



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	157
Publication Year	2022
Acceptance in OA@INAF	2022-06-07T15:03:36Z
Title	Relazione tecnica sul circuito avanzato di protezione da sovracorrente con INA300 e protezione da Latch-Up
Authors	NOGARA, PAOLO, SOTTILE, Giuseppe
Affiliation of first author	IASF Palermo
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/32229 , https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/157

Relazione tecnica sul circuito avanzato di protezione da sovracorrente con INA300 e protezione da Latch-Up

*Circuito di protezione da sovracorrente per il
progetto Hermes*

Paolo Nogara*, Giuseppe Sottile*

***IASF-INAF di Palermo – Palermo (PA)**

ISTITUTO DI ASTROFISICA SPAZIALE E FISICA COSMICA – PALERMO - Area della Ricerca di Palermo
– via Ugo La Malfa, 153 – 90146 Palermo– ITALY

Sommario

Prefazione.....	2
Capitolo 1	3
Funzionamento circuito	3
Capitolo 2	7
Dimensionamento e scelta dei componenti	7
Capitolo 3.....	9
Setup per i circuiti test	9
Capitolo 4.....	11
Risultati misure.....	11
Capitolo 5.....	14
Conclusioni	14
Bibliografia.....	15

Prefazione

Con questo documento si vuole dare una descrizione dettagliata delle scelte che sono state effettuate per la realizzazione del circuito per la protezione da sovracorrente delle alimentazioni dei Cubesat del progetto HERMES. In particolare verrà descritto come si sono ottenuti dei miglioramenti nella rivelazione di una condizione di sovracorrente rispetto al circuito riportato nel report [3]. Inoltre sapendo che l'integrato INA300 non è immune da Latch-Up si è pensato di modificare il circuito introducendo un secondo INA300 al fine di poter rilevare il Latch-Up tramite il controllo di R_{sense} . Di seguito verrà descritta sommariamente la struttura del seguente documento.

Nel **Capitolo 1** viene descritta la struttura e il funzionamento del circuito nella sua interezza per la rilevazione dell'assorbimento anomalo di corrente nella linea di alimentazione che controlla.

Nel **Capitolo 2** viene descritto il procedimento generale di dimensionamento dei vari componenti necessari alla realizzazione del circuito per il rilevamento della sovracorrente.

Nel **Capitolo 3** si riportano i setup realizzati per testare i circuiti test.

Nel **Capitolo 4** si riportano i risultati delle misure effettuate sui circuiti realizzati .

Nel **Capitolo 5** si riportano le conclusioni.

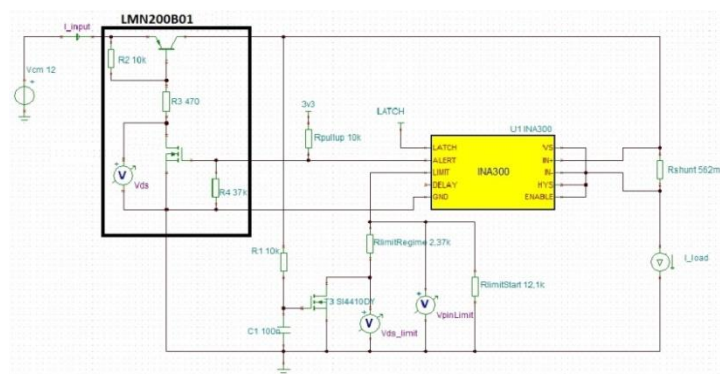
Nella **Bibliografia** si elencano tutti i testi di riferimento utilizzati per la realizzazione del circuito.

