



LABORATORIO DI ELETTRONICA DI POTENZA CON HARDWARE IN THE LOOP ASSISTITO DA *MATLAB E SIMULINK* **DL PEL-HIL 4.0**



MATLAB & SIMULINK per la progettazione di algoritmi di controllo basati su modelli, simulazione e test in tempo reale

INTRODUZIONE

Il Laboratorio di Elettronica di Potenza con supporto Hardware-In-the-Loop offre una piattaforma completa e flessibile per lo studio, la progettazione, il collaudo e la validazione di strategie di controllo avanzate per convertitori di potenza e sistemi di azionamento elettrico. Il laboratorio combina un ambiente hardware reale con le capacità di modellazione e simulazione di **MATLAB e Simulink**, consentendo agli utenti di passare in modo efficiente dall'analisi teorica all'implementazione pratica.

Il sistema è specificamente progettato per supportare la sperimentazione pratica su argomenti chiave dell'elettronica di potenza, tra cui chopper in corrente continua, inverter, azionamenti per motori in corrente continua, azionamenti per servomotori a magneti permanenti e azionamenti per motori asincroni. Grazie alla sua architettura integrata di misurazione e controllo, gli utenti possono acquisire variabili elettriche e meccaniche, analizzare il comportamento del sistema e implementare algoritmi di controllo sofisticati in modo strutturato e affidabile.



Integrando le tecniche **Hardware-In-the-Loop (HIL)** e **Rapid Control Prototyping (RCP)**, il laboratorio consente di testare in tempo reale i modelli di controllo prima e durante l'implementazione hardware. Questo approccio permette agli utenti di valutare le prestazioni dinamiche, ottimizzare i parametri di controllo, verificare il funzionamento del convertitore e convalidare le strategie di azionamento del motore in condizioni operative realistiche, riducendo al contempo i tempi di sviluppo e migliorando l'affidabilità del sistema.

La configurazione modulare del laboratorio lo rende adatto a un'ampia gamma di attività didattiche, di ricerca e di formazione industriale. Diverse configurazioni sperimentali possono essere facilmente adattate all'applicazione richiesta, consentendo agli utenti di studiare concetti di base e avanzati nell'ambito dell'elettronica di potenza, dell'ingegneria del controllo e degli azionamenti elettrici. Per riprodurre diverse condizioni di carico sia per macchine a corrente continua che a corrente alternata, il sistema include un servozionamento con motore brushless che opera in modalità di controllo di velocità e coppia. Questa configurazione supporta il funzionamento bidirezionale e consente test a quattro quadranti, rendendo la piattaforma particolarmente efficace per l'analisi del comportamento del motore in condizioni di funzionamento a motore e di frenatura rigenerativa.

Nel complesso, il laboratorio offre un ambiente completo per lo sviluppo di competenze pratiche nella progettazione basata su modelli, nel controllo in tempo reale, nel controllo dei convertitori e nelle applicazioni di azionamento dei motori, supportando al contempo la validazione della ricerca accademica e degli studi di ingegneria avanzata.

MATLAB e Simulink

Le licenze non sono incluse nel trainer e devono essere gestite in autonomia dagli utenti

OBIETTIVI FORMATIVI

Il sistema consente agli utenti di studiare e sviluppare strategie di controllo per convertitori di potenza e azionamenti elettrici.

Saranno in grado di:

- Eseguire test hardware-in-the-loop in tempo reale,
- Modellare il sistema completo in simulazione offline,
- Studiare le trasformazioni di Park e Clarke nella progettazione del controllo,
- Studiare la modulazione del vettore spaziale per ottimizzare il controllo degli inverter basati su IGBT,
- Eseguire una progettazione basata su modelli per il controllo di chopper CC, inverter, motori CC, servomotori e motori asincroni in configurazioni a circuito aperto, a circuito chiuso singolo e a circuito chiuso a cascata utilizzando un sensore di velocità,
- Convertire i modelli di controllo in Simulink in codice compilato discreto per l'esecuzione in tempo reale nel sistema di controllo,
- Studiare e sviluppare controller automatici di corrente e velocità,
- Confrontare i risultati dei test effettivi con le simulazioni offline.



