



Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente

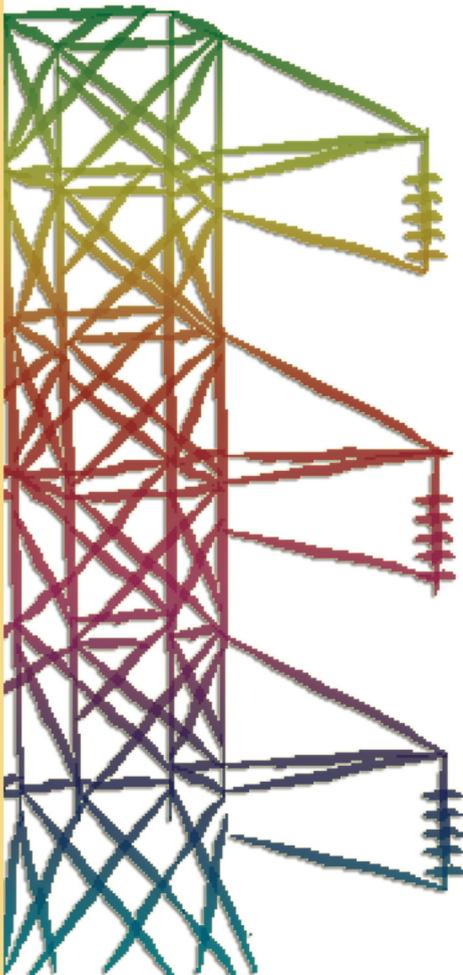


Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Catena di misura ODC per applicazione su un reattore a ossi-combustione

R. Bruschi, C. Stringola, S. Giammartini, M. Nobili





Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

Catena di misura ODC per applicazione su un reattore a ossi- combustione

R. Bruschi, C. Stringola, S. Giammartini, M. Nobili

CATENA DI MISURA ODC PER APPLICAZIONE SU UN REATTORE A OSSI-COMBUSTIONE

R. Bruschi, C. Stringola, S. Giammartini (ENEA)

M. Nobili (EN.SY.EN. Srl)

Aprile 2009

Report Ricerca Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Tecnologie innovative per migliorare i rendimenti di conversione delle centrali a polverino di carbone - Sviluppo di un sistema di combustione di tipo "flameless" per impianti di produzione di elettricità con ridottissimi livelli di emissione di inquinanti e CO₂

Responsabile Tema: Stefano Giammartini, ENEA

Indice

1. Introduzione	3
2. Descrizione generale del sistema.....	3
2.1. Testa ottica e interfaccia impianto	3
2.2. Trasduttore	4
2.3. Accoppiatore.....	6
3. Elaborazione-acquisizione.....	8
Appendice	10
Specifiche tecniche della scheda di acquisizione NI-PXI 7831 R.....	10
Specifiche tecniche del sensore IPL 10530	11
Schema dei collegamenti sensore IPL10530/connettore Lemo 2C/morsettiera SCB-68/trasmittitore HP-HFBR-1204.....	14

1. Introduzione

In questo rapporto tecnico viene presentato il progetto per la realizzazione di un prototipo del sistema ODC destinato alla diagnostica di un processo a oxy-combustione. In particolare viene progettata:

- la parte sensoristica e la sua remotizzazione rispetto al sistema di analisi tramite fibra ottica
- il sistema di analisi (sviluppato in LabVIEW) che comprende gli algoritmi per l'analisi diagnostica dei processi combustivi sviluppati da ENEA

2. Descrizione generale del sistema

Il sistema può essere suddiviso in tre blocchi e schematizzato come in Figura 1. Il blocco contrassegnato come “testa ottica e interfaccia impianto” è costituito appunto dalla testa ottica e da tutte quelle parti che ne permettono l'installazione e la penetrazione nella camera di combustione. Le caratteristiche di questo blocco cambiano a seconda dell'impianto ed in particolare della camera di combustione.

Dall'interfaccia impianto parte un tratto di fibra ottica che guida il segnale luminoso fino al blocco “accoppiatore-trasduttore” in cui viene convertito in un segnale elettrico per proseguire fino al blocco di acquisizione-elaborazione. Segue una descrizione dettagliata dei tre blocchi; il sistema ha due teste identiche e per semplicità di trattazione si fa riferimento ad una sola.



Figura 1 - Schema a blocchi del sistema ODC

2.1. Testa ottica e interfaccia impianto

La testa ottica è costituita da un tratto di fibra ottica incapsulata in una matita di materiale ceramico (allumina) e ritratta in dentro di qualche millimetro (per evitare che si annerisca). La fibra ottica può essere al quarzo (temperatura max. di lavoro 150°C) oppure in **zaffiro** monocristallino (per supportare temperature fino a 1600 °C), la sua lunghezza varia con la struttura della camera di combustione, il diametro è 1mm. La fibra è intestata da un lato con un connettore standard SMA per collegare un'altra fibra (al quarzo, diametro 1 mm) che porta il segnale al blocco accoppiatore-

trasduttore situato nella zona dell'impianto in cui è presente la strumentazione per il controllo (la sua lunghezza quindi varia da impianto a impianto).

