



ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE



LABORATOIRE D'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AVEC HARDWARE IN THE LOOP ASSISTÉ PAR *MATLAB ET SIMULINK* **DL PEL-HIL 4.0**



MATLAB et Simulink pour la conception d'algorithmes de contrôle basés sur des modèles, pour la simulation et pour les tests en temps réel

INTRODUCTION

Le laboratoire d'électronique de puissance, doté d'une plateforme de simulation (**Hardware-In-the-Loop**), offre une solution complète et flexible pour l'étude, la conception, les tests et la validation de stratégies de commande avancées pour les convertisseurs de puissance et les systèmes d'entraînement électrique. Ce laboratoire combine un environnement matériel réel avec les capacités de modélisation et de simulation de **MATLAB et Simulink**, permettant ainsi aux utilisateurs de passer efficacement de l'analyse théorique à la mise en œuvre pratique.

Ce système est spécifiquement conçu pour faciliter l'expérimentation pratique sur des sujets clés en électronique de puissance, tels que les hacheurs CC, les onduleurs, les variateurs de vitesse pour moteurs CC, les variateurs pour servomoteurs à aimants permanents et les variateurs pour moteurs asynchrones. Grâce à son architecture intégrée de mesure et de contrôle, les utilisateurs peuvent acquérir des variables électriques et mécaniques, analyser le comportement du système et mettre en œuvre des algorithmes de contrôle sophistiqués de manière structurée et fiable.



En intégrant les techniques de simulation (**HIL**) et de prototypage rapide de commandes (**RCP**), le laboratoire permet de tester en temps réel les modèles de commande avant et pendant leur implémentation matérielle. Cette approche permet aux utilisateurs d'évaluer les performances dynamiques, d'optimiser les paramètres de commande, de vérifier le fonctionnement du convertisseur et de valider les stratégies de pilotage moteur dans des conditions d'exploitation réalistes, tout en réduisant les délais de développement et en améliorant la fiabilité du système.

La configuration modulaire du laboratoire le rend adapté à un large éventail d'activités d'enseignement, de recherche et de formation industrielle. Différentes configurations expérimentales peuvent être facilement mises en place selon l'application requise, permettant aux utilisateurs d'explorer des concepts fondamentaux et avancés en électronique de puissance, en automatique et en entraînements électriques. Afin de reproduire différentes conditions de charge pour les machines à courant continu et alternatif, le système comprend un servomoteur sans balais fonctionnant en modes de contrôle de vitesse et de couple. Cette configuration prend en charge un fonctionnement bidirectionnel et permet des essais dans les quatre quadrants, rendant la plateforme particulièrement efficace pour l'analyse du comportement du moteur en régime moteur et en freinage régénératif.

En résumé, le laboratoire offre un environnement complet pour le développement de compétences pratiques en conception basée sur des modèles, en commande en temps réel, en commande de convertisseurs et en applications d'entraînement de moteurs, tout en contribuant à la validation de la recherche académique et des études d'ingénierie avancées.

MATLAB et Simulink

Les licences ne sont pas incluses avec le système et doivent être gérées indépendamment par les utilisateurs

OBJECTIFS DE LA FORMATION

Le système permet aux utilisateurs d'étudier et de développer des stratégies de contrôle pour les convertisseurs de puissance et les entraînements électriques.

Ils seront capables de:

- Effectuer des tests en hardware-in-the-loop en temps réel,
- Modéliser le système complet en simulation hors ligne,
- Étudier les transformations de Park et Clarke dans la conception de contrôle,
- Étudier la modulation vectorielle spatiale pour optimiser le contrôle des onduleurs basés sur l'IGBT,
- Effectuer une conception basée sur un modèle pour le contrôle des hacheurs CC, des onduleurs, des moteurs CC, des servomoteurs et des moteurs asynchrones dans des configurations en boucle ouverte, en boucle fermée simple et en boucle fermée en cascade à l'aide d'un capteur de vitesse,
- Convertir les modèles de contrôle dans Simulink en code compilé discret pour une exécution en temps réel dans le système de contrôle,



ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE



- Étudier et développer des contrôleurs automatiques de courant et de vitesse,
- Comparer les résultats des tests réels avec les simulations hors ligne.

