



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	158
Publication Year	2022
Acceptance in OA@INAF	2022-06-07T15:04:21Z
Title	Relazione tecnica sul circuito di protezione da sovracorrente con INA301A1
Authors	NOGARA, PAOLO, SOTTILE, Giuseppe
Affiliation of first author	IASF Palermo
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/32230 , https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/158

Relazione tecnica sul circuito di protezione da sovracorrente con INA301A1

*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
<i>Funzionamento circuito</i>	3
Capitolo 2	7
<i>Dimensionamento e scelta dei componenti</i>	7
Capitolo 3	11
<i>Setup dei circuiti test</i>	11
Capitolo 4	12
<i>Risultati misure</i>	12
Capitolo 5	18
<i>Conclusioni</i>	18
Bibliografia	19

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 verranno descritte le modifiche effettuate ed i vantaggi ottenuti dall'utilizzo dell'integrato INA301A1 piuttosto che l'INA300. Inoltre viene descritto il setup con cui è stato verificato il funzionamento del circuito. Di seguito verrà descritta la struttura del seguente documento.

Nel **Capitolo 1** viene descritta la struttura del circuito integrato utilizzato e la logica di funzionamento. Inoltre, viene descritto il funzionamento generale 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 .

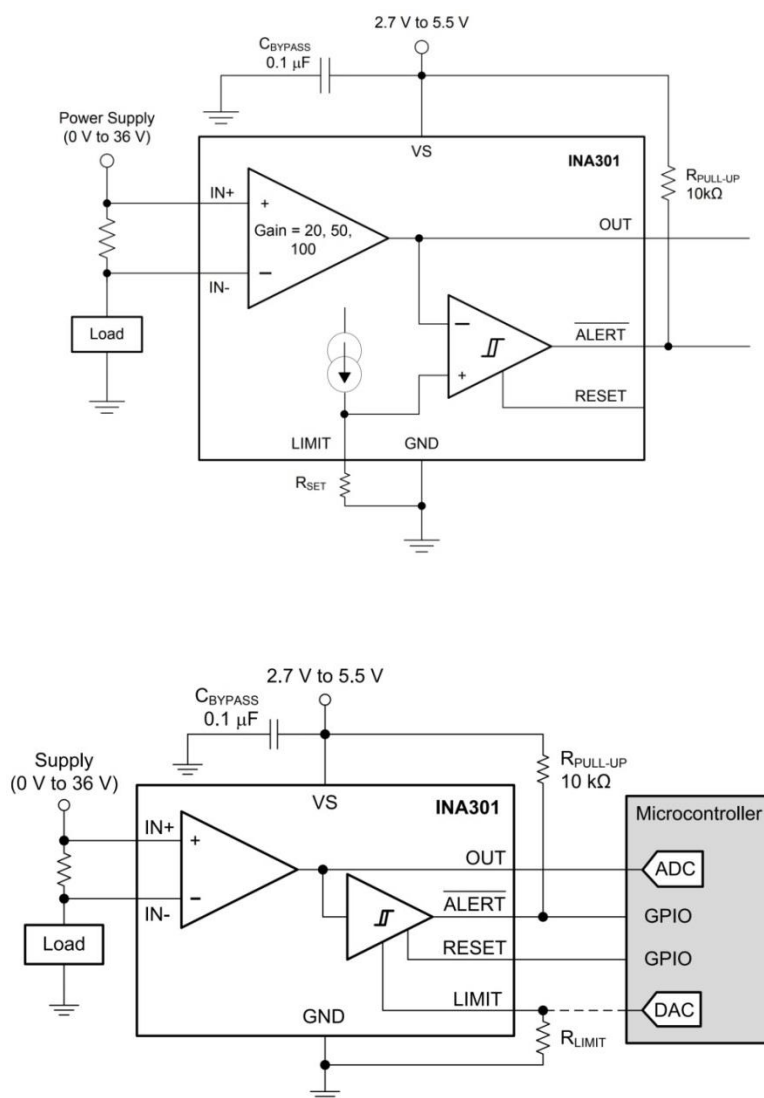
Nel **Capitolo 5** si riportano le conclusioni.

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

Capitolo 1

Funzionamento circuito

Il circuito descritto in questo capitolo è stato progettato tenendo conto di quanto è stato fatto nei report [1] e [2]. Rispetto ad questi si è sostituito l'integrato INA300 [3] con l'integrato INA301A1 [4] perché presenta la stessa logica di funzionamento e caratteristiche analoghe ma le differenze tornano decisamente utili per le informazioni aggiuntive che riesce a fornire al PC/FPGA; inoltre è anche più veloce nel rilevare una condizione di sovracorrente con un tempo di intervento/commutazione pari a $1\mu\text{s}$ [4] dal superamento della soglia imposta con la V_{LIMIT} . Di seguito si riporta lo schema a blocchi del funzionamento dell'integrato ed un possibile schema del suo utilizzo:



Nel caso dell'integrato INA301A1 si ha un $Gain=20$ [4].

Come per l'INA300 [3] anche l'INA301A1 [4] permette di implementare la funzione desiderata con un ridotto numero di componenti esterni, inoltre può essere utilizzato sia in modalità LATCH che in modalità TRANSPARENT [4].

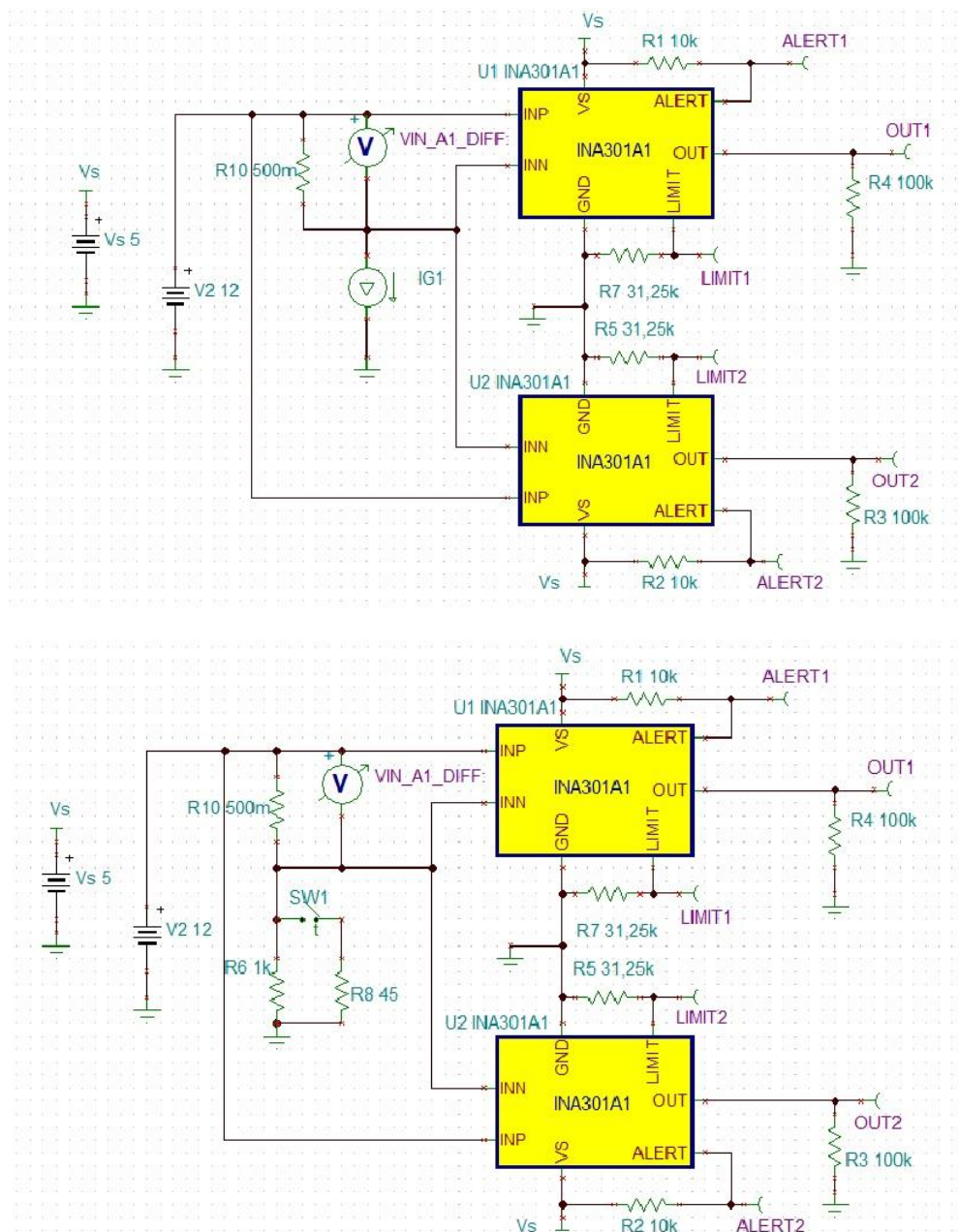
L'INA301A1 monitora tramite i pin $IN+$ e $IN-$ la tensione V_{IN} ai capi del resistore di sensing, R_{sense} , opportunamente dimensionato [4]. La V_{IN} è ottenuta da una tensione di modo comune, V_{cm} , applicata alla serie di R_{sense} ed R_{load} , resistenza di carico. Non appena V_{IN} supera la tensione di soglia V_{LIMIT} , settata tramite un resistore esterno opportunamente dimensionato al pin LIMIT, il pin ALERT verrà portato basso. Ciò sta ad indicare che su R_{sense} , e quindi sul carico, sta circolando una corrente superiore al valore desiderato per il corretto funzionamento.

