400.97 W	0.83	47991.41 W
884.60 Nm	240.00 rpm	43068.90 W	5461.42 W	0.83	48531.98 W
894.20 Nm	240.00 rpm	43549.00 W	5521.87 W	0.83	49072.55 W
903.80 Nm	240.00 rpm	44029.10 W	5582.32 W	0.83	49613.12 W
913.40 Nm	240.00 rpm	44509.20 W	5642.77 W	0.83	50153.69 W
923.00 Nm	240.00 rpm	44989.30 W	5703.22 W	0.83	50694.26 W
932.60 Nm	240.00 rpm	45469.40 W	5763.67 W	0.83	51234.83 W
942.20 Nm	240.00 rpm	45949.50 W	5824.12 W	0.83	51775.40 W
951.80 Nm	240.00 rpm	46429.60 W	5884.57 W	0.83	52315.97 W
961.40 Nm	240.00 rpm	46909.70 W	5945.02 W	0.83	52856.54 W
971.00 Nm	240.00 rpm	47389.80 W	6005.47 W	0.83	53397.11 W
980.60 Nm	240.00 rpm	47869.90 W	6065.92 W	0.83	53937.68 W
990.20 Nm	240.00 rpm	48350.00 W	6126.37 W	0.83	54478.25 W
1000.00 Nm	240.00 rpm	48830.10 W	6186.82 W	0.83	55018.82 W

② Durante el ensayo se crea la tabla con valores de P, P\_mech, M, n, η... en tiempo real

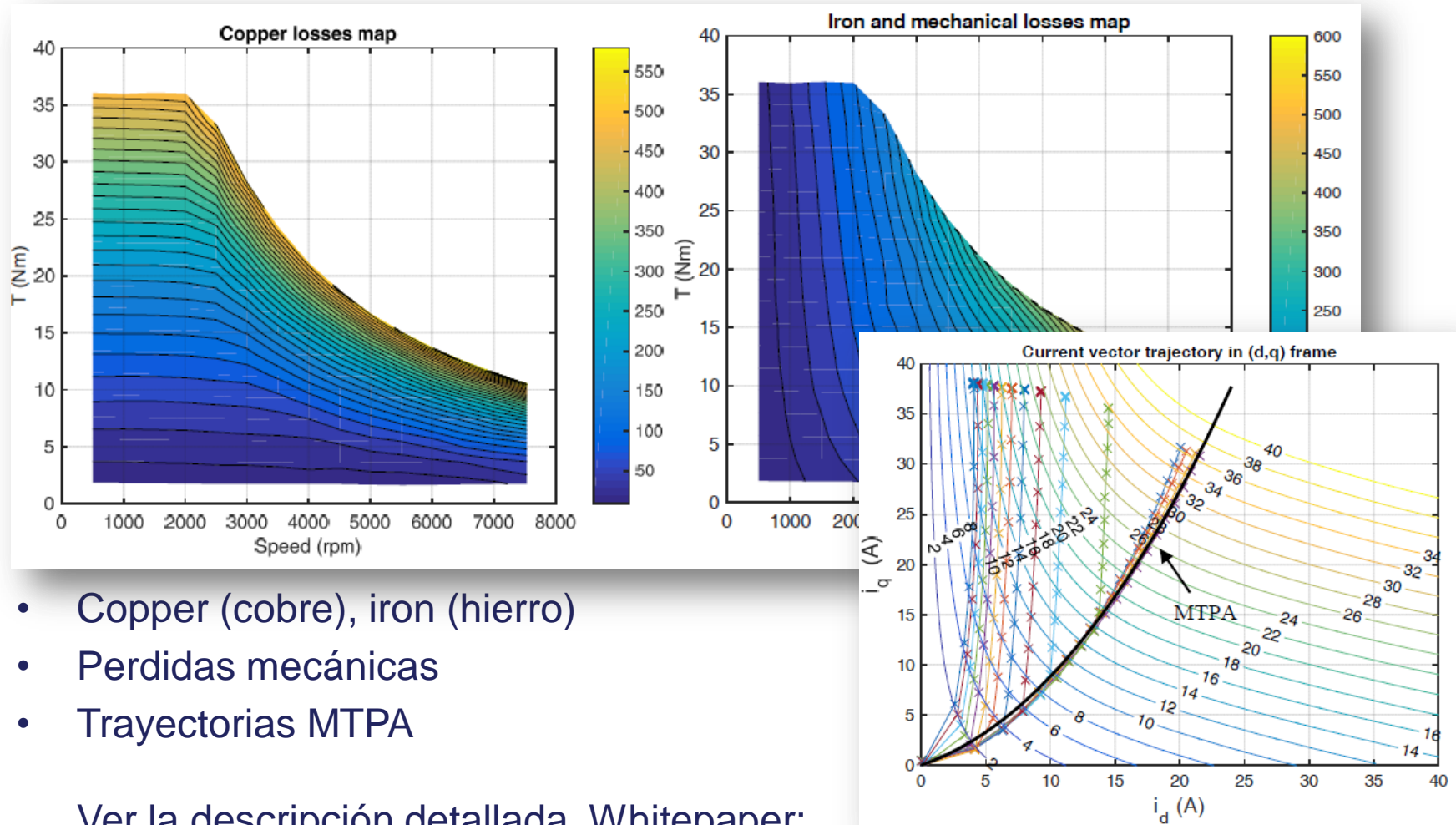
③ Finalmente: Se crea el mapa, en post-proceso (Q2 2018: Creación durante adquisición)

- ① Los datos brutos se almacenan por set-point en tiempo real
  - 293 set-points
    - 20 diferentes valores de velocidad
    - 17 valores de par diferentes
  - Cada set-point:
    - Grabación 1s
    - Pausa 100ms, y pasa al paso de par siguiente
    - Al completar la rampa de torque, pausa de pocos segundos, se pasa a nueva velocidad...
- ➔ Ensayo completo 5 min de duración



➔ El mapeo completo puede hacerse en pocos minutos

- Como los datos brutos se almacenan por set-point, incl. el ángulo del motor, es posible la creación de avanzados mapas de motor.
- Ejemplos de lo que se puede hacer:

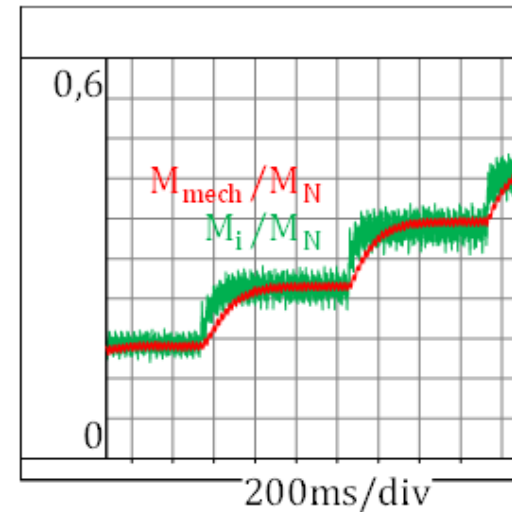
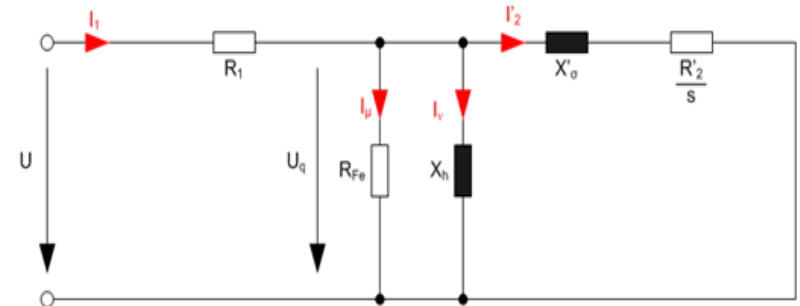