Capitolo 1

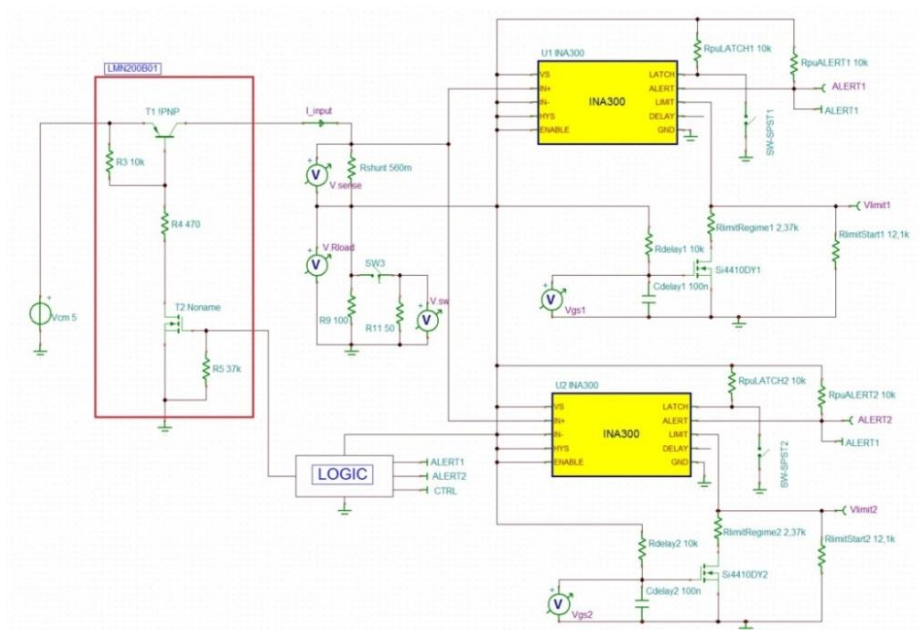
Funzionamento circuito

Il circuito esposto in questo capitolo è stato realizzato perché l'integrato INA300, descritto nel report precedente, [3], non è immune da latch-up. Al fine di realizzare la protezione da latch-up, è stata ideata una configurazione nella quale due INA300 monitorano la tensione V_{sense} che si ha ai capi del resistore R_{sense} . Inoltre, entrambi gli INA300 sono alimentati a valle della R_{sense} . La V_{sense} è data da una tensione di modo comune, V_{cm} , applicata alla serie di R_{sense} ed R_{load} .

Affinché questa architettura funzioni correttamente l'INA300 deve essere in grado di portare basso il segnale di ALERT prima che la tensione di alimentazione si abbassi divenendo inferiore alla minima tensione di alimentazione consentita dallo stesso INA300[1]. Il circuito è stato dimensionato per rilevare una sovracorrente pari al 150% del valore nominale della corrente, nel nostro caso tale valore corrisponde a 100 mA per non danneggiare il componente LMN200B01 [2]. Il circuito diventa quindi il seguente:



Si è poi fatto in modo che in caso di sovracorrente il controllo su LMN200B01 [2] per disalimentare il carico fosse dovuto ad una rete logica, blocco LOGIC della figura riportata sotto, che tenga conto del rilevamento della sovracorrente dei due INA300, che monitorano la stessa R_{sense} , che portano bassa la linea di ALERT ed un segnale di controllo, CTRL, che è gestito dal PC/FPGA. La struttura del circuito diventa quindi la seguente:



Nell'immagine precedente si può osservare che la sovracorrente è stata simulata effettuando una variazione del carico mettendo due resistori in parallelo, R_{load} ed R_{load}^* , mediante la pressione di un pulsante. I valori dei resistori in questo schema non sono gli stessi di quelli scelti per la realizzazione delle board test.

Per le simulazioni del circuito si è avuto qualche problema a causa delle condizioni di indeterminazione, probabilmente dovuti ai modelli dei vari componenti. Per ovviare a questo problema e verificare il corretto funzionamento logico dell'intero circuito si sono inseriti gli interruttori ideali.

L'introduzione degli interruttori ideali ha risolto le condizioni di indeterminazione in tutte le casistiche simulate con un solo INA300. Quando invece si è simulato il circuito con i due integrati si sono ripresentati i casi di indeterminazione, si è comunque passati alla realizzazione del circuito visto che simulati singolarmente funzionano come desiderato.

Una volta realizzato il circuito prototipo, prima si è verificato il funzionamento facendo in modo che i singoli INA300 fossero alimentati singolarmente a valle della R_{sense} , poi si è passati alla configurazione con i due INA300 connessi secondo lo schema riportato sopra. Effettuando diverse prove si è visto che per utilizzare questo schema si deve fare in modo che il tempo d'intervento dell'INA300 sia minore del tempo necessario alla V_s di scendere al di sotto di V_{HL} (tensione livello logico alto) [1]. Altrimenti se la tensione scende velocemente lo stesso integrato potrebbe iniziare a lavorare male non garantendo più i tempi d'intervento desiderati o addirittura potrebbe anche spegnersi.

- Come anticipato e confermato dalle prove eseguite con l'architettura del doppio INA300, affinché il circuito funzioni correttamente, la tensione di alimentazione dell'INA300 deve essere superiore al valore di tensione di alimentazione minima consentita ($V_s \geq 2.7 \text{ V}$ [1])

nell'istante in cui venga misurata una V_{sense} superiore alla V_{limit} e il segnale di almeno uno dei due ALERT vada basso.