Come già detto tutti i componenti che servono per la penetrazione della testa ottica nella camera di combustione variano da impianto a impianto e quindi verranno progettati di volta in volta. Per dare un'idea in Figura 2 è riportato un esempio di interfacciamento realizzato per un impianto test del laboratorio di combustione sperimentale dell'ENEA.

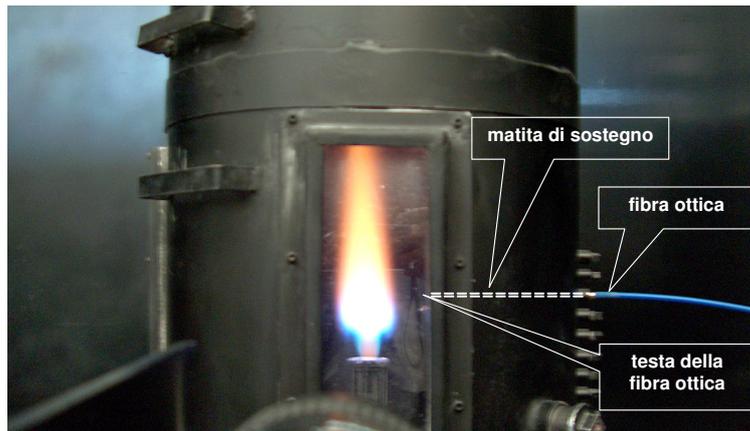


Figura 2 - Combustore sperimentale nel laboratorio del C.R. ENEA-Casaccia

In questo caso l'interfaccia impianto è un unico pezzo: una boccola che sostiene la testa ottica e che si incastra in un foro praticato sulla parete della camera di combustione.

2.2. Trasduttore

Il trasduttore è l'IPL 10530 HAL costituito da un foto-diode con amplificatore racchiusi in un package standard T05 con lente. La Figura 3 mostra una foto e un disegno quotato, per i dettagli si vedano le specifiche tecniche in appendice.

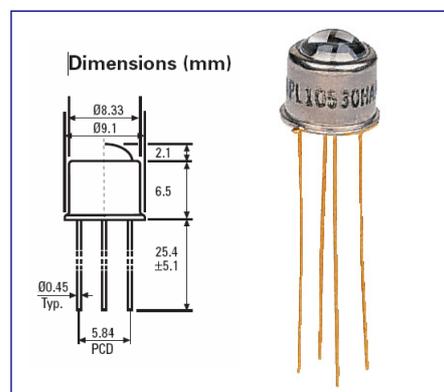


Figura 3 - Sensore IPL 10530 HAL

Il sensore è con compensazione ed è alimentato dalla scheda di acquisizione.

E' già stato realizzato in LabVIEW un modulo da aggiungere al Virtual Instrument di acquisizione e analisi del sistema ODC che gestisce uno dei due canali della scheda di acquisizione per alimentare il sensore. Riportiamo di seguito (Figura 4) la parte del pannello frontale che riguarda l'alimentazione.

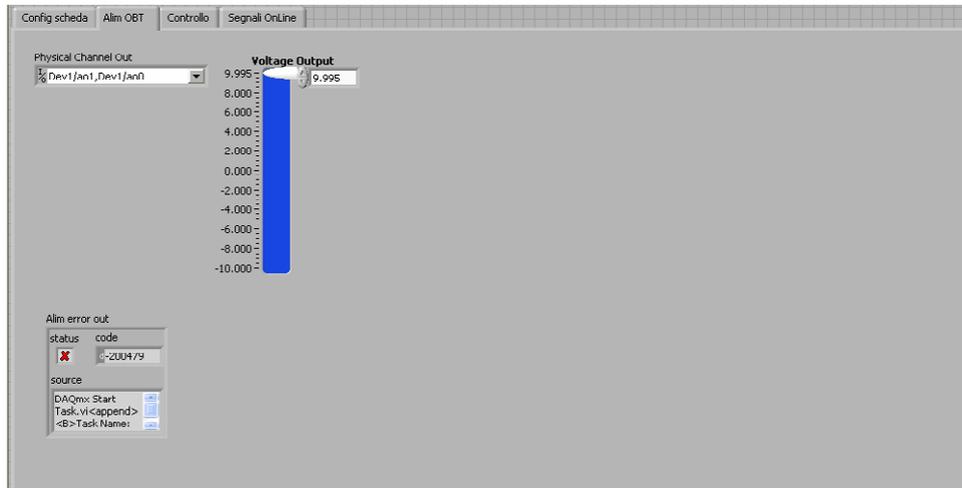


Figura 4 - Controllo dell'alimentazione del sensore da VI

I controlli sono: selezione del canale d'uscita e tensione di alimentazione. Quello contrassegnato come "Alim error out" è un indicatore che segnala eventuali errori nel loop che genera la tensione di alimentazione. In Figura 5 è riportato il relativo diagramma a blocchi (comprende anche la parte di compensazione).

