



Sviluppo di un sistema di gestione delle batterie per satelliti modulari AraMiS

Relatori

Leonardo Reyneri

Claudio Sansoè

Candidato

Luca Campanale

Marzo 2014

AraMiS

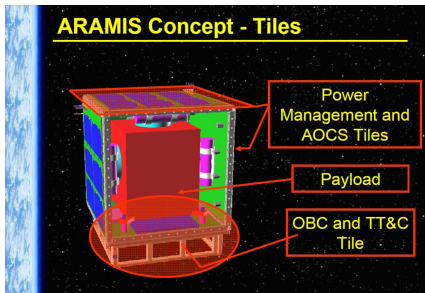
AraMiS:

- ♦ ARchitettura
- ♦ Altamente
- ♦ Modulare
- ♦ per Infrastrutture
- ♦ Satellitari

E' un progetto del *Politecnico di Torino*, sviluppato a partire dal 2010, che mira a creare uno standard per la costruzione di *nano-satelliti*, con massa compresa tra 1 kg e 10 kg.

Struttura

La struttura dei satelliti *AraMiS* è composta da due mattonelle, chiamate *Tile*.



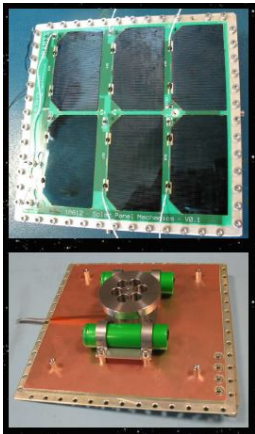
Le *Tile* sono di due tipi:

- ♦ *On Board Computer and Telecommunication Tile*;
- ♦ *Power Management Tile PMT*.

Ci sono molteplici *Power Management Tile PMT*.

Power Management Tile

Alle *PMT* spetta il compito di generare e gestire la potenza.



Su ogni *PMT* sono presenti:

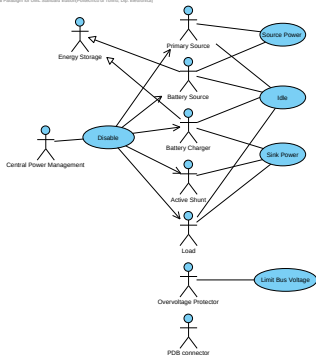
- ♦ I pannelli solari;
- ♦ Le batterie Li-ion.
- ♦ Una bobina per il controllo di assetto;

1B126_Power_Distribution_Bus

Le *PMT* sono collegate tra di loro attraverso il bus di distribuzione *1B126_Power_Distribution_Bus PDB*.

Attori:

Visual Programming for UML, Standard Edition (Prototypes of Tools, Dig. Electronics)

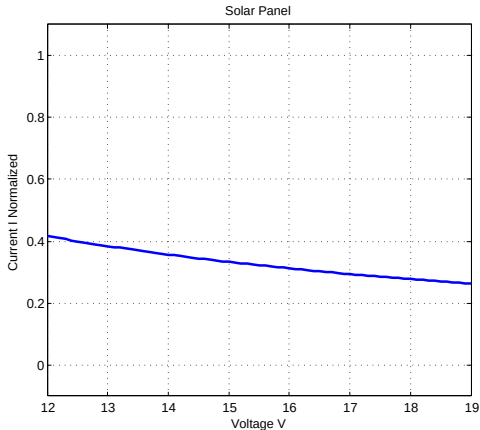


Concetti di base:

- ◆ Completamente analogico;
- ◆ Auto-regolante;
- ◆ Adatta la propria configurazione dinamicamente;
- ◆ Tensione variabile tra 12 V e 19 V;
- ◆ Ogni dispositivo è attivo solo per un preciso intervallo di tensioni.

Primary Source

Genera potenza utilizzando l'energia convertita dai pannelli solari.