- Copper (cobre), iron (hierro)
- Pérdidas mecánicas
- Trayectorias MTPA

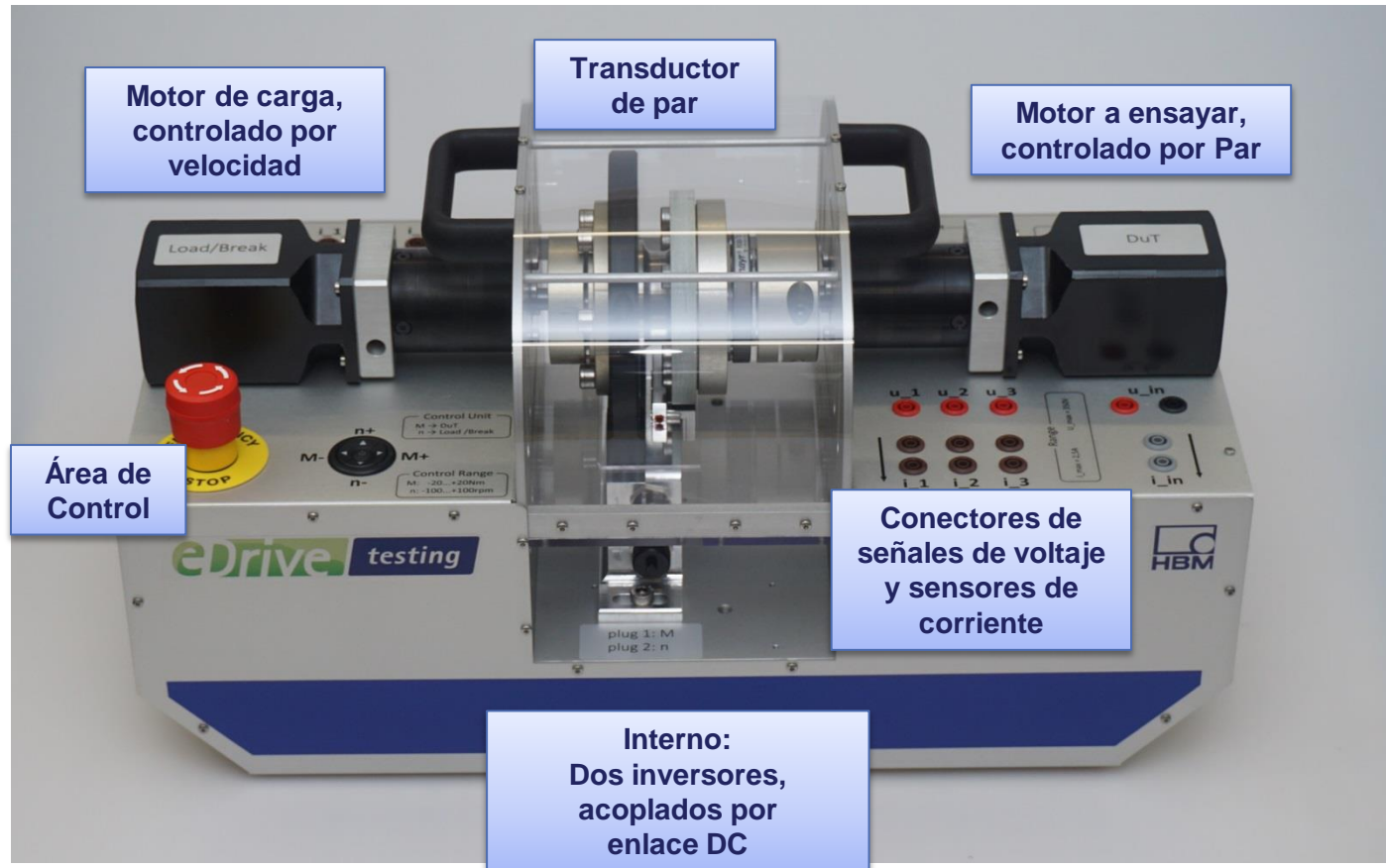
Ver la descripción detallada. Whitepaper:

<https://www.hbm.com/en/6207/white-paper-efficiency-and-loss-mapping-of-ac-motors/>

- Al disponer de los datos NO PROCESADOS, se pueden realizar análisis avanzados de motor e inversor, usando la base de datos de Perception.
- Ejemplos de análisis del motor
  - Diagrama de circuito equivalente
  - Perdidas en el hierro
  - Inductancia principal
  - Corrientes de arranque
  - Corrientes de armadura
  - Air-gap torque
  - Torque ripple / cogging torque
  - Efectos de saturación
- Ejemplos de análisis en el inversor
  - Frecuencia y amplitud de los fundamentales
  - Corriente de rizado
  - THD de voltaje y corriente
  - Análisis de armónicos
  - Frecuencia de conmutación
  - Método de modulación
  - Control del comportamiento del inversor



# eDrive: Banco de pruebas en miniatura de un motor / generador



- El DAQ GEN de HBM es capaz de **adquirir todas las señales**, alto voltaje/corriente, par, velocidad, temperatura, CAN, vibración...
- Todas las señales se muestrean **simultáneamente**, con alta frecuencia de muestreo y alta resolución.
- Almacenamiento continuo de datos brutos o snapshots por set-points permiten verificación y el análisis
- La configuración del ensayo es realizado en **un menú sencillo**
- **Resultados de potencia**, las señales y FFTs son calculados y visualizados **EN TIEMPO REAL**
- La base de datos de fórmulas de Perception ofrece todas las herramientas para un mayor y más detallado **análisis del motor e inversor**
- Interfaces en tiempo real para integrar en **sistemas de automatización**

## **Analizador de potencia típico**

- \* 2 – 8 canales
- \* Entradas de voltaje y corriente  
(algunos ofrecen Par y Velocidad)
- \* Cálculo en tiempo real y guardado de valores de potencia tales como valores RMS, P, S, Q,  $\lambda$ , THD....

## Solución eDrive de HBM

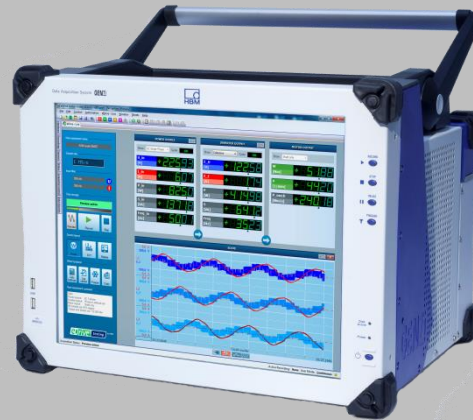
Algo más que un analizador de potencia...

### Más resultados

Fórmulas de usuario, corrientes dq, mapeo de eficiencia, y más  
...

### Más canales

Hasta 51 canales de potencia y 6 x torque; temperatura, CAN, vibración



### Proceso más rápido

Tiempo más rápido por setpoint, por lo tanto, tiempo de prueba más corto; mapeo interno o externo...

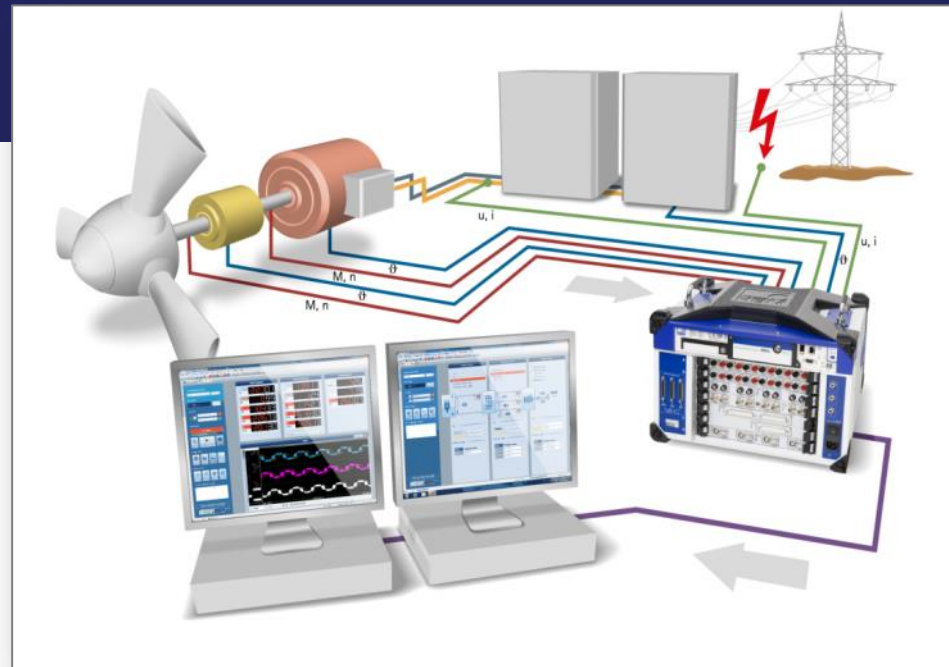
### Mejor integración

Interfaces de software modernos y EtherCAT

...una herramienta para ayudar a mejorar la eficiencia

# Questions?

Juan Alsina  
Ingeniero de aplicación T&M  
HBM Ibérica  
[juan.alsina@hbm.com](mailto:juan.alsina@hbm.com)  
T: 91.806.26.10  
M: 659.454.089



# **HBM eDrive: Acquisition modes**

- **PREVIEW ⇒ Power analyzer mode**
  - Power values are computed per set point and logged to EXCEL
  - No raw data storage
    - ➡ Result is a table with power values per set point
  - 👉 No verification / post run analysis is possible

➤ ***This mode is similar to a POWER ANALYZER***
- **RECORD with Multi-Sweeps ⇒ Set point mode for motor mapping**
  - Power values are computed per set point and logged to EXCEL
  - Raw data is stored per set point (~ 50 – 500 ms)
    - ➡ Result is a table with power values per set point and a single file with raw data stored per set point
  - 👉 Verification / post run analysis is possible

➤ ***This mode is similar to a POWER ANALYZER combined with a SCOPE***
- **RECORD with Continuous ⇒ Continuous storage for i.e. run-up tests**
  - Power values are computed per set point and logged to EXCEL
  - Raw data is continuously stored (potentially in a circular buffer)
    - ➡ Result is a table with power values per set point and a single large file with continuous raw data
  - 👉 Verification / post run analysis is possible