Si noti che l'INA301A1 permette di monitorare la corrente che circola sul carico tramite il pin OUT, infatti la tensione a tale pin altro non è che la V_{IN} moltiplicata per il guadagno dell'amplificatore differenziale d'ingresso che nello specifico caso è pari a $20 \frac{V}{V}$ [4]. Tale tensione è anche mandata all'ingresso di uno *Schmitt trigger* per essere confrontata con la soglia scelta per l'individuazione della condizione di overcurrent.

Il segnale al pin di ALERT resta basso finché la corrente che attraversa la R_{sense} determina ai suoi capi una tensione V_{sense} superiore alla V_{LIMIT} , poi tornerà alto non appena $V_{sense} < V_{LIMIT}$. Tutto ciò nel caso in cui si facesse lavorare l'INA301A1 in modalità TRANSPARENT [4], altrimenti ALERT rimarrà basso finché $V_{sense} < V_{LIMIT}$ ed il pin di LATCH non venga mantenuto al livello logico basso per almeno 100 ns [4]. Per poter funzionare in modalità LATCH l'INA301A1 necessita di un resistore di pull-up al pin RESET affinché l'uscita dello *Schmitt trigger* mantenga basso il pin di ALERT indefinitamente se non viene resettato. Sulla connessione dei restanti pin si rimanda al datasheet dell'integrato INA301A1 [4]. Il circuito è stato progettato per rilevare una sovracorrente pari a $I_{loadMax}=150$ mA.

Sul datasheet dell'INA301A1 è riportato che la tensione d'alimentazione, V_s , deve essere compresa nell'intervallo $[2.7 \div 5.5]$ V, si è scelto di alimentare il circuito con una tensione $V_s = 5V$.

A differenza dell'INA300 non sono presenti i pin HYS, DELAY ed ENABLE [3] questo, come si può vedere da [4], permette di ottenere un ciclo d'isteresi più o meno ampio in base a quale versione di INA301 si sceglie [4]. Nel nostro caso, INA301A1, il ciclo di isteresi sarà ampio 20mV. Inoltre non è possibile selezionare il tempo d'intervento per la mancanza del pin DELAY, che nel caso dell'INA301A1 è di 1 μ s. Di seguito è riportato il circuito simulato e poi realizzato per effettuare i test:

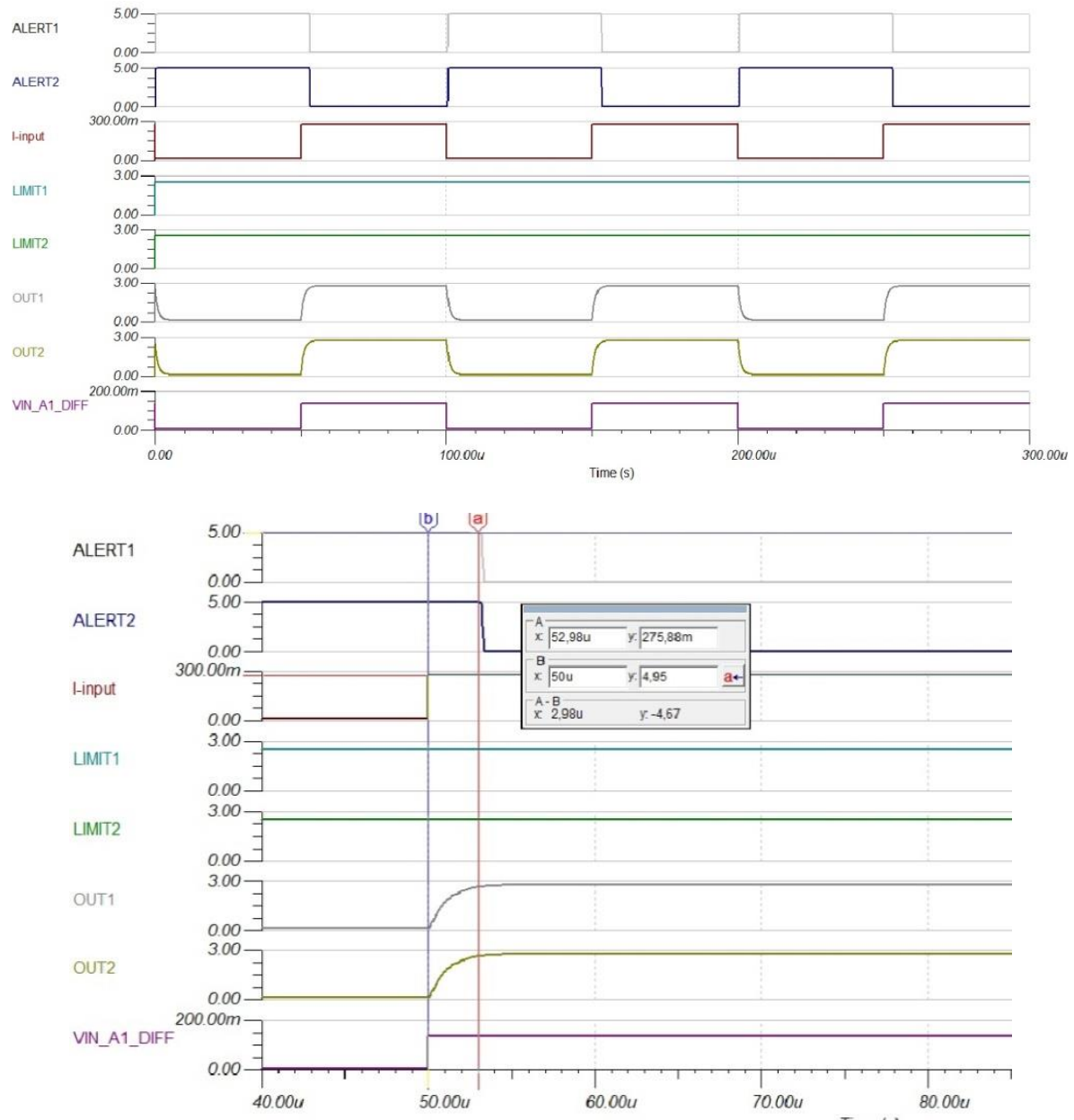


Si precisa che il modello fornito dalla Texas Instruments permette di simulare l'INA301A1 solamente il funzionamento in modalità TRANSPARENT, ciò è comunque sufficiente a simulare in temperatura il principio di funzionamento di tutto il circuito e ne permette di valutare le grandezze d'interesse [2].

