



## Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

|                                    |                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Number</b>                      | 156                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Publication Year</b>            | 2022                                                                                                                                                                                                |
| <b>Acceptance in OA@INAF</b>       | 2022-06-07T15:02:46Z                                                                                                                                                                                |
| <b>Title</b>                       | Relazione tecnica circuito di protezione da sovracorrente con INA300                                                                                                                                |
| <b>Authors</b>                     | NOGARA, PAOLO, SOTTILE, Giuseppe                                                                                                                                                                    |
| <b>Affiliation of first author</b> | IASF Palermo                                                                                                                                                                                        |
| <b>Handle</b>                      | <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12386/32228">http://hdl.handle.net/20.500.12386/32228</a> , <a href="https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/156">https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/156</a> |

---

# Relazione tecnica circuito di protezione da sovracorrente con INA300

---

*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

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Sommario.....                                 | 1  |
| Prefazione .....                              | 2  |
| Capitolo 1 .....                              | 3  |
| Funzionamento circuito.....                   | 3  |
| Versione 1.0 .....                            | 3  |
| Versione 1.1 .....                            | 6  |
| Versione 1.2 .....                            | 7  |
| Capitolo 2 .....                              | 9  |
| Dimensionamento e scelta dei componenti ..... | 9  |
| Versione 1.0 .....                            | 9  |
| Versione 1.1 .....                            | 10 |
| Versione 1.2 .....                            | 11 |
| Capitolo 3 .....                              | 15 |
| Setup per i circuiti test.....                | 15 |
| Versione 1.0 .....                            | 15 |
| Versione 1.1 .....                            | 16 |
| Versione 1.2 .....                            | 16 |
| Capitolo 4 .....                              | 18 |
| Risultati misure .....                        | 18 |
| Versione 1.0 .....                            | 18 |
| Versione 1.1 .....                            | 19 |
| Versione 1.2 .....                            | 19 |
| Capitolo 5 .....                              | 23 |
| Conclusioni .....                             | 23 |
| Versione 1.0 .....                            | 23 |
| Versione 1.1 .....                            | 23 |
| Versione 1.2 .....                            | 23 |
| Bibliografia.....                             | 25 |

# 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, partendo dalla struttura basilare, si è arrivati ad una struttura circuitale funzionale per l'applicazione richiesta. Inoltre vengono descritti i setup con i quali sono stati testati i circuiti realizzati e le condizioni in cui sono stati effettuati i test. Di seguito verrà descritta sommariamente 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. Assorbimento anomalo, che può esser dovuto ad una grande variazione del carico, o da assorbimenti di corrente eccessivi di altre parti del circuito, dovuti a fenomeni di Latch-Up o più genericamente da cortocircuiti.

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.

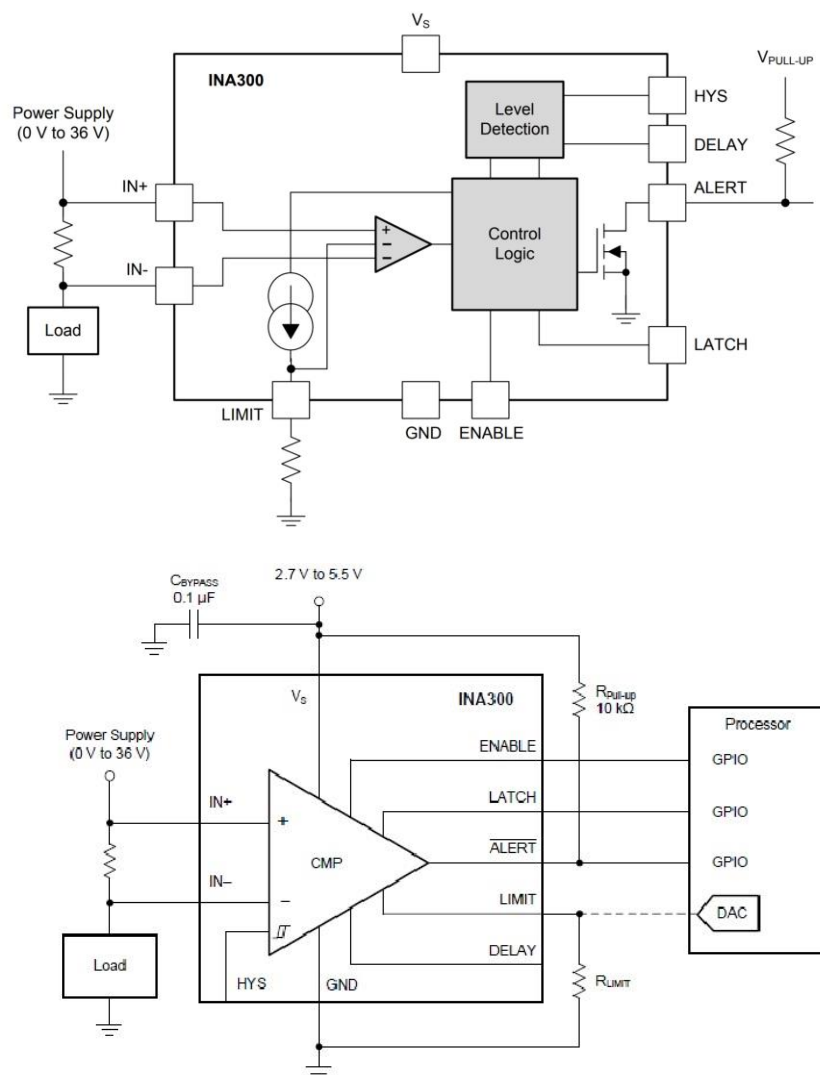
Nella **Bibliografia** si elencano tutti i testi di riferimento utilizzati per la realizzazione del circuito.

# Capitolo 1

## Funzionamento circuito

### Versione 1.0

Il circuito descritto in questo capitolo deve rilevare il verificarsi di una sovracorrente. L'integrato scelto per tale fine è l'INA300 [1] e di seguito si riporta lo schema a blocchi del suo funzionamento ed un possibile schema del suo utilizzo:



Si è scelto questo componente perché permette di implementare la funzione desiderata con un ridotto numero di componenti esterni, inoltre permette di utilizzare lo stesso in modalità LATCH [1]. Va detto anche che una delle caratteristiche decisive per la sua scelta è il tempo di intervento

pari a  $10\mu s$  [1]. Il circuito è stato progettato per rilevare una sovracorrente pari al 150% del valore nominale della corrente che alimenta i carichi connessi alla linea monitorata.

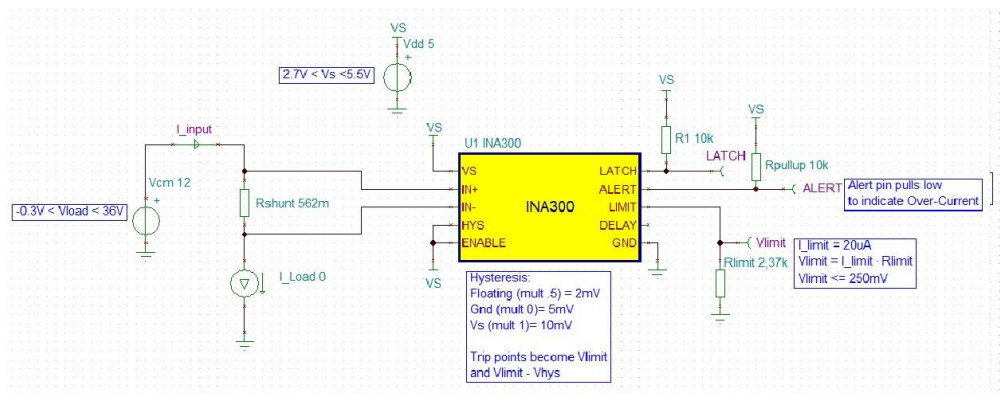
L'INA300 monitora tramite i pin  $IN+$  e  $IN-$  la tensione  $V_{IN}$  ai capi della  $R_{sense}$ , resistore di sensing, opportunamente dimensionata [1]. La  $V_{IN}$  ai capi della  $R_{sense}$  è data da una tensione di modo comune,  $V_{cm}$ , applicata alla serie di  $R_{sense}$  ed  $R_{load}$ . Non appena  $V_{IN}$  supera la tensione di soglia  $V_{LIMIT}$ , settata tramite un resistore esterno opportunamente dimensionato [1], il livello logico del pin ALERT verrà portato basso. Ciò sta ad indicare che su  $R_{sense}$  sta circolando una corrente superiore al valore desiderato per il corretto funzionamento del carico.