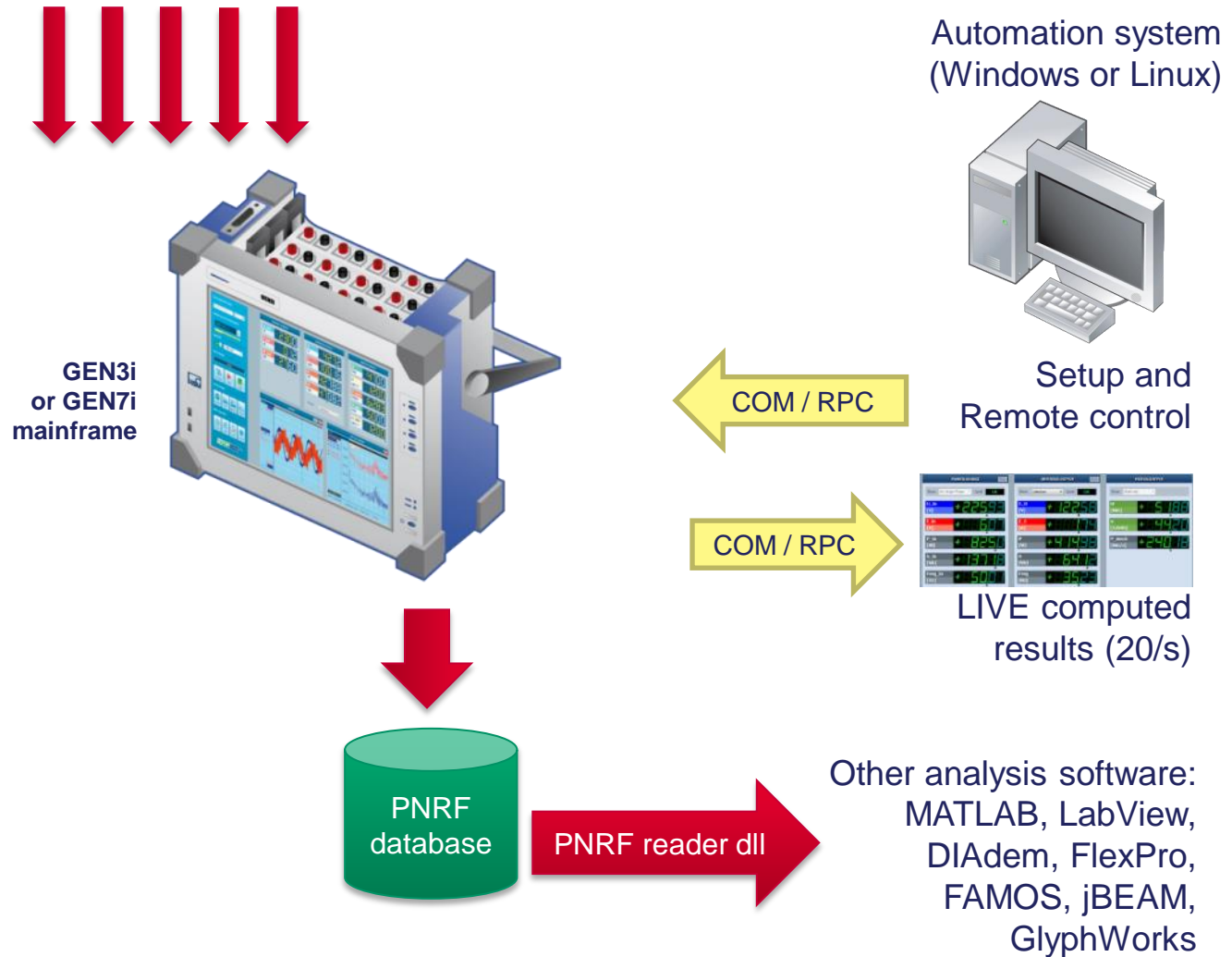
➤ ***This mode is similar to a POWER ANALYZER combined with a DAQ***

# **HBM eDrive: System integration**

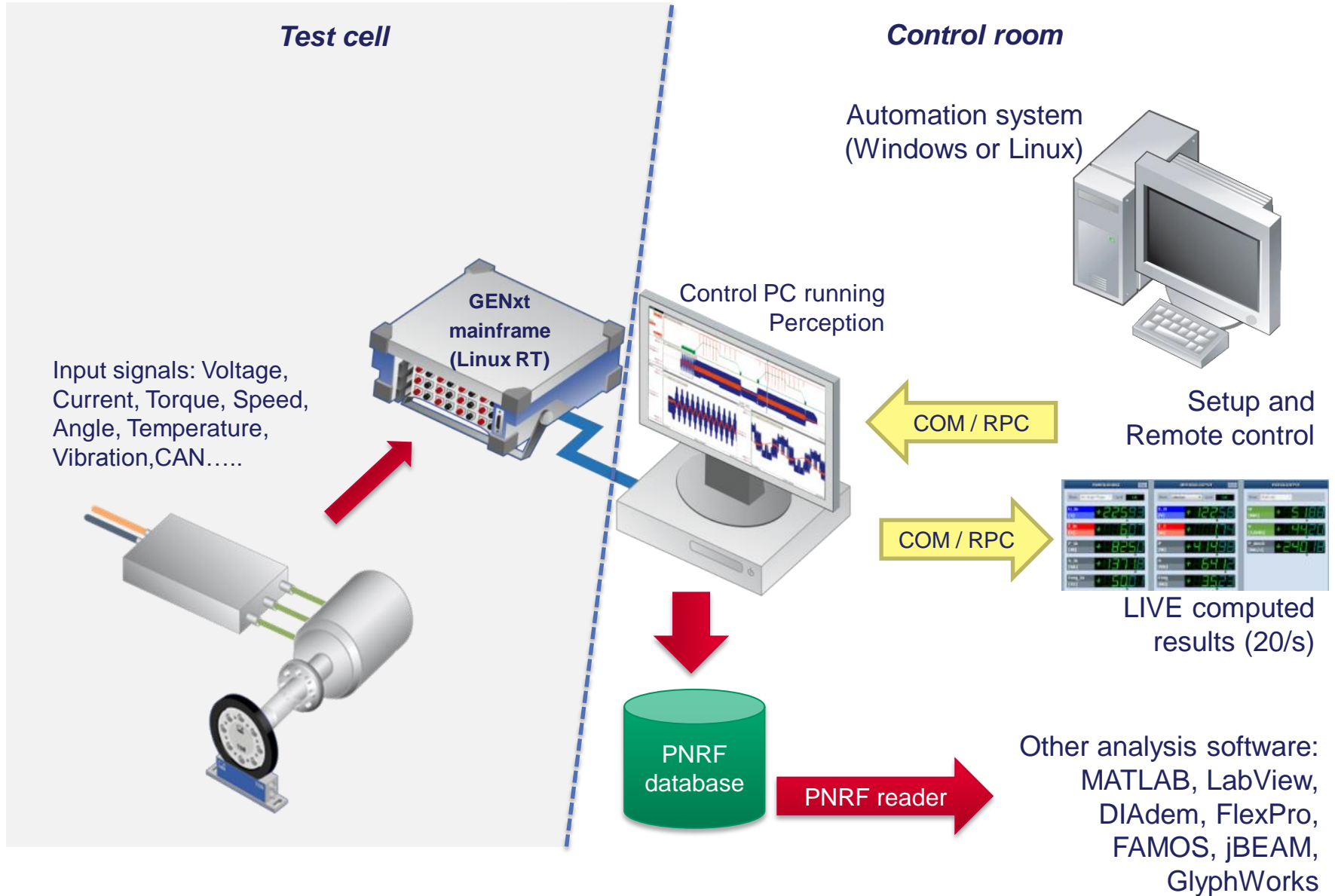
# eDrive: Interfacing with the GEN3i (or GEN7i)