SUJETS EXPÉRIMENTAUX

Les utilisateurs peuvent couvrir les sujets suivants:

- Hacheur CC,
- Onduleur,
- Entraînements à courant continu avec contrôle en cascade,
- Servocommandes à aimant permanent à vitesse variable,
- Commande à flux orienté (Field Oriented Control) des moteurs asynchrones.

COMPOSITION DU LABORATOIRE

Le laboratoire est composé de différents modules, composants et moteurs comme dans la liste suivante :

CODE	DESCRIPTION	Qté
DL RCPCORE	Module de base de prototypage de contrôle rapide	1
DL 2106SPS-EXCT	Module d'alimentation CA et CC	1
DL 2106T06	Module convertisseur de fréquence	1
DL 2106LPF	Module de filtre passe-bas	1
DL 2106T21-ADP	Module de protection par fusibles	1
DL 2106RLC	Module de charge RLC	1
DL 10400	Base pour accouplement de machines	1
DL 10200A1	Moteur à courant continu à excitation dérivée	1
DL 10115A1	Moteur à cage d'écureuil triphasé	1
MOTBRA1.3NM	Moteur sans balai 1.3Nm	1
DL 2108T26-LP	Module contrôleur de moteur sans balais	1
DL 2108T26BR	Module de résistance de freinage	1
DL 9026N	Module d'acquisition de formes d'ondes triphasée	1
DL 2600TTI	Transformateur isolé	1
DL PCGRID	Ordinateur All-in-One	1
DL T12090_SK	Banc de travail 120x90	1
DL T06090	Banc de travail 60x90	1
DL A120-3M	Cadre à 3 niveaux, version de base	1
DL SP-A120-LED	Base supérieure avec bande LED, pour DL A120-3M	1
TLRCP	Kit de câbles de connexion	1
DL 1196	Support pour câbles	1



ENVIRONNEMENT	DESCRIPTION
MATLAB et Simulink	Cet environnement permet aux utilisateurs d'effectuer d'abord des simulations hors ligne du système complet. Par la suite, ils peuvent extraire le composant de contrôle et exécuter le code compilé sur le DL RCPCORE pour la validation du contrôle en temps réel et l'évaluation des performances.

MATLAB et Simulink

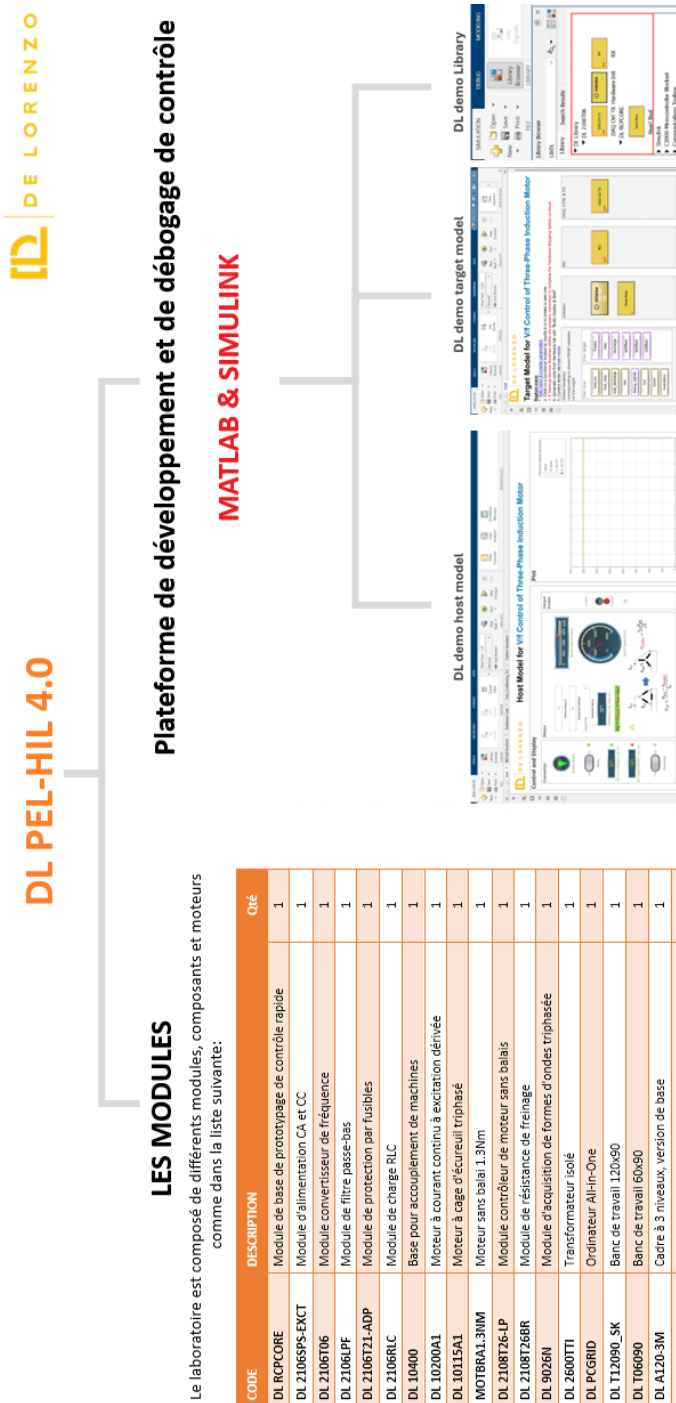
Les licences ne sont pas incluses avec le système et doivent être gérées indépendamment par les utilisateurs