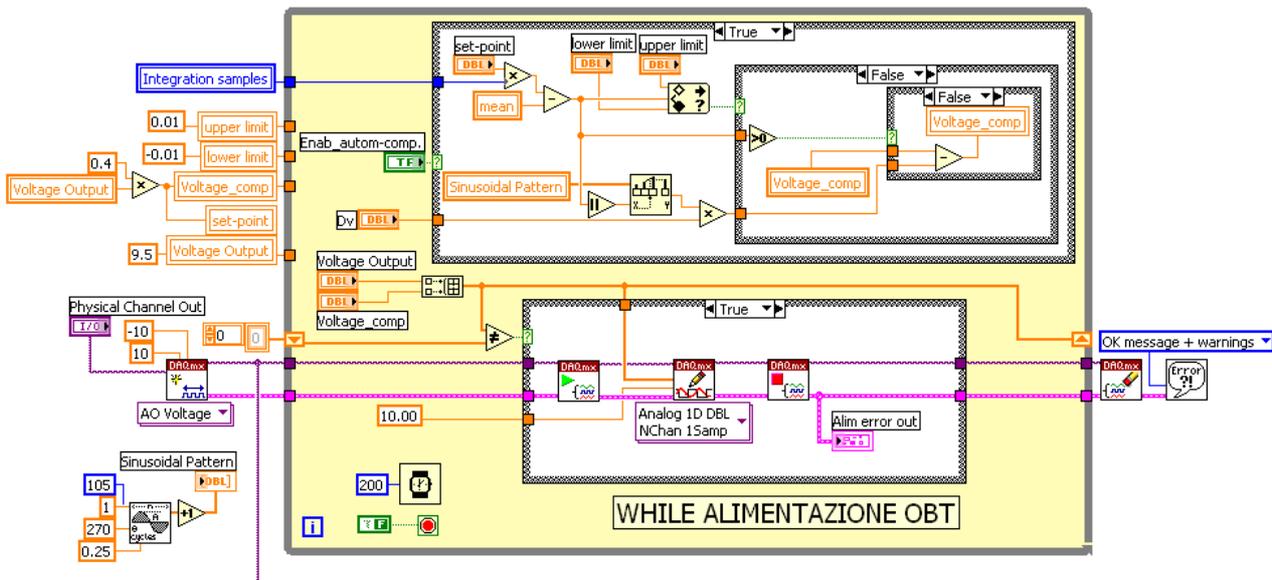


Figura 5 - Diagramma a blocchi del VI per l'alimentazione e la compensazione

Con questa soluzione è stato eliminato l'alimentatore esterno con i seguenti vantaggi

- riduzione del costo del sistema ODC
- riduzione dell'ingombro

- gestione dell'alimentazione direttamente da programma

Il sensore così configurato è stato caratterizzato e certificato.

2.3. Accoppiatore

L'accoppiatore è un componente che permette alla fibra ottica di affacciarsi sulla lente del sensore ottico garantendo l'allineamento, il bloccaggio e la totale impermeabilità alla luce esterna.

E' stato sostituito il precedente accoppiatore fibra-sensore in ottone con un componente commerciale della Amphenol (part # 905-117-5000) basato su due standards: lo standard SMA 905 per l'intestazione di fibre ottiche e lo standard T05 per il package di componenti elettronici (vedi Figura 6). Da un lato si inserisce il sensore ad incastro e dall'altro la fibra ottica con l'aggancio filettato (vedi Figura 7).



Figura 6 - a) accoppiatore custom in ottone (con connettore Lemo 2C) ; b) accoppiatore Amphenol 905-117-5000

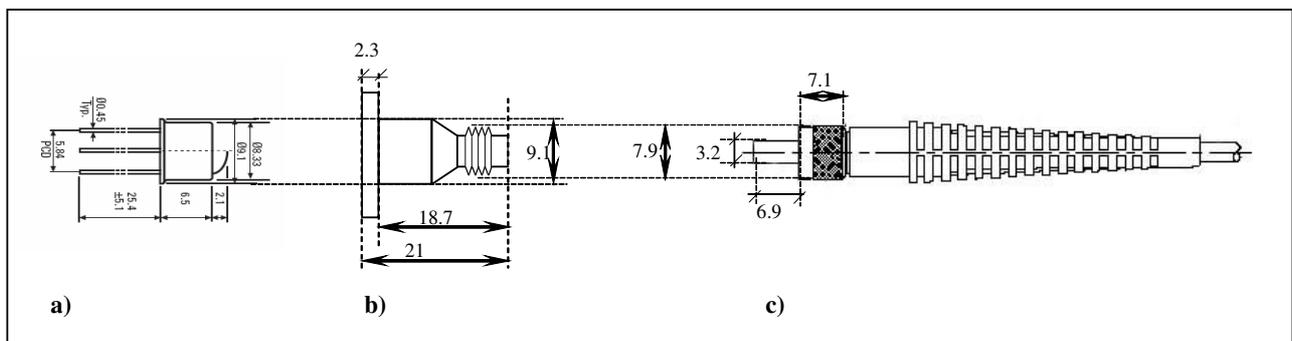


Figura 7 - a) sensore IPL10530 (T05); b) accoppiatore Amphenol 905-117-5000; c) connettore SMA 905

Il nuovo accoppiatore oltre ad avere dimensioni molto più contenute è munito di flangia per il montaggio a pannello. Si prevede di fissarlo sul pannello frontale della morsetteria SCB-68 della National Instruments (utilizzata per i collegamenti con la scheda di acquisizione, vedi Figura 8) in modo che il sensore sia all'interno e il connettore SMA all'esterno.