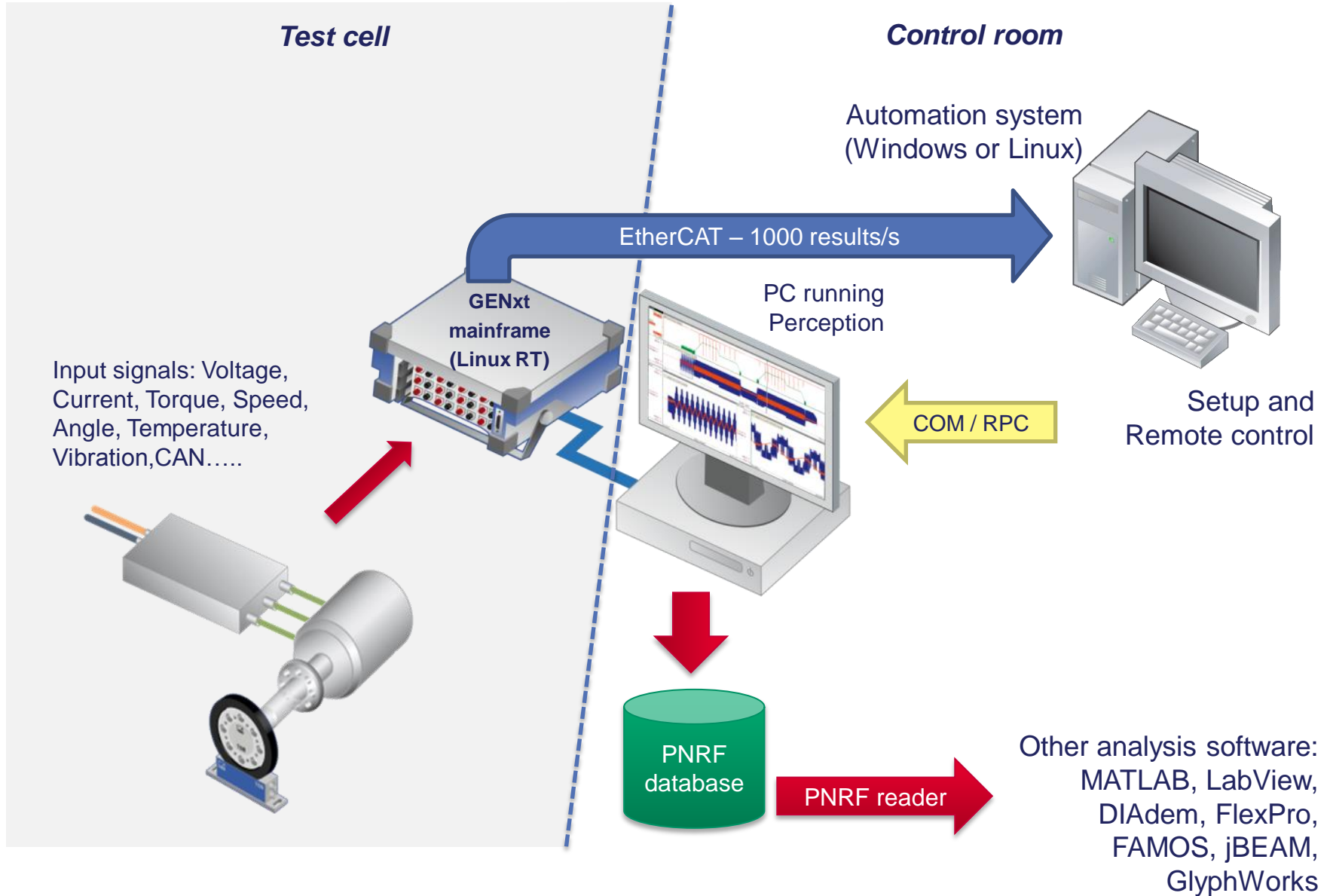
Input signals: Voltage, Currents, Torque, Speed, Angle, Temperature, Vibration.....

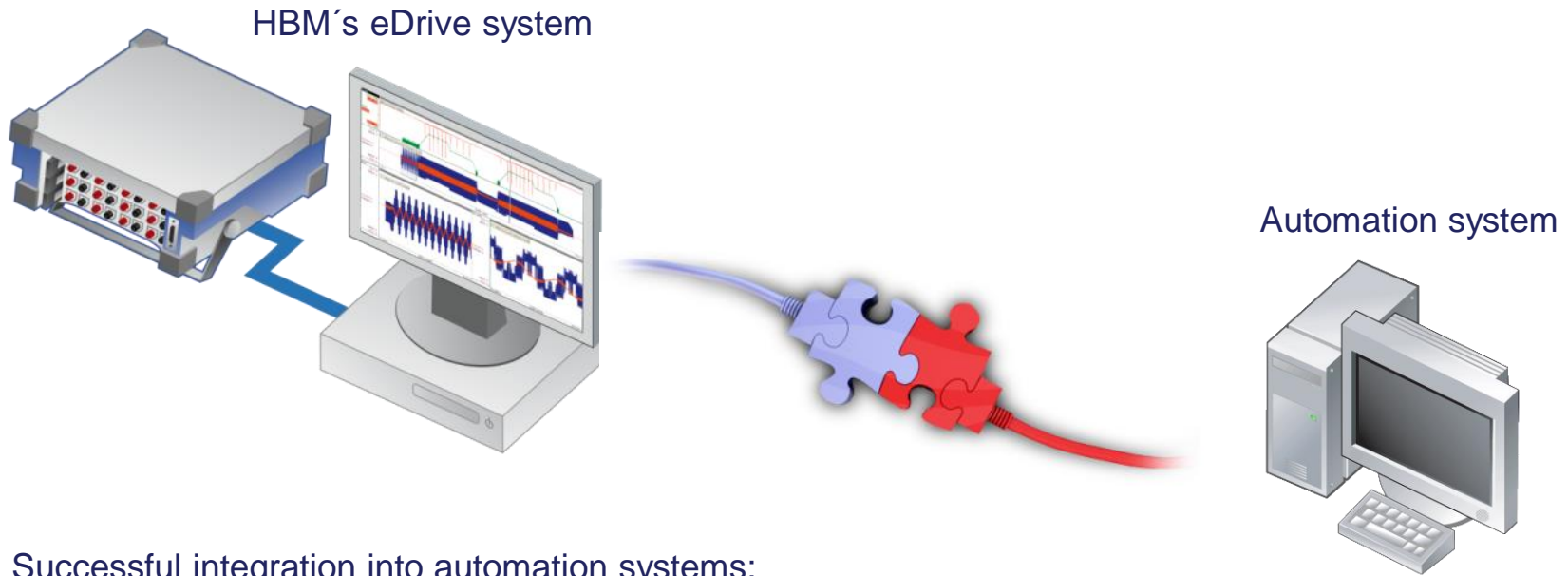


# eDrive: Interfacing with the GENxt products – RPC only



# eDrive: Interfacing with the GENxt products – RPC & EtherCAT





Successful integration into automation systems:

<b>System integrator</b>	<b>Automation</b>	<b>Integration method</b>	<b>Enduser</b>
Kristl & Seibt	Tornado	EtherCAT + RPC	BMW
Kratzer	PAtools	EtherCAT + RPC	VW
Kratzer	Patools	UDP (customer special)	VW
National Instruments	LabView	RPC	Schabmüller
AVL	PUMA	EtherCAT + RPC	VW
Siemens	CATS	RPC	VW
National Instruments	Veristand / LabView RT	EtherCAT + RPC	--
MAHA	MAHA RT	EtherCAT + RPC	Audi
Intest	Inova	RPC	--
Horiba	Stars	RPC	Subaru

# **HBM eDrive: Measuring higher voltages**

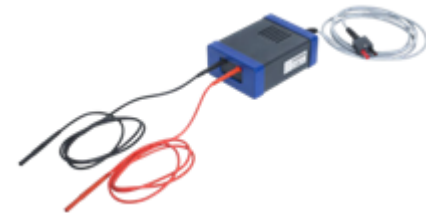
- Voltage range to  $\pm 1000 V_{\text{peak}}$



- 
- Voltage range to  $1.5 kV_{\text{RMS}}$



- 
- Voltage range to  $5 kV_{\text{RMS}}$

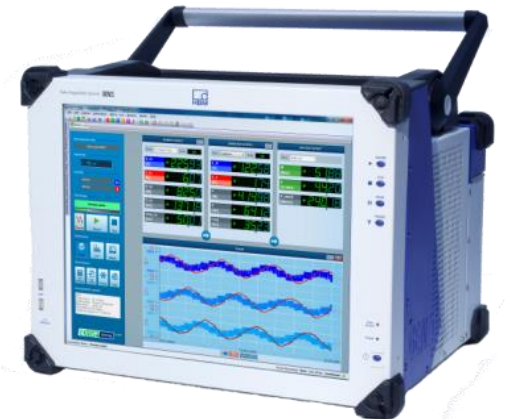


- 
- Voltage range  $> 5 kV_{\text{RMS}}$



## HBM power analyser with „standard inputs“

- Voltage input channel is part of the acquisition card GN61xB
  - Input range:  $\pm 10$  mV to  $\pm 1000$  V dc
  - 18 bit A/D converter
  - Isolation 1 kV
  - 600 V RMS CAT II, 300 V CAT III
  - Reinforced isolation ( = higher test voltages = higher safety)



