



## Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

|                                    |                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Number</b>                      | 159                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Publication Year</b>            | 2022                                                                                                                                                                                                |
| <b>Acceptance in OA@INAF</b>       | 2022-06-07T15:05:08Z                                                                                                                                                                                |
| <b>Title</b>                       | Relazione tecnica circuito di protezione da sovracorrente e Latch-Up con INA301A1 relativa alla linea di alimentazione dei 2V                                                                       |
| <b>Authors</b>                     | NOGARA, PAOLO, SOTTILE, Giuseppe                                                                                                                                                                    |
| <b>Affiliation of first author</b> | IASF Palermo                                                                                                                                                                                        |
| <b>Handle</b>                      | <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12386/32231">http://hdl.handle.net/20.500.12386/32231</a> , <a href="https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/159">https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/159</a> |

---

# **Relazione tecnica circuito di protezione da sovracorrente e Latch-Up con INA301A1 relativa alla linea di alimentazione dei 2V**

---

*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>Struttura integrato e struttura board test</i> ..... | 3  |
| Capitolo 2.....                                         | 7  |
| <i>Dimensionamento e scelta dei componenti</i> .....    | 7  |
| Capitolo 3.....                                         | 10 |
| <i>Setup del circuito test</i> .....                    | 10 |
| Capitolo 4.....                                         | 11 |
| <i>Risultati misure</i> .....                           | 11 |
| Capitolo 5.....                                         | 13 |
| <i>Conclusioni</i> .....                                | 13 |
| Bibliografia.....                                       | 14 |

# 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 relativa all'alimentazione di 2V dei Cubesat del progetto HERMES. In particolare verranno descritti i passi seguiti per poter realizzare la funzione desiderata mediante l'utilizzo dell'integrato INA301A1. 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 della board realizzata per implementare la protezione da sovracorrente. Inoltre si descrive il perché si utilizzano due tensioni separate, 2V e 5V.

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 riporta il setup realizzato per testare il circuito.

Nel **Capitolo 4** si riportano i risultati delle misure effettuate sul circuito realizzato.

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

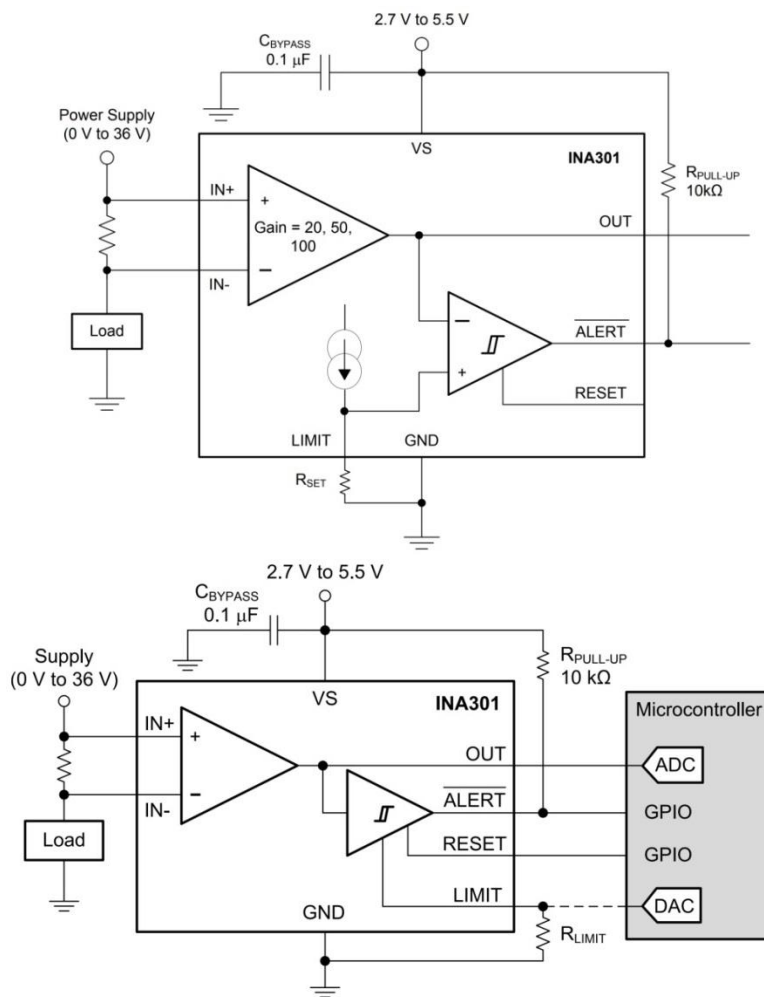
Nella **Bibliografia** si elencano tutti i testi di riferimento utilizzati per la realizzazione del circuito.