Il segnale al pin di ALERT resta basso finché la corrente, che attraversa la  $R_{sense}$ , determina una caduta di tensione  $V_{IN}$  superiore alla  $V_{LIMIT}$ . Tuttociò nel caso in cui si facesse lavorare l'INA300 in modalità TRANSPARENT [1], in cui il pin ALERT rimarrà basso finché  $V_{IN}$  non tornerà al di sotto di  $V_{LIMIT}$  ed il pin di LATCH sia sempre mantenuto a livello logico basso. Per poter funzionare in modalità LATCH l'INA300 necessita di un resistore di pull up affinché il blocco interno *Control Logic* mantenga basso il pin di ALERT indefinitamente finché non viene resettato l'integrato mantenendo al livello logico basso il pin LATCH per almeno  $20\mu s$  [1]. Sulla connessione dei restanti pin si rimanda al datasheet dell'integrato INA300 [1].

Sul datasheet dell'INA300 è riportato che la tensione d'alimentazione,  $V_s$ , può essere compresa  $[2.7\div 5.5]$  V e si è scelto di alimentare il circuito con una tensione  $V_s = 3.3$  V. Nelle simulazioni si è comunque verificato il comportamento della rete alimentandolo a 5V.

I pin  $V_s$ , HYS ed ENABLE sono stati connessi tutti alla tensione di alimentazione. Così facendo si ha un'isteresi di 8mV rispetto al valore di tensione presente al pin LIMIT [1]. Mentre il pin DELAY è stato lasciato flottante per avere un ritardo d'azione di  $10\mu s$  [1].

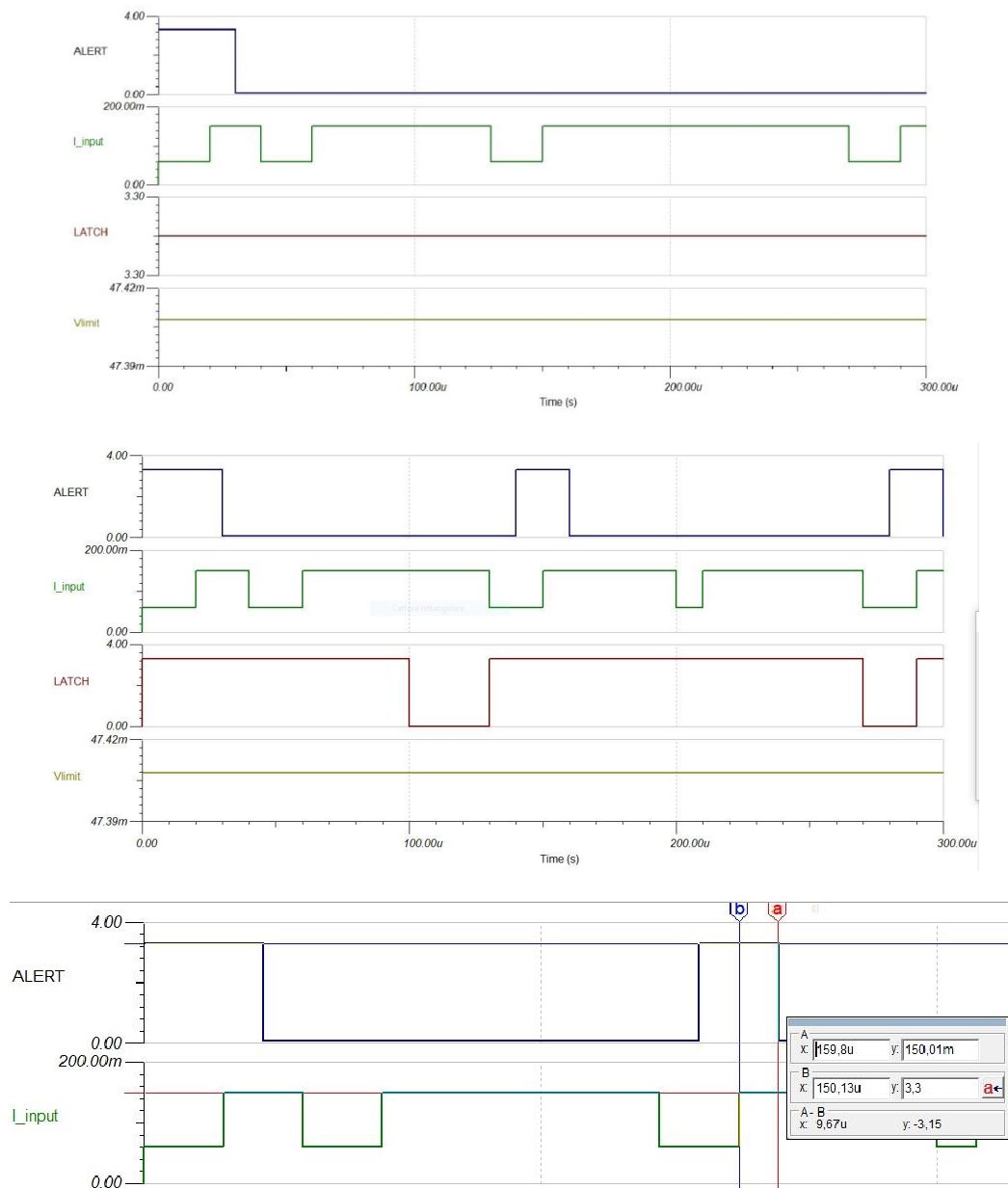
Di seguito è riportato il primo circuito test realizzato per effettuare i test:



In questo caso la simulazione è stata implementata mediante il software TINA-TI della *Texas Instruments*. Con **I\_Load** si è simulata una variazione della corrente di carico rispetto alla normale condizione di lavoro che verrà rilevata con lo scope  $I_{input}$ . In laboratorio ciò è stato implementato mediante l'utilizzo di un carico elettronico, *Keithley 2380-120-60* [2], usato in modalità CC

(Continuous Current). Successivamente si è sostituito il carico elettronico con due resistori in parallelo connessi tramite un pulsante al fine di emulare una variazione del carico tale da indurre una sovracorrente che oltrepassi il valore di soglia imposto tramite il resistore al pin LIMIT. 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  $V_{IN}$  che la logica interna dell'INA300 stesso è in grado di gestire ( $V_{IN} \cong V_{LIMIT} \leq 250mV$  [1]). Il dimensionamento verrà trattato nel successivo capitolo.