Poiché il sensore IPL 10530 HAL ha il pin 4 (tensione di compensazione) connesso al case si sta studiando una soluzione per isolare il case dall'accoppiatore (che è di materiale conduttore).

Con l'utilizzo del nuovo accoppiatore si ottengono i seguenti vantaggi

- maggiore reiezione di disturbi elettrici esterni e minore attenuazione sul segnale: il percorso del segnale elettrico è stato ridotto al minimo (dalla scatola SCB al calcolatore, nell'ordine del metro); tutto il resto del percorso fino alla camera di combustione (nell'ordine delle decine di metri, a seconda della configurazione dell'impianto e di eventuali cabine di controllo) è realizzato con fibra ottica.
- compattezza e riduzione dell'ingombro
- accessibilità dei componenti (sostituzione veloce del sensore)

3. Elaborazione-acquisizione

L'hardware del sistema di elaborazione e acquisizione è costituito da

- calcolatore con bus PXI.
- scheda PXI-7831-R con componente FPGA (vedi specifiche tecniche in appendice)

del processo combustivo

Per svolgere la funzionalità del monitoraggio viene implementato software, in ambiente LabVIEW, dedicato a

- ❖ acquisizione ad alta frequenza di un canale analogico (sonda)
- ❖ gestione del sensore (alimentazione e compensazione)
- ❖ preprocessamento del segnale d'ingresso
- ❖ algoritmi di analisi (metodologia ODC)

La scelta di questo tipo di hardware per il blocco di acquisizione-elaborazione è motivata da

- costi di realizzazione contenuti; le schede di acquisizione della National Instruments sono prodotte su scala commerciale e questo permette di accedere, a prezzi contenuti, a componenti con prestazioni di alto livello e con specifiche tecniche garantite da standards e certificazioni internazionali
- elevata flessibilità di progetto; l'intercambiabilità delle schede garantisce la possibilità di modificare in momenti successivi alla progettazione gran parte delle specifiche del sistema senza doverlo riprogettare interamente

E' prevista la migrazione totale del modulo di acquisizione ed elaborazione su un sistema di tipo industriale equipaggiato con hardware dedicato. Componente adatto allo scopo è il sistema compatto Compact RIO (National Instruments) munito di hardware riconfigurabile FPGA.

Di seguito uno schema generale del sistema con i suoi componenti principali.