# Capitolo 1

## Struttura integrato e struttura board test

Il circuito descritto in questo report serve a rilevare condizioni di assorbimenti anomali da parte del carico e tiene conto di quanto fatto nei repot [1], [2] e [3].

Per realizzare tale circuito si è utilizzato nello specifico l'integrato INA301A1 [4]. Di seguito si riporta per comodità 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].

L'INA301A1 monitora tramite i pin  $IN+$  e  $IN-$  la tensione  $V_{IN}$  ai capi del resistore di sensing,  $R_{sense}$ , opportunamente dimensionato seguendo quanto descritto in [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.

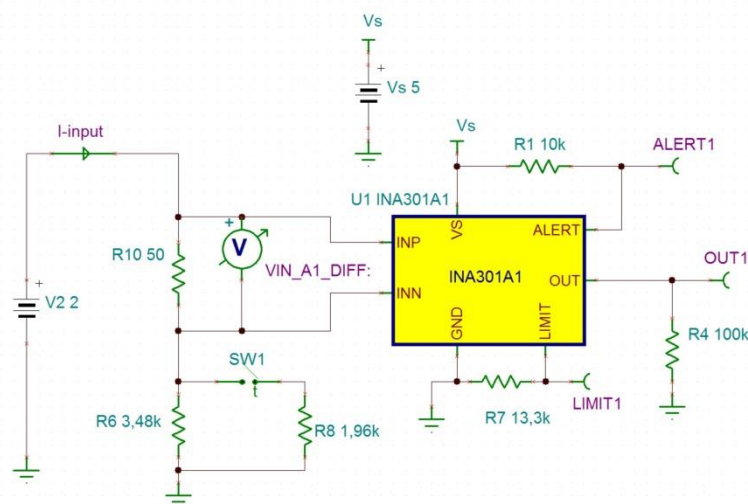
Si noti che l'INA301A1 permette di monitorare la corrente che circola sul carico tramite il pin OUT, infatti la tensione a tale pin altro non è che la  $V_{IN}$  moltiplicata per il guadagno dell'amplificatore differenziale d'ingresso che nello specifico caso è pari a  $20 \frac{V}{V}$  [4]. Tale tensione è anche presente all'ingresso di uno *Schmitt trigger* per essere confrontata con la soglia scelta,  $V_{LIMIT}$ , 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  $V_{sense} > V_{LIMIT}$ , 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 il pin di 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*, ossia il pin di ALERT, si mantenga basso 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  $I_{loadMax}=1$  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  $V_s = 5V$ .

Di seguito è riportato il circuito simulato e poi realizzato per effettuare i test:

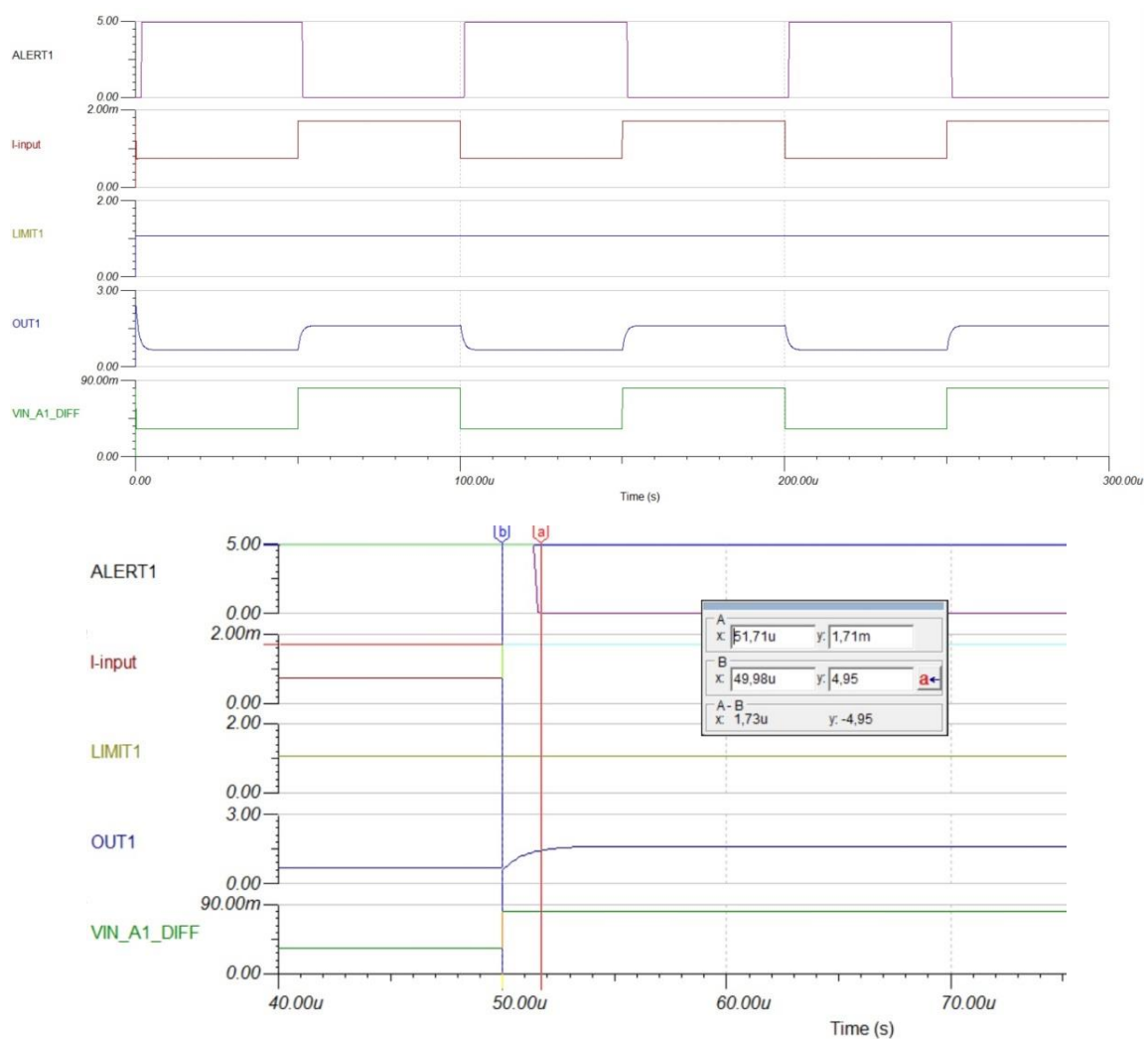
### INA301 Test Circuit



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].

Il circuito emula la condizione di sovracorrente connettendo in parallelo, mediante un pulsante, due resistori di valore opportunamente scelto. Così facendo si emula una variazione di carico tale da far verificare la condizione  $V_{sense} > V_{LIMIT}$  e quindi l'INA301A1 porta basso il pin di ALERT segnalando così la sovracorrente [4]. 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 si riporta l'andamento dei segnali relativi alle simulazioni del precedente circuito in modalità TRANSPARENT, ed in particolare si evidenzia il tempo d'intervento dell'integrato:



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  $I_{loadMax}=1\text{mA}$ . 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 scelto dal valore di  $50\text{ }\Omega \pm 1\%$  visto il basso valore di corrente da monitorare. Con la  $R_{sense}$  scelta e il valore di corrente da rilevare si otterrà una  $V_{IN}$  d'intervento pari a  $V_{IN} \approx 50\text{ mV}$ . 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  $I_{LIMIT}=80\text{ }\mu\text{A}$  al pin di LIMIT, scegliendo  $R_{LIMIT}=13.3\text{ k}\Omega$  si avrà una soglia di  $V_{LIMIT}=1.064\text{ V}$ , a cui corrisponde una  $I_{loadThreshold} \approx 1.06\text{ mA}$ .

Nel caso in cui si volesse una soglia programmabile basterebbe inserire al pin LIMIT un potenziometro digitale o un DAC [4].

Usando il generatore di tensione a quattro canali *Agilent Technologies N6705B* [5] si è potuto testare il circuito realizzato mantenendo separate le tensioni di alimentazioni  $V_{cm}$  e la  $V_s$ . Nello specifico con il canale#1 si è implementato la  $V_{cm}$  mentre con il canale#2 la  $V_s$ .