Nel primo dei due schemi con I_{G1} si è simulata una variazione della corrente di carico rispetto alla normale condizione di lavoro. Il circuito che è stato realizzato presenta la struttura della seconda immagine in cui la condizione di sovracorrente è stata realizzata connettendo in parallelo, mediante un pulsante, due resistori dello stesso valore. Così facendo si emula una variazione di carico tale da far verificare la condizione $V_{sense} > V_{LIMIT}$ e quindi portare basso il pin di ALERT segnalando così la sovracorrente. Il dimensionamento dei componenti è stato fatto in modo da poter ottenere un buon

compromesso tra la potenza da dissipare sulla R_{sense} e la tensione ai suoi capi, V_{IN} , ($V_{IN} \leq 250mV$ [4]).

Di seguito sono riportati gli andamenti dei segnali relativi alle simulazioni del precedente circuito in modalità TRANSPARENT, nella seconda immagine si evidenzia il tempo d'intervento dell'integrato:



Come si vede dalle immagini e da quanto riportato in [4] si può avere qualche differenza imputabile principalmente alle limitazioni riportate nel modello fornito per la simulazione [5].

Si precisa che il tempo d'intervento riportato in [4] non specifica il tempo che si ha da quando si innesca la variazione di corrente di carico ma specifica il tempo che si ha da quando è verificata la condizione $V_{sense} > V_{LIMIT}$.

Capitolo 2

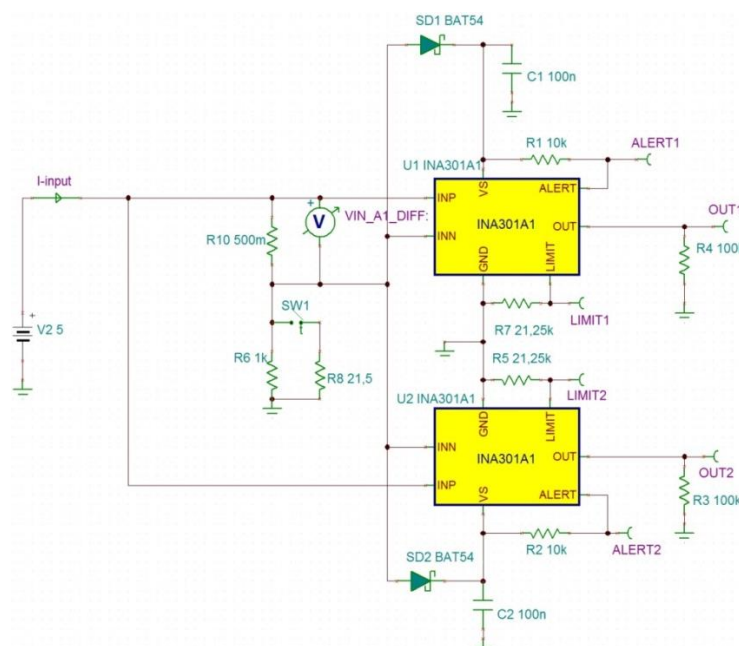
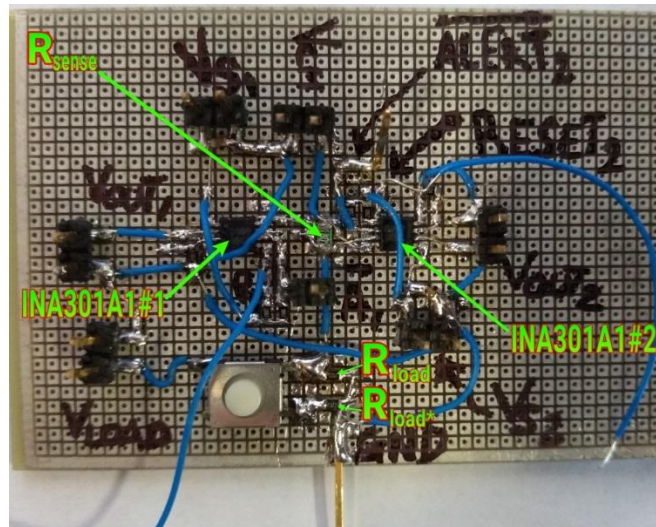
Dimensionamento e scelta dei componenti

Il circuito è stato progettato ipotizzando una condizione di sovracorrente sul carico dovuta ad una corrente pari a $I_{loadMax}=150\text{mA}$. 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'INA301A1, come ad esempio il tempo di reazione $t_p \approx 1\text{ }\mu\text{s}$, si è passati alla modalità LATCH.

Il resistore R_{sense} è stato realizzato mettendo in parallelo due resistori da $1\text{ }\Omega \pm 1\%$. Misurando il valore del parallelo con il multimetro della *Keithley (DM7510)* [7] si è misurato un valore di $570\text{m}\Omega$. Con la R_{sense} ottenuta e il valore di corrente da rilevare si otterrà una V_{IN} d'intervento pari a $V_{IN}=85.5\text{ mV}$. Conseguentemente, si è dimensionata la R_{LIMIT} in modo da impostare una tensione di soglia, V_{LIMIT} , oltre la quale vorrà segnalata una sovracorrente. Come detto prima, ciò verrà implementato dall'INA301A1 mandando basso il pin di ALERT. Seguendo quanto riportato in [4] si vede che con una $I_{LIMIT}=80\mu\text{A}$ al pin di LIMIT, scegliendo $R_{LIMIT}=21.5\text{k}\Omega$ si avrà una soglia di $V_{LIMIT}=1.72\text{ V}$, a cui corrisponde una $I_{loadThreshold} \approx 151\text{ mA}$. Come per l'INA300, [1], se si volesse una soglia programmabile basterebbe inserire al pin LIMIT un potenziometro digitale o un DAC.

Come nel caso della Bare Board contenente l'INA300 si sono prima testati i singoli INA301A1 mantenendo indipendenti le tensioni V_{cm} e la V_s usando il generatore di tensione a quattro canali *Agilent Technologies N6705B* [8]. Con il canale#1 si è implementato la V_{cm} mentre con il canale#2 la V_s . Analogamente a quanto fatto in [2] si sono inseriti i diodi Schottky e le capacità tampone al fine di mantenere la tensione sugli INA301A1 anche nel caso di cortocircuito lato carico. In Particolare si sono utilizzati i diodi BAT54JFILM [9].