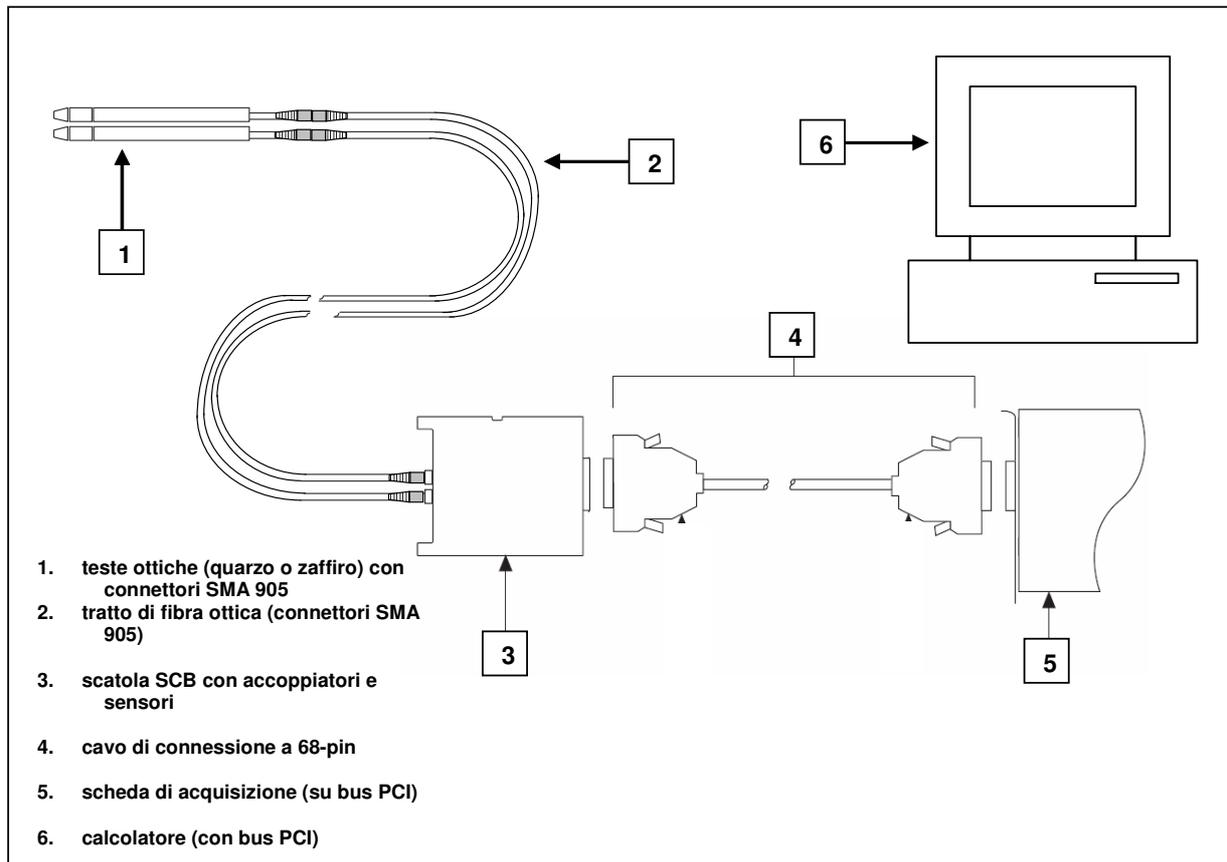


Figura 10 - Disegno schematico del sistema

Appendice

Specifiche tecniche della scheda di acquisizione NI-PXI 7831 R

Analog Input (NI 7830R, NI 7831R, NI 7833R)

Input Characteristics

Number of channels	
NI 7830R	4
NI 7831R, NI 7833R	8
Input modes	Differential or single-ended (referenced or nonreferenced) software-selectable
Resolution	16 bits, 1 in 65,536
Conversion time	4 μ s
Maximum sampling rate	200 kS/s (per channel)
Input impedance	
Powered on	10 G Ω , in parallel with 100 pF
Powered off	4 k Ω , minimum
Overload	4 k Ω , minimum
Input signal range	± 10 V
Input bias current	± 2 nA
Input offset current	± 1 nA
Input coupling	DC
Maximum working voltage	
(signal + common mode)	Inputs should remain within ± 12 V of ground
Overvoltage protection	± 42 V
Data transfers	Interrupts, programmed I/O

Accuracy Information

Nominal Range (V)	Absolute Accuracy					Relative Accuracy				
	Positive Full Scale	Negative Full Scale	% of Reading	Noise + Quantization	Absolute Accuracy at Full Scale (mV)	Resolution (mV)	Point Averaged			
10.0	-10.0	0.0496	0.0507	2.542	1779	165	0.0005	7.78	2170	217

Note: Accuracies are valid for measurements following an internal calibration. Measurement accuracies are listed for operational temperatures within ± 1 °C of internal calibration temperature and ± 10 °C of external or factory calibration temperature. Temperature drift applies only if ambient is greater than ± 10 °C of previous external calibration.

DC Transfer Characteristics

INL	± 3 LSB typ, ± 6 LSB maximum
DNL	-1.0 to ± 2.0 LSB maximum
No missing codes resolution	16 bits typ, 15 bits minimum
CMRR, DC to 60 Hz	86 dB

Dynamic Characteristics

Bandwidth	
Small signal (-3 dB)	650 kHz
Large signal (1% THD)	55 kHz
System noise	1.8 LSB _{rms} (including quantization)
Settling time	

Step Size	Accuracy		
	16 LSB	4 LSB	2 LSB
± 20.0 V	7.5 μ s	10.3 μ s	40 μ s
± 2.0 V	2.7 μ s	4.1 μ s	5.1 μ s
± 0.2 V	1.7 μ s	2.9 μ s	3.6 μ s

Crosstalk: -80 dB, DC to 100 kHz

Analog Output (NI 7830R, NI 7831R, NI 7833R)

Output Characteristics

Number of channels	
NI 7830R	4 single-ended, voltage output
NI 7831R, NI 7833R	8 single-ended, voltage output
Resolution	16 bits, 1 in 65,536
Update time	1.0 μ s
Maximum update rate	1 MS/s
Type of DAC	Enhanced R-2R
Data transfers	Interrupts, programmed I/O

Accuracy Information

Nominal Range (V)	Absolute Accuracy				Temp Drift (%/°C)	Absolute Accuracy at Full Scale (mV)
	Positive Full Scale	Negative Full Scale	% of Reading	Offset (mV)		
10.0	-10.0	0.0335	0.0351	2366	0.0005	5.88

Note: Accuracies are valid for analog output following an internal calibration. Analog output accuracies are listed for operation temperatures within ± 1 °C of internal calibration temperature and ± 10 °C of external or factory calibration temperature. Temperature drift applies only if ambient is greater than ± 10 °C of previous external calibration.