ARGOMENTI SPERIMENTALI

Gli utenti possono trattare i seguenti argomenti:

- Chopper CC,
- Inverter,
- Azionamenti CC con controllo a cascata,
- Servoazionamenti a magneti permanenti a velocità variabile,
- Controllo ad orientamento di campo (Field Oriented Control) di motori asincroni.

COMPOSIZIONE DEL LABORATORIO

Il laboratorio è composto da diversi moduli, componenti e motori come nell'elenco seguente:

CODICE	DESCRIZIONE	QUANTITÀ
DL RCPCORE	Modulo principale di prototipazione di controllo rapido	1
DL 2106SPS-EXCT	Modulo di alimentazione CA e CC	1
DL 2106T06	Modulo convertitore di frequenza	1
DL 2106LPF	Modulo filtro passa-basso	1
DL 2106T21-ADP	Modulo di fusibili per protezione	1
DL 2106RLC	Modulo di carico RLC	1
DL 10400	Base per accoppiamento macchine	1
DL 10200A1	Motore CC con eccitazione derivata	1
DL 10115A1	Motore trifase a gabbia di scoiattolo	1
MOTBRA1.3NM	Motore brushless 1.3Nm	1
DL 2108T26-LP	Modulo di controllo motore brushless	1
DL 2108T26BR	Modulo resistenza di frenatura	1
DL 9026N	Modulo di acquisizione di forme d'onda trifase	1
DL 2600TTI	Trasformatore di isolamento	1
DL PCGRID	Computer All-in-One	1
DL T12090_SK	Banco da lavoro 120x90	1
DL T06090	Banco da lavoro 60x90	1
DL A120-3M	Telaio a 3 livelli, versione base	1
DL SP-A120-LED	Base superiore con striscia LED, per DL A120-3M	1
TLRCP	Kit di cavi di collegamento	1
DL 1196	Supporto per cavi	1



AMBIENTE	DESCRIZIONE
MATLAB e Simulink	Questo ambiente consente agli utenti di eseguire prima simulazioni offline dell'intero sistema. Successivamente, possono estrarre il componente di controllo ed eseguire il codice compilato sul DL RCPCORE per la convalida del controllo in tempo reale e la valutazione delle prestazioni.

MATLAB e Simulink

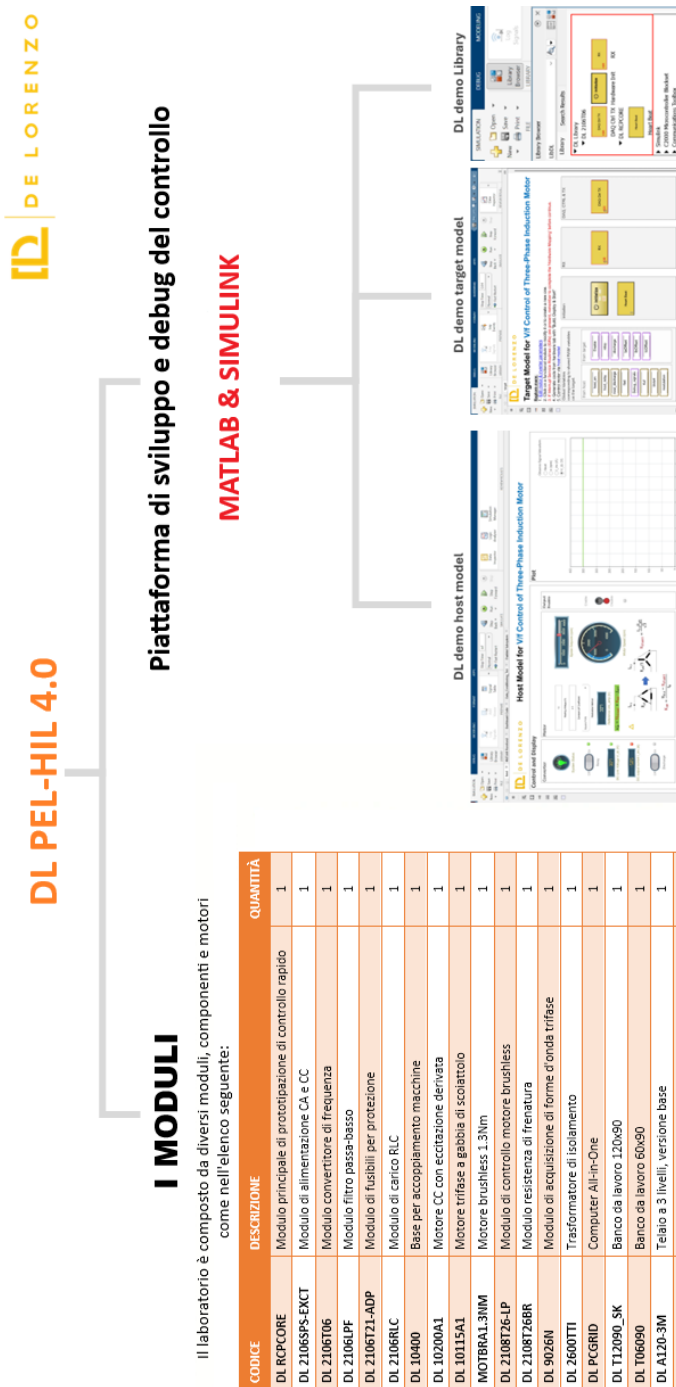
Le licenze non sono incluse nel trainer e devono essere gestite in autonomia dagli utenti