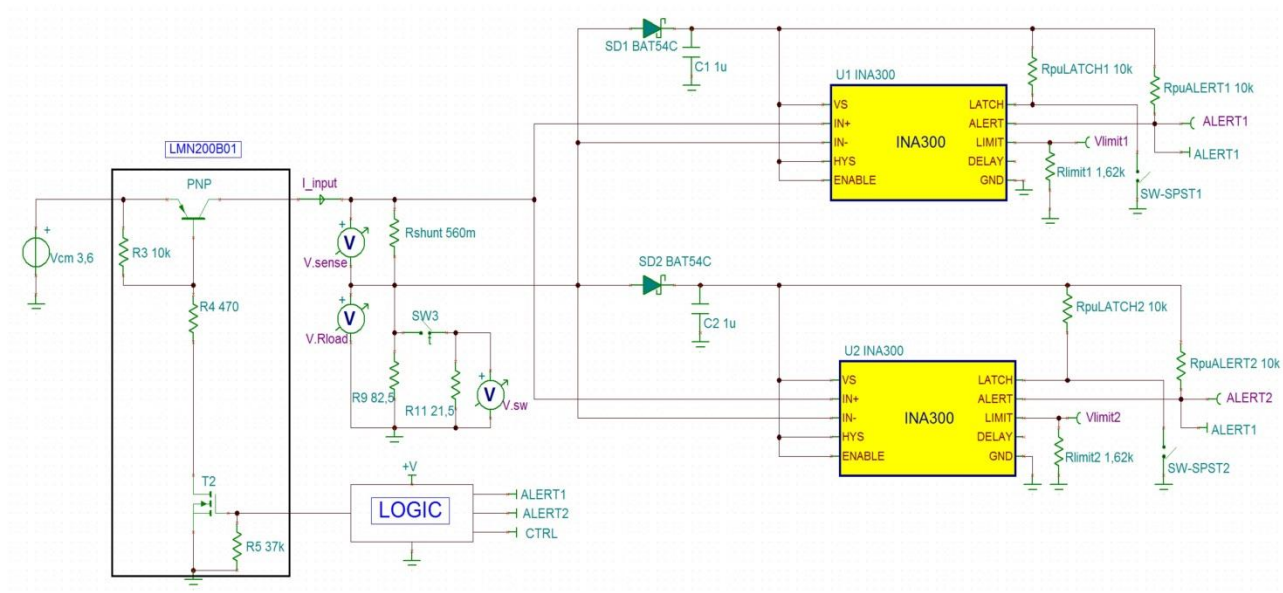
- Come anticipato e confermato dalle prove eseguite con l'architettura del doppio INA300, affinché il circuito funzioni correttamente, il segnale di almeno uno dei due ALERT deve andare basso quando viene misurata una V_{sense} superiore alla V_{limit} e la tensione di alimentazione dell'INA300 non sia ancora scesa al di sotto della tensione di alimentazione minima consentita ($V_s \geq 2.7 \text{ V}$ [1]).

Per evitare malfunzionamenti relativi all'alimentazione dell'INA300 si è introdotta una rete di protezione costituita da un diodo Schottcky BAT54JFILM [4] e da una capacità tampone. La capacità tampone è stata dimensionata in modo tale da garantire l'alimentazione corretta durante l'intervallo di tempo necessario all'intervento del INA300 in condizioni di overcurrent. Il diodo permette alla capacità tampone di scaricarsi sull'INA300 ed evita che si scarichi sul carico in corto circuito (latch-up). La capacità tampone inserita non deve necessariamente essere di grande valore infatti, considerando i bassi consumi dei due INA300, bastano pochi μF . Nello specifico circuito test si è inserita una capacità di $1 \mu\text{F}$.

Un'ulteriore modifica consiste nel rimuovere la rete dei due resistori in parallelo e il MOS-N al pin di LIMIT, si è tolta anche la rete R-C che pilota il gate del MOS. Al loro posto si è inserito un solo resistore al pin LIMIT al fine di generare una sola tensione di soglia, V_{limit} . Ciò è stato fatto per far commutare il segnale di ALERT in corrispondenza di un solo valore di corrente associabile ad una condizione di latch-up. Si è fatto in modo che la nuova V_{limit} non sia prossima al valore massimo, $V_{limitMAX} = 250 \text{ mV}$ [1], ma sia un valore più basso e compreso in tale dinamica.