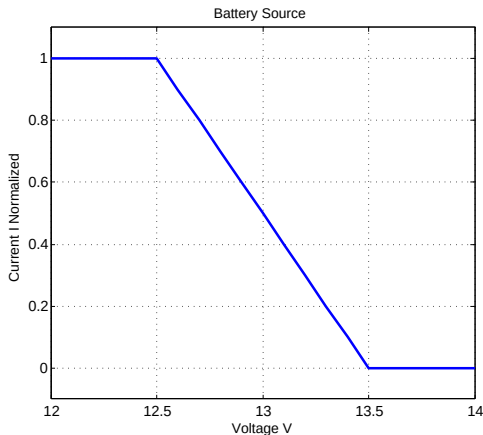
Caratteristica Iperbolica:

$$I = \frac{P}{V}$$

Potenza Costante.

Battery Source

Genera potenza utilizzando l'energia immagazzinata dalla batteria.



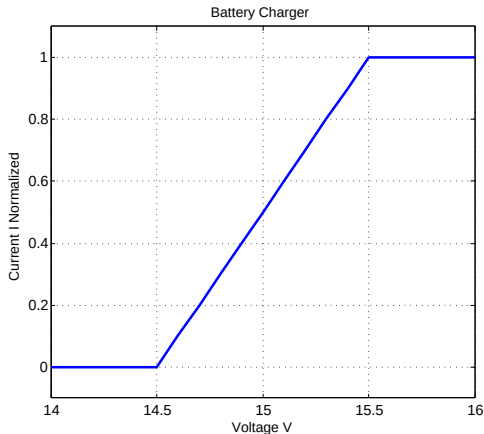
Caratteristica I-V:

$$\begin{cases} I = \frac{13.5\text{ V} - V}{R_r} \\ R_r = \frac{1\text{ V}}{I_{MAX}} \end{cases}$$

Con $0 < I < I_{MAX}$.

Battery Charger

Assorbe potenza per caricare la batteria.



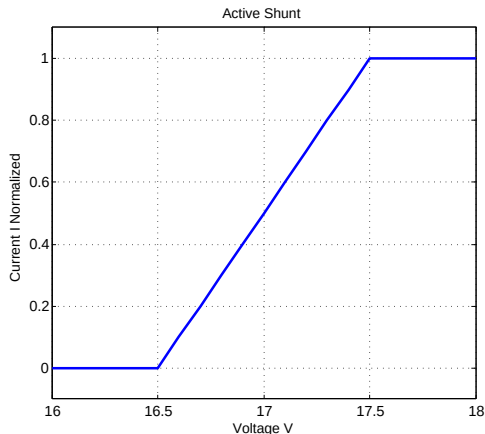
Caratteristica I-V:

$$\begin{cases} I = \frac{V - 14.5 \text{ V}}{R_r} \\ R_r = \frac{1 \text{ V}}{I_{MAX}} \end{cases}$$

Con $0 < I < I_{MAX}$.

Active Shunt

Dissipa la potenza in eccesso prodotta dai pannelli solari.



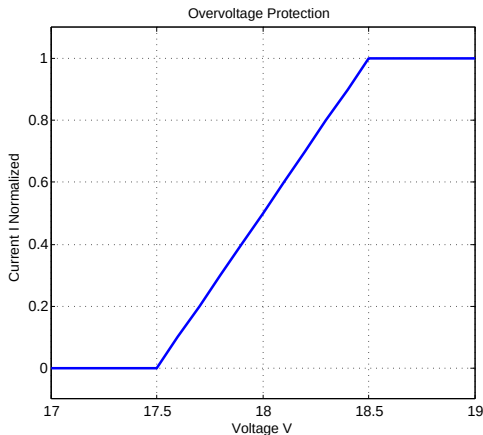
Caratteristica I-V:

$$\begin{cases} I = \frac{V - 16.5 \text{ V}}{R_r} \\ R_r = \frac{1 \text{ V}}{I_{MAX}} \end{cases}$$

Con $0 < I < I_{MAX}$.

Overvoltage Protector

Assorbe potenza per limitare la tensione bus PDB.