MODELLI DEMO E LIBRERIA

Sebbene non forniamo direttamente la piattaforma di sviluppo (**MathWorks**), per ogni esperimento offriamo (vedere l'immagine sotto):

- un **modello demo target** (algoritmo di controllo),
- un **modello demo host** (interfaccia per il debug in tempo reale)
- e una **libreria** sviluppata da DL, da installare in Simulink, progettata per facilitare l'ulteriore sviluppo da parte dell'utente.





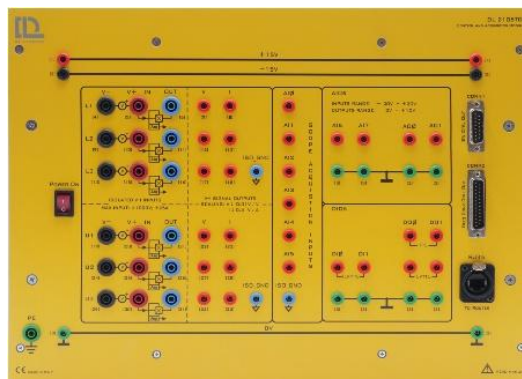
MODULI DEL LABORATORIO

DL RCPCORE

Questo è il nucleo di prototipazione del controllo rapido, un controller in tempo reale progettato per eseguire codice generato da **MATLAB** e **Simulink**. Collega senza soluzione di continuità gli utenti **Simulink** alle implementazioni hardware reali, riducendo al minimo lo sforzo ed eliminando la necessità di competenze di programmazione C tipicamente richieste per i sistemi embedded.

È dotato di sei canali per misurazioni di alta tensione e alta corrente, funzionando come sei volt-amperometri. Questi canali supportano misurazioni fino a ± 1000 V e ± 25 A, con bocche di protezione e isolamento galvanico integrato per una maggiore sicurezza e affidabilità. Ciò semplifica il controllo a circuito chiuso, consentendo agli utenti di integrarlo senza problemi nei loro algoritmi di controllo senza preoccuparsi di configurazioni hardware mancanti per misurazioni distribuite.

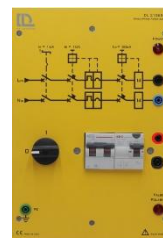
Dispone inoltre di ingressi e uscite digitali e analogici, consentendo agli utenti di personalizzare la configurazione hardware in base alle proprie esigenze.



DL 2106SPS-EXCT

Si tratta di un alimentatore CA monofase per convertitori di potenza e azionamenti elettrici, dotato di un MCB (Miniature Circuit Breaker) integrato e RCCB (Residual Current Circuit Breaker) per la protezione locale.