Si è settato il canale#1 ad una tensione  $V_{cm}=2\text{V}$  ed al fine di avere una  $I_{load}$  al di sopra della soglia si dovrebbe avere una  $R_{load}^* \leq 2\text{ k}\Omega$ . Per essere sicuri di essere sotto soglia in normali condizioni di funzionamento si è scelta una  $R_{load}=3.48\text{ k}\Omega$  ed in parallelo si è connessa la  $R_{load}^*=1.96\text{ k}\Omega$ . La connessione in parallelo avviene in corrispondenza della pressione di un pulsante.

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  $3.48\text{ k}\Omega$  e di  $1.96\text{ k}\Omega$ . Si precisa che la board contenente i due carichi è stata realizzata sulla stessa board contenente i carichi e le capacità relative a [report3] come sarà possibile vedere in seguito.

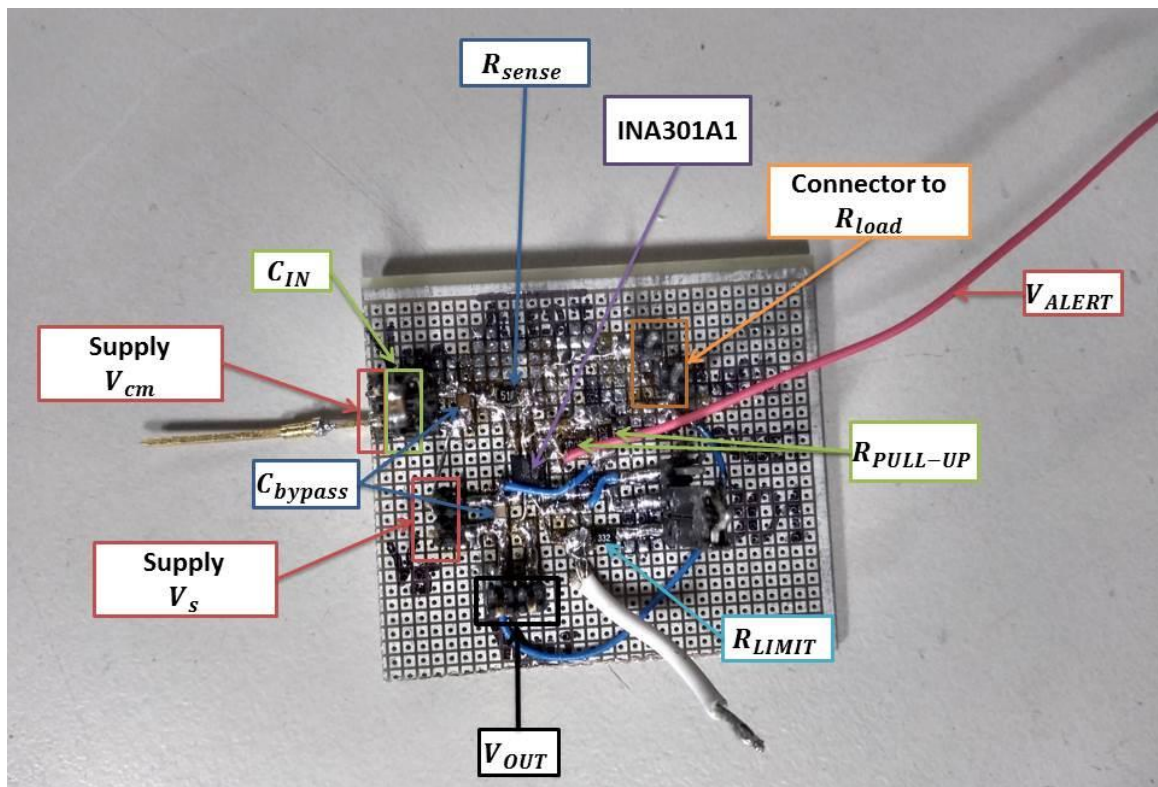
Su tale board si sono inseriti i due resistori di carico ed uno slot per poter inserire una capacità di carico,  $C_{load}$ , al fine di simulare un comportamento quanto più realistico possibile. Poi sono stati confrontati i risultati ottenuti al variare di tale capacità di carico. I valori delle capacità utilizzati per i test sono di  $1\text{ }\mu\text{F}$  e  $10\text{ }\mu\text{F}$ .