Tale modifica ha portato conseguentemente a modificare anche la R_{sense} in modo da avere una V_{sense} di valore opportuno al rilevamento della sovracorrente senza causare partizionamenti di tensione rilevanti con il carico. Come detto all'inizio il valore della corrente da rilevare è stato settato al 150% del valore di regime. Come detto nel report [3] per la realizzazione della board il valore della corrente associato ad una condizione di overcurrent è stato vincolato dall'utilizzo dell'integrato LMN200B01 ad un valore di 100mA [2].

La struttura finale del circuito è la seguente:



Premesso che la tensione minima di alimentazione dell'INA300 è di 2.7 V [1], per tensioni V_{cm} superiori a $3.3V + V_Y$ l'INA300 è alimentato correttamente. Per $V_{cm}=3.3V$ nasce il problema della compensazione della V_Y del diodo, inoltre essendo i due INA300 alimentati a valle della R_{sense} si deve tenere in conto della caduta di tensione ai suoi capi. Si noti che per fare in modo che l'INA300 lavori con una $V_s=3.3V$ è necessario che la V_{cm} sia un po' più alta in modo da compensare la V_Y del diodo. Ciò implica conseguentemente che sul carico vi sarà una tensione più alta rispetto ai 3.3V desiderati.

Il blocco LOGIC riportato nello schema elettrico di figura, deve ancora essere implementato perché fin ora si è controllato LMN200B01 con un solo segnale di ALERT, mentre il secondo segnale di ALERT è stato solo monitorato per vedere se commutava in corrispondenza dell'evento di sovracorrente.

Capitolo 2

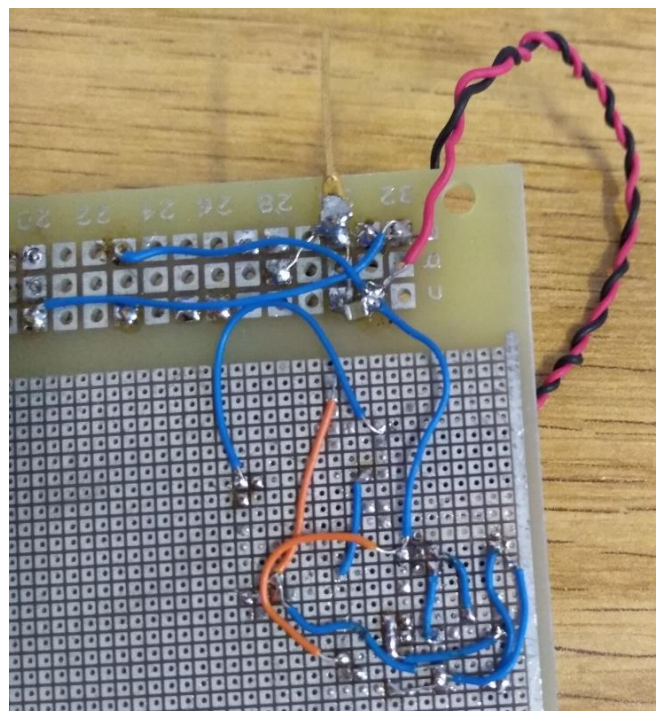
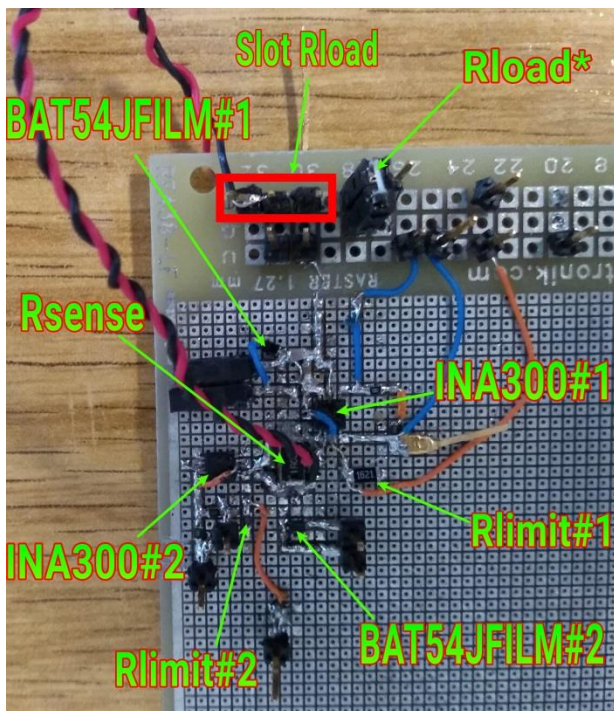
Dimensionamento e scelta dei componenti

Il circuito è stato progettato ipotizzando una condizione di sovracorrente sul carico dovuta ad una corrente pari a $I_{loadMax}=100mA$ che come detto prima è vincolata da una $I_{Max_LMN200B01}=200mA$ [2].