MODÈLES DE DÉMONSTRATION ET BIBLIOTHÈQUE

Bien que nous ne fournissions pas directement la plateforme de développement (**MathWorks**), nous proposons pour chaque expérience (voir image ci-dessous):

- un **modèle de démonstration cible** (algorithme de contrôle),
- un **modèle de démonstration hôte** (interface de débogage en temps réel),
- et une **bibliothèque** développée par DL, à installer dans Simulink, conçue pour faciliter le développement ultérieur par l'utilisateur.





MODULES DU LABORATOIRE

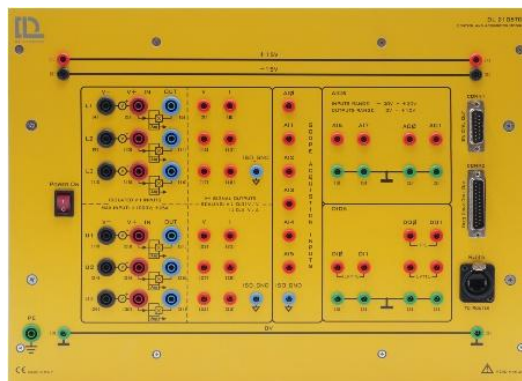
DL RCPCORE

Il s'agit du cœur de prototypage de contrôle rapide, un contrôleur en temps réel conçu pour exécuter le code généré à partir de **MATLAB et Simulink**. Il connecte de manière transparente les utilisateurs de **Simulink** à des implémentations hardware réelles, minimisant ainsi les efforts et éliminant le besoin de compétences en programmation C généralement requises pour les systèmes embarqués.

Il est équipé de six canaux pour les mesures de haute tension et de courant élevé, fonctionnant comme six volt-ampèremètres.

Ces canaux prennent en charge des mesures jusqu'à ± 1000 V et ± 25 A, avec des traversées de protection et une isolation galvanique intégrée pour une sécurité et une fiabilité accrues. Cela simplifie le contrôle en boucle fermée, permettant aux utilisateurs de l'intégrer de manière transparente dans leurs algorithmes de contrôle sans se soucier des configurations hardware manquantes pour les mesures distribuées.

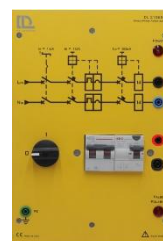
Il dispose également d'entrées et de sorties numériques et analogiques, permettant aux utilisateurs de personnaliser la configuration hardware en fonction de leurs besoins.



DL 2106SPS-EXCT

Il s'agit d'une alimentation en CA monophasée pour convertisseurs de puissance et entraînements électriques, dotée d'un MCB (disjoncteur miniature) et d'un RCCB (disjoncteur résiduel) intégrés pour la protection locale.