DC Transfer Characteristics

INL	± 0.5 LSB typ, ± 4.0 LSB maximum
DNL	± 0.5 to ± 1.0 LSB maximum
No missing codes resolution	16 bits, guaranteed

Voltage Output

Range	± 10 V
Output coupling	DC
Output impedance	1.25 Ω
Current drive	± 2.5 mA
Protection	Short-circuit to ground
Power-on state	User configurable

Dynamic Characteristics

Settling time

Step Size	Accuracy		
	16 LSB	4 LSB	2 LSB
± 20.0 V	6.0 μ s	6.2 μ s	7.2 μ s
± 2.0 V	2.2 μ s	2.9 μ s	3.8 μ s
± 0.2 V	1.5 μ s	2.6 μ s	3.6 μ s

Slew rate	10 V/ μ s
Noise	150 μ V _{rms} , DC to 1 MHz
Glitch energy at midscale transition	± 100 mV for 3 μ s

Digital I/O

Number of channels	
NI 7830R	56 input/output
NI 7831R, NI 7833R	96 input/output
NI 7811R, NI 7813R	160 input/output
Compatibility	TTL

Digital Logic Levels

Level	Min (V)	Max (V)
Input low voltage (V_{IL})	0.0	0.8
Input high voltage (V_{IH})	2.0	5.5
Output low voltage (V_{OL}), where $I_{OL} = -I_{max}$ (sink)	—	0.4
Output high voltage (V_{OH}), where $I_{OH} = I_{max}$ (source)	2.4	—

Maximum output current

I_{max} (source)	5.0 mA
I_{min} (sink)	5.0 mA
Input leakage current	± 10 μ A
Power-on state	Programmable, by line
Data transfers	Interrupts, programmed I/O
Protection	
Input	-0.5 to 7.0 V
Output	Short-circuit (up to eight lines may be shorted at a time)

Reconfigurable FPGA

NI 7811R, NI 7830R, NI 7831R

System gates	1 M
Number of logic slices	5,120
Equivalent number of logic cells	11,520
Embedded RAM available	81,920 bytes

NI 7813R, NI 7833R

System gates	3 M
Number of logic slices	14,336
Equivalent number of logic cells	32,256
Embedded RAM available	196,608 bytes

Timebases: 40, 80, 120, 160, or 200 MHz

Timebase reference sources

PCI R Series	Onboard clock only
PXI R Series	Onboard clock, phase-locked to PXI 10 MHz clock

Timebase accuracy

Onboard timebase	± 100 ppm (max)
Frequency dependent jitter	
40 MHz	250 ps
80 MHz	900 ps
120 MHz	970 ps
160 MHz	960 ps
200 MHz	950 ps

Phase locked to PXI 10 MHz clock (PXI R Series only): Adds 350 ps jitter, 300 ps skew

Specifiche tecniche del sensore IPL 10530

IPL 10530 Integrated Photodiode Amplifiers are a family of light-sensitive detectors, providing a voltage output proportional to the incident light level. The devices will operate from single or dual rail power sources, allowing simple interfacing with logic circuits or voltage comparators.

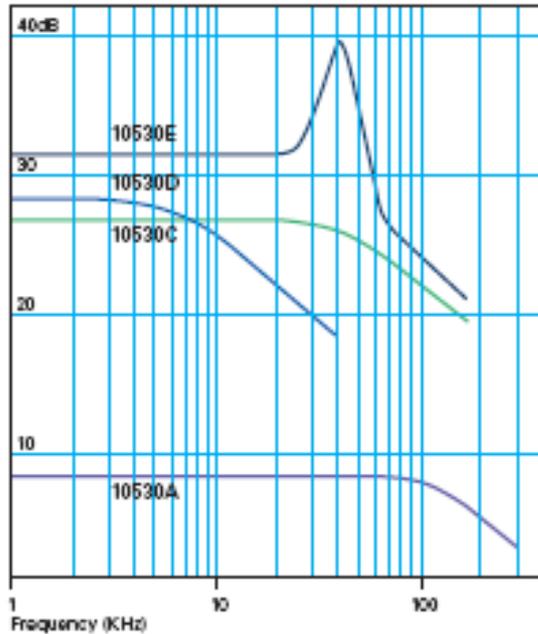
IPL Photodiode Amplifiers consist of silicon photodiodes close-coupled to amplifiers. These are mounted on ceramic substrates and hermetically sealed within T05 type metal packages to give exceptional rejection of electrical noise in arduous environments. This family provides various gain/bandwidth options to suit a wide range of applications.

Applications

The IPL 10530 range of Integrated Photodiode Amplifiers provide positive output voltage for increased light levels. These devices are especially suited to low light level applications, or those where high sensitivity or high interference rejection is required.

Ideal for use with the IPL range of Self-Monitoring Emitters, these devices provide the complete solution for the monitoring of particulate pollution in liquids and gases, water turbidity measurement or gas detection by virtue of spectral absorption bands. Gas pollution sensing, obscuration or "clouding" (nephelometry) techniques are alternative, proven applications.