# HVD10R - high precision differential probe



# HVD10R - high precision differential probe



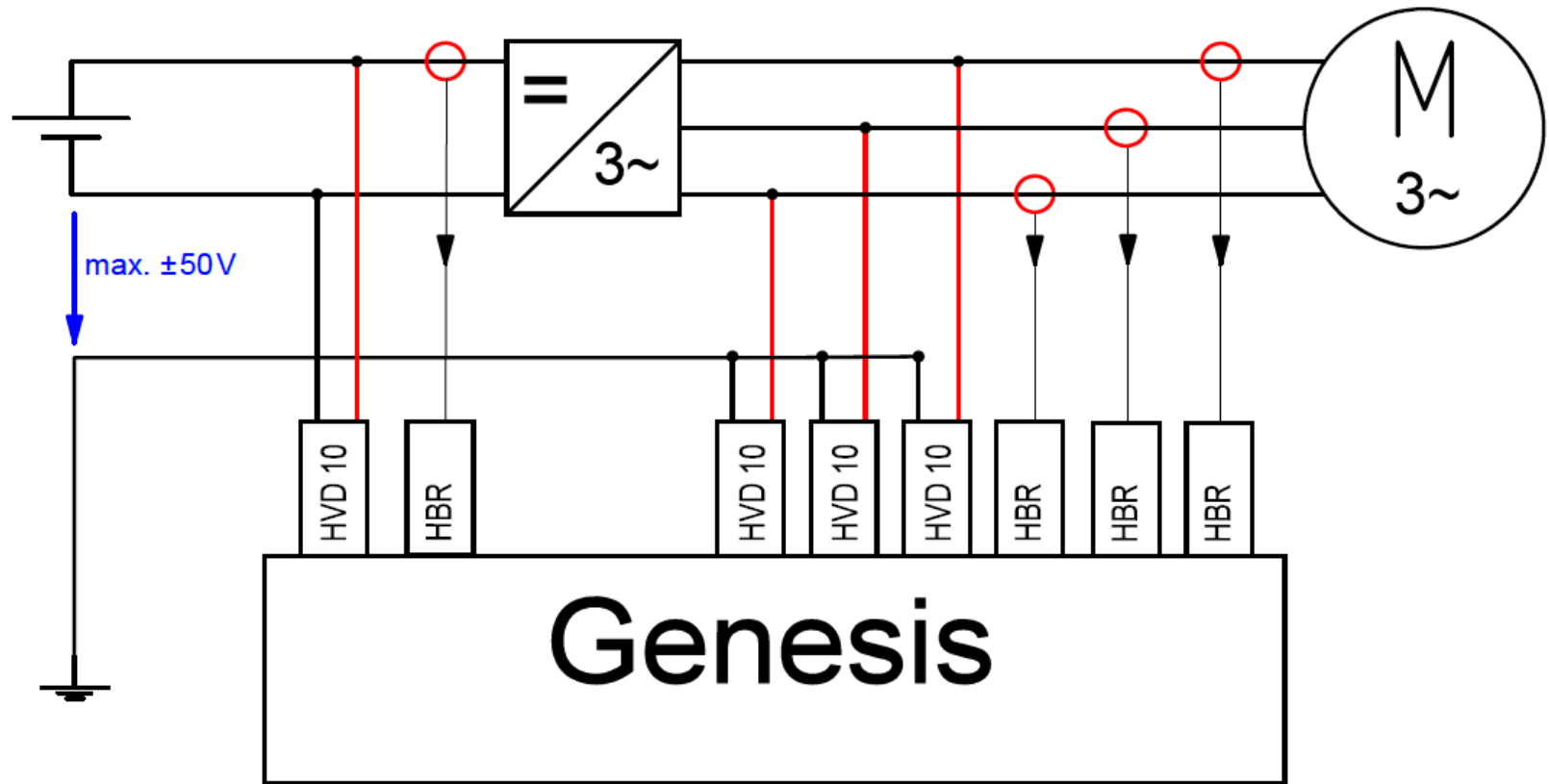
- The High Voltage Divider HVD10R is a differential probe used for accurate and safe voltage measurements in combination with an HBM power analyser / data recorder.
- In order to prevent CMV overrun it should be used always phase to ground
- Specifications:
  - Differential probe for power measurement
  - Max input voltage:
    - $1.5 \text{ kV}_{\text{rms}}$
    - $2.25 \text{ kV}_{\text{peak}}$
  - Designed according to DIN EN 61010-031
    - $1000 \text{ V}_{\text{rms}}$  CAT IV
    - $1500 \text{ V}_{\text{DC}}$  CAT III
  - High accuracy of  $\pm 0.1\%$  typical incl GN610B
  - 100 kHz usable bandwidth (-0.5 dB)
  - Phase shift  $< 1^\circ$  @ 100 kHz
  - to be used **only** with HBM's eDrive system and HBM GN61xB amplifiers



# HVD10R - high precision differential probe



- Measurement ALWAYS to ground !!!!



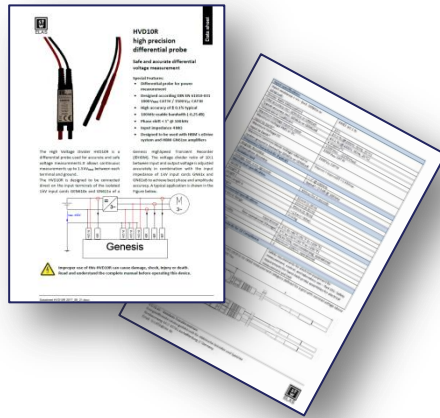
*Internal note: Technically it would work phase to phase as well; but if anything goes wrong due to CMV being too high we have endless discussions; thus we do not allow this.*

**So this probe MUST be used to ground only;**

# HVD10R - high precision differential probe



- Available from HAB:
  - Two page datasheet



**Gxxx: 1.5 kV High Precision Differential Probe (Option, to be ordered separately)**

The High Voltage Divider HVD10R is a differential probe used for accurate and safe voltage measurements. It allows continuous measurements up to 1.5kV between each input terminal and ground. The HVD10R is designed to be connected direct on the input terminals of the isolated 1kV input cards GEN610x and GN611x of a Genesis HighSpeed Transient Recorder (©HBM). The voltage divider ratio of 10:1 between input and output voltage is adjusted accurately in combination with the input impedance of 1kV input cards GN61x and GN61xB to achieve best phase and amplitude accuracy.

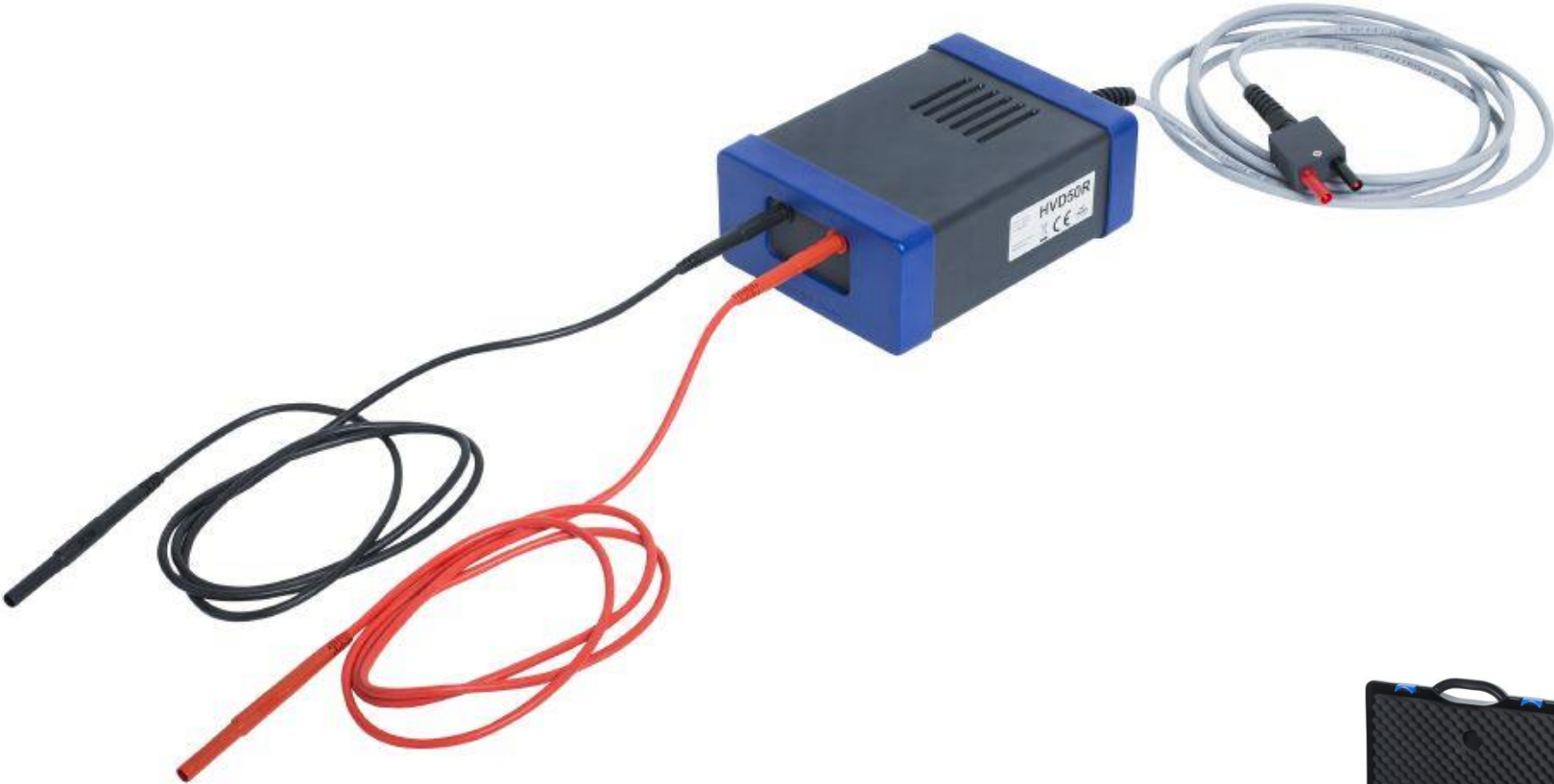
**Figure 1.37: Block diagram and image**