Il fournit également la tension d'excitation au moteur CC avec excitation dérivée **DL 10200A1**.

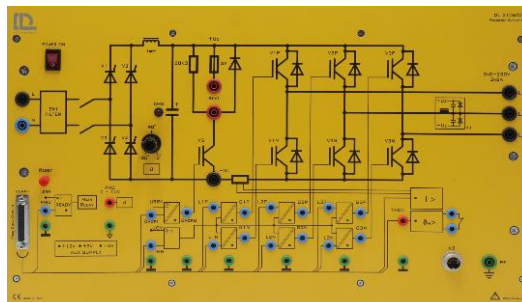


DL 2106T06

Il s'agit intrinsèquement d'un convertisseur de fréquence composé d'un redresseur commandé monophasé, d'un circuit intermédiaire CC avec freinage régénératif et d'un onduleur triphasé.

Grâce au pilotage indépendant des IGBT de l'onduleur, il peut également être configuré pour créer divers convertisseurs, tels que des hacheurs CC et des onduleurs monophasés.

Il sera contrôlé par le **DL RCPCORE**, agissant comme actionneur pour l'algorithme de contrôle pour alimenter une charge passive **DL 2106RLC** ou des charges de moteur comme le moteur shunt CC **DL 10200A1**, le moteur asynchrone triphasé

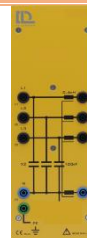




DL 10115A1 et le moteur à aimant permanent **MOTBRA1.3NM**.

DL 2106LPF

Ce filtre passe-bas est appliqué à la sortie du **DL 2106T06** pour filtrer la tension et le courant de sortie CA ou CC.



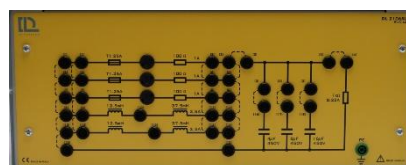
DL 2106T21-ADP

Boîte à fusibles pour la protection du hardware, adaptée à divers besoins avec différents jeux de fusibles pour différents courants de protection.



DL 2106RLC

Ce module se compose d'un ensemble de résistances, d'inductances et de condensateurs, qui peuvent être utilisés comme charges passives ou filtres de puissance.



DL 10400

Il s'agit d'une base métallique conçue pour le montage de moteurs DL. Elle comprend un transducteur optique pour la détection de la vitesse de rotation et est équipée de pieds en caoutchouc anti-vibrations, ce qui la rend adaptée aux cas où deux machines sont couplées ensemble.



DL 10200A1

Il s'agit d'un moteur à courant continu à excitation dérivée avec enroulements d'excitation et d'induit ouverts, avec protection thermique.

Caractéristiques techniques:

- Puissance: 200 W,
- Tension: 220 V,
- Courant: 1.2 A,
- Excitation: 150 V/0.06 A,
- Vitesse: 3000 rpm.



DL 10115A1

Il s'agit d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil, avec enroulements d'induit adaptés à une connexion en triangle ou en étoile, avec protection thermique.

Caractéristiques techniques:

- Puissance: 370 W,
- Tension: 230/400 V - Δ/Y ,
- Courant: 1.9/1.1 A - Δ/Y ,
- Fréquence: 50 Hz,
- $\cos\phi$: 0.7,





- Vitesse: 2870 rpm.

MOTBRA1.3NM

Il s'agit d'un servomoteur sans balais à aimant permanent avec encodeur intégré, utilisé avec le contrôleur **DL 2108T26-LP** ou avec le convertisseur de fréquence **DL 2106T06**.

Caractéristiques techniques:

- Puissance nominale: 400 W,
- Couple nominal: 1.3 Nm,
- Vitesse nominale: 3000 rpm.