Frequency Response



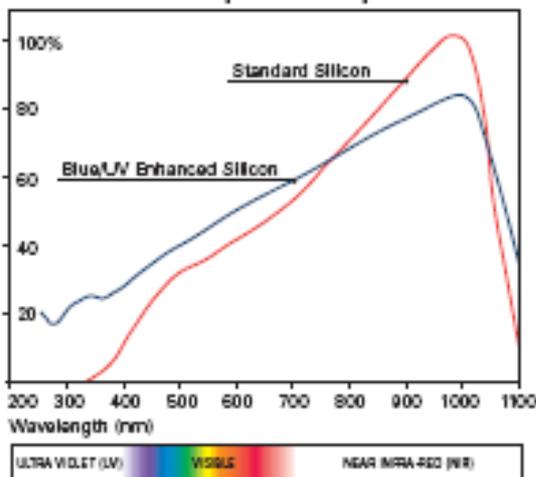
Amplifier Options

Standard feedback configurations are available to provide high sensitivity and high speed in various combinations. Undercompensated versions are available for sensitive pulse detection. Where feasible, IPL will manufacture to custom requirements.

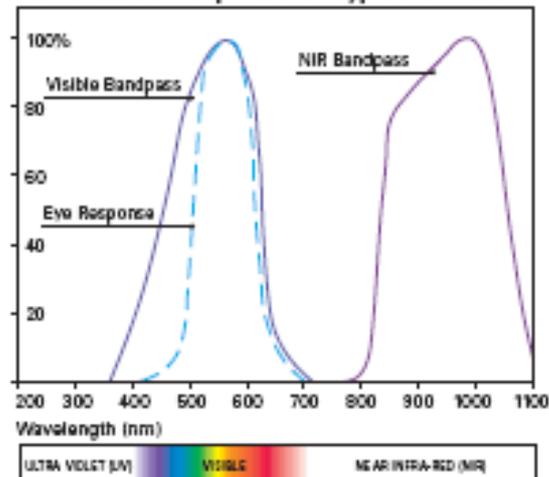
Filter Options

Eye response (BG18) or N.I.R. Bandpass (RG850). Many other filter options are available upon request.

Silicon Relative Spectral Response



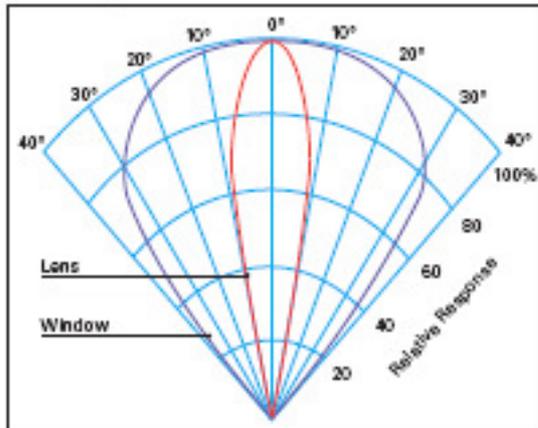
Normalised Response of Typical Filters



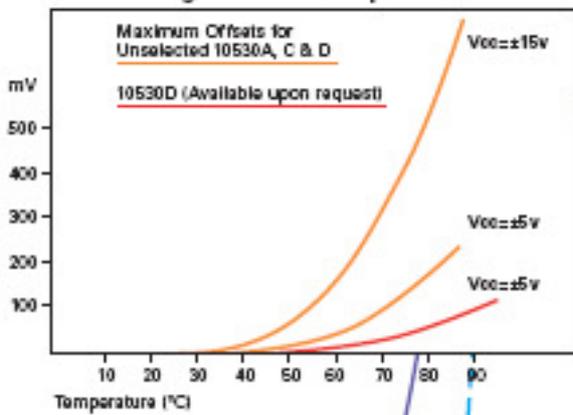
Lens and Window Options

Devices are supplied in TO5 cans with flat or lensed windows. Either window option can be provided with integral filters. Typical filters are "eye response" or IR. Specialist filters such as UV transmissive or bandpass are also available on request.

