



ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Napoli

INFN/TC-07/05

6 Giugno 2007

**CONTROLLO AUTOMATICO DELL'ILLUMINAZIONE IN UN MICROSCOPIO
PER L'ANALISI DI EMULSIONI NUCLEARI**

Fabrizio Formisano, Nicola D'Ambrosio

INFN-Sezione di Napoli, Dip. Scienze Fisiche Università di Napoli, I-80125 Napoli, Italy

Abstract

In questa nota viene descritta la progettazione di un controllo automatico dell'illuminazione per i microscopi automatizzati utilizzati nell'esperimento OPERA per l'analisi delle emulsioni nucleari. Le caratteristiche richieste al controllo hanno reso necessarie alcune particolari scelte di progetto per garantire un'alta efficienza e un'ottima qualità dell'emissione luminosa con costi contenuti.

*Published by SIS-Pubblicazioni
Laboratori Nazionali di Frascati*

1. INTRODUZIONE

La parte attiva del bersaglio del rivelatore dell'esperimento "OPERA" è costituita da fogli di emulsioni nucleari che saranno analizzate mediante l'utilizzo di microscopi automatici.

L'elevata superficie di emulsioni nucleari da analizzare giornalmente durante la presa dati ($\sim 4000 \text{ cm}^2$) e l'elevata risoluzione spaziale richiesta dalla misura ($\sim 1 \text{ micron}$) ha reso necessaria la progettazione di un sistema di analisi dedicato con *performance* elevate [1],[2],[3]. Durante la fase di acquisizione delle immagini, una delle caratteristiche fondamentali richieste dal sistema è la possibilità del controllo software dell'illuminazione del microscopio [3] per poterne regolare il livello ottimale e mantenerne la stabilità. E' quindi importante poter variare con continuità la luminosità della lampada alogena utilizzata dal microscopio del sistema di analisi, con un segnale di bassa potenza proveniente da una scheda di controllo pilotata dal computer che gestisce il sistema.

L'analisi delle emulsioni viene svolta in ambienti ad umidità e temperatura controllata, necessari per la dipendenza delle emulsioni (spessore e dimensioni) da tali parametri. Il controllo della luminosità deve avere un'alta efficienza, infatti il calore generato da apparati a bassa efficienza può influenzare negativamente la bontà dell'analisi. Sono da controllare anche parametri di qualità del segnale di pilotaggio della lampada, come la stabilità, il ripple e gli effetti di deriva. Il sistema, inoltre, dovrà avere ottime caratteristiche di affidabilità.

I principali requisiti richiesti al controllo di luminosità per il sistema di analisi delle emulsioni non ne hanno permesso un facile reperimento in commercio, si è quindi deciso di progettare uno secondo le specifiche richieste.

2. SPECIFICHE RICHIESTE AL SISTEMA

Oltre alla bontà dei parametri qualitativi del segnale di uscita ed alle restrizioni sull'utilizzo di soluzioni progettuali ad alta efficienza occorre che il sistema si interfacci in modo corretto con il controllo remoto e con la lampada utilizzata nel sistema di illuminazione.

Per soddisfare quest'ultima specifica esso deve poter erogare una tensione variabile nel range 0-12 V con una corrente massima di 9A sui 12V. Per quanto riguarda la qualità occorre un segnale di uscita con ottima stabilità, con effetti di deriva trascurabili ed un fattore di ripple contenuto ($<10 \text{ mV Rms}$), in modo da evitare variazioni di luminosità durante l'acquisizione delle emulsioni.

Per quel che riguarda il segnale di controllo, esso deve essere compatibile con un *range* di pilotaggio da 0 – 10V e da 0 – 5V. Nel sistema deve essere prevista la possibilità di variare il segnale di controllo anche manualmente (da pannello) e deve avere bassi costi di realizzazione dovendo essere prodotta in molte unità. Nel sistema devono essere adottate delle scelte progettuali che tendano a salvaguardare i componenti più sollecitati in modo da ottenere ottime caratteristiche di affidabilità.

3. PROGETTO DEL SISTEMA DI CONTROLLO

Il progetto è stato sviluppato considerando come segnale di controllo in ingresso quello proveniente da una scheda DAC (Digital Analog Converter)[4] installata nel PC che controlla l'acquisizione.

Il sistema di controllo accetta in ingresso un segnale in tensione variabile nei range previsti e fornisce un segnale di potenza variabile tra un minimo stabilito ed un massimo di 12 V / 9A . E' inoltre stata prevista la possibilità di fornire il segnale di controllo attraverso un comando manuale da pannello posto sull'apparato.

Lo schema a blocchi del sistema microscopio automatico è mostrato in fig. 1.