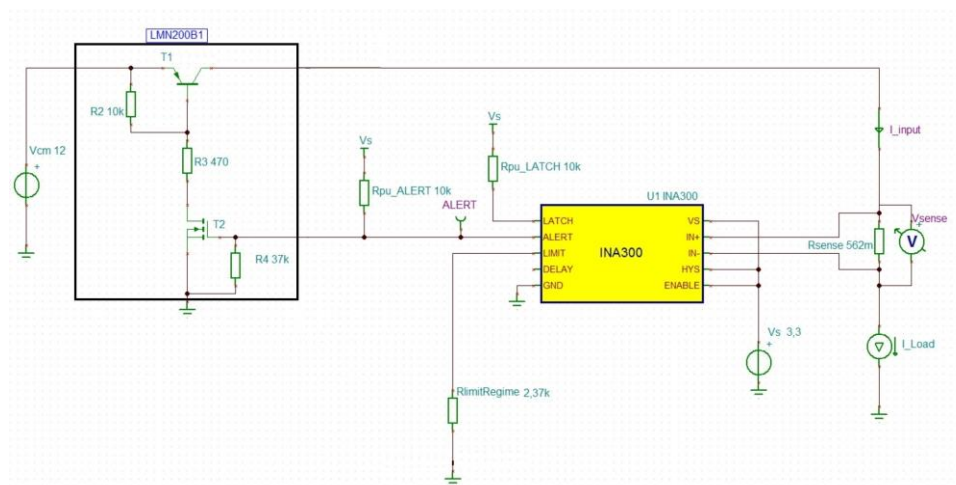
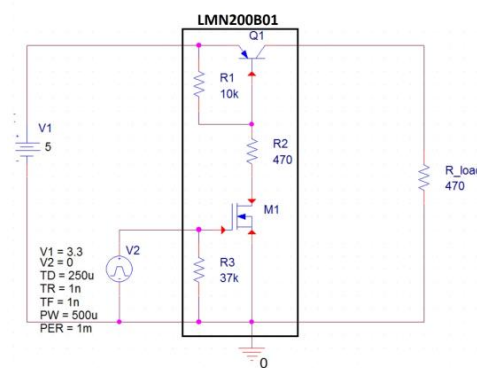
Di seguito sono riportati gli andamenti dei segnali relativi alle simulazioni del precedente circuito in modalità LATCH, sia nel caso in cui non si era introdotta la condizione di reset sia nel caso in cui è stata introdotta. Mentre nella terza immagine si evidenzia il tempo d'intervento dell'integrato:



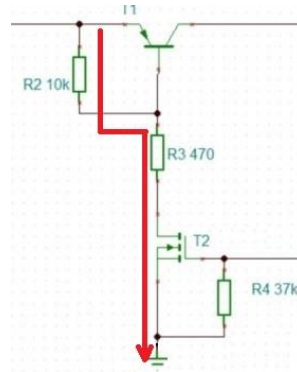
In fase di test si è notato che lasciando l'amperometro (*Keithley DM7510* [3]) in modalità *autorange*, si verificava una condizione vista dall'INA300 come condizione di sovracorrente. Ovvero quando l'amperometro commuta la scala, es. passa da  $I_{fondoscala}=10\text{mA}$  a  $I_{fondoscala}=100\text{mA}$ , introduce una sovracorrente/sovratensione dovuta ad una commutazione interna dello strumento, la quale viene interpretata dall'INA300 come assorbimento anomalo da parte del carico che conseguentemente porterà bassa la linea di ALERT. Le misure sono quindi state fatte settando l'amperometro ad un range fisso con  $I_{fondoscala}=1\text{ A}$ .

## Versione 1.1

Lo step successivo è stato quello di implementare una logica che permettesse di disalimentare il carico una volta rilevata la condizione di sovracorrente. Ovvero in corrispondenza della transizione alto-basso del segnale di ALERT si vuole aprire il circuito verso il carico. A tal fine si è introdotto a monte della  $R_{sense}$  l'integrato *LMN200B01*[4]. Per verificare la logica di quest'ultimo si è simulato il suo funzionamento mediante il software OrCAD e successivamente si è simulato il l'intero circuito su TINA-TI:



Si è notato in laboratorio che rispetto al precedente caso si ha un incremento del consumo, circa  $300\mu\text{A}$ . Tale aumento è imputabile alla seguente maglia:

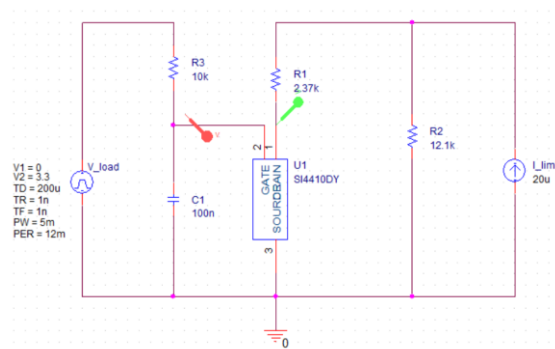


Tale maglia farà sì che al variare della  $V_{cm}$  si avrà un aumento di corrente richiesta dal circuito.

## Versione 1.2

Successivamente, per valutare le prestazioni del circuito ed emulare le possibili condizioni di funzionamento, sono stati fatti dei test facendo commutare alternativamente la  $V_{cm}$  e la  $V_s$  tra le tensioni di lavoro e zero. Così facendo si è notato che in corrispondenza della commutazione della  $V_{cm}$ , es. da 0V alla tensione di lavoro del carico, l'INA300 rileva una sovracorrente rispetto alla soglia settata per il normale funzionamento. Per evitare tale condizione si è aggiunta una rete di ritardo per fare in modo da settare inizialmente una soglia  $V_{limit}$  più alta durante il transitorio iniziale della tensione  $V_{cm}$  sul carico e poi far vedere il valore di regime a transitorio esaurito. Si è fatto in modo che la soglia iniziale fosse settata ad un valore prossimo al valore massimo,  $V_{LIMIT}=250\text{mV}$ , e poi portarsi al valore desiderato a regime. Il tutto è stato realizzato introducendo una rete di ritardo R-C ed il MOS-N Si4410DY[5].

La rete di ritardo è stata prima simulata da sola per verificarne le caratteristiche e poi si è simulato l'intero circuito. La rete ritardatrice e il circuito completo presentano la seguente struttura:





## Capitolo 2

### Dimensionamento e scelta dei componenti

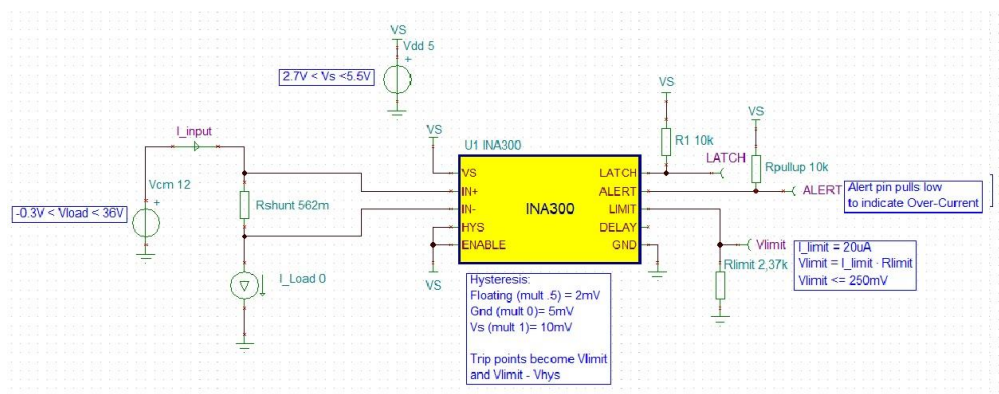
Il circuito è stato progettato ipotizzando una condizione di sovracorrente sul carico dovuta ad una corrente pari a  $I_{loadMax}=100mA$ . I passi si ripetono per le varie versioni realizzate quindi, per semplicità, di ogni versione realizzata si riporterà il dimensionamento della rete aggiunta per aumentare le funzionalità al circuito.

Si monitora un valore di  $I_{loadMax}=100mA$  perché nelle versioni successive alla prima è stato aggiunto l'integrato LMN200B01 che ha una  $I_{Max\_LMN200B01}=200mA$  [4], così facendo si evita di danneggiarlo.

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  $t_p \approx 10 \mu s$ , si è passati alla modalità LATCH.