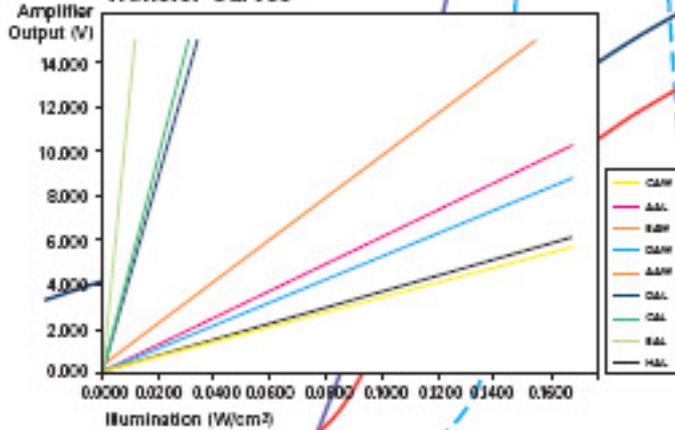
Polar Response



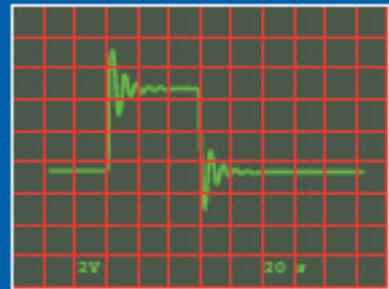
Dark Voltage Offset v Temperature



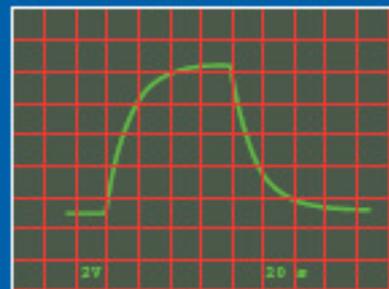
Transfer Curves



Pulse Response



10530A

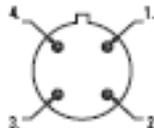


10530D

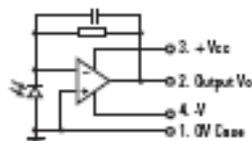
Typical Characteristics @25°C

DETECTORS		HIGH FREQUENCY		PULSE		GENERAL PURPOSE		HIGH GAIN		
PARAMETER	UNITS	10530AAL (with lens)	10530AAW (flat window)	10530CAL (with lens)	10530CAW (flat window)	10530DAL (with lens)	10530DAW (flat window)	10530HAL (with lens)	10530EAL (with lens)	10530EAW (flat window)
DC Supply Voltage (Dual Rail) Vcc	V	+2 to +6	+2 to +6	+2 to +6	+2 to +6	+2 to +6	+2 to +6	+2 to +6	+2 to +6	+2 to +6
DC Supply Voltage (Single Rail) Voc	V	+4 to +36	+4 to +36	+4 to +36	+4 to +36	+4 to +36	+4 to +36	+4 to +36	+4 to +36	+4 to +36
Quiescent Current	mA	40	40	40	40	40	40	16	40	40
Dispersion (up to 95°C) (above 80°C decrease linearly @ 0.7mW/°C)	mW	630	630	630	630	630	630	630	630	630
Dark Level Noise (RMS)	mV	10	10	10	10	0.9	0.9	0.9	15	15
Detector Output Offset (MAX)	mV	±5	±5	±5	±5	±6	±6	±5	±7	±7
Detector Output Voltage Vo (LED - Wavelength 890nm)	$\mu\text{W}/\text{mm}^2$	60	0.8	600	50	600	60	5.8	90.8	90
Detector Frequency Response (-3dB)	KHz	230	230	60	60	12	12	100	62	62
Detector Output Current	Sink	mA	10	10	10	10	10	1	10	10
	Source	mA	1	1	1	1	1	10	1	1
Short Circuit Output Duration	s	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Temperature Range	Operating	°C	-20 to +80	-20 to +80	-30 to +80	-20 to +80	-20 to +80	-20 to +80	-20 to +80	-20 to +80
	Storage	°C	-30 to +100	-30 to +100	-30 to +100	-30 to +100	-30 to +100	-30 to +100	-30 to +100	-30 to +100
Step Response 10% - 90%	Rise Time	µs	2.0	2.0	4.5	4.5	40	40	1	6.0
	Fall Time	µs	15	15	4.2	4.2	40	40	7	5.5
Saturation @Peak Wavelength	V	Vcc-2.0	Vcc-2.0	Vcc-2.0	Vcc-2.0	Vcc-2.0	Vcc-2.0	Vcc-2.0	Vcc-2.0	Vcc-2.0
Photodiode Active Area	(mm ²)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75

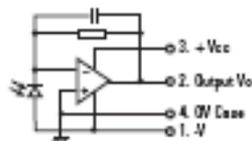
Dimensions (mm) Pinout



Basic Circuit



Basic Circuit 10530HAL



Schema dei collegamenti sensore IPL10530/connettore Lemo 2C/morsettiera SCB-68/trasmittitore HP-HFBR-1204

PIN sensore IPL10530 HAL	Colore cavo	PIN SCB-68 (S series)
1 (-V _{CC})	nero	54 – AO GND
4 (V compensazione)	bianco	22 – AO 0
3 (+V _{CC})	rosso	21 – AO 1
2 (Output V _O)	azzurro	33 - AI1+
NI-PXI 5401		
ARB Out +		65 - AI2 +
ARB Out -		31 – AI2-
R(80 Ohm)		
		22 – AO 0 e 54 – AO GND
64 –AI2 GND, 55 – AO GND, 66 – AI1-, 32 – AI1 GND sono tutti collegati a 54 – AO GND con un collegamento a stella		

Tabella 1 - Schema dei collegamenti generatore di funzioni-scheda

Attenzione Poiché connesso al case del sensore il terminale 4 non deve toccare parti metalliche del cabinet SCB

PIN HP-HFBR - 1204	Generatore di funzioni – NI-PXI 5401
1 - anode (vedi nota ¹)	ARB Out +
2 - cathode (vedi nota)	ARB Out -

Tabella 2 - Schema dei collegamenti trasmettitore(HFBR-1204) - generatore di funzioni

¹ **Pinout del trasmettitore HFBR-1204**