Fornisce inoltre tensione di eccitazione al motore CC con eccitazione derivata **DL 10200A1**.

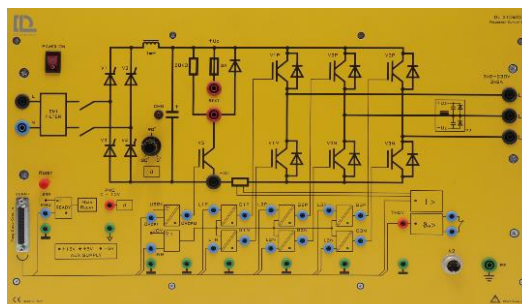


DL 2106T06

Intrinsecamente, si tratta di un convertitore di frequenza costituito da un raddrizzatore controllato monofase, un collegamento CC con frenatura rigenerativa e un inverter trifase.

Grazie al pilotaggio indipendente degli IGBT dell'inverter, può essere configurato anche per realizzare diversi convertitori, come choppers CC e inverter monofase.

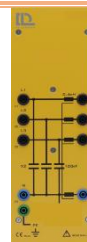
Sarà controllato da **DL RCPCORE**, fungendo da attuatore per l'algoritmo di controllo per alimentare un carico passivo come **DL 2106RLC** o carichi motore come il motore CC con eccitazione derivata **DL 10200A1**, il motore trifase a gabbia di scoiattolo **DL 10115A1**, e il motore brushless **MOTBRA1.3NM**.





DL 2106LPF

Questo filtro passa-basso viene applicato all'uscita del **DL 2106T06** per filtrare la tensione e la corrente di uscita CA o CC.



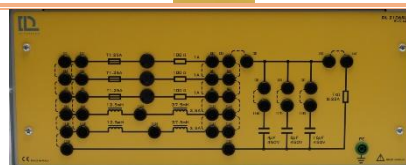
DL 2106T21-ADP

Modulo portafusibili per la protezione dell'hardware, adatto a diverse esigenze con diversi set di fusibili per diverse correnti di protezione.



DL 2106RLC

Questo modulo è costituito da un set di resistori, induttori e condensatori, che possono essere utilizzati come carichi passivi o filtri di potenza.



DL 10400

Questa è una base metallica progettata per il montaggio di motori DL. Include un trasduttore ottico per rilevare la velocità di rotazione e presenta piedini in gomma antivibrazione, rendendola adatta ai casi in cui due macchine sono accoppiate insieme.



DL 10200A1

Si tratta di un motore in corrente continua con eccitazione derivata, con avvolgimenti di eccitazione e di indotto aperti, e con protezione termica.

Caratteristiche tecniche:

- Potenza: 200 W,
- Tensione: 220 V,
- Corrente: 1.2 A,
- Eccitazione: 150 V/0.06 A,
- Velocità: 3000 rpm.



DL 10115A1

Si tratta di un motore asincrono trifase a gabbia di scoiattolo, con avvolgimenti di indotto adatti al collegamento a triangolo o a stella, e con protezione termica.

Caratteristiche tecniche:

- Potenza: 370 W,
- Tensione: 230/400 V - Δ/Y ,
- Corrente: 1.9/1.1 A - Δ/Y ,
- Frequenza: 50 Hz,
- $\cos\phi$: 0.7,
- Velocità: 2870 rpm.





MOTBRA1.3NM

Questo è un motore brushless a magnete permanente con un encoder incorporato, utilizzato con il controller **DL 2108T26-LP** o con il convertitore di frequenza **DL 2106T06**.

Caratteristiche tecniche:

- Potenza nominale: 400 W,
- Coppia nominale: 1.3 Nm,
- Velocità nominale: 3000 rpm.