### Versione 1.0

Per comodità si riporta lo schema del circuito per poter seguire meglio i passi che hanno portato al dimensionamento dei componenti:

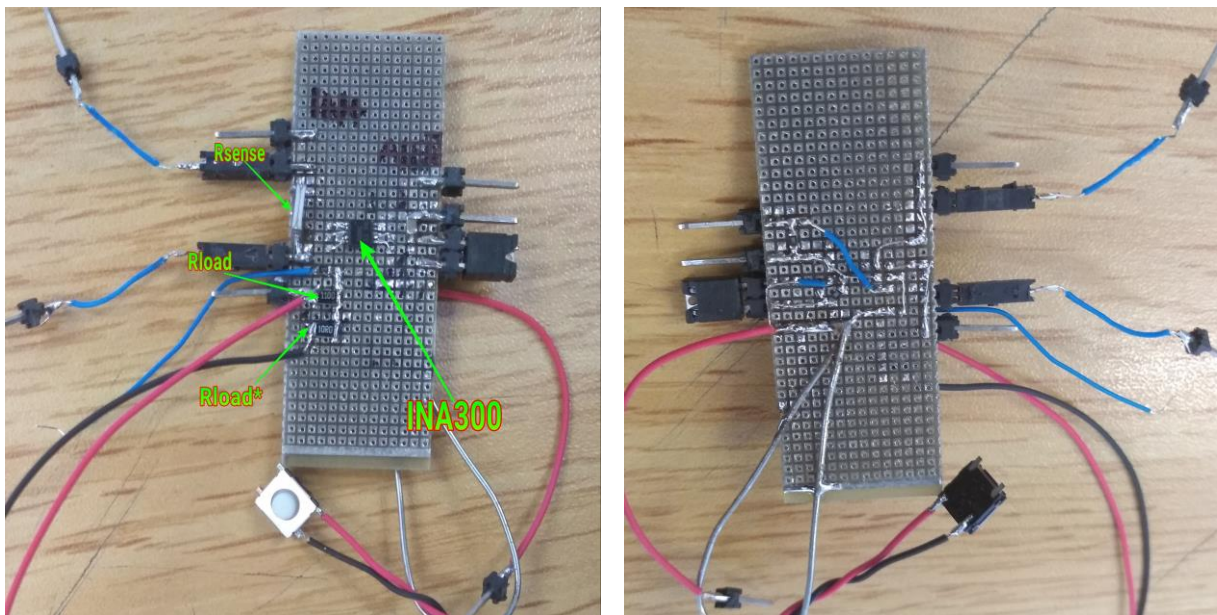


Il resistore  $R_{sense}$  è stato realizzato mettendo in parallelo due resistori da  $1 \Omega \pm 1\%$ . Misurando il valore del parallelo con il multimetro della Keithley (DM7510) [6] si è misurato un valore di  $562m\Omega$ . Con la  $R_{sense}$  ottenuta e il valore di corrente da rilevare si otterrà una  $V_{IN}$  d'intervento pari a  $V_{IN}=56.2mV$ . 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'INA300 mandando basso il pin di ALERT. Seguendo quanto riportato in [1] si vede che con una  $I_{LIMIT}=20\mu A$  al pin di LIMIT e scegliendo  $R_{LIMIT}=2.37k\Omega$  si avrà una soglia di

$V_{LIMIT}=47.4\text{ mV}$ , a cui corrisponde una  $I_{loadThreshold}=84.3\text{ mA}$ . Va detto anche che se si volesse una soglia programmabile basterebbe inserire al pin LIMIT un potenziometro digitale o un DAC.

Come generatori per la  $V_{cm}$  e la  $V_s$  si è utilizzato il generatore di tensione a quattro canali *Agilent Technologies N6705B*. Con il canale#1 si è implementato la  $V_{cm}$  mentre con il canale#2 la  $V_s$ .

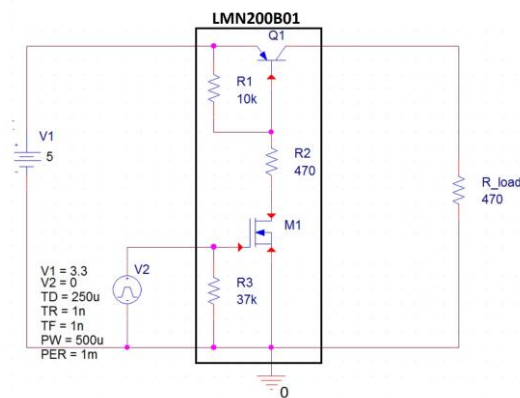
Settando il canale#1 ad una tensione  $V_{cm}=3.3\text{V}$ , al fine di avere una  $I_{load}$  al di sopra della soglia si dovrebbe avere una  $R_{load}^*=10\Omega$ . Per essere sicuri di essere sotto soglia in normali condizioni di funzionamento si è scelta una  $R_{load}=1100\Omega$  ed in parallelo si è connessa la  $R_{load}^*$ . La connessione in parallelo avviene in corrispondenza della pressione di un pulsante. Di seguito sono riportate le foto della board test realizzata, rispettivamente fronte e retro:



### Versione 1.1

Nella seconda versione, come accennato nel **Capitolo 1**, si è pensato che una volta rilevata la condizione di sovracorrente non si debba più alimentare il carico per evitare danneggiamenti alla circuiteria a valle. In corrispondenza della sovracorrente il segnale di ALERT verrà portato basso e si apre il circuito verso il carico. Tale funzione si è implementata mediante l'utilizzo dell'integrato LNM200B01[4].

Di seguito si riporta il circuito prima simulato e poi implementato per il corretto funzionamento:

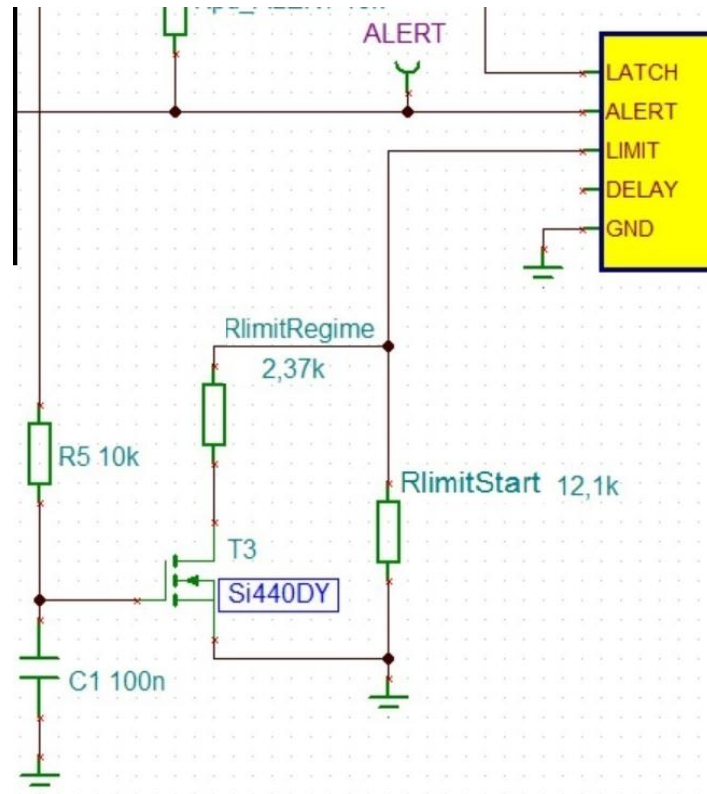


Al posto del generatore  $V_2$  vi sarà connesso il pin *ALERT* dell'INA300, mentre il valore della  $R_{load}$  non è da considerare perché questo schema è stato simulato solo per verificare la logica di funzionamento del circuito e valutarne alcune caratteristiche. Le simulazioni sono state fatte con il modello Spice dell'integrato LMN200B01 importato su OrCAD. I resistori  $R_1, R_2$  ed  $R_3$  sono integrati [4].