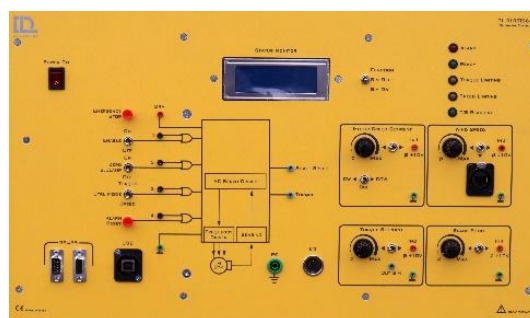


DL 2108T26-LP

Il s'agit du module contrôleur pour le moteur brushless **MOTBRA1.3NM**, permettant le fonctionnement d'un servomoteur dans une application de générateur ou dans le freinage du moteur.

Caractéristiques techniques:

- Consigne de vitesse du moteur,
- Consigne de couple avec LED de limitation de couple,
- Sortie analogique de couple: 0...10 V,
- Led d'atteinte du T/S (Couple/Vitesse),
- Puissance nominale: 300 W,
- Vitesse nominale: 3000 tr/min,
- Ports: 1 USB et 2 RS485,
- Connecteur 5 broches: pour la lecture de la vitesse.



DL 2108T26BR

Il s'agit de la résistance de freinage externe du **DL 2108T26-LP**, utilisée pendant la régénération pour protéger son circuit intermédiaire CC interne.



DL 9026N

Module avancé utilisé dans les laboratoires de systèmes triphasés pour visualiser et mesurer les formes d'onde.

Caractéristiques techniques:

- CA monophasé sélectionnable pour mesurer V, I, P, Q et S,
- Une carte d'acquisition de données intégrée, avec une interface USB haute vitesse, pour observer les formes d'onde de tension et de courant des trois phases simultanément avec une entrée isolée et avec un port de communication RS485,
- Complet avec un logiciel d'acquisition de données développé avec Labview pour la visualisation des formes d'onde. Il affiche les paramètres électriques les plus importants





(RMS pour la tension et le courant pour toutes les phases, simple et total, P, Q, S et facteur de puissance) et effectue la transformation FFT pour afficher le spectre de tension et de courant.

DL 2600TTI

Transformateur d'isolement à placer entre le réseau triphasé et les laboratoires fournissant une tension secondaire triphasée avec un neutre isolé adapté au fonctionnement des modules.

Caractéristiques techniques:

- Entrée réseau triphasée avec réglage de +10%/-10% .
- Sortie : 400V avec réglage de +5% / - 5%.
 - ◆ 3 x prises CEE triphasées (3P+N+E)
 - ◆ 2 x prises CEE monophasées (2P+E)
 - ◆ 2 x prises monophasées de type F
- Protection magnétothermique différentielle 10 A, 30 mA.
- Disjoncteur de protection du moteur : de 4 à 6.3 A.
- Bouton d'arrêt d'urgence type champignon.
- Puissance de sortie maximale : 3 KVA.



DL PCGRID

Ordinateur All-in-One.

Caractéristiques techniques:

- Écran: 21,5", Full HD,
- Résolution: 1920 x 1080 pixels,
- Processeur: Intel® Core™ i3, 1,2 GHz,
- RAM: 8 Go,
- SSD: 256 Go,
- OS: Windows 11.



DL T12090 SK

Banc de travail avec plateau en mélaminé. Deux trous sont présents sur le plateau pour permettre le montage d'un cadre à trois niveaux **DL A120-3M**.

Caractéristiques techniques:

- Dimensions (HxLxP) : 80x120x90 cm,
- Avec roulettes verrouillables,
- Livré avec 15 prises protégées par un disjoncteur magnétothermique.





ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE



DL T06090

Banc multifonctionnel utilisé dans les laboratoires comme support de modules et de machines électriques.

Caractéristiques techniques:

- Dimensions (HxLxP) : 80x60x90 cm,
- Avec roulettes verrouillables.



DL A120-3M

Cadre à 3 niveaux pour l'assemblage des modules du laboratoire. À fixer sur le banc DL T12090_SK.



DL SP-A120-LED

Base avec bande LED, à fixer sur la partie supérieure du cadre DL A120-3M.



TLRCP

Ensemble de câbles de différents diamètres et longueurs pour le câblage.



DL 1196

Une structure robuste utilisée pour stocker et organiser les différents câbles de connexion en laboratoire, avec roulettes.