Anche se interessa il funzionamento in modalità LATCH si sono comunque effettuati dei test in modalità TRANSPARENT. Una volta verificato il funzionamento generico e valutati alcuni parametri dell'INA300, come ad esempio il tempo di reazione $t_p \approx 1 \mu s$, si è passati alla modalità LATCH.

Come anticipato in precedenza non essendo l'INA300 immune dal latch-up, si è pensato di modificare ulteriormente lo schema introducendo un secondo INA300 a monitorare la stessa R_{sense} , che è di $R_{sense} = 332m\Omega$, e pilotare di conseguenza LMN200B01 con una logica che permette di alimentare il carico se e solo se entrambi i sense current sono sotto soglia. Il nuovo valore della R_{sense} è stato ottenuto mettendo in parallelo quattro resistori di $1\Omega \pm 1\%$. Si è cambiata anche la $R_{LIMIT}=2160\Omega$ a cui corrisponde una $V_{LIMIT}=43.2mV$ ben distante dai 250mV massimi.

Ciò è stato fatto per monitorare un valore di tensione V_{IN} più bassa a parità di corrente a regime rispetto a quanto riportato nel report1. Inoltre diminuendo la R_{sense} si possono monitorare correnti maggiori restando entro la dinamica dei 250mV. Di seguito si riportano rispettivamente il fronte e il retro della board realizzata:



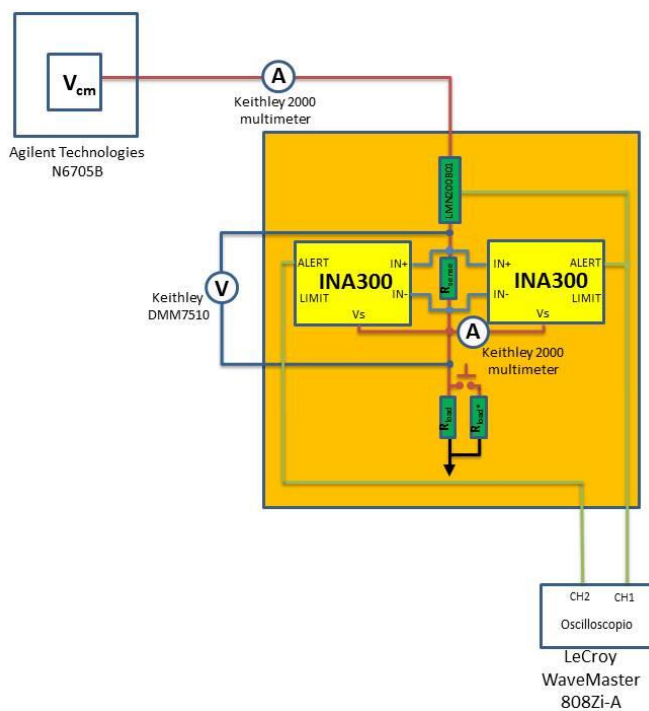
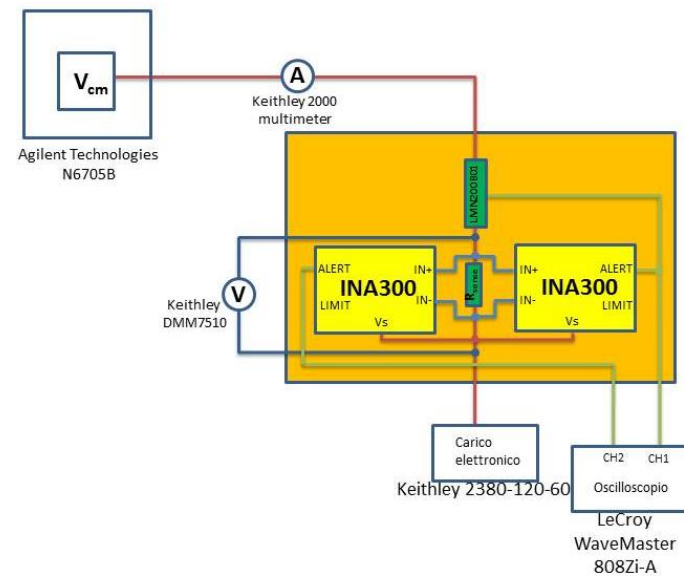
Si sono poi effettuati gli stessi test e le stesse misure riportate nel report1 variando la tensione di alimentazione dell'INA300. In un primo momento si sono ripetuti con una tensione di $V_s=5$ V. Si è visto che non si avevano cambiamenti sul funzionamento dell'intero circuito adattando opportunamente i valori del carico al fine di non danneggiare i vari componenti (es. $I_{MAX} < 200\text{mA}$ per LMN200B01 [2]).