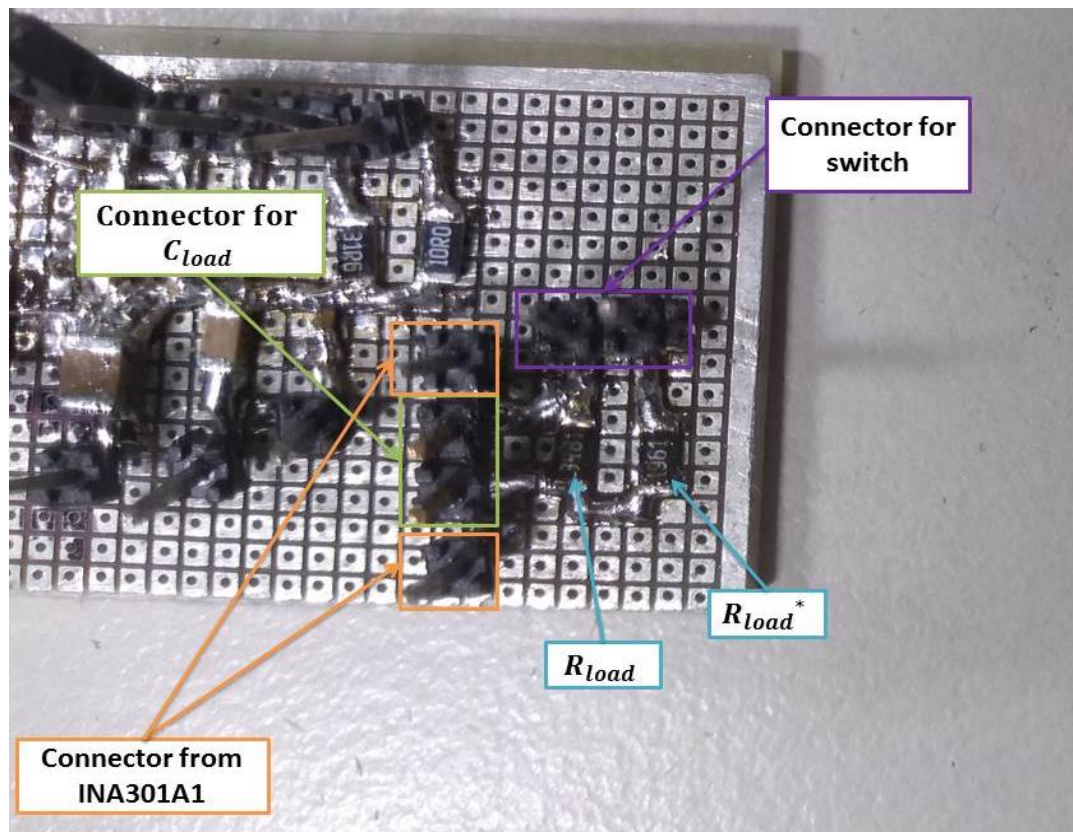
In fase di test si è visto che inserendo  $C_{load}$  in parallelo alle  $R_{load}$  (ai carichi) si viene ad avere una  $V_{OUT}$  più rumorosa. Tale rumore si è supposto essere dovuto ad una differente capacità che si viene ad avere a monte ed a valle della  $R_{sense}$ .

Nello specifico si ha a monte una  $C_{bypass}=100$  nF ed a valle, nel caso peggiore, una  $C_{load}=10$   $\mu$ F. Questo comporta un filtraggio del rumore più blando a monte ed uno più efficiente a valle.

Questa differenza di rumore in particolare si ripercuote in termini di  $V_{sense}$  e quindi sulla  $V_{OUT}$  ( $=Gain \cdot V_{sense}$  [4]); si è visto infatti che inserendo un condensatore  $C_{IN}=C_{load}$  sulla  $V_{OUT}$  scompare il rumore.

