



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	29
Publication Year	2020
Acceptance in OA@INAF	2020-07-02T09:49:05Z
Title	Dispositivo VeeToTee - Controllo di Potenza per carichi non induttivi
Authors	MARTINETTI, Eugenio, LEONE, FRANCESCO, MUNARI, MATTEO, SCUDERI, Salvatore
Affiliation of first author	O.A. Catania
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/26288 , http://dx.doi.org/10.20371/INAF/TechRep/29



Dispositivo VeeToTee

Controllo di Potenza per carichi non induttivi

Versione 2.1

Premessa

Tra le specifiche di progetto dello spettro-polarimetro ad alta risoluzione CAOS dell'Osservatorio Astrofisico di Catania^[1] è richiesto che la strumentazione ottica, installata su un apposito banco, operi ad una temperatura costante. Per ottenere tale obiettivo, CAOS è stato collocato in una cabina coibentata con l'intento di mantenere la sua temperatura costante ad un valore superiore alla temperatura notturna massima mai rivelata nei due anni precedenti all'installazione dello strumento all'interno dell'edificio che alloggia il telescopio di 91cm. La perdita energetica attraverso le pareti della cabina coibentata viene compensata per irraggiamento da un gruppo di cavi scaldanti depositati sul pavimento metallico. Il controllo elettronico della temperatura ambientale, regola questa con una accuratezza migliore del centesimo di grado Celsius.

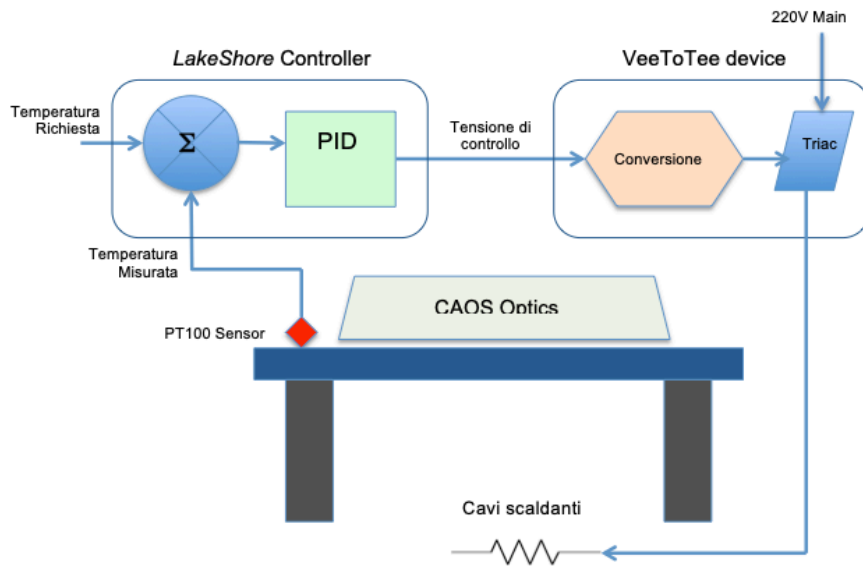


Fig. 1: CAOS – Loop di controllo della temperatura

Il *loop* di controllo (Fig. 1) è garantito da un controller di precisione a microprocessore della *LakeShore*^[2] che confronta la temperatura rilevata in prossimità del banco (da un sensore PT100), con il valore di riferimento pre-impostato. La tensione Σ di errore viene processata in Potenza Integrazione e Derivazione per assumere un valore positivo (da 0 a 5 Volt) che determina quanta potenza occorre fornire per riscaldare la strumentazione.

E' importante notare che il sistema controlla la temperatura solo per mezzo di un loop positivo. Il riscaldamento viene fornito con un apporto di energia, ma il raffreddamento avviene solo per scambio del calore con l'ambiente: non esiste un refrigeratore.

In tale configurazione, il loop di controllo vede l'inerzia termica della strumentazione come parte integratrice, la quantità di potenza impiegata in irraggiamento determina la velocità di risposta in riscaldamento (fronte di salita della curva di risposta) e le inevitabili imperfezioni di coibentazione garantiscono la rapidità in dissipazione (fronte di discesa). Tali parametri vengono considerati nella profilazione del PID all'interno del firmware del controller.

Dispositivo "VeeToTee"

E' stato progettato e realizzato, presso il laboratorio elettronico dell'Osservatorio Astrofisico di Catania, un dispositivo di conversione che, dalla tensione di controllo (da 0 a 5 Volt) erogata dal *LakeShore*, parzializza l'energia elettrica da fornire ai cavi scaldanti.

Scelte di progetto

A causa del volume complessivo della strumentazione da riscaldare (banco ottico, strumentazione e pavimento in parte disperdente) è stato ritenuto opportuno l'impiego di un sistema di riscaldamento, per mezzo di cavi scaldanti a matrice semiconduttiva^[3], per una potenza elettrica di 1,5 KWatt. L'alimentazione del sistema avviene attraverso una linea monofase della rete elettrica a 220 Vac. La stessa linea (opportunamente filtrata da UPS) è impiegata per alimentare la strumentazione (CCD, controller, computer e motori). E' opportuno quindi che il dispositivo VeeToTee, nel controllare un carico di potenza ragguardevole, generi verso la linea di alimentazione la minore quantità possibile di disturbi.

La scelta di controllare la linea di potenza attraverso un sistema lineare viene scartata: sarebbe dispendiosa nella componentistica, poco efficiente nel convertire in dissipazione la potenza non richiesta e non potrebbe garantire (se non con costi elevatissimi) linearità nell'escursione completa.

La comune tecnica di controllo per dispositivi di potenza a PWM, dove la linea elettrica viene modulata con impulsi ad alta frequenza di cui si controlla il ciclo utile, è altresì scartata perché non garantisce una adeguata schermatura ai disturbi generati verso la stessa linea di alimentazione.

Si sceglie pertanto un sistema di controllo di tipo on/off lento dove la tensione di controllo, erogata dal processamento del *LakeShore*, determina la percentuale di accensione/spengimento dei cavi scaldanti in un tempo relativamente lungo "T". Si fornisce energia al sistema per un tempo "t" (sottomultiplo di T) funzione della tensione di controllo. Viene quindi variato il ciclo di lavoro utile dell'energia fornita al riscaldamento; se il rapporto $t / T = 1$, l'energia fornita è massima; per $t = 0$

corrisponde uno spegnimento del sistema. Una tensione di controllo di 2,5 Volt determina un $t / T = 0,5$ ovvero una accensione in cicli del 50% di T.

Ogni commutazione verso il circuito di potenza avviene durante un passaggio per lo zero della tensione di rete. Ciò riduce drasticamente, come illustrato in seguito, i rumori di tipo impulsivo che potrebbero essere generati verso la linea stessa.

Descrizione del circuito

In figura 2 è illustrato lo schema a blocchi del dispositivo VeeToTee.

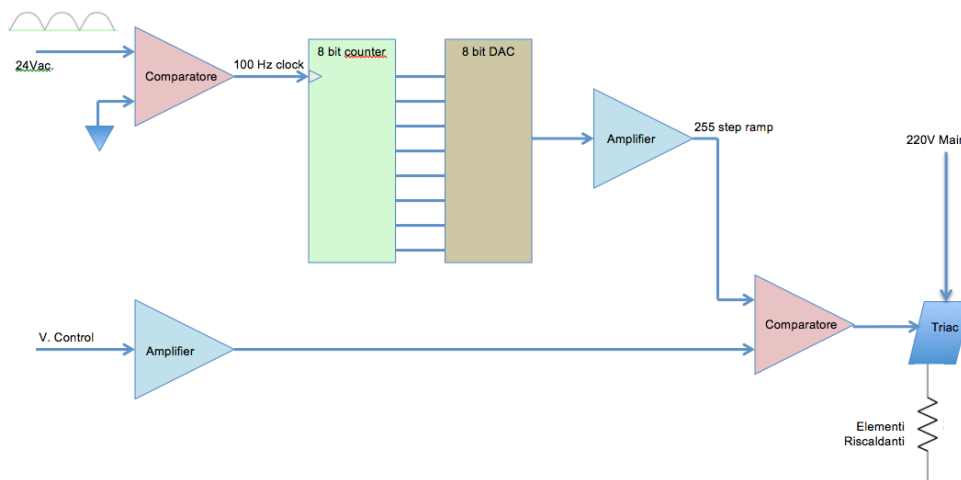
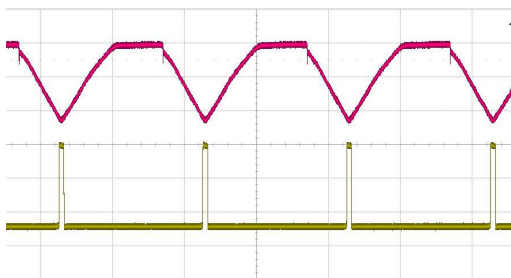


Fig. 2: Dispositivo VeeToTee – Schema a blocchi

Dal circuito di alimentazione del dispositivo, è ricavata una linea a 12 Volt pulsante e sincrona con la tensione di rete; ogni passaggio per lo zero di questa è convertito in un breve impulso per mezzo di un comparatore. Gli impulsi così ottenuti a 100Hz (Fig. 3) vengono inviati ad un contatore binario da 8 bit che chiude il suo ciclo in $2^8 = 256$ passi ovvero $256 \times 10 \text{ msec.} = 2,56$ secondi. Questo è il tempo T in cui opera il dispositivo. Ogni variazione richiesta dal controllo può avvenire solo dopo il completamento del ciclo.

Fig. 3: Generazione frequenza di clock



Il byte così generato, viene inviato ad un convertitore Analogico/Digitale da 8 bit^[4] che, unitamente ad un convertitore corrente/tensione, genera una rampa lineare da 255 step da zero al valore massimo massimo di 8 Volt.

La scelta di impiegare un convertitore da soli 8 bit, in un sistema in cui le operazioni di controllo avvengono, all'interno del *LakeShore*, con processamenti a 24 bit, è confortata dal fatto che una risoluzione maggiore verrebbe comunque deteriorata dai

componenti coinvolti nel circuito di riscaldamento (i componenti del dispositivo stesso, i cavi scaldanti e la tensione di rete) le cui tolleranze non possono essere comunque migliori del 5%.

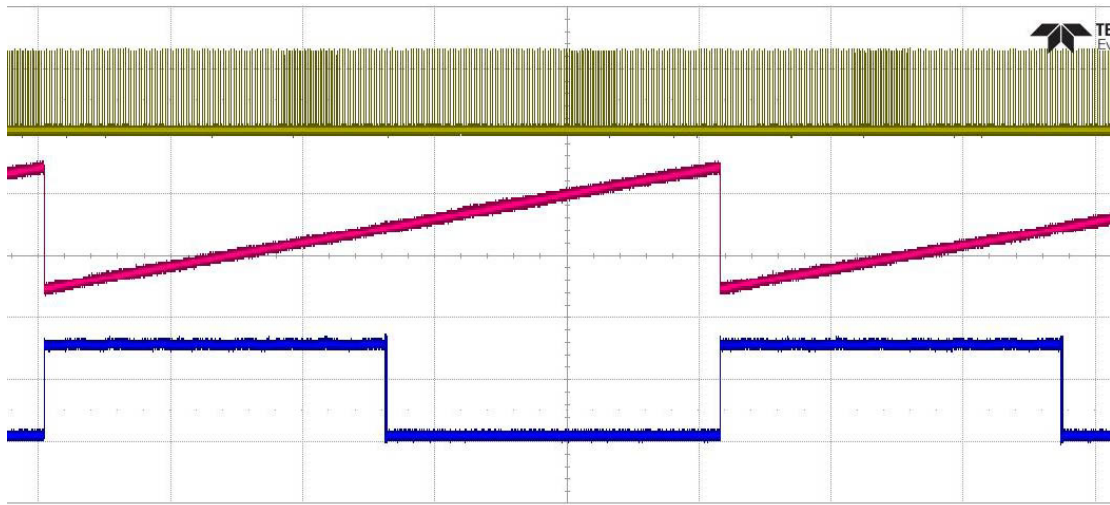


Fig. 4. Rampa e commutazione: In giallo gli impulsi di clock a 100 Hz; in rosso la rampa generata; in blu la commutazione on/off

La tensione della rampa viene comparata con la tensione di controllo (opportunamente amplificata fino a 8 Volt) erogata dal controller *LakeShore*. Il risultato della comparazione determina il tempo t di accensione del circuito di potenza che viene reso attivo per tutti i valori della rampa inferiori a quello della tensione di controllo.

In altre parole, ad ogni ciclo di conteggio ($T = 2,56$ sec.) vengono comparati in tempo reale il valore della tensione di controllo e quello della rampa. Per esempio, se la tensione di controllo erogata dal *LakeShore* è di 2,5 Volt si otterrà una accensione delle resistenze per $t = 1,28$ secondi ed uno spegnimento delle stesse per altrettanti 1,28 secondi (Fig. 4).

In questo caso un contatore da 8 bit assolve perfettamente al suo compito. La bassa frequenza di clock del contatore, su questo circuito, comporta un tempo totale “ T ” ancora comparabile con le inerzie termiche in gioco nel processo di controllo on/off. Da un tempo $T=2,56$ secondi degli 8 bit, si passerebbe a $T=10,24$ secondi con 10 bit, $T=40,96$ secondi con 12 bit e così via, inserendo dei tempi di ritardo inaccettabili nel PID del loop di controllo.

Transizione in “zero crossing”

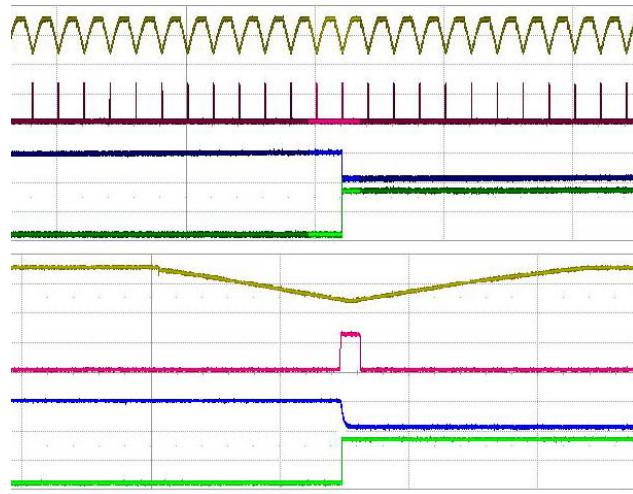


Fig. 5: Transizione in zero crossing in due scale temporali: in giallo la tensione di alimentazione, in rosso gli impulsi di clock, in blu la rampa, in verde la commutazione off/on

Nei circuiti alimentati dalla rete elettrica nazionale, la tensione fornita segue il regime sinusoidale dove il valore istantaneo di $v = V_{max} \times \sin(\omega t)$. In Italia la V_{max} è di 310 volt (+/- 10%) e la frequenza è di 50 Hz. Il valore di v passa per lo zero ogni 10 millisecondi. È importante che la commutazione sulla fase attiva degli elementi riscaldanti avvenga sempre durante un passaggio per lo zero di v . Nel caso in cui i due eventi non fossero sincronizzati, molte commutazioni avverrebbero mentre $v \neq 0$. La tensione verrebbe fornita al circuito di potenza con un gradino (Fig. 6) dal fronte di salita rapido (200V al μ secondo). La risposta al gradino di un carico non puramente resistivo sarebbe indeterminata. Le inevitabili componenti induttive e capacitive distribuite nei cavi scaldanti (e.g. lunghezza dei cavi, vicinanza tra essi, prossimità al pavimento metallico etc.) risponderebbero al transiente con una risonanza (a frequenza imprecisata) propagando verso la linea di alimentazione un'onda stazionaria, difficilmente smorzabile, che andrebbe certamente a disturbare le sensibili elettroniche della strumentazione.

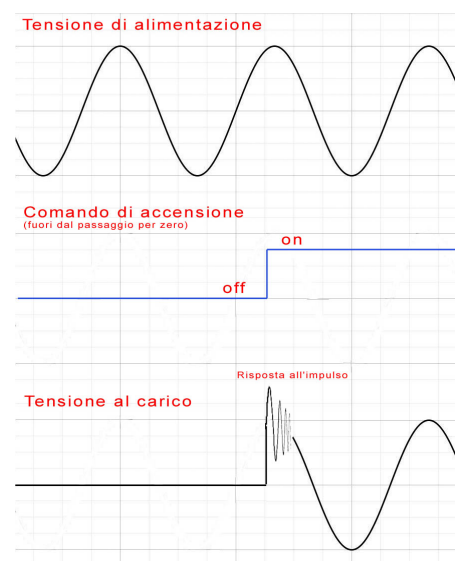


Fig. 6: Commutazione di potenza non in passaggio per lo zero

Se la commutazione avviene in prossimità di un passaggio per lo zero, si riduce la generazione di disturbi.

Conclusioni

Un primo prototipo del dispositivo era stato inizialmente progettato con un contatore da soli 4 bit laddove una rete R/2R assolveva al compito di convertitore D/A. La prospettiva aperta da questa sperimentazione ha portato immediatamente alla riprogettazione del circuito con una risoluzione migliore con conversione a 8 bit.

Il dispositivo opera con successo presso la sede osservativa di Serra La Nave dal 2014 e la precisione ottenuta nel loop di controllo è dell'ordine di $0,01^{\circ}\text{C}$.

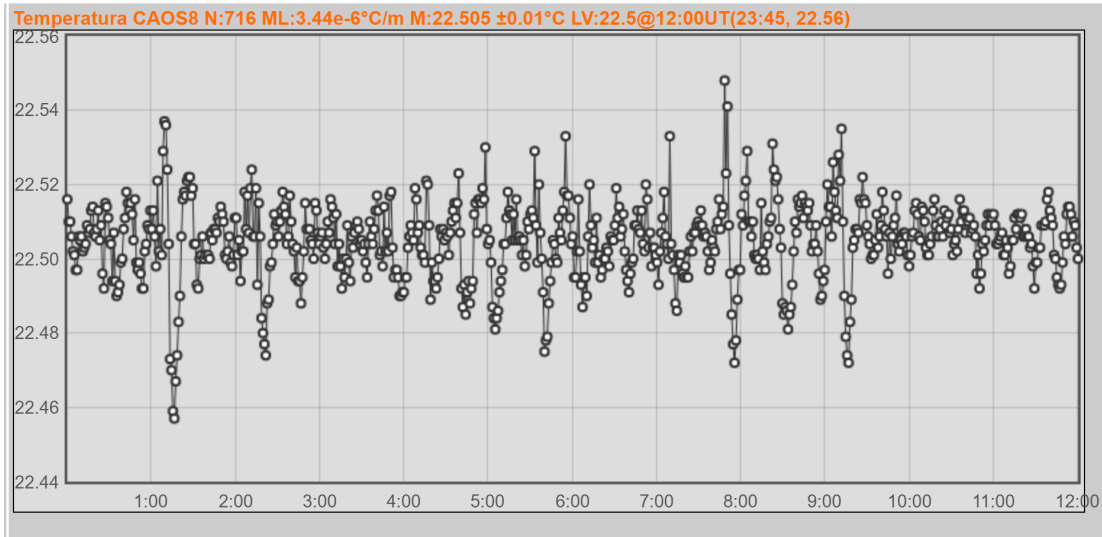


Fig. 7: Dati da una notte di osservazioni (2019/10/17) 500 punti tra le 24:00 e le 12:00

Nell'ambito del progetto PANDORA (Plasmas for Astrophysics, Nuclear Decays Observation and Radiation for Archaeometry)^[5] in corso tra l'INAF e l'INFN, lo spettrografo ad alta risoluzione del Telescopio Nazionale Galileo è stato trasferito presso i Laboratori Nazionali del Sud. E' in corso una riproduzione del sistema per stabilizzare la temperatura dello spettrografo SARG.



Fig. 8: Dispositivo realizzato per il progetto PANDORA

Riferimenti

[1] A METHOD TO CALIBRATE THE HIGH-RESOLUTION CATANIA ASTROPHYSICAL OBSERVATORY SPECTROPOLARIMETER – F. Leone et al. – The Astronomical Journal, May 2016

[2] LAKESHORE MODEL 325 TEMPERATURE CONTROLLER USER'S MANUAL. – Lake Cryotronics Inc. – OH, USA

[3] CAVI SCALDANTI A MATRICE SEMICONDUETTIVA FSLE2-CT – SCHEDA TECNICA – Temar Srl - Milano

[4] DAC08: 8BIT MULTISPEED D/A CONVERTER DATASHEET – Analog Devices Inc. – USA

[5] PANDORA, A NEW FACILITY FOR INTERDISCIPLINARY IN-PLASMA PHYSICS

Mascali, D.; Musumarra, A.; Leone, F.; Romano, F. P.; Galatà, A.; Gammino, S.; Massimi, C.

2017 The European Physical Journal A, 53, 7, id.145