Si è settato il canale#1 ad una tensione $V_{cm}=5\text{V}$ ed al fine di avere una I_{load} al di sopra della soglia si dovrebbe avere una $R_{load}^* \leq 33.3\text{ }\Omega$. Per essere sicuri di essere sotto soglia in normali condizioni di funzionamento si è scelta una $R_{load}=1\text{ k}\Omega$ ed in parallelo si è connessa la $R_{load}^*=31.6\Omega$. La connessione in parallelo avviene in corrispondenza della pressione di un pulsante. Di seguito sono riportati le foto della board test realizzata e lo schema completo del circuito:

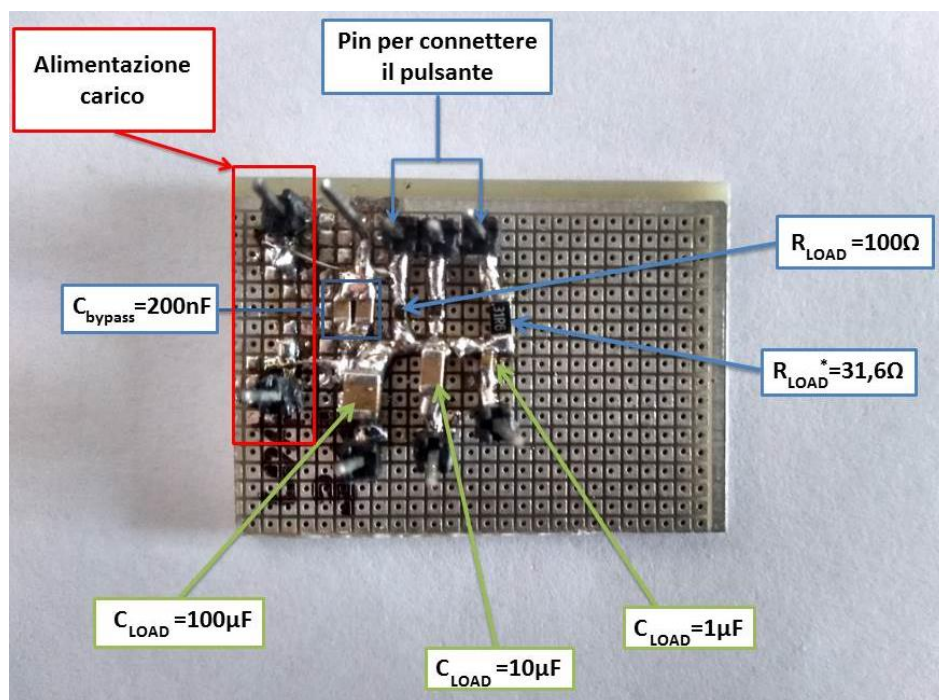
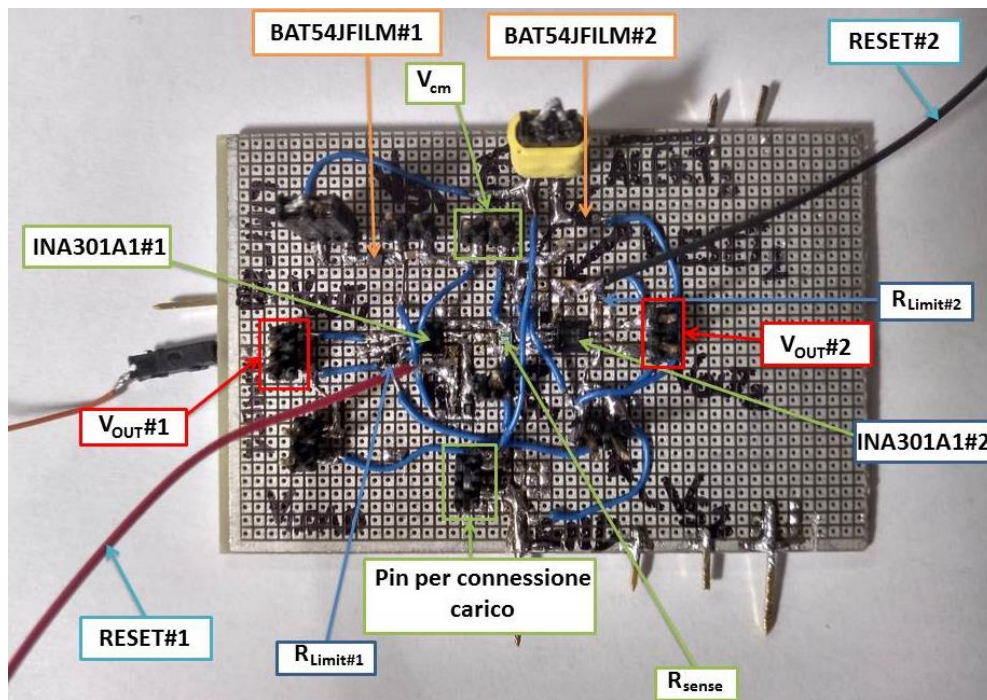


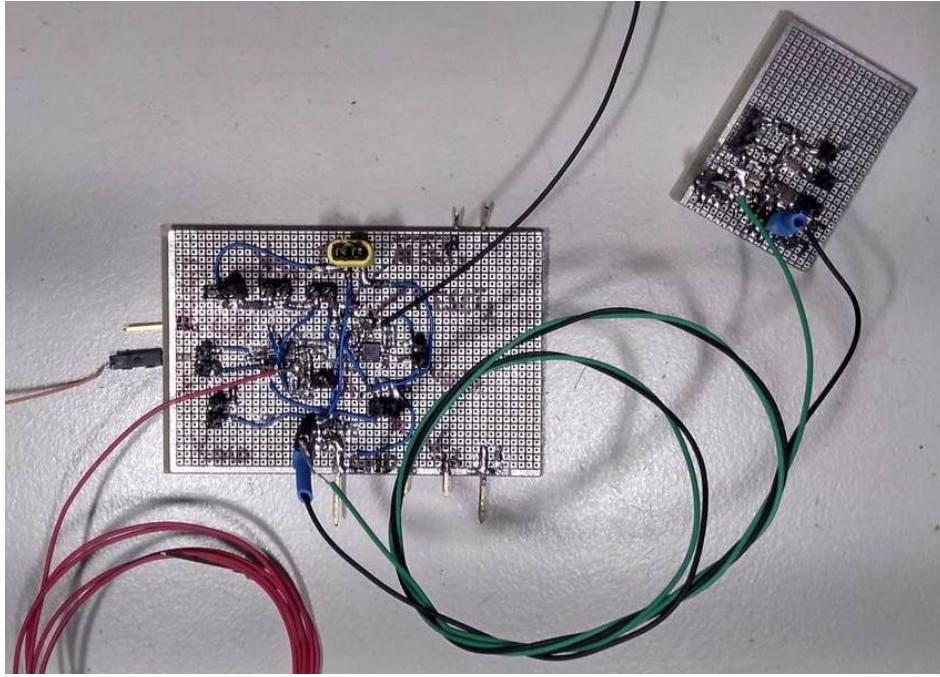
In questa board si sono mantenute separate le tensioni di alimentazione dei due INA301A1 per poterli testare sia singolarmente sia simultaneamente. Si è tenuta separata anche la tensione di carico, V_{cm} , prima di modificare la board per realizzare lo schema riportato nello schema precedente.

Successivamente si è pensato di separare il carico dal resto del circuito e per far ciò si è pensato di realizzare una board contenente i due resistori R_{load} ed R_{load}^* rispettivamente di 100Ω e di 31.6Ω .

Su tale board si sono inseriti due R_{load}^* di valori differenti per testare il circuito in funzione delle tensioni di lavoro, inoltre sono stati aggiunti tre condensatori di differente valore al fine di simulare un comportamento quanto più realistico possibile al variare della capacità di carico. I valori delle capacità sono selezionabili tra tre valori, rispettivamente di $1\mu F$, $10\mu F$ e $100\mu F$.