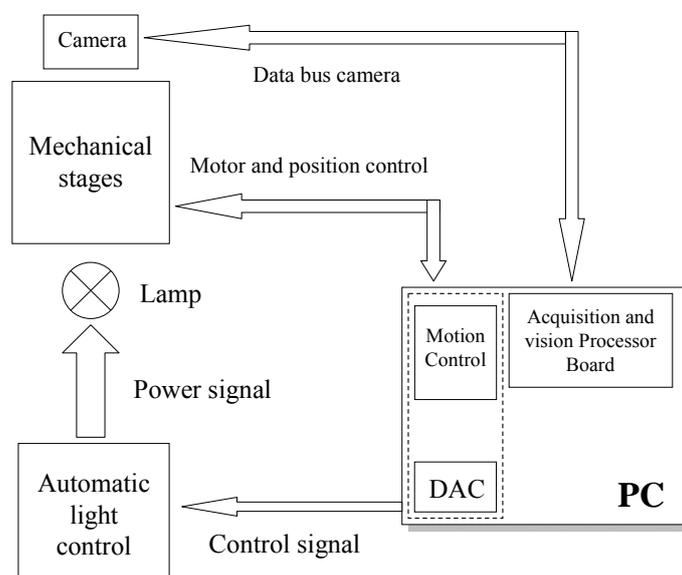


Fig. 1 :Schema a blocchi del sistema microscopio automatico

3.1 CONVERTITORE AC/DC NON STABILIZZATO

Per ottenere ottime caratteristiche di efficienza è stata utilizzata la tecnologia switching. Questa tecnica riduce notevolmente la dissipazione in calore della potenza non utilizzata dal carico. In tal modo viene limitata la perturbazione del sistema sulle condizioni ambientali. Lo schema a blocchi del sistema automatico controllo luce è costituito da 3 blocchi fondamentali (Fig. 2).

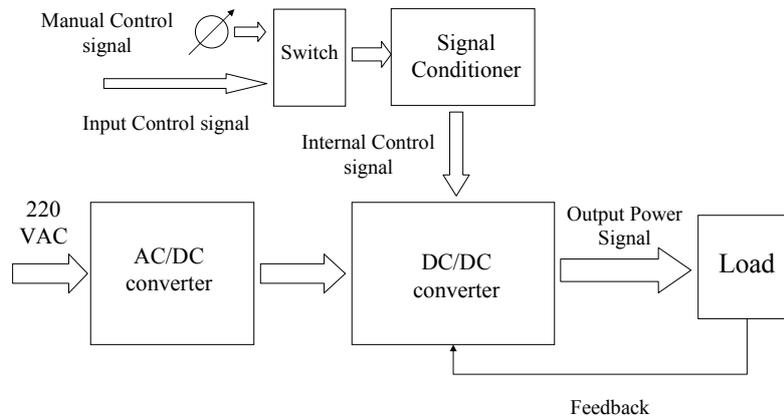


Fig. 2: Schema a blocchi del sistema automatico controllo luce

Il primo rappresenta un convertitore AC/DC non stabilizzato. Il secondo è un convertitore switching DC/DC (topologia Step down) stabilizzato, infine il terzo blocco è costituito da un blocco di condizionamento del segnale di controllo.

Lo schema circuitale del primo blocco è riportato in fig.8. Esso è costituito da un trasformatore e un raddrizzatore a doppia semionda. Il circuito è stato dimensionato in modo tale che il valore minimo della tensione continua in uscita, sia idonea a pilotare il successivo stadio DC/DC anche in condizioni di pieno carico. La capacità totale equivalente è stata calcolata approssimativamente considerando la fase di carica istantanea e la scarica lineare (corrente lineare) avendo assunto la costante di tempo del filtro RC $\gg T/2$ dove T è il periodo della tensione di rete. La formula con tali ipotesi semplificative assume l'espressione di:

$$C_{eq} = (V_{eff_in} * \sqrt{2}) - (2 * V_{df}) / (2 * Freq_rete * R_{lamp} * \Delta V) \quad (6.1)$$

Se si considera che V_{df} (caduta di tensione sul diodo in polarizzazione diretta) di ≈ 1 V e che il massimo ΔV consentito è di 6V in modo da non far scendere la tensione di alimentazione al blocco successivo al di sotto dei 17V, si calcola $C_{eq} \approx 17$ mF.

La scelta dei componenti e la topologia adottata è stata curata in modo da diminuire lo stress a cui sono sottoposti nel funzionamento switching. In particolare è stato utilizzato un banco di condensatori di filtro in configurazione parallela, affinché il massimo ripple di corrente a cui sono sottoposti sia molto al di sotto dei valori massimi consentiti. Inoltre tale

topologia permette di abbassare l'ESR totale del condensatore equivalente, limitandone il riscaldamento ed aumentandone, di conseguenza, il tempo di vita. Questi accorgimenti sono stati necessari per conferire al progetto finale le caratteristiche di affidabilità richieste.

Di seguito sono mostrati gli andamenti del segnale di uscita di tale blocco (Fig.3) e della sola componente alternata (Fig.4) ottenuti dal prototipo, il comportamento di tale modulo rispecchia le specifiche imposte.