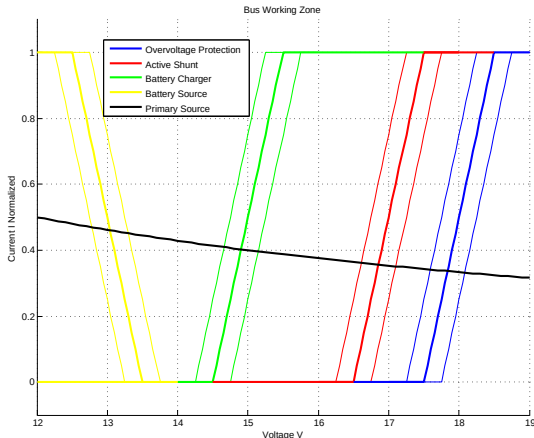
Caratteristica I-V:

$$\begin{cases} I = \frac{V - 17.5 V}{R_r} \\ R_r = \frac{1 V}{I_{MAX}} \end{cases}$$

Con $0 < I < I_{MAX}$.

1B126_Power_Distribution_Bus

Caratteristica statica I (normalizzata)- V complessiva del bus *PDB*.



Legenda:

Overvoltage Protector
Active Shunt
Battery Charger
Battery Source
Primary Source

Obiettivi

Progettare un modulo per gestire le batterie e la potenza di *AraMiS*.

- ♦ *Bk1B11XAM_Partial_Power_Management* comprende:
 - ♦ Active Shunt;
 - ♦ Overvoltage Protection;
 - ♦ Battery Source;
 - ♦ Battery Equalizer;
 - ♦ Altri dispositivi.

Inoltre:

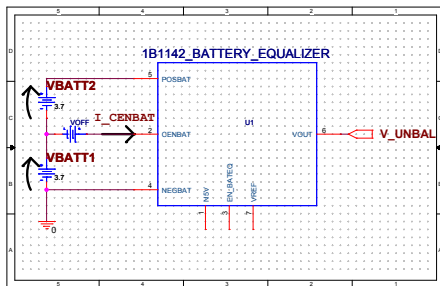
- ♦ Sono effettuate le simulazioni SPICE;
- ♦ E' progettato il PCB del sistema complessivo.

Aspetti Software

- ◆ Per effettuare simulazioni SPICE:
 - ◇ Correggere libreria di componenti *Aramis_Mentor_Lib*;
 - ◇ Estrarre Netlist SPICE da **Mentor Graphics 2005**;
 - ◇ Utilizzare la Netlist SPICE in **OrCAD Cadence 16.3**;
 - ◇ Creare i modelli SPICE mancanti.
- ◆ Scrivere le specifiche in **UML 2.0** con **Visual Paradigm 10.2**;
- ◆ Realizzare alcuni script **MATLAB**:
 - ◇ Script per valutare i risultati ottenuti nei dispositivi progettati;
 - ◇ Script per scegliere una coppia di resistenze (R_1, R_2), data una particolare funzione $f(R_1, R_2)$.

1B1142_Battery_Equalizer

Per bilanciare le due celle Li-ion connesse in serie.



Funzioni:

- ◆ Misura lo sbilanciamento;
- ◆ Equalizza le celle, con $ENABLE = ON$.

$$\begin{cases} V_{UNBAL} = 1.25 V + 5(V_{BATT1} - V_{BATT2}) \\ I_{CENBAT} \approx \frac{V_{BATT1} - V_{BATT2}}{57 \Omega} \end{cases}$$

1B1142 Analisi

Confronta le tensioni delle due celle, tre situazioni:

♦ $V_{BATT1} > V_{BATT2}$

E' la cella inferiore ad avere un eccesso di carica da smaltire.

I_{CENBAT} ha verso entrante e $V_{UNBAL} > 1.25 V$.

1B1142 Analisi

Confronta le tensioni delle due celle, tre situazioni:

- ♦ $V_{BATT1} > V_{BATT2}$

E' la cella inferiore ad avere un eccesso di carica da smaltire.