Maximum Voltage Input to Input	1.5kV <sub>RMS</sub> (2.25kV <sub>Peak</sub> )
Maximum Voltage RMS or DC Input to Earth acc. IEC 61010-031:2015*	1000V CAT IV
Maximum Voltage DC Input to Earth acc. IEC 61010-031:2015*	1500V CAT III
Maximum Common Mode Voltage referred to system ground is limited by GEN61x or GEN61xB	$(U_{1ground} + U_{2ground})/2 < 1.4kV_{Peak}$
Divider ratio	10:1
Accuracy incl. GEN 61X or GN61XB	typical $\pm 0.1\%$ @ 1000V, 50Hz, 25°C
Input impedance	4M $\Omega \pm 0.1\%$
Temperature coefficient	$\pm 10$ ppm/°C
Angular Accuracy	$< 1^\circ$ @ 100kHz
Attenuation Accuracy	typical $< 0.5$ dB @ 100kHz
Original manufacturers part number	HVD10R
Operating temperature range	+ 5°C to + 40°C (+ 41°F to + 104°F)
Input pins	High voltage insulated 4 mm safety connector similar Stäubli Electrical Cable MC XHM-5000
Output pins	4 mm safety connectors
Width b	32 mm (1.26 in)
Height h	23 mm (0.91 in)
Length l	70 mm (2.76 in)
Cable Length Input k	~1.5m (~59 in)

**Figure 1.38: Dimensions**

\*According IEC 61010-031:2015 is no rated measurement category defined for a grid with nominal voltage above 1000V<sub>RMS</sub> or rather 1500V<sub>DC</sub>.

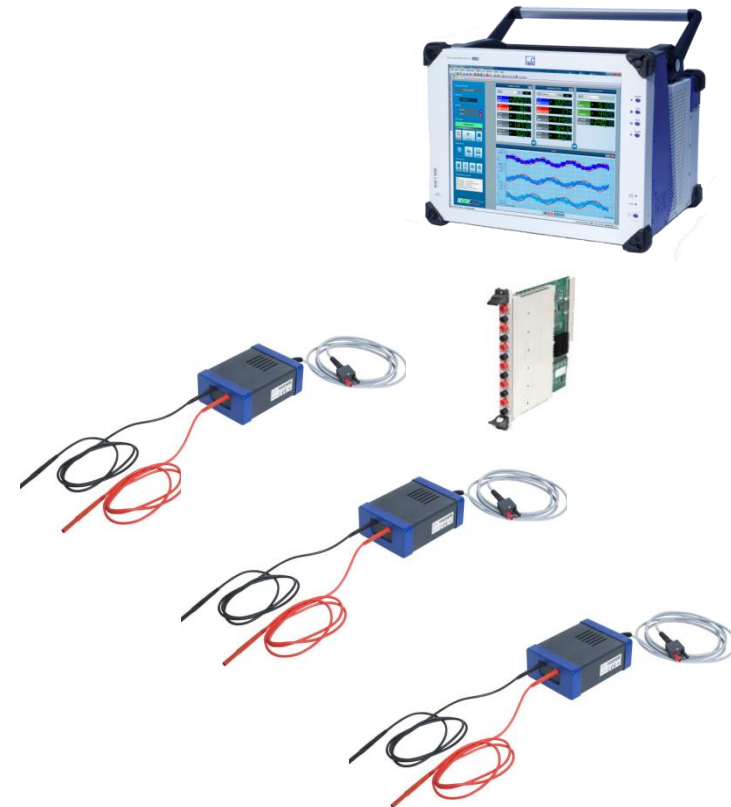
# HVD50R - high precision differential probe



# HVD50R - high precision differential probe



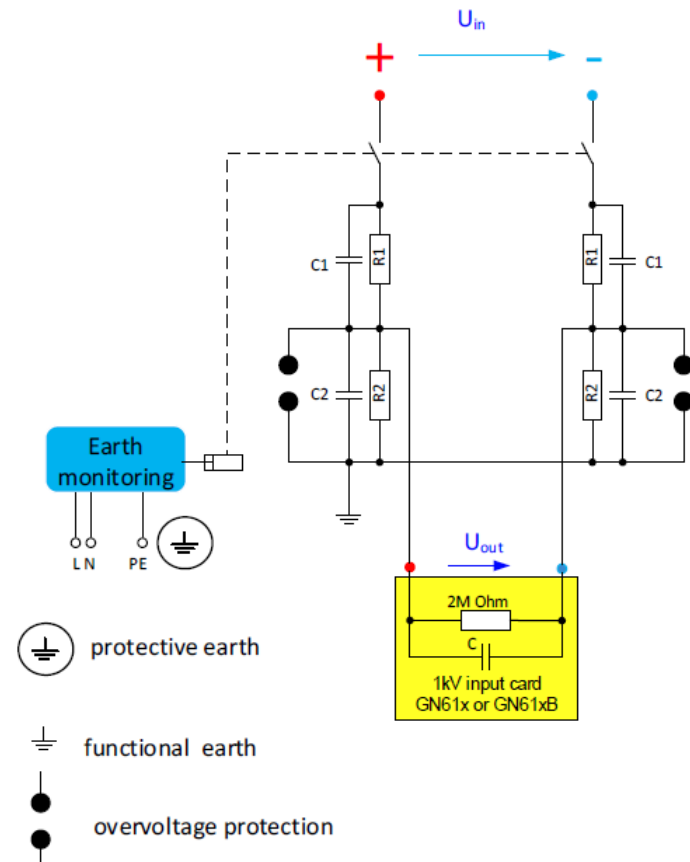
- The High Voltage Divider HVD50R is a differential probe used for accurate and safe voltage measurements in combination with an HBM power analyser / data recorder.
- It features a unique ground monitoring system to guarantee user safety even when ground connection gets lost....
- Specifications:
  - Differential probe for power measurement
  - „Fault earth“ protection mechanism
  - Max input voltage:
    - 5 kV<sub>rms</sub> input to earth
    - 7.2 kV<sub>rms</sub> input + to input -
    - 10.6 kV<sub>peak</sub> input + to input -
  - Designed according DIN EN 61010-031
    - 1000 V<sub>rms</sub> CAT IV
    - 1500 V<sub>DC</sub> CAT IV
  - High accuracy of  $\pm 0.1\%$  typical incl GN610B
  - 100 kHz usable bandwidth (-0.5 dB)
  - Phase shift  $< 1^\circ$  @ 100 kHz
  - To be used **only** with HBM's eDrive system and HBM GN61xB amplifiers



- Protection mechanism
- Ground connection to divide down input voltage is monitored
- If no ground connection or if it goes away a high voltage relay disconnects input from output
- **USER SAFETY is always guaranteed**
- **CERTIFIED to IEC and VDE**

## 7 Functional Specifications / Funktionsbeschreibung

### Schematic / Übersicht



Only if the functional earth and the protection earth are connected to the HVD, the relay switches the input voltage  $U_{in}$  to the voltage divider. Power and Earth conditions are indicated via LEDs.

*Nur wenn die Funktionserde und der Schutzleiter mit dem HVD verbunden sind, schalten die Relais die Eingangsspannung  $U_{in}$  auf den Spannungsteiler. Spannungsversorgung und Erd-Bedingungen werden über LEDs angezeigt.*

# HVD50R - high precision differential probe



- Available from HAB:

- Two page datasheet



- 20 page manual
- 52 page test certificate for IEC 61010-031:2002

## Gxxx: 5 kV RMS High Precision Differential Probe (Option, to be ordered separately)

5 kV RMS, 20 MΩ, 50:1, 0.2% high precision, differential probe to be used in combination with GN610B and GN611B acquisition cards. The built-in earthing monitor system increases safety of the user and protects the GEN series inputs for isolation overloads. The probe and output cable are optimized to match the 33 pF input capacitance when using the ranges ± 10 V, ± 20 V, ± 50 V, ± 100 V, ± 200 V, ± 500 V, ± 1000 V. In the lower ranges passband attenuation exceeds the HDP specified amplitude response.