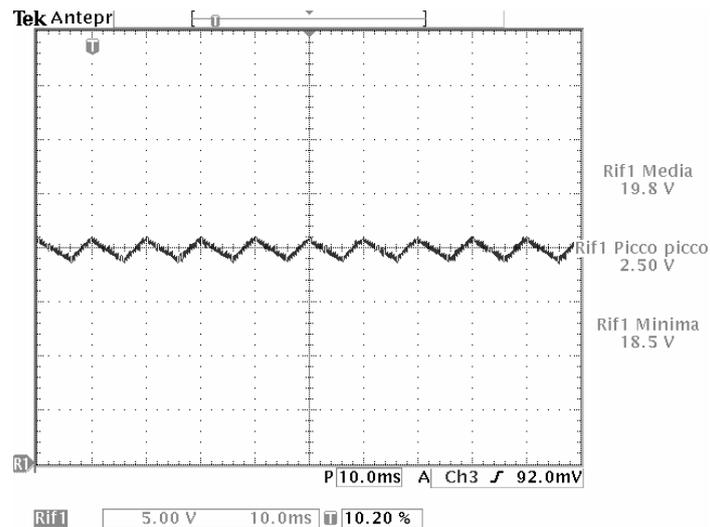


Fig. 3: Segnale di uscita convertitore AC/DC

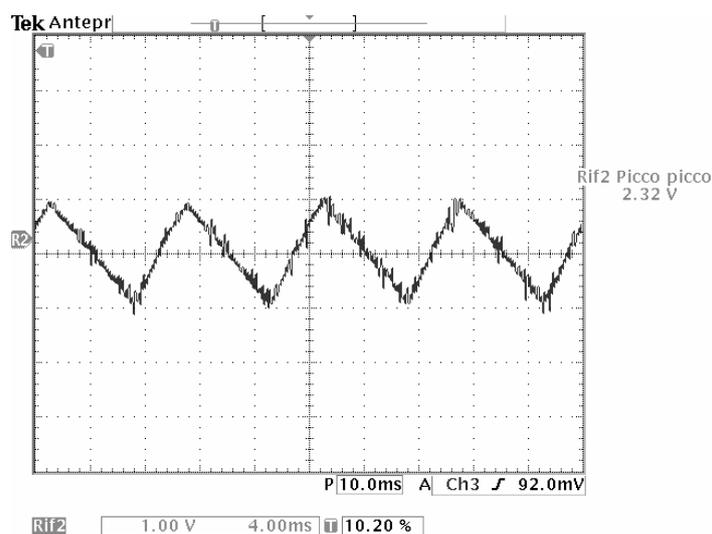


Fig. 4: Componente Alternata segnale di figura 3

3.2 CONVERTITORE SWITCHING DC/DC (STEP DOWN) STABILIZZATO

Nell'ambito della tecnologia switching è stata utilizzata la topologia step down. Questa topologia si presta molto nelle applicazioni di potenza in cui le correnti richieste sono inferiori a valori di 10 A . Esso è costituito da tre blocchi fondamentali. In ingresso abbiamo il MOS di potenza che assolve al compito di interruttore comandato in tensione, il secondo blocco è la sezione che genera il segnale PWM (Pulse width modulation), infine il terzo blocco racchiude il filtro di potenza di uscita.

L'analisi in regime statico (trascurando il transitorio iniziale) del funzionamento dello schema di principio di Fig. 4 può essere condotta suddividendola in 2 fasi principali (trascuriamo la c.d.t. sul MOS e sul diodo in conduzione):

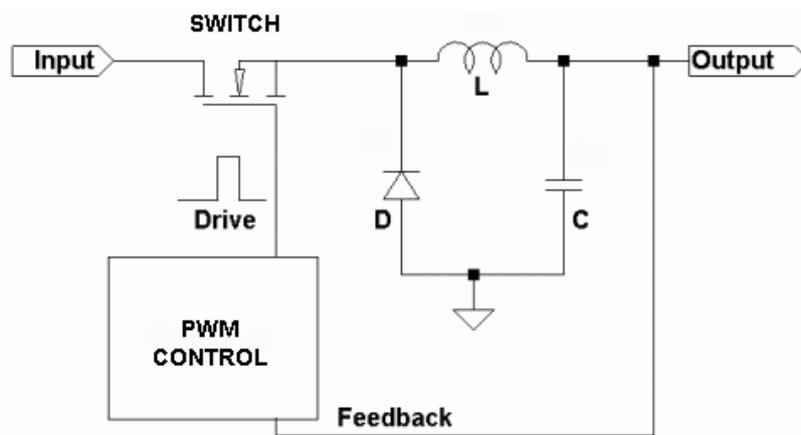


Fig. 4: Schema di principio del convertitore DC/DC stabilizzato

1. prima fase: l'interruttore elettronico è ON, il diodo è interdetto e l'induttanza è sottoposta ad una ddp pari a $V_{in}-V_o$. L'incremento di corrente è funzione del tempo T_{on} , ed è dato dall'espressione:

$$\Delta I_{L_{on}} = T_{on} * (V_{in} - V_o) / L \quad (7.2)$$

2. seconda fase: l'interruttore è OFF, l'induttanza tende a far circolare una corrente attraverso il diodo di ricircolo (ora in conduzione) ed il carico. Il decremento di corrente, funzione del tempo T_{off} , è dato dall'espressione:

$$\Delta I_{L_{off}} = T_{off} * V_o / L \quad (7.3)$$

A regime, l'energia consegnata al carico nel tempo T_{off} deve essere reintegrata nel tempo T_{on} , da qui l'uguaglianza delle ΔI_L intorno ad un valore medio positivo senza che la

IL si annulli (funzionamento in continuous mode). Ne consegue, dall'uguaglianza delle 7.2 e 7.3, un'espressione della tensione di uscita funzione del duty cycle (d) del segnale di pilotaggio del MOS:

$$V_o = V_{in} * d \quad (7.4)$$

Il circuito di reazione deve poter modificare quindi il duty cycle di tale segnale in accordo con un segnale di errore ricavato dal confronto del segnale di uscita con uno di riferimento. Tale compito è svolto da un amplificatore differenziale corredato di una rete di correzione in modo tale da conferire a tutto il sistema di controllo un comportamento stabile.