I_{CENBAT} ha verso entrante e $V_{UNBAL} > 1.25\text{ V}$.

- ♦ $V_{BATT1} < V_{BATT2}$

E' la cella superiore ad avere un eccesso di carica da smaltire.

I_{CENBAT} ha verso uscente e $V_{UNBAL} < 1.25\text{ V}$.

1B1142 Analisi

Confronta le tensioni delle due celle, tre situazioni:

♦ $V_{BATT1} > V_{BATT2}$

E' la cella inferiore ad avere un eccesso di carica da smaltire.

I_{CENBAT} ha verso entrante e $V_{UNBAL} > 1.25\text{ V}$.

♦ $V_{BATT1} < V_{BATT2}$

E' la cella superiore ad avere un eccesso di carica da smaltire.

I_{CENBAT} ha verso uscente e $V_{UNBAL} < 1.25\text{ V}$.

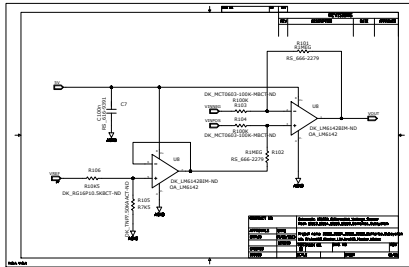
♦ $V_{BATT1} \approx V_{BATT2}$

Nessuna delle due celle ha carica in eccesso da smaltire.

$I_{CENBAT} \approx 0\text{ A}$ e $V_{UNBAL} \approx 1.25\text{ V}$.

1B137A_Differential_Voltage_Sensor

Inizialmente si usa un operazionale in configurazione differenziale.



Considerazioni:

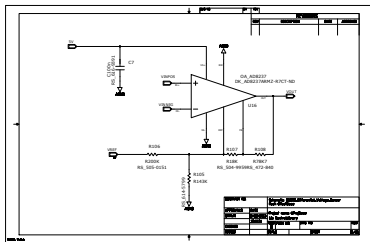
- ✓ Semplicità;
- ✗ Impedenza ingresso amplificatore differenziale;

Con $R_{101} = R_{102}$ e $R_{103} = R_{104}$ si ottiene:

$$V_{OUT} = V_{REF} \frac{R_{105}}{R_{105} + R_{106}} + (V_{INPOS} - V_{INNEG}) \frac{R_{101}}{R_{103}}$$

Bk1B137E_Differential_Voltage_Sensor

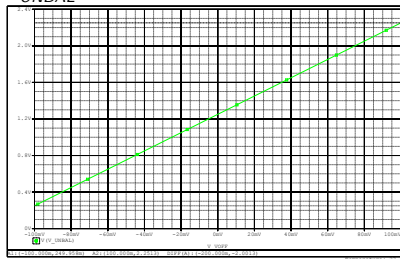
Dati i problemi di impedenza si usa infine un'amplificatore da strumentazione **AD8237**, in configurazione *REF Pin*.



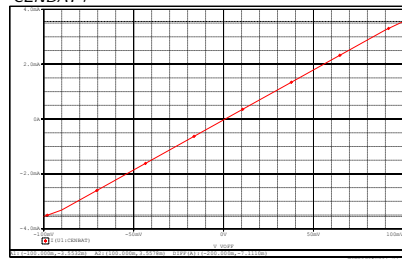
$$\begin{cases} V_{OFFSET} = 1.25\text{ V} = V_{REF} \frac{R105}{R105 + R106} \\ G = 10 = 1 + \frac{R108 + R105 \parallel R106}{R107} \\ V_{OUT} = G(VINPOS - VINNEG) + V_{OFFSET} \end{cases}$$