Le boards realizzate sono riportate di seguito singolarmente:





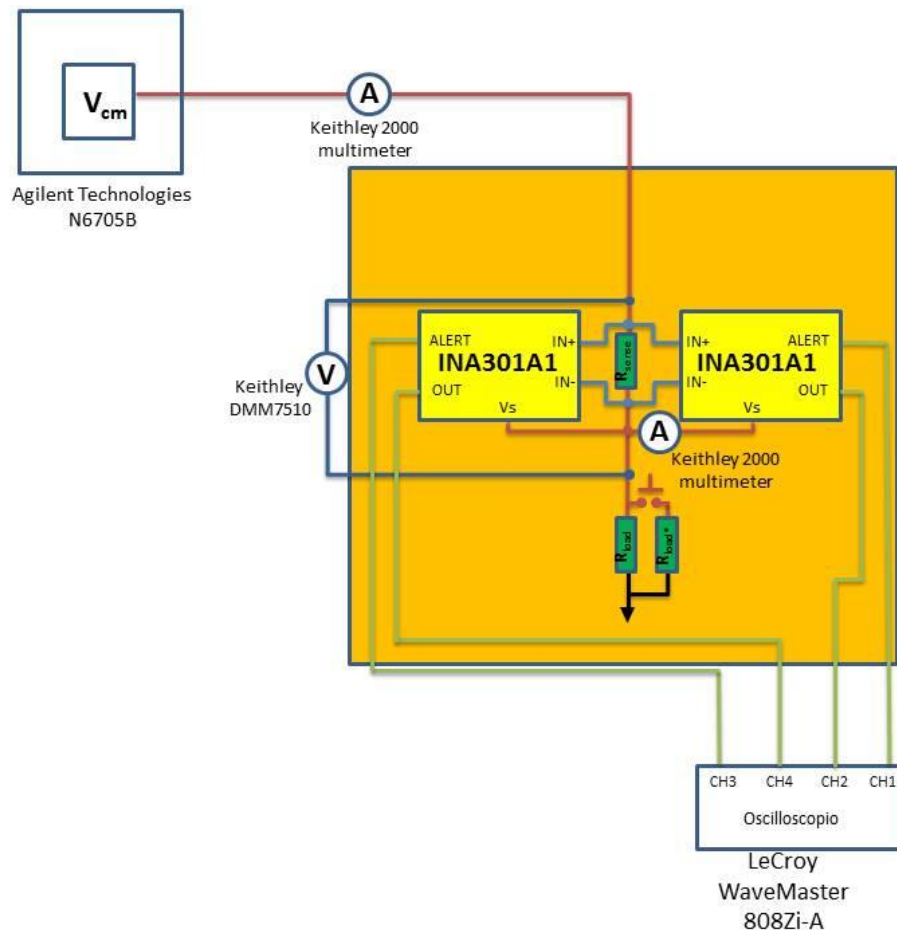
Nella prima immagine si riporta la board contenente i due INA300A1, i diodi con le relative capacità tampone e le R_{LIMIT} . Nella seconda è riportata la board contenente le R_{load} e il banco dei tre condensatori di carico selezionabili. Nella terza immagine vengono riportate le due boards con i collegamenti da effettuare per la loro connessione.

Le connessioni tra le due boards, così come i fili per i due RESET, sono stati fatti con dei fili lunghi per poterne permettere il controllo fuori dalla camera. Questo ha permesso di poter variare il valore del condensatore di carico senza dover aprire la camera ed allo stesso tempo di poter resettare manualmente i due INA301A1 quando necessario. I test sono stati effettuati anche al variare della temperatura in un range $[-40 \div +70] ^\circ\text{C}$ in camera termica *ESPEC SH-642* [10].

Capitolo 3

Setup dei circuiti test

In questo capitolo si è riportato lo schema a blocchi del setup implementato al fine di verificare il funzionamento del circuito e per acquisire i segnali d'interesse.



Si precisa che in questo schema a blocchi non sono stati riportati né i tre condensatori né i due resistori. I primi non sono riportati perché servono solo a rendere una condizione di funzionamento più realistica lato carico ed una volta inserito il valore desiderato non viene più interessato da cambiamenti strutturali, i secondi invece non aveva senso rappresentarli perché si inserisce un solo valore di R_{load} per volta.

Come si vede il setup implementato è uguale alla struttura riportata in [2], ma rispetto ad esso si ottiene anche l'informazione relativa al valore di corrente che scorre su R_{sense} grazie alla tensione al pin OUT.

Capitolo 4

Risultati misure

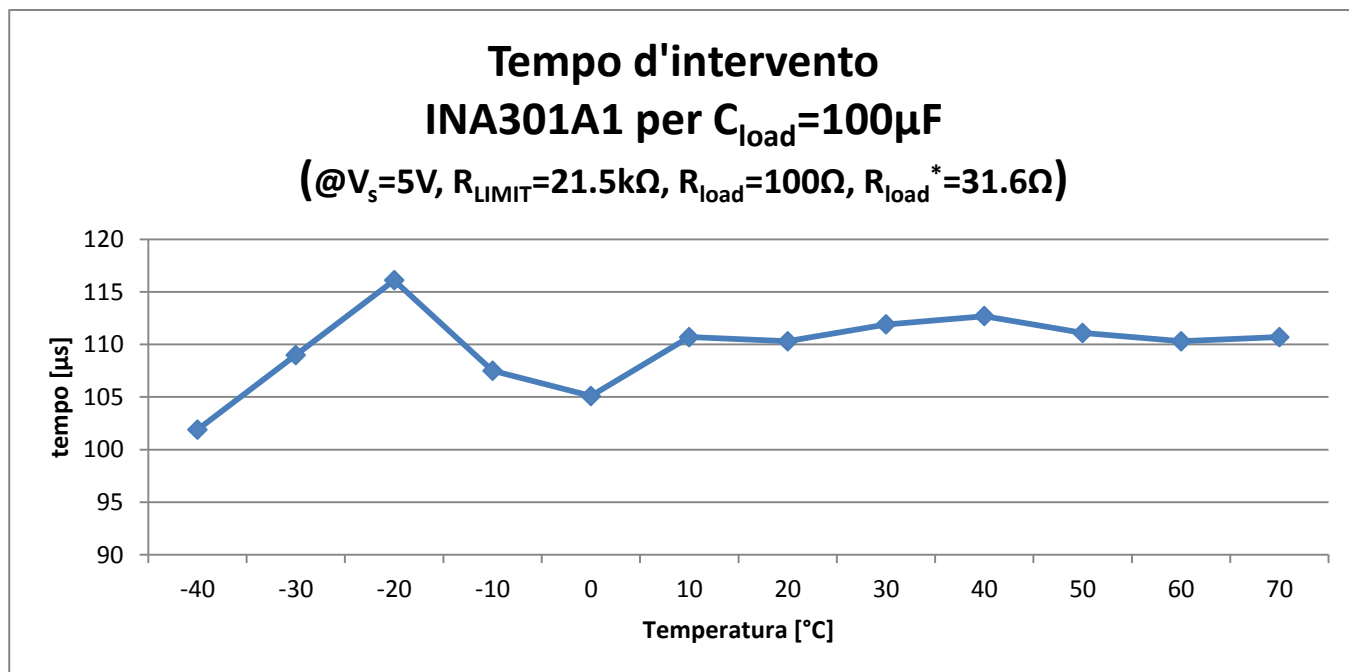
Di seguito si riportano i valori delle grandezze d'interesse in corrispondenza dei differenti valori della capacità di carico, C_{LOAD} , ovvero:

- $I_{INA301A1}$ indica la corrente assorbita dai due integrati che monitorano la V_{sense} ,
- I_{IN} indica la corrente assorbita dalla serie $R_{sense} - R_{load}$ e dai due integrati,
- $t_{intervento}$ inteso come il tempo trascorso tra l'innesco della perturbazione (pressione pulsante) e la transizione alto-basso del pin ALERT,
- V_{OUT} tensione al pin OUT in corrispondenza della transizione alto-basso al pin ALERT,
- V_{LIMIT} indica la soglia oltre la quale l'integrato porta basso il pin ALERT (si ricorda che $V_{LIMIT} = R_{LIMIT} \cdot 80\mu A$ [4]),
- V_{ALERT} e V_{ALERT}^* indicano la tensione al pin ALERT rispettivamente prima e dopo il superamento della soglia,
- V_{LOAD} e V_{LOAD}^* indicano la tensione ai capi del carico rispettivamente prima e dopo il superamento della soglia. Questa tensione è stata misurata a temperatura ambiente perché essendo il carico su un'altra board, questa, è stata tenuta fuori dalla camera termica.

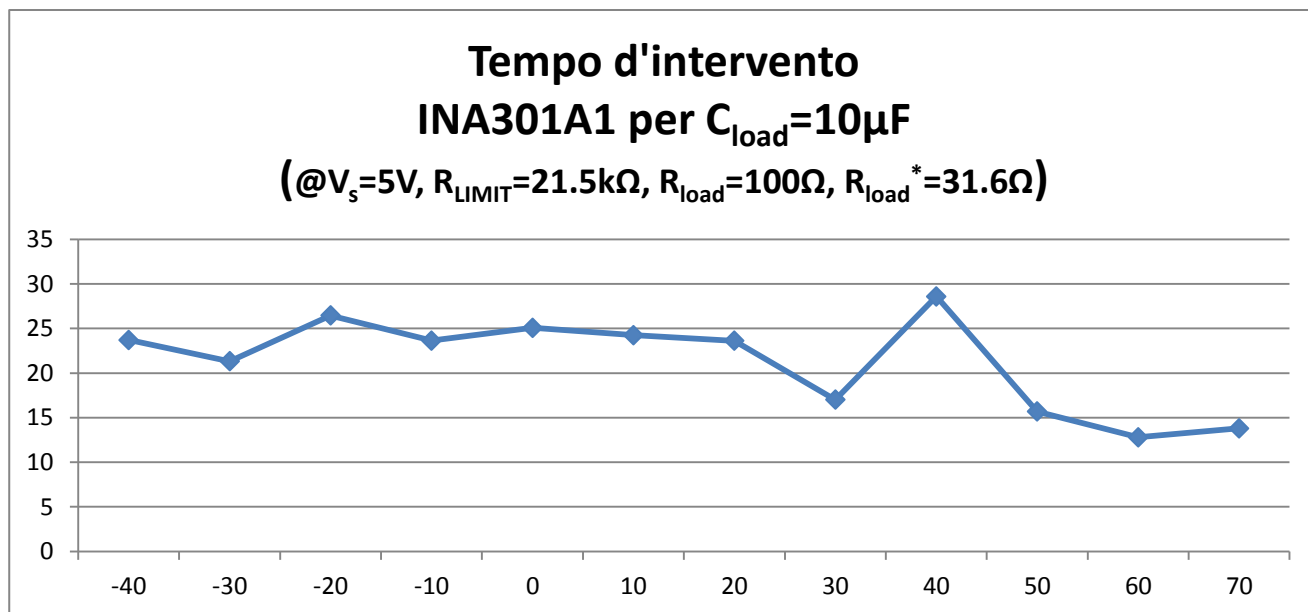
T [°C]	$I_{INA301A1}$ [mA]	I_{IN} [mA]	$t_{intervento}$ [μs]	V_{OUT} [V]	V_{LIMIT} [V]	V_{ALERT} [V]	V_{ALERT}^* [mV]	V_{LOAD} [V]	V_{LOAD}^* [V]	C_{LOAD}
-40	1.237	50.86	101.9	1.720	1.711	4.68	20	4.92	4.74	100μF
-30	1.252	50.71	109.0	1.720	1.714	4.60	20	4.92	4.68	
-20	1.268	50.72	116.1	1.722	1.714	4.60	20	4.92	4.70	
-10	1.284	50.73	107.5	1.720	1.714	4.60	20	4.92	4.70	
0	1.300	50.74	105.1	1.720	1.714	4.60	20	4.90	4.70	
10	1.316	50.74	110.7	1.720	1.714	4.64	20	4.92	4.70	
20	1.331	50.74	110.3	1.72	1.713	4.66	20	4.92	4.70	
30	1.347	50.77	111.9	1.720	1.713	4.68	20	4.92	4.70	
40	1.363	50.79	112.7	1.720	1.712	4.70	20	4.92	4.68	
50	1.378	50.80	111.1	1.720	1.712	4.70	20	4.92	4.70	
60	1.395	50.82	110.3	1.720	1.712	4.72	20	4.92	4.70	
70	1.410	50.84	110.7	1.720	1.710	4.74	20	4.92	4.68	

Di seguito si riporta l'andamento del tempo d'intervento dell'INA301A1 in funzione della temperatura per il suddetto valore di condensatore di carico, C_{load} :

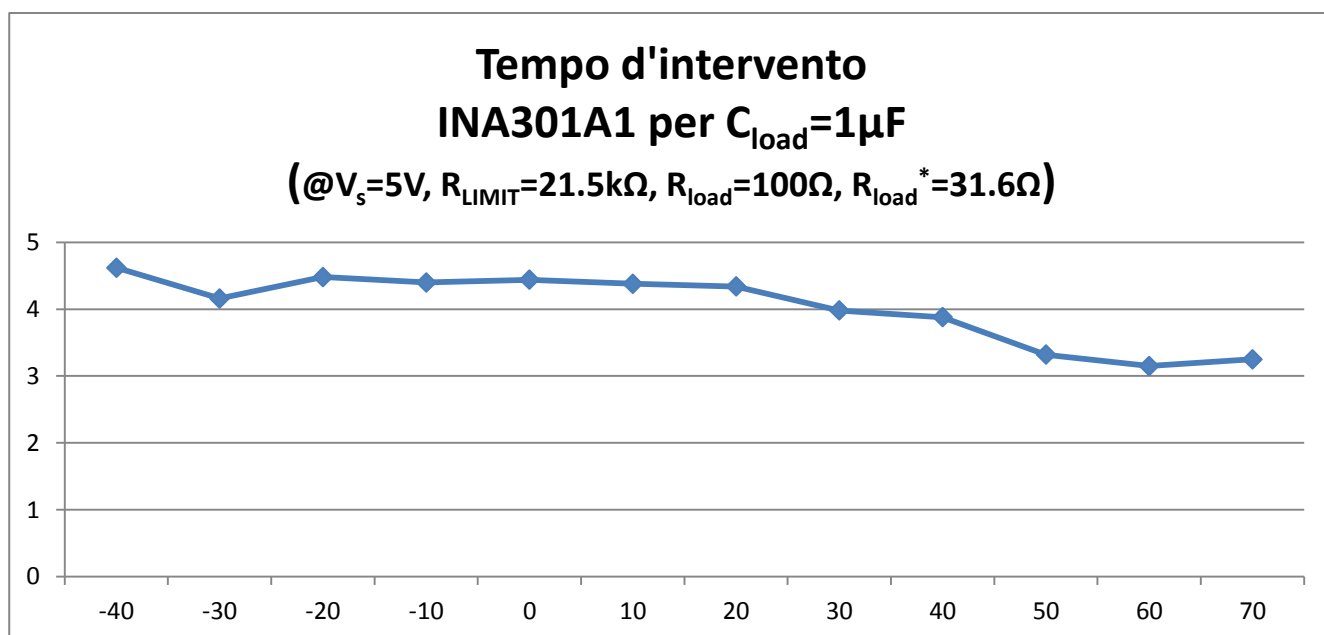
(Nota: si farà lo stesso per gli altri valori di C_{load})