Al fine di contenere i costi dell'apparato e diminuire al massimo i tempi di progettazione è stato utilizzato, per lo stadio interruttore di potenza, generazione del segnale PWM e segnale di errore, un dispositivo ASIC (Application Specific Integrated Circuit) commerciale [5].

Acquisendo informazioni dall'application note del componente si ricava l'espressione approssimata della funzione di trasferimento ad anello aperto della catena di controllo e questo consente di ricavare i valori di C44, R20, C39 della rete stabilizzatrice al fine di ottenere la stabilità del sistema [6].

Il dimensionamento dei componenti del filtro di uscita è stato effettuato in modo da conferire le caratteristiche volute in termini di tensione e correnti in uscita.

Il valore della L si ricava dalle espressioni 7.2 e 7.3 considerando $T = T_{on} + T_{off}$ e $\Delta I_{L_{on}} = \Delta I_{L_{off}} = \Delta I_L$, l'espressione finale sarà:

$$L = T * (V_{in} - V_o) * V_o / \Delta I_L * V_{in} \quad (7.5)$$

Per ΔI_L scegliamo un valore $\approx 0,2 * I_{Lamp}$ (scelta di funzionamento in Continuous mode), con $I_{Lamp} = V_o / R_{lamp}$.

Il calcolo di L va fatto nella situazione peggiore. Si noti che ad una V_o più piccola corrisponde una L più grande quindi il caso peggiore è garantire che il ΔI_L per una bassa tensione e corrente di uscita (con carico resistivo) sia quella di progetto. Nel caso di tensioni e correnti elevate la ΔI_L sarà migliore di quella di progetto. La L sarà di circa 30–40 uH scegliendo una tensione minima di funzionamento di $V_o \approx 2V$ e con una resistenza interna della lampada di $R_{lamp} \approx 1,40 \text{ ohm}$ (a filamento caldo).

La capacità C del filtro ha la funzione di limitare il ripple di tensione in uscita dovuto all'andamento variabile della corrente di pilotaggio. L'espressione che lega il suo valore al ΔV_o si ricava considerando la corrente nella capacità $I_C = I_L - I_{Lamp}$ da cui $\Delta I_L = \Delta I_C$ per la costanza di quest'ultimo termine. La $\Delta V_o = \Delta V_c$ si ottiene integrando la I_C su un periodo di $T/2$ (nel periodo T la ΔI_C è nulla).

Considerando poi l'espressione 7.5 si ricava l'espressione finale:

$$\Delta V_C = (V_{in} - V_o) * V_o / (8 * V_{in} * f^2 * L * C) \quad (7.6)$$

da cui si ricava l'espressione di C. Il risultato è che la variazione di tensione ΔV_0 , dovuto all'andamento delle correnti oltre a dipendere dalla variazione della corrente stessa è inversamente proporzionale alla frequenza di funzionamento dell'interruttore. Tale frequenza è stata mantenuta alta (circa 200KHz) sia per mantenere basso il ΔV_0 , ma anche per mantenere il rumore indotto nelle fasi di switch a frequenze molto alte in modo da essere filtrate dal comportamento fortemente passabasso della lampada.

A ΔV_0 si sovrappone quello dovuto alla resistenza interna della capacità:

$$\Delta V_{esr} = ESR * \Delta I_L \quad (7.7)$$

In fase di progetto sono stati minimizzati entrambi gli effetti. Il valore di C risulta di $\approx 600 \mu F$, con un $ESR < 0,6 \text{ ohm}$. Per ottenere tali valori è stata utilizzata una topologia parallela con un banco di condensatori da 220 μF a basso ESR e con $C_{tot} \approx 1300 \mu F$.

Inoltre con tale topologia si limita al massimo lo stress elettrico subito dai singoli componenti, con conseguente beneficio per l'affidabilità.

In figura 8 è mostrato lo schema elettrico di tale blocco e nella figura 5 la componente alternata della tensione di uscita. Si notano gli spike tipici del comportamento switching.