Di seguito sono riportate le foto della board contenente l'INA301A1, i resistori di pull-up e la  $R_{LIMIT}$  e la board contenente i resistori di carico e il condensatore di carico:





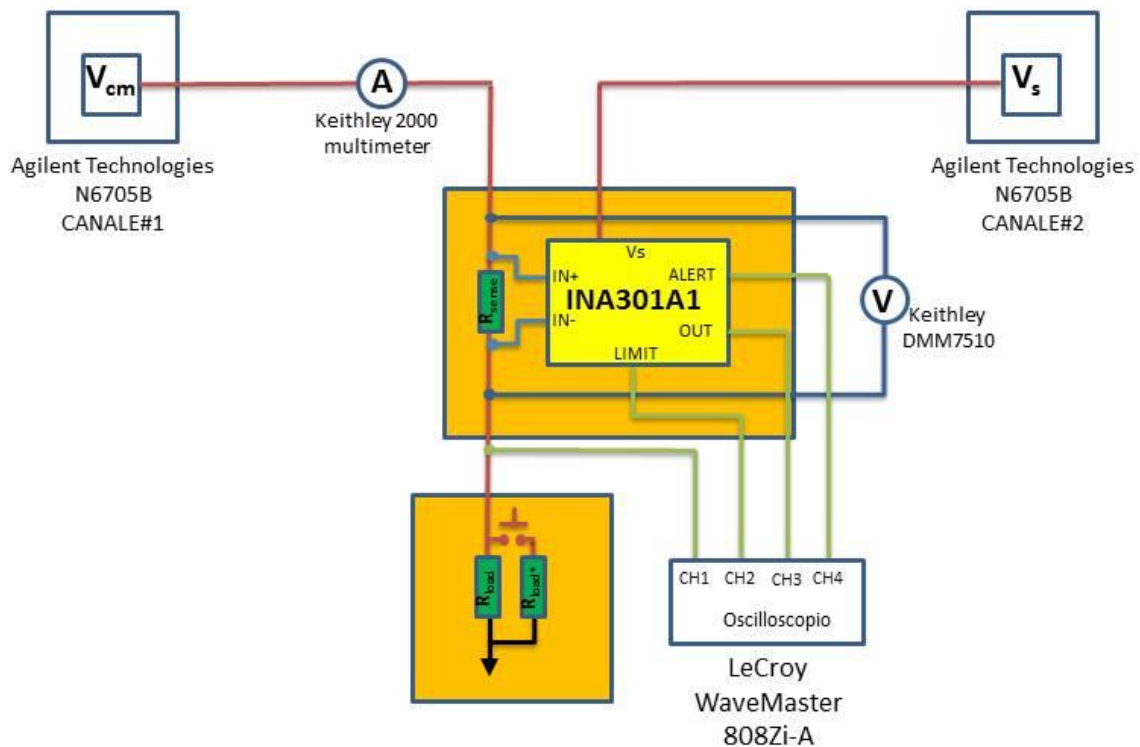
Le connessioni tra le due boards, così come il filo di RESET, sono stati fatti con dei fili lunghi per poterne permettere il controllo fuori dalla camera. Questo ha permesso di poter variare il valore del condensatore di carico senza dover aprire la camera ed allo stesso tempo di poter resettare manualmente l'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]. Inoltre si precisa anche che oltre all'oscilloscopio, [6] [7], si sono utilizzati come amperometri e voltmetri i multimetri della Keithley, [8] [9].e gli andamenti dei segnali d'interesse sono stati visualizzati ed acquisiti mediante gli oscilloscopi .

## Capitolo 3

### Setup del circuito test

In questo capitolo si è riporta lo schema a blocchi del setup implementato al fine di verificare il funzionamento del circuito e per acquisire i segnali d'interesse quando la  $V_{cm}=2\text{ V}$  e  $V_s=5\text{ V}$ :



Come si vede dallo schema a blocchi sull'oscilloscopio saranno visualizzate le seguenti grandezze:

- CH1:**  $V_{load}$  che genera il trigger per l'oscilloscopio, settato in modalità SINGLE, in corrispondenza di una variazione negativa (es: diminuzione del carico);
- CH2:**  $V_{limit}$  per avere la soglia oltre la quale il pin ALERT deve portarsi a livello logico basso;
- CH3:**  $V_{OUT}$  segnale analogico all'uscita del differenziale d'ingresso [4]. Tale segnale porterà basso il livello logico del pin ALERT non appena supera  $V_{limit}$  presente al CH2;
- CH4:**  $V_{ALERT}$  che non appena va bassa indica il superamento della soglia scelta ovvero si è avuta una condizione di sovracorrente.