1B1142 Risultati SPICE

V_{UNBAL}



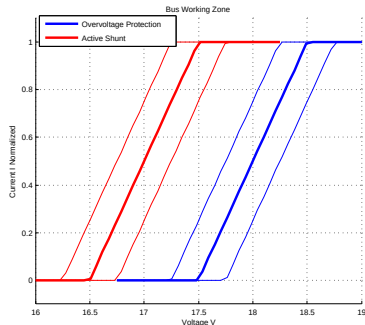
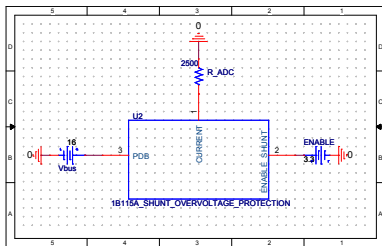
I_{CENBAT} , $ENABLE = ON$



$ENABLE$	Nome	$V_{OFF} = -100 \text{ mV}$	$V_{OFF} = 0 \text{ V}$	$V_{OFF} = 100 \text{ mV}$
$ENABLE = ON$	V_{UNBAL}	$0.264 \text{ V} \pm 0.010 \text{ V}$	$1.251 \text{ V} \pm 0.008 \text{ V}$	$2.236 \text{ V} \pm 0.009 \text{ V}$
	I_{CENBAT}	$-3.55 \text{ mA} \pm 0.02 \text{ mA}$	$-31.66 \text{ } \mu\text{A} \pm 27 \text{ } \mu\text{A}$	$3.55 \text{ mA} \pm 0.02 \text{ mA}$
$ENABLE = OFF$	V_{UNBAL}	$0.249 \text{ V} \pm 0.010 \text{ V}$	$1.250 \text{ V} \pm 0.008 \text{ V}$	$2.225 \text{ V} \pm 0.009 \text{ V}$
	I_{CENBAT}	$39.2 \text{ } \mu\text{A} \pm 0.02 \text{ } \mu\text{A}$	$41.2 \text{ } \mu\text{A} \pm 0.02 \text{ } \mu\text{A}$	$43.3 \text{ } \mu\text{A} \pm 0.02 \text{ } \mu\text{A}$

1B115A_Shunt_Overtoltage_Protection

Un solo dispositivo per una doppia funzione.



- ♦ Con *ENABLE = ON* lavora in modalità *Active Shunt*;
- ♦ Con *ENABLE = OFF* lavora in modalità *Overvoltage Protection*;

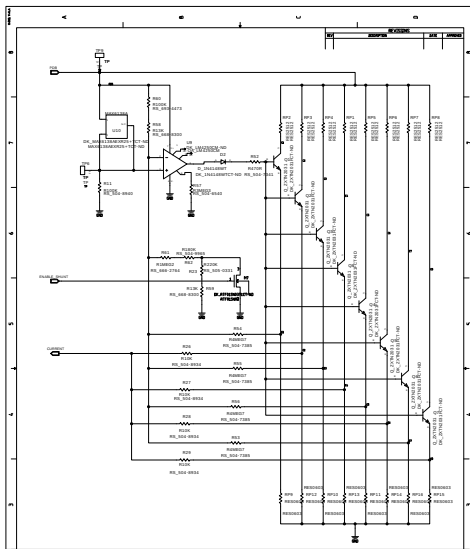
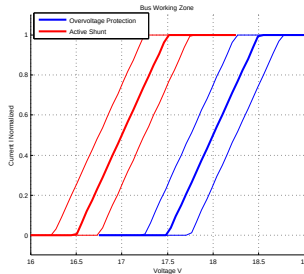


Figure 10 is a line graph titled "Bus Working Zone" showing the normalized current versus voltage for two protection schemes. The x-axis is labeled "Voltage V" and ranges from 16 to 19. The y-axis is labeled "Current Normalized" and ranges from 0 to 1. The legend indicates two curves: "Overvoltage Protection" (blue line) and "Active Shunt" (red line). The "Active Shunt" curve starts at a normalized current of 0 at V=16.5 and rises linearly to 1.0 at V=17.5. The "Overvoltage Protection" curve starts at a normalized current of 0 at V=17.0 and rises linearly to 1.0 at V=18.5. Both curves remain at 0 until their respective starting voltages and then rise linearly to 1.0.