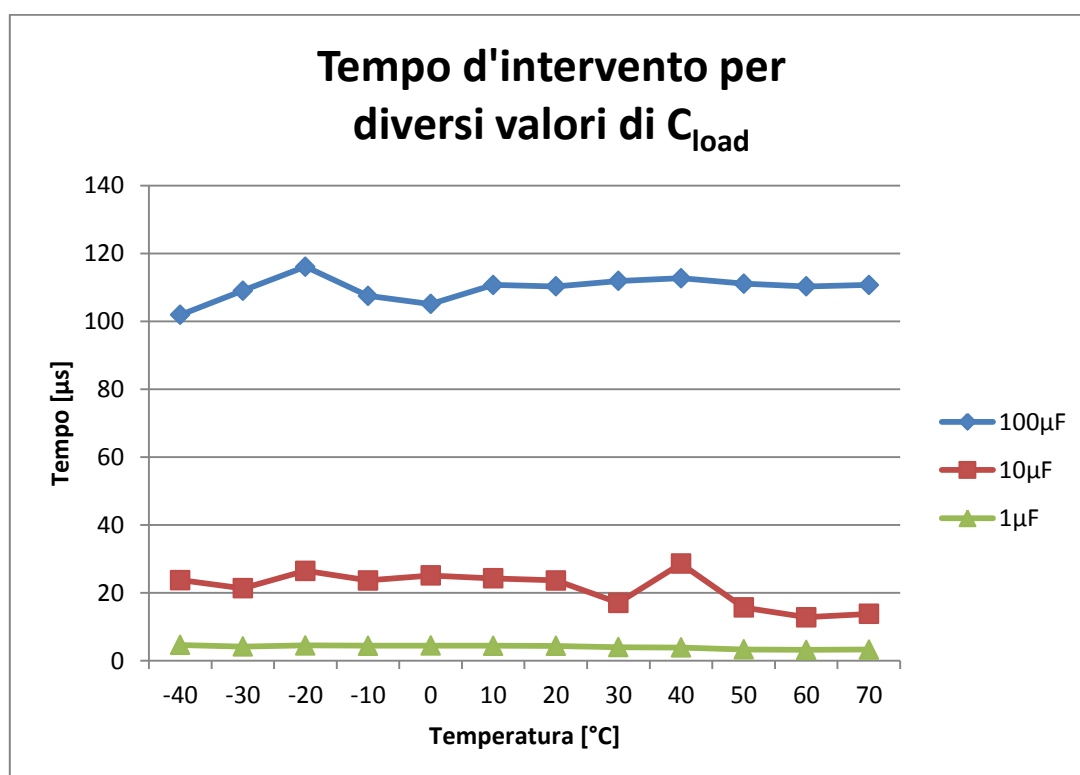
T [°C]	I _{INA301A1} [mA]	I _{IN} [mA]	t _{intervento} [μs]	V _{OUT} [V]	V _{LIMIT} [V]	V _{ALERT} [V]	V _{ALERT} [*] [mV]	V _{LOAD} [V]	V _{LOAD} [*] [V]	C _{LOAD}
-40	1.237	50.68	23.72	1.720	1.711	4.68	20	4.90	4.68	10μF
-30	1.252	50.74	21.32	1.720	1.714	4.60	20	4.92	4.70	
-20	1.268	50.70	26.46	1.722	1.714	4.60	20	4.92	4.70	
-10	1.284	50.71	23.64	1.720	1.714	4.60	20	4.92	4.70	
0	1.300	50.71	25.08	1.720	1.714	4.60	20	4.90	4.70	
10	1.316	50.72	24.26	1.720	1.714	4.64	20	4.90	4.68	
20	1.331	50.73	23.62	1.72	1.713	4.66	20	4.90	4.70	
30	1.347	50.73	17.02	1.720	1.713	4.68	20	4.88	4.68	
40	1.363	50.74	28.60	1.740	1.712	4.70	20	4.88	4.64	
50	1.378	50.71	15.68	1.760	1.712	4.70	20	4.90	4.46	
60	1.395	50.76	12.79	1.760	1.711	4.72	20	4.90	4.58	
70	1.410	50.78	13.80	1.760	1.710	4.74	20	4.90	4.56	



T [°C]	I _{INA301A1} [mA]	I _{IN} [mA]	t _{intervento} [μs]	V _{OUT} [V]	V _{LIMIT} [V]	V _{ALERT} [V]	V _{ALERT} [*] [mV]	V _{LOAD} [V]	V _{LOAD} [*] [V]	C _{LOAD}
-40	1.235	50.68	4.62	1.726	1.711	4.68	20	4.90	4.68	1μF
-30	1.251	50.71	4.16	1.726	1.714	4.60	20	4.92	4.70	
-20	1.267	50.70	4.48	1.728	1.714	4.60	20	4.92	4.70	
-10	1.284	50.71	4.40	1.728	1.714	4.60	20	4.90	4.70	
0	1.299	50.71	4.44	1.724	1.714	4.60	20	4.92	4.68	
10	1.316	50.72	4.38	1.732	1.714	4.64	20	4.90	4.68	
20	1.331	50.73	4.34	1.744	1.713	4.66	20	4.92	4.70	
30	1.347	50.73	3.98	1.760	1.713	4.68	20	4.92	4.64	
40	1.363	50.74	3.88	1.760	1.712	4.70	20	4.88	4.60	
50	1.378	50.69	3.32	1.780	1.712	4.70	20	4.90	4.58	
60	1.395	50.75	3.15	1.800	1.711	4.72	20	4.90	4.60	
70	1.411	50.78	3.25	1.800	1.710	4.74	20	4.90	4.62	



Per enfatizzare la differenza tra di tempi d'intervento nei tre casi si riportano gli stessi tempi su un unico grafico:



Come si può notare maggiore sarà la componente capacitiva del carico e maggiore sarà il tempo richiesto per rilevare la condizione di sovracorrente.