I test sono stati effettuati anche al variare della temperatura in un range $[-40 \div +70]$ °C in camera termica *ESPEC SH-642* [5]. Inoltre si precisa anche che oltre all'oscilloscopio, [6] [9], si sono utilizzati come amperometri e voltmetri i multimetri della Keithley, [7] [8].

Capitolo 3

Setup per i circuiti test

In questo capitolo si riportano gli schemi a blocchi dei setup implementati al fine di verificare il funzionamento delle varie versioni e per acquisire i segnali d'interesse.



Si precisa che nello schema a blocchi del setup non sono stati riportati i diodi Schottcky e i condensatori presenti sulla board.

Capitolo 4

Risultati misure

Questo circuito è stato testato in temperatura in un range $[-40 \div +70]$ °C all'interno della camera termica [5]. Le grandezze d'interesse sono state monitorate in modo continuo ma i valori sono stati acquisiti ad intervalli di 10°C.

Prima di effettuare le misure sulla board si sono misurati le seguenti grandezze prima e dopo essere state saldate sulla board:

	$R_{load1}[\Omega]$	$R_{load2}[\Omega]$	$R_{load}^*[\Omega]$	V_Y
Prima	82.56	21.5	17.12	247
Dopo	82.54	21.51	17.1	249

Dove con R_{load}^* si è indicato il valore ottenuto dal parrallelo tra R_{load1} ed R_{load2} .

Si precisa che nella seguente tabella si sono riportate:

- V_{s_INA} : indica la tensione che si ha dopo uno dei diodi Schottky e ai capi della condensatore tampone,
- I_{in} : indica la corrente misurata all'ingresso del circuito (fornita da generatore a tutto il circuito),
- I_{INA} : indica la corrente a valle di uno dei diodi Schottky ($I_{INA} + I_{RpullUp}$).

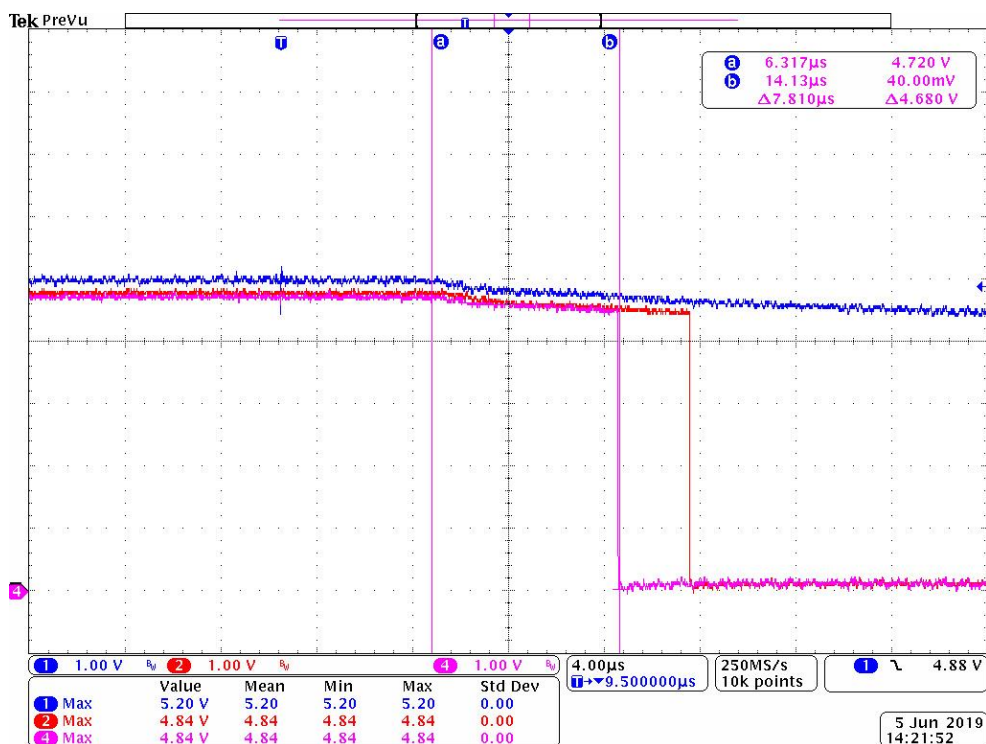
$T[^\circ C]$	$V_{ALERT}[V]$	$V_{s_INA}[V]$	$V_{sense}[mV]$	$V_{load}[V]$	$I_{IN}[mA]$	$I_{load}[mA]$	$I_{INA}[\mu A]$	$V_{GEN}[V]$	$R_{load}[\Omega]$
-40	3.37	3.39	12.27	3.58	43.692	43.573	119	3.642	82.5
-30	3.38	3.40	12.39	3.58	43.685	43.569	116		
-20	3.41	3.43	12.51	3.59	43.680	43.565	116		
-10	3.43	3.45	12.63	3.59	43.674	43.559	115		
0	3.44	3.46	12.75	3.59	43.670	43.552	118		
10	3.46	3.48	12.87	3.59	43.666	43.547	119		
20	3.47	3.49	12.98	3.59	43.664	43.542	122		
30	3.50	3.52	13.10	3.59	43.658	43.538	120		
40	3.50	3.52	13.22	3.59	43.655	43.533	122		
50	3.52	3.54	13.34	3.59	43.652	43.528	124		
60	3.53	3.56	13.46	3.59	43.647	43.524	123		
70	3.55	3.58	13.58	3.59	43.644	43.520	124		