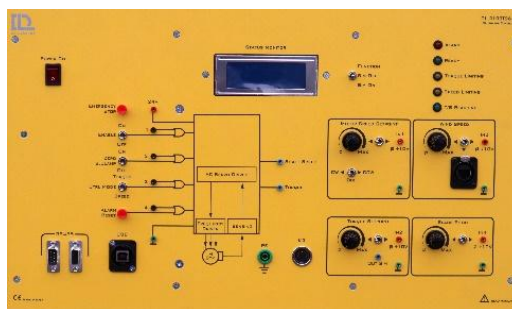


DL 2108T26-LP

Questo è il modulo controller a livello di applicazione per il motore brushless **MOTBRA1.3NM**, consentendo il funzionamento di un servomotore in un'applicazione di generatore o nella frenatura del motore.

Caratteristiche tecniche:

- Setpoint velocità motore,
- Setpoint coppia con Led limitazione coppia,
- Uscita analogica della coppia: 0...10V,
- Led raggiungimento coppia/velocità (T/S),
- Potenza nominale: 300 W,
- Velocità nominale: 3000 rpm,
- Porte: 1 USB e 2 RS485,
- Connettore 5 pin: per lettura velocità.



DL 2108T26BR

Questa è la resistenza di frenatura esterna per il **DL 2108T26-LP**, utilizzato durante la rigenerazione per proteggere il suo collegamento CC interno.



DL 9026N

Modulo avanzato utilizzato nei laboratori di sistemi trifase per visualizzare e misurare le forme d'onda.

Caratteristiche tecniche:

- CA monofase selezionabile per misurare V, I, P, Q e S,
- Una scheda di acquisizione dati incorporata, con un'interfaccia USB a piena velocità, per osservare le forme d'onda di tensione e corrente delle tre fasi simultaneamente con ingresso isolato e con porta di comunicazione RS485,
- Completo di SW di acquisizione dati sviluppato in Labview per la visualizzazione delle forme d'onda. Mostra i parametri elettrici più importanti (RMS per tensione e corrente per tutte le fasi, singole e totali, P, Q, S e fattore di potenza) ed esegue la trasformazione FFT per mostrare lo spettro di tensione e corrente.





DL 2600TTI

Trasformatore di isolamento da collocare tra la rete trifase e i laboratori per fornire una tensione trifase secondaria con neutro isolato adatto per il funzionamento dei moduli.

Caratteristiche tecniche:

- Ingresso di rete trifase con regolazione +10%/-10%.
- Uscita: 400V con regolazione +5%/-5%.
 - ◆ 3 x presa trifase CCE (3P+N+E)
 - ◆ 2 x presa monofase (2P+E)
 - ◆ 2 x presa monofase tipo F
- Protezione magneto termica 10 A, 30 mA.
- Interruttore di protezione del motore: 4 a 6.3 A.
- Pulsante di arresto di emergenza a fungo.
- Massima uscita in potenza: 3 KVA.



DL PCGRID

PC All-in-One.

Caratteristiche tecniche:

- Display: 21.5", Full HD,
- Risoluzione: 1920 x 1080 Pixel,
- Processore: Intel® Core™ i3, 1,2 GHz ,
- RAM: 8 GB,
- SSD: 256 GB,
- Sistema operativo: Windows 11.



DL T12090 SK

Banco da lavoro con piano in melamina. Sul piano sono presenti due fori per consentire il montaggio del telaio a tre livelli **DL A120-3M**.

Caratteristiche tecniche:

- Dimensioni (AxLxP): 80x120x90 cm,
- Con ruote bloccabili,
- Fornito con 15 prese protette da interruttore magnetotermico.



DL T06090

Banco multifunzionale utilizzato nei laboratori come supporto per moduli e macchine elettriche.

Caratteristiche tecniche:

- Dimensioni (AxLxP): 80x60x90 cm,
- Con ruote bloccabili.





ELETTRONICA DI POTENZA



DL A120-3M

Telaio a 3 livelli, versione base, per il montaggio dei moduli del laboratorio. Da fissare sul banco di lavoro **DL T12090_SK**.



DL SP-A120-LED

Base con striscia LED, da fissare sul lato superiore del telaio **DL A120-3M**.



TLRCP

Set di cavi di cablaggio di diversi diametri e lunghezze.



DL 1196

Una struttura robusta utilizzata per riporre e organizzare i vari cavi di collegamento in laboratorio, dotata di ruote.