## Capitolo 4

### Risultati misure

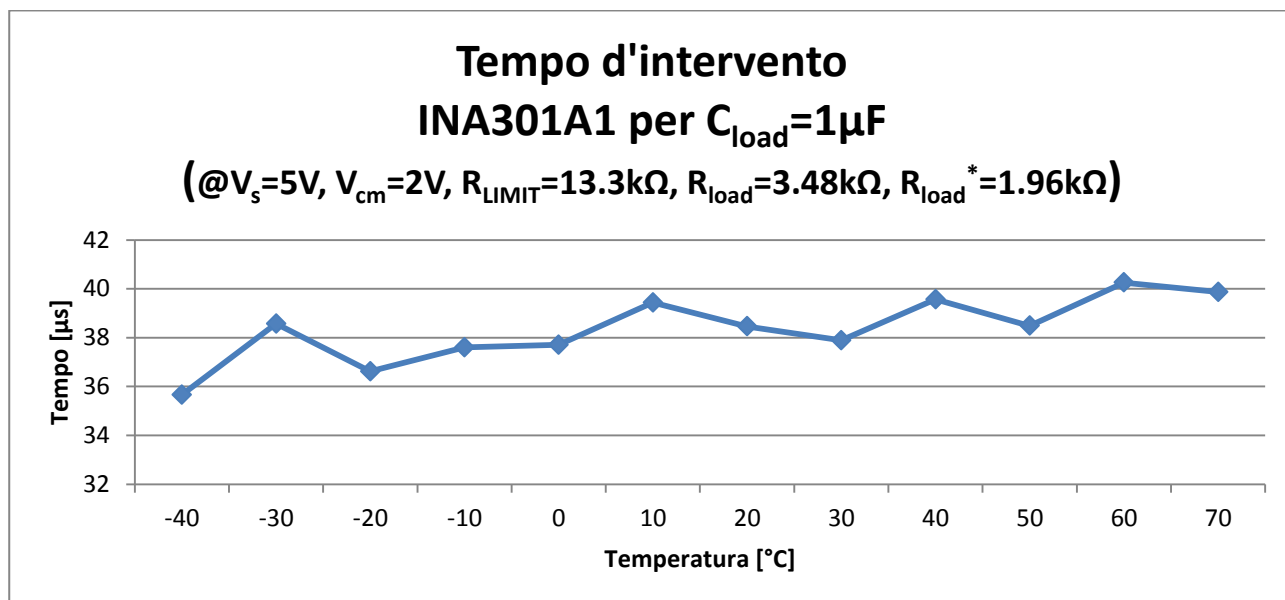
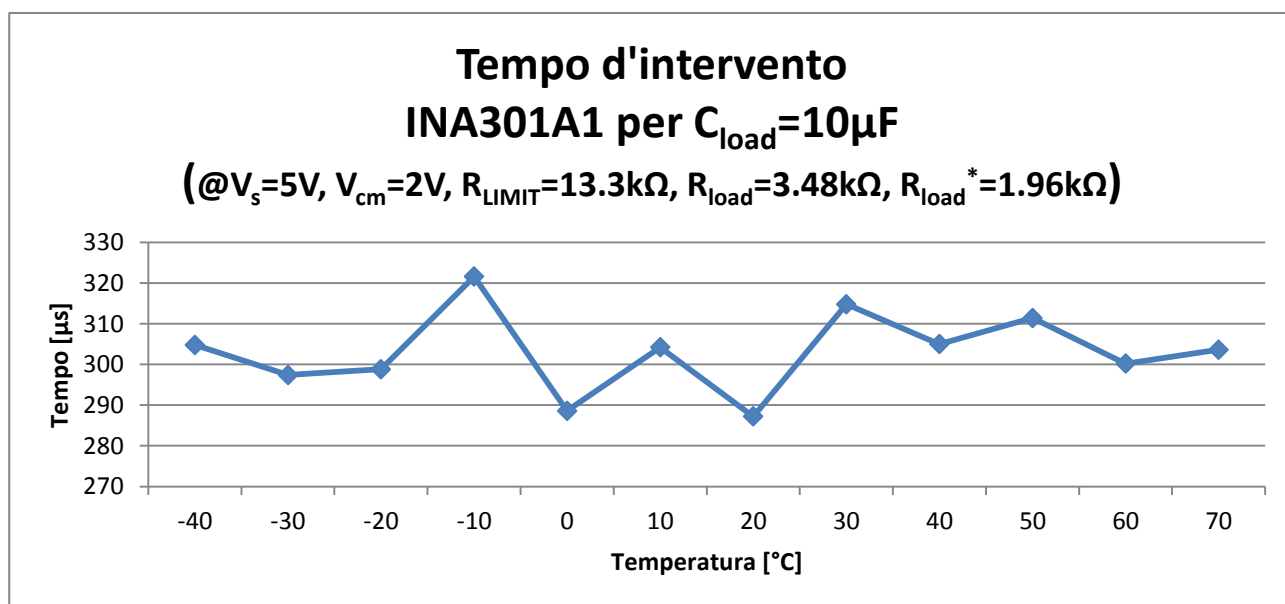
In questo capitolo si riportano i valori della grandezza d'interesse in corrispondenza dei differenti valori della capacità di carico,  $C_{load}$ , in particolare siamo interessati a:

- $t_{intervento}$  inteso come il tempo trascorso tra l'innesco della perturbazione (pressione pulsante) e la transizione alto-basso del pin ALERT.

| Temperatura [°C] | $t_{intervento}$ [ $\mu$ s] | $C_{load}$ |
|------------------|-----------------------------|------------|
| -40              | 304,8                       | 10 $\mu$ F |
| -30              | 297,4                       |            |
| -20              | 298,8                       |            |
| -10              | 321,6                       |            |
| 0                | 288,6                       |            |
| 10               | 304,2                       |            |
| 20               | 287,2                       |            |
| 30               | 314,8                       |            |
| 40               | 305,0                       |            |
| 50               | 311,4                       |            |
| 60               | 300,2                       |            |
| 70               | 303,6                       |            |

| Temperatura [°C] | $t_{intervento}$ [ $\mu$ s] | $C_{load}$ |
|------------------|-----------------------------|------------|
| -40              | 35,66                       | 1 $\mu$ F  |
| -30              | 38,57                       |            |
| -20              | 36,62                       |            |
| -10              | 37,60                       |            |
| 0                | 37,71                       |            |
| 10               | 39,44                       |            |
| 20               | 38,46                       |            |
| 30               | 37,89                       |            |
| 40               | 39,57                       |            |
| 50               | 38,49                       |            |
| 60               | 40,26                       |            |
| 70               | 39,87                       |            |

Di seguito si riportano gli andamenti del tempo d'intervento dell'INA301A1 in funzione della temperatura per i suddetti valori di  $C_{load}$ :



## Capitolo 5

### **Conclusioni**

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.

Lo stesso può essere visto in termini di costante di carica della  $C_{load}$  infatti

Questo è anche dovuto al fatto che la costante di tempo sarà  $\tau \approx R_{sense} * C_{load}$  da cui è evidente la proporzionalità dal valore della  $C_{load}$ . Bisogna quindi tenerne conto per far sì che siano rispettati i tempi d'intervento desiderati e per poter dimensionare opportunamente il circuito di protezione compatibilmente ai valori di corrente da rilevare.

Nei precedenti report, [1][2][3], non si è tenuto conto di tale  $\tau$  perché la  $R_{sense}$  è sempre stata inferiore all'unità rendendo tale costante di tempo compatibile con i tempi d'intervento richiesti.

## Bibliografia

- [1] Rapporto Laboratorio di Elettronica IASF-PA n. 1/2019
- [2] Rapporto Laboratorio di Elettronica IASF-PA n. 2/2019
- [3] Rapporto Laboratorio di Elettronica IASF-PA n. 3/2019
- [4] <http://www.ti.com/product/INA301/description>
- [5] <https://www.keysight.com/en/pd-1842303-pn-N6705B/dc-power-analyzer-modular-600-w-4-slots?cc=IT&lc=ita>
- [6] <http://cdn.teledynelecroy.com/files/pdf/wavemaster-8zi-b-datasheet.pdf>
- [7] [http://www.farnell.com/datasheets/866462.pdf?\\_ga=2.158342010.1718724779.1556889712-1209876666.1499853774](http://www.farnell.com/datasheets/866462.pdf?_ga=2.158342010.1718724779.1556889712-1209876666.1499853774)
- [8] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/dmm7510>
- [9] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/keithley-2000-series-6%C2%BD-digit-multimeter-scanning>
- [10] [https://espec.com/images/uploads/files/t\\_su-sh\\_benchtop.pdf](https://espec.com/images/uploads/files/t_su-sh_benchtop.pdf)