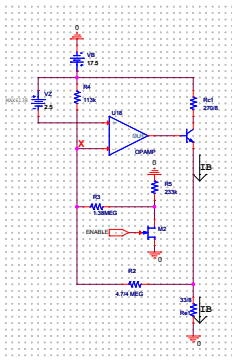
Overvoltage Protection

Active Shunt

$$I_B = \frac{R_2}{R_e/8} \left(V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_5 \parallel R_{off}} \right) - V_Z \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_5 \parallel R_{off}} + \frac{1}{R_4} \right) \right)$$

$$I_B = \frac{R_2}{R_e/8} \left(V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_Z \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \right)$$

1B115A Analisi



Questa specifica è ottenuta variando lo stato del *BJT*:

♦ **Interdizione**, è spento e la corrente $I_B \approx 0$ A;

Overvoltage Protection

x RAD:

Active Shunt

$$I_B = \frac{R_2}{R_e/8} \left(V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_5 \parallel R_{off}} \right) - V_Z \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_5 \parallel R_{off}} + \frac{1}{R_4} \right) \right)$$

$$I_B = \frac{R_2}{R_e/8} \left(V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_Z \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \right)$$

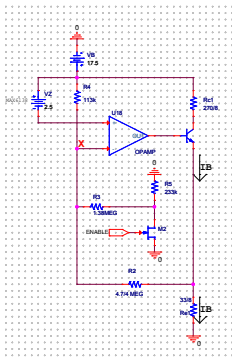
23 di 30

[illegible]

- ♦ **Interdizione**, è spento e la corrente $I_B \approx 0$ A;
- ♦ **Regione Attiva Diretta (RAD)**, è un amplificatore e la corrente assorbita I_B ha caratteristica I-V lineare;

23 di 30

1B115A Analisi



Questa specifica è ottenuta variando lo stato del *BJT*:

- ♦ **Interdizione**, è spento e la corrente $I_B \approx 0\text{ A}$;
- ♦ **Regione Attiva Diretta (RAD)**, è un amplificatore e la corrente assorbita I_B ha caratteristica I-V lineare;
- ♦ **Saturazione (SAT)**, è un corto-circuito e dal bus *PDB* viene assorbita una corrente $I_{B,MAX}$ costante.

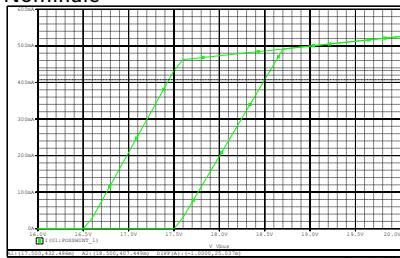
x RAD:
Overvoltage Protection
Active Shunt

$$I_B = \frac{R_2}{R_e/8} \left(V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_5 \parallel R_{off}} \right) - V_Z \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_5 \parallel R_{off}} + \frac{1}{R_4} \right) \right)$$

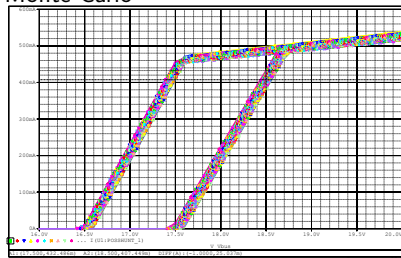
$$I_B = \frac{R_2}{R_e/8} \left(V_B \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_Z \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \right)$$