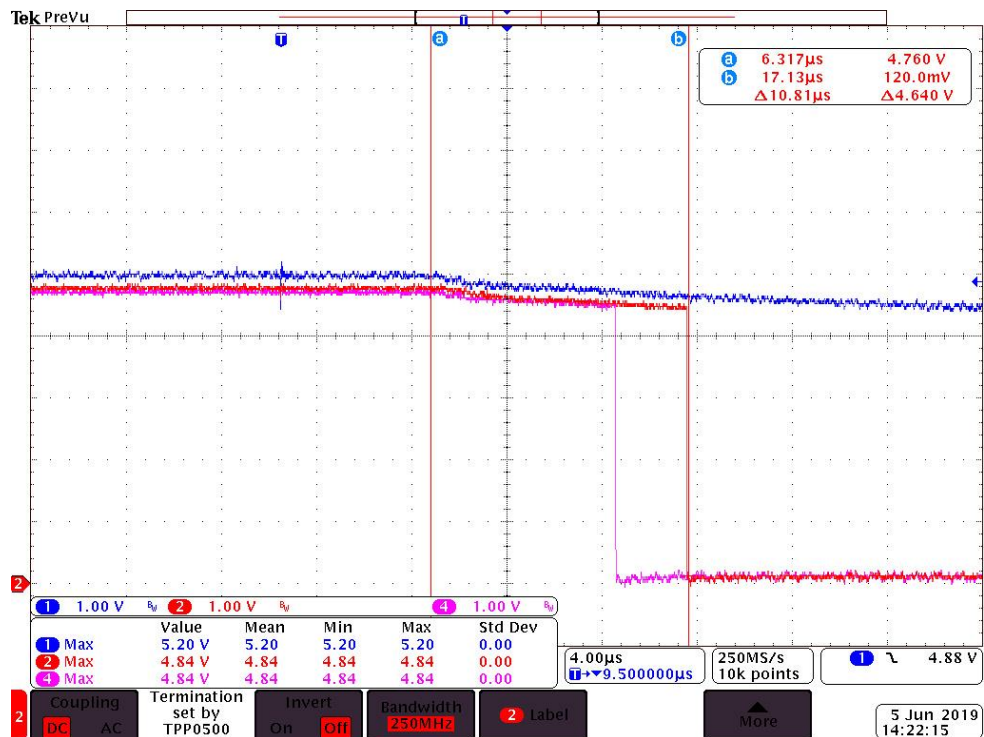
Va precisato anche che per facilitare le acquisizioni al variare della temperatura e delle tensioni di funzionamento non si è inserito il carico all'interno della camera termica. Ciò è stato fatto al fine di poter sostituire il carico per le varie tensioni V_s di lavoro senza dover aprire la camera.