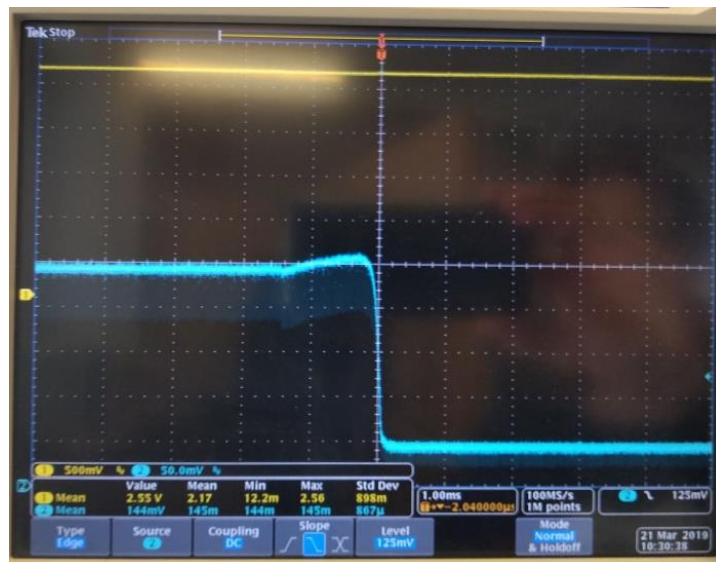
Successivamente si è realizzata un'altra board prototipo su cui sono stati messi tutti i componenti necessari all'INA300 e l'integrato LMN200B01 che fa da switch per alimentare, o meno, il carico. Una volta che il segnale *ALERT* viene portato basso, sul carico circherà la sola corrente di leakage del transistor serie che con l'amperometro, [7], si è visto essere di  $2 \mu A$ .

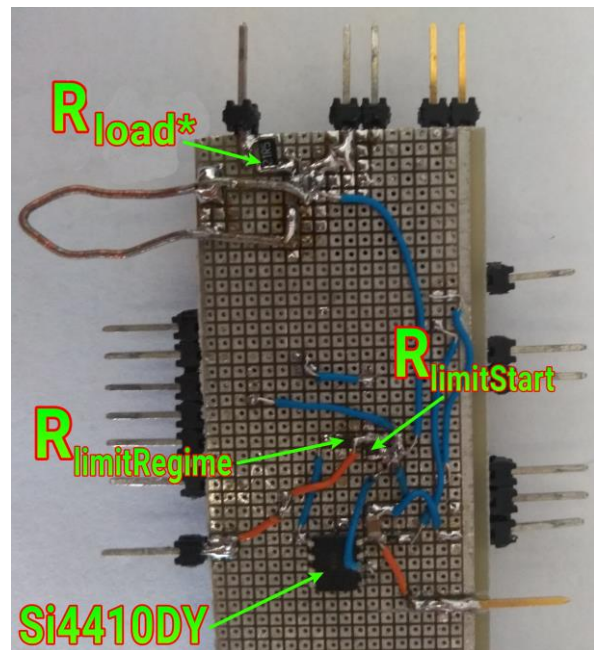
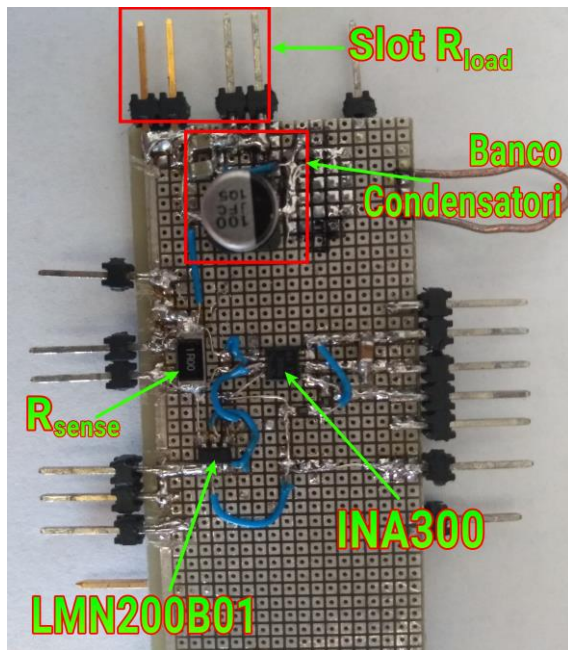
## Versione 1.2

Dai test effettuati sulle precedenti versioni si è visto che il circuito funziona come ci si aspettava ma commutandola tensione di modo comune  $V_{cm}$ , tra 3.3V e 0V, piuttosto che l'alimentazione  $V_s$  dell'INA300, quest'ultimo manda bassa la linea di *ALERT* come se si fosse verificata una sovracorrente. Per evitare che si verificasse ciò all'accensione della  $V_{cm}$  si è introdotta una rete che all'inizio fa vedere all'INA300 una tensione iniziale  $V_{LIMIT}=240mV$  prossima alla massima tensione differenziale gestibile dalla logica dell'integrato e dopo 1 ms fa vedere una  $V_{LIMIT}$  pari a quella desiderata a regime. In questa condizione si definiscono rispettivamente quindi una  $V_{LIMITstart}$  ed una  $V_{LIMITregime}$  in modo da distinguere i due casi. La rete introdotta è costituita dalla serie di un resistore,  $R=10k\Omega$ , e un condensatore,  $C=100nF$ . In parallelo al condensatore sarà connesso il pin di gate di un N-MOS, nella fattispecie Si4410DY [5], la cui interdizione/conduzione farà sì che al pin *LIMIT* sia vista o una  $R_{LIMITstart}=12.1k\Omega$  o una  $R_{LIMITregime}\cong 2.37k\Omega$ . La rete presenterà la seguente struttura:



Con la connessione di questa rete si è misurata una  $V_{LIMITregime}=42.7\text{ mV}$  a cui corrisponde una  $I_{loadThreshold}=76\text{mA}$ . Di seguito si riporta l'andamento della tensione  $V_{LIMIT}$  e le foto della board test (fronte e retro) che si è realizzata:





Come si vede si è sostituito il carico elettronico con un carico resistivo in parallelo a tre capacità, rispettivamente di valori  $R_{load}=82.5\Omega$  e  $C_2=100\mu F$ ,  $C_3=10\mu F$ ,  $C_4=10\mu F$ . In queste condizioni si sono rifatti i test nel caso di commutazione delle tensioni di modo comune e di alimentazione dell'INA300 tra 0V e 3.3V e si è verificato che il circuito continua a funzionare correttamente. Il banco di condensatori prima del carico è stato inserito per rendere più realistiche le condizioni di lavoro.

Effettuando i test sulla board si sono evidenziati degli andamenti non del tutto chiariti dal datasheet dell'INA300 stesso. In particolare si sono notati dei piccoli impulsi, con andamento periodico, sul pin LIMIT come si può notare nella seguente immagine:



Questi impulsi potrebbero causare qualche problema al corretto funzionamento del current-sense nel caso in cui la  $V_{sense}$  sia prossima alla  $V_{limit}$ .

Per capire meglio il problema si guardino le seguenti immagini:



In questo caso si è riportata in rosso la  $V_{sense}$  che, come si vede, risulta essere sempre al di sotto della  $V_{limit}$ . Questa condizione ci garantisce che il pin ALERT sarà sempre alto se non si dovessero verificare sovracorrenti.



In quest'altra immagine, invece, si vede che la  $V_{sense}$  rimane al di sotto di  $V_{limit}$  tranne che in corrispondenza degli impulsi. Ciò potrebbe portare il blocco *Control Logic* [1] a forzare basso il pin ALERT.