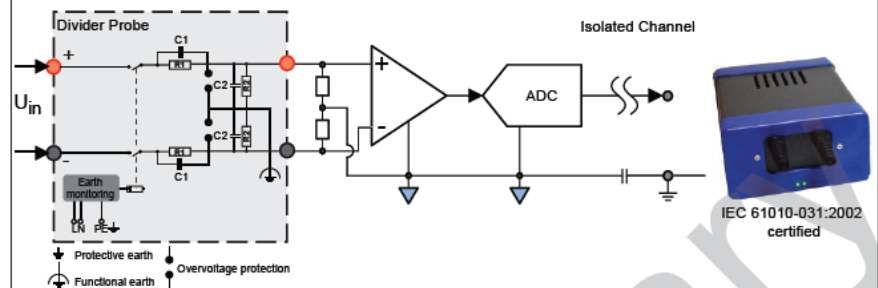


Figure 1.37: Block diagram and image

Maximum input to earth voltage IEC 61010-031:2002, CB Test certificate CA/20325/GSA	1000 V RMS or DC CAT IV 5 kV RMS (No measurement category defined for nominal voltage above 1 kV)
Maximum DC input to earth voltage IEC 61010-031:2015	1500 V DC CAT IV
Divider ratio	50:1
Total in-accuracy (divider, cable and GN610B)	± 0.2% @ 1000 V, 50 Hz, 25 °C
Input impedance	20 MΩ ± 0.2%
Temperature coefficient	± 10 ppm / °C (± 18 ppm / °F)
Bandwidth	-0.5 dB @ 100 kHz, phase match 0.1°
Input cable/pins	High voltage insulated 4 mm safety connector (similar to Stäubli Electrical Cable MC XHM-5000)
Output pins	Cable with 4 mm banana plugs
Earth monitoring	If functional earth is not attached divider is floating and inputs are disconnected from the output.
Original manufacturers part number	HVD50R
Operating temperature range	5 °C to +40 °C (41 °F to 104 °F)

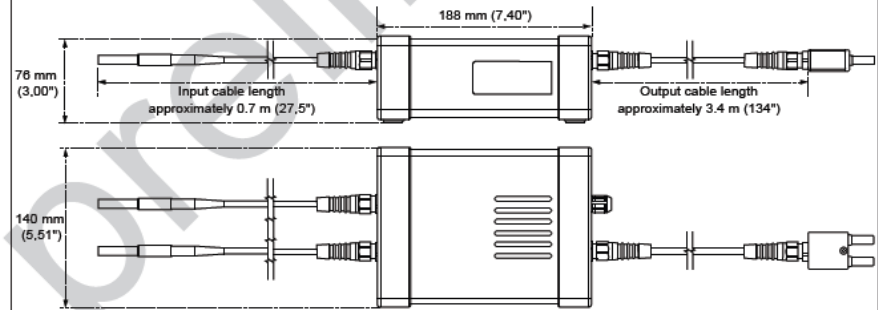


Figure 1.38: Dimensions

# Measuring higher voltages > 5 kV



# Measuring higher voltages > 5 kVrms

- To divide the high voltage a 3<sup>rd</sup> party resistive or capacitive divider is used. Well known vendors are for example:

- HILO
- RITZ



HV dividers

- These need ground to work as a divider!!!!  
What if ground gets lost or floats due to large currents? -> **DANGER**
- To ensure user and instrument safety a fibre-optical transmission is used to separate high voltage from low voltage side

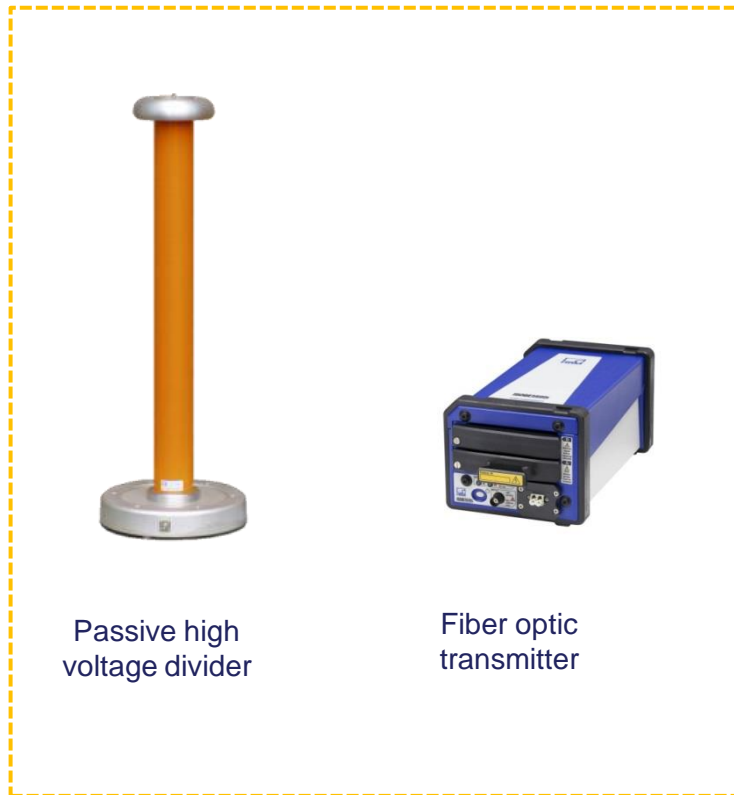


# Measuring higher voltages $> 5 \text{ kV}_{\text{rms}}$



## Control room

### test area



Passive high voltage divider

Fiber optic transmitter



fiber optic cable

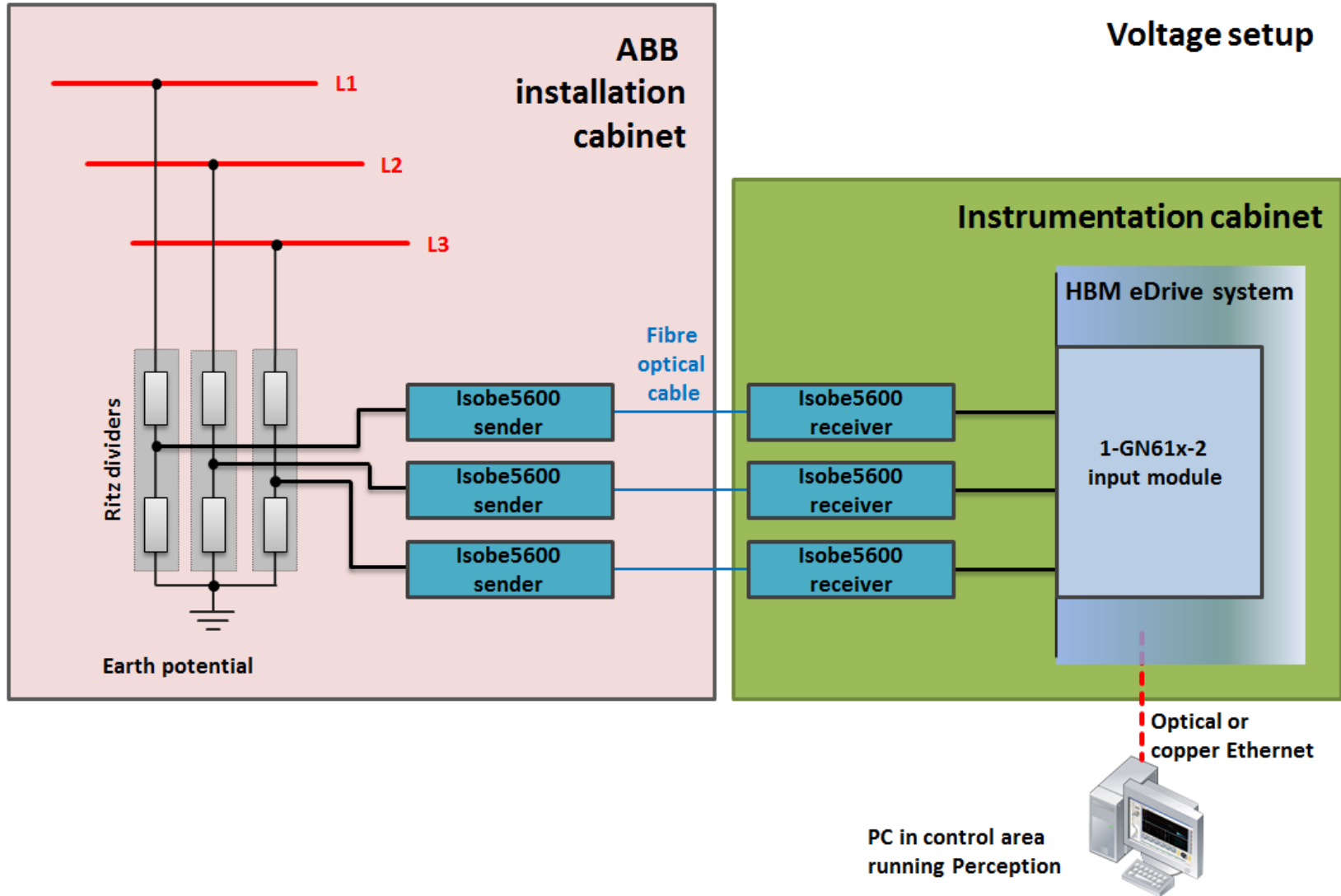


Power analyzer

fiber optic receiver

input card

# Voltage measurement system: AKER example



# Measuring higher voltages > 5 kVrms- PRICING



- You need a standard eDrive system with mainframe and GN610B input boards ~ 30 to 50 k€
  - Then you need to add the 5600 fibre optical solution. One for each channel ~ 5 k€ per channel
  - Then you need to select the proper high voltage divider typically 3-10 k€ per channel
  - *Side note: You also might need „isolated bus bars“*
- > Ask custom systems for help
- > in high voltage installation like this it is mandatory to offer a high voltage fat and a training / installation on site
- **HBM is the only vendor capable to do this.**  
**We already did sell and install such systems several times.**

# Measuring higher voltages - SUMMARY



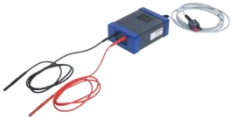
For „normal“ input ranges, the 1 kV board typically does the job

- It falls short in wind (690V) and when CAT ratings are requested by user



The 1 kV probe offers a proper solution fulfilling the range and being designed to meet the CAT requirements.