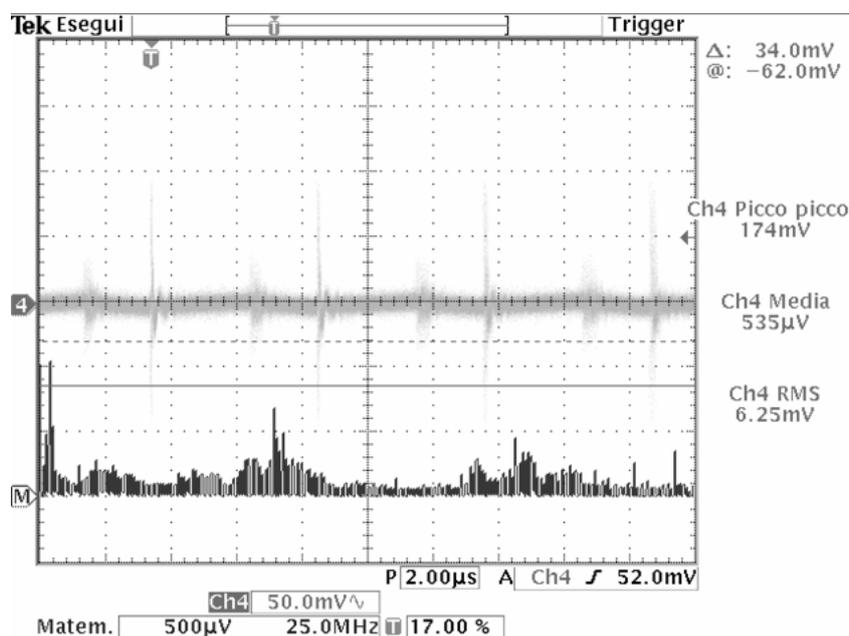


Fig. 5: Andamento della sola componente alternata (con indicazione grafica del peso delle armoniche) del segnale in uscita fornito alla lampada

3.3 BLOCCO DI CONDIZIONAMENTO DEL SEGNALE

Esso consente di adattare il range del segnale proveniente dal software di scansione a quello idoneo al funzionamento interno del sistema di controllo. In pratica esso realizza l'interfaccia con il DAC nel PC.

Il range richiesto per il segnale di ingresso è 0 – 10 V oppure 0 – 5 V. In particolare, a 0 volt la lampada deve portarsi al minimo della luminosità e a 10 (o 5) volt essa funzionerà alla massima luminosità. Si è scelto di adottare un valore minimo della luminosità della lampada diversa da zero per adattare il funzionamento del sistema ad una caratteristica intrinseca delle lampade. Infatti la resistenza interna a freddo della lampada risulta notevolmente inferiore a quella di funzionamento. Per evitare di dover sovraccaricare il sistema quando si impostava una brusca variazione di luminosità, partendo da tensioni nulle, si è preferito mantenere una minima corrente di stand by.

Il blocco adatta il segnale di reazione ad un valore di riferimento fisso (5.1V) interno all'integrato ASIC, al variare della tensione di uscita e del segnale di pilotaggio del DAC.

Il dimensionamento della rete resistiva (R25, R26, R27) consente di ottenere un primo adattamento con un segnale intermedio di pilotaggio compreso tra 0 e 7,5V. In particolare per tensione di intermedio pari al minimo (0V) si ottiene un uscita di valore max (12,7V) mentre per tensione pari a 7,5V si ottiene un uscita minima di circa 1 V.

Il vero blocco di condizionamento adatta il range delle tensioni provenienti dal DAC a quelle necessarie al blocco di reazione (segnale intermedio). Esso è stato realizzato con un amplificatore differenziale a basso rumore e basso drift [7] (Fig. 8), permettendo di convertire il range di ingresso (0-10V e 0-5V) nel range previsto (7,5 - 0). Il blocco è stato completato con un filtro passabasso in ingresso al fine di attenuare eventuali disturbi in alta frequenza provenienti dal controllo remoto e dal blocco per effettuare il controllo manuale. La funzione di trasferimento di una tale topologia risulta:

$$V_{out_cond} = V_z * A1 - V_{dac} * A2 \quad (8.8)$$

dove A1 e A2 sono delle costanti dipendenti dalle resistenze che compaiono nello schema. Dalla risoluzione del sistema che viene fuori imponendo le specifiche sui legami ingresso uscita si ottengono i valori mostrati in Fig.8.

3.4 CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Di seguito sono sintetizzate le principali caratteristiche elettriche ottenute effettuando test specifici sul prototipo.

Principali caratteristiche elettriche:

- Tensione di ingresso 220VAC - 50Hz

- Segnale di controllo $V = 0 - 10V$, $0 - 5V$, $I < 5mA$
- Tensione di uscita $1,9 - 12,7 V$ controllata da un segnale di controllo esterno
- Corrente di uscita $9 A$ Max
- Efficienza $>70\%$
- Ripple e rumore $< 8mV$ RMS (su $500MHz$ di banda)(ai capi del carico Max)
- Variazione dell'uscita per variazione $\sim 50\%$ del carico $< 9mV$ (Massimo carico)
- Tempo di salita $< 180 ms$ (variazione della tensione di uscita $2 - 11 V$ con tempo di salita del segnale di controllo $\sim 20ms - (0 - 8,5V)$) (Fig.6)
- Legame Statico $V_{out} - V_{controllo}$: $V_{out} \approx 1,9 + V_{ctrl} * 1.1$ (Fig.7)
- Deriva della componente media del segnale di uscita: dipendente dalla componente media segnale di controllo esterno (effetto di deriva interno trascurabile).