Si ipotizza che questo disturbo sia dovuto al blocco *Control Logic* interno all'INA300 [1]. Tali impulsi hanno portato a pensare di sostituire la rete che fa vedere due  $V_{LIMIT}$  con un solo resistore in modo da poter settare un valore più basso di soglia. Ciò porta anche a cambiare la  $R_{sense}$  in modo da avere una  $V_{IN}$  che supera la  $V_{LIMIT}$  in corrispondenza di valori di corrente più alti.

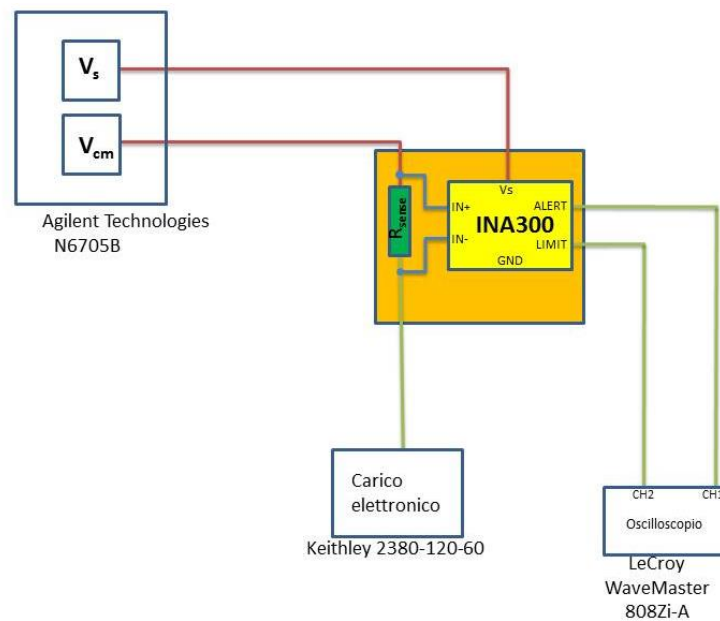
I test sono stati effettuati anche al variare della temperatura in un range  $[-40 \div +70]^\circ\text{C}$  in camera termica ESPEC SH-642 [8].

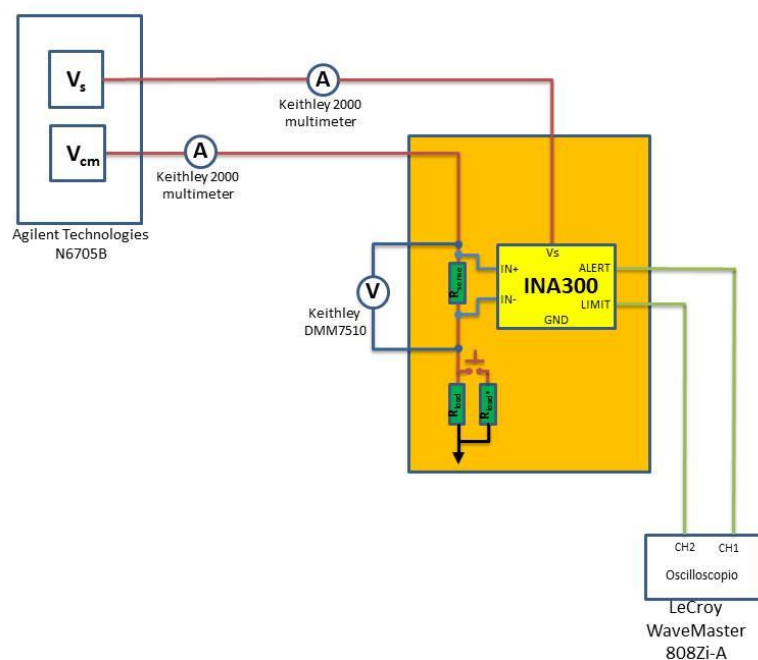
## Capitolo 3

### *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.

#### **Versione 1.0**

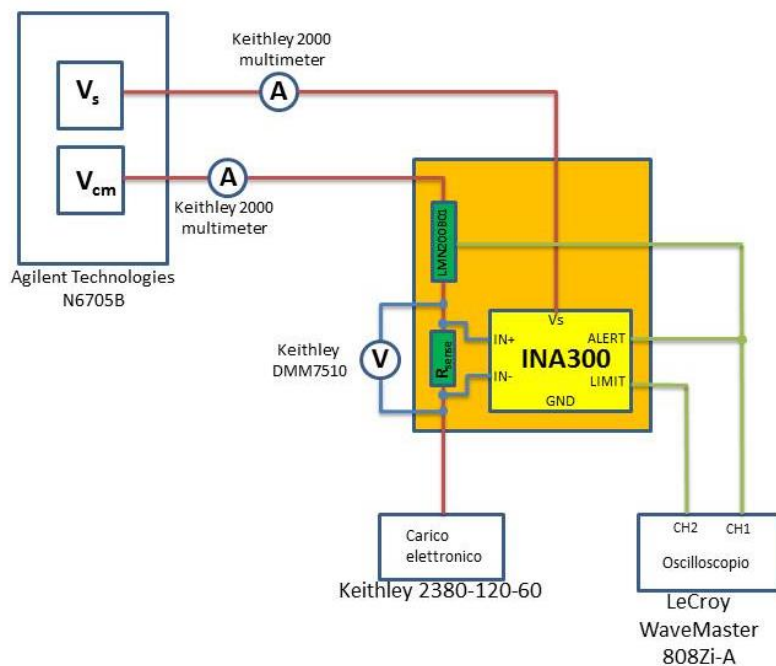


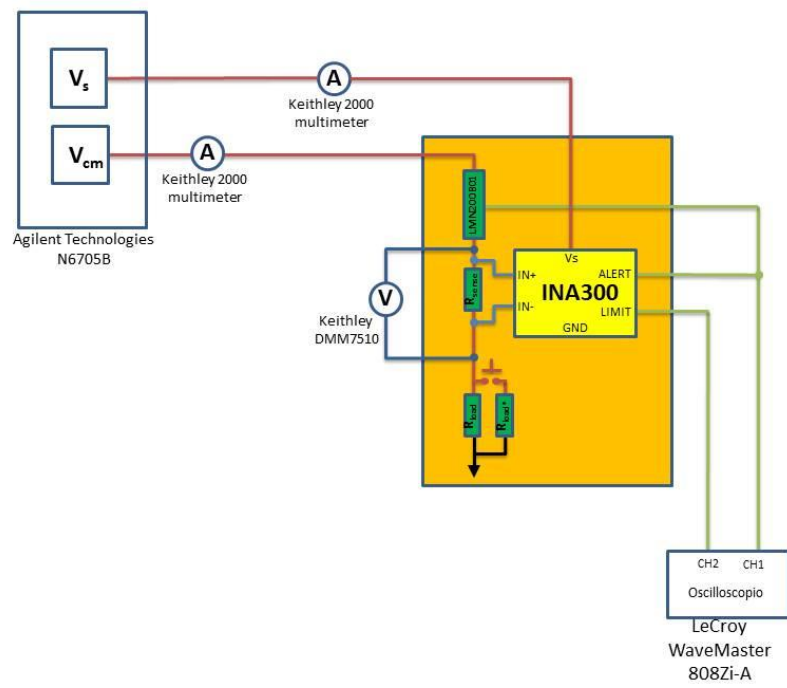


### Versione 1.1

Il setup per monitorare questa versione è lo stesso di quello utilizzato per terza versione quindi si consideri valido il setup successivo.