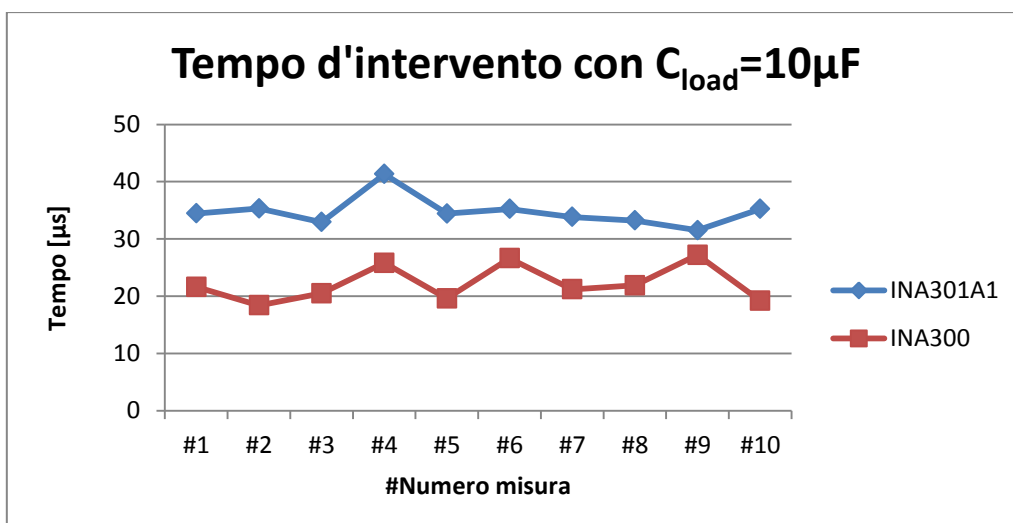
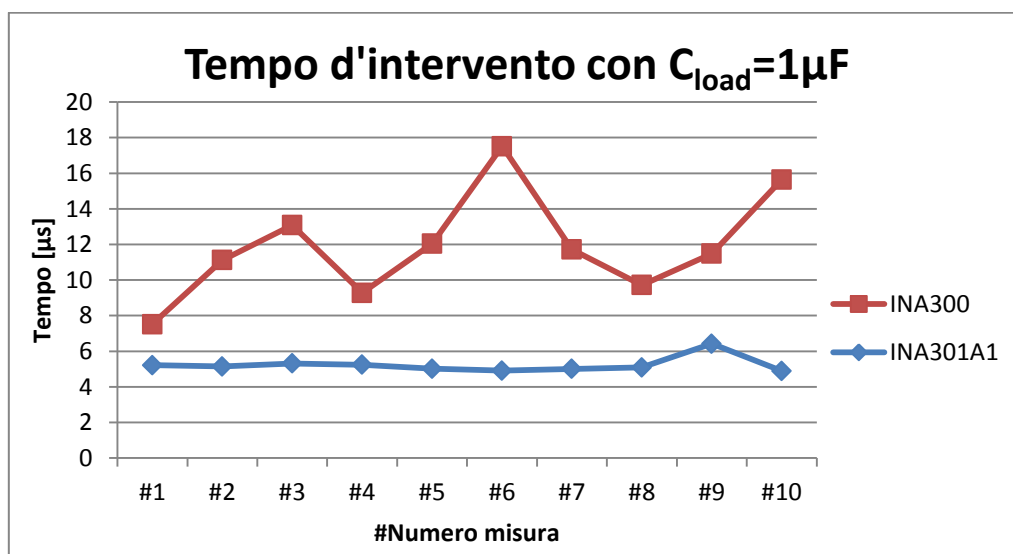
Questo è dovuto anche al fatto che in un primo momento la variazione di carico, con conseguente aumento di corrente richiesta, viene mitigata dalla C_{load} che fa scorrere sul carico parte della carica

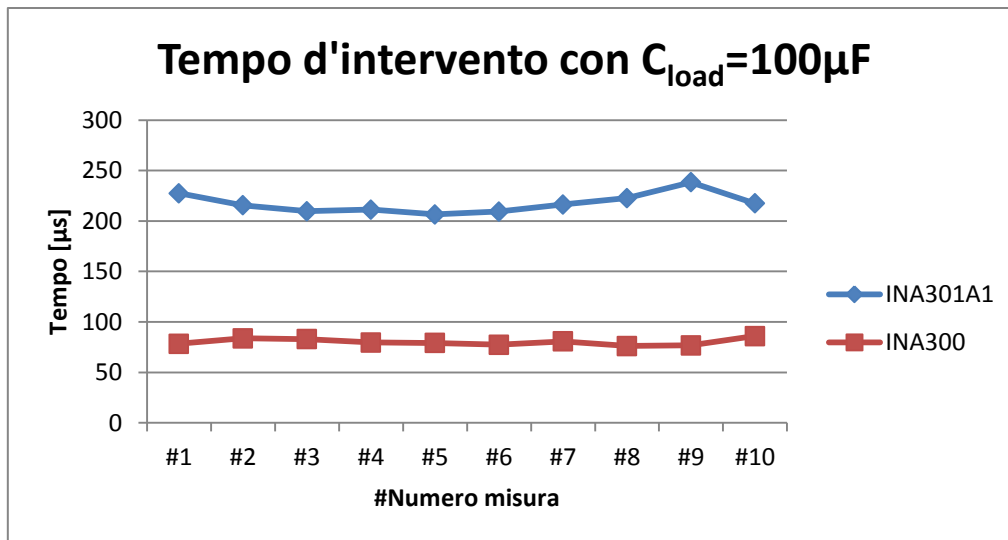
accumulata. Così facendo si ha che la corrente che circolerà su R_{sense} incrementi il suo valore più lentamente e quindi la condizione $V_{sense} > V_{LIMIT}$ si verificherà dopo un intervallo di tempo più lungo.

Una volta testata la board contenente l'INA301A1 si è poi pensato di confrontare le prestazioni degli integrati INA300 e INA301A1.

In particolare si sono confrontati i tempi d'intervento ottenuti considerando tale tempo l'intervallo che intercorre tra la pressione del pulsante e la transizione alto-basso del segnale di ALERT, transizione che segnala la condizione di sovracorrente. Il confronto è stato fatto collegando alternativamente alle boards, contenenti l'INA300 e l'INA301A1, la board su cui si sono messi i carichi R_{load} in modo da poter imputare le differenze ai soli integrati. Questo confronto è stato effettuato a temperatura ambiente.

Dalle misure si sono ottenuti i seguenti valori:





Come si vede dai grafici per determinate C_{load} è più veloce l'INA300 e per altre è più veloce l'INA301A1. Ciò è dovuto al fatto che l'INA300 ha una soglia compresa tra 0 e 250 mV mentre l'INA301A1 ha una soglia compresa tra 0 e 5V, quindi richiede più tempo per verificare la condizione $V_{sense} > V_{LIMIT}$. Detto in altri termini dipende dalla struttura e dai componenti integrati all'interno dei rispettivi integrati.

Capitolo 5

Conclusioni

Da quanto detto fin ora si evince che l'INA301A1 si preferisce all'INA300 non solo per il fatto che grazie al guadagno abbiamo una soglia compresa nell'intervallo $[0 \div 5]$ V, anziché $[0 \div 250]$ mV, ma anche perché permette di monitorare costantemente la corrente di carico tramite la V_{OUT} .

Di contro abbiamo meno parametri settabili rispetto all'INA300, come ad esempio l'isteresi o il delay d'intervento [3].

Si è comunque riusciti a garantire le condizioni per il corretto funzionamento e il tempo d'intervento dei vari segnali. Inoltre si è in grado di rilevare condizioni anomale mediante la V_{OUT} , eventuali sovracorrenti indesiderate, corto circuiti o latch up, che possono interessare la tensione di carico senza compromettere il normale funzionamento dell'intero sistema.

Bibliografia

- [1] Rapporto Laboratorio di Elettronica IASF-PA n. 1/2019
- [2] Rapporto Laboratorio di Elettronica IASF-PA n. 2/2019
- [3] <http://www.ti.com/product/INA300>
- [4] <http://www.ti.com/product/INA301/description>
- [5] <http://www.ti.com/tool/TINA-TI?keyMatch=tina&tisearch=Search-EN-Everything>
- [6] <http://www.ti.com/product/INA301/toolssoftware>
- [7] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/dmm7510>
- [8] <https://www.keysight.com/en/pd-1842303-pn-N6705B/dc-power-analyzer-modular-600-w-4-slots?cc=IT&lc=ita>
- [9] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00001322.pdf>
- [10] https://espec.com/images/uploads/files/t_su-sh_benchtop.pdf