Di seguito si riportano i valori della variazione subita dalla V_{s_INA} di quando si introduce il secondo carico in parallelo:

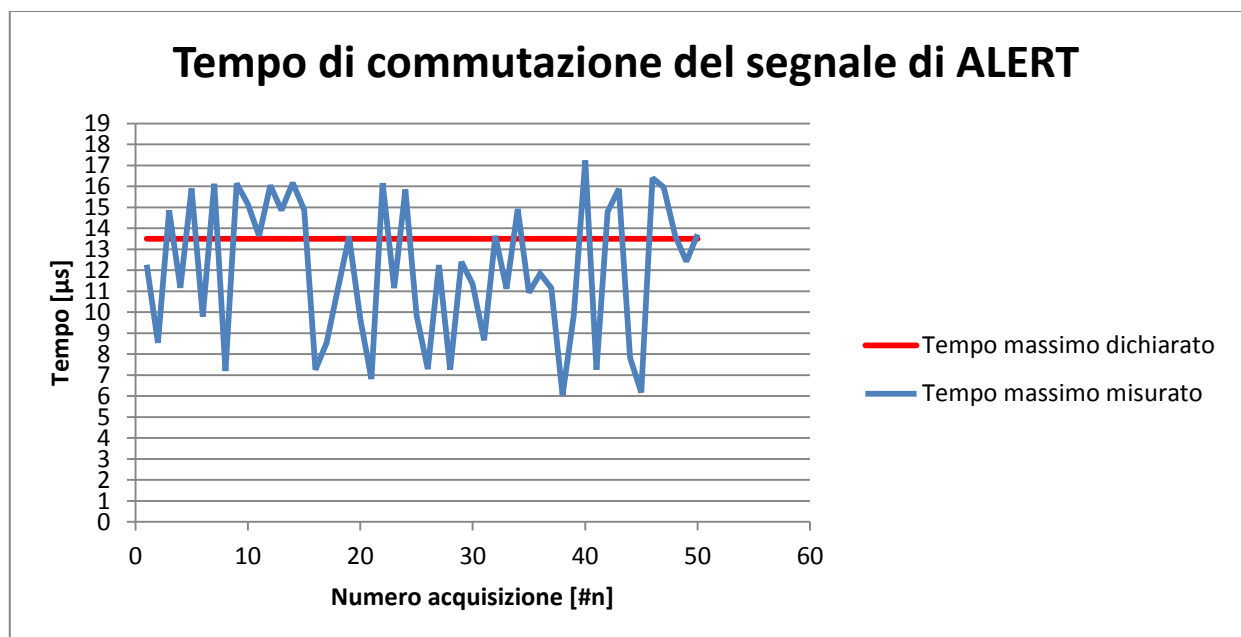
T [°C]	ΔV_{s_INA} [mV]
-40	100
-30	140
-20	120
-10	120
0	100
10	100
20	140
30	180
40	100
50	120
60	120
70	120

Di seguito invece si riportano gli andamenti della tensione V_s di uno dei due INA300, in blu, e dei due segnali di ALERT, in fucsia e rosso:





Effettuando diversi test sulla board si è riscontrato un tempo d'intervento un po' più lungo rispetto a quanto dichiarato sul datasheet [1]. Di seguito si riporta l'andamento dei tempi d'intervento riscontrati sul verificarsi di 50 eventi di overcurrent rispetto al tempo massimo dichiarato (13.5 μ s):



Capitolo 5

Conclusioni

Con questo circuito si è riusciti a rilevare le condizioni per cui si può garantire il corretto funzionamento e il tempo d'intervento dei vari segnali. Inoltre si è in grado di rilevare condizioni anomale, eventuali corto circuiti o latch up, che possono interessare la tensione di alimentazione dell'INA300 senza compromettere le prestazioni del circuito.

La pecca di questo circuito, come quelli riportati in [report1], è che si rileva la sovracorrente ma non si è in grado di quantificarla in modo diretto. Questo potrebbe essere utile per il PC/FPGA a valutare il corretto funzionamento del carico senza bisogno che si verifichi necessariamente una sovracorrente.

Bibliografia

- [1] <http://www.ti.com/lit/ds/sbos613b/sbos613b.pdf>
- [2] <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds30651.pdf>
- [3] Rapporto Laboratorio di Elettronica IASF-PA n. 1/2019
- [4] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00001322.pdf>
- [5] https://espec.com/images/uploads/files/t_su-sh_benchtop.pdf
- [6] <http://cdn.teledynelecroy.com/files/pdf/wavemaster-8zi-b-datasheet.pdf>
- [7] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/dmm7510>
- [8] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/keithley-2000-series-6%C2%BD-digit-multimeter-scanning>
- [9] http://www.farnell.com/datasheets/866462.pdf?_ga=2.158342010.1718724779.1556889712-1209876666.1499853774