### Versione 1.2





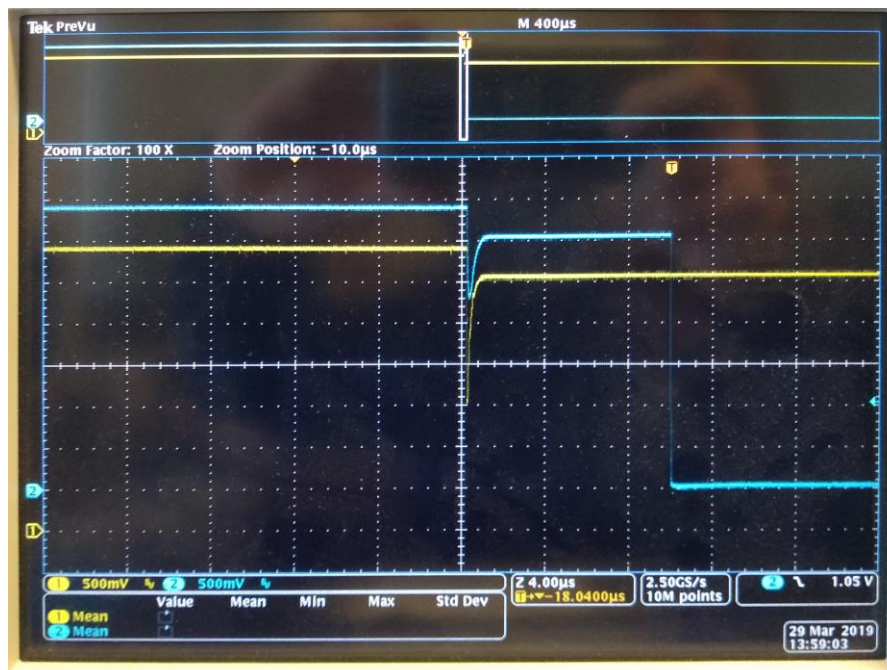
# Capitolo 4

## Risultati misure

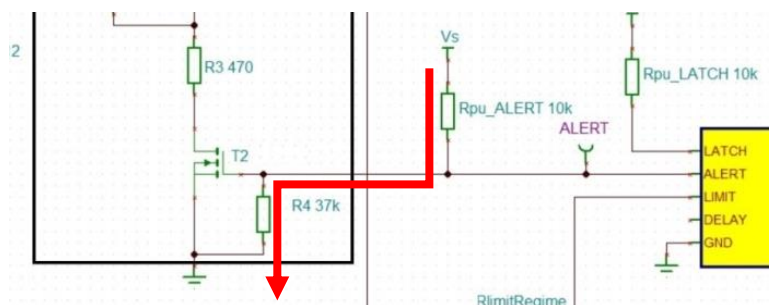
### Versione 1.0

Questa board non è stata testata in camera termica perché è stata realizzata solo per poter capire bene la logica di funzionamento e valutare alcuni parametri, come il tempo di commutazione del segnale di ALERT rispetto a quando si innesca la sovracorrente. Tale intervallo di tempo è stato misurato all'oscilloscopio prendendo come riferimento l'istante in cui si verifica la perturbazione sulla  $V_{load}$  indotta dall'introduzione del resistore in parallelo, oppure dal carico elettronico, fino all'istante in cui il segnale di ALERT non va basso.

Di seguito si riporta l'andamento della  $V_{load}$  (in giallo) in corrispondenza della connessione in parallelo dei due resistori e del segnale al pin di ALERT (in ciano):



Si ricordi che al pin di ALERT si ha la tensione  $V_s$  partizionata dalla  $R_{pullup}$  e dalla  $R_{pulldown}$  integrata in LMN200B01[4].



Le uniche misure fatte su questa board sono relative al tempo impiegato dall'INA300 per mandare bassa la linea di ALERT. Tutte le misure effettuate hanno confermato quanto riportato in [1] ovvero un tempo inferiore ai 13  $\mu$ s.

### Versione 1.1

Per questa versione non si sono effettuate misure perché si è preferito avere una struttura con più funzionalità inglobate.

### Versione 1.2

Le misure sono state effettuate, al variare della temperatura, mantenendo le tensioni  $V_s$  e  $V_{cm}$  separate. Inoltre si sono effettuate le misure per le tensioni  $V_{cm}$  da monitorare: 3.3V, 5V e 12V.

Per tali valori di tensione si è opportunamente dimensionato un carico che potesse far scorrere la corrente nominale desiderata e che potesse fare in modo di poter emulare un assorbimento anomalo da parte dello stesso.

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

Nella seguente tabella con  $I_{INA}$  si indica la corrente assorbita dall'INA300 e dal partitore resistivo costituito dal resistore di pull-up,  $R_{pu}$ , connesso al pin ALERT e dal resistore di pull-down,  $R_{pd}$ , integrato in LMN200B01[4].

Con  $I_{IN}$  invece si indica la corrente in ingresso a tutto il circuito.

| $T$ [°C] | $I_{IN}$ [mA] | $I_{load}$ [mA] | $I_{INA}$ [ $\mu$ A] | $V_{ALERT}$ [V] | $V_{sense}$ [mV] | $V_{cm}$ [V] | $V_s$ [V] | $R_{load}$ [ $\Omega$ ] |
|----------|---------------|-----------------|----------------------|-----------------|------------------|--------------|-----------|-------------------------|
| -40      | 41,1          | 36,72           | 488,4                | 2,76            | 17,885           | 3,3          | 3,3       | 82,5                    |
| -30      | 41,06         | 36,67           | 492,2                | 2,74            | 17,931           |              |           |                         |
| -20      | 41,14         | 36,70           | 496,0                | 2,72            | 18,003           |              |           |                         |
| -10      | 41,14         | 36,66           | 499,8                | 2,68            | 18,048           |              |           |                         |
| 0        | 41,08         | 36,57           | 506,1                | 2,68            | 18,062           |              |           |                         |
| 10       | 41,27         | 36,70           | 509,9                | 2,65            | 18,197           |              |           |                         |
| 20       | 41,32         | 36,72           | 507,6                | 2,62            | 18,254           |              |           |                         |
| 30       | 41,40         | 36,74           | 510,9                | 2,60            | 18,332           |              |           |                         |
| 40       | 41,45         | 36,74           | 514,7                | 2,58            | 18,394           |              |           |                         |
| 50       | 41,47         | 36,76           | 518,7                | 2,55            | 18,415           |              |           |                         |
| 60       | 41,51         | 36,75           | 522,5                | 2,53            | 18,507           |              |           |                         |
| 70       | 41,54         | 36,73           | 527,3                | 2,50            | 18,564           |              |           |                         |

Si mette in evidenza che nonostante la  $V_s$  sia uguale a 3.3V, la  $V_{ALERT}$  è più bassa a causa del partitore  $R_{pu}$ - $R_{pd}$ .

| $T [^{\circ}\text{C}]$ | $I_{IN} [\text{mA}]$ | $I_{load} [\text{mA}]$ | $I_{INA} [\mu\text{A}]$ | $V_{ALERT} [\text{V}]$ | $V_{sense} [\text{mV}]$ | $V_{cm} [\text{V}]$ | $V_s [\text{V}]$ | $R_{load} [\Omega]$ |
|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| -40                    | 45,3                 | 37,148                 | 489,6                   | 2,72                   | 18,1                    | 5                   | 3,3              | 133                 |
| -30                    | 45,35                | 37,14                  | 491,7                   | 2,69                   | 18,16                   |                     |                  |                     |
| -20                    | 45,38                | 37,131                 | 494,8                   | 2,67                   | 18,23                   |                     |                  |                     |
| -10                    | 45,43                | 37,122                 | 498,2                   | 2,64                   | 18,28                   |                     |                  |                     |
| 0                      | 45,47                | 37,117                 | 504,5                   | 2,62                   | 18,34                   |                     |                  |                     |
| 10                     | 45,52                | 37,113                 | 507,9                   | 2,59                   | 18,4                    |                     |                  |                     |
| 20                     | 45,56                | 37,11                  | 508,3                   | 2,57                   | 18,46                   |                     |                  |                     |
| 30                     | 45,6                 | 37,1                   | 509,9                   | 2,55                   | 18,5                    |                     |                  |                     |
| 40                     | 45,63                | 37,09                  | 512,9                   | 2,53                   | 18,53                   |                     |                  |                     |
| 50                     | 45,69                | 37,08                  | 517,6                   | 2,5                    | 18,58                   |                     |                  |                     |
| 60                     | 45,72                | 37,07                  | 520,4                   | 2,47                   | 18,62                   |                     |                  |                     |
| 70                     | 45,74                | 37,05                  | 526,3                   | 2,45                   | 18,67                   |                     |                  |                     |