- *First customer comment: This is soooo cheap.*



The 5 kV probe is unique in the market being SAFE, being accurate, and being certified. BEST SOLUTION in the market up to 5 kV.



The ISOBE5600 with 3rd party dividers are SAFE and affordable. Again, HBM is unique in offering such a solution.

**HBM is the only power analyser vendor who can do this in such quality.**

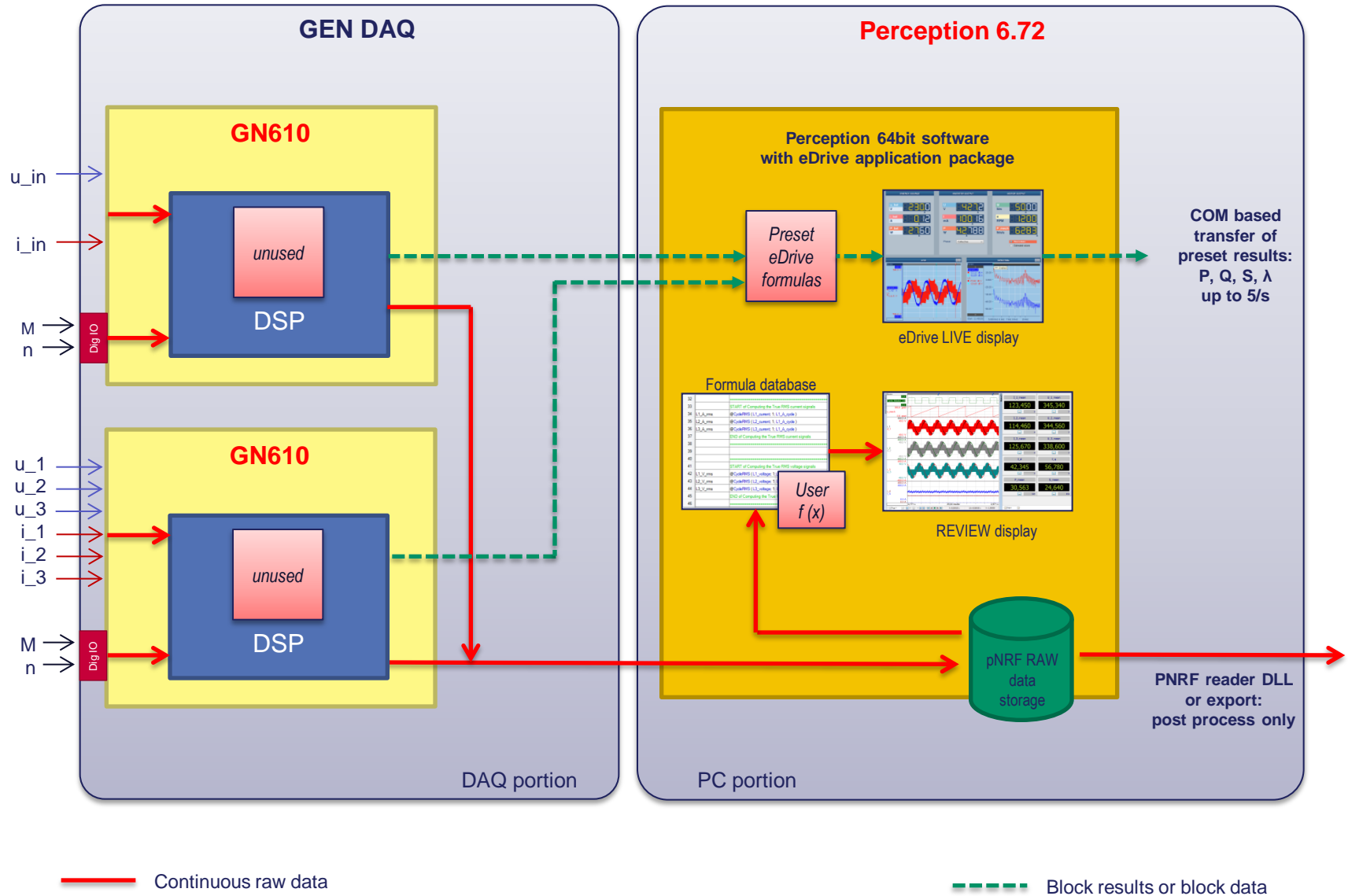
# HBM eDrive:

**GN610 & Perception 6.72  
compared with  
GN610B & Perception 7**

# GN610 & P6.72 -> eDrive calculations in Perception, blocks only



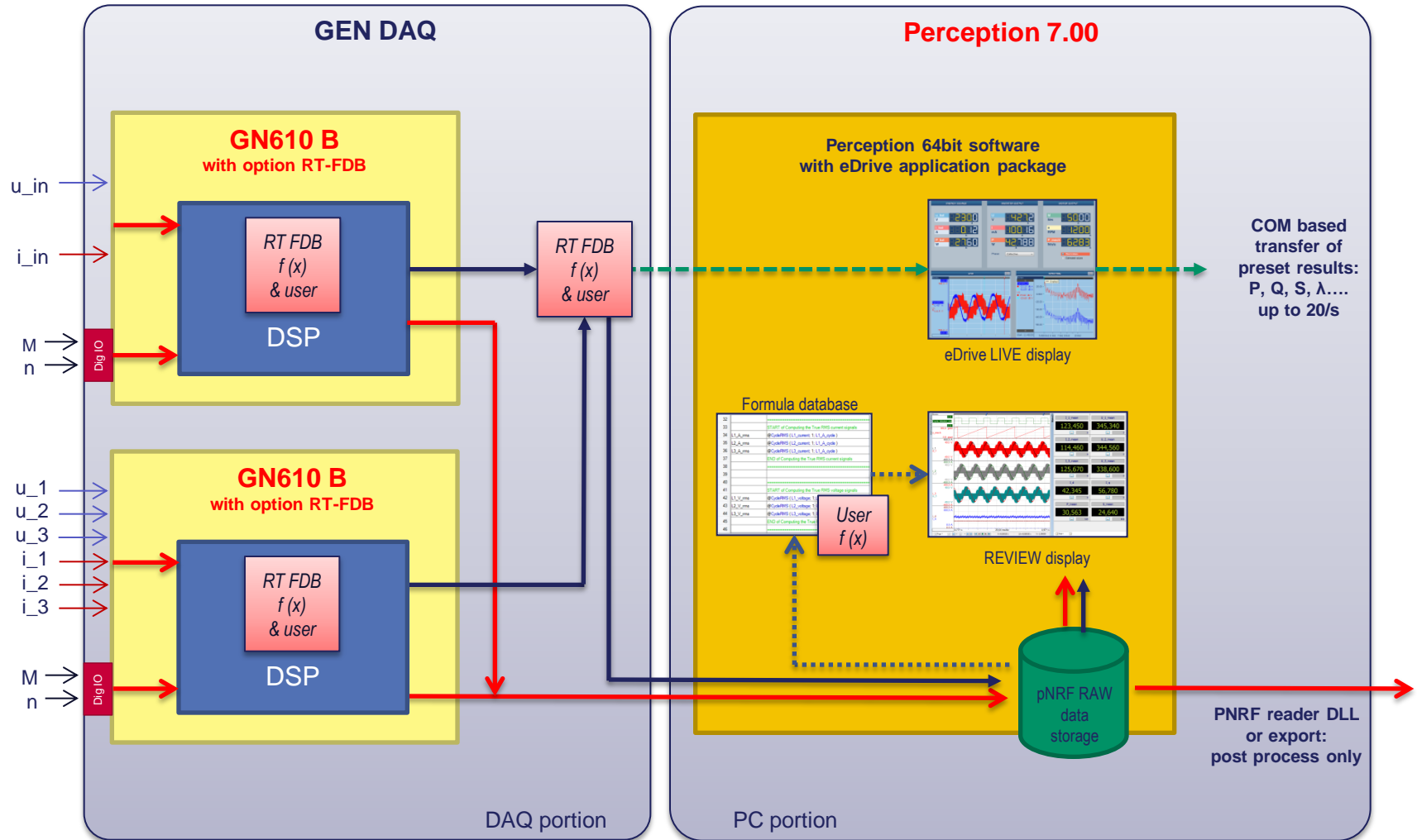
Limitations: Block based results, with gaps in between; no result storage, so recomputation needed for review



# GN610B & P7.0 -> eDrive calculations in RT-FDB



Advantages: Custom formulas in real time and review; continuous calculation and results are stored



— Continuous raw data     
 — Continuous results     
 - - - Block results or block data

# GN610B & P7.0 & EtherCAT -> eDrive for system integration



Advantages: Additional EtherCAT interface allows real time result transfer to automation system