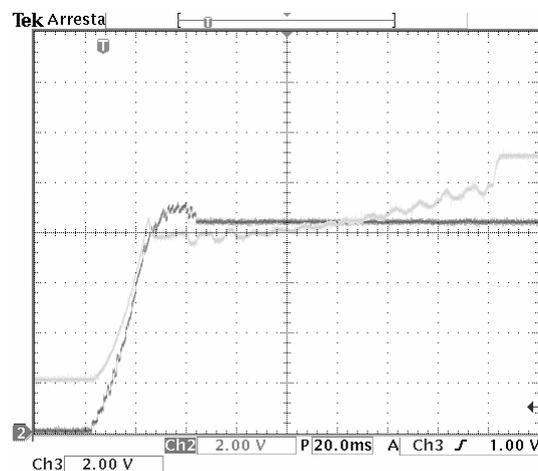


Fig. 6: Risposta approssimata della tensione di uscita del prototipo ad un segnale di controllo a gradino

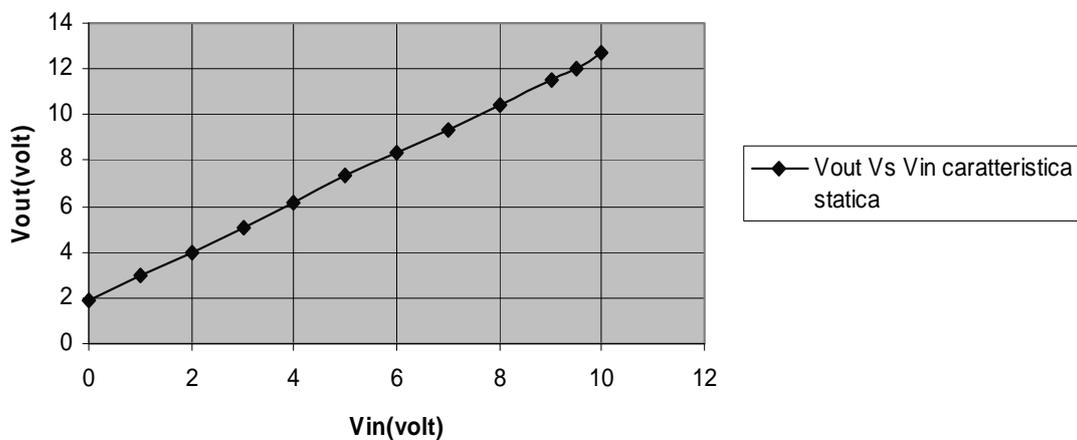


Fig. 7: Legame statico tensione uscita/ingresso del prototipo (range di ingresso 0-10V)