| $T [^{\circ}\text{C}]$ | $I_{IN} [\text{mA}]$ | $I_{load} [\text{mA}]$ | $I_{INA} [\mu\text{A}]$ | $V_{ALERT} [\text{V}]$ | $V_{sense} [\text{mV}]$ | $V_{cm} [\text{V}]$ | $V_s [\text{V}]$ | $R_{load} [\Omega]$ |
|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| -40                    | 45,32                | 37,148                 | 489,3                   | 4,11                   | 18,100                  | 5                   | 5                | 133                 |
| -30                    | 45,35                | 37,143                 | 493,5                   | 4,07                   | 18,166                  |                     |                  |                     |
| -20                    | 45,41                | 37,135                 | 496,8                   | 4,03                   | 18,220                  |                     |                  |                     |
| -10                    | 45,45                | 37,127                 | 501,2                   | 4,00                   | 18,281                  |                     |                  |                     |
| 0                      | 45,48                | 37,115                 | 507,1                   | 3,95                   | 18,340                  |                     |                  |                     |
| 10                     | 45,50                | 37,100                 | 510,3                   | 3,92                   | 18,399                  |                     |                  |                     |
| 20                     | 45,56                | 37,097                 | 513,1                   | 3,90                   | 18,450                  |                     |                  |                     |
| 30                     | 45,60                | 37,092                 | 516,4                   | 3,85                   | 18,502                  |                     |                  |                     |
| 40                     | 45,64                | 37,083                 | 519,7                   | 3,81                   | 18,560                  |                     |                  |                     |
| 50                     | 45,69                | 37,078                 | 522,5                   | 3,76                   | 18,620                  |                     |                  |                     |
| 60                     | 45,72                | 37,067                 | 526,2                   | 3,74                   | 18,673                  |                     |                  |                     |
| 70                     | 45,75                | 37,059                 | 529,6                   | 3,71                   | 18,722                  |                     |                  |                     |

| $T [^{\circ}\text{C}]$ | $I_{IN} [\text{mA}]$ | $I_{load} [\text{mA}]$ | $I_{INA}$ | $V_{ALERT}$ | $V_{sense} [\text{mV}]$ | $V_{cm} [\text{V}]$ | $V_s [\text{V}]$ | $R_{load}$ |
|------------------------|----------------------|------------------------|-----------|-------------|-------------------------|---------------------|------------------|------------|
| -40                    | 67,14                | 44,73                  | 481,5     | 2,66        | 21,96                   | 12                  | 3,3              | 261        |
| -30                    | 67,16                | 44,75                  | 485,1     | 2,62        | 21,98                   |                     |                  |            |
| -20                    | 67,24                | 44,77                  | 488,8     | 2,60        | 21,99                   |                     |                  |            |
| -10                    | 67,26                | 44,78                  | 492,4     | 2,58        | 22,23                   |                     |                  |            |
| 0                      | 67,29                | 44,80                  | 495,6     | 2,56        | 22,26                   |                     |                  |            |
| 10                     | 67,31                | 44,83                  | 499,0     | 2,54        | 22,32                   |                     |                  |            |
| 20                     | 67,38                | 44,86                  | 501,7     | 2,50        | 22,38                   |                     |                  |            |
| 30                     | 67,50                | 44,94                  | 505,9     | 2,48        | 22,48                   |                     |                  |            |
| 40                     | 67,53                | 45,03                  | 509,4     | 2,46        | 22,60                   |                     |                  |            |
| 50                     | 67,55                | 45,03                  | 513,2     | 2,44        | 22,67                   |                     |                  |            |
| 60                     | 67,56                | 45,05                  | 517,2     | 2,42        | 22,74                   |                     |                  |            |
| 70                     | 67,58                | 45,06                  | 521,6     | 2,40        | 22,83                   |                     |                  |            |

Durante le misure si è notata una condizione da soddisfare nel caso in cui si faccia commutare la  $V_{cm}$ , mantenendo alimentato l'INA300, al fine di mantenere invariato il comportamento dell'intero circuito. Tale condizione è dettata dallo slew rate con cui deve essere variata la  $V_{cm}$ , in particolare si sono trovati tre valori per altrettanti intervalli di temperatura:

| Range Temp [°C] | Slew Rate [V/s] |
|-----------------|-----------------|
| -40 ÷ 10        | 400             |
| 10 ÷ 40         | 380             |
| 40 ÷ 70         | 350             |

## Capitolo 5

### Conclusioni

#### Versione 1.0

Questo circuito ha permesso di implementare un sense current con pochi elementi esterni. Ha anche permesso di evidenziare alcune problematiche relative al setup o agli strumenti utilizzati.

Infatti si è notato che lasciando l'amperometro (*Keithley DM7510* [3]) in modalità *autorange*, si verificava una condizione vista dall'INA300 come condizione di sovracorrente. Ovvero quando l'amperometro commuta la scala, es. passa da  $I_{fondoscala}=10\text{mA}$  a  $I_{fondoscala}=100\text{mA}$ , introduce una sovracorrente/sovratensione dovuta ad una commutazione interna dello strumento, la quale viene interpretata dall'INA300 come assorbimento anomalo da parte del carico che conseguentemente porterà bassa la linea di ALERT. Le misure sono quindi state fatte settando l'amperometro ad un range fisso.

Dai test fatti si è visto che il circuito si presta a rilevare condizioni di sovracorrente entro i  $15\mu\text{s}$  compatibilmente con quanto riportato nel datasheet [1].

#### Versione 1.1

Introducendo l'integrato LMN200B01 si riesce a limitare il tempo in cui il carico è interessato da una condizione di sovracorrente, inoltre si limitano così eventuali danni, o rotture, ai componenti interessati.

Nel caso dell'applicazione per cui questa struttura è stata pensata si può sostituire l'integrato LMN200B01 con un altro integrato che funziona con valori di corrente più alti, come ad esempio **FDC6324L, FDC6326L, Si869DH**.

#### Versione 1.2

Con questo circuito si è riusciti ad evitare di rilevare una sovracorrente dovuta ai transistori, che si instaurano durante la fase di accensione la  $V_{cm}$ , grazie alla rete ritardatrice introdotta. Si è visto che si possono ottenere prestazioni del circuito simili andando a sostituire la  $R_{LIMIT}$ , e conseguentemente una opportuna  $R_{sense}$ , in modo da evitare di scegliere una soglia prossima al valore massimo gestibile dalla logica interna. Tuttavia questa struttura non permette di individuare condizioni di sovracorrente nel caso sia lo stesso INA300 ad andare in Latch-Up.



## Bibliografia

- [1] <http://www.ti.com/lit/ds/sbos613b/sbos613b.pdf>
- [2] [http://www.farnell.com/datasheets/2239514.pdf?\\_ga=2.49288622.927817916.1555418090-1209876666.1499853774](http://www.farnell.com/datasheets/2239514.pdf?_ga=2.49288622.927817916.1555418090-1209876666.1499853774)
- [3] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/dmm7510>
- [4] <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds30651.pdf>
- [5] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/si4410dy.pdf>
- [6] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/dmm7510>
- [7] <https://www.tek.com/tektronix-and-keithley-digital-multimeter/keithley-2000-series-6%C2%BD-digit-multimeter-scanning>
- [8] [https://espec.com/images/uploads/files/t\\_su-sh\\_benchtop.pdf](https://espec.com/images/uploads/files/t_su-sh_benchtop.pdf)