1B115A Risultati SPICE

Nominale



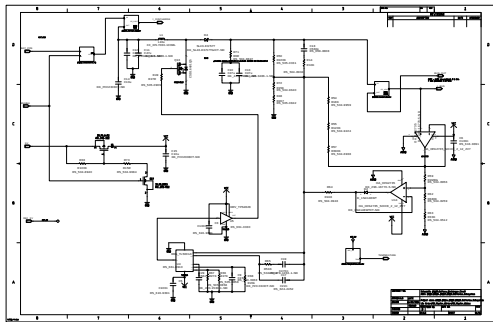
Monte Carlo



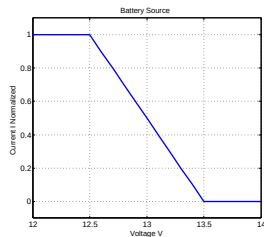
$V_Z[V]$	Direzione	Active Shunt @0.432 A[V]	Overvoltage Protection @0.407 A[V]
2.5	HIGH	17.63	18.63
	LOW	17.38	18.36
2.4975	HIGH	17.59	18.61
	LOW	17.37	18.35
2.5025	HIGH	17.65	18.64
	LOW	17.40	18.38

1B118_Battery_Discharger_Circuit

Il *Battery Source* è un convertitore DC-DC STEP-UP *BOOST*.

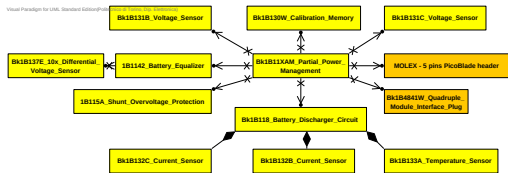


Caratteristica I-V:



✗ No Modelli SPICE per *TPS2828* e *TL5001A*.

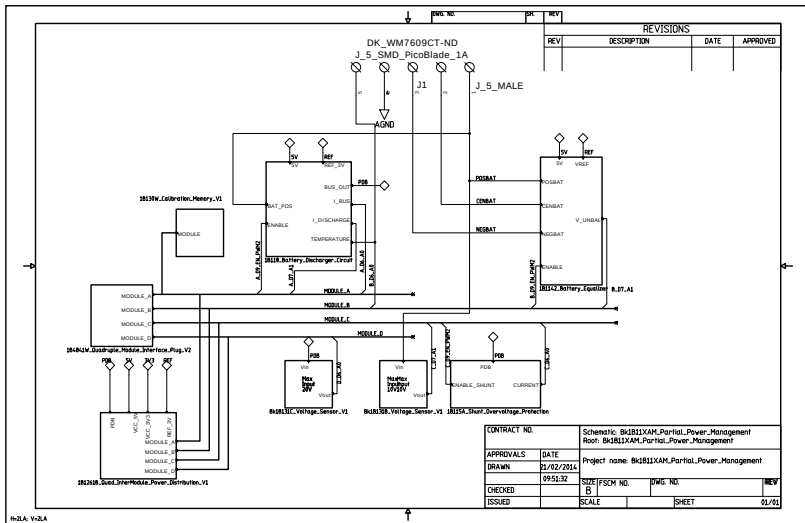
Bk1B11XAM_Partial_Power_Management



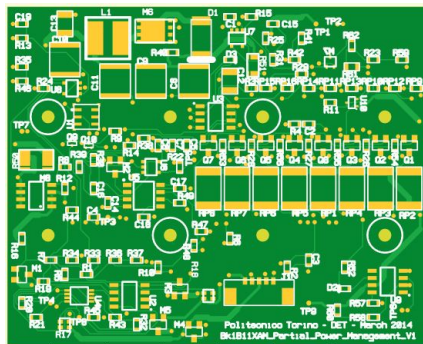
Inoltre il modulo finale include:

- ◆ Un connettore quadruplo da 4x20 pin;
- ◆ Un connettore molex da 5 pin per collegare la batteria;
- ◆ Un sensore di temperatura;
- ◆ Due semplici sensori di tensione;
- ◆ Due semplici sensori di corrente;
- ◆ Una memoria digitale.

Questi dispositivi sono già presenti nel progetto *AraMiS* !!!



PCB



Caratteristiche:

- ♦ Il PCB multistrato, 4 layer;
- ♦ I componenti sul top layer;
- ♦ Il connettore quadruplo sul bottom layer;
- ♦ I 2 layer superiori per il routing dei segnali;
- ♦ I 2 layer inferiori per i piani di massa.

DOMANDE ???

The End !!!