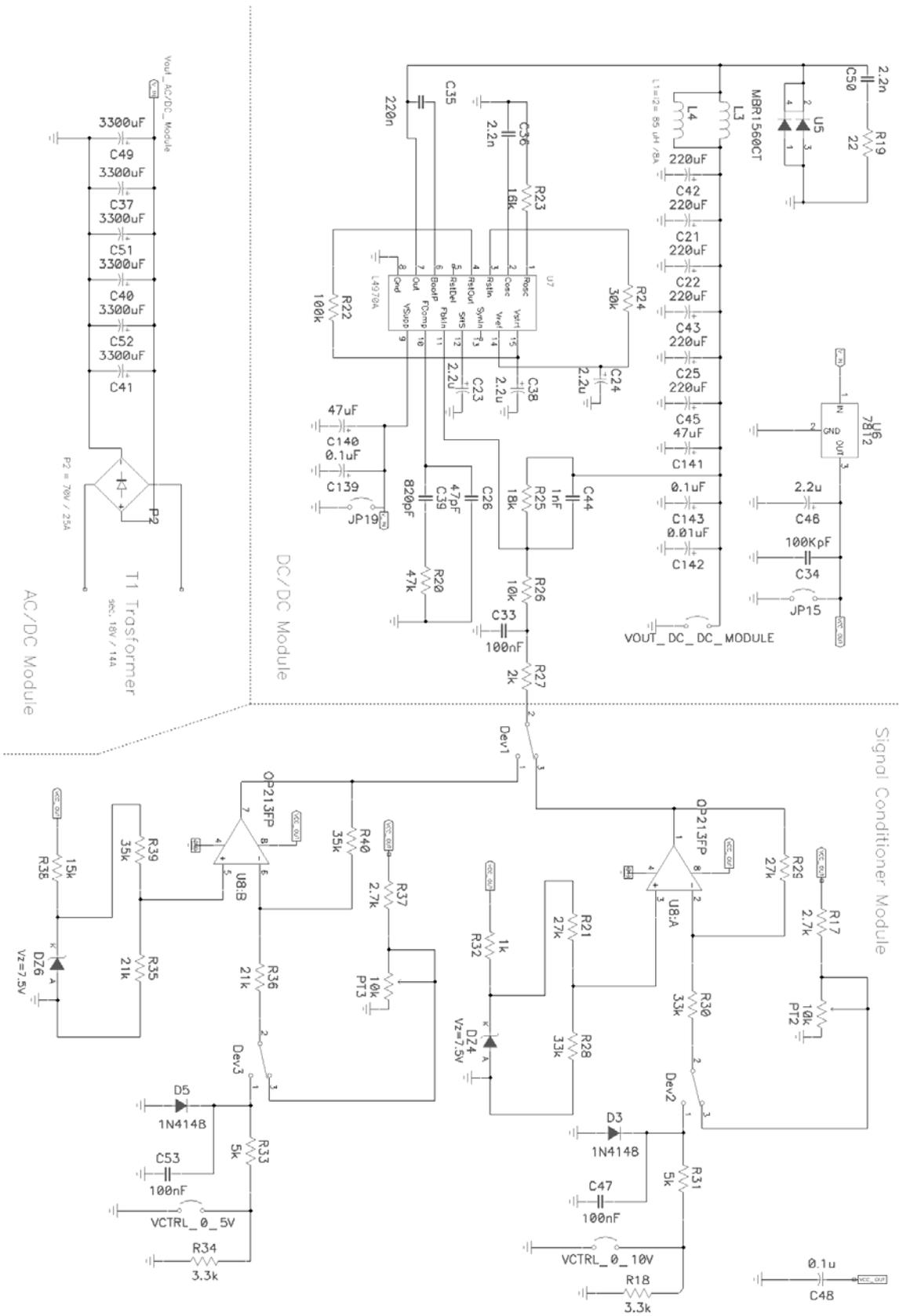


Fig. 8: Schema elettrico completo del Light control

4 TEST SULLA QUALITA' DELLE ACQUISIZIONI DA EMULSIONE

L'elemento base nell'acquisizioni di immagini da emulsioni è il cluster. Esso è la rappresentazione digitale di un grano in emulsione. Le prove effettuate si sono basate sull'analisi di questo elemento base.

Per tale motivo, al fine di dimostrare la perfetta idoneità di tale sistema in questo tipo di applicazione, sono state effettuate delle acquisizioni su lastre di riferimento sia con un controllo della lampada a tecnologia lineare e sia che con il nuovo sistema.

L'acquisizione ha interessato un'area di circa 1 cm² ed è stata comparata la distribuzione dei cluster, per ogni campo inquadrato dalla telecamera, nello strato superiore ed inferiore dell'emulsione.

In figura 9 è mostrato il risultato. Si vede come le due distribuzioni sono perfettamente confrontabili.

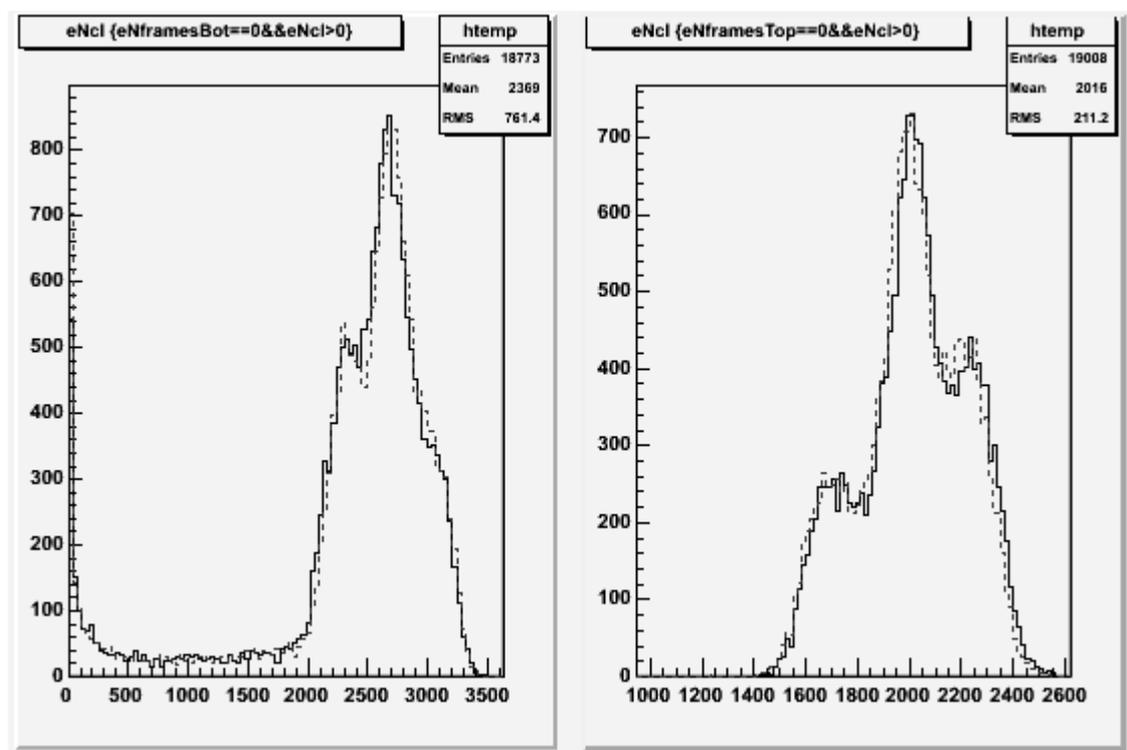


fig. 9: confronto delle distribuzioni dei cluster per view nei due strati dell'emulsione (tratteggio=switching; linea=lineare)

Nelle figure successive (Fig. 10 e 11) è stato eseguito un confronto di parametri relativi ad una elaborazione successiva sui cluster. In particolare si confronta l'andamento della distribuzione angolare(in X) delle tracce ricostruite in emulsione. Per quelle ad angolo '0',

viene mostrata la distribuzione del numero di cluster da cui sono composte. Anche qui i risultati sono perfettamente sovrapponibili utilizzando i due diversi dispositivi.

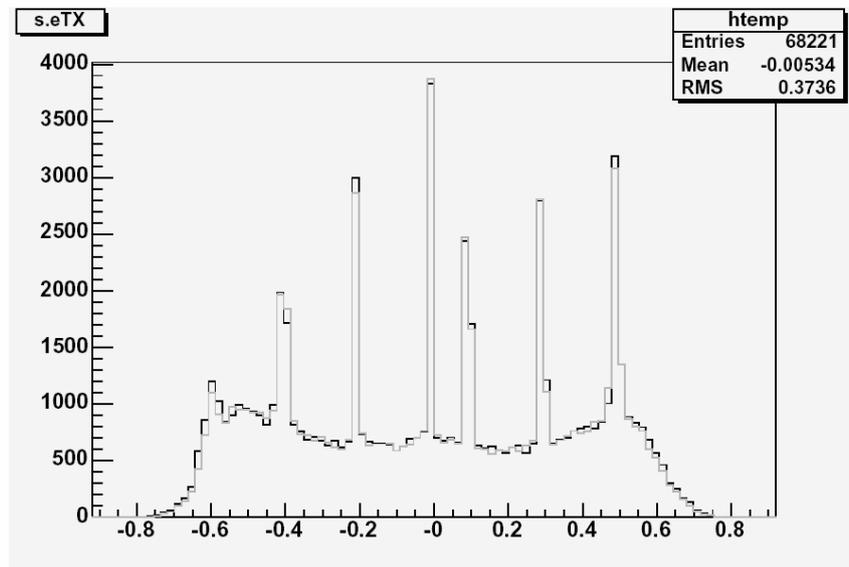


Fig. 10: distribuzione angolare (Rispetto X) delle tracce ricostruite in emulsione (neretto=switching; grigio=lineare)

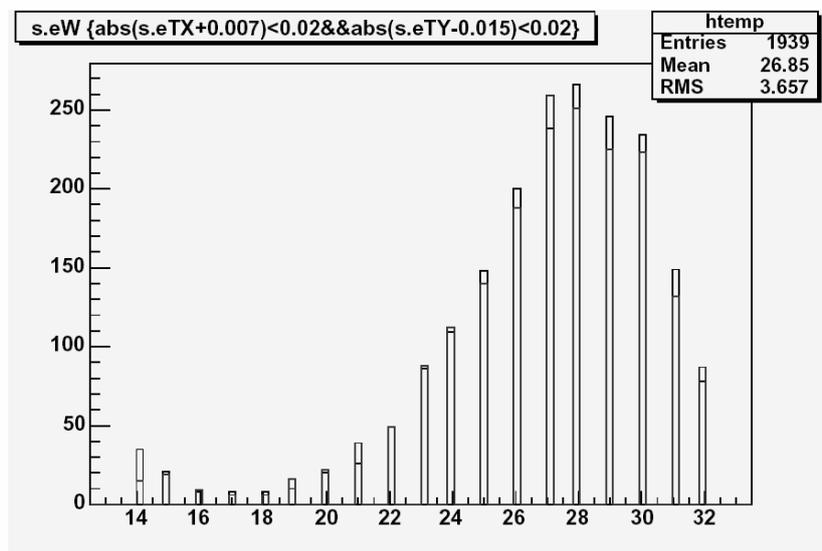


Fig 11: distribuzione dei cluster per le tracce ad angolo '0' (neretto=switching; grigio=lineare)

5 CONCLUSIONI

Il sistema per il controllo automatico della luminosità qui descritto e realizzato si è dimostrato perfettamente conforme alle richieste di progetto. Tale sistema è attualmente utilizzato, nell'ambito dell' esperimento "OPERA", per il controllo dell'illuminazione sui i microscopi automatici per l'analisi di emulsioni nucleari.

Riferimenti

- [1] Nicola D'Ambrosio, A new automatic microscope for nuclear emulsion analysis, Nucl.Instrum.Meth.A 525:193-198, 2004
- [2] N. Armenise et al., High-speed particle tracking in nuclear emulsion by last generation automatic microscopes, Nucl.Phys. A 551: 261-270, 2005
- [3] Nicola D'Ambrosio, Automatic scanning for nuclear emulsion, Nucl.Instrum.Meth.A 477:431-434, 2002.
- [4] National Instruments, User manual NI 7344 Motion Controller.
- [5] STMicroelectronics, Data sheet L4970A 10A Switching regulator.
- [6] STMicroelectronics, Application Note AN557.
- [7] Analog Device, Data sheet OP213FP Operational